

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

Ing. Paolo Cucino

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO
 Dott. Paolo Cucino
 Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche
 ISCRIZIONE ALBO N° 2216

PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"

RELAZIONE

08 - GALLERIE

C-GALLERIE NATURALI DI LINEA E DI INTERCONNESSIONE

Scavo meccanizzato

Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C

APPALTATORE		SCALA:
IL DIRETTORE TECNICO 		-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I B O U	1 B	E	Z Z	R H	G N O O O O	0 0 3	C

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	M. Aganetti	15/01/2022	C. Iasiello	15/01/2022	D. Buttafoco (Dolomiti)	19/01/2022	IL PROGETTISTA P. Cucino 16/03/2023
B	Emissione a seguito di istruttorie ed interlocuzioni	M. Aganetti	18/07/2022	C. Iasiello	19/07/2022	D. Buttafoco (Dolomiti)	20/07/2022	
C	Emissione a seguito di istruttorie ed interlocuzioni	M. Aganetti	13/03/2023	C. Iasiello	14/03/2023	D. Buttafoco	15/03/2023	

File: IB0U1BEZZRHGN0000003C.docx	n. Elab.: X
----------------------------------	-------------

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	2 di 280

SOMMARIO

1. PREMESSA	5
2. SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO	6
3. NORMATIVA, ELABORATI DI RIFERIMENTO E SOFTWARE UTILIZZATI	7
3.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	7
3.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	7
3.3 SOFTWARE UTILIZZATI	7
4. ALLEGATI	8
5. DEFINIZIONE DEL METODO DI SCAVO	8
5.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELL'ANELLO	9
5.2 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA MACCHINA	10
6. GEOMETRIA ANELLI	11
6.1 POSIZIONI DI SEQUENZA DEGLI ANELLI CONSENTITE	14
6.2 ANALISI GEOMETRICA	15
6.2.1 Considerazioni generali	15
6.2.2 Output numerici grafici	15
7. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI	19
7.1 TIPOLOGIA DI ELEMENTI DI RIVESTIMENTO	20
7.1.1 Dettaglio armature.....	20
7.2 COPRIFERRO.....	22
8. VERIFICA DELLE FASI TRANSITORIE	23
8.1 SCASSERO	27
8.1.1 Verifica dominio M-N SLU	29
8.2 PRIMA MOVIMENTAZIONE IN STABILIMENTO.....	30
8.2.1 Verifica dominio M-N SLU	32
8.3 STOCCAGGIO IN STABILIMENTO	32
8.3.1 Verifica dominio M-N SLU	35
8.4 TRASPORTO IN CANTIERE.....	35
8.4.1 Verifica dominio M-N SLU	38
8.5 STOCCAGGIO IN CANTIERE.....	38

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	3 di 280

8.5.1	Verifica dominio M-N SLU	41
8.6	MOBILITAZIONE CON ERETTORE TBM	42
8.6.1	Verifica dominio M-N SLU	44
8.7	SPINTA DEI MARTINETTI.....	45
8.7.1	Premessa	45
8.7.2	Riassunto spinte TBM.....	51
8.7.3	Ipotesi di base	53
8.7.4	Concio Tipo A – analisi in condizioni ordinarie.....	72
8.7.5	Concio tipo A – Analisi di rischio	98
8.7.6	Concio Tipo B – analisi in condizioni ordinarie.....	127
8.7.7	Concio tipo B – Analisi di rischio	153
8.7.8	Concio Tipo C – analisi in condizioni ordinarie.....	170
8.7.9	Concio tipo C – Analisi di rischio	182
9.	VERIFICA ELEMENTI SECONDARI	204
9.1	VERIFICA DEI CONNETTORI	204
9.1.1	Verifica del concio sospeso	204
9.1.2	Verifica di interazione gasket – connettore	207
9.1.3	Verifica del giunto longitudinale	208
9.1	VERIFICA DELLE GUARNIZIONI	209
9.1.1	Prestazione di tenuta idraulica.....	209
9.1.2	Caratteristiche della guarnizione	209
9.1.3	Verifica di tenuta idraulica	209
9.2	VERIFICA DEL CUNEO DI CALCESTRUZZO SOTTO LA SPINTA DELLA GUARNIZIONE.....	211
9.3	VERIFICA DEI CONI DI CENTRAGGIO.....	213
9.4	VERIFICA DEI BULLONI LONGITUDINALI.....	214
9.4.1	Verifica del bullone dopo il montaggio dell’anello	214
9.4.2	Verifica della reazione della guarnizione in fase di montaggio.....	216
10.	VERIFICA DEI GIUNTI	217
10.1	PK 9+340 SCALERES.....	220
10.2	PK 8+635 SCALERES.....	222

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 4 di 280	

10.3	VERIFICA GIUNTI CON ECCENTRICITÀ MASSIMA	223
11.	VERIFICA PER SPINTA A VUOTO	232
12.	VERIFICA NEI RIGUARDI DELL'ESPOSIZIONE AL FUOCO	233
12.1	VERIFICHE	239
13.	FASE OPERATIVA	245
13.1	CRITERI DI VERIFICA	245
13.1.1	Parametri utilizzati per il rivestimento.....	245
13.2	FASE DI DIAGNOSI	246
13.2.1	Classi di comportamento del fronte di scavo.....	246
13.2.2	Determinazione delle categorie di comportamento.....	247
13.3	FASE DI TERAPIA.....	252
13.3.1	Definizione del metodo di scavo	253
13.3.2	Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi.....	254
13.4	DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI DRENAGGIO DI LUNGO TERMINE.....	254
13.4.1	Abbattimento del carico idraulico.....	255
13.4.2	Abbattimento della falda	258
13.4.3	Metodi analitici	258
13.4.4	Metodi numerici 2D	262
13.4.5	Modello 3D.....	263
13.5	VERIFICA IN ESERCIZIO	273
13.5.1	Stato Limite Ultimo (S.L.U.)	274
13.5.2	Stato Limite di Esercizio (S.L.E.).....	278
14.	CONCLUSIONI	279
	ALLEGATO 1: SCHEDA TECNICA CONNETTORI	280
	ALLEGATO 2: SCHEDA TECNICA GUARNIZIONI	280
	ALLEGATO 3: CALCOLO BIDIMENSIONALE.....	280
	ALLEGATO 4: CALCOLO TRIDIMENSIONALE AMMASSO SANO	280
	ALLEGATO 5: CALCOLO TRIDIMENSIONALE AMMASSO FRATTURATO	280

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria							<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RH</td> <td>GN0000003</td> <td>C</td> <td>5 di 280</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	5 di 280													
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C																		

1. PREMESSA

La presente relazione tecnica si inserisce nell'ambito del progetto della tratta ferroviaria Fortezza – Ponte Gardena, Lotto 1 della linea Fortezza-Verona, accesso Sud alla galleria di Base del Brennero.

Le opere in oggetto ricadono nella provincia di Bolzano. La galleria in esame ha una lunghezza complessiva di circa 24.8 km, con configurazione a doppia canna ad interasse di 40 m.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">COMMESSA</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RH</td> <td>GN0000003</td> <td>C</td> <td>6 di 280</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	6 di 280
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	6 di 280													
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C																		

2. SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO

Nella presente relazione si affrontano le problematiche progettuali connesse alla realizzazione delle gallerie della linea ferroviaria Fortezza – Ponte Gardena – Lotto 1 con scavo meccanizzato.

Nel seguito, dopo aver illustrato brevemente le principali caratteristiche dei rivestimenti previsti in PE per le Gallerie di Linea, vengono illustrati i risultati delle valutazioni e delle analisi svolte al fine di confermare la validità della proposta tecnica migliorativa relativa alla nuova configurazione geometrica dell'anello in conci prefabbricati, che passa da una lunghezza di 1,50 metri a 1,80 metri.

Il vantaggio di tale scelta risiede nella possibilità di ottenere un rivestimento a conci prefabbricati maggiormente monolitico e meno deformabile, con minore quantità di giunti e conseguente migliore tenuta alle infiltrazioni d'acqua, compatibilmente con l'attrezzatura che si impiega e con i vincoli imposti dalla medesima. Tale aspetto ha evidenti ricadute positive in termini tecnici, legate alla riduzione degli elementi di discontinuità ed importanti benefici legati alla ottimizzazione della produzione.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	7 di 280

3. NORMATIVA, ELABORATI DI RIFERIMENTO E SOFTWARE UTILIZZATI

3.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- [1] "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni (NTC 2008)" - DM Infrastrutture 14.01.2008.
- [2] Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 costruzioni e dei carichi e sovraccarichi - C.S.LL.PP. 02.02.2009.
- [3] UNI EN 1992-1-1:2005. Eurocodice 2 "Progettazione delle strutture di calcestruzzo Parte. 1-1: Regole generali e regole per gli edifici".
- [4] "Sicurezza nelle Gallerie Ferroviarie" - DM 28-10-2005.
- [5] "Modalità di prova per la valutazione del comportamento di protettivi applicati a soffitti di opere sotterranee in condizioni di incendio" – UNI 11076-2003.
- [6] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.);
- [7] Bernaud D., Benamar I., Rousset G. (1994). La "nouvelle methode implicite" pour le calcul des tunnel dans les milieux elastoplastiques et viscoplastiques - Revue Francaise de Geotechnique, N° 68;
- [8] Bernaud D., Rousset G. (1992). La "nouvelle methode implicite" pour l'étude du dimensionnement des tunnels - Revue Francaise de Geotechnique, N° 60;
- [9] B. Maidl, M. Herrenknecht et al. "Mechanised Shield Tunnelling" (2012).

3.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- [10] Lunardi P. (2006). Progetto e Costruzione di Gallerie: Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli - ADECO-RS – (Hoepli Ed.);
- [11] Bernaud D., Benamar I., Rousset G. (1994). La "nouvelle methode implicite" pour le calcul des tunnel dans les milieux elastoplastiques et viscoplastiques - Revue Francaise de Geotechnique, N° 68;
- [12] Bernaud D., Rousset G. (1992). La "nouvelle methode implicite" pour l'étude du dimensionnement des tunnels - Revue Francaise de Geotechnique, N° 60;
- [13] B. Maidl, M. Herrenknecht et al. "Mechanised Shield Tunnelling" (2012).
- [14] Vlachopoulos, Nicholas & Diederichs, Mark. (2009). Improved Longitudinal Displacement Profiles for Convergence Confinement Analysis of Deep Tunnel. Rock Mechanics and Rock Engineering. 42. 131-146. 10.1007/s00603-009-0176-4.
- [15] Lembo-Fazio, A., Ribacchi, R., 1986. Stato di Sforzo e Deformazione intorno ad una Galleria. Conf. di Meccanica ed Ingegneria delle Rocce, Politecnico di Torino, Italy, Nov. 25-28.
- [16] Daub: "Recommendations for the design, production, and installation of segmental rings", 2013

3.3 SOFTWARE UTILIZZATI

I software utilizzati per la progettazione sono:

- Midas FEA NX versione 2021 v1.1 CSPFea

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	8 di 280

4. ALLEGATI

Analisi Plaxis 2D drenaggi

Analisi Plaxis 3D ammasso sano: drenaggi

Analisi Plaxis 3D ammasso fratturato: drenaggi

5. DEFINIZIONE DEL METODO DI SCAVO

A seguito dell'analisi del tracciato plano-altimetrico, dell'inquadramento geologico-idrogeologico, della previsione della risposta deformativa allo scavo (determinazione della categoria di comportamento) e in funzione della configurazione delle gallerie (a singolo binario e doppia canna), deriva la scelta del metodo di scavo più appropriato per la realizzazione delle gallerie naturali di progetto.

I principali criteri considerati nella scelta del metodo di scavo sono:

- esigenza di operare nelle migliori condizioni di sicurezza in fase realizzativa (per l'ambiente e per gli addetti ai lavori);
- superamento di zone potenzialmente critiche dal punto di vista geologico, geomorfologico ed idrogeologico
- (fasce tettonizzate, elevati carichi idraulici, sottoattraversamento di zone a bassa copertura in terreni sciolti in presenza di falda e di preesistenze superficiali);
- contenimento del fronte di scavo per evitare possibili instabilità del fronte medesimo legate alle condizioni geotecniche ed idrogeologiche degli ammassi attraversati;
- lunghezza delle gallerie e necessità di velocizzare le fasi di scavo e di rivestimento limitando i fronti d'attacco intermedi.

Sono stati, inoltre, tenuti in conto ulteriori fattori legati alla programmazione dei lavori del Lotto 1 rispetto a quello di realizzazione della galleria di Base del Brennero che hanno richiesto l'apertura di ulteriori fronti di scavo e quindi la necessità di prevedere tratte realizzate con TBM e tratte eseguite con metodo di scavo tradizionale.

Nel tratto di scavo con TBM, la galleria attraversa principalmente le Filladi di Bressanone in condizioni di medio-alta copertura. In generale, l'ammasso presenta buone caratteristiche geotecniche. Per la Galleria Gardena e le successive interconnessioni è previsto l'attraversamento di terreni detritico/alluvionali a basse coperture per tratte molto limitate. Per tali condizioni di scavo si è optato per la scelta di una TBM dual mode con la possibilità di essere trasformata in una macchina chiusa e di applicare una di pressione al fronte.

Si riportano in Tabella 5-1 le tratte scavate con metodologia di scavo meccanizzato, suddivise nelle tre porzioni di Scaleres, Gardena e Interconnessioni.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 9 di 280	

Le due TBM di Scaleres partiranno dal punto di comunicazione della Finestra di Forch, passeranno a vuoto per la finestra di Albes e verranno smontate in prossimità del ponte isarco.

La TBM di Gardena partirà dai cameroni situati presso la Finestra di Funes e verrà estratta nelle zone dei portali di Ponte Gardena.

Il binario Pari verrà scavato a pieno nella zona dell'innesto con la Finestra di Chiusa, mentre il binario dispari avrà due passaggi a vuoto significativi dove la TBM verrà traslata.

Tratto	Binario	Inizio / Fine	Pk iniziale	Pk finale	Lunghezza tratta [m]
Gallerie Scaleres	B.P.	Finestra di Forch- Ponte Isarco	3+697.9	15+623.6	11926 -37*
	B.D.	Finestra di Forch- Ponte Isarco	3+951.5	15+607.5	11656 -37*
Gallerie Gardena	B.P.	Finestra di Funes – inizio ICBP	16+365	21+783	5418
	B.D.	Finestra di Funes – inizio ICBD	16+425.5	21+448	5022 -479*
Gallerie IC (Interconnessioni)	B.P.	inizio ICBP – Ponte Gardena	0+000	2+530.3	2530
	B.D.	inizio ICBD – Ponte Gardena	0+000	3+188.2	3188.2 -253.5*

Tabella 5-1: Progressive TBM (* tratte di traslazione delle TBM)

5.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELL'ANELLO

Le principali caratteristiche geometriche dell'anello che definiscono la carpenteria di progetto sono riportate nella seguente tabella. Nei capitoli successivi vengono descritte le analisi condotte per tale definizione.

Tipo di Anello	Universale
Raggio Interno	4.20 m
Diametro Esterno	9.30 m
Diametro Scavo	9.68 m
Spessore conci	45 cm
Lunghezza media	1.8 m
Geometria conci	Trapezoidali / romboidali
Svasatura	94 mm
Raggio di curvatura minimo	280 m (217 m di calcolo)
Numero di conci	7+0
Connessioni anello / anello	n° 3 connettori (n° 21 totali)
Connessioni concio / concio	Facce inclinate con barra guida
Barra guida	Ø 50 L = 500 mm
Guarnizioni	EPDM P ≥ 10 bar con cordone idrofilico
Bulloni filettati	Classe 8.8

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandataria:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	10 di 280

	Diametro \varnothing 22 Lunghezza 500 mm
--	---

Tabella 5-2: Caratteristiche geometriche dell' anello

5.2 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA MACCHINA

Nella seguente tabella vengono riassunte le principali caratteristiche geometriche della macchina tipologica ipotizzata in questa fase di progetto. Le caratteristiche sono da considerarsi preliminari e potranno subire variazioni in seguito alla definizione di dettaglio delle due tipologie di macchina (Scaleres e Gardena/Interconnessioni).

Descrizione (GN01)	u.m.	Valore
<i>Diametro di scavo nominale</i>	mm	9680
<i>Diametro di scavo massimo</i>	mm	9820
<i>Eccentricità cutterhead – scudo frontale</i>	mm	10
<i>Diametro ext scudo frontale</i>	mm	9620
<i>Spessore scudo frontale</i>	mm	70
<i>Diametro ext scudo posteriore</i>	mm	9590
<i>Spessore scudo posteriore</i>	mm	70
<i>Conicità (differenza sul raggio)</i>	mm	45
<i>Lunghezza scudi</i>	mm	10795
<i>Lunghezza macchina</i>	mm	11945
<i>Gap scavo nominale – estradosso scudo posteriore</i>	mm	45
<i>Gap intradosso scudo posteriore – estradosso concio</i>	mm	75

Tabella 5-3: Caratteristiche geometriche della macchina GN01

Descrizione (GN02/GN07)	u.m.	Valore
<i>Diametro di scavo nominale</i>	mm	9680
<i>Diametro di scavo massimo</i>	mm	9880
<i>Eccentricità cutterhead – scudo frontale</i>	mm	15
<i>Diametro ext scudo frontale</i>	mm	9620
<i>Spessore scudo frontale</i>	mm	70
<i>Diametro ext scudo posteriore</i>	mm	9560
<i>Spessore scudo posteriore</i>	mm	60
<i>Conicità (differenza sul raggio)</i>	mm	30
<i>Lunghezza scudi</i>	mm	11115
<i>Lunghezza macchina</i>	mm	12200
<i>Gap scavo nominale – estradosso scudo posteriore</i>	mm	60
<i>Gap intradosso scudo posteriore – estradosso concio</i>	mm	70

Tabella 5-4: Caratteristiche geometriche della macchina GN02/GN07

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	11 di 280

6. GEOMETRIA ANELLI

Si riporta di seguito la descrizione del workflow implementato da SWS utilizzato per la definizione del posizionamento degli anelli per le gallerie eseguite con scavo meccanizzato per i lavori di realizzazione del lotto 1 del quadruplicamento della linea ferroviaria Fortezza-Ponte Gardena, tratta "Fortezza – Ponte Gardena".

Questo tipo di investigazione consente di simulare l'avanzamento della TBM durante la costruzione del tunnel attraverso l'installazione di ogni anello, determinando la deviazione della TBM dal tracciato ferroviario teorico e verificare che le tolleranze previste dal Cliente vengano rispettate.

L'implementazione sistematica dell'anello universale su tutta la lunghezza del tunnel è oggi una tendenza attuale a livello mondiale. Questo approccio consente di seguire il tracciato orizzontale e verticale del tracciato senza l'utilizzo di nessun altro elemento speciale e di correggere eventuali deviazioni provocate dalla TBM durante il suo avanzamento. Il vantaggio principale di questo anello è che può essere regolato in tutte le direzioni mediante una corrispondente rotazione dei segmenti, consentendo l'implementazione di un singolo anello (l'anello universale) per adattarsi al layout del binario.

La principale caratteristica geometrica che rende universale un anello è rappresentata dalla sua conicità, cioè dalla differenza (conicità dell'anello) tra la sua larghezza massima e minima. La conicità dell'anello deve essere dimensionata per garantire il rispetto delle curve di progetto e per consentire il recupero delle deviazioni della TBM. La figura successiva presenta una sequenza di installazione schematica adottata per adattarsi a un tipico layout di allineamento:

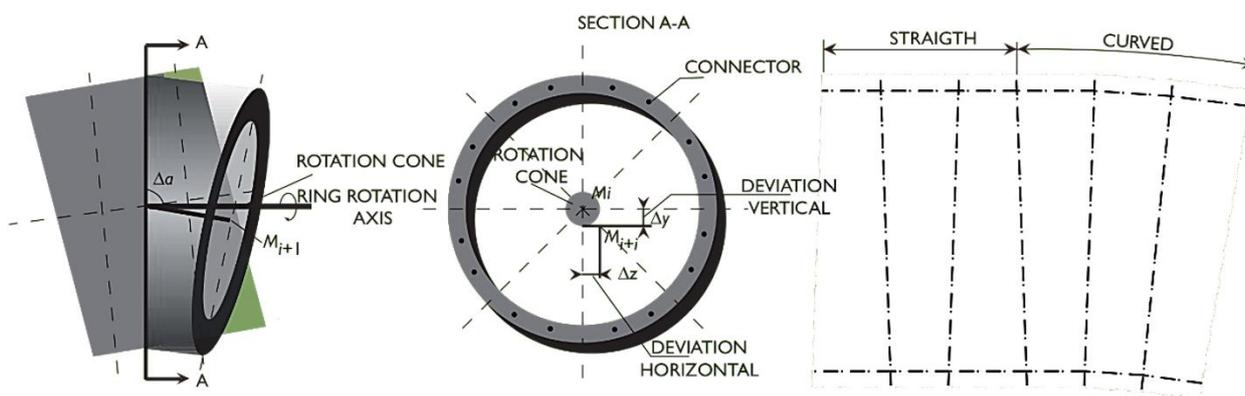


Figura 6-1: Sequenza di installazione

La costruzione del tunnel richiede un rivestimento con conci trapezoidali di 8,4 m DI x 9,3 m DE. La larghezza minima dell'anello è 1753,0 mm e la larghezza massima dell'anello è 1847,0 mm, la larghezza nominale dell'anello è 1800,0 mm mentre la conicità dell'anello risultante è 94,0 mm. L'anello è composto da 7 segmenti prefabbricati.

La dimensione del taper dL viene calcolata cautelativamente in funzione del raggio di curvatura pari a 224 m e ridotto dell'80%.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 12 di 280

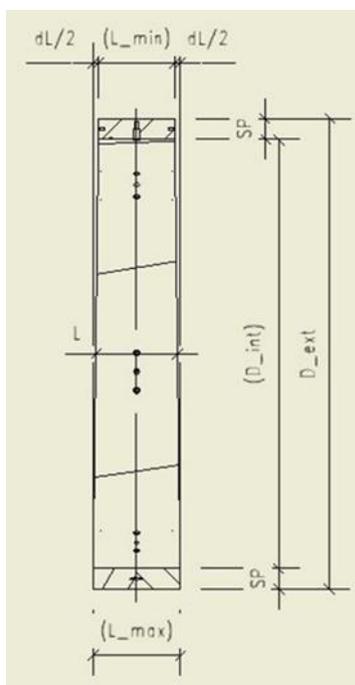


Tabella 6-1: Dimensioni Taper

Di seguito si riporta la formulazione per il calcolo del valore dL tale da consentire la modellazione di anelli universali da poter utilizzare sull'intero progetto:

$$dL = \frac{L \cdot D_{est}}{R} = 94 \text{ mm}$$

Dove:

R è il raggio minimo considerato ridotto dell'80% e risulta pari a 179.2 m

D_{est} è il diametro esterno dell'anello pari a 9.3 m

L è la lunghezza dell'anello in mezzera pari a 1.8 m

Si riporta di seguito la geometria dell'anello utilizzato per la modellazione considerando $dL=94$ mm.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	13 di 280

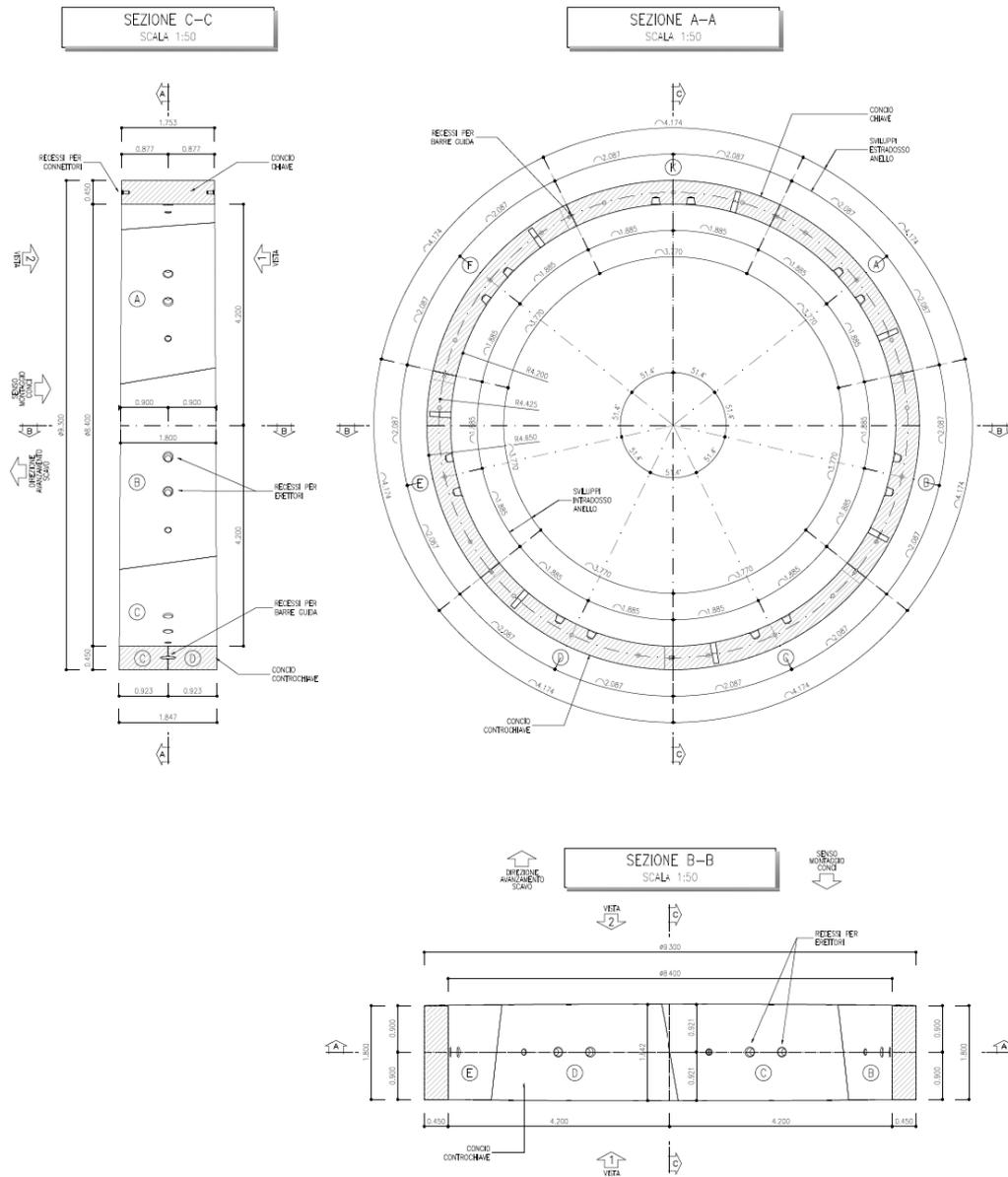


Figura 6-2: Geometria anello

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 14 di 280

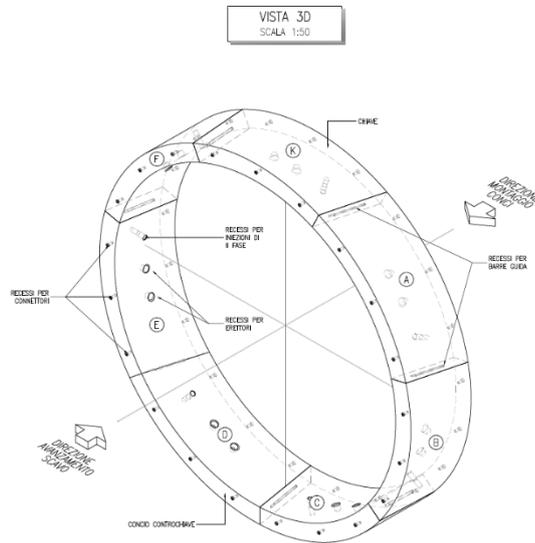


Figura 6-3: Vista 3D anello

6.1 POSIZIONI DI SEQUENZA DEGLI ANELLI CONSENTITE

Il rivestimento del tunnel è costituito da una sequenza di anelli affiancati: la disposizione di ciascun anello consente al rivestimento di adattarsi al meglio alla curvatura di progetto all'allineamento orizzontale e verticale.

Teoricamente il numero di posizioni possibili, ottenute con anelli rotanti sul loro asse longitudinale, è pari al numero di connettori longitudinali; a seconda di più vincoli strutturali (es. sovrapposizione dei giunti) e operativi, l'assemblaggio degli anelli è caratterizzato da un insieme di sequenze limitate.

Infatti, una sequenza di posizioni in cui i giunti di due anelli consecutivi si trovano nella stessa posizione non è ottimale, perché può generare un punto di debolezza in termini di risposta strutturale e impermeabilità (vedi sequenza P01-P01 della figura seguente).

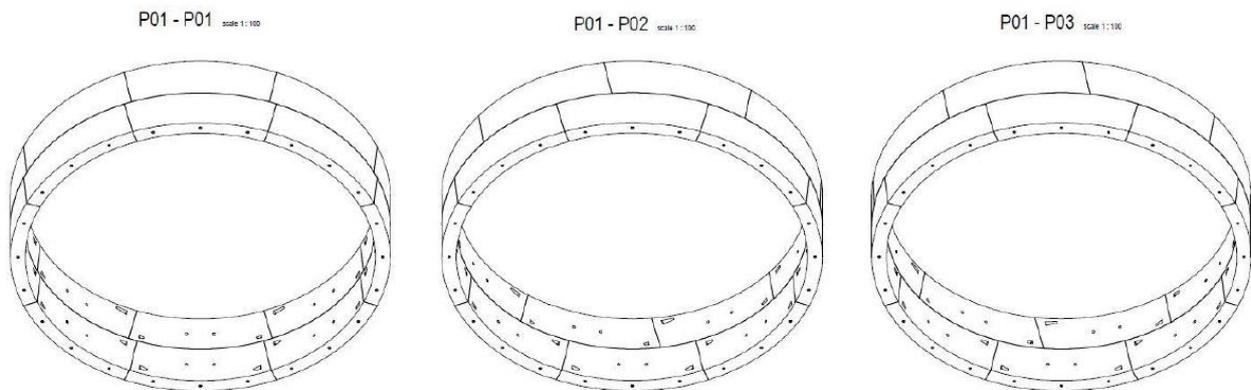


Figura 6-4: Sequenze differenti: P01-P01 non è consentita, P01-P02 o P01-P03 sono consentite

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	15 di 280

6.2 ANALISI GEOMETRICA

6.2.1 Considerazioni generali

Utilizzando strumenti di progettazione computazionale come Dynamo e programmando uno script specifico con linguaggio Python, la sequenza dell'anello è stata definita in uno spazio 3D virtuale con l'obiettivo di ridurre al minimo la deviazione dall'asse di progettazione del tunnel.

I punti target (T) sono stati definiti lungo l'asse del tunnel; la distanza tra due punti consecutivi è uguale alla lunghezza media dell'anello.

Provando tutte le posizioni consentite, si ottiene il miglior fitting minimizzando la distanza (dT) tra i punti target ei punti giacenti sul lato di scavo di ciascun asse dell'anello (R).

Considerando un sistema di coordinate cartesiane locali, la cui origine coincide con il punto precedentemente descritto (R), tutte le deviazioni sono state misurate sulla componente orizzontale (dRx), sulla componente verticale (dRy) e sulla risultante norma euclidea (dR).

Il punto di intersezione (P) tra questo vettore e l'asse del tunnel, definisce la progressiva rispetto al binario di progetto.

La convenzione geometrica utilizzata è presentata nell'immagine seguente.

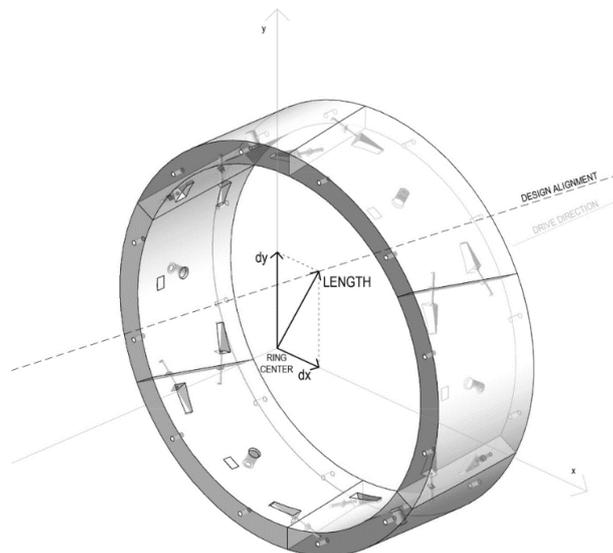


Figura 6-5: Convenzione geometrica

6.2.2 Output numerici grafici

La scelta della migliore opzione progettuale, riferita alla sequenza di anelli ottimale in termini di distanza dal caposaldo, è supportata dall'interpretazione dei dati statistici ottenuti dall'analisi.

I risultati sono presentati sia in forma numerica che grafica; di seguito si riportano gli output relativi alla curva di raggio minimo, la quale si trova nel tratto di interconnessione Gardena nel tunnel di binario pari.

I risultati presentati di seguito sono:

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 16 di 280	

- vista in pianta semplificata del tracciato come colormap degli scostamenti geometrici
- grafico a barre delle deviazioni geometriche lungo la sequenza dell'anello
- grafico a barre di frequenza (aka densità) delle deviazioni geometriche

Il tracciato BP Gardena è composto da: 3986 anelli
 Primo anello: 10
 Ultimo anello: 3986

Su ogni grafico è stato evidenziato il valore massimo di tutte le deviazioni insieme al valore medio e al 95 percentile.

Valore massimo: 32.69 mm
 Valore medio: 7,31 mm
 95 percentile: 18,18 mm
 Limite di tolleranza: 0.1 m
 Numero di anelli oltre il limite: 0 anelli

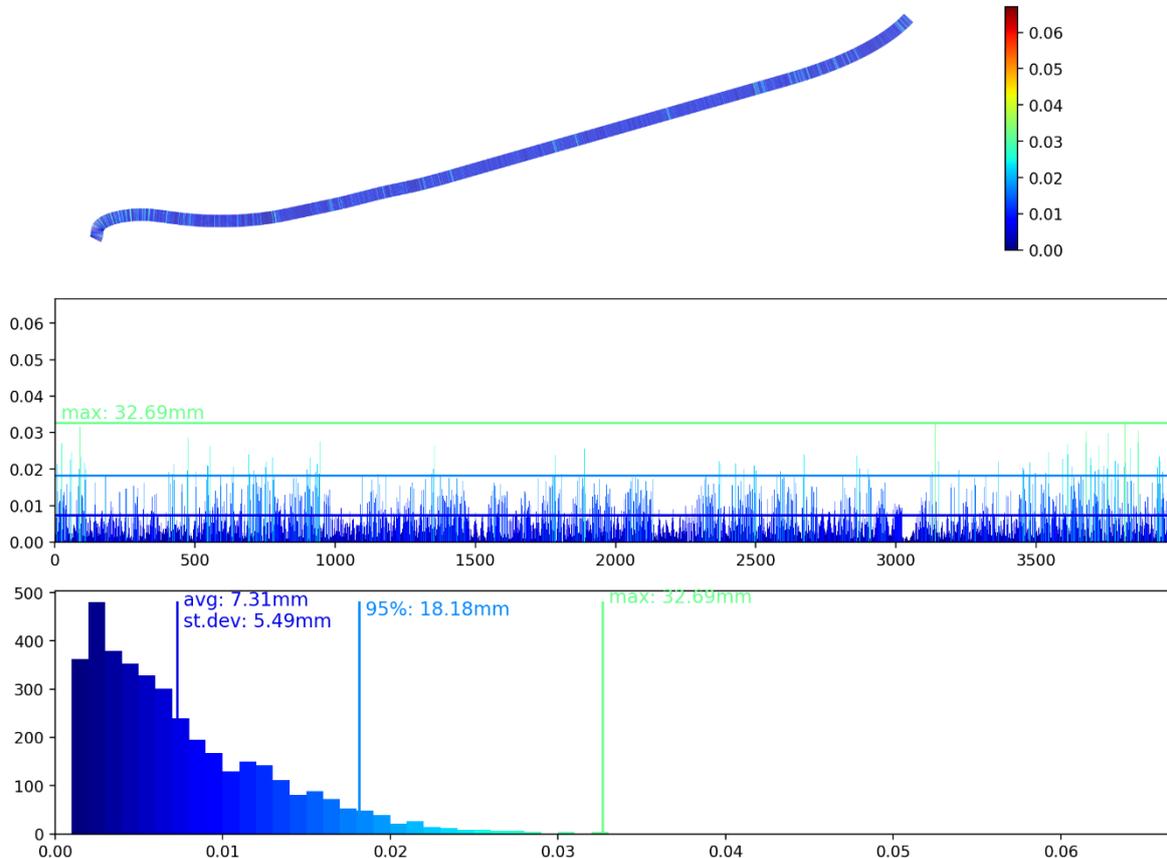


Figura 6-6: Discostamenti da tracciato di progetto

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 17 di 280

Di seguito viene riportato il grafico radiale che descrive la deviazione massima per ogni posizione dell'anello e il grafico a dispersione con tutte le deviazioni visualizzate come cerchi sulla sezione dell'anello.

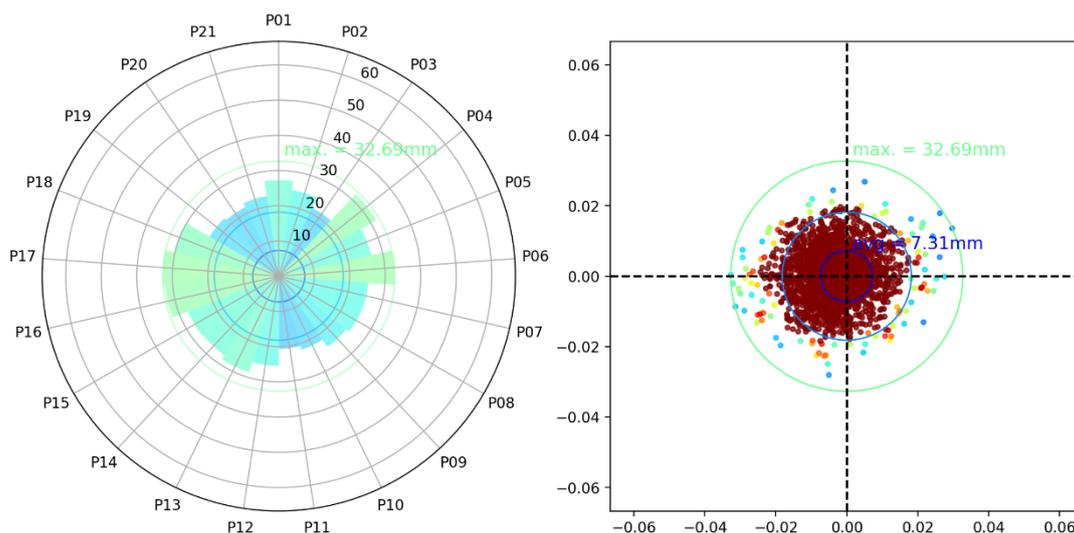


Figura 6-7: Grafico radiale ed a dispersione con deviazione massima per ogni posizione dell'anello

Il raggio della fetta sul grafico radiale è uguale al valore massimo delle deviazioni raggruppate per posizioni dell'anello.

I cerchi sul grafico a dispersione sono centrati sul punto definito dalle coordinate (dx,dy), dove dx e dy sono rispettivamente le deviazioni orizzontali e verticali misurate dall'asse centrale dell'anello alla traccia del progetto.

Infine viene riportata, in corrispondenza del tratto di tracciato con curvatura minima, una sovrapposizione del modello 3D degli anelli, generato in Revit mediante l'utilizzo di Dynamo, con il dwg a base gara contenente la planimetria del tracciato.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 18 di 280



Figura 6-8: Sovrapposizione modello 3D e DWG

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	19 di 280

7. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dei materiali impiegati per le opere in progetto, con l'indicazione dei valori di resistenza e deformabilità adottati nelle verifiche, nel rispetto delle indicazioni del DM 14/01/2008 e della Circolare n.617/2009 (Rif. [1] e Rif. [2]).

Con riferimento ai rivestimenti provvisori e definitivi, si sottolinea che la classe di resistenza dei calcestruzzi riportata nelle tabelle che seguono è quella utilizzata ai fini della sola modellazione numerica e delle verifiche strutturali (per i rivestimenti definitivi si rimanda alle indicazioni del Capitolato).

I conci prefabbricati saranno realizzati calcestruzzo di classe C45/55 le cui caratteristiche si riportano nella tabella seguente:

Calcestruzzo armato (conci spessore 45 cm)	
Classe di resistenza di calcolo	C45/55
Resistenza caratteristica cls	$f_{ck}=45$ MPa
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd}= 0,85 f_{ck} /1,5 =25,87$ MPa
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm}= 22000 (f_{cm}/10)^{0,3} = 36416$ MPa
Tensione massima di compressione in esercizio (RFI DTC SI MA IFS 001 A)	$\sigma_c = 0,55 f_{ck} = 25,11$ MPa combinazione caratteristica (rara) $\sigma_c = 0,40 f_{ck} = 18,26$ MPa combinazione quasi permanente
Tensione massima in condizioni di esercizio (NTC 2008)	$\sigma_c = 0,6 f_{ck} = 27,39$ MPa combinazione caratteristica (rara) $\sigma_c = 0,45 f_{ck} = 20,54$ MPa combinazione quasi permanente

Tabella 7-1: Caratteristiche calcestruzzo

I conci in armatura lenta sono costituiti da acciaio di classe B450C.

Acciaio per barre di armatura	
Tipo	B450C
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 540$ MPa
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 450$ MPa
Resistenza di progetto	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 391,3$ MPa
Tensione massima di compressione in esercizio (RFI DTC SI MA IFS 001 A.	$\sigma_{lim} = 0,75 f_{yk} = 337,5$ MPa

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	20 di 280

Tabella 7-2: Caratteristiche acciaio per barre di armatura

7.1 TIPOLOGIA DI ELEMENTI DI RIVESTIMENTO

Viene proposto l'utilizzo di conci prefabbricati in calcestruzzo armato (full reinforcement) per le opere a carattere definitivo considerando una vita nominale dell'opera $V_N \geq 100$ anni.

Come citato, gli elementi saranno caratterizzati da una classe di resistenza C45/55, armati con barre in direzione circonferenziale (intradosso ed estradosso).

Si ipotizzano tre diverse tipologie per le armature di rinforzo per i conci prefabbricati:

- TIPO A – Armatura leggera (sezione corrente):
 - ferri circonferenziali: 6+6 ϕ 14mm e 8+8 ϕ 12mm (*);
 - staffatura corrente: tot.4 bracci ϕ 10, passo 250mm
- TIPO B - Armatura media (zone di faglia e filladi carboniose):
 - ferri circonferenziali: 16+16 ϕ 20mm o equivalente;
 - staffatura corrente: tot.4 bracci ϕ 10, passo 250mm
- TIPO C - Armatura pesante (interferenze A22 e sottoattraversamento linea storica):
 - ferri circonferenziali: 18+18 ϕ 22mm o equivalente;
 - staffatura corrente: tot.4 bracci ϕ 10, passo 250mm

Nota(*): i conci di tipo A risultano anche verificati con calcestruzzo fibrorinforzato C45/55 con fibre di classe 4C, da valutarne l'applicazione in fase di progetto esecutivo di dettaglio.

7.1.1 Dettaglio armature

Si riporta di seguito il dettaglio dell'armatura adottato per i conci Tipo A, B e C.

Ferro	Armature conci
1	6+6 ϕ 14mm e 8+8 ϕ 12mm (Tipo A) 16 ϕ 20 mm (Tipo B) 18 ϕ 22 mm (Tipo C)
2	ϕ 10 mm passo 250 mm
3	17 ϕ 10 mm
4	ϕ 10 mm passo 125 mm

Tabella 7-3: Armature conci

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 21 di 280

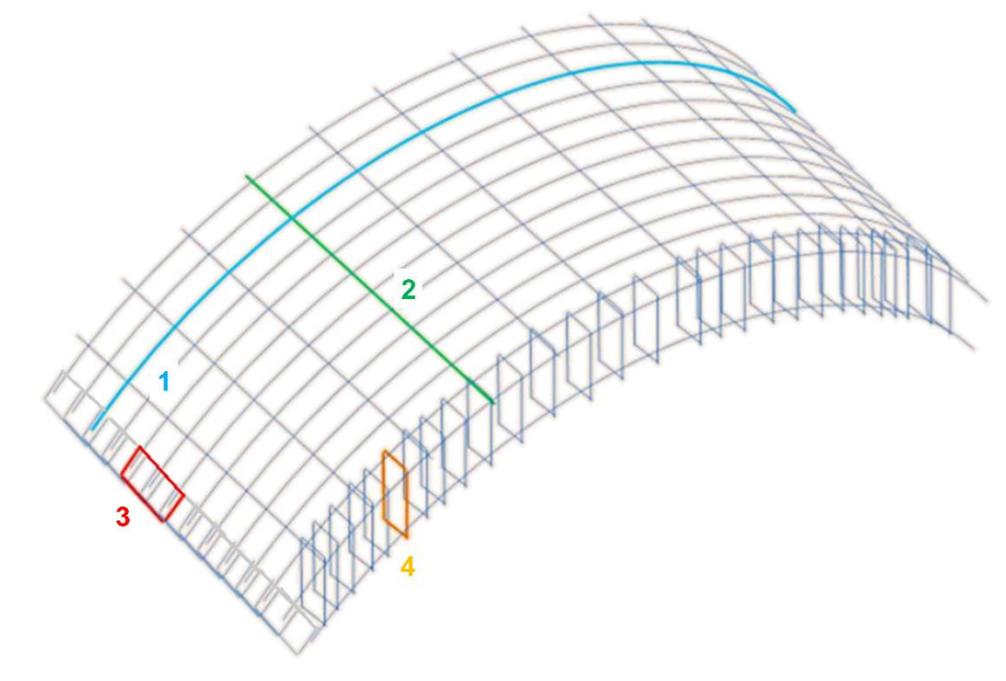


Figura 7-1: Dettaglio armature conci

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE:														
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO.</td> </tr> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RH</td> <td>GN0000003</td> <td>C</td> <td>22 di 280</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	22 di 280
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	22 di 280									

7.2 COPRIFERRO

I copriferri netti (sul ferro più esterno), da realizzare per l'estradosso (condizioni ambientali aggressive, classe di esposizione XA2) e per l'intradosso (condizioni ambientali ordinarie, classe di esposizione XC3) sono i minimi previsti dalla Circolare n.617/2009 Rif. [2] al §C4.1.6.1.3.

			barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
C_{min}	C_o	ambiente	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Tabella 7-4: Copriferri minimi in mm, Circolare n.617/2009

Per limitare fenomeni di sbecatura degli spigoli e di fessurazione dei conci si prescrive una tolleranza di posa di 5 mm così da ottenere un copriferro pari a 40 mm all'estradosso (classe XA2) e 40 mm all'intradosso (classe XC3).

Cautelativamente si prevede un copriferro dello spessore pari a 50 mm.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	23 di 280

8. VERIFICA DELLE FASI TRANSITORIE

Si definiscono come carichi transitori le situazioni che avvengono dalla fabbricazione fino alla messa in opera dei conci.

Nel seguente capitolo si riportano le verifiche dei conci prefabbricati nelle varie fasi realizzative e costruttive tra cui:

- Fase di scassero;
- Fase di prima movimentazione;
- Fase di stoccaggio in stabilimento;
- Fase di trasporto in cantiere;
- Fase di stoccaggio in cantiere;
- Fase di movimentazione con erettore TBM;
- Fase di spinta dei martinetti;

In questa fase il calcestruzzo subisce una maturazione delle sue caratteristiche, di conseguenza sarà necessario eseguire alcune verifiche con le resistenze a breve termine, mentre altre con quelle a lungo termine.

Si riportano di seguito due tabelle riassuntive dei parametri dei materiali utilizzati per le verifiche delle fasi transitorie a breve e lungo termine:

Classe di resistenza calcestruzzo C 12/15		
<i>Resistenza cubica a compressione</i>	R_{ck} [MPa]	15.00
<i>Resistenza cilindrica caratteristica a compressione</i>	f_{ck} [MPa]	12.00
<i>Coefficiente parziale di sicurezza</i>	γ_c	1.50
<i>Coefficiente riduttivo resistenze di lunga durata</i>	α_{cc}	1.00
<i>Resistenza di progetto a compressione</i>	f_{cd} [MPa] = $\alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c =$	8.30
<i>Resistenza media a trazione</i>	f_{ctm} [MPa] = $0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} =$	1.61
<i>Resistenza media a trazione per flessione</i>	f_{ctfm} [MPa] = $1.2 \cdot f_{ctm} =$	1.93
<i>Resistenza caratteristica a trazione</i>	f_{ctk} [MPa] = $0.7 \cdot f_{ctm} =$	1.13
<i>Resistenza di progetto a trazione</i>	f_{ctd} [MPa] = $f_{ctk} / 1.5 =$	0.75

Tabella 8-1: Parametri materiali a breve termine C12/15

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	24 di 280
08 - GALLERIE							
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C							

Classe di resistenza calcestruzzo C 45/55		
Resistenza cubica a compressione	R_{ck} [MPa]	55.00
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f_{ck} [MPa]	45.00
Coefficiente parziale di sicurezza	γ_c	1.50
Coefficiente riduttivo resistenze di lunga durata	α_{cc}	1.00
Resistenza di progetto a compressione	f_{cd} [MPa] = $\alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c =$	30.43
Resistenza media a trazione	f_{ctm} [MPa] = $0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} =$	3.83
Resistenza media a trazione per flessione	f_{ctfm} [MPa] = $1.2 \cdot f_{ctm} =$	4.60
Resistenza caratteristica a trazione	f_{ctk} [MPa] = $0.7 \cdot f_{ctm} =$	2.68
Resistenza di progetto a trazione	f_{ctd} [MPa] = $f_{ctk} / 1.5 =$	1.79

Tabella 8-2: Parametri materiali a lungo termine C45/55

Di seguito si riporta la trattazione secondo NTC08 per le verifiche di resistenza sezionale eseguite in questo report.

Verifiche di resistenza flessionale (Mrd).

Per la valutazione della resistenza flessionale delle sezioni armate, si adottano le seguenti ipotesi:

- conservazione delle sezioni piane;
- perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo;
- resistenza a trazione del calcestruzzo nulla.

Con riferimento alla sezione pressoinflessa, la capacità in termini di resistenza, si determina in base alle ipotesi di calcolo e ai modelli σ - ϵ .

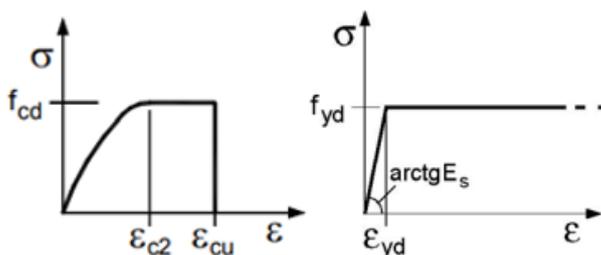


Figura 8-1: Modelli σ - ϵ

Le verifiche SLU si eseguono confrontando la sollecitazione agente con la capacità resistente della sezione.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	25 di 280

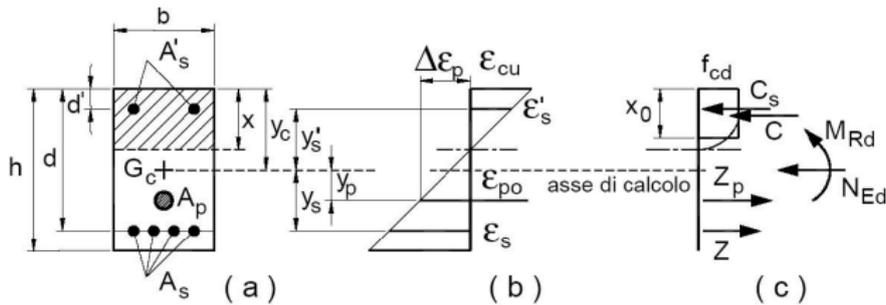


Figura 8-2: Sezione presso inflessa

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

Resistenza nei confronti di sollecitazioni taglianti per elementi senza armature trasversali (Vrd).

Le verifiche SLU si eseguono confrontando la capacità resistente della sezione, con la sua sollecitazione agente.

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

La resistenza di progetto a taglio valutata per elementi non armati è riportata di seguito come descritto dalle NTC08 al paragrafo §4.1.2.3.5.1.

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d; (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w d \right\}$$

Momento di prima fessurazione (Mcr)

Per il calcolo del momento di prima fessurazione si considera la sezione completamente reagente per determinare la sollecitazione flessionale che provoca, nella fibra tesa, il raggiungimento della f_{ctm} .

$$M_{cr} = \frac{J_i}{(h - d_{G,sup})} f_{ctm}$$

J_i : momento di inerzia omogeneizzato;

h : altezza della sezione;

$d_{G,sup}$: baricentro della sezione omogeneizzata rispetto al bordo superiore;

Le resistenze dei materiali e delle sezioni per ciascuna fase di analisi sono le seguenti:

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	26 di 280

<i>Fasi transitorie</i>	<i>Resistenza cilindrica caratteristica a compressione</i>	<i>Momento di prima fessurazione</i>	<i>Resistenza a taglio in assenza di armatura specifica</i>	<i>Momento resistente</i>
	f_{ck} [MPa]	M_{cr} [kNm]	V_{Rd} [kN]	M_{Rd} [kNm]
<i>Rimozione casseri</i>	12	71.3	202	227
<i>Prima movimentazione</i>	12	71.3	202	227
<i>Stoccaggio in stabilimento</i>	12	71.3	202	227
<i>Trasporto in cantiere</i>	45	169.5	366	264
<i>Stoccaggio in cantiere</i>	45	169.5	366	264
<i>Movimentazione con erettori TBM</i>	45	169.5	366	264

Tabella 8-3: Resistenze materiali e sezioni per ciascuna fase di analisi

Le sollecitazioni agenti nelle fasi transitorie sono state calcolate considerando schemi statici notevoli. Si riportano all'interno degli output dei fogli di calcolo le formulazioni al fine di rendere ripercorribile il calcolo delle sollecitazioni.

Le fasi di stoccaggio in stabilimento, prima movimentazione, trasporto in cantiere, stoccaggio in cantiere, movimentazione con erettore TBM vengono di seguito verificate per l'ipotesi 1 di armatura leggera, ovvero la condizione più sfavorevole a favore di sicurezza. Mentre la verifica della fase operativa le verifiche verranno svolte nelle relazioni relative alle gallerie Scaleres, Gardena ed Interconnessioni considerando le tre diverse ipotesi di armatura.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 27 di 280

8.1 SCASSERO

Durante la fase di scassero, oltre al peso proprio del concio, si assume la presenza di forze di adesione sulla superficie del cassero, valutate sulla base di esperienze analoghe.

Il carico è composto da:

- Peso proprio del concio P_p ;
- Incremento dovuto all'adesione 3.0 kN/m^2 .
- Incremento dinamico con coefficiente pari a 1,10.

Nelle verifiche allo scassero (SLE e SLU) si fa riferimento alle proprietà del materiale a breve termine e si considera un coefficiente pari a 1.3. In particolare, la geometria dello schema statico da adottare nella verifica sarà definita in relazione al tipo di sollevamento adottato (pinza meccanica).



Figura 8-3: Schema tipologico di movimentazione (pinza meccanica)

Si riportano di seguito le verifiche considerando il concio appeso e sollevato nella zona centrale come mostrato di seguito.

La simbologia utilizzata nei calcoli viene specificata nella figura riportata di seguito.

Le verifiche vengono svolte considerando la sola armatura di forza circonferenziale del concio tipo A, costituita da $8+8\phi 12$ e $6+6\phi 14$.

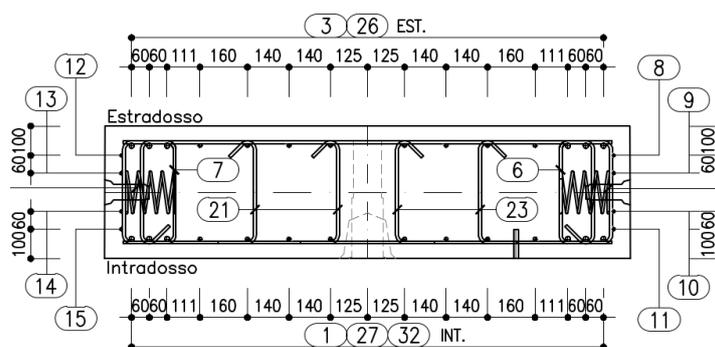


Figura 8-4: dettaglio concio tipo A

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 28 di 280	

A favore di sicurezza nelle verifiche verranno considerati 14+14 $\phi 12$.

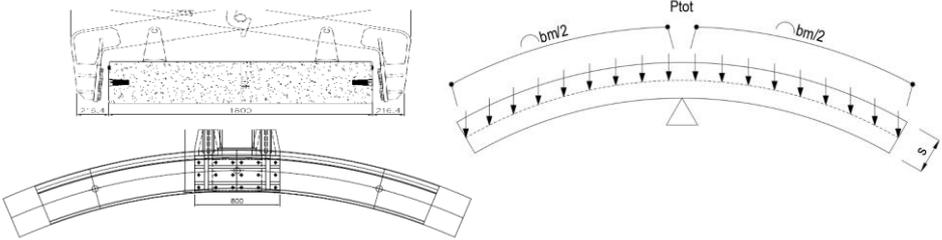
FASE DI SCASSERO			
$b_m = \text{lunghezza arco} = 4.17 \text{ m}$ $s = \text{spessore} = 0.45 \text{ m}$ $l = \text{lunghezza segmenti} = 1.80 \text{ m}$			
$f_{ck} = 12.45 \text{ MPa}$ $\gamma_c = 1.50$ $\alpha_{cc} = 1.00$ $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 8.30 \text{ MPa}$ $f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 1.61 \text{ MPa}$ $f_{ctm} = 1.2 \cdot f_{ctm} = 1.93 \text{ MPa}$ $f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 1.13 \text{ MPa}$ $f_{ctd} = f_{ctk} / 1.5 = 0.75 \text{ MPa}$			
Vengono riportate di seguito le azioni di carico di progetto:			
Peso proprio	$P_p = 25 \cdot 0.45 \cdot 1.8 = 20.25 \text{ KN/m}$		
Incremento dinamico	$P_v = 0.10 \cdot P_p = 2.0 \text{ KN/m}$		
Incremento dovuto all'adesione	$P_a = 3 \text{ kPa} \cdot 1.8 = 5.4 \text{ KN/m}$		
Carico totale	$P_{tot} = 27.7 \text{ KN/m}$		
Sollecitazioni massime:			
Momento flettente	$M_{max} = P_{tot} \cdot b_m^2 / 8 = 60.3 \text{ KNm}$		
Sforzo di taglio	$V_{max} = P_{tot} \cdot b_m / 2 = 57.8 \text{ KN}$		
Sollecitazioni massime combinazione SLU:			
Momento flettente	$M_{ed} = 1.3 \cdot M_{max} = 78.4 \text{ KNm}$		
Sforzo di taglio	$V_{ed} = 1.3 \cdot V_{max} = 75.1 \text{ KN}$		
Verifica momento flettente:	$M_{rd} = 227.0 \text{ KNm}$	$FS = M_{rd} / M_{ed} = 2.9$	Verifica soddisfatta
Verifica sforzo di taglio:	$V_{rd} (\text{sezione non armata}) = 202.0 \text{ KN}$	$FS = V_{rd} / V_{ed} = 2.7$	Verifica soddisfatta
Verifica di fessurazione:	Area sezione $A = s \cdot L = 0.81 \text{ m}^2$ Altezza utile sezione $d = s - c - \phi_s - \phi / 2 = 0.384 \text{ m}$ Modulo di resistenza $W = 1/6 \cdot L \cdot d^2 = 0.044 \text{ m}^3$ Momento di prima fessurazione $M_{cr} = f_{ctm} \cdot W = 71.3 \text{ kNm}$ Tensione massima CLS $\sigma = N_{max} / A + M_{max} / W = 1.4 \text{ MPa}$ Resistenza media a trazione del CLS $f_{ctm} = 1.6 \text{ MPa}$ Resistenza media a flessione del CLS $f_{ctm} = 1.9 \text{ MPa}$	$FS = M_{cr} / M_{max} = 1.2$ $FS = f_{ctm} / \sigma = 1.2$ $FS = f_{ctm} / \sigma = 1.4$	Verifica soddisfatta Verifica soddisfatta Verifica soddisfatta
Durante la fase di scassero il concio non presenta fenomeni di fessurazione.			
Durante la fase di scassero il concio non presenta fenomeni di fessurazione per flessione.			

Figura 8-5: Verifica in fase di scassero (C12/15)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 29 di 280

8.1.1 Verifica dominio M-N SLU

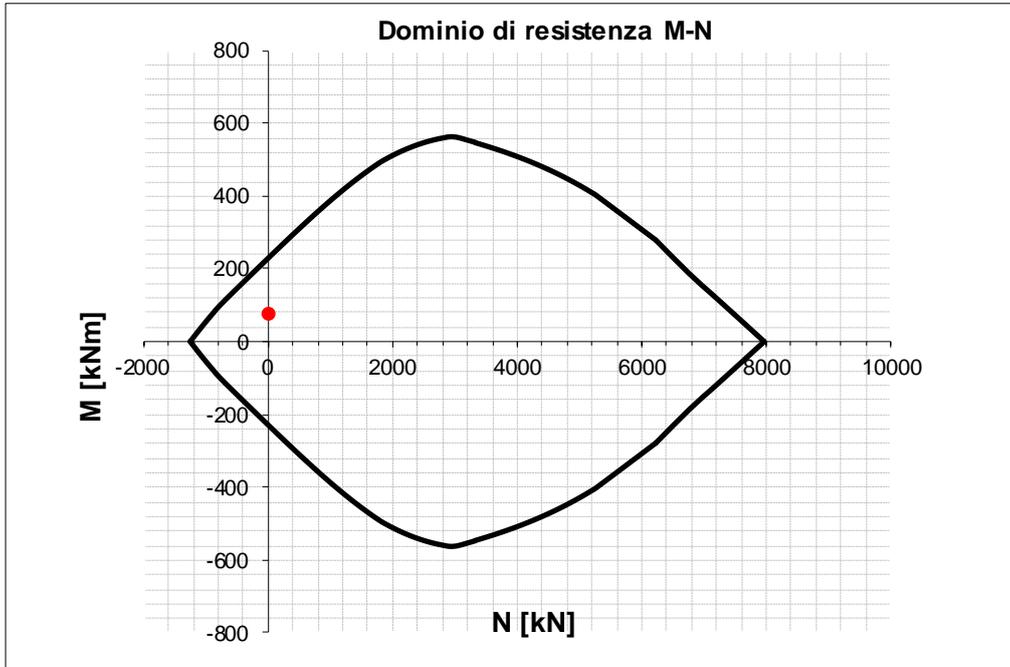


Figura 8-6: Dominio di resistenza M-N, fase di scassero (C12/15)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 30 di 280

8.2 PRIMA MOVIMENTAZIONE IN STABILIMENTO

Durante la prima movimentazione i carichi agenti risultano connessi al peso proprio dell'elemento, si assume la presenza di forze dinamiche, valutate sulla base di esperienze analoghe.

Il carico è composto da:

- Peso proprio del concio P_p ;
- Incremento dinamico con coefficiente pari a 1,10

Nelle verifiche alla prima movimentazione (SLE e SLU) si fa riferimento alle proprietà del materiale a breve termine e si considera un coefficiente di pari a 1.3.



Figura 8-7: Sistema di movimentazione dei conci in stabilimento

Si riportano di seguito le sollecitazioni durante la fase di prima movimentazione in stabilimento, vengono valutate considerando tre schemi di carico differenti, Figura 8-7, e verificando il più cautelativo.

La simbologia utilizzata nei calcoli viene specificata nella figura riportata di seguito.

Le verifiche vengono svolte considerando la sola armatura di forza circonferenziale del concio tipo A, costituita da $8+8\phi 12$ e $6+6\phi 14$.

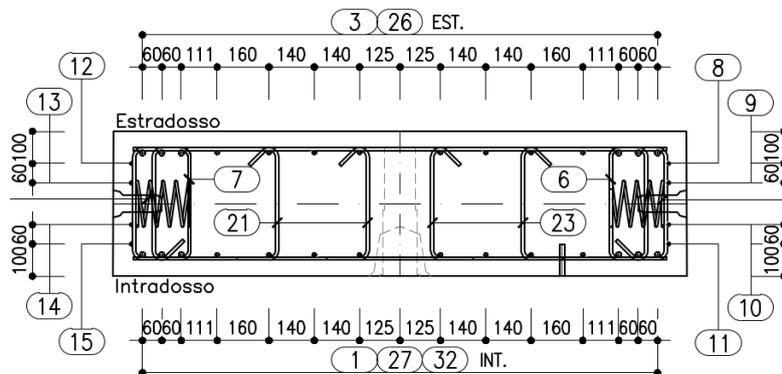


Figura 8-8: dettaglio concio tipo A

A favore di sicurezza nelle verifiche verranno considerati $14+14 \phi 12$.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 31 di 280

Come si evince dalla seguente, cautelativamente, nel calcolo si considera una lunghezza delle mensole pari a $b_m/3=1.39\text{m}$ maggiore della lunghezza reale pari a $(b_m-1.7)/2=1.24\text{m}$.

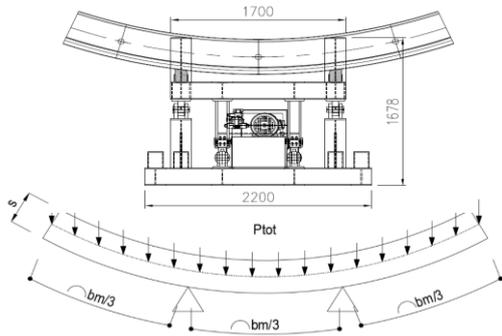
PRIMA MOVIMENTAZIONE																						
$b_m = \text{lunghezza arco} = 4.17 \text{ m}$ $s = \text{spessore} = 0.45 \text{ m}$ $l = \text{lunghezza segmenti} = 1.80 \text{ m}$																						
$f_{ck} = 12.45 \text{ MPa}$ $\gamma_c = 1.50$ $\alpha_{cc} = 1.00$ $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 8.30 \text{ MPa}$ $f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 1.61 \text{ MPa}$ $f_{ctm} = 1.2 \cdot f_{ctm} = 1.93 \text{ MPa}$ $f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 1.13 \text{ MPa}$ $f_{ctd} = f_{ctk} / 1.5 = 0.75 \text{ MPa}$																						
Vengono riportate di seguito le azioni di carico di progetto:	$P_p = 25 \cdot 0.45 \cdot 1.8 = 20.3 \text{ KN/m}$ $P_v = 0.10 \cdot P_p = 2.0 \text{ KN/m}$ $P_{tot} = 22.3 \text{ KN/m}$																					
Sollecitazioni massime: Momento flettente Sforzo di taglio	$M_{max} = P_{tot} \cdot b_m^2 / 18 = 21.6 \text{ KNm}$ $V_{max} = P_{tot} \cdot b_m / 3 = 31.0 \text{ KN}$																					
Sollecitazioni massime combinazione SLU: Momento flettente Sforzo di taglio	$M_{ed} = 1.3 \cdot M_{max} = 28.0 \text{ KNm}$ $V_{ed} = 1.3 \cdot V_{max} = 40.3 \text{ KN}$																					
Verifica momento flettente:	$M_{rd} = 227.0 \text{ KNm}$ $FS = M_{ed} / M_{rd} = 8.1$ Verifica soddisfatta																					
Verifica sforzo di taglio:	$V_{rd} (\text{sezione non armata}) = 202.0 \text{ KN}$ $FS = V_{ed} / V_{rd} = 5.0$ Verifica soddisfatta																					
Verifica di fessurazione:	<table border="0"> <tr> <td>Area sezione</td> <td>$A = s \cdot L = 0.81 \text{ m}^2$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Altezza utile sezione</td> <td>$d = s - c - \phi_s - \phi / 2 = 0.384 \text{ m}$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Modulo di resistenza</td> <td>$W = 1/6 \cdot L \cdot d^2 = 0.044 \text{ m}^3$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Momento di prima fessurazione</td> <td>$M_{cr} = f_{ctm} \cdot W = 71.3 \text{ kNm}$</td> <td>$FS = M_{ed} / M_{max} = 3.3$ Verifica soddisfatta</td> </tr> <tr> <td>Tensione massima CLS</td> <td>$\sigma = N_{max} / A + M_{max} / W = 0.5 \text{ MPa}$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resistenza media a trazione del CLS</td> <td>$f_{ctm} = 1.6 \text{ MPa}$</td> <td>$FS = f_{ctm} / \sigma = 3.3$ Verifica soddisfatta</td> </tr> <tr> <td>Resistenza media a flessione del CLS</td> <td>$f_{ctm} = 1.9 \text{ MPa}$</td> <td>$FS = f_{ctm} / \sigma = 4.0$ Verifica soddisfatta</td> </tr> </table>	Area sezione	$A = s \cdot L = 0.81 \text{ m}^2$		Altezza utile sezione	$d = s - c - \phi_s - \phi / 2 = 0.384 \text{ m}$		Modulo di resistenza	$W = 1/6 \cdot L \cdot d^2 = 0.044 \text{ m}^3$		Momento di prima fessurazione	$M_{cr} = f_{ctm} \cdot W = 71.3 \text{ kNm}$	$FS = M_{ed} / M_{max} = 3.3$ Verifica soddisfatta	Tensione massima CLS	$\sigma = N_{max} / A + M_{max} / W = 0.5 \text{ MPa}$		Resistenza media a trazione del CLS	$f_{ctm} = 1.6 \text{ MPa}$	$FS = f_{ctm} / \sigma = 3.3$ Verifica soddisfatta	Resistenza media a flessione del CLS	$f_{ctm} = 1.9 \text{ MPa}$	$FS = f_{ctm} / \sigma = 4.0$ Verifica soddisfatta
Area sezione	$A = s \cdot L = 0.81 \text{ m}^2$																					
Altezza utile sezione	$d = s - c - \phi_s - \phi / 2 = 0.384 \text{ m}$																					
Modulo di resistenza	$W = 1/6 \cdot L \cdot d^2 = 0.044 \text{ m}^3$																					
Momento di prima fessurazione	$M_{cr} = f_{ctm} \cdot W = 71.3 \text{ kNm}$	$FS = M_{ed} / M_{max} = 3.3$ Verifica soddisfatta																				
Tensione massima CLS	$\sigma = N_{max} / A + M_{max} / W = 0.5 \text{ MPa}$																					
Resistenza media a trazione del CLS	$f_{ctm} = 1.6 \text{ MPa}$	$FS = f_{ctm} / \sigma = 3.3$ Verifica soddisfatta																				
Resistenza media a flessione del CLS	$f_{ctm} = 1.9 \text{ MPa}$	$FS = f_{ctm} / \sigma = 4.0$ Verifica soddisfatta																				
Durante la fase di prima movimentazione il concio non presenta fenomeni di fessurazione. Durante la fase di prima movimentazione il concio non presenta fenomeni di fessurazione per flessione.																						

Figura 8-9: Verifica in fase di prima movimentazione in stabilimento (C12/15)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 32 di 280

8.2.1 Verifica dominio M-N SLU

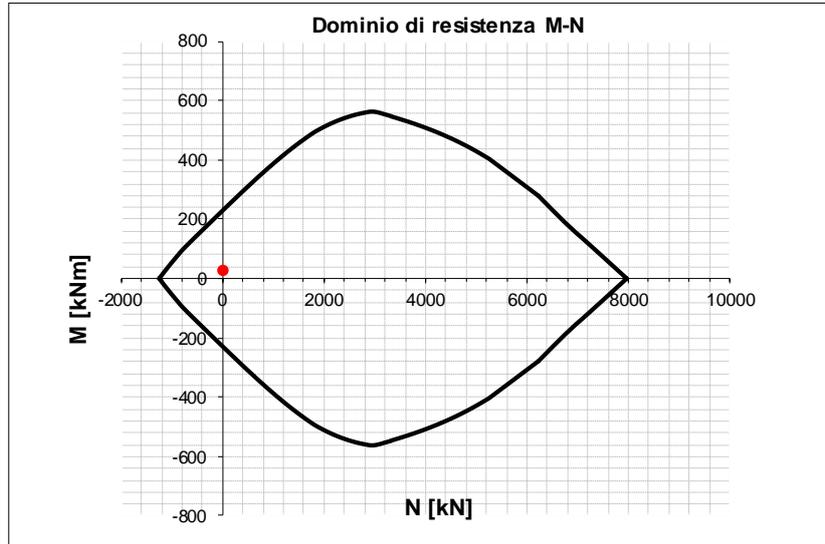


Figura 8-10. Dominio di resistenza M-N, fase di prima movimentazione (C12/15)

8.3 STOCCAGGIO IN STABILIMENTO

In questa fase gli elementi sono stoccati uno sopra l'altro in attesa della maturazione del calcestruzzo.

Essendo il calcestruzzo in fase di maturazione, il numero di conci da accatastare dipende dalle condizioni di produzione. In genere si considera mezzo anello, ma sarà valutato caso per caso. In aggiunta alla verifica della situazione ordinaria, deve essere verificata la situazione dove si considerano le eccentricità dei supporti in legno, in entrambe le direzioni interna ed esterna (in figura si riporta la sola casistica con forza F interna e supporto a terra esterno).



Figura 8-11: Esempio di stoccaggio in stabilimento e schema statico tipologico

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 33 di 280

La verifica viene condotta sul concio posizionato in fondo alla catasta. Sul concio in questione agisce il peso proprio ed il peso dei conci superiori trasferiti dai travetti di appoggio. Nelle verifiche di stoccaggio in stabilimento (SLE e SLU) si fa riferimento alle proprietà del materiale a breve termine.

Si riportano di seguito le sollecitazioni durante la fase di stoccaggio in stabilimento, lo schema statico è quello di una trave appoggio-appoggio, con due sbalzi laterali e si assume un'eccentricità di 20 cm tra lo scarico dei conci superiori e la reazione di appoggio del concio sottostante.

Al fine di considerare la reale distribuzione degli sforzi, dovuta alla disposizione degli elementi di appoggio sulla pila dei conci, viene applicata la prescrizione riportata nell'EC2 al §6.2.2 applicando un fattore $\beta = 0.26$ al valore del taglio agente.

La simbologia utilizzata nei calcoli viene specificata nella figura riportata di seguito.

Le verifiche vengono svolte considerando la sola armatura di forza circonferenziale del concio tipo A, costituita da 8+8 ϕ 12 e 6+6 ϕ 14.

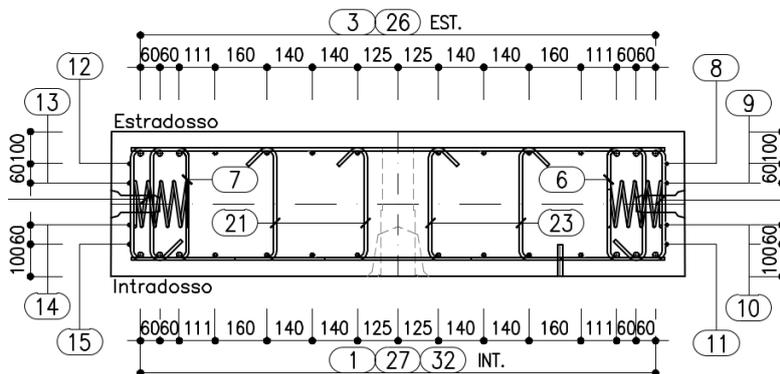


Figura 8-12: dettaglio concio tipo A

A favore di sicurezza nelle verifiche verranno considerati 14+14 ϕ 12.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 34 di 280

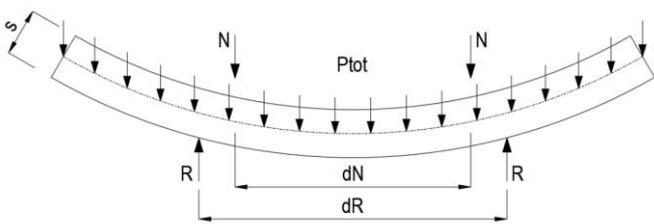
STOCCAGGIO IN STABILIMENTO																			
<table border="1"> <tr><td>b_m = lunghezza arco =</td><td>4.17 m</td></tr> <tr><td>b_{mk} = lunghezza arco (key) =</td><td>4.17 m</td></tr> <tr><td>s = spessore =</td><td>0.45 m</td></tr> <tr><td>l = lunghezza segmenti =</td><td>1.80 m</td></tr> </table>	b_m = lunghezza arco =	4.17 m	b_{mk} = lunghezza arco (key) =	4.17 m	s = spessore =	0.45 m	l = lunghezza segmenti =	1.80 m											
b_m = lunghezza arco =	4.17 m																		
b_{mk} = lunghezza arco (key) =	4.17 m																		
s = spessore =	0.45 m																		
l = lunghezza segmenti =	1.80 m																		
<table border="1"> <tr><td>$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} =$</td><td>12.45 MPa</td></tr> <tr><td>$\gamma_c =$</td><td>1.50 -</td></tr> <tr><td>$\alpha_{cc} =$</td><td>1.00 -</td></tr> <tr><td>$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c =$</td><td>8.30 MPa</td></tr> <tr><td>$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} =$</td><td>1.61 MPa</td></tr> <tr><td>$f_{ctm} = 1.2 \cdot f_{ctm} =$</td><td>4.60 MPa</td></tr> <tr><td>$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} =$</td><td>1.13 MPa</td></tr> <tr><td>$f_{ctd} = f_{ctk} / 1.5 =$</td><td>0.75 MPa</td></tr> </table>	$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} =$	12.45 MPa	$\gamma_c =$	1.50 -	$\alpha_{cc} =$	1.00 -	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c =$	8.30 MPa	$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} =$	1.61 MPa	$f_{ctm} = 1.2 \cdot f_{ctm} =$	4.60 MPa	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} =$	1.13 MPa	$f_{ctd} = f_{ctk} / 1.5 =$	0.75 MPa			
$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} =$	12.45 MPa																		
$\gamma_c =$	1.50 -																		
$\alpha_{cc} =$	1.00 -																		
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c =$	8.30 MPa																		
$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} =$	1.61 MPa																		
$f_{ctm} = 1.2 \cdot f_{ctm} =$	4.60 MPa																		
$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} =$	1.13 MPa																		
$f_{ctd} = f_{ctk} / 1.5 =$	0.75 MPa																		
<table border="1"> <tr><td>Numero di elementi stoccati</td><td>$n = 4 + 0$</td></tr> <tr><td>Spaziatura tra gli elementi di appoggio tra conci consecutivi</td><td>$dN = 1.4$ m</td></tr> <tr><td>Spaziatura tra gli elementi di appoggio alla base</td><td>$dR = 1.8$ m</td></tr> <tr><td>Coefficiente dinamico</td><td>$\alpha_d = 1.1$</td></tr> </table>	Numero di elementi stoccati	$n = 4 + 0$	Spaziatura tra gli elementi di appoggio tra conci consecutivi	$dN = 1.4$ m	Spaziatura tra gli elementi di appoggio alla base	$dR = 1.8$ m	Coefficiente dinamico	$\alpha_d = 1.1$											
Numero di elementi stoccati	$n = 4 + 0$																		
Spaziatura tra gli elementi di appoggio tra conci consecutivi	$dN = 1.4$ m																		
Spaziatura tra gli elementi di appoggio alla base	$dR = 1.8$ m																		
Coefficiente dinamico	$\alpha_d = 1.1$																		
Vengono riportate di seguito le azioni di carico di progetto:																			
Peso proprio	$Pp = 25 \cdot 0.45 \cdot 1.8 = 20.3$ KN/m																		
Carico elementi stoccati e carico dinamico	$N = 0,5 \cdot 20.3 \cdot (4.2 \cdot (4-2) + 4.2 \cdot 1.1) = 131.0$ KN																		
Reazione agli appoggi di base	$R = 173.3$ KN																		
Vengono riportate di seguito le sollecitazioni in corrispondenza delle tre sezioni di calcolo rappresentative:																			
Sollecitazioni in corrispondenza dell'appoggio alla base:																			
- Momento flettente	$M_a = P_p \cdot ((b_m - dR)/2)^2 / 2 = 14.3$ KNm																		
- Sforzo di taglio	$V_a = \max(P_p \cdot (b_m - dR)/2; P_p \cdot (b_m - dR)/2 - R) = 149.2$ KN																		
Sollecitazioni in corrispondenza del primo elemento di supporto:																			
- Momento flettente	$M_b = P_p \cdot ((b_m - dR)/2)^2 / 2 - R \cdot (dR - dN)/2 = 15.2$ KNm																		
- Sforzo di taglio	$V_b = P_p \cdot (b_m - dN)/2 - R = 145.2$ KN																		
Sollecitazioni in corrispondenza della mezzeria del concio:																			
- Momento flettente	$M_c = P_p / 8 \cdot (dR^2 - 4((b_m - dR)/2)^2) + (N \cdot (dR - dN))/2 = 20.1$ KNm																		
- Sforzo di taglio	$V_c = P_p \cdot b_m / 2 - R + N = 0.0$ KN																		
Sollecitazioni massime combinazione SLU:																			
Momento flettente	$M_{ed} = 1.3 \cdot M_{max} = 26.18$ KNm																		
Sforzo di taglio (EC2 §6.2.2)	$V_{ed} = 1.3 \cdot \beta \cdot V_{max} = 1.3 \cdot 0.26 \cdot V_{max} = 50.5$ KN																		
Verifica momento flettente:	$M_{rd} = 227.0$ KNm	$FS = M_{rd} / M_{ed} = 8.7$ Verifica soddisfatta																	
Verifica sforzo di taglio:	V_{rd} (sezione non armata) = 202.0 kN	$FS = V_{rd} / V_{ed} = 4.0$ Verifica soddisfatta																	
Verifica di fessurazione:	<table border="1"> <tr><td>Area sezione</td><td>$A = s \cdot L = 0.81$ m²</td></tr> <tr><td>Altezza utile sezione</td><td>$d = s - c - \phi_s - \phi_f / 2 = 0.384$ m</td></tr> <tr><td>Modulo di resistenza</td><td>$W = 1/6 \cdot L \cdot d^2 = 0.044$ m³</td></tr> <tr><td>Momento di prima fessurazione</td><td>$M_{cr} = f_{ctm} \cdot W = 71.3$ kNm</td></tr> <tr><td>Tensione massima CLS</td><td>$\sigma = N_{max} / A + M_{max} / W = 0.5$ MPa</td></tr> <tr><td>Resistenza media a trazione del CLS</td><td>$f_{ctm} = 1.6$ MPa</td></tr> <tr><td>Resistenza media a flessione del CLS</td><td>$f_{ctm} = 1.9$ MPa</td></tr> </table>	Area sezione	$A = s \cdot L = 0.81$ m ²	Altezza utile sezione	$d = s - c - \phi_s - \phi_f / 2 = 0.384$ m	Modulo di resistenza	$W = 1/6 \cdot L \cdot d^2 = 0.044$ m ³	Momento di prima fessurazione	$M_{cr} = f_{ctm} \cdot W = 71.3$ kNm	Tensione massima CLS	$\sigma = N_{max} / A + M_{max} / W = 0.5$ MPa	Resistenza media a trazione del CLS	$f_{ctm} = 1.6$ MPa	Resistenza media a flessione del CLS	$f_{ctm} = 1.9$ MPa	<table border="1"> <tr><td>$FS = M_{cr} / M_{max} = 3.5$ Verifica soddisfatta</td></tr> <tr><td>$FS = f_{ctm} / \sigma = 3.5$ Verifica soddisfatta</td></tr> <tr><td>$FS = f_{ctm} / \sigma = 4.2$ Verifica soddisfatta</td></tr> </table>	$FS = M_{cr} / M_{max} = 3.5$ Verifica soddisfatta	$FS = f_{ctm} / \sigma = 3.5$ Verifica soddisfatta	$FS = f_{ctm} / \sigma = 4.2$ Verifica soddisfatta
Area sezione	$A = s \cdot L = 0.81$ m ²																		
Altezza utile sezione	$d = s - c - \phi_s - \phi_f / 2 = 0.384$ m																		
Modulo di resistenza	$W = 1/6 \cdot L \cdot d^2 = 0.044$ m ³																		
Momento di prima fessurazione	$M_{cr} = f_{ctm} \cdot W = 71.3$ kNm																		
Tensione massima CLS	$\sigma = N_{max} / A + M_{max} / W = 0.5$ MPa																		
Resistenza media a trazione del CLS	$f_{ctm} = 1.6$ MPa																		
Resistenza media a flessione del CLS	$f_{ctm} = 1.9$ MPa																		
$FS = M_{cr} / M_{max} = 3.5$ Verifica soddisfatta																			
$FS = f_{ctm} / \sigma = 3.5$ Verifica soddisfatta																			
$FS = f_{ctm} / \sigma = 4.2$ Verifica soddisfatta																			
Durante la fase di stoccaggio in stabilimento il conio non presenta fenomeni di fessurazione.																			
Durante la fase di stoccaggio in stabilimento il conio non presenta fenomeni di fessurazione per flessione.																			

Figura 8-13: Verifica in fase di stoccaggio in stabilimento (C12/15)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 35 di 280

8.3.1 Verifica dominio M-N SLU

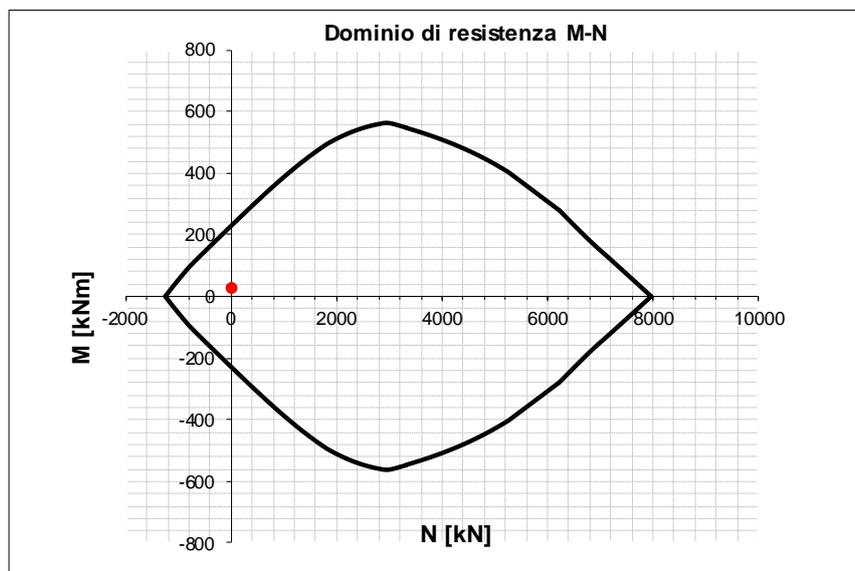


Figura 8-14: Dominio di resistenza M-N, fase di stoccaggio in stabilimento (C12/15)

8.4 TRASPORTO IN CANTIERE

In questa fase i conci possono essere soggetti a dei carichi dinamici che devono essere valutati durante la fase di progetto.



Figura 8-15: Fase di trasporto dei conci su gomma o su rotaia

In generale, si può considerare che l'entità di questo carico provoca una eccentricità dei supporti in legno, essendo lo schema strutturale ipotizzato come una trave semplicemente appoggiata.

In questo caso, visto che il trasporto si realizza a completa maturazione del concio, il parametro di confronto sarà la resistenza a lungo termine del calcestruzzo armato (28 giorni).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 36 di 280

Il carico agente, peso proprio del concio, sarà incrementato attraverso un coefficiente di amplificazione che dipende dalla tipologia di trasporto. Nelle verifiche di trasporto (SLE e SLU) si fa riferimento alle proprietà del materiale a lungo termine e si considera un coefficiente di sicurezza pari a 1.3.

Si riportano di seguito le sollecitazioni durante la fase di trasporto in cantiere, lo schema statico è quello di una trave appoggio-appoggio, con due sbalzi laterali e si assume un'eccentricità di 20 cm tra lo scarico dei conci superiori e la reazione di appoggio del concio sottostante.

Al fine di considerare la reale distribuzione degli sforzi, dovuta alla disposizione degli elementi di appoggio sulla pila dei conci, viene applicata la prescrizione riportata nell'EC2 al §6.2.2 applicando un fattore $\beta = 0.26$ al valore del taglio agente.

Le verifiche vengono svolte considerando la sola armatura di forza circonferenziale del concio tipo A, costituita da 8+8 ϕ 12 e 6+6 ϕ 14.

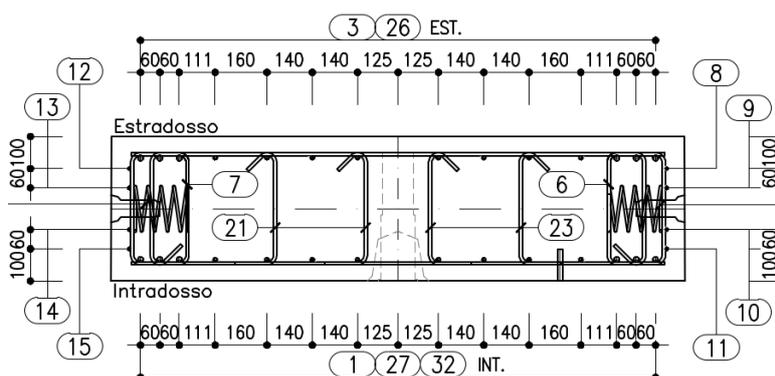


Figura 8-16: dettaglio concio tipo A

A favore di sicurezza nelle verifiche verranno considerati 14+14 ϕ 12.

La simbologia utilizzata nei calcoli viene specificata nella figura riportata di seguito.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 37 di 280

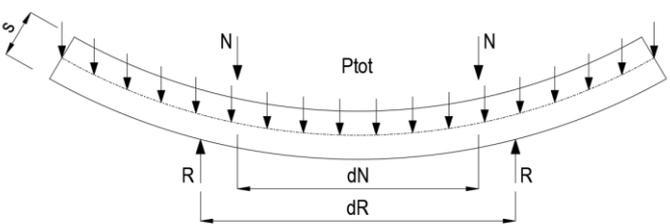
TRASPORTO IN CANTIERE																																
<table border="1"> <tr> <td>b_m = lunghezza arco =</td> <td>4.17 m</td> </tr> <tr> <td>b_{mk} = lunghezza arco (key) =</td> <td>4.17 m</td> </tr> <tr> <td>s = spessore =</td> <td>0.45 m</td> </tr> <tr> <td>l = lunghezza segmenti =</td> <td>1.80 m</td> </tr> </table>	b_m = lunghezza arco =	4.17 m	b_{mk} = lunghezza arco (key) =	4.17 m	s = spessore =	0.45 m	l = lunghezza segmenti =	1.80 m																								
b_m = lunghezza arco =	4.17 m																															
b_{mk} = lunghezza arco (key) =	4.17 m																															
s = spessore =	0.45 m																															
l = lunghezza segmenti =	1.80 m																															
<table border="1"> <tr> <td>$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} =$</td> <td>45.65 MPa</td> </tr> <tr> <td>$\gamma_c =$</td> <td>1.50 -</td> </tr> <tr> <td>$\alpha_{cc} =$</td> <td>1.00 -</td> </tr> <tr> <td>$f_{ctd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ctk} / \gamma_c =$</td> <td>30.43 MPa</td> </tr> <tr> <td>$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} =$</td> <td>3.83 MPa</td> </tr> <tr> <td>$f_{ctm} = 1.2 \cdot f_{ctm} =$</td> <td>4.60 MPa</td> </tr> <tr> <td>$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} =$</td> <td>2.68 MPa</td> </tr> <tr> <td>$f_{ctd} = f_{ctk} / 1.5 =$</td> <td>1.79 MPa</td> </tr> </table>	$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} =$	45.65 MPa	$\gamma_c =$	1.50 -	$\alpha_{cc} =$	1.00 -	$f_{ctd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ctk} / \gamma_c =$	30.43 MPa	$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} =$	3.83 MPa	$f_{ctm} = 1.2 \cdot f_{ctm} =$	4.60 MPa	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} =$	2.68 MPa	$f_{ctd} = f_{ctk} / 1.5 =$	1.79 MPa																
$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} =$	45.65 MPa																															
$\gamma_c =$	1.50 -																															
$\alpha_{cc} =$	1.00 -																															
$f_{ctd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ctk} / \gamma_c =$	30.43 MPa																															
$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} =$	3.83 MPa																															
$f_{ctm} = 1.2 \cdot f_{ctm} =$	4.60 MPa																															
$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} =$	2.68 MPa																															
$f_{ctd} = f_{ctk} / 1.5 =$	1.79 MPa																															
<table border="1"> <tr> <td>Numero di elementi stoccati</td> <td>$n = 4 + 0$</td> </tr> <tr> <td>Spaziatura tra gli elementi di appoggio tra conci consecutivi</td> <td>$dN = 1.4$ m</td> </tr> <tr> <td>Spaziatura tra gli elementi di appoggio alla base</td> <td>$dR = 1.8$ m</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente dinamico</td> <td>$\alpha_d = 2.0$</td> </tr> </table>	Numero di elementi stoccati	$n = 4 + 0$	Spaziatura tra gli elementi di appoggio tra conci consecutivi	$dN = 1.4$ m	Spaziatura tra gli elementi di appoggio alla base	$dR = 1.8$ m	Coefficiente dinamico	$\alpha_d = 2.0$																								
Numero di elementi stoccati	$n = 4 + 0$																															
Spaziatura tra gli elementi di appoggio tra conci consecutivi	$dN = 1.4$ m																															
Spaziatura tra gli elementi di appoggio alla base	$dR = 1.8$ m																															
Coefficiente dinamico	$\alpha_d = 2.0$																															
Vengono riportate di seguito le azioni di carico di progetto:																																
<table border="1"> <tr> <td>Peso proprio</td> <td>$Pp = 25 \cdot 0.45 \cdot 1.8 =$</td> <td>20.3 KN/m</td> </tr> <tr> <td>Carico elementi stoccati e carico dinamico</td> <td>$N = 0,5 \cdot 20.3 \cdot (4.2 \cdot (4-2) + 4.2 \cdot 2) =$</td> <td>169.0 KN</td> </tr> <tr> <td>Reazione agli appoggi di base</td> <td>$R =$</td> <td>211.3 KN</td> </tr> </table>	Peso proprio	$Pp = 25 \cdot 0.45 \cdot 1.8 =$	20.3 KN/m	Carico elementi stoccati e carico dinamico	$N = 0,5 \cdot 20.3 \cdot (4.2 \cdot (4-2) + 4.2 \cdot 2) =$	169.0 KN	Reazione agli appoggi di base	$R =$	211.3 KN																							
Peso proprio	$Pp = 25 \cdot 0.45 \cdot 1.8 =$	20.3 KN/m																														
Carico elementi stoccati e carico dinamico	$N = 0,5 \cdot 20.3 \cdot (4.2 \cdot (4-2) + 4.2 \cdot 2) =$	169.0 KN																														
Reazione agli appoggi di base	$R =$	211.3 KN																														
Vengono riportate di seguito le sollecitazioni in corrispondenza delle tre sezioni di calcolo rappresentative:																																
Sollecitazioni in corrispondenza dell'appoggio alla base:																																
- Momento flettente	$M_o = P_p \cdot ((b_m - dR)/2)^2 / 2 =$	14.3 KNm																														
- Sforzo di taglio	$V_o = \max(P_p \cdot (b_m - dR)/2; P_p \cdot (b_m - dR)/2 - R) =$	187.3 KN																														
Sollecitazioni in corrispondenza del primo elemento di supporto:																																
- Momento flettente	$M_b = P_p \cdot ((b_m - dR)/2)^2 / 2 - R \cdot (dR - dN)/2 =$	22.8 KNm																														
- Sforzo di taglio	$V_b = P_p \cdot (b_m - dN)/2 - R =$	183.2 KN																														
Sollecitazioni in corrispondenza della mezzeria del concio:																																
- Momento flettente	$M_b = P_p / 8 \cdot (dR^2 - 4((b_m - dR)/2)^2) + (N \cdot (dR - dN))/2 =$	27.7 KNm																														
- Sforzo di taglio	$V_b = P_p \cdot b_m / 2 - R + N =$	0.0 KN																														
Sollecitazioni massime combinazione SLU:																																
Momento flettente	$M_{ed} = 1.3 \cdot M_{max} =$	36.1 KNm																														
Sforzo di taglio (EC2 §6.2.2)	$V_{ed} = 1.3 \cdot \beta \cdot V_{max} = 1.3 \cdot 0.26 \cdot V_{max} =$	63.4 KN																														
Verifica momento flettente:	$M_{rd} = 264.0$ KNm	$FS = M_{rd} / M_{ed} = 7.3$ Verifica soddisfatta																														
Verifica sforzo di taglio:	$V_{rd}(\text{sezione non armata}) = 366.0$ kN	$FS = V_{rd} / V_{ed} = 5.8$ Verifica soddisfatta																														
Verifica di fessurazione:	<table border="1"> <tr> <td>Area sezione</td> <td>$A = s \cdot l =$</td> <td>0.81 m²</td> </tr> <tr> <td>Altezza utile sezione</td> <td>$d = s - c - \phi_s - \phi / 2 =$</td> <td>0.384 m</td> </tr> <tr> <td>Modulo di resistenza</td> <td>$W = 1/6 \cdot l \cdot d^2 =$</td> <td>0.044 m³</td> </tr> <tr> <td>Momento di prima fessurazione</td> <td>$M_{cr} = f_{ctm} \cdot W =$</td> <td>169.5 kNm</td> </tr> <tr> <td>Tensione massima CLS</td> <td>$\sigma = N_{max} / A + M_{max} / W =$</td> <td>0.6 MPa</td> </tr> <tr> <td>Resistenza media a trazione del CLS</td> <td>$f_{ctm} =$</td> <td>3.8 MPa</td> </tr> <tr> <td>Resistenza media a flessione del CLS</td> <td>$f_{ctm} =$</td> <td>4.6 MPa</td> </tr> </table>	Area sezione	$A = s \cdot l =$	0.81 m ²	Altezza utile sezione	$d = s - c - \phi_s - \phi / 2 =$	0.384 m	Modulo di resistenza	$W = 1/6 \cdot l \cdot d^2 =$	0.044 m ³	Momento di prima fessurazione	$M_{cr} = f_{ctm} \cdot W =$	169.5 kNm	Tensione massima CLS	$\sigma = N_{max} / A + M_{max} / W =$	0.6 MPa	Resistenza media a trazione del CLS	$f_{ctm} =$	3.8 MPa	Resistenza media a flessione del CLS	$f_{ctm} =$	4.6 MPa	<table border="1"> <tr> <td>$FS = M_{cr} / M_{max} =$</td> <td>6.1</td> <td>Verifica soddisfatta</td> </tr> <tr> <td>$FS = f_{ctm} / \sigma =$</td> <td>6.1</td> <td>Verifica soddisfatta</td> </tr> <tr> <td>$FS = f_{ctm} / \sigma =$</td> <td>7.3</td> <td>Verifica soddisfatta</td> </tr> </table>	$FS = M_{cr} / M_{max} =$	6.1	Verifica soddisfatta	$FS = f_{ctm} / \sigma =$	6.1	Verifica soddisfatta	$FS = f_{ctm} / \sigma =$	7.3	Verifica soddisfatta
Area sezione	$A = s \cdot l =$	0.81 m ²																														
Altezza utile sezione	$d = s - c - \phi_s - \phi / 2 =$	0.384 m																														
Modulo di resistenza	$W = 1/6 \cdot l \cdot d^2 =$	0.044 m ³																														
Momento di prima fessurazione	$M_{cr} = f_{ctm} \cdot W =$	169.5 kNm																														
Tensione massima CLS	$\sigma = N_{max} / A + M_{max} / W =$	0.6 MPa																														
Resistenza media a trazione del CLS	$f_{ctm} =$	3.8 MPa																														
Resistenza media a flessione del CLS	$f_{ctm} =$	4.6 MPa																														
$FS = M_{cr} / M_{max} =$	6.1	Verifica soddisfatta																														
$FS = f_{ctm} / \sigma =$	6.1	Verifica soddisfatta																														
$FS = f_{ctm} / \sigma =$	7.3	Verifica soddisfatta																														
Durante la fase di trasporto in cantiere il concio non presenta fenomeni di fessurazione.																																
Durante la fase di trasporto in cantiere il concio non presenta fenomeni di fessurazione per flessione.																																

Figura 8-17: Verifica in fase di trasporto dei conci in cantiere (C45/55)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 38 di 280

8.4.1 Verifica dominio M-N SLU

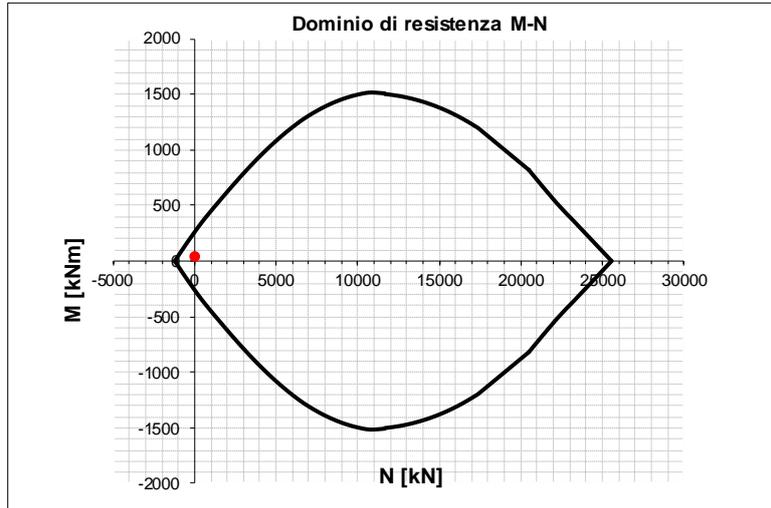


Figura 8-18: Dominio di resistenza M-N, fase di trasporto in cantiere (C45/55)

8.5 STOCCAGGIO IN CANTIERE

Questa verifica è strutturalmente identica a quella dello stoccaggio in fabbrica: ci sono, tuttavia, quattro importanti differenze:

- si realizza questa verifica considerando il materiale in piena maturazione, cioè a 28 giorni.
- si considera il peso di tutto l'anello
- si adotta un'amplificazione del carico considerando un fattore dinamico per il peso dell'ultimo concio impilato.

Lo schema strutturale è identico a quello adottato al §8.3.



Figura 8-19: Esempio di stoccaggio in cantiere

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 39 di 280

Nelle verifiche di stoccaggio in cantiere (SLE e SLU) si fa riferimento alle proprietà del materiale a lungo termine e si considerano i coefficienti di sicurezza.

Si riportano di seguito le sollecitazioni durante la fase di stoccaggio in cantiere, come al §8.3 lo schema statico utilizzato è quello di una trave appoggio-appoggio, con due sbalzi laterali e si assume un'eccentricità di 20 cm tra lo scarico dei conci superiori e la reazione di appoggio del concio sottostante.

Al fine di considerare la reale distribuzione degli sforzi, dovuta alla disposizione degli elementi di appoggio sulla pila dei conci, viene applicata la prescrizione riportata nell'EC2 al §6.2.2 applicando un fattore $\beta = 0.26$ al valore del taglio agente.

Le verifiche vengono svolte considerando la sola armatura di forza circonferenziale del concio tipo A, costituita da 8+8 ϕ 12 e 6+6 ϕ 14.

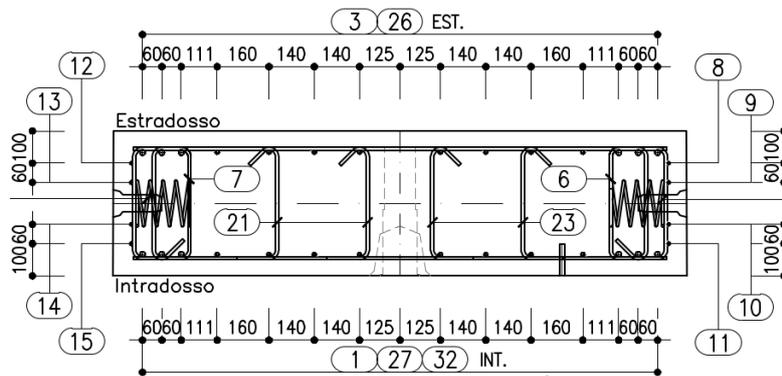


Figura 8-20: dettaglio concio tipo A

A favore di sicurezza nelle verifiche verranno considerati 14+14 ϕ 12.

La simbologia utilizzata nei calcoli viene specificata nella figura riportata di seguito.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 40 di 280

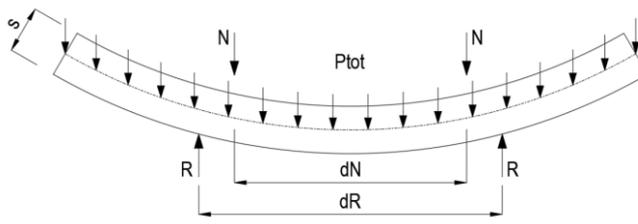
STOCCAGGIO IN CANTIERE	
$b_m = \text{lunghezza arco} = 4.17 \text{ m}$ $b_{mk} = \text{lunghezza arco (key)} = 4.17 \text{ m}$ $s = \text{spessore} = 0.45 \text{ m}$ $l = \text{lunghezza segmenti} = 1.80 \text{ m}$	
$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 45.65 \text{ MPa}$ $\gamma_c = 1.50$ $\alpha_{cc} = 1.00$ $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 30.43 \text{ MPa}$ $f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 3.83 \text{ MPa}$ $f_{ctm} = 1.2 \cdot f_{ctm} = 4.60 \text{ MPa}$ $f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.68 \text{ MPa}$ $f_{ctd} = f_{ctk} / 1.5 = 1.79 \text{ MPa}$	
Numero di elementi stoccati $n = 7 + 0$ Spaziatura tra gli elementi di appoggio tra conci consecutivi $dN = 1.4 \text{ m}$ Spaziatura tra gli elementi di appoggio alla base $dR = 1.8 \text{ m}$ Coefficiente dinamico $\alpha_d = 1.5$	
Vengono riportate di seguito le azioni di carico di progetto:	
Peso proprio $P_p = 25 \cdot 0.45 \cdot 1.8 = 20.3 \text{ KN/m}$	
Carico elementi stoccati e carico dinamico $N = 0,5 \cdot 20,3 \cdot (4,2 \cdot (7-2) + 4,2 \cdot 1,5) = 274.7 \text{ KN}$	
Reazione agli appoggi di base $R = 317.0 \text{ KN}$	
Vengono riportate di seguito le sollecitazioni in corrispondenza delle tre sezioni di calcolo rappresentative:	
Sollecitazioni in corrispondenza dell'appoggio alla base:	
- Momento flettente $M_o = P_p \cdot ((b_m - dR)/2)^2 / 2 = 14.3 \text{ KNm}$	
- Sforzo di taglio $V_o = \max(P_p \cdot (b_m - dR)/2; P_p \cdot (b_m - dR)/2 - R) = 292.9 \text{ KN}$	
Sollecitazioni in corrispondenza del primo elemento di supporto:	
- Momento flettente $M_b = P_p \cdot ((b_m - dR)/2)^2 / 2 - R \cdot (dR - dN)/2 = 43.9 \text{ KNm}$	
- Sforzo di taglio $V_b = P_p \cdot (b_m - dN)/2 - R = 288.9 \text{ KN}$	
Sollecitazioni in corrispondenza della mezzera del concio:	
- Momento flettente $M_b = P_p / 8 \cdot (dR^2 - 4((b_m - dR)/2)^2) + (N \cdot (dR - dN))/2 = 48.9 \text{ KNm}$	
- Sforzo di taglio $V_b = P_p \cdot b_m / 2 - R + N = 0.0 \text{ KN}$	
Sollecitazioni massime combinazione SLU:	
Momento flettente $M_{ed} = 1.3 \cdot M_{max} = 63.5 \text{ KNm}$	
Sforzo di taglio (EC2 §6.2.2) $V_{ed} = 1.3 \cdot \beta \cdot V_{max} = 1.3 \cdot 0.26 \cdot V_{max} = 99.2 \text{ KN}$	
Verifica momento flettente: $M_{rd} = 264.0 \text{ KNm}$	$FS = M_{rd} / M_{ed} = 4.2$ Verifica soddisfatta
Verifica sforzo di taglio: $V_{rd}(\text{sezione non armata}) = 366.0 \text{ kN}$	$FS = V_{rd} / V_{ed} = 3.69$ Verifica soddisfatta
Verifica di fessurazione:	
Area sezione $A = s \cdot L = 0.81 \text{ m}^2$	
Altezza utile sezione $d = s - c - \phi_s - \phi_f / 2 = 0.384 \text{ m}$	
Modulo di resistenza $W = 1/6 \cdot L \cdot d^2 = 0.044 \text{ m}^3$	
Momento di prima fessurazione $M_{cr} = f_{ctm} \cdot W = 169.5 \text{ kNm}$	$FS = M_{cr} / M_{max} = 3.5$ Verifica soddisfatta
Tensione massima CLS $\sigma = N_{max} / A + M_{max} / W = 1.1 \text{ MPa}$	
Resistenza media a trazione del CLS $f_{ctm} = 3.8 \text{ MPa}$	$FS = f_{ctm} / \sigma = 3.5$ Verifica soddisfatta
Resistenza media a flessione del CLS $f_{ctm} = 4.6 \text{ MPa}$	$FS = f_{ctm} / \sigma = 4.2$ Verifica soddisfatta
Durante la fase di stoccaggio in cantiere il conio non presenta fenomeni di fessurazione.	
Durante la fase di stoccaggio in cantiere il conio non presenta fenomeni di fessurazione per flessione.	

Figura 8-21: Verifica in fase di stoccaggio in cantiere (C45/55)

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 41 di 280

8.5.1 Verifica dominio M-N SLU

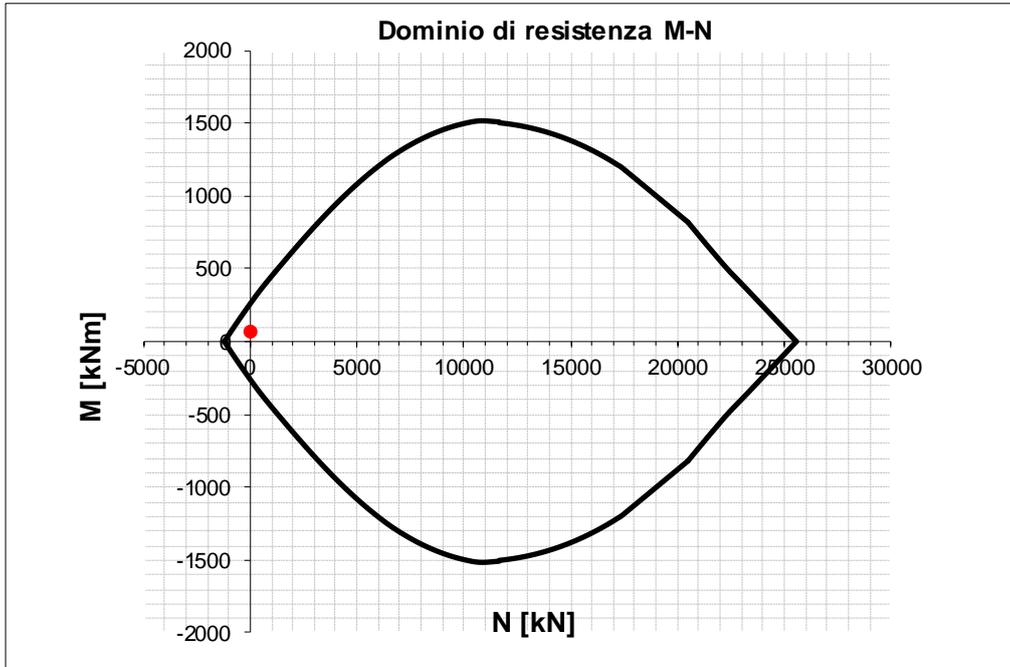


Figura 8-22: Dominio di resistenza M-N, fase di stoccaggio in cantiere (C45/55)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 42 di 280

8.6 MOBILITAZIONE CON ERETTORE TBM

Ciascun concio viene sollevato e installato sull'anello adiacente dall'erettore, installato all'interno dello scudo della macchina. Tale verifica comprende implicitamente anche le mobilitazioni del concio tramite i sistemi di quick unloading e segment feeder installati sulla TBM.



Figura 8-23: Tipo di erettore disponibili (meccanici o vacuum)

Nella verifica si considera un fattore di sicurezza per il peso proprio del concio incrementato, a sua volta, per un coefficiente dinamico.

Si riportano di seguito le sollecitazioni durante la fase di mobilitazione, questa fase è assimilata ad una trave con un punto di appoggio centrale, il quale rappresenta l'erettore del concio.

Le verifiche vengono svolte considerando la sola armatura di forza circonferenziale del concio tipo A, costituita da 8+8 ϕ 12 e 6+6 ϕ 14.

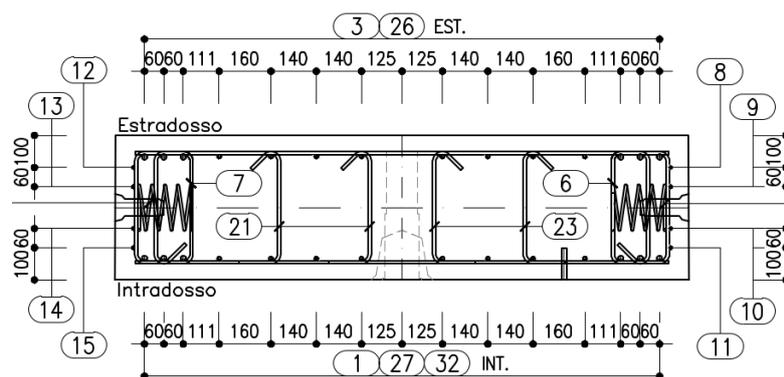


Figura 8-24: dettaglio concio tipo A

A favore di sicurezza nelle verifiche verranno considerati 14+14 ϕ 12.

La simbologia utilizzata nei calcoli viene specificata nella figura riportata di seguito.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE:														
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE		<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO.</td> </tr> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RH</td> <td>GN0000003</td> <td>C</td> <td>43 di 280</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	43 di 280
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	43 di 280									
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C														

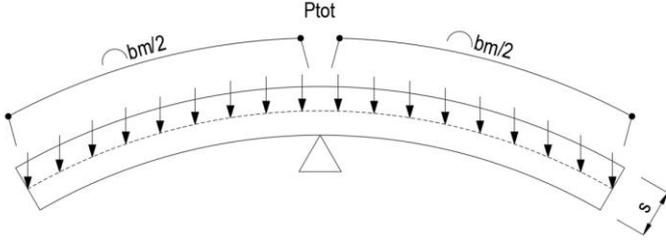
MOVIMENTAZIONE CON ERETTORI TBM																
<table border="1"> <tr> <td>b_m = lunghezza arco =</td> <td>4.17 m</td> </tr> <tr> <td>s = spessore =</td> <td>0.45 m</td> </tr> <tr> <td>l = lunghezza segmenti =</td> <td>1.80 m</td> </tr> </table>	b_m = lunghezza arco =	4.17 m	s = spessore =	0.45 m	l = lunghezza segmenti =	1.80 m										
b_m = lunghezza arco =	4.17 m															
s = spessore =	0.45 m															
l = lunghezza segmenti =	1.80 m															
<table border="1"> <tr> <td>$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} =$</td> <td>45.65 MPa</td> </tr> <tr> <td>$\gamma_c =$</td> <td>1.50 -</td> </tr> <tr> <td>$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c =$</td> <td>30.43 MPa</td> </tr> <tr> <td>$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} =$</td> <td>3.83 MPa</td> </tr> <tr> <td>$f_{ctm} = 1.2 \cdot f_{ctm} =$</td> <td>4.60 MPa</td> </tr> <tr> <td>$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} =$</td> <td>2.68 MPa</td> </tr> <tr> <td>$f_{ctd} = f_{ctk} / 1.5 =$</td> <td>1.79 MPa</td> </tr> </table>	$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} =$	45.65 MPa	$\gamma_c =$	1.50 -	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c =$	30.43 MPa	$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} =$	3.83 MPa	$f_{ctm} = 1.2 \cdot f_{ctm} =$	4.60 MPa	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} =$	2.68 MPa	$f_{ctd} = f_{ctk} / 1.5 =$	1.79 MPa		
$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} =$	45.65 MPa															
$\gamma_c =$	1.50 -															
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c =$	30.43 MPa															
$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} =$	3.83 MPa															
$f_{ctm} = 1.2 \cdot f_{ctm} =$	4.60 MPa															
$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} =$	2.68 MPa															
$f_{ctd} = f_{ctk} / 1.5 =$	1.79 MPa															
Coefficiente dinamico	$\alpha_d =$	1.6														
Vengono riportate di seguito le azioni di carico di progetto:																
Peso proprio	$P_p = 25 \cdot 0.45 \cdot 1.8 =$	20.3 kN/m														
Incremento dinamico	$P_v = (\alpha_d - 1) \cdot P_p =$	12.2 kN/m														
Reazione agli appoggi di base	$P_{tot} =$	32.4 kN/m														
Vengono riportate di seguito le sollecitazioni in corrispondenza delle tre sezioni di calcolo rappresentative:																
Momento flettente	$M_{max} = P_{tot} \cdot b_m^2 / 8 =$	70.6 kNm														
Sforzo di taglio	$V_{max} = 0.5 \cdot P_{tot} \cdot b_m =$	67.6 kN														
Sollecitazioni massime combinazione SLU:																
Momento flettente	$M_{ed} = 1.3 \cdot M =$	91.7 kNm														
Sforzo di taglio	$V_{ed} = 1.3 \cdot V =$	87.9 kN														
Verifica momento flettente:	$M_{rd} =$	264.0 kNm														
	$FS = M_{rd} / M_{ed} =$	2.9 Verifica soddisfatta														
Verifica sforzo di taglio:	V_{rd} (sezione non armata) =	366.0 kN														
	$FS = V_{rd} / V_{ed} =$	4.2 Verifica soddisfatta														
Verifica di fessurazione:	Area sezione	$A = s \cdot l =$	0.81 m ²													
	Altezza utile sezione	$d = s - c - \phi_s - \phi_i / 2 =$	0.384 m													
	Modulo di resistenza	$W = 1/6 \cdot l \cdot d^2 =$	0.044 m ³													
	Momento di prima fessurazione	$M_{cr} = f_{ctm} \cdot W =$	167.8 kNm													
	Tensione massima CLS	$\sigma = N_{max} / A + M_{max} / W =$	1.6 MPa													
	Resistenza media a trazione del CLS	$f_{ctm} =$	3.8 MPa													
	Resistenza media a flessione del CLS	$f_{ctm} =$	4.6 MPa													
		$FS = M_{cr} / M_{max} =$	2.4 Verifica soddisfatta													
		$FS = f_{ctm} / \sigma =$	2.4 Verifica soddisfatta													
		$FS = f_{ctm} / \sigma =$	2.9 Verifica soddisfatta													
Durante la fase di montaggio il conio non presenta fenomeni di fessurazione.																
Durante la fase di montaggio il conio non presenta fenomeni di fessurazione per flessione.																

Figura 8-25: Verifica in fase di movimentazione conci con erettore TBM (C45/55)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 44 di 280

8.6.1 Verifica dominio M-N SLU

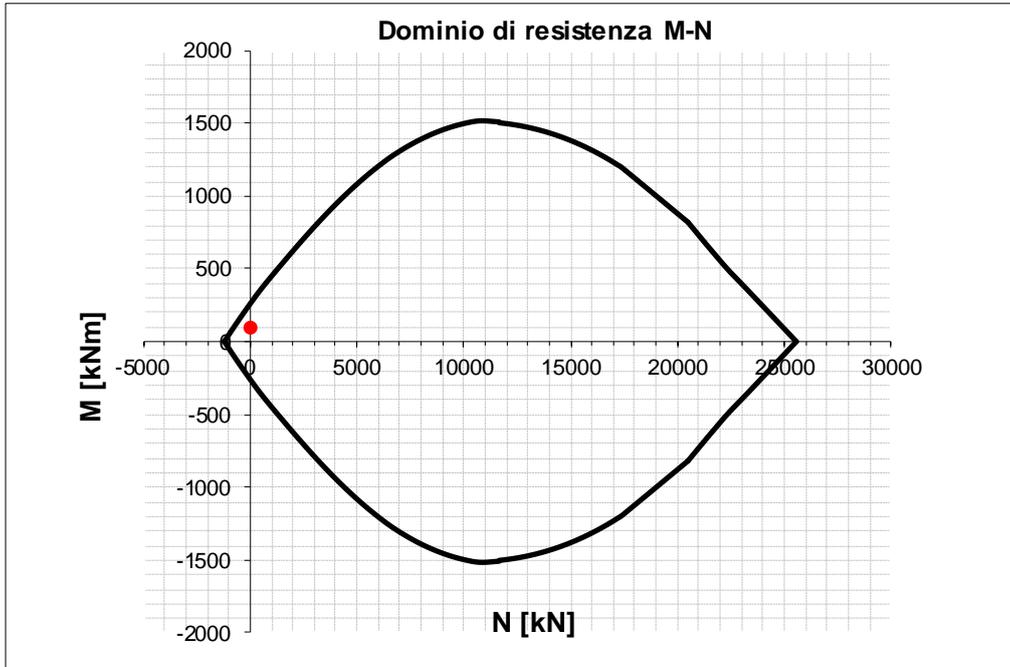


Figura 8-26: Dominio di resistenza M-N, Fase di movimentazione con erettore TBM (C45/55)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	45 di 280

8.7 SPINTA DEI MARTINETTI

8.7.1 Premessa

La stima della spinta necessaria per lo scavo meccanizzato viene valutata considerando condizioni reali, ovvero partendo dalle condizioni operative della macchina, valutando la pressione di scavo e considerando le condizioni geomeccaniche e geotecniche esistenti.

- Spinta massima per tratti omogenei;
- Spinta di sbloccaggio, ovvero una condizione non prevedibile a priori lungo i tratti di galleria, ma che viene considerata nell'ambito della valutazione del rischio di blocco della TBM. In queste situazioni è possibile adottare dei magisteri specifici per lo sblocco e la ripartenza.

Il valore di spinta massima con cui eseguire le verifiche deve rappresentare una scelta progettuale basata su più valutazioni della spinta necessaria ad avanzare la TBM lungo sezioni omogenee dal punto di vista geologico e geotecnico. In altre parole, la spinta necessaria all'avanzamento della TBM deve essere inizialmente valutata in più sezioni rappresentative della galleria stessa e in seguito deve essere effettuata una scelta di sintesi sul valore operativo da utilizzare.

La forza complessiva W_{tot} esercitata dai martinetti di spinta di una TBM sarà valutata analiticamente per ciascuna tratta omogenea, come la somma di quattro singoli contributi (riferimento: "Mechanised Shield Tunnelling" di Maidl, Herrenknecht et al. 2012]):

$$W_{tot} = W_{sk} + W_{face} + W_{exc} + W_{bu} + W_{sh}$$

dove:

- W_{sk} rappresenta la forza dovuta all'attrito fra scudo e mezzo circostante.

$$W_{sk} = (W_{TBM} + \sigma_R \cdot D_{scavo} \cdot L_{scudi}) \cdot \mu_{scudo-terreno}$$

- W_{face} rappresenta la forza necessaria per controbilanciare la pressione all'interno della camera di scavo.

$$W_{face} = P_{EBP} \cdot \frac{D_{scavo}^2}{4} \cdot \pi$$

- W_{exc} rappresenta la forza necessaria per permettere agli utensili di scavo di penetrare nel materiale da scavare.

$$W_{exc} = N_{utensili} \cdot P_{cutter}$$

- W_{bu} rappresenta la forza d'attrito per trascinamento TBM e back up.

$$W_{bu} = W_{back_up} \cdot \mu_{ruota}$$

- W_{sh} rappresenta la forza d'attrito fra lo scudo e i due anelli montati al suo interno (nota anche come forza dovuta alla presenza delle spazzole).

$$W_{sh} = \mu_{gr} \cdot (2 \cdot W_{segm} \cdot N_{segm})$$

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 46 di 280

Per valutare il rischio di blocco della TBM e, conseguentemente la massima spinta della TBM sui martinetti si utilizza il criterio di Vlachopoulos-Diederichs, calcolando lo stato di sforzo attorno alla galleria con il metodo descritto da Lembo-Fazio e Ribacchi. Tale analisi viene svolta per le diverse tratte di galleria.

Galleria Scaleres

La Galleria Scaleres presenta ammassi rocciosi molto competenti e si prevede uno scavo in TBM in modalità aperta.

Le caratteristiche della TBM proposta, le cui caratteristiche sono in fase di finalizzazione, sono riportate nella figura seguente:

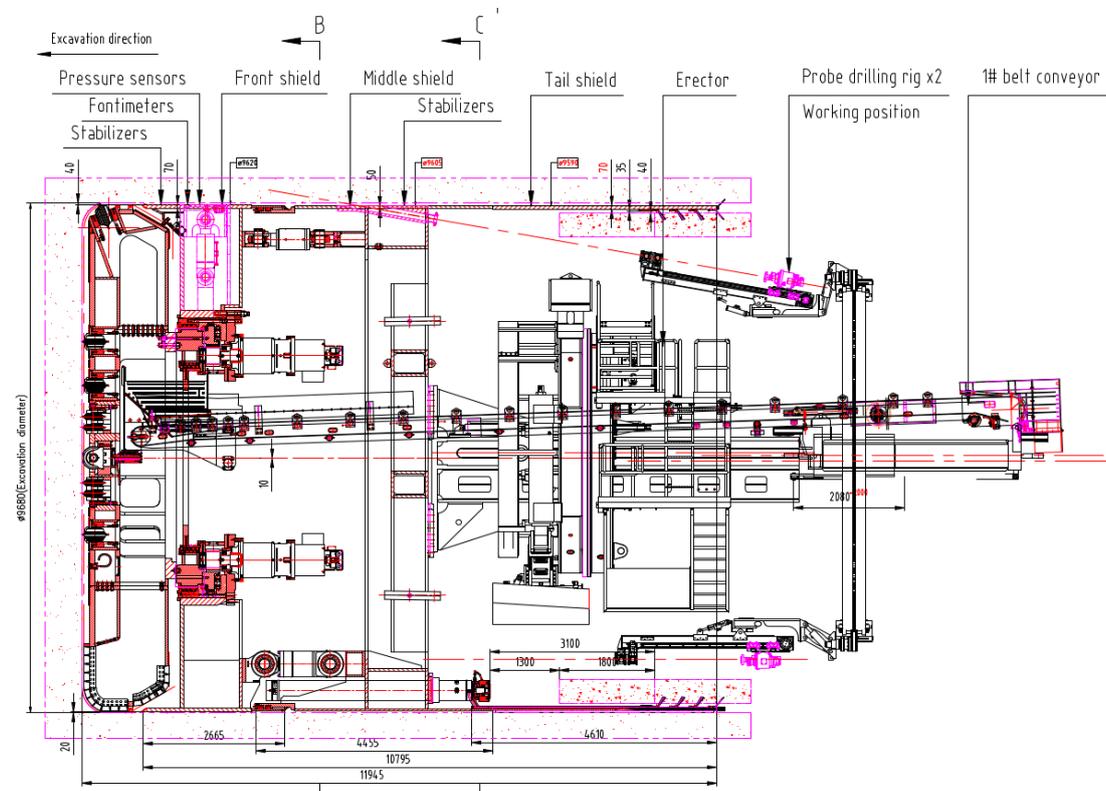


Figura 8-27: TBM proposta per la galleria Scaleres

La configurazione della TBM, per la GN01, è la seguente:

Caratteristiche TBM Scaleres GN01			
Diametro testa	Ed	9.69	[m]
Scudo frontale	Fs	9.62	[m]
Scudo intermedio	Ms	9.59	[m]
Scudo di coda	Ts	9.56	[m]

Tabella 8-4: Caratteristiche TBM Scaleres GN01

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	47 di 280

In aggiunta alle analisi strutturali effettuate per le gallerie, sono state valutate le spinte di sblocco in condizioni di avanzamento per controllare l'effettivo spazio per l'iniezione del gap ed il rischio di bloccaggio della TBM.

Dapprima le analisi vengono svolte senza considerare la presenza dell'extrascavo come mostrato in figura seguente, in una sorta di fase di diagnosi mantenendo un coefficiente di sicurezza definito come rapporto tra la Forza necessaria alla spinta e la forza massima di calcolo. Sono state quindi individuate due soglie, quella di extrascavo necessario quando il rapporto è minore di 1.3 e una zona di analisi ulteriore quando il rapporto è tra 1.3 ed 1.5:

Caso di calcolo	PK	Unità	H [m]	γ	c [kPa]	φ [°]	E [MPa]	σ _{R, Front Shield} [kPa]	σ _{R, Gripper Shield} [kPa]	σ _{R, Tailskin} [kPa]	Contact Force [kN]	Forza Totale in assenza di extrascavo F _{Tot} [kN]	Forza max di spinta F _{max} [kN]	F _{max} /F _{Tot}	Rischio di chiusura Gap	Rischio di bloccaggio TBM	Concio tipo
1	3+890	BSS Faglia	499	27	981	27	2500	1460	976	625	34171	58696	90000	1.53	Alto	Basso	B
2	4+650	BSS Faglia	342	27	619	26	1300	1253	970	756	59664	84190	90000	1.07	Alto	Alto	B
3	5+490	BSS Faglia	354	27	891	31	3500	0	0	0	0	24525	90000	3.67	Basso	Basso	A
4	6+170	BSS Faglia	99	27	538	38	3500	0	0	0	0	24525	90000	3.67	Basso	Basso	A
5	6+425	BSS Faglia	319	27	494	25	1000	1274	1077	917	79922	104447	90000	0.86	Alto	Alto	B
6	7+590	BSS Faglia	850	27	1468	25	3500	3057	2413	1917	149023	173548	90000	0.52	Alto	Alto	B
7	8+635	BSS Faglia	430	27	609	23	1000	1900	1727	1577	144854	169379	90000	0.53	Alto	Alto	B
8	9+140	GDT	327	27	1621	55	8500	0	0	0	0	24525	90000	3.67	Basso	Basso	A
9	9+340	BSS Faglia	305	27	486	26	1000	1173	963	796	68087	92612	90000	0.97	Alto	Alto	B
10	11+020	BSS Faglia	307	27	330	25	800	1168	1054	956	87919	112445	90000	0.80	Alto	Alto	B
11	12+510	BSS Faglia	392	27	738	28	1600	1282	910	638	45866	70391	90000	1.28	Alto	Alto	B
12	12+775	BSS Faglia	513	27	773	28	1600	1888	1521	1232	106917	131442	90000	0.68	Alto	Alto	B
13	13+770	BSS Faglia	387	27	732	28	1600	1256	887	617	43710	68235	90000	1.32	Alto	Medio	B
14	14+500	MPC Faglia	237	27	1064	47	3400	0	0	0	0	24525	90000	3.67	Basso	Basso	A
15	14+600	MPC	247	27	1224	50	4800	0	0	0	0	24525	90000	3.67	Basso	Basso	A
16	14+950	δ	213	27	1458	53	6200	0	0	0	0	24525	90000	3.67	Basso	Basso	A
17	15+225	δ Faglia	185	27	1202	52	3400	0	0	0	0	24525	90000	3.67	Basso	Basso	B

Tabella 8-5: Bloccaggio TBM GN01: fase di diagnosi

Nelle zone di faglia in cui si evince un rischio alto di bloccaggio in fase di diagnosi si prescrive l'applicazione di lubrificante sulla superficie esterna dello scudo ottenendo un abbattimento del coefficiente di attrito dinamico da 0.3 a 0.15. Inoltre, le zone 1, 2, 5, 6, 7 e 12 vengono calcolate con un sovrascavo di 70 mm (si vedano gli allegati 14.1, 14.2, 14.5, 14.6, 14.7 e 14.12 dell'elaborato IBOU1BEZZZCLGN010004C).

Al fine di confermare e meglio calibrare la reale lunghezza di applicazione delle tratte sopra riportate si prevedono, oltre alle normali procedure di indagine in avanzamento continuo, anche sondaggi in avanzamento dalla macchina.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO												
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO.</td> </tr> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RH</td> <td>GN0000003</td> <td>C</td> <td>48 di 280</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	48 di 280
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	48 di 280								

Caso di calcolo	PK	Unità	Extrascavo radiale [mm]	Coefficiente d'attrito μ [-]	$\sigma_{R, Front Shield}$ [kPa]	$\sigma_{R, Gripper Shield}$ [kPa]	$\sigma_{R, Tailskin}$ [kPa]	Forza di contatto [kN]	Forza Totale F_{tot} [kN]	Forza max di spinta F_{max} [kN]	F_{max}/F_{tot}	Rischio di bloccaggio TBM	Concio tipo
1	3+890	BSS Faglia	70	0.15	0	0	0	0	11143	90000	8.08	Basso	B
2	4+650	BSS Faglia	70	0.15	0	0	0	0	11143	90000	8.08	Basso	B
5	6+425	BSS Faglia	70	0.15	0	521	443	8443	19587	90000	4.59	Basso	B
6	7+590	BSS Faglia	70	0.15	0	0	0	0	11143	90000	8.08	Basso	B
7	8+635	BSS Faglia	70	0.15	1261	1161	1069	36945	48088	90000	1.87	Basso	B
9	9+340	BSS Faglia	0	0.15	1173	963	796	34043	45187	90000	1.99	Basso	B
10	11+020	BSS Faglia	0	0.15	1168	1054	956	43960	55103	90000	1.63	Basso	B
11	12+510	BSS Faglia	0	0.15	1282	910	638	22933	34076	90000	2.64	Basso	B
12	12+775	BSS Faglia	70	0.15	0	0	429	3642	14785	90000	6.09	Basso	B
13	13+770	BSS Faglia	0	0.15	1256	887	617	21855	32998	90000	2.73	Basso	B

	Lubrificante
	Lubrificante + Extrascavo

Tabella 8-6: Bloccaggio TBM GN01: fase di terapia

In fase di terapia si ottengono valori di F_s maggiori di 1.5, valore ritenuto di sicurezza dal progettista.

Galleria Gardena ed Interconnessioni

Gli spessori degli scudi e le loro lunghezze sono riportati nella seguente tabella:

Caratteristiche TBM Scaleres GN01			
Diametro testa	Ed	9.68	[m]
Scudo frontale	Fs	9.62	[m]
Scudo intermedio	Ms	9.59	[m]
Scudo di coda	Ts	9.56	[m]

Tabella 8-7: Caratteristiche TBM GN02 – GN07

La configurazione della TBM dual Mode è rappresentata nella figura seguente:

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 49 di 280

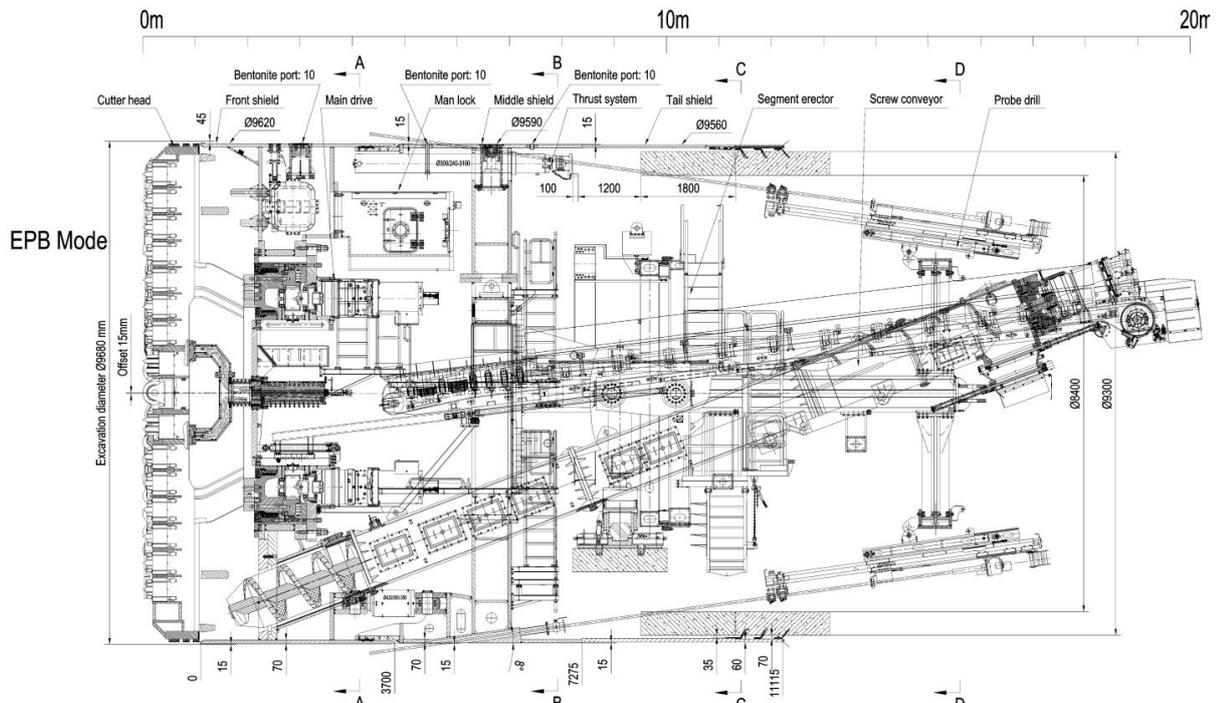


Figura 8-28: TBM dual Mode GN02 e GN07

Anche in questo caso sono state valutate le spinte mantenendo gli stessi criteri descritti per la GN01 sui coefficienti di sicurezza:

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN000003	REV. C	FOGLIO. 50 di 280

Caso di calcolo	PK	Unità	H [m]	Y	C [kPa]	ϕ [°]	E [MPa]	$\sigma_{R, \text{Front Shield}}$ [kPa]	$\sigma_{R, \text{Gripper Shield}}$ [kPa]	$\sigma_{R, \text{Taliskin}}$ [kPa]	Forza di contatto [kN]	Forza Totale in assenza di extrascavo F_{Tot} [kN]	Forza max di spinta F_{max} [kN]	$F_{\text{max}}/F_{\text{Tot}}$	Rischio di chiusura Gap	Rischio di bloccaggio TBM	Concio tipo
1	16+450	P Faglia	158	27	356	32	1000	0	0	0	0	24589	90000	3.66	Basso	Basso	A
2	16+540	P Faglia	114	27	292	34	1000	0	0	0	0	24589	90000	3.66	Basso	Basso	A
3	16+750	BSSa Faglia	54	27	293	35	1200	0	0	0	0	24589	90000	3.66	Basso	Basso	B
4	17+475	BSSa/BSSc Faglia	157	27	285	26	900	445	303	200	10936	35525	90000	2.53	Alto	Basso	B
5	17+650	BSSc Faglia	401	27	923	27	4200	0	0	0	0	24589	90000	3.66	Basso	Basso	B
6	18+400	BSSc	457	27	923	27	4200	0	0	0	0	24589	90000	3.66	Basso	Basso	B
7	18+600	BSSc/BSSa Faglia	573	27	886	23	2200	2260	1926	1651	143773	168362	90000	0.53	Alto	Alto	B
8	18+600	Lungo Termine	573	27	886	23	2000	2332	2011	1746	155545	180134	90000	0.50	Alto	Alto	B
9	19+450	BSSa Faglia	491	27	1223	31	4300	0	0	0	0	24589	90000	3.66	Basso	Basso	A
10	20+450	P	559	27	1957	35	11700	0	0	0	0	24589	90000	3.66	Basso	Basso	A
11	21+275	BSSa/BSSb Faglia	532	27	1278	31	4300	0	0	0	0	24589	90000	3.66	Basso	Basso	A
12	0+500 B.P.	BSSb Faglia	555	27	660	23	1300	2327	2148	1986	190102	214692	90000	0.42	Alto	Alto	B
13	0+700 B.P.	BSSb	580	27	1261	31	9100	0	0	0	0	24589	90000	3.66	Basso	Basso	A
14	1+830 B.P.	BSSb Faglia	310	27	461	27	1300	1019	792	615	50518	75107	90000	1.20	Alto	Alto	B
15	2+110 B.P.	BSSb	180	27	508	36	3500	0	0	0	0	24589	90000	3.66	Basso	Basso	A
16	2+335 B.P.	PRL	64	27	304	36	1800	0	0	0	0	24589	90000	3.66	Basso	Basso	A
17	0+515 B.D.	BSSa	566	27	1670	35	14000	0	0	0	0	24589	90000	3.66	Basso	Basso	A
18	1+065 B.D.	BSSb	554	27	749	25	1800	2113	1818	1573	143128	167718	90000	0.54	Alto	Alto	B
19	1+500 B.D.	BSSb	518	27	1060	30	6800	0	0	0	0	24589	90000	3.66	Basso	Basso	A
20	2+720 B.D.	BSSb Faglia	175	27	237	27	800	546	424	331	26667	51257	90000	1.76	Alto	Basso	B
21	2+910 B.D.	PRL Faglia	102	27	139	27	700	247	170	114	5824	30413	90000	2.96	Alto	Basso	B

Tabella 8-8: Bloccaggio TBM GN02 e GN07: fase di diagnosi

In questo caso sono stati analizzati i casi di calcolo in rosso della tabella precedente, considerando un extrascavo radiale di 100 mm.

I valori di spinta vengono calcolati considerando in fase di terapia la pressione al fronte dovuta alla modalità di avanzamento in chiuso.

Al fine di confermare e meglio calibrare la reale lunghezza di applicazione delle tratte sopra riportate si prevedono, oltre alle normali procedure di indagine in avanzamento continuo, anche sondaggi in avanzamento dalla macchina.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 51 di 280

Caso di calcolo	PK	Unità	H [m]	Pressione al fronte [bar]	Extrascavo [mm]	Coefficiente di attrito μ [-]	$\sigma_{k, Front Shield}$ [kPa]	$\sigma_{k, Gripper Shield}$ [kPa]	$\sigma_{k, Tailskin}$ [kPa]	Forza di contatto [kN]	Forza dovuta alla pressione al fronte [kN]	Forza senza pressione al fronte [kN]	Forza Totale F_{tot} [kN]	Forza max di spinta F_{max} [kN]	F_{max}/F_{tot}	Rischio di bloccaggio TBM	Concio tipo
1	16+450	P Faglia	158	1	0	0.30	0	0	0	0	7300	12493	19793	90000	4.55	Basso	A
4	17+475	BSSa/BSSc Faglia	157	3	100	0.15	0	0	0	0	22000	10693	32693	90000	2.75	Basso	B
5	17+650	BSSc Faglia	401	3	0	0.30	0	0	0	0	22000	12493	34493	90000	2.61	Basso	B
6	18+400	BSSc	457	3	0	0.30	0	0	0	0	22000	24589	46589	90000	1.93	Basso	B
7	18+600	BSSc/BSSa Faglia	573	3	100	0.15	0	0	592	2680	22000	13373	35373	90000	2.54	Basso	B
8	18+600	Lungo Termine	573	3	100	0.15	0	0	700	7531	22000	18225	40225	90000	2.24	Basso	B
12	0+500 B.P.	BSSb Faglia	555	3	100	0.15	0	1202	1092	30179	22000	40872	62872	90000	1.43	Medio	B
14	1+830 B.P.	BSSb Faglia	310	3	100	0.15	0	0	0	0	22000	10693	32693	90000	2.75	Basso	B
16	2+335 B.P.	PRL	64	2	0	0.15	0	0	0	0	14700	10693	25393	90000	3.54	Basso	A
18	1+065 B.D.	BSSb	554	3	100	0.15	0	724	623	8298	22000	31087	53087	90000	1.70	Basso	B
20	2+720 B.D.	BSSb Faglia	175	3	100	0.15	0	0	0	0	22000	10693	32693	90000	2.75	Basso	B
21	2+910 B.D.	PRL Faglia	102	3	100	0.15	0	0	0	0	22000	22789	44789	90000	2.01	Basso	B

	Pressione al fronte
	Pressione al fronte + Lubrificante
	Pressione al fronte + Lubrificante + Extrascavo

Tabella 8-9: Bloccaggio TBM GN02 e GN07: fase di terapia

I risultati mostrano che il miglioramento è evidente per tutti casi, tranne per il caso di calcolo 12 che passa da un FS di 0.42 a 1.43, valore accettabile a breve termine per le spinte sugli anelli.

8.7.2 Riassunto spinte TBM

In riferimento alle tratte di applicazione dei conci in calcestruzzo armato si riporta di seguito il valore di spinta ordinaria della TBM, in assenza di lubrificanti sugli scudi:

Caratteristiche spinta TBM scavo in BSS			
Forza di attrito tra scudo e roccia (comportamento elastico dell'ammasso, $\mu = 0.3$)	W_{sk}	3.5	[MN]
Forza controbilanciamento pressione camera (0 bar)	W_{face}	0	[MN]
Contributo degli utensili di scavo (considerando il 100% della forza massima ammissibile dai cutter) ($N_{utensili}=64$)	W_{exc}	20.1	[MN]
Forza di traino del back-up ($\mu=0.1$)	W_{bu}	0.12	[MN]
Forza di attrito a livello del sistema di tenuta di coda (con $\mu=0.6$)	W_{sh}	0.7	[MN]
Spinta totale TBM	W_{tot}	25	[MN]

Tabella 8-10: Spinta ordinaria TBM scavo in BSS

Caratteristiche spinta TBM scavo in faglia			
Forza di attrito tra scudo e roccia (comportamento elastico dell'ammasso, $\mu = 0.15$)	W_{sk}	31.8	[MN]
Forza controbilanciamento pressione camera (0 bar)	W_{face}	22.1	[MN]
Contributo degli utensili di scavo (considerando il 40% della forza massima ammissibile dai cutter) ($N_{utensili}=64$)	W_{exc}	8.1	[MN]

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	52 di 280
08 - GALLERIE							
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C							

Forza di traino del back-up ($\mu=0.1$)	W_{bu}	0.12	[MN]
Forza di attrito a livello del sistema di tenuta di coda (con $\mu=0.6$)	W_{sh}	0.7	[MN]
Spinta totale TBM	W_{tot}	64	[MN]

Tabella 8-11: Spinta ordinaria TBM scavo in BSSb faglia

Caratteristiche spinta TBM Sbloccaggio			
Forza di attrito tra scudo e roccia (Comport. plastico – squeezing, $\mu = 0.15$)	W_{sk}	79	[MN]
Forza controbilanciamento pressione camera (0 bar)	W_{face}	0	[MN]
Contributo degli utensili di scavo (considerando il 40% della forza massima ammissibile dai cutter) ($N_{utensili}=64$)	W_{exc}	8.1	[MN]
Forza di traino del back-up ($\mu=0.1$)	W_{bu}	0.12	[MN]
Forza di attrito a livello del sistema di tenuta di coda (con $\mu=0.6$)	W_{sh}	0.7	[MN]
Spinta totale TBM	W_{tot}	88	[MN]

Tabella 8-12: Spinta di sbloccaggio TBM

Caratteristiche spinta TBM sottoattraversamento A22			
Forza di attrito tra scudo e terreno (copertura pari a 16m, $\mu = 0.2$)	W_{sk}	8.2	[MN]
Forza controbilanciamento pressione camera (3.0 bar)	W_{face}	22.1	[MN]
Contributo degli utensili di scavo (considerando il 40% della forza massima ammissibile dai cutter) ($N_{utensili}=64$)	W_{exc}	8.1	[MN]
Forza di traino del back-up ($\mu=0.1$)	W_{bu}	0.12	[MN]
Forza di attrito a livello del sistema di tenuta di coda (con $\mu=0.6$)	W_{sh}	0.7	[MN]
Spinta totale TBM	W_{tot}	40	[MN]

Tabella 8-13: Spinta ordinaria TBM sottoattraversamento A22

Ne consegue che si considerano le seguenti spinte nominali per la verifica dei conci:

- Conci tipo A: Spinta ordinaria 25 MN
- Conci tipo B: Spinta ordinaria 65 MN, spinta di sbloccaggio 90 MN
- Conci tipo C: Spinta ordinaria 40 MN

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 53 di 280

8.7.3 Ipotesi di base

Durante il processo di scavo della galleria, a causa dell'applicazione dei martinetti della TBM, è noto che la regione del segmento sotto i martinetti può essere considerata perturbata (regione D). Inoltre, possono verificarsi "spalling stresses" tra i martinetti di carico. Dovrebbero essere considerati i seguenti problemi:

- pressioni di contatto sotto le piastre e le pastiglie dei martinetti di spinta;
- sollecitazioni di trazione indotte in direzione radiale;
- sollecitazioni di trazione indotte in direzione circonferenziale.

La definizione geometrica di un singolo segmento sotto la spinta della TBM è illustrata in figura seguente, come riportato da Guglielmetti (2007). In figura di sinistra (a) sono rappresentati i tipici sistemi di riferimento assunti per indagare localmente il comportamento del segmento durante la fase di spinta, mentre in di destra (b) sono schematizzate le traiettorie tipiche delle sollecitazioni di compressione attese.

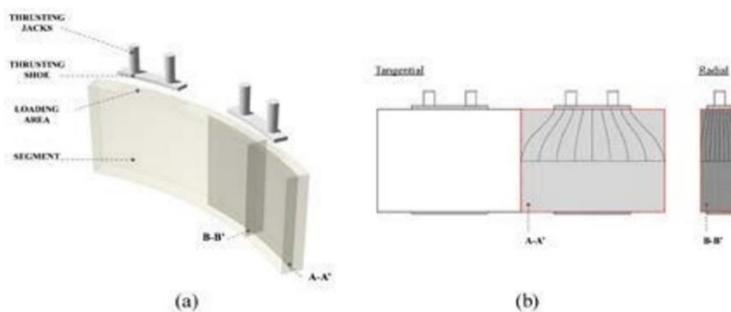


Figura 8-29: Definizione geometrica di un singolo segmento sotto la spinta della TBM: piani radiali e tangenziali locali sotto i pattini di spinta (a) (Guglielmetti et al., 2007), schema semplificato che evidenzia la distribuzione prevista delle sollecitazioni (b)

Al fine di determinare la distribuzione degli sforzi indotti dai martinetti idraulici e quindi lo stato tensionale sui singoli conci, si procede in prima analisi con modelli analitici semplificati. Qualora l'approccio analitico non risulti soddisfacente, si svilupperà una modellazione FEM (Finite Element Method) adottando un modello bidimensionale. Saranno quindi combinate sia condizioni di carico e di appoggio diverse al fine di riprodurre valori di carico potenzialmente differenti tra i vari gruppi di spinta sia vincoli, sul lato opposto alla spinta, in grado di simulare condizioni di appoggio non continuo sull'anello precedente ed eventuali tolleranze costruttive. Le condizioni di analisi saranno scelte in funzione del layout dell'anello e della geometria dei conci.

La forza generata (F_{SD}) su ciascun punto di contatto tra i martinetti e i conci è data dalla forza della TBM diviso il numero dei punti (N_H), ovvero 3 su ogni conico, in totale 21. Le verifiche strutturali dimensionanti sono eseguite in condizioni regolari di appoggio e di carico. Il carico complessivo valutato secondo la formulazione riportata al paragrafo precedente deve essere ripartito in modo uniforme sul numero di scarpe di spinta di cui è dotata la TBM.

Durante la fase di scavo la distribuzione di carico tra le varie scarpe di spinta non è uniforme, tuttavia, questa redistribuzione rientra tra le incognite progettuali non stimabili a priori e viene considerata all'interno dei coefficienti parziali applicati.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 54 di 280

All'interno delle tabelle seguenti sono riportati i valori dei coefficienti parziali da applicare rispettivamente ai materiali e ai carichi nelle due condizioni di spinta descritte in precedenza. In particolare, si mette in evidenza che per le condizioni di sblocco macchina, trattandosi di condizioni non ordinarie e assimilabili a casi eccezionali, si considerano coefficienti parziali sui materiali ridotti.

COEFFICIENTI PARZIALI DA APPLICARE AI MATERIALI					
FASE DI VERIFICA		CALCESTRUZZO			ACCIAIO DA ARMATURA ORDINARIA
		Compressione ¹ $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck,0.05} / \gamma$		Resistenza a trazione flessionale ² $\sigma_t = f_{ctm} / \gamma$	Compressione e trazione ¹ $f_{yd} = f_{yk} / \gamma$
		α_{cc}	γ		
Spinta dei martinetti	Operativa	1,00	1,50	1,20	1,15
	Sbloccaggio		1,20		1,00

Note:

1 – Secondo NTC2018 paragrafo 4.1.2.1.1.1 & Eurocodice EN1992-1-1 paragrafo 2.4.2.4 – prospetto 2.1N.

2 – Secondo NTC2018 paragrafo 4.1.2.2.4. In letteratura σ_t è indicato anche come $f_{ctd,fl}$.

Figura 8-30: Coefficienti parziali da applicare ai materiali

COEFFICIENTI PARZIALI DA APPLICARE AI CARICHI				
FASE DI VERIFICA		Coefficiente parziale <u>SLE</u> $N_{Ed} = \gamma \times N$ $M_{Ed} = \gamma \times M$	Coefficiente parziale <u>SLU</u> $N_{Ed} = \gamma \times N$ $M_{Ed} = \gamma \times M$	
			G carichi permanenti ¹	Q carichi variabili ¹
Spinta dei martinetti	Operativa	1,00	1,30	-
	Sbloccaggio	-	1,00	-

Note:

1 - Valore assunto secondo NTC2018 paragrafo 2.6.1 tabella 2.6.1.

Figura 8-31: Coefficienti parziali da applicare ai carichi

Si riportano nella tabella seguente i valori di spinta considerati per ogni tipologia di concio:

Tipologia Concio	$T_{TBM, ORD, SLE} = T_{TBM, ORD} * 1.0$ [MN]	$T_{TBM, ORD, SLU} = T_{TBM, ORD} * 1.3$ [MN]	$T_{TBM, ECC, SLU} = T_{TBM, ECC} * 1.0$ [MN]
A	25	32.5	-
B	65	84.5	90
C	40	52	-

Figura 8-32: Spinte di progetto TBM

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	55 di 280

Analisi in condizioni ordinarie

Le analisi in condizioni ordinarie vengono effettuate allo stato limite ultimo (SLU) e di esercizio (SLE) considerando i coefficienti parziali riportati nelle tabelle precedenti. Per tale condizione di carico si svolgono le seguenti analisi:

1. Verifica delle pressioni di contatto
 - a. SLU $T_{TBM,ORD,SLU} = T_{TBM,ORD} \cdot 1.3$
2. Verifica di resistenza alle trazioni indotte in direzione radiale
 - a. SLE $T_{TBM,ORD,SLE} = T_{TBM,ORD} \cdot 1$
 - b. SLU $T_{TBM,ORD,SLU} = T_{TBM,ORD} \cdot 1.3$
3. Verifica di resistenza alle trazioni indotte in direzione circonferenziale (spalling e bursting);
 - a. SLE $T_{TBM,ORD,SLE} = T_{TBM,ORD} \cdot 1$
 - b. SLU $T_{TBM,ORD,SLU} = T_{TBM,ORD} \cdot 1.3$
4. Verifica sotto spinta eccentrica per pressione di contatto
 - a. SLE $T_{TBM,ORD,SLE} = T_{TBM,ORD} \cdot 1$
 - b. SLU $T_{TBM,ORD,SLU} = T_{TBM,ORD} \cdot 1.3$

SPINTA ORDINARIA			
	VERIFICA	STATO LIMITE	MODELLO
Condizioni Regolari	Pressioni di contatto	SLU	Analitico (Eurocodice)
	Trazioni indotte in direzione radiale	SLU	Analitico (Leonhardt)
		SLE	Analitico (Leonhardt)
	Trazioni indotte in direzione circonferenziale	SLU	Numerico
		SLE	Numerico
	Verifica sotto spinta eccentrica	SLU	Analitico
		SLE	Analitico

Figura 8-33: Analisi in condizione ordinaria

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 56 di 280

Analisi di rischio

Durante la messa in opera dell'anello prefabbricato possono accidentalmente verificarsi condizioni di montaggio irregolari, che portano a condizioni di appoggio non continuo lungo il giunto circonferenziale.

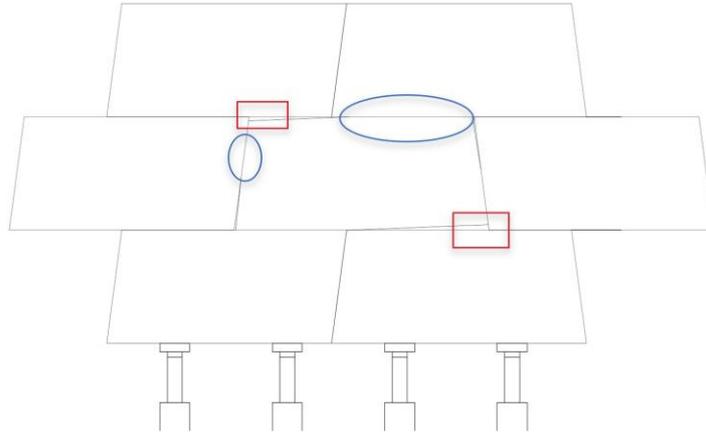


Figura 8-34: Zone di contatto (blu) e gap locali (rosso) in caso di montaggio irregolare (DB)

In modo analogo, è possibile analizzare il rischio di un carico non uniforme agente sul concio considerando un appoggio regolare e mantenendo il carico agente allo SLU calcolato nelle verifiche ordinarie.

Le analisi di rischio vengono effettuate allo stato limite ultimo (SLU) e di esercizio (SLE) considerando i coefficienti parziali riportati precedentemente. Per tale condizione di carico si svolgono le seguenti analisi:

1. Spinta di sbloccaggio
 - a. SLU $T_{TBM,ORD,SLU} = T_{TBM,ORD} \cdot 1.3$
2. Valutazione della spinta massima ammissibile in esercizio (con Gap)
 - a. SLE $T_{TBM,ORD,LIMITE}$
3. Spinta non uniforme
 - a. SLU $T_{TBM,ORD,SLU} = T_{TBM,ORD} \cdot 1.3$
4. Verifica per errato appoggio (con Gap)
 - a. SLU $T_{TBM,ORD,SLU} = T_{TBM,ORD} \cdot 1.3$

Analisi di rischio		
Spinta di sbloccaggio (Centrata, NO gap, 90 MN) (circonferenziale FEM + radiale Leonhardt)	SLU	FEM + ANALITICA
Valutazione della spinta massima ammissibile in esercizio (Centrata, SI gap, Spinta massima valutata 55MN)	SLE	FEM
Spinta non uniforme (Centrata, 52 MN, NO gap, variazione spinta 50%-50%-100%)	SLU	FEM
Verifica per errato appoggio (Centrata, 52 MN, SI gap)	SLU	FEM

Figura 8-35: Analisi di rischio

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 57 di 280

Modello FEM configurazione regolare

Di seguito viene esplicitata l'analisi agli elementi finiti utilizzata per individuare le sollecitazioni nel concio indotte dalla spinta della macchina in configurazione regolare.

Per la modellazione è stato utilizzato il software Midas FEA per il quale si è modellato il concio come elemento shell 2D avente una mesh composta da 8055 elementi di maglia 30x30mm. La lunghezza del concio è stata assunta pari alla sua intera sviluppata (397.5 cm).

Lo spessore degli elementi shell è stato posto pari allo spessore del concio, 45 cm.

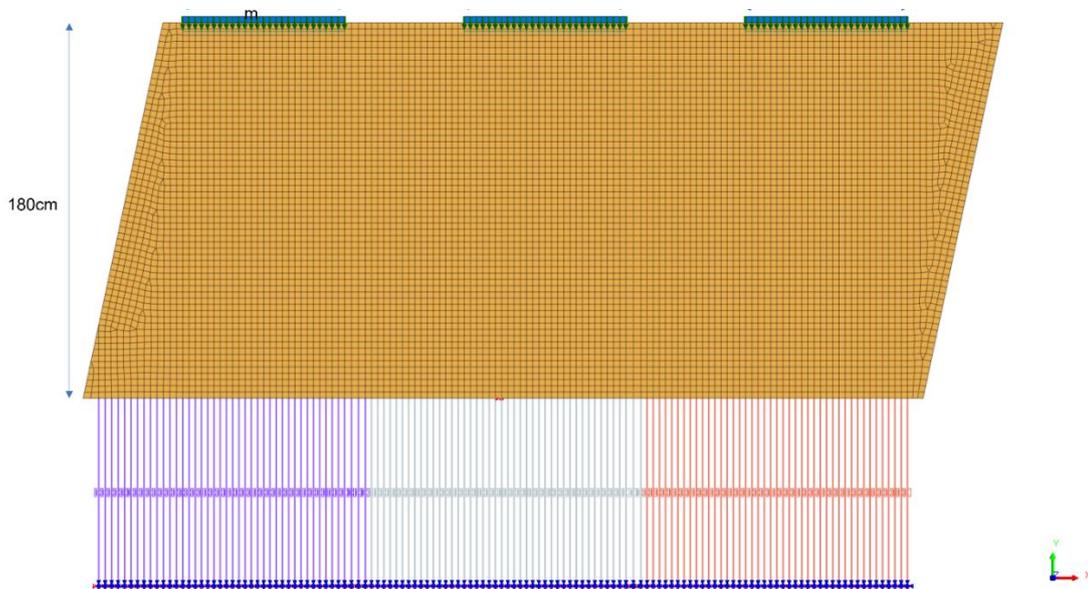


Figura 8-36: Modello FEM 2D in condizione regolare

In questa configurazione regolare il concio poggia interamente sull'anello adiacente, precedentemente installato, pertanto le condizioni al contorno modellate sono rappresentate da molle reagenti a sola compressione aventi ciascuna la seguente rigidezza.

$$k_1 = \frac{E_c \cdot A_c}{L \cdot n} = \frac{36000000 \cdot 3.83 \cdot 0.324}{0.9 \cdot 130} = 381821 \text{ kN/m}$$

E_c : rappresenta il modulo elastico del materiale.

L : rappresenta metà spessore del concio di supporto.

n : numero di molle totali su cui spalmare la rigidezza.

A_c : rappresenta l'area totale di contatto del giunto circonferenziale 3.83mx0.324m.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 58 di 280

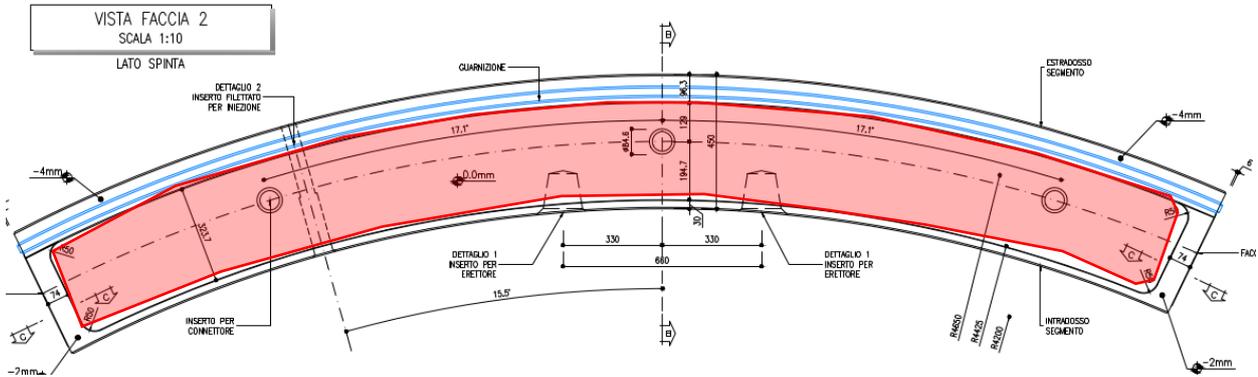


Figura 8-37: area di contatto A_c del giunto circonferenziale 3.83x0.324m.

Le analisi condotte per questa tipologia di modellazione sono di tipo elastico lineare, assegnando al materiale del conco un modulo elastico di 36000 MPa.

I valori di spinta sono stati applicati come carichi distribuiti sulle scarpe.

Contio Tipo A

Spinta caratteristica SLE su ogni scarpa:

$$F_{Scarpa} = \left(\frac{F_{TBM}}{n_{scarpe}} \right) / L_{scarpa} = \left(\frac{25000}{21} \right) / 0.88 = 1353 \text{ kN/m}$$

Spinta SLU su ogni scarpa:

$$F_{Scarpa} = 1.3 \left(\frac{F_{TBM}}{n_{scarpe}} \right) / L_{scarpa} = 1.3 \left(\frac{25000}{21} \right) / 0.88 = 1759 \text{ kN/m}$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 59 di 280	

Contio Tipo B

Spinta caratteristica SLE su ogni scarpa:

$$F_{Scarpa} = \left(\frac{F_{TBM}}{n_{scarpe}}\right)/L_{scarpa} = \left(\frac{65000}{21}\right)/0.88 = 3517 \text{ kN/m}$$

Spinta SLU su ogni scarpa:

$$F_{Scarpa} = 1.3\left(\frac{F_{TBM}}{n_{scarpe}}\right)/L_{scarpa} = 1.3\left(\frac{65000}{21}\right)/0.88 = 4572 \text{ kN/m}$$

Spinta di sblocco su ogni scarpa:

$$F_{Scarpa} = \left(\frac{F_{TBM}}{n_{scarpe}}\right)/L_{scarpa} = \left(\frac{90000}{21}\right)/0.88 = 4870 \text{ kN/m}$$

Contio Tipo C

Spinta caratteristica SLE su ogni scarpa:

$$F_{Scarpa} = \left(\frac{F_{TBM}}{n_{scarpe}}\right)/L_{scarpa} = \left(\frac{40000}{21}\right)/0.88 = 2164 \text{ kN/m}$$

Spinta SLU su ogni scarpa:

$$F_{Scarpa} = 1.3\left(\frac{F_{TBM}}{n_{scarpe}}\right)/L_{scarpa} = 1.3\left(\frac{40000}{21}\right)/0.88 = 2814 \text{ kN/m}$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 60 di 280

Modello FEM configurazione di errato appoggio

Di seguito viene esplicitata l'analisi agli elementi finiti utilizzata per individuare le sollecitazioni nel concio indotte dalla spinta della macchina con errato appoggio.

Per la modellazione è stato utilizzato il software Midas FEA per il quale si è modellato il concio come elemento shell 2D avente una mesh composta da 8055 elementi di maglia 30x30mm. La lunghezza del concio è stata assunta pari alla sua intera sviluppata (397.5 cm).

Lo spessore degli elementi shell è stato posto pari allo spessore del concio, 45 cm.

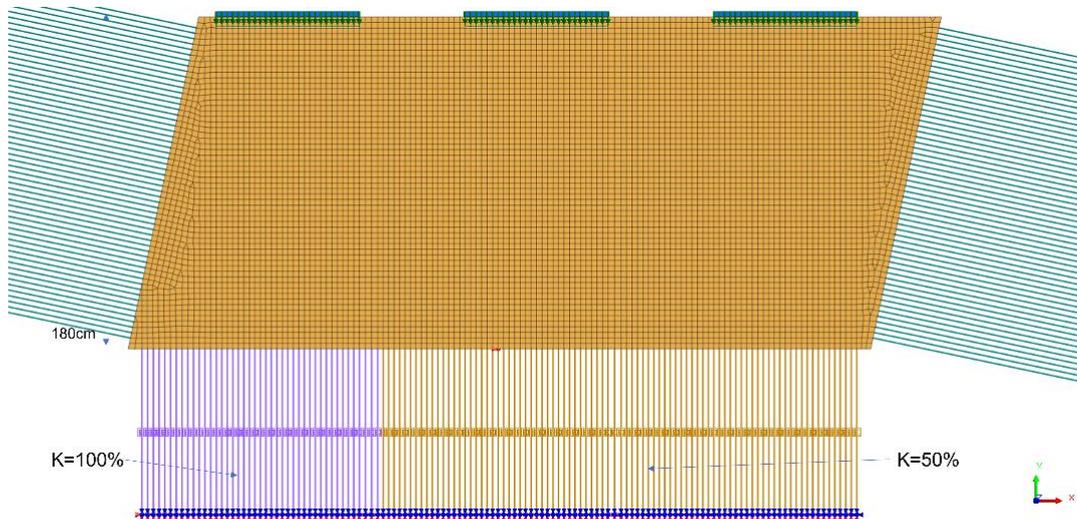


Figura 8-38: Modello FEM 2D con errato appoggio

In questa configurazione di errato appoggio è presente un disallineamento dei conci dell'anello precedente. Per tale motivo il concio poggerà sull'anello precedente in maniera corretta su 1.32 m e sulla restante sviluppata avrà un appoggio errato che è stato valutato considerando una rigidezza ridotta del 50%. Pertanto, le condizioni al contorno modellate sono rappresentate da molle reagenti a sola compressione nelle due zone.

$$k_{100\%} = 381821 \text{ kN/m}$$

$$k_{50\%} = 50\% \cdot k_1 = 0.5 \cdot 381821 = 190910 \text{ kN/m}$$

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 61 di 280

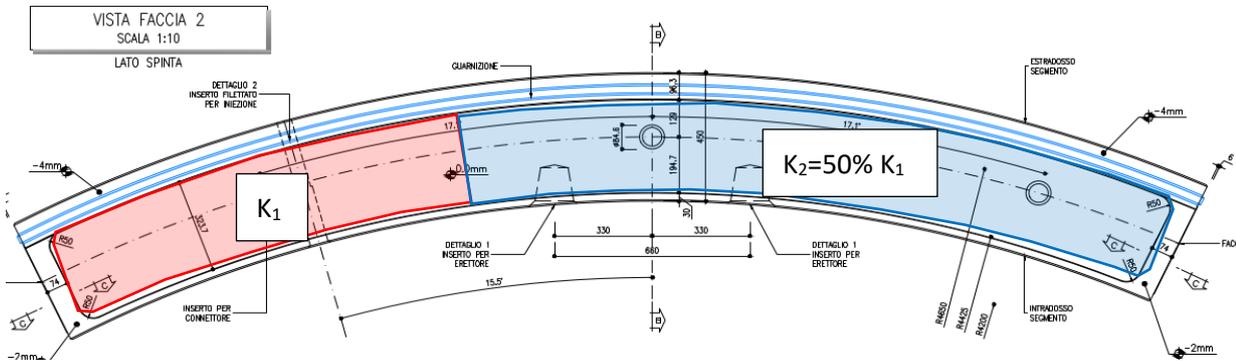


Figura 8-39: area di contatto A_c del giunto circolare.

Inoltre, la configurazione di errato appoggio comporta una rotazione del concio sotto la spinta della TBM, facendo poggiare tale elemento sui conci adiacenti. Per tale motivo sono state modellate anche delle molle con rigidità a sola compressione lungo i giunti longitudinali.

Le rigidità delle suddette molle sono state calcolate come segue.

$$k_3 = \frac{E_c \cdot A_c}{L \cdot n} = \frac{36000000 \cdot 1.652 \cdot 0.3375}{11.9 \cdot 58} = 29081 \text{ kN/m}$$

E_c : rappresenta il modulo elastico del materiale.

L : rappresenta metà circonferenza sottraendo anche la lunghezza del concio.

n : numero di molle totali su cui spalmare la rigidità.

A_c : rappresenta l'area totale di contatto del giunto longitudinale 1.652x0.3375m.

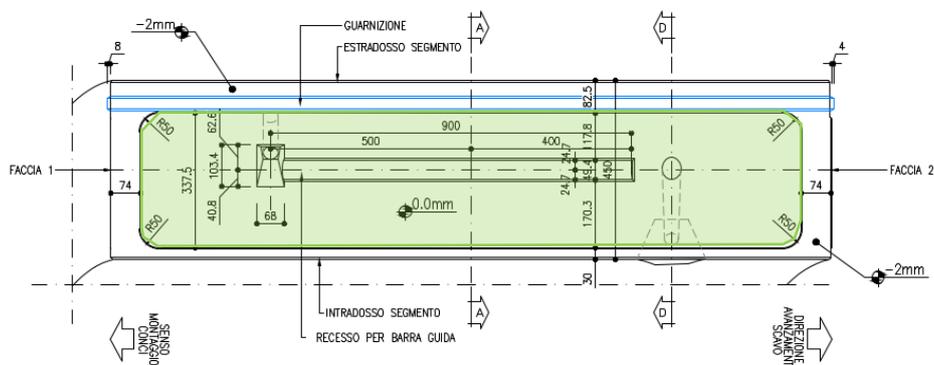


Figura 8-40: area di contatto A_c del giunto circolare 1.652x0.3375m.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 62 di 280

Le analisi condotte per questa tipologia di modellazione sono di tipo elastico lineare, assegnando al materiale del concio un modulo elastico di 36000 MPa.

I valori di spinta sono stati applicati come carichi distribuiti sulle scarpe.

Contio Tipo A

La spinta SLE su ogni scarpa verrà calcolata in seguito per individuare la massima ammissibile da evitare la fessurazione del concio:

$$F_{Scarpa} = \text{massima ammissibile per evitare fessurazione}$$

Spinta SLU su ogni scarpa:

$$F_{Scarpa} = 1.3 \left(\frac{F_{TBM}}{n_{scarpe}} \right) / L_{scarpa} = 1.3 \left(\frac{25000}{21} \right) / 0.88 = 1759 \text{ kN/m}$$

Contio Tipo B

La spinta SLE su ogni scarpa verrà calcolata in seguito per individuare la massima ammissibile da evitare la fessurazione del concio:

$$F_{Scarpa} = \text{massima ammissibile per evitare fessurazione}$$

Spinta SLU su ogni scarpa:

$$F_{Scarpa} = 1.3 \left(\frac{F_{TBM}}{n_{scarpe}} \right) / L_{scarpa} = 1.3 \left(\frac{65000}{21} \right) / 0.88 = 4573 \text{ kN/m}$$

Contio Tipo C

La spinta SLE su ogni scarpa verrà calcolata in seguito per individuare la massima ammissibile da evitare la fessurazione del concio:

$$F_{Scarpa} = \text{massima ammissibile per evitare fessurazione}$$

Spinta SLU su ogni scarpa:

$$F_{Scarpa} = 1.3 \left(\frac{F_{TBM}}{n_{scarpe}} \right) / L_{scarpa} = 1.3 \left(\frac{40000}{21} \right) / 0.88 = 2814 \text{ kN/m}$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	63 di 280

8.7.3.1. Verifica delle pressioni di contatto

Scelta della macchina e delle scarpe per le verifiche.

I conci della galleria di linea saranno installati nella zona di Scaleres e di Gardena & Interconnessioni con due tipologie di macchine TBM differenti.

Si è scelto di fare una valutazione su quale delle configurazioni di macchina e scarpe sia la più critica e dimensionare le armature in funzione della macchina scelta.

Zona	Eccentricità dei Martinetti rispetto ad asse concio [cm]	Dimensione scarpa [cm ²]	Area pressione di contatto [cm ²]
Scaleres	+2.5 (interno)	93 x 35	30 x 93 ^(*)
Gardena & Interconnessioni	0	88 x 35	25.7 x 88 ^(*)

Figura 8-41: Spinte di progetto TBM

Nota (*): Il metodo per il calcolo dell'area di pressione di contatto verrà esplicitato di seguito.

La tabella precedente mostra un'area di contatto sotto le scarpe di spinta della TBM più piccola nella zona di Gardena e interconnessioni. Si verificheranno i conci con questa tipologia di macchina TBM.

Una volta definita la macchina di spinta, per la verifica delle pressioni di contatto si è tenuto conto della configurazione esatta dei martinetti rispetto alla posizione dei conci. Come si può vedere nella figura seguente, nella configurazione di corretto posizionamento del martinetto, risulta centrata rispetto all'asse concio.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	64 di 280

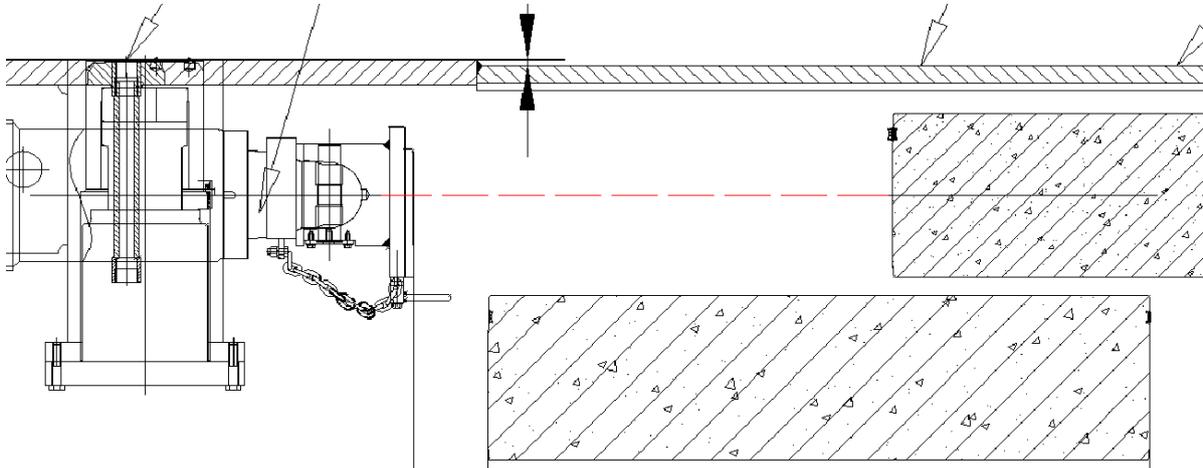


Figura 8-42: Eccentricità dei martinetti rispetto al concio $e=0$ cm.

Tale configurazione genera una riduzione dell'area di contatto valutata nelle verifiche ed esplicitata di seguito.

In accordo con l'eurocodice EN1992-1-1, la massima forza di compressione resistente è stata valutata secondo la seguente formula.

$$F_{Rd} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot \sqrt{\frac{a_1 \cdot h_1}{a_0 \cdot h_0}} < 3 \cdot f_{cd} \cdot A_{c0}$$

Dove:

A_{c0} : rappresenta l'area caricata

A_{c1} : rappresenta la massima area di diffusione del carico avente una forma ometetica a quella di A_{c0} .

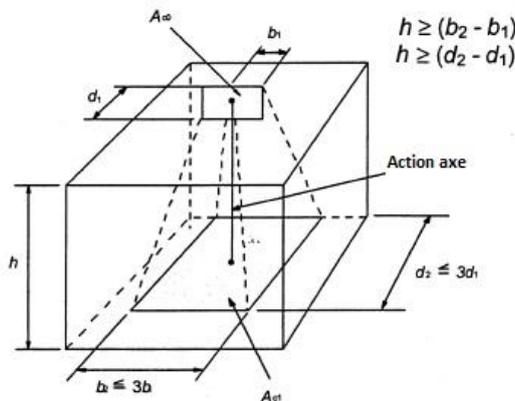


Figura 8-43: Schema di diffusione delle tensioni

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 65 di 280

Si riporta in dettaglio la configurazione geometrica delle aree sopra descritte, tenendo in considerazione la posizione del martinetto rispetto all'asse del concio.

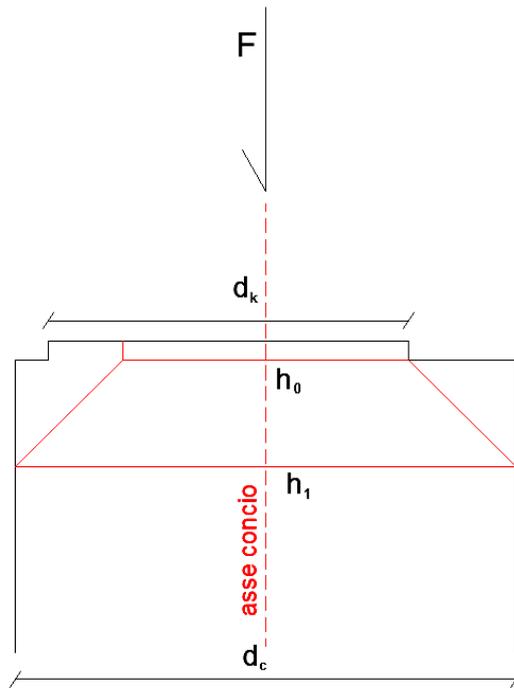


Figura 8-44: configurazione delle distribuzioni di pressione

Si calcola ora la larghezza di contatto h_0 :

$$h_0 = d_k - 2(e_{giunto}) = 0.324 - 2 \cdot (0.0332) = 0.257m$$

d_k : larghezza del giunto circonferenziale.

$e_{martinetto}$: eccentricità del martinetto rispetto all'asse del concio.

e_{giunto} : eccentricità del giunto rispetto all'asse del concio.

La rispettiva larghezza omotetica h_1 risulta essere pari a:

$$h_1 = 2(d_c/2 - e_{martinetto}) = 2 \cdot \left(\frac{0.45}{2} - 0.0\right) = 0.45m$$

d_c : rappresenta lo spessore del concio

$e_{martinetto}$: eccentricità del martinetto rispetto all'asse del concio.

La lunghezza di contatto della zona caricata a_0 risulta essere pari proprio alla lunghezza della scarpa.

$$a_0 = L_{scarpa} = 0.88m$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 66 di 280

La lunghezza della zona ometetica a_1 è calcolata come segue.

$$a_1 = (h_1 - h_0) + L_{scarpa} = (0.45 - 0.257) + 0.88 = 1.07 \text{ m}$$

Di seguito si rappresentano le due aree A_{c0} e A_{c1} .

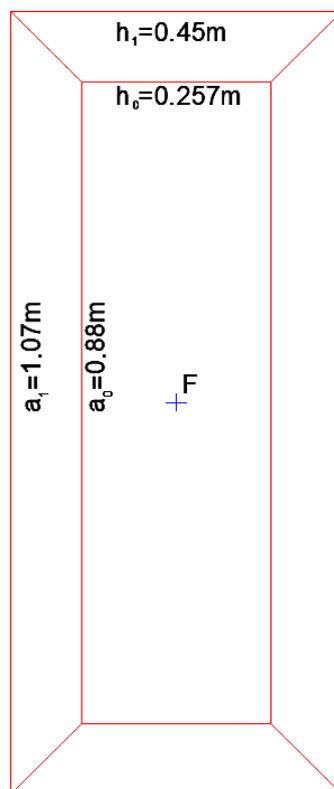


Figura 8-45: Configurazione generale dell'area di contatto A_{c0} e dell'area proiettata A_{c1} .

$$A_{c0} = h_0 \cdot a_0 = 0.257 \cdot 0.88 = 0.226 \text{ m}^2$$

$$A_{c1} = h_1 \cdot a_1 = 0.45 \cdot 1.07 = 0.481 \text{ m}^2$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	67 di 280

8.7.3.2. Verifica della resistenza alle trazioni indotte in direzione radiale e circonferenziale

Si riportano le ipotesi di progetto utilizzate per le verifiche di resistenza SLU, tensionali e di fessurazione SLE, per le diverse direzioni di calcolo:

- Per le **verifiche SLU** nelle direzioni radiali e circonferenziali si confronterà il tiro agente totale con il tiro resistente totale delle armature.

Per il calcolo del tiro totale agente in direzione radiale si rimanda alla trattazione del Leonhardt "Casi speciali di dimensionamento nelle costruzioni c.a." il quale fornisce anche gli abachi utilizzati per il posizionamento ottimale delle armature.

Il tiro totale agente al di sotto di ogni singola scarpa è calcolato come segue.

$$Z=0.3 \cdot P \cdot (1-a/d)$$

Dove:

- a = larghezza della superficie di applicazione del carico (si veda paragrafo precedente, valore di h_0)
- d = spessore della sezione caricata (si veda paragrafo precedente, valore di h_1)
- P = spinta su ogni singolo martinetto

Per l'armatura nella direzione circonferenziale si integreranno le tensioni di trazione in direzione circonferenziale dai modelli FEM e si calcolerà il tiro agente totale. Successivamente si confronterà con il tiro resistente delle barre coinvolte nella verifica.

- Per le **verifiche tensionali SLE** in direzione radiale e circonferenziale si confronteranno le tensioni massime sulle singole barre e si verificherà che tali tensioni non superino quella limite di $0.75 f_{yk}$.

$$\sigma_{si} = Z_i / A_{si} < 0.75 f_{yk}$$

Z_i : tiro su ogni singola barra (Z/n .barre);

A_{si} : area di ogni singola barra;

σ_{si} : tensione su ogni singola barra.

- Per le verifiche **SLE di fessurazione**, si integreranno le tensioni di trazione in direzione circonferenziale dai modelli FEM e si calcolerà il tiro e il momento agente che verranno applicati ad una sezione in calcestruzzo armato avente spessore del concio ed altezza pari all'altezza della zona di trazione.

La verifica a fessurazione verrà eseguita in accordo con NTC08.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"						
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE	Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 68 di 280

Data la classe di esposizione più restrittiva in ambiente aggressivo (XA2) si considerano i seguenti limiti di fessurazione.

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_k	Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_3$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Le verifiche di fessurazione dovranno garantire il soddisfacimento della seguente disuguaglianza:

$$w_k \leq 0.2 \text{ mm.}$$

8.7.3.3. Verifica sotto spinta eccentrica

In questo caso per la verifica delle pressioni di contatto si è tenuto conto di un disallineamento dei martinetti, verso l'esterno, rispetto alla posizione dei conci ($\epsilon=3\text{cm}$ di eccentricità).

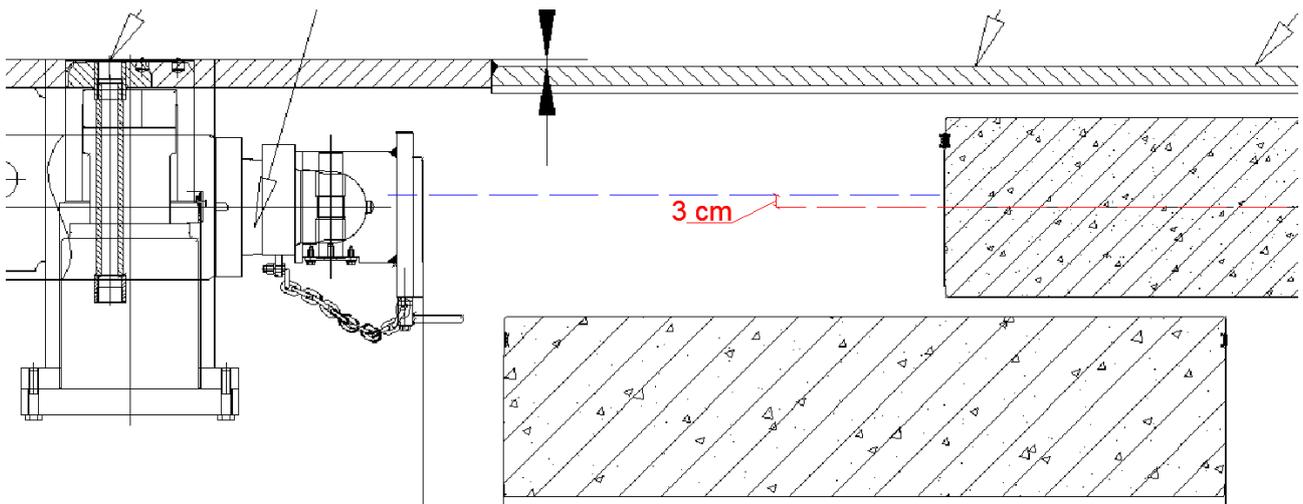


Figura 8-46: Eccentricità dei martinetti rispetto al concio

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 69 di 280	

Tale configurazione genera una riduzione dell'area di contatto valutata nelle verifiche ed esplicitata di seguito.

In accordo con l'eurocodice EN1992-1-1, la massima forza di compressione resistente è stata valutata secondo la seguente formula.

$$F_{Rd} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot \sqrt{\frac{a_1 \cdot h_1}{a_0 \cdot h_0}} < 3 \cdot f_{cd} \cdot A_{c0}$$

Dove:

A_{c0} : rappresenta l'area caricata

A_{c1} : rappresenta la massima area di diffusione del carico avente una forma ometetica a quella di A_{c0} .

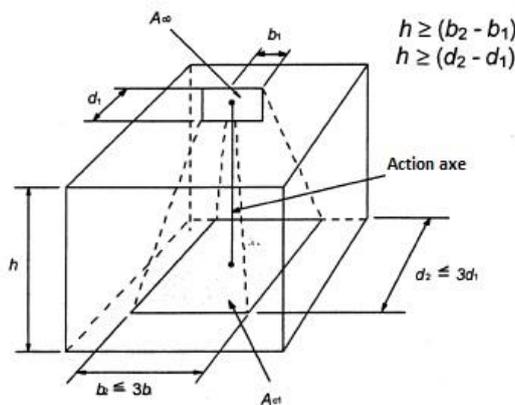


Figura 8-47: Schema di diffusione delle tensioni

Si riporta in dettaglio la configurazione geometrica delle aree sopra descritte, tenendo in considerazione la posizione del martinetto rispetto all'asse del cono.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 70 di 280

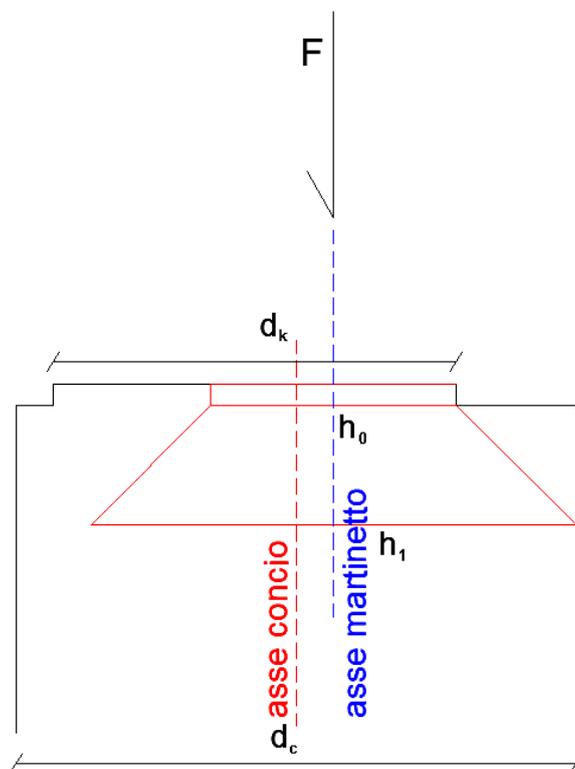


Figura 8-48: configurazione delle distribuzioni di pressione

Si calcola ora la larghezza di contatto h_0 :

$$h_0 = d_k - 2 (e_{martinetto} + e_{giunto}) = 0.324 - 2 \cdot (0.03 + 0.0332) = 0.197m$$

d_k : larghezza del giunto circonferenziale.

$e_{martinetto}$: eccentricità del martinetto rispetto all'asse del concio.

e_{giunto} : eccentricità del giunto rispetto all'asse del concio.

La rispettiva larghezza omotetica h_1 risulta essere pari a:

$$h_1 = 2 (d_c/2 - e_{martinetto}) = 2 \cdot \left(\frac{0.45}{2} - 0.03 \right) = 0.39m$$

d_c : rappresenta lo spessore del concio

$e_{martinetto}$: eccentricità del martinetto rispetto all'asse del concio.

La lunghezza di contatto della zona caricata a_0 risulta essere pari proprio alla lunghezza della scarpa.

$$a_0 = L_{scarpa} = 0.88m$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 71 di 280	

La lunghezza della zona omotetica a_1 è calcolata come segue.

$$a_1 = (h_1 - h_0) + L_{scarpa} = (0.39 - 0.197) + 0.88 = 1.07 \text{ m}$$

Di seguito si rappresentano le due aree A_{c0} e A_{c1} .

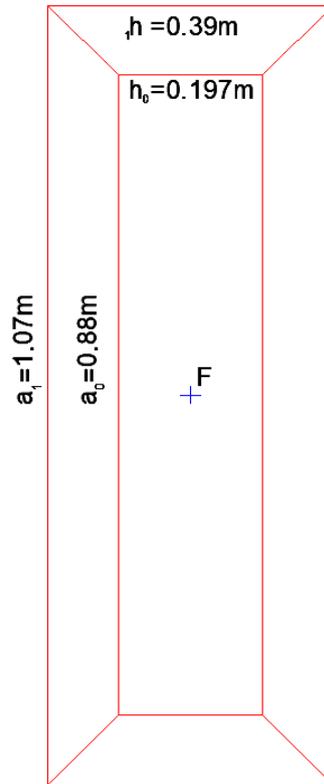


Figura 8-49: Configurazione generale dell'area di contatto A_{c0} e dell'area proiettata A_{c1} .

$$A_{c0} = h_0 \cdot a_0 = 0.197 \cdot 0.88 = 0.173 \text{ m}^2$$

$$A_{c1} = h_1 \cdot a_1 = 0.39 \cdot 1.07 = 0.417 \text{ m}^2$$

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					PROGETTO ESECUTIVO
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 72 di 280

8.7.4 Concio Tipo A – analisi in condizioni ordinarie

8.7.4.1. Verifiche pressioni di contatto

Si riporta in dettaglio la verifica delle pressioni di contatto tenendo in considerazione la posizione dei martinetti rispetto all'asse del concio.

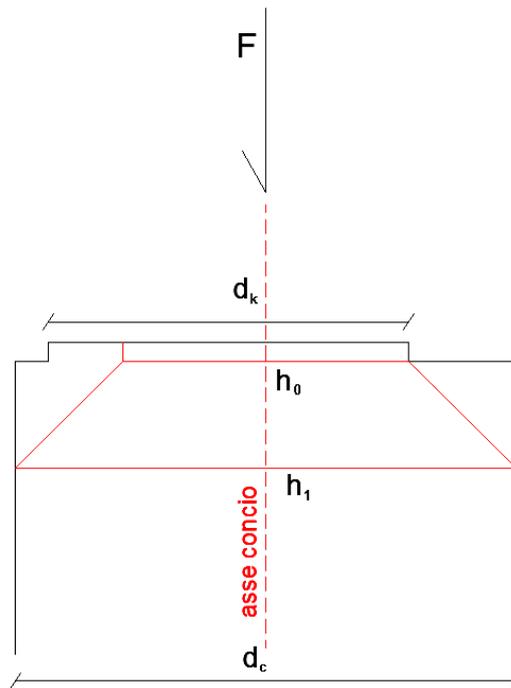


Figura 8-50: configurazione delle distribuzioni di pressione

Si calcola ora la larghezza di contatto h_0 :

$$h_0 = d_k - 2(e_{giunto}) = 0.324 - 2 \cdot (0.0332) = 0.257m$$

d_k : larghezza del giunto circonferenziale.

$e_{martinetto}$: eccentricità del martinetto rispetto all'asse del concio.

e_{giunto} : eccentricità del giunto rispetto all'asse del concio.

La rispettiva larghezza omotetica h_1 risulta essere pari a:

$$h_1 = 2(d_c/2 - e_{martinetto}) = 2 \cdot \left(\frac{0.45}{2} - 0.0\right) = 0.45m$$

d_c : rappresenta lo spessore del concio

$e_{martinetto}$: eccentricità del martinetto rispetto all'asse del concio.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 73 di 280

La lunghezza di contatto della zona caricata a_0 risulta essere pari proprio alla lunghezza della scarpa.

$$a_0 = L_{scarpa} = 0.88m$$

La lunghezza della zona omotetica a_1 è calcolata come segue.

$$a_1 = (h_1 - h_0) + L_{scarpa} = (0.45 - 0.257) + 0.88 = 1.07 m$$

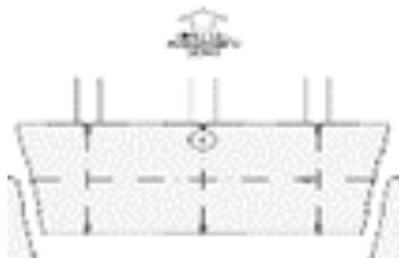
La spinta di progetto al di sotto di ogni scarpa è calcolata come segue.

$$F_{sd} = (T_{TBM} \cdot 1.3)/21 = (25 \cdot 1.3)/21 = 1.548 MN = 1548 kN$$

Dimensionamento del concio nella fase di spinta

SWSTM Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL CONCIO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Compressione

spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	25	
Numero delle scarpe	N_H [-]	21	
Eccentricità dei martinetti	ϵ_v [m]	0.00	
Coefficiente di incremento del carico	γ_{SLU} [-]	1.30	

Resistenza del segmento " $F_{sd} \leq F_{Rd} \leq F_{max}$ "

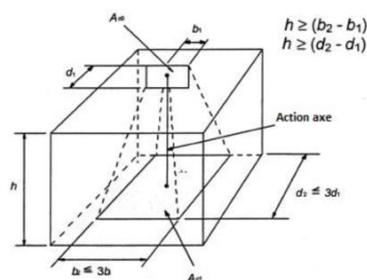
Largezza di pressione	h_0 [m]	0.257	Largezza della superficie proiettata	h_1 [m]	0.45
Lunghezza di pressione	a_0 [m]	0.88	Lunghezza della superficie proiettata	a_1 [m]	1.07
Resistenza del cls	"SLU"	f_{cd} [MPa]	25.5		

$$F_{sd} = \Sigma F \cdot \gamma_F$$

$$F_{Rd} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{A_{c1} / A_{c0}}$$

$$F_{max} = 3 A_{c0} \cdot f_{cd}$$

Sforzo agente	"SLU"	$F_{sd,E}$ [kN]	1548
Resistenza	"SLU"	F_{Rd} [kN]	8427
	"SLU"	F_{max} [kN]	17301



La verifica delle pressioni di contatto risulta soddisfatta.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 74 di 280

Si riporta di seguito anche la **verifica SLU** della sezione presso inflessa al di sotto della scarpa soggetta alle seguenti sollecitazioni di compressione e momento flettente.

$$N = -1548 \text{ kN}$$

$$M = N \times e = -1548 \times 0.00 = 0 \text{ kNm}$$

La sezione di calcolo ha una larghezza pari a quella delle scarpe e un'altezza pari allo spessore del conccio. Le armature resistenti longitudinali al di sotto della scarpa si considerano a favore di sicurezza 3+3 Φ 10.

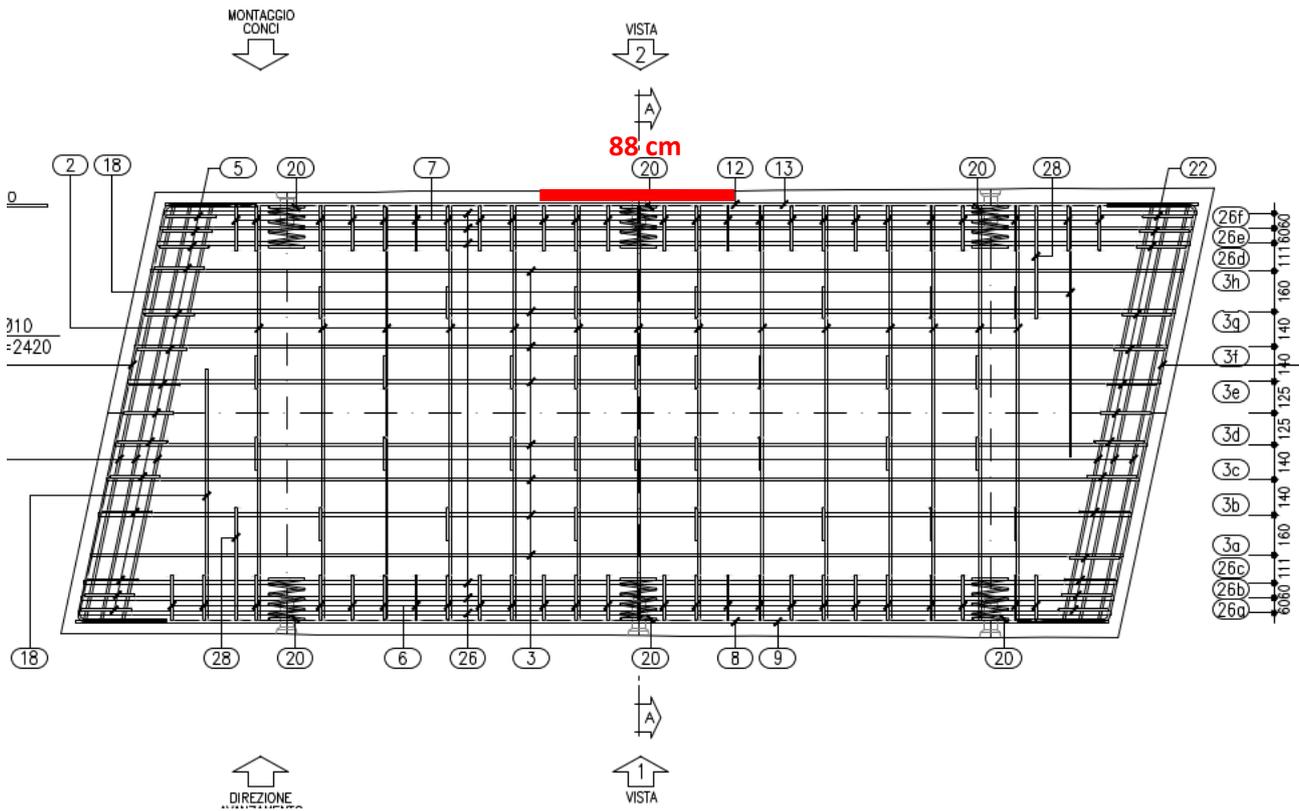


Figura 8-51: Layout di armatura al di sotto della scarpa

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA - PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	75 di 280

Sezione al di sotto della scarpa - Armatura longitudinale

INPUT

SOLLECITAZIONI DI VERIFICA

Combinazione	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	V _{Sd} [kN]
SLE Quasi Permanente	0.0	0.0	-
SLE Frequente	0.0	0.0	-
SLE Rara	0.0	0.0	-
SLU	-1548.0	0.0	0.0
SLV	0.0	0.0	0.0

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.

Geometria della sezione			
Base (ortogonale al Taglio)	B [cm]	88	
Altezza (parallela al Taglio)	H [cm]	45	
Altezza utile della sezione	d [cm]	40	
Area di calcestruzzo	A _c [cm ²]	3960	

Armatura longitudinale tesa		1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
Numero Barre	n	3	0	0
Diametro	φ [mm]	10	0	0
Posizione dal lembo esterno	c [cm]	5.5	0.0	0.0
Area strato	As [cm ²]	2.36	0.00	0.00
Rapporto di armatura	ρ [%]	0.068%		

Armatura longitudinale compressa		1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
Numero Barre	n	3	0	0
Diametro	φ [mm]	10	0	0
Posizione dal lembo esterno	c' [cm]	5.5	0.0	0.0
Area strato	As' [cm ²]	2.36	0.00	0.00
Rapporto di armatura	ρ' [%]	0.068%		

Armatura trasversale		1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO
Diametro	φ [mm]	0	0	0
Numero bracci	n _{bt}	0	0	0
Passo	s _w [cm]	0	0	0
Inclinazione	α [deg]	90	90	90
Area armatura a metro	A _{sw/s_w} [cm ² /m]	0.00	0.00	0.00

CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI

Concrete		
Resistenza cubica a compressione	RCK	55
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f _{ck} [Mpa]	45.00
Resistenza cilindrica media a compressione	f _{cm} [Mpa]	53.00
Resistenza media a trazione per flessione	f _{ctm} [Mpa]	3.80
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	f _{ctk} [Mpa]	2.66
Resistenza di progetto a compressione	f _{cd} [Mpa]	25.50
Resistenza di progetto delle bielle compresse	f _{cd'} [Mpa]	12.55
Acciaio		
Resistenza di progetto a snervamento	f _{yd} [Mpa]	391.30

OUTPUT

VERIFICHE IN ESERCIZIO

Verifica Tensionale		σ limit
Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	σ _c [Mpa] =	0.00 20.250
Calcestruzzo SLE Rara	σ _c [Mpa] =	0.00 27.000
Acciaio SLE Rara	σ _s [Mpa] =	0.00 360.000
Verifica di fessurazione		w limit
Combinazione SLE Quasi permanente	w _d [mm] =	0.000 0.200
Combinazione SLE Frequente	w _d [mm] =	0.000 0.200

VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO

Sollecitazioni di progetto			
Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)		V _{Sd} [kN]	0.0
Sforzo Normale concomitante al massimo taglio		N _{Sd} [kN]	0.0

Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica			
Resistenza di progetto senza armatura specifica	V _{Rd1} [kN]	182.74	
Coefficiente di sicurezza	V _{Rd1} /V _{Sd}	-	

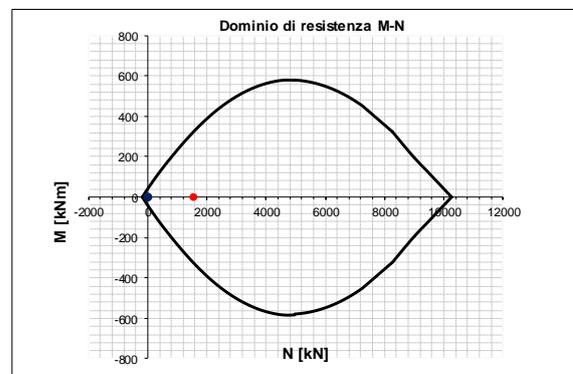
Verifica di resistenza dell'armatura specifica			
CoTan(θ) di progetto	cotan(θ)	2.5	
Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls	V _{Rd2} (θ) [kN]	-	
Resistenza a taglio dell'armatura	V _{Rd3} (θ) [kN]	-	
Resistenza a taglio di progetto	V _{Rd} [kN]	-	
Coefficiente di sicurezza	V _{Rd} /V _{Sd}	-	

VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE

Sollecitazioni di progetto		SLU	SLV
Momento sollecitante	M _{Sd} [kNm]	0.0	0.0
Sforzo Normale concomitante	N _{Sd} [kN]	-1548.0	0.0

Verifica di resistenza in termini di momento			
Momento resistente	M _{Rd} [kNm]	324.2	40.6
Coefficiente di sicurezza	M _{Rd} /M _{Sd}	-	-

Verifica di resistenza in termini di sforzo normale			
Sforzo normale resistente	N _{Rd} [kN]	-	-
Coefficiente di sicurezza	N _{Rd} /N _{Sd}	-	-



APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 76 di 280

8.7.4.2. Verifica della resistenza alle trazioni indotte in direzione radiale

Di seguito si riporta la **verifica SLU** delle barre di armatura in direzione radiale.

Nella verifica vengono considerate staffe $\Phi 10/125\text{cm}$ con due bracci.

Dimensionamento del concio nella fase di spinta della TBM

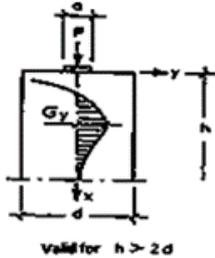
SWSTM Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL SEGMENTO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Bursting in direzione radiale

Spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	25.0	F_{sd} = Spinta di progetto della TBM
Spinta SLU della TBM	T_{SLU} [MN]	33	
Numero delle scarpe tot.	N_H [-]	21	
Lunghezza delle scarpe	L_1 [m]	0.88	
Larghezza zona di pressione	a [m]	0.257	
Larghezza zona di pressione proietta	d [m]	0.450	
Coeff. di combinazione SLU	γ_{ULS} [-]	1.30	
Resistenza a trazione di calcolo	f_{yd} [MPa]	391	
Diametro delle barre	\emptyset [mm]	10	
Numero dei bracci	n [-]	2	
Passo delle barre	s [mm]	125	

$P = F_{sd, ULS}$
 $Z = 0.3 P * [1 - a / d]$
 $A_{s, min} = Z / f_{yd}$

$A_s = n * [L_1 / s] A_{\emptyset}$
 $x_1 = k_1 * d$
 $x_2 = k_2 * d$



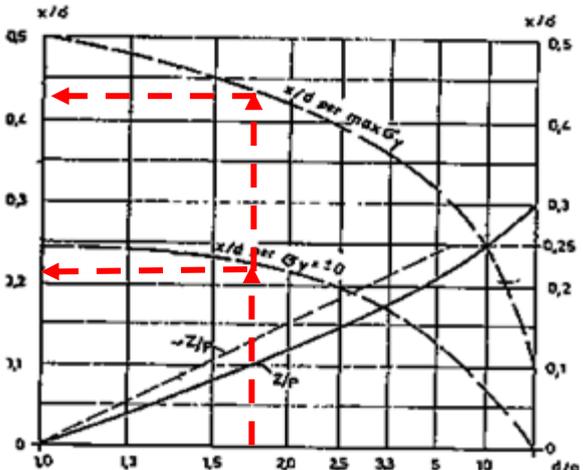
Induced tensile stress	
Sforzo di trazione	Z [kN] 199
armatura richiesta	$A_{s, min}$ [cm ²] 5.1
armatura adottata	A_s [cm ²] 11.00
Coeff. di sicurezza	FS_{cd} [-] 2.2

Profondità in corrispondenza della tensione nulla

$x_1 / d = 0.22 \quad x_1 = 9.9$ [cm]

Profondità in corrispondenza della tansione max

$x_2 / d = 0.43 \quad x_2 = 19.4$ [cm]



I valori di a e d sono i medesimi dei valori h_0 e h_1 del paragrafo precedente.

La verifica risulta soddisfatta per le staffe in direzione radiale.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	77 di 280

Di seguito si riporta la **verifica tensionale SLE** delle barre di armatura in direzione radiale.

Nella verifica vengono considerate staffe $\Phi 10/125\text{cm}$ con due bracci.

In questo caso le armature che resistono alla trazione sono n.14 staffe totali.

Dimensionamento del concio nella fase di spinta della TBM



RESISTENZA DEL SEGMENTO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Bursting in direzione radiale

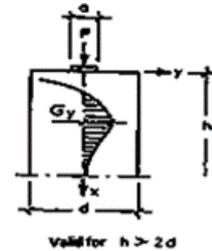
Spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	25.0
Spinta SLU della TBM	T_{SLE} [MN]	25.0
Numero delle scarpe tot.	N_H [-]	21
Lunghezza delle scarpe	L_1 [m]	0.88
Larghezza zona di pressione	a [m]	0.257
Larghezza zona di pressione proietta	d [m]	0.450
Coeff. di combinazione SLE	γ_{SLE} [-]	1.00
Resistenza a trazione di calcolo	f_{yd} [MPa]	391
Diametro delle barre	\emptyset [mm]	10
Numero dei bracci	n [-]	2
Passo delle barre	s [mm]	125

F_{sd} = Spinta di progetto della TBM

$$P = F_{sd, UL5}$$

$$Z = 0.3 P * [1 - a / d]$$

$$A_{s, min} = Z / f_{yd}$$

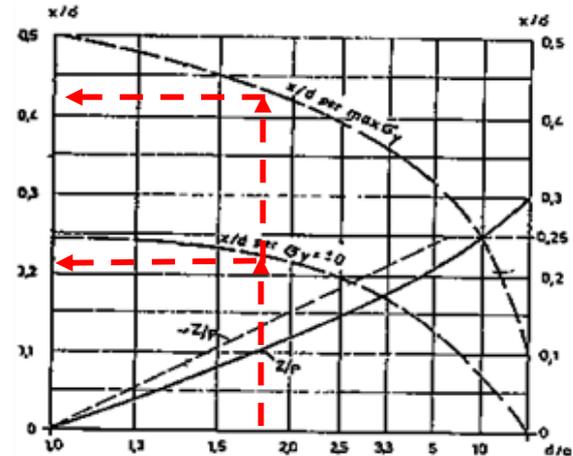


$$A_s = n * [L_1 / s] A_{\emptyset}$$

$$x_1 = k_1 * d$$

$$x_2 = k_2 * d$$

Tensioni indotte nell'acciaio		
Sforzo di trazione	Z [kN]	153
armatura adottata	A_s [cm ²]	11.00
Trazione su ogni singola barra	Z_i [kN]	10.9
Tensione su ogni singola barra	σ_i [MPa]	139.3
Tensione massima ammissibile SLE	$0.75 f_{yk}$ [MPa]	337.5
Coeff. di sicurezza	FS_{cd} [-]	2.4



Profondità in corrispondenza della tensione nulla

$$x_1 / d = 0.22 \quad x_1 = 9.9 \text{ [cm]}$$

Profondità in corrispondenza della tansione max

$$x_2 / d = 0.43 \quad x_2 = 19.4 \text{ [cm]}$$

I valori di a e d sono i medesimi dei valori h_0 e h_1 del paragrafo precedente.

La verifica SLE risulta soddisfatta per le staffe in direzione radiale.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 78 di 280	

8.7.4.3. Verifica delle trazioni indotte in direzione circonferenziale

Nel seguente paragrafo si riportano le verifiche allo stato limite ultimo (SLU) e di esercizio (SLE) per le trazioni in direzione circonferenziale indotte dalle spinte in condizioni ordinarie.

Al fine di stimare l'effetto di spalling tra le scarpe di spinta l'analisi si svolge mediante modello FEM 2D.

Verifiche in direzione circonferenziale SLE

Nel seguente paragrafo si riportano le verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE), come prescritto nelle NTC08 al §4.1.2.2.5, si confrontano le tensioni massime, considerando la spinta ordinaria, con i valori di tensione massimi consentiti.

L'azione della spinta dei martinetti in direzione circonferenziale viene svolta mediante un'analisi numerica 2D lineare applicando una spinta macchina totale pari a 25MN, di cui si riporta l'output delle tensioni di seguito.

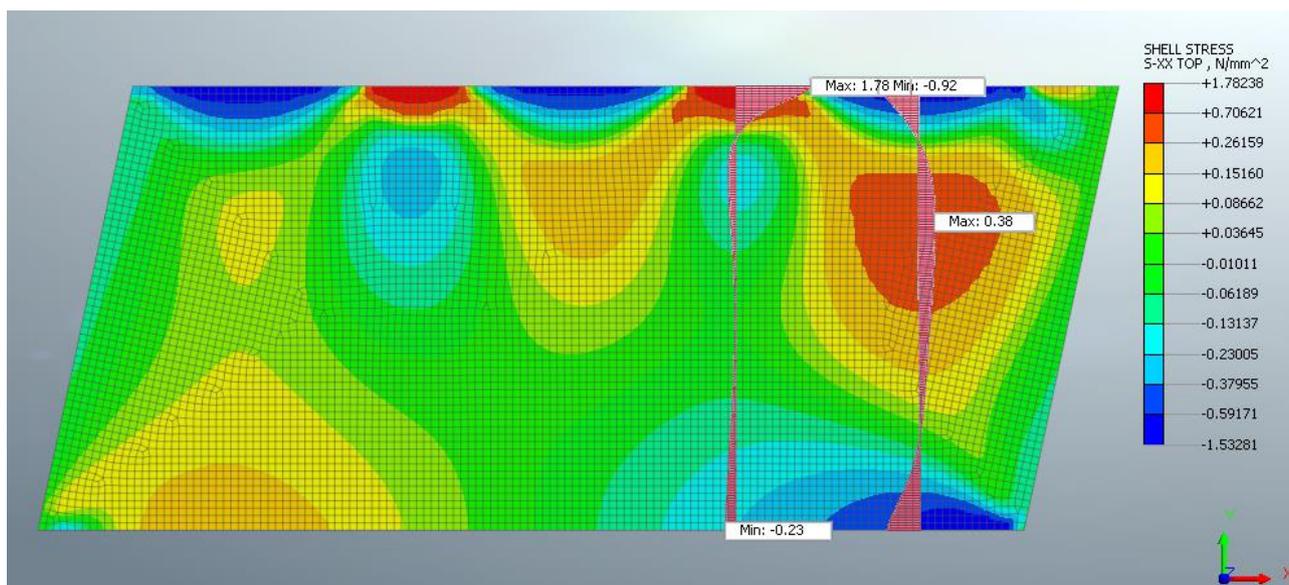


Figura 8-52: Modello Midas FEA NX verifiche SLE spinta Ordinaria

Si riportano di seguito i due diagrammi, rispettivamente per effetto spalling ed effetto bursting, in un grafico più facilmente comprensibile affiancando ad esso la sezione longitudinale del cono con le barre di armatura collaboranti nel tratto interessato dagli sforzi di trazione.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 79 di 280

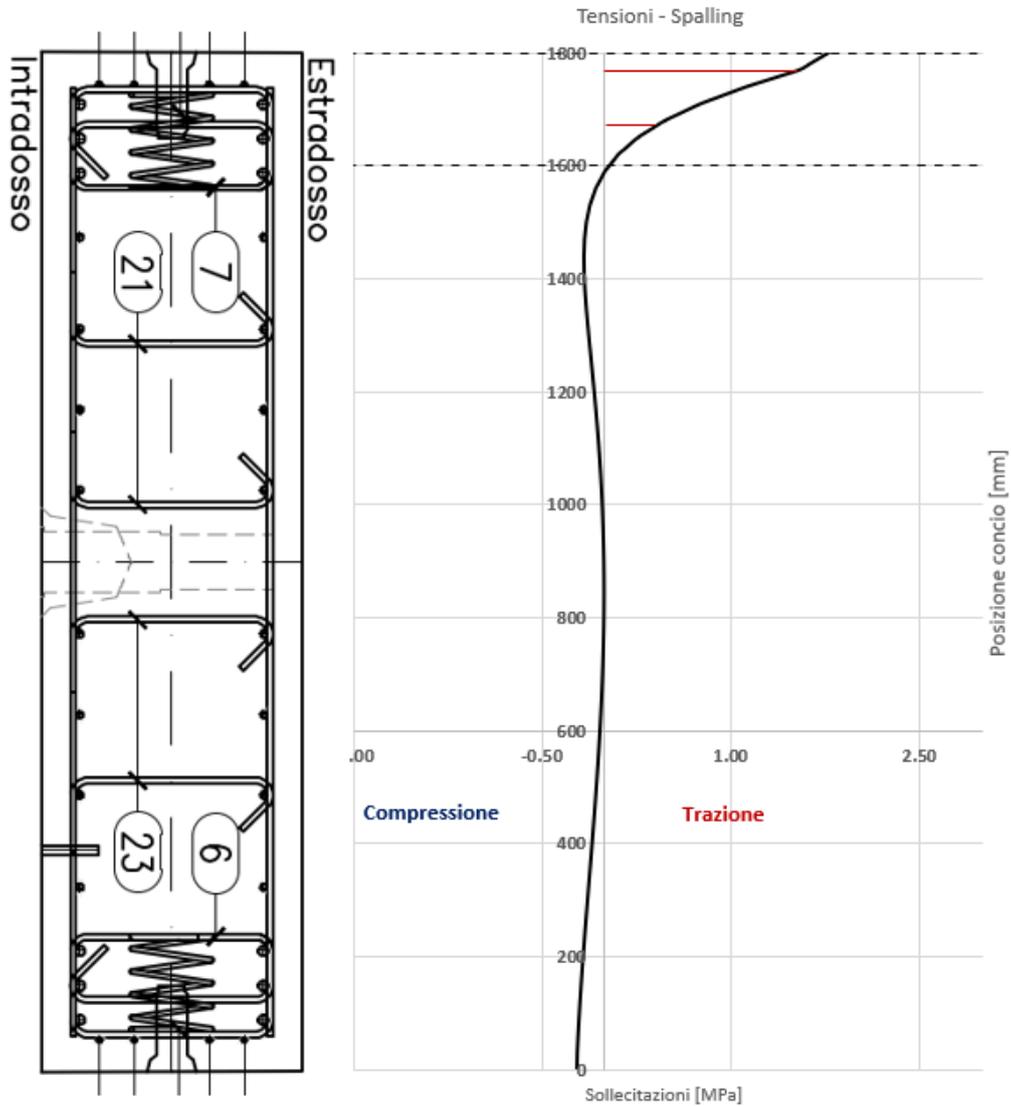


Figura 8-53: Andamento delle sollecitazioni effetto spalling tra le scarpe di spinta

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 80 di 280

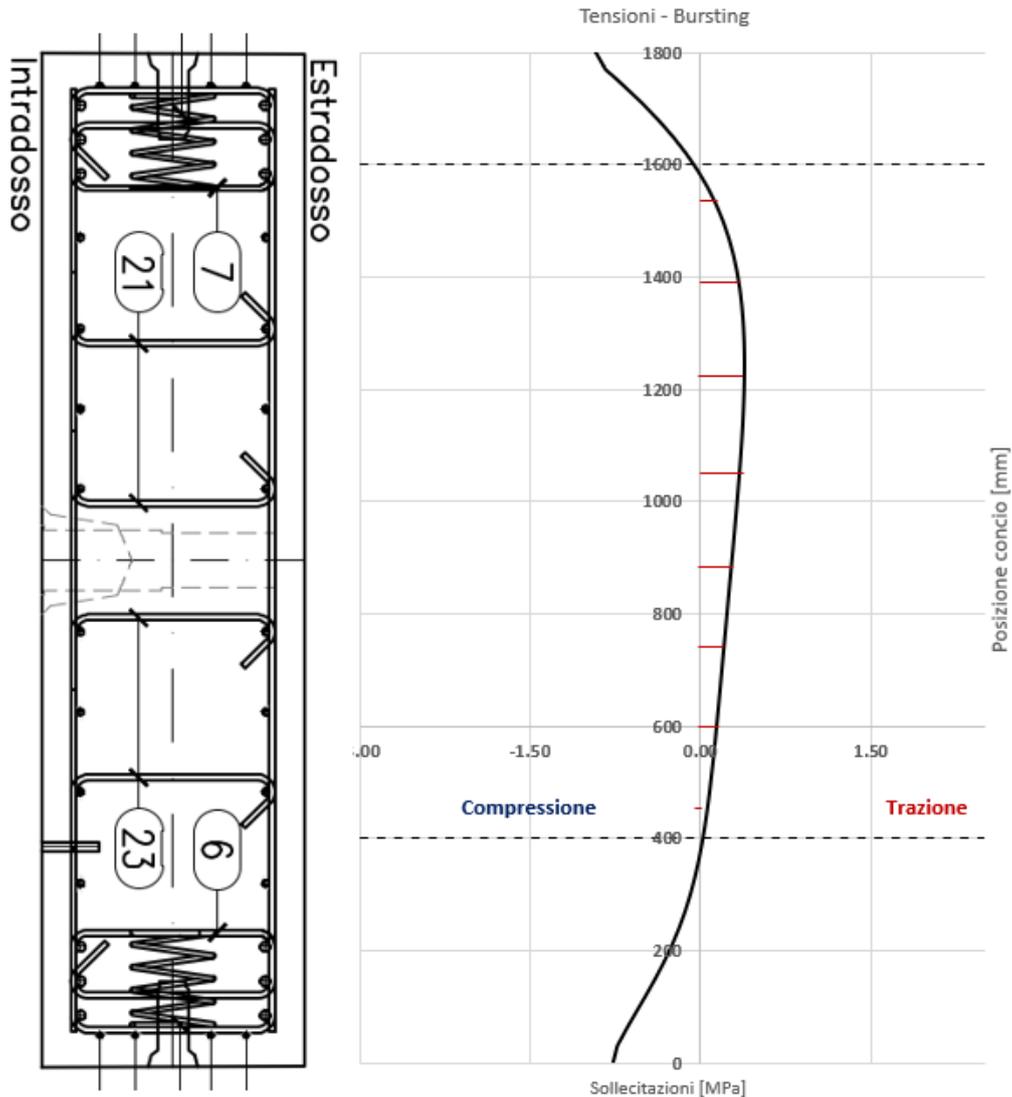


Figura 8-54: Andamento delle sollecitazioni effetto bursting sotto le scarpe di spinta

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva contenente le verifiche SLE (NTC08 §4.1.2.2.5.1).

Sezione di analisi	σ_{limite} [MPa]	T_{ed} (integrazione) [kN]	Barre collaboranti	A_s [mm ²]	σ_{agente} [MPa]	Verifica
Spalling	$\sigma_{s, \text{limite}} = 0.75 \cdot f_{yk} = 337.5$	70	4 $\phi 10 + 4 \phi 14$	932	$\sigma_s = T_{\text{ed}}/A_s = 75$	$\sigma_s < \sigma_{s, \text{limite}}$ Verifica soddisfatta
Bursting	$\sigma_{s, \text{limite}} = 0.75 \cdot f_{yk} = 337.5$	129	12 $\phi 12$	1356	$\sigma_s = T_{\text{ed}}/A_s = 95$	$\sigma_s < \sigma_{s, \text{limite}}$ Verifica soddisfatta

Tabella 8-14: Verifiche SLE a trazione armature

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 81 di 280

Si riporta di seguito la **verifica a fessurazione**, secondo quanto prescritto dall'EC2 §7.3.4, per l'effetto spalling tra le piastre di spinta.

Come spiegato nelle ipotesi di base si riporta il diagramma delle sollecitazioni di spalling tra le scarpe per le quali si integrano le trazioni per ottenere il tiro agente sulla sezione.

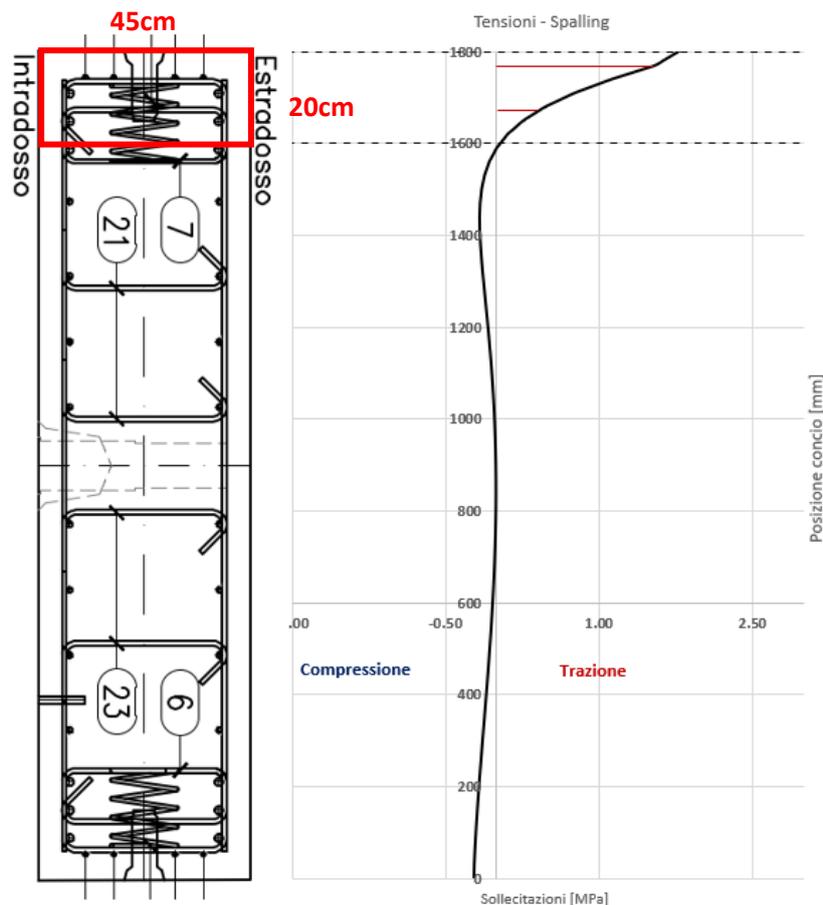


Figura 8-55: Andamento delle tensioni circonferenziali tra le scarpe.

La sezione considerata per il calcolo della fessurazione ha un'altezza di 20cm (altezza delle trazioni) e una base di 45cm (spessore cono).

Le armature coinvolte nella zona di trazione sono le seguenti: 4Φ10+4Φ14.

Integrando le tensioni si ottiene un tiro di:

$$F_{Spalling} = t \cdot \sum \Delta z \cdot \sigma_{xx} = 70 \text{ kN}$$

t: spessore del cono;

Δz: discretizzazione lungo la posizione del cono;

σ_{xx}: tensione agente.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 82 di 280

Il baricentro di spinta del tiro rispetto al lembo superiore del concio viene calcolato come segue.

$$z_{tiro} = \frac{t \cdot \sum z_i \cdot \sigma_{i,xx}}{F_{spalling}} = 0.064 \text{ m}$$

L'azione di tiro si trova a 6.4 cm dal bordo esterno del concio.

L'eccentricità rispetto al baricentro della sezione considerata di altezza 24 cm risulta essere.

$$e = \frac{h}{2} - z_{tiro} = \frac{0.20}{2} - 0.064 = 0.036 \text{ m}$$

Il momento agente sulla sezione è calcolato come di seguito.

$$M_{ed} = F_{spalling} \cdot e = 70 \cdot 0.036 = 2.52 \text{ kNm}$$

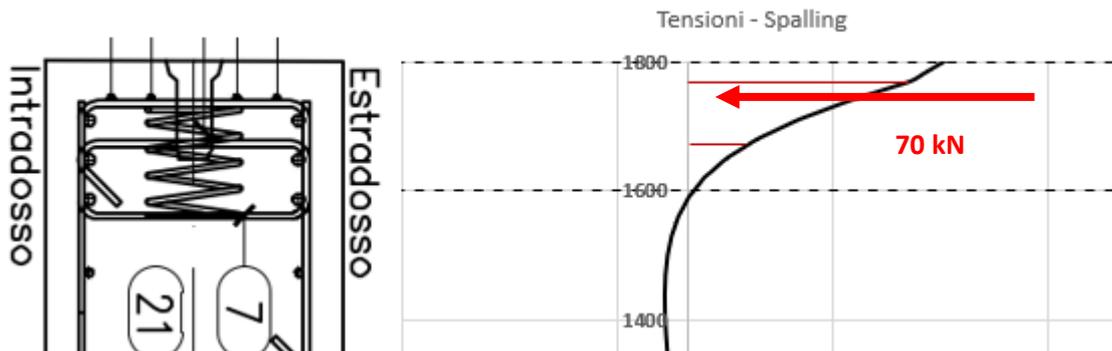
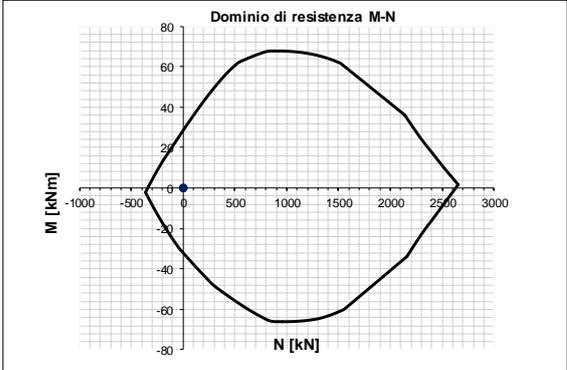


Figura 8-56: Posizione del tiro di spalling.

Di seguito si riporta la verifica a fessurazione.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA - PONTE GARDENA"					
Mandataria:	Mandanti:	COMMESSA				LOTTO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU				1BEZZ
08 - GALLERIE		CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		RH		GN000003	C	83 di 280
		PROGETTO ESECUTIVO				

Fessurazione per spalling tra le scarpe

INPUT	OUTPUT																																																																
SOLLECITAZIONI DI VERIFICA	VERIFICHE IN ESERCIZIO																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Combinazione</th> <th>N_{Sd} [kN]</th> <th>M_{Sd} [kNm]</th> <th>V_{Sd} [kN]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SLE Quasi Permanente</td> <td>70.0</td> <td>2.5</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>SLE Frequente</td> <td>70.0</td> <td>2.5</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>SLE Rara</td> <td>70.0</td> <td>2.5</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>SLU</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>SLV</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> </tbody> </table>	Combinazione	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	V _{Sd} [kN]	SLE Quasi Permanente	70.0	2.5	-	SLE Frequente	70.0	2.5	-	SLE Rara	70.0	2.5	-	SLU	0.0	0.0	0.0	SLV	0.0	0.0	0.0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Verifica Tensionale</th> <th>σ limit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Calcestruzzo SLE Quasi Permanente</td> <td>σ_c [Mpa] = 1.46 20.250</td> </tr> <tr> <td>Calcestruzzo SLE Rara</td> <td>σ_c [Mpa] = 1.46 27.000</td> </tr> <tr> <td>Acciaio SLE Rara</td> <td>σ_s [Mpa] = 137.64 360.000</td> </tr> </tbody> </table>	Verifica Tensionale	σ limit	Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	σ _c [Mpa] = 1.46 20.250	Calcestruzzo SLE Rara	σ _c [Mpa] = 1.46 27.000	Acciaio SLE Rara	σ _s [Mpa] = 137.64 360.000																																
Combinazione	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	V _{Sd} [kN]																																																														
SLE Quasi Permanente	70.0	2.5	-																																																														
SLE Frequente	70.0	2.5	-																																																														
SLE Rara	70.0	2.5	-																																																														
SLU	0.0	0.0	0.0																																																														
SLV	0.0	0.0	0.0																																																														
Verifica Tensionale	σ limit																																																																
Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	σ _c [Mpa] = 1.46 20.250																																																																
Calcestruzzo SLE Rara	σ _c [Mpa] = 1.46 27.000																																																																
Acciaio SLE Rara	σ _s [Mpa] = 137.64 360.000																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Verifica di fessurazione</th> <th>w limit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Combinazione SLE Quasi permanente</td> <td>w_d [mm] = 0.000 0.200</td> </tr> <tr> <td>Combinazione SLE Frequente</td> <td>w_d [mm] = 0.000 0.200</td> </tr> </tbody> </table>	Verifica di fessurazione	w limit	Combinazione SLE Quasi permanente	w _d [mm] = 0.000 0.200	Combinazione SLE Frequente	w _d [mm] = 0.000 0.200																																																											
Verifica di fessurazione	w limit																																																																
Combinazione SLE Quasi permanente	w _d [mm] = 0.000 0.200																																																																
Combinazione SLE Frequente	w _d [mm] = 0.000 0.200																																																																
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.	VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Geometria della sezione</th> <th>B [cm]</th> <th>H [cm]</th> <th>d [cm]</th> <th>A_c [cm²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Base (ortogonale al Taglio)</td> <td>45</td> <td>20</td> <td>13</td> <td>900</td> </tr> <tr> <td>Altezza (parallela al Taglio)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Altezza utile della sezione</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Area di calcestruzzo</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Geometria della sezione	B [cm]	H [cm]	d [cm]	A _c [cm ²]	Base (ortogonale al Taglio)	45	20	13	900	Altezza (parallela al Taglio)					Altezza utile della sezione					Area di calcestruzzo					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Sollecitazioni di progetto</th> <th>V_{Sd} [kN]</th> <th>N_{Sd} [kN]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Sforzo Normale concomitante al massimo taglio</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Sollecitazioni di progetto	V _{Sd} [kN]	N _{Sd} [kN]	Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)	0.0	0.0	Sforzo Normale concomitante al massimo taglio																																
Geometria della sezione	B [cm]	H [cm]	d [cm]	A _c [cm ²]																																																													
Base (ortogonale al Taglio)	45	20	13	900																																																													
Altezza (parallela al Taglio)																																																																	
Altezza utile della sezione																																																																	
Area di calcestruzzo																																																																	
Sollecitazioni di progetto	V _{Sd} [kN]	N _{Sd} [kN]																																																															
Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)	0.0	0.0																																																															
Sforzo Normale concomitante al massimo taglio																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Armatura longitudinale tesa</th> <th>1° STRATO</th> <th>2° STRATO</th> <th>3° STRATO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Numero Barre</td> <td>n = 4</td> <td>2</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Diametro</td> <td>φ [mm] = 10</td> <td>14</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Posizione dal lembo esterno</td> <td>c [cm] = 5.5</td> <td>8.9</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Area strato</td> <td>As [cm²] = 3.14</td> <td>3.08</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Rapporto di armatura</td> <td>ρ [%] = 1.078%</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Armatura longitudinale tesa	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	Numero Barre	n = 4	2	0	Diametro	φ [mm] = 10	14	0	Posizione dal lembo esterno	c [cm] = 5.5	8.9	0.0	Area strato	As [cm ²] = 3.14	3.08	0.00	Rapporto di armatura	ρ [%] = 1.078%			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica</th> <th>V_{Rd1} [kN]</th> <th>V_{Rd1}/V_{Sd}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Resistenza di progetto senza armatura specifica</td> <td>50.49</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente di sicurezza</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica	V _{Rd1} [kN]	V _{Rd1} /V _{Sd}	Resistenza di progetto senza armatura specifica	50.49	-	Coefficiente di sicurezza																																	
Armatura longitudinale tesa	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO																																																														
Numero Barre	n = 4	2	0																																																														
Diametro	φ [mm] = 10	14	0																																																														
Posizione dal lembo esterno	c [cm] = 5.5	8.9	0.0																																																														
Area strato	As [cm ²] = 3.14	3.08	0.00																																																														
Rapporto di armatura	ρ [%] = 1.078%																																																																
Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica	V _{Rd1} [kN]	V _{Rd1} /V _{Sd}																																																															
Resistenza di progetto senza armatura specifica	50.49	-																																																															
Coefficiente di sicurezza																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Armatura longitudinale compressa</th> <th>1° STRATO</th> <th>2° STRATO</th> <th>3° STRATO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Numero Barre</td> <td>n = 2</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Diametro</td> <td>φ [mm] = 14</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Posizione dal lembo esterno</td> <td>c' [cm] = 2.7</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Area strato</td> <td>As' [cm²] = 3.08</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Rapporto di armatura</td> <td>ρ' [%] = 0.534%</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Armatura longitudinale compressa	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	Numero Barre	n = 2	0	0	Diametro	φ [mm] = 14	0	0	Posizione dal lembo esterno	c' [cm] = 2.7	0.0	0.0	Area strato	As' [cm ²] = 3.08	0.00	0.00	Rapporto di armatura	ρ' [%] = 0.534%			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Verifica di resistenza dell'armatura specifica</th> <th>cotang(θ)</th> <th>V_{Rd2}(θ) [kN]</th> <th>V_{Rd2}(θ) [kN]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CoTan(θ) di progetto</td> <td>2.5</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resistenza a taglio dell'armatura</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resistenza a taglio di progetto</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Coefficiente di sicurezza</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Verifica di resistenza dell'armatura specifica	cotang(θ)	V _{Rd2} (θ) [kN]	V _{Rd2} (θ) [kN]	CoTan(θ) di progetto	2.5	-	-	Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls				Resistenza a taglio dell'armatura				Resistenza a taglio di progetto				Coefficiente di sicurezza																			
Armatura longitudinale compressa	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO																																																														
Numero Barre	n = 2	0	0																																																														
Diametro	φ [mm] = 14	0	0																																																														
Posizione dal lembo esterno	c' [cm] = 2.7	0.0	0.0																																																														
Area strato	As' [cm ²] = 3.08	0.00	0.00																																																														
Rapporto di armatura	ρ' [%] = 0.534%																																																																
Verifica di resistenza dell'armatura specifica	cotang(θ)	V _{Rd2} (θ) [kN]	V _{Rd2} (θ) [kN]																																																														
CoTan(θ) di progetto	2.5	-	-																																																														
Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls																																																																	
Resistenza a taglio dell'armatura																																																																	
Resistenza a taglio di progetto																																																																	
Coefficiente di sicurezza																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Armatura trasversale</th> <th>1° TIPO</th> <th>2° TIPO</th> <th>3° TIPO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Diametro</td> <td>φ [mm] = 0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Numero bracci</td> <td>n_{bi} = 0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Passo</td> <td>s_w [cm] = 0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Inclinazione</td> <td>α [deg] = 90</td> <td>90</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>Area armatura a metro</td> <td>A_{sw}/s_w [cm²/m] = 0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	Armatura trasversale	1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO	Diametro	φ [mm] = 0	0	0	Numero bracci	n _{bi} = 0	0	0	Passo	s _w [cm] = 0	0	0	Inclinazione	α [deg] = 90	90	90	Area armatura a metro	A _{sw} /s _w [cm ² /m] = 0.00	0.00	0.00	VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE																																								
Armatura trasversale	1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO																																																														
Diametro	φ [mm] = 0	0	0																																																														
Numero bracci	n _{bi} = 0	0	0																																																														
Passo	s _w [cm] = 0	0	0																																																														
Inclinazione	α [deg] = 90	90	90																																																														
Area armatura a metro	A _{sw} /s _w [cm ² /m] = 0.00	0.00	0.00																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Sollecitazioni di progetto</th> <th>M_{Sd} [kNm]</th> <th>N_{Sd} [kN]</th> <th>SLU</th> <th>SLV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Momento sollecitante</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sforzo Normale concomitante</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Sollecitazioni di progetto	M _{Sd} [kNm]	N _{Sd} [kN]	SLU	SLV	Momento sollecitante	0.0	0.0			Sforzo Normale concomitante					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Verifica di resistenza in termini di momento</th> <th>M_{Rd} [kNm]</th> <th>M_{Rd}/M_{Sd}</th> <th>SLU</th> <th>SLV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Momento resistente</td> <td>28.6</td> <td>-</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Coefficiente di sicurezza</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Verifica di resistenza in termini di momento	M _{Rd} [kNm]	M _{Rd} /M _{Sd}	SLU	SLV	Momento resistente	28.6	-			Coefficiente di sicurezza																																						
Sollecitazioni di progetto	M _{Sd} [kNm]	N _{Sd} [kN]	SLU	SLV																																																													
Momento sollecitante	0.0	0.0																																																															
Sforzo Normale concomitante																																																																	
Verifica di resistenza in termini di momento	M _{Rd} [kNm]	M _{Rd} /M _{Sd}	SLU	SLV																																																													
Momento resistente	28.6	-																																																															
Coefficiente di sicurezza																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Sollecitazioni di progetto</th> <th>N_{Rd} [kN]</th> <th>N_{Rd}/N_{Sd}</th> <th>SLU</th> <th>SLV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sforzo normale resistente</td> <td>-</td> <td>-</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Coefficiente di sicurezza</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Sollecitazioni di progetto	N _{Rd} [kN]	N _{Rd} /N _{Sd}	SLU	SLV	Sforzo normale resistente	-	-			Coefficiente di sicurezza					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Verifica di resistenza in termini di sforzo normale</th> <th>N_{Rd} [kN]</th> <th>N_{Rd}/N_{Sd}</th> <th>SLU</th> <th>SLV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sforzo normale resistente</td> <td>-</td> <td>-</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Coefficiente di sicurezza</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Verifica di resistenza in termini di sforzo normale	N _{Rd} [kN]	N _{Rd} /N _{Sd}	SLU	SLV	Sforzo normale resistente	-	-			Coefficiente di sicurezza																																						
Sollecitazioni di progetto	N _{Rd} [kN]	N _{Rd} /N _{Sd}	SLU	SLV																																																													
Sforzo normale resistente	-	-																																																															
Coefficiente di sicurezza																																																																	
Verifica di resistenza in termini di sforzo normale	N _{Rd} [kN]	N _{Rd} /N _{Sd}	SLU	SLV																																																													
Sforzo normale resistente	-	-																																																															
Coefficiente di sicurezza																																																																	
CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Concrete</th> <th>RCK</th> <th>f_{ck} [Mpa]</th> <th>f_{cm} [Mpa]</th> <th>f_{ctm} [Mpa]</th> <th>f_{ctk} [Mpa]</th> <th>f_{cd} [Mpa]</th> <th>f_{ctd} [Mpa]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Resistenza cubica a compressione</td> <td>55</td> <td>45.00</td> <td>53.00</td> <td>3.80</td> <td>2.66</td> <td>25.50</td> <td>12.55</td> </tr> <tr> <td>Resistenza cilindrica caratteristica a compressione</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resistenza cilindrica media a compressione</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resistenza media a trazione per flessione</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resistenza caratteristica a trazione per flessione</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resistenza di progetto a compressione</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resistenza di progetto delle bielle compresse</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Concrete	RCK	f _{ck} [Mpa]	f _{cm} [Mpa]	f _{ctm} [Mpa]	f _{ctk} [Mpa]	f _{cd} [Mpa]	f _{ctd} [Mpa]	Resistenza cubica a compressione	55	45.00	53.00	3.80	2.66	25.50	12.55	Resistenza cilindrica caratteristica a compressione								Resistenza cilindrica media a compressione								Resistenza media a trazione per flessione								Resistenza caratteristica a trazione per flessione								Resistenza di progetto a compressione								Resistenza di progetto delle bielle compresse								
Concrete	RCK	f _{ck} [Mpa]	f _{cm} [Mpa]	f _{ctm} [Mpa]	f _{ctk} [Mpa]	f _{cd} [Mpa]	f _{ctd} [Mpa]																																																										
Resistenza cubica a compressione	55	45.00	53.00	3.80	2.66	25.50	12.55																																																										
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione																																																																	
Resistenza cilindrica media a compressione																																																																	
Resistenza media a trazione per flessione																																																																	
Resistenza caratteristica a trazione per flessione																																																																	
Resistenza di progetto a compressione																																																																	
Resistenza di progetto delle bielle compresse																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Acciaio</th> <th>f_{yd} [Mpa]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Resistenza di progetto a snervamento</td> <td>391.30</td> </tr> </tbody> </table>	Acciaio	f _{yd} [Mpa]	Resistenza di progetto a snervamento	391.30																																																													
Acciaio	f _{yd} [Mpa]																																																																
Resistenza di progetto a snervamento	391.30																																																																

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 84 di 280

Si riporta di seguito la **verifica a fessurazione**, secondo quanto prescritto dall'EC2 §7.3.4, per l'effetto bursting al di sotto delle piastre di spinta.

Come spiegato nelle ipotesi di base si riporta il diagramma delle sollecitazioni di bursting sotto le scarpe per le quali si integrano le trazioni per ottenere il tiro agente sulla sezione.

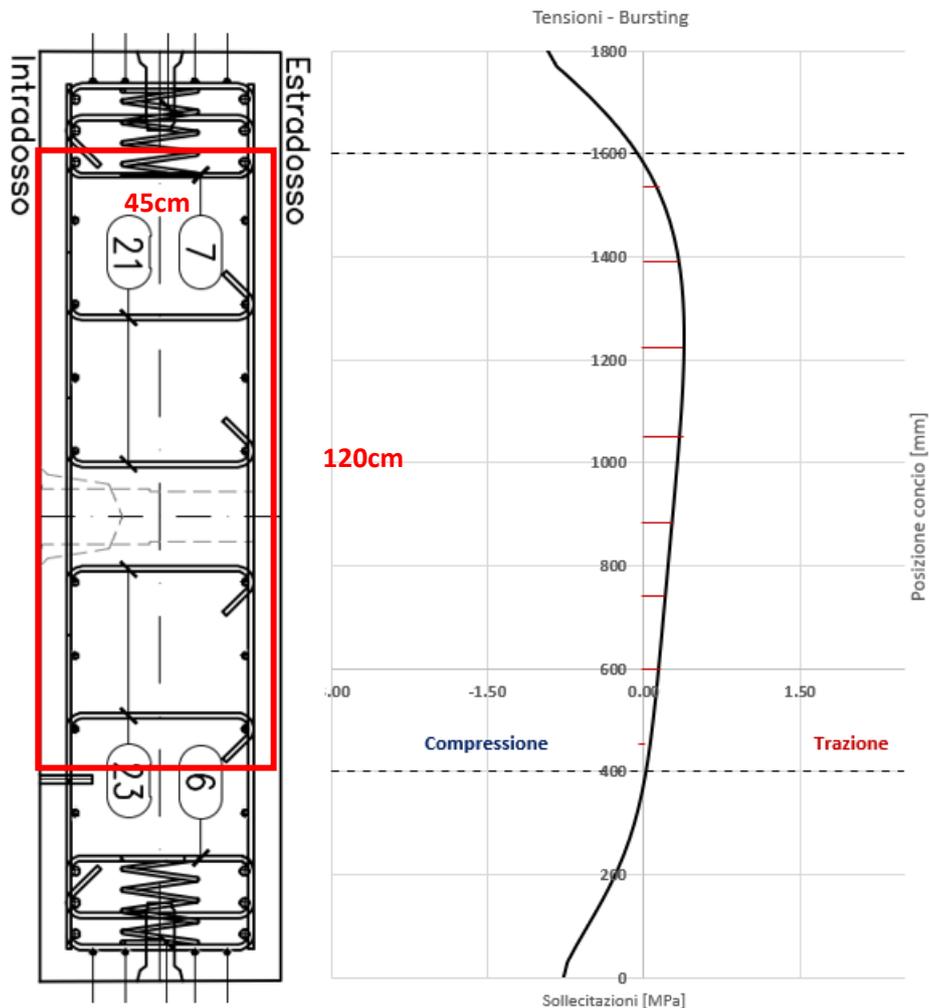


Figura 8-57: Andamento delle tensioni circonferenziali sotto le scarpe.

La sezione considerata per il calcolo della fessurazione ha un'altezza di 120cm (altezza delle trazioni) e una base di 45cm (spessore concio).

Le armature coinvolte nella zona di trazione sono le seguenti: 6Φ12+6Φ12.

Integrando le tensioni si ottiene un tiro di:

$$F_{Bursting} = t \cdot \sum \Delta z \cdot \sigma_{xx} = 129 \text{ kN}$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	85 di 280

t: spessore del concio;

Δz : discretizzazione lungo la posizione del concio;

σ_{xx} : tensione agente.

Il baricentro di spinta del tiro rispetto al lembo superiore del concio viene calcolato come segue.

$$z_{tiro} = \frac{t \cdot \sum z_i \cdot \sigma_{i,xx}}{F_{Bursting}} = 0.73 \text{ m}$$

L'azione di tiro si trova a 73 cm dal bordo esterno del concio.

L'eccentricità rispetto al baricentro della sezione considerata di altezza 120 cm risulta essere.

$$e = z - \frac{h}{2} - z_{tiro} = 1.4 - \frac{1.2}{2} - 0.73 = 0.07 \text{ m}$$

Il momento agente sulla sezione è calcolato come di seguito.

$$M_{ed} = F_{Bursting} \cdot e = 129 \cdot 0.07 = 9.03 \text{ kNm}$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 86 di 280

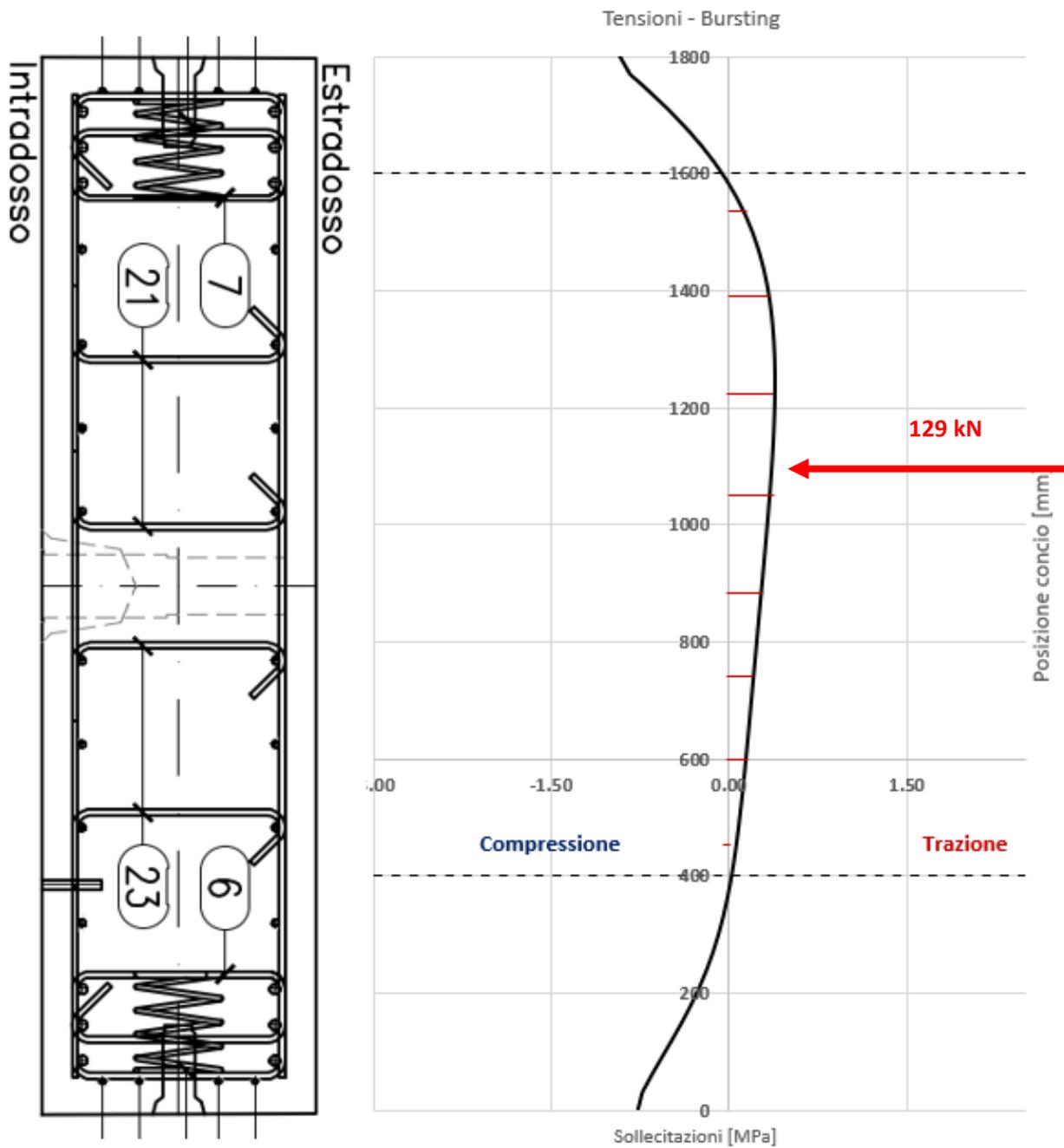


Figura 8-58: Posizione del tiro di bursting.

Di seguito si riporta la verifica a fessurazione.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA - PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN000003	REV. C	FOGLIO. 87 di 280

Fessurazione per bursting circonferenziale sotto le scarpe

INPUT

SOLLECITAZIONI DI VERIFICA

Combinazione	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	V _{Sd} [kN]
SLE Quasi Permanente	129.0	9.0	-
SLE Frequente	129.0	9.0	-
SLE Rara	129.0	9.0	-
SLU	0.0	0.0	0.0
SLV	0.0	0.0	0.0

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.

Geometria della sezione			
Base (ortogonale al Taglio)	B [cm]		40
Altezza (parallela al Taglio)	H [cm]		120
Altezza utile della sezione	d [cm]		91
Area di calcestruzzo	A _c [cm ²]		4800

Armatura longitudinale tesa				
		1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
Numero Barre	n	2	2	2
Diametro	φ [mm]	12	12	12
Posizione dal lembo esterno	c' [cm]	13.0	30.0	43.0
Area strato	As [cm ²]	2.26	2.26	2.26
Rapporto di armatura	ρ [%]	0.186%		

Armatura longitudinale compressa				
		1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
Numero Barre	n	2	2	2
Diametro	φ [mm]	12	12	12
Posizione dal lembo esterno	c' [cm]	63.0	37.0	23.0
Area strato	As' [cm ²]	2.26	2.26	2.26
Rapporto di armatura	ρ' [%]	0.186%		

Armatura trasversale				
		1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO
Diametro	φ [mm]	0	0	0
Numero bracci	n _{bi}	0	0	0
Passo	s _w [cm]	0	0	0
Inclinazione	α [deg]	90	90	90
Area armatura a metro	A _{sw} /s _w [cm ² /m]	0.00	0.00	0.00

CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI

Concrete		
Resistenza cubica a compressione	R _{ck}	55
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f _{ck} [Mpa]	45.00
Resistenza cilindrica media a compressione	f _{cm} [Mpa]	53.00
Resistenza media a trazione per flessione	f _{ctm} [Mpa]	3.80
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	f _{ctk} [Mpa]	2.66
Resistenza di progetto a compressione	f _{cd} [Mpa]	25.50
Resistenza di progetto delle bielle compresse	f _{cd} [Mpa]	12.55

Acciaio		
Resistenza di progetto a snervamento	f _{yd} [Mpa]	391.30

OUTPUT

VERIFICHE IN ESERCIZIO

Verifica Tensionale		σ limit
Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	σ _c [Mpa] =	0.00 20.250
Calcestruzzo SLE Rara	σ _c [Mpa] =	0.00 27.000
Acciaio SLE Rara	σ _s [Mpa] =	98.20 360.000

Verifica di fessurazione		w limit
Combinazione SLE Quasi permanente	w _d [mm] =	0.000 0.200
Combinazione SLE Frequente	w _d [mm] =	0.000 0.200

VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO

Sollecitazioni di progetto		
Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)	V _{Sd} [kN]	0.0
Sforzo Normale concomitante al massimo taglio	N _{Sd} [kN]	0.0

Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica		
Resistenza di progetto senza armatura specifica	V _{Rd1} [kN]	152.56
Coefficiente di sicurezza	V _{Rd1} /V _{Sd}	-

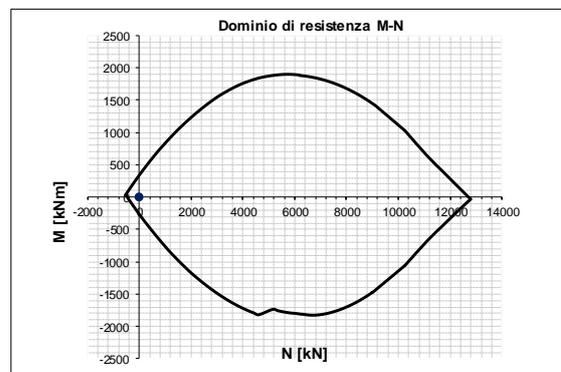
Verifica di resistenza dell'armatura specifica		
CoTan(θ) di progetto	cotan(θ)	2.5
Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls	V _{Rd2} (θ) [kN]	-
Resistenza a taglio dell'armatura	V _{Rd3} (θ) [kN]	-
Resistenza a taglio di progetto	V _{Rd} [kN]	-
Coefficiente di sicurezza	V _{Rd} /V _{Sd}	-

VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE

Sollecitazioni di progetto			
		SLU	SLV
Momento sollecitante	M _{Sd} [kNm]	0.0	0.0
Sforzo Normale concomitante	N _{Sd} [kN]	0.0	0.0

Verifica di resistenza in termini di momento			
		SLU	SLV
Momento resistente	M _{Rd} [kNm]	337.2	337.2
Coefficiente di sicurezza	M _{Rd} /M _{Sd}	-	-

Verifica di resistenza in termini di sforzo normale			
		SLU	SLV
Sforzo normale resistente	N _{Rd} [kN]	-	-
Coefficiente di sicurezza	N _{Rd} /N _{Sd}	-	-



APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 88 di 280

Verifiche in direzione circonferenziale SLU

Al fine di considerare l'azione di stato limite ultimo si applica una spinta macchina totale pari a $25 \times 1.3 = 32.5 \text{ MN}$, di cui si riporta l'output delle tensioni di seguito.

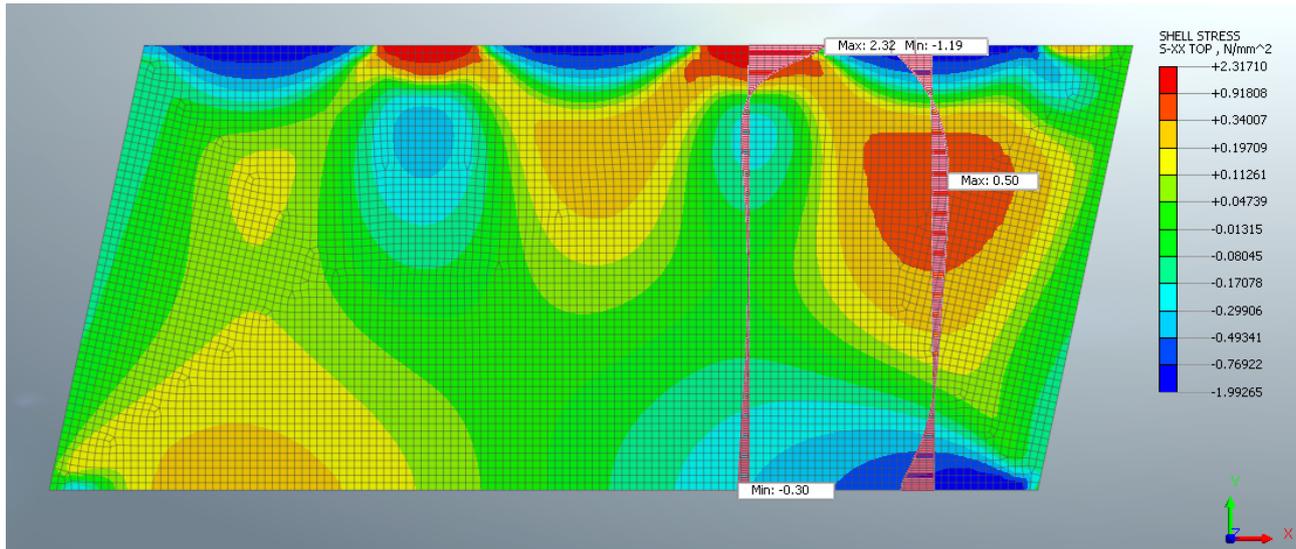


Figura 8-59: Modello Midas FEA NX verifiche SLU spinta Ordinaria

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 89 di 280

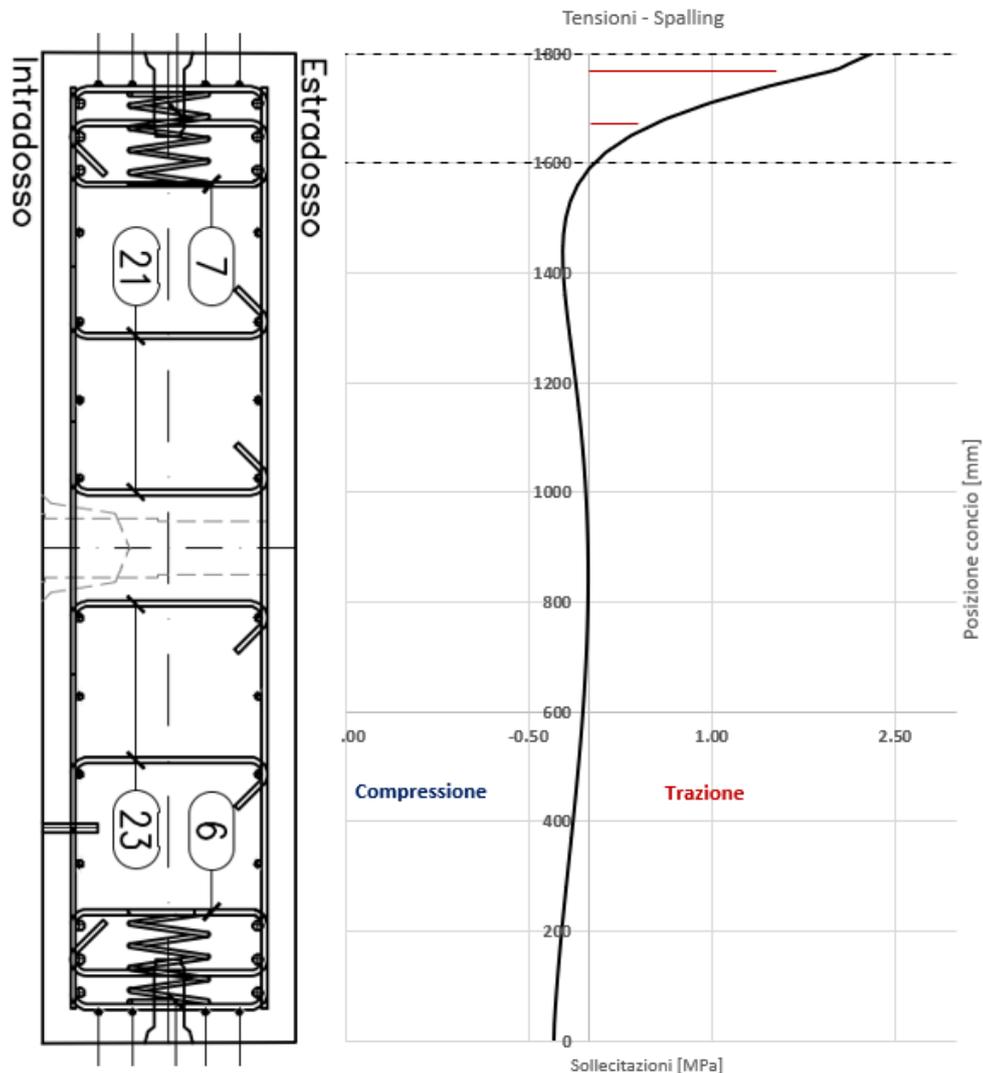


Figura 8-60: Andamento delle sollecitazioni effetto spalling tra le scarpe di spinta

Integrando la curva degli sforzi di trazione si ottiene un tiro sulle barre di armatura pari a $T_{ed}=91$ kN.

Come si evince dalla figura sopra riportata, le barre collaboranti nell'area interessata dall'effetto oggetto di analisi sono 4 ϕ 10 e 2 ϕ 14. Si ottiene una resistenza a trazione pari a:

$$T_{rd} = A_s \cdot f_{yd} = \left(\frac{14^2 \cdot \pi}{4} \cdot 2 + \frac{10^2 \cdot \pi}{4} \cdot 4 \right) \cdot 391.3 = 243 \text{ kN}$$

Con un fattore di sicurezza pari a $FS=T_{rd}/T_{ed}=2.6$ la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 90 di 280

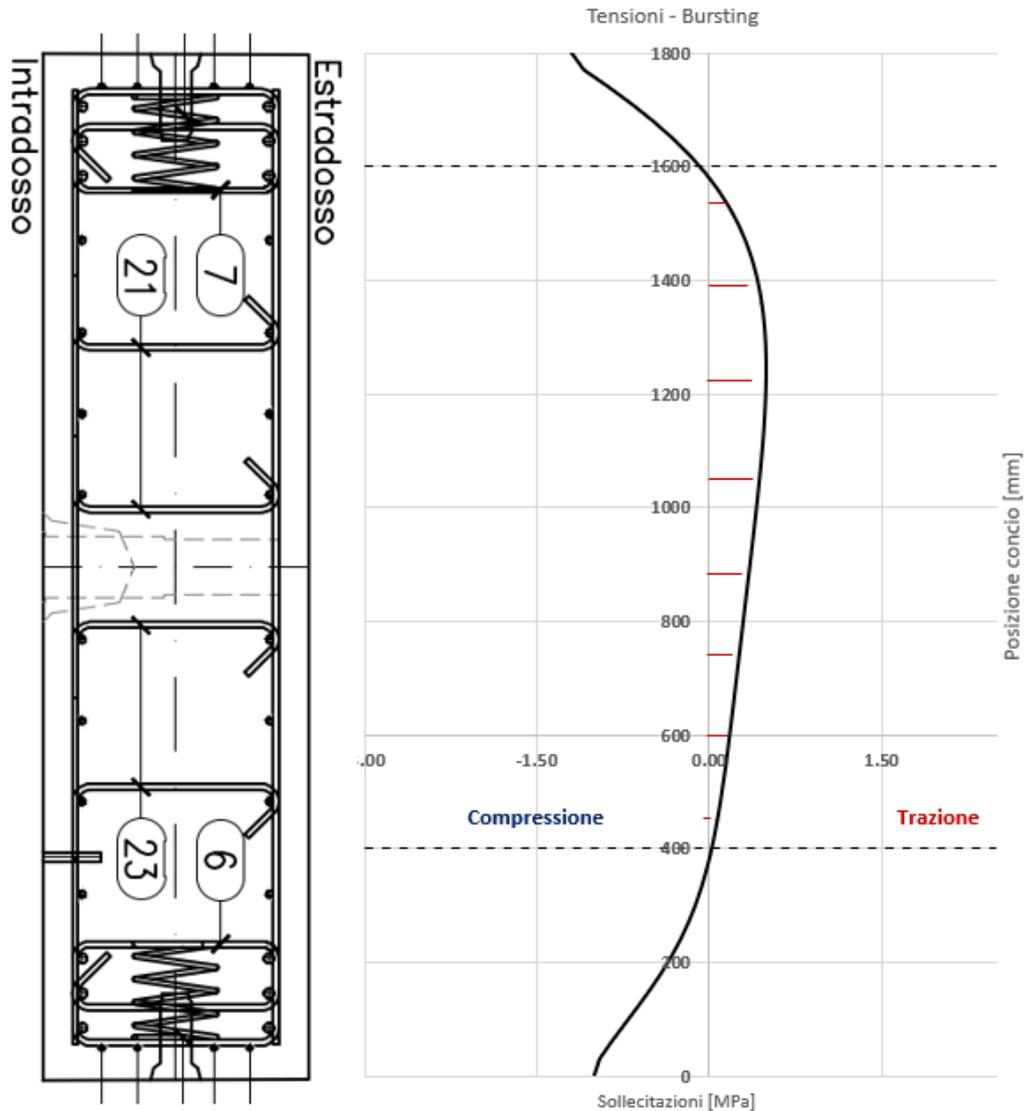


Figura 8-61: Andamento delle sollecitazioni effetto bursting sotto le scarpe di spinta

Integrando la curva degli sforzi di trazione si ottiene un tiro sulle barre di armatura pari a $T_{ed}=168\text{kN}$.

Come si evince dalla figura sopra riportata, le barre collaboranti nell'area interessata dall'effetto oggetto di analisi sono 5+5 ϕ 12. Si ottiene una resistenza a trazione pari a:

$$T_{rd} = A_s \cdot f_{yd} = \left(\frac{12^2 \cdot \pi}{4} \cdot 10 \right) \cdot 391.3 = 442.5 \text{ kN}$$

Con un fattore di sicurezza pari a $FS=T_{rd}/T_{ed}=2.6$ la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 91 di 280

8.7.4.4. Verifica spinta eccentrica

Si riporta in dettaglio la **verifica SLU** delle pressioni di contatto tenendo in considerazione l'eccentricità aggiuntiva di $\epsilon=3$ cm dei martinetti rispetto all'asse del concio.

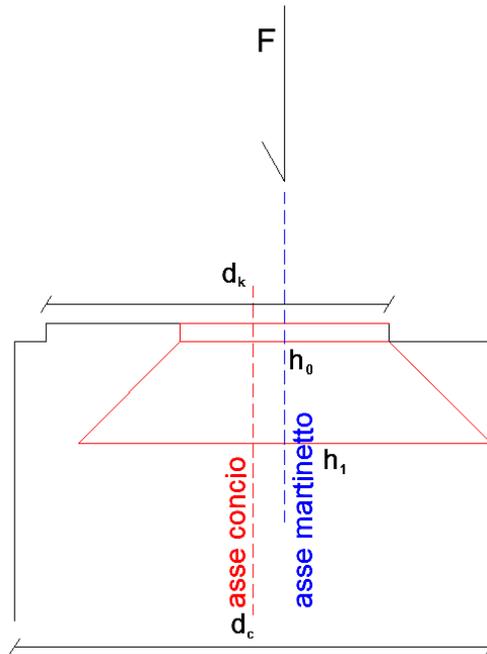


Figura 8-62: configurazione delle distribuzioni di pressione

Si calcola ora la larghezza di contatto h_0 :

$$h_0 = d_k - 2 (e_{martinetto} + e_{giunto}) = 0.324 - 2 \cdot (0.03 + 0.0332) = 0.197m$$

d_k : larghezza del giunto circonferenziale.

$e_{martinetto}$: eccentricità del martinetto rispetto all'asse del concio.

e_{giunto} : eccentricità del giunto rispetto all'asse del concio.

La rispettiva larghezza omotetica h_1 risulta essere pari a:

$$h_1 = 2 (d_c/2 - e_{martinetto}) = 2 \cdot \left(\frac{0.45}{2} - 0.03 \right) = 0.39m$$

d_c : rappresenta lo spessore del concio

$e_{martinetto}$: eccentricità del martinetto rispetto all'asse del concio.

La lunghezza di contatto della zona caricata a_0 risulta essere pari proprio alla lunghezza della scarpa.

$$a_0 = L_{scarpa} = 0.88m$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 92 di 280

La lunghezza della zona omotetica a_1 è calcolata come segue.

$$a_1 = (h_1 - h_0) + L_{scarpa} = (0.39 - 0.197) + 0.88 = 1.07 \text{ m}$$

La spinta di progetto al di sotto di ogni scarpa è calcolata come segue.

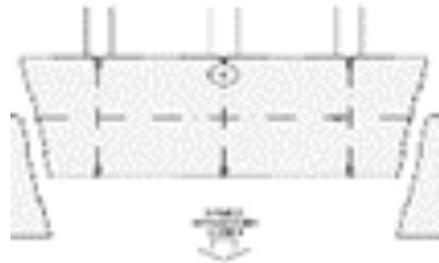
$$F_{sd} = (T_{TBM} \cdot 1.3) / 21 = (25 \cdot 1.3) / 21 = 1.548 \text{ MN} = 1548 \text{ kN}$$

Dimensionamento del concio nelle fasi di spinta della TBM

SWSTM Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL CONCIO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Compressione

spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	25
Numero delle scarpe	N_H [-]	21
Eccentricità dei martinetti	ϵ_v [m]	0.03
Coefficiente di incremento del carico	γ_{SLU} [-]	1.30



Resistenza del segmento " $F_{sd} \leq F_{Rd} \leq F_{max}$ "

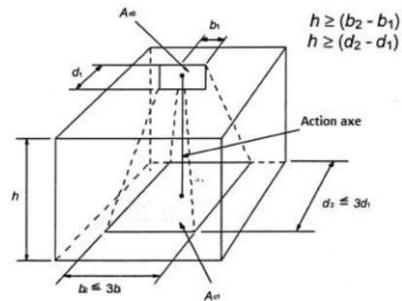
Largezza di pressione	h_0 [m]	0.197	Larghezza della superficie proiettata	h_1 [m]	0.39
Lunghezza di pressione	a_0 [m]	0.88	Lunghezza della superficie proiettata	a_1 [m]	1.07
Resistenza del cls	"SLU"	f_{cd} [MPa]	25.5		

$$F_{sd} = \Sigma F \cdot \gamma_F$$

$$F_{Rd} = A_{c0} \cdot F_{cd} \cdot \sqrt{(A_{c1} / A_{c0})}$$

$$F_{max} = 3 A_{c0} \cdot f_{cd}$$

Sforzo agente	"SLU"	$F_{sd,E}$ [kN]	1548
Resistenza	"SLU"	F_{Rd} [kN]	6868
	"SLU"	F_{max} [kN]	13262



La verifica SLU risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 93 di 280

Si riporta di seguito anche la **verifica SLU** della sezione presso inflessa al di sotto della scarpa soggetta alle seguenti sollecitazioni di compressione e momento flettente.

$$N = -1548 \text{ kN}$$

$$M = N \times e = -1548 \times 0.03 = 46.44 \text{ kNm}$$

La sezione di calcolo ha una larghezza pari a quella delle scarpe e un'altezza pari allo spessore del coniglio. Le armature resistenti longitudinali al di sotto della scarpa si considerano a favore di sicurezza 3+3 Φ 10.

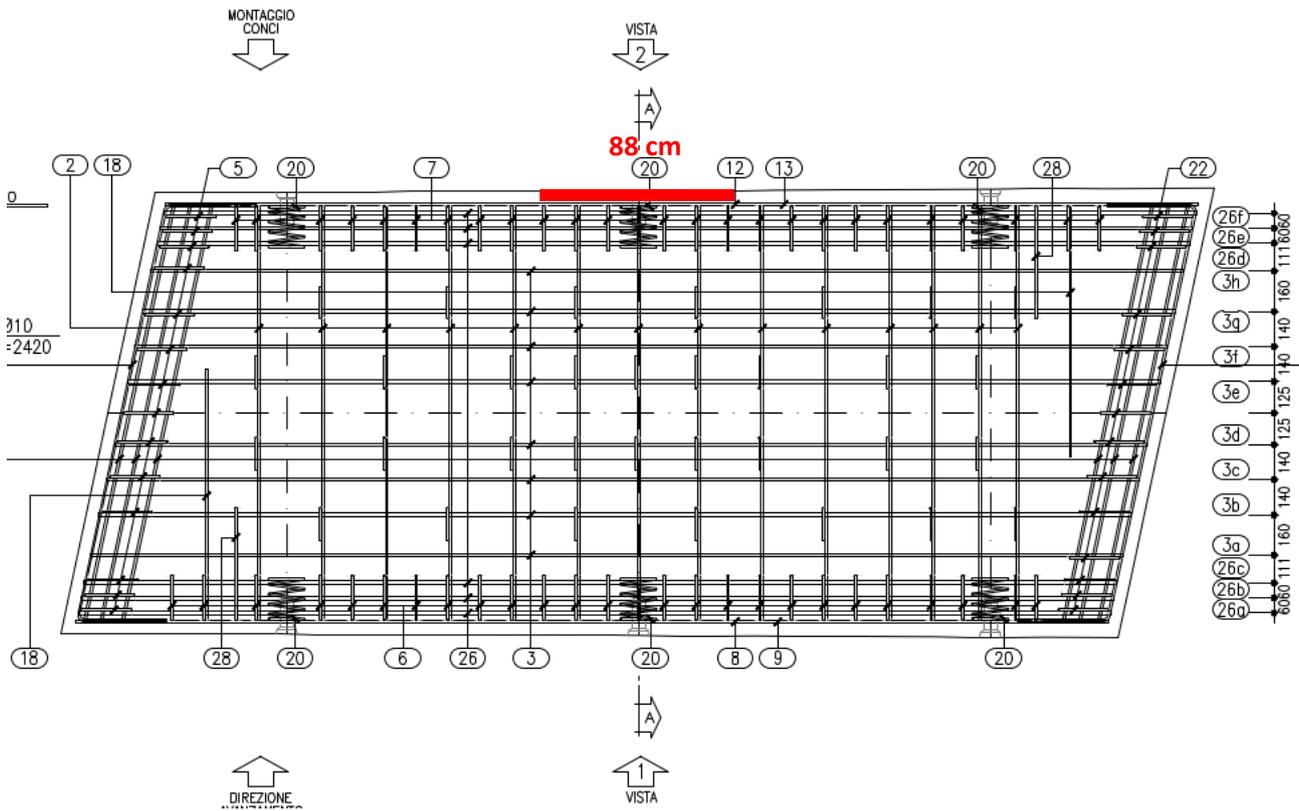


Figura 8-63: Layout di armatura al di sotto della scarpa

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA - PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 94 di 280

Sezione al di sotto della scarpa - Armatura longitudinale

INPUT

SOLLECITAZIONI DI VERIFICA

Combinazione	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	V _{Sd} [kN]
SLE Quasi Permanente	0.0	0.0	-
SLE Frequente	0.0	0.0	-
SLE Rara	0.0	0.0	-
SLU	-1548.0	46.4	0.0
SLV	0.0	0.0	0.0

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.

Geometria della sezione		
Base (ortogonale al Taglio)	B [cm]	88
Altezza (parallela al Taglio)	H [cm]	45
Altezza utile della sezione	d [cm]	40
Area di calcestruzzo	A _c [cm ²]	3960

Armatura longitudinale tesa	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
Numero Barre	n	3	0
Diametro	φ [mm]	10	0
Posizione dal lembo esterno	c [cm]	5.5	0.0
Area strato	As [cm ²]	2.36	0.00
Rapporto di armatura	ρ [%]	0.068%	

Armatura longitudinale compressa	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
Numero Barre	n	3	0
Diametro	φ [mm]	10	0
Posizione dal lembo esterno	c' [cm]	5.5	0.0
Area strato	As' [cm ²]	2.36	0.00
Rapporto di armatura	ρ' [%]	0.068%	

Armatura trasversale	1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO
Diametro	φ [mm]	0	0
Numero bracci	n _{bt}	0	0
Passo	s _w [cm]	0	0
Inclinazione	α [deg]	90	90
Area armatura a metro	A _{sw/s_w} [cm ² /m]	0.00	0.00

CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI

Concrete		
Resistenza cubica a compressione	RCK	55
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f _{ck} [Mpa]	45.00
Resistenza cilindrica media a compressione	f _{cm} [Mpa]	53.00
Resistenza media a trazione per flessione	f _{ctm} [Mpa]	3.80
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	f _{ctk} [Mpa]	2.66
Resistenza di progetto a compressione	f _{cd} [Mpa]	25.50
Resistenza di progetto delle bielle compresse	f _{cd'} [Mpa]	12.55
Acciaio		
Resistenza di progetto a snervamento	f _{yd} [Mpa]	391.30

OUTPUT

VERIFICHE IN ESERCIZIO

Verifica Tensionale		σ limit
Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	σ _c [Mpa] =	0.00 20.250
Calcestruzzo SLE Rara	σ _c [Mpa] =	0.00 27.000
Acciaio SLE Rara	σ _s [Mpa] =	0.00 360.000
Verifica di fessurazione		w limit
Combinazione SLE Quasi permanente	w _d [mm] =	0.000 0.200
Combinazione SLE Frequente	w _d [mm] =	0.000 0.200

VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO

Sollecitazioni di progetto		
Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)	V _{Sd} [kN]	0.0
Sforzo Normale concomitante al massimo taglio	N _{Sd} [kN]	0.0

Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica		
Resistenza di progetto senza armatura specifica	V _{Rd1} [kN]	182.74
Coefficiente di sicurezza	V _{Rd1} /V _{Sd}	-

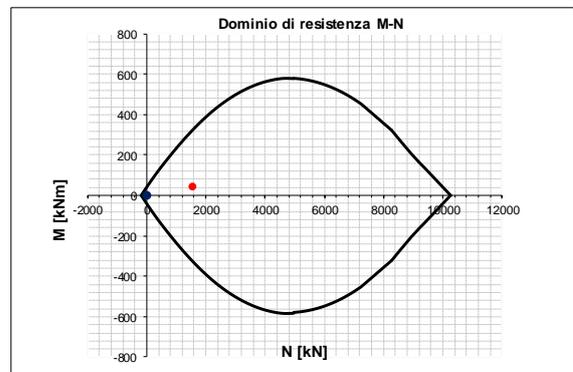
Verifica di resistenza dell'armatura specifica		
CoTan(θ) di progetto	cotan(θ)	2.5
Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls	V _{Rd2} (θ) [kN]	-
Resistenza a taglio dell'armatura	V _{Rd3} (θ) [kN]	-
Resistenza a taglio di progetto	V _{Rd} [kN]	-
Coefficiente di sicurezza	V _{Rd} /V _{Sd}	-

VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE

Sollecitazioni di progetto		SLU	SLV
Momento sollecitante	M _{Sd} [kNm]	46.4	0.0
Sforzo Normale concomitante	N _{Sd} [kN]	-1548.0	0.0

Verifica di resistenza in termini di momento		SLU	SLV
Momento resistente	M _{Rd} [kNm]	324.2	40.6
Coefficiente di sicurezza	M _{Rd} /M _{Sd}	6.98	-

Verifica di resistenza in termini di sforzo normale		SLU	SLV
Sforzo normale resistente	N _{Rd} [kN]	-	-
Coefficiente di sicurezza	N _{Rd} /N _{Sd}	-	-



APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 95 di 280

Per quanto riguarda la **verifica tensionale SLE** si confronteranno la tensione agente con quella limite in condizione di esercizio.

La spinta di progetto al di sotto di ogni scarpa è calcolata come segue.

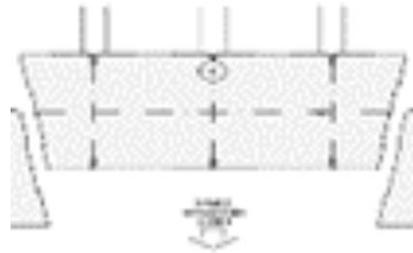
$$F_{sd} = (T_{TBM} \cdot 1)/21 = (25 \cdot 1)/21 = 1.19 \text{ MN} = 1190 \text{ kN}$$

Dimensionamento del concio nelle fasi di spinta della TBM



RESISTENZA DEL CONCIO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Compressione

spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	25
Numero delle scarpe	N_H [-]	21
Eccentricità dei martinetti	ϵ_V [m]	0.03
Coefficiente di incremento del carico	γ_{SLE} [-]	1.00



Resistenza del segmento " $F_{sd} \leq F_{Rd} \leq F_{max}$ "

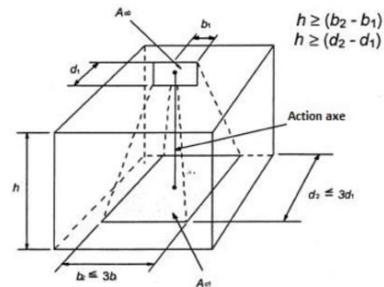
Largezza di pressione	h_0 [m]	0.197	Largezza della superficie proiettata	h_1 [m]	0.39
Lunghezza di pressione	a_0 [m]	0.88	Lunghezza della superficie proiettata	a_1 [m]	1.07
Resistenza del cls	"SLE"	f_{ck} [MPa]	45.0		

$$F_{sd} = \Sigma F \cdot \gamma_F$$

$$F_{Rd} = A_{c0} \cdot F_{cd} \cdot \sqrt{A_{c1} / A_{c0}}$$

$$F_{max} = 3 A_{c0} \cdot f_{cd}$$

Sforzo agente	"SLE"	$F_{Sd,E}$ [kN]	1190
Tensione agente	"SLE"	$\sigma_{cd} = F_{Sd,E} / A_{c1}$ [MPa]	2.84
Tensione max SLE	"SLE"	$\sigma_{max} = 0.45 f_{ck}$ [MPa]	20.3



La verifica tensionale SLE risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 96 di 280

Di seguito si riporta la **verifica SLU** delle barre di armatura in direzione radiale.

Nella verifica vengono considerate staffe $\Phi 10/125\text{cm}$ con due bracci.

Dimensionamento del concio nella fase di spinta della TBM


Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL SEGMENTO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Bursting in direzione radiale

Spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	25.0	
Spinta SLU della TBM	T_{SLU} [MN]	32.5	F_{sd} = Spinta di progetto della TBM
Numero delle scarpe tot.	N_H [-]	21	
Lunghezza delle scarpe	L_1 [m]	0.88	
Larghezza zona di pressione	a [m]	0.197	
Larghezza zona di pressione proietta	d [m]	0.390	
Coeff. di combinazione SLU	γ_{ULS} [-]	1.30	
Resistenza a trazione di calcolo	f_{yd} [MPa]	391	
Diametro delle barre	\varnothing [mm]	10	
Numero dei bracci	n [-]	2	
Passo delle barre	s [mm]	125	

Induced tensile stress

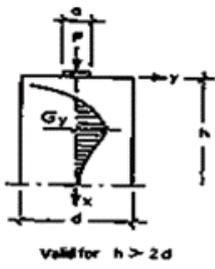
Sforzo di trazione	Z [kN]	230	
armatura richiesta	$A_{s, min}$ [cm ²]	5.9	
armatura adottata	A_s [cm ²]	11.00	
Coeff. di sicurezza	FS_{cd} [-]	1.9	

Profondità in corrispondenza della tensione nulla

$x_1 / d = 0.21 \quad x_1 = 8.2$ [cm]

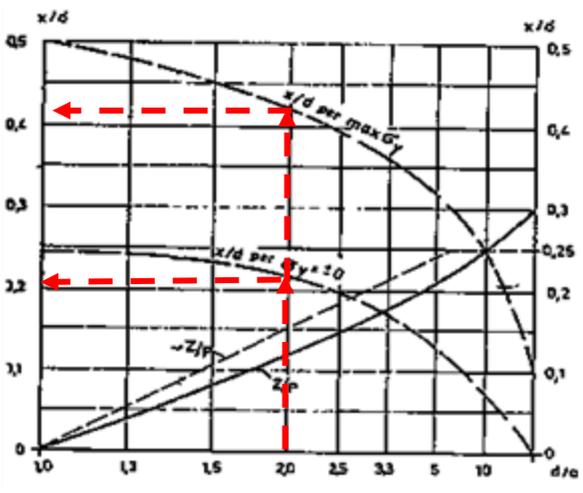
Profondità in corrispondenza della tansione max

$x_2 / d = 0.42 \quad x_2 = 16.4$ [cm]



$P = F_{sd, ULS}$
 $Z = 0.3 P * [1 - a / d]$
 $A_{s, min} = Z / f_{yd}$

$A_s = n * [L_1 / s] A_{\varnothing}$
 $x_1 = k_1 * d$
 $x_2 = k_2 * d$



La verifica risulta soddisfatta per le staffe in direzione radiale.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 97 di 280

Di seguito si riporta la **verifica tensionale SLE** delle barre di armatura in direzione radiale.

Nella verifica vengono considerate staffe $\Phi 10/125\text{cm}$ con due bracci.

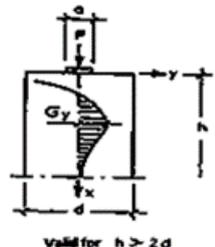
In questo caso le armature che resistono alla trazione sono n.14 staffe totali.

Dimensionamento del concio nella fase di spinta della TBM

SWSTM Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL SEGMENTO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Bursting in direzione radiale

Spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	25.0	$F_{sd} = \text{Spinta di progetto della TBM}$ $P = F_{sd, UL5}$ $Z = 0.3 P * [1 - a / d]$ $A_{s, min} = Z / f_{yd}$ $A_s = n. * [L_1 / s] A_{\phi}$ $x_1 = k_1 * d$ $x_2 = k_2 * d$
Spinta SLU della TBM	T_{SLE} [MN]	25.0	
Numero delle scarpe tot.	N_H [-]	21	
Lunghezza delle scarpe	L_1 [m]	0.88	
Larghezza zona di pressione	a [m]	0.197	
Larghezza zona di pressione proiettata	d [m]	0.390	
Coeff. di combinazione SLE	γ_{SLE} [-]	1.00	
Resistenza a trazione di calcolo	f_{yd} [MPa]	391	
Diametro delle barre	ϕ [mm]	10	
Numero dei bracci	n [-]	2	
Passo delle barre	s [mm]	125	



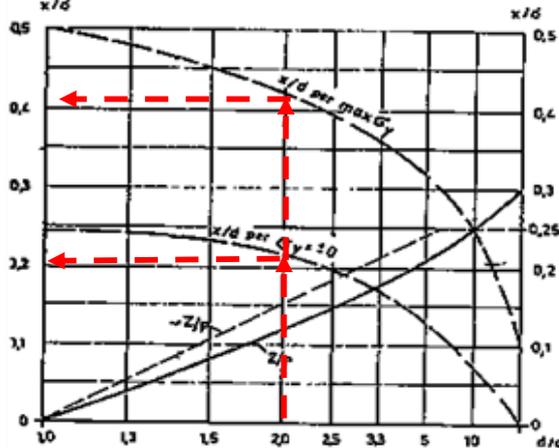
Induced tensile stress		
Sforzo di trazione armatura adottata	Z [kN]	177
Trazione su ogni singola barra	A_s [cm ²]	11.00
Tensione su ogni singola barra	Z_i [kN]	12.6
Tensione massima ammissibile SLE	σ_i [MPa]	160.7
Coeff. di sicurezza	$0.75 f_{yk}$ [MPa]	337.5
	$F_{S_{cd}}$ [-]	2.1

Profondità in corrispondenza della tensione nulla

$x_1 / d = 0.21 \quad x_1 = 8.2 \text{ [cm]}$

Profondità in corrispondenza della tensione max

$x_2 / d = 0.42 \quad x_2 = 16.4 \text{ [cm]}$



La verifica SLE risulta soddisfatta per le staffe in direzione radiale.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 98 di 280

8.7.5 Concio tipo A – Analisi di rischio

8.7.5.1. Spinta di sbloccaggio

Di seguito si riportano le verifiche allo stato limite ultimo (SLU) per le trazioni in direzione circonferenziale e radiale indotte dalle spinte in condizioni di rischio considerando la spinta massima di sbloccaggio pari a 80MN con appoggio regolare.

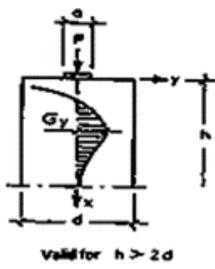
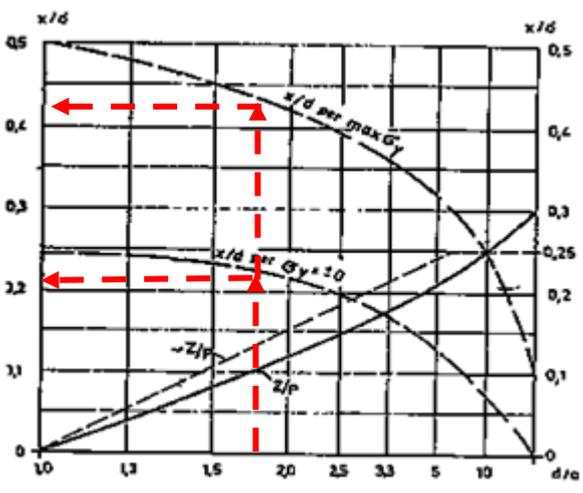
Verifiche in direzione radiale

Di seguito si riporta la verifica **SLU** delle barre di armatura in direzione radiale.

Nella verifica vengono considerate staffe $\Phi 10/125$ cm con due bracci.

Dimensionamento del concio nella fase di spinta della TBM


Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL SEGMENTO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Bursting in direzione radiale			
Spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	80.0	F_{sd} = Spinta di progetto della TBM
Spinta SLU della TBM	T_{SLU} [MN]	80.0	
Numero delle scarpe tot.	N_H [-]	21	
Lunghezza delle scarpe	L_1 [m]	0.88	
Larghezza zona di pressione	a [m]	0.257	
Larghezza zona di pressione proietta	d [m]	0.450	
Coeff. di combinazione SLU	γ_{ULS} [-]	1.00	
Resistenza a trazione di calcolo	f_{yd} [MPa]	450	
Diametro delle barre	\emptyset [mm]	10	
Numero dei bracci	n [-]	2	
Passo delle barre	s [mm]	125	
Induced tensile stress			
Sforzo di trazione	Z [kN]	490	
armatura richiesta	$A_{s, min}$ [cm ²]	10.9	
armatura adottata	A_s [cm ²]	11.00	
Coeff. di sicurezza	F_{Scd} [-]	1.01	
Profondità in corrispondenza della tensione nulla	$x_1 / d = 0.22$	$x_1 = 9.9$ [cm]	
Profondità in corrispondenza della tansione max	$x_2 / d = 0.42$	$x_2 = 18.9$ [cm]	

La verifica risulta soddisfatta per le staffe in direzione radiale.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 99 di 280	

Verifiche in direzione circonferenziale

Al fine di considerare l'azione di stato limite ultimo si applica una spinta macchina totale pari a 80MN, di cui si riporta l'output delle tensioni di seguito.

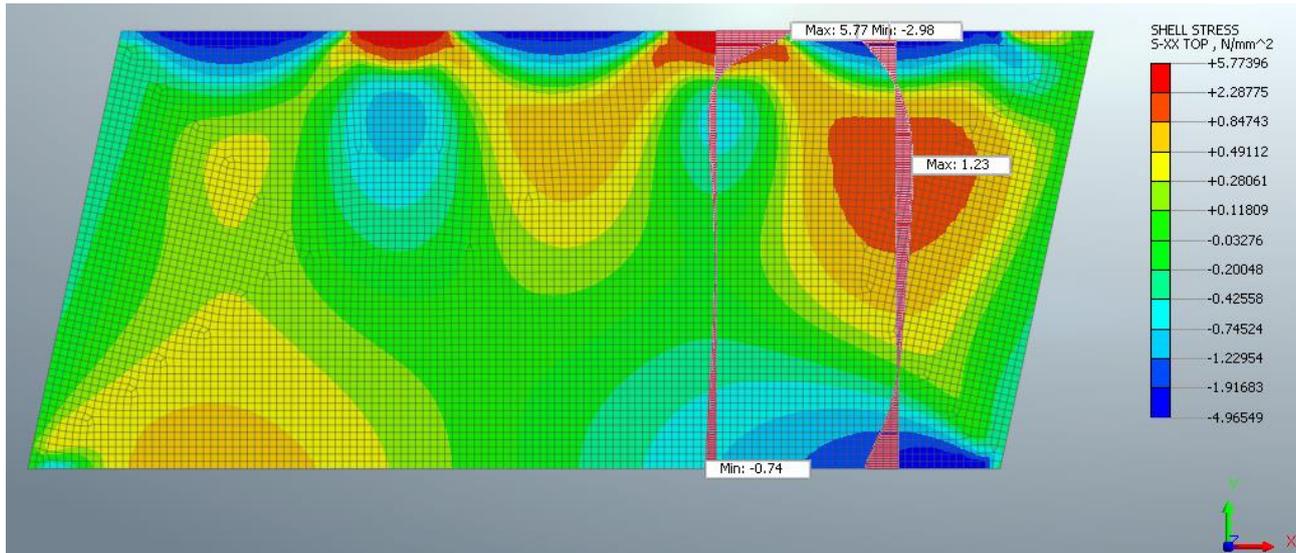


Figura 8-64: Modello Midas FEA NX verifiche SLU spinta di sbloccaggio

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 100 di 280

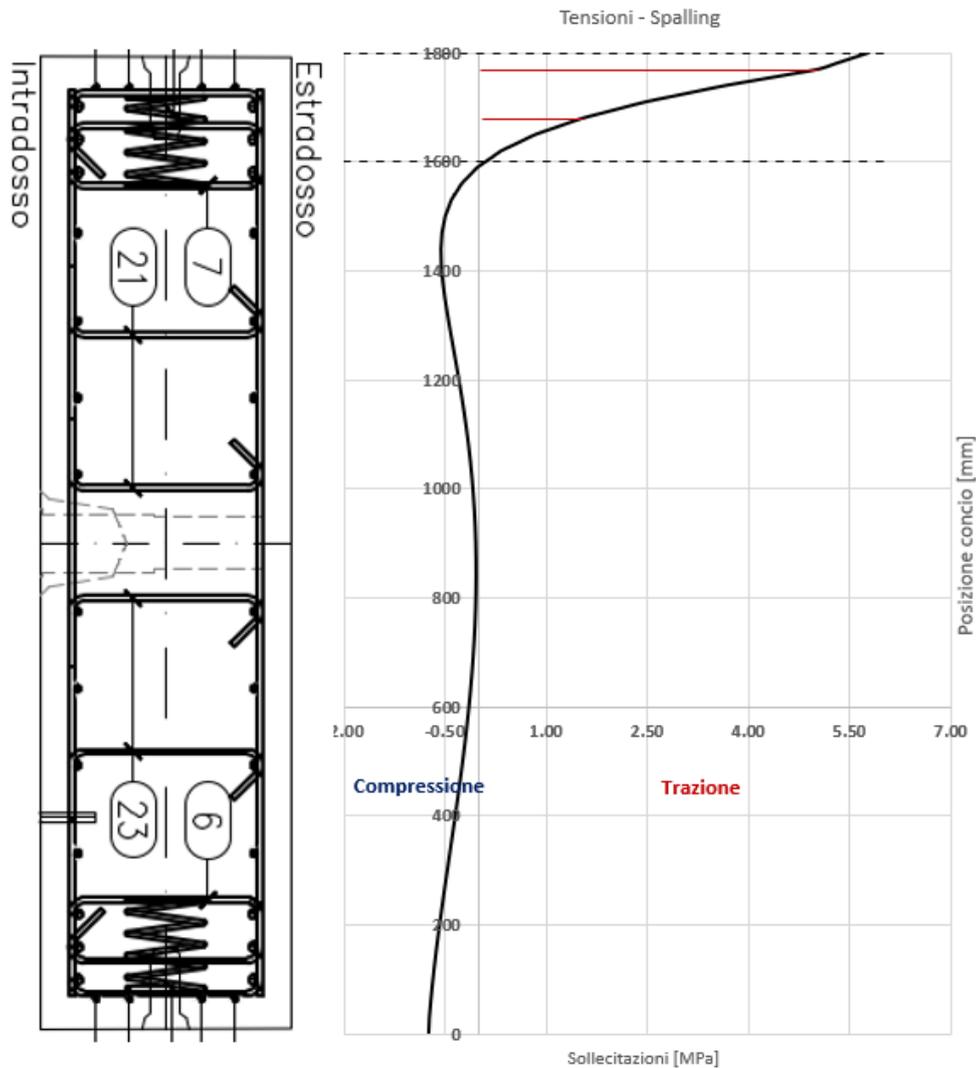


Figura 8-65: Andamento delle sollecitazioni effetto spalling tra le scarpe di spinta

Integrando la curva degli sforzi di trazione si ottiene un tiro sulle barre di armatura pari a $T_{ed}=226$ kN.

Come si evince dalla figura sopra riportata, le barre collaboranti nell'area interessata dall'effetto oggetto di analisi sono 4 ϕ 10 e 4 ϕ 14. Si ottiene una resistenza a trazione pari a:

$$T_{rd} = A_s \cdot f_{yd} = \left(\frac{10^2 \cdot \pi}{4} \cdot 4 + \frac{14^2 \cdot \pi}{4} \cdot 4 \right) \cdot 450 = 419 \text{ kN}$$

Con un fattore di sicurezza pari a $FS=T_{rd}/T_{ed}=1.85$ la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 101 di 280

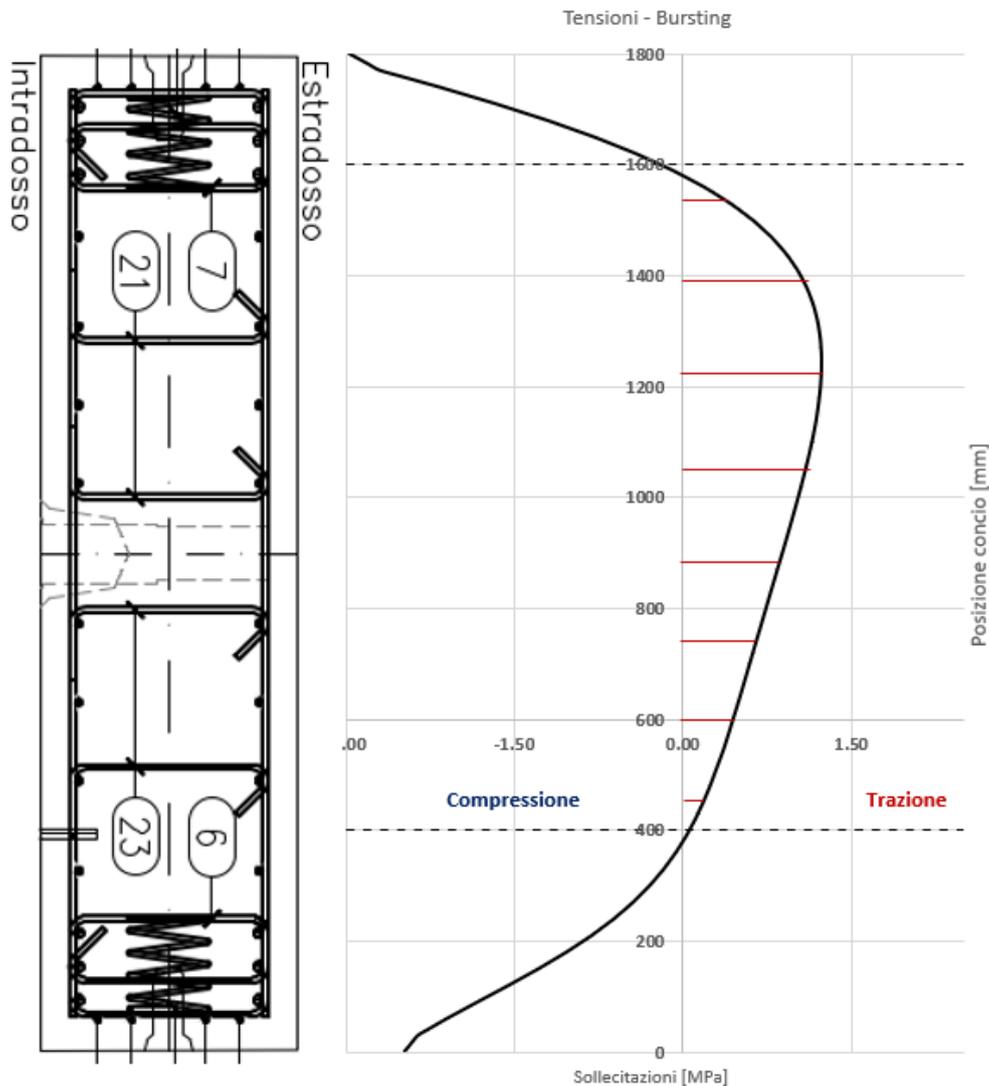


Figura 8-66: Andamento delle sollecitazioni effetto bursting sotto le scarpe di spinta

Integrando la curva degli sforzi di trazione si ottiene un tiro sulle barre di armatura pari a $T_{ed}=418$ kN.

Come si evince dalla figura sopra riportata, le barre collaboranti nell'area interessata dall'effetto oggetto di analisi sono 6+6 ϕ 12. Si ottiene una resistenza a trazione pari a:

$$T_{rd} = A_s \cdot f_{yd} = \left(\frac{12^2 \cdot \pi}{4} \cdot 12 \right) \cdot 450 = 610 \text{ kN}$$

Con un fattore di sicurezza pari a $FS=T_{rd}/T_{ed}=1.46$ la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					PROGETTO ESECUTIVO
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 102 di 280

Verifica delle pressioni di contatto

Si riporta in dettaglio la verifica delle pressioni di contatto tenendo in considerazione la posizione dei martinetti rispetto all'asse del concio.

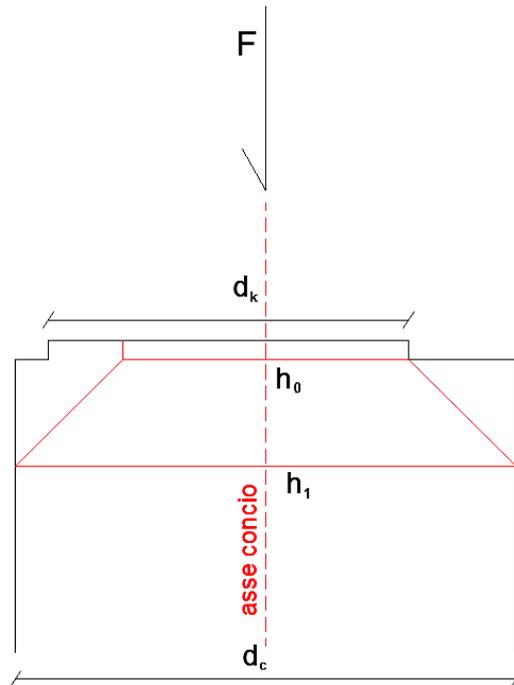


Figura 8-67: configurazione delle distribuzioni di pressione

Si calcola ora la larghezza di contatto h_0 :

$$h_0 = d_k - 2 (e_{giunto}) = 0.324 - 2 \cdot (0.0332) = 0.257m$$

d_k : larghezza del giunto circonferenziale.

$e_{martinetto}$: eccentricità del martinetto rispetto all'asse del concio.

e_{giunto} : eccentricità del giunto rispetto all'asse del concio.

La rispettiva larghezza omotetica h_1 risulta essere pari a:

$$h_1 = 2 (d_c/2 - e_{martinetto}) = 2 \cdot \left(\frac{0.45}{2} - 0.0 \right) = 0.45m$$

d_c : rappresenta lo spessore del concio

$e_{martinetto}$: eccentricità del martinetto rispetto all'asse del concio.

La lunghezza di contatto della zona caricata a_0 risulta essere pari proprio alla lunghezza della scarpa.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 103 di 280

$$a_0 = L_{scarpa} = 0.88m$$

La lunghezza della zona omotetica a_1 è calcolata come segue.

$$a_1 = (h_1 - h_0) + L_{scarpa} = (0.45 - 0.257) + 0.88 = 1.07 m$$

La spinta di progetto al di sotto di ogni scarpa è calcolata come segue.

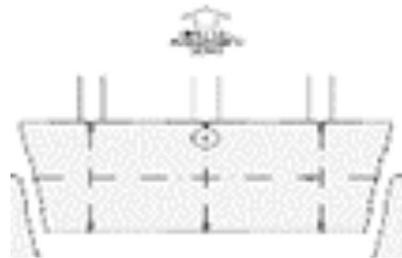
$$F_{sd} = (T_{TBM} \cdot 1.3)/21 = (80)/21 = 3.810 MN = 3810 kN$$

Dimensionamento del concio nella fase di spinta

SWSTM Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL CONCIO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Compressione

spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	80
Numero delle scarpe	N_H [-]	21
Eccentricità dei martinetti	ϵ_v [m]	0.00
Coefficiente di incremento del carico	γ_{SLU} [-]	1.00



Resistenza del segmento " $F_{sd} \leq F_{Rd} \leq F_{max}$ "

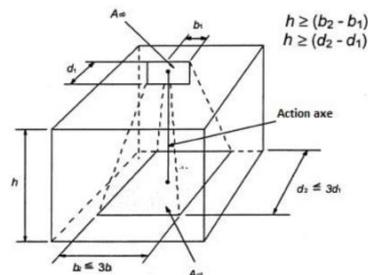
Largezza di pressione	h_0 [m]	0.257	Larghezza della superficie proiettata	h_1 [m]	0.45
Lunghezza di pressione	a_0 [m]	0.88	Lunghezza della superficie proiettata	a_1 [m]	1.07
Resistenza del cls	"SLU"	f_{cd} [MPa]	25.5		

$$F_{sd} = \Sigma F \cdot \gamma_F$$

$$F_{Rd} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{A_{c1} / A_{c0}}$$

$$F_{max} = 3 A_{c0} \cdot f_{cd}$$

Sforzo agente	"SLU"	$F_{sd,E}$ [kN]	3810
Resistenza	"SLU"	F_{Rd} [kN]	8427
	"SLU"	F_{max} [kN]	17301



La verifica delle pressioni di contatto risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 104 di 280

Si riporta di seguito anche la **verifica SLU** della sezione presso inflessa al di sotto della scarpa soggetta alle seguenti sollecitazioni di compressione e momento flettente.

$$N = -3810 \text{ kN}$$

$$M = N \times e = -3810 \times 0.00 = 0 \text{ kNm}$$

La sezione di calcolo ha una larghezza pari a quella delle scarpe e un'altezza pari allo spessore del conccio. Le armature resistenti longitudinali al di sotto della scarpa si considerano a favore di sicurezza 3+3 Φ 10.

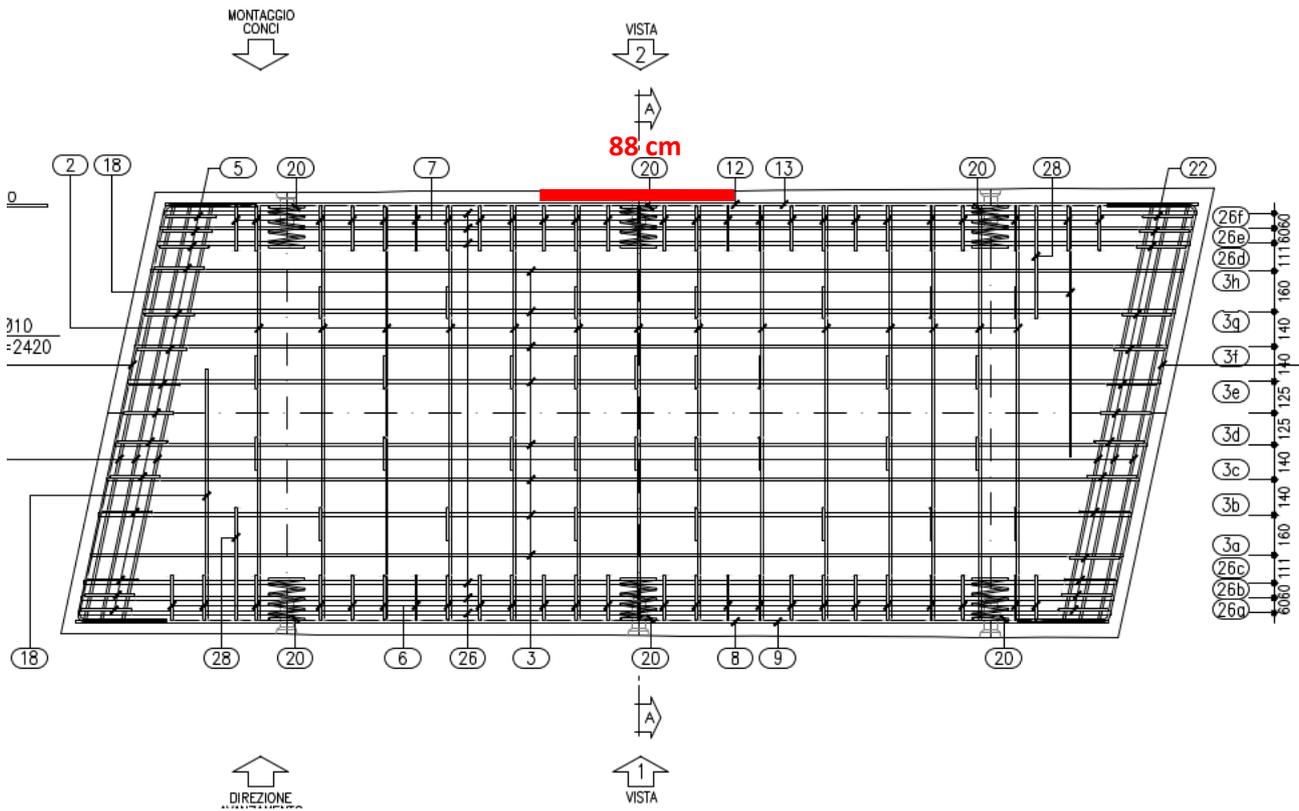


Figura 8-68: Layout di armatura al di sotto della scarpa

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA - PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA				LOTTO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU				1BEZZ
08 - GALLERIE		CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		RH	GN0000003	C	105 di 280	

Sezione al di sotto della scarpa- Armatura longitudinale

INPUT

SOLLECITAZIONI DI VERIFICA

Combinazione	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	V _{Sd} [kN]
SLE Quasi Permanente	0.0	0.0	-
SLE Frequente	0.0	0.0	-
SLE Rara	0.0	0.0	-
SLU	-3810.0	0.0	0.0
SLV	0.0	0.0	0.0

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.

Geometria della sezione		
Base (ortogonale al Taglio)	B [cm]	88
Altezza (parallela al Taglio)	H [cm]	45
Altezza utile della sezione	d [cm]	40
Area di calcestruzzo	A _c [cm ²]	3960

Armatura longitudinale tesa	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	
Numero Barre	n	3	0	0
Diametro	φ [mm]	10	0	0
Posizione dal lembo esterno	c [cm]	5.5	0.0	0.0
Area strato	As [cm ²]	2.36	0.00	0.00
Rapporto di armatura	ρ [%]	0.068%		

Armatura longitudinale compressa	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	
Numero Barre	n	3	0	0
Diametro	φ [mm]	10	0	0
Posizione dal lembo esterno	c' [cm]	5.5	0.0	0.0
Area strato	As' [cm ²]	2.36	0.00	0.00
Rapporto di armatura	ρ' [%]	0.068%		

Armatura trasversale	1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO	
Diametro	φ [mm]	0	0	0
Numero bracci	n _{bt}	0	0	0
Passo	s _w [cm]	0	0	0
Inclinazione	α [deg]	90	90	90
Area armatura a metro	A _{sw/s_w} [cm ² /m]	0.00	0.00	0.00

CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI

Concrete		
Resistenza cubica a compressione	RCK	55
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f _{ck} [Mpa]	45.00
Resistenza cilindrica media a compressione	f _{cm} [Mpa]	53.00
Resistenza media a trazione per flessione	f _{ctm} [Mpa]	3.80
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	f _{ctk} [Mpa]	2.66
Resistenza di progetto a compressione	f _{cd} [Mpa]	25.50
Resistenza di progetto delle bielle compresse	f _{cd'} [Mpa]	12.55
Acciaio		
Resistenza di progetto a snervamento	f _{y,d} [Mpa]	391.30

OUTPUT

VERIFICHE IN ESERCIZIO

Verifica Tensionale	σ _c [Mpa]	σ _s [Mpa]	σ limit
Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	0.00	0.00	20.250
Calcestruzzo SLE Rara	0.00	0.00	27.000
Acciaio SLE Rara	0.00	0.00	360.000

Verifica di fessurazione	w _d [mm]	w limit
Combinazione SLE Quasi permanente	0.000	0.200
Combinazione SLE Frequente	0.000	0.200

VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO

Sollecitazioni di progetto	V _{Sd} [kN]	N _{Sd} [kN]
Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)	0.0	0.0
Sforzo Normale concomitante al massimo taglio		0.0

Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica	V _{Rd1} [kN]	182.74
Resistenza di progetto senza armatura specifica	V _{Rd1} [kN]	182.74
Coefficiente di sicurezza	V _{Rd1} /V _{Sd}	-

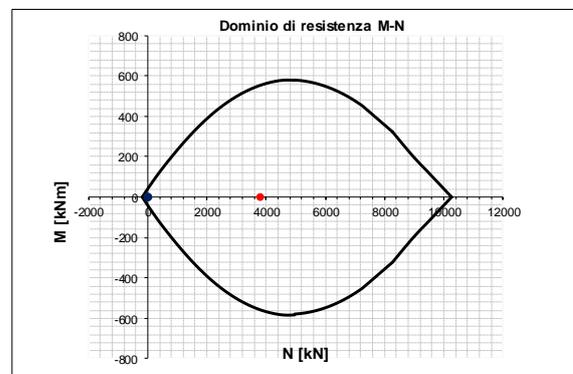
Verifica di resistenza dell'armatura specifica	cot(θ)	2.5
CoTan(θ) di progetto	cot(θ)	2.5
Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls	V _{Rd2} (θ) [kN]	-
Resistenza a taglio dell'armatura	V _{Rd3} (θ) [kN]	-
Resistenza a taglio di progetto	V _{Rd} [kN]	-
Coefficiente di sicurezza	V _{Rd} /V _{Sd}	-

VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE

Sollecitazioni di progetto	M _{Sd} [kNm]	N _{Sd} [kN]	SLU	SLV
Momento sollecitante	0.0	-3810.0	0.0	0.0
Sforzo Normale concomitante			-3810.0	0.0

Verifica di resistenza in termini di momento	M _{Rd} [kNm]	556.2	40.6
Momento resistente	M _{Rd} [kNm]	556.2	40.6
Coefficiente di sicurezza	M _{Rd} /M _{Sd}	-	-

Verifica di resistenza in termini di sforzo normale	N _{Rd} [kN]	N _{Rd} /N _{Sd}	SLU	SLV
Sforzo normale resistente	N _{Rd} [kN]	-	-	-
Coefficiente di sicurezza	N _{Rd} /N _{Sd}	-	-	-



APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C
						FOGLIO.
						106 di 280

8.7.5.2. Valutazione della spinta massima ammissibile in esercizio in condizioni di appoggio regolare

Il modello a cui si farà riferimento è il seguente, con valori di molle di appoggio regolare uniforme sotto tutto il concio.

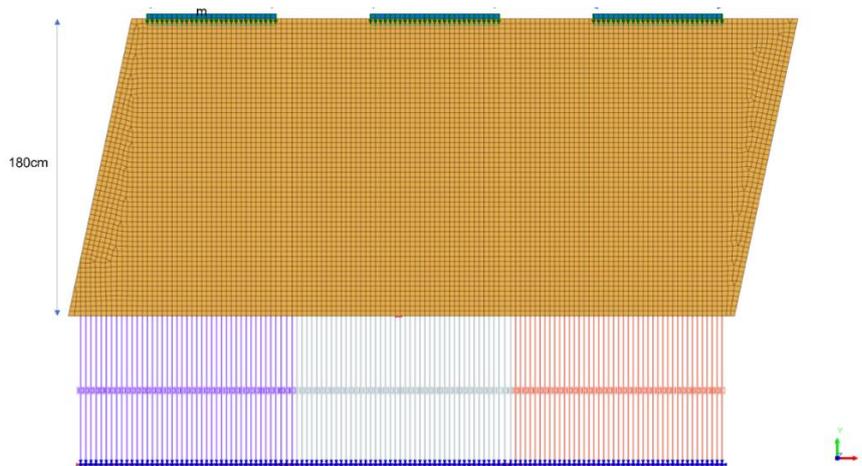


Figura 8-69: Mesh

Si valuterà la spinta massima tale da permettere al concio di soddisfare le verifiche SLE.

Si riporta di seguito la trattazione per l'individuazione della spinta massima ammissibile in esercizio in condizioni di appoggio regolare.

La spinta massima individuata per il soddisfacimento di tutte le verifiche SLE è pari a 40 MN per il concio di questa tipologia.

Verifica tensionale in direzione radiale SLE

Di seguito si riporta la verifica tensionale SLE delle barre di armatura in direzione radiale.

Nella verifica vengono considerate staffe $\Phi 10/125\text{cm}$ con due bracci.

In questo caso le armature che resistono alla trazione sono n.14 staffe totali.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	107 di 280

Dimensionamento del concio nella fase di spinta della TBM



RESISTENZA DEL SEGMENTO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Bursting in direzione radiale

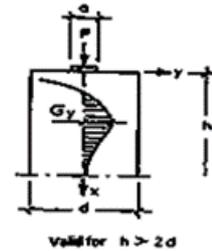
Spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	40.0
Spinta SLU della TBM	T_{SLE} [MN]	40.0
Numero delle scarpe tot.	N_H [-]	21
Lunghezza delle scarpe	L_1 [m]	0.88
Larghezza zona di pressione	a [m]	0.197
Larghezza zona di pressione proietta	d [m]	0.390
Coeff. di combinazione SLE	γ_{SLE} [-]	1.00
Resistenza a trazione di calcolo	f_{yd} [MPa]	391
Diametro delle barre	\emptyset [mm]	10
Numero dei bracci	n [-]	2
Passo delle barre	s [mm]	125

F_{sd} = Spinta di progetto della TBM

$$P = F_{sd, ULS}$$

$$Z = 0.3 P * [1 - a / d]$$

$$A_{s, min} = Z / f_{yd}$$



$$A_s = n * [L_1 / s] A_{\emptyset}$$

$$x_1 = k_1 * d$$

$$x_2 = k_2 * d$$

Induced tensile stress

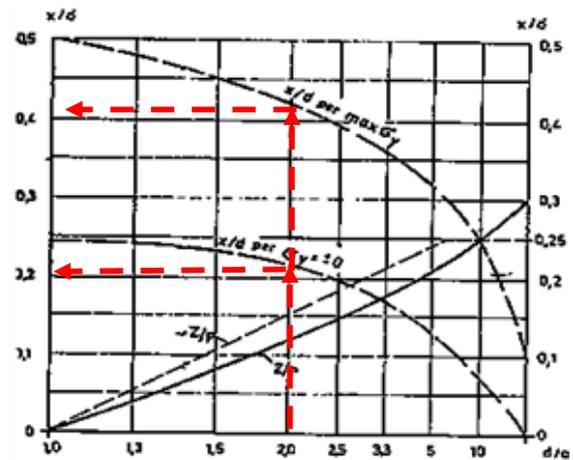
Sforzo di trazione	Z [kN]	283
armatura adottata	A_s [cm ²]	11.00
Trazione su ogni singola barra	Z_i [kN]	20.2
Tensione su ogni singola barra	σ_i [MPa]	257.2
Tensione massima ammissibile SLE	$0.75 f_{yk}$ [MPa]	337.5
Coeff. di sicurezza	FS_{cd} [-]	1.31

Profondità in corrispondenza della tensione nulla

$$x_1 / d = 0.21 \quad x_1 = 8.2 \text{ [cm]}$$

Profondità in corrispondenza della tansione max

$$x_2 / d = 0.42 \quad x_2 = 16.4 \text{ [cm]}$$



La verifica tensionale SLE risulta soddisfatta per le staffe in direzione radiale.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 108 di 280	

Verifica tensionale in direzione circonferenziale SLE

L'azione della spinta dei martinetti in direzione circonferenziale viene svolta mediante un'analisi numerica 2D lineare applicando una spinta macchina totale pari a 40MN, di cui si riporta l'output delle tensioni di seguito.

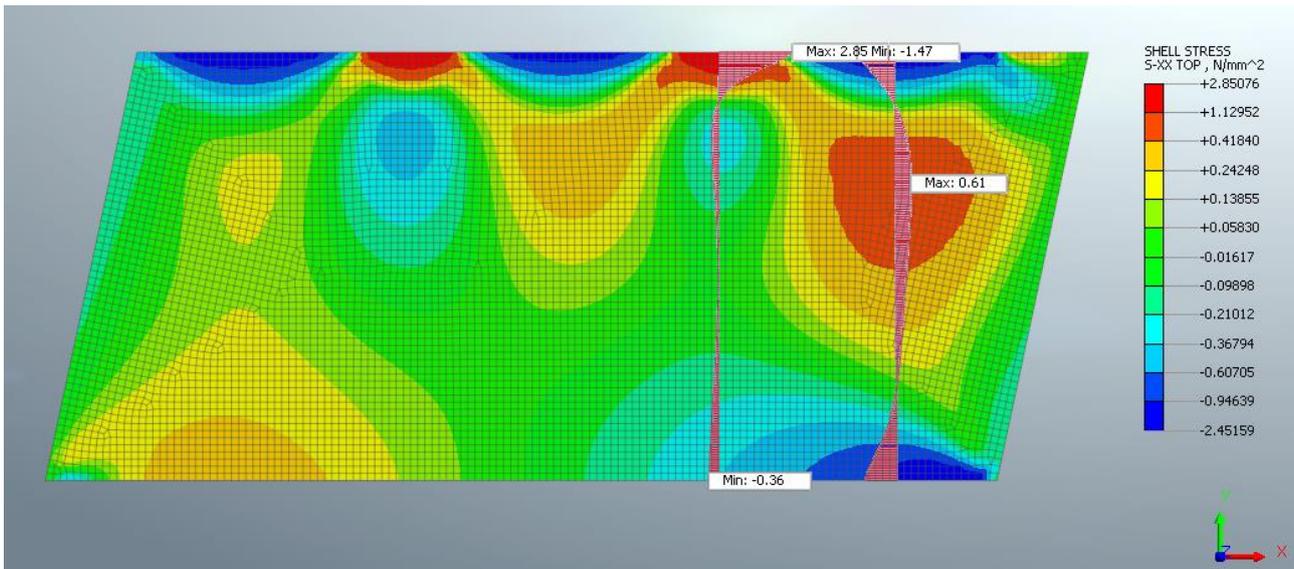


Figura 8-70: Modello Midas FEA NX verifiche SLE spinta Ordinaria

Si riportano di seguito i due diagrammi, rispettivamente per effetto spalling ed effetto bursting, in un grafico più facilmente comprensibile affiancando ad esso la sezione longitudinale del cono con le barre di armatura collaboranti nel tratto interessato dagli sforzi di trazione.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 109 di 280

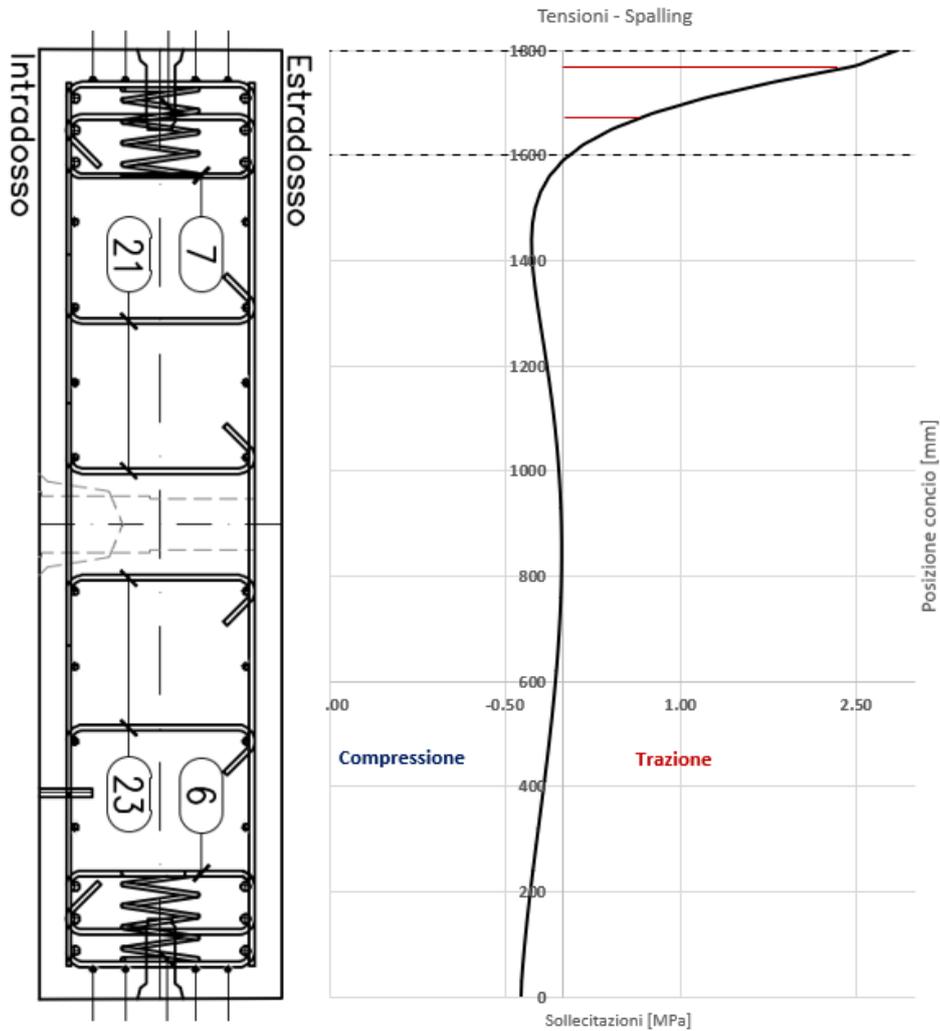


Figura 8-71: Andamento delle sollecitazioni effetto spalling tra le scarpe di spinta

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 110 di 280

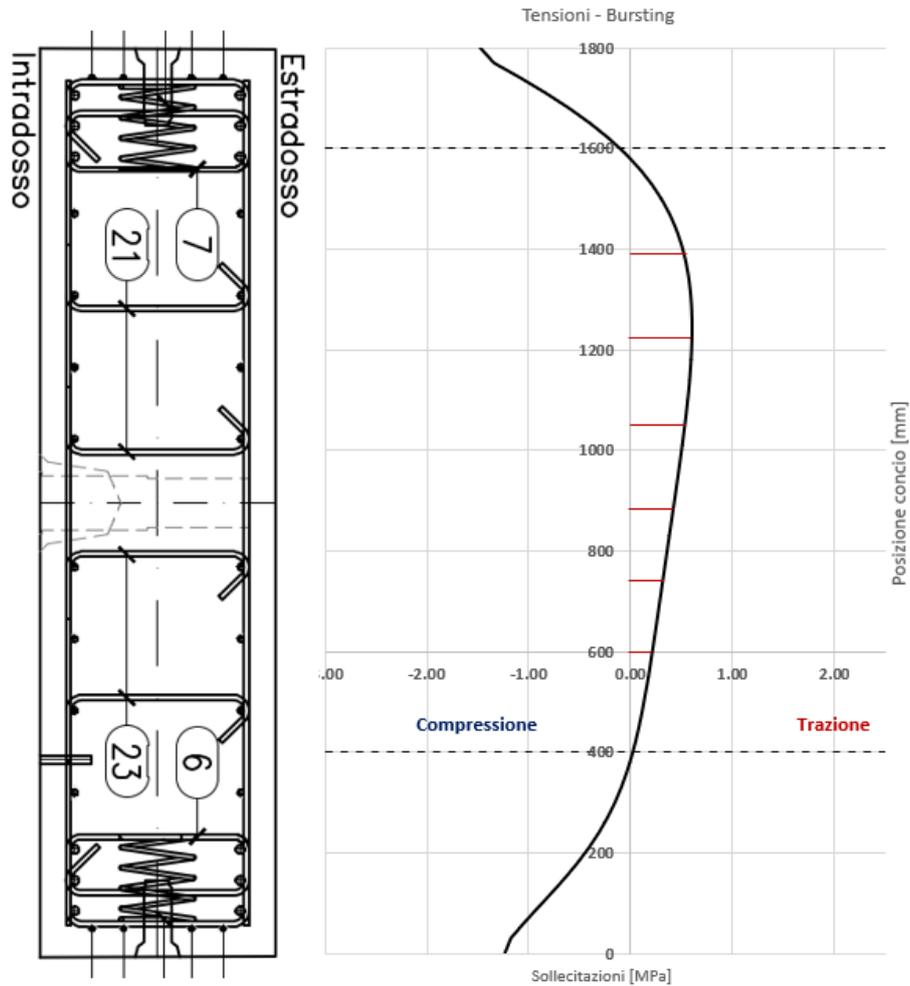


Figura 8-72: Andamento delle sollecitazioni effetto bursting sotto le scarpe di spinta

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva contenente le verifiche tensionali SLE (NTC08 §4.1.2.2.5.1) in direzione circonferenziale.

Sezione di analisi	$\sigma_{s, \text{limite}}$ [MPa]	T_{ed} (integrazione) [kN]	Barre collaboranti	A_s [mm ²]	$\sigma_{s, \text{agente}}$ [MPa]	Verifica
Spalling	$\sigma_{s, \text{limite}} = 0.75 \cdot f_{yk} = 337.5$	112	4 $\phi 10 + 4 \phi 14$	932	$\sigma_s = T_{ed}/A_s = 121$	$\sigma_s < \sigma_{s, \text{limite}}$ Verifica soddisfatta
Bursting	$\sigma_{s, \text{limite}} = 0.75 \cdot f_{yk} = 337.5$	206	12 $\phi 12$	1356	$\sigma_s = T_{ed}/A_s = 152$	$\sigma_s < \sigma_{s, \text{limite}}$ Verifica soddisfatta

Tabella 8-15: Verifiche SLE a trazione armature

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 111 di 280

Si riporta di seguito la **verifica a fessurazione**, secondo quanto prescritto dall'EC2 §7.3.4, per l'effetto spalling tra le piastre di spinta.

Come spiegato nelle ipotesi di base si riporta il diagramma delle sollecitazioni di spalling tra le scarpe per le quali si integrano le trazioni per ottenere il tiro agente sulla sezione.

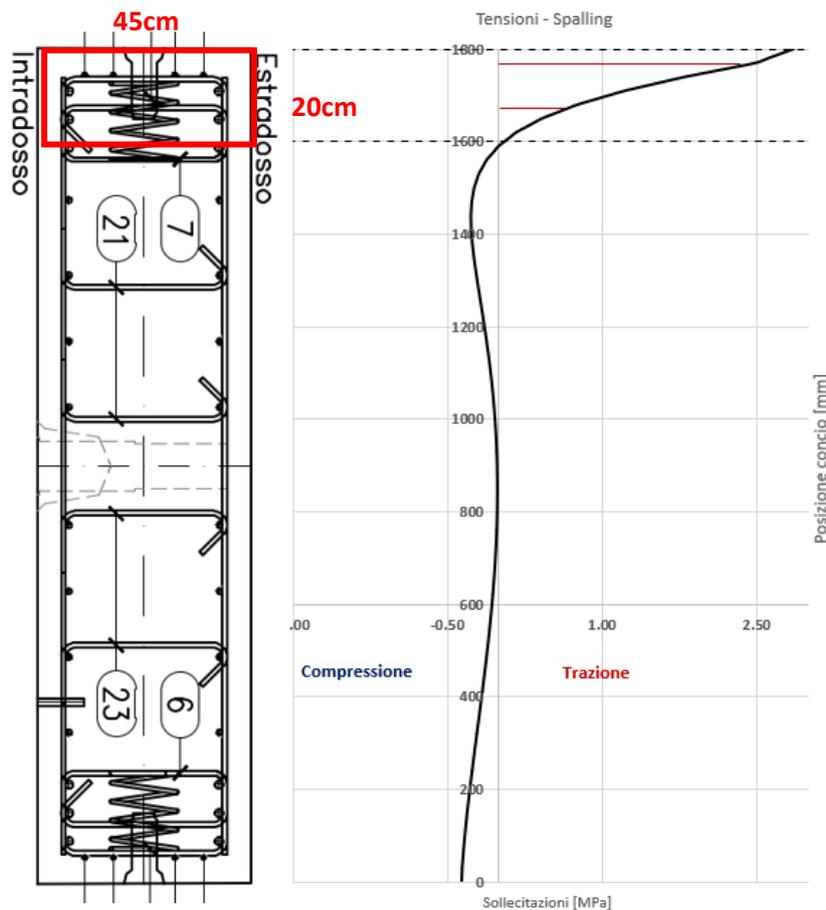


Figura 8-73: Andamento delle tensioni circonferenziali tra le scarpe.

La sezione considerata per il calcolo della fessurazione ha un'altezza di 20cm (altezza delle trazioni) e una base di 45cm (spessore concio).

Le armature coinvolte nella zona di trazione sono le seguenti: 4Φ10+4Φ14.

Integrando le tensioni si ottiene un tiro di:

$$F_{Spalling} = t \cdot \sum \Delta z \cdot \sigma_{xx} = 112 \text{ kN}$$

t: spessore del concio;

Δz: discretizzazione lungo la posizione del concio;

σ_{xx}: tensione agente.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 112 di 280

Il baricentro di spinta del tiro rispetto al lembo superiore del concio viene calcolato come segue.

$$z_{tiro} = \frac{t \cdot \sum z_i \cdot \sigma_{i,xx}}{F_{spalling}} = 0.064 \text{ m}$$

L'azione di tiro si trova a 6.4 cm dal bordo esterno del concio.

L'eccentricità rispetto al baricentro della sezione considerata di altezza 20 cm risulta essere.

$$e = \frac{h}{2} - z_{tiro} = \frac{0.20}{2} - 0.064 = 0.036 \text{ m}$$

Il momento agente sulla sezione è calcolato come di seguito.

$$M_{ed} = F_{spalling} \cdot e = 112 \cdot 0.036 = 4.03 \text{ kNm}$$

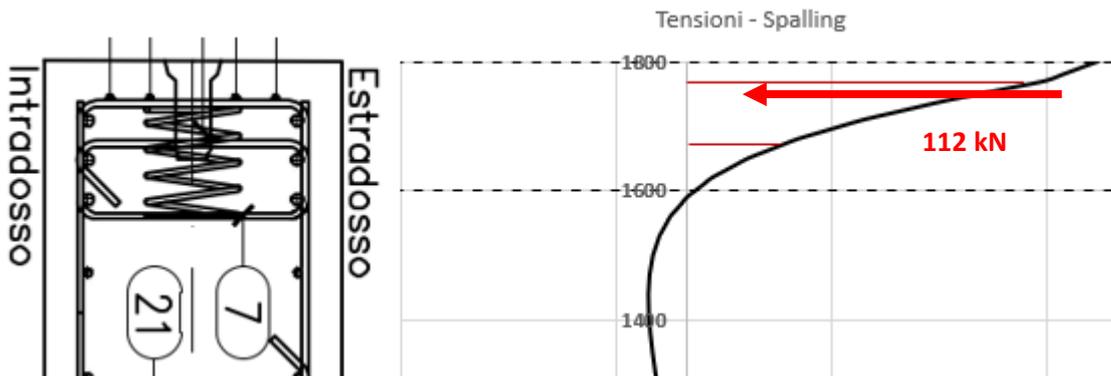


Figura 8-74: Posizione del tiro di spalling.

Di seguito si riporta la verifica a fessurazione.

APPALTATORE:					
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria				
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C 113 di 280

Fessurazione per spalling tra le scarpe

INPUT

SOLLECITAZIONI DI VERIFICA

Combinazione	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	V _{Sd} [kN]
SLE Quasi Permanente	112.0	4.0	-
SLE Frequente	112.0	4.0	-
SLE Rara	112.0	4.0	-
SLU	0.0	0.0	0.0
SLV	0.0	0.0	0.0

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.

Geometria della sezione			
Base (ortogonale al Taglio)	B [cm]	45	
Altezza (parallela al Taglio)	H [cm]	20	
Altezza utile della sezione	d [cm]	13	
Area di calcestruzzo	A _c [cm ²]	900	

Armatura longitudinale tesa		1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
Numero Barre	n	4	2	0
Diametro	φ [mm]	10	14	0
Posizione dal lembo esterno	c [cm]	5.5	8.9	0.0
Area strato	As [cm ²]	3.14	3.08	0.00
Rapporto di armatura	ρ [%]	1.078%		

Armatura longitudinale compressa		1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
Numero Barre	n	2	0	0
Diametro	φ [mm]	14	0	0
Posizione dal lembo esterno	c' [cm]	4.3	0.0	0.0
Area strato	As' [cm ²]	3.08	0.00	0.00
Rapporto di armatura	ρ' [%]	0.534%		

Armatura trasversale		1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO
Diametro	φ [mm]	0	0	0
Numero bracci	n _{bt}	0	0	0
Passo	s _w [cm]	0	0	0
Inclinazione	α [deg]	90	90	90
Area armatura a metro	A _{sw} /s _w [cm ² /m]	0.00	0.00	0.00

CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI

Concrete		
Resistenza cubica a compressione	RCK	55
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f _{ck} [Mpa]	45.00
Resistenza cilindrica media a compressione	f _{cm} [Mpa]	53.00
Resistenza media a trazione per flessione	f _{ctm} [Mpa]	3.80
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	f _{ctk} [Mpa]	2.66
Resistenza di progetto a compressione	f _{cd} [Mpa]	25.50
Resistenza di progetto delle bielle compresse	f _{cd'} [Mpa]	12.55
Acciaio		
Resistenza di progetto a snervamento	f _{y,d} [Mpa]	391.30

OUTPUT

VERIFICHE IN ESERCIZIO

Verifica Tensionale	σ _c [Mpa]	σ _s [Mpa]	σ _{limit}
Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	2.77	20.250	
Calcestruzzo SLE Rara	2.77	27.000	
Acciaio SLE Rara	216.22	360.000	

Verifica di fessurazione	w _d [mm]	w _{limit}
Combinazione SLE Quasi permanente	0.000	0.200
Combinazione SLE Frequente	0.000	0.200

VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO

Sollecitazioni di progetto		V _{Sd} [kN]	0.0
Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)			
Sforzo Normale concomitante al massimo taglio		N _{Sd} [kN]	0.0

Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica		V _{Rd1} [kN]	50.49
Resistenza di progetto senza armatura specifica			
Coefficiente di sicurezza		V _{Rd1} /V _{Sd}	-

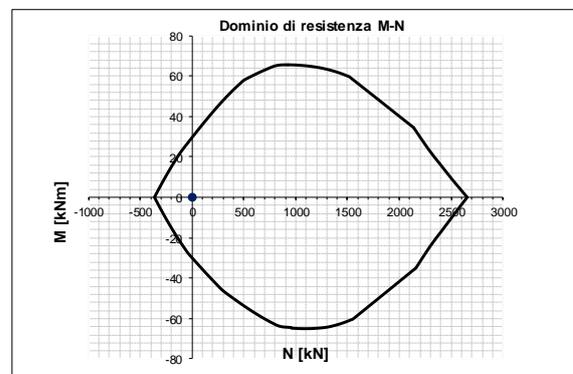
Verifica di resistenza dell'armatura specifica		cot(θ)	2.5
CoTan(θ) di progetto			
Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls		V _{Rd2} (θ) [kN]	-
Resistenza a taglio dell'armatura		V _{Rd3} (θ) [kN]	-
Resistenza a taglio di progetto		V _{Rd} [kN]	-
Coefficiente di sicurezza		V _{Rd} /V _{Sd}	-

VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE

Sollecitazioni di progetto		SLU	SLV
Momento sollecitante		M _{Sd} [kNm]	0.0
Sforzo Normale concomitante		N _{Sd} [kN]	0.0

Verifica di resistenza in termini di momento		SLU	SLV
Momento resistente		M _{Rd} [kNm]	29.7
Coefficiente di sicurezza		M _{Rd} /M _{Sd}	-

Verifica di resistenza in termini di sforzo normale		SLU	SLV
Sforzo normale resistente		N _{Rd} [kN]	-
Coefficiente di sicurezza		N _{Rd} /N _{Sd}	-



APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 114 di 280

Si riporta di seguito la **verifica a fessurazione**, secondo quanto prescritto dall'EC2 §7.3.4, per l'effetto bursting al di sotto delle piastre di spinta.

Come spiegato nelle ipotesi di base si riporta il diagramma delle sollecitazioni di bursting sotto le scarpe per le quali si integrano le trazioni per ottenere il tiro agente sulla sezione.

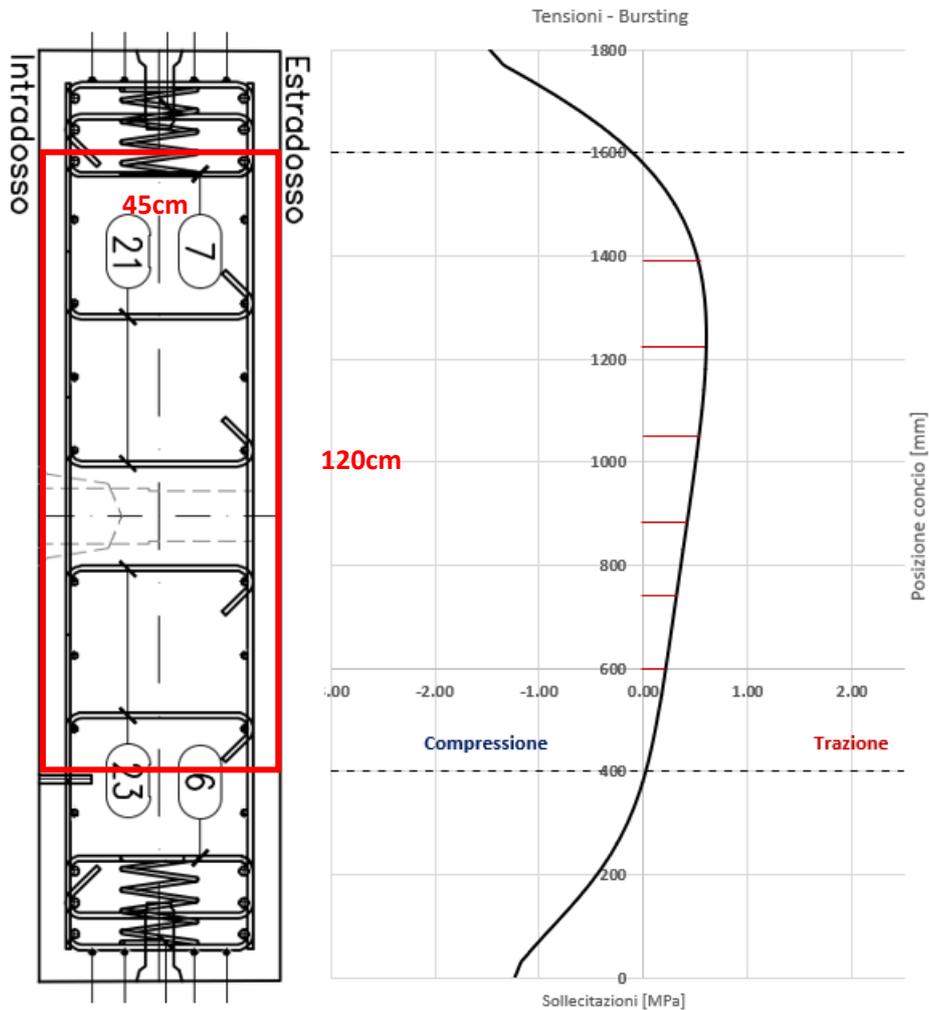


Figura 8-75: Andamento delle tensioni circonferenziali sotto le scarpe.

La sezione considerata per il calcolo della fessurazione ha un'altezza di 120cm (altezza delle trazioni) e una base di 45cm (spessore concio).

Le armature coinvolte nella zona di trazione sono le seguenti: 6Φ12+6Φ12.

Integrando le tensioni si ottiene un tiro di:

$$F_{Bursting} = t \cdot \sum \Delta z \cdot \sigma_{xx} = 206 \text{ kN}$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	115 di 280

t: spessore del concio;

Δz : discretizzazione lungo la posizione del concio;

σ_{xx} : tensione agente.

Il baricentro di spinta del tiro rispetto al lembo superiore del concio viene calcolato come segue.

$$z_{tiro} = \frac{t \cdot \sum z_i \cdot \sigma_{i,xx}}{F_{Bursting}} = 0.73 \text{ m}$$

L'azione di tiro si trova a 73 cm dal bordo esterno del concio.

L'eccentricità rispetto al baricentro della sezione considerata di altezza 120 cm risulta essere.

$$e = z - \frac{h}{2} - z_{tiro} = 1.4 - \frac{1.2}{2} - 0.73 = 0.07 \text{ m}$$

Il momento agente sulla sezione è calcolato come di seguito.

$$M_{ed} = F_{Bursting} \cdot e = 206 \cdot 0.07 = 14.4 \text{ kNm}$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 116 di 280

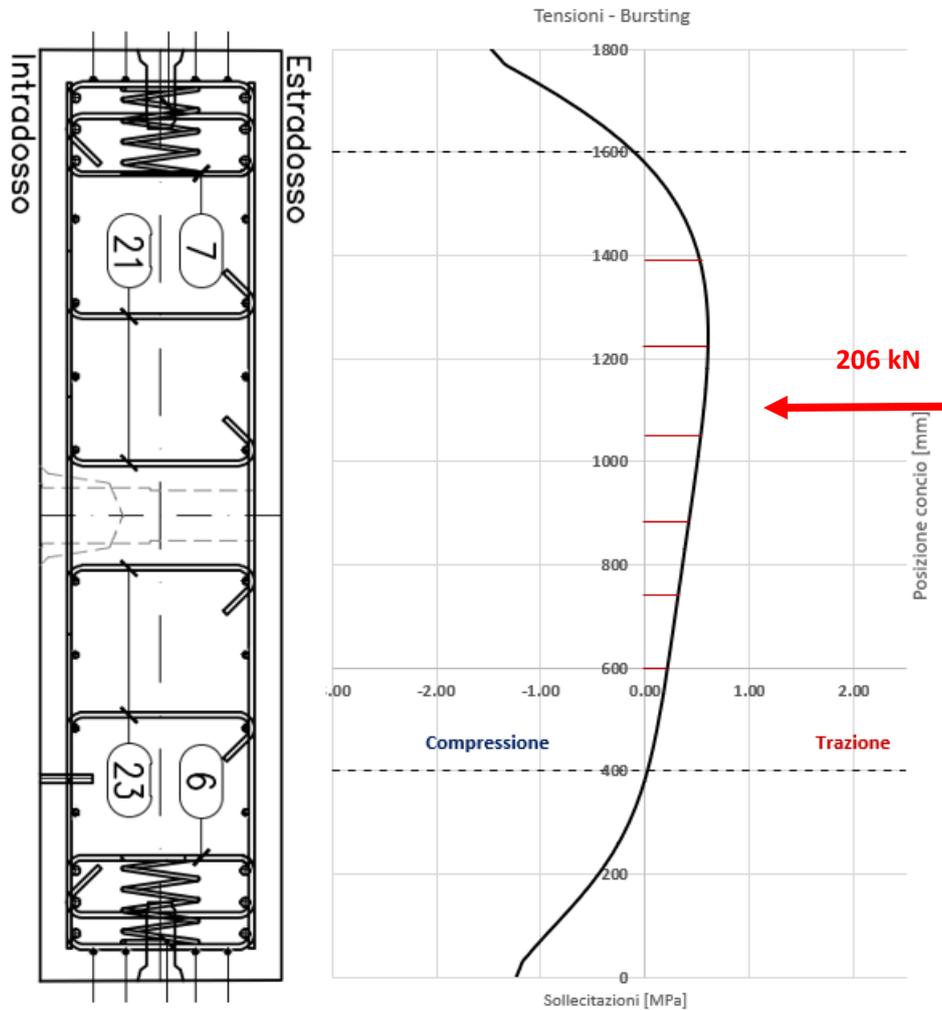
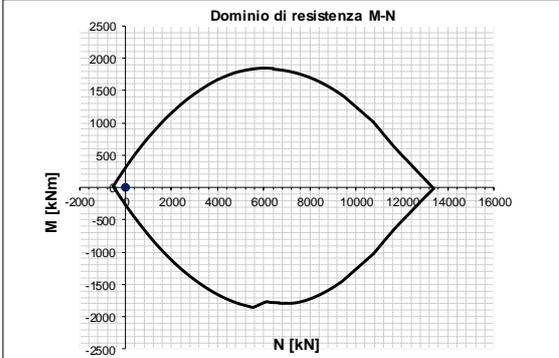


Figura 8-76: Posizione del tiro di bursting.

Di seguito si riporta la verifica a fessurazione.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA - PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN000003	REV. C	FOGLIO. 117 di 280

Fessurazione per bursting circonferenziale sotto le scarpe

INPUT	OUTPUT																																														
SOLLECITAZIONI DI VERIFICA	VERIFICHE IN ESERCIZIO																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Combinazione</th> <th>N_{Sd} [kN]</th> <th>M_{Sd} [kNm]</th> <th>V_{Sd} [kN]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SLE Quasi Permanente</td> <td style="text-align: right;">206.0</td> <td style="text-align: right;">14.4</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>SLE Frequente</td> <td style="text-align: right;">206.0</td> <td style="text-align: right;">14.4</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>SLE Rara</td> <td style="text-align: right;">206.0</td> <td style="text-align: right;">14.4</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>SLU</td> <td style="text-align: right;">0.0</td> <td style="text-align: right;">0.0</td> <td style="text-align: right;">0.0</td> </tr> <tr> <td>SLV</td> <td style="text-align: right;">0.0</td> <td style="text-align: right;">0.0</td> <td style="text-align: right;">0.0</td> </tr> </tbody> </table>	Combinazione	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	V _{Sd} [kN]	SLE Quasi Permanente	206.0	14.4	-	SLE Frequente	206.0	14.4	-	SLE Rara	206.0	14.4	-	SLU	0.0	0.0	0.0	SLV	0.0	0.0	0.0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Verifica Tensionale</th> <th>σ limit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Calcestruzzo SLE Quasi Permanente</td> <td>σ_c [Mpa] = 0.00 20.250</td> </tr> <tr> <td>Calcestruzzo SLE Rara</td> <td>σ_c [Mpa] = 0.00 27.000</td> </tr> <tr> <td>Acciaio SLE Rara</td> <td>σ_s [Mpa] = 171.24 360.000</td> </tr> </tbody> </table>	Verifica Tensionale	σ limit	Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	σ _c [Mpa] = 0.00 20.250	Calcestruzzo SLE Rara	σ _c [Mpa] = 0.00 27.000	Acciaio SLE Rara	σ _s [Mpa] = 171.24 360.000														
Combinazione	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	V _{Sd} [kN]																																												
SLE Quasi Permanente	206.0	14.4	-																																												
SLE Frequente	206.0	14.4	-																																												
SLE Rara	206.0	14.4	-																																												
SLU	0.0	0.0	0.0																																												
SLV	0.0	0.0	0.0																																												
Verifica Tensionale	σ limit																																														
Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	σ _c [Mpa] = 0.00 20.250																																														
Calcestruzzo SLE Rara	σ _c [Mpa] = 0.00 27.000																																														
Acciaio SLE Rara	σ _s [Mpa] = 171.24 360.000																																														
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.	VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Geometria della sezione</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Base (ortogonale al Taglio)</td> <td>B [cm]</td> <td colspan="2" style="text-align: right;">45</td> </tr> <tr> <td>Altezza (parallela al Taglio)</td> <td>H [cm]</td> <td colspan="2" style="text-align: right;">112</td> </tr> <tr> <td>Altezza utile della sezione</td> <td>d [cm]</td> <td colspan="2" style="text-align: right;">83</td> </tr> <tr> <td>Area di calcestruzzo</td> <td>A_c [cm²]</td> <td colspan="2" style="text-align: right;">5040</td> </tr> </tbody> </table>	Geometria della sezione				Base (ortogonale al Taglio)	B [cm]	45		Altezza (parallela al Taglio)	H [cm]	112		Altezza utile della sezione	d [cm]	83		Area di calcestruzzo	A _c [cm ²]	5040		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Sollecitazioni di progetto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)</td> <td>V_{Sd} [kN]</td> <td style="text-align: right;">0.0</td> </tr> <tr> <td>Sforzo Normale concomitante al massimo taglio</td> <td>N_{Sd} [kN]</td> <td style="text-align: right;">0.0</td> </tr> </tbody> </table>	Sollecitazioni di progetto			Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)	V _{Sd} [kN]	0.0	Sforzo Normale concomitante al massimo taglio	N _{Sd} [kN]	0.0																	
Geometria della sezione																																															
Base (ortogonale al Taglio)	B [cm]	45																																													
Altezza (parallela al Taglio)	H [cm]	112																																													
Altezza utile della sezione	d [cm]	83																																													
Area di calcestruzzo	A _c [cm ²]	5040																																													
Sollecitazioni di progetto																																															
Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)	V _{Sd} [kN]	0.0																																													
Sforzo Normale concomitante al massimo taglio	N _{Sd} [kN]	0.0																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Armatura longitudinale tesa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>1° STRATO</td> <td>2° STRATO</td> <td>3° STRATO</td> </tr> <tr> <td>Numero Barre</td> <td style="text-align: center;">n</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>Diametro</td> <td style="text-align: center;">φ [mm]</td> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">12</td> </tr> <tr> <td>Posizione dal lembo esterno</td> <td style="text-align: center;">c [cm]</td> <td style="text-align: center;">13.0</td> <td style="text-align: center;">30.0</td> </tr> <tr> <td>Area strato</td> <td style="text-align: center;">A_s [cm²]</td> <td style="text-align: center;">2.26</td> <td style="text-align: center;">2.26</td> </tr> <tr> <td>Rapporto di armatura</td> <td style="text-align: center;">ρ [%]</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">0.181%</td> </tr> </tbody> </table>	Armatura longitudinale tesa					1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	Numero Barre	n	2	2	Diametro	φ [mm]	12	12	Posizione dal lembo esterno	c [cm]	13.0	30.0	Area strato	A _s [cm ²]	2.26	2.26	Rapporto di armatura	ρ [%]	0.181%		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Resistenza di progetto senza armatura specifica</td> <td>V_{Rd1} [kN]</td> <td style="text-align: right;">160.12</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente di sicurezza</td> <td>V_{Rd1}/V_{Sd}</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> </tbody> </table>	Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica			Resistenza di progetto senza armatura specifica	V _{Rd1} [kN]	160.12	Coefficiente di sicurezza	V _{Rd1} /V _{Sd}	-									
Armatura longitudinale tesa																																															
	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO																																												
Numero Barre	n	2	2																																												
Diametro	φ [mm]	12	12																																												
Posizione dal lembo esterno	c [cm]	13.0	30.0																																												
Area strato	A _s [cm ²]	2.26	2.26																																												
Rapporto di armatura	ρ [%]	0.181%																																													
Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica																																															
Resistenza di progetto senza armatura specifica	V _{Rd1} [kN]	160.12																																													
Coefficiente di sicurezza	V _{Rd1} /V _{Sd}	-																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Armatura longitudinale compressa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>1° STRATO</td> <td>2° STRATO</td> <td>3° STRATO</td> </tr> <tr> <td>Numero Barre</td> <td style="text-align: center;">n</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>Diametro</td> <td style="text-align: center;">φ [mm]</td> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">12</td> </tr> <tr> <td>Posizione dal lembo esterno</td> <td style="text-align: center;">c' [cm]</td> <td style="text-align: center;">50.0</td> <td style="text-align: center;">37.0</td> </tr> <tr> <td>Area strato</td> <td style="text-align: center;">A_s' [cm²]</td> <td style="text-align: center;">2.26</td> <td style="text-align: center;">2.26</td> </tr> <tr> <td>Rapporto di armatura</td> <td style="text-align: center;">ρ' [%]</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">0.181%</td> </tr> </tbody> </table>	Armatura longitudinale compressa					1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	Numero Barre	n	2	2	Diametro	φ [mm]	12	12	Posizione dal lembo esterno	c' [cm]	50.0	37.0	Area strato	A _s ' [cm ²]	2.26	2.26	Rapporto di armatura	ρ' [%]	0.181%		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Verifica di resistenza dell'armatura specifica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CoTan(θ) di progetto</td> <td>cotan(θ)</td> <td style="text-align: right;">2.5</td> </tr> <tr> <td>Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls</td> <td>V_{Rd2}(θ) [kN]</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>Resistenza a taglio dell'armatura</td> <td>V_{Rd3}(θ) [kN]</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>Resistenza a taglio di progetto</td> <td>V_{Rd} [kN]</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente di sicurezza</td> <td>V_{Rd}/V_{Sd}</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> </tbody> </table>	Verifica di resistenza dell'armatura specifica			CoTan(θ) di progetto	cotan(θ)	2.5	Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls	V _{Rd2} (θ) [kN]	-	Resistenza a taglio dell'armatura	V _{Rd3} (θ) [kN]	-	Resistenza a taglio di progetto	V _{Rd} [kN]	-	Coefficiente di sicurezza	V _{Rd} /V _{Sd}	-
Armatura longitudinale compressa																																															
	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO																																												
Numero Barre	n	2	2																																												
Diametro	φ [mm]	12	12																																												
Posizione dal lembo esterno	c' [cm]	50.0	37.0																																												
Area strato	A _s ' [cm ²]	2.26	2.26																																												
Rapporto di armatura	ρ' [%]	0.181%																																													
Verifica di resistenza dell'armatura specifica																																															
CoTan(θ) di progetto	cotan(θ)	2.5																																													
Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls	V _{Rd2} (θ) [kN]	-																																													
Resistenza a taglio dell'armatura	V _{Rd3} (θ) [kN]	-																																													
Resistenza a taglio di progetto	V _{Rd} [kN]	-																																													
Coefficiente di sicurezza	V _{Rd} /V _{Sd}	-																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Armatura trasversale</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>1° TIPO</td> <td>2° TIPO</td> <td>3° TIPO</td> </tr> <tr> <td>Diametro</td> <td style="text-align: center;">φ [mm]</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>Numero bracci</td> <td style="text-align: center;">n_{bi}</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>Passo</td> <td style="text-align: center;">s_w [cm]</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>Inclinazione</td> <td style="text-align: center;">α [deg]</td> <td style="text-align: center;">90</td> <td style="text-align: center;">90</td> </tr> <tr> <td>Area armatura a metro</td> <td style="text-align: center;">A_{sw}/s_w [cm²/m]</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> <td style="text-align: center;">0.00</td> </tr> </tbody> </table>	Armatura trasversale					1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO	Diametro	φ [mm]	0	0	Numero bracci	n _{bi}	0	0	Passo	s _w [cm]	0	0	Inclinazione	α [deg]	90	90	Area armatura a metro	A _{sw} /s _w [cm ² /m]	0.00	0.00	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Verifica di resistenza in termini di momento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Momento sollecitante</td> <td>M_{Sd} [kNm]</td> <td style="text-align: right;">0.0</td> </tr> <tr> <td>Sforzo Normale concomitante</td> <td>N_{Sd} [kN]</td> <td style="text-align: right;">0.0</td> </tr> </tbody> </table>	Verifica di resistenza in termini di momento			Momento sollecitante	M _{Sd} [kNm]	0.0	Sforzo Normale concomitante	N _{Sd} [kN]	0.0									
Armatura trasversale																																															
	1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO																																												
Diametro	φ [mm]	0	0																																												
Numero bracci	n _{bi}	0	0																																												
Passo	s _w [cm]	0	0																																												
Inclinazione	α [deg]	90	90																																												
Area armatura a metro	A _{sw} /s _w [cm ² /m]	0.00	0.00																																												
Verifica di resistenza in termini di momento																																															
Momento sollecitante	M _{Sd} [kNm]	0.0																																													
Sforzo Normale concomitante	N _{Sd} [kN]	0.0																																													
CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI	VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Concrete</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Resistenza cubica a compressione</td> <td>RCK</td> <td style="text-align: right;">55</td> </tr> <tr> <td>Resistenza cilindrica caratteristica a compressione</td> <td>f_{ck} [Mpa]</td> <td style="text-align: right;">45.00</td> </tr> <tr> <td>Resistenza cilindrica media a compressione</td> <td>f_{cm} [Mpa]</td> <td style="text-align: right;">53.00</td> </tr> <tr> <td>Resistenza media a trazione per flessione</td> <td>f_{ctm} [Mpa]</td> <td style="text-align: right;">3.80</td> </tr> <tr> <td>Resistenza caratteristica a trazione per flessione</td> <td>f_{ctk} [Mpa]</td> <td style="text-align: right;">2.66</td> </tr> <tr> <td>Resistenza di progetto a compressione</td> <td>f_{cd} [Mpa]</td> <td style="text-align: right;">25.50</td> </tr> <tr> <td>Resistenza di progetto delle bielle compresse</td> <td>f_{cd}' [Mpa]</td> <td style="text-align: right;">12.55</td> </tr> </tbody> </table>	Concrete			Resistenza cubica a compressione	RCK	55	Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f _{ck} [Mpa]	45.00	Resistenza cilindrica media a compressione	f _{cm} [Mpa]	53.00	Resistenza media a trazione per flessione	f _{ctm} [Mpa]	3.80	Resistenza caratteristica a trazione per flessione	f _{ctk} [Mpa]	2.66	Resistenza di progetto a compressione	f _{cd} [Mpa]	25.50	Resistenza di progetto delle bielle compresse	f _{cd} ' [Mpa]	12.55	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Verifica di resistenza in termini di sforzo normale</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sforzo normale resistente</td> <td>N_{Rd} [kN]</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente di sicurezza</td> <td>N_{Rd}/N_{Sd}</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> </tbody> </table>	Verifica di resistenza in termini di sforzo normale			Sforzo normale resistente	N _{Rd} [kN]	-	Coefficiente di sicurezza	N _{Rd} /N _{Sd}	-													
Concrete																																															
Resistenza cubica a compressione	RCK	55																																													
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f _{ck} [Mpa]	45.00																																													
Resistenza cilindrica media a compressione	f _{cm} [Mpa]	53.00																																													
Resistenza media a trazione per flessione	f _{ctm} [Mpa]	3.80																																													
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	f _{ctk} [Mpa]	2.66																																													
Resistenza di progetto a compressione	f _{cd} [Mpa]	25.50																																													
Resistenza di progetto delle bielle compresse	f _{cd} ' [Mpa]	12.55																																													
Verifica di resistenza in termini di sforzo normale																																															
Sforzo normale resistente	N _{Rd} [kN]	-																																													
Coefficiente di sicurezza	N _{Rd} /N _{Sd}	-																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Acciaio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Resistenza di progetto a snervamento</td> <td>f_{yd} [Mpa]</td> <td style="text-align: right;">391.30</td> </tr> </tbody> </table>	Acciaio			Resistenza di progetto a snervamento	f _{yd} [Mpa]	391.30	<div style="text-align: center;">  <p>Domínio di resistenza M-N</p> </div>																																								
Acciaio																																															
Resistenza di progetto a snervamento	f _{yd} [Mpa]	391.30																																													

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 118 di 280

Per quanto riguarda la **verifica tensionale SLE del calcestruzzo** si confronteranno la tensione agente con quella limite in condizione di esercizio.

La spinta di progetto al di sotto di ogni scarpa è calcolata come segue.

$$F_{sd} = (T_{TBM})/21 = (40)/21 = 1.905 \text{ MN} = 1905 \text{ kN}$$

Dimensionamento del concio nelle fasi di spinta della TBM

SWSTM Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL CONCIO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Compressione

spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	40	
Numero delle scarpe	N_H [-]	21	
Eccentricità dei martinetti	ϵ_V [m]	0.03	
Coefficiente di incremento del carico	γ_{SLE} [-]	1.00	

Resistenza del segmento " $F_{sd} \leq F_{Rd} \leq F_{max}$ "

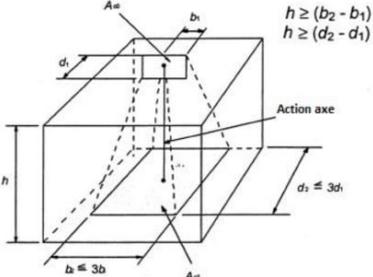
Largezza di pressione	h_0 [m]	0.197	Largezza della superficie proiettata	h_1 [m]	0.39
Lunghezza di pressione	a_0 [m]	0.88	Lunghezza della superficie proiettata	a_1 [m]	1.07
Resistenza del cls	"SLE"	f_{ck} [MPa]	45.0		

$$F_{sd} = \Sigma F * \gamma_F$$

$$F_{Rd} = A_{c0} * F_{cd} * \sqrt{A_{c1} / A_{c0}}$$

$$F_{max} = 3 A_{c0} * f_{cd}$$

Sforzo agente	"SLE"	$F_{Sd,E}$ [kN]	1905
Tensione agente	"SLE"	$\sigma_{cd} = F_{Sd,E} / A_{c1}$ [MPa]	4.55
Tensione max SLE	"SLE"	$\sigma_{max} = 0.45 f_{ck}$ [MPa]	20.3



La verifica tensionale SLE risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	119 di 280

8.7.5.3. Spinta non uniforme

Nel seguente paragrafo viene analizzato il rischio di carico non uniforme con carico agente allo SLU in condizioni ordinarie pari a 32.5 MN distribuito disuniformemente sulle tre scarpe di spinta con appoggio regolare. La condizione più cautelativa risulta quella in cui la scarpa più esterna sul lato inclinato (più a destra) viene caricata al 100%, mentre sulle rimanenti due scarpe si applica un carico ridotto del 50%.

In direzione radiale la verifica rimane medesima a quella svolta al §7.7.3.2, si riporta di seguito la verifica tensionale in direzione circonferenziale.

Verifiche in direzione circonferenziale per spinta non uniforme

Al fine di considerare l'azione di stato limite ultimo si applica una spinta macchina totale pari a 32.5MN, di cui si riporta l'output delle tensioni di seguito.

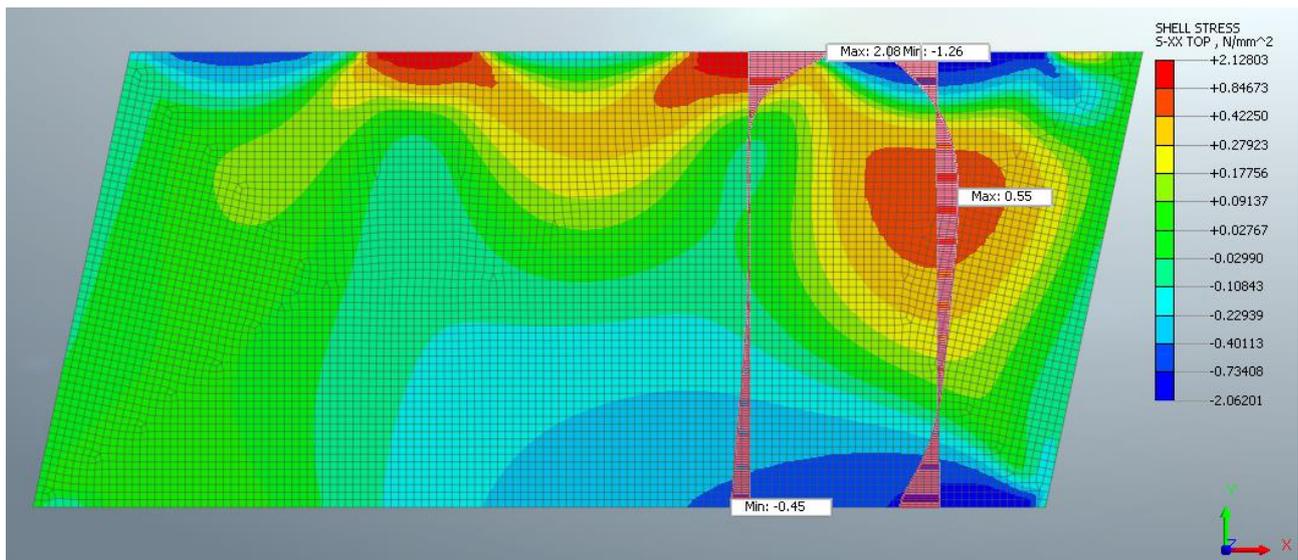


Figura 8-77: Modello Midas FEA NX verifiche SLU spinta Ordinaria con distribuzione non uniforme

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 120 di 280

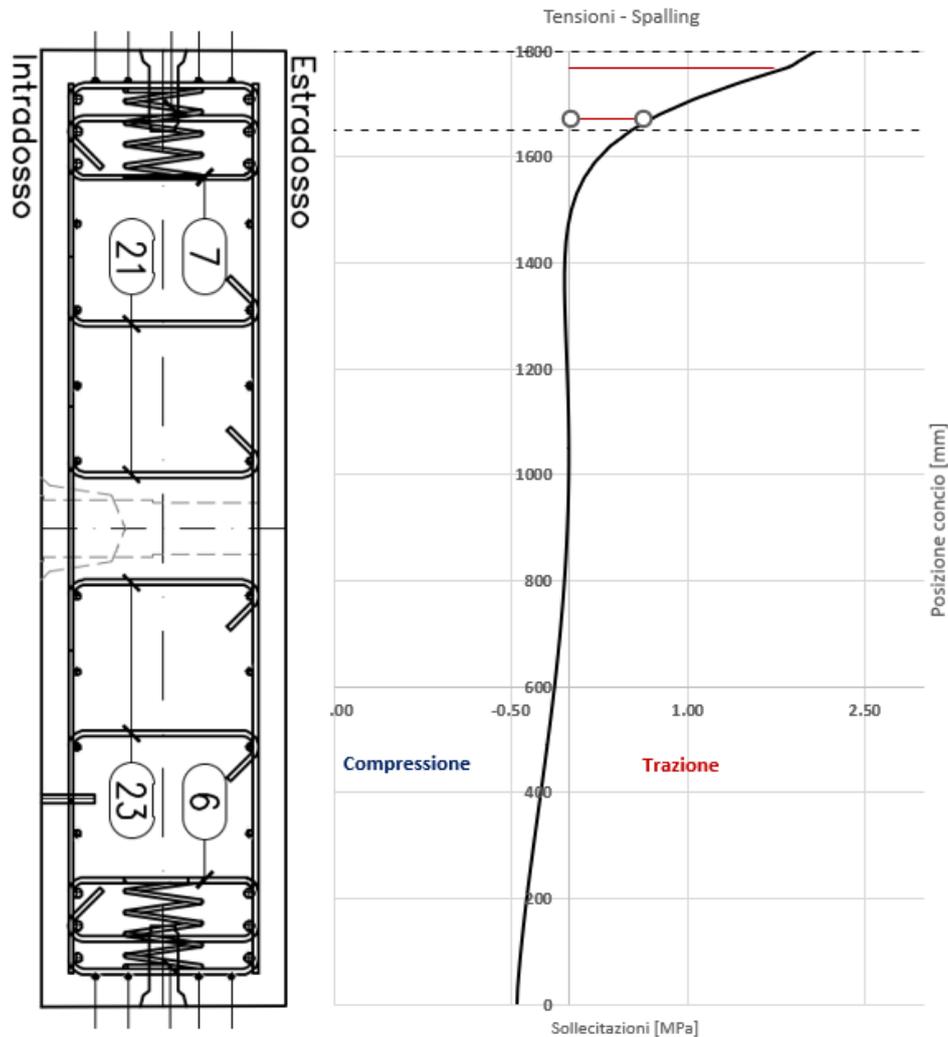


Figura 8-78: Andamento delle sollecitazioni effetto spalling tra le scarpe di spinta

Integrando la curva degli sforzi di trazione si ottiene un tiro sulle barre di armatura pari a $T_{ed}=100$ kN.

Come si evince dalla figura sopra riportata, le barre collaboranti nell'area interessata dall'effetto oggetto di analisi sono 4 ϕ 10 e 4 ϕ 14. Si ottiene una resistenza a trazione pari a:

$$T_{rd} = A_s \cdot f_{yd} = \left(\frac{14^2 \cdot \pi}{4} \cdot 4 + \frac{10^2 \cdot \pi}{4} \cdot 4 \right) \cdot 391.3 = 364 \text{ kN}$$

Con un fattore di sicurezza pari a $FS=T_{rd}/T_{ed}=3.64$ la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 121 di 280

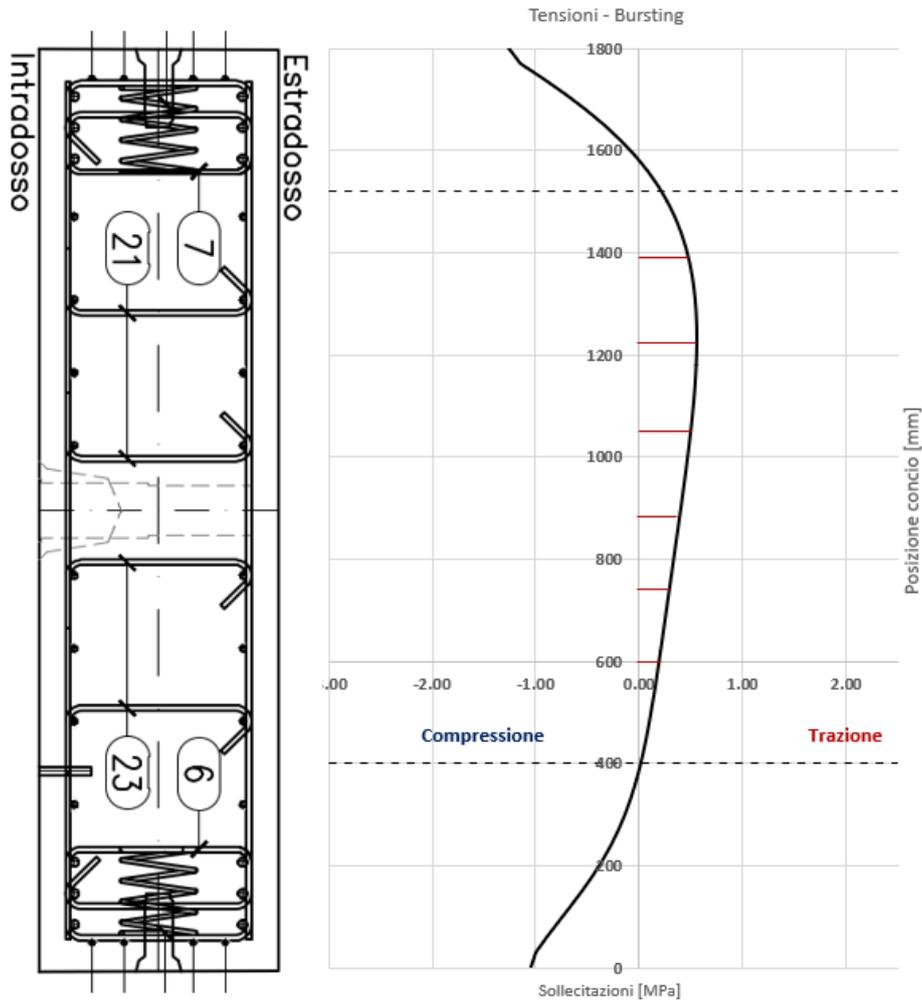


Figura 8-79: Andamento delle sollecitazioni effetto bursting sotto le scarpe di spinta

Integrando la curva degli sforzi di trazione si ottiene un tiro sulle barre di armatura pari a $T_{ed}=184$ kN.

Come si evince dalla figura sopra riportata, le barre collaboranti nell'area interessata dall'effetto oggetto di analisi sono 6+6 ϕ 12. Si ottiene una resistenza a trazione pari a:

$$T_{rd} = A_s \cdot f_{yd} = \left(\frac{12^2 \cdot \pi}{4} \cdot 12 \right) \cdot 391.3 = 531 \text{ kN}$$

Con un fattore di sicurezza pari a $FS=T_{rd}/T_{ed}=2.88$ la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 122 di 280	

8.7.5.4. Errato appoggio

L'analisi di rischio deve porsi l'obiettivo di valutare il margine rispetto allo SLU del concio nel caso in cui siano presenti condizioni di montaggio accidentali, applicata alla verifica di formazione di trazioni in direzione circonferenziale.

La presenza di gap locali può essere simulata numericamente per mezzo di una riduzione della rigidità della superficie di appoggio del concio da verificare, mantenendo il carico agente allo SLU calcolato nelle verifiche ordinarie. Valori indicativi di riduzione della rigidità possono assumersi tra il 25% e il 50%, da combinarsi per le diverse disposizioni del concio.

Dette A, B e C le tre parti del concio che appoggiano sull'anello precedente, a titolo di esempio si possono considerare le combinazioni di appoggio riportate nella figura successiva.

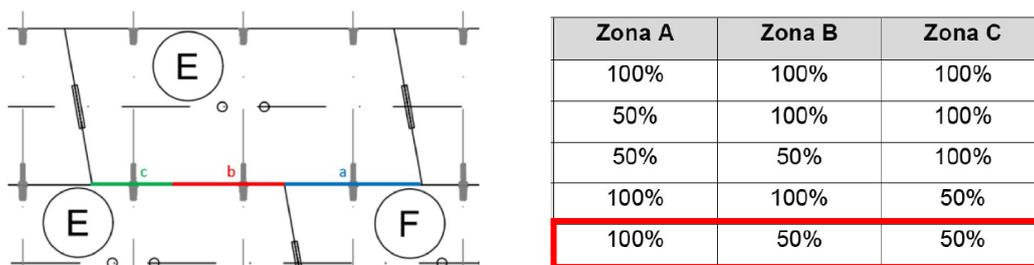


Figura 8-80: Esempio di combinazioni di appoggio sull'anello precedente DB

Nel dettaglio, tale analisi si svolge considerando il concio G applicando la combinazione delle molle per Zona A pari al 100% e per le zone B e C ridotta del 50%, rappresentativa della condizione più gravosa.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 123 di 280

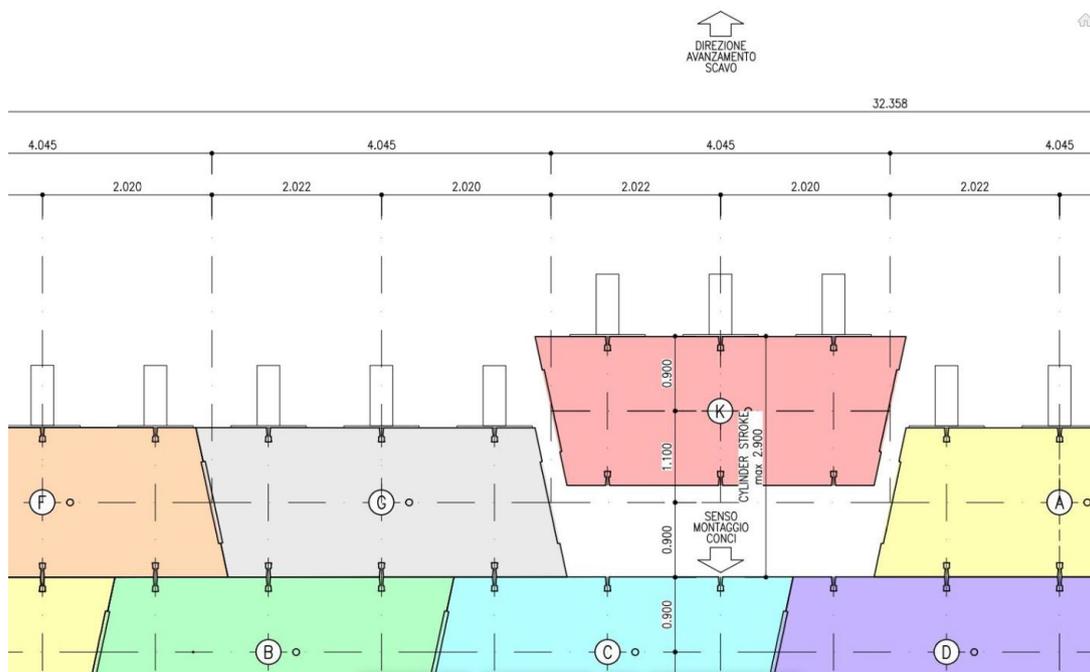


Figura 8-81: Schema disposizione conci

Nell'analisi di rischio si considerano le molle sui giunti longitudinali in quanto la spinta SLU pari a 32.5MN viene applicata una volta installato l'intero anello.

Poiché non è possibile a priori determinare le condizioni di appoggio irregolare, come misura di mitigazione di rischio quello che si potrà effettuare è valutare una condizione di appoggio incompleta e fittizia e confermare quali siano le spinte ordinarie compatibili con queste condizioni di appoggio arbitrariamente ipotizzate.

Mediante l'utilizzo del software agli elementi finiti Midas FEA si modella il concio come elemento shell con mesh composta da 8055 elementi ibridi con maglia 30x30mm. Al fine di calcolare la rigidezza delle molle si considera, oltre al modulo elastico del calcestruzzo e l'area dei singoli elementi, per quelle verticali metà lunghezza dell'anello retrostante pari a 90cm, mentre per quelle applicate sui giunti longitudinali si considera la circonferenza media dell'anello meno l'ingombro del concio oggetto di analisi diviso due.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 124 di 280

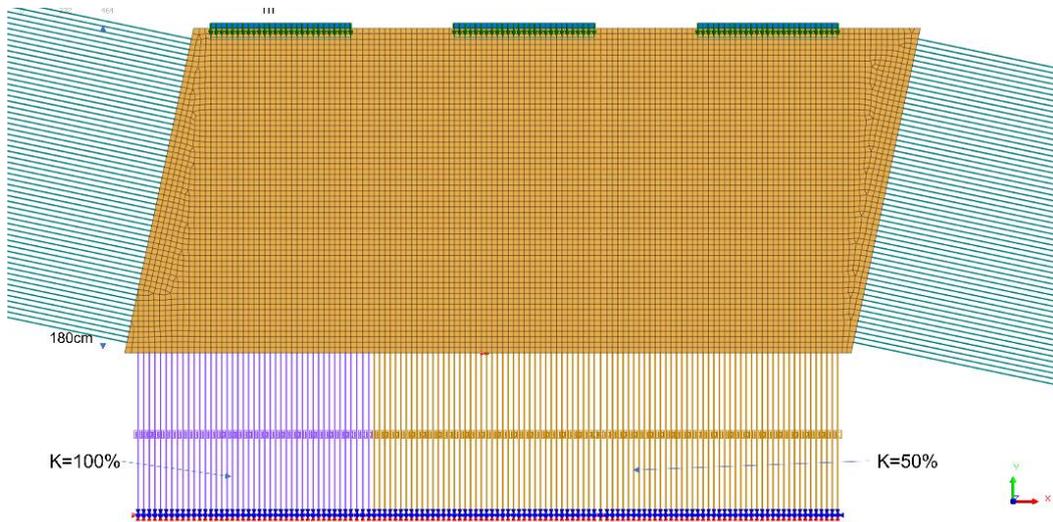


Figura 8-82: Mesh

Verifiche in direzione circonferenziale per errato appoggio

Si riporta di seguito l'output delle tensioni di seguito.

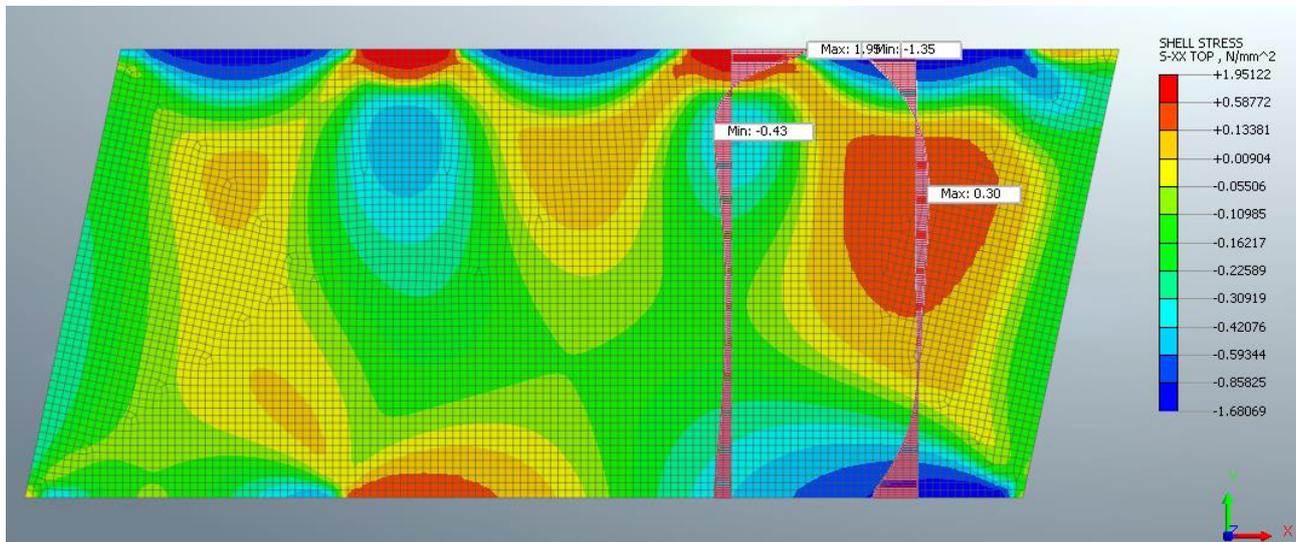


Figura 8-83: Modello Midas FEA NX verifiche SLU spinta Ordinaria con appoggio irregolare

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 125 di 280

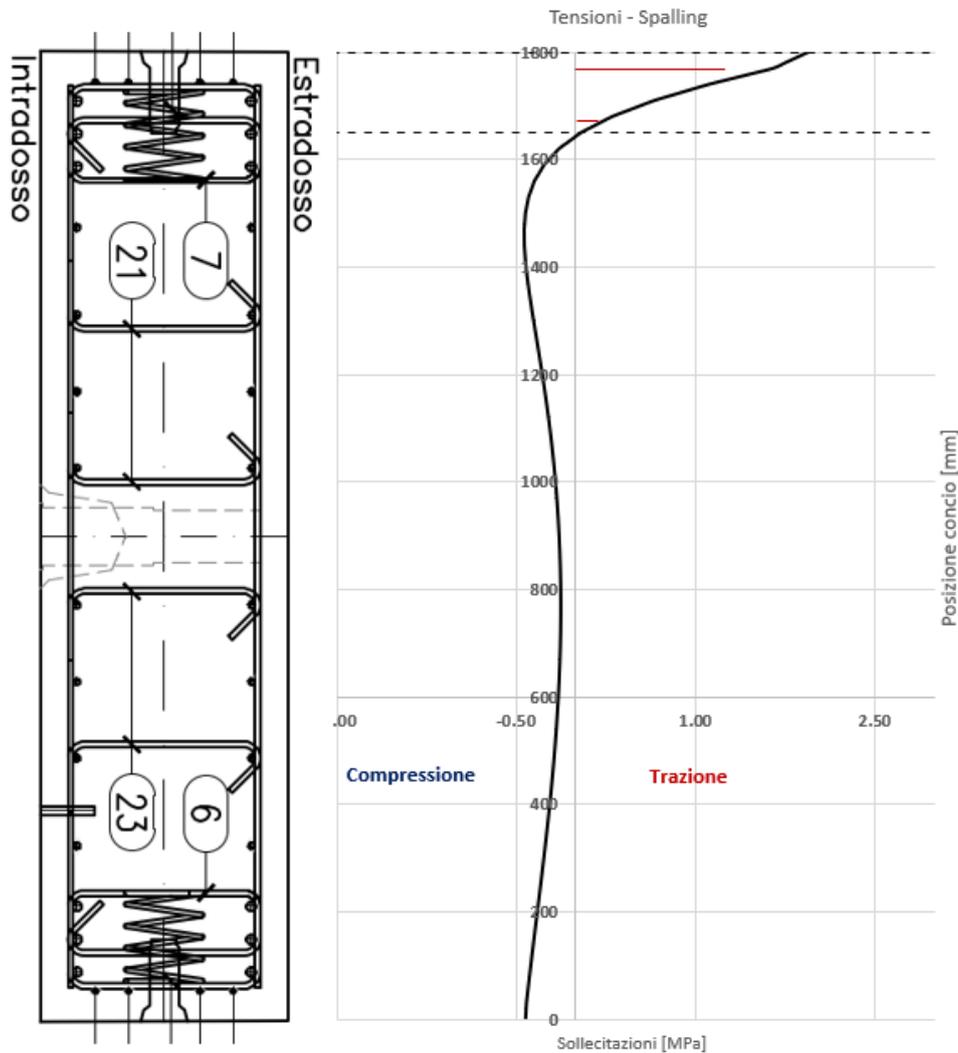


Figura 8-84: Andamento delle sollecitazioni effetto spalling tra le scarpe di spinta

Integrando la curva degli sforzi di trazione si ottiene un tiro sulle barre di armatura pari a $T_{ed}=64 \text{ kN}$.

Come si evince dalla figura sopra riportata, le barre collaboranti nell'area interessata dall'effetto oggetto di analisi sono 4 $\phi 10$ e 2 $\phi 14$. Si ottiene una resistenza a trazione pari a:

$$T_{rd} = A_s \cdot f_{yd} = \left(\frac{14^2 \cdot \pi}{4} \cdot 2 + \frac{10^2 \cdot \pi}{4} \cdot 4 \right) \cdot 391.3 = 243 \text{ kN}$$

Con un fattore di sicurezza pari a $FS=T_{rd}/T_{ed}=3.8$ la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 126 di 280

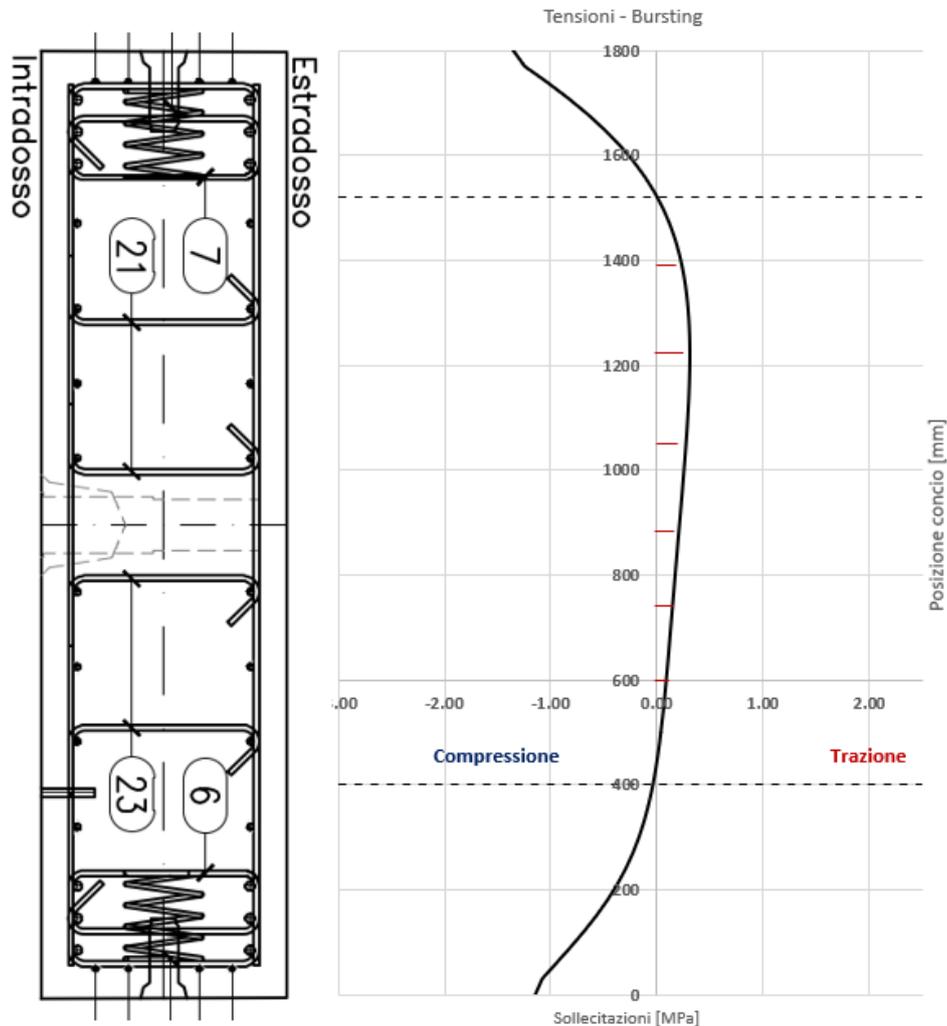


Figura 8-85: Andamento delle sollecitazioni effetto bursting sotto le scarpe di spinta

Integrando la curva degli sforzi di trazione si ottiene un tiro sulle barre di armatura pari a $T_{ed}=91$ kN.

Come si evince dalla figura sopra riportata, le barre collaboranti nell'area interessata dall'effetto oggetto di analisi sono 6+6 ϕ 12. Si ottiene una resistenza a trazione pari a:

$$T_{rd} = A_s \cdot f_{yd} = \left(\frac{12^2 \cdot \pi}{4} \cdot 12 \right) \cdot 391.3 = 530 \text{ kN}$$

Con un fattore di sicurezza pari a $FS=T_{rd}/T_{ed}=5.8$ la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 127 di 280

8.7.6 Concio Tipo B – analisi in condizioni ordinarie

8.7.6.1. Verifiche pressioni di contatto

Si riporta in dettaglio la verifica delle pressioni di contatto tenendo in considerazione la posizione dei martinetti rispetto all'asse del concio.

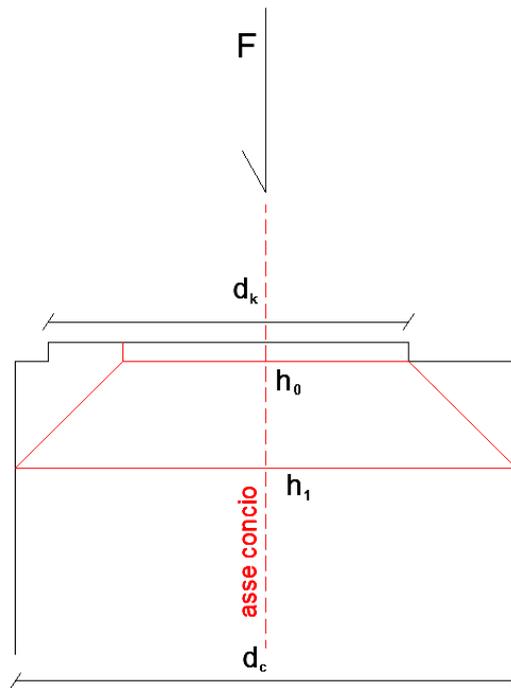


Figura 8-86: configurazione delle distribuzioni di pressione

Si calcola ora la larghezza di contatto h_0 :

$$h_0 = d_k - 2(e_{giunto}) = 0.324 - 2 \cdot (0.0332) = 0.257m$$

d_k : larghezza del giunto circonferenziale.

$e_{martinetto}$: eccentricità del martinetto rispetto all'asse del concio.

e_{giunto} : eccentricità del giunto rispetto all'asse del concio.

La rispettiva larghezza omotetica h_1 risulta essere pari a:

$$h_1 = 2(d_c/2 - e_{martinetto}) = 2 \cdot \left(\frac{0.45}{2} - 0.0\right) = 0.45m$$

d_c : rappresenta lo spessore del concio

$e_{martinetto}$: eccentricità del martinetto rispetto all'asse del concio.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 128 di 280

La lunghezza di contatto della zona caricata a_0 risulta essere pari proprio alla lunghezza della scarpa.

$$a_0 = L_{scarpa} = 0.88m$$

La lunghezza della zona omotetica a_1 è calcolata come segue.

$$a_1 = (h_1 - h_0) + L_{scarpa} = (0.45 - 0.257) + 0.88 = 1.07 m$$

La spinta di progetto al di sotto di ogni scarpa è calcolata come segue.

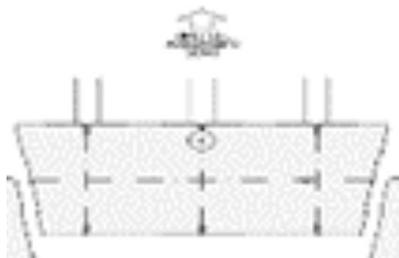
$$F_{sd} = (T_{TBM} \cdot 1.3) / 21 = (65 \cdot 1.3) / 21 = 4.024 MN = 4024 kN$$

Dimensionamento del concio nella fase di spinta

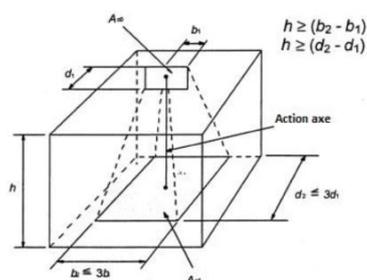


Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL CONCIO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Compressione

spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	65	
Numero delle scarpe	N_H [-]	21	
Eccentricità dei martinetti	ϵ_v [m]	0.00	
Coefficiente di incremento del carico	γ_{SLU} [-]	1.30	

Resistenza del segmento " $F_{sd} \leq F_{Rd} \leq F_{max}$ "

Larghezza di pressione	h_0 [m]	0.257	Larghezza della superficie proiettata	h_1 [m]	0.45
Lunghezza di pressione	a_0 [m]	0.88	Lunghezza della superficie proiettata	a_1 [m]	1.07
Resistenza del cls	"SLU" f_{cd} [MPa]	25.5			
$F_{sd} = \Sigma F \cdot \gamma_F$ $F_{Rd} = A_{c0} \cdot F_{cd} \cdot \sqrt{A_{c1} / A_{c0}}$ $F_{max} = 3 A_{c0} \cdot f_{cd}$					
Sforzo agente	"SLU" $F_{sd,E}$ [kN]	4024			
Resistenza	"SLU" F_{Rd} [kN]	8427			
	"SLU" F_{max} [kN]	17301			

La verifica delle pressioni di contatto risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 129 di 280	

Si riporta di seguito anche la **verifica SLU** della sezione presso inflessa al di sotto della scarpa soggetta alle seguenti sollecitazioni di compressione e momento flettente.

$$N = -4024 \text{ kN}$$

$$M = N \times e = -4024 \times 0.00 = 0 \text{ kNm}$$

La sezione di calcolo ha una larghezza pari a quella delle scarpe e un'altezza pari allo spessore del conccio. Le armature resistenti longitudinali al di sotto della scarpa si considerano a favore di sicurezza 3+3 Φ 10.

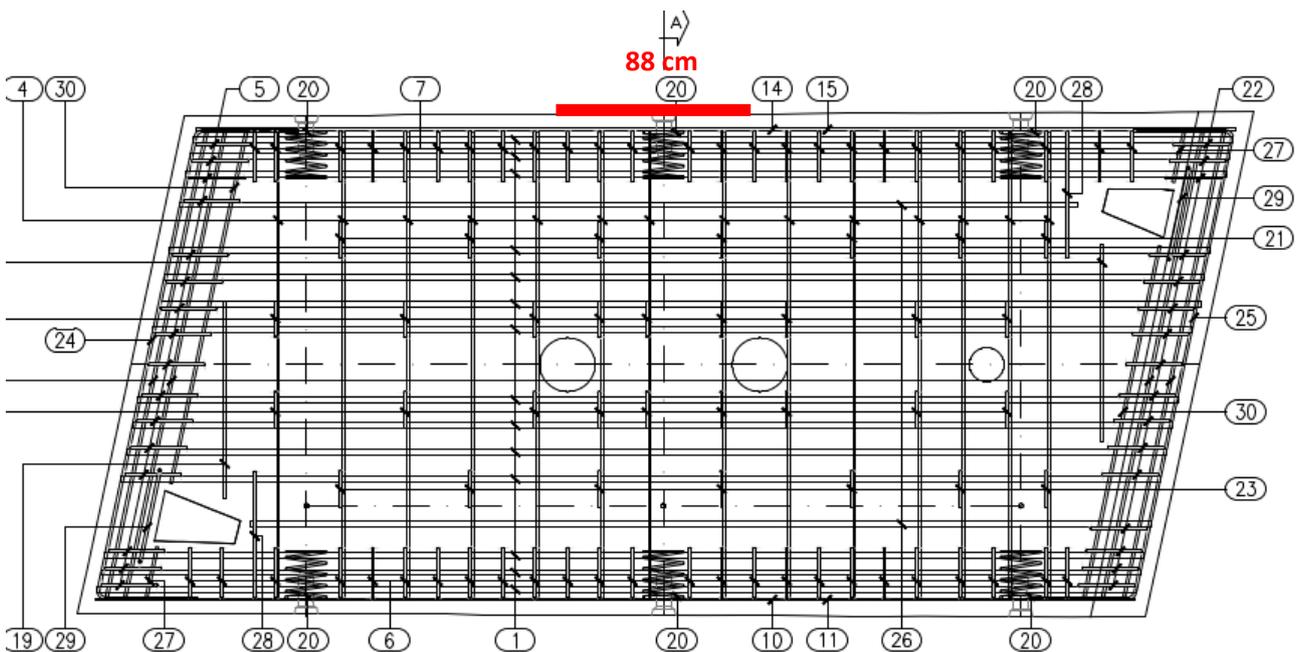


Figura 8-87: Layout di armatura al di sotto della scarpa

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA - PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
08 - GALLERIE	Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C 130 di 280

Sezione al di sotto della scarpa - Armatura longitudinale

INPUT

SOLLECITAZIONI DI VERIFICA

Combinazione	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	V _{Sd} [kN]
SLE Quasi Permanente	0.0	0.0	-
SLE Frequente	0.0	0.0	-
SLE Rara	0.0	0.0	-
SLU	-4024.0	0.0	0.0
SLV	0.0	0.0	0.0

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.

Geometria della sezione			
Base (ortogonale al Taglio)	B [cm]	88	
Altezza (parallela al Taglio)	H [cm]	45	
Altezza utile della sezione	d [cm]	40	
Area di calcestruzzo	A _c [cm ²]	3960	

Armatura longitudinale tesa		1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
Numero Barre	n	3	0	0
Diametro	φ [mm]	10	0	0
Posizione dal lembo esterno	c [cm]	5.5	0.0	0.0
Area strato	As [cm ²]	2.36	0.00	0.00
Rapporto di armatura	ρ [%]	0.068%		

Armatura longitudinale compressa		1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
Numero Barre	n	3	0	0
Diametro	φ [mm]	10	0	0
Posizione dal lembo esterno	c' [cm]	5.5	0.0	0.0
Area strato	As' [cm ²]	2.36	0.00	0.00
Rapporto di armatura	ρ' [%]	0.068%		

Armatura trasversale		1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO
Diametro	φ [mm]	0	0	0
Numero bracci	n _{bt}	0	0	0
Passo	s _w [cm]	0	0	0
Inclinazione	α [deg]	90	90	90
Area armatura a metro	A _{sw/s_w} [cm ² /m]	0.00	0.00	0.00

CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI

Concrete		
Resistenza cubica a compressione	RCK	55
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f _{ck} [Mpa]	45.00
Resistenza cilindrica media a compressione	f _{cm} [Mpa]	53.00
Resistenza media a trazione per flessione	f _{ctm} [Mpa]	3.80
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	f _{ctk} [Mpa]	2.66
Resistenza di progetto a compressione	f _{cd} [Mpa]	25.50
Resistenza di progetto delle bielle compresse	f _{cd'} [Mpa]	12.55
Acciaio		
Resistenza di progetto a snervamento	f _{y,d} [Mpa]	391.30

OUTPUT

VERIFICHE IN ESERCIZIO

Verifica Tensionale		σ _c [Mpa]	σ _s [Mpa]	σ limit
Calcestruzzo SLE Quasi Permanente		0.00	0.00	20.250
Calcestruzzo SLE Rara		0.00	0.00	27.000
Acciaio SLE Rara		0.00	0.00	360.000
Verifica di fessurazione		w _d [mm]		w limit
Combinazione SLE Quasi permanente		0.000	0.000	0.200
Combinazione SLE Frequente		0.000	0.000	0.200

VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO

Sollecitazioni di progetto		V _{Sd} [kN]	N _{Sd} [kN]
Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)		0.0	0.0
Sforzo Normale concomitante al massimo taglio			0.0

Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica		V _{Rd1} [kN]	182.74
Resistenza di progetto senza armatura specifica			
Coefficiente di sicurezza		V _{Rd1} /V _{Sd}	-

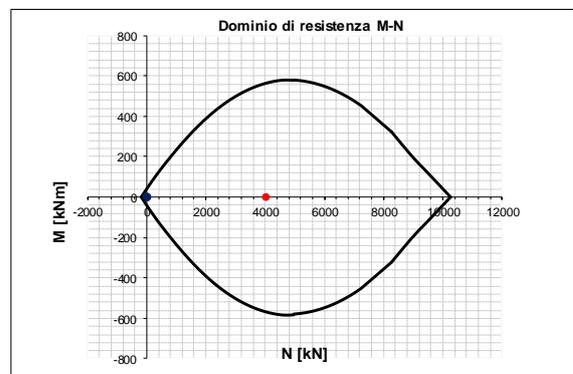
Verifica di resistenza dell'armatura specifica		cot(θ)	2.5
CoTan(θ) di progetto			
Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls		V _{Rd2} (θ) [kN]	-
Resistenza a taglio dell'armatura		V _{Rd3} (θ) [kN]	-
Resistenza a taglio di progetto		V _{Rd} [kN]	-
Coefficiente di sicurezza		V _{Rd} /V _{Sd}	-

VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE

Sollecitazioni di progetto		SLU	SLV
Momento sollecitante	M _{Sd} [kNm]	0.0	0.0
Sforzo Normale concomitante	N _{Sd} [kN]	-4024.0	0.0

Verifica di resistenza in termini di momento		SLU	SLV
Momento resistente	M _{Rd} [kNm]	565.8	40.6
Coefficiente di sicurezza	M _{Rd} /M _{Sd}	-	-

Verifica di resistenza in termini di sforzo normale		SLU	SLV
Sforzo normale resistente	N _{Rd} [kN]	-	-
Coefficiente di sicurezza	N _{Rd} /N _{Sd}	-	-



APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 131 di 280

8.7.6.2. Verifica della resistenza alle trazioni indotte in direzione radiale

Di seguito si riporta la **verifica SLU** delle barre di armatura in direzione radiale.

Nella verifica vengono considerate staffe $\Phi 10/80$ cm con due bracci.

Dimensionamento del concio nella fase di spinta della TBM

SWSTM Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL SEGMENTO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Bursting in direzione radiale

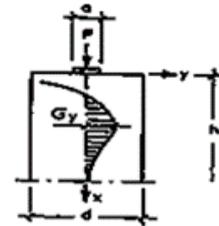
Spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	65.0
Spinta SLU della TBM	T_{SLU} [MN]	85
Numero delle scarpe tot.	N_H [-]	21
Lunghezza delle scarpe	L_1 [m]	0.88
Larghezza zona di pressione	a [m]	0.257
Larghezza zona di pressione proietta:	d [m]	0.450
Coeff. di combinazione SLU	γ_{ULS} [-]	1.30
Resistenza a trazione di calcolo	f_{yd} [MPa]	391
Diametro delle barre	\emptyset [mm]	10
Numero dei bracci	n [-]	2
Passo delle barre	s [mm]	80

F_{sd} = Spinta di progetto della TBM

$$P = F_{sd, ULS}$$

$$Z = 0.3 P * [1 - a / d]$$

$$A_{s, min} = Z / f_{yd}$$



$$A_s = n * [L_1 / s] A_{\emptyset}$$

$$x_1 = k_1 * d$$

$$x_2 = k_2 * d$$

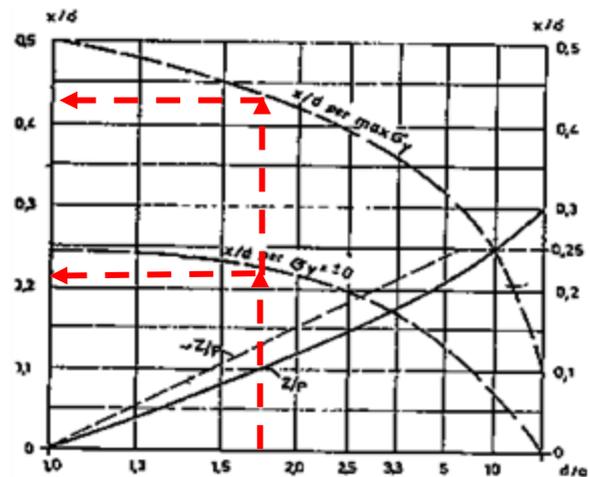
Induced tensile stress		
Sforzo di trazione	Z [kN]	518
armatura richiesta	$A_{s, min}$ [cm ²]	13.2
armatura adottata	A_s [cm ²]	17.28
Coeff. di sicurezza	FS_{cd} [-]	1.3

Profondità in corrispondenza della tensione nulla

$$x_1 / d = 0.22 \quad x_1 = 9.9 \text{ [cm]}$$

Profondità in corrispondenza della tensione max

$$x_2 / d = 0.43 \quad x_2 = 19.4 \text{ [cm]}$$



I valori di a e d sono i medesimi dei valori h_0 e h_1 del paragrafo precedente.

La verifica risulta soddisfatta per le staffe in direzione radiale.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	132 di 280

Di seguito si riporta la **verifica tensionale SLE** delle barre di armatura in direzione radiale.

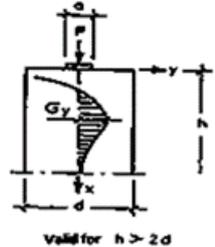
Nella verifica vengono considerate staffe $\Phi 10/80\text{cm}$ con due bracci.

In questo caso le armature che resistono alla trazione sono n.20 staffe totali.

Dimensionamento del concio nella fase di spinta della TBM

SWSTM Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL SEGMENTO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Bursting in direzione radiale

Spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	65.0	$F_{sd} = \text{Spinta di progetto della TBM}$
Spinta SLU della TBM	T_{SLE} [MN]	65.0	
Numero delle scarpe tot.	N_H [-]	21	$P = F_{sd, UL5}$ $Z = 0.3 P * [1 - a / d]$ $A_{s, min} = Z / f_{yd}$
Lunghezza delle scarpe	L_1 [m]	0.88	
Larghezza zona di pressione	a [m]	0.257	
Larghezza zona di pressione proietta	d [m]	0.450	
Coeff. di combinazione SLE	γ_{SLE} [-]	1.00	$A_s = n * [L_1 / s] A_{\phi}$ $x_1 = k_1 * d$ $x_2 = k_2 * d$
Resistenza a trazione di calcolo	f_{yd} [MPa]	391	
Diametro delle barre	ϕ [mm]	10	
Numero dei bracci	n [-]	2	
Passo delle barre	s [mm]	80	

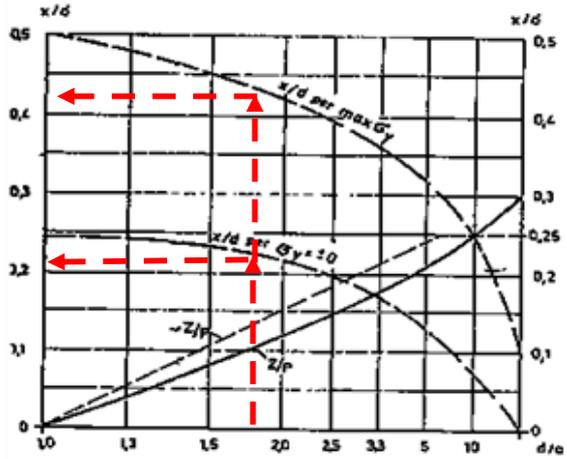
Tensioni indotte nell'acciaio		
Sforzo di trazione	Z [kN]	398
armatura adottata	A_s [cm ²]	17.28
Trazione su ogni singola barra	Z_i [kN]	18.1
Tensione su ogni singola barra	σ_i [MPa]	230.5
Tensione massima ammissibile SLE	$0.75 f_{yk}$ [MPa]	337.5
Coeff. di sicurezza	$F_{S_{cd}}$ [-]	1.5

Profondità in corrispondenza della tensione nulla

$x_1 / d = 0.22 \quad x_1 = 9.9 \text{ [cm]}$

Profondità in corrispondenza della tensione max

$x_2 / d = 0.43 \quad x_2 = 19.4 \text{ [cm]}$



I valori di a e d sono i medesimi dei valori h_0 e h_1 del paragrafo precedente.

La verifica SLE risulta soddisfatta per le staffe in direzione radiale.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 133 di 280	

8.7.6.3. Verifica delle trazioni indotte in direzione circonferenziale

Nel seguente paragrafo si riportano le verifiche allo stato limite ultimo (SLU) e di esercizio (SLE) per le trazioni in direzione circonferenziale indotte dalle spinte in condizioni ordinarie.

Al fine di stimare l'effetto di spalling tra le scarpe di spinta l'analisi si svolge mediante modello FEM 2D.

Verifiche in direzione circonferenziale SLE

Nel seguente paragrafo si riportano le verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE), come prescritto nelle NTC08 al §4.1.2.2.5, si confrontano le tensioni massime, considerando la spinta ordinaria, con i valori di tensione massimi consentiti.

L'azione della spinta dei martinetti in direzione circonferenziale viene svolta mediante un'analisi numerica 2D lineare applicando una spinta macchina totale pari a 65MN, di cui si riporta l'output delle tensioni di seguito.

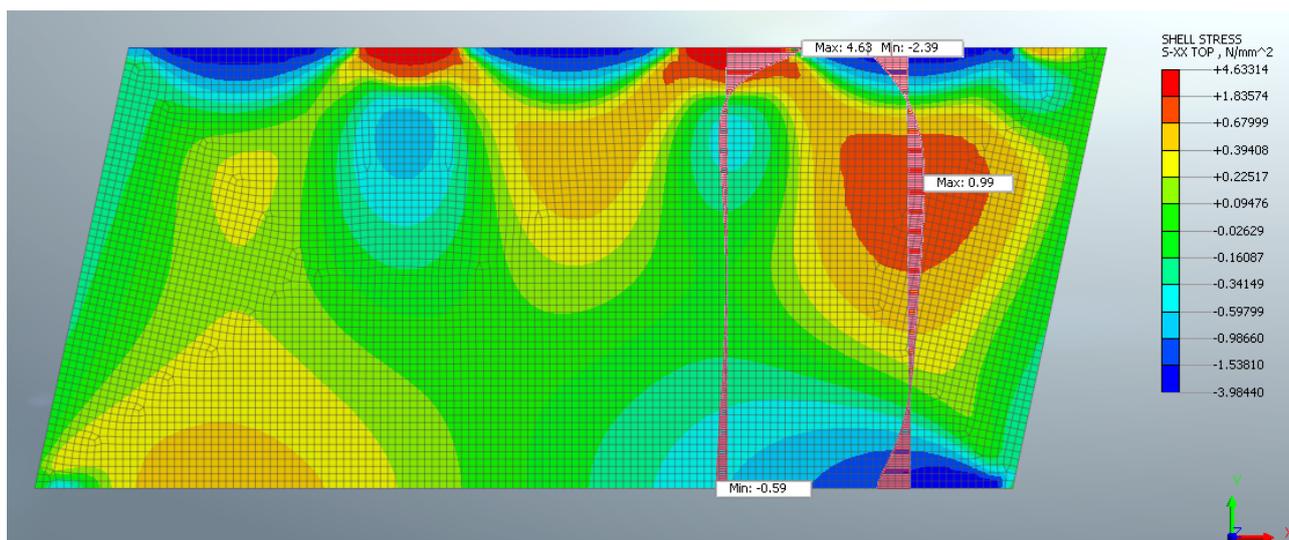


Figura 8-88: Modello Midas FEA NX verifiche SLE spinta Ordinaria

Si riportano di seguito i due diagrammi, rispettivamente per effetto spalling ed effetto bursting, in un grafico più facilmente comprensibile affiancando ad esso la sezione longitudinale del cono con le barre di armatura collaboranti nel tratto interessato dagli sforzi di trazione.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 134 di 280

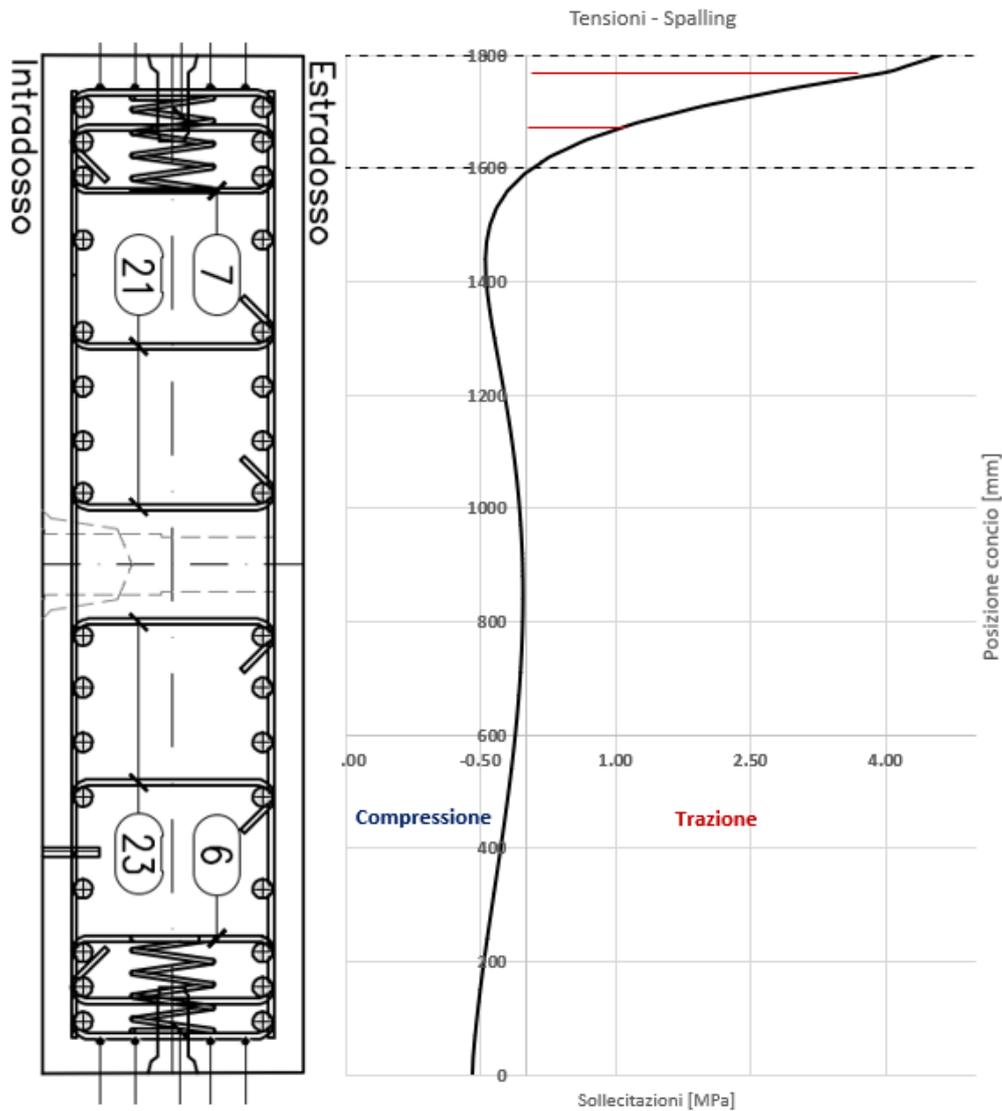


Figura 8-89: Andamento delle sollecitazioni effetto spalling tra le scarpe di spinta

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 135 di 280

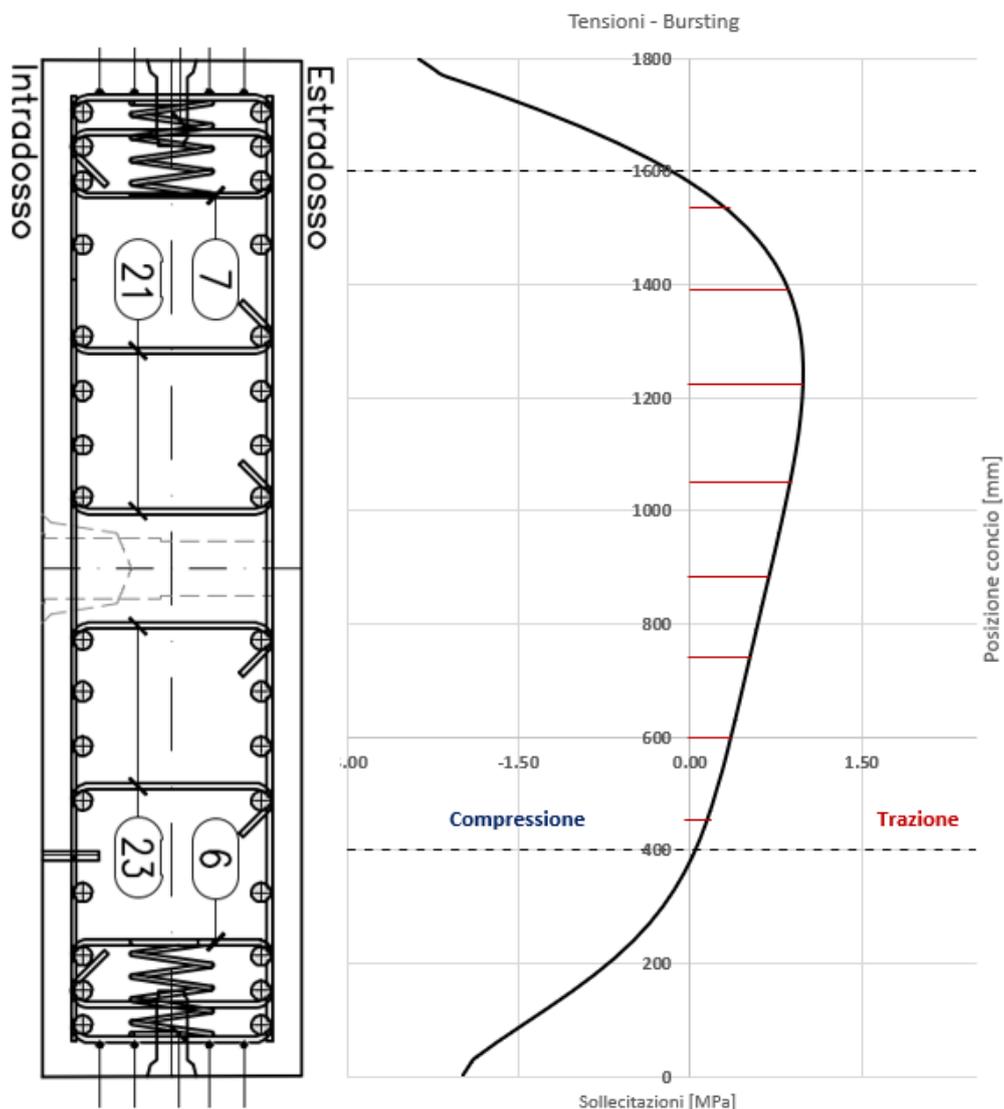


Figura 8-90: Andamento delle sollecitazioni effetto bursting sotto le scarpe di spinta

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva contenente le verifiche SLE (NTC08 §4.1.2.2.5.1).

Sezione di analisi	$\sigma_{s, \text{limite}}$ [MPa]	T_{ed} (integrazione) [kN]	Barre collaboranti	A_s [mm ²]	σ_s agente [MPa]	Verifica
Spalling	$\sigma_{s, \text{limite}} = 0.75 \cdot f_{yk} = 337.5$	182	4 $\phi 10$ + 4 $\phi 20$	1572	$\sigma_s = T_{ed}/A_s = 116$	$\sigma_s < \sigma_{s, \text{limite}}$ Verifica soddisfatta
Bursting	$\sigma_{s, \text{limite}} = 0.75 \cdot f_{yk} = 337.5$	335	12 $\phi 20$	3768	$\sigma_s = T_{ed}/A_s = 89$	$\sigma_s < \sigma_{s, \text{limite}}$ Verifica soddisfatta

Tabella 8-16: Verifiche SLE a trazione armature

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 136 di 280

Si riporta di seguito la **verifica a fessurazione**, secondo quanto prescritto dall'EC2 §7.3.4, per l'effetto spalling tra le piastre di spinta.

Come spiegato nelle ipotesi di base si riporta il diagramma delle sollecitazioni di spalling tra le scarpe per le quali si integrano le trazioni per ottenere il tiro agente sulla sezione.

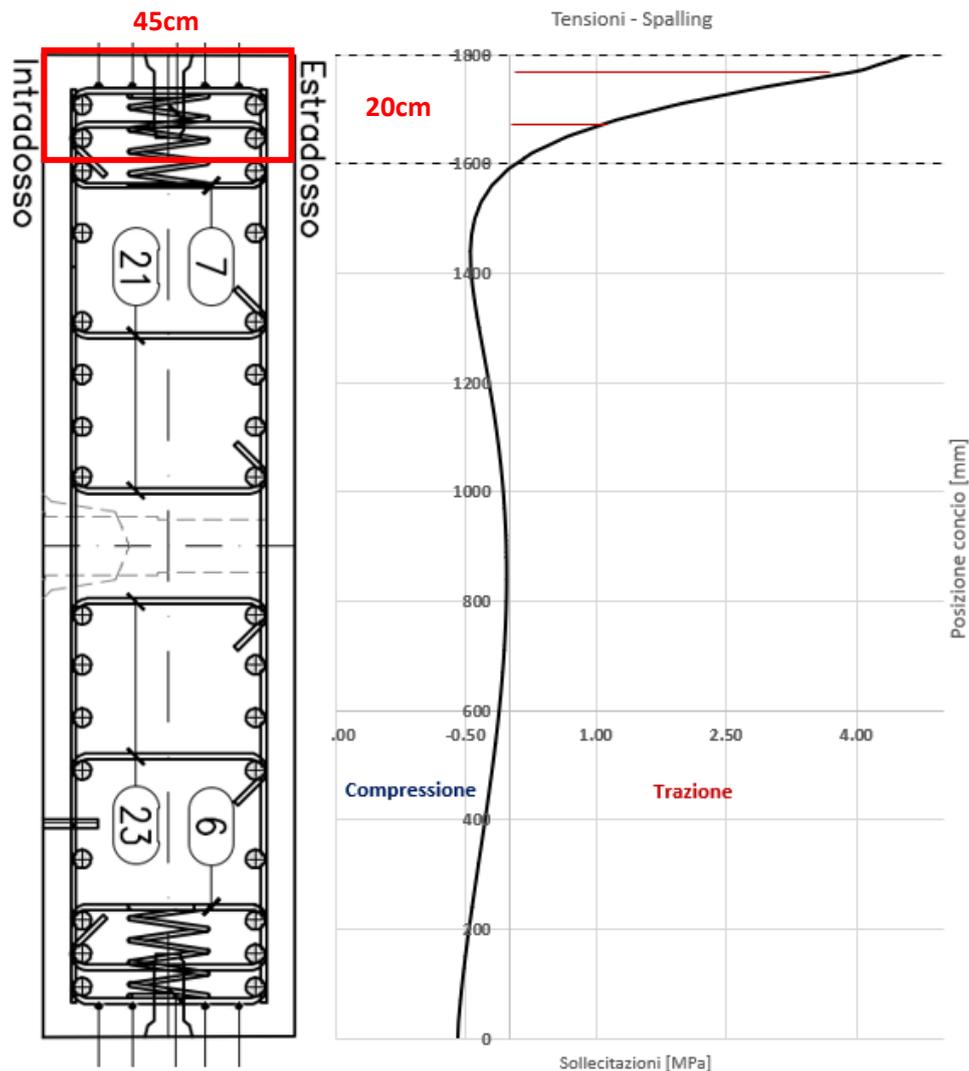


Figura 8-91: Andamento delle tensioni circonferenziali tra le scarpe.

La sezione considerata per il calcolo della fessurazione ha un'altezza di 20cm (altezza delle trazioni) e una base di 45cm (spessore concio).

Le armature coinvolte nella zona di trazione sono le seguenti: 4Φ10+4Φ20.

Integrando le tensioni si ottiene un tiro di:

$$F_{Spalling} = t \cdot \sum \Delta z \cdot \sigma_{xx} = 159 \text{ kN}$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	137 di 280

t: spessore del concio;

Δz : discretizzazione lungo la posizione del concio;

σ_{xx} : tensione agente.

Il baricentro di spinta del tiro rispetto al lembo superiore del concio viene calcolato come segue.

$$z_{tiro} = \frac{t \cdot \sum z_i \cdot \sigma_{i,xx}}{F_{spalling}} = 0.064 \text{ m}$$

L'azione di tiro si trova a 6.4 cm dal bordo esterno del concio.

L'eccentricità rispetto al baricentro della sezione considerata di altezza 20 cm risulta essere.

$$e = \frac{h}{2} - z_{tiro} = \frac{0.20}{2} - 0.064 = 0.036 \text{ m}$$

Il momento agente sulla sezione è calcolato come di seguito.

$$M_{ed} = F_{spalling} \cdot e = 159 \cdot 0.036 = 5.72 \text{ kNm}$$

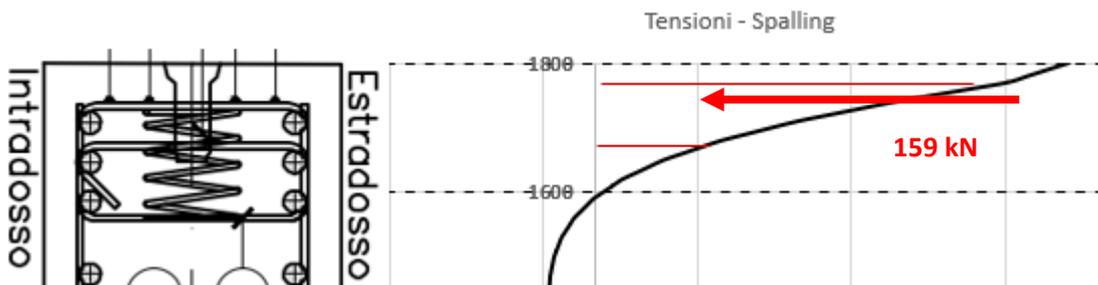


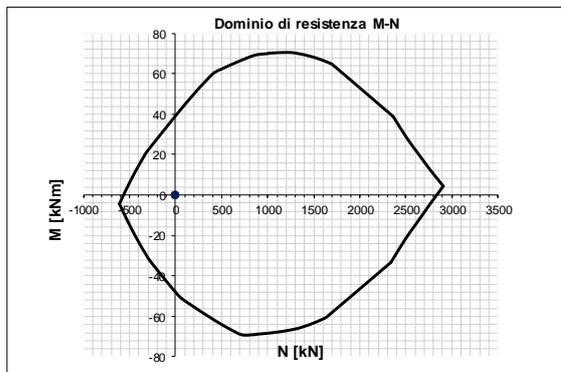
Figura 8-92: Posizione del tiro di spalling.

Di seguito si riporta la verifica a fessurazione.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA - PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA				LOTTO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU				1BEZZ
08 - GALLERIE		CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		RH		GN000003	C	138 di 280
		PROGETTO ESECUTIVO				

Fessurazione per spalling tra le scarpe

INPUT	OUTPUT																																		
SOLLECITAZIONI DI VERIFICA	VERIFICHE IN ESERCIZIO																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Combinazione</th> <th>N_{Sd} [kN]</th> <th>M_{Sd} [kNm]</th> <th>V_{Sd} [kN]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SLE Quasi Permanente</td> <td>159.0</td> <td>5.7</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>SLE Frequente</td> <td>159.0</td> <td>5.7</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>SLE Rara</td> <td>159.0</td> <td>5.7</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>SLU</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>SLV</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> </tbody> </table>	Combinazione	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	V _{Sd} [kN]	SLE Quasi Permanente	159.0	5.7	-	SLE Frequente	159.0	5.7	-	SLE Rara	159.0	5.7	-	SLU	0.0	0.0	0.0	SLV	0.0	0.0	0.0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Verifica Tensionale</th> <th>σ limit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Calcestruzzo SLE Quasi Permanente</td> <td>σ_c [Mpa] = 4.60 20.250</td> </tr> <tr> <td>Calcestruzzo SLE Rara</td> <td>σ_c [Mpa] = 4.60 27.000</td> </tr> <tr> <td>Acciaio SLE Rara</td> <td>σ_s [Mpa] = 230.79 360.000</td> </tr> </tbody> </table>	Verifica Tensionale	σ limit	Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	σ _c [Mpa] = 4.60 20.250	Calcestruzzo SLE Rara	σ _c [Mpa] = 4.60 27.000	Acciaio SLE Rara	σ _s [Mpa] = 230.79 360.000		
Combinazione	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	V _{Sd} [kN]																																
SLE Quasi Permanente	159.0	5.7	-																																
SLE Frequente	159.0	5.7	-																																
SLE Rara	159.0	5.7	-																																
SLU	0.0	0.0	0.0																																
SLV	0.0	0.0	0.0																																
Verifica Tensionale	σ limit																																		
Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	σ _c [Mpa] = 4.60 20.250																																		
Calcestruzzo SLE Rara	σ _c [Mpa] = 4.60 27.000																																		
Acciaio SLE Rara	σ _s [Mpa] = 230.79 360.000																																		
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Verifica di fessurazione</th> <th>w limit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Combinazione SLE Quasi permanente</td> <td>w_d [mm] = 0.199 0.200</td> </tr> <tr> <td>Combinazione SLE Frequente</td> <td>w_d [mm] = 0.173 0.200</td> </tr> </tbody> </table>	Verifica di fessurazione	w limit	Combinazione SLE Quasi permanente	w _d [mm] = 0.199 0.200	Combinazione SLE Frequente	w _d [mm] = 0.173 0.200																												
Verifica di fessurazione	w limit																																		
Combinazione SLE Quasi permanente	w _d [mm] = 0.199 0.200																																		
Combinazione SLE Frequente	w _d [mm] = 0.173 0.200																																		
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.	VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Geometria della sezione</th> <th>B [cm]</th> <th>H [cm]</th> <th>d [cm]</th> <th>A_c [cm²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Base (ortogonale al Taglio)</td> <td>45</td> <td>20</td> <td>12</td> <td>900</td> </tr> <tr> <td>Altezza (parallela al Taglio)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Altezza utile della sezione</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Area di calcestruzzo</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Geometria della sezione	B [cm]	H [cm]	d [cm]	A _c [cm ²]	Base (ortogonale al Taglio)	45	20	12	900	Altezza (parallela al Taglio)					Altezza utile della sezione					Area di calcestruzzo					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Sollecitazioni di progetto</th> <th>V_{Sd} [kN]</th> <th>N_{Sd} [kN]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Sforzo Normale concomitante al massimo taglio</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Sollecitazioni di progetto	V _{Sd} [kN]	N _{Sd} [kN]	Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)	0.0	0.0	Sforzo Normale concomitante al massimo taglio		
Geometria della sezione	B [cm]	H [cm]	d [cm]	A _c [cm ²]																															
Base (ortogonale al Taglio)	45	20	12	900																															
Altezza (parallela al Taglio)																																			
Altezza utile della sezione																																			
Area di calcestruzzo																																			
Sollecitazioni di progetto	V _{Sd} [kN]	N _{Sd} [kN]																																	
Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)	0.0	0.0																																	
Sforzo Normale concomitante al massimo taglio																																			
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica</th> <th>V_{Rd1} [kN]</th> <th>V_{Rd1}/V_{Sd}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Resistenza di progetto senza armatura specifica</td> <td>56.01</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente di sicurezza</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica	V _{Rd1} [kN]	V _{Rd1} /V _{Sd}	Resistenza di progetto senza armatura specifica	56.01	-	Coefficiente di sicurezza																											
Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica	V _{Rd1} [kN]	V _{Rd1} /V _{Sd}																																	
Resistenza di progetto senza armatura specifica	56.01	-																																	
Coefficiente di sicurezza																																			
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Verifica di resistenza dell'armatura specifica</th> <th>cotang(θ)</th> <th>V_{Rd2}(θ) [kN]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CoTan(θ) di progetto</td> <td>2.5</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resistenza a taglio dell'armatura</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resistenza a taglio di progetto</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Coefficiente di sicurezza</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Verifica di resistenza dell'armatura specifica	cotang(θ)	V _{Rd2} (θ) [kN]	CoTan(θ) di progetto	2.5	-	Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls			Resistenza a taglio dell'armatura			Resistenza a taglio di progetto			Coefficiente di sicurezza																		
Verifica di resistenza dell'armatura specifica	cotang(θ)	V _{Rd2} (θ) [kN]																																	
CoTan(θ) di progetto	2.5	-																																	
Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls																																			
Resistenza a taglio dell'armatura																																			
Resistenza a taglio di progetto																																			
Coefficiente di sicurezza																																			
	VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE																																		
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Sollecitazioni di progetto</th> <th>SLU</th> <th>SLV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Momento sollecitante</td> <td>M_{Sd} [kNm] 0.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Sforzo Normale concomitante</td> <td>N_{Sd} [kN] 0.0</td> <td>0.0</td> </tr> </tbody> </table>	Sollecitazioni di progetto	SLU	SLV	Momento sollecitante	M _{Sd} [kNm] 0.0	0.0	Sforzo Normale concomitante	N _{Sd} [kN] 0.0	0.0																									
Sollecitazioni di progetto	SLU	SLV																																	
Momento sollecitante	M _{Sd} [kNm] 0.0	0.0																																	
Sforzo Normale concomitante	N _{Sd} [kN] 0.0	0.0																																	
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Verifica di resistenza in termini di momento</th> <th>SLU</th> <th>SLV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Momento resistente</td> <td>M_{Rd} [kNm] 39.5</td> <td>39.5</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente di sicurezza</td> <td>M_{Rd}/M_{Sd} -</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	Verifica di resistenza in termini di momento	SLU	SLV	Momento resistente	M _{Rd} [kNm] 39.5	39.5	Coefficiente di sicurezza	M _{Rd} /M _{Sd} -	-																									
Verifica di resistenza in termini di momento	SLU	SLV																																	
Momento resistente	M _{Rd} [kNm] 39.5	39.5																																	
Coefficiente di sicurezza	M _{Rd} /M _{Sd} -	-																																	
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Verifica di resistenza in termini di sforzo normale</th> <th>SLU</th> <th>SLV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sforzo normale resistente</td> <td>N_{Rd} [kN] -</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente di sicurezza</td> <td>N_{Rd}/N_{Sd} -</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	Verifica di resistenza in termini di sforzo normale	SLU	SLV	Sforzo normale resistente	N _{Rd} [kN] -	-	Coefficiente di sicurezza	N _{Rd} /N _{Sd} -	-																									
Verifica di resistenza in termini di sforzo normale	SLU	SLV																																	
Sforzo normale resistente	N _{Rd} [kN] -	-																																	
Coefficiente di sicurezza	N _{Rd} /N _{Sd} -	-																																	
CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Concrete</th> <th>RCK</th> <th>55</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Resistenza cubica a compressione</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resistenza cilindrica caratteristica a compressione</td> <td>f_{ck} [Mpa]</td> <td>45.00</td> </tr> <tr> <td>Resistenza cilindrica media a compressione</td> <td>f_{cm} [Mpa]</td> <td>53.00</td> </tr> <tr> <td>Resistenza media a trazione per flessione</td> <td>f_{ctm} [Mpa]</td> <td>3.80</td> </tr> <tr> <td>Resistenza caratteristica a trazione per flessione</td> <td>f_{ctk} [Mpa]</td> <td>2.66</td> </tr> <tr> <td>Resistenza di progetto a compressione</td> <td>f_{cd} [Mpa]</td> <td>25.50</td> </tr> <tr> <td>Resistenza di progetto delle bielle compresse</td> <td>f_{cd} [Mpa]</td> <td>12.55</td> </tr> </tbody> </table>	Concrete	RCK	55	Resistenza cubica a compressione			Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f _{ck} [Mpa]	45.00	Resistenza cilindrica media a compressione	f _{cm} [Mpa]	53.00	Resistenza media a trazione per flessione	f _{ctm} [Mpa]	3.80	Resistenza caratteristica a trazione per flessione	f _{ctk} [Mpa]	2.66	Resistenza di progetto a compressione	f _{cd} [Mpa]	25.50	Resistenza di progetto delle bielle compresse	f _{cd} [Mpa]	12.55											
Concrete	RCK	55																																	
Resistenza cubica a compressione																																			
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f _{ck} [Mpa]	45.00																																	
Resistenza cilindrica media a compressione	f _{cm} [Mpa]	53.00																																	
Resistenza media a trazione per flessione	f _{ctm} [Mpa]	3.80																																	
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	f _{ctk} [Mpa]	2.66																																	
Resistenza di progetto a compressione	f _{cd} [Mpa]	25.50																																	
Resistenza di progetto delle bielle compresse	f _{cd} [Mpa]	12.55																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Acciaio</th> <th>f_{yd} [Mpa]</th> <th>391.30</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Resistenza di progetto a snervamento</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Acciaio	f _{yd} [Mpa]	391.30	Resistenza di progetto a snervamento																															
Acciaio	f _{yd} [Mpa]	391.30																																	
Resistenza di progetto a snervamento																																			



APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE	Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C 139 di 280

Si riporta di seguito la **verifica a fessurazione**, secondo quanto prescritto dall'EC2 §7.3.4, per l'effetto bursting al di sotto delle piastre di spinta.

Come spiegato nelle ipotesi di base si riporta il diagramma delle sollecitazioni di bursting sotto le scarpe per le quali si integrano le trazioni per ottenere il tiro agente sulla sezione.

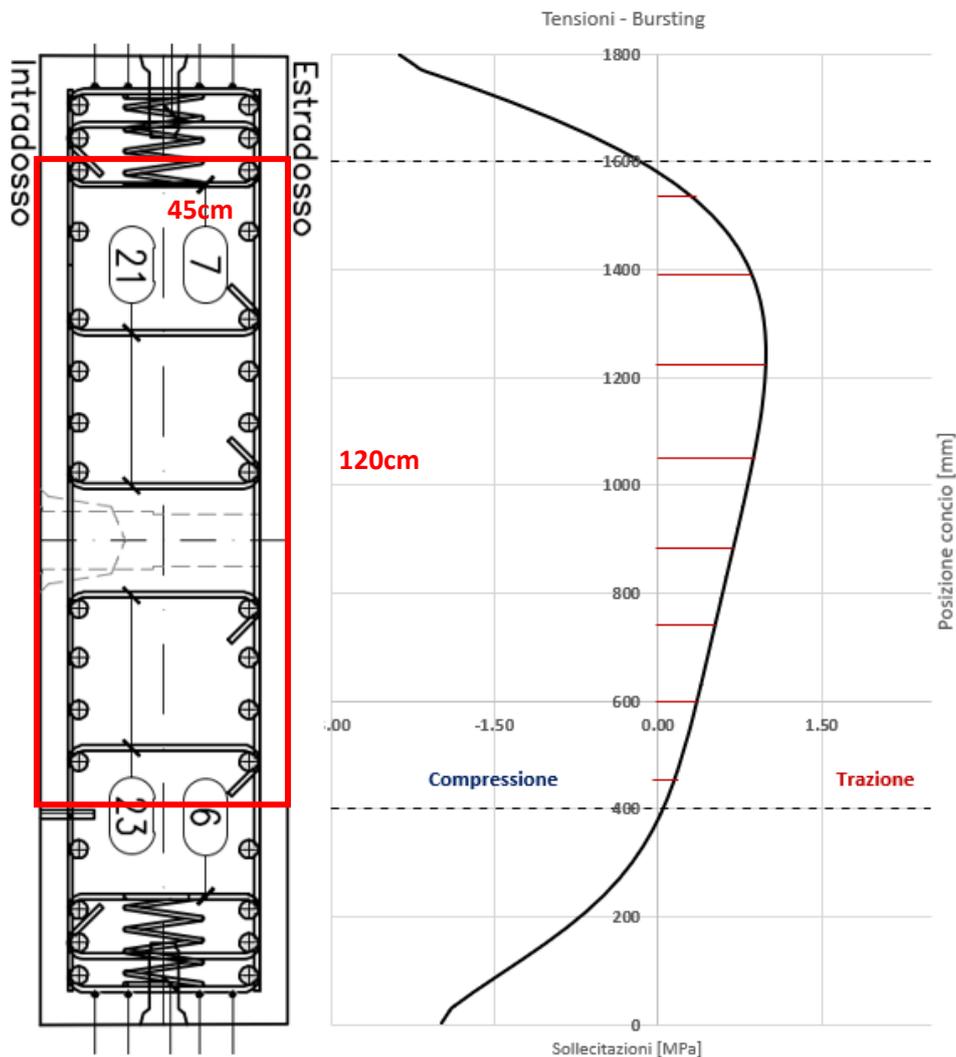


Figura 8-93: Andamento delle tensioni circonferenziali sotto le scarpe.

La sezione considerata per il calcolo della fessurazione ha un'altezza di 120cm (altezza delle trazioni) e una base di 45cm (spessore cono).

Le armature coinvolte nella zona di trazione sono le seguenti: 6Φ20+6Φ20.

Integrando le tensioni si ottiene un tiro di:

$$F_{Bursting} = t \cdot \sum \Delta z \cdot \sigma_{xx} = 335 \text{ kN}$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	140 di 280

t: spessore del concio;

Δz : discretizzazione lungo la posizione del concio;

σ_{xx} : tensione agente.

Il baricentro di spinta del tiro rispetto al lembo superiore del concio viene calcolato come segue.

$$z_{tiro} = \frac{t \cdot \sum z_i \cdot \sigma_{i,xx}}{F_{Bursting}} = 0.73 \text{ m}$$

L'azione di tiro si trova a 73 cm dal bordo esterno del concio.

L'eccentricità rispetto al baricentro della sezione considerata di altezza 120 cm risulta essere.

$$e = z - \frac{h}{2} - z_{tiro} = 1.4 - \frac{1.2}{2} - 0.73 = 0.07 \text{ m}$$

Il momento agente sulla sezione è calcolato come di seguito.

$$M_{ed} = F_{Bursting} \cdot e = 335 \cdot 0.07 = 23.4 \text{ kNm}$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 141 di 280

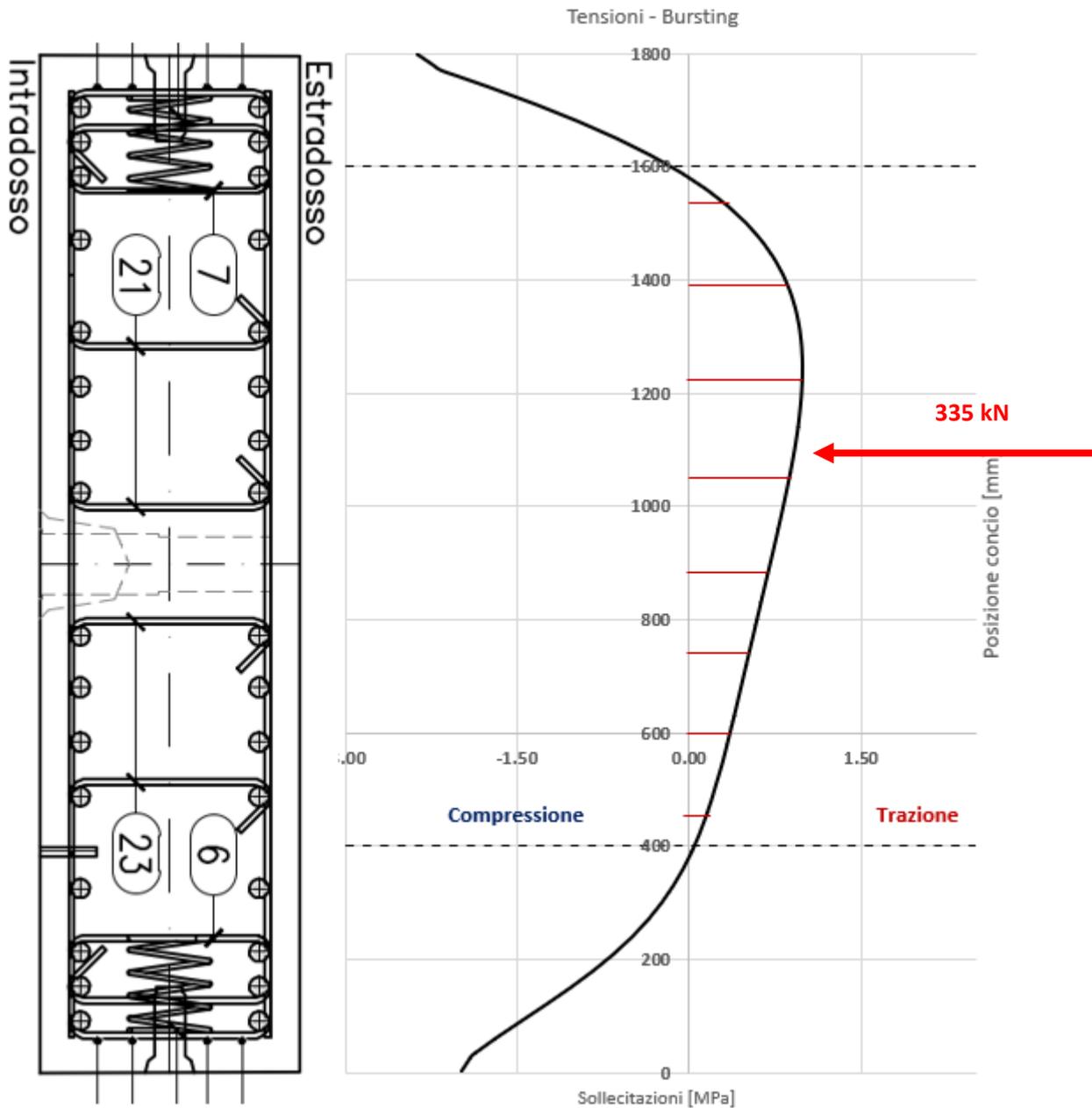


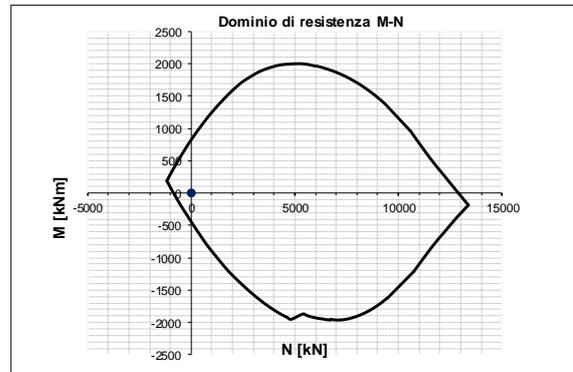
Figura 8-94: Posizione del tiro di bursting.

Di seguito si riporta la verifica a fessurazione.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA - PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN000003	REV. C	FOGLIO. 142 di 280

Fessurazione per bursting circonferenziale sotto le scarpe

INPUT	OUTPUT																																
SOLLECITAZIONI DI VERIFICA	VERIFICHE IN ESERCIZIO																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Combinazione</th> <th>N_{Sd} [kN]</th> <th>M_{Sd} [kNm]</th> <th>V_{Sd} [kN]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SLE Quasi Permanente</td> <td>335.0</td> <td>23.4</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>SLE Frequente</td> <td>335.0</td> <td>23.4</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>SLE Rara</td> <td>335.0</td> <td>23.4</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>SLU</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>SLV</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> </tbody> </table>	Combinazione	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	V _{Sd} [kN]	SLE Quasi Permanente	335.0	23.4	-	SLE Frequente	335.0	23.4	-	SLE Rara	335.0	23.4	-	SLU	0.0	0.0	0.0	SLV	0.0	0.0	0.0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Verifica Tensionale</th> <th>σ limit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Calcestruzzo SLE Quasi Permanente</td> <td>σ_c [Mpa] = 0.32 20.250</td> </tr> <tr> <td>Calcestruzzo SLE Rara</td> <td>σ_c [Mpa] = 0.32 27.000</td> </tr> <tr> <td>Acciaio SLE Rara</td> <td>σ_s [Mpa] = 161.96 360.000</td> </tr> </tbody> </table>	Verifica Tensionale	σ limit	Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	σ _c [Mpa] = 0.32 20.250	Calcestruzzo SLE Rara	σ _c [Mpa] = 0.32 27.000	Acciaio SLE Rara	σ _s [Mpa] = 161.96 360.000
Combinazione	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	V _{Sd} [kN]																														
SLE Quasi Permanente	335.0	23.4	-																														
SLE Frequente	335.0	23.4	-																														
SLE Rara	335.0	23.4	-																														
SLU	0.0	0.0	0.0																														
SLV	0.0	0.0	0.0																														
Verifica Tensionale	σ limit																																
Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	σ _c [Mpa] = 0.32 20.250																																
Calcestruzzo SLE Rara	σ _c [Mpa] = 0.32 27.000																																
Acciaio SLE Rara	σ _s [Mpa] = 161.96 360.000																																
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Verifica di fessurazione</th> <th>w limit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Combinazione SLE Quasi permanente</td> <td>w_d [mm] = 0.000 0.200</td> </tr> <tr> <td>Combinazione SLE Frequente</td> <td>w_d [mm] = 0.000 0.200</td> </tr> </tbody> </table>	Verifica di fessurazione	w limit	Combinazione SLE Quasi permanente	w _d [mm] = 0.000 0.200	Combinazione SLE Frequente	w _d [mm] = 0.000 0.200																										
Verifica di fessurazione	w limit																																
Combinazione SLE Quasi permanente	w _d [mm] = 0.000 0.200																																
Combinazione SLE Frequente	w _d [mm] = 0.000 0.200																																
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.	VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Geometria della sezione</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Base (ortogonale al Taglio)</td> <td>B [cm]</td> <td colspan="2">40</td> </tr> <tr> <td>Altezza (parallela al Taglio)</td> <td>H [cm]</td> <td colspan="2">120</td> </tr> <tr> <td>Altezza utile della sezione</td> <td>d [cm]</td> <td colspan="2">91</td> </tr> <tr> <td>Area di calcestruzzo</td> <td>A_c [cm²]</td> <td colspan="2">4800</td> </tr> </tbody> </table>	Geometria della sezione				Base (ortogonale al Taglio)	B [cm]	40		Altezza (parallela al Taglio)	H [cm]	120		Altezza utile della sezione	d [cm]	91		Area di calcestruzzo	A _c [cm ²]	4800		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Sollecitazioni di progetto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)</td> <td>V_{Sd} [kN]</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Sforzo Normale concomitante al massimo taglio</td> <td>N_{Sd} [kN]</td> <td>0.0</td> </tr> </tbody> </table>	Sollecitazioni di progetto			Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)	V _{Sd} [kN]	0.0	Sforzo Normale concomitante al massimo taglio	N _{Sd} [kN]	0.0			
Geometria della sezione																																	
Base (ortogonale al Taglio)	B [cm]	40																															
Altezza (parallela al Taglio)	H [cm]	120																															
Altezza utile della sezione	d [cm]	91																															
Area di calcestruzzo	A _c [cm ²]	4800																															
Sollecitazioni di progetto																																	
Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)	V _{Sd} [kN]	0.0																															
Sforzo Normale concomitante al massimo taglio	N _{Sd} [kN]	0.0																															
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Resistenza di progetto senza armatura specifica</td> <td>V_{Rd1} [kN]</td> <td>183.59</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente di sicurezza</td> <td>V_{Rd1}/V_{Sd}</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica			Resistenza di progetto senza armatura specifica	V _{Rd1} [kN]	183.59	Coefficiente di sicurezza	V _{Rd1} /V _{Sd}	-																							
Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica																																	
Resistenza di progetto senza armatura specifica	V _{Rd1} [kN]	183.59																															
Coefficiente di sicurezza	V _{Rd1} /V _{Sd}	-																															
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Verifica di resistenza dell'armatura specifica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CoTan(θ) di progetto</td> <td>cotan(θ)</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls</td> <td>V_{Rd2}(θ) [kN]</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Resistenza a taglio dell'armatura</td> <td>V_{Rd3}(θ) [kN]</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Resistenza a taglio di progetto</td> <td>V_{Rd} [kN]</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente di sicurezza</td> <td>V_{Rd}/V_{Sd}</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	Verifica di resistenza dell'armatura specifica			CoTan(θ) di progetto	cotan(θ)	2.5	Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls	V _{Rd2} (θ) [kN]	-	Resistenza a taglio dell'armatura	V _{Rd3} (θ) [kN]	-	Resistenza a taglio di progetto	V _{Rd} [kN]	-	Coefficiente di sicurezza	V _{Rd} /V _{Sd}	-														
Verifica di resistenza dell'armatura specifica																																	
CoTan(θ) di progetto	cotan(θ)	2.5																															
Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls	V _{Rd2} (θ) [kN]	-																															
Resistenza a taglio dell'armatura	V _{Rd3} (θ) [kN]	-																															
Resistenza a taglio di progetto	V _{Rd} [kN]	-																															
Coefficiente di sicurezza	V _{Rd} /V _{Sd}	-																															
	VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE																																
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Sollecitazioni di progetto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Momento sollecitante</td> <td>M_{Sd} [kNm]</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>Sforzo Normale concomitante</td> <td>N_{Sd} [kN]</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> </tr> </tbody> </table>	Sollecitazioni di progetto				Momento sollecitante	M _{Sd} [kNm]	0.0	0.0	Sforzo Normale concomitante	N _{Sd} [kN]	0.0	0.0																				
Sollecitazioni di progetto																																	
Momento sollecitante	M _{Sd} [kNm]	0.0	0.0																														
Sforzo Normale concomitante	N _{Sd} [kN]	0.0	0.0																														
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Verifica di resistenza in termini di momento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Momento resistente</td> <td>M_{Rd} [kNm]</td> <td>813.2</td> <td>813.2</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente di sicurezza</td> <td>M_{Rd}/M_{Sd}</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	Verifica di resistenza in termini di momento				Momento resistente	M _{Rd} [kNm]	813.2	813.2	Coefficiente di sicurezza	M _{Rd} /M _{Sd}	-	-																				
Verifica di resistenza in termini di momento																																	
Momento resistente	M _{Rd} [kNm]	813.2	813.2																														
Coefficiente di sicurezza	M _{Rd} /M _{Sd}	-	-																														
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Verifica di resistenza in termini di sforzo normale</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sforzo normale resistente</td> <td>N_{Rd} [kN]</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente di sicurezza</td> <td>N_{Rd}/N_{Sd}</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	Verifica di resistenza in termini di sforzo normale				Sforzo normale resistente	N _{Rd} [kN]	-	-	Coefficiente di sicurezza	N _{Rd} /N _{Sd}	-	-																				
Verifica di resistenza in termini di sforzo normale																																	
Sforzo normale resistente	N _{Rd} [kN]	-	-																														
Coefficiente di sicurezza	N _{Rd} /N _{Sd}	-	-																														
CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Concrete</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Resistenza cubica a compressione</td> <td>RCK</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>Resistenza cilindrica caratteristica a compressione</td> <td>f_{ck} [Mpa]</td> <td>45.00</td> </tr> <tr> <td>Resistenza cilindrica media a compressione</td> <td>f_{cm} [Mpa]</td> <td>53.00</td> </tr> <tr> <td>Resistenza media a trazione per flessione</td> <td>f_{ctm} [Mpa]</td> <td>3.80</td> </tr> <tr> <td>Resistenza caratteristica a trazione per flessione</td> <td>f_{ctk} [Mpa]</td> <td>2.66</td> </tr> <tr> <td>Resistenza di progetto a compressione</td> <td>f_{cd} [Mpa]</td> <td>25.50</td> </tr> <tr> <td>Resistenza di progetto delle bielle compresse</td> <td>f_{ctf} [Mpa]</td> <td>12.55</td> </tr> </tbody> </table>	Concrete			Resistenza cubica a compressione	RCK	55	Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f _{ck} [Mpa]	45.00	Resistenza cilindrica media a compressione	f _{cm} [Mpa]	53.00	Resistenza media a trazione per flessione	f _{ctm} [Mpa]	3.80	Resistenza caratteristica a trazione per flessione	f _{ctk} [Mpa]	2.66	Resistenza di progetto a compressione	f _{cd} [Mpa]	25.50	Resistenza di progetto delle bielle compresse	f _{ctf} [Mpa]	12.55									
Concrete																																	
Resistenza cubica a compressione	RCK	55																															
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f _{ck} [Mpa]	45.00																															
Resistenza cilindrica media a compressione	f _{cm} [Mpa]	53.00																															
Resistenza media a trazione per flessione	f _{ctm} [Mpa]	3.80																															
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	f _{ctk} [Mpa]	2.66																															
Resistenza di progetto a compressione	f _{cd} [Mpa]	25.50																															
Resistenza di progetto delle bielle compresse	f _{ctf} [Mpa]	12.55																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Acciaio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Resistenza di progetto a snervamento</td> <td>f_{yd} [Mpa]</td> <td>391.30</td> </tr> </tbody> </table>	Acciaio			Resistenza di progetto a snervamento	f _{yd} [Mpa]	391.30																											
Acciaio																																	
Resistenza di progetto a snervamento	f _{yd} [Mpa]	391.30																															



APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 143 di 280	

Verifiche in direzione circonferenziale SLU

Al fine di considerare l'azione di stato limite ultimo si applica una spinta macchina totale pari a $65 \times 1.3 = 84.5 \text{ MN}$, di cui si riporta l'output delle tensioni di seguito.

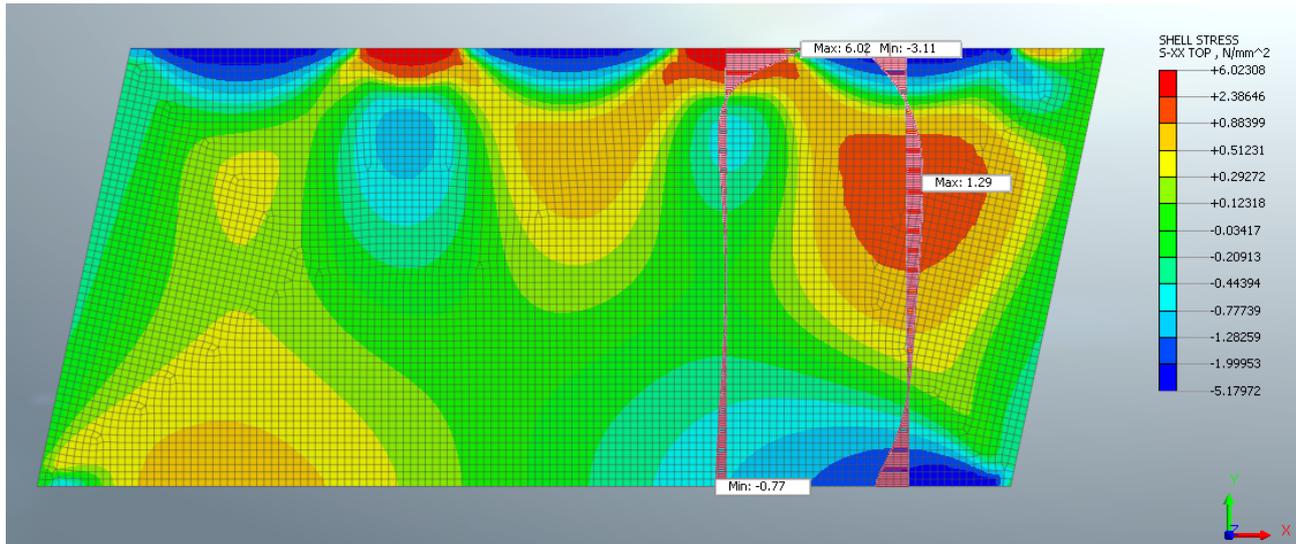


Figura 8-95: Modello Midas FEA NX verifiche SLU spinta Ordinaria

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMessa: IB0U LOTTO: 1BEZZ CODIFICA: RH DOCUMENTO: GN0000003 REV.: C FOGLIO: 144 di 280	

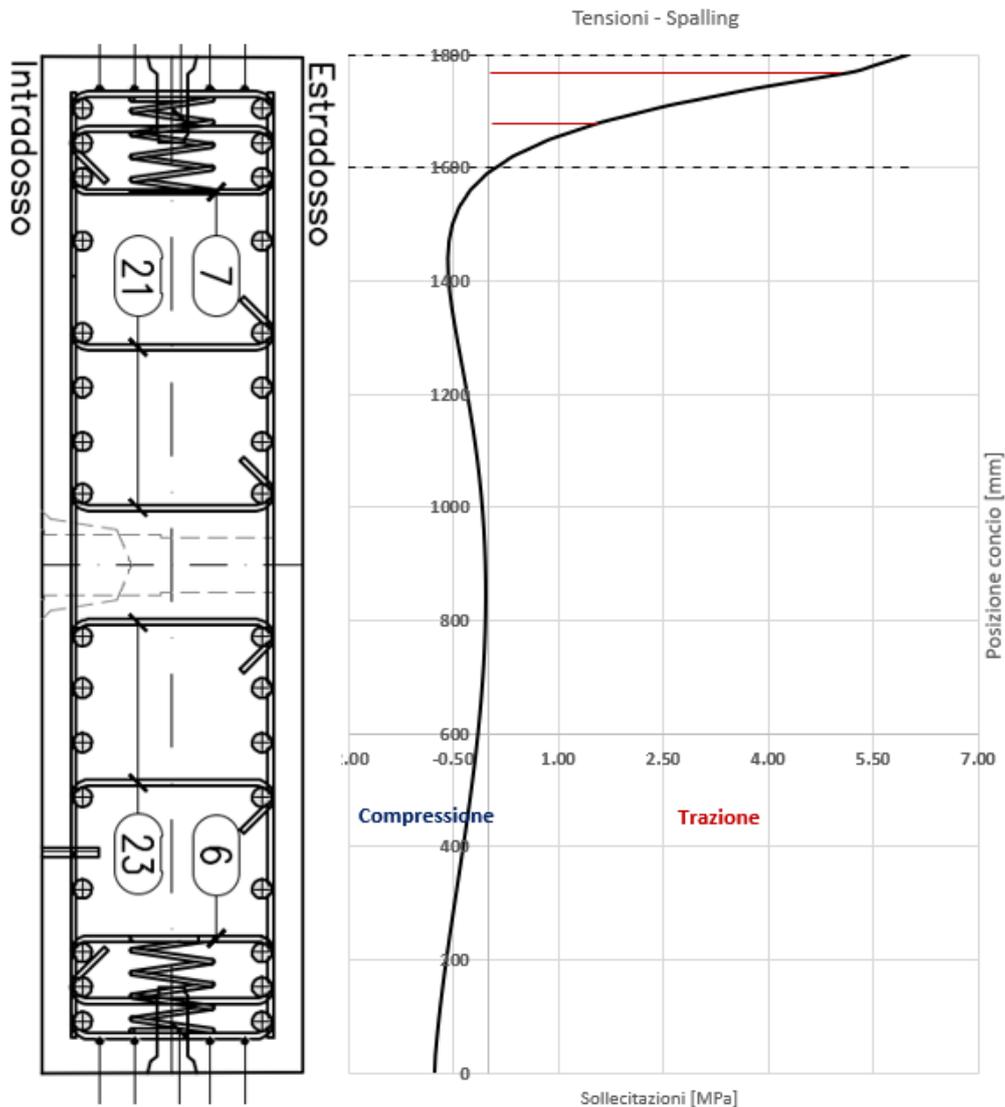


Figura 8-96: Andamento delle sollecitazioni effetto spalling tra le scarpe di spinta

Integrando la curva degli sforzi di trazione si ottiene un tiro sulle barre di armatura pari a $T_{ed}=236.23$ kN.

Come si evince dalla figura sopra riportata, le barre collaboranti nell'area interessata dall'effetto oggetto di analisi sono 4 ϕ 10 e 2 ϕ 20. Si ottiene una resistenza a trazione pari a:

$$T_{rd} = A_s \cdot f_{yd} = \left(\frac{20^2 \cdot \pi}{4} \cdot 2 + \frac{10^2 \cdot \pi}{4} \cdot 4 \right) \cdot 391.3 = 369 \text{ kN}$$

Con un fattore di sicurezza pari a $FS=T_{rd}/T_{ed}=1.56$ la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 145 di 280

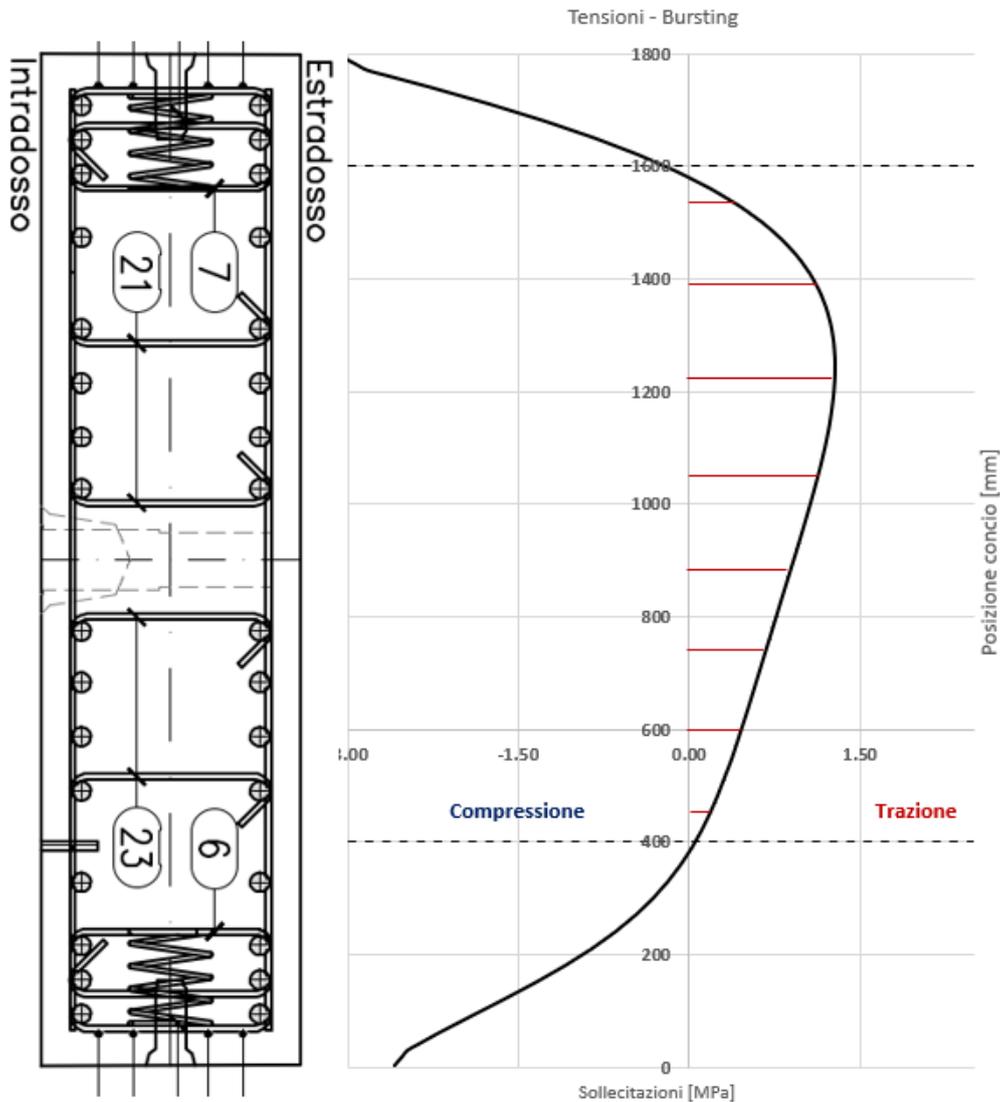


Figura 8-97: Andamento delle sollecitazioni effetto bursting sotto le scarpe di spinta

Integrando la curva degli sforzi di trazione si ottiene un tiro sulle barre di armatura pari a $T_{ed}=436\text{kN}$.

Come si evince dalla figura sopra riportata, le barre collaboranti nell'area interessata dall'effetto oggetto di analisi sono 5+5 $\phi 20$. Si ottiene una resistenza a trazione pari a:

$$T_{rd} = A_s \cdot f_{yd} = \left(\frac{20^2 \cdot \pi}{4} \cdot 10 \right) \cdot 391.3 = 1227 \text{ kN}$$

Con un fattore di sicurezza pari a $FS=T_{rd}/T_{ed}=2.81$ la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE	Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	146 di 280

8.7.6.4. Verifica spinta eccentrica

Si riporta in dettaglio la **verifica SLU** delle pressioni di contatto tenendo in considerazione l'eccentricità aggiuntiva di $\epsilon=3$ cm dei martinetti rispetto all'asse del concio.

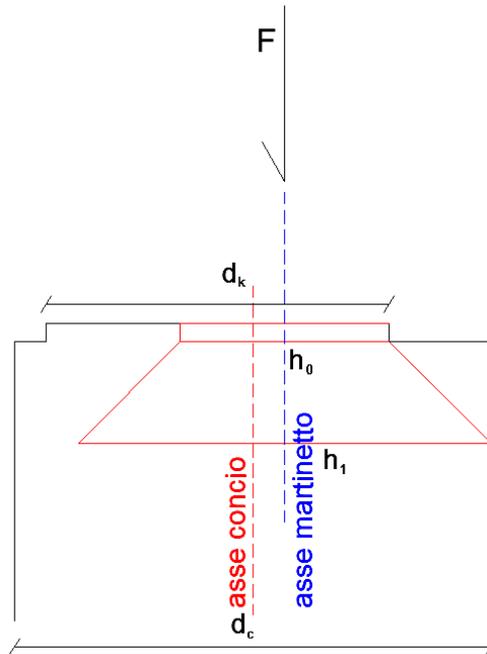


Figura 8-98: configurazione delle distribuzioni di pressione

Si calcola ora la larghezza di contatto h_0 :

$$h_0 = d_k - 2 (e_{martinetto} + e_{giunto}) = 0.324 - 2 \cdot (0.03 + 0.0332) = 0.197m$$

d_k : larghezza del giunto circonferenziale.

$e_{martinetto}$: eccentricità del martinetto rispetto all'asse del concio.

e_{giunto} : eccentricità del giunto rispetto all'asse del concio.

La rispettiva larghezza omotetica h_1 risulta essere pari a:

$$h_1 = 2 (d_c/2 - e_{martinetto}) = 2 \cdot \left(\frac{0.45}{2} - 0.03 \right) = 0.39m$$

d_c : rappresenta lo spessore del concio

$e_{martinetto}$: eccentricità del martinetto rispetto all'asse del concio.

La lunghezza di contatto della zona caricata a_0 risulta essere pari proprio alla lunghezza della scarpa.

$$a_0 = L_{scarpa} = 0.88m$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 147 di 280

La lunghezza della zona omotetica a_1 è calcolata come segue.

$$a_1 = (h_1 - h_0) + L_{scarpa} = (0.39 - 0.197) + 0.88 = 1.07 \text{ m}$$

La spinta di progetto al di sotto di ogni scarpa è calcolata come segue.

$$F_{sd} = (T_{TBM} \cdot 1.3) / 21 = (65 \cdot 1.3) / 21 = 4.024 \text{ MN} = 4024 \text{ kN}$$

Dimensionamento del concio nelle fasi di spinta della TBM

SWSTM Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL CONCIO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Compressione

spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	65	
Numero delle scarpe	N_H [-]	21	
Eccentricità dei martinetti	ϵ_v [m]	0.03	
Coefficiente di incremento del carico	γ_{SLU} [-]	1.30	

Resistenza del segmento " $F_{sd} \leq F_{Rd} \leq F_{max}$ "

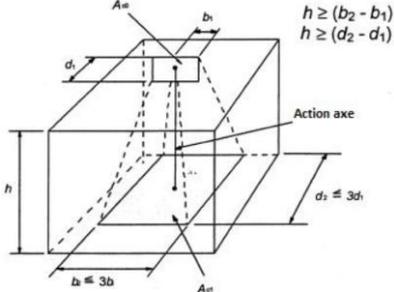
Largezza di pressione	h_0 [m]	0.197	Larghezza della superficie proiettata	h_1 [m]	0.39
Lunghezza di pressione	a_0 [m]	0.88	Lunghezza della superficie proiettata	a_1 [m]	1.07
Resistenza del cls	"SLU"	f_{cd} [MPa]	25.5		

$$F_{sd} = \Sigma F \cdot \gamma_F$$

$$F_{Rd} = A_{c0} \cdot F_{cd} \cdot \sqrt{A_{c1} / A_{c0}}$$

$$F_{max} = 3 A_{c0} \cdot f_{cd}$$

Sforzo agente	"SLU"	$F_{Sd,E}$ [kN]	4024
Resistenza	"SLU"	F_{Rd} [kN]	6868
	"SLU"	F_{max} [kN]	13262



La verifica SLU risulta soddisfatta.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 148 di 280

Si riporta di seguito anche la **verifica SLU** della sezione presso inflessa al di sotto della scarpa soggetta alle seguenti sollecitazioni di compressione e momento flettente.

$$N = -4024 \text{ kN}$$

$$M = N \times e = -4024 \times 0.03 = 120.72 \text{ kNm}$$

La sezione di calcolo ha una larghezza pari a quella delle scarpe e un'altezza pari allo spessore del conccio. Le armature resistenti longitudinali al di sotto della scarpa si considerano a favore di sicurezza 3+3 Φ 10.

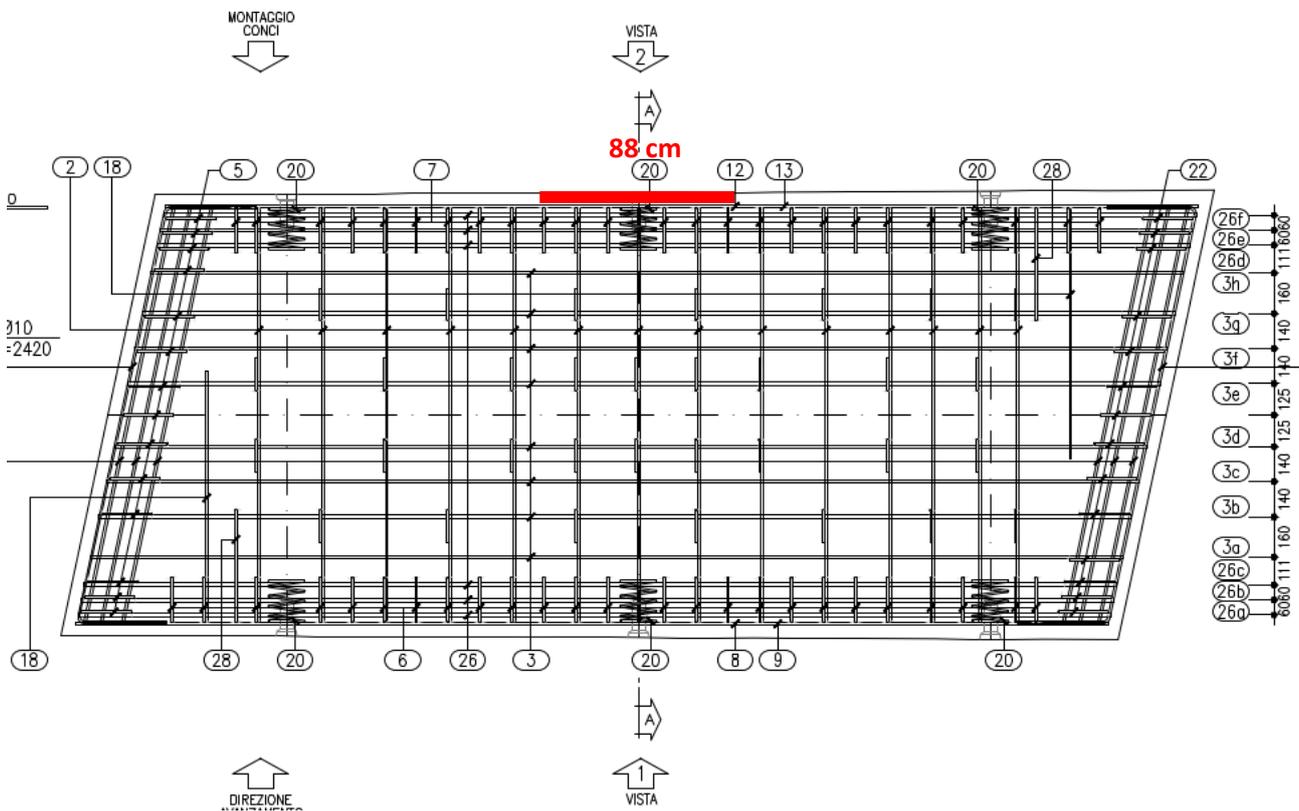


Figura 8-99: Layout di armatura al di sotto della scarpa

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA - PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA				LOTTO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU				1BEZZ
08 - GALLERIE		CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		RH	GN0000003	C	149 di 280	

Sezione al di sotto della scarpa - Armatura longitudinale

INPUT

SOLLECITAZIONI DI VERIFICA

Combinazione	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	V _{Sd} [kN]
SLE Quasi Permanente	0.0	0.0	-
SLE Frequente	0.0	0.0	-
SLE Rara	0.0	0.0	-
SLU	-4024.0	120.7	0.0
SLV	0.0	0.0	0.0

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.

Geometria della sezione			
Base (ortogonale al Taglio)	B [cm]	88	
Altezza (parallela al Taglio)	H [cm]	45	
Altezza utile della sezione	d [cm]	40	
Area di calcestruzzo	A _c [cm ²]	3960	

Armatura longitudinale tesa		1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
Numero Barre	n	3	0	0
Diametro	φ [mm]	10	0	0
Posizione dal lembo esterno	c [cm]	5.5	0.0	0.0
Area strato	As [cm ²]	2.36	0.00	0.00
Rapporto di armatura	ρ [%]	0.068%		

Armatura longitudinale compressa		1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
Numero Barre	n	3	0	0
Diametro	φ [mm]	10	0	0
Posizione dal lembo esterno	c' [cm]	5.5	0.0	0.0
Area strato	As' [cm ²]	2.36	0.00	0.00
Rapporto di armatura	ρ' [%]	0.068%		

Armatura trasversale		1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO
Diametro	φ [mm]	0	0	0
Numero bracci	n _{bt}	0	0	0
Passo	s _w [cm]	0	0	0
Inclinazione	α [deg]	90	90	90
Area armatura a metro	A _{sw} /s _w [cm ² /m]	0.00	0.00	0.00

CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI

Concrete		
Resistenza cubica a compressione	RCK	55
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f _{ck} [Mpa]	45.00
Resistenza cilindrica media a compressione	f _{cm} [Mpa]	53.00
Resistenza media a trazione per flessione	f _{ctm} [Mpa]	3.80
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	f _{ctk} [Mpa]	2.66
Resistenza di progetto a compressione	f _{cd} [Mpa]	25.50
Resistenza di progetto delle bielle compresse	f _{cd'} [Mpa]	12.55
Acciaio		
Resistenza di progetto a snervamento	f _{yd} [Mpa]	391.30

OUTPUT

VERIFICHE IN ESERCIZIO

Verifica Tensionale		σ _c [Mpa]	σ _s [Mpa]	σ limit
Calcestruzzo SLE Quasi Permanente		0.00	0.00	20.250
Calcestruzzo SLE Rara		0.00	0.00	27.000
Acciaio SLE Rara		0.00	0.00	360.000
Verifica di fessurazione		w _d [mm]	w _a [mm]	w limit
Combinazione SLE Quasi permanente		0.000	0.000	0.200
Combinazione SLE Frequente		0.000	0.000	0.200

VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO

Sollecitazioni di progetto		V _{Sd} [kN]	N _{Sd} [kN]
Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)		0.0	0.0
Sforzo Normale concomitante al massimo taglio			0.0

Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica		
Resistenza di progetto senza armatura specifica	V _{Rd1} [kN]	182.74
Coefficiente di sicurezza	V _{Rd1} /V _{Sd}	-

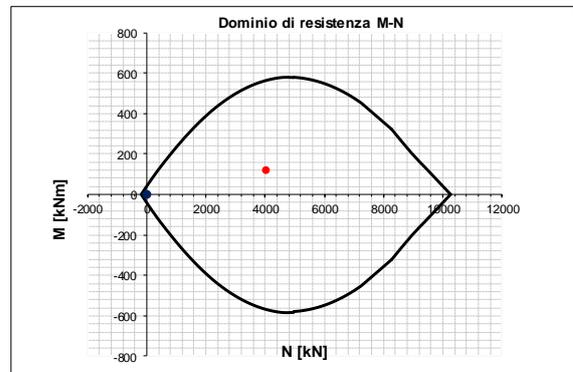
Verifica di resistenza dell'armatura specifica		
CoTan(θ) di progetto	cotan(θ)	2.5
Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls	V _{Rd2} (θ) [kN]	-
Resistenza a taglio dell'armatura	V _{Rd3} (θ) [kN]	-
Resistenza a taglio di progetto	V _{Rd} [kN]	-
Coefficiente di sicurezza	V _{Rd} /V _{Sd}	-

VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE

Sollecitazioni di progetto		SLU	SLV
Momento sollecitante	M _{Sd} [kNm]	120.7	0.0
Sforzo Normale concomitante	N _{Sd} [kN]	-4024.0	0.0

Verifica di resistenza in termini di momento		
Momento resistente	M _{Rd} [kNm]	565.8
Coefficiente di sicurezza	M _{Rd} /M _{Sd}	4.69

Verifica di resistenza in termini di sforzo normale		
Sforzo normale resistente	N _{Rd} [kN]	-
Coefficiente di sicurezza	N _{Rd} /N _{Sd}	-



APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 150 di 280

Per quanto riguarda la **verifica tensionale SLE** si confronteranno la tensione agente con quella limite in condizione di esercizio.

La spinta di progetto al di sotto di ogni scarpa è calcolata come segue.

$$F_{sd} = (T_{TBM} \cdot 1)/21 = (65 \cdot 1)/21 = 3.095 \text{ MN} = 3095 \text{ kN}$$

Dimensionamento del concio nelle fasi di spinta della TBM

SWSTM Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL CONCIO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Compressione

spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	65	
Numero delle scarpe	N_H [-]	21	
Eccentricità dei martinetti	ϵ_V [m]	0.03	
Coefficiente di incremento del carico	γ_{SLE} [-]	1.00	

Resistenza del segmento " $F_{sd} \leq F_{Rd} \leq F_{max}$ "

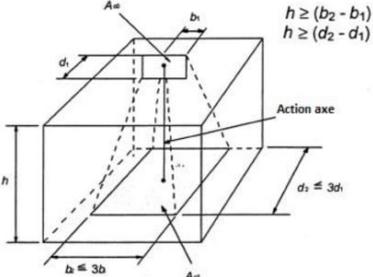
Largezza di pressione	h_0 [m]	0.197	Largezza della superficie proiettata	h_1 [m]	0.39
Lunghezza di pressione	a_0 [m]	0.88	Lunghezza della superficie proiettata	a_1 [m]	1.07
Resistenza del cls	"SLE"	f_{ck} [MPa]	45.0		

$$F_{sd} = \Sigma F \cdot \gamma_F$$

$$F_{Rd} = A_{c0} \cdot F_{cd} \cdot \sqrt{A_{c1} / A_{c0}}$$

$$F_{max} = 3 \cdot A_{c0} \cdot f_{cd}$$

Sforzo agente	"SLE"	$F_{Sd,E}$ [kN]	3095
Tensione agente	"SLE"	$\sigma_{cd} = F_{Sd,E} / A_{c1}$ [MPa]	7.40
Tensione max SLE	"SLE"	$\sigma_{max} = 0.45 f_{ck}$ [MPa]	20.3



La verifica tensionale SLE risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 151 di 280

Di seguito si riporta la **verifica SLU** delle barre di armatura in direzione radiale.

Nella verifica vengono considerate staffe $\Phi 10/80\text{cm}$ con due bracci.

Dimensionamento del concio nella fase di spinta della TBM


Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL SEGMENTO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Bursting in direzione radiale

Spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	65.0	F_{sd} = Spinta di progetto della TBM
Spinta SLU della TBM	T_{SLU} [MN]	84.5	
Numero delle scarpe tot.	N_H [-]	21	
Lunghezza delle scarpe	L_1 [m]	0.88	
Larghezza zona di pressione	a [m]	0.197	
Larghezza zona di pressione proietta	d [m]	0.390	
Coeff. di combinazione SLU	γ_{ULS} [-]	1.30	
Resistenza a trazione di calcolo	f_{yd} [MPa]	391	
Diametro delle barre	\emptyset [mm]	10	
Numero dei bracci	n [-]	2	
Passo delle barre	s [mm]	80	

Induced tensile stress

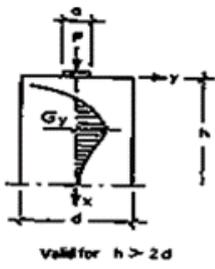
Sforzo di trazione	Z [kN]	597	
armatura richiesta	$A_{s, min}$ [cm ²]	15.3	
armatura adottata	A_s [cm ²]	17.28	
Coeff. di sicurezza	FS_{cd} [-]	1.13	

Profondità in corrispondenza della tensione nulla

$x_1 / d = 0.21 \quad x_1 = 8.2 \text{ [cm]}$

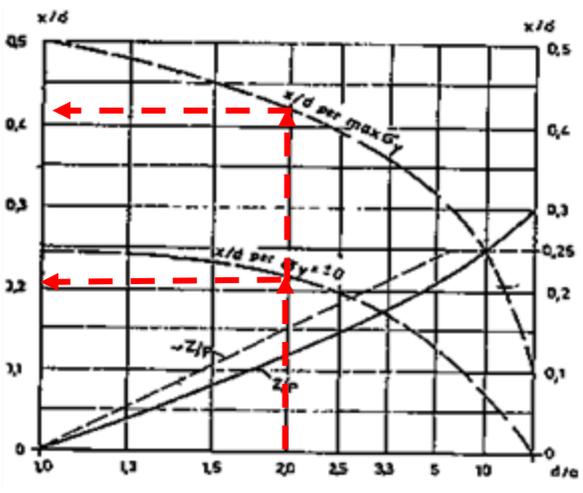
Profondità in corrispondenza della tansione max

$x_2 / d = 0.42 \quad x_2 = 16.4 \text{ [cm]}$



$P = F_{sd, ULS}$
 $Z = 0.3 P * [1 - a / d]$
 $A_{s, min} = Z / f_{yd}$

$A_s = n * [L_1 / s] A_{\emptyset}$
 $x_1 = k_1 * d$
 $x_2 = k_2 * d$



La verifica risulta soddisfatta per le staffe in direzione radiale.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 152 di 280

Di seguito si riporta la **verifica tensionale SLE** delle barre di armatura in direzione radiale.

Nella verifica vengono considerate staffe $\Phi 10/80\text{cm}$ con due bracci.

In questo caso le armature che resistono alla trazione sono n.20 staffe totali.

Dimensionamento del concio nella fase di spinta della TBM

SWSTM Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL SEGMENTO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Bursting in direzione radiale

Spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	65.0	F_{cd} = Spinta di progetto della TBM
Spinta SLU della TBM	T_{SLE} [MN]	65.0	
Numero delle scarpe tot.	N_H [-]	21	
Lunghezza delle scarpe	L_1 [m]	0.88	
Larghezza zona di pressione	a [m]	0.197	
Larghezza zona di pressione proiettata	d [m]	0.390	
Coeff. di combinazione SLE	γ_{SLE} [-]	1.00	
Resistenza a trazione di calcolo	f_{yd} [MPa]	391	
Diametro delle barre	\varnothing [mm]	10	
Numero dei bracci	n [-]	2	
Passo delle barre	s [mm]	80	

Induced tensile stress

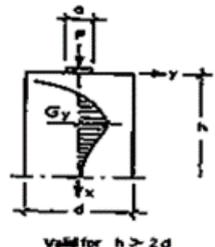
Sforzo di trazione	Z [kN]	460
armatura adottata	A_s [cm ²]	17.28
Trazione su ogni singola barra	Z_i [kN]	20.9
Tensione su ogni singola barra	σ_i [MPa]	265.9
Tensione massima ammissibile SLE	$0.75 f_{yk}$ [MPa]	337.5
Coeff. di sicurezza	$F_{S_{cd}}$ [-]	1.3

Profondità in corrispondenza della tensione nulla

$x_1 / d = 0.21 \quad x_1 = 8.2$ [cm]

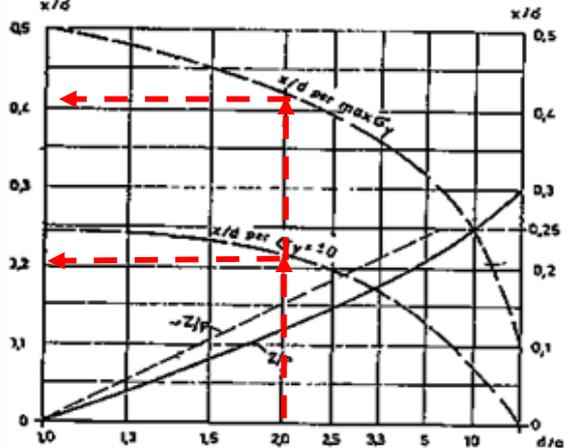
Profondità in corrispondenza della tensione max

$x_2 / d = 0.42 \quad x_2 = 16.4$ [cm]



$P = F_{sd, UL5}$
 $Z = 0.3 P * [1 - a / d]$
 $A_{s, min} = Z / f_{yd}$

$A_s = n * [L_1 / s] A_{\varnothing}$
 $x_1 = k_1 * d$
 $x_2 = k_2 * d$



La verifica SLE risulta soddisfatta per le staffe in direzione radiale.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 153 di 280

8.7.7 Concio tipo B – Analisi di rischio

8.7.7.1. Spinta di sbloccaggio

Di seguito si riportano le verifiche allo stato limite ultimo (SLU) per le trazioni in direzione circonferenziale e radiale indotte dalle spinte in condizioni di rischio considerando la spinta massima di sbloccaggio pari a 90MN con appoggio regolare.

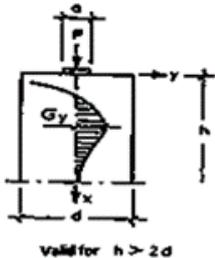
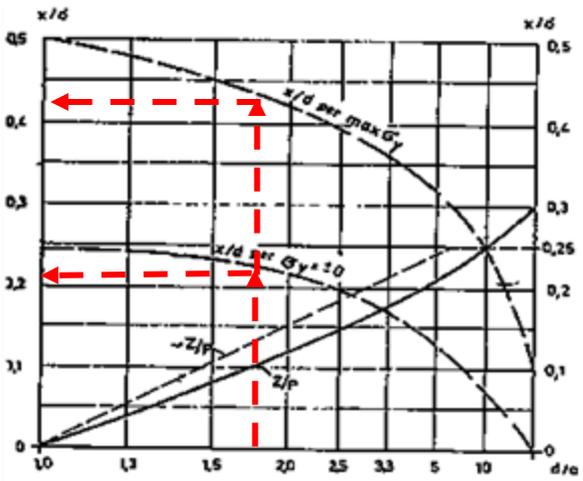
Verifiche in direzione radiale

Di seguito si riporta la verifica **SLU** delle barre di armatura in direzione radiale.

Nella verifica vengono considerate staffe $\Phi 10/80$ cm con due bracci.

Dimensionamento del concio nella fase di spinta della TBM


Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL SEGMENTO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Bursting in direzione radiale			
Spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	90.0	$F_{sd} = \text{Spinta di progetto della TBM}$ $P = F_{sd, ULS}$ $Z = 0.3 P * [1 - a / d]$ $A_{s, min} = Z / f_{yd}$
Spinta SLU della TBM	T_{SLU} [MN]	90.0	
Numero delle scarpe tot.	N_H [-]	21	
Lunghezza delle scarpe	L_1 [m]	0.88	
Larghezza zona di pressione	a [m]	0.257	
Larghezza zona di pressione proietta	d [m]	0.450	
Coeff. di combinazione SLU	γ_{ULS} [-]	1.00	
Resistenza a trazione di calcolo	f_{yd} [MPa]	450	
Diametro delle barre	\emptyset [mm]	10	
Numero dei bracci	n [-]	2	
Passo delle barre	s [mm]	80	
Induced tensile stress			
Sforzo di trazione	Z [kN]	551	
armatura richiesta	$A_{s, min}$ [cm ²]	12.3	
armatura adottata	A_s [cm ²]	17.28	
Coeff. di sicurezza	FS_{cd} [-]	1.4	
Profondità in corrispondenza della tensione nulla			
	$x_1 / d =$	0.22	$x_1 =$ 9.9 [cm]
Profondità in corrispondenza della tansione max			
	$x_2 / d =$	0.42	$x_2 =$ 18.9 [cm]

I valori di a e d sono i medesimi dei valori h_0 e h_1 del paragrafo precedente

La verifica risulta soddisfatta per le staffe in direzione radiale.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 154 di 280

Verifiche in direzione circonferenziale

Al fine di considerare l'azione di stato limite ultimo si applica una spinta macchina totale pari a 90MN, di cui si riporta l'output delle tensioni di seguito.

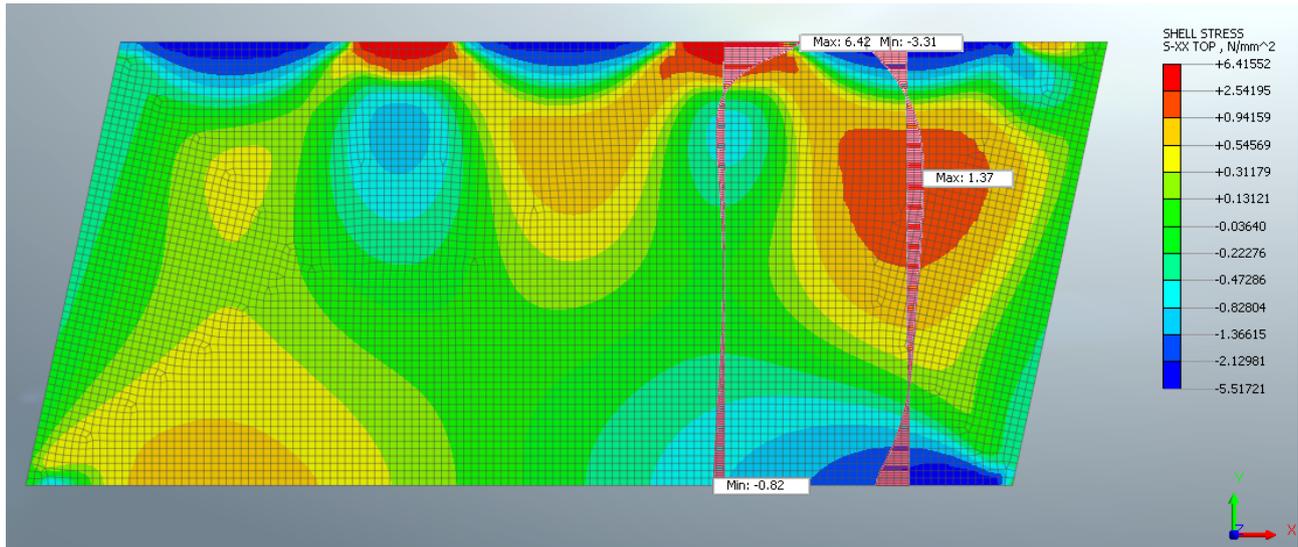


Figura 8-100: Modello Midas FEA NX verifiche SLU spinta di sbloccaggio

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 155 di 280

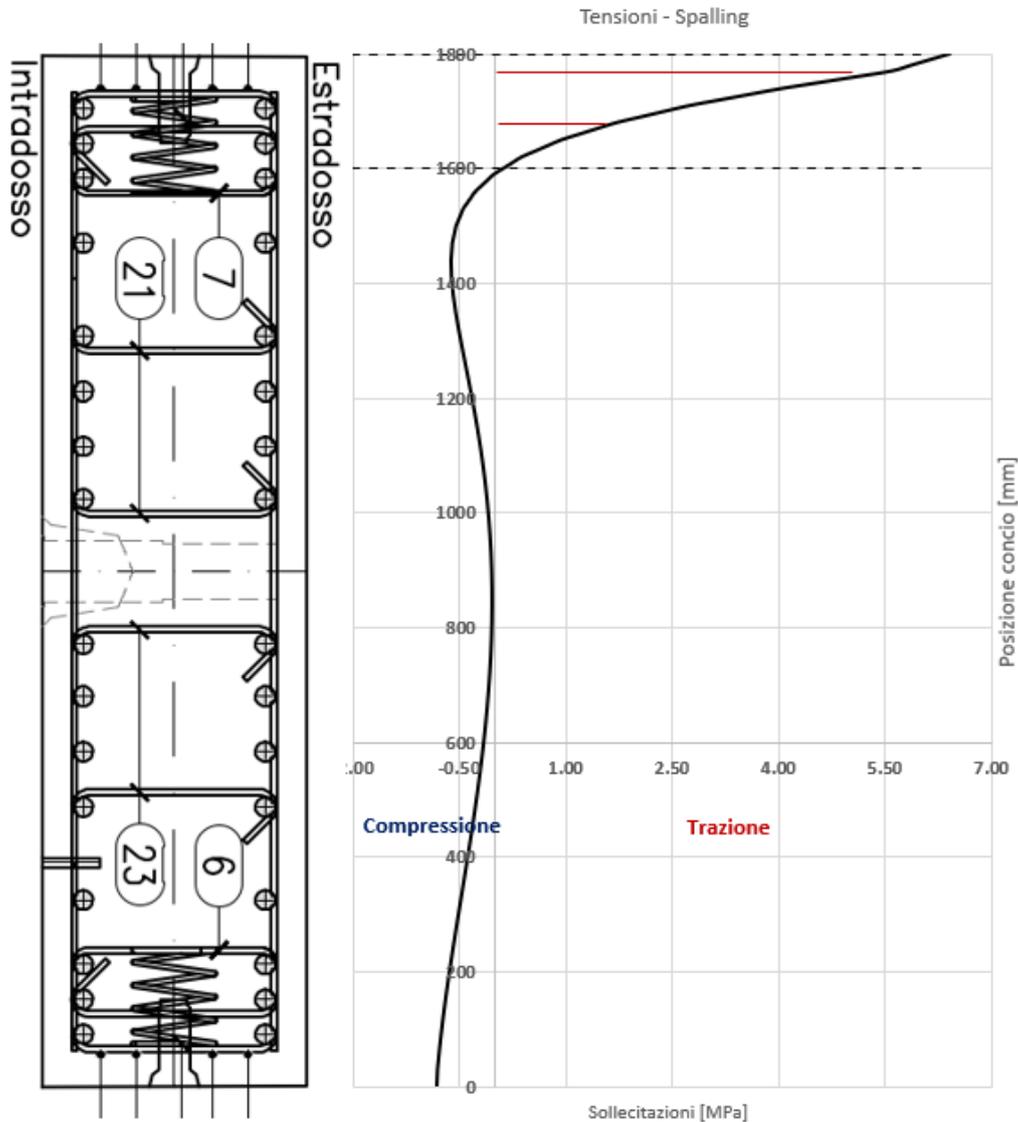


Figura 8-101: Andamento delle sollecitazioni effetto spalling tra le scarpe di spinta

Integrando la curva degli sforzi di trazione si ottiene un tiro sulle barre di armatura pari a $T_{ed}=352$ kN.

Come si evince dalla figura sopra riportata, le barre collaboranti nell'area interessata dall'effetto oggetto di analisi sono 4 ϕ 10 e 2 ϕ 20. Si ottiene una resistenza a trazione pari a:

$$T_{rd} = A_s \cdot f_{yd} = \left(\frac{10^2 \cdot \pi}{4} \cdot 4 + \frac{20^2 \cdot \pi}{4} \cdot 2 \right) \cdot 450 = 369 \text{ kN}$$

Con un fattore di sicurezza pari a $FS=T_{rd}/T_{ed}=1.04$ la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO												
PROGETTAZIONE:														
Mandataria:	Mandanti:													
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
08 - GALLERIE		<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RH</td> <td>GN0000003</td> <td>C</td> <td>156 di 280</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	156 di 280
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	156 di 280									
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C														

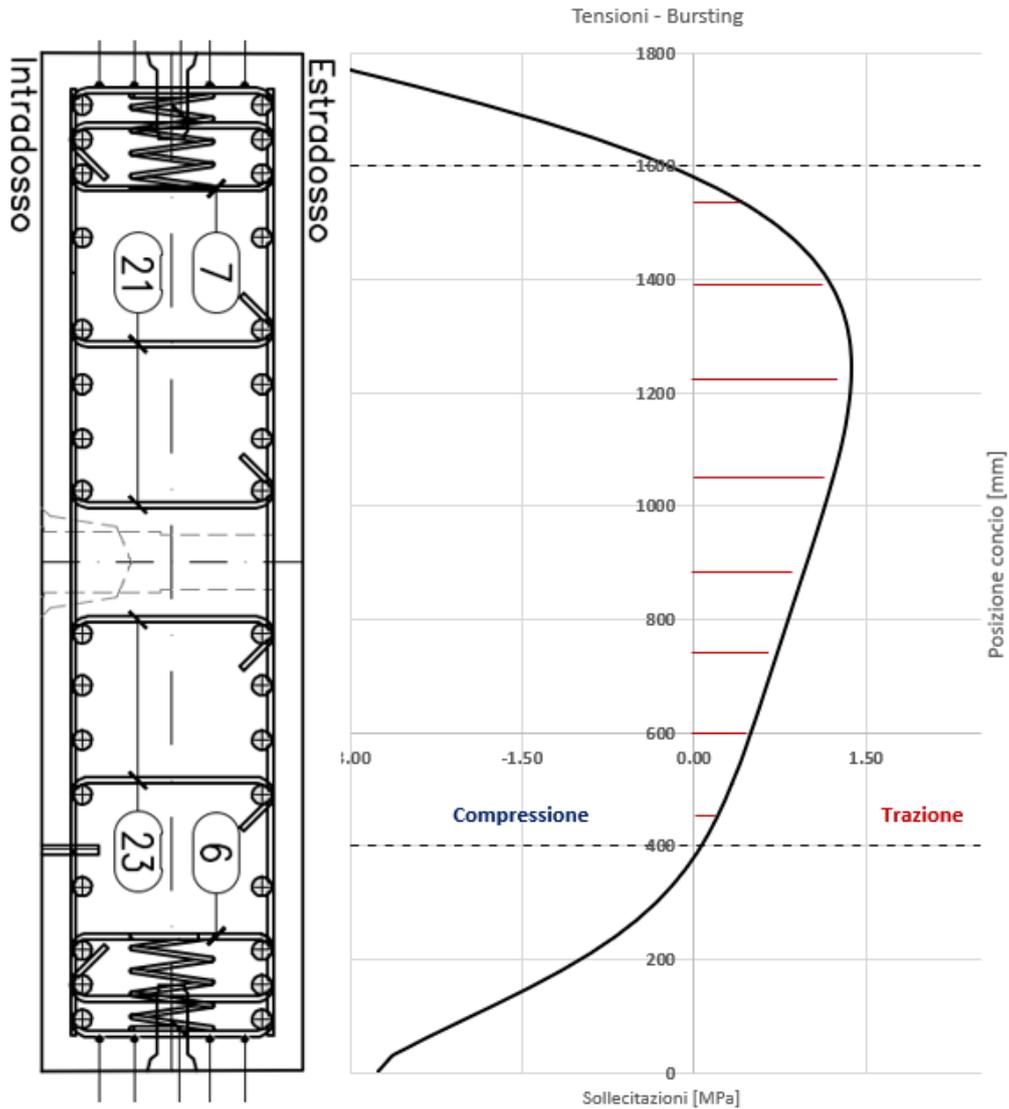


Figura 8-102: Andamento delle sollecitazioni effetto bursting sotto le scarpe di spinta

Integrando la curva degli sforzi di trazione si ottiene un tiro sulle barre di armatura pari a $T_{ed}=464$ kN.

Come si evince dalla figura sopra riportata, le barre collaboranti nell'area interessata dall'effetto oggetto di analisi sono 5+5 ϕ 20. Si ottiene una resistenza a trazione pari a:

$$T_{rd} = A_s \cdot f_{yd} = \left(\frac{20^2 \cdot \pi}{4} \cdot 10 \right) \cdot 450 = 1413 \text{ kN}$$

Con un fattore di sicurezza pari a $FS=T_{rd}/T_{ed}=3.0$ la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 157 di 280

Verifica delle pressioni di contatto

Si riporta in dettaglio la verifica delle pressioni di contatto tenendo in considerazione la posizione dei martinetti rispetto all'asse del concio.

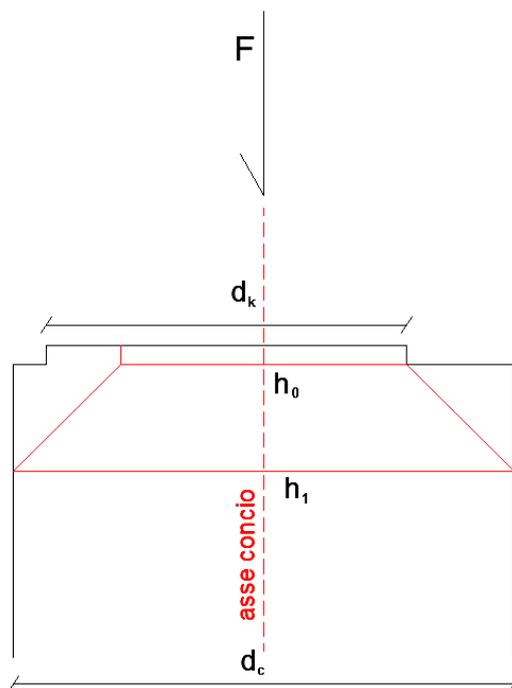


Figura 8-103: configurazione delle distribuzioni di pressione

Si calcola ora la larghezza di contatto h_0 :

$$h_0 = d_k - 2 (e_{giunto}) = 0.324 - 2 \cdot (0.0332) = 0.257m$$

d_k : larghezza del giunto circonferenziale.

$e_{martinetto}$: eccentricità del martinetto rispetto all'asse del concio.

e_{giunto} : eccentricità del giunto rispetto all'asse del concio.

La rispettiva larghezza omotetica h_1 risulta essere pari a:

$$h_1 = 2 (d_c/2 - e_{martinetto}) = 2 \cdot \left(\frac{0.45}{2} - 0.0 \right) = 0.45m$$

d_c : rappresenta lo spessore del concio

$e_{martinetto}$: eccentricità del martinetto rispetto all'asse del concio.

La lunghezza di contatto della zona caricata a_0 risulta essere pari proprio alla lunghezza della scarpa.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 158 di 280

$$a_0 = L_{scarpa} = 0.88m$$

La lunghezza della zona omotetica a_1 è calcolata come segue.

$$a_1 = (h_1 - h_0) + L_{scarpa} = (0.45 - 0.257) + 0.88 = 1.07 m$$

La spinta di progetto al di sotto di ogni scarpa è calcolata come segue.

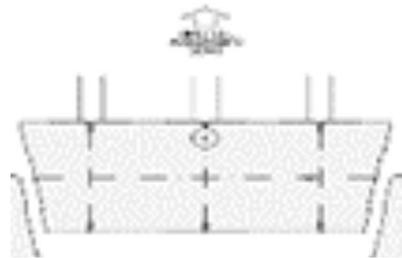
$$F_{sd} = (T_{TBM} \cdot 1.3)/21 = (90 \cdot 1)/21 = 4.286 MN = 4286 kN$$

Dimensionamento del concio nella fase di spinta

SWSTM Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL CONCIO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Compressione

spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	90
Numero delle scarpe	N_H [-]	21
Eccentricità dei martinetti	ϵ_v [m]	0.00
Coefficiente di incremento del carico	γ_{SLU} [-]	1.00



Resistenza del segmento " $F_{sd} \leq F_{Rd} \leq F_{max}$ "

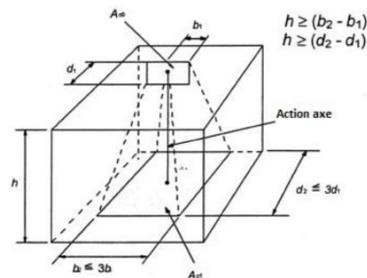
Largezza di pressione	h_0 [m]	0.257	Larghezza della superficie proiettata	h_1 [m]	0.45
Lunghezza di pressione	a_0 [m]	0.88	Lunghezza della superficie proiettata	a_1 [m]	1.07
Resistenza del cls	"SLU"	f_{cd} [MPa]	25.5		

$$F_{sd} = \Sigma F \cdot \gamma_F$$

$$F_{Rd} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{A_{c1} / A_{c0}}$$

$$F_{max} = 3 A_{c0} \cdot f_{cd}$$

Sforzo agente	"SLU"	$F_{sd,E}$ [kN]	4286
Resistenza	"SLU"	F_{Rd} [kN]	8427
	"SLU"	F_{max} [kN]	17301



La verifica delle pressioni di contatto risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 159 di 280

Si riporta di seguito anche la **verifica SLU** della sezione presso inflessa al di sotto della scarpa soggetta alle seguenti sollecitazioni di compressione e momento flettente.

$$N = -4286 \text{ kN}$$

$$M = N \times e = -4286 \times 0.00 = 0 \text{ kNm}$$

La sezione di calcolo ha una larghezza pari a quella delle scarpe e un'altezza pari allo spessore del coniglio. Le armature resistenti longitudinali al di sotto della scarpa si considerano a favore di sicurezza 3+3 Φ 10.

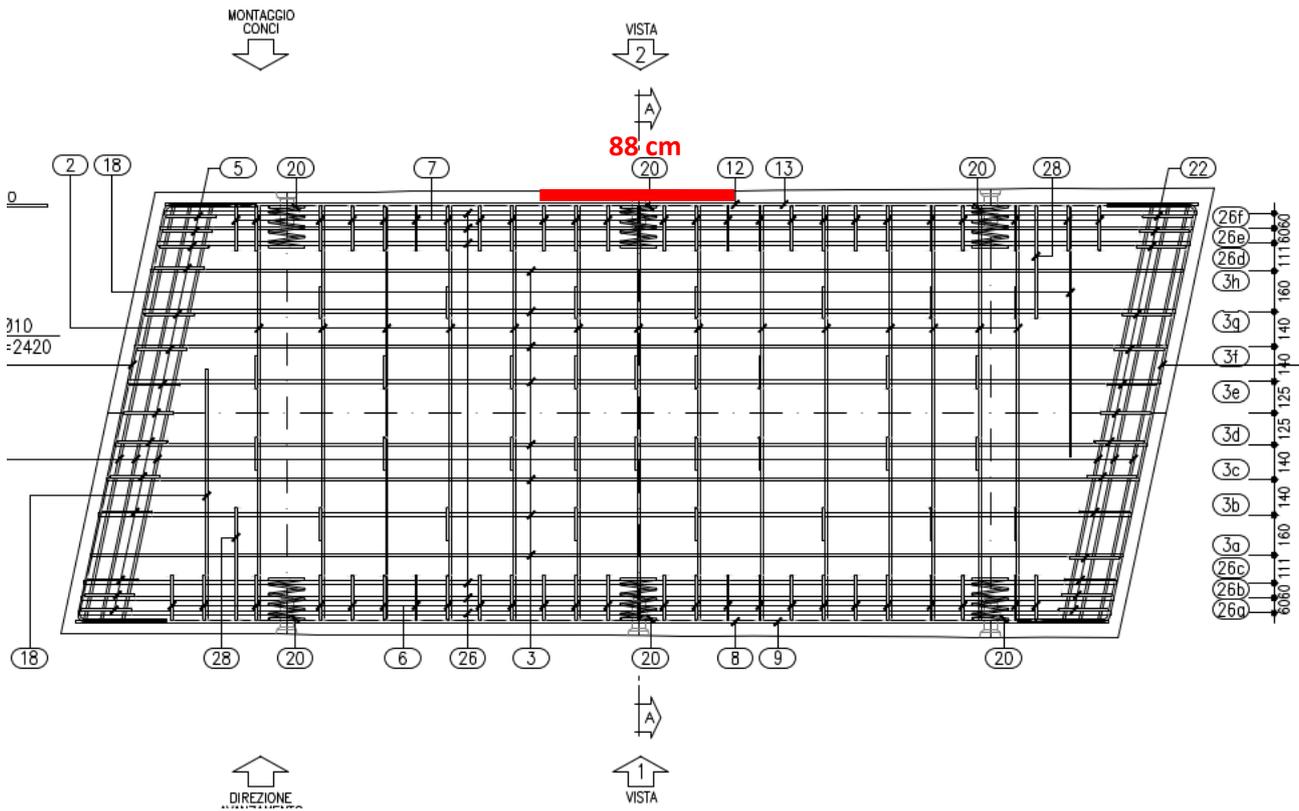


Figura 8-104: Layout di armatura al di sotto della scarpa

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA - PONTE GARDENA"						
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE	Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 160 di 280

Sezione al di sotto della scarpa - Armatura longitudinale

INPUT

SOLLECITAZIONI DI VERIFICA

Combinazione	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	V _{Sd} [kN]
SLE Quasi Permanente	0.0	0.0	-
SLE Frequente	0.0	0.0	-
SLE Rara	0.0	0.0	-
SLU	-4286.0	0.0	0.0
SLV	0.0	0.0	0.0

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.

Geometria della sezione			
Base (ortogonale al Taglio)	B [cm]	88	
Altezza (parallela al Taglio)	H [cm]	45	
Altezza utile della sezione	d [cm]	40	
Area di calcestruzzo	A _c [cm ²]	3960	

Armatura longitudinale tesa		1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
Numero Barre	n	3	0	0
Diametro	φ [mm]	10	0	0
Posizione dal lembo esterno	c [cm]	5.5	0.0	0.0
Area strato	As [cm ²]	2.36	0.00	0.00
Rapporto di armatura	ρ [%]	0.068%		

Armatura longitudinale compressa		1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
Numero Barre	n	3	0	0
Diametro	φ [mm]	10	0	0
Posizione dal lembo esterno	c' [cm]	5.5	0.0	0.0
Area strato	As' [cm ²]	2.36	0.00	0.00
Rapporto di armatura	ρ' [%]	0.068%		

Armatura trasversale		1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO
Diametro	φ [mm]	0	0	0
Numero bracci	n _{bt}	0	0	0
Passo	s _w [cm]	0	0	0
Inclinazione	α [deg]	90	90	90
Area armatura a metro	A _{sw} /s _w [cm ² /m]	0.00	0.00	0.00

CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI

Concrete		
Resistenza cubica a compressione	RCK	55
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f _{ck} [Mpa]	45.00
Resistenza cilindrica media a compressione	f _{cm} [Mpa]	53.00
Resistenza media a trazione per flessione	f _{ctm} [Mpa]	3.80
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	f _{ctk} [Mpa]	2.66
Resistenza di progetto a compressione	f _{cd} [Mpa]	25.50
Resistenza di progetto delle bielle compresse	f _{cd'} [Mpa]	12.55

Acciaio		
Resistenza di progetto a snervamento	f _{yd} [Mpa]	391.30

OUTPUT

VERIFICHE IN ESERCIZIO

Verifica Tensionale		σ _c [Mpa]	σ _s [Mpa]	σ limit
Calcestruzzo SLE Quasi Permanente		0.00	0.00	20.250
Calcestruzzo SLE Rara		0.00	0.00	27.000
Acciaio SLE Rara		0.00	0.00	360.000

Verifica di fessurazione		w _d [mm]	w limit
Combinazione SLE Quasi permanente		0.000	0.200
Combinazione SLE Frequente		0.000	0.200

VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO

Sollecitazioni di progetto		V _{Sd} [kN]	N _{Sd} [kN]
Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)		0.0	0.0
Sforzo Normale concomitante al massimo taglio			0.0

Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica		
Resistenza di progetto senza armatura specifica	V _{Rd1} [kN]	182.74
Coefficiente di sicurezza	V _{Rd1} /V _{Sd}	-

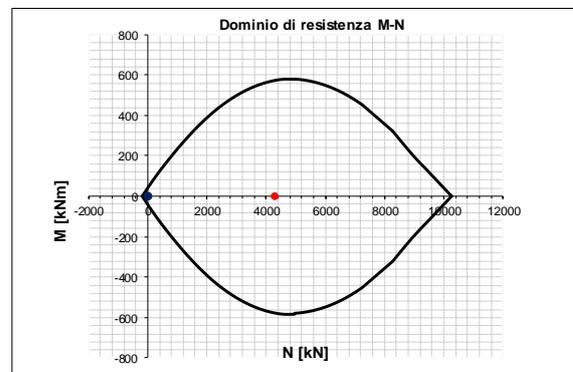
Verifica di resistenza dell'armatura specifica		
CoTan(θ) di progetto	cotan(θ)	2.5
Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls	V _{Rd2} (θ) [kN]	-
Resistenza a taglio dell'armatura	V _{Rd3} (θ) [kN]	-
Resistenza a taglio di progetto	V _{Rd} [kN]	-
Coefficiente di sicurezza	V _{Rd} /V _{Sd}	-

VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE

Sollecitazioni di progetto		SLU	SLV
Momento sollecitante	M _{Sd} [kNm]	0.0	0.0
Sforzo Normale concomitante	N _{Sd} [kN]	-4286.0	0.0

Verifica di resistenza in termini di momento		SLU	SLV
Momento resistente	M _{Rd} [kNm]	574.9	40.6
Coefficiente di sicurezza	M _{Rd} /M _{Sd}	-	-

Verifica di resistenza in termini di sforzo normale		SLU	SLV
Sforzo normale resistente	N _{Rd} [kN]	-	-
Coefficiente di sicurezza	N _{Rd} /N _{Sd}	-	-



APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 161 di 280

8.7.7.2. Valutazione della spinta massima ammissibile in esercizio in condizioni di appoggio regolare

Il modello a cui si farà riferimento è il seguente, con valori di molle di appoggio regolare uniforme sotto tutto il concio.

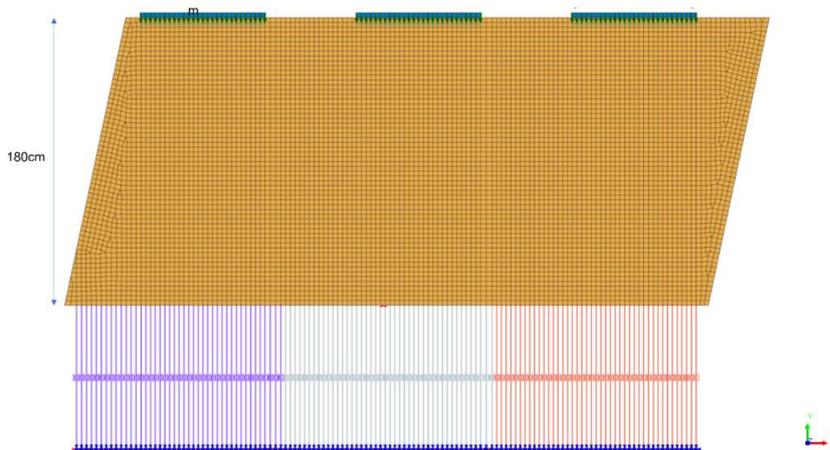


Figura 8-105: Mesh

Si valuterà la spinta massima tale da permettere al concio di soddisfare le verifiche SLE.

La spinta massima individuata per il soddisfacimento di tutte le verifiche SLE è pari a 65 MN per il concio di questa tipologia poiché, al paragrafo §8.7.6.3, la verifica a fessurazione del concio per spinta ordinaria riporta un'apertura della fessura di 0.199 mm, si considera questa condizione come limite per la spinta massima SLE (65MN). Si farà riferimento a tutte le verifiche SLE del paragrafo §8.7.6.

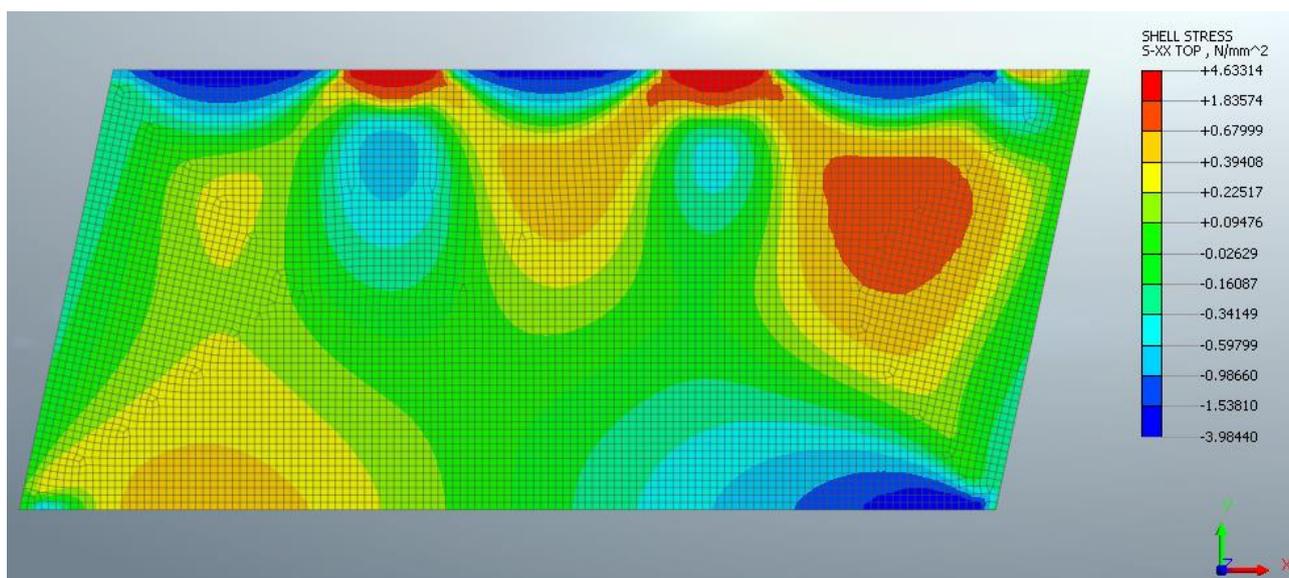


Figura 8-106: Sollecitazioni in condizioni di spinta 65MN.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 162 di 280	

8.7.7.3. Spinta non uniforme

Nel seguente paragrafo viene analizzato il rischio di carico non uniforme con carico agente allo SLU in condizioni ordinarie pari a $65 \times 1.3 = 84.5\text{MN}$ distribuito disuniformemente sulle tre scarpe di spinta con appoggio regolare. La condizione più cautelativa risulta quella in cui la scarpa più esterna sul lato inclinato (più a destra) viene caricata al 100%, mentre sulle rimanenti due scarpe si applica un carico ridotto del 50%. In direzione radiale la verifica rimane medesima a quella svolta al §7.7.3.2, si riporta di seguito la verifica tensionale in direzione circonferenziale.

Verifiche in direzione circonferenziale per spinta non uniforme

Al fine di considerare l'azione di stato limite ultimo si applica una spinta macchina totale pari a 84.5MN , di cui si riporta l'output delle tensioni di seguito.

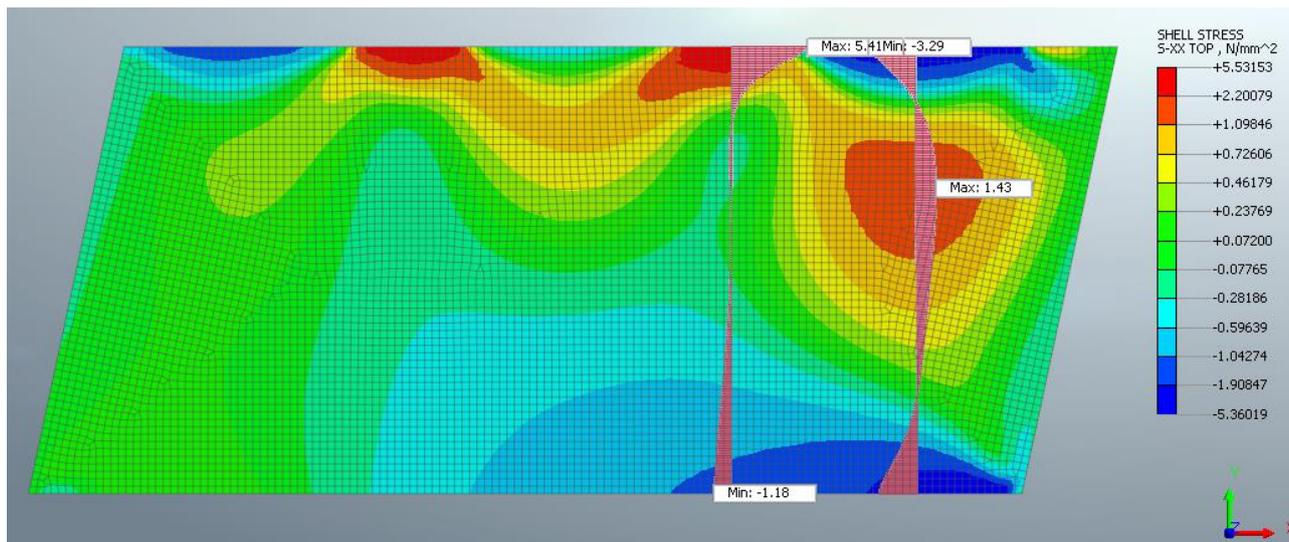


Figura 8-107: Modello Midas FEA NX verifiche SLU spinta Ordinaria con distribuzione non uniforme

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 163 di 280

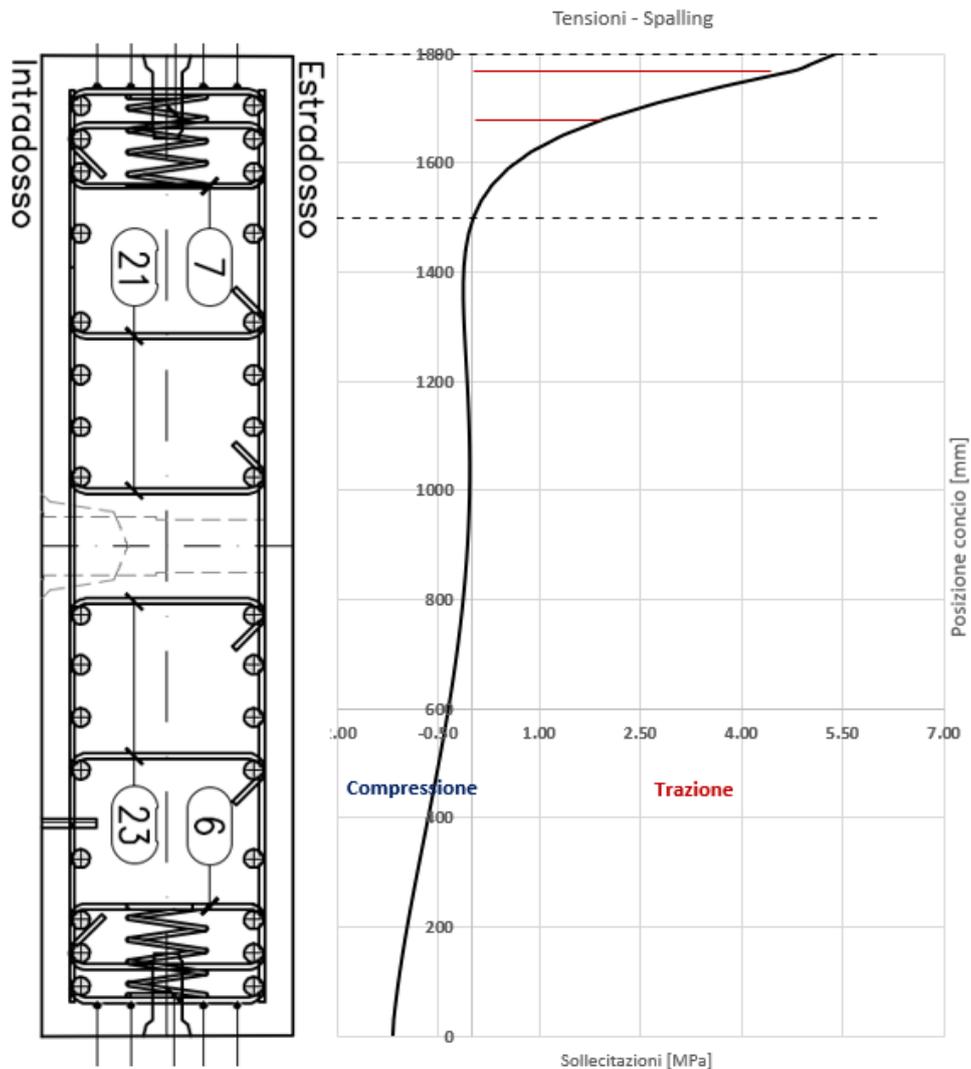


Figura 8-108: Andamento delle sollecitazioni effetto spalling tra le scarpe di spinta

Integrando la curva degli sforzi di trazione si ottiene un tiro sulle barre di armatura pari a $T_{ed}=260$ kN.

Come si evince dalla figura sopra riportata, le barre collaboranti nell'area interessata dall'effetto oggetto di analisi sono 4 ϕ 10 e 2 ϕ 20. Si ottiene una resistenza a trazione pari a:

$$T_{rd} = A_s \cdot f_{yd} = \left(\frac{10^2 \cdot \pi}{4} \cdot 4 + \frac{20^2 \cdot \pi}{4} \cdot 2 \right) \cdot 391.3 = 614 \text{ kN}$$

Con un fattore di sicurezza pari a $FS=T_{rd}/T_{ed}=2.36$ la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 164 di 280

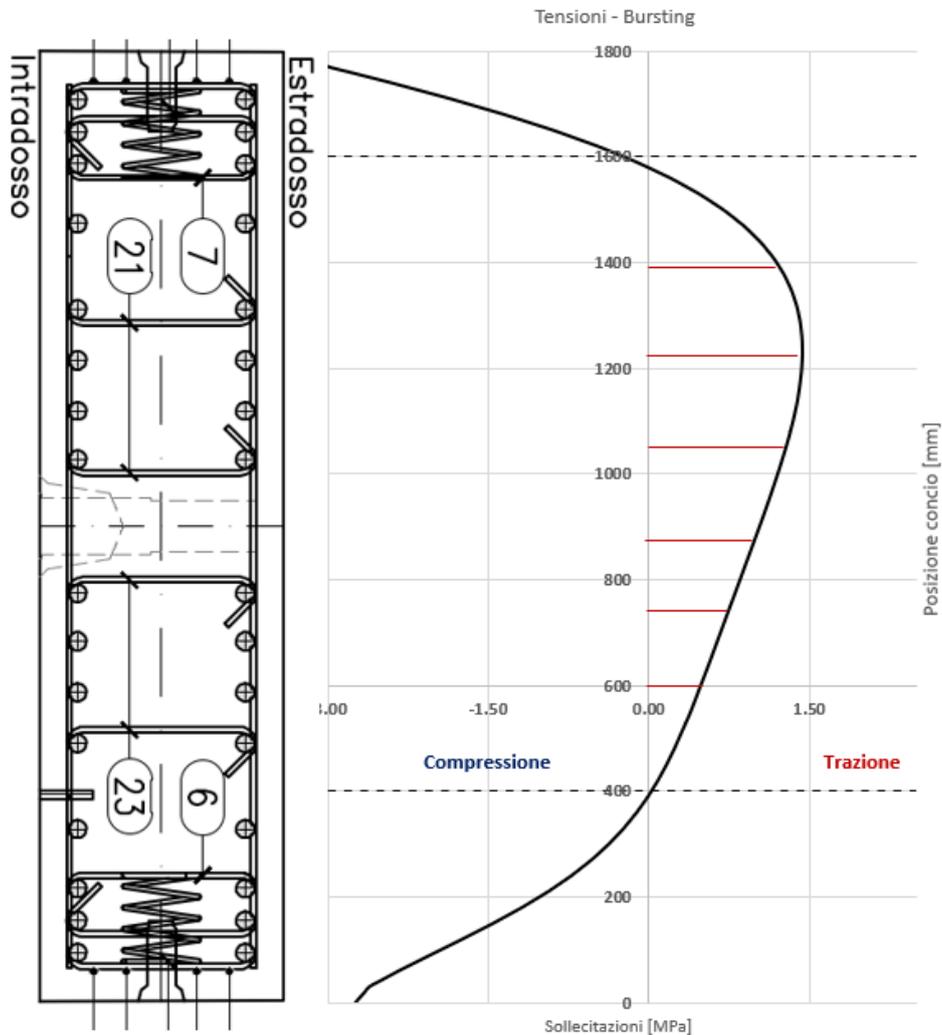


Figura 8-109: Andamento delle sollecitazioni effetto bursting sotto le scarpe di spinta

Integrando la curva degli sforzi di trazione si ottiene un tiro sulle barre di armatura pari a $T_{ed}=478$ kN.

Come si evince dalla figura sopra riportata, le barre collaboranti nell'area interessata dall'effetto oggetto di analisi sono 6+6 ϕ 20. Si ottiene una resistenza a trazione pari a:

$$T_{rd} = A_s \cdot f_{yd} = \left(\frac{20^2 \cdot \pi}{4} \cdot 12 \right) \cdot 391.3 = 1473 \text{ kN}$$

Con un fattore di sicurezza pari a $FS=T_{rd}/T_{ed}=3.08$ la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 165 di 280	

8.7.7.4. Errato appoggio

L'analisi di rischio deve porsi l'obiettivo di valutare il margine rispetto allo SLU del concio nel caso in cui siano presenti condizioni di montaggio accidentali, applicata alla verifica di formazione di trazioni in direzione circonferenziale.

La presenza di gap locali può essere simulata numericamente per mezzo di una riduzione della rigidità della superficie di appoggio del concio da verificare, mantenendo il carico agente allo SLU calcolato nelle verifiche ordinarie. Valori indicativi di riduzione della rigidità possono assumersi tra il 25% e il 50%, da combinarsi per le diverse disposizioni del concio.

Dette A, B e C le tre parti del concio che appoggiano sull'anello precedente, a titolo di esempio si possono considerare le combinazioni di appoggio riportate nella figura successiva.

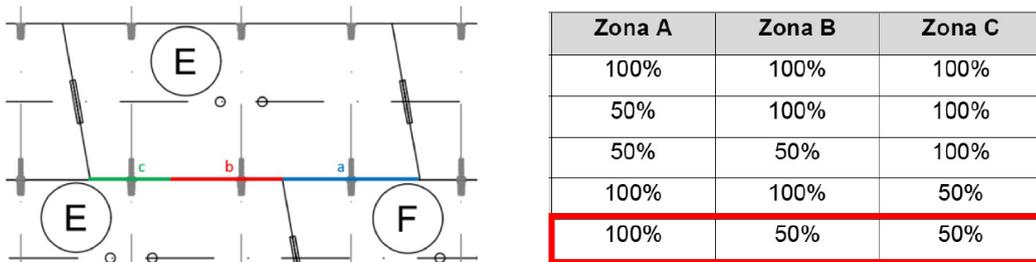


Figura 8-110: Esempio di combinazioni di appoggio sull'anello precedente DB

Nel dettaglio, tale analisi si svolge considerando il concio G applicando la combinazione delle molle per Zona A pari al 100% e per le zone B e C ridotta del 50%, rappresentativa della condizione più gravosa.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 166 di 280

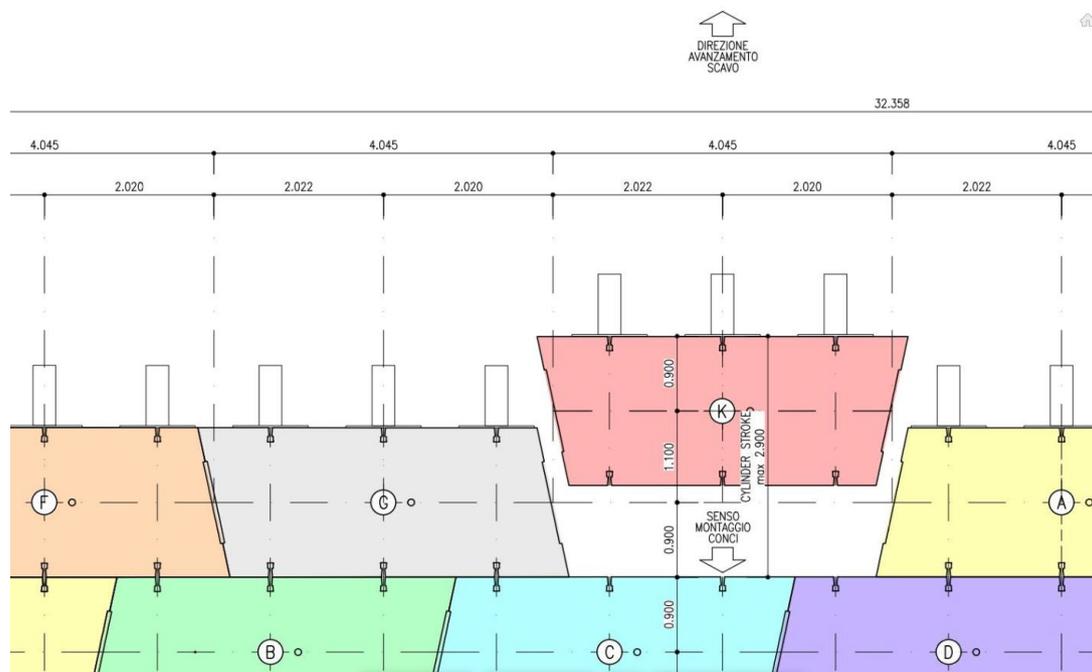


Figura 8-111: Schema disposizione conci

Nell'analisi di rischio si considerano le molle sui giunti longitudinali in quanto la spinta SLU pari a $65 \times 1.3 = 84.5 \text{ MN}$ viene applicata una volta installato l'intero anello.

Poiché non è possibile a priori determinare le condizioni di appoggio irregolare, come misura di mitigazione di rischio quello che si potrà effettuare è valutare una condizione di appoggio incompleta e fittizia e confermare quali siano le spinte ordinarie compatibili con queste condizioni di appoggio arbitrariamente ipotizzate.

Mediante l'utilizzo del software agli elementi finiti Midas FEA si modella il concio come elemento shell con mesh composta da 8055 elementi ibridi con maglia $30 \times 30 \text{ mm}$. Al fine di calcolare la rigidezza delle molle si considera, oltre al modulo elastico del calcestruzzo e l'area dei singoli elementi, per quelle verticali metà lunghezza dell'anello retrostante pari a 90 cm , mentre per quelle applicate sui giunti longitudinali si considera la circonferenza media dell'anello meno l'ingombro del concio oggetto di analisi diviso due.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 167 di 280

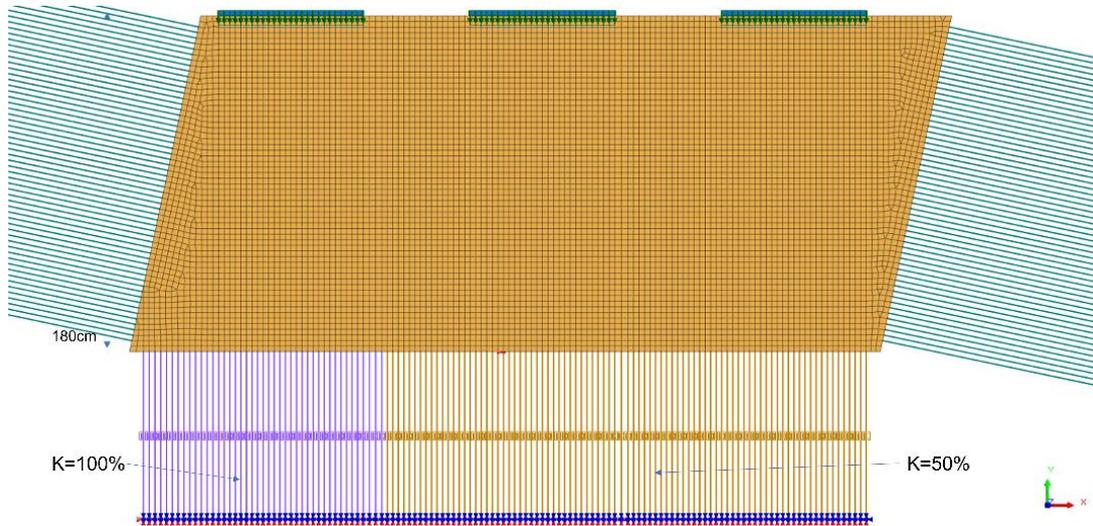


Figura 8-112: Mesh

Verifiche in direzione circonferenziale per errato appoggio

Si riporta di seguito l'output delle tensioni di seguito.

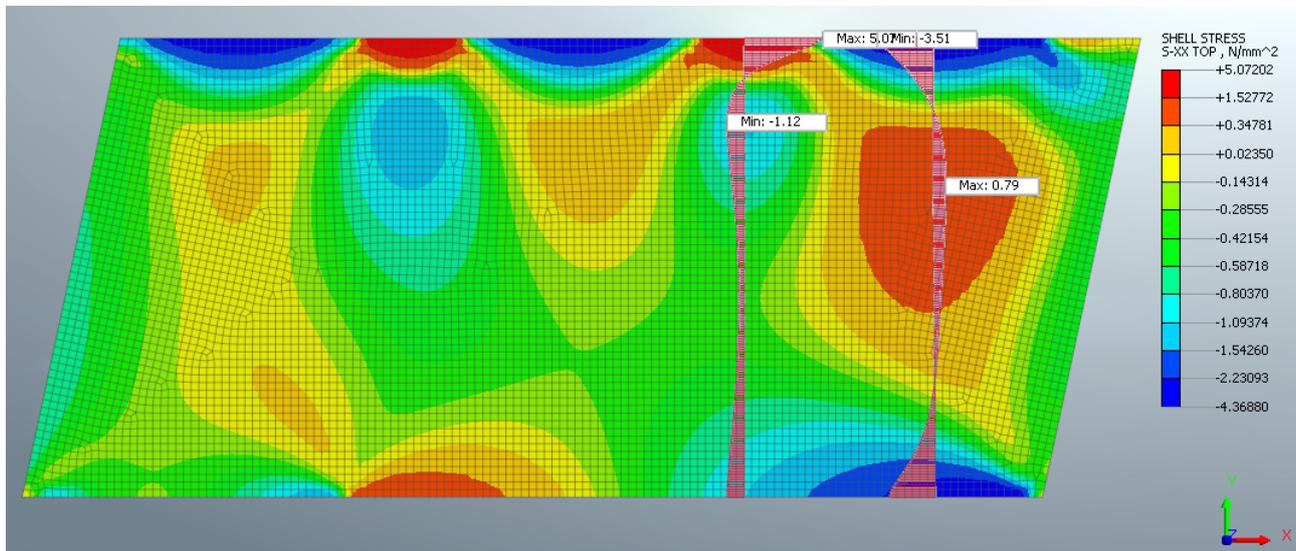


Figura 8-113: Modello Midas FEA NX verifiche SLU spinta Ordinaria con appoggio irregolare

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 168 di 280

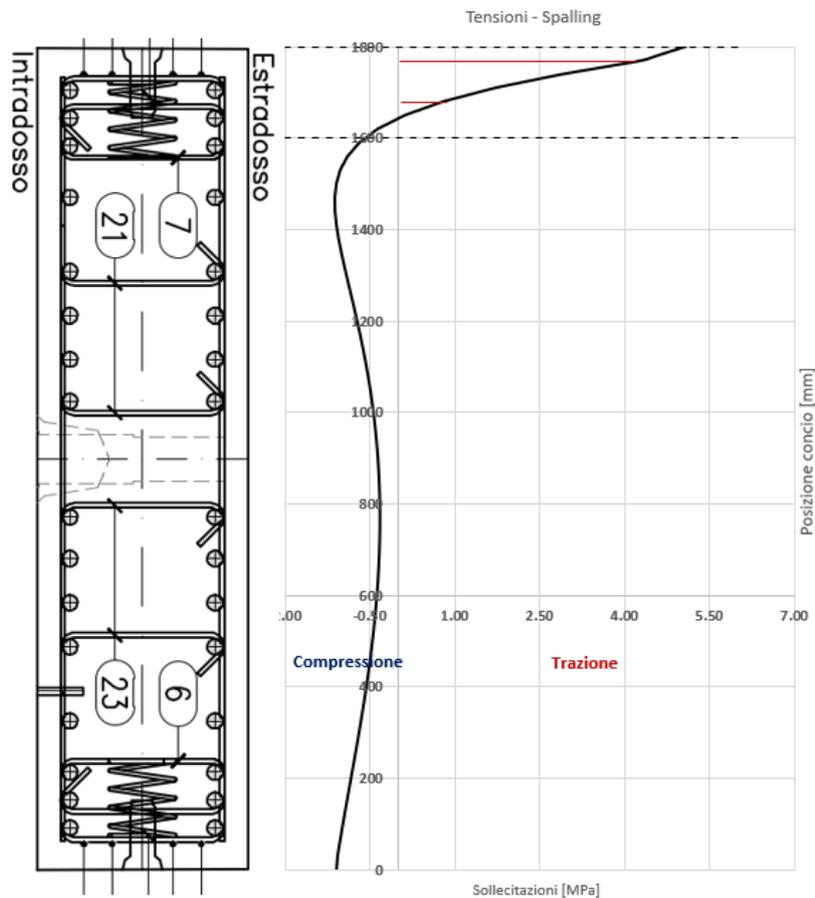


Figura 8-114: Andamento delle sollecitazioni effetto spalling tra le scarpe di spinta

Integrando la curva degli sforzi di trazione si ottiene un tiro sulle barre di armatura pari a $T_{ed}=167$ kN.

Come si evince dalla figura sopra riportata, le barre collaboranti nell'area interessata dall'effetto oggetto di analisi sono 4 ϕ 10 e 2 ϕ 20. Si ottiene una resistenza a trazione pari a:

$$T_{rd} = A_s \cdot f_{yd} = \left(\frac{10^2 \cdot \pi}{4} \cdot 2 + \frac{20^2 \cdot \pi}{4} \cdot 2 \right) \cdot 391.3 = 307 \text{ kN}$$

Con un fattore di sicurezza pari a $FS=T_{rd}/T_{ed}=1.85$ la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 169 di 280

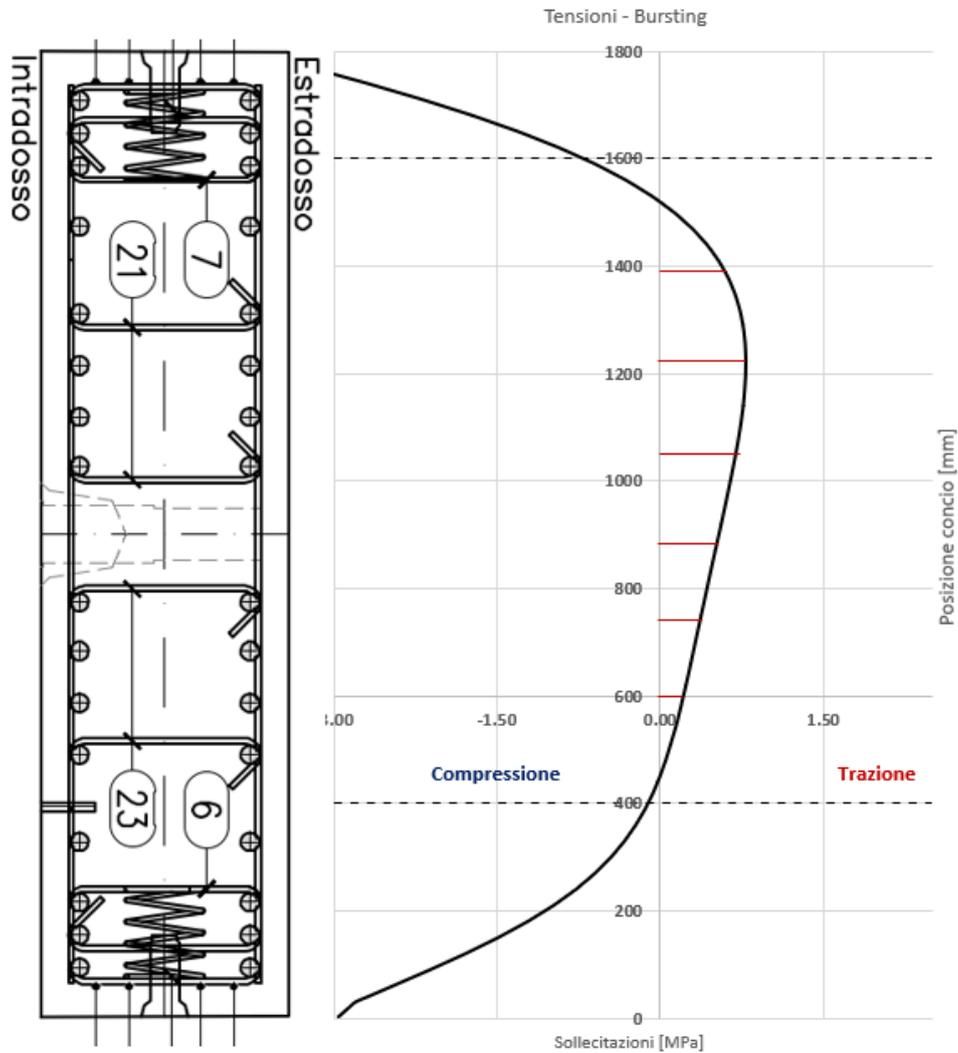


Figura 8-115: Andamento delle sollecitazioni effetto bursting sotto le scarpe di spinta

Integrando la curva degli sforzi di trazione si ottiene un tiro sulle barre di armatura pari a $T_{ed}=235$ kN.

Come si evince dalla figura sopra riportata, le barre collaboranti nell'area interessata dall'effetto oggetto di analisi sono 5+5 ϕ 20. Si ottiene una resistenza a trazione pari a:

$$T_{rd} = A_s \cdot f_{yd} = \left(\frac{20^2 \cdot \pi}{4} \cdot 10 \right) \cdot 391.3 = 1227 \text{ kN}$$

Con un fattore di sicurezza pari a $FS=T_{rd}/T_{ed}=5.22$ la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					PROGETTO ESECUTIVO
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 170 di 280

8.7.8 Concio Tipo C – analisi in condizioni ordinarie

8.7.8.1. Verifiche pressioni di contatto

Si riporta in dettaglio la verifica delle pressioni di contatto tenendo in considerazione la posizione dei martinetti rispetto all'asse del concio.

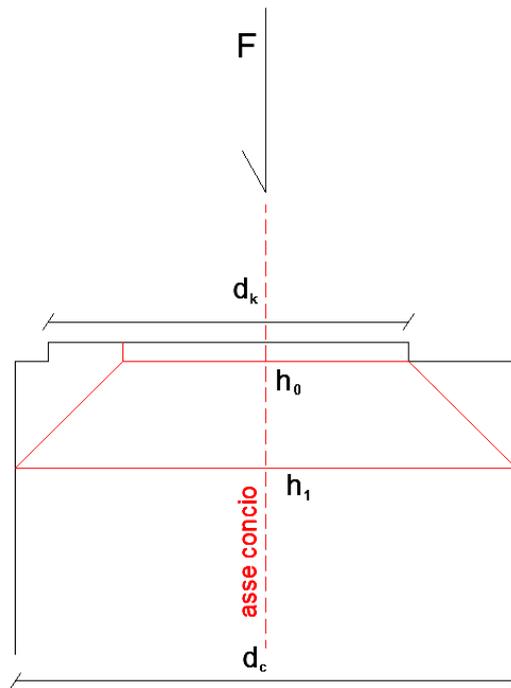


Figura 8-116: configurazione delle distribuzioni di pressione

Si calcola ora la larghezza di contatto h_0 :

$$h_0 = d_k - 2(e_{giunto}) = 0.324 - 2 \cdot (0.0332) = 0.257m$$

d_k : larghezza del giunto circonferenziale.

$e_{martinetto}$: eccentricità del martinetto rispetto all'asse del concio.

e_{giunto} : eccentricità del giunto rispetto all'asse del concio.

La rispettiva larghezza omotetica h_1 risulta essere pari a:

$$h_1 = 2(d_c/2 - e_{martinetto}) = 2 \cdot \left(\frac{0.45}{2} - 0.0\right) = 0.45m$$

d_c : rappresenta lo spessore del concio

$e_{martinetto}$: eccentricità del martinetto rispetto all'asse del concio.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 171 di 280

La lunghezza di contatto della zona caricata a_0 risulta essere pari proprio alla lunghezza della scarpa.

$$a_0 = L_{scarpa} = 0.88m$$

La lunghezza della zona omotetica a_1 è calcolata come segue.

$$a_1 = (h_1 - h_0) + L_{scarpa} = (0.45 - 0.257) + 0.88 = 1.07 m$$

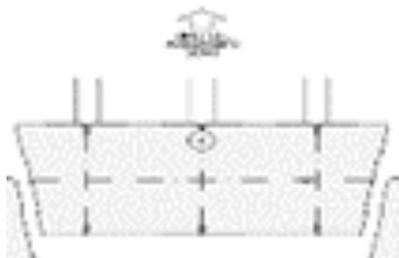
La spinta di progetto al di sotto di ogni scarpa è calcolata come segue.

$$F_{sd} = (T_{TBM} \cdot 1.3)/21 = (40 \cdot 1.3)/21 = 2.476 MN = 2476 kN$$

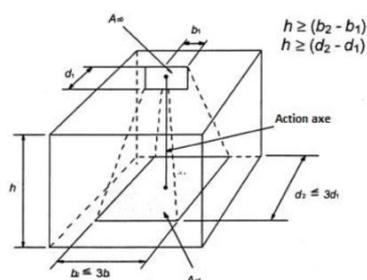
Dimensionamento del concio nella fase di spinta

SWSTM Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL CONCIO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Compressione

spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	40	
Numero delle scarpe	N_H [-]	21	
Eccentricità dei martinetti	ϵ_v [m]	0.00	
Coefficiente di incremento del carico	γ_{SLU} [-]	1.30	

Resistenza del segmento " $F_{sd} \leq F_{Rd} \leq F_{max}$ "

Largezza di pressione	h_0 [m]	0.257	Largezza della superficie proiettata	h_1 [m]	0.45
Lunghezza di pressione	a_0 [m]	0.88	Lunghezza della superficie proiettata	a_1 [m]	1.07
Resistenza del cls	"SLU" f_{cd} [MPa]	25.5			
$F_{sd} = \Sigma F \cdot \gamma_F$ $F_{Rd} = A_{c0} \cdot F_{cd} \cdot \sqrt{A_{c1} / A_{c0}}$ $F_{max} = 3 A_{c0} \cdot f_{cd}$					
Sforzo agente	"SLU" $F_{sd,E}$ [kN]	2476			
Resistenza	"SLU" F_{Rd} [kN]	8427			
	"SLU" F_{max} [kN]	17301			

La verifica delle pressioni di contatto risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 172 di 280

Si riporta di seguito anche la **verifica SLU** della sezione presso inflessa al di sotto della scarpa soggetta alle seguenti sollecitazioni di compressione e momento flettente.

$$N = -2476 \text{ kN}$$

$$M = N \times e = -2476 \times 0.00 = 0 \text{ kNm}$$

La sezione di calcolo ha una larghezza pari a quella delle scarpe e un'altezza pari allo spessore del concho. Le armature resistenti longitudinali al di sotto della scarpa si considerano a favore di sicurezza $3+3 \Phi 10$.

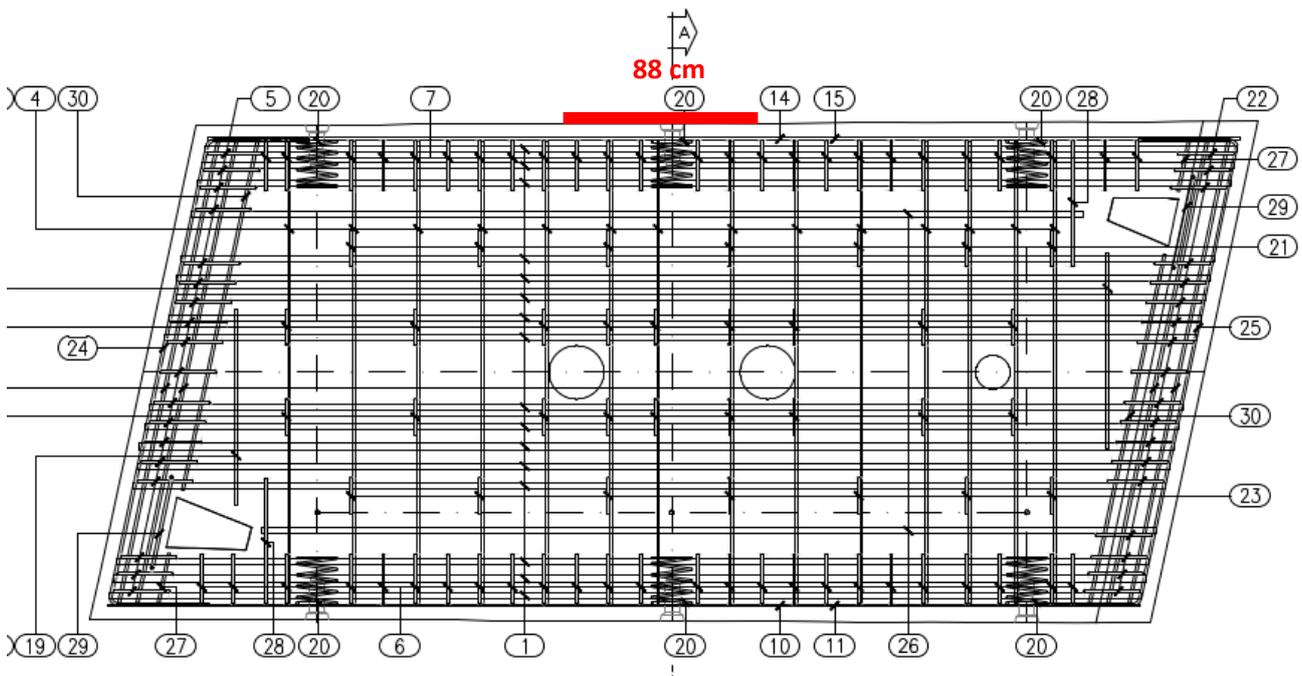


Figura 8-117: Layout di armatura al di sotto della scarpa

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA - PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA				LOTTO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU				1BEZZ
08 - GALLERIE		CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		RH	GN0000003	C	173 di 280	
		PROGETTO ESECUTIVO				

Sezione al di sotto della scarpa - Armatura longitudinale

INPUT

SOLLECITAZIONI DI VERIFICA

Combinazione	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	V _{Sd} [kN]
SLE Quasi Permanente	0.0	0.0	-
SLE Frequente	0.0	0.0	-
SLE Rara	0.0	0.0	-
SLU	-2476.0	0.0	0.0
SLV	0.0	0.0	0.0

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.

Geometria della sezione			
Base (ortogonale al Taglio)	B [cm]	88	
Altezza (parallela al Taglio)	H [cm]	45	
Altezza utile della sezione	d [cm]	40	
Area di calcestruzzo	A _c [cm ²]	3960	

Armatura longitudinale tesa		1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
Numero Barre	n	3	0	0
Diametro	φ [mm]	10	0	0
Posizione dal lembo esterno	c [cm]	5.5	0.0	0.0
Area strato	As [cm ²]	2.36	0.00	0.00
Rapporto di armatura	ρ [%]	0.068%		

Armatura longitudinale compressa		1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
Numero Barre	n	3	0	0
Diametro	φ [mm]	10	0	0
Posizione dal lembo esterno	c' [cm]	5.5	0.0	0.0
Area strato	As' [cm ²]	2.36	0.00	0.00
Rapporto di armatura	ρ' [%]	0.068%		

Armatura trasversale		1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO
Diametro	φ [mm]	0	0	0
Numero bracci	n _{bt}	0	0	0
Passo	s _w [cm]	0	0	0
Inclinazione	α [deg]	90	90	90
Area armatura a metro	A _{sw/s_w} [cm ² /m]	0.00	0.00	0.00

CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI

Concrete		
Resistenza cubica a compressione	RCK	55
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f _{ck} [Mpa]	45.00
Resistenza cilindrica media a compressione	f _{cm} [Mpa]	53.00
Resistenza media a trazione per flessione	f _{ctm} [Mpa]	3.80
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	f _{ctk} [Mpa]	2.66
Resistenza di progetto a compressione	f _{cd} [Mpa]	25.50
Resistenza di progetto delle bielle compresse	f _{cd'} [Mpa]	12.55
Acciaio		
Resistenza di progetto a snervamento	f _{y,d} [Mpa]	391.30

OUTPUT

VERIFICHE IN ESERCIZIO

Verifica Tensionale		σ _c [Mpa]	σ _s [Mpa]	σ limit
Calcestruzzo SLE Quasi Permanente		0.00	0.00	20.250
Calcestruzzo SLE Rara		0.00	0.00	27.000
Acciaio SLE Rara		0.00	0.00	360.000
Verifica di fessurazione		w _d [mm]		w limit
Combinazione SLE Quasi permanente		0.000	0.000	0.200
Combinazione SLE Frequente		0.000	0.000	0.200

VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO

Sollecitazioni di progetto		V _{Sd} [kN]	N _{Sd} [kN]
Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)		0.0	0.0
Sforzo Normale concomitante al massimo taglio			0.0

Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica		V _{Rd1} [kN]	182.74
Resistenza di progetto senza armatura specifica			
Coefficiente di sicurezza		V _{Rd1} /V _{Sd}	-

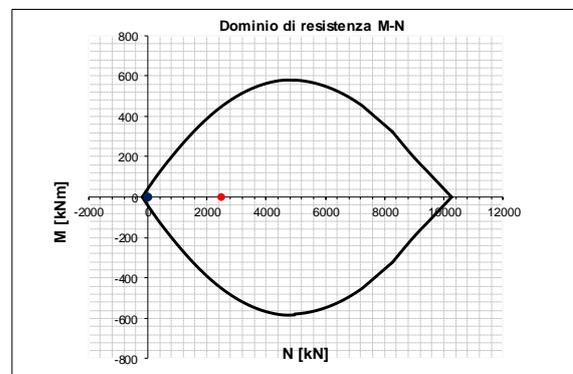
Verifica di resistenza dell'armatura specifica		cot(θ)	2.5
CoTan(θ) di progetto			
Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls		V _{Rd2} (θ) [kN]	-
Resistenza a taglio dell'armatura		V _{Rd3} (θ) [kN]	-
Resistenza a taglio di progetto		V _{Rd} [kN]	-
Coefficiente di sicurezza		V _{Rd} /V _{Sd}	-

VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE

Sollecitazioni di progetto		SLU	SLV
Momento sollecitante		M _{Sd} [kNm]	0.0
Sforzo Normale concomitante		N _{Sd} [kN]	-2476.0

Verifica di resistenza in termini di momento		SLU	SLV
Momento resistente		M _{Rd} [kNm]	448.0
Coefficiente di sicurezza		M _{Rd} /M _{Sd}	-

Verifica di resistenza in termini di sforzo normale		SLU	SLV
Sforzo normale resistente		N _{Rd} [kN]	-
Coefficiente di sicurezza		N _{Rd} /N _{Sd}	-



APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 174 di 280

8.7.8.2. Verifica della resistenza alle trazioni indotte in direzione radiale

Di seguito si riporta la **verifica SLU** delle barre di armatura in direzione radiale.

Nella verifica vengono considerate staffe $\Phi 10/125\text{cm}$ con due bracci.

Dimensionamento del concio nella fase di spinta della TBM

SWSTM Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL SEGMENTO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Bursting in direzione radiale

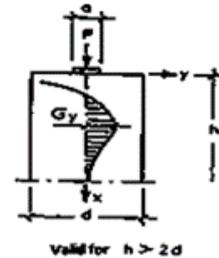
Spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	40.0
Spinta SLU della TBM	T_{SLU} [MN]	52
Numero delle scarpe tot.	N_H [-]	21
Lunghezza delle scarpe	L_1 [m]	0.88
Larghezza zona di pressione	a [m]	0.257
Larghezza zona di pressione proietta:	d [m]	0.450
Coeff. di combinazione SLU	γ_{ULS} [-]	1.30
Resistenza a trazione di calcolo	f_{yd} [MPa]	391
Diametro delle barre	\emptyset [mm]	10
Numero dei bracci	n [-]	2
Passo delle barre	s [mm]	125

F_{sd} = Spinta di progetto della TBM

$$P = F_{sd, ULS}$$

$$Z = 0.3 P * [1 - a / d]$$

$$A_{s, min} = Z / f_{yd}$$



$$A_s = n * [L_1 / s] A_{\emptyset}$$

$$x_1 = k_1 * d$$

$$x_2 = k_2 * d$$

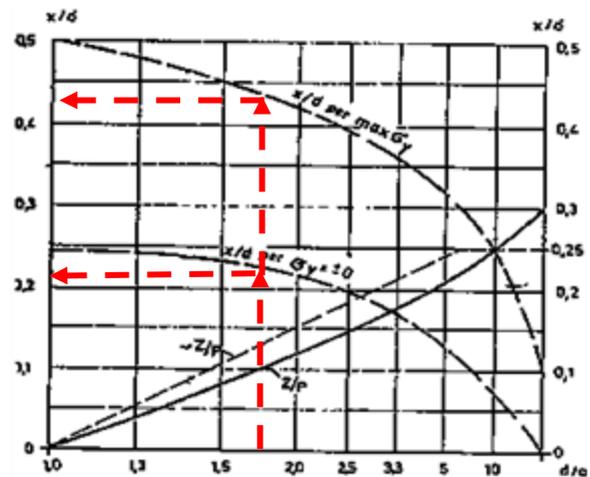
Induced tensile stress		
Sforzo di trazione	Z [kN]	319
armatura richiesta	$A_{s, min}$ [cm ²]	8.1
armatura adottata	A_s [cm ²]	11.00
Coeff. di sicurezza	FS_{cd} [-]	1.4

Profondità in corrispondenza della tensione nulla

$$x_1 / d = 0.22 \quad x_1 = 9.9 \text{ [cm]}$$

Profondità in corrispondenza della tensione max

$$x_2 / d = 0.43 \quad x_2 = 19.4 \text{ [cm]}$$



I valori di a e d sono i medesimi dei valori h_0 e h_1 del paragrafo precedente.

La verifica risulta soddisfatta per le staffe in direzione radiale.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	175 di 280

Di seguito si riporta la **verifica tensionale SLE** delle barre di armatura in direzione radiale.

Nella verifica vengono considerate staffe $\Phi 10/125\text{cm}$ con due bracci.

In questo caso le armature che resistono alla trazione sono n.14 staffe totali.

Dimensionamento del concio nella fase di spinta della TBM



RESISTENZA DEL SEGMENTO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Bursting in direzione radiale

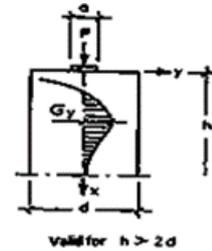
Spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	40.0
Spinta SLU della TBM	T_{SLE} [MN]	40.0
Numero delle scarpe tot.	N_H [-]	21
Lunghezza delle scarpe	L_1 [m]	0.88
Larghezza zona di pressione	a [m]	0.257
Larghezza zona di pressione proietta	d [m]	0.450
Coeff. di combinazione SLE	γ_{SLE} [-]	1.00
Resistenza a trazione di calcolo	f_{yd} [MPa]	391
Diametro delle barre	\emptyset [mm]	10
Numero dei bracci	n [-]	2
Passo delle barre	s [mm]	125

F_{sd} = Spinta di progetto della TBM

$$P = F_{sd, UL5}$$

$$Z = 0.3 P * [1 - a / d]$$

$$A_{s, min} = Z / f_{yd}$$

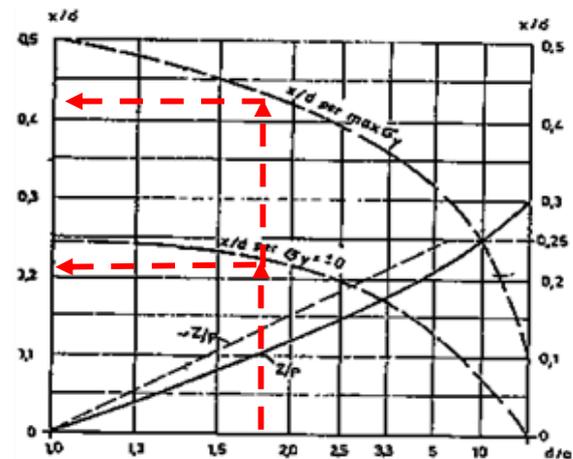


$$A_s = n * [L_1 / s] A_{\emptyset}$$

$$x_1 = k_1 * d$$

$$x_2 = k_2 * d$$

Tensioni indotte nell'acciaio		
Sforzo di trazione	Z [kN]	245
armatura adottata	A_s [cm ²]	11.00
Trazione su ogni singola barra	Z_i [kN]	17.5
Tensione su ogni singola barra	σ_i [MPa]	222.9
Tensione massima ammissibile SLE	$0.75 f_{yk}$ [MPa]	337.5
Coeff. di sicurezza	$F_{S_{cd}}$ [-]	1.5



Profondità in corrispondenza della tensione nulla

$$x_1 / d = 0.22 \quad x_1 = 9.9 \text{ [cm]}$$

Profondità in corrispondenza della tansione max

$$x_2 / d = 0.43 \quad x_2 = 19.4 \text{ [cm]}$$

I valori di a e d sono i medesimi dei valori h_0 e h_1 del paragrafo precedente.

La verifica SLE risulta soddisfatta per le staffe in direzione radiale.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 176 di 280

8.7.8.3. Verifica delle trazioni indotte in direzione circonferenziale

Nel seguente paragrafo si riportano le verifiche allo stato limite ultimo (SLU) e di esercizio (SLE) per le trazioni in direzione circonferenziale indotte dalle spinte in condizioni ordinarie.

Al fine di stimare l'effetto di spalling tra le scarpe di spinta l'analisi si svolge mediante modello FEM 2D.

Poiché il concio tipo C presenta un'armatura più pesante rispetto al tipo B, ma viene sollecitato tramite una spinta inferiore della TBM, le verifiche SLU e SLE risultano automaticamente soddisfatte.

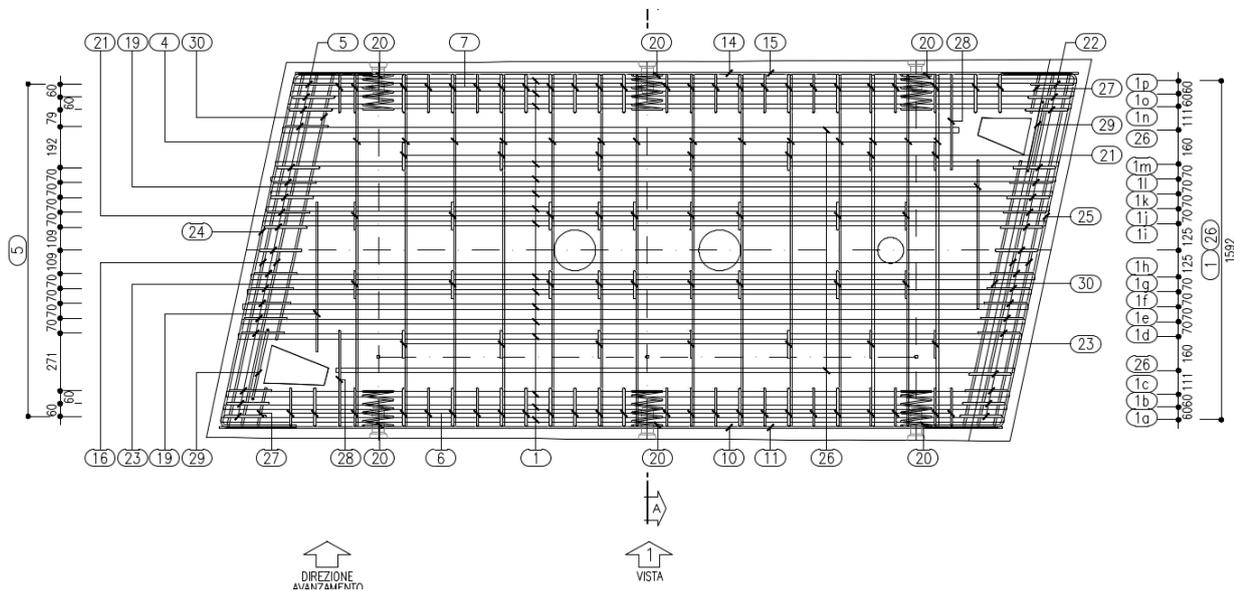


Figura 8-118: Layout di armatura del conco tipo C

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE	Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C 177 di 280

8.7.8.4. Verifica spinta eccentrica

Si riporta in dettaglio la **verifica SLU** delle pressioni di contatto tenendo in considerazione l'eccentricità aggiuntiva di $\epsilon=3$ cm dei martinetti rispetto all'asse del concio.

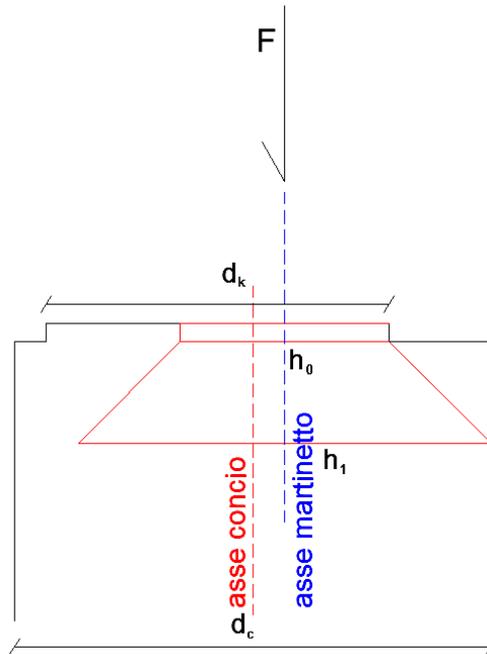


Figura 8-119: configurazione delle distribuzioni di pressione

Si calcola ora la larghezza di contatto h_0 :

$$h_0 = d_k - 2 (e_{martinetto} + e_{giunto}) = 0.324 - 2 \cdot (0.03 + 0.0332) = 0.197m$$

d_k : larghezza del giunto circolare.

$e_{martinetto}$: eccentricità del martinetto rispetto all'asse del concio.

e_{giunto} : eccentricità del giunto rispetto all'asse del concio.

La rispettiva larghezza omotetica h_1 risulta essere pari a:

$$h_1 = 2 (d_c/2 - e_{martinetto}) = 2 \cdot \left(\frac{0.45}{2} - 0.03 \right) = 0.39m$$

d_c : rappresenta lo spessore del concio

$e_{martinetto}$: eccentricità del martinetto rispetto all'asse del concio.

La lunghezza di contatto della zona caricata a_0 risulta essere pari proprio alla lunghezza della scarpa.

$$a_0 = L_{scarpa} = 0.88m$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 178 di 280

La lunghezza della zona omotetica a_1 è calcolata come segue.

$$a_1 = (h_1 - h_0) + L_{scarpa} = (0.39 - 0.197) + 0.88 = 1.07 \text{ m}$$

La spinta di progetto al di sotto di ogni scarpa è calcolata come segue.

$$F_{sd} = (T_{TBM} \cdot 1.3) / 21 = (40 \cdot 1.3) / 21 = 2.476 \text{ MN} = 2476 \text{ kN}$$

Dimensionamento del concio nelle fasi di spinta della TBM

SWSTM Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL CONCIO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Compressione

spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	40	
Numero delle scarpe	N_H [-]	21	
Eccentricità dei martinetti	ϵ_v [m]	0.03	
Coefficiente di incremento del carico	γ_{SLU} [-]	1.30	

Resistenza del segmento " $F_{sd} \leq F_{Rd} \leq F_{max}$ "

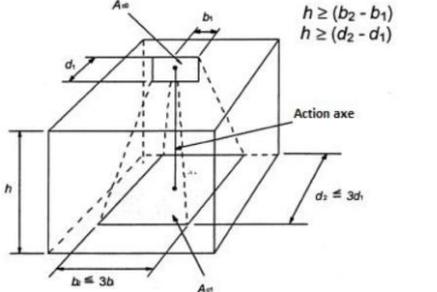
Largezza di pressione	h_0 [m]	0.197	Larghezza della superficie proiettata	h_1 [m]	0.39
Lunghezza di pressione	a_0 [m]	0.88	Lunghezza della superficie proiettata	a_1 [m]	1.07
Resistenza del cls	"SLU"	f_{cd} [MPa]	25.5		

$$F_{sd} = \Sigma F \cdot \gamma_F$$

$$F_{Rd} = A_{c0} \cdot F_{cd} \cdot \sqrt{A_{c1} / A_{c0}}$$

$$F_{max} = 3 A_{c0} \cdot f_{cd}$$

Sforzo agente	"SLU"	$F_{sd,E}$ [kN]	2476
Resistenza	"SLU"	F_{Rd} [kN]	6868
	"SLU"	F_{max} [kN]	13262



La verifica SLU risulta soddisfatta.

Per la verifica delle armature longitudinali, poiché il concio tipo C presenta un'armatura più pesante rispetto al tipo B, e viene sollecitato tramite una spinta inferiore della TBM, le verifiche SLU risultano automaticamente soddisfatte.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 179 di 280

Per quanto riguarda la **verifica tensionale SLE** si confronteranno la tensione agente con quella limite in condizione di esercizio.

La spinta di progetto al di sotto di ogni scarpa è calcolata come segue.

$$F_{sd} = (T_{TBM} \cdot 1)/21 = (40 \cdot 1)/21 = 1.905 \text{ MN} = 1905 \text{ kN}$$

Dimensionamento del concio nelle fasi di spinta della TBM

SWSTM Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL CONCIO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Compressione

spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	40	
Numero delle scarpe	N_H [-]	21	
Eccentricità dei martinetti	ϵ_V [m]	0.03	
Coefficiente di incremento del carico	γ_{SLE} [-]	1.00	

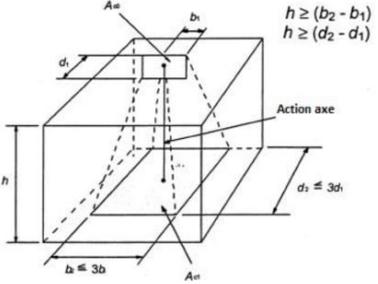
Resistenza del segmento " $F_{sd} \leq F_{Rd} \leq F_{max}$ "

Largezza di pressione	h_0 [m]	0.197	Largezza della superficie proiettata	h_1 [m]	0.39
Lunghezza di pressione	a_0 [m]	0.88	Lunghezza della superficie proiettata	a_1 [m]	1.07
Resistenza del cls	"SLE"	f_{ck} [MPa]	45.0		

$$F_{sd} = \Sigma F \cdot \gamma_F$$

$$F_{Rd} = A_{c0} \cdot F_{cd} \cdot \sqrt{A_{c1} / A_{c0}}$$

$$F_{max} = 3 \cdot A_{c0} \cdot f_{cd}$$



Sforzo agente	"SLE"	$F_{Sd,E}$ [kN]	1905
Tensione agente	"SLE"	$\sigma_{cd} = F_{Sd,E} / A_{c1}$ [MPa]	4.55
Tensione max SLE	"SLE"	$\sigma_{max} = 0.45 f_{ck}$ [MPa]	20.3

La verifica tensionale SLE risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 180 di 280

Di seguito si riporta la **verifica SLU** delle barre di armatura in direzione radiale.

Nella verifica vengono considerate staffe $\Phi 10/125\text{cm}$ con due bracci.

Dimensionamento del concio nella fase di spinta della TBM


Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL SEGMENTO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Bursting in direzione radiale

Spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	40.0
Spinta SLU della TBM	T_{SLU} [MN]	52.0
Numero delle scarpe tot.	N_H [-]	21
Lunghezza delle scarpe	L_1 [m]	0.88
Larghezza zona di pressione	a [m]	0.197
Larghezza zona di pressione proietta	d [m]	0.390
Coeff. di combinazione SLU	γ_{ULS} [-]	1.30
Resistenza a trazione di calcolo	f_{yd} [MPa]	391
Diametro delle barre	\varnothing [mm]	10
Numero dei bracci	n [-]	2
Passo delle barre	s [mm]	125

Induced tensile stress

Sforzo di trazione	Z [kN]	368
armatura richiesta	$A_{s, min}$ [cm ²]	9.4
armatura adottata	A_s [cm ²]	11.00
Coeff. di sicurezza	FS_{cd} [-]	1.2

Profondità in corrispondenza della tensione nulla

$x_1 / d = 0.21 \quad x_1 = 8.2 \text{ [cm]}$

Profondità in corrispondenza della tansione max

$x_2 / d = 0.42 \quad x_2 = 16.4 \text{ [cm]}$

$F_{sd} = \text{Spinta di progetto della TBM}$

$P = F_{sd, ULS}$

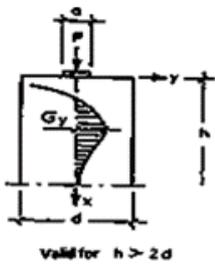
$Z = 0.3 P * [1 - a / d]$

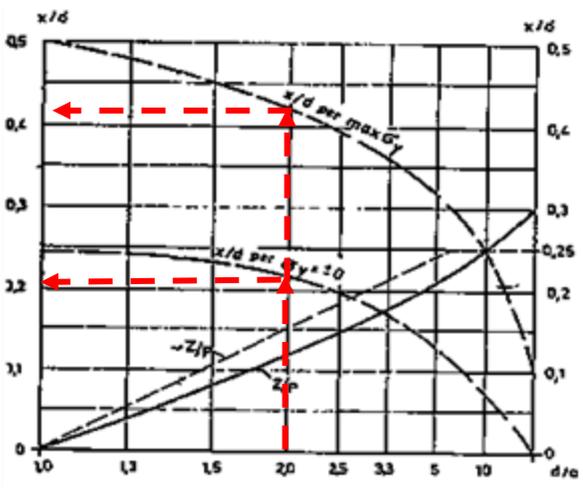
$A_{s, min} = Z / f_{yd}$

$A_s = n * [L_1 / s] A_{\varnothing}$

$x_1 = k_1 * d$

$x_2 = k_2 * d$





La verifica risulta soddisfatta per le staffe in direzione radiale.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	181 di 280

Di seguito si riporta la **verifica tensionale SLE** delle barre di armatura in direzione radiale.

Nella verifica vengono considerate staffe $\Phi 10/125\text{cm}$ con due bracci.

In questo caso le armature che resistono alla trazione sono n.14 staffe totali.

Dimensionamento del concio nella fase di spinta della TBM

SWSTM Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL SEGMENTO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Bursting in direzione radiale

Spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	40.0	F_{sd} = Spinta di progetto della TBM
Spinta SLU della TBM	T_{SLE} [MN]	40.0	
Numero delle scarpe tot.	N_H [-]	21	
Lunghezza delle scarpe	L_1 [m]	0.88	
Larghezza zona di pressione	a [m]	0.197	
Larghezza zona di pressione proiettata	d [m]	0.390	
Coeff. di combinazione SLE	γ_{SLE} [-]	1.00	
Resistenza a trazione di calcolo	f_{yd} [MPa]	391	
Diametro delle barre	\varnothing [mm]	10	
Numero dei bracci	n [-]	2	
Passo delle barre	s [mm]	125	

$P = F_{sd, UL5}$

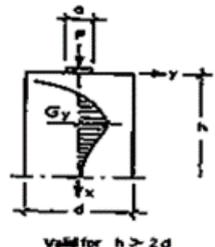
$Z = 0.3 P * [1 - a / d]$

$A_{s, min} = Z / f_{yd}$

$A_s = n * [L_1 / s] A_{\varnothing}$

$x_1 = k_1 * d$

$x_2 = k_2 * d$



Valid for $h > 2d$

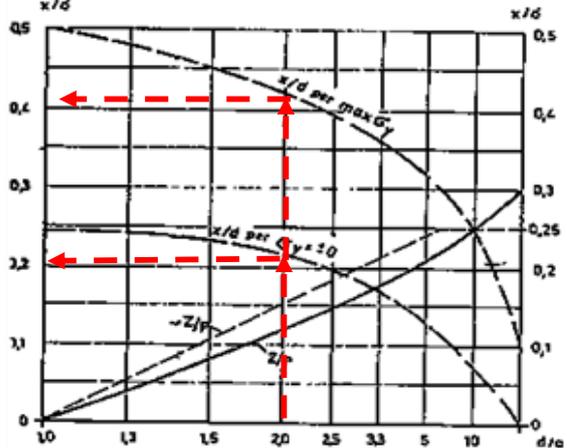
Induced tensile stress		
Sforzo di trazione	Z [kN]	283
armatura adottata	A_s [cm ²]	11.00
Trazione su ogni singola barra	Z_i [kN]	20.2
Tensione su ogni singola barra	σ_i [MPa]	257.2
Tensione massima ammissibile SLE	$0.75 f_{yk}$ [MPa]	337.5
Coeff. di sicurezza	FS_{cd} [-]	1.3

Profondità in corrispondenza della tensione nulla

$x_1 / d = 0.21 \quad x_1 = 8.2$ [cm]

Profondità in corrispondenza della tensione max

$x_2 / d = 0.42 \quad x_2 = 16.4$ [cm]



La verifica SLE risulta soddisfatta per le staffe in direzione radiale.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 182 di 280

8.7.9 Concio tipo C – Analisi di rischio

8.7.9.1. Spinta di sbloccaggio

Di seguito si riportano le verifiche allo stato limite ultimo (SLU) per le trazioni in direzione circonferenziale e radiale indotte dalle spinte in condizioni di rischio considerando la spinta massima di sbloccaggio pari a 80MN con appoggio regolare.

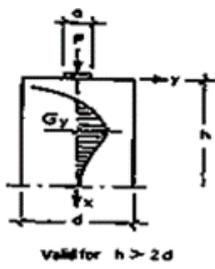
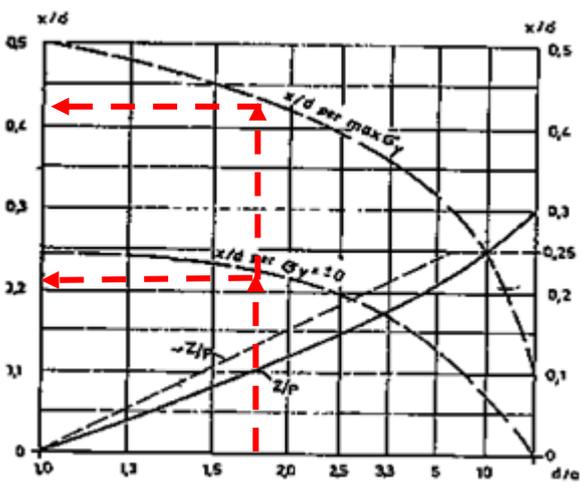
Verifiche in direzione radiale

Di seguito si riporta la verifica **SLU** delle barre di armatura in direzione radiale.

Nella verifica vengono considerate staffe $\Phi 10/125$ cm con due bracci.

Dimensionamento del concio nella fase di spinta della TBM


Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL SEGMENTO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Bursting in direzione radiale			
Spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	80.0	F_{sd} = Spinta di progetto della TBM
Spinta SLU della TBM	T_{SLU} [MN]	80.0	
Numero delle scarpe tot.	N_H [-]	21	
Lunghezza delle scarpe	L_1 [m]	0.88	
Larghezza zona di pressione	a [m]	0.257	
Larghezza zona di pressione proietta	d [m]	0.450	
Coeff. di combinazione SLU	γ_{ULS} [-]	1.00	
Resistenza a trazione di calcolo	f_{yd} [MPa]	450	
Diametro delle barre	\emptyset [mm]	10	
Numero dei bracci	n [-]	2	
Passo delle barre	s [mm]	125	
Induced tensile stress			
Sforzo di trazione	Z [kN]	490	
armatura richiesta	$A_{s, min}$ [cm ²]	10.9	
armatura adottata	A_s [cm ²]	11.00	
Coeff. di sicurezza	FS_{cd} [-]	1.01	
Profondità in corrispondenza della tensione nulla			
$x_1 / d = 0.22 \quad x_1 = 9.9$ [cm]			
Profondità in corrispondenza della tansione max			
$x_2 / d = 0.42 \quad x_2 = 18.9$ [cm]			

La verifica risulta soddisfatta per le staffe in direzione radiale.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 183 di 280	

Verifiche in direzione circonferenziale

Al fine di considerare l'azione di stato limite ultimo si applica una spinta macchina totale pari a 80MN, di cui si riporta l'output delle tensioni di seguito.

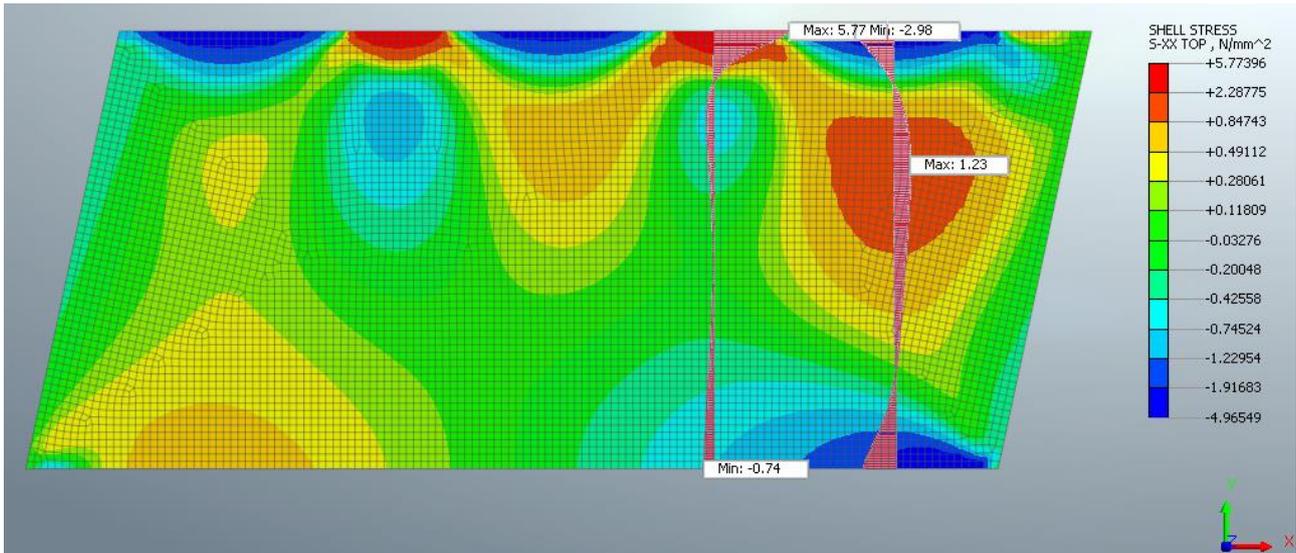


Figura 8-120: Modello Midas FEA NX verifiche SLU spinta di sbloccaggio

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 184 di 280

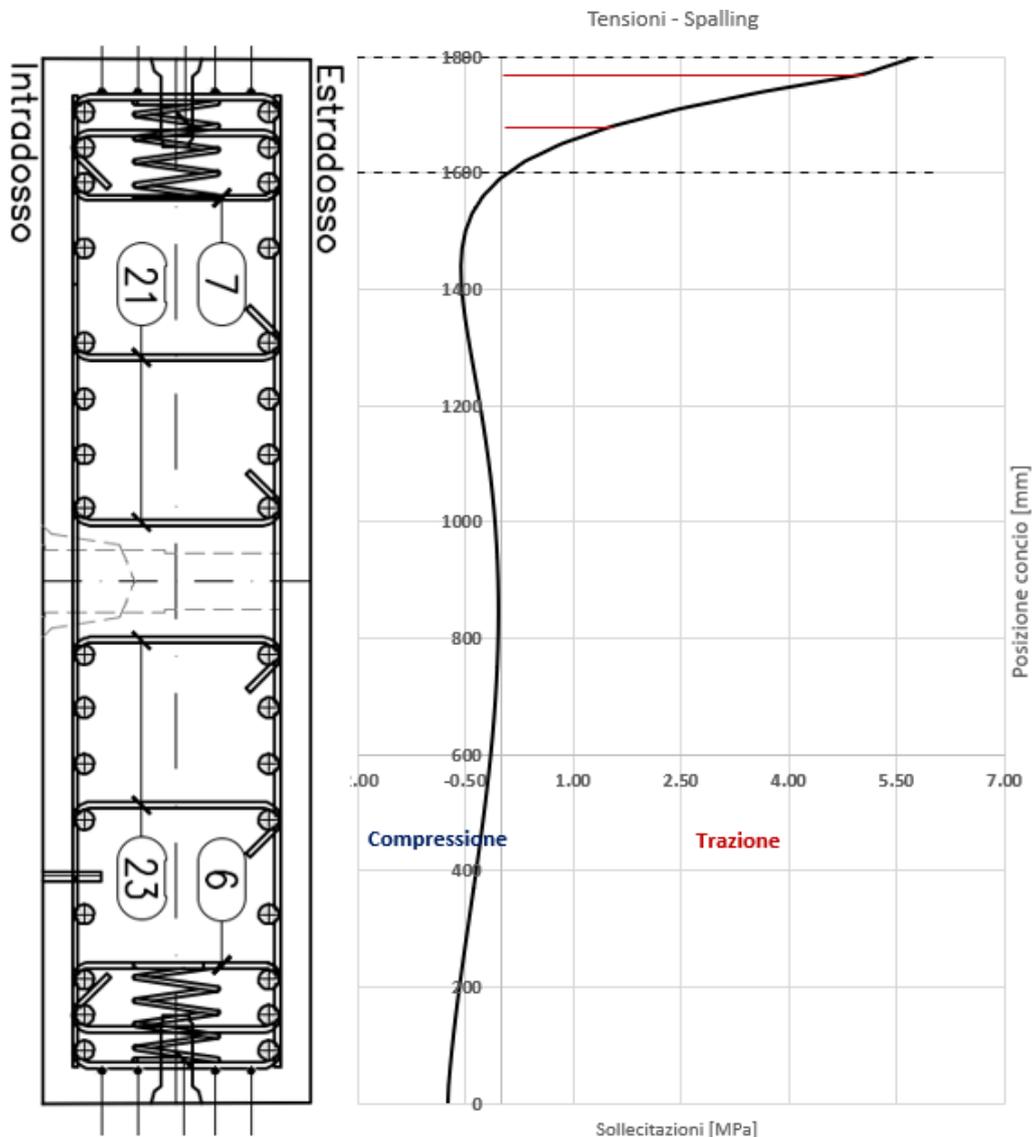


Figura 8-121: Andamento delle sollecitazioni effetto spalling tra le scarpe di spinta

Integrando la curva degli sforzi di trazione si ottiene un tiro sulle barre di armatura pari a $T_{ed}=226$ kN.

Come si evince dalla figura sopra riportata, le barre collaboranti nell'area interessata dall'effetto oggetto di analisi sono 4 ϕ 10 e 4 ϕ 22. Si ottiene una resistenza a trazione pari a:

$$T_{rd} = A_s \cdot f_{yd} = \left(\frac{10^2 \cdot \pi}{4} \cdot 4 + \frac{22^2 \cdot \pi}{4} \cdot 4 \right) \cdot 450 = 826 \text{ kN}$$

Con un fattore di sicurezza pari a $FS=T_{rd}/T_{ed}=3.65$ la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 185 di 280

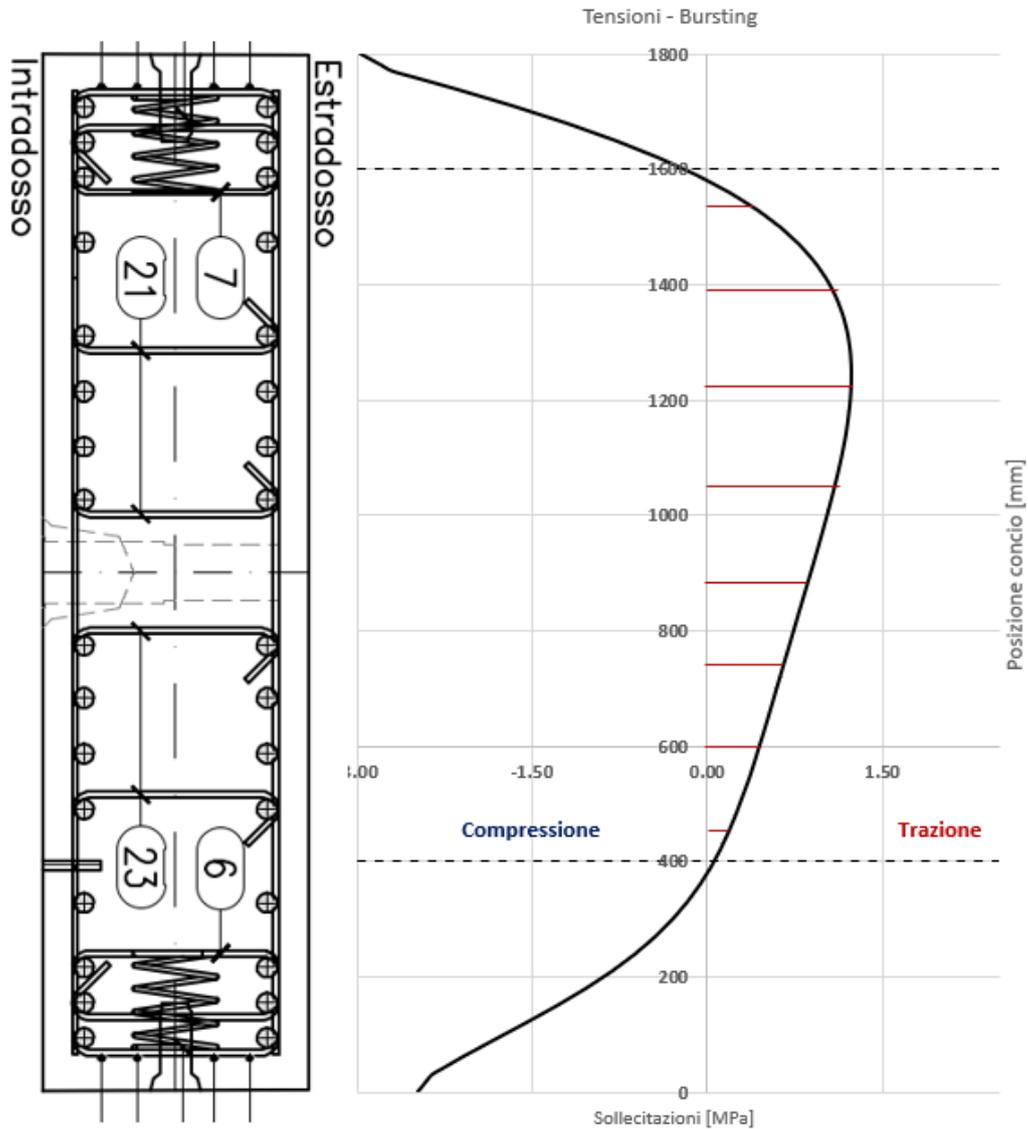


Figura 8-122: Andamento delle sollecitazioni effetto bursting sotto le scarpe di spinta

Integrando la curva degli sforzi di trazione si ottiene un tiro sulle barre di armatura pari a $T_{ed}=418$ kN.

Come si evince dalla figura sopra riportata, le barre collaboranti nell'area interessata dall'effetto oggetto di analisi sono 6+6 ϕ 22. Si ottiene una resistenza a trazione pari a:

$$T_{rd} = A_s \cdot f_{yd} = \left(\frac{22^2 \cdot \pi}{4} \cdot 12 \right) \cdot 450 = 2052 \text{ kN}$$

Con un fattore di sicurezza pari a $FS=T_{rd}/T_{ed}=4.91$ la verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 186 di 280

Verifica delle pressioni di contatto

Si riporta in dettaglio la verifica delle pressioni di contatto tenendo in considerazione la posizione dei martinetti rispetto all'asse del concio.

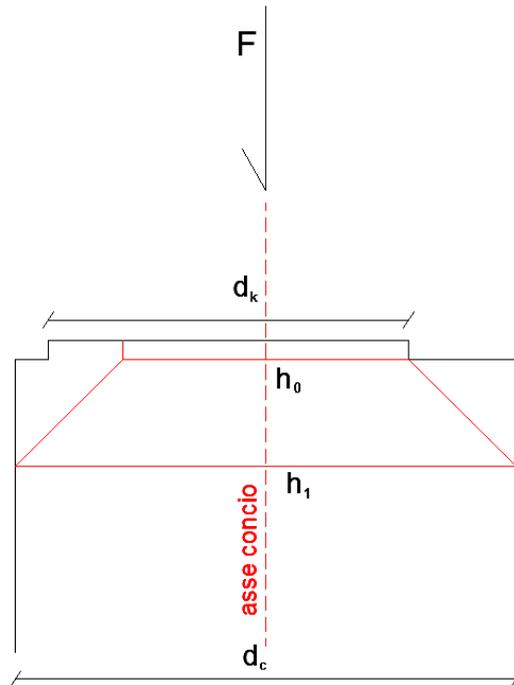


Figura 8-123: configurazione delle distribuzioni di pressione

Si calcola ora la larghezza di contatto h_0 :

$$h_0 = d_k - 2(e_{giunto}) = 0.324 - 2 \cdot (0.0332) = 0.257m$$

d_k : larghezza del giunto circonferenziale.

$e_{martinetto}$: eccentricità del martinetto rispetto all'asse del concio.

e_{giunto} : eccentricità del giunto rispetto all'asse del concio.

La rispettiva larghezza omotetica h_1 risulta essere pari a:

$$h_1 = 2(d_c/2 - e_{martinetto}) = 2 \cdot \left(\frac{0.45}{2} - 0.0\right) = 0.45m$$

d_c : rappresenta lo spessore del concio

$e_{martinetto}$: eccentricità del martinetto rispetto all'asse del concio.

La lunghezza di contatto della zona caricata a_0 risulta essere pari proprio alla lunghezza della scarpa.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 187 di 280

$$a_0 = L_{scarpa} = 0.88m$$

La lunghezza della zona omotetica a_1 è calcolata come segue.

$$a_1 = (h_1 - h_0) + L_{scarpa} = (0.45 - 0.257) + 0.88 = 1.07 m$$

La spinta di progetto al di sotto di ogni scarpa è calcolata come segue.

$$F_{sd} = (T_{TBM} \cdot 1.3)/21 = (80)/21 = 3.810 MN = 3810 kN$$

Dimensionamento del concio nella fase di spinta

SWSTM Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL CONCIO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Compressione

spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	80	
Numero delle scarpe	N_H [-]	21	
Eccentricità dei martinetti	ϵ_v [m]	0.00	
Coefficiente di incremento del carico	γ_{SLU} [-]	1.00	

Resistenza del segmento " $F_{sd} \leq F_{Rd} \leq F_{max}$ "

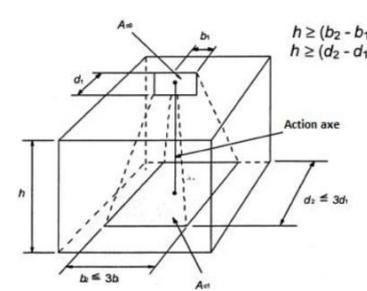
Largezza di pressione	h_0 [m]	0.257	Larghezza della superficie proiettata	h_1 [m]	0.45
Lunghezza di pressione	a_0 [m]	0.88	Lunghezza della superficie proiettata	a_1 [m]	1.07
Resistenza del cls	"SLU"	f_{cd} [MPa]	25.5		

$$F_{sd} = \Sigma F \cdot \gamma_F$$

$$F_{Rd} = A_{c0} \cdot F_{cd} \cdot \sqrt{A_{c1} / A_{c0}}$$

$$F_{max} = 3 A_{c0} \cdot f_{cd}$$

Sforzo agente	"SLU"	$F_{sd,E}$ [kN]	3810
Resistenza	"SLU"	F_{Rd} [kN]	8427
	"SLU"	F_{max} [kN]	17301



La verifica delle pressioni di contatto risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 188 di 280

Si riporta di seguito anche la **verifica SLU** della sezione presso inflessa al di sotto della scarpa soggetta alle seguenti sollecitazioni di compressione e momento flettente.

$$N = -3810 \text{ kN}$$

$$M = N \times e = -3810 \times 0.00 = 0 \text{ kNm}$$

La sezione di calcolo ha una larghezza pari a quella delle scarpe e un'altezza pari allo spessore del concho. Le armature resistenti longitudinali al di sotto della scarpa si considerano a favore di sicurezza 3+3 Φ 10.

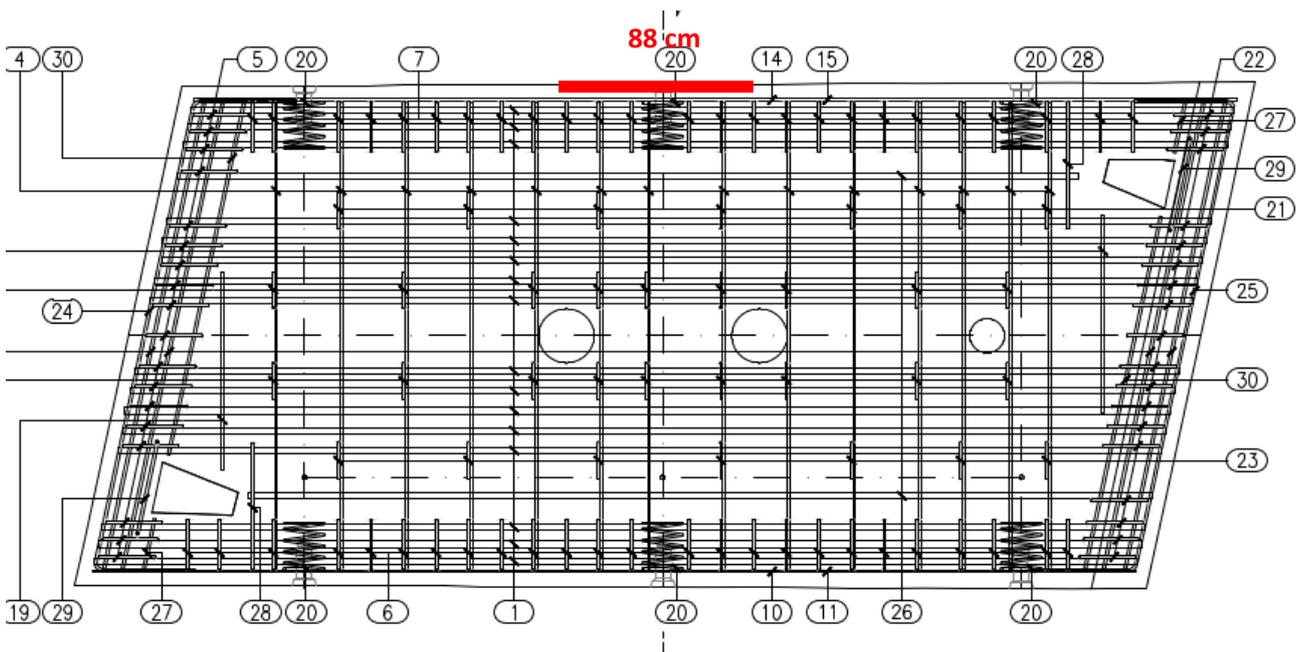


Figura 8-124: Layout di armatura al di sotto della scarpa

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA				LOTTO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU				1BEZZ
08 - GALLERIE		CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		RH	GN0000003	C	189 di 280	

Sezione al di sotto della scarpa- Armatura longitudinale

INPUT

SOLLECITAZIONI DI VERIFICA

Combinazione	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	V _{Sd} [kN]
SLE Quasi Permanente	0.0	0.0	-
SLE Frequente	0.0	0.0	-
SLE Rara	0.0	0.0	-
SLU	-3810.0	0.0	0.0
SLV	0.0	0.0	0.0

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.

Geometria della sezione			
Base (ortogonale al Taglio)	B [cm]	88	
Altezza (parallela al Taglio)	H [cm]	45	
Altezza utile della sezione	d [cm]	40	
Area di calcestruzzo	A _c [cm ²]	3960	

Armatura longitudinale tesa		1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
Numero Barre	n	3	0	0
Diametro	φ [mm]	10	0	0
Posizione dal lembo esterno	c [cm]	5.5	0.0	0.0
Area strato	As [cm ²]	2.36	0.00	0.00
Rapporto di armatura	ρ [%]	0.068%		

Armatura longitudinale compressa		1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
Numero Barre	n	3	0	0
Diametro	φ [mm]	10	0	0
Posizione dal lembo esterno	c' [cm]	5.5	0.0	0.0
Area strato	As' [cm ²]	2.36	0.00	0.00
Rapporto di armatura	ρ' [%]	0.068%		

Armatura trasversale		1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO
Diametro	φ [mm]	0	0	0
Numero bracci	n _{bt}	0	0	0
Passo	s _w [cm]	0	0	0
Inclinazione	α [deg]	90	90	90
Area armatura a metro	A _{sw/s_w} [cm ² /m]	0.00	0.00	0.00

CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI

Concrete		
Resistenza cubica a compressione	RCK	55
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f _{ck} [Mpa]	45.00
Resistenza cilindrica media a compressione	f _{cm} [Mpa]	53.00
Resistenza media a trazione per flessione	f _{ctm} [Mpa]	3.80
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	f _{ctk} [Mpa]	2.66
Resistenza di progetto a compressione	f _{cd} [Mpa]	25.50
Resistenza di progetto delle bielle compresse	f _{cd'} [Mpa]	12.55
Acciaio		
Resistenza di progetto a snervamento	f _{y,d} [Mpa]	391.30

OUTPUT

VERIFICHE IN ESERCIZIO

Verifica Tensionale		σ _c [Mpa]	σ _s [Mpa]	σ limit
Calcestruzzo SLE Quasi Permanente		0.00	0.00	20.250
Calcestruzzo SLE Rara		0.00	0.00	27.000
Acciaio SLE Rara		0.00	0.00	360.000
Verifica di fessurazione		w _d [mm]		w limit
Combinazione SLE Quasi permanente		0.000	0.000	0.200
Combinazione SLE Frequente		0.000	0.000	0.200

VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO

Sollecitazioni di progetto		V _{Sd} [kN]	N _{Sd} [kN]
Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)		0.0	0.0
Sforzo Normale concomitante al massimo taglio			0.0

Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica		V _{Rd1} [kN]	182.74
Resistenza di progetto senza armatura specifica			
Coefficiente di sicurezza		V _{Rd1} /V _{Sd}	-

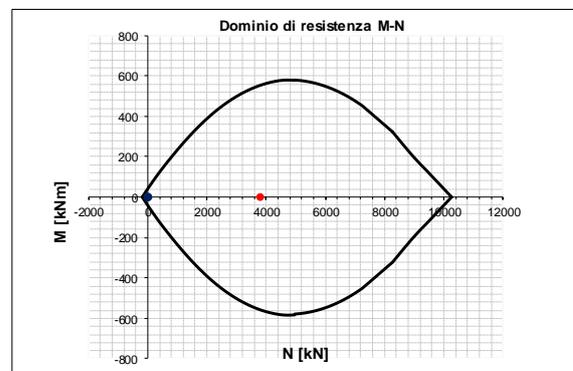
Verifica di resistenza dell'armatura specifica		cot(θ)	2.5
CoTan(θ) di progetto			
Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls		V _{Rd2} (θ) [kN]	-
Resistenza a taglio dell'armatura		V _{Rd3} (θ) [kN]	-
Resistenza a taglio di progetto		V _{Rd} [kN]	-
Coefficiente di sicurezza		V _{Rd} /V _{Sd}	-

VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE

Sollecitazioni di progetto		SLU	SLV
Momento sollecitante		M _{Sd} [kNm]	0.0
Sforzo Normale concomitante		N _{Sd} [kN]	-3810.0

Verifica di resistenza in termini di momento		SLU	SLV
Momento resistente		M _{Rd} [kNm]	556.2
Coefficiente di sicurezza		M _{Rd} /M _{Sd}	-

Verifica di resistenza in termini di sforzo normale		SLU	SLV
Sforzo normale resistente		N _{Rd} [kN]	-
Coefficiente di sicurezza		N _{Rd} /N _{Sd}	-



APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 190 di 280

8.7.9.2. Valutazione della spinta massima ammissibile in esercizio in condizioni di appoggio regolare

Il modello a cui si farà riferimento è il seguente, con valori di molle di appoggio regolare uniforme sotto tutto il concio.

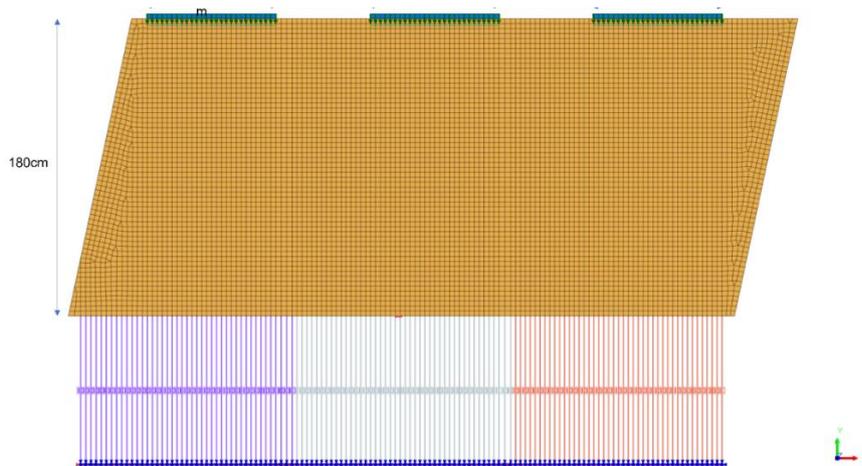


Figura 8-125: Mesh

Si valuterà la spinta massima tale da permettere al concio di soddisfare le verifiche SLE.

Si riporta di seguito la trattazione per l'individuazione della spinta massima ammissibile in esercizio in condizioni di appoggio regolare.

La spinta massima individuata per il soddisfacimento di tutte le verifiche SLE è pari a 52 MN per il concio di questa tipologia.

Verifica tensionale in direzione radiale SLE

Di seguito si riporta la verifica tensionale SLE delle barre di armatura in direzione radiale.

Nella verifica vengono considerate staffe $\Phi 10/125\text{cm}$ con due bracci.

In questo caso le armature che resistono alla trazione sono n.14 staffe totali.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	191 di 280

Dimensionamento del concio nella fase di spinta della TBM



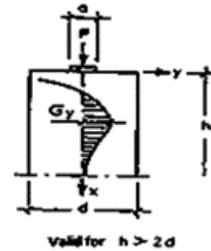
RESISTENZA DEL SEGMENTO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Bursting in direzione radiale

Spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	52.0	F_{sd} = Spinta di progetto della TBM
Spinta SLU della TBM	T_{SLE} [MN]	52.0	
Numero delle scarpe tot.	N_H [-]	21	
Lunghezza delle scarpe	L_1 [m]	0.88	
Larghezza zona di pressione	a [m]	0.197	
Larghezza zona di pressione proietta	d [m]	0.390	
Coeff. di combinazione SLE	γ_{SLE} [-]	1.00	
Resistenza a trazione di calcolo	f_{yd} [MPa]	391	
Diametro delle barre	\emptyset [mm]	10	
Numero dei bracci	n [-]	2	
Passo delle barre	s [mm]	125	

$$P = F_{sd, ULS}$$

$$Z = 0.3 P * [1 - a / d]$$

$$A_{s, min} = Z / f_{yd}$$

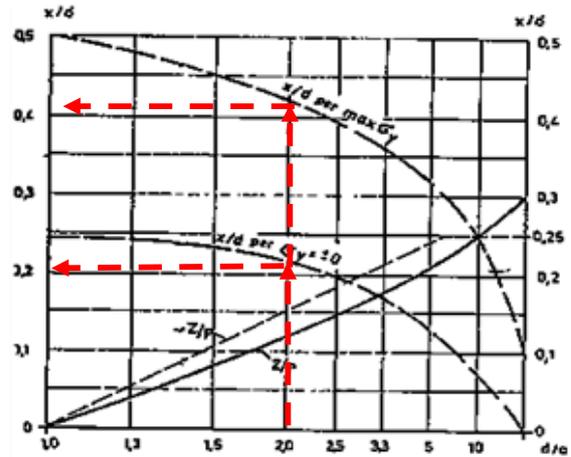


$$A_s = n * [L_1 / s] A_{\emptyset}$$

$$x_1 = k_1 * d$$

$$x_2 = k_2 * d$$

Induced tensile stress		
Sforzo di trazione	Z [kN]	368
armatura adottata	A_s [cm ²]	11.00
Trazione su ogni singola barra	Z_i [kN]	26.3
Tensione su ogni singola barra	σ_i [MPa]	334.3
Tensione massima ammissibile SLE	$0.75 f_{yk}$ [MPa]	337.5
Coeff. di sicurezza	FS_{cd} [-]	1.01



Profondità in corrispondenza della tensione nulla

$$x_1 / d = 0.21 \quad x_1 = 8.2 \text{ [cm]}$$

Profondità in corrispondenza della tansione max

$$x_2 / d = 0.42 \quad x_2 = 16.4 \text{ [cm]}$$

La verifica tensionale SLE risulta soddisfatta per le staffe in direzione radiale.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 192 di 280

Verifica tensionale in direzione circonferenziale SLE

L'azione della spinta dei martinetti in direzione circonferenziale viene svolta mediante un'analisi numerica 2D lineare applicando una spinta macchina totale pari a 40MN, di cui si riporta l'output delle tensioni di seguito.

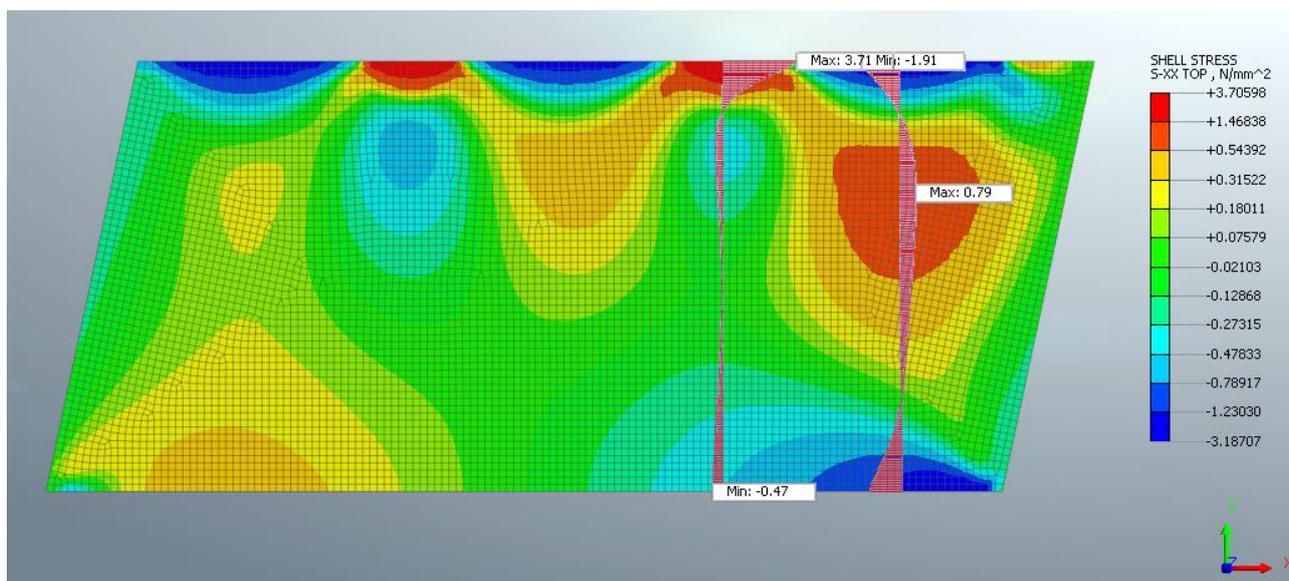


Figura 8-126: Modello Midas FEA NX verifiche SLE spinta Ordinaria

Si riportano di seguito i due diagrammi, rispettivamente per effetto spalling ed effetto bursting, in un grafico più facilmente comprensibile affiancando ad esso la sezione longitudinale del cono con le barre di armatura collaboranti nel tratto interessato dagli sforzi di trazione.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 193 di 280

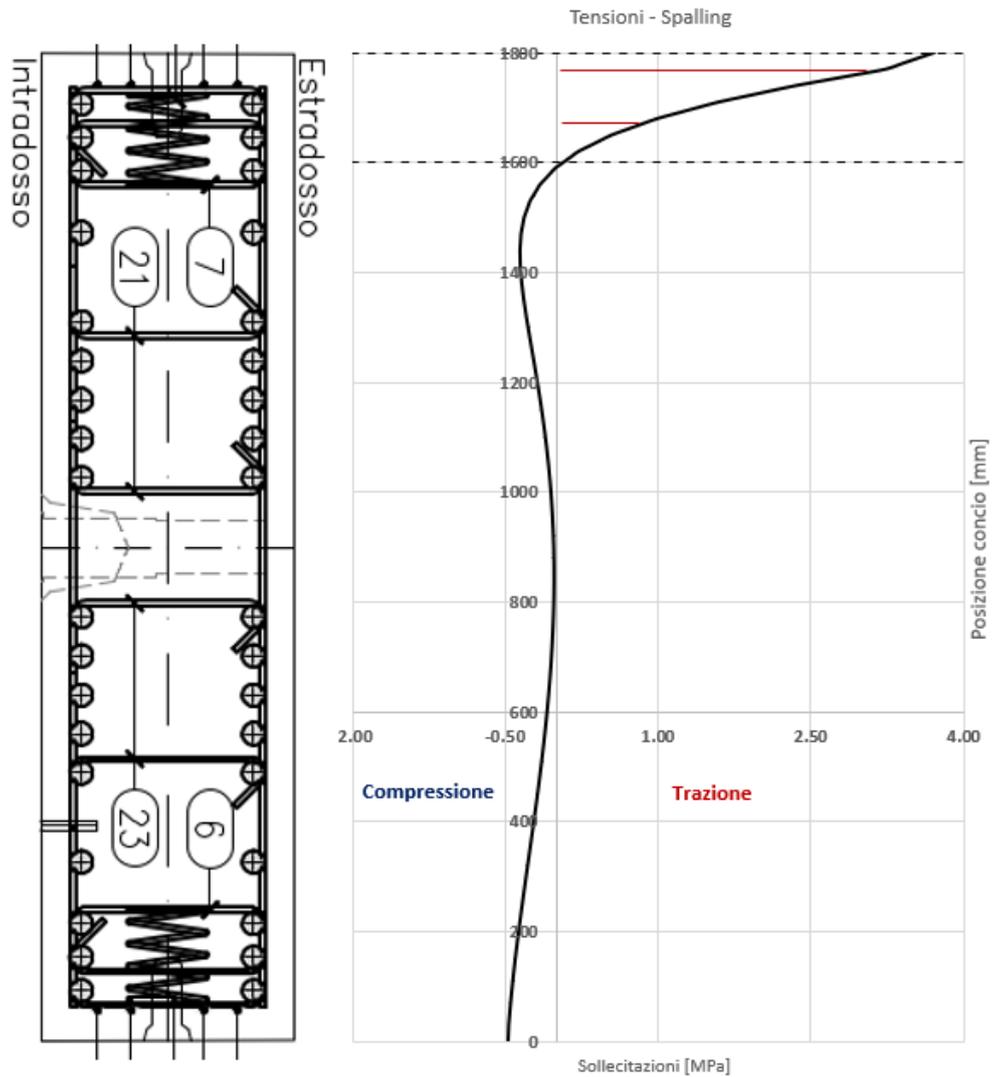


Figura 8-127: Andamento delle sollecitazioni effetto spalling tra le scarpe di spinta

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 194 di 280

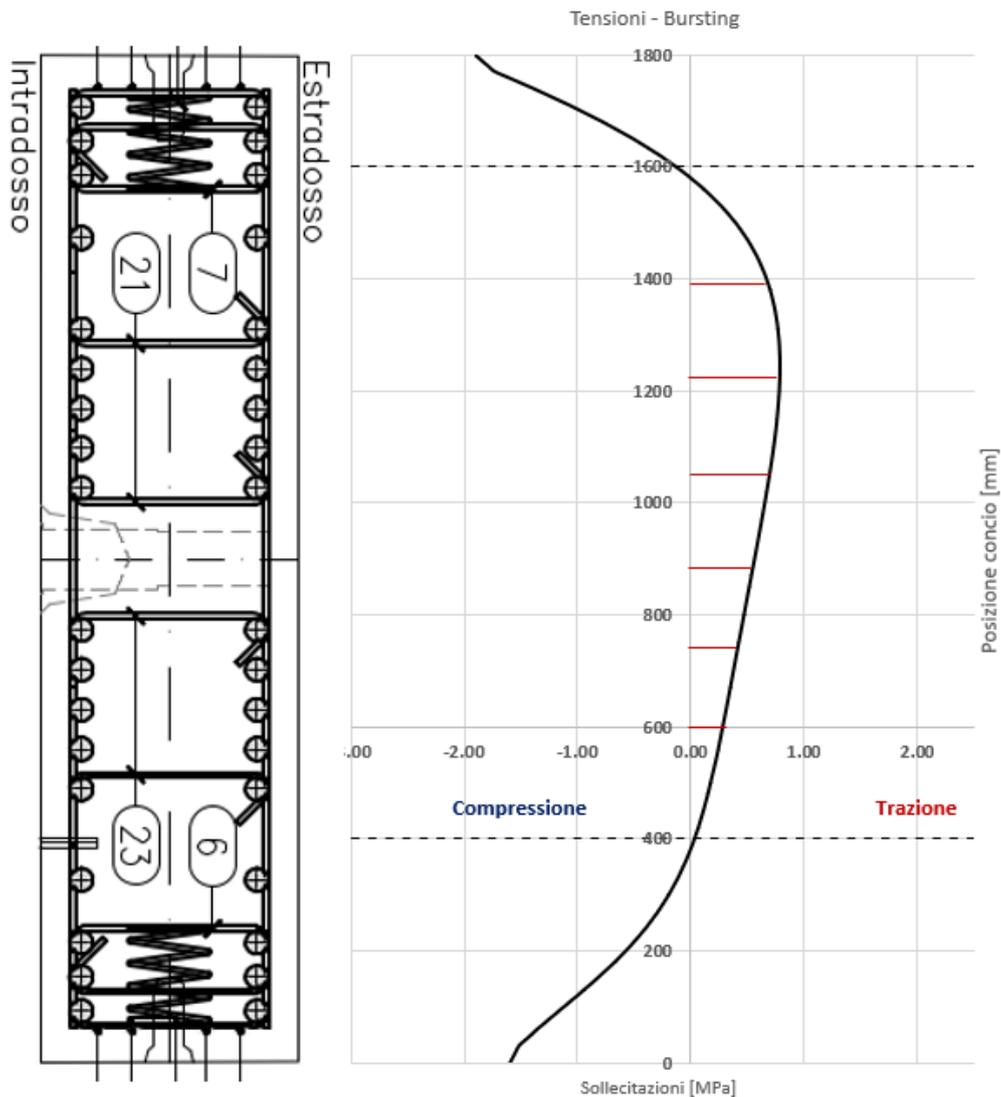


Figura 8-128: Andamento delle sollecitazioni effetto bursting sotto le scarpe di spinta

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva contenente le verifiche tensionali SLE (NTC08 §4.1.2.2.5.1) in direzione circonferenziale.

Sezione di analisi	$\sigma_{s, \text{limite}}$ [MPa]	T_{ed} (integrazione) [kN]	Barre collaboranti	A_s [mm ²]	$\sigma_{s, \text{agente}}$ [MPa]	Verifica
Spalling	$\sigma_{s, \text{limite}} = 0.75 \cdot f_{yk} = 337.5$	145.35	4 $\phi 10 + 4 \phi 22$	1836	$\sigma_s = T_{ed}/A_s = 79$	$\sigma_s < \sigma_{s, \text{limite}}$ Verifica soddisfatta
Bursting	$\sigma_{s, \text{limite}} = 0.75 \cdot f_{yk} = 337.5$	268	12 $\phi 22$	4560	$\sigma_s = T_{ed}/A_s = 59$	$\sigma_s < \sigma_{s, \text{limite}}$ Verifica soddisfatta

Tabella 8-17: Verifiche SLE a trazione armature

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 195 di 280

Si riporta di seguito la **verifica a fessurazione**, secondo quanto prescritto dall'EC2 §7.3.4, per l'effetto spalling tra le piastre di spinta.

Come spiegato nelle ipotesi di base si riporta il diagramma delle sollecitazioni di spalling tra le scarpe per le quali si integrano le trazioni per ottenere il tiro agente sulla sezione.

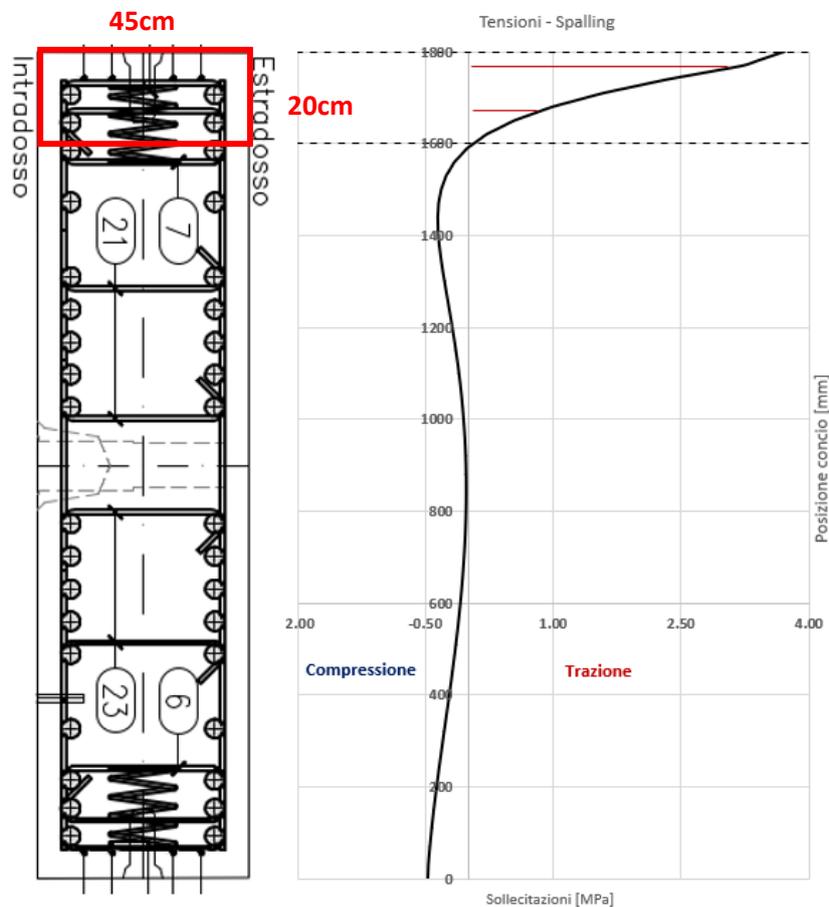


Figura 8-129: Andamento delle tensioni circolari tra le scarpe.

La sezione considerata per il calcolo della fessurazione ha un'altezza di 20cm (altezza delle trazioni) e una base di 45cm (spessore concio).

Le armature coinvolte nella zona di trazione sono le seguenti: 4Φ10+4Φ22.

Integrando le tensioni si ottiene un tiro di:

$$F_{Spalling} = t \cdot \sum \Delta z \cdot \sigma_{xx} = 145.3 \text{ kN}$$

t: spessore del concio;

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 196 di 280

Δz : discretizzazione lungo la posizione del concio;

σ_{xx} : tensione agente.

Il baricentro di spinta del tiro rispetto al lembo superiore del concio viene calcolato come segue.

$$z_{tiro} = \frac{t \cdot \sum z_i \cdot \sigma_{i,xx}}{F_{spalling}} = 0.064 \text{ m}$$

L'azione di tiro si trova a 6.4 cm dal bordo esterno del concio.

L'eccentricità rispetto al baricentro della sezione considerata di altezza 20 cm risulta essere.

$$e = \frac{h}{2} - z_{tiro} = \frac{0.20}{2} - 0.064 = 0.036 \text{ m}$$

Il momento agente sulla sezione è calcolato come di seguito.

$$M_{ed} = F_{spalling} \cdot e = 145 \cdot 0.036 = 5.2 \text{ kNm}$$

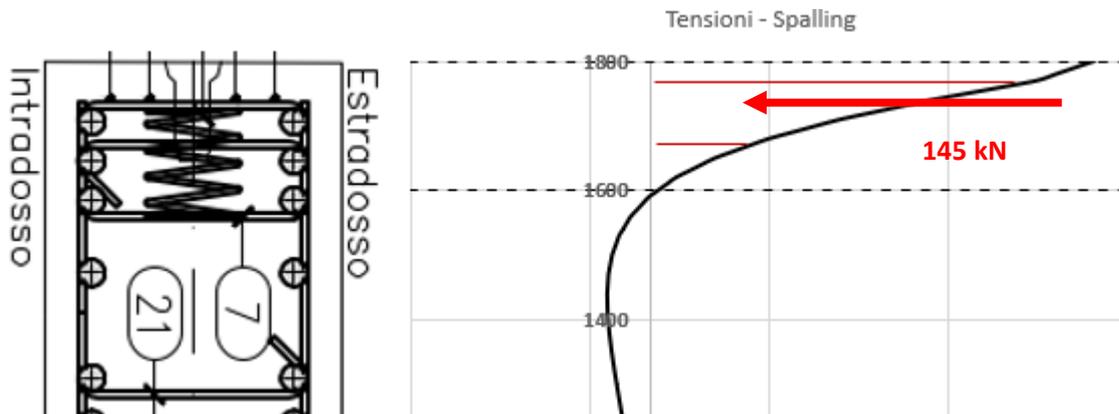


Figura 8-130: Posizione del tiro di spalling.

Di seguito si riporta la verifica a fessurazione.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA - PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	197 di 280

Fessurazione per spalling tra le scarpe

INPUT

SOLLECITAZIONI DI VERIFICA

Combinazione	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	V _{Sd} [kN]
SLE Quasi Permanente	145.4	5.2	-
SLE Frequente	145.4	5.2	-
SLE Rara	145.4	5.2	-
SLU	0.0	0.0	0.0
SLV	0.0	0.0	0.0

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.

Geometria della sezione		
Base (ortogonale al Taglio)	B [cm]	45
Altezza (parallela al Taglio)	H [cm]	20
Altezza utile della sezione	d [cm]	12
Area di calcestruzzo	A _c [cm ²]	900

Armatura longitudinale tesa	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	
Numero Barre	n	4	2	0
Diametro	φ [mm]	10	22	0
Posizione dal lembo esterno	c [cm]	5.5	8.9	0.0
Area strato	As [cm ²]	3.14	7.60	0.00
Rapporto di armatura	ρ [%]	1.974%		

Armatura longitudinale compressa	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	
Numero Barre	n	2	0	0
Diametro	φ [mm]	22	0	0
Posizione dal lembo esterno	c' [cm]	4.3	0.0	0.0
Area strato	As' [cm ²]	7.60	0.00	0.00
Rapporto di armatura	ρ' [%]	1.397%		

Armatura trasversale	1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO	
Diametro	φ [mm]	0	0	0
Numero bracci	n _{bt}	0	0	0
Passo	s _w [cm]	0	0	0
Inclinazione	α [deg]	90	90	90
Area armatura a metro	A _{sw} /s _w [cm ² /m]	0.00	0.00	0.00

CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI

Concrete		
Resistenza cubica a compressione	RCK	55
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f _{ck} [Mpa]	45.00
Resistenza cilindrica media a compressione	f _{cm} [Mpa]	53.00
Resistenza media a trazione per flessione	f _{ctm} [Mpa]	3.80
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	f _{ctk} [Mpa]	2.66
Resistenza di progetto a compressione	f _{cd} [Mpa]	25.50
Resistenza di progetto delle bielle compresse	f _{cd'} [Mpa]	12.55
Acciaio		
Resistenza di progetto a snervamento	f _{y,d} [Mpa]	391.30

OUTPUT

VERIFICHE IN ESERCIZIO

Verifica Tensionale		σ limit
Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	σ _c [Mpa] =	3.81 20.250
Calcestruzzo SLE Rara	σ _c [Mpa] =	3.81 27.000
Acciaio SLE Rara	σ _s [Mpa] =	191.38 360.000

Verifica di fessurazione		w limit
Combinazione SLE Quasi permanente	w _d [mm] =	0.000 0.200
Combinazione SLE Frequente	w _d [mm] =	0.000 0.200

VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO

Sollecitazioni di progetto		
Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)	V _{Rd1} [kN]	0.0
Sforzo Normale concomitante al massimo taglio	N _{Sd} [kN]	0.0

Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica		
Resistenza di progetto senza armatura specifica	V _{Rd1} [kN]	58.28
Coefficiente di sicurezza	V _{Rd1} /V _{Sd}	-

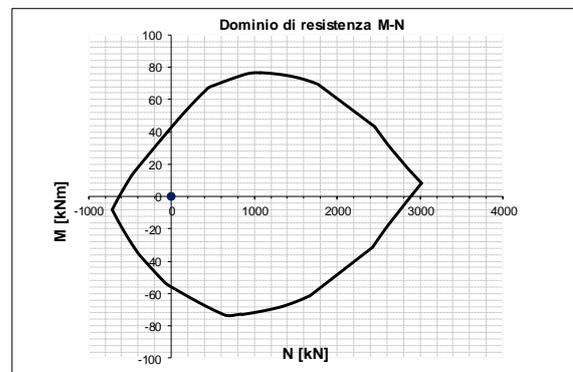
Verifica di resistenza dell'armatura specifica		
CoTan(θ) di progetto	cotan(θ)	2.5
Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls	V _{Rd2} (θ) [kN]	-
Resistenza a taglio dell'armatura	V _{Rd3} (θ) [kN]	-
Resistenza a taglio di progetto	V _{Rd} [kN]	-
Coefficiente di sicurezza	V _{Rd} /V _{Sd}	-

VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE

Sollecitazioni di progetto		SLU	SLV
Momento sollecitante	M _{Sd} [kNm]	0.0	0.0
Sforzo Normale concomitante	N _{Sd} [kN]	0.0	0.0

Verifica di resistenza in termini di momento		SLU	SLV
Momento resistente	M _{Rd} [kNm]	42.9	42.9
Coefficiente di sicurezza	M _{Rd} /M _{Sd}	-	-

Verifica di resistenza in termini di sforzo normale		SLU	SLV
Sforzo normale resistente	N _{Rd} [kN]	-	-
Coefficiente di sicurezza	N _{Rd} /N _{Sd}	-	-



APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 198 di 280

Si riporta di seguito la **verifica a fessurazione**, secondo quanto prescritto dall'EC2 §7.3.4, per l'effetto bursting al di sotto delle piastre di spinta.

Come spiegato nelle ipotesi di base si riporta il diagramma delle sollecitazioni di bursting sotto le scarpe per le quali si integrano le trazioni per ottenere il tiro agente sulla sezione.

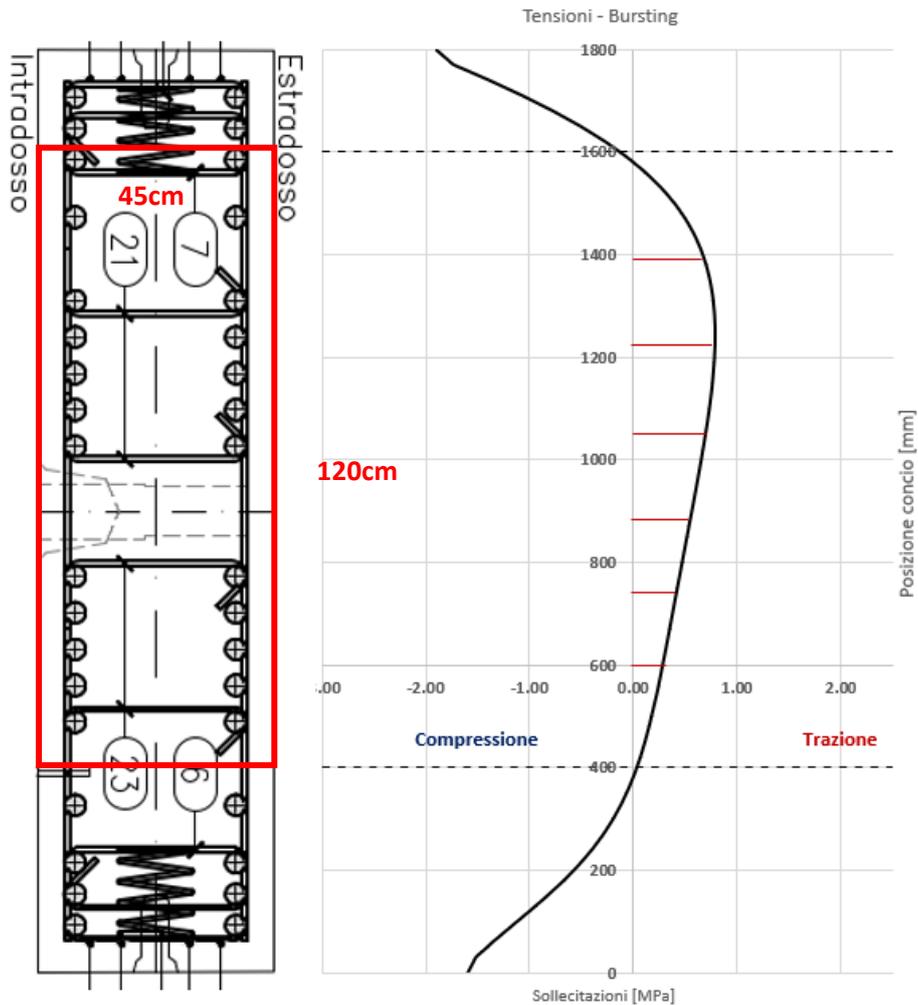


Figura 8-131: Andamento delle tensioni circolari sotto le scarpe.

La sezione considerata per il calcolo della fessurazione ha un'altezza di 120cm (altezza delle trazioni) e una base di 45cm (spessore concio).

Le armature coinvolte nella zona di trazione sono le seguenti: 6Φ22+6Φ22.

Integrando le tensioni si ottiene un tiro di:

$$F_{Bursting} = t \cdot \sum \Delta z \cdot \sigma_{xx} = 268 \text{ kN}$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	199 di 280

t: spessore del concio;

Δz : discretizzazione lungo la posizione del concio;

σ_{xx} : tensione agente.

Il baricentro di spinta del tiro rispetto al lembo superiore del concio viene calcolato come segue.

$$z_{tiro} = \frac{t \cdot \sum z_i \cdot \sigma_{i,xx}}{F_{Bursting}} = 0.73 \text{ m}$$

L'azione di tiro si trova a 73 cm dal bordo esterno del concio.

L'eccentricità rispetto al baricentro della sezione considerata di altezza 120 cm risulta essere.

$$e = z - \frac{h}{2} - z_{tiro} = 1.4 - \frac{1.2}{2} - 0.73 = 0.07 \text{ m}$$

Il momento agente sulla sezione è calcolato come di seguito.

$$M_{ed} = F_{Bursting} \cdot e = 268 \cdot 0.07 = 18.6 \text{ kNm}$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 200 di 280

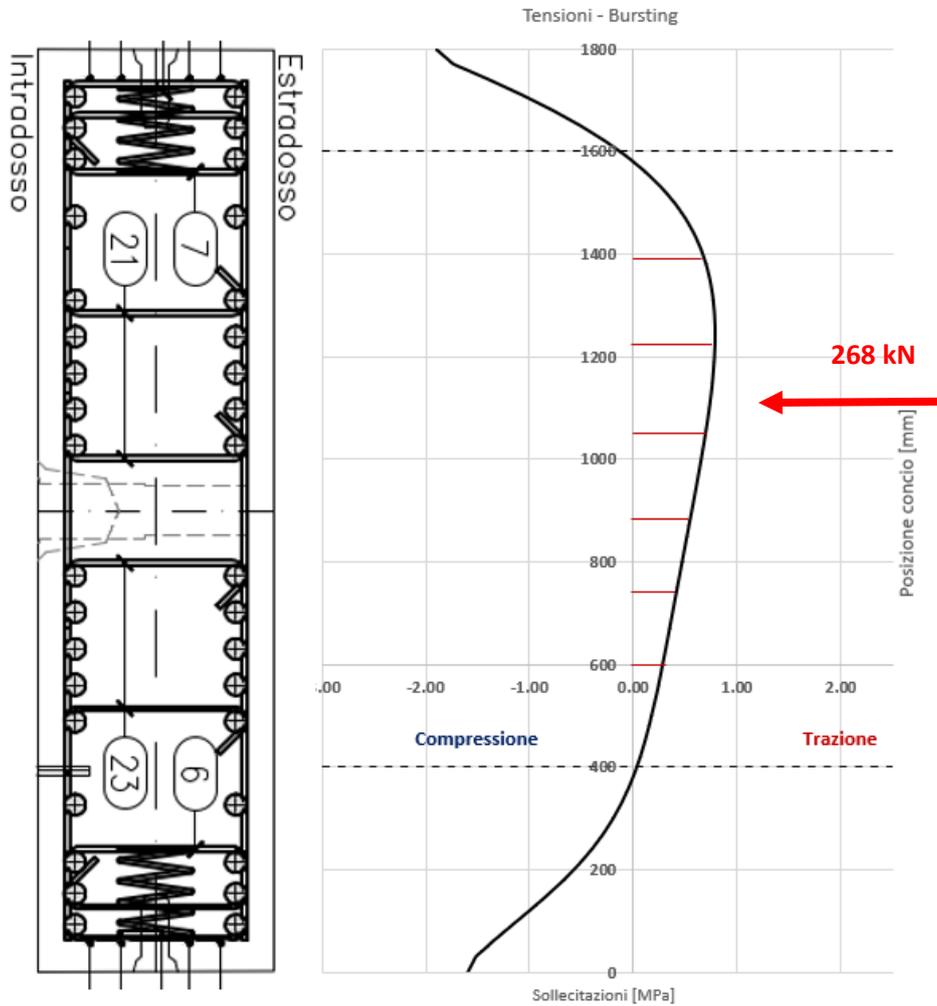


Figura 8-132: Posizione del tiro di bursting.

Di seguito si riporta la verifica a fessurazione.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA - PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN000003	REV. C	FOGLIO. 201 di 280

Fessurazione per bursting circonferenziale sotto le scarpe

INPUT

SOLLECITAZIONI DI VERIFICA

Combinazione	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	V _{Sd} [kN]
SLE Quasi Permanente	268.0	18.6	-
SLE Frequente	268.0	18.6	-
SLE Rara	268.0	18.6	-
SLU	0.0	0.0	0.0
SLV	0.0	0.0	0.0

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.

Geometria della sezione			
Base (ortogonale al Taglio)	B [cm]	45	
Altezza (parallela al Taglio)	H [cm]	120	
Altezza utile della sezione	d [cm]	91	
Area di calcestruzzo	A _c [cm ²]	5400	

Armatura longitudinale tesa				
		1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
Numero Barre	n	2	2	2
Diametro	φ [mm]	12	12	12
Posizione dal lembo esterno	c' [cm]	13.0	30.0	43.0
Area strato	A _s [cm ²]	2.26	2.26	2.26
Rapporto di armatura	ρ [%]	0.165%		

Armatura longitudinale compressa				
		1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
Numero Barre	n	2	2	2
Diametro	φ [mm]	12	12	12
Posizione dal lembo esterno	c' [cm]	50.0	37.0	23.0
Area strato	A _s ' [cm ²]	2.26	2.26	2.26
Rapporto di armatura	ρ' [%]	0.165%		

Armatura trasversale				
		1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO
Diametro	φ [mm]	0	0	0
Numero bracci	n _{bi}	0	0	0
Passo	s _w [cm]	0	0	0
Inclinazione	α [deg]	90	90	90
Area armatura a metro	A _{sw} /s _w [cm ² /m]	0.00	0.00	0.00

CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI

Concrete		
Resistenza cubica a compressione	RCK	55
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f _{ck} [Mpa]	45.00
Resistenza cilindrica media a compressione	f _{cm} [Mpa]	53.00
Resistenza media a trazione per flessione	f _{ctm} [Mpa]	3.80
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	f _{ctk} [Mpa]	2.66
Resistenza di progetto a compressione	f _{cd} [Mpa]	25.50
Resistenza di progetto delle bielle compresse	f _{cd} ' [Mpa]	12.55

Acciaio		
Resistenza di progetto a snervamento	f _{yd} [Mpa]	391.30

OUTPUT

VERIFICHE IN ESERCIZIO

Verifica Tensionale		σ limit	
Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	σ _c [Mpa] =	0.00	20.250
Calcestruzzo SLE Rara	σ _c [Mpa] =	0.00	27.000
Acciaio SLE Rara	σ _s [Mpa] =	218.71	360.000

Verifica di fessurazione		w limit	
Combinazione SLE Quasi permanente	w _d [mm] =	0.000	0.200
Combinazione SLE Frequente	w _d [mm] =	0.000	0.200

VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO

Sollecitazioni di progetto			
Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)		V _{Rd1} [kN]	0.0
Sforzo Normale concomitante al massimo taglio		N _{Sd} [kN]	0.0

Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica			
Resistenza di progetto senza armatura specifica		V _{Rd1} [kN]	171.63
Coefficiente di sicurezza		V _{Rd1} /V _{Sd}	-

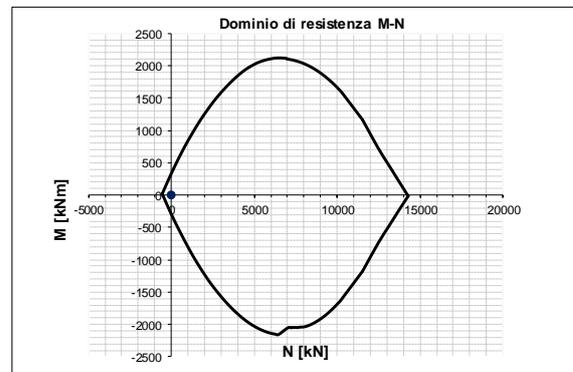
Verifica di resistenza dell'armatura specifica			
CoTan(θ) di progetto		cotan(θ)	2.5
Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls		V _{Rd2} (θ) [kN]	-
Resistenza a taglio dell'armatura		V _{Rd3} (θ) [kN]	-
Resistenza a taglio di progetto		V _{Rd} [kN]	-
Coefficiente di sicurezza		V _{Rd} /V _{Sd}	-

VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE

Sollecitazioni di progetto			
Momento sollecitante		M _{Sd} [kNm]	0.0
Sforzo Normale concomitante		N _{Sd} [kN]	0.0

Verifica di resistenza in termini di momento			
Momento resistente		M _{Rd} [kNm]	326.9
Coefficiente di sicurezza		M _{Rd} /M _{Sd}	-

Verifica di resistenza in termini di sforzo normale			
Sforzo normale resistente		N _{Rd} [kN]	-
Coefficiente di sicurezza		N _{Rd} /N _{Sd}	-



APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 202 di 280

Per quanto riguarda la **verifica tensionale SLE del calcestruzzo** si confronteranno la tensione agente con quella limite in condizione di esercizio.

La spinta di progetto al di sotto di ogni scarpa è calcolata come segue.

$$F_{sd} = (T_{TBM})/21 = (52)/21 = 2.476 \text{ MN} = 2476 \text{ kN}$$

Dimensionamento del concio nelle fasi di spinta della TBM

SWSTM Innovation in underground solutions

RESISTENZA DEL CONCIO SOTTO LA SPINTA DELLA TBM - Compressione

spinta caratteristica della TBM	T_{TBM} [MN]	52	
Numero delle scarpe	N_H [-]	21	
Eccentricità dei martinetti	ϵ_V [m]	0.03	
Coefficiente di incremento del carico	γ_{SLE} [-]	1.00	

Resistenza del segmento " $F_{Sd} \leq F_{Rd} \leq F_{max}$ "

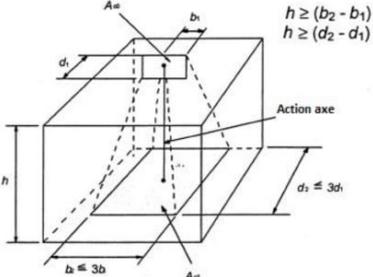
Largezza di pressione	h_0 [m]	0.197	Largezza della superficie proiettata	h_1 [m]	0.39
Lunghezza di pressione	a_0 [m]	0.88	Lunghezza della superficie proiettata	a_1 [m]	1.07
Resistenza del cls	"SLE"	f_{ck} [MPa]	45.0		

$$F_{sd} = \Sigma F * \gamma_F$$

$$F_{Rd} = A_{c0} * F_{cd} * \sqrt{A_{c1} / A_{c0}}$$

$$F_{max} = 3 A_{c0} * f_{cd}$$

Sforzo agente	"SLE"	$F_{Sd,E}$ [kN]	2476
Tensione agente	"SLE"	$\sigma_{cd} = F_{Sd,E} / A_{c1}$ [MPa]	5.92
Tensione max SLE	"SLE"	$\sigma_{max} = 0.45 f_{ck}$ [MPa]	20.3



La verifica tensionale SLE risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 203 di 280

8.7.9.3. Spinta non uniforme

Spinta della TBM, $40 \times 1.3 = 52\text{MN}$.

Anche in questo caso poiché il Concio tipo C presenta un'armatura circonferenziale (18+18Φ22) più pesante rispetto a quella del concio tipo B (16+16Φ20) ed essendo sottoposto ad una spinta inferiore rispetto a quella del concio tipo B; la verifica è automaticamente verificata.

8.7.9.4. Errato appoggio

Spinta della TBM, $40 \times 1.3 = 52\text{MN}$.

Poiché il Concio tipo C presenta un'armatura circonferenziale (18+18Φ22) più pesante rispetto a quella del concio tipo B (16+16Φ20) ed essendo sottoposto ad una spinta inferiore rispetto a quella del concio tipo B; la verifica è automaticamente verificata.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 204 di 280

9. VERIFICA ELEMENTI SECONDARI

Nel seguente capitolo si riportano le verifiche degli elementi secondari:

- Connettori;
- Guarnizioni;
- Coni di centraggio.

9.1 VERIFICA DEI CONNETTORI

I connettori longitudinali presenti sul giunto circonferenziale dell'anello devono essere verificati sia a taglio che a estrazione (pull-out).

Verranno proposte due differenti situazioni di carico. La prima risulta essere la più sfavorevole ed è quella dovuta alla forza creata dal peso proprio del concio singolo sospeso in chiave di calotta nell'ipotesi sfavorevole in cui esso non sia tenuto in posizione dalle scarpe del sistema di spinta della TBM.

La seconda verifica è quella dovuta al sostegno del peso di un concio in posizione verticale e la risposta elastica delle guarnizioni. Si rimanda ai capitoli successivi per ulteriori spiegazioni.

9.1.1 Verifica del concio sospeso

Nella prima situazione di carico di quelle appena esposte devono essere sempre i connettori a garantire che il concio non cada. La forza di pull-out viene chiamata in causa in questo caso dall'effetto leva del concio sospeso.

Il peso proprio del concio più grande è di 82 kN (W_s), mentre il coefficiente dinamico considerato è pari a 1.2. Questo coefficiente tiene conto della possibilità che improvvisamente il concio resti appeso come una mensola con un effetto di dondolio che ne aumenta fittiziamente il peso.

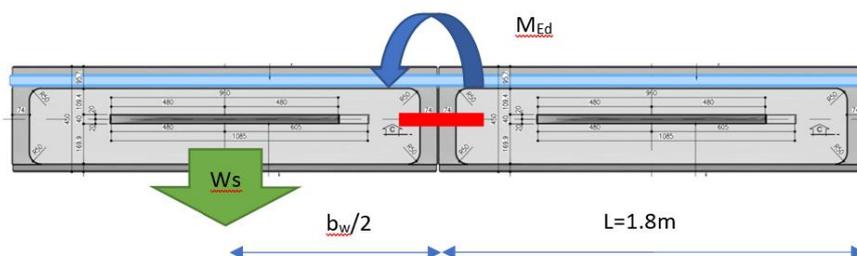
Le azioni di progetto saranno allora:

$$\gamma_{Q,dyn} = 1.2 \quad \gamma_G = 1.3$$

$$V_{Ed} = \gamma_{Q,dyn} \cdot \gamma_G \cdot W_s = 1.2 \cdot 1.3 \cdot 82 = 128 \text{ kN}$$

La forza verticale per ogni connettore sarà definita come:

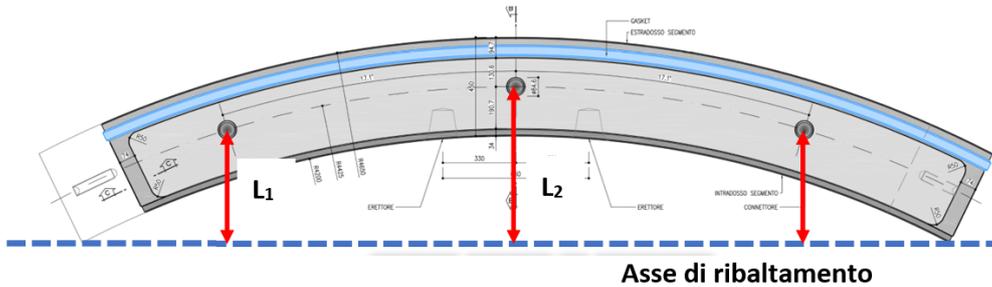
$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{n_{connectors}} = \frac{128}{3} = 43 \text{ kN}$$



APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 205 di 280

Ne deriva un momento ribaltante pari a :

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot \frac{b_w}{2} = 128 \cdot \frac{1.8}{2} = 115 \text{ kNm}$$



Il momento di progetto sarà allora:

$$M_{Ed} = 2 \cdot F_{t,Ed} \cdot L_1 + F_{t,Ed} \cdot L_2$$

Dove F è la forza orizzontale che agisce sul singolo connettore, ovvero la forza di pull-out, che può essere calcolata quindi come:

$$F_{t,Ed} = \frac{M_{Ed}}{2 \cdot L_1 + L_2} = \frac{115}{2 \cdot 0.51 + 0.71} = 67 \text{ kN}$$

Dal calcolo eseguito si evincono che le forze di progetto agenti su ciascun connettore sono pari a :

$$\text{Taglio} = F_{v,Ed} = 43 \text{ kN}$$

$$\text{Pull-out} = F_{t,Ed} = 67 \text{ kN}$$

Di conseguenza, per poter rispettare la disequazione che tiene conto della presenza combinata di trazione (pull-out) e taglio sul connettore, si propongono le seguenti resistenze di progetto:

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,k}}{\gamma_{M,v}} = \frac{140}{1.25} = 112 \text{ kN}$$

$$F_{PO,Rd} = \frac{F_{PO,k}}{\gamma_{M,PO}} = \frac{100}{1.25} = 80 \text{ kN}$$

La verifica combinata taglio / trazione è la seguente :

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{PO,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{43}{112} + \frac{67}{1.4 \cdot 80} = 0.98 \leq 1$$

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 206 di 280

La resistenza dei connettori nel caso del concio sospeso risulta soddisfatta, in quanto la disuguaglianza è vera.
La tipologia di connettore Fama-SmartBlock 100-140 asimmetrico garantisce le prestazioni richieste.

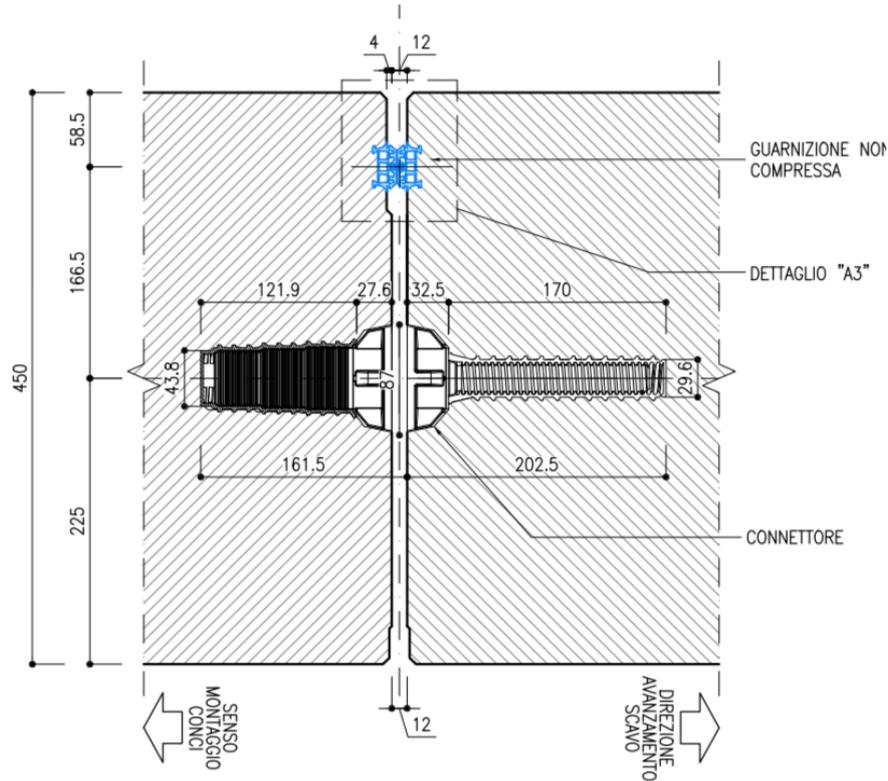


Figura 9-1: Dettaglio costruttivo del connettore (lato anello-anello)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 207 di 280	

9.1.2 Verifica di interazione gasket – connettore

9.1.2.1. Verifica pull-out

Si riporta, nel seguente paragrafo, la verifica ordinaria della chiusura del giunto circolare. Tale verifica prevede che 3 connettori resistano a pull out sotto la reazione della guarnizione compressa quando sono retratte le 3 scarpe per installare il concio.

$$F_{E,el} = \frac{\pi(D_{est} - 2d_{cava})}{N_{segm}} \cdot F_{gap0} = \frac{\pi(9.3 - 2 \cdot 0.0585)}{7} \cdot 47 = 193.7 \text{ kN}$$

$$F_{R,pullout} = \frac{F_{po,conn}}{FS} \cdot N_{s,conn} = \frac{100}{1.25} \cdot 3 = 254 \text{ kN}$$

La verifica risulta soddisfatta in quanto $F_{R,pullout} > F_{E,el}$.

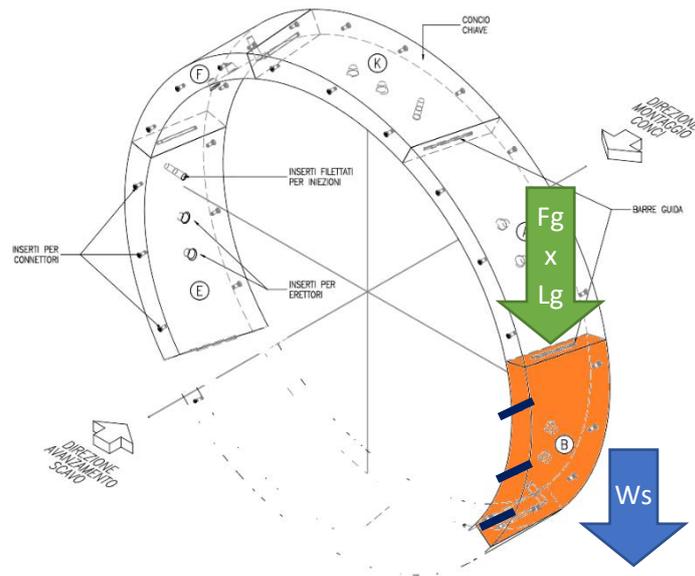
9.1.2.2. Verifica di elongazione del connettore

Il connettore selezionato dovrà garantire sotto la spinta del gasket relativa alla sua superficie di influenza una elongazione compatibile con il gap di progetto per la guarnizione pari a 4mm. Tale elongazione sarà valutata sul punto di equilibrio tra la curva trazione-deformazione del connettore e la curva compressione-gap della guarnizione. Tale verifica verrà integrata in fase di progettazione di dettaglio sulla base dei dati forniti dal fornitore.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 208 di 280

9.1.3 Verifica del giunto longitudinale

Nel caso del concio in verticale, il sistema di connessione deve sostenere il peso del concio e chiudere il giunto longitudinale. Le due forze sono contrastate dalla forza di taglio dei connettori.



Ciascun connettore deve contenere 1/3 del carico di taglio generato dai giunti longitudinali più 1/3 del peso del concio.

$$F_{v,Ed} = (\gamma_G \cdot W_s + F_g \cdot L_g) / N_c$$

$F_{v,Ed}$: Forza di taglio sul connettore [kN]

F_g : Forza di compressione della guarnizione per metro lineare = 48 kN/m

L_g : Lunghezza della guarnizione sul giunto longitudinale = 1,8 m

W_c : Peso del concio = 82 kN

N_c : Numero di allineatori per concio = 3

Di conseguenza:
$$F_{v,Ed} = \frac{1,3 \cdot 82 + 48 \cdot 1,8}{3} = 64 \text{ kN} \quad \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right) = \left(\frac{64}{112} \right) = 0,57 \leq 1$$

Il carico a taglio generato dalle reazioni delle guarnizioni longitudinali e dal peso del concio in verticale sui connettori è pari a 64 kN. Tale carico è ottenuto quando il giunto longitudinale è completamente chiuso. Nella condizione reale sussiste un'apertura del giunto che riduce il carico generato dalle guarnizioni. La verifica risulta soddisfatta in quanto il taglio agente è inferiore a quello resistente.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 209 di 280	

9.1 VERIFICA DELLE GUARNIZIONI

9.1.1 Prestazione di tenuta idraulica

Le specifiche tecniche per lo scavo meccanizzato richiedono una garanzia di tenuta stagna della guarnizione sotto una pressione idraulica di 10 bar, tenuto in debito conto della possibile apertura (gap) e disallineamento (offset) dei giunti.

Considerando che durante la vita utile dell'opera, pari a 100 anni, l'elastomero della guarnizione tende a rilassarsi di circa il 65-70% rispetto al valore iniziale, la tenuta idraulica della guarnizione viene dimensionata per un carico idraulico di progetto maggiore rispetto a quello atteso in esercizio.

9.1.2 Caratteristiche della guarnizione

Nei dettagli costruttivi di viene confermata una guarnizione avente le seguenti caratteristiche:

- Tipologia : ancorata in EPDM 70 shore A tipo FAMA UG018A (o equivalente)
- Durezza 70 ± 5 mIRHD
- Resistenza a Trazione ≥ 9 MPa
- Allungamento ≥ 200 %
- Vita utile 100 anni
- Tenuta idraulica in esercizio ≥ 10 bar (Offset = 10 mm, Gap = 5 mm)

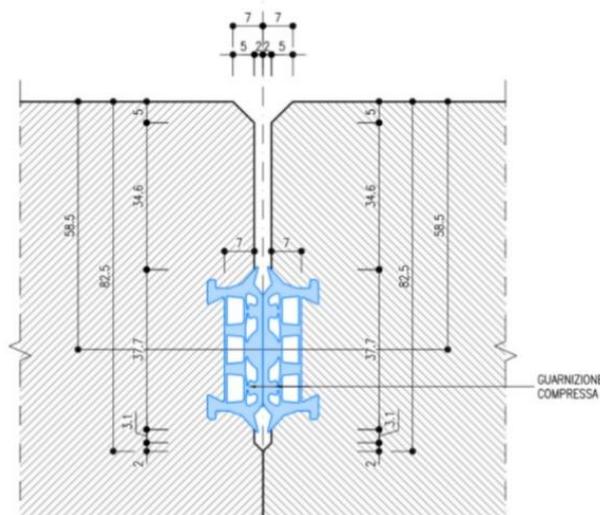


Figura 9-2: Dettaglio costruttivo della guarnizione (lato anello-anello)

9.1.3 Verifica di tenuta idraulica

La massima pressione a cui può resistere il sistema di impermeabilizzazione è funzione della distanza tra la superficie delle due scanalature dei giunti, detto "gap", e dallo spostamento relativo tra i due conci, detto "offset".

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria							<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RH</td> <td>GN0000003</td> <td>C</td> <td>210 di 280</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	210 di 280													

La combinazione tra gap e offset di progetto, che causa una riduzione dell'area di contatto tra i gasket, definisce la massima pressione che può sopportare la guarnizione, a seconda delle curve sperimentali della pressione sopportata in funzione di gap e offset proposte dai produttori.

Per la definizione della tenuta di prova si rimanda al progetto esecutivo di dettaglio sulla base dei dati forniti dal fornitore del prodotto.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 211 di 280

9.2 VERIFICA DEL CUNEO DI CALCESTRUZZO SOTTO LA SPINTA DELLA GUARNIZIONE

Durante la fase di installazione dei segmenti, la chiusura della guarnizione in EPDM genera una sollecitazione localizzata che può produrre la rottura a taglio degli angoli del segmento. Per distribuire meglio queste forze ed evitare la scagliatura degli angoli, la guarnizione è posizionata a una certa distanza dall'estradosso del segmento.

La verifica della resistenza al taglio dell'angolo in calcestruzzo, in conformità con l'EC2 [3], è la seguente:

$$f_{cvd} > \tau_{cpd}$$

- f_{cvd} : resistenza al taglio di progetto in calcestruzzo ;
- τ_{cpd} : forza di taglio di progetto sul cuneo di calcestruzzo.

La superficie di taglio considerata è mostrata nella figura seguente. Consideriamo:

$$\theta = 45^\circ \quad ; \quad d = 60.8 \text{ mm}$$

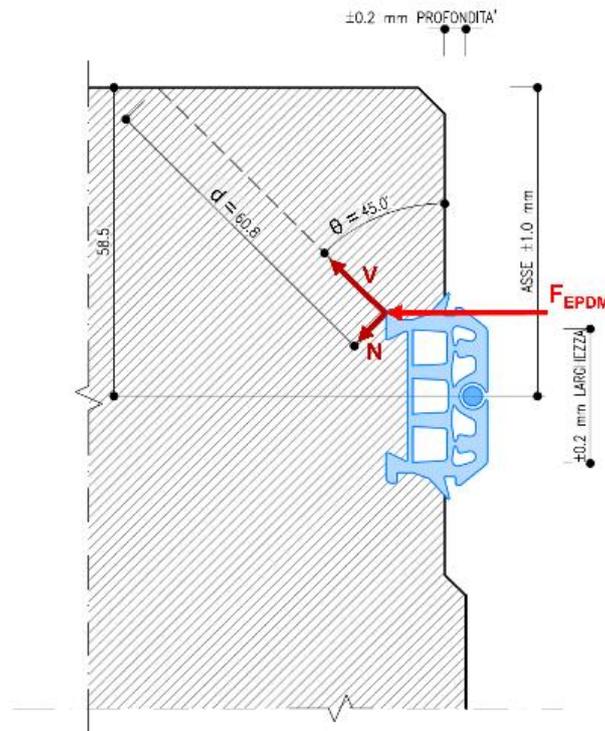


Figura 9-3: Geometria di verifica del cuneo di calcestruzzo sotto la pressione delle guarnizioni

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 212 di 280

LOAD DEFLECTION DIAGRAM GASKET PROFILE

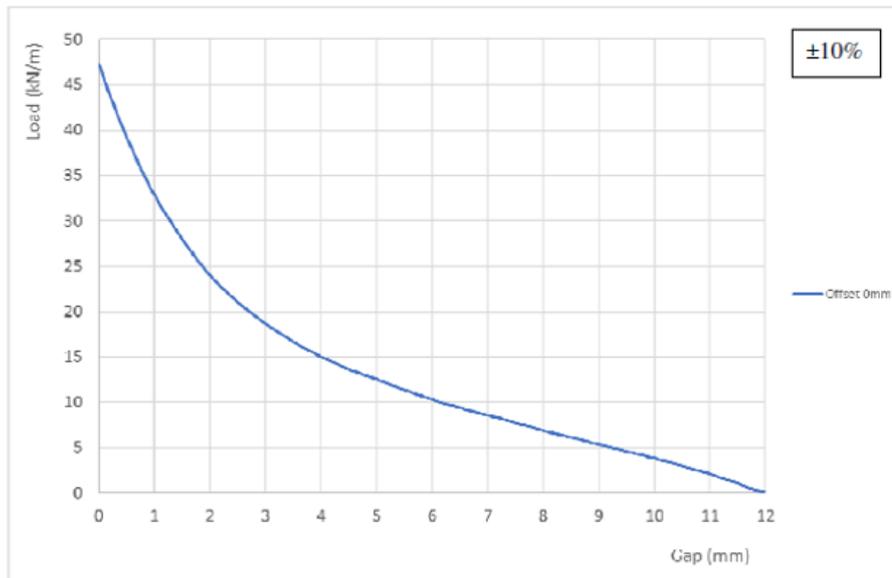


Figura 9-4: Curva forza-Gap della guarnizione con offset 0mm

La forza lineare generata dalla chiusura della guarnizione EPDM, $F_{EPDM}=47 \text{ kN/m}$, viene scomposta nelle seguenti forze:

- Sforzo normale:

$$N_{ed} = \gamma_{F,ELU} \cdot F_{EPDM} \cdot \sin \theta = 1.3 \cdot 47 \text{ kN/m} \cdot \sin(45^\circ) = 43.2 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_{cpd} = \frac{N_{ed}}{d \cdot b} = \frac{43.2 \text{ kN/m}}{0.0608 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}} = 711 \text{ kPa} = 0.71 \text{ MPa}$$

- Sforzo tangenziale:

$$V_{ed} = \gamma_{F,ELU} \cdot F_{EPDM} \cdot \cos \theta = 1.3 \cdot 47 \text{ kN/m} \cdot \cos 45^\circ = 43.2 \text{ kN/m}$$

$$\tau_{cpd} = \frac{k \cdot V_{ed}}{d \cdot b} = \frac{1.5 \cdot 43.2 \text{ kN/m}}{0.0608 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}} = 1066 \text{ kPa} = 1.07 \text{ MPa}$$

La resistenza a taglio del calcestruzzo viene calcolata secondo la norma di riferimento come segue:

$$f_{cva} = \sqrt{f_{ctd}^2 + \sigma_{cpd} \cdot f_{ctd}} = \sqrt{(1.79 \text{ MPa})^2 + 0.71 \text{ MPa} \cdot 1.79 \text{ MPa}} = 2.11 \text{ MPa} > \tau_{cpd} = 1.07 \text{ MPa}$$

La verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 213 di 280

9.3 VERIFICA DEI CONI DI CENTRAGGIO

Durante l'installazione del cono, verrà esercitata sui coni di centraggio una forza data dal peso del cono e della pressione del gasket. Si verifica allora che questa pressione, trasmessa poi dai "pins" dell'erettore al calcestruzzo, sia inferiore alla resistenza a compressione di progetto del cls.

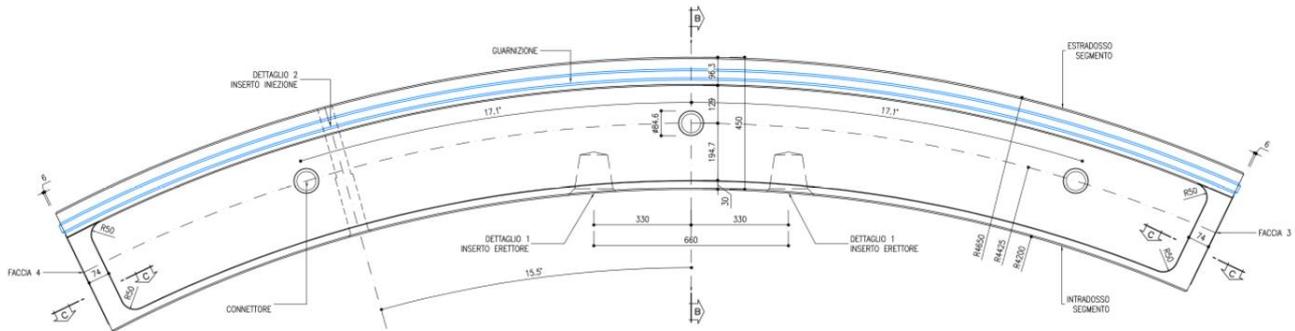


Figura 9-5: Geometria faccia circonferenziale

La simbologia utilizzata nei calcoli viene specificata nella figura riportata di seguito.

VERIFICA CONI DI CENTRAGGIO					
Segment weight	W_v [kN]	82.0			
Manipulation-vibratory effects coeff.	ζ_{MV} [-]	0.60			
Gasket compression	F_{EPDM} [kN/m]	50.00	$F_{spp} = [W_v * \zeta_{MV} + F_j * L_m] / n_{spp}$		
Gasket acting load (50% of F_{EPDM})	F_j [kN/m]	25	$P_{spp} = [F_{spp} / (d_{spp} * h_{spp})] * \gamma_{ULS}$		
Segment width	L_m [m]	1.8	$FS_{spp} = f_{cd} / P_{spp}$		
Security coeff. at ULS combination	γ_{ULS} [-]	1.30			
Number of "shear pin pocket"	n_{spp} [-]	2.00			
Diameter of "shear pin pocket"	d_{spp} [m]	0.05			
Depth of "shear pin pocket"	h_{spp} [m]	0.80			
Effort on the shear pin pocket	F_{spp} [kN]	61.2	Concrete compressive strenght	f_{cd} [MPa]	30.0
Pressure on the shear pin pocket	P_{spp} [MPa]	1.53	Safety factor on "shear pin pocket"	FS_{spp}	19.6

Figura 9-6: Verifica coni di centraggio

La verifica viene eseguita a favore di sicurezza in quanto il sistema di erezione del cono proposto è il vacuum. La verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	214 di 280

9.4 VERIFICA DEI BULLONI LONGITUDINALI

I bulloni hanno il ruolo di resistere alle forze di reazione tra le guarnizioni tra due segmenti adiacenti mantenendoli saldamente insieme. Nei giunti radiali la reazione generata dalla guarnizione è equilibrata con le forze dovute ai carichi propri del suolo e del rivestimento, mentre lungo il giunto circonferenziale la reazione della guarnizione è equilibrata dalla spinta dei pistoni. Ad ogni modo e favore di sicurezza, i bulloni sono verificati per assorbire completamente le reazioni della guarnizione. Il carico della guarnizione è calcolato considerando un giunto completamente chiuso.

Per la verifica del bullone viene usato un T25 di acciaio classe 8.8.

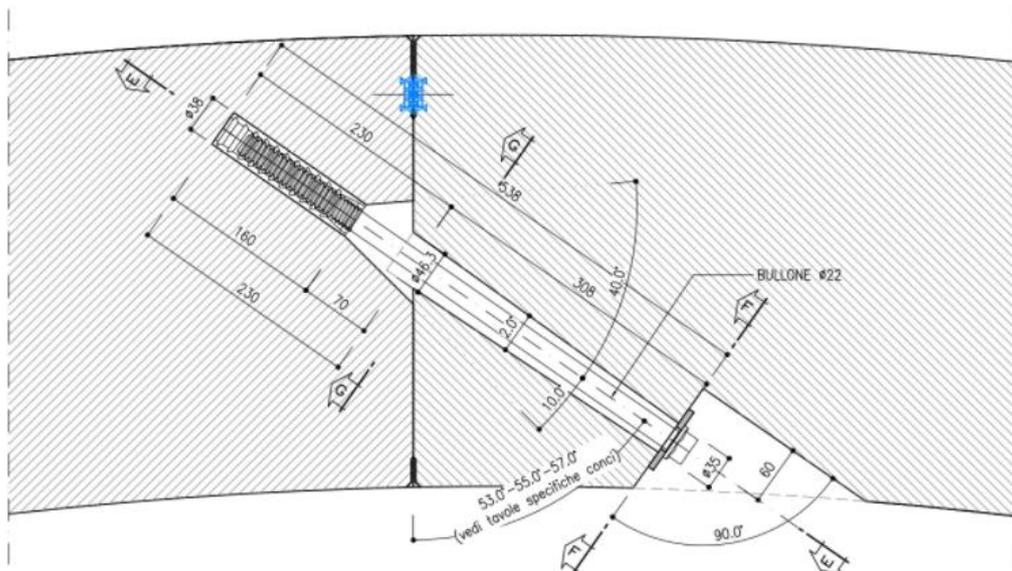


Figura 9-7: Geometria tipologica del giunto

9.4.1 Verifica del bullone dopo il montaggio dell'anello

Nei giunti radiali la forza assiale è generata sia dalla reazione delle guarnizioni, che dal peso proprio dei segmenti. Per valutare l'effetto del peso proprio, per motivi di sicurezza, viene considerato un giunto in posizione chiave, quindi lo schema statico è mostrato nella figura seguente per lo scenario peggiore (larghezza anello, $b_w=1.8$ m).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 215 di 280

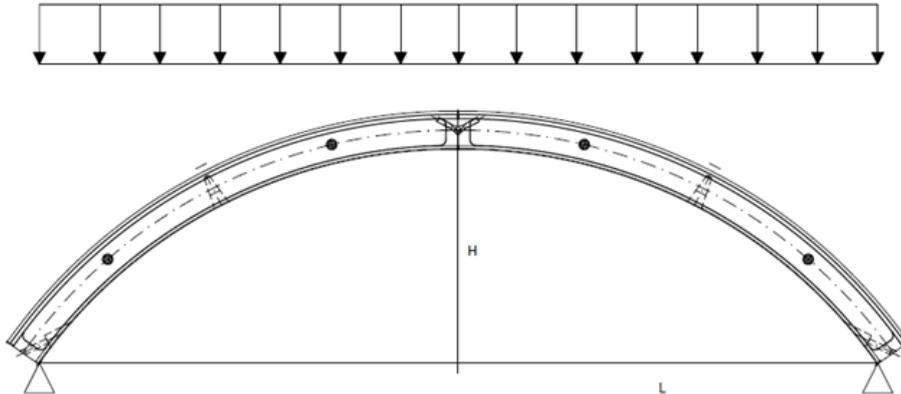


Figura 9-8: Schema statico per ottenere la forza assiale agente

Per risolvere lo schema di equilibrio alla rotazione si adotta la seguente equazione:

$$R_j = \frac{W_s \cdot L/2}{H} = \frac{82 \cdot 3.28/2}{1.82} = 74 \text{ kN}$$

Dove W_s è il peso del concio, L e H sono le condizioni geometriche indicate nella figura precedente.

Il carico per ciascun bullone è generato dalla risposta elastica della guarnizione sul giunto radiale:

$$F_d = \gamma_{G,unfav} \times b_w \times F_g - R_j = 1.35 \times 1.8 \times 50 - 74 = 47.5 \text{ kN.}$$

dove $\gamma_{G,unf}$ è il fattore di sicurezza parziale, b_w è la larghezza del giunto radiale, F_g è la massima forza di reazione della guarnizione.

Considerando una inclinazione del bullone di 30° rispetto all' orizzontale, la forza viene scomposta nelle due componenti di taglio e trazione:

$$N_{Ed} = F_d \cdot \cos\alpha = 47.5 \cdot \cos 30^\circ = 41.2 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = F_d \cdot \sin\alpha = 47.5 \cdot \sin 30^\circ = 23.8 \text{ kN}$$

La resistenza a taglio del bullone è:

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 f_{ub} A_b}{\gamma_b} = \frac{0.6 \cdot 800 \cdot 490 \cdot 10^{-6}}{1.25} = 188 \text{ kN}$$

La resistenza a trazione del bullone è:

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 f_{ub} A_b}{\gamma_b} = \frac{0.9 \cdot 800 \cdot 490 \cdot 10^{-6}}{1.25} = 282 \text{ kN}$$

Mentre la resistenza a sfilamento della bussola filettata (da confermare in seguito alla definizione dell' accessorio) è:

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 216 di 280	

$$F_{PO,Rd} = \frac{f_{uk}}{\gamma_b} = \frac{140}{1.25} = 112 \text{ kN}$$

La verifica del carico combinato di taglio e trazione risulta come segue :

$$\frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{1.4 \cdot \min(F_{t,Rd}; F_{PO,Rd})} = \frac{23.8}{188} + \frac{41.2}{1.4 \cdot 112} = 0.13 + 0.26 = 0.39 < 1$$

9.4.2 Verifica della reazione della guarnizione in fase di montaggio

Se non viene considerata il contributo del peso proprio del concio, la bussola filettata deve resistere alla massima forza di reazione durante il montaggio pari a:

$$N_{Ed,g} = \frac{\gamma_{G,unfav} \cdot b_W \cdot f_G}{n} = \frac{1.35 \cdot 1.8 \cdot 50}{2} = 61 \text{ kN}$$

La componente orizzontale di resistenza a sfilamento della bussola filettata deve essere superiore alla forza di reazione:

$$F_{PO,H} = F_{PO,Rd} \cdot \cos\alpha = \frac{f_{uk} \cdot \cos\alpha}{\gamma_b} = \frac{140 \cdot \cos 30}{1.25} = 97 \text{ kN} > N_{Ed,g}$$

Il bullone è verificato rispetto alla reazione elastica della guarnizione durante la fase di montaggio del concio.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 217 di 280

10. VERIFICA DEI GIUNTI

Nel seguente capitolo si riportano le verifiche dei giunti concio-concetto, considerando l'effettiva area di contatto (detratto di gasket smussi). Le verifiche vengono svolte per le sezioni più gravose considerando tra tutte le sezioni quelle che presentano sollecitazioni assiali massime e quelle con momenti flettenti massimi. Di seguito si riporta la tabella riassuntiva contenente le combinazioni di sollecitazioni più gravose per ciascuna sezione analizzata; lo sforzo normale è considerato negativo se di compressione, mentre il momento flettente è considerato positivo se tende le fibre di intradosso del rivestimento.

Galleria	Sezione Tipo	pk analizzata [m]	Combinazione	N [kNm/m]	M [kNm/m]	$N_{giunto}=N \cdot 1.8 \cdot 1.3$ [kNm]	$M_{giunto}=M \cdot 1.8 \cdot 0.69 \cdot 1.3$ [kNm]	ecc (m)
Scaleres	B	3+890	Nmax	-4548.9	-51.7	10644.5	-83.4	0.0
			Mmax	-3585.0	69.2	8388.8	111.7	0.0
	B	4+650	Nmax	-4903.3	-81.5	11473.6	-131.6	0.0
			Mmax	-4425.2	-89.8	10354.9	-145.0	0.0
	A	5+490	Nmax	-4712.5	-0.4	11027.4	-0.7	0.0
			Mmax	-4418.0	-48.1	10338.1	-77.7	0.0
	A	6+170	Nmax	-4716.1	-2.3	11035.6	-3.6	0.0
			Mmax	-4662.9	-33.0	10911.2	-53.2	0.0
	B	6+425	Nmax	-5367.6	-51.6	12560.3	-83.3	0.0
			Mmax	-5226.5	-69.0	12230.0	-111.4	0.0
	B	7+590	Nmax	-6279.2	-81.6	14693.4	-131.8	0.0
			Mmax	-4296.5	128.5	10053.7	207.5	0.0
	B	8+635	Nmax	-6319.2	-159.9	14787.0	-258.2	0.0
			Mmax	-5879.5	-176.7	13758.0	-285.3	0.0
	A	9+140	Nmax	-4672.7	-18.2	10934.0	-29.3	0.0
			Mmax	-4648.3	-52.4	10876.9	-84.6	0.0
	B	9+340	Nmax	-6719.7	-27.6	15724.0	-44.5	0.0
			Mmax	-6392.6	-89.0	14958.7	-143.7	0.0
	B	11+020	Nmax	-6413.1	-142.3	15006.6	-229.8	0.0
			Mmax	-6004.3	-154.5	14050.0	-249.4	0.0
	B	12+510	Nmax	-6000.4	-58.7	14040.9	-94.9	0.0
			Mmax	-5675.4	-74.1	13280.5	-119.6	0.0
	B	12+775	Nmax	-5969.7	-111.2	13969.1	-179.5	0.0
			Mmax	-4743.4	149.3	11099.6	241.0	0.0
	B	13+770	Nmax	-6283.6	-66.4	14703.6	-107.2	0.0
			Mmax	-6045.4	-86.1	14146.2	-139.0	0.0
	A	14+500	Nmax	-4695.4	9.4	10987.2	15.2	0.0
			Mmax	-4656.1	-54.3	10895.2	-87.6	0.0
	A	14+600	Nmax	-4709.7	0.6	11020.6	0.9	0.0
			Mmax	-4655.0	-45.0	10892.7	-72.7	0.0
A	14+950	Nmax	-4704.2	-1.9	11007.8	-3.0	0.0	
		Mmax	-4615.3	-38.0	10799.7	-61.4	0.0	
B	15+225	Nmax	-4700.8	6.5	10999.9	10.4	0.0	
		Mmax	-4668.3	-45.7	10923.7	-73.8	0.0	

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 218 di 280

Galleria	Sezione Tipo	pk analizzata [m]	Combinazione	N [kNm/m]	M [kNm/m]	$N_{giunto}=N \cdot 1.8 \cdot 1.3$ [kNm]	$M_{giunto}=M \cdot 1.8 \cdot 0.69 \cdot 1.3$ [kNm]	ecc (m)
Gardena	A	16+450	Nmax	-4972.3	-46.3	11635.1	-74.8	0.0
			Mmax	-4878.6	-48.2	11415.8	-77.8	0.0
	A	16+540	Nmax	-4811.7	-26.4	11259.5	-42.7	0.0
			Mmax	-4749.9	-43.5	11114.8	-70.3	0.0
	B	16+750	Nmax	-4562.3	-29.6	10675.8	-47.8	0.0
			Mmax	-4559.4	-30.4	10669.1	-49.1	0.0
	B	17+475	Nmax	-3785.5	-87.3	8858.1	-141.0	0.0
			Mmax	-3190.2	88.3	7465.1	142.6	0.0
	B	18+400	Nmax	-4557.0	-18.0	10663.3	-29.1	0.0
			Mmax	-4147.9	-44.4	9706.1	-71.6	0.0
	B	18+600	Nmax	-4557.0	-18.0	10663.3	-29.1	0.0
			Mmax	-4147.9	-44.4	9706.1	-71.6	0.0
	B	18+600	Nmax	-5701.9	-123.0	13342.4	-198.5	0.0
			Mmax	-4849.2	127.8	11347.2	206.4	0.0
	A	19+450	Nmax	-4501.3	5.2	10533.0	8.4	0.0
			Mmax	-4243.6	-62.0	9930.0	-100.1	0.0
	A	20+450	Nmax	-4702.7	7.8	11004.2	12.5	0.0
			Mmax	-4610.2	-53.1	10787.8	-85.8	0.0
	A	21+275	Nmax	-4687.6	-5.0	10969.1	-8.1	0.0
			Mmax	-4373.8	-55.3	10234.6	-89.3	0.0

Galleria	Sezione Tipo	pk analizzata [m]	Combinazione	N [kNm/m]	M [kNm/m]	$N_{giunto}=N \cdot 1.8 \cdot 1.3$ [kNm]	$M_{giunto}=M \cdot 1.8 \cdot 0.69 \cdot 1.3$ [kNm]	ecc (m)
Interconnessione B.P.	B	0+500	Nmax	-5964.8	-29.4	13957.7	-47.5	0.0
			Mmax	-5950.3	-34.2	13923.8	-55.2	0.0
	A	0+700	Nmax	-4640.1	-13.8	10857.8	-22.3	0.0
			Mmax	-4633.6	-15.0	10842.6	-24.1	0.0
	B	1+830	Nmax	-5484.5	-48.9	12833.8	-79.0	0.0
			Mmax	-5455.0	-53.9	12764.7	-87.0	0.0
	A	2+110	Nmax	-4708.3	-9.2	11017.3	-14.8	0.0
			Mmax	-4674.7	-20.4	10938.9	-33.0	0.0
	A	2+335	Nmax	-1217.8	-2.6	2849.6	-4.2	0.0
			Mmax	-1152.4	-5.1	2696.6	-8.2	0.0
	B	2+625	Nmax	-501.1	-13.0	1172.6	-20.9	0.0
			Mmax	-501.1	-13.0	1172.6	-20.9	0.0
	B	2+680	Nmax	-533.0	-29.8	1247.1	-48.1	0.0
			Mmax	-237.9	81.8	556.7	132.1	0.2
Interconnessione B.D.	A	0+515	Nmax	-4698.3	-10.6	10994.1	-17.2	0.0
			Mmax	-4595.6	-16.5	10753.7	-26.7	0.0
	B	1+065	Nmax	-5464.9	-23.9	12787.9	-38.6	0.0
			Mmax	-5425.3	-29.9	12695.1	-48.3	0.0
	A	1+500	Nmax	-4647.4	-15.5	10875.0	-25.1	0.0
			Mmax	-4545.0	-15.7	10635.3	-25.4	0.0
	B	2+720	Nmax	-5548.6	3.4	12983.8	5.5	0.0
			Mmax	-5374.7	-45.0	12576.7	-72.6	0.0
	B	2+910	Nmax	-2963.6	4.3	6934.9	6.9	0.0
			Mmax	-2842.3	-34.4	6651.0	-55.5	0.0

Galleria	Sezione Tipo	pk analizzata [m]	Combinazione	N [kNm/m]	M [kNm/m]	$N_{giunto}=N \cdot 1.8 \cdot 1.3$ [kNm]	$M_{giunto}=M \cdot 1.8 \cdot 0.69 \cdot 1.3$ [kNm]	ecc (m)
Pila 13 B.P.	C	0+516	Nmax	-3594.0	-74.9	8410.0	-121.0	0.0
			Mmax	-1389.0	58.1	3250.3	93.8	0.0
Pila 14 B.P.		1+935	Nmax	-1970.0	193.7	4609.8	312.7	0.1
			Mmax	-816.1	-171.5	1909.7	-276.9	0.1
Linea Storica B.P.		2+490	Nmax	-749.4	-218.5	1753.5	-352.8	0.2
			Mmax	-305.6	260.1	715.2	419.9	0.6
Rilevato A22 B.D.		3+140	Nmax	-1604.0	-286.6	3753.4	-462.7	0.1
			Mmax	-759.5	356.0	1777.2	574.8	0.3
Funes A22		1+1370	Nmax	-1262.0	137.6	2953.1	222.2	0.1
			Mmax	-442.0	-149.7	1034.3	-241.7	0.2
Forch A22	2+1100	Nmax	-1791.0	-102.0	4190.9	-164.7	0.0	
		Mmax	-955.9	131.5	2236.8	212.3	0.1	

Figura 10-1: Combinazioni di sollecitazioni massime per verifiche dei giunti

Tra tutte le sezioni analizzate le seguenti due presentano sforzo assiale massimo e momento flettente massimo:

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 219 di 280

- Pk 9+340 Scaleres GN01: si veda elaborato IBOU1BEZZCLGN0100001;
- Pk 8+635 Scaleres GN01: si veda elaborato IBOU1BEZZCLGN0100001.

Nella seguente figura viene riportato il dettaglio del giunto circonferenziale con i relativi valori utilizzati nei calcoli riportati nei successivi paragrafi.

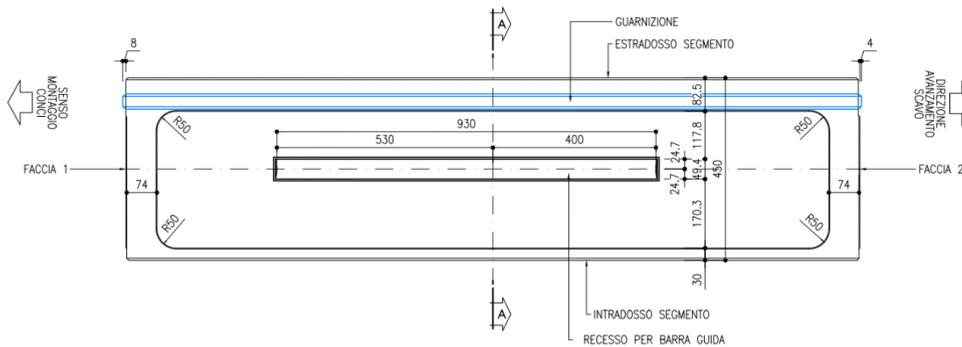


Figura 10-2: Dettaglio giunto longitudinale

Il tiro sulle armature di frettaggio viene calcolato come segue (EC2):

$$T = 0.3 \cdot N_d \cdot \left(1 - \frac{d_1}{d_s}\right)$$

Dove:

- N_d rappresenta lo sforzo assiale derivante dalle analisi numeriche svolte con il software Plaxis 2D;
- d_1 rappresenta la dimensione di carico equivalente;
- d_s rappresenta la dimensione del blocco di compressione.

Tale sforzo viene confrontato con la resistenza delle barre d'armatura F_{yd} calcolata moltiplicando l'area dell'armatura reagente per la resistenza di progetto f_{yd} .

Si riporta di seguito il dettaglio dell'armatura di frettaggio adottata sul giunto longitudinale:

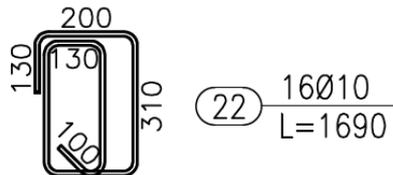


Figura 10-3: Dettaglio armatura di frettaggio giunto longitudinale

L'area totale di tali staffe, considerando due bracci, risulta:

$$A_s = 16 \cdot 2 \cdot \frac{10^2 \pi}{4} = 2513 \text{ mm}^2$$

Le verifiche a compressione del calcestruzzo vengono svolte analiticamente secondo quanto riportato in EC2 al §6.7. Si riportano di seguito le peggiori condizioni di coppie M-N.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 220 di 280	

10.1PK 9+340 SCALERES

Nel seguente paragrafo si considerano le condizioni sismiche, moltiplicando le sollecitazioni, ottenute dal modello FEM in Plaxis 2D, per $\gamma_G=1.3$ e per la lunghezza del modello pari ad 1.8 m. Il momento flettente viene ulteriormente moltiplicato per $1-\xi=1-0.31=0.69$, al fine considerare l'effetto dei giunti radiali sull'anello tramite la formulazione di Miur -Wood.

In corrispondenza della formazione di Filladi in faglia 22, alla pk 9+340, si riscontra il momento flettente massimo sul rivestimento definitivo che risulta essere pari a 45 kNm con sforzo assiale corrispondente pari a 15724 kN. Si riporta di seguito la verifica del giunto:

Giunto - M(-)		
Caratteristiche dei materiali e coefficienti di sicurezza		
f_{yk}	= 450 [Mpa]	Resistenza caratteristica a snervamento
f_{cd}	= 25.5 [Mpa]	Resistenza di progetto a compressione
α_{cc}	= 0.85 -	Coefficiente riduttivo di resistenza di lunga durata
γ_c	= 1.5 -	Coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo
γ_s	= 1.15 -	Coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio
Sollecitazioni agenti		
N_d	= 15724 [kN]	Sforzo normale massimo
M_d	= 45 [kNm]	Momento flettente concomitante
e_n	= 3 [mm]	Eccentricità dello sforzo assiale (positivo se interno)
Geometria radiale del giunto		
d	= 450 [mm]	Spessore del cono
L	= 1652 [mm]	Lunghezza del cono detratto dell'ingombro del gasket esterno
s_i	= 30 [mm]	Larghezza scarica interna
s_e	= 82.5 [mm]	Larghezza scarica esterna
d_k	= 337.5 [mm]	Larghezza di pressione di contatto
e_G	= 198.8 [mm]	Posizione del baricentro dell'area caricata(dall'intradosso)
e_k	= 26.25 [mm]	Eccentricità geometrica (positiva se interna)
e'	= 222.14 [mm]	Distanza della posizione della forza assiale dall'intradosso
ϵ	= 15 [mm]	Offset dovuto ad imperfezioni o ovalizzazioni
$d_1 = d_k - 2(e_n - e_k) - \epsilon$	= 337.5 [mm]	Dimensione di carico equivalente
d_s	= 429.28 [mm]	Dimensione del blocco di compressione
$A_{c0} = d_1 * L$	= 0.558 [m ²]	Area di carico teorica
$d_2 = d - 2e_n - \epsilon$	= 0.429 [m]	Altezza della distribuzione della spinta
L_2	= 1.8 [m]	Profondità di distribuzione della spinta
$A_{c1} = d_2 * L_2$	= 0.773 [m ²]	Area di calcestruzzo per la redistribuzione delle sollecitazioni
Verifica circonfrenziale per effetto di bursting		
$T = 0.3 * N_d * (d_s - d_1) / d_s$	= 840 [kN]	
A_s	= 2513.3 [mm ²]	Area delle barre d'armatura
F_{yd}	= 983 [kN]	Massima resistenza a trazione delle barre d'armatura
T / F_{yd}	= 0.85	VERIFICATO
Verifica a compressione		
η	= 1.18	EC2 §6.7 (A_{c1} / A_{c0}) ^{1/2} Fattore di incremento di resistenza
f_{cd}	= 30.0 [Mpa]	Massima resistenza a compressione del calcestruzzo
$\sigma_R = N_d / A_{c0}$	= 28.2 [Mpa]	$\sigma_R = N_d / A$ Sforzo agente
σ_R / f_{cd}	= 0.94	VERIFICATO

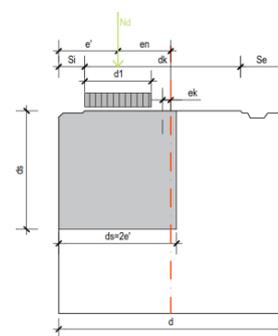


Figura 10-4: Verifica giunto effetto burstign per momento positivo

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"						
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE	Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
			IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	221 di 280

Rapporto d/a

$$d_s/d_1 = 1.27$$

Copriferro massimo per la ripresa della spinta della TBM al di sotto delle piastre di spinta

$$x_1 / d_s = 0.25 \quad x_1 = 11 \text{ [cm]}$$

Profondità corrispondente a trazione massima al di sotto delle piastre di spinta

$$x_2 / d_s = 0.48 \quad x_2 = 21 \text{ [cm]}$$

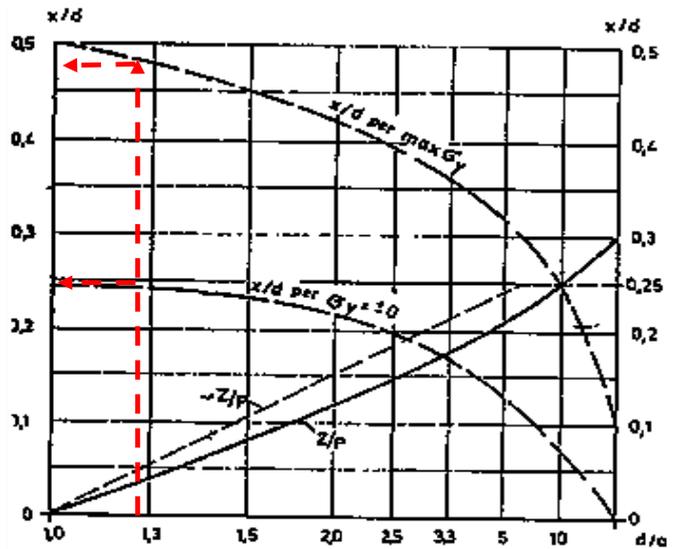


Figura 10-5: Posizione rispetto al bordo caricato delle trazioni massime in direzione radiale

Al fine di soddisfare la verifica dell'effetto bursting in direzione radiale si prevede l'installazione di 16 staffe ϕ 10 con due bracci sul bordo del giunto longitudinale.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 222 di 280

10.2PK 8+635 SCALERES

Nel seguente paragrafo si considerano le condizioni sismiche, moltiplicando le sollecitazioni, ottenute dal modello FEM in Plaxis 2D, per $\gamma_G=1.3$ e per la lunghezza del modello pari ad 1.8 m. Il momento flettente viene ulteriormente moltiplicato per $1-\xi=1-0.31=0.69$, al fine considerare l'effetto dei giunti radiali sull'anello tramite la formulazione di Miur -Wood.

In corrispondenza della formazione di Filladi a granato in faglia 21, alla pk 8+635, si riscontra lo sforzo assiale massimo sul rivestimento definitivo che risulta essere pari a 13758 kN con momento flettente corrispondente pari a -285.3 kN. Si riporta di seguito la verifica del giunto:

Giunto - M(-)		
Caratteristiche dei materiali e coefficienti di sicurezza		
f_{yk}	= 450 [Mpa]	Resistenza caratteristica a snervamento
f_{cd}	= 25.5 [Mpa]	Resistenza di progetto a compressione
α_{cc}	= 0.85 -	Coefficiente riduttivo di resistenza di lunga durata
γ_c	= 1.5 -	Coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo
γ_s	= 1.15 -	Coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio
Sollecitazioni agenti		
N_d	= 13758 [kN]	Sforzo normale massimo
M_d	= 285.3 [kNm]	Momento flettente concomitante
e_n	= 21 [mm]	Eccentricità dello sforzo assiale (positivo se interno)
Geometria radiale del giunto		
d	= 450 [mm]	Spessore del concio
L	= 1652 [mm]	Lunghezza del concio detratto dell'ingombro del gasket esterno
s_i	= 30 [mm]	Larghezza scarica interna
s_e	= 82.5 [mm]	Larghezza scarica esterna
d_k	= 337.5 [mm]	Larghezza di pressione di contatto
e_G	= 198.8 [mm]	Posizione del baricentro dell'area caricata(dall'intradosso)
e_k	= 26.25 [mm]	Eccentricità geometrica (positiva se interna)
e'	= 204.26 [mm]	Distanza della posizione della forza assiale dall'intradosso
ϵ	= 15 [mm]	Offset dovuto ad imperfezioni o ovalizzazioni
$d_1 = d_k - 2(e_n - e_k) - \epsilon$	= 333.5 [mm]	Dimensione di carico equivalente
d_s	= 393.53 [mm]	Dimensione del blocco di compressione
$A_{c0} = d_1 * L$	= 0.551 [m ²]	Area di carico teorica
$d_2 = d - 2e_n - \epsilon$	= 0.394 [m]	Altezza della distribuzione della spinta
L_2	= 1.8 [m]	Profondità di distribuzione della spinta
$A_{c1} = d_2 * L_2$	= 0.708 [m ²]	Area di calcestruzzo per la ridistribuzione delle sollecitazioni
Verifica circonferenziale per effetto di bursting		
$T = 0.3 * N_d * (d_s - d_1) / d_s$	= 524 [kN]	
A_s	= 2513.3 [mm ²]	Area delle barre d'armatura
F_{yd}	= 983 [kN]	Massima resistenza a trazione delle barre d'armatura
T / F_{yd}	= 0.53	VERIFICATO
Verifica a compressione		
η	= 1.13	EC2 §6.7 $(A_{c1}/A_{c0})^{1/2}$ Fattore di incremento di resistenza
f'_{cd}	= 28.9 [Mpa]	Massima resistenza a compressione del calcestruzzo
$\sigma_R = N_d / A_{c0}$	= 25.0 [Mpa]	$\sigma_R = N_d / A$ Sforzo agente
σ_R / f'_{cd}	= 0.86	VERIFICATO

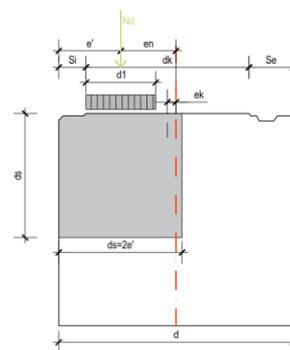


Figura 10-6: Verifica giunto effetto bursting per momento negativo

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"						
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE	Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
			IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	223 di 280

Rapporto d/a

$$d_2/d_1 = 1.18$$

Copriferro massimo per la ripresa della spinta della TBM al di sotto delle piastre di spinta

$$x_1 / d_s = 0.25 \quad x_1 = 10 \text{ [cm]}$$

Profondità corrispondente a trazione massima al di sotto delle piastre di spinta

$$x_2 / d_s = 0.48 \quad x_2 = 19 \text{ [cm]}$$

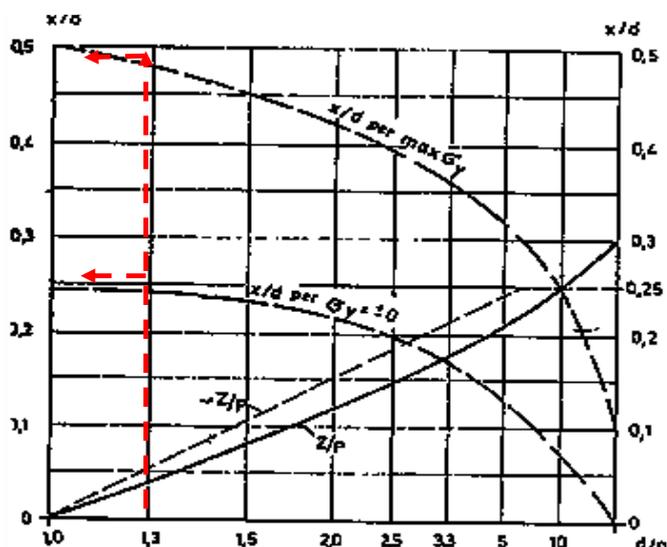


Figura 10-7: Posizione rispetto al bordo caricato delle trazioni massime in direzione radiale

Al fine di soddisfare la verifica dell'effetto bursting in direzione radiale si prevede l'installazione di 16 staffe ϕ 10 con due bracci sul bordo del giunto longitudinale.

10.3 VERIFICA GIUNTI CON ECCENTRICITÀ MASSIMA

Oltre alle condizioni di sforzo normale /momento flettente massimo, è stato analizzato anche il caso di eccentricità massima sul giunto per valutare il suo comportamento strutturale. In particolare, è stato analizzato il caso peggiore, riguardante il sottoattraversamento della linea storica che presenta una eccentricità di circa 40 cm. Tale condizione non può essere analizzata con i metodi analitici disponibili in letteratura tecnica.

Per la verifica del giunto, quindi, si realizza un modello numerico tridimensionale in Strand 7, simile a quelli impiegati per la verifica strutturale delle aperture laterali dell'anello (By-pass).

I segmenti sono modellati da elementi lineari tipo "beam" a due nodi (ciascuno con 3 gradi di libertà in spostamento e 3 gradi di libertà in rotazione). La geometria e le caratteristiche di questi elementi "trave" sono descritte di seguito:

- Larghezza segmento: 1,8 m
- Spessore del segmento: 0,45 m
- Modulo di Young: 36000 MPa
- Dimensioni approssimative delle maglie: 0,077 m

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 224 di 280

La superficie dei nodi longitudinali è modellata adottando elementi di contatto puntuali con rigidità specifica, che agiscono solo se sottoposti a sollecitazioni di compressione (i.e. si disattivano se soggetti a trazione). L'area di contatto è di 33.7 cm così come riportato negli elaborati di riferimento.

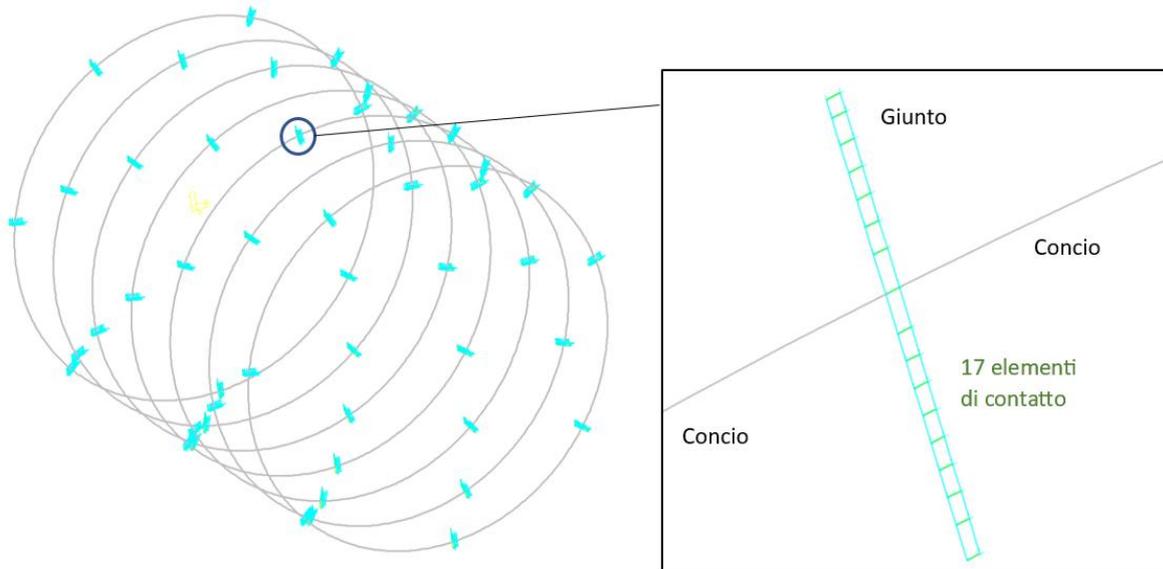


Figura 10-8: Simulazione dei giunti longitudinali in Strand 7

Come mostrato nella figura precedente, ogni elemento di contatto (verde) è collegato alle travi degli elementi ad anello (grigio) mediante una serie di collegamenti rigidi (ciano). Il giunto è stato modellato considerando l'effettiva eccentricità dell'area di contatto rispetto all'asse baricentrico dell'anello $e=26.25\text{mm}$.

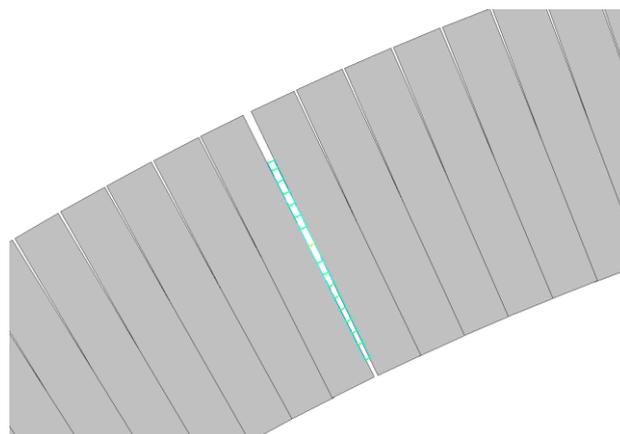


Figura 10-9: Vista solida del giunto simulato

La rigidità degli elementi di contatto è calibrata in modo da riprodurre il legame momento-rotazione atteso dal giunto. La calibrazione è effettuata facendo riferimento alle formulazioni contenute all'interno dello

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	225 di 280

standard redatto dal German Tunneling Committee DAUB [16]. Di seguito si riporta un estratto della suddetta norma, che mostra la formulazione analitica che definisce il legame momento-rotazione per un giunto longitudinale di un rivestimento in conci prefabbricati.

$$\alpha = \frac{8 \cdot N}{9 \cdot (1 - 2m)^2 \cdot a \cdot E}$$

Dove:

- a Width of the hinge neck
- r gaping joint on the tension side
 $r = a - 2 \cdot N / \sigma_R$
- e total eccentricity; $e = e_L + e_c$
- e_L eccentricity of the normal force; $e_L = M / N$
- e_c eccentricity of the hinge neck
- s length of the region involved in the deformation in the circumferential direction (the length corresponds approximately to the width of the hinge neck a) $s = a$
- Δs change in length of the deformation region at the edge with maximum edge stress σ_R
- N normal force
- M moment
- E modulus of elasticity of concrete (because the loads are applied immediately, in general the modulus of elasticity cannot be mitigated due to creep)
- α Torsional angle
- σ_R Edge stress
$$\sigma_R = \frac{2 \cdot N}{3 \cdot \left(\frac{M}{N} \frac{a}{2}\right)}$$
- m restoring moment obtained, $m = M / (N \cdot h_c)$,

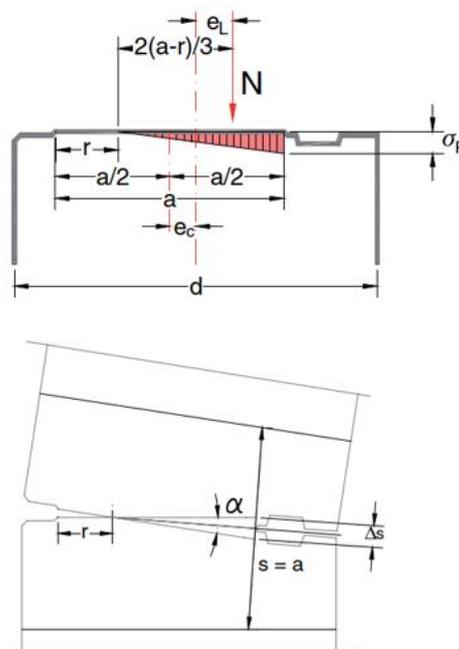


Figure 7: Approaches and terms for estimating the torsional resistance of concrete hinges

Figura 10-10: Formulazione analitica per il legame momento-rotazione secondo le DAUB.

L'immagine seguente confronta la legge momento-rotazione definita secondo le DAUB, con il comportamento individuato dalla modellazione esplicita implementata. È possibile osservare che le due curve risultano praticamente sovrapponibili, confermando la bontà dell'approccio utilizzato.

Si osserva che il confronto è stato realizzato adottando un valore di azione assiale pari a 1500kN.

La modellazione implementata permette di tenere automaticamente in conto gli effetti dovuti al livello di compressione del giunto, considerando l'effettiva eccentricità dell'azione assiale.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 226 di 280

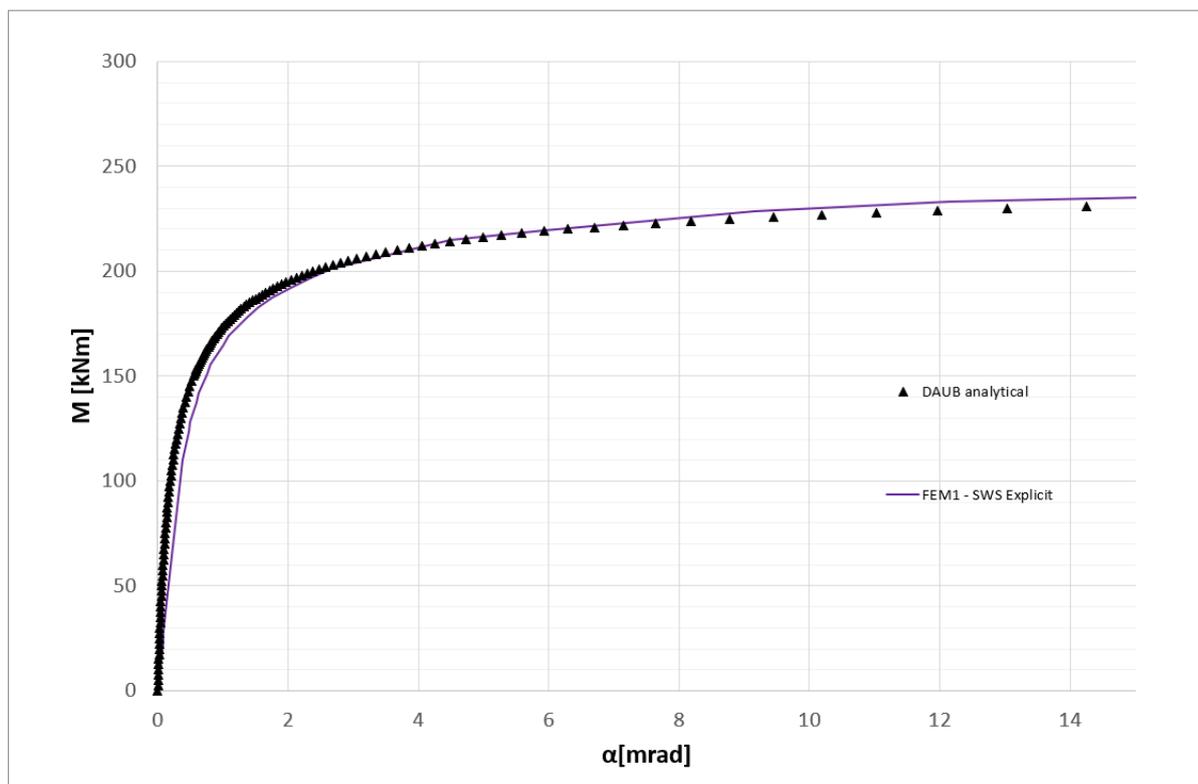


Figura 10-11: Confronto tra il comportamento rotazionale del giunto definito secondo DAUB e implementato nella modellazione fem.

Così come realizzato per il calcolo tridimensionale delle aperture laterali, si realizzano le seguenti fasi:

- Riproduzione dei carichi litostatici in Plaxis. Tale fase si riporta negli elaborati specifici IB0U1BEZZCLIF0100001
- Simulazione dello scavo della galleria ed installazione dei conci. In questa fase si scarica tutto il carico litostatico sui conci. L'anello viene simulato considerando la presenza dei giunti. Tale fase si riporta negli elaborati specifici IB0U1BEZZCLIF0100001
- Estrapolazione delle tensioni radiali (σ_n) e longitudinali (τ_1) dal modello Plaxis
- Introduzione delle tensioni radiali e longitudinali nel modello Strand 7.
- Post-processo del modello considerando la presenza dei giunti e della loro effettiva rotazionale.

Qui di seguito si riportano le verifiche effettuate dal modello Strand 7

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE	Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
			IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C 227 di 280

MIN **MAX**
BM2(kN.m) -580 595

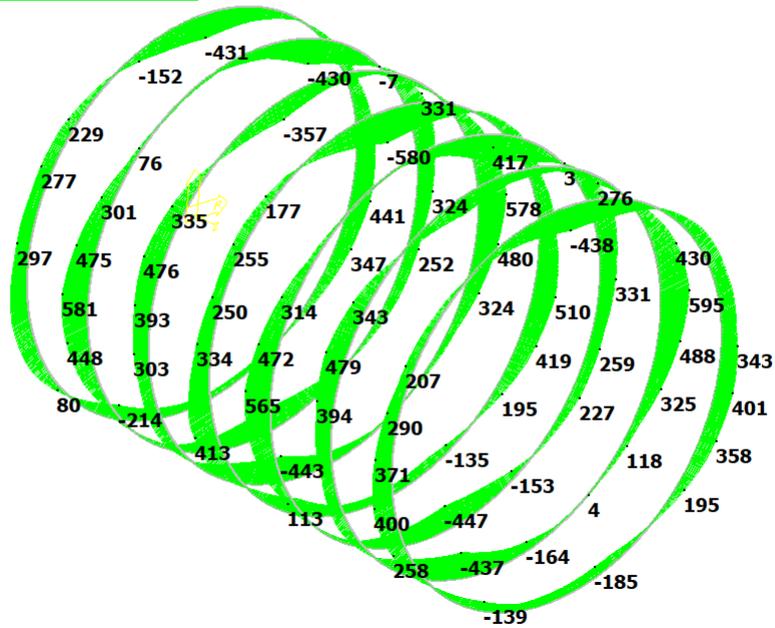


Figura 10-12: Momento Flettente

MIN **MAX**
AxForce(kN) -1747 -699

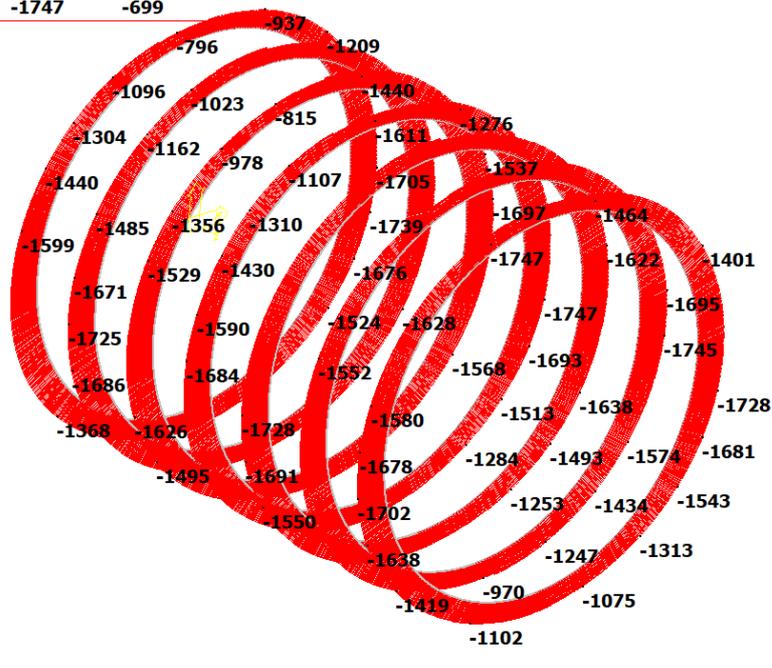


Figura 10-13: Sforzo normale

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 228 di 280

Le condizioni peggiori, in SLU, si riportano qui di seguito:

Case	e [m]	M [kNm]	N [kN]
max ecc	0.183	292	-1599
min ecc	-0.138	-129	-933
max M	0.181	310	-1717
min M	-0.126	-154	-1218
max N	0.181	310	-1717

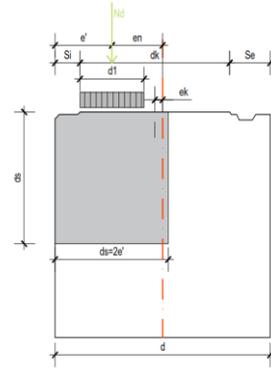
Lo sforzo normale è considerato negativo se di compressione, mentre il momento flettente è considerato positivo se tende le fibre di estradosso del rivestimento.

Vengono scelte le combinazioni con i valori di eccentricità massima e minima per le relative verifiche sul giunto come riportato nelle seguenti figure.

Sebbene le verifiche siano soddisfatte, si prescrive che nelle zone dei sottoattraversamenti che interessano le gallerie di linea, il bullonaggio sia permanente per evitare deformazioni eccessive dei conci.

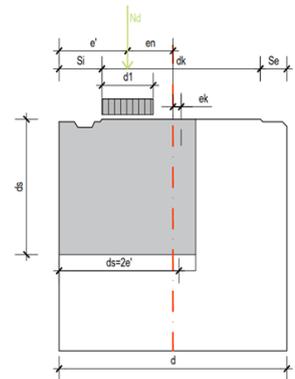
APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 229 di 280	

Giunto - M(+)			
Caratteristiche dei materiali e coefficienti di sicurezza			
f_{yk}	=	450 [Mpa]	Resistenza caratteristica a snervamento
f_{cd}	=	25.5 [Mpa]	Resistenza di progetto a compressione
α_{cc}	=	0.85 -	Coefficiente riduttivo di resistenza di lunga durata
γ_c	=	1.5 -	Coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo
γ_s	=	1.15 -	Coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio
Sollecitazioni agenti			
N_d	=	1599 [kN]	Sforzo normale massimo
M_d	=	292 [kNm]	Momento flettente concomitante
e_n	=	183 [mm]	Eccentricità dello sforzo assiale (positivo se interno)
Geometria radiale del giunto			
d	=	450 [mm]	Spessore del concio
L	=	1652 [mm]	Lunghezza del concio detratto dell'ingombro del gasket esterno
s_i	=	30 [mm]	Larghezza scarica interna
s_e	=	82.5 [mm]	Larghezza scarica esterna
d_k	=	337.5 [mm]	Larghezza di pressione di contatto
e_G	=	198.8 [mm]	Posizione del baricentro dell'area caricata(dall'intradosso)
e_k	=	26.25 [mm]	Eccentricità geometrica (positiva se interna)
e'	=	42.39 [mm]	Distanza della posizione della forza assiale dall'intradosso
ϵ	=	0 [mm]	Offset dovuto ad imperfezioni o ovalizzazioni
$d_1 = d_k - 2(e_n - e_k) - \epsilon$	=	24.8 [mm]	Dimensione di carico equivalente
d_s	=	84.77 [mm]	Dimensione del blocco di compressione
$A_{c0} = d_1 * L$	=	0.041 [m ²]	Area di carico teorica
$d_2 = d - 2e_n - \epsilon$	=	0.085 [m]	Altezza della distribuzione della spinta
L_2	=	1.8 [m]	Profondità di distribuzione della spinta
$A_{c1} = d_2 * L_2$	=	0.153 [m ²]	Area di calcestruzzo per la redistribuzione delle sollecitazioni
Verifica circonferenziale per effetto di bursting			
$T = 0.3 * N_d * (d_s - d_1) / d_s$	=	283 [kN]	
A_s	=	1257 [mm ²]	Area delle barre d'armatura
F_{yd}	=	492 [kN]	Massima resistenza a trazione delle barre d'armatura
T / F_{yd}	=	0.58	VERIFICATO
Verifica a compressione			
η	=	1.93	EC2 §6.7 $(A_{c1} / A_{c0})^{1/2}$ Fattore di incremento di resistenza
f_{cd}	=	49.2 [Mpa]	Massima resistenza a compressione del calcestruzzo
$\sigma_R = N_d / A_{c0}$	=	39.1 [Mpa]	$\sigma_R = N_d / A$ Sforzo agente
σ_R / f_{cd}	=	0.79	VERIFICATO



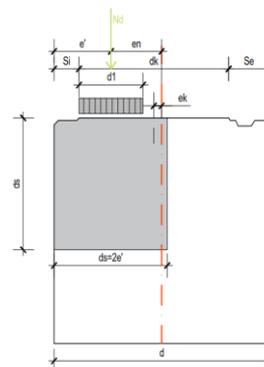
APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 230 di 280

Giunto - M(-)		
Caratteristiche dei materiali e coefficienti di sicurezza		
f_{yk}	= 450 [Mpa]	Resistenza caratteristica a snervamento
f_{cd}	= 25.5 [Mpa]	Resistenza di progetto a compressione
α_{cc}	= 0.85 -	Coefficiente riduttivo di resistenza di lunga durata
γ_c	= 1.5 -	Coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo
γ_s	= 1.15 -	Coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio
Sollecitazioni agenti		
N_d	= 933 [kN]	Sforzo normale massimo
M_d	= 129 [kNm]	Momento flettente concomitante
e_n	= 138 [mm]	Eccentricità dello sforzo assiale (positivo se interno)
Geometria radiale del giunto		
d	= 450 [mm]	Spessore del concio
L	= 1652 [mm]	Lunghezza del concio detratto dell'ingombro del gasket esterno
s_i	= 82.5 [mm]	Larghezza scarica interna
s_e	= 30 [mm]	Larghezza scarica esterna
d_k	= 337.5 [mm]	Larghezza di pressione di contatto
e_G	= 251.3 [mm]	Posizione del baricentro dell'area caricata(dall'intradosso)
e_k	= -26.25 [mm]	Eccentricità geometrica (positiva se interna)
e'	= 86.736 [mm]	Distanza della posizione della forza assiale dall'intradosso
ϵ	= 0 [mm]	Offset dovuto ad imperfezion o ovalizzazioni
$d_1 = d_k - 2(e_n - e_k) - \epsilon$	= 8.5 [mm]	Dimensione di carico equivalente
d_s	= 173.47 [mm]	Dimensione del blocco di compressione
$A_{c0} = d_1 * L$	= 0.014 [m ²]	Area di carico teorica
$d_2 = d - 2e_n - \epsilon$	= 0.173 [m]	Altezza della distribuzione della spinta
L_2	= 1.8 [m]	Profondità di distribuzione della spinta
$A_{c1} = d_2 * L_2$	= 0.312 [m ²]	Area di calcestruzzo per la redistribuzione delle sollecitazioni
Verifica circonferenziale per effetto di bursting		
$T = 0.3 * N_d * (d_s - d_1) / d_s$	= 222 [kN]	
A_s	= 1256.6 [mm ²]	Area delle barre d'armatura
F_{yd}	= 492 [kN]	Massima resistenza a trazione delle barre d'armatura
T / F_{yd}	= 0.45	VERIFICATO
Verifica a compressione		
η	= 3.00	EC2 §6.7 $(A_{c1} / A_{c0})^{1/2}$ Fattore di incremento di resistenza
f'_{cd}	= 76.5 [Mpa]	Massima resistenza a compressione del calcestruzzo
$\sigma_R = N_d / A_{c0}$	= 66.7 [Mpa]	$\sigma_R = N_d / A$ Sforzo agente
σ_R / f'_{cd}	= 0.87	VERIFICATO



APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 231 di 280

Giunto - M(+)		
Caratteristiche dei materiali e coefficienti di sicurezza		
f_{yk}	= 450 [Mpa]	Resistenza caratteristica a snervamento
f_{cd}	= 25.5 [Mpa]	Resistenza di progetto a compressione
α_{cc}	= 0.85 -	Coefficiente riduttivo di resistenza di lunga durata
γ_c	= 1.5 -	Coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo
γ_s	= 1.15 -	Coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio
Sollecitazioni agenti		
N_d	= 1717 [kN]	Sforzo normale massimo
M_d	= 310 [kNm]	Momento flettente concomitante
e_n	= 181 [mm]	Eccentricità dello sforzo assiale (positivo se interno)
Geometria radiale del giunto		
d	= 450 [mm]	Spessore del concio
L	= 1652 [mm]	Lunghezza del concio detratto dell'ingombro del gasket esterno
s_i	= 30 [mm]	Larghezza scarica interna
s_e	= 82.5 [mm]	Larghezza scarica esterna
d_k	= 337.5 [mm]	Larghezza di pressione di contatto
e_G	= 198.8 [mm]	Posizione del baricentro dell'area caricata(dall'intradosso)
e_k	= 26.25 [mm]	Eccentricità geometrica (positiva se interna)
e'	= 44.45 [mm]	Distanza della posizione della forza assiale dall'intradosso
ϵ	= 0 [mm]	Offset dovuto ad imperfezioni o ovalizzazioni
$d_1 = d_k - 2(e_n - e_k) - \epsilon$	= 28.9 [mm]	Dimensione di carico equivalente
d_s	= 88.91 [mm]	Dimensione del blocco di compressione
$A_{c0} = d_1 * L$	= 0.048 [m ²]	Area di carico teorica
$d_2 = d - 2e_n - \epsilon$	= 0.089 [m]	Altezza della distribuzione della spinta
L_2	= 1.8 [m]	Profondità di distribuzione della spinta
$A_{c1} = d_2 * L_2$	= 0.160 [m ²]	Area di calcestruzzo per la redistribuzione delle sollecitazioni
Verifica circonferenziale per effetto di bursting		
$T = 0.3 * N_d * (d_s - d_1) / d_s$	= 290 [kN]	
A_s	= 1257 [mm ²]	Area delle barre d'armatura
F_{yd}	= 492 [kN]	Massima resistenza a trazione delle barre d'armatura
T / F_{yd}	= 0.59	VERIFICATO
Verifica a compressione		
η	= 1.83	EC2 §6.7 $(A_{c1} / A_{c0})^{1/2}$ Fattore di incremento di resistenza
f_{cd}	= 46.7 [Mpa]	Massima resistenza a compressione del calcestruzzo
$\sigma_R = N_d / A_{c0}$	= 36.0 [Mpa]	$\sigma_R = N_d / A$ Sforzo agente
σ_R / f_{cd}	= 0.77	VERIFICATO



APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 232 di 280

11. VERIFICA PER SPINTA A VUOTO

Per evitare l'espulsione del copriferro causato dalle barre circolari all'intradosso per momento flettente è necessario svolgere una verifica per la spinta al vuoto, secondo l'allegato J UNI EN 1992-1-1:2005 (Rif. [3]). La componente perpendicolare alla barra longitudinale dello sforzo assiale dovrà essere verificata dalla presenza delle staffe a taglio, $\phi 10/250$ a 4 bracci.

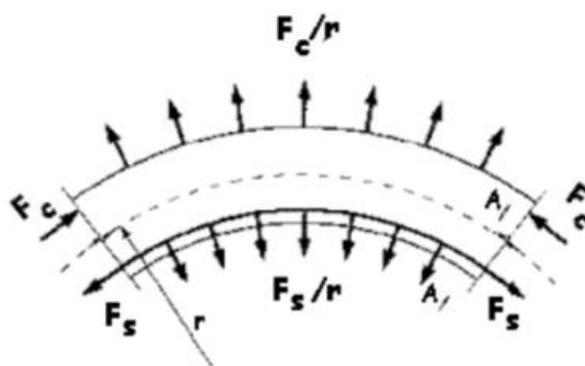


Figura 11-1: Schema di verifica per spinta al vuoto

Si considera l'armatura circolare $12 \phi 14$ con una lunghezza pari a 25 cm (interasse tra le staffe a taglio) caricata fino al valore di snervamento:

$$F_s = \frac{\phi_{barre}^2 \cdot \pi}{4} \cdot n_{barre} \cdot f_{yd} = 723 \text{ kN}$$

La componente radiale risulta circa pari a $N_{ed,L} = 37.8 \text{ kN}$ con un angolo di inclinazione circa pari a 3° . Si riporta di seguito la resistenza per l'armatura a taglio considerando 4 bracci:

$$N_{rd} = \frac{\phi_{staffe}^2 \cdot \pi}{4} \cdot n_{staffe} \cdot f_{yd} = 123 \text{ kN}$$

Dove:

- $\phi_{staffe} = 10 \text{ mm}$;
- $n_{staffe} = 4$;
- $f_{yd} = 391.3 \text{ Mpa}$.

Risultando $N_{ed,L} < N_{rd}$ La verifica risulta soddisfatta.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:					PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	233 di 280

12. VERIFICA NEI RIGUARDI DELL'ESPOSIZIONE AL FUOCO

L'incremento di temperatura che si registra durante l'evoluzione dell'incendio viene descritto adottando la curva temperatura-tempo specificata nella suddetta normativa. L'incendio costituisce una combinazione di carico accidentale in cui, analogamente alla combinazione SLE quasi permanente, tutti i carichi permanenti e il carico da incendio sono caratterizzati da coefficienti parziali unitari, mentre gli eventuali carichi variabili sono combinati con il fattore Ψ_2 . Il procedimento di calcolo illustrato di seguito può essere ricondotto ad un metodo avanzato di calcolo secondo la Sezione 4.3 di EN1992-1-2 (Rif. [3]). Vengono infatti utilizzati modelli di calcolo per determinare lo sviluppo e la distribuzione della temperatura nelle membrature strutturali (modello termico) e l'andamento del comportamento meccanico con la temperatura (modello meccanico). La prestazione al fuoco richiesta per la galleria in oggetto è di 120 minuti, che corrisponde all'intervallo di tempo minimo durante il quale le verifiche strutturali devono risultare soddisfatte. Il procedimento di analisi e verifica può essere così riassunto:

- Gli effetti dell'incendio di progetto sono riprodotti da una curva di incendio normalizzata, che fornisce l'andamento della temperatura all'interno della galleria durante la propagazione dell'incendio;
- Per ogni sezione di galleria investigata, si definisce la mappatura termica ossia l'andamento temporale della temperatura attraverso lo spessore. In particolare, poiché la galleria deve soddisfare le verifiche strutturali per i primi 120min di incendio, la mappatura per $t=120\text{min}$ risulta particolarmente significativa e verrà usata nel seguito per le verifiche;
- Si calcola il dominio di resistenza ridotto per effetto del degrado delle proprietà meccaniche di calcestruzzo e acciaio con l'aumento di temperatura;
- Si valutano le sollecitazioni di progetto, ottenute sommando alle azioni quasi permanenti le coazioni termiche che durante l'incendio si sviluppano nella galleria a causa della propria iperstaticità;
- Si verifica che le coppie (N; M), rappresentative dello stato di sollecitazione, cadano all'interno del dominio di resistenza "a caldo".

La curva temperatura-tempo utilizzata per simulare gli effetti dell'incendio di progetto è quella definita dalla UNI 11076 (Rif. [4]). La curva è stata definita in Olanda dal Rijkswaterstaat (da cui anche la sigla RWS) e dal centro per le ricerche sul fuoco (TNO / EFECTIS) che l'hanno descritta come curva di incendio da idrocarburi di un serbatoio di 45000 litri di petrolio all'interno di una galleria. La curva è caratterizzata da un rapido incremento delle temperature fino ai 1200°C a 10 minuti, un massimo di 1350 °C a 60 minuti e un ritorno a 1200°C a 120 minuti.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 234 di 280	

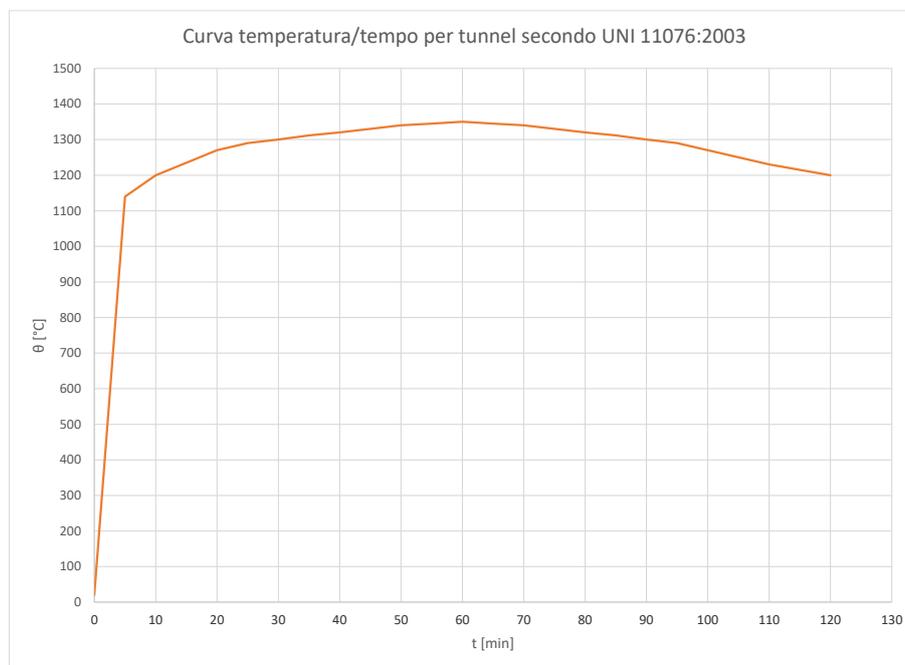


Figura 12-1: Curva temperatura/tempo per tunnel secondo UNI 11076:2003

La distribuzione di temperatura attraverso la sezione viene determinata mediante un'analisi ad elementi finiti con il software ThermoCad, versione 5.1, della Concrete srl. Le ipotesi di calcolo sono le seguenti:

- La curva d'incendio sopra definita viene applicata come condizione al contorno sulla faccia della sezione esposta al fuoco;
- Assenza di scambio di calore (adiabaticità) lungo le superfici laterali, per tenere in conto che la galleria, seppur modellata con profondità unitaria, presenta uno sviluppo longitudinale significativo;
- Temperatura ambiente (20°C) sulla faccia a contatto col terreno;
- Trasmissione del calore per conduzione all'interno del materiale solido costituente la sezione;
- Variazione dei parametri termici del calcestruzzo con la temperatura, secondo le relazioni indicate in EN1992-1-2 (Rif. [3]), Sezione 3.3 e riportate di seguito.

Si indicano qui alcune delle principali proprietà termiche del calcestruzzo, variabili con la temperatura, che influenzano la definizione della mappatura termica della sezione. Si osserva che, nel definire la distribuzione di temperatura all'interno della sezione in c.a., è ragionevole trascurare la presenza delle barre d'armatura. Per quanto riguarda il materiale calcestruzzo, a favore di sicurezza si considera costituito da aggregati silicei.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 235 di 280

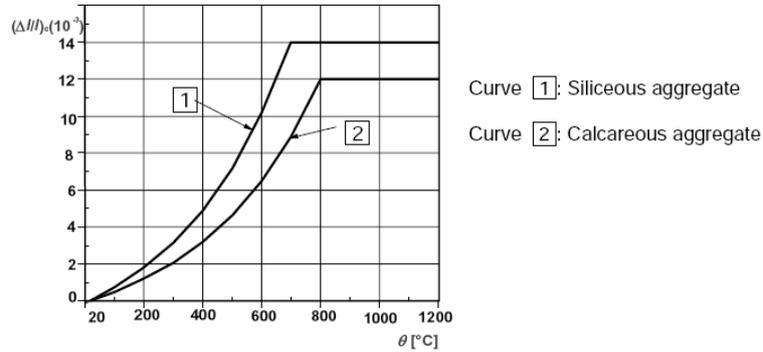


Figura 12-2: Dilatazione termica totale del calcestruzzo in funzione della temperatura

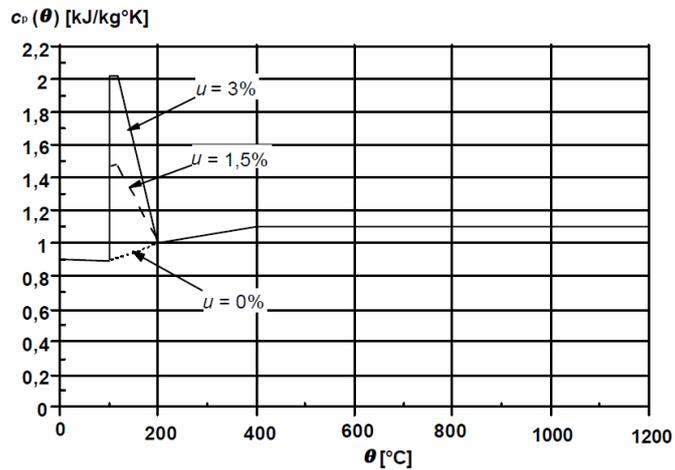


Figura 12-3: Calore specifico del calcestruzzo in funzione di temperatura e umidità

- 1 Limite superiore
- 2 Limite inferiore

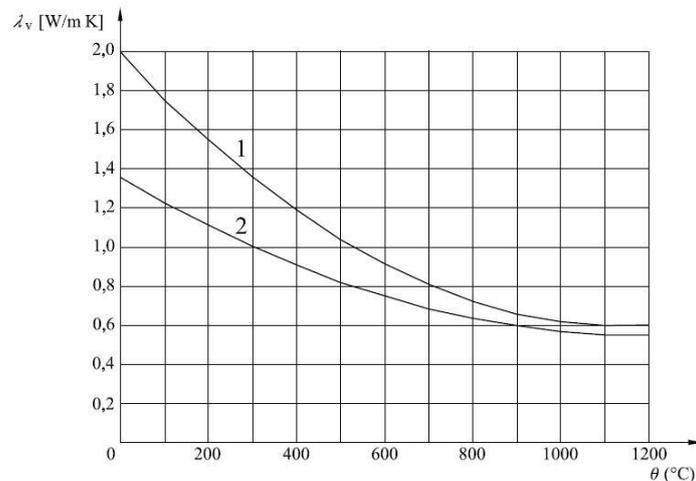


Figura 12-4: Conducibilità del calcestruzzo in funzione della temperatura

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	236 di 280

Le proprietà termiche precedentemente riportate, e tutte le altre indicate in EN1992-1-2 (Rif. [3]), Sezione 3.3, sono tenute in conto da ThermoCad durante l'analisi a elementi finiti con cui si determinano le mappature termiche.

L'aumento di temperatura nel rivestimento di galleria comporta, oltre che una variazione delle proprietà termiche, un degrado delle caratteristiche meccaniche (sia di calcestruzzo che d'acciaio d'armatura) con conseguente riduzione del dominio N-M di resistenza rispetto al dominio "a freddo". L'obiettivo è determinare tale dominio ridotto per verificare che le coppie di sollecitazioni (N; M), corrispondenti alla combinazione accidentale d'incendio, siano tutte contenute entro tale dominio. Si osserva che, secondo il DM2008 (Rif. [1]) Sezione 4.1.13, nella definizione del dominio "a caldo" alle resistenze di calcolo di calcestruzzo e acciaio sono applicati coefficienti parziali di sicurezza unitari ($\gamma_c = \gamma_s = 1$).

Il dominio viene ricavato mediante un software proprietario di SWS che, sulla base delle temperature lungo lo spessore ottenute in ThermoCad, calcola le proprietà ridotte per ogni spessore in cui la sezione è stata discretizzata, e sulla base di ciò valuta il dominio di resistenza corrispondente. La variazione di resistenza e deformazione del calcestruzzo compresso a elevate temperature sono riportate di seguito, insieme al corrispondente legame costitutivo. La resistenza a trazione del calcestruzzo è trascurata.

Temperatura del calcestruzzo, θ	Agregati silicei			Agregati calcarei		
	$f_{c,\theta}/f_{ck}$	$\epsilon_{c1,\theta}$	$\epsilon_{cu1,\theta}$	$f_{c,\theta}/f_{ck}$	$\epsilon_{c1,\theta}$	$\epsilon_{cu1,\theta}$
[°C]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	2	3	4	5	6	7
20	1,00	0,0025	0,0200	1,00	0,0025	0,0200
100	1,00	0,0040	0,0225	1,00	0,0040	0,0225
200	0,95	0,0055	0,0250	0,97	0,0055	0,0250
300	0,85	0,0070	0,0275	0,91	0,0070	0,0275
400	0,75	0,0100	0,0300	0,85	0,0100	0,0300
500	0,60	0,0150	0,0325	0,74	0,0150	0,0325
600	0,45	0,0250	0,0350	0,60	0,0250	0,0350
700	0,30	0,0250	0,0375	0,43	0,0250	0,0375
800	0,15	0,0250	0,0400	0,27	0,0250	0,0400
900	0,08	0,0250	0,0425	0,15	0,0250	0,0425
1 000	0,04	0,0250	0,0450	0,06	0,0250	0,0450
1 100	0,01	0,0250	0,0475	0,02	0,0250	0,0475
1 200	0,00	-	-	0,00	-	-

Tabella 12-1: Valori dei parametri del legame costitutivo del calcestruzzo a elevate temperature

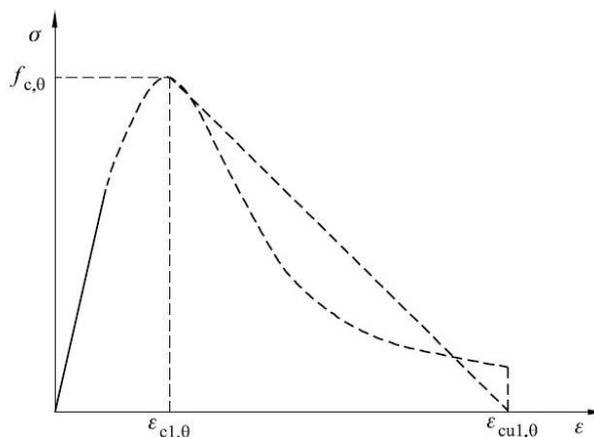


Figura 12-5: Legame costitutivo del calcestruzzo compresso

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 237 di 280

Per quanto riguarda l'acciaio ordinario d'armatura, analoghe relazioni per la riduzione delle proprietà meccaniche sono riportate di seguito. Si fa riferimento, come suggerito da EN1992-1-2 (Rif. [3]), all'acciaio di classe N.

Temperatura Acciaio θ [°C]	$f_{sy,\theta} / f_{yk}$		$f_{sp,\theta} / f_{yk}$		$E_{s,\theta} / E_s$	
	laminato a caldo	trafilato a freddo	laminato a caldo	trafilato a freddo	laminato a caldo	trafilato a freddo
1	2	3	4	5	6	7
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00	0,96	1,00	1,00
200	1,00	1,00	0,81	0,92	0,90	0,87
300	1,00	1,00	0,61	0,81	0,80	0,72
400	1,00	0,94	0,42	0,63	0,70	0,56
500	0,78	0,67	0,36	0,44	0,60	0,40
600	0,47	0,40	0,18	0,26	0,31	0,24
700	0,23	0,12	0,07	0,08	0,13	0,08
800	0,11	0,11	0,05	0,06	0,09	0,06
900	0,06	0,08	0,04	0,05	0,07	0,05
1 000	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04	0,03
1 100	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02
1 200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabella 12-2: Valori dei parametri del legame costitutivo dell'acciaio di armatura a elevate temperature

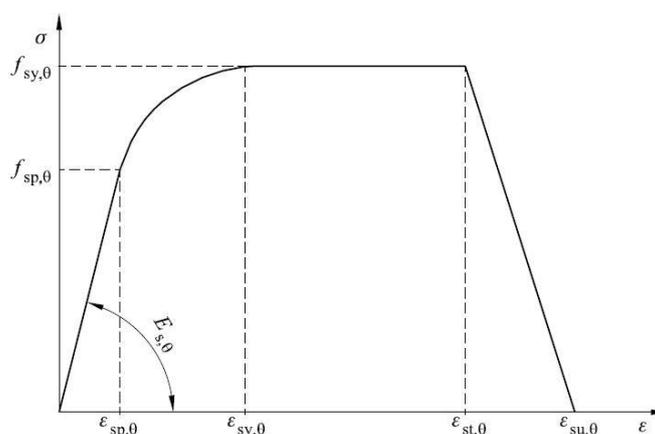


Figura 12-6: Legame costitutivo dell'acciaio d'armatura

L'incendio, oltre a causare variazioni delle proprietà termiche e meccaniche con conseguente degrado della resistenza della sezione in c.a., comporta lo sviluppo di deformazioni termiche che, se impedito come nelle gallerie (strutture internamente iperstatiche), si traducono in coazioni di sforzo normale (di compressione) e momento flettente (che comprime le fibre interne, soggette a temperatura maggiore di quelle lato terreno). Il foglio di calcolo proprietario di SWS determina tali sollecitazioni; in particolare, la sollecitazione flessionale locale della sezione viene ricavata, per congruenza, imponendo uno stato deformativo nullo. La validità di tale ipotesi è stata confermata da approfondite analisi F.E.M. che hanno permesso di studiare gli effetti termici globali dell'incendio su sistemi strutturali di diversa natura. Lo stato di coazione si traduce in una

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:					PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	238 di 280

coppia $\Delta_{M_{fuoco}}-\Delta_{N_{fuoco}}$ che in sede di verifica va sommata algebricamente alla coppia $M_{perm}-N_{perm}$ associata ai carichi permanenti.

Nel seguito si riporteranno i diagrammi M-N (sia a freddo - $t=0min$ - che a caldo - $t=120min$) con le relative sollecitazioni. Si fa notare che all'interno del dominio M-N sono indicate sia le sollecitazioni "a freddo", ossia trascurando le coazioni termiche che si possono sviluppare all'interno della struttura con l'aumento di temperatura, sia quelle "a caldo", dove la coazione termica è tenuta in conto. I punti rappresentativi delle sollecitazioni a freddo e a caldo differiscono per le quantità $\Delta_{M_{fuoco}}-\Delta_{N_{fuoco}}$ sopra indicate. In generale, la coazione causa un aumento della compressione e un momento flettente che comprime le fibre intradosali.

Le sollecitazioni senza coazioni corrispondono concettualmente ad un vincolo iperstatico interno nullo, mentre le sollecitazioni con coazioni ad un vincolo iperstatico infinitamente rigido. Si può assumere che la situazione reale sia intermedia tra questi due casi estremi, per cui la scelta di riportare nei diagrammi entrambi i casi è finalizzata ad individuare i valori estremi delle sollecitazioni attese.

La verifica al fuoco risulta soddisfatta se il punto (M-N) rappresentativo delle azioni di progetto è contenuto all'interno del dominio M-N a caldo, ridotto per effetto del degrado delle resistenze associato al delta termico: in tal caso, si può assumere una resistenza al fuoco $R>120min$.

All'intervallo $t=120min$ viene anche generato un dominio di interazione che tiene conto di un eventuale fenomeno di spalling che potrebbe interessare l'intradosso del rivestimento.

Il dominio è stato costruito assunto una profondità di spalling pari a $t=5cm$ (spalling di progetto)

Tale misura è da intendersi come il valore massimo per cui è possibile garantire un'adeguata capacità portante del rivestimento durante l'intero sviluppo dell'incendio fino all'istante $t=120min$. Durante questa fase, gli effetti dell'incendio determinano un incremento dell'azione assiale accompagnato da una distribuzione di momenti che tendono le fibre all'estradosso.

In aggiunta, uno spessore massimo di spalling $t=5cm$ permette di garantire un'adeguata protezione allo strato di armatura posto all'intradosso (copriferro netto dell'armature di forza circonferenziale $> 50mm$), così da salvaguardare un livello sufficiente di resistenza anche quando a lungo termine, una volta svaniti gli effetti termici dovuti all'incendio, la distribuzione delle azioni flettenti tornerà ad essere la medesima prevista prima dell'evento di progetto, identificando un andamento di momenti che determinerà stati di trazione posti sia all'estradosso che all'intradosso del rivestimento.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 239 di 280	

12.1 VERIFICHE

La sezione di verifica della galleria presenta uno spessore complessivo 450 mm. Di seguito si riporta il diagramma della distribuzione di temperatura (mappatura termica) allo step temporale pari a $t=120\text{min}$ per uno spessore di calcestruzzo di 450 mm.

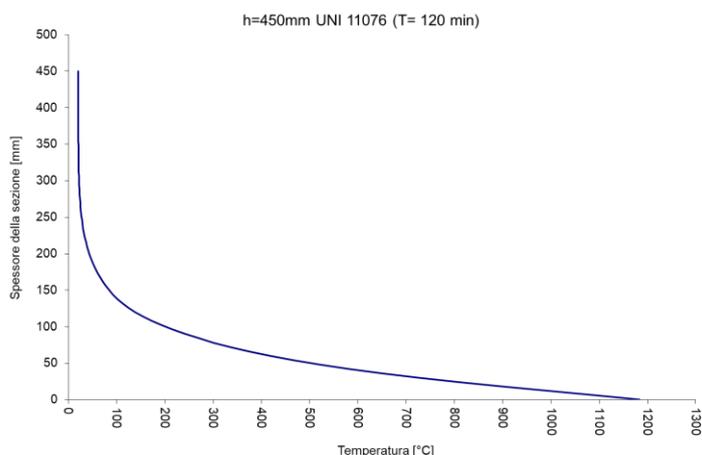


Figura 12-7: Mappatura termica ($t=120\text{min}$) per spessore da 450 mm

La verifica al fuoco risulta soddisfatta se il punto (M-N) rappresentativo delle azioni di progetto è contenuto all'interno del dominio M-N a caldo, ridotto per effetto del degrado delle resistenze associato al delta termico: in tal caso, si può assumere una resistenza al fuoco $R>120\text{min}$.

Di seguito vengono riportati i domini di rottura, per le tre ipotesi di armatura considerate, senza considerare spalling e considerando lo spalling. I valori di sollecitazione riportati nelle tabelle e all'interno dei domini di verifica sono desunti dalle relazioni tecniche relative alle gallerie Scaleres, Gardena ed Interconnessioni.

Si considerano le N

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 240 di 280

Tipo A

Galleria	Sezione Tipo	pk analizzata [m]	Combinazione	N [kNm/m]	M [kNm/m]	$N_{fuoco}=N \cdot 1.8$ [kNm]	$M_{fuoco}=M \cdot 1.8 \cdot 1.31$ [kNm]		
Scaleres	A	5+490	Nmax	-4712.54	-0.41	8482.58	-0.97		
			Mmax	-4417.98	-48.10	7952.37	-113.41		
		6+170	Nmax	-4716.05	-2.25	8488.90	-5.32		
			Mmax	-4662.91	-32.97	8393.23	-77.75		
		9+140	Nmax	-4672.67	-18.15	8410.81	-42.80		
			Mmax	-4648.25	-52.38	8366.85	-123.51		
		14+500	Nmax	-4695.38	9.42	8451.68	22.21		
			Mmax	-4656.05	-54.27	8380.89	-127.97		
		14+600	Nmax	-4709.67	0.58	8477.41	1.37		
			Mmax	-4655.00	-45.02	8379.00	-106.16		
		14+950	Nmax	-4704.18	-1.87	8467.52	-4.41		
			Mmax	-4615.25	-38.04	8307.45	-89.70		
		Gardena	A	16+450	Nmax	-4972.28	-46.32	8950.11	-109.22
					Mmax	-4878.56	-48.19	8781.41	-113.63
16+540	Nmax			-4811.74	-26.42	8661.13	-62.30		
	Mmax			-4749.90	-43.53	8549.82	-102.64		
19+450	Nmax			-4501.27	5.19	8102.29	12.24		
	Mmax			-4243.58	-61.99	7638.44	-146.17		
20+450	Nmax			-4702.66	7.77	8464.79	18.32		
	Mmax			-4610.17	-53.14	8298.31	-125.30		
21+275	Nmax			-4687.64	-5.00	8437.75	-11.79		
	Mmax			-4373.75	-55.30	7872.75	-130.40		
Interconnessione B.P.	A	0+700	Nmax	-4640.08	-13.81	8352.15	-32.57		
			Mmax	-4633.61	-14.95	8340.49	-35.26		
		2+110	Nmax	-4708.25	-9.17	8474.85	-21.61		
			Mmax	-4674.74	-20.44	8414.53	-48.19		
		2+335	Nmax	-1217.77	-2.62	2191.99	-6.19		
			Mmax	-1152.41	-5.07	2074.34	-11.95		
Interconnessione B.D.	A	0+515	Nmax	-4698.34	-10.62	8457.02	-25.05		
			Mmax	-4595.61	-16.53	8272.09	-38.99		
		1+500	Nmax	-4647.44	-15.53	8365.40	-36.62		
			Mmax	-4545.01	-15.72	8181.02	-37.08		

Tabella 12-3: Sollecitazioni sezioni di applicazione concio Tipo A

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 241 di 280

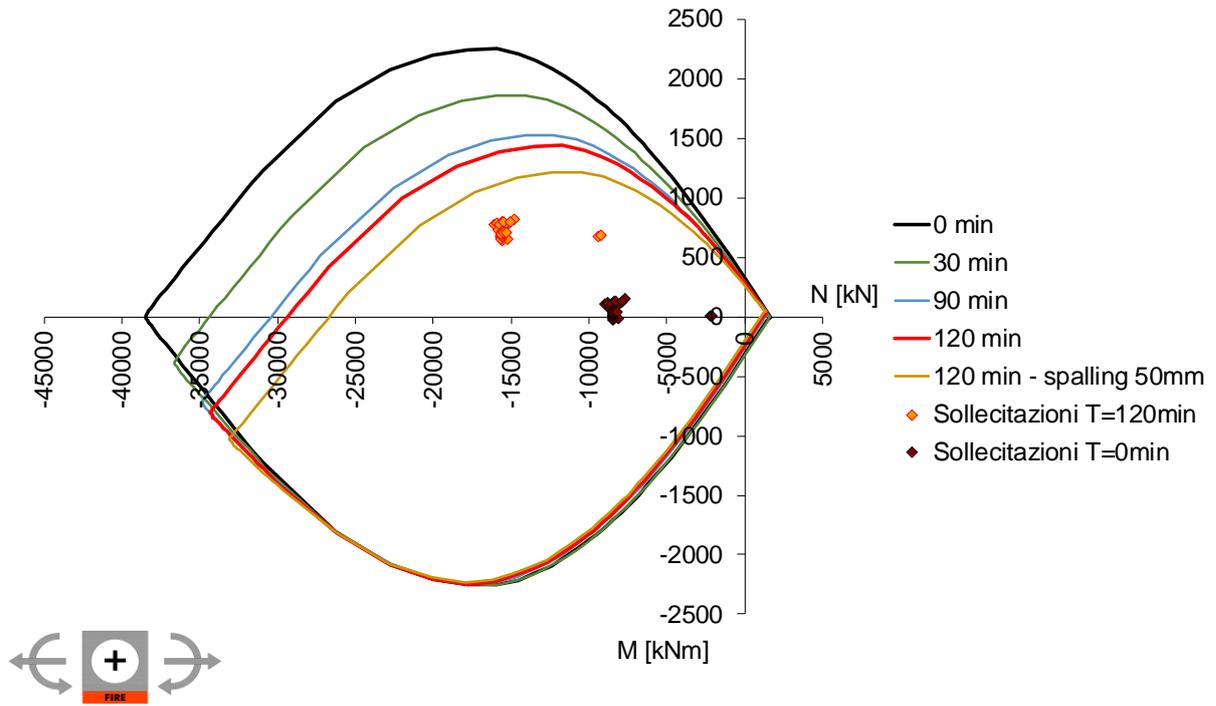


Figura 12-8: Dominio M-N a freddo e a caldo con e senza spalling – Tipo A.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 242 di 280

Tipo B

Galleria	Sezione Tipo	pk analizzata [m]	Combinazione	N [kNm/m]	M [kNm/m]	$N_{giunto}=N \cdot 1.8$ [kNm]	$M_{giunto}=M \cdot 1.8 \cdot 1.31$ [kNm]
Scaleres	B	3+890	Nmax	-4548.9	-51.7	10644.5	-83.4
			Mmax	-3585.0	69.2	8388.8	111.7
		4+650	Nmax	-4903.3	-81.5	11473.6	-131.6
			Mmax	-4425.2	-89.8	10354.9	-145.0
		6+425	Nmax	-5367.6	-51.6	12560.3	-83.3
			Mmax	-5226.5	-69.0	12230.0	-111.4
		7+590	Nmax	-6279.2	-81.6	14693.4	-131.8
			Mmax	-4296.5	128.5	10053.7	207.5
		8+635	Nmax	-6319.2	-159.9	14787.0	-258.2
			Mmax	-5879.5	-176.7	13758.0	-285.3
		9+340	Nmax	-6719.7	-27.6	15724.0	-44.5
			Mmax	-6392.6	-89.0	14958.7	-143.7
		11+020	Nmax	-6413.1	-142.3	15006.6	-229.8
			Mmax	-6004.3	-154.5	14050.0	-249.4
		12+510	Nmax	-6000.4	-58.7	14040.9	-94.9
			Mmax	-5675.4	-74.1	13280.5	-119.6
		12+775	Nmax	-5969.7	-111.2	13969.1	-179.5
			Mmax	-4743.4	149.3	11099.6	241.0
13+770	Nmax	-6283.6	-66.4	14703.6	-107.2		
	Mmax	-6045.4	-86.1	14146.2	-139.0		
15+225	Nmax	-4700.8	6.5	10999.9	10.4		
	Mmax	-4668.3	-45.7	10923.7	-73.8		
Gardena	B	16+750	Nmax	-4562.3	-29.6	10675.8	-47.8
			Mmax	-4559.4	-30.4	10669.1	-49.1
		17+475	Nmax	-3785.5	-87.3	8858.1	-141.0
			Mmax	-3190.2	88.3	7465.1	142.6
		18+400	Nmax	-4557.0	-18.0	10663.3	-29.1
			Mmax	-4147.9	-44.4	9706.1	-71.6
		18+600	Nmax	-4557.0	-18.0	10663.3	-29.1
			Mmax	-4147.9	-44.4	9706.1	-71.6
		18+600	Nmax	-5701.9	-123.0	13342.4	-198.5
			Mmax	-4849.2	127.8	11347.2	206.4
Interconnessione B.P.	B	0+500	Nmax	-5964.8	-29.4	13957.7	-47.5
			Mmax	-5950.3	-34.2	13923.8	-55.2
		1+830	Nmax	-5484.5	-48.9	12833.8	-79.0
			Mmax	-5455.0	-53.9	12764.7	-87.0
		2+625	Nmax	-501.1	-13.0	1172.6	-20.9
			Mmax	-501.1	-13.0	1172.6	-20.9
		2+680	Nmax	-533.0	-29.8	1247.1	-48.1
			Mmax	-237.9	81.8	556.7	132.1
Interconnessione B.D.	B	1+065	Nmax	-5464.9	-23.9	12787.9	-38.6
			Mmax	-5425.3	-29.9	12695.1	-48.3
		2+720	Nmax	-5548.6	3.4	12983.8	5.5
			Mmax	-5374.7	-45.0	12576.7	-72.6
		2+910	Nmax	-2963.6	4.3	6934.9	6.9
			Mmax	-2842.3	-34.4	6651.0	-55.5

Tabella 12-4: Sollecitazioni sezioni di applicazione concio Tipo B

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 243 di 280

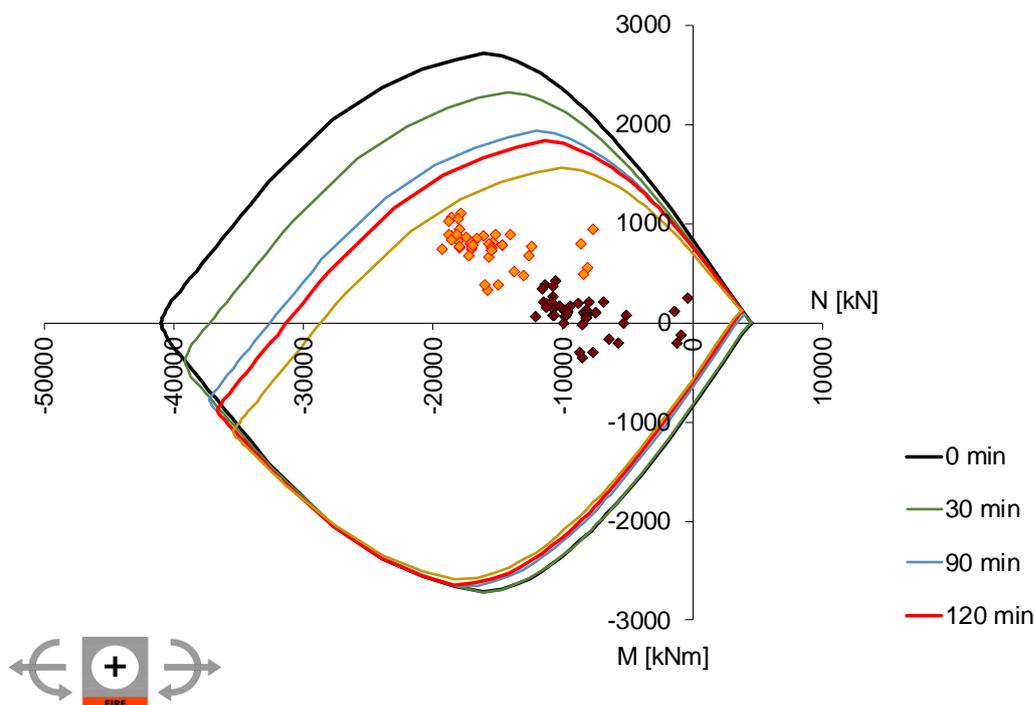


Figura 12-9: Dominio M-N a freddo e a caldo con e senza spalling – tipo B.

Tipo C

Galleria	Sezione Tipo	pk analizzata [m]	Combinazione	N [kNm/m]	M [kNm/m]	$N_{fuoco}=N \cdot 1.8$ [kNm]	$M_{fuoco}=M \cdot 1.8 \cdot 1.31$ [kNm]
Pila 13 B.P.	C	0+516	Nmax	-3594,00	-74,92	6469,20	-176,66
			Mmax	-1389,00	58,10	2500,20	137,00
Pila 14 B.P.		1+935	Nmax	-1970,00	193,70	3546,00	456,74
			Mmax	-816,10	-171,50	1468,98	-404,40
Linea Storica B.P.		2+490	Nmax	-749,36	-218,52	1348,85	-515,27
			Mmax	-305,64	260,07	550,15	613,25
Rilevato A22 B.D.		3+140	Nmax	-1604,00	-286,60	2887,20	-675,80
			Mmax	-759,50	356,00	1367,10	839,45
Funes A22		1+1370	Nmax	-1262,00	137,60	2271,60	324,46
			Mmax	-442,00	-149,70	795,60	-352,99
Forch A22		2+1100	Nmax	-1791,00	-102,00	3223,80	-240,52
			Mmax	-955,90	131,50	1720,62	310,08

Tabella 12-5: Sollecitazioni sezioni di applicazione concio Tipo C

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO
PROGETTAZIONE:		
Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMessa: IB0U LOTTO: 1BEZZ CODIFICA: RH DOCUMENTO: GN0000003 REV.: C FOGLIO: 244 di 280	

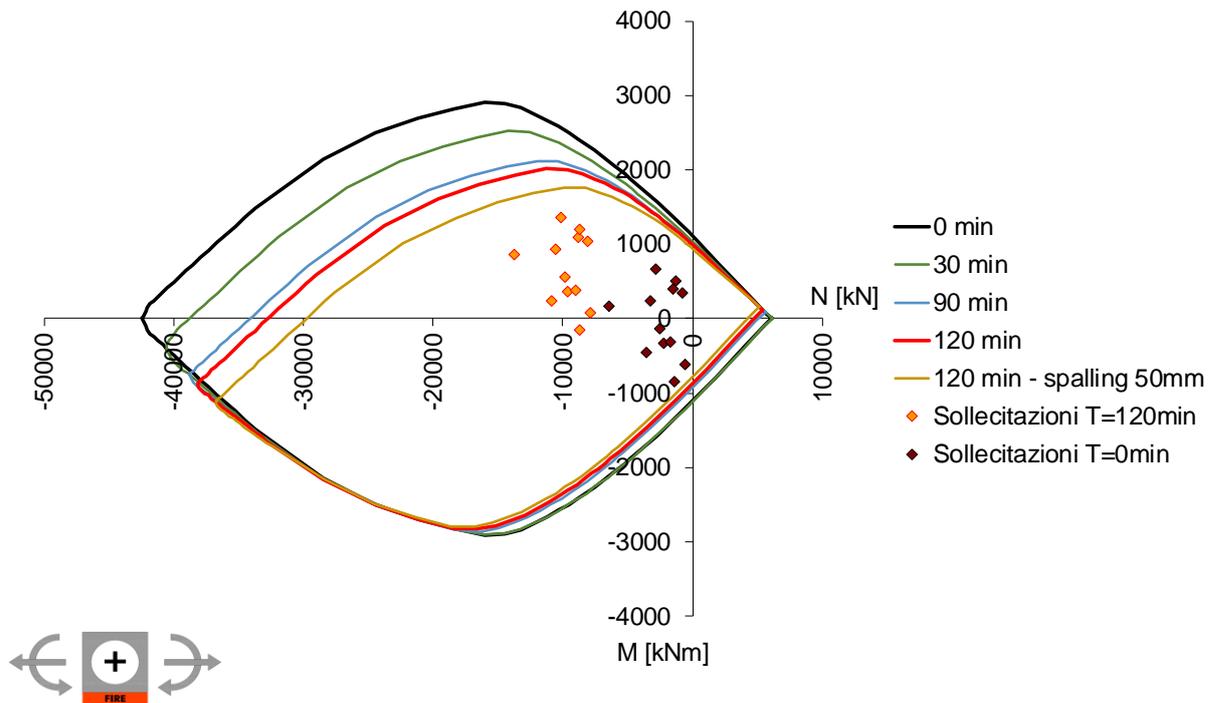


Figura 12-10: Dominio M-N a freddo e a caldo con e senza spalling Tipo C.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	245 di 280

13. FASE OPERATIVA

Le soluzioni progettuali descritte nel capitolo precedente sono state analizzate per verificarne adeguatezza ed efficacia per le sezioni analizzate per le Gallerie di Linea Scaleres, Gardena ed interconnessioni, e nel rispetto delle indicazioni della normativa vigente (Rif. [1]).

13.1 CRITERI DI VERIFICA

Le analisi di interazione, in grado di simulare il comportamento del sistema opera-terreno fino alla configurazione finale ed in condizioni di esercizio, sono state condotte mediante modelli numerici alle differenze finite e attraverso il metodo delle curve caratteristiche. Al fine di dimensionare i rivestimenti definitivi sono state condotte delle analisi numeriche bidimensionali. Le sezioni di analisi sono state scelte in corrispondenza delle massime coperture e nella condizione geotecnica più critica interessata dall'opera, in modo da ottenere le sollecitazioni massime agenti sugli elementi strutturali.

Per ciascuna sezione tipo oggetto di verifica, le sezioni di analisi sono state definite individuando le condizioni (stratigrafiche e di copertura) più gravose nell'ambito della relativa tratta di applicazione come sezione prevalente.

13.1.1 Parametri utilizzati per il rivestimento

Il rivestimento del tunnel è stato modellato come un elemento plate. Per considerare l'effetto dei giunti radiali sull'anello è stata considerata un'inerzia equivalente tramite la formulazione di Muir -Wood:

$$I = I_j + I_s \cdot \left(\frac{4}{n}\right)^2 = 0.0058 \text{ m}^4$$

La reale rigidità sarà sempre minore di quella ottenuta tramite questa formulazione, in quanto i giunti sono considerati rigidi nei modelli FEM, mentre si comportano come cerniere rotazionali con rigidità variabile in funzione del carico assiale e dell'eccentricità. La rotazione dei giunti comporta una sostanziale diminuzione dei momenti flettenti in quanto il rivestimento adatta la sua forma al terreno. La formula di Muir-Wood consente di considerare solo parzialmente questo effetto e quindi conduce ad un'analisi conservativa con momenti flettenti calcolati più elevati nel rivestimento tramite un coefficiente amplificativo delle sollecitazioni flessionali ξ , calcolato come segue:

$$\xi = 1 - \eta = \frac{EI - EI_{eq}}{EI}$$

$$\eta = \frac{EI_{eq}}{EI}$$

I risultati che ne derivano sono riportati nella seguente tabella:

Lining stiffness (Muir-Wood, 1975, JSCE, 1989)			
Joint width	t_j	m	0.32
Joint inertia	I_j	m^4	0.0033
I Muir -Wood inertia	I_{eq}	m^4	0.0058

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	246 di 280

Effective ratio of bending rigidity	η	-	0.76
Transfer ratio of bending moment	ξ	-	0.31
Equivalent bending stiffness	E_{ieq}	MNm ² /m	210
Eq. ring thickness	$t_{s,eq}$	m	0.392
Eq. Young's modulus	E_{eq}	kPa	41.8

Tabella 13-1: Parametri rivestimento tunnel

13.2 FASE DI DIAGNOSI

Nella fase di diagnosi, sulla base del modello geotecnico scaturito dagli studi e dalle indagini effettuati nella fase conoscitiva, si procede alla previsione della risposta tensio-deformativa dell'ammasso allo scavo, in assenza di interventi di stabilizzazione. La valutazione della risposta deformativa dell'ammasso allo scavo è condotta con riferimento alle tre categorie di comportamento fondamentali individuate nel metodo ADECO-RS Rif. [6] di seguito brevemente richiamate, sulla base delle quali il tracciato sotterraneo è suddiviso in tratte a comportamento deformativo omogeneo.

I risultati dell'analisi del comportamento deformativo consentono di individuare gli interventi di precontenimento e/o di contenimento più idonei a garantire condizioni di stabilità della galleria in fase di scavo e a lungo termine.

13.2.1 Classi di comportamento del fronte di scavo

Secondo l'approccio ADECO-RS Rif.[6] la previsione dell'evoluzione dello stato tensionale a seguito dell'apertura di una galleria è possibile attraverso l'analisi dei fenomeni deformativi, che forniscono indicazioni sul comportamento della cavità nei riguardi della stabilità a breve e a lungo termine. Dati sperimentali e analisi teoriche hanno dimostrato che il comportamento della cavità è significativamente condizionato, oltre che dalle caratteristiche geometriche della galleria stessa e dai carichi litostatici, anche dalle caratteristiche di resistenza e di rigidità del nucleo d'avanzamento, inteso come il volume di terreno a monte del fronte di scavo. Se il nucleo non è costituito da materiale sufficientemente rigido e resistente da mantenere in campo elastico il proprio comportamento tenso-deformativo, si sviluppano fenomeni deformativi e plasticizzazioni rilevanti in avanzamento, a cui consegue l'evoluzione verso condizioni di instabilità del fronte e del cavo. Se, invece, il comportamento del nucleo d'avanzamento si mantiene in campo elastico, il nucleo stesso svolge un'azione di precontenimento del cavo, che si mantiene a sua volta in condizioni elastiche, conservando le caratteristiche di massima resistenza del materiale attraversato e quindi configurazioni di stabilità.

Sulla base di tali considerazioni, il comportamento del nucleo-fronte di scavo, al quale è legato quello della cavità, può essere sostanzialmente ricondotto alle seguenti tre categorie:

Categoria A: nucleo-fronte stabile

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità non supera le caratteristiche di resistenza dell'ammasso; in tal caso le deformazioni sono prevalentemente elastiche, di piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente con la distanza dal fronte. Il fronte di scavo e il cavo sono stabili e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di stabilizzazione,

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	PROGETTO ESECUTIVO					
Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	247 di 280

se non localizzati e in misura ridotta. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

Categoria B: nucleo-fronte stabile a breve termine

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui lo stato tensionale nel terreno al fronte e al contorno della cavità, a seguito delle operazioni di scavo, raggiunge la resistenza dell'ammasso. I fenomeni deformativi tensioni sono di tipo elasto-plastico, di maggiore entità rispetto al caso precedente. Nell'ammasso può prodursi una eventuale riduzione delle caratteristiche di resistenza con decadimento verso i parametri residui. La risposta tensio-deformativa può essere opportunamente controllata con adeguati interventi di preconsolidamento del fronte e/o di consolidamento al contorno del cavo. In tal modo si fornisce l'opportuno contenimento all'ammasso perché mantenga un comportamento stabile.

Nel caso non si prevedano interventi, lo stato tensio-deformativo può evolvere verso situazioni di instabilità del cavo in fase di realizzazione. Il rivestimento definitivo costituisce il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

Categoria C: nucleo-fronte instabile

Tale categoria corrisponde alla condizione in cui, superata la resistenza del terreno, i fenomeni deformativi evolvono molto rapidamente in campo plastico, producendo la progressiva instabilità del fronte di scavo e un incremento dell'estensione della zona dell'ammasso decompressa e plasticizzata al contorno della cavità, con rapido decadimento delle caratteristiche meccaniche del materiale. L'espansione della fascia di materiale decompresso al contorno del cavo deve essere contenuta prima dell'arrivo del fronte di scavo, mediante interventi di preconsolidamento in avanzamento, che consentono di creare artificialmente l'effetto arco per far evolvere la risposta tensio-deformativa verso configurazioni di stabilità.

13.2.2 Determinazione delle categorie di comportamento

La valutazione del comportamento deformativo del fronte è stata condotta utilizzando il metodo delle curve caratteristiche, poiché le opere in esame sono caratterizzate coperture medio-alte e si possono classificare come gallerie profonde ($C > 2.5 \div 3D$).

Le analisi nella fase di diagnosi sono state condotte con riferimento ai valori caratteristici dei parametri geotecnici e delle azioni.

13.2.2.1. Analisi con il metodo delle linee caratteristiche

Il metodo delle linee caratteristiche (o convergenza-confinamento) è un metodo di calcolo che consente l'analisi 3D semplificata dello scavo di gallerie in relazione alle proprietà meccaniche dell'ammasso attraversato, alle caratteristiche geometriche dell'opera, agli interventi previsti di precontenimento e contenimento, e all'installazione dei rivestimenti provvisori e definitivi.

Il comportamento delle strutture di rivestimento e dell'ammasso vengono studiati separatamente: la curva caratteristica del cavo (o curva di convergenza) rappresenta l'evoluzione della convergenza radiale del cavo al diminuire della tensione radiale agente sul contorno del profilo di scavo, espressa in funzione del tasso di deconfinamento λ con cui viene simulato l'effetto dello scavo in avanzamento; la curva caratteristica dei sostegni (o curva di confinamento) rappresenta l'evoluzione della loro convergenza radiale al crescere della pressione radiale agente sugli stessi.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	PROGETTO ESECUTIVO					
Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	248 di 280

L'intersezione tra la curva di convergenza e la curva di confinamento individua il punto di equilibrio rappresentativo dello stato finale della galleria rivestita.

Le ipotesi alla base del metodo sono le seguenti:

- simmetria cilindrica e stato piano di deformazione;
- ammasso omogeneo ed isotropo;
- stato tensionale iniziale isotropo.

L'ideale campo di applicazione è pertanto costituito da gallerie profonde a sezione circolare.

Le analisi contenute in questo documento sono state svolte col codice di calcolo GV4 (versione 4H del 2003).

Per l'ammasso si utilizza un modello costitutivo elasto-plastico, con criterio di resistenza di Mohr-Coulomb.

Ove necessario, per la definizione del comportamento deformativo della galleria in funzione della distanza dal fronte, si utilizza il Nuovo Metodo Implicito (NMI) (Rif. [7], Rif. [8]), che consente di ottenere risultati affidabili sia in termini di convergenze, sia in termini di carichi di lavoro sui sostegni.

Per il calcolo della convergenza al fronte si utilizzano le soluzioni analitiche per cavità sferiche. Per le analisi di seguito riportate, relative alla fase di diagnosi, e finalizzate quindi alla sola valutazione del comportamento deformativo dell'ammasso per la determinazione della categoria di comportamento, non viene presa in considerazione l'interazione con i sostegni, per cui la soluzione del problema è ridotta alla valutazione della sola curva caratteristica del fronte (e del cavo) in assenza di interventi.

Quando invece si vuole valutare il comportamento del cavo in relazione con i sostegni e lo scudo, il programma di calcolo GV4 consente di implementare la curva caratteristica di una galleria scavata con fresa scudata, consentendo anche la definizione della curva dello scudo e del rivestimento. Utilizzando il programma per una galleria realizzata con metodo meccanizzato, le curve caratteristiche dei sostegni sono impostate in modo diverso rispetto a quelle di una galleria convenzionale. In particolare assumono importanza le dimensioni costruttive della macchina ed i giochi che ne derivano (Figura 13-1).

δR : gioco radiale tra l'esterno dello scudo e la parete dello scavo

ΔR : gioco radiale tra l'esterno dello scudo e l'esterno di un eventuale rivestimento.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 249 di 280

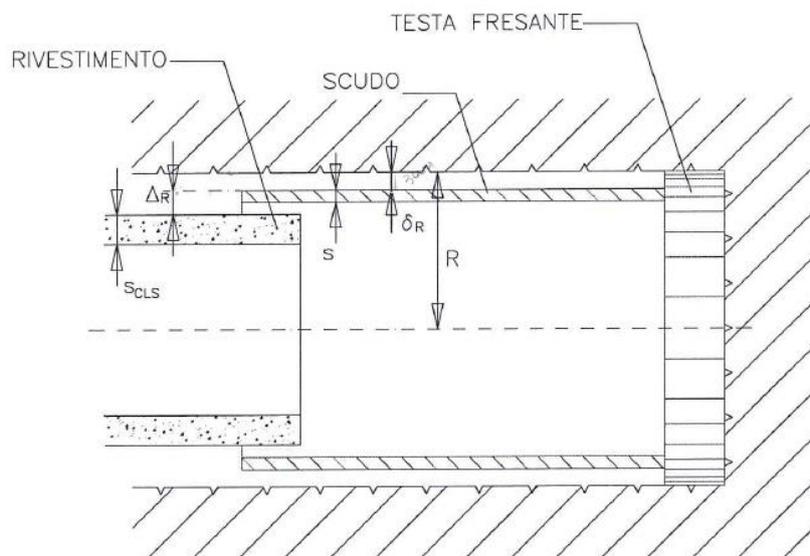


Figura 13-1: Dimensione e giochi costruttivi della fresa

Ai fini del calcolo, lo scudo della fresa è considerato un privervestimento posto in opera immediatamente a ridosso del fronte di scavo. Il punto iniziale u_i della curva caratteristica è calcolato come somma tra lo spostamento radiale del fronte di scavo e il gioco scudo-scavo.

$$u_i = u_F + \Delta r$$

La definizione della curva caratteristica dello scudo è completata anche dalla sua rigidezza k_S e dal valore della convergenza radiale u_{LIM} che corrisponde al raggiungimento del limite di rottura dell'acciaio.

$$k_S = \frac{E_S [R^2 - (R-s)^2]}{(1+\nu_S) [(1-2\nu_S)R^2 + (R-s)^2]} \quad u_{LIM} = \frac{1}{2k_S} \sigma_S^c \frac{R^2}{R^2 - (R-s)^2}$$

In cui:

- k_S : rigidezza dell'anello di calcestruzzo
- E_S : modulo elastico del calcestruzzo
- ν_S : coefficiente di Poisson del calcestruzzo
- σ_c
- S : resistenza a compressione dell'acciaio
- s : spessore della lamiera dello scudo
- R : raggio della galleria
- u_{LIM} : limite elastico per la convergenza radiale dello scudo.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 250 di 280

Per quanto riguarda la curva caratteristica del rivestimento, l'analisi della galleria scavata con fresa si differenzia da un'analisi di galleria scavata in tradizionale solo per la presenza dei giochi, annullati da eventuale filler iniettato per intasare l'intercapedine rivestimento – roccia.

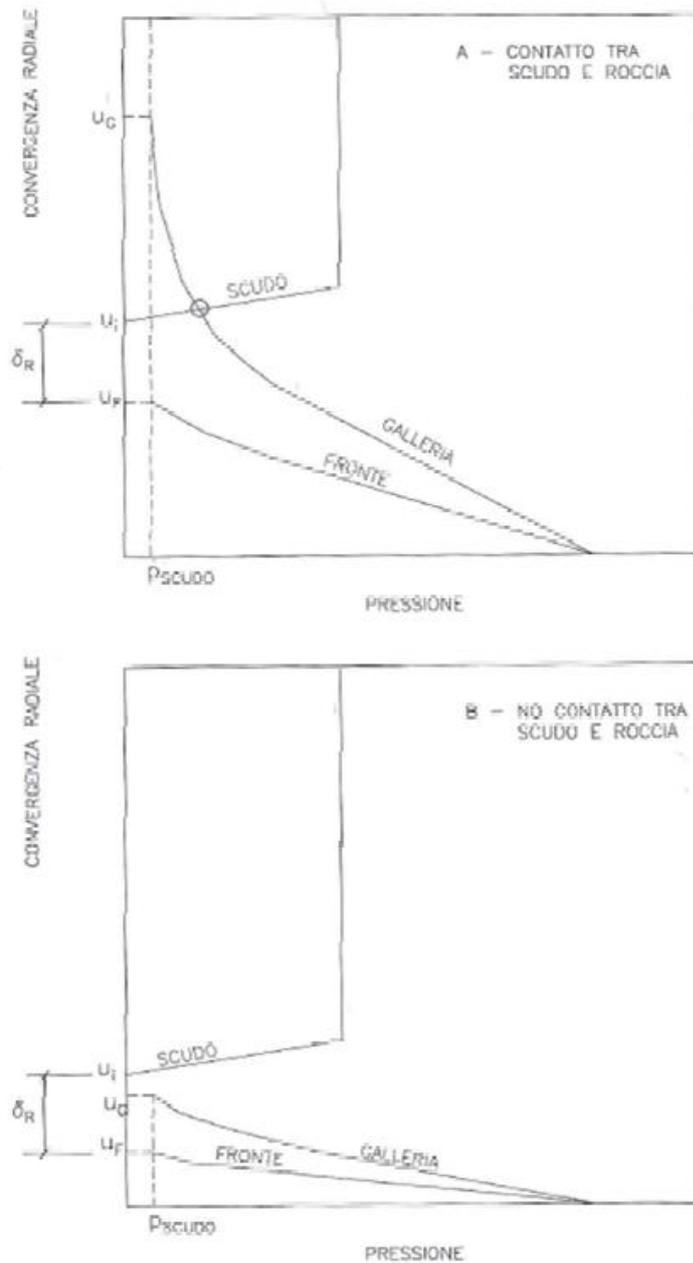


Figura 13-2: Curva caratteristica dello scudo

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 251 di 280

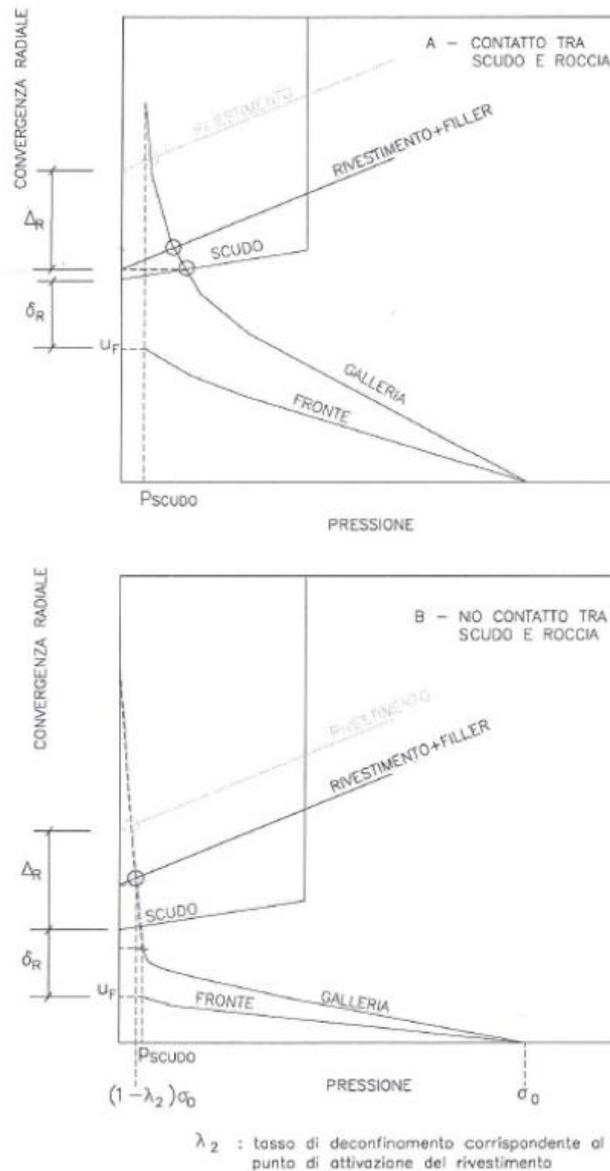


Figura 13-3: Curva caratteristica del rivestimento

13.2.2.2. Risultati delle analisi

I risultati delle analisi sono stati esaminati alla luce di due aspetti:

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	252 di 280

- confronto tra la resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso σ_c e la pressione critica al fronte $p_c = (3\sigma_o - 2\sigma_c) / (1 + 2Kp)$, che individua il passaggio dal comportamento elastico a quello plastico,
- sviluppo dei fenomeni deformativi e di plasticizzazione nella sezione al fronte e al contorno del cavo, prendendo a riferimento per la definizione della categoria di comportamento i seguenti due criteri:

Tabella 9-2 – Criterio 1

σ_c / p_c	Classe di comportamento
$\geq 1,2$	A
$< 1,2$ e $\geq 0,8$	A/B
$< 0,8$ e $\geq 0,2$	B/C
$< 0,2$	C

Tabella 13-2: Criterio 1

Tabella 9-3 – Criterio 2

u_F / R_{eq}	R_{plF} / R_{eq}	Classe di comportamento
$\leq 0,5 \%$	$\leq 1,5$	B
$> 0,5 \%$	$> 1,5$	C
u_F = convergenza al fronte R_{plF} = raggio plastico al fronte R_{eq} = raggio di scavo equivalente della galleria		

Tabella 13-3: Criterio 2

Sulla base di queste valutazioni quantitative, unitamente all'analisi critica dei risultati ottenuti rispetto all'affidabilità dei dati di ingresso in termini di parametri di ammasso (rigidezza e resistenza) e condizioni idrauliche al contorno, in relazione ad eventuali variabilità attese lungo il tracciato della galleria e alle possibili conseguenze per comportamenti imprevedibili, è stata definita la categoria di comportamento del fronte di scavo da cui deriva l'individuazione della metodologia di avanzamento e delle possibili problematiche relative alla stabilità del fronte.

13.3 FASE DI TERAPIA

Nel presente capitolo sono definiti gli interventi necessari per garantire la stabilità del cavo a breve e a lungo termine, in accordo con le indicazioni provenienti dalla fase conoscitiva e dall'analisi del comportamento deformativo allo scavo (fase di diagnosi). Sono, quindi, descritte le caratteristiche principali delle sezioni tipo di avanzamento, il loro campo di applicazione e la successione delle fasi esecutive.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:					PROGETTO ESECUTIVO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	253 di 280

13.3.1 Definizione del metodo di scavo

A seguito dell'analisi del tracciato plano-altimetrico, dell'inquadramento geologico-idrogeologico, della previsione della risposta deformativa allo scavo (determinazione della categoria di comportamento) e in funzione della configurazione delle gallerie (a singolo binario e doppia canna), deriva la scelta del metodo di scavo più appropriato per la realizzazione delle gallerie naturali di progetto.

I principali criteri considerati nella scelta del metodo di scavo sono:

- esigenza di operare nelle migliori condizioni di sicurezza in fase realizzativa (per l'ambiente e per gli addetti ai lavori);
- superamento di zone potenzialmente critiche dal punto di vista geologico, geomorfologico ed idrogeologico
- (fasce tettonizzate, elevati carichi idraulici, sottoattraversamento di zone a bassa copertura in terreni sciolti in presenza di falda e di preesistenze superficiali);
- contenimento del fronte di scavo per evitare possibili instabilità del fronte medesimo legate alle condizioni geotecniche ed idrogeologiche degli ammassi attraversati;
- lunghezza delle gallerie e necessità di velocizzare le fasi di scavo e di rivestimento limitando i fronti d'attacco intermedi.

Sono stati, inoltre, tenuti in conto ulteriori fattori legati alla programmazione dei lavori del Lotto 1 rispetto a quello di realizzazione della galleria di Base del Brennero che hanno richiesto l'apertura di ulteriori fronti di scavo e quindi la necessità di prevedere tratte realizzate con TBM e tratte eseguite con metodo di scavo tradizionale.

Nel tratto di scavo con TBM, la galleria attraversa le Filladi di Bressano in condizioni di medio-alta copertura. In generale, l'ammasso presenta buone caratteristiche geotecniche. Per tali condizioni di scavo si è optato per la scelta di una TBM dual mode con la possibilità chiusa con l'applicazione di pressione al fronte.

13.3.1.1. Interazione galleria- terreno

Le analisi sono mirate alla previsione del comportamento deformativo al contorno dello scavo e dei carichi attesi sui rivestimenti definitivi. Le analisi consentono, pertanto, di verificare:

- stati limite ultimi relativi al raggiungimento delle resistenze degli elementi strutturali del rivestimento
- definitivo (stato limite ultimo di tipo STR);
- stati limite di esercizio SLE per il rivestimento definitivo.
- Per le verifiche di stati limite ultimi STR, le analisi di interazione opera – terreno sono state condotte con i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici, applicando i coefficienti parziali all'effetto delle azioni, adottando l'Approccio 1- Combinazione 1, con $R1=1$. Pertanto, con la combinazione dei carichi fondamentale si è proceduto secondo questo schema:
- verifiche SLU rivestimento definitivo: $\gamma_G= 1,3$ applicato alle caratteristiche delle sollecitazioni N, M, T.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 254 di 280

Per la verifica degli stati limite di esercizio (SLE) del rivestimento definitivo in calcestruzzo armato, le analisi numeriche sono state condotte con i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici, adottando le pertinenti combinazioni dei carichi per la verifica di fessurazione e la verifica delle tensioni di esercizio, secondo quanto previsto dal DM 14/01/2008 e Circolare n.617 (Rif. [1] e Rif. [2]).

Le analisi di interazione opera-terreno sono state condotte mediante modelli numerici alle differenze finite con il codice di calcolo Plaxis 2D.

Il modello di calcolo è bidimensionale ed è riferito a condizioni di deformazione piana. Lo scavo della galleria viene simulato rilasciando in modo uniforme un sistema di forze equivalenti applicate sul contorno del profilo di scavo, tenendo conto della variazione del tasso di confinamento in funzione della distanza della sezione di calcolo dal fronte; in questo modo il problema tridimensionale dello scavo della galleria viene ricondotto ad un problema piano, con la possibilità di valutare le azioni sulle strutture di rivestimento al progredire degli avanzamenti.

Nello specifico, per la definizione delle percentuali di rilascio delle forze di scavo al variare della distanza dal fronte di scavo, sono state utilizzate le curve di deconfinamento.

Il terreno viene modellato come un mezzo continuo elastico lineare perfettamente plastico con criterio di resistenza di Mohr-Coulomb.

Le strutture di rivestimento definitivo della galleria vengono simulate con elementi plate circolari con i valori di rigidità assiale e flessionale che ne derivano.

Il livello di falda viene modellato sulla base della permeabilità dei terreni attraversati dalla sezione in esame, si riporta al §13.4 nel dettaglio il metodo utilizzato.

13.3.2 Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi

Nell'intervallo di valori dei parametri geotecnici sopra definiti, in accordo con le indicazioni del DM 14/01/2008, sono stati individuati i parametri caratteristici appropriati per gli stati limite considerati nella verifica delle opere in sotterraneo.

Le altezze di pressione dell'acqua sono state ricavate sulla base della permeabilità dei terreni attraversati dalle diverse sezioni.

Per le verifiche del rivestimento sono stati utilizzati i parametri riportati all'interno del profilo geologico nelle condizioni più critiche per ciascuna unità analizzata.

13.4 DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI DRENAGGIO DI LUNGO TERMINE

Nel caso di gallerie naturali sotto falda, in fase di scavo il carico idraulico iniziale determina un flusso continuo dall'ammasso saturo alla galleria che causa venute d'acqua di entità variabile in funzione della permeabilità dell'ammasso. A rivestimento completato e a regime idraulico riequilibrato e stabilizzato, il carico idraulico tende progressivamente a distribuirsi lungo l'interfaccia rivestimento-ammasso, andando progressivamente a gravare sul rivestimento stesso. Generalmente il carico idraulico stabilizzato nella fase postscavo risulta inferiore al carico in fase pre-scavo, ma è estremamente difficile, se non impossibile, prevedere di quanto. Pertanto, a titolo cautelativo, il valore del carico idraulico da prendere a riferimento nelle verifiche di interazione opera-terreno è quello corrispondente allo stato indisturbato pre-scavo.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	256 di 280
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C							

<i>Caratteristiche materie prime e dosaggi</i>		
<i>Componente</i>	<i>Materiale</i>	<i>Quantità min.</i>
Liquido A	Cemento 32,5R tipo II/A -LL	200 ÷ 350 Kg
	Cemento 32,5R tipo II/B -LL	
	Bentonite sodica	25 ÷ 50 Kg
	Ritardante	4 ÷ 10 litri
	Acqua	800 ÷ 950 litri
Liquido B	Silicato di sodio	5% ÷ 10% sul peso della miscela
	36° - 38° Baumè	
	Rm 3,1 ÷ 3,4	

<i>Caratteristiche fisico-meccaniche</i>		
Viscosità Marsh	35 ÷ 38 sec.	
Bleeding dopo 24h	< 4%	
Setting in 24h	0	
Gelling time	6 ÷ 12 sec.	
Resistenza a compressione	@ 1h	0,01 N/mm ²
	@ 1 giorno	> 0,3 N/mm ²
	@ 28 giorni	> 1 N/mm ²

Visti i carichi idraulici in questione, dell'ordine dei 400 m, per ragioni costruttive e di durabilità si prevede l'abbattimento del carico idraulico per rendere il sistema concio/guarnizione congruente con le prestazioni del progetto a base gara.

Il dimensionamento del sistema di drenaggio definitivo è basato sulla stima delle portate stabilizzate (a lungo termine). Il calcolo di queste portate è riportato nell'elaborato IBOU1BEZZRGGEE0000002- Relazione idrogeologica, ed in particolare nella tabella 16 che si riporta qui sotto per completezza

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 257 di 280

		Q cumulata picco [l/s]	Q stabilizzata [l/s]
Galleria Scaleres + Finestra Forch	Finestra Forch	6	3,3
	Galleria Scaleres tratta Forch-Fortezza		
	canna 1 + 2	60	53
	canna 1	42	26
	canna 2	30	26
	Galleria Scaleres tratta Forch-Isarco		
	canna 1 + 2	164	134
	canna 1	164	67
	canna 2	90	67
	Q stabilizzate totali		
Galleria Gardena + Interconnessioni + Finestre Funes e	Finestra Funes (tradizionale)	0,2	0,1
	Isarco-Funes TBM_BP	3,6	2,6
	Isarco-Funes Trad._BD	0,3	0,2
	Finestra Chiusa	22	17
	Funes TBM + Gardena + Interconnessioni	131	122
	canna binario pari	131	59
	canna binario dispari	78,6	64
Q stabilizzate totali			142

La stima di queste portate è stata considerando che la galleria dreni liberamente, massimizzando le portate entranti e quindi il dimensionamento del sistema di drenaggio della galleria. Si evince che il sistema di smaltimento delle acque di Scaleres/Forch è stato dimensionato per 190 l/s totale, mentre il sistema Gardena/Interconnessioni è stato dimensionato per 142 l/s totale. Il dimensionamento di queste portate avviene mediante l'impiego di un software specifico e riportato sempre nello stesso elaborato.

Nei tratti in meccanizzato, oggetto di questa relazione, la portata stabilizzata per la galleria Scaleres è di 67 l/s per ogni canna, mentre per la galleria Gardena/Int. B.P. si ha un valore di 59 l/s e, Gardena/Int. B.D si ha 64 l/s.

Per stimare il carico idraulico agente sui conci e sulle guarnizioni sono stati utilizzati, invece, i valori più bassi di conducibilità idraulica, per valutare se la disposizione dei dreni utilizzata è adeguata a ridurre il carico idraulico sul sistema concio/guarnizione.

Sono stati eseguiti, quindi, due tipologie di analisi:

- Metodo analitico: si tratta della formulazione di Goodman ipotizzando una distribuzione dei dreni, considerando un fattore di sicurezza di 1.3
- Modellazione bidimensionale e tridimensionale per la stima della efficacia longitudinale tra i dreni

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	258 di 280

La verifica sul sistema di drenaggio deve essere fatta nelle condizioni di conducibilità idraulica più bassa fornita sui profili geologici. I modelli numerici 3D consentono di considerare che longitudinalmente alla galleria si garantisca la captazione mediante i dreni.

13.4.2 Abbattimento della falda

I risultati delle analisi condotte evidenziano che i carichi idraulici saranno molto ridotti nell'intorno della galleria, mentre allontanandosi dalla stessa il carico idraulico torna a salire. Al contempo la falda si abbassa, dipendendo dai casi analizzati dai 30 metri fino ad un massimo di 60 metri, quindi la falda non si abbassa a quota galleria.

Si ritiene che i presenti modelli siano cautelativi. L'abbassamento della falda, infatti, si ritiene sarà molto minore in quanto la metodologia di calcolo, sia essa analitica o numerica, tiene in conto un modello di filtrazione alla Darcy ma in realtà il comportamento dell'ammasso sarà più simile a quello di un mezzo fratturato e difficilmente riproducibile con modelli numerici.

Il controllo dell'efficacia del sistema di drenaggio verrà attentamente monitorato in corso d'opera mediante l'installazione di piezometri, installati oltre il rivestimento prefabbricato. Per misurare il livello piezometrico in galleria sono stati previsti piezometri ogni 2000 metri e nelle zone di faglia/tettonizzate (si veda il paragrafo 9.1 dell'elaborato IBOU1BEZZRHGN0000004)

Si sottolinea, infine, che rispetto al progetto definitivo che prevedeva le due gallerie di linea (Scaleres in scavo meccanizzato e Gardena in scavo tradizionale) come drenate, il progetto esecutivo consente un miglioramento da un punto di vista del sistema di drenaggio: la galleria Scaleres è in scavo meccanizzato ma il riempimento del gap anulare verrà eseguito con miscela bicomponente anziché con pea-gravel (ghiaino), mentre la galleria Gardena verrà scavata in meccanizzato (con posa del rivestimento definitivo immediata dietro lo scudo) sempre con riempimento del gap mediante bicomponente. In questo modo si ritiene che sia stato ridotto l'impatto dell'opera sulle sorgenti, che sono state valutate nell'elaborato IBOU1BEZZRGGE0000002 assieme alle relative opere compensatorie.

13.4.3 Metodi analitici

Lo studio dell'abbattimento del carico idraulico avviene con la formulazione analitica di Goodman (1965) che si basa sulle seguenti ipotesi:

- Tunnel di lunghezza infinita;
- Flusso in condizioni stazionarie;
- Terreno o roccia con permeabilità isotropica o omogenea;
- Nessun abbassamento del livello delle acque sotterranee;
- Il flusso si verifica solo sull'estradosso del tunnel.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 259 di 280

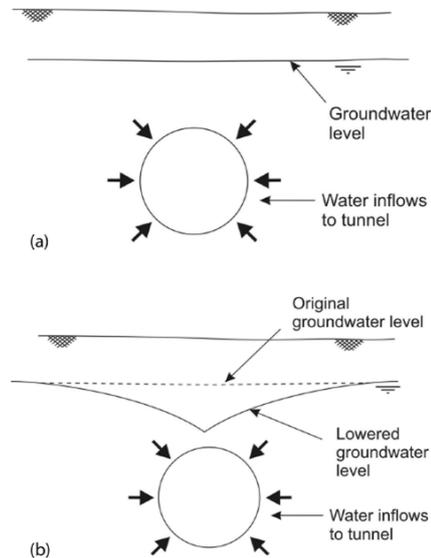


Figura 13-5 (a) Condizione senza abbassamento del livello di falda; (b) Abbassamento del livello di falda (provocata dal deflusso dell'acqua all'interno del tunnel)

La formulazione di Goodman, utilizzata nelle analisi per ricavare l'afflusso di acqua in regime stazionario, è la seguente:

$$Q = \frac{2\pi k H x}{\ln\left(\frac{4H}{D}\right)}$$

In cui:

- k è la permeabilità del terreno o della roccia;
- D è il diametro del tunnel;
- x è la lunghezza del tunnel oggetto di valutazione;
- H è la differenza tra il livello di falda e l'asse del tunnel.

I parametri geometrici che caratterizzano la formula sono riportati nella figura seguente :

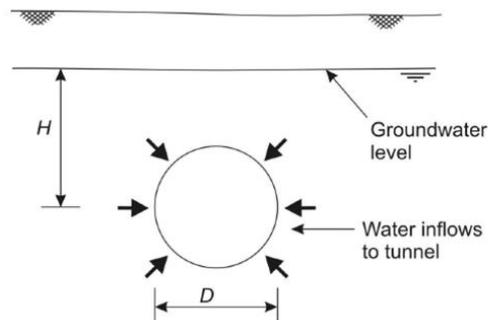


Figura 13-6 Schema per l'applicazione della teoria di Goodman

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	260 di 280

Da qui si dimensiona il sistema di drenaggio:

Dimensione sistema di drenaggio di lungo termine			
Diametro tubazione	$D =$	80	[mm]
Grado di riempimento	$y/D =$	0.5	[-]
Area tubazione	$A =$	5027	[mm ²]
Perimetro	$P =$	251	[mm]
Raggio idraulico	$RH = P/A =$	20	[mm]
Raggio idraulico/D	$RH/D =$	0.25	[-]
Pendenza minima tubazione	$if =$	0.0005	[-]
Coefficiente di scabrezza Gauckler-Strickler	$c =$	85	[-]
Coefficiente di attrito	$\chi = c \cdot \left(\frac{RH}{1000}\right)^{\frac{1}{6}} =$	44.29	[-]
Velocità secondo Chezy	$v = \chi \cdot \left(\frac{RH}{1000} \cdot if\right)^{0.5} =$	0.14	[-]
Portata massima tubazione drenaggio	$Q_{dreno} = v \cdot A =$	0.352	[l/s]
Permeabilità dell'ammasso	$K =$	1.00E-07	[m/s]
Carico idraulico corrispondente allo stato indisturbato pre-scavo	$H =$	430	[m]
Carico idraulico agente sul rivestimento	$h =$	350	[m]
Raggio di estradosso della galleria	$r =$	4.65	[m]
Numero dreni	$n_{dreni} =$	2	[-]
Portata per metro	$Q_{metro} = \frac{Q_{dreno} \cdot n_{dreni}}{p_{dreni}} =$	0.033	[l/s/m]
Passo dreni	$p_{dreni} =$	21.6	[m]
Portata da drenare (Goodman)	$Q_{Goodman} = \frac{2 \pi K L (H-h)}{\ln\left(\frac{2H-2h}{r}\right)} =$	0.014	[l/s/m]
Coefficiente di sicurezza	$\gamma = \frac{Q_{metro}}{Q_{Goodman}} =$	2.3	[-]

Tabella 13-4: Dimensionamento di drenaggio di lungo termine

In Tabella 13-4 viene riportato un esempio in cui si considerano due dreni e un passo delle sezioni di drenaggio pari a 21.6 m (ogni 12 anelli) per abbattere un carico idraulico di 430 m fino a 350 m. La verifica è soddisfatta, l'intervento di drenaggio previsto garantisce la riduzione dei carichi idraulici considerata nell'analisi.

In condizioni di ammasso roccioso elastico il massimo carico idraulico supportato dai giunti corrisponde a 100m di colonna d'acqua (si veda la verifica dei giunti al §10).

Nella tabella che segue viene riportato un riassunto del dimensionamento del sistema di drenaggio nelle tratte interessate dalle sezioni analizzate. I valori riportati in azzurro in Tabella 13-4 sono i valori variabili,

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA - PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 261 di 280

mentre gli altri valori rimangono fissi in tutte le tratte calcolate. Il dimensionamento viene svolto garantendo un coefficiente di sicurezza $\gamma = 1.3$.

Galleria	pk inizio [m]	pk fine [m]	Litotipo	Faglia (sì/no)	Classe copertura [m]	K [m/s]	Carico idraulico [m]	Lunghezza tratta [m]	Carico idraulico Max [m]	N anelli interasse	Q _{max} [l/s/m]	Q _{min} [l/s/m]	Passo dreni	Passo dreni Effettivo
Scaleres	3+951	4+448	Filladi	no	400-800	1.00E-08	250	0+496	60	111	0.004	0.003	200	21.60
Scaleres	4+448	4+628	Filladi	no	100-400	5.00E-08	240	0+180	60	23	0.017	0.013	42	21.60
Scaleres	4+628	4+687	Filladi	si	100-400	1.00E-07	235	0+060	60	12	0.033	0.025	21	21.60
Scaleres	4+687	4+715	Filladi	no	100-400	5.00E-08	230	0+028	100	30	0.013	0.010	53	21.60
Scaleres	4+715	4+921	Filladi	no	400-800	1.00E-08	255	0+206	100	130	0.003	0.002	234	21.60
Scaleres	4+921	5+111	Filladi	no	400-800	5.00E-08	260	0+190	100	25	0.015	0.012	46	21.60
Scaleres	5+111	5+296	Filladi	no	400-800	1.00E-08	255	0+185	100	130	0.003	0.002	234	21.60
Scaleres	5+296	5+319	Filladi	no	100-400	5.00E-08	240	0+023	100	28	0.014	0.011	50	21.60
Scaleres	5+319	5+340	Filladi	si	100-400	1.00E-07	230	0+021	90	14	0.028	0.021	25	21.60
Scaleres	5+340	5+478	Filladi	no	100-400	5.00E-08	175	0+139	100	44	0.009	0.007	80	21.60
Scaleres	5+478	5+499	Filladi	si	100-400	1.00E-07	120	0+020	90	41	0.010	0.007	73	21.60
Scaleres	5+499	6+414	Filladi	no	100-400	5.00E-08	110	0+915	100	140	0.003	0.002	251	21.60
Scaleres	6+414	6+467	Filladi	si	100-400	1.00E-07	145	0+053	90	28	0.014	0.011	50	21.60
Scaleres	6+467	6+975	Filladi	no	100-400	5.00E-08	165	0+508	100	49	0.008	0.006	88	21.60
Scaleres	6+975	7+574	Filladi	no	400-800	1.00E-08	260	0+599	90	121	0.003	0.002	218	21.60
Scaleres	7+574	7+615	Filladi	si	400-800	5.00E-08	285	0+040	10	17	0.024	0.018	30	21.60
Scaleres	7+615	8+086	Filladi	no	400-800	1.00E-08	255	0+471	100	130	0.003	0.002	234	21.60
Scaleres	8+086	8+620	Filladi	no	100-400	5.00E-08	230	0+534	100	30	0.013	0.010	53	21.60
Scaleres	8+620	8+648	Filladi	si	100-400	1.00E-07	220	0+028	40	12	0.034	0.026	21	14.40
Scaleres	8+648	9+102	Filladi	no	100-400	5.00E-08	195	0+454	100	37	0.010	0.008	67	21.60
Scaleres	9+102	9+203	Dioriti	no	100-400	2.50E-07	170	0+101	100	9	0.042	0.032	17	14.40
Scaleres	9+203	9+335	Filladi	no	100-400	5.00E-08	165	0+131	100	49	0.008	0.006	88	21.60
Scaleres	9+335	9+355	Filladi	si	100-400	1.00E-07	150	0+020	10	14	0.028	0.021	25	21.60
Scaleres	9+355	10+688	Filladi	no	100-400	5.00E-08	140	1+333	100	68	0.006	0.004	123	21.60
Scaleres	10+688	10+708	Filladi	si	100-400	1.00E-07	120	0+020	100	52	0.008	0.006	93	21.60
Scaleres	10+708	11+009	Filladi	no	100-400	5.00E-08	120	0+032	100	74	0.005	0.004	134	21.60
Scaleres	11+009	11+029	Filladi	si	100-400	1.00E-07	155	0+020	60	19	0.021	0.016	34	21.60
Scaleres	11+029	11+177	Filladi	no	100-400	5.00E-08	155	0+148	100	55	0.007	0.005	99	21.60
Scaleres	11+177	11+548	Filladi	no	100-400	5.00E-08	155	0+371	100	55	0.007	0.005	99	21.60
Scaleres	11+548	11+938	Filladi	no	100-400	5.00E-08	170	0+389	100	47	0.008	0.006	84	21.60
Scaleres	11+938	12+001	Filladi	no	100-400	5.00E-08	170	0+064	100	47	0.008	0.006	84	21.60
Scaleres	12+001	12+021	Filladi	si	100-400	1.00E-07	190	0+020	80	17	0.023	0.018	30	21.60
Scaleres	12+021	12+173	Filladi	no	100-400	5.00E-08	190	0+057	100	39	0.010	0.008	70	21.60
Scaleres	12+173	12+199	Filladi	si	100-400	1.00E-07	190	0+020	80	17	0.023	0.018	30	21.60
Scaleres	12+199	12+437	Filladi	no	100-400	5.00E-08	190	0+238	100	39	0.010	0.008	70	21.60
Scaleres	12+437	12+457	Filladi	si	100-400	1.00E-07	190	0+020	80	17	0.023	0.018	30	21.60
Scaleres	12+457	12+478	Filladi	no	100-400	5.00E-08	160	0+021	100	52	0.008	0.006	93	21.60
Scaleres	12+478	12+533	Filladi	si	100-400	1.00E-07	185	0+056	80	17	0.023	0.017	31	21.60
Scaleres	12+533	12+600	Filladi	no	100-400	5.00E-08	195	0+067	100	37	0.010	0.008	67	21.60
Scaleres	12+600	12+757	Filladi	no	400-800	1.00E-08	205	0+557	100	174	0.002	0.002	312	21.60
Scaleres	12+757	12+777	Filladi	si	400-800	5.00E-08	210	0+020	70	28	0.014	0.011	50	21.60
Scaleres	12+777	13+283	Filladi	no	400-800	1.00E-08	230	0+506	100	148	0.003	0.002	267	21.60
Scaleres	13+283	13+758	Filladi	no	100-400	5.00E-08	280	0+475	100	23	0.017	0.013	42	21.60
Scaleres	13+758	13+775	Filladi	si	100-400	1.00E-07	300	0+017	80	10	0.039	0.030	18	14.40
Scaleres	13+775	14+412	Filladi	no	100-400	5.00E-08	220	0+637	100	31	0.012	0.010	57	21.60
Scaleres	14+412	14+441	Corn. Scistose	no	100-400	5.00E-08	205	0+029	100	35	0.011	0.009	63	21.60
Scaleres	14+441	14+461	Corn. Scistose	si	100-400	1.00E-07	200	0+020	100	19	0.022	0.017	35	21.60
Scaleres	14+461	14+497	Corn. Scistose	no	100-400	5.00E-08	200	0+036	100	36	0.011	0.008	65	21.60
Scaleres	14+497	14+517	Corn. Massive	si	100-400	2.50E-07	195	0+020	100	7	0.052	0.040	13	3.60
Scaleres	14+517	14+687	Corn. Scistose	no	100-400	1.00E-07	200	0+170	100	18	0.022	0.017	32	21.60
Scaleres	14+687	15+143	Dioriti	no	100-400	2.50E-07	170	0+457	100	9	0.042	0.032	17	14.40
Scaleres	15+143	15+394	Dioriti	si	100-400	5.00E-07	115	0+250	100	12	0.033	0.025	21	21.60
Scaleres	15+394	15+461	Dioriti	no	100-400	2.50E-07	75	0+067	75	-	-	-	0	21.60
Scaleres	15+461	15+607	Dioriti	no	50-100	5.00E-07	35	0+147	35	-	-	-	0	21.60
Gardena	16+425	16+488	Porfirroidi	si	100-400	5.00E-07	125	0+064	90	7	0.053	0.041	13	3.60
Gardena	16+488	16+531	Porfirroidi	no	100-400	1.00E-07	115	0+043	100	60	0.007	0.005	107	21.60
Gardena	16+531	16+551	Porfirroidi	si	100-400	5.00E-07	90	0+020	50	7	0.057	0.044	12	3.60
Gardena	16+551	16+687	Porfirroidi	no	100-400	1.00E-07	85	0+136	85	-	-	-	0	21.60
Gardena	16+687	16+721	Filladi	no	50-100	1.00E-07	55	0+034	55	-	-	-	0	21.60
Gardena	16+721	16+783	si - Pines	no	100-50	1.00E-06	60	0+023	60	-	-	-	0	21.60
Gardena	16+783	17+439	Filladi	si	100-400	5.00E-08	115	0+656	100	119	0.003	0.003	214	21.60
Gardena	17+439	17+519	Filladi	si	100-400	1.00E-07	135	0+080	60	22	0.018	0.014	40	21.60
Gardena	17+519	18+125	Filladi	no	100-400	5.00E-08	280	0+606	70	21	0.019	0.015	37	21.60
Gardena	18+125	18+559	Filladi	no	400-800	1.00E-08	400	0+434	80	74	0.005	0.004	133	21.60
Gardena	18+559	18+649	Filladi	si	400-800	5.00E-08	430	0+090	10	12	0.033	0.025	21	21.60
Gardena	18+649	19+441	Filladi	no	400-800	1.00E-08	430	0+792	100	72	0.005	0.004	129	21.60
Gardena	19+441	19+462	Filladi	si	400-800	5.00E-08	400	0+021	80	15	0.027	0.020	27	21.60
Gardena	19+462	19+570	Filladi	no	400-800	1.00E-08	400	0+108	100	78	0.005	0.004	140	21.60
Gardena	19+570	19+684	Filladi	no	400-800	1.00E-08	400	0+114	100	78	0.005	0.004	140	21.60
Gardena	19+684	20+413	Filladi	no	400-800	1.00E-08	400	0+728	100	78	0.005	0.004	140	21.60
Gardena	20+413	20+499	Filladi	no	400-800	1.00E-08	400	0+087	100	78	0.005	0.004	140	21.60
Gardena	20+499	21+265	Filladi	no	400-800	1.00E-08	400	0+766	100	78	0.005	0.004	140	21.60
Gardena	21+265	21+285	Filladi	si	400-800	5.00E-08	530	0+020	80	11	0.035	0.027	20	14.40
Gardena	21+285	21+700	Filladi	no	400-800	1.00E-08	475	0+415	100	65	0.006	0.005	117	21.60
Interconnessione PG BP	0+243	0+466	Filladi	no	400-800	1.00E-08	450	0+223	100	69	0.006	0.004	123	21.60
Interconnessione PG BP	0+466	0+675	Filladi	si - Rio Gola	400-800	1.00E-07	445	0+209	80	7	0.059	0.045	12	3.60
Interconnessione PG BP	0+675	1+385	Filladi	no	400-800	1.00E-08	405	0+709	100	77	0.005	0.004	138	21.60
Interconnessione PG BP	1+385	1+475	Filladi	si	400-800	5.00E-08	350	0+090	90	17	0.023	0.017	31	21.60
Interconnessione PG BP	1+475	1+809	Filladi	no	400-800	1.00E-08	340	0+334	100	93	0.004	0.003	167	21.60
Interconnessione PG BP	1+809	1+849	Filladi	si	100-400	1.00E-07	195	0+040	90	17	0.023	0.017	31	21.60
Interconnessione PG BP	1+849	2+061	Filladi	no	100-400	5.00E-08	150	0+212	100	59	0.007	0.005	106	21.60
Interconnessione PG BP	2+061	2+085	Filladi	si	100-400	1.00E-07	110	0+023	90	34	0.011	0.009	61	21.60
Interconnessione PG BP	2+085	2+187	Filladi	no	100-400	5.00E-								

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 262 di 280	

Di seguito si riporta la tabella in cui viene esplicitata la legenda adottata per il passo dei dreni sulla base della lunghezza e del numero di anelli interessati.

Legenda	
3,60	2 Anelli
14,40	8 Anelli
21,60	12 Anelli

Tabella 13-6: Legenda passo dreni

Per verificare le bontà della soluzione sono stati realizzati analisi bi e tri dimensionali considerando due scenari:

- Scenario di ammasso sano
- Scenario di ammasso in faglia

Qui di seguito si riportano i dati di input

Galleria	pk inizio [m]	pk fine [m]	Complesso idro	Classe copertura [m]	K [m/s]	Carico idraulico [m]	Carico idraulico Max [m]
Gardena	18+125	18+559	1	400-800	1.00E-08	400	80

Galleria	Litotipo	Faglia (si/no)	Complesso idro	Classe copertura [m]	K [m/s]	Carico idraulico [m]	Carico idraulico Max [m]
Gardena	Filladi	si	F5	400-800	Variabile dagli ammassi	400	80

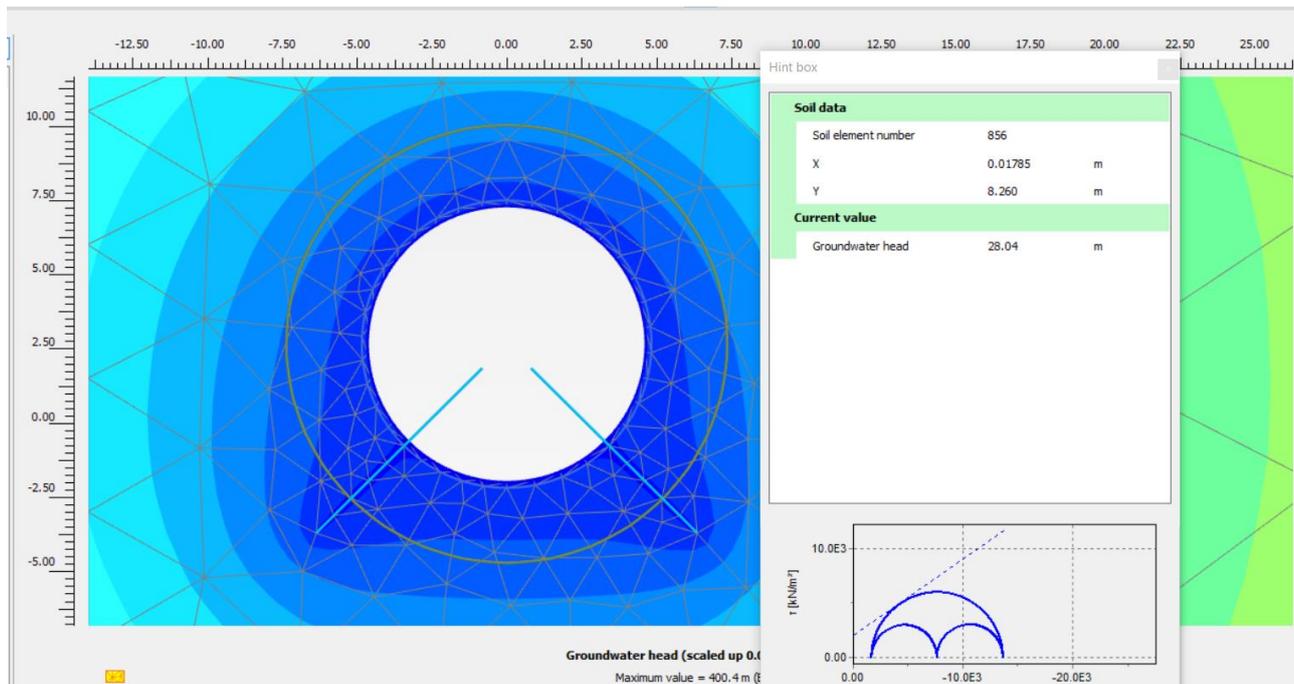
13.4.4 Metodi numerici 2D

I modelli bidimensionali sono stati svolti in Plaxis 2D considerando i dati di input

- Simulazione del terreno mediante modello MC drenato con i seguenti i valori di permeabilità 10^{-8} m/s per ammasso sano. Ipotesi di $k_x=k_y=k_z=10^{-8}$ m/s, permeabilità isotropa
- Simulazione della malta bicomponente con permeabilità di 10^{-8} m/s. Questo elemento è stato simulato mediante elemento volumetrico
- Simulazione del rivestimento in conci mediante elementi plate.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	263 di 280

I valori di carico idraulico sulla galleria, in fase finale, sembrano essere simili a quelli calcolati con la formulazione analitica (per maggiori informazioni sul modello 2D si veda l'allegato 3)



Tuttavia il modello 2D rappresenta una sezione piana e quindi per studiare l'influenza longitudinale dei dreni e, quindi, valutare la bontà della spaziatura tra dreni proposta, si è proceduto ad modello 3D.

13.4.5 Modello 3D

A supporto del calcolo analitico viene svolta una modellazione numerica tridimensionale, così da apprezzare l'effetto dell'effettivo passo dei dreni, considerando un sistema drenante costituito da una coppia di dreni lunghi circa 3m.

Al fine di dimostrare l'efficacia del sistema drenante viene sviluppato un modello 3D per due diverse zone, la prima in corrispondenza di ammasso roccioso, attraversato dalla galleria di linea Gardena GN02 pk 21+400 in cui si prevede un passo dei dreni ogni 12 anelli 21.6 m, la seconda in corrispondenza della zona di faglia della galleria di Interconnessione Binario Pari GN07 pk 0+500 con sistema di drenaggio a passo 3.6 m ogni 2 anelli.

In entrambe le analisi si considera cautelativamente una permeabilità isotropa degli ammassi, uguale in tutte e tre le direzioni, un riempimento del gap anulare con miscela bicomponente con una permeabilità K pari a 10^{-8} m/s di spessore di circa 19cm. Il rivestimento definitivo, con spessore pari a 45cm, viene modellato imponento che idraulicamente non collabori attivando funzione di "active in flow" delle interfaccia così da limitare il moto di filtrazione verso l'interno del cavo. La scelta di modellazione del rivestimento mediante

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	264 di 280

plate risiede in una maggiore velocità computazionale e, nel confronto del battente idraulico tra il modello 2D e 3D.

13.4.5.1. Simulazione sistemi di drenaggio galleria di linea Gardena

L'abbattimento del carico idraulico avviene mediante un intervento di drenaggio composto da una coppia di dreni lunghi 3m ad interasse 21.6m, ogni due anelli.

Ai dreni viene imposto un carico idraulico H pari a -9 m e pressione idraulica u nulla, dovuto alla quota z di installazione (-0.3m nel modello).

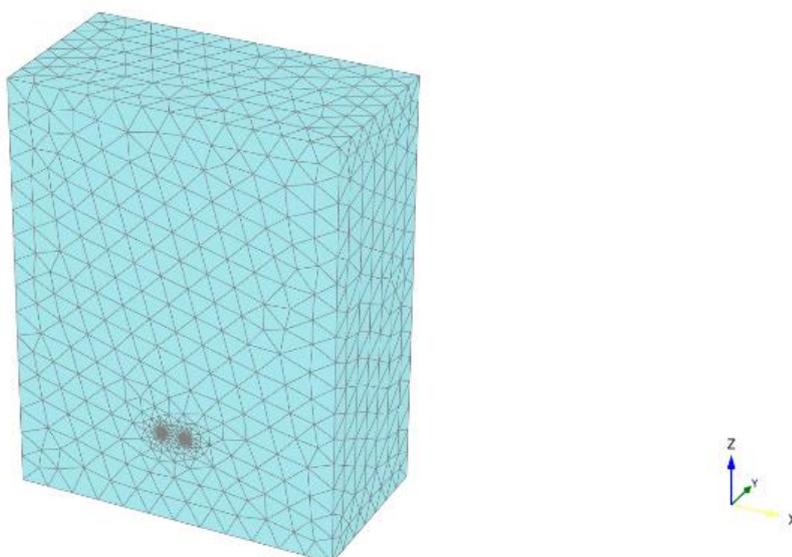
Il modello costitutivo dell'ammasso è di tipo elasto-plastico "Mohr-Coulomb".

Di seguito si riportano i parametri adottati nel modello:

Stratigrafia di calcolo	S	C	Falda	K
Formazione				
[-]	[m]	[m da calotta]	[m da calotta]	[m/giorno]
BSSa	700	550	400	8.64E-4

Tabella 13-7: Parametri geotecnici di calcolo per l'analisi numerica della sezione a pk 0+500 B.P.

In tale tratta la quota della falda è di 400m dalla calotta, è quindi rappresentativa dei battenti massimi individuate. Il modello è profondo 280.8m, lunghezza multipla del passo dei dreni, con un'estensione laterale dall'asse galleria di 250m per lato e al di sotto della galleria di 150m. L'analisi considera una doppia canna ad interasse pari a 40.



Connectivity plot

Figura 13-7: Geometria di analisi

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 265 di 280

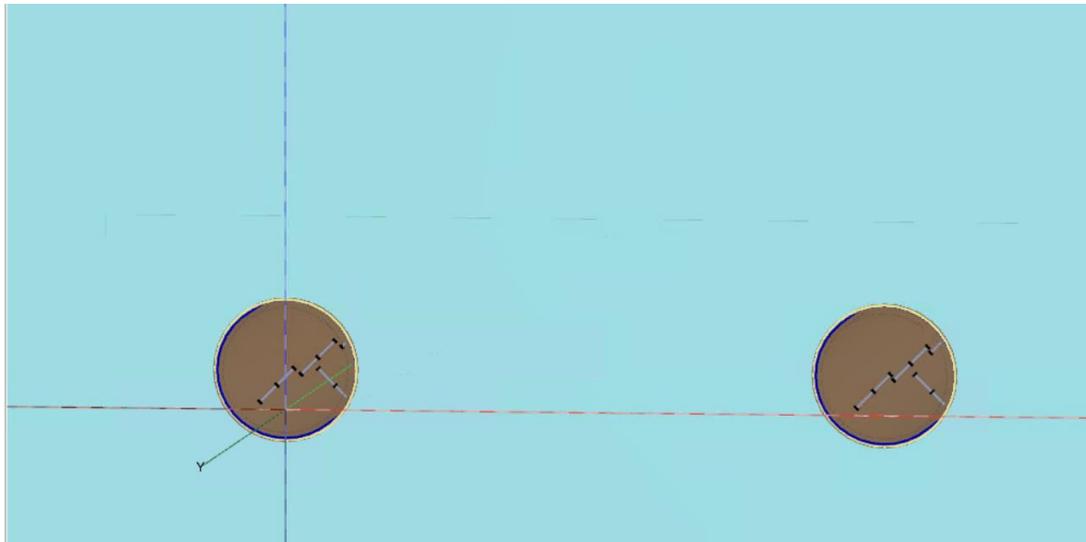


Figura 13-8: Dettaglio geometria di analisi con dreni a passo 21.6m

Si riporta di seguito l'andamento delle pressioni con i drenaggi attivi, che consentono di abbattere il carico idraulico al contorno del cavo della galleria:

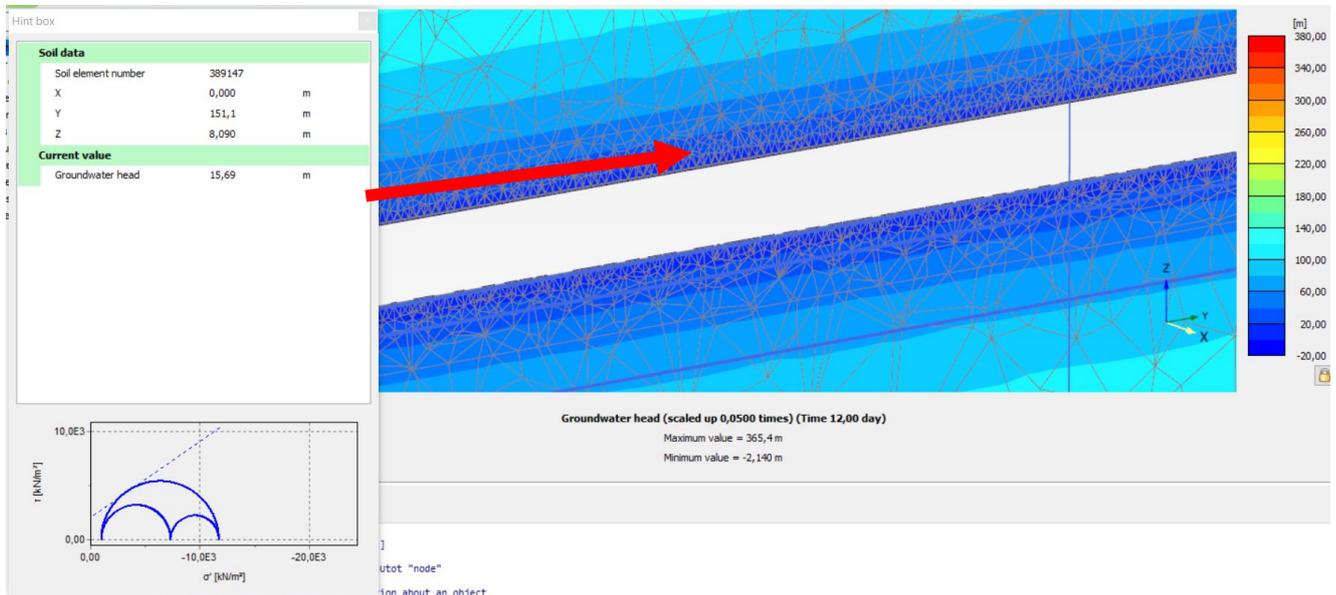


Figura 13-9: Pressione idraulica – vista longitudinale in asse galleria

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 266 di 280	

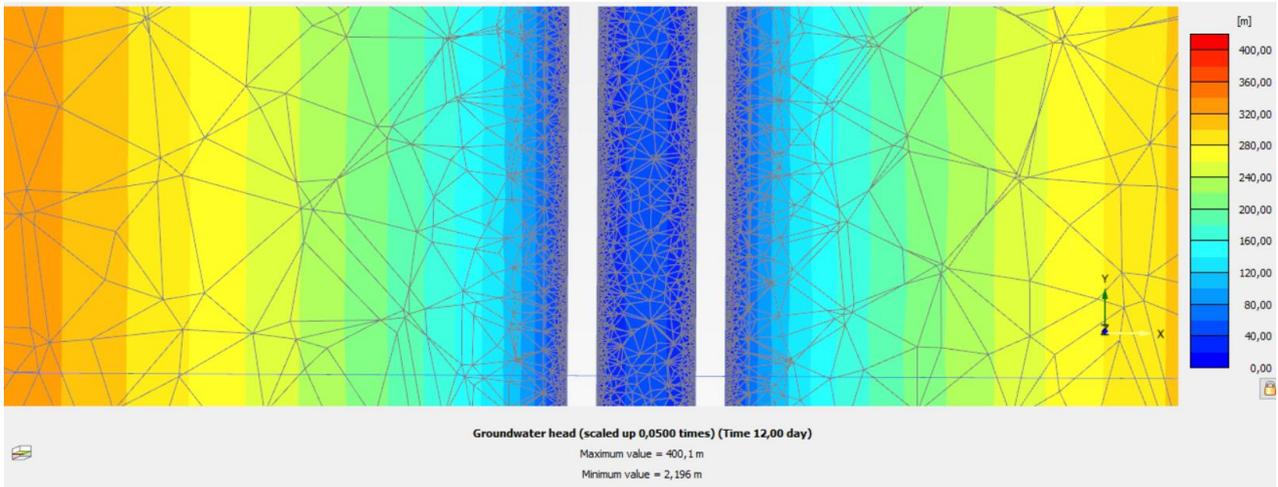


Figura 13-10: Pressione idraulica – vista planimetrica in asse galleria

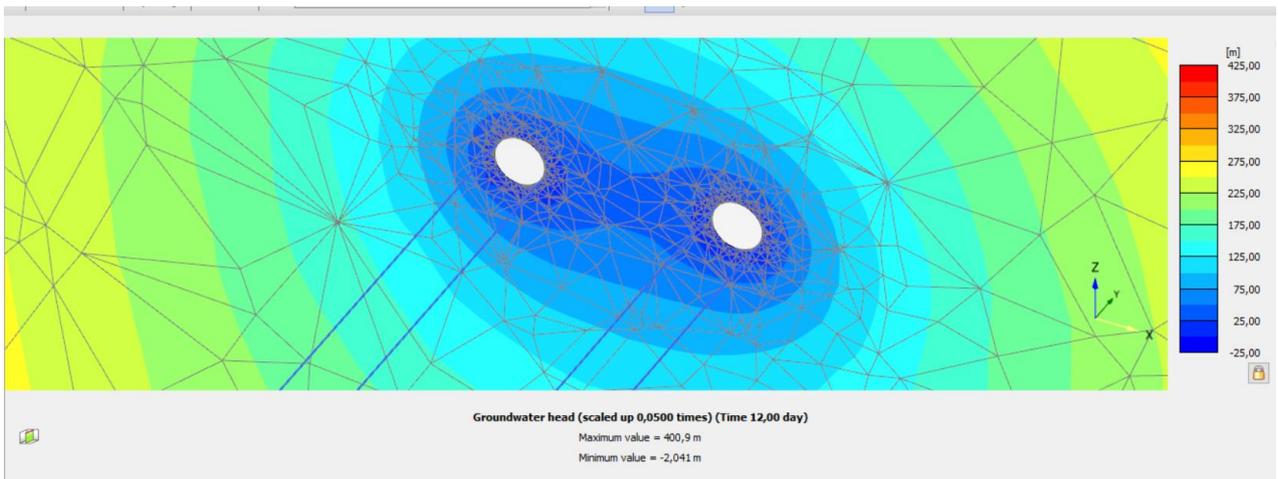


Figura 13-11: Pressione idraulica – vista trasversale in asse al dreno (Y=140.4m)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 267 di 280

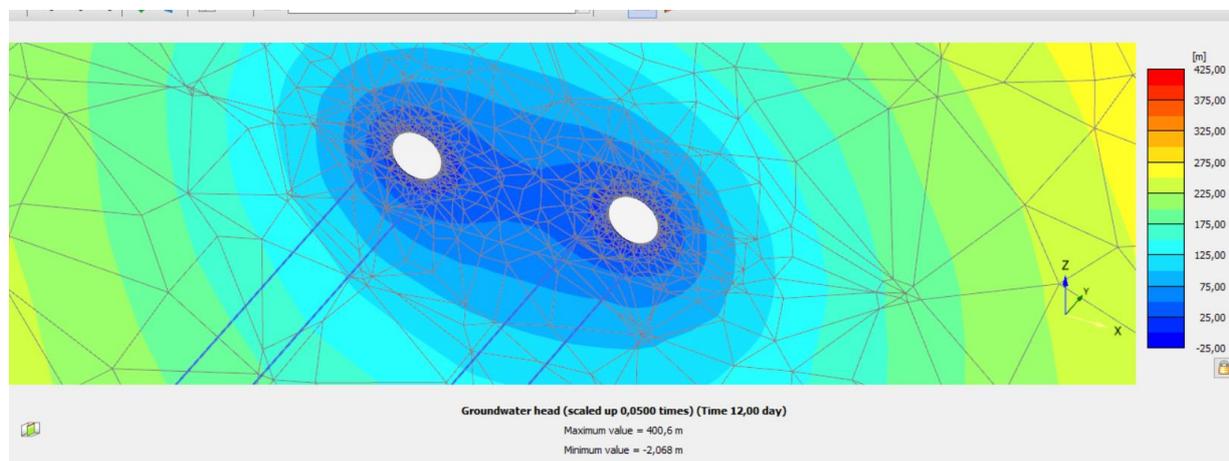


Figura 13-12: Pressione idraulica – vista trasversale tra 2 dreni (Y=129.6m)

La pressione idraulica risulta correttamente abbattuta al di sotto dei 900 kPa di progetto al contorno del cavo grazie all'utilizzo del sistema di drenaggio.

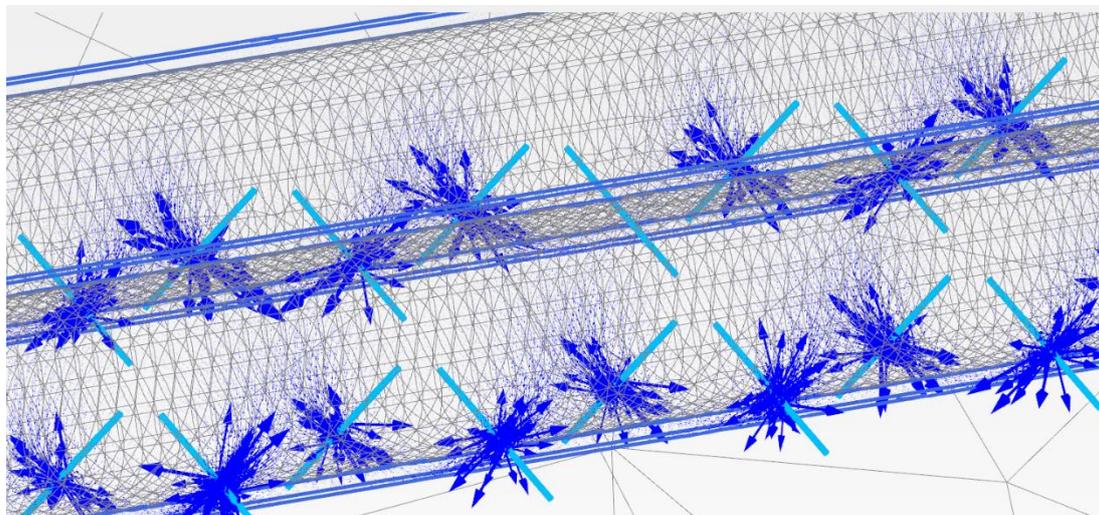


Figura 13-13: Pressione idraulica – vista trasversale tra 2 dreni (Y=37.8m)

Un'ulteriore verifica dell'intervento di drenaggio viene svolta controllando che la portata drenata sia effettivamente compatibile con il diametro del dreno previsto. Il grafico seguente riporta le portate in m³/giorno di acqua drenata da ogni dreno, disposti a coppie lungo la galleria a passo 21.6m: la massima estrazione di un dreno è di circa 0.037 l/s valore che risulta inferiore ai 0.352 l/s limite individuato in Tabella 13-4.

Dato che sono presenti 2 dreni a passo 21.6m, 0.04 l/s a dreno equivale a 0.0017 l/s/m, dello stesso ordine di grandezza rispetto a 0.005l/s/m ottenuti in precedenza con la formula di Goodman; per il dimensionamento del tubo di raccolta delle acque di ammasso in galleria rimane quindi valida il calcolo

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 268 di 280	

dipendente dalla formula di Goodman, che tiene conto dei livelli di battenti e delle permeabilità lungo tutta la galleria.

La minor portata emunta dai dreni ai margini è dovuta al fatto che lateralmente in Y il modello idraulico è chiuso e quindi questi dreni hanno un minor bacino da trattare; il modello ha un'estensione adeguata in direzione Y, permettendo quindi di valutare la condizione caratteristica a metà modello, dove l'analisi di flusso non risente delle condizioni di bordo.

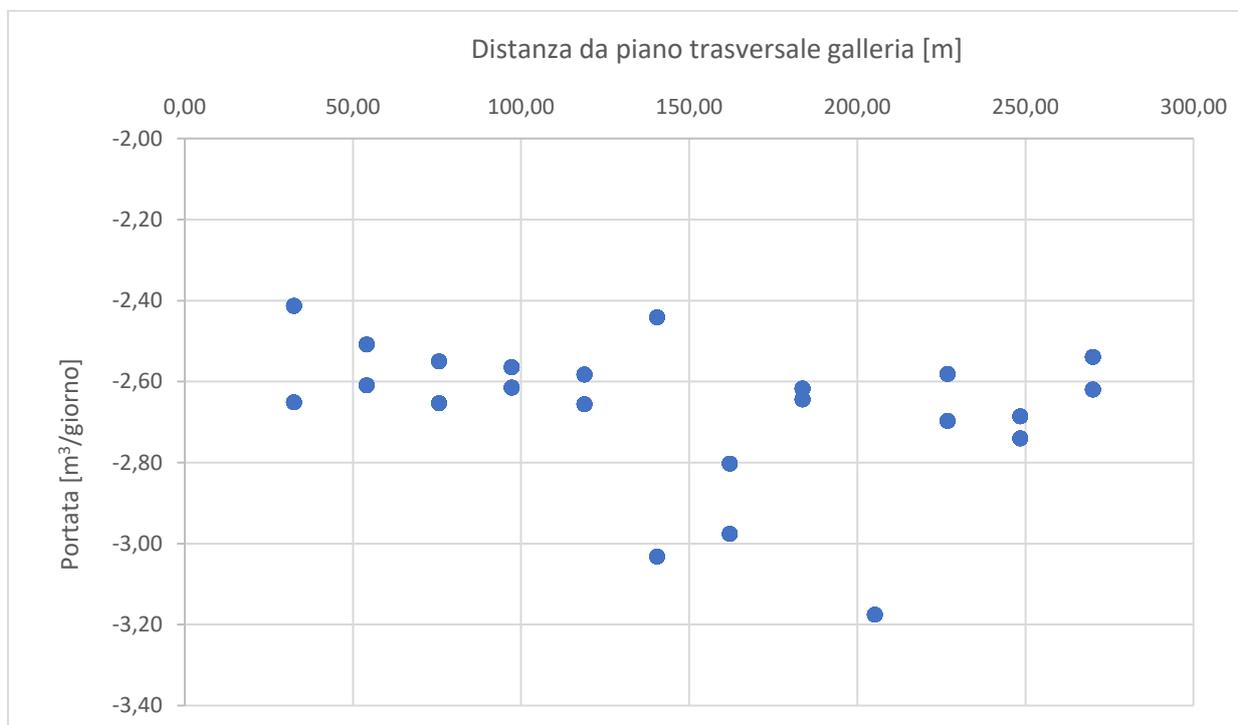


Figura 13-14: Portata drenata

13.4.5.2. Simulazione sistemi di drenaggio Interconnessione Binario Pari (Faglia)

L'abbattimento del carico idraulico avviene mediante un intervento di drenaggio composto da una coppia di dreni lunghi 3m ad interasse 3.6m, ogni due anelli.

Ai dreni viene imposto un carico idraulico H pari a -9 m e pressione idraulica u nulla, dovuto alla quota z di installazione (-0.3m nel modello).

Il modello costitutivo dell'ammasso è di tipo elasto-plastico "Mohr-Coulomb".

Di seguito si riportano i parametri adottati nel modello:

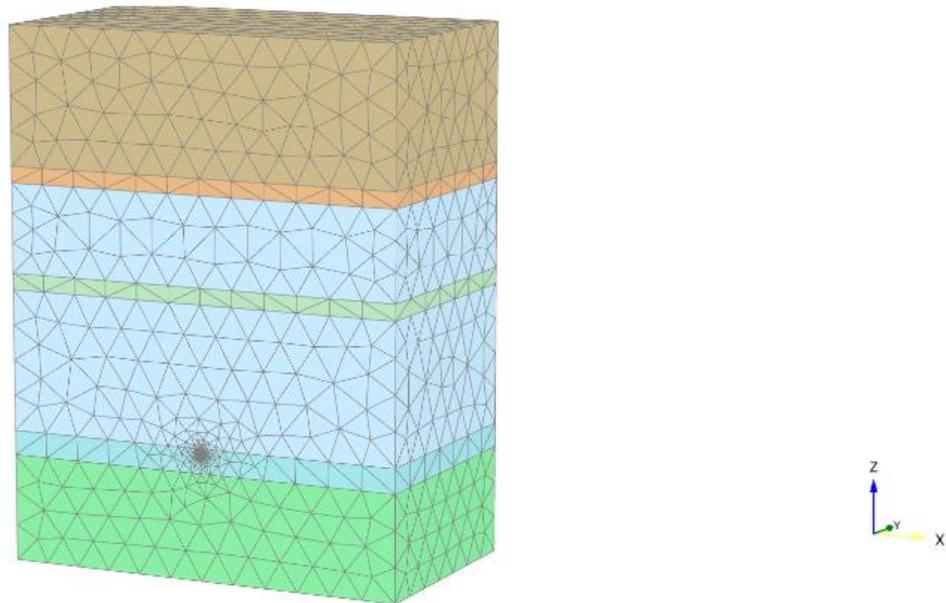
Stratigrafia di calcolo	S	C	Falda	K
Formazione	[m]	[m da calotta]	[m da calotta]	[m/giorno]
[-]	[m]	[m da calotta]	[m da calotta]	[m/giorno]
PRL	219	555	450	8.64E-4

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	269 di 280
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C							

BSSb Danneggiamento 12	20			4.32E-2
BSSb	109			8.64E-4
BSSb Danneggiamento 11	20			4.32E-3
BSSb	172			8.64E-4
BSSa/BSSb Danneggiamento 9-10	30			8.64E-3
BSSa	130			8.64E-4

Tabella 13-8: Parametri geotecnici di calcolo per l'analisi numerica della sezione a pk 0+500 B.P.

In tale tratta la quota della falda è di 450m dalla calotta, è quindi rappresentativa dei battenti massimi individuate. Il modello è profondo 288m, lunghezza multipla del passo dei dreni, con un'estensione laterale dall'asse galleria di 250m per lato e al di sotto della galleria di 150m.



Connectivity plot

Figura 13-15: Geometria di analisi

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 270 di 280

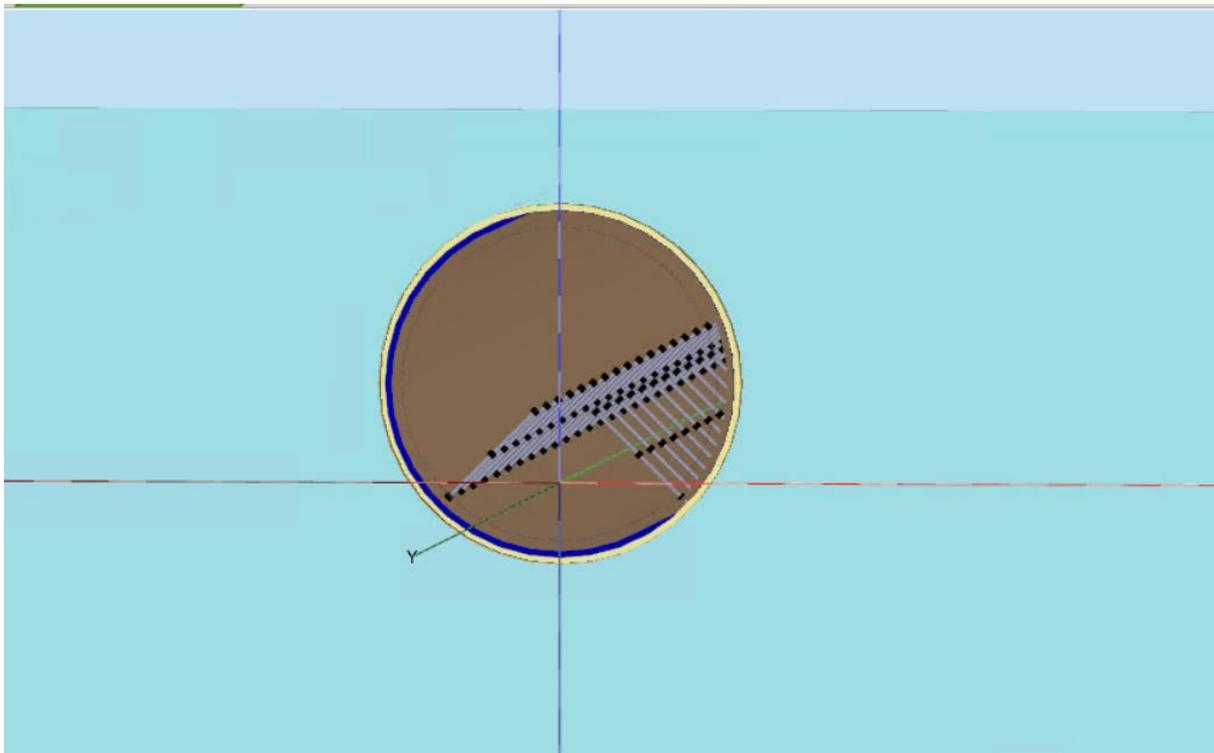


Figura 13-16: Dettaglio geometria di analisi con dreni a passo 3.6m

Si riporta di seguito l'andamento delle pressioni con i drenaggi attivi, che consentono di abbattere il carico idraulico al contorno del cavo della galleria:

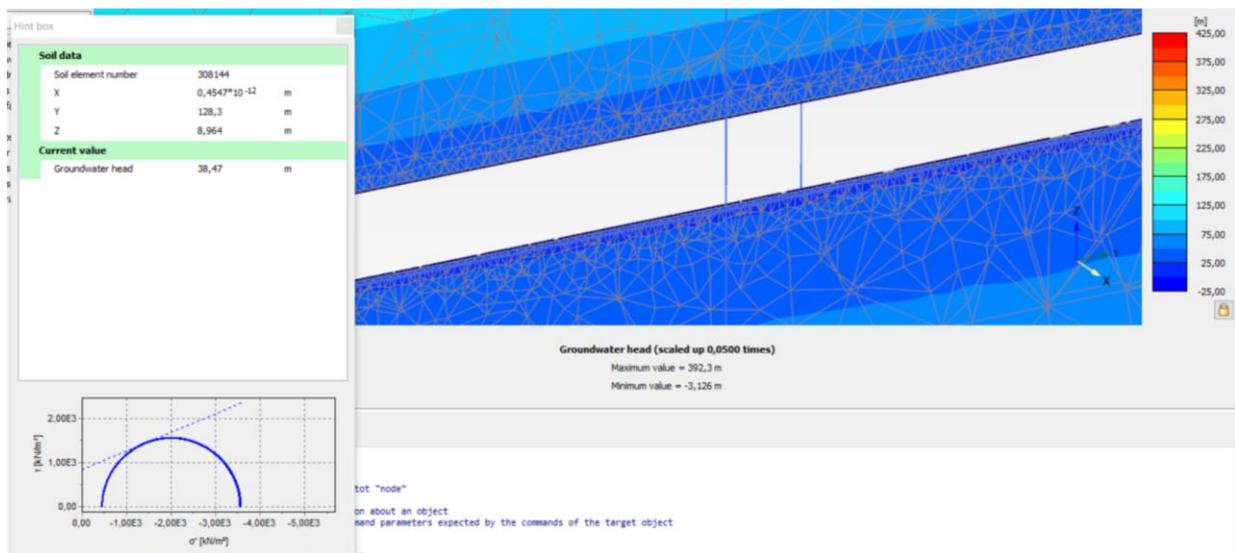


Figura 13-17: Pressione idraulica – vista longitudinale in asse galleria

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 271 di 280

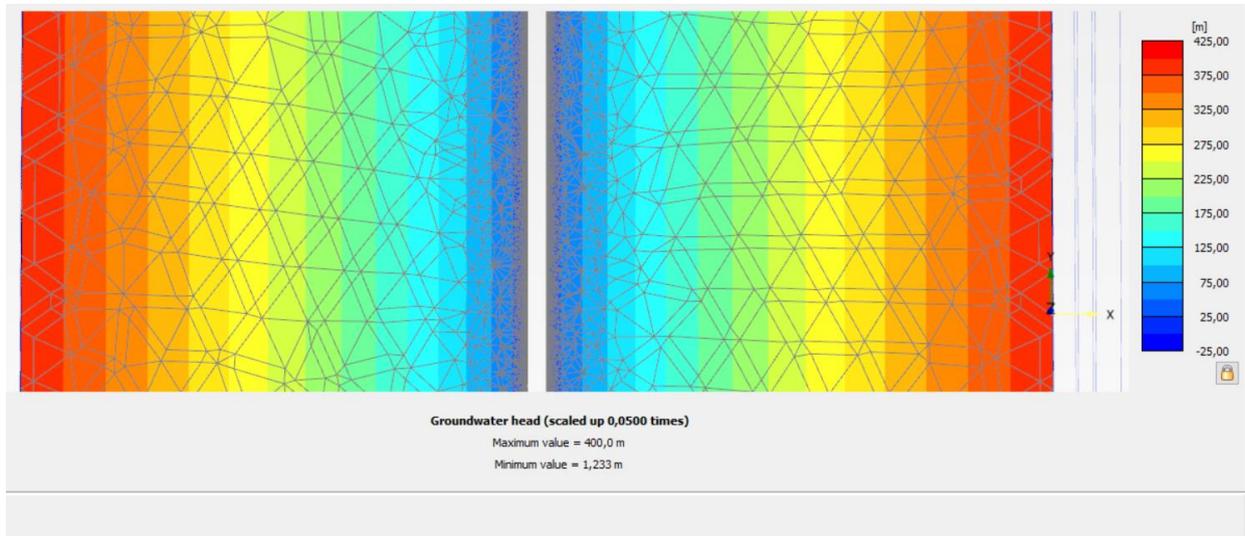


Figura 13-18: Pressione idraulica – vista planimetrica in asse galleria

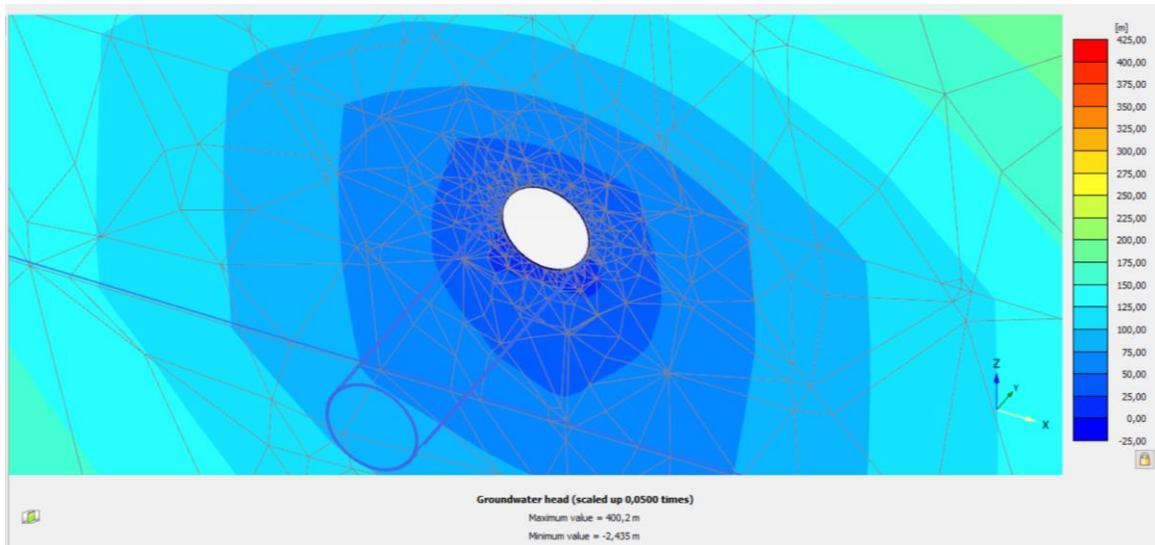


Figura 13-19: Pressione idraulica – vista trasversale in asse al dreno (Y=36m)

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 272 di 280

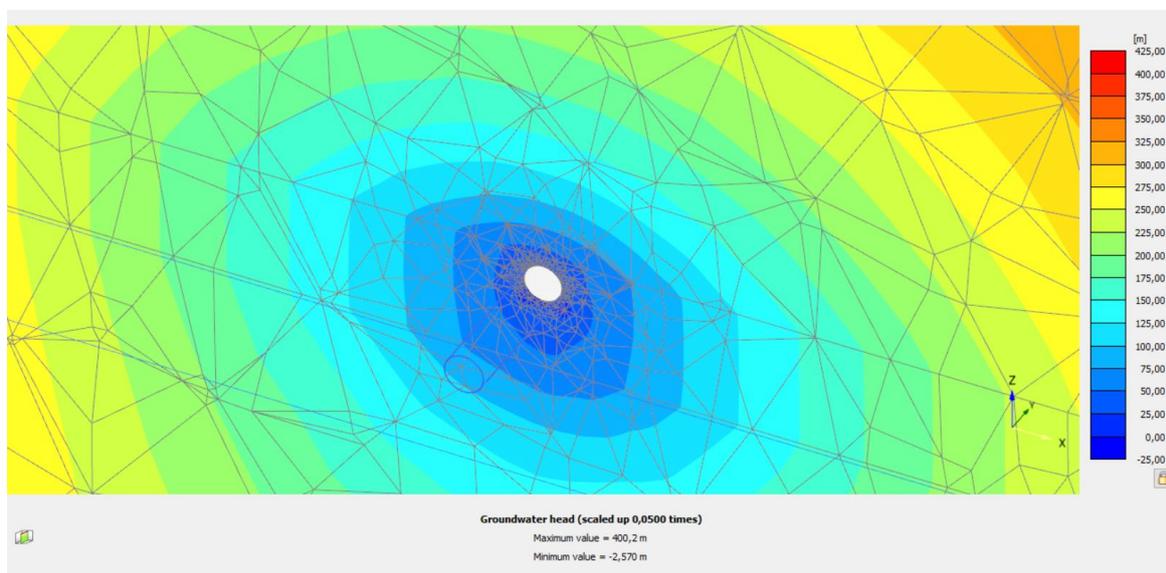


Figura 13-20: Pressione idraulica – vista trasversale tra 2 dreni (Y=37.8m)

La pressione idraulica risulta correttamente abbattuta al di sotto dei 800 kPa di progetto al contorno del cavo grazie all'utilizzo del sistema di drenaggio.

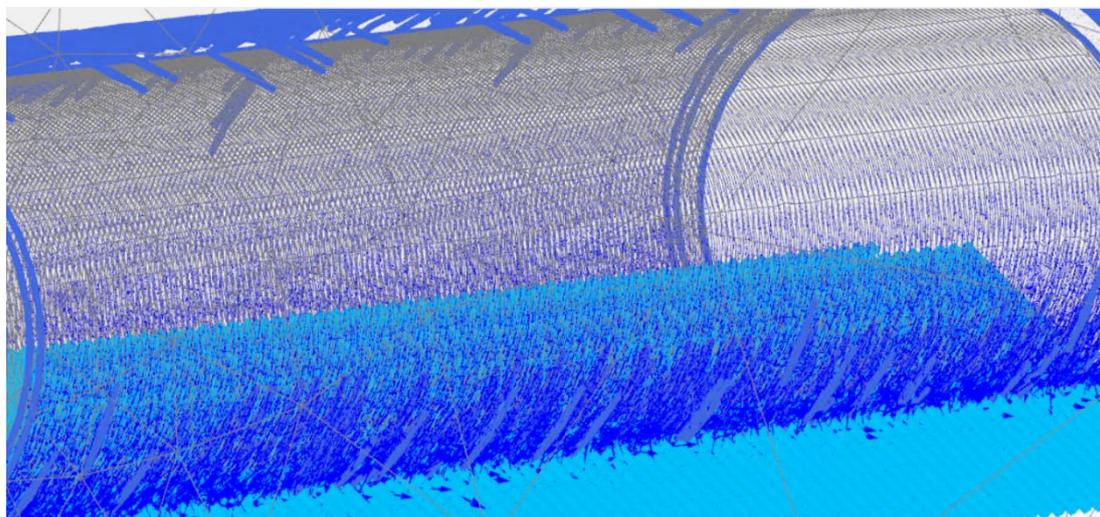


Figura 13-21: Pressione idraulica – vista trasversale tra 2 dreni (Y=37.8m)

Un'ulteriore verifica dell'intervento di drenaggio viene svolta controllando che la portata drenata sia effettivamente compatibile con il diametro del dreno previsto. Il grafico seguente riporta le portate in m³/giorno di acqua drenata da ogni dreno, disposti a coppie lungo la galleria a passo 3.6m: la massima estrazione di un dreno è di circa 0.031 l/s valore che risulta inferiore ai 0.352 l/s limite individuato in Tabella 13-4.

Dato che sono presenti 2 dreni a passo 3.6m, 0.031 l/s a dreno equivale a 0.0086 l/s/m, dello stesso ordine di grandezza rispetto a 0.045l/s/m ottenuti in precedenza con la formula di Goodman; per il

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO GN0000003	REV. C	FOGLIO. 273 di 280

dimensionamento del tubo di raccolta delle acque di ammasso in galleria rimane quindi valida il calcolo dipendente dalla formula di Goodman, che tiene conto dei livelli di battenti e delle permeabilità lungo tutta la galleria.

La minor portata emunta dai dreni ai margini è dovuta al fatto che lateralmente in Y il modello idraulico è chiuso e quindi questi dreni hanno un minor bacino da trattare; il modello ha un'estensione adeguata in direzione Y, permettendo quindi di valutare la condizione caratteristica a metà modello, dove l'analisi di flusso non risente delle condizioni di bordo.

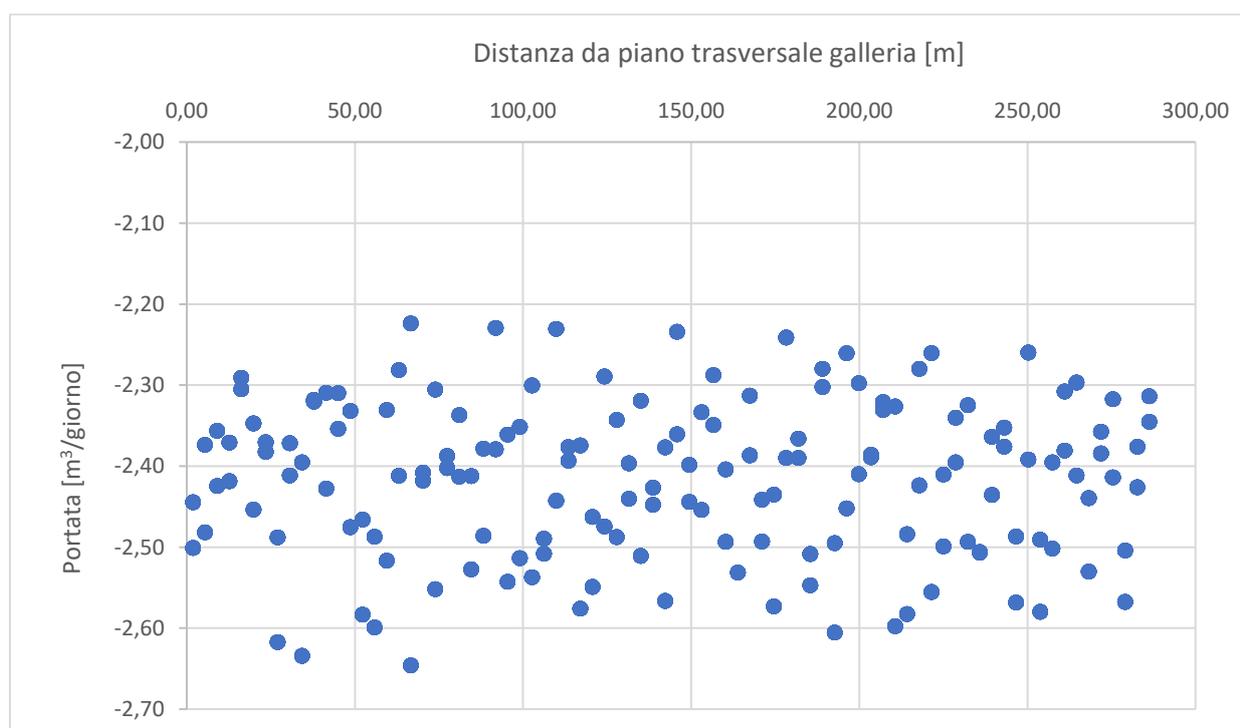


Figura 13-22: Portata drenata

Per maggiori informazioni si vedano gli allegati 3, 4 e 5 dove si presentano gli output dei modelli bidimensionali e tridimensionali.

Duranti le fasi di scavo, così come previsto negli elaborati IB0U1BEZZRHGN0000008 e IB0U1BEZZRHGN0000004C si presenta un sistema di monitoraggio del carico piezometrico in relazione ai valori di carico previsti.

13.5 VERIFICA IN ESERCIZIO

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è condotta, in accordo con la vigente normativa, secondo il metodo degli stati limite, verificando la corrispondenza delle sezioni allo stato limite ultimo S.L.U. ed agli stati limite di esercizio S.L.E.

I domini di resistenza sono a titolo esemplificativo e le specifiche verifiche per le fasi di esercizio si riportano all'interno della relazione di calcolo delle specifiche gallerie.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0U</td> <td>1BEZZ</td> <td>RH</td> <td>GN0000003</td> <td>C</td> <td>274 di 280</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IB0U	1BEZZ	RH	GN0000003	C	274 di 280
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IB0U	1BEZZ	RH	GN0000003	C	274 di 280													
08 - GALLERIE Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C																		

13.5.1 Stato Limite Ultimo (S.L.U.)

Le sollecitazioni ricavate dai modelli FEM realizzati mediante Plaxis 2D sono fornite a m di galleria, prive di fattori amplificativi; al fine di svolgere le verifiche agli Stati Limite Ultimi è necessario moltiplicarle per il coefficiente $\gamma_G = 1.3$ e per la lunghezza del concio $b=1.8m$ mentre il momento, per considerare la riduzione della rigidezza dovuta alla presenza dei giunti tra ciascun concio, viene moltiplicato per un coefficiente aggiuntivo ricavato mediante la formulazione di Wood $(1+\xi) = 1.31$ (Tabella 13-1).

Lo sforzo normale è considerato negativo se di compressione, il momento flettente è considerato positivo se tende le fibre di intradosso del rivestimento.

Nel seguente paragrafo si riportano i domini di rottura delle ipotesi costruttive menzionate al §7.1.

Nelle relazioni tecniche relative alle gallerie Scaleres, Gardena ed Interconnessioni vengono riportate le verifiche a breve e lungo termine per la verifica flessionale e a taglio.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandataria:	Mandanti:	COMMESSA				LOTTO
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU				1BEZZ
08 - GALLERIE		CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		RH	GN0000003	C	275 di 280	
		PROGETTO ESECUTIVO				

Concio Tipo A - Zone di ammasso sano

Concio Tipo A- 8+8 Φ12 e 6+6 Φ14 (cautelativamente si considerano 14+14 Φ 12)

INPUT

SOLLECITAZIONI DI VERIFICA

Combinazione	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	V _{Sd} [kN]
SLE Quasi Permanente	0.0	0.0	-
SLE Frequente	0.0	0.0	-
SLE Rara	0.0	0.0	-
SLU	0.0	0.0	0.0
SLV	0.0	0.0	0.0

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.

Geometria della sezione		
Base (ortogonale al Taglio)	B [cm]	180
Altezza (parallela al Taglio)	H [cm]	45
Altezza utile della sezione	d [cm]	38
Area di calcestruzzo	A _c [cm ²]	8100

Armatura longitudinale tesa	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	
Numero Barre	n	14	0	0
Diametro	φ [mm]	12	0	0
Posizione dal lembo esterno	c [cm]	6.7	0.0	0.0
Area strato	A _s [cm ²]	15.83	0.00	0.00
Rapporto di armatura	ρ [%]	0.230%		

Armatura longitudinale compressa	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	
Numero Barre	n	14	0	0
Diametro	φ [mm]	12	0	0
Posizione dal lembo esterno	c' [cm]	6.7	0.0	0.0
Area strato	A _s ' [cm ²]	15.83	0.00	0.00
Rapporto di armatura	ρ' [%]	0.230%		

Armatura trasversale	1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO	
Diametro	φ [mm]	0	0	0
Numero bracci	n _{bt}	0	0	0
Passo	s _w [cm]	0	0	0
Inclinazione	α [deg]	90	90	90
Area armatura a metro	A _{sw} /s _w [cm ² /m]	0.00	0.00	0.00

CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI

Concrete		
Resistenza cubica a compressione	RCK	55
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f _{ck} [Mpa]	45.00
Resistenza cilindrica media a compressione	f _{cm} [Mpa]	53.00
Resistenza media a trazione per flessione	f _{ctm} [Mpa]	3.80
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	f _{ctk} [Mpa]	2.66
Resistenza di progetto a compressione	f _{cd} [Mpa]	25.50
Resistenza di progetto delle bielle compresse	f _{cdt} [Mpa]	12.55

Acciaio		
Resistenza di progetto a snervamento	f _{yd} [Mpa]	391.30

OUTPUT

VERIFICHE IN ESERCIZIO

Verifica Tensionale		σ limit
Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	σ _c [Mpa] =	0.00 20.250
Calcestruzzo SLE Rara	σ _c [Mpa] =	0.00 27.000
Acciaio SLE Rara	σ _s [Mpa] =	0.00 360.000

Verifica di fessurazione		w limit
Combinazione SLE Quasi permanente	w _d [mm] =	0.000 0.360
Combinazione SLE Frequente	w _d [mm] =	0.000 0.360

VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO

Sollecitazioni di progetto		
Taglio sollecitante = max Taglio (SLU,SLV)	V _{Sd} [kN]	0.0
Sforzo Normale concomitante al massimo taglio	N _{Sd} [kN]	0.0

Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica		
Resistenza di progetto senza armatura specifica	V _{Rd1} [kN]	365.96
Coefficiente di sicurezza	V _{Rd1} /V _{Sd}	-

Verifica di resistenza dell'armatura specifica		
CoTan(θ) di progetto	cotan(θ)	2.5
Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls	V _{Rd2} (θ) [kN]	-
Resistenza a taglio dell'armatura	V _{Rd3} (θ) [kN]	-
Resistenza a taglio di progetto	V _{Rd} [kN]	-
Coefficiente di sicurezza	V _{Rd} /V _{Sd}	-

VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE

Sollecitazioni di progetto		SLU	SLV
Momento sollecitante	M _{Sd} [kNm]	0.0	0.0
Sforzo Normale concomitante	N _{Sd} [kN]	0.0	0.0

Verifica di resistenza in termini di momento		SLU	SLV
Momento resistente	M _{Rd} [kNm]	261.4	261.4
Coefficiente di sicurezza	M _{Rd} /M _{Sd}	-	-

Verifica di resistenza in termini di sforzo normale		SLU	SLV
Sforzo normale resistente	N _{Rd} [kN]	-	-
Coefficiente di sicurezza	N _{Rd} /N _{Sd}	-	-

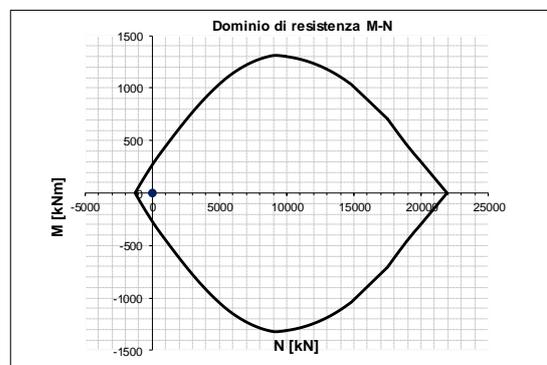


Figura 13-23: Dominio di rottura Concio Tipo A

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA - PONTE GARDENA"					
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
08 - GALLERIE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	276 di 280

Concio Tipo B - Zone di faglia e in presenza di filladi carboniose

Concio Tipo B - 16+16 Φ 20

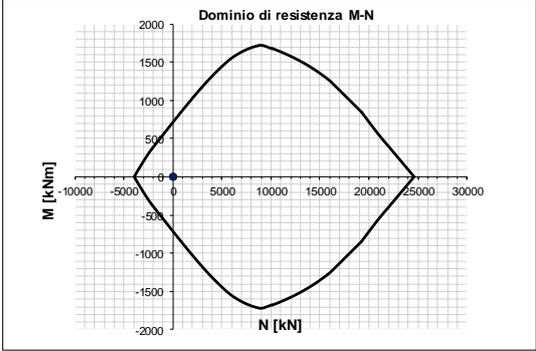
INPUT				OUTPUT			
SOLLECITAZIONI DI VERIFICA				VERIFICHE IN ESERCIZIO			
Combinazione	N_{Sd} [kN]	M_{Sd} [kNm]	V_{Sd} [kN]	Verifica Tensionale	σ limit		
<i>SLE Quasi Permanente</i>	0.0	0.0	-	<i>Calcestruzzo SLE Quasi Permanente</i>	σ_c [Mpa] =	0.00	20.250
<i>SLE Frequente</i>	0.0	0.0	-	<i>Calcestruzzo SLE Rara</i>	σ_c [Mpa] =	0.00	27.000
<i>SLE Rara</i>	0.0	0.0	-	<i>Acciaio SLE Rara</i>	σ_s [Mpa] =	0.00	360.000
<i>SLU</i>	0.0	0.0	0.0	Verifica di fessurazione	w limit		
<i>SLV</i>	0.0	0.0	0.0	<i>Combinazione SLE Quasi permanente</i>	w_d [mm] =	0.000	0.360
				<i>Combinazione SLE Frequente</i>	w_d [mm] =	0.000	0.360
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.				VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO			
Geometria della sezione				Sollecitazioni di progetto			
<i>Base (ortogonale al Taglio)</i>	B [cm]	180		<i>Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)</i>	V_{Sd} [kN]	0.0	
<i>Altezza (parallela al Taglio)</i>	H [cm]	45		<i>Sforzo Normale concomitante al massimo taglio</i>	N_{Sd} [kN]	0.0	
<i>Altezza utile della sezione</i>	d [cm]	38		Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica			
<i>Area di calcestruzzo</i>	A_c [cm ²]	8100		<i>Resistenza di progetto senza armatura specifica</i>	V_{Rd1} [kN]	454.59	
				<i>Coefficiente di sicurezza</i>	V_{Rd1}/V_{Sd}	-	
Armatura longitudinale tesa	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	Verifica di resistenza dell'armatura specifica			
<i>Numero Barre</i>	n	16	0	<i>CoTan(θ) di progetto</i>	cotan(θ)	2.5	
<i>Diametro</i>	φ [mm]	20	0	<i>Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls</i>	$V_{Rd2}(\theta)$ [kN]	-	
<i>Posizione dal lembo esterno</i>	c [cm]	7.0	0.0	<i>Resistenza a taglio dell'armatura</i>	$V_{Rd3}(\theta)$ [kN]	-	
<i>Area strato</i>	A_s [cm ²]	50.27	0.00	<i>Resistenza a taglio di progetto</i>	V_{Rd} [kN]	-	
<i>Rapporto di armatura</i>	ρ [%]	0.735%		<i>Coefficiente di sicurezza</i>	V_{Rd}/V_{Sd}	-	
Armatura longitudinale compressa	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE			
<i>Numero Barre</i>	n	16	0	Sollecitazioni di progetto	SLU	SLV	
<i>Diametro</i>	φ [mm]	20	0	<i>Momento sollecitante</i>	M_{Sd} [kNm]	0.0	0.0
<i>Posizione dal lembo esterno</i>	c' [cm]	7.0	0.0	<i>Sforzo Normale concomitante</i>	N_{Sd} [kN]	0.0	0.0
<i>Area strato</i>	A_s' [cm ²]	50.27	0.00	Verifica di resistenza in termini di momento	SLU	SLV	
<i>Rapporto di armatura</i>	ρ' [%]	0.735%		<i>Momento resistente</i>	M_{Rd} [kNm]	712.3	712.3
Armatura trasversale	1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO	<i>Coefficiente di sicurezza</i>	M_{Rd}/M_{Sd}	-	-
<i>Diametro</i>	φ [mm]	0	0	Verifica di resistenza in termini di sforzo normale	SLU	SLV	
<i>Numero bracci</i>	n_{br}	0	0	<i>Sforzo normale resistente</i>	N_{Rd} [kN]	-	-
<i>Passo</i>	s_w [cm]	0	0	<i>Coefficiente di sicurezza</i>	N_{Rd}/N_{Sd}	-	-
<i>Inclinazione</i>	α [deg]	90	90	Domini di resistenza M-N			
<i>Area armatura a metro</i>	A_{sw}/s_w [cm ² /m]	0.00	0.00				
CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI							
Concrete							
<i>Resistenza cubica a compressione</i>	RCK	55					
<i>Resistenza cilindrica caratteristica a compressione</i>	f_{ck} [Mpa]	45.00					
<i>Resistenza cilindrica media a compressione</i>	f_{cm} [Mpa]	53.00					
<i>Resistenza media a trazione per flessione</i>	f_{ctm} [Mpa]	3.80					
<i>Resistenza caratteristica a trazione per flessione</i>	f_{ctk} [Mpa]	2.66					
<i>Resistenza di progetto a compressione</i>	f_{cd} [Mpa]	25.50					
<i>Resistenza di progetto delle bielle compresse</i>	f_{cd} [Mpa]	12.55					
Acciaio							
<i>Resistenza di progetto a snervamento</i>	f_{yd} [Mpa]	391.30					

Figura 13-24: Dominio di rottura concio Tipo B

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO.
08 - GALLERIE	Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C	IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C 277 di 280

Concio Tipo C - Sottoattraversamenti

Concio Tipo C - 18+18 Φ 22

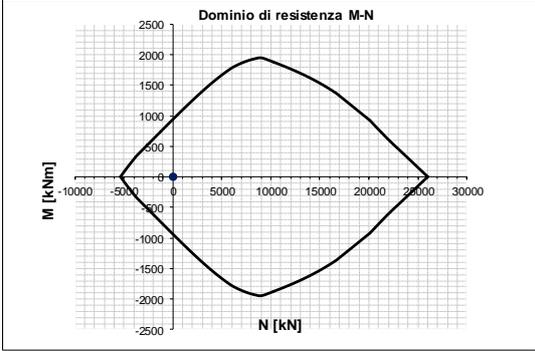
INPUT				OUTPUT			
SOLLECITAZIONI DI VERIFICA				VERIFICHE IN ESERCIZIO			
Combinazione	N_{sd} [kN]	M_{sd} [kNm]	V_{sd} [kN]	Verifica Tensionale			σ limit
SLE Quasi Permanente	0.0	0.0	-	Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	α_c [Mpa] =	0.00	20.250
SLE Frequente	0.0	0.0	-	Calcestruzzo SLE Rara	α_c [Mpa] =	0.00	27.000
SLE Rara	0.0	0.0	-	Acciaio SLE Rara	α_s [Mpa] =	0.00	360.000
SLU	0.0	0.0	0.0	Verifica di fessurazione			w limit
SLV	0.0	0.0	0.0	Combinazione SLE Quasi permanente	w_d [mm] =	0.000	0.360
				Combinazione SLE Frequente	w_d [mm] =	0.000	0.360
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.				VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO			
Geometria della sezione				Sollecitazioni di progetto			
Base (ortogonale al Taglio)	B [cm]	180		Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)	V_{sd} [kN]	0.0	
Altezza (parallela al Taglio)	H [cm]	45		Sforzo Normale concomitante al massimo taglio	N_{sd} [kN]	0.0	
Altezza utile della sezione	d [cm]	38		Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica			
Area di calcestruzzo	A_c [cm ²]	8100		Resistenza di progetto senza armatura specifica	V_{Rd1} [kN]	503.21	
Armatura longitudinale tesa				Coefficiente di sicurezza			
					V_{Rd1}/V_{sd}	-	
	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	Verifica di resistenza dell'armatura specifica			
Numero Barre	n	18	0	0	$CoTan(\theta)$ di progetto		
Diametro	ϕ [mm]	22	0	0	Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls		
Posizione dal lembo esterno	c [cm]	7.1	0.0	0.0	$V_{Rd2}(\theta)$ [kN]		
Area strato	A_s [cm ²]	68.42	0.00	0.00	Resistenza a taglio dell'armatura		
Rapporto di armatura	ρ [%]	1.003%			$V_{Rd3}(\theta)$ [kN]		
					Resistenza a taglio di progetto		
Armatura longitudinale compressa				Coefficiente di sicurezza			
					V_{Rd}/V_{sd}	-	
	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE			
Numero Barre	n	18	0	0	Sollecitazioni di progetto		
Diametro	ϕ [mm]	22	0	0	SLU SLV		
Posizione dal lembo esterno	c' [cm]	7.1	0.0	0.0	Momento sollecitante	M_{sd} [kNm]	0.0 0.0
Area strato	A_s' [cm ²]	68.42	0.00	0.00	Sforzo Normale concomitante	N_{sd} [kN]	0.0 0.0
Rapporto di armatura	ρ' [%]	1.003%			Verifica di resistenza in termini di momento		
					SLU SLV		
Armatura trasversale				Momento resistente			
	1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO	M_{Rd} [kNm]			
Diametro	ϕ [mm]	0	0	0	Coefficiente di sicurezza		
Numero bracci	n_{br}	0	0	0	M_{Rd}/M_{sd}		
Passo	s_w [cm]	0	0	0	-		
Inclinazione	α [deg]	90	90	90	Verifica di resistenza in termini di sforzo normale		
Area armatura a metro	A_{sw}/s_w [cm ² /m]	0.00	0.00	0.00	SLU SLV		
					Sforzo normale resistente		
					N_{Rd} [kN]		
					Coefficiente di sicurezza		
					N_{Rd}/N_{sd}		
					-		
CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI				Domínio di resistenza M-N			
Concrete							
Resistenza cubica a compressione	RCK	55					
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f_{ck} [Mpa]	45.00					
Resistenza cilindrica media a compressione	f_{cm} [Mpa]	53.00					
Resistenza media a trazione per flessione	f_{ctm} [Mpa]	3.80					
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	f_{ctk} [Mpa]	2.66					
Resistenza di progetto a compressione	f_{cd} [Mpa]	25.50					
Resistenza di progetto delle bielle compresse	f_{cd} [Mpa]	12.55					
Acciaio							
Resistenza di progetto a snervamento	f_{yd} [Mpa]	391.30					

Figura 13-25: Dominio di rottura Concio Tipo C

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria							<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RH</td> <td>GN0000003</td> <td>C</td> <td>278 di 280</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	278 di 280													

13.5.2 Stato Limite di Esercizio (S.L.E.)

Per le verifiche di fessurazione (SLE) si è assunto un valore limite di apertura delle fessure pari a $w_k=0.20$ mm in estradosso (condizioni ambientali aggressive, classe di esposizione XA2) e pari a $w_k=0.30$ mm in intradosso (condizioni ambientali ordinarie, classe di esposizione XC3), in accordo con quanto prescritto dalla Norma vigente ed una tensione massima nel calcestruzzo e nell'acciaio in accordo con quanto previsto dal DM 14/01/2008 (cfr. 10.2) Rif. [1].

All'interno delle relazioni tecniche relative alle gallerie Scaleres, Gardena ed Interconnessioni vengono riportate le verifiche per lo stato tensionale nel calcestruzzo, nell'acciaio e lo stato di fessurazione sia a breve che a lungo termine.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
08 - GALLERIE		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione generale e di calcolo conci in calcestruzzo armato - Tipo A, B e C		IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	279 di 280

14. CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state affrontate le problematiche progettuali connesse all'utilizzo di conci prefabbricati in calcestruzzo armato nell'ambito del progetto della tratta ferroviaria Fortezza – Ponte Gardena, Lotto 1 della linea Fortezza-Verona, accesso Sud alla galleria di Base del Brennero.

Vengono proposte tre diverse tipologie di armatura:

- TIPO A – Armatura leggera (ammasso roccioso sano):
 - ferri circolari: 8+8φ12 e 6+6φ14 (*);
 - staffatura corrente: tot.4 bracci φ10, passo 250mm
- TIPO B - Armatura media (zone di faglia e filladi carboniose):
 - ferri circolari: 16+16 φ20mm o equivalente;
 - staffatura corrente: tot.4 bracci φ10, passo 250mm
- TIPO C - Armatura pesante (interferenze A22 e sottoattraversamento linea storica):
 - ferri circolari: 18+18 φ22mm o equivalente;
 - staffatura corrente: tot.4 bracci φ10, passo 250mm

Nota(*): i conci di tipo A risultano anche verificati con calcestruzzo fibrorinforzato C45/55 con fibre di classe 4C, da valutarne l'applicazione in fase di progetto esecutivo di dettaglio.

Essendo la tipologia A (sezione corrente) di concio prefabbricato in calcestruzzo armato classe C45/55 di spessore 45 cm la più gravosa, viene verificata per le fasi transitorie necessarie alla realizzazione dello stesso, i giunti nelle codizioni più sfavorevoli.

Per le verifiche di spinta martinetti si considerano le spinte massime relative alle specifiche zone del tracciato, considerando tutte e tre le tipologie di conci in base alla tratta di applicazione.

Le verifiche nelle fasi operative e nei riguardi dell'esposizione al fuoco vengono invece riportate nel dettaglio negli elaborati relativi alle gallerie Scaleres, Gardena ed Interconnessioni.

Le verifiche effettuate hanno dimostrato che la soluzione proposta è adeguata dal punto di vista normativo. Si riportano di seguito le incidenze di armatura per ciascuna tipologia di concio:

- TIPO A – Armatura leggera (ammasso roccioso sano):
 - Incidenza armatura: 95 kg/m³;
- TIPO B - Armatura media (zone di faglia e filladi carboniose):
 - Incidenza armatura: 160 kg/m³;
- TIPO C - Armatura pesante (interferenze A22 e sottoattraversamento linea storica):
 - Incidenza armatura: 190 kg/m³;

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria							<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RH</td> <td>GN0000003</td> <td>C</td> <td>280 di 280</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	RH	GN0000003	C	280 di 280													

ALLEGATO 1: SCHEDE TECNICHE CONNETTORI

ALLEGATO 2: SCHEDE TECNICHE GUARNIZIONI

ALLEGATO 3: CALCOLO BIDIMENSIONALE

ALLEGATO 4: CALCOLO TRIDIMENSIONALE AMMASSO SANO

ALLEGATO 5: CALCOLO TRIDIMENSIONALE AMMASSO FRATTURATO

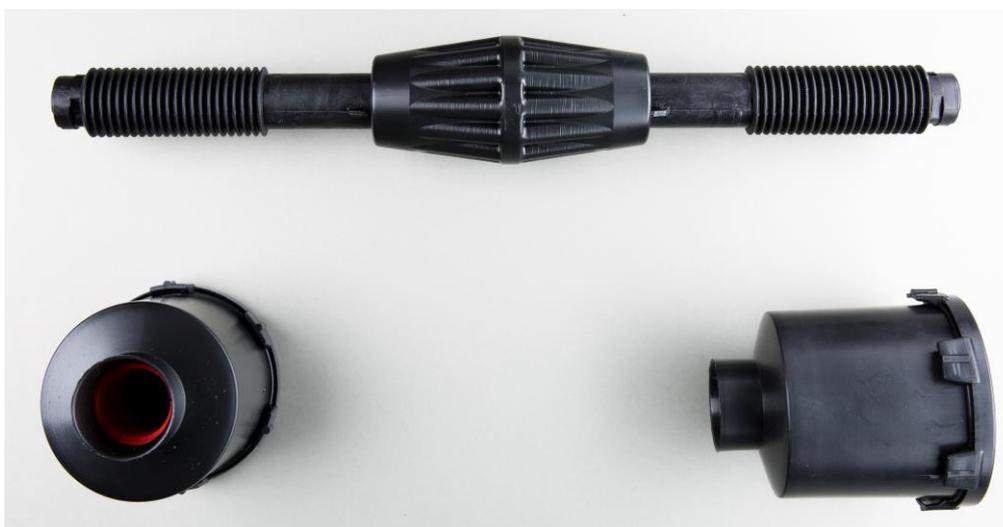
EASY CLICK SMART

La proficua esperienza della nostra Società maturata nello studio e realizzazione di bulloni con rivestimento in materiale composito (brevettati come **Plastic Coating Bolts**) e le affermate ed apprezzate applicazioni del nostro brevettato **Easy Click Impredowel** in differenti progetti, hanno condotto alla ricerca ed allo sviluppo di un nuovo sistema di allineamento per conci prefabbricati.

Il nostro sistema – denominato **EASY CLICK SMART** – è costituito da un connettore in acciaio rivestito con materiale composito (nylon fibrato vetro) e due alloggiamenti per il serraggio.

Gli alloggiamenti per il serraggio del connettore sono gettati nei conci prefabbricati.

All'interno di ogni alloggiamento è presente una boccola, il cui design e materiale (nylon fibrato vetro) garantiscono una affidabile e resistente tenuta del connettore.



Le ottime proprietà meccaniche dei materiali utilizzati in combinazione al design del sistema ne esaltano i vantaggi e le applicazioni anche come **sistema di connessione per conci prefabbricati rinforzati solamente con fibre in acciaio (SFRC) e con requisiti tecnici elevati.**

EASY CLICK SMART assicura una minimizzazione di gap ed offset lungo la circonferenza del rivestimento, una lunga durata e resistenza alla corrosione ed all'abrasione in virtù delle caratteristiche del materiale composito.

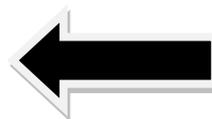
TABELLA MATERIALI :

	<i>materiale</i>
CONNETTORE	acciaio con rivestimento in materiale composito (PA6+FV)
BUSSOLA	alloggiamento esterno in Polipropilene Boccola interna di serraggio in PA6+FV
SPINA DI CENTRAGGIO	PA6+FV



VALORI MECCANICI :

	Carico a rottura (kN)
Trazione (pull out)	110
Taglio (shear)	150



Su richiesta siamo in grado di progettare e produrre un sistema 'Easy Click Smart' che soddisfi i requisiti tecnici di progetto.

IMPRESERVICE Co. ha sempre combinato la ricerca di materiali di alta qualità con i requisiti tecnici progettuali ed il feedback proveniente dalle Maestranze nei diversi Cantieri in modo tale da rendere i sistemi di connessione funzionali, semplici da applicare, affidabili e sicuri.

IMPRESERVICE Co. si affida a Laboratori ed Enti Tecnici esterni Indipendenti e Qualificati per la certificazione e l'autenticazione dei materiali e dei sistemi di connessione.

IMPRESERVICE Co. si appoggia solitamente all'Università Tor Vergata (Roma) ed al Laboratorio Prove Materiali di EXOVA (Limena) per esecuzione dei test sui sistemi di connessione **Easy Click Systems**.

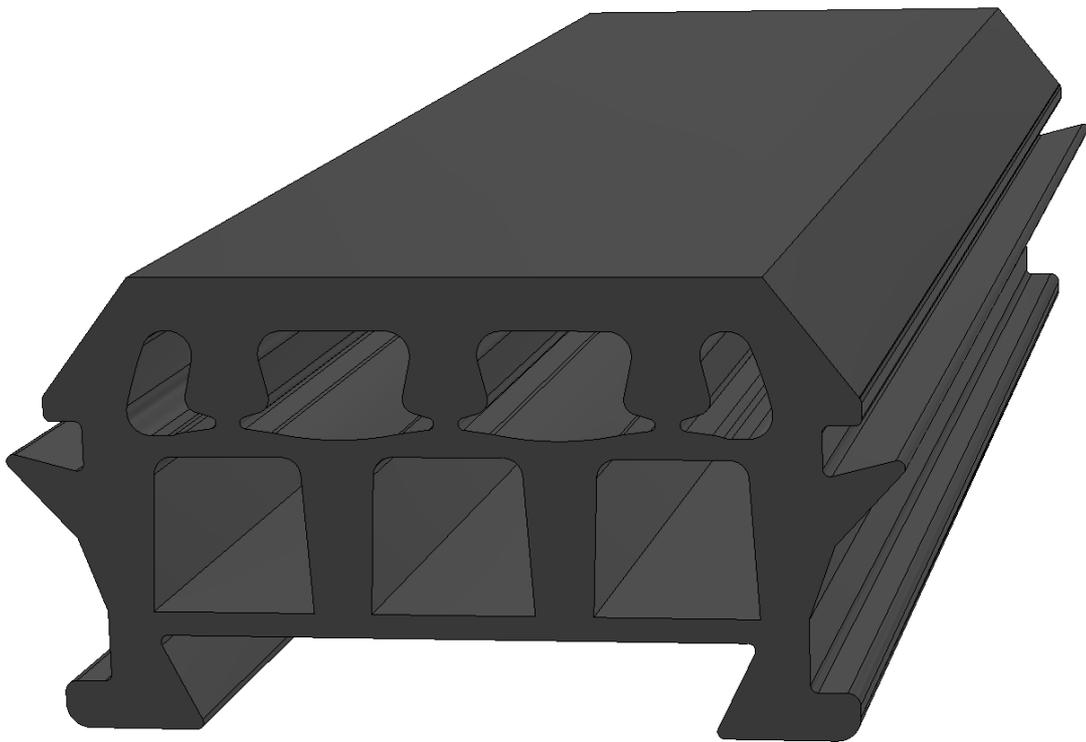
EASY CLICK SMART : Caratteristiche e Vantaggi

- ❖ FACILE INSERIMENTO DEL CONNETTORE NELLE BUSSOLE
- ❖ ELEVATE PERFORMANCES MECCANICHE
- ❖ ELEVATA PERFORMANCE evidenziata anche in combinazione con conci prefabbricati solo fibrorinforzati (SFRC) e senza gabbia di armatura
- ❖ MINIMIZZAZIONE DI GAP&OFFSET
- ❖ RESISTENZA ALLA CORROSIONE ED ABRASIONE
- ❖ LUNGA DURATA

Anchored rubber gasket technical features

“Stuva” Method

Drawing UG018A



TDS	Var.	Class.	Rev	Lang.	Edited by	Approved by	Date
0006.21	2	6	0	EN	D. Bortolussi	G.Bomben	16.11.2021

1 INDEX

1	INDEX	2
2	COLLABORATIONS	3
3	ANCHORED RUBBER GASKET U.G.018A	4
4	COMPOUND TECHNICAL SHEET	5
4.1	DESCRIPTION	5
4.2	PHYSICAL FEATURES	5
5	WATER TIGHTNESS TEST	6
5.1	GENERALITY	6
5.2	TEST RIG	6
5.3	TEST SAMPLES AND INSTALLATION	6
5.4	TESTING METHODS AND RESULTS	6
6	LOAD DEFLECTION TEST FOR GASKET PROFILE	7
7	LOAD DEFLECTION TEST FOR GASKET CORNER	7
8	GASKET RECOVERY CAPACITY	7
9	LONG TERM LIFE ESTIMATION OF RUBBER GASKET	8
10	GASKET TECHNICAL DATA SHEET	9
10.1	DESCRIPTION	9
10.2	USE	9
10.3	HANDLING AND SECURITY	10
10.4	STORAGE INFORMATION	10
11	ANNEX	11
11.1	ANNEX A	11
11.2	ANNEX B	12
11.3	ANNEX C	13
11.4	ANNEX D	14
11.5	ANNEX E	15
11.6	ANNEX F	16
11.7	ANNEX G	17
11.8	ANNEX H	18
11.9	ANNEX I	19

TDS	Var.	Class.	Rev	Lang.	Edited by	Approved by	Date
0006.21	2	6	0	EN	D. Bortolussi	G.Bomben	16.11.2021

2 COLLABORATIONS



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI TRENTO

STUVA



Laboratorio prove materiali
I.T.I. "A. Malignani-Udine"

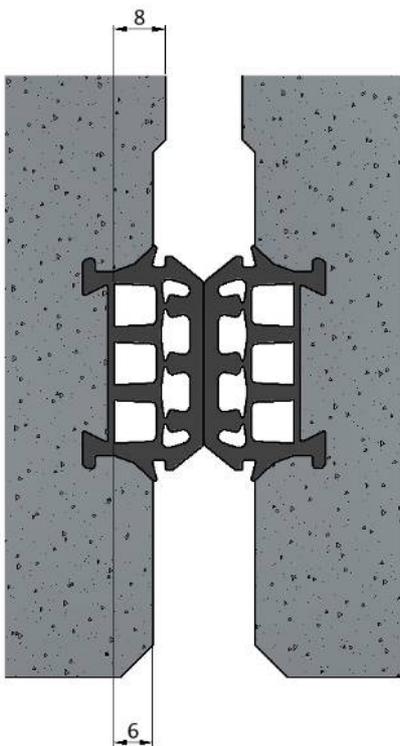
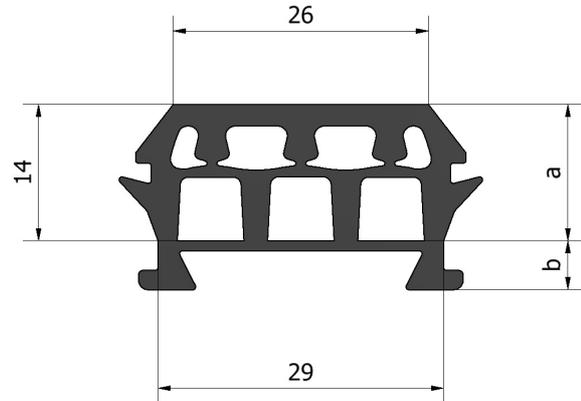


TREVISO TECNOLOGIA



TDS	Var.	Class.	Rev	Lang.	Edited by	Approved by	Date
0006.21	2	6	0	EN	D. Bortolussi	G. Bomben	16.11.2021

3 ANCHORED RUBBER GASKET U.G.018A



Cross section	$a = 236,3 \text{ mm}^2$
	$b = 60,5 \text{ mm}^2$
Compound	EPDM 70 IRHD
Groove width at bottom	29 mm
Groove depth	8 mm
Goove angle	20°
Groove dimension	$269,3 \text{ mm}^2$
At full compression the groove is used with 87,7 %	

TDS	Var.	Class.	Rev	Lang.	Edited by	Approved by	Date
0006.21	2	6	0	EN	D. Bortolussi	G.Bomben	16.11.2021

4 COMPOUND TECHNICAL SHEET

4.1 Description

Compound code	PGSA74 or similar
Compound type	EPDM BLACK according to standard EN 681-1

4.2 Physical features

TEST	TEST METHOD	U.M.	STUVA REQUEST
Hardness	ISO48	IRHD	±5
Tensile strenght	ISO 37	Mpa	≥ 9
Elongation	ISO 37	%	≥ 200
Residual deflection after compression 24h, 70°C	ISO 815-1	%	≤ 20
Ozone resistance after 70 hours at 50°C 50 PPHM elongation 50%	ISO1431-1	-	not required
UV resistance	-	-	not required
Thermal aging	168h, 70°C The test method is DIN 53508		
Variation in hardness	ISO48	IRHD	From -5 to +8
Variation of tensile strenght	ISO37	%	From -20 to +10
Variation of elongation	ISO37	%	From -30 to +10

TDS	Var.	Class.	Rev	Lang.	Edited by	Approved by	Date
0006.21	2	6	0	EN	D. Bortolussi	G.Bomben	16.11.2021

5 WATER TIGHTNESS TEST

5.1 *Generality*

This report contains information concerning test conducted on watertight gasket seal type UG018A at offset 0,5,10,15 mm as shown in annex B.

5.2 *Test rig*

Leaking test has been lead with test rig represented in picture 1 and annex C. Test rig is composed by a metal structure made of three parts: a flat steel plate on the top of 2 elements with 90° surfaces. These parts are conformed on a surface, in order to simulate segment grooves (picture 2 annex C). In the rig are lodged three rubber gasket specially constructed simulating the real condition of the segment (picture 3 annex C). The rig is filled up with water through a tap placed on the top surface. In addition the rig is equipped on the top with a tube for the air drainage, for pressure survey with a special gauge and in order to put the system in pressure.

5.3 *Test samples and installation*

Water tightness test gasket frames measures are shown in annex D.

Gasket frames are made with angles both with flat and at 90° vulcanized. The average sizes of the seal section are within allowed tolerances. Contact lining is made in the central position at offset 0 and repeated for offsets 5,10,15 mm.

5.4 *Testing methods and results*

The operating method is specified as follow.

Placed the plates in which are housed the seal gaskets, test is made by setting them to obtain a seal's compression of 10% (gap 10 mm) to ensure the contact between the rubber surfaces with an offset of 0 mm and repeated for 5, 10, 15 mm. The test is carried out by pumping water into the rig by steps increasing the pressure of 1 bar every 5 minutes until the pressure value has a loss.

Dumped the pressure, compression has increased reducing the gap of a further mm and repeating the cycle of pressure with the indicated method. The gap is then reduced in steps of 1 mm.

The final result is given by the pressure seal corresponding to each value of gap. At the end of the test, rig is opened for checking the final state of the seal which is found intact. Test is repeated for the offset 5,10,15 mm. The offset is made, as specified in Annex B, with misalignment of the top seal compared to the lower seal. In the rig this condition is obtained by shifting the top plate of the desired size than the angular components. The results of all tests are shown in enclosure G.

TDS	Var.	Class.	Rev	Lang.	Edited by	Approved by	Date
0006.21	2	6	0	EN	D. Bortolussi	G.Bomben	16.11.2021

6 LOAD DEFLECTION TEST FOR GASKET PROFILE

The test aims to determine the force required to compress the gasket to its maximum deflection (gap 0).
 The test is performed with alignment of the seals that are at offset 0.
 The results of test is shown in annex G. The equipment for the test run is shown in the picture 1 of annex E.
 Test rig is placed at a suitable test machine that compresses the seals at a constant speed of 50 mm/min and detects the reaction force.

7 LOAD DEFLECTION TEST FOR GASKET CORNER

The test aims to determine the force required to compress the T-joint gasket to its maximum deflection (gap 0).
 The test is performed with alignment of the seals that are at offset 0.
 The results of test is shown in annex H. The equipment for the test run is shown in the picture 2 of annex D.
 The test equipment is closed at 2mm gap between the corner gaskets and positioned on a suitable testing machine that compresses the corner gaskets with the upper profile up to a 0mm gap at a constant speed of 50 mm / min and detects the reaction force .

8 GASKET RECOVERY CAPACITY

The “recovery capacity” test is made with rubber gasket samples of 200 mm put into special steel gauges of the same length. These steel gauges are closed at the ends so that the device can't slide in the longitudinal axis.
 On both seals is then applied a pressure to achieve a gap of 2 mm without misalignment.
 Test device stays for 72 hours at a temperature of 20°C. Then it's released and placed in a state of relaxation for 1 hour at 20°C. In this time is measured the height of the sample gasket.

The “recovery capacity” is then measured as follows:

$$\text{Recovery capacity (\%)} = \frac{\text{gasket seal height after recovery}}{\text{gasket seal height before compression}} \times 100$$

The equipment for testing resilience can be seen in annex F.

TDS	Var.	Class.	Rev	Lang.	Edited by	Approved by	Date
0006.21	2	6	0	EN	D. Bortolussi	G.Bomben	16.11.2021

9 LONG TERM LIFE ESTIMATION OF RUBBER GASKET



LABORATORIO ITALIANO GOMMA



Date, August 31st, 2020
TR n° **353-(eng)/2020**
Ref. Vs. ordine n.3334 del 10.07.2020

To

Fama S.p.A.

Via Della Fossa, 6

33080 Zoppola (Pn)

Received 17.06.2020 Start tests 22.07.2020 End tests 31.08.2020 Page 1 of 1

T E S T R E P O R T

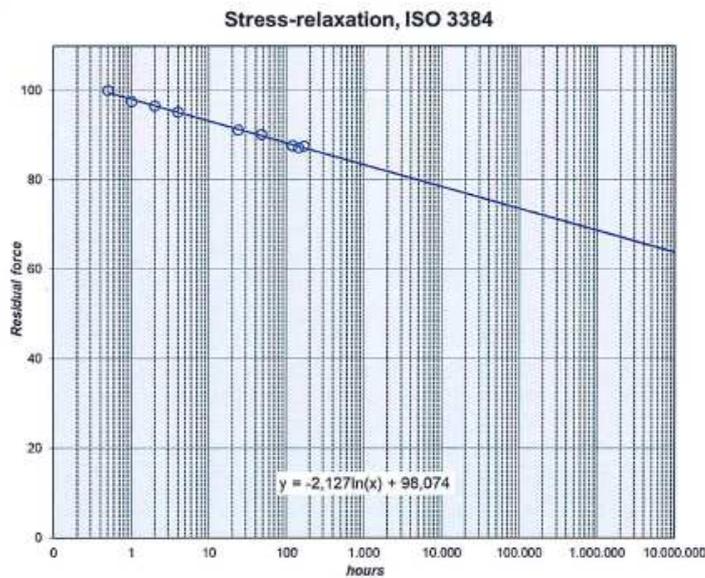
Subject: Stress relaxation on one sample "PGSA74".

PGSA74

Test Method

Stress relaxation at 23 °C

ISO 3384-1:2011



The sampling has been carried out by the Customer.
The contained results refer only to the tested sample.
This report cannot be partially reproduced without the laboratory approval.

M. Bonora, *Operator*

F. Negroni, *Director*

Via Velleia, 4 - 20900 Monza (MB) Italia Tel. +39 0392254100 Fax +39 0392254198 P.IVA 07629280962

The relaxation at **100 years**, evaluated according to the Stuva criterion, corresponds to **71%**
The relaxation at **120 years**, evaluated according to the Stuva criterion, corresponds to **69%**

TDS	Var.	Class.	Rev	Lang.	Edited by	Approved by	Date
0006.21	2	6	0	EN	D. Bortolussi	G. Bomben	16.11.2021

10 GASKET TECHNICAL DATA SHEET

10.1 Description

UG018A is a preformed gasket made of elastomer used in tunnels dug with TBM to seal concrete segments.

Sealing gasket is made with injection moulding corner joints process and is applied over the entire perimeter of concrete segment. Sealing gaskets work into contact with each other and allow both longitudinal and annular sealing joints. Sealing gaskets are designed and built according to specific requirements of hydraulic watertight.

UG018A is a product easy to use because is made on the specific dimension of concrete segment it must seal. Thanks of its special geometry and internal structure, gasket seal ensures high water kept in minimum possible pressure applied on its surface even when there is an high offset and distance (gap) not optimal between concrete segments.

The compression strength of the seal shall not exceed the limit imposed by the project by making the simple installation of segments.

The proper study of joints corners discharge, allows a perfect sealing and reduction of strengths avoiding the crushing of concrete segment in the corner zone.

The corners are designed and manufactured with a geometry that replicates the segment's shape, getting a perfect dimensional and functional coupling of the seals adjacent to each other.

The compound used for corner molding has high compressibility characteristics, high elastic resistance with high elastomeric content.

Corner injection techniques are studied because the hollow parts of the profile are not widely insinuated by corner compound, which represent the main reason for raising the compression forces in the corner area.

For anchored gaskets, there are two kinds of corners geometry, standard and soft; standard with higher compression loads and soft with lower compressive loads.

The choice of the kind of corners geometry is determined essentially by the position of the gasket compared to the outer edge of the segment, and then the mechanical properties of the concrete to support the loads generated by the gasket in the corner area.

10.2 Use

Gasket seal must be removed from the box, released from the bonds and stretched to its geometry in sufficient time and in a heated room to allow it to recover its shape and avoid any deformation caused by packing.

During the assembly of the concrete segments, to facilitate the flow of the seals coming into contact with each other, the friction can be reduced by using the appropriate slip agents. It's not allowed the use of organic fats.

The gasket is anchored into the concrete being inserted in the formwork before the concrete casting.

The gasket, in the anchoring geometry to the mold, can change according to the different configurations of the grooves made in the molds. The gasket release forces relative to the mold must meet the limits shown in the test test graph. It must be established that the seal release forces in relation to the mold are compatible with those for anchoring the joint in concrete (see Appendix H).

The position of the gasket is assured by the suitable groove realized into the formwork and should guarantee its perfect adhesion in order to avoiding infiltrations or to be removed from accidental collisions with other components inserted during the concrete casting.

In order to ensure a correct procedure of gasket's anchoring into the concrete, it should reach the mechanical performance at least of 15 Mpa.

TDS	Var.	Class.	Rev	Lang.	Edited by	Approved by	Date
0006.21	2	6	0	EN	D. Bortolussi	G.Bomben	16.11.2021

10.3 Handling and security

UG018A is not a dangerous product, is not toxic and presents no danger to the safety of workers. The precautions are the usual generic and used on site.

10.4 Storage information

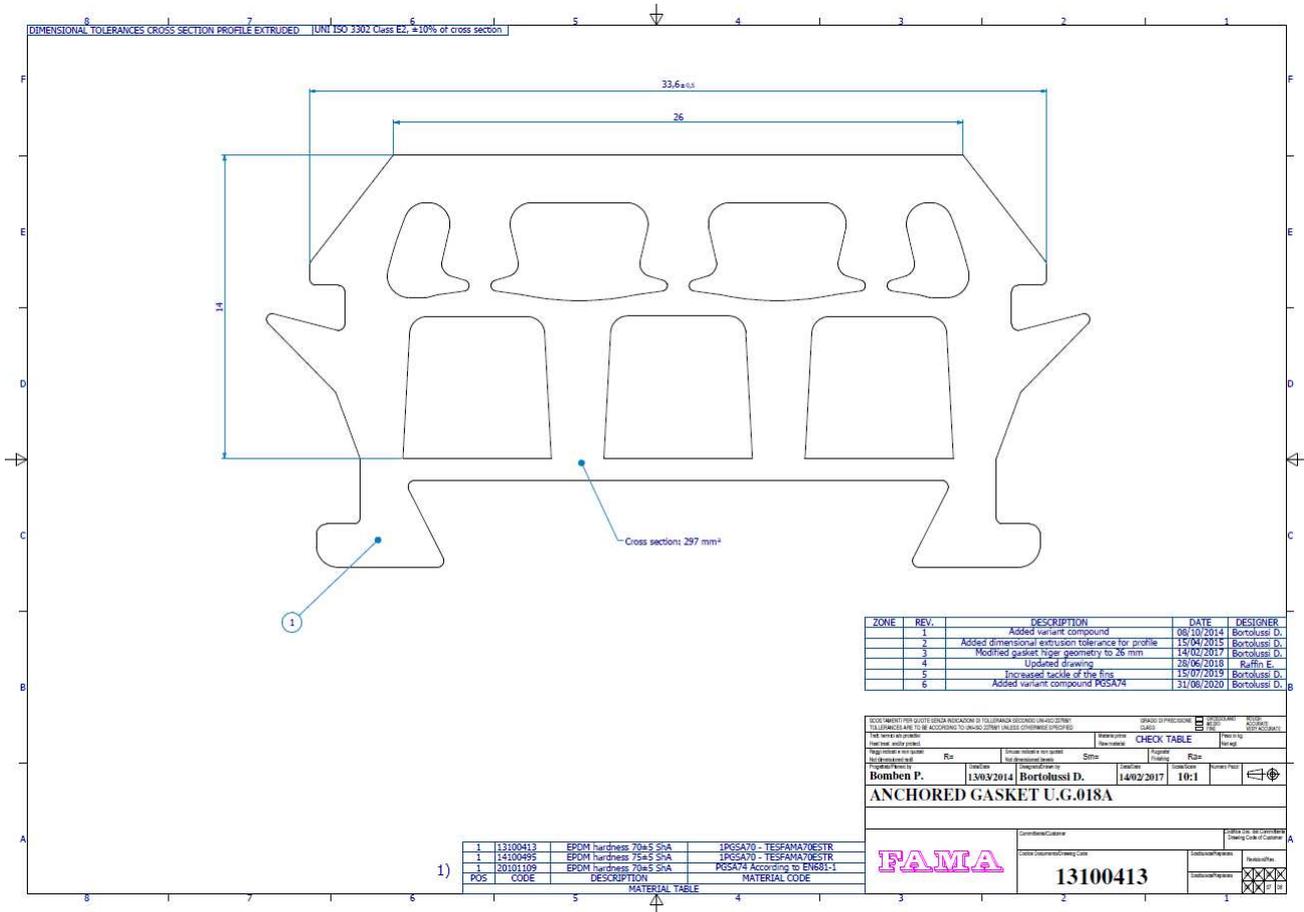
UG018A must be kept in the original box, closed and at temperature of between -40°C and +100°C. Operating temperature must be between -18°C and +60°C

Hot weather conditions: recommend storing the gasket in a covered place to prevent direct radiation of the sun.

TDS	Var.	Class.	Rev	Lang.	Edited by	Approved by	Date
0006.21	2	6	0	EN	D. Bortolussi	G. Bomben	16.11.2021

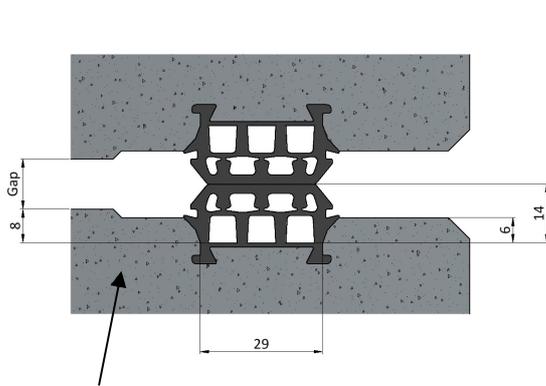
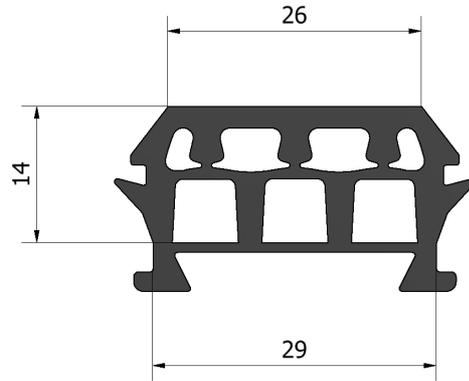
11 ANNEX

11.1 Annex A

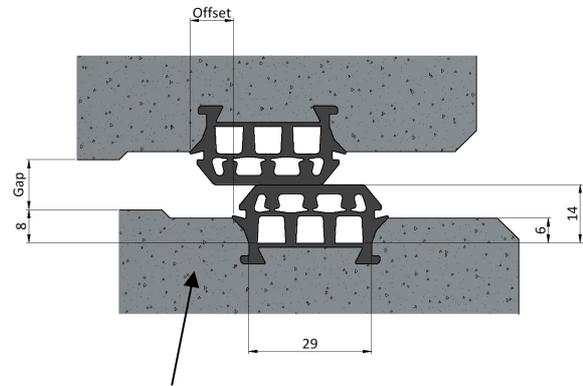


TDS	Var.	Class.	Rev	Lang.	Edited by	Approved by	Date
0006.21	2	6	0	EN	D. Bortolussi	G.Bomben	16.11.2021

11.2 Annex B



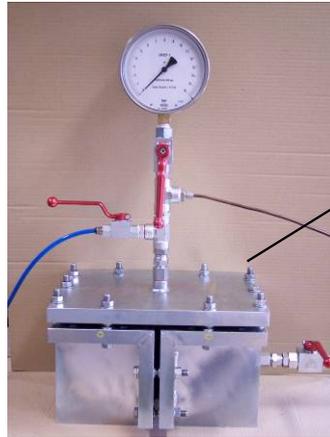
Without offset



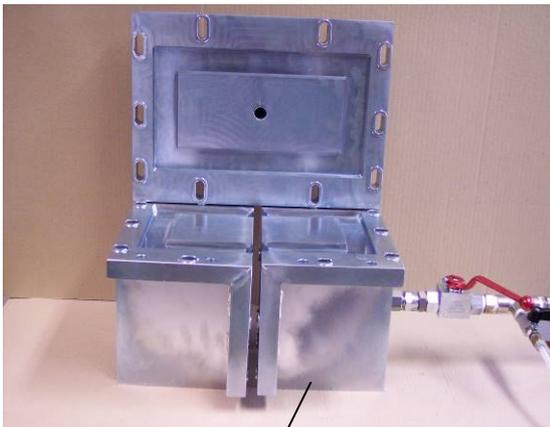
With offset

TDS	Var.	Class.	Rev	Lang.	Edited by	Approved by	Date
0006.21	2	6	0	EN	D. Bortolussi	G. Bomben	16.11.2021

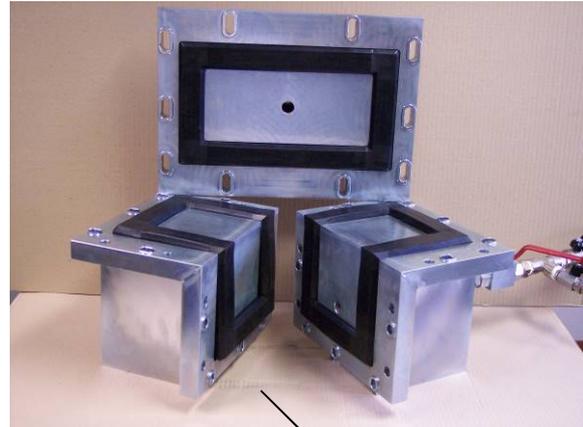
11.3 Annex C



PICTURE 1
Watertightness test rig



PICTURE 2
Watertightness test rig components simulating concrete segment grooves



PICTURE 3
Watertightness test rig components simulating concrete segment grooves with gasket seals

TDS	Var.	Class.	Rev	Lang.	Edited by	Approved by	Date
0006.21	2	6	0	EN	D. Bortolussi	G.Bomben	16.11.2021

11.4 Annex D



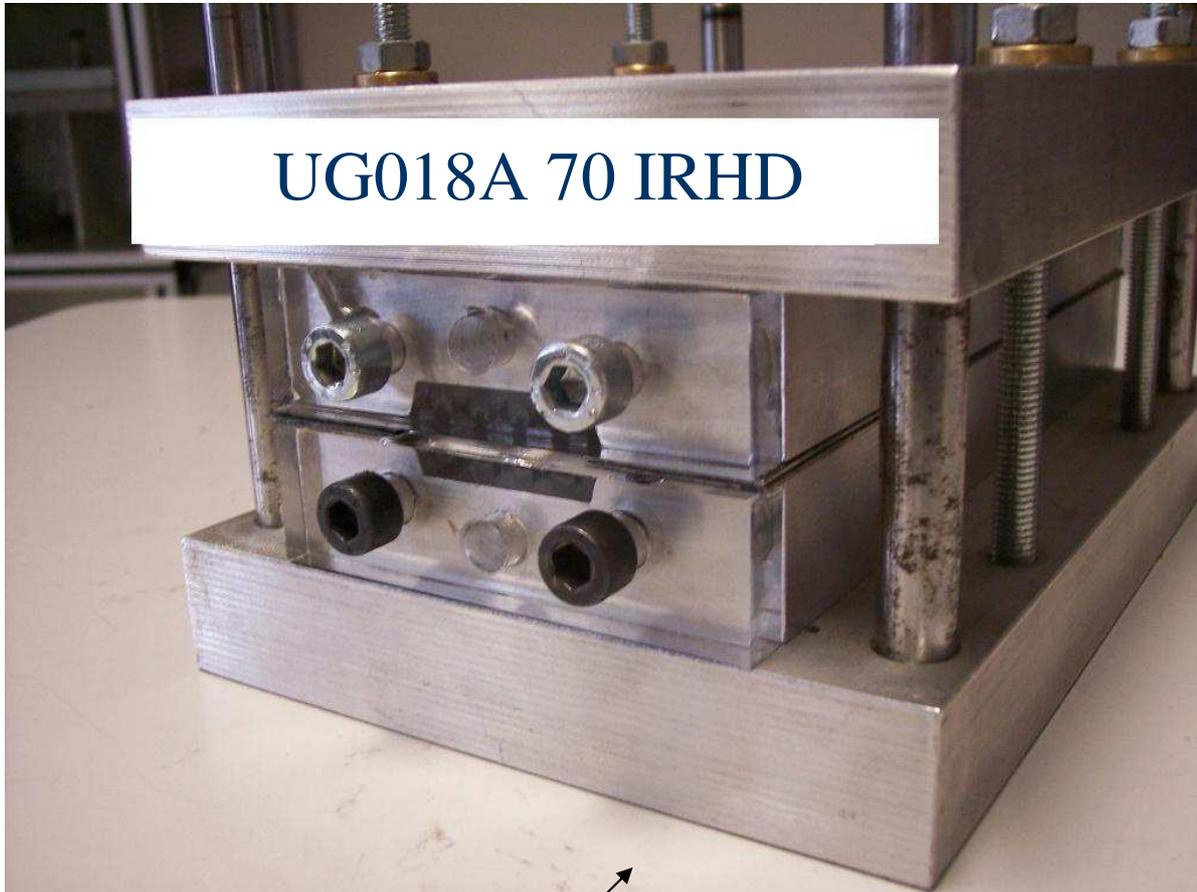
PICTURE 1
Profile load deflection test rig



Picture 2
Corners load deflection test rig

TDS	Var.	Class.	Rev	Lang.	Edited by	Approved by	Date
0006.21	2	6	0	EN	D. Bortolussi	G.Bomben	16.11.2021

11.5 Annex E

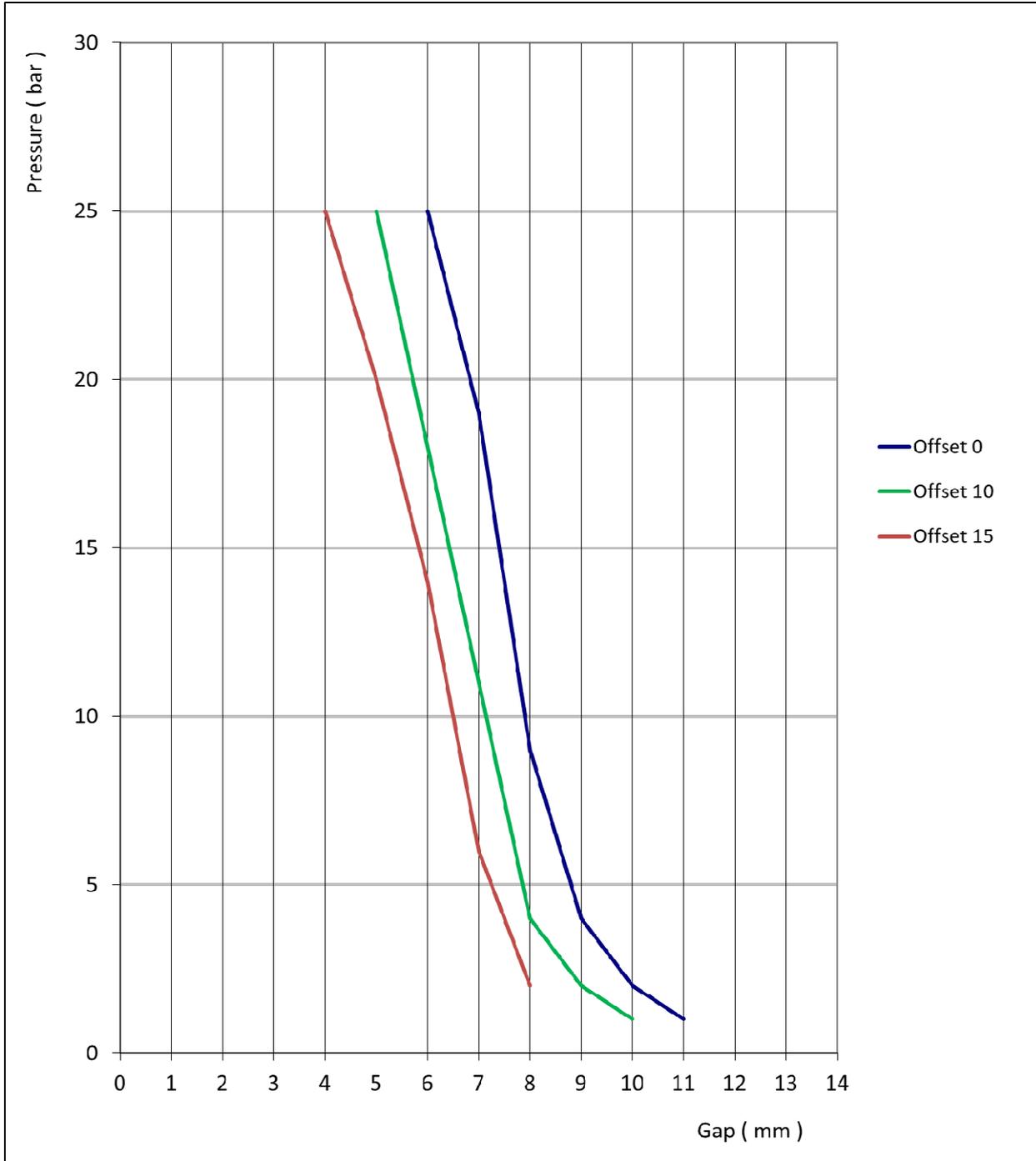


Rubber gasket recovery test rig

TDS	Var.	Class.	Rev	Lang.	Edited by	Approved by	Date
0006.21	2	6	0	EN	D. Bortolussi	G.Bomben	16.11.2021

11.6 Annex F

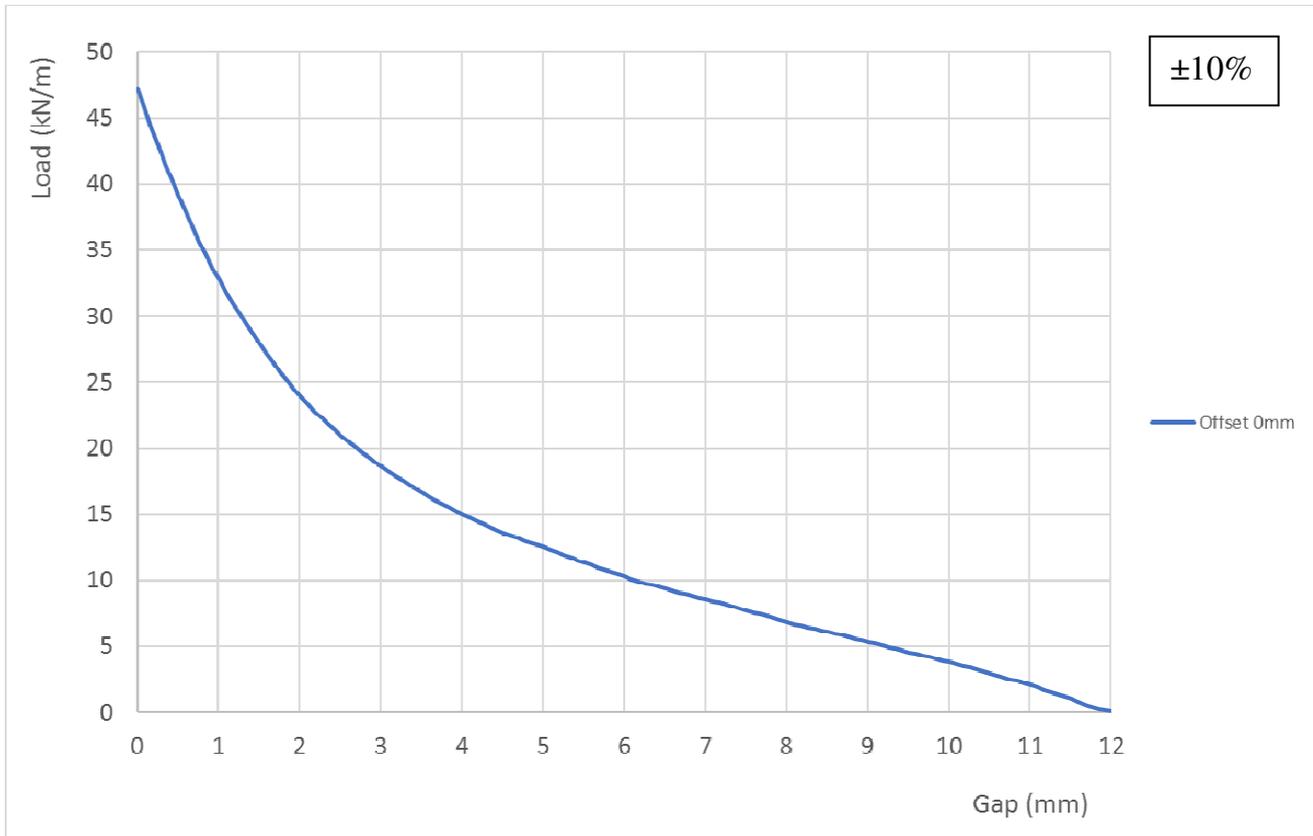
WATERTIGHTNESS GAP DIAGRAM U.G.018A



TDS	Var.	Class.	Rev	Lang.	Edited by	Approved by	Date
0006.21	2	6	0	EN	D. Bortolussi	G.Bomben	16.11.2021

11.7 Annex G

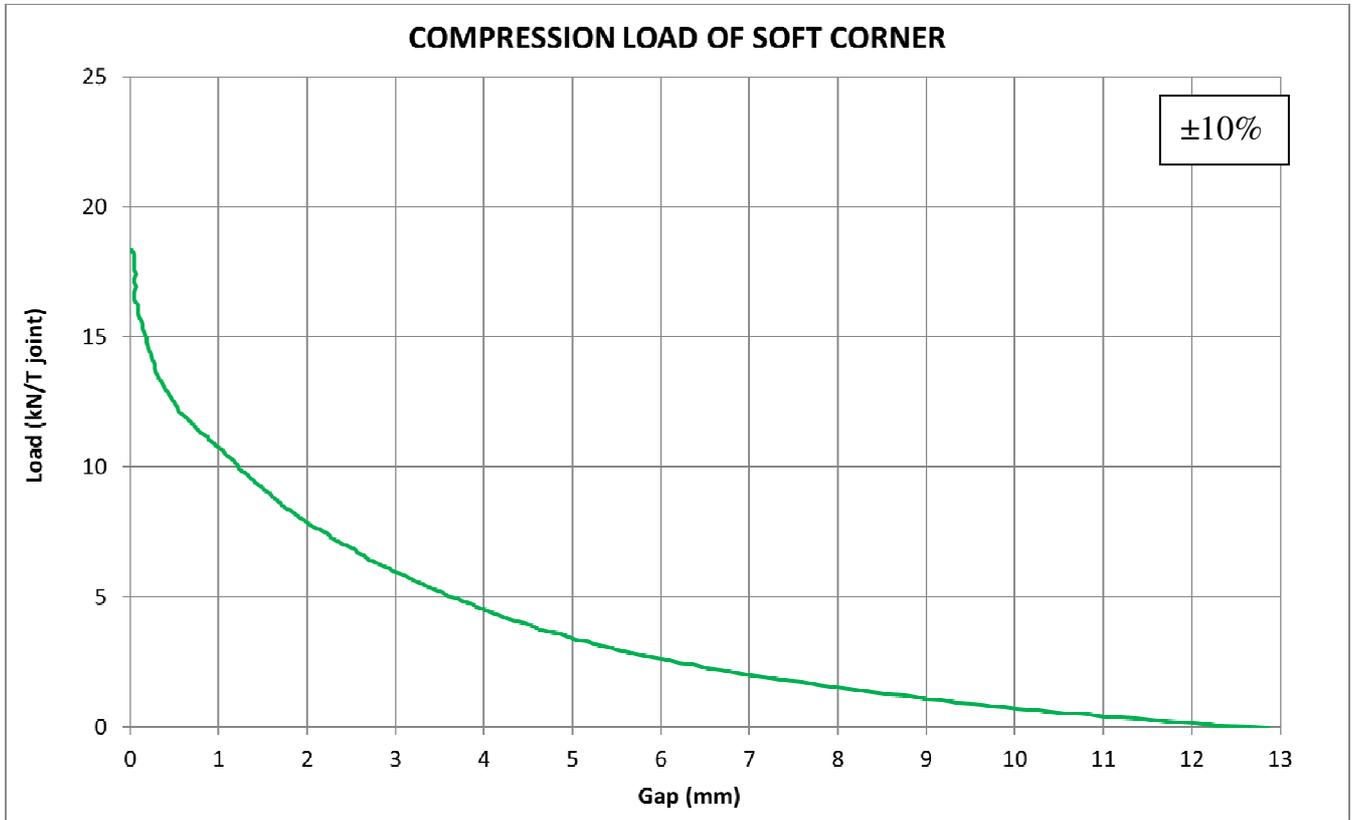
LOAD DEFLECTION DIAGRAM GASKET PROFILE



TDS	Var.	Class.	Rev	Lang.	Edited by	Approved by	Date
0006.21	2	6	0	EN	D. Bortolussi	G.Bomben	16.11.2021

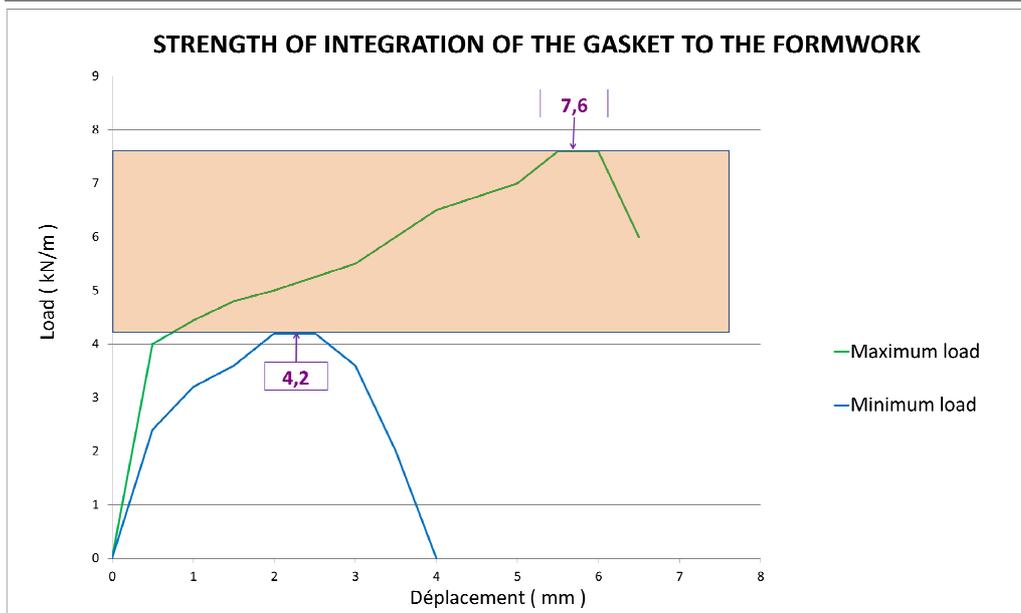
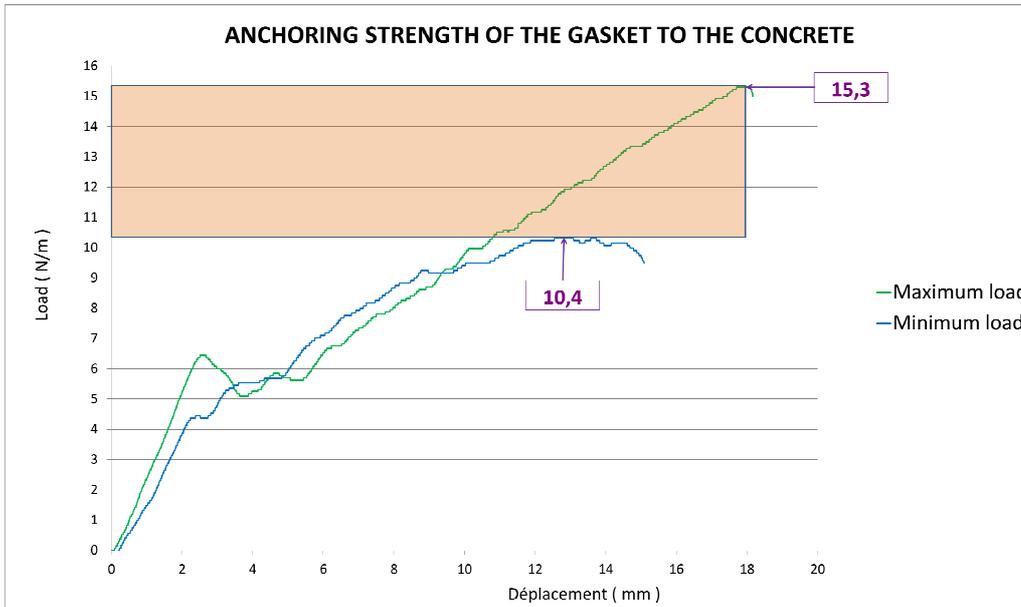
11.8 Annex H

LOAD DEFLECTION DIAGRAM GASKET CORNER



TDS	Var.	Class.	Rev	Lang.	Edited by	Approved by	Date
0006.21	2	6	0	EN	D. Bortolussi	G. Bomben	16.11.2021

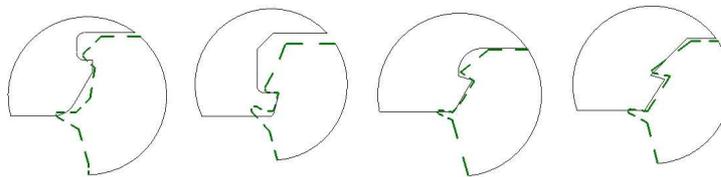
11.9 Annex I



FAMA



OTHER ANCHORAGE IN THE MARKET

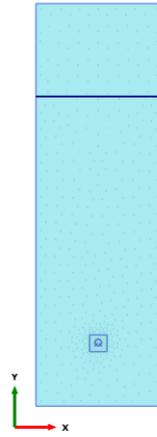


TDS	Var.	Class.	Rev	Lang.	Edited by	Approved by	Date
0006.21	2	6	0	EN	D. Bortolussi	G. Bomben	16.11.2021

Allegato 3: Calcolo bidimensionale

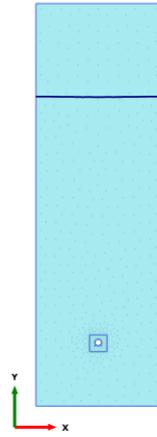
[Click here](#) and press F9 key for TOC

1.1.1.1 Calculation results, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Connectivity plot



Connectivity plot

1.1.1.2 Calculation results, scavo [Phase_3] (3/3), Connectivity plot



Connectivity plot

1.1.1.3 Calculation results, ring+bicom [Phase_1] (1/5), Connectivity plot



Connectivity plot

1.1.2.1 Water loads

ID	Node	Local node	X [m]	Y [m]	q_x [kN/m ²]	q_y [kN/m ²]
----	------	------------	-------	-------	----------------------------	----------------------------

1.1.2.2 Water loads

ID	Node	Local node	X [m]	Y [m]	q_x [kN/m ²]	q_y [kN/m ²]
----	------	------------	-------	-------	----------------------------	----------------------------

1.1.2.3 Water loads

ID	Node	Local node	X [m]	Y [m]	q_x [kN/m ²]	q_y [kN/m ²]
----	------	------------	-------	-------	----------------------------	----------------------------

1.1.3.1.1 Materials - Soil and interfaces - Mohr-Coulomb

Identification number	1	
Identification	BSSa	
Soil model	Mohr-Coulomb	
Drainage type	Drained	
Colour		
Comments		
γ_{unsat}	kN/m ³	17.00
γ_{sat}	kN/m ³	27.00
e_{init}		0.5000
n_{init}		0.3333
Input method	Direct	
Rayleigh α	0.000	
Rayleigh β	0.000	
E'_{ref}	kN/m ²	14.00E6
ν (nu)		0.3000
G_{ref}	kN/m ²	5.385E6
E_{oed}	kN/m ²	18.85E6
E'_{inc}	kN/m ² /m	0.000
γ_{ref}	m	0.000
V_s	m/s	1763
V_p	m/s	3298
c'_{ref}	kN/m ²	2083
ϕ' (phi)	°	35.00
ψ (psi)	°	0.000
c'_{inc}	kN/m ² /m	0.000
γ_{ref}	m	0.000
Tension cut-off	True	
Tensile strength	kN/m ²	0.000
Determination	v-undrained definition	
v_u definition method	Direct	

Identification number		1
v_u,equivalent (nu)		0.4950
Skempton B		0.9783
K_w,ref/n	kN/m ²	525.0E6
Classification type		Standard
Soil class (Standard)		Medium fine
< 2 μm	%	19.00
2 μm - 50 μm	%	74.00
50 μm - 2 mm	%	7.000
Use defaults		False
k_x	m/s	0.01000E-6
k_y	m/s	0.01000E-6
Void ratio dependency		True
c_k		1000E12
n_init		0.3333
-ψ_unsat	m	10.00E3
c_s	kJ/t/K	0.000
λ_s	kW/m/K	0.000
ρ_s	t/m ³	0.000
Thermal expansion type		Isotropic
α_sv	1/K	0.000
Phase change		False
D_v	m ² /s	0.000
f_Tv		0.000
Stiffness determination		Derived
Strength determination		Manual
R_inter		0.6700
Consider gap closure		True
Cross permeability		Impermeable
Drainage conductivity, dk	m ³ /s/m	0.000
R_thermal	m ² K/kW	0.000
K_0 determination		Manual
K_0,x		0.9000

Identification number	1
K_0,z	0.9000
K_0,x = K_0,z	True

1.1.3.1.2 Materials - Soil and interfaces - Linear Elastic

Identification number	2	
Identification	Bicomponente	
Soil model	Linear Elastic	
Drainage type	Drained	
Colour		
Comments		
γ_{unsat}	kN/m ³	25.00
γ_{sat}	kN/m ³	25.00
e_{init}	0.5000	
n_{init}	0.3333	
Input method	Direct	
Rayleigh α	0.000	
Rayleigh β	0.000	
E'_{ref}	kN/m ²	3.000E6
ν (nu)	0.2500	
G_{ref}	kN/m ²	1.200E6
E_{oed}	kN/m ²	3.600E6
E'_{inc}	kN/m ² /m	0.000
γ_{ref}	m	0.000
V_s	m/s	686.2
V_p	m/s	1189
Determination	v-undrained definition	
v_u definition method	Direct	
$v_{u,\text{equivalent}}$ (nu)	0.4950	
Skempton B	0.9833	
$K_{w,\text{ref}/n}$	kN/m ²	117.6E6
Classification type	Standard	
Soil class (Standard)	Medium	
< 2 μm	%	19.00
2 μm - 50 μm	%	41.00

Identification number		2
50 μm - 2 mm	%	40.00
Use defaults		False
k_x	m/s	0.01000E-6
k_y	m/s	0.01000E-6
Void ratio dependency		True
c_k		1000E12
n_init		0.3333
$-\psi_{\text{unsat}}$	m	10.00E3
c_s	kJ/t/K	0.000
λ_s	kW/m/K	0.000
ρ_s	t/m ³	0.000
Thermal expansion type		Isotropic
α_{sv}	1/K	0.000
Phase change		False
D_v	m ² /s	0.000
f_Tv		0.000
Stiffness determination		Derived
Strength determination		Manual
R_inter		0.6700
Consider gap closure		True
Cross permeability		Impermeable
Drainage conductivity, dk	m ³ /s/m	0.000
R_thermal	m ² K/kW	0.000
K_0 determination		Automatic
K_0,x		0.5000
K_0,z		0.5000

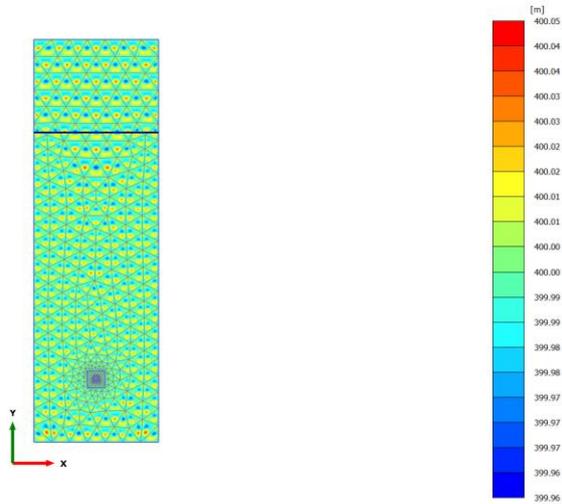
1.1.3.2 Materials - Plates

Identification number		1
Identification		Conci
Material type		Elastic
Colour		
Comments		
w	kN/m/m	11.30
Input method		Direct
Rayleigh α		0.000
Rayleigh β		0.000
Prevent punching		False
Isotropic		True
EA_1	kN/m	16.20E6
EA_2	kN/m	16.20E6
E_1	kN/m ²	41.07E6
E_2	kN/m ²	41.07E6
EI	kN m ² /m	210.0E3
ν (nu)		0.2500
d	m	0.3944
c	kJ/t/K	0.000
λ	kW/m/K	0.000
ρ	t/m ³	0.000
α	1/K	0.000
A_eff,T	m ²	0.000

1.1.4 General information

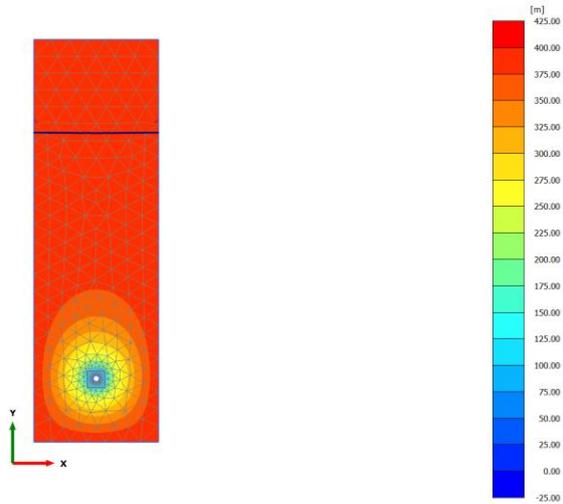
General information	
Project	
Filename	Drenl_unica_fase_10-8_converted.p2dx
Directory	G:\shortcut-targets-by-id\1vXGGS02LWx5i2kZbjsDG7OVpPCTk5g3o\HQ(OPo)\PRJs\21WP011-FORT_PTE_GARD\0.Wrk&Exc\ias- Cosimo\REV_C\Drenaggi\2D\
Title	
General	
Model	Plane strain
Elements	15-Noded
Acceleration	
Gravity angle	-90.00 °
x-acceleration	0.000 m/s ²
y-acceleration	0.000 m/s ²
Earth gravity	9.810 m/s ²
Mesh	
Nr of soil elements	1006
Nr of nodes	8453
Average element size	12.07 m
Maximum element size	39.37 m
Minimum element size	0.1900 m
Comments	

2.1.1.1.1 Calculation results, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Groundwater head



Groundwater head (scaled up 0.0500 times)
Maximum value = 400.0 m (Element 29 at Node 2966)
Minimum value = 400.0 m (Element 174 at Node 843)

2.1.1.1.2 Calculation results, scavo [Phase_3] (3/3), Groundwater head

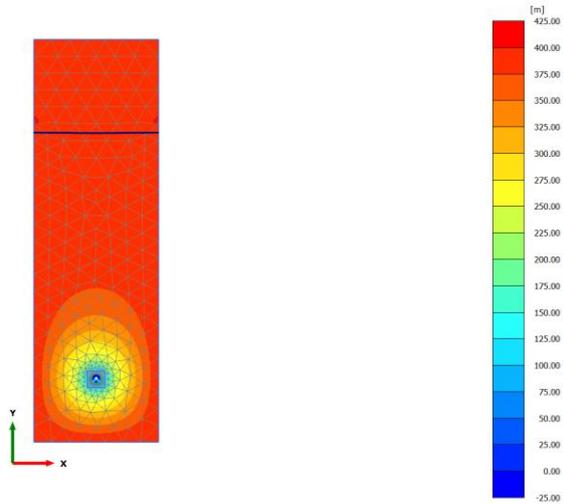


Groundwater head (scaled up 0.0500 times) (Time 518.4*10³ s)

Maximum value = 400.3 m (Element 72 at Node 549)

Minimum value = -2.139 m (Element 908 at Node 7828)

2.1.1.1.3 Calculation results, ring+bicom [Phase_1] (1/5), Groundwater head

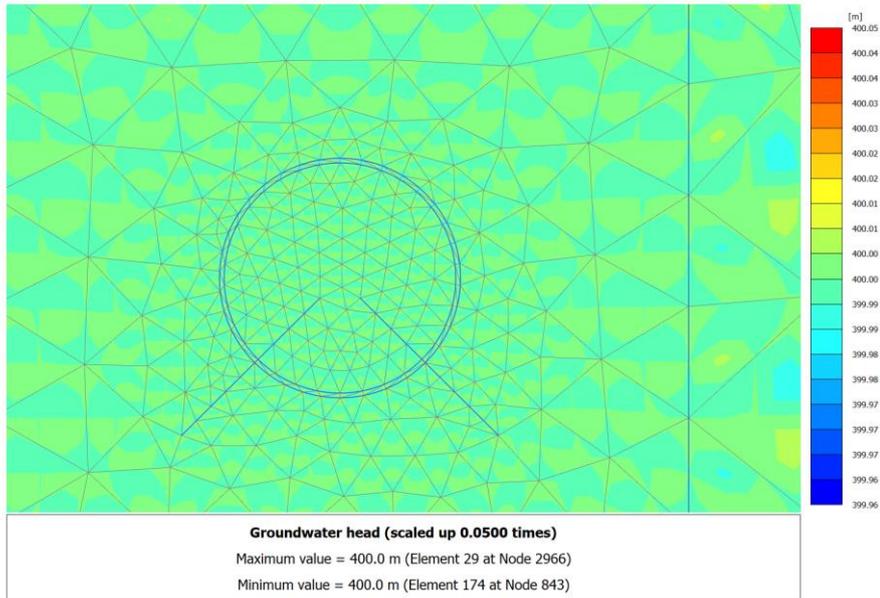


Groundwater head (scaled up 0.0500 times) (Time 1.037*10⁶ s)

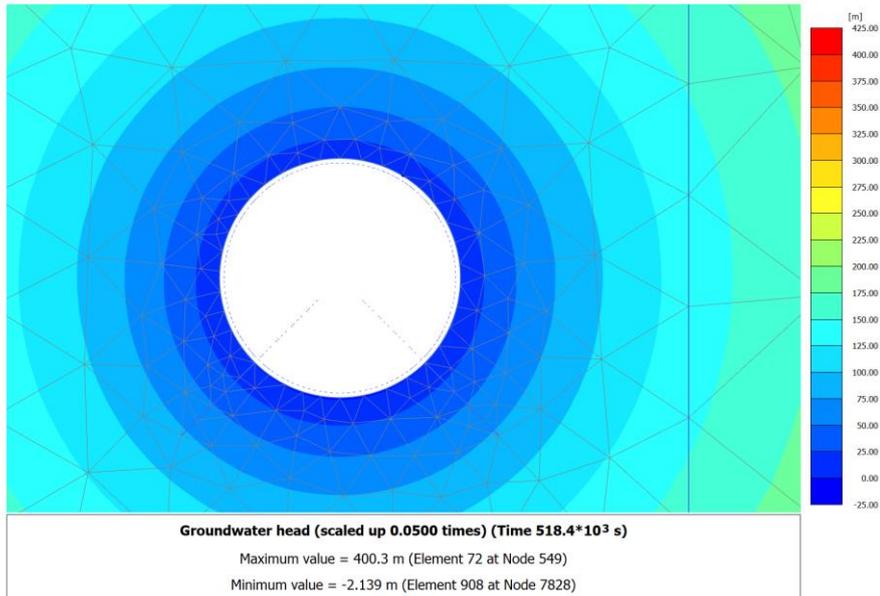
Maximum value = 400.4 m (Element 72 at Node 549)

Minimum value = -3.244 m (Element 960 at Node 6513)

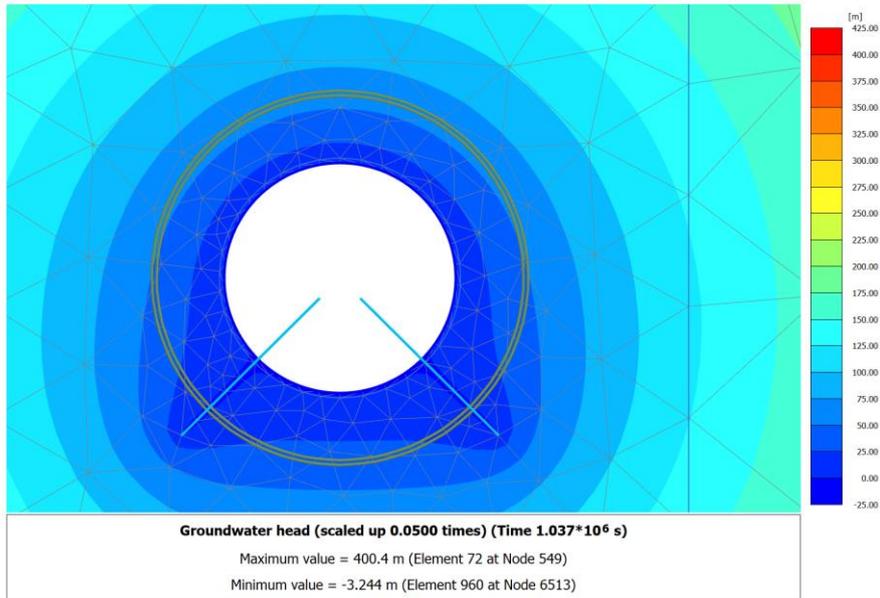
4.1.1 Calculation results, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Groundwater head



4.1.2 Calculation results, scavo [Phase_3] (3/3), Groundwater head



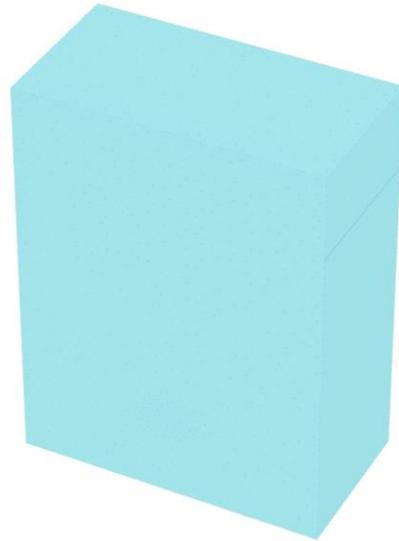
4.1.3 Calculation results, ring+bicom [Phase_1] (1/5), Groundwater head



Allegato 4: Calcolo tridimensionale ammasso sano

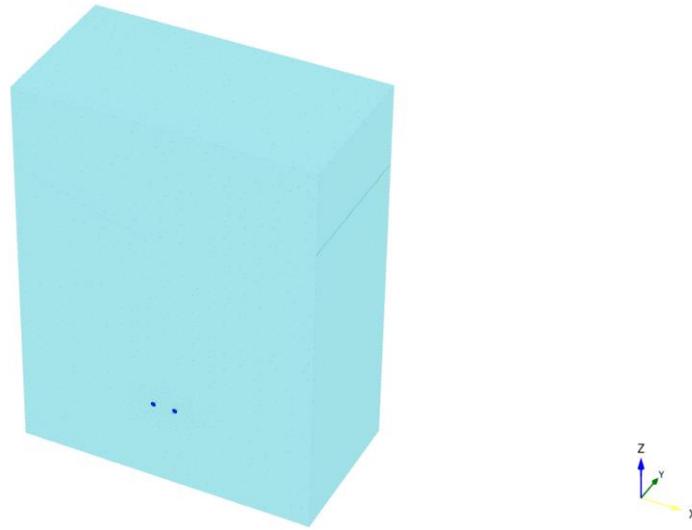
[Click here](#) and press F9 key for TOC

1.1.1.1 Calculation results, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Connectivity plot



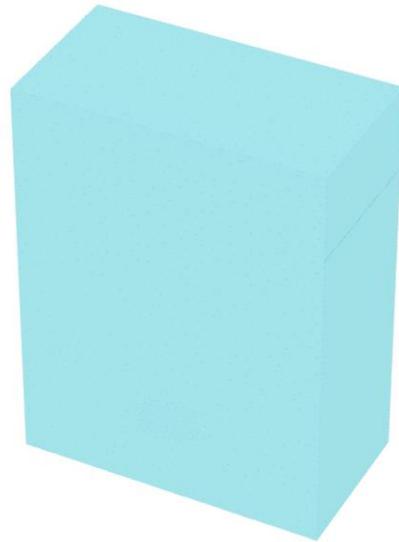
Connectivity plot

1.1.1.2 Calculation results, Attivazione Dreni [Phase_4] (4/9), Connectivity plot



Connectivity plot

1.1.1.3 Calculation results, Phase_1 [Phase_1] (1/15), Connectivity plot



Connectivity plot

1.1.2.1 Water loads

ID	Node	Local node	X [m]	Y [m]	Z [m]	q_x [kN/m ²]	q_y [kN/m ²]	q_z [kN/m ²]
----	------	------------	-------	-------	-------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

1.1.2.2 Water loads

ID	Node	Local node	X [m]	Y [m]	Z [m]	q_x [kN/m ²]	q_y [kN/m ²]	q_z [kN/m ²]
----	------	------------	-------	-------	-------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

1.1.2.3 Water loads

ID	Node	Local node	X [m]	Y [m]	Z [m]	q_x [kN/m ²]	q_y [kN/m ²]	q_z [kN/m ²]
----	------	------------	-------	-------	-------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

1.1.3.1.1 Materials - Soil and interfaces - Mohr-Coulomb

Identification number		1
Identification		BSSa
Soil model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
γ_{unsat}	kN/m ³	27,00
γ_{sat}	kN/m ³	27,00
e_{init}		0,5000
n_{init}		0,3333
Input method		SDOF equivalent
Rayleigh α		0,000
Rayleigh β		0,000
ξ_1	%	0,000
ξ_2	%	0,000
f_1	Hz	0,1000
f_2	Hz	1,000
Identification number		1

Identification number		1
Identification		BSSa
Soil model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
E'_ref	kN/m ²	14,00E6
v (nu)		0,3000
Determination		v-undrained definition
v_u definition method		Direct
v_u,equivalent (nu)		0,4950
Skempton B		0,9783
K_w,ref/n	kN/m ²	525,0E6
Identification number		1
Identification		BSSa
Soil model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
Classification type		Standard

Identification number		1
Soil class (Standard)		Very fine
< 2 µm	%	74,00
2 µm - 50 µm	%	11,00
50 µm - 2 mm	%	15,00
Identification number		1
Identification		BSSa
Soil model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
Identification number		1
Identification		BSSa
Soil model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
Stiffness determination		Derived
Strength determination		Manual
R_inter		0,6700

Identification number		1
Consider gap closure		True
Cross permeability		Impermeable
Drainage conductivity_1, dk	m ³ /s/m	0,000
Drainage conductivity_2, dk	m ³ /s/m	0,000
Identification number		1
Identification		BSSa
Soil model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
K_0 determination		Manual
K_0,x		0,9000
K_0,y		0,9000
K_0,x = K_0,y		True

1.1.3.1.2 Materials - Soil and interfaces - Linear Elastic

Identification number		2
Identification		Bicomponente
Soil model		Linear Elastic
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
γ_{unsat}	kN/m ³	25,00
γ_{sat}	kN/m ³	25,00
e_{init}		0,5000
n_{init}		0,3333
Input method		SDOF equivalent
Rayleigh α		0,000
Rayleigh β		0,000
ξ_1	%	0,000
ξ_2	%	0,000
f_1	Hz	0,1000
f_2	Hz	1,000
Identification number		2

Identification number		2
Identification		Bicomponente
Soil model		Linear Elastic
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
E'_ref	kN/m ²	3,000E6
v (nu)		0,2500
Determination		v-undrained definition
v_u definition method		Direct
v_u,equivalent (nu)		0,4950
Skempton B		0,9833
K_w,ref/n	kN/m ²	117,6E6
Identification number		2
Identification		Bicomponente
Soil model		Linear Elastic
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
Classification type		Standard

Identification number		2
Soil class (Standard)		Medium
< 2 µm	%	19,00
2 µm - 50 µm	%	41,00
50 µm - 2 mm	%	40,00
Identification number		2
Identification		Bicomponente
Soil model		Linear Elastic
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
Identification number		2
Identification		Bicomponente
Soil model		Linear Elastic
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
Stiffness determination		Derived
Strength determination		Manual
R_inter		0,6700

Identification number		2
Consider gap closure		True
Cross permeability		Semi-permeable
Hydraulic resistance, d/k	s	86,40E3
Drainage conductivity_1, dk	m ³ /s/m	1,000E-9
Drainage conductivity_2, dk	m ³ /s/m	1,000E-9
Identification number		2
Identification		Bicomponente
Soil model		Linear Elastic
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
K_0 determination		Automatic
K_0,x		0,5000
K_0,y		0,5000

1.1.3.2 Materials - Plates

Identification number		1
Identification		Conci
Material type		Elastic
Colour		
Comments		
γ	kN/m ³	11,30
Input method		SDOF equivalent
Rayleigh α		0,000
Rayleigh β		0,000
ξ_1	%	0,000
ξ_2	%	0,000
f_1	Hz	0,1000
f_2	Hz	1,000
Prevent punching		False
Identification number		1
Identification		Conci
Material type		Elastic
Colour		

Identification number	1
Comments	
Isotropic	True
Identification number	1
Identification	Conci
Material type	Elastic
Colour	
Comments	

1.1.4 General information

General information

Project

Filename Dreni Ammasso Sano_Allargato_Dreni ravvicinati_21.6.p3d

Directory C:\Users\Plaxis3D\Desktop\FPG\Drenaggi\CHIUSURA_PE_31-03\

Title

General

Model PLAXIS 3D

Elements 10-Noded

Acceleration

Gravity 1.0 G (-Z direction)

Earth gravity 9,810 m/s²

Mesh

Nr of soil elements 572606

Nr of nodes 924524

Average element size 2,612 m

Maximum element size 91,21 m

Minimum element size 0,1900 m

Comments

General information



1.1.5.1 Calculation information

Calculation information				
Step info				
Phase	Initial phase [InitialPhase]			
Step	Initial			
Step type	K0 procedure			
Kernel type	32 bit			
Extrapolation factor	0,000			
Relative stiffness	0,000			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1,000
Strength reduction factor	M_{sf}	0,000	ΣM_{sf}	1,000
Time	Increment	0,000	End time	0,000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	0,000	ΣM_{Area}	1,000
Active proportion of stage	M_{Stage}	0,000	ΣM_{Stage}	0,000
Forces				
F_x	0,000 kN			
F_y	0,000 kN			

Calculation information

Fz 0,000 kN

Consolidation

Realised $P_{\text{Excess,Max}}$ 0,000 kN/m²

1.1.5.2 Calculation information

Calculation information

Step info

Phase Attivazione Dreni [Phase_4]

Step Initial

Step type Plastic

Updated mesh False

Solver type Picos

Kernel type 64 bit

Extrapolation factor 1,914

Relative stiffness 0,1509

Multipliers

Soil weight			ΣM_{Weight}	1,000
-------------	--	--	----------------------------	-------

Strength reduction factor	M_{sf}	0,000	ΣM_{sf}	1,000
---------------------------	-----------------	-------	------------------------	-------

Time	Increment	254,0E3	End time	1,037E6
------	-----------	---------	----------	---------

Staged construction

Active proportion total area	M_{Area}	0,01469E-3	ΣM_{Area}	0,9996
------------------------------	-------------------	------------	--------------------------	--------

Active proportion of stage	M_{Stage}	0,4900	ΣM_{Stage}	1,000
----------------------------	--------------------	--------	---------------------------	-------

Forces

Calculation information

F_x 0,000 kN

F_y 0,000 kN

F_z 0,000 kN

Consolidation

Realised $P_{\text{Excess,Max}}$ 0,000 kN/m²

1.1.5.3 Calculation information

Calculation information				
Step info				
Phase	Phase_1 [Phase_1]			
Step	Initial			
Step type	Plastic			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	0,6394			
Relative stiffness	0,3420			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1,000
Strength reduction factor	M_{sf}	0,000	ΣM_{sf}	1,000
Time	Increment	24,25E3	End time	518,4E3
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	-0,01740E-3	ΣM_{Area}	0,9996
Active proportion of stage	M_{Stage}	0,04469	ΣM_{Stage}	1,000
Forces				

Calculation information

F_x 0,000 kN

F_y 0,000 kN

F_z 0,000 kN

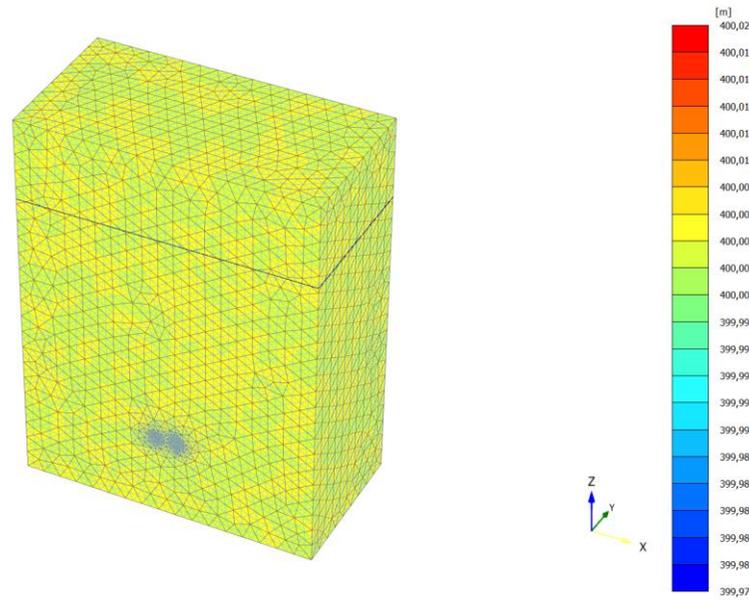
Consolidation

Realised $P_{\text{Excess,Max}}$ 0,000 kN/m²

1.1.6 Calculation information per phase

Identification	Phase	Start from	Calculation type	Loading input	Pore pressure	Time step [s]	First step	Last step	Log
Initial phase [InitialPhase]	0	N/A	K0 procedure	N/A	Phreatic	0,000	0	0	
Phase_1 [Phase_1]	1	0	Plastic	Staged construction	Steady state groundwater flow	0,281	10	15	
Attivazione Dreni [Phase_4]	4	1	Plastic	Staged construction	Steady state groundwater flow	2,940	1	9	

2.1.1.1.1 Calculation results, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Groundwater head

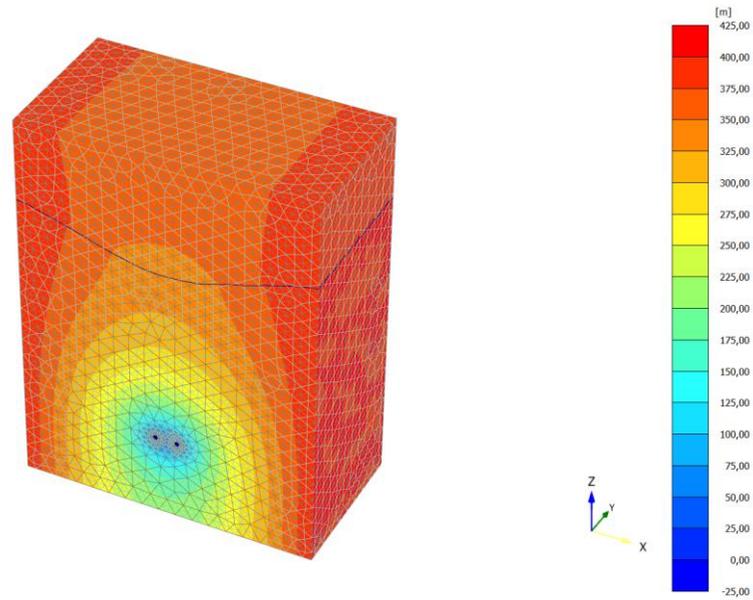


Groundwater head (scaled up 0,0500 times)

Maximum value = 400,0 m (Element 114817 at Node 57411)

Minimum value = 400,0 m (Element 112343 at Node 55003)

2.1.1.1.2 Calculation results, Attivazione Dreni [Phase_4] (4/9), Groundwater head

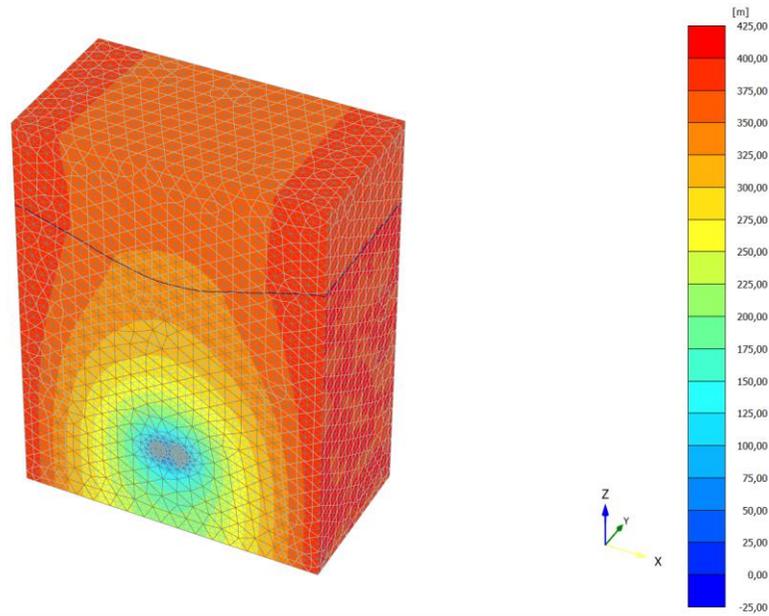


Groundwater head (scaled up 0,0500 times) (Time 1,037*10⁶ s)

Maximum value = 409,7 m (Element 4035 at Node 17996)

Minimum value = -2,131 m (Element 279635 at Node 9785)

2.1.1.1.3 Calculation results, Phase_1 [Phase_1] (1/15), Groundwater head

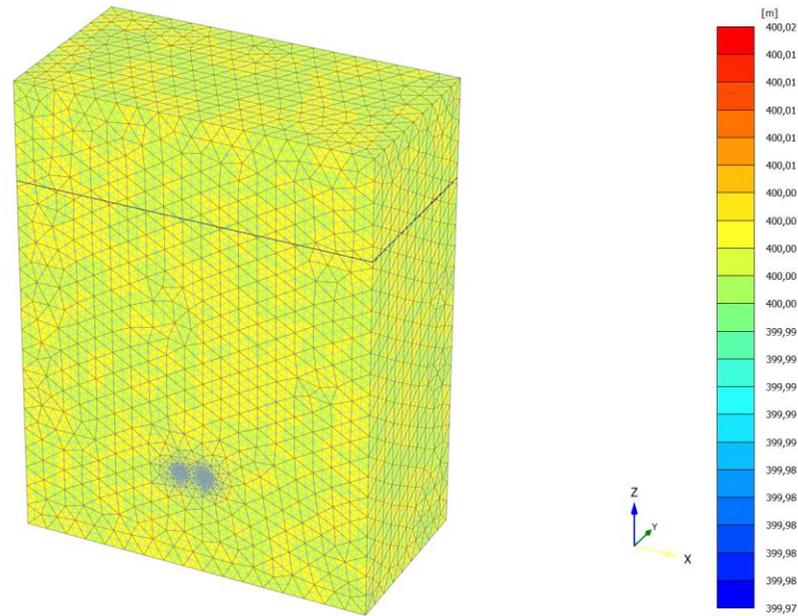


Groundwater head (scaled up 0,0500 times) (Time 518,4*10³ s)

Maximum value = 409,7 m (Element 4035 at Node 17996)

Minimum value = -2,251 m (Element 568242 at Node 75516)

4.1.1 Calculation results, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Groundwater head

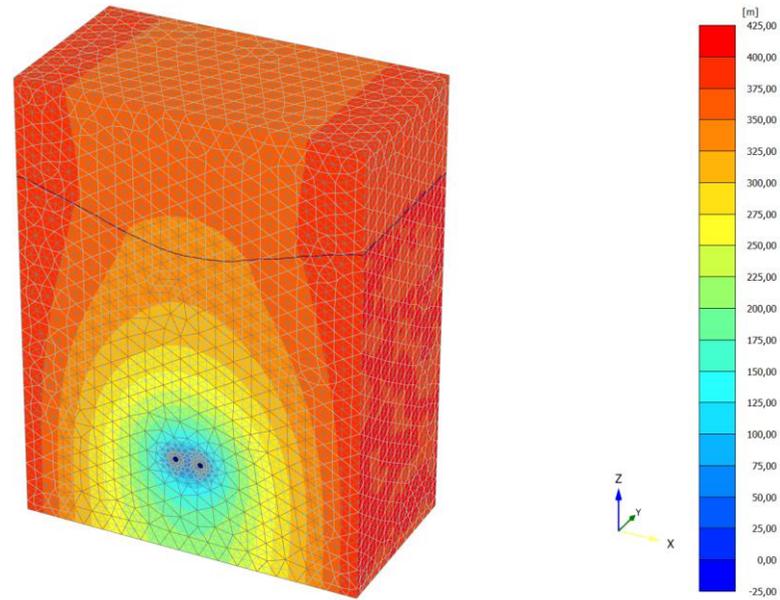


Groundwater head (scaled up 0,0500 times)

Maximum value = 400,0 m (Element 114817 at Node 57411)

Minimum value = 400,0 m (Element 112343 at Node 55003)

4.1.2 Calculation results, Attivazione Dreni [Phase_4] (4/9), Groundwater head

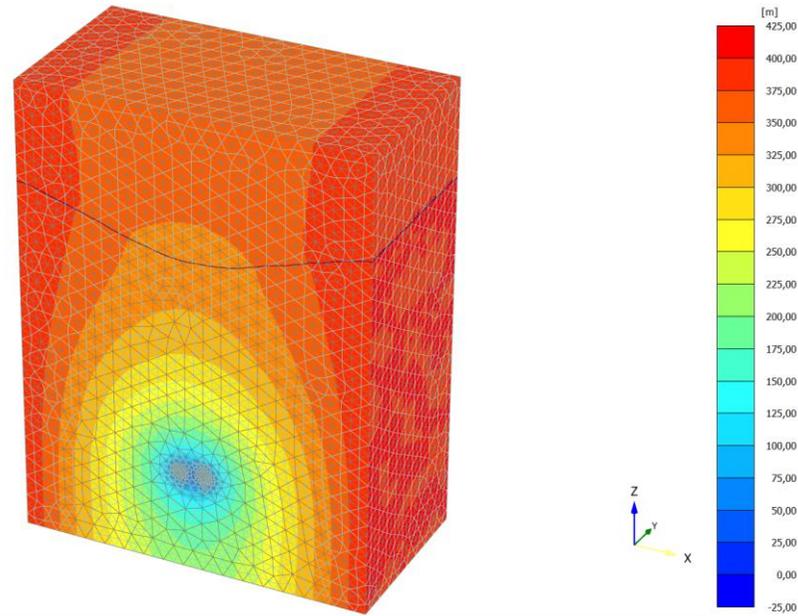


Groundwater head (scaled up 0,0500 times) (Time 1,037*10⁶ s)

Maximum value = 409,7 m (Element 4035 at Node 17996)

Minimum value = -2,131 m (Element 279635 at Node 9785)

4.1.3 Calculation results, Phase_1 [Phase_1] (1/15), Groundwater head

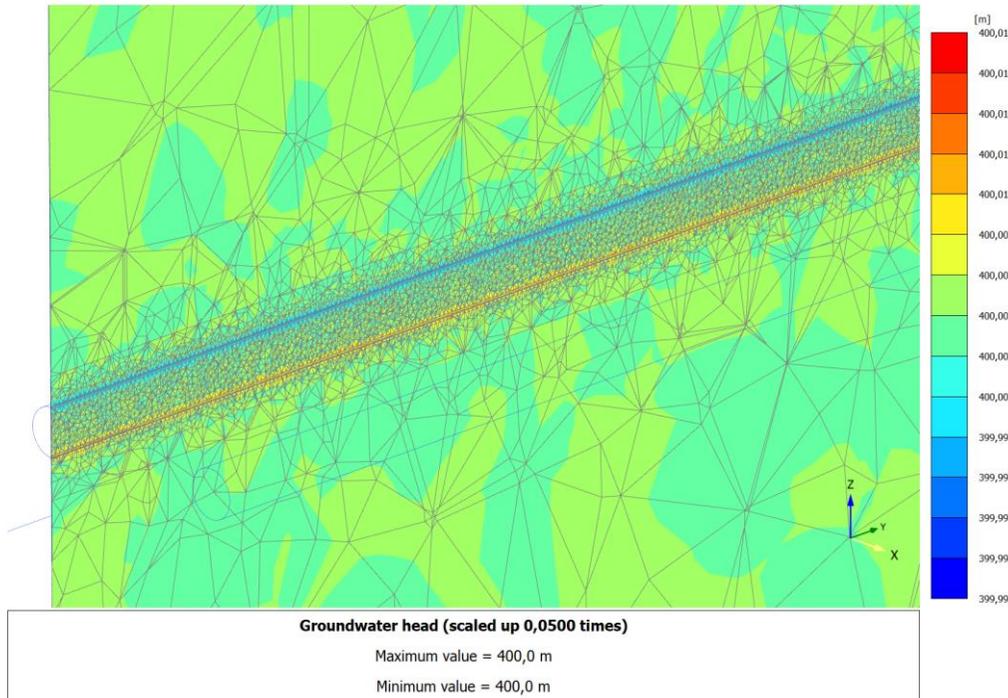


Groundwater head (scaled up 0,0500 times) (Time 518,4*10³ s)

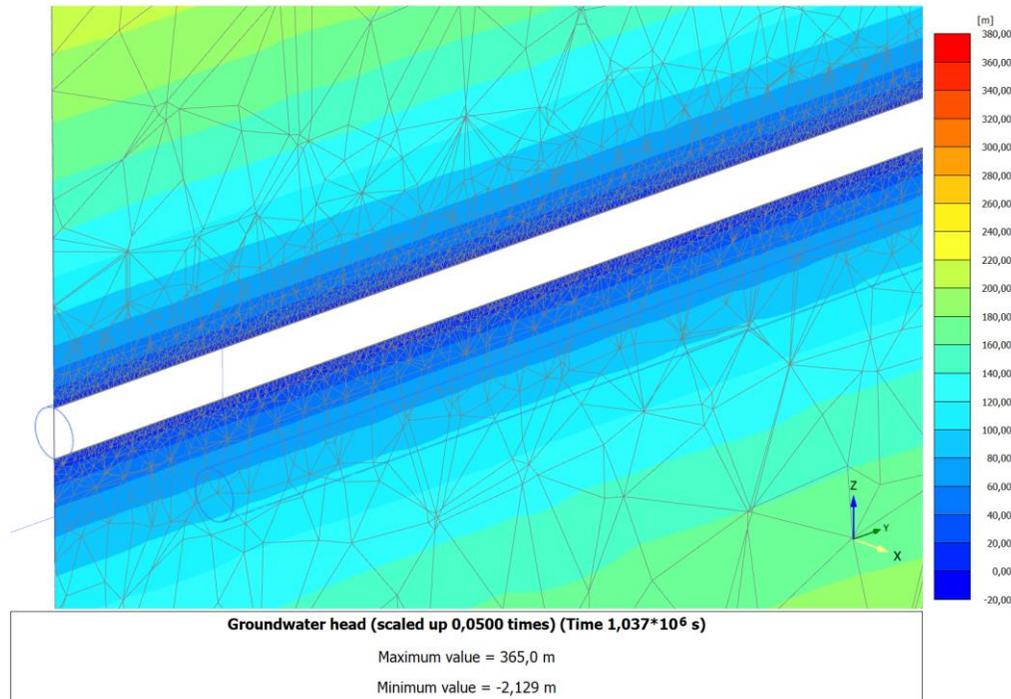
Maximum value = 409,7 m (Element 4035 at Node 17996)

Minimum value = -2,251 m (Element 568242 at Node 75516)

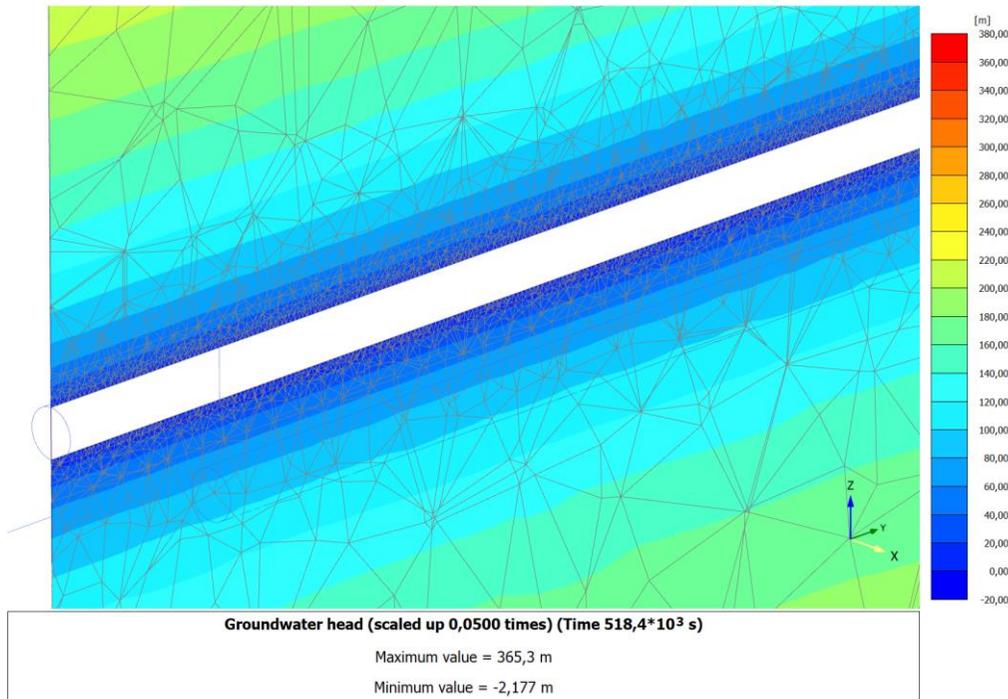
4.2.1 Calculation results, cross section A-A*, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Groundwater head



4.2.2 Calculation results, cross section A-A*, Attivazione Dreni [Phase_4] (4/9), Groundwater head



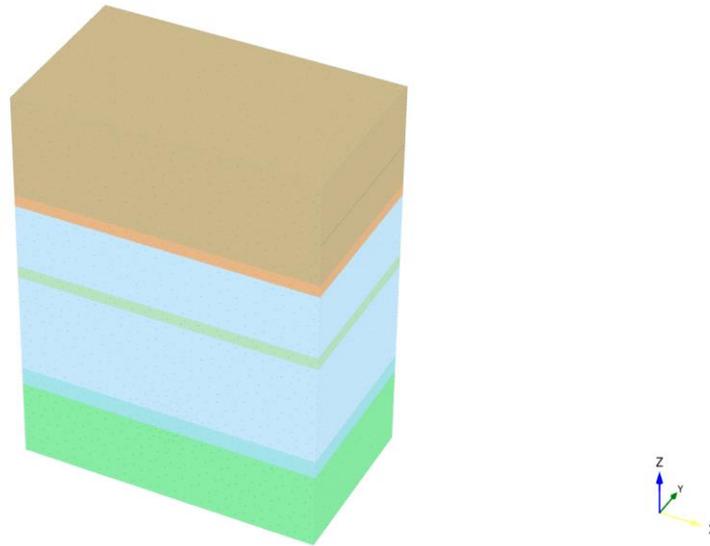
4.2.3 Calculation results, cross section A-A*, Phase_1 [Phase_1] (1/15), Groundwater head



Allegato:5 calcolo tridimensionale zona di faglia

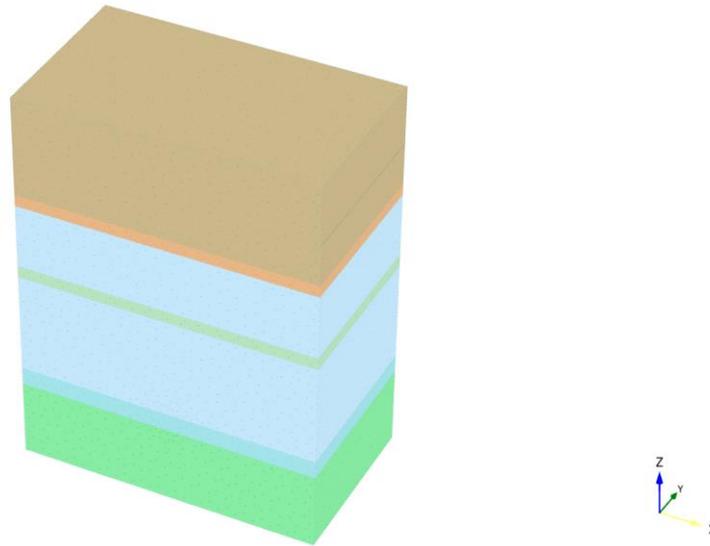
[Click here](#) and press F9 key for TOC

1.1.1.1 Calculation results, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Connectivity plot



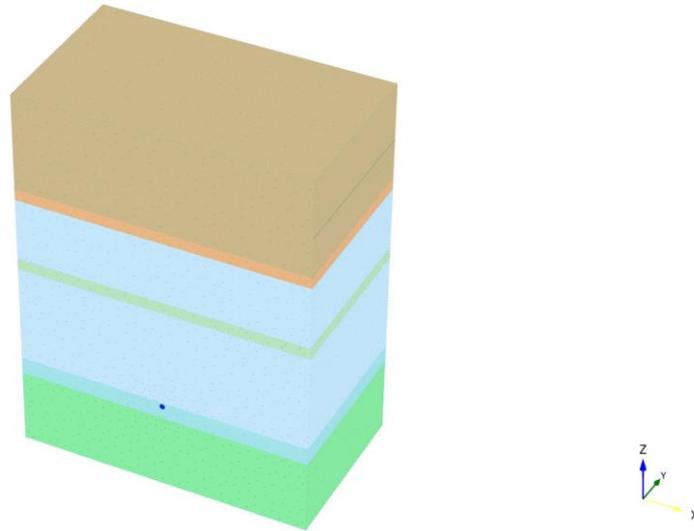
Connectivity plot

1.1.1.2 Calculation results, Phase_1 [Phase_1] (1/11), Connectivity plot



Connectivity plot

1.1.1.3 Calculation results, Attivazione Dreni [Phase_4] (4/15), Connectivity plot



Connectivity plot

1.1.2.1 Water loads

ID	Node	Local node	X [m]	Y [m]	Z [m]	q_x [kN/m ²]	q_y [kN/m ²]	q_z [kN/m ²]
----	------	------------	-------	-------	-------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

1.1.2.2 Water loads

ID	Node	Local node	X [m]	Y [m]	Z [m]	q_x [kN/m ²]	q_y [kN/m ²]	q_z [kN/m ²]
----	------	------------	-------	-------	-------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

1.1.2.3 Water loads

ID	Node	Local node	X [m]	Y [m]	Z [m]	q_x [kN/m ²]	q_y [kN/m ²]	q_z [kN/m ²]
----	------	------------	-------	-------	-------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

1.1.3 Volume information

Volume information	
Bounds	
Min _x	-250,0 m
Min _y	-0,1341*10 ⁻¹⁵ m
Min _z	-150,0 m
Max _x	250,0 m
Max _y	288,0 m
Max _z	500,0 m
Total volume	
Total	93,60*10 ⁶ m ³
Volume per cluster	
Cluster 1	24,34*10 ⁶ m ³
Cluster 2	2,880*10 ⁶ m ³
Cluster 3	15,70*10 ⁶ m ³
Cluster 4	2,880*10 ⁶ m ³
Cluster 5	24,77*10 ⁶ m ³
Cluster 6	3603 m ³
Cluster 7	1631 m ³

Volume information

Cluster 8	$15,86 \cdot 10^3 \text{ m}^3$
-----------	--------------------------------

Cluster 9	$4,299 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
-----------	--------------------------------

Cluster 10	$18,72 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
------------	--------------------------------

1.1.4.1.1.1 Materials - Soil and interfaces - Mohr-Coulomb (1/2)

Identification number		1	3	4	5	6
Identification		BSSa-BSSb 9-10	BSSa	BSSb	BSSb 11	BSSb 12
Soil model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
Colour						
Comments						
y_unsat	kN/m ³	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00
y_sat	kN/m ³	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00
e_init		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
n_init		0,3333	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333
Input method		SDOF equivalent	SDOF equivalent	SDOF equivalent	SDOF equivalent	SDOF equivalent
Rayleigh α		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Rayleigh β		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ξ_1	%	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ξ_2	%	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
f_1	Hz	0,1000	0,1000	0,1000	0,1000	0,1000
f_2	Hz	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Identification number		1	3	4	5	6
Identification		BSSa-BSSb 9-10	BSSa	BSSb	BSSb 11	BSSb 12
Soil model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
Colour						

Identification number		1	3	4	5	6
Comments						
E'_ref	kN/m ²	1,300E6	14,00E6	6,800E6	1,300E6	800,0E3
v (nu)		0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000
Determination		v-undrained definition	v-undrained definition	v-undrained definition	v-undrained definition	v-undrained definition
v_u definition method		Direct	Direct	Direct	Direct	Direct
v_u,equivalent (nu)		0,4950	0,4950	0,4950	0,4950	0,4950
Skempton B		0,9783	0,9783	0,9783	0,9783	0,9783
K_w,ref/n	kN/m ²	48,75E6	525,0E6	255,0E6	48,75E6	30,00E6
Identification number		1	3	4	5	6
Identification		BSSa-BSSb 9-10	BSSa	BSSb	BSSb 11	BSSb 12
Soil model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
Colour						
Comments						
Classification type		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Soil class (Standard)		Coarse	Coarse	Coarse	Coarse	Coarse
< 2 µm	%	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
2 µm - 50 µm	%	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
50 µm - 2 mm	%	77,00	77,00	77,00	77,00	77,00
Identification number		1	3	4	5	6
Identification		BSSa-BSSb 9-10	BSSa	BSSb	BSSb 11	BSSb 12
Soil model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
Colour						

Identification number		1	3	4	5	6
Comments						
Identification number		1	3	4	5	6
Identification		BSSa-BSSb 9-10	BSSa	BSSb	BSSb 11	BSSb 12
Soil model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
Colour						
Comments						
Stiffness determination		Derived	Derived	Derived	Derived	Derived
Strength determination		Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
R_inter		0,6700	0,6700	0,6700	0,6700	0,6700
Consider gap closure		True	True	True	True	True
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity_1, dk	m ³ /s/m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Drainage conductivity_2, dk	m ³ /s/m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Identification number		1	3	4	5	6
Identification		BSSa-BSSb 9-10	BSSa	BSSb	BSSb 11	BSSb 12
Soil model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
Colour						
Comments						
K_0 determination		Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
K_0,x		0,9000	0,9000	0,9000	0,9000	0,9000
K_0,y		0,9000	0,9000	0,9000	0,9000	0,9000
K_0,x = K_0,y		True	True	True	True	True

Identification number

1

3

4

5

6

1.1.4.1.1.2 Materials - Soil and interfaces - Mohr-Coulomb (2/2)

Identification number		7
Identification		PRL
Soil model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
γ_{unsat}	kN/m ³	27,00
γ_{sat}	kN/m ³	27,00
e_{init}		0,5000
n_{init}		0,3333
Input method		SDOF equivalent
Rayleigh α		0,000
Rayleigh β		0,000
ξ_1	%	0,000
ξ_2	%	0,000
f_1	Hz	0,1000
f_2	Hz	1,000

Identification number	7
Identification number	7
Identification	PRL
Soil model	Mohr-Coulomb
Drainage type	Drained
Colour	
Comments	
E'_ref	kN/m ² 1,800E6
v (nu)	0,3000
Determination	v-undrained definition
v_u definition method	Direct
v_u,equivalent (nu)	0,4950
Skempton B	0,9783
K_w,ref/n	kN/m ² 67,50E6
Identification number	7
Identification	PRL
Soil model	Mohr-Coulomb
Drainage type	Drained
Colour	
Comments	

Identification number	7
Classification type	Standard
Soil class (Standard)	Coarse
< 2 µm	% 10,00
2 µm - 50 µm	% 13,00
50 µm - 2 mm	% 77,00
Identification number	7
Identification	PRL
Soil model	Mohr-Coulomb
Drainage type	Drained
Colour	
Comments	
Identification number	7
Identification	PRL
Soil model	Mohr-Coulomb
Drainage type	Drained
Colour	
Comments	
Stiffness determination	Derived
Strength determination	Manual

Identification number		7
R_inter		0,6700
Consider gap closure		True
Cross permeability		Impermeable
Drainage conductivity_1, dk	m ³ /s/m	0,000
Drainage conductivity_2, dk	m ³ /s/m	0,000
Identification number		7
Identification		PRL
Soil model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
K_0 determination		Manual
K_0,x		0,9000
K_0,y		0,9000
K_0,x = K_0,y		True

1.1.4.1.2 Materials - Soil and interfaces - Linear Elastic

Identification number		2
Identification		Bicomponente
Soil model		Linear Elastic
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
γ_{unsat}	kN/m ³	25,00
γ_{sat}	kN/m ³	25,00
e_{init}		0,5000
n_{init}		0,3333
Input method		SDOF equivalent
Rayleigh α		0,000
Rayleigh β		0,000
ξ_1	%	0,000
ξ_2	%	0,000
f_1	Hz	0,1000
f_2	Hz	1,000
Identification number		2

Identification number		2
Identification		Bicomponente
Soil model		Linear Elastic
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
E'_ref	kN/m ²	3,000E6
v (nu)		0,2500
Determination		v-undrained definition
v_u definition method		Direct
v_u,equivalent (nu)		0,4950
Skempton B		0,9833
K_w,ref/n	kN/m ²	117,6E6
Identification number		2
Identification		Bicomponente
Soil model		Linear Elastic
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
Classification type		Standard

Identification number		2
Soil class (Standard)		Medium
< 2 µm	%	19,00
2 µm - 50 µm	%	41,00
50 µm - 2 mm	%	40,00
Identification number		2
Identification		Bicomponente
Soil model		Linear Elastic
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
Identification number		2
Identification		Bicomponente
Soil model		Linear Elastic
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
Stiffness determination		Derived
Strength determination		Manual
R_inter		0,6700

Identification number		2
Consider gap closure		True
Cross permeability		Semi-permeable
Hydraulic resistance, d/k	s	86,40E3
Drainage conductivity_1, dk	m ³ /s/m	1,000E-9
Drainage conductivity_2, dk	m ³ /s/m	1,000E-9
Identification number		2
Identification		Bicomponente
Soil model		Linear Elastic
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
K_0 determination		Automatic
K_0,x		0,5000
K_0,y		0,5000

1.1.4.2 Materials - Plates

Identification number		1
Identification		Conci
Material type		Elastic
Colour		
Comments		
γ	kN/m ³	11,30
Input method		SDOF equivalent
Rayleigh α		0,000
Rayleigh β		0,000
ξ_1	%	0,000
ξ_2	%	0,000
f_1	Hz	0,1000
f_2	Hz	1,000
Prevent punching		False
Identification number		1
Identification		Conci
Material type		Elastic
Colour		

Identification number	1
Comments	
Isotropic	True
Identification number	1
Identification	Conci
Material type	Elastic
Colour	
Comments	

1.1.5 General information

General information

Project

Filename Dreni Faglia_allargato.p3d

Directory C:\Users\Plaxis3D\Desktop\FPG\Drenaggi\CHIUSURA_PE_31-03\

Title

General

Model PLAXIS 3D

Elements 10-Noded

Acceleration

Gravity 1.0 G (-Z direction)

Earth gravity 9,810 m/s²

Mesh

Nr of soil elements 353323

Nr of nodes 567174

Average element size 3,365 m

Maximum element size 72,59 m

Minimum element size 0,1900 m

Comments

General information



1.1.6.1 Calculation information

Calculation information				
Step info				
Phase	Initial phase [InitialPhase]			
Step	Initial			
Step type	K0 procedure			
Kernel type	32 bit			
Extrapolation factor	0,000			
Relative stiffness	0,000			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1,000
Strength reduction factor	M_{sf}	0,000	ΣM_{sf}	1,000
Time	Increment	0,000	End time	0,000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	0,000	ΣM_{Area}	1,000
Active proportion of stage	M_{Stage}	0,000	ΣM_{Stage}	0,000
Forces				
F_x	0,000 kN			
F_y	0,000 kN			

Calculation information

Fz 0,000 kN

Consolidation

Realised $P_{\text{Excess,Max}}$ 0,000 kN/m²

1.1.6.2 Calculation information

Calculation information

Step info

Phase Phase_1 [Phase_1]

Step Initial

Step type Plastic

Updated mesh False

Solver type Picos

Kernel type 64 bit

Extrapolation factor 0,8405

Relative stiffness 0,04417

Multipliers

Soil weight ΣM_{Weight} 1,000

Strength reduction factor M_{sf} 0,000 ΣM_{sf} 1,000

Time Increment 0,000 End time 0,000

Staged construction

Active proportion total area M_{Area} -3,698E-6 ΣM_{Area} 0,9998

Active proportion of stage M_{Stage} 0,01633 ΣM_{Stage} 1,000

Forces

Calculation information

F_x 0,000 kN

F_y 0,000 kN

F_z 0,000 kN

Consolidation

Realised $P_{\text{Excess,Max}}$ 0,000 kN/m²

1.1.6.3 Calculation information

Calculation information				
Step info				
Phase	Attivazione Dreni [Phase_4]			
Step	Initial			
Step type	Plastic			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	0,7500			
Relative stiffness	0,1583			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1,000
Strength reduction factor	M_{sf}	0,000	ΣM_{sf}	1,000
Time	Increment	0,000	End time	0,000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	5,229E-6	ΣM_{Area}	0,9998
Active proportion of stage	M_{Stage}	0,3000	ΣM_{Stage}	1,000
Forces				

Calculation information

F_x 0,000 kN

F_y 0,000 kN

F_z 0,000 kN

Consolidation

Realised $P_{\text{Excess,Max}}$ 0,000 kN/m²

1.1.7.1 Step info

Step	Phase Step type	Extrapolation factor	Relative stiffness
0	0 K0 procedure	0,000	0,000
11	1 Plastic	0,841	0,044
15	4 Plastic	0,750	0,158

1.1.7.2 Multipliers

Step	Phase	ΣM_{Disp}	ΣM_{Weight}	M_{sf}	ΣM_{sf}
0	0	0,000	1,000	0,000	1,000
11	1	0,000	1,000	0,000	1,000
15	4	0,000	1,000	0,000	1,000

1.1.7.3 Time

Step	Phase Time step [s]	End time [s]
0	0 0,000	0,000
11	1 0,000	0,000
15	4 0,000	0,000

1.1.7.4 Staged construction

Step	Phase	M _{Area}	ΣM _{Area}	M _{Stage}	ΣM _{Stage}
0	0	1,000	1,000	0,000	0,000
11	1	0,097	1,000	0,016	1,000
15	4	1,000	1,000	0,300	1,000

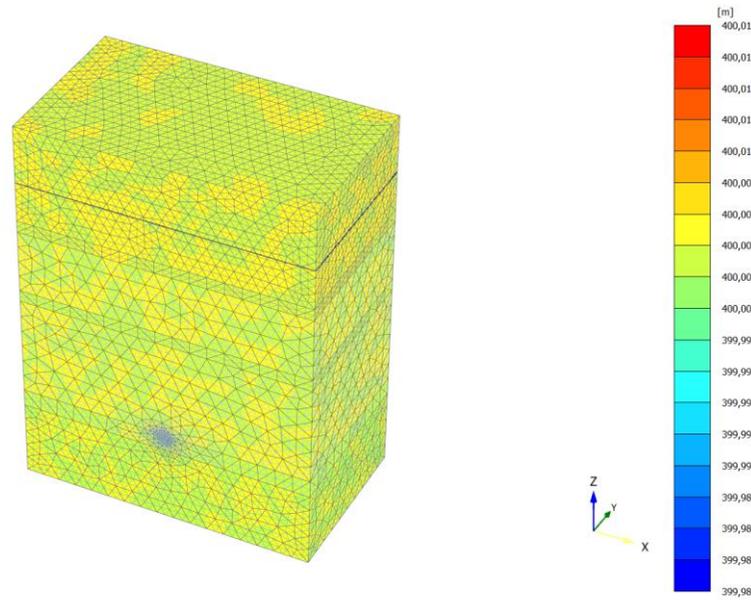
1.1.7.5 Forces

Step	Phase F _x [kN]	F _y [kN]	F _z [kN]
0	0 0,000	0,000	0,000
11	1 0,000	0,000	0,000
15	4 0,000	0,000	0,000

1.1.7.6 Consolidation

Step	Phase Rel. P _{Max} [kN/m ²]
0	0 0,000
11	1 0,000
15	4 0,000

2.1.1.1.1 Calculation results, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Groundwater head

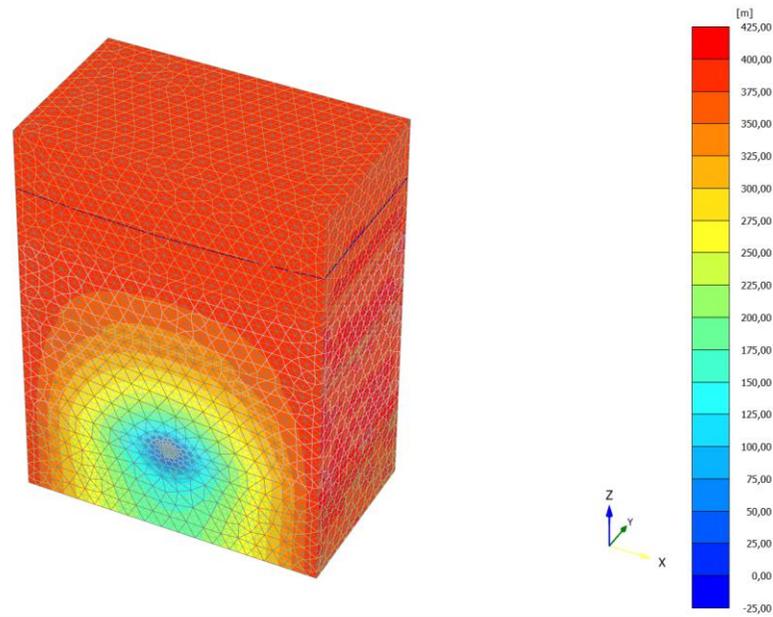


Groundwater head (scaled up 0,0500 times)

Maximum value = 400,0 m (Element 41416 at Node 138875)

Minimum value = 400,0 m (Element 124806 at Node 25604)

2.1.1.1.2 Calculation results, Phase_1 [Phase_1] (1/11), Groundwater head

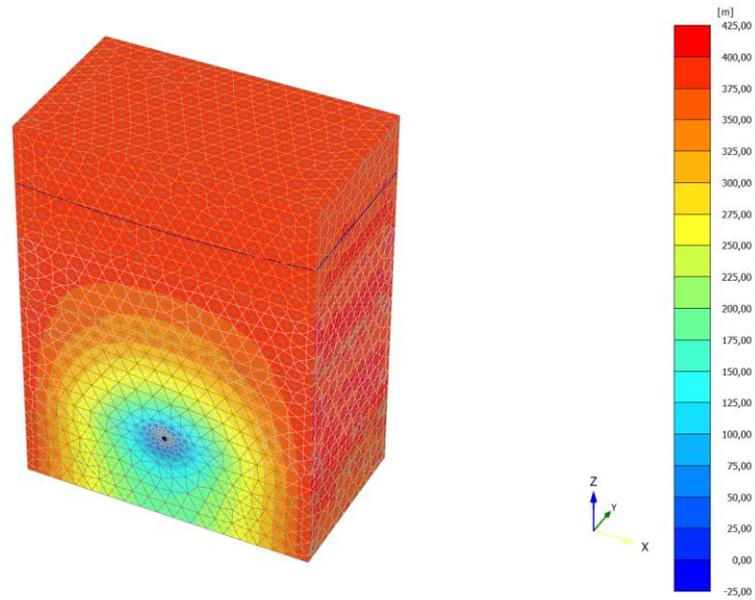


Groundwater head (scaled up 0,0500 times)

Maximum value = 401,4 m (Element 1822 at Node 73274)

Minimum value = -2,202 m (Element 242992 at Node 24801)

2.1.1.1.3 Calculation results, Attivazione Dreni [Phase_4] (4/15), Groundwater head

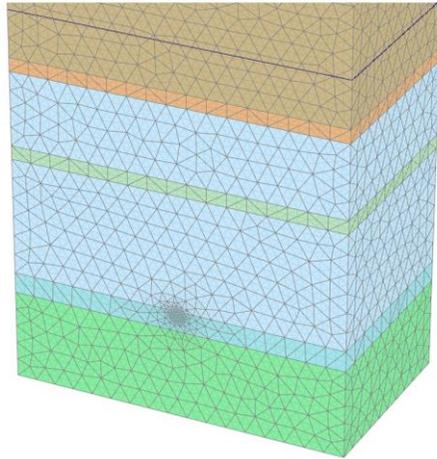


Groundwater head (scaled up 0,0500 times)

Maximum value = 401,4 m (Element 1822 at Node 73274)

Minimum value = -2,338 m (Element 115072 at Node 3825)

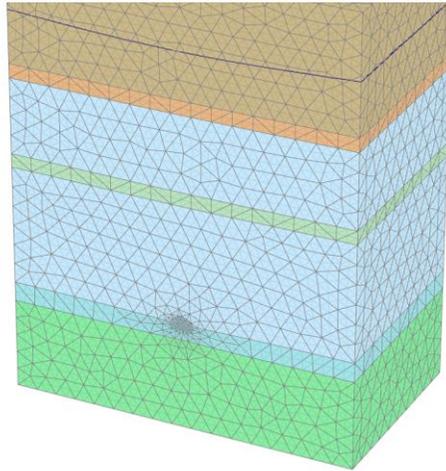
4.1.1 Calculation results, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Deformed mesh |u|



Deformed mesh |u| (at true scale)

Uniform value of 0,000 m

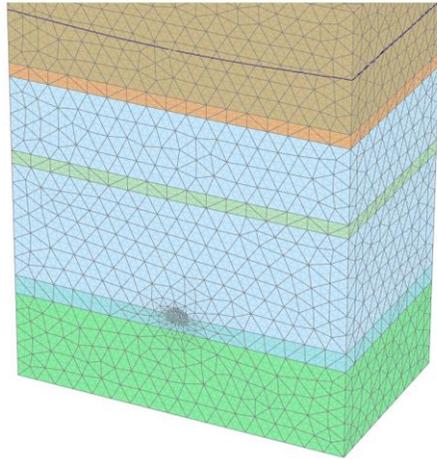
4.1.2 Calculation results, Phase_1 [Phase_1] (1/11), Deformed mesh |u|



Deformed mesh |u| (scaled up 100 times)

Maximum value = 0,2122 m (at Node 55057)

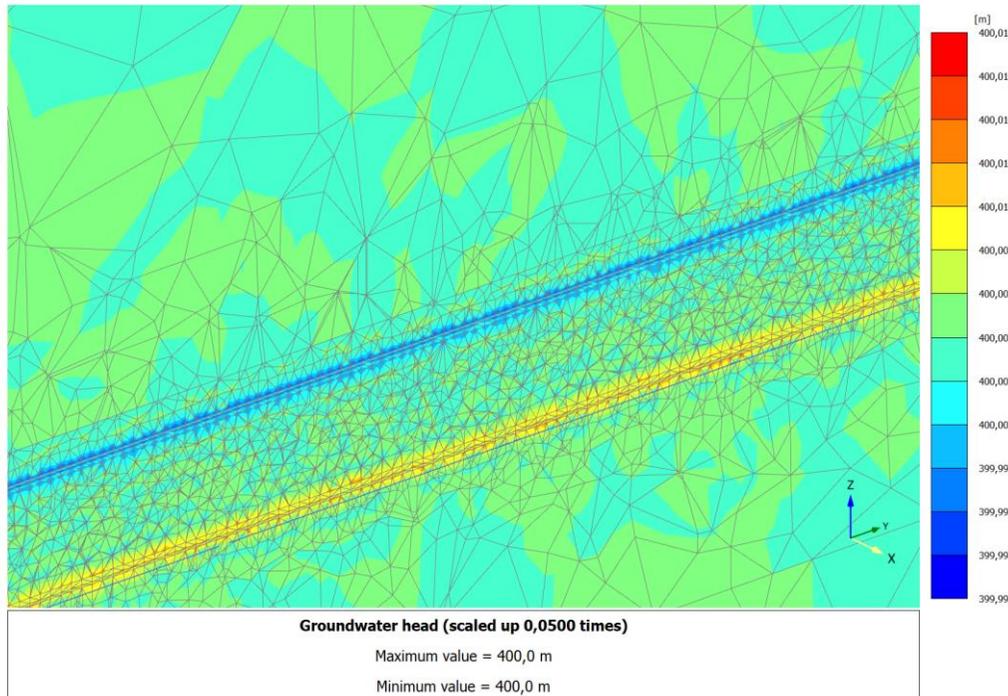
4.1.3 Calculation results, Attivazione Dreni [Phase_4] (4/15), Deformed mesh |u|



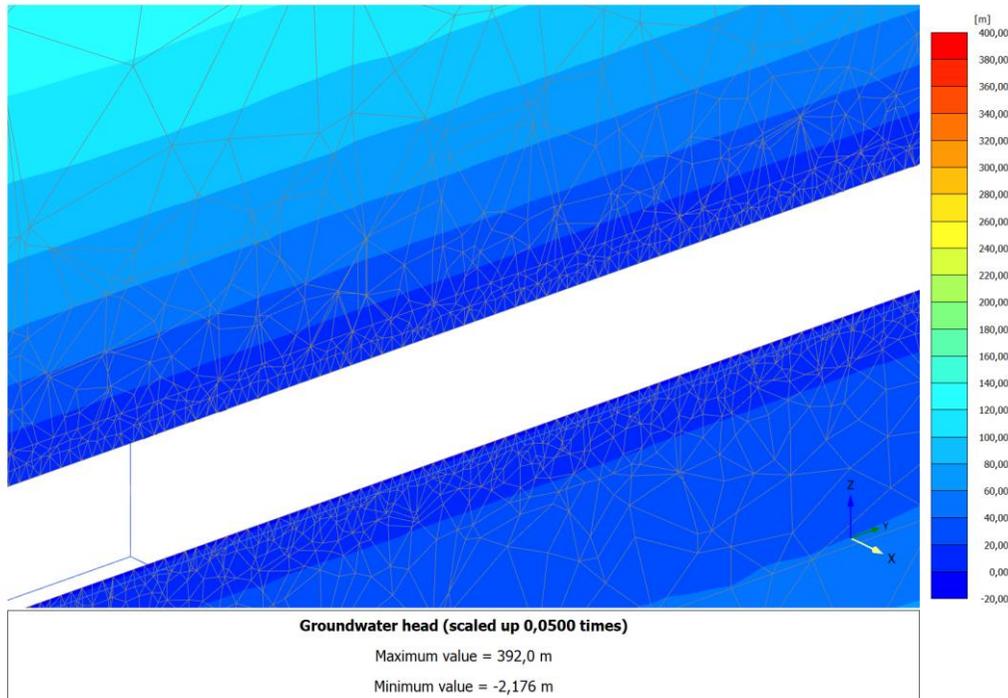
Deformed mesh |u| (scaled up 100 times)

Maximum value = 0,2149 m (at Node 129460)

4.2.1 Calculation results, cross section A-A*, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Groundwater head



4.2.2 Calculation results, cross section A-A*, Phase_1 [Phase_1] (1/11), Groundwater head



4.2.3 Calculation results, cross section A-A*, Attivazione Dreni [Phase_4] (4/15), Groundwater head

