



Mit Beteiligung der Europäischen Union aus dem Haushalt der Transeuropäischen Verkehrsnetze finanziertes Vorhaben


Opera finanziata con la partecipazione dell'Unione Europea attraverso il bilancio delle reti di trasporto transeuropee






Ausbau Eisenbahnachse München-Verona  
**BRENNER BASISTUNNEL**  
Ausführungsplanung


Potenziamento asse ferroviario Monaco-Verona  
**GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO**  
Progettazione esecutiva

<b>D0700: Baulos Mauls 2-3</b>	<b>D0700: Lotto Mules 2-3</b>
<b>Projekteinheit</b>	<b>WBS</b>
Haupttunnel	Gallerie principali
<b>Dokumentenart</b>	<b>Tipo Documento</b>
Statische Berechnung	Calcolo statico
<b>Titel</b>	<b>Titolo</b>
Statische Berechnung GL-T4//T5/T6	Relazione di calcolo GL-T4/T5/T6

 <b>RTI 4P</b> Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P Via Pio Iler S.r.l., Via G.B. Sannarini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026767911, Fax: +39 0287152612	Generalplaner / Responsabile integrazioni prestazioni specialistiche Ing. Enrico Maria Pizzarotti Ord. Ingg. Milano N° A 29470
--	--

<b>Mandataria</b>  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	<b>Mandante</b>  PÖYRY	<b>Mandante</b>  pini swiss engineers	<b>Mandante</b>  PASQUALI-RAUSA ENGINEERING S.r.l./G.m.b.H.
Fachplaner / il progettista specialista Ing. Enrico Maria Pizzarotti Ord. Ingg. Milano N° A 29470	Fachplaner / il progettista specialista	Fachplaner / il progettista specialista	Fachplaner / il progettista specialista

	<b>Datum / Data</b>	<b>Name / Nome</b>	<b>Gesellschaft / Società</b>
Bearbeitet / Elaborato	30.01.2015	Moja	Pro Iter
Geprüft / Verificato	30.01.2015	Rivoltini	Pro Iter

 <b>BBT</b> Galleria di Base del Brennero Brenner Basistunnel BBT SE	<b>Name / Nome</b> R. Zurlo	<b>Name / Nome</b> K. Bergmeister
--	--------------------------------	--------------------------------------

Projekt-kilometer / Chilometro progetto	von / da 32.0+88 bis / a 54.0+15 bei / al	Projekt-kilometer / Chilometro opera	von / da 46.7+69 bis / a 47.2+59 bei / al	Status Dokument / Stato documento	Massstab / Scala	-
---	---	--------------------------------------	---	-----------------------------------	------------------	---

Staat Stato	Los Lotto	Einheit Unità	Nummer Numero	Dokumentenart Tipo Documento	Vertrag Contratto	Nummer Codice	Revision Revisione
02	H61	OP	095	KST	D0700	21029	21

## Bearbeitungsstand Stato di elaborazione

Revision Revisione	Änderungen / Modifiche	Verantwortlicher Änderung Responsabile modifica	Datum Data
21	Abgabe für Ausschreibung / Emissione per Appalto	Rivoltini	30.01.2015
20	Überarbeitung infolge Dienstanweisung Nr. 1 vom 17.10.2014 / Revisione a seguito ODS n°1 del 17.10.14	Rivoltini	04.12.2014
11	Projektvollständigung und Umsetzung der Verbesserungen aus dem Prüfverfahren / Completamento progetto e recepimento istruttoria	Rivoltini	09.10.2014
10	Endabgabe / Consegna definitiva	Rivoltini	31.07.2014
00	Erstversion / Consegna preliminare	Rivoltini	15.05.2014

<b>1</b>	<b>EINFÜHRUNG</b>	
<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>MATERIALIEN</b>	
<b>2</b>	<b>MATERIALI</b> .....	<b>8</b>
2.1	SPRITZBETON	
2.1	BETONCINO PROIETTATO .....	8
2.2	ANKER	
2.2	ANCORAGGI .....	8
2.3	LEHRGERÜSTE	
2.3	CENTINE.....	8
2.4	BETON	
2.4	CALCESTRUZZO.....	8
2.5	BEWEHRUNGSSTAHL	
2.5	ACCIAIO DA ARMATURA.....	9
<b>3</b>	<b>GEOTECHNISCHES MODELL</b>	
<b>3</b>	<b>MODELLO GEOTECNICO</b> .....	<b>10</b>
3.1	GEOLOGIE UND GEOMECHANIK	
3.1	GEOLOGIA E GEOMECCANICA.....	10
<b>4</b>	<b>GEBIRGSVERHALTEN</b>	
<b>4</b>	<b>COMPORAMENTO DELLA ROCCIA</b> .....	<b>12</b>
4.1	ABSCHÄTZUNG DES GEBIRGSVERHALTENS	
4.1	VALUTAZIONE DEL COMPORAMENTO DELLA ROCCIA.....	12
<b>5</b>	<b>AUSSENSCHALE</b>	
<b>5</b>	<b>RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE</b> .....	<b>16</b>
5.1	AUSBRUCHQUERSCHNITT GL-T4	
5.1	SEZIONE GL-T4 .....	16
5.1.1	Modellgeometrie	
5.1.1	Geometria del modello .....	17
5.1.2	Bildendes Gebirgsmodell und Ausgangsspannungslage	
5.1.2	Modello costitutivo dell'ammasso e stato tensionale iniziale .....	17
5.1.3	Eigenschaften der Außenschale	
5.1.3	Caratteristiche dei rivestimenti di prima fase .....	18
5.1.4	Laststufe	
5.1.4	Step di carico.....	20
5.1.5	Nachweisverfahren	
5.1.5	Procedura di verifica.....	21
5.1.6	Ergebnisse	
5.1.6	Risultati.....	21
5.2	AUSBRUCHQUERSCHNITT GL-T5	
5.2	SEZIONE GL-T5 .....	22
5.2.1	Modellgeometrie	
5.2.1	Geometria del modello .....	22
5.2.2	Bildendes Gebirgsmodell und Ausgangsspannungslage	
5.2.2	Modello costitutivo dell'ammasso e stato tensionale iniziale .....	22
5.2.3	Eigenschaften der Außenschale	
5.2.3	Caratteristiche dei rivestimenti di prima fase .....	23
5.2.4	Laststufe	
5.2.4	Step di carico.....	24

5.2.5	Nachweisverfahren	
5.2.5	Procedura di verifica.....	25
5.2.6	Ergebnisse	
5.2.6	Risultati.....	25
5.3	ANALYSE DER ORTBRUSTSTABILITÄT	
5.3	ANALISI DELLA STABILITÀ DEL FRONTE.....	26
5.3.1	NACHWEISVERFAHREN	
5.3.1	Procedura di verifica.....	26
5.3.2	Ergebnisse	
5.3.2	Risultati.....	26
5.3.2.1	Ausbruchquerschnitt GL-T4	
5.3.2.1	Sezione GL-T4.....	26
5.3.2.2	Ausbruchquerschnitt GL-T5	
5.3.2.2	Sezione GL-T5.....	26
5.4	VERHALTENSÜBERPRÜFUNG ZUM AUSBRUCH UND BEMESSUNG DES AUSBRUCHQUERSCHNITTS GL-T5 DES GEBIRGES FVM-S-PS	
5.4	VERIFICA DEL COMPORTAMENTO ALLO SCAVO E DIMENSIONAMENTO DELLA SEZIONE GL-T5 NELL'AMMASSO FVM-S-PS.....	27
5.4.1	Der Berechnungskodex	
5.4.1	Il codice di calcolo.....	27
5.4.2	Bildendes Gebirgsmodell	
5.4.2	Modello costitutivo dell'ammasso.....	28
5.4.3	Schematisierung der Konsolidierung	
5.4.3	Schematizzazione dei consolidamenti e.....	28
5.4.4	Modell zur Festlegung der Kurve Konvergenz- Ortsbrustabstand	
5.4.4	Modello per la determinazione della curva Convergenza - Distanza dal fronte.....	29
5.4.5	Modell zur Festlegung der Kurve Radialdruck -Konvergenz	
5.4.5	Modello per la determinazione della curva Pressione radiale - Convergenza.....	31
5.4.6	Bemessung der Außenschale	
5.4.6	Dimensionamento dei rivestimenti di prima fase.....	34
<b>6</b>	<b>INNENSCHALE</b>	
<b>6</b>	<b>RIVESTIMENTO DEFINITIVO.....</b>	<b>40</b>
6.1	STABWERKSMODELLE	
6.1	METODO DELLE REAZIONI IPERSTATICHE.....	40
6.2	MODELLIERUNG DER BETTUNG	
6.2	INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA.....	40
6.2.1	Modellierung der Bettung	
6.2.1	Rigidezza radiale.....	41
6.2.2	Federkonstanten Auflagerbereich/Sohle	
6.2.2	Costante della molla nelle zone di appoggio / fondo.....	41
6.3	LASTENANALYSE	
6.3	ANALISI DEI CARICHI.....	42
6.3.1	Eigengewicht G1	
6.3.1	Peso proprio G1.....	42
6.3.2	Oberleitung G2	
6.3.2	Catenaria G2.....	42
6.3.3	Betonauffüllung über dem Sohlgewölbe G3	
6.3.3	Riempimento in cls al di sopra dell'arco rovescio G3.....	42
6.3.4	Wasserdruck G4	
6.3.4	Pressione idraulica G4.....	43



6.3.5	Gebirgslast G5	
6.3.5	Carico dell'ammasso G5 .....	43
6.3.6	Kriechen und Schwinden des Betons G6	
6.3.6	Viscosità e ritiro del calcestruzzo G6.....	44
6.3.7	Quetschen und Quellen G7	
6.3.7	Squeezinq e swelling G7 .....	44
6.3.8	Temperatur Q1	
6.3.8	Temperatura Q1 .....	45
6.3.9	Erdbebeneinwirkung E1	
6.3.9	Azione sismica E1 .....	45
6.3.10	Aerodynamischer Druck A1	
6.3.10	Pressione aerodinamica A1.....	45
6.3.11	Aufprall A2	
6.3.11	Urto A2 .....	45
6.3.12	Brand A3	
6.3.12	Incendio A3 .....	45
6.4	EINWIRKUNGSKOMBINATIONEN	
6.4	COMBINAZIONE DI CARICO .....	46
6.5	NACHWEISE	
6.5	VERIFICHE .....	46
6.5.1	Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)	
6.5.1	Stati Limite Ultimi (SLU) .....	47
6.5.1.1	Teilsicherheitsfaktoren Einwirkungen	
6.5.1.1	Coefficienti parziali di sicurezza per le azioni .....	47
6.5.1.2	Kombinationsbeiwerte Einwirkungen	
6.5.1.2	Coefficienti di combinazione delle azioni .....	47
6.5.1.3	Einwirkungskombinationen	
6.5.1.3	Combinazione delle azioni.....	47
6.5.1.4	Teilsicherheitsfaktoren der Widerstände	
6.5.1.4	Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze .....	47
6.5.1.5	Überprüfung auf Beulspannung	
6.5.1.5	Verifica a pressoflessione.....	48
6.5.1.6	Querkraftüberprüfung	
6.5.1.6	Verifica a taglio.....	48
6.5.2	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (GZG)	
6.5.2	Stati Limite Esercizio (SLE) .....	49
6.5.2.1	Teilsicherheitsfaktoren Einwirkungen	
6.5.2.1	Coefficienti parziali di sicurezza delle azioni.....	49
6.5.2.2	Kombinationsbeiwerte Einwirkungen	
6.5.2.2	Coefficienti di combinazione delle azioni .....	49
6.5.2.3	Einwirkungskombinationen	
6.5.2.3	Combinazioni delle azioni.....	49
6.5.2.4	Teilsicherheitsfaktoren Widerstand	
6.5.2.4	Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze .....	49
6.5.2.5	Berechnung der Verformungen	
6.5.2.5	Calcolo delle deformazioni .....	49
6.5.2.6	Begrenzung der Rissbreiten	
6.5.2.6	Limitazione dello spessore delle fessure .....	49
6.6	BAULICHE DURCHBILDUNG	
6.6	STRUTTURA COSTRUTTIVA .....	50

6.6.1	Expositionsklasse und Mindestbetondeckung	
6.6.1	Classe di esposizione e copriferro minimo .....	50
6.6.2	Mindestbewehrung	
6.6.2	Armatatura minima .....	50
6.7	ERGEBNISSE	
6.7	RISULTATI .....	51
<b>7</b>	<b>VERZEICHNISSE</b>	
<b>7</b>	<b>ELENCHI</b> .....	<b>52</b>
7.1	TABELLENVERZEICHNIS	
7.1	ELENCO DELLE TABELLE .....	52
7.2	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	
7.2	ELENCO DELLE ILLUSTRAZIONI .....	52
7.3	ANLAGENVERZEICHNIS	
7.3	ELENCO APPENDICI .....	53
7.4	REFERNZDOKUMENTE	
7.4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	53
7.4.1	Eingangsdokumente	
7.4.1	Documenti in ingresso .....	53
7.4.2	Normen und Richtlinien	
7.4.2	Normative e linee guida .....	54
7.4.3	Bibliografie	
7.4.3	Bibliografia .....	55
<b>ANHANG 1 - KENNLINIEN</b>		
<b>APPENDICE 1 - CURVE CARATTERISTICHE</b> .....		<b>57</b>
<b>ANHANG 2 - FEM-ANALYSE DER AUSSENSCHALE AUSBRUCHQUERSCHNITT GL-T4</b>		
<b>APPENDICE 2 - ANALISI FEM DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE SEZIONE GL-T4</b> .....		<b>68</b>
<b>ANHANG 3 - FEM-ANALYSE DER AUSSENSCHALE AUSBRUCHQUERSCHNITT GL-T5</b>		
<b>APPENDICE 3 - ANALISI FEM DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE SEZIONE GL-T5</b> .....		<b>84</b>
<b>ANHANG 4 – FEM-ANALYSE DER INNENSCHALE</b>		
<b>APPENDICE 4 - ANALISI FEM DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO</b> .....		<b>104</b>

## 1 EINFÜHRUNG

Der vorliegende Bericht beinhaltet eine Erläuterung zur Bemessung der Außen- und Innenschalen der Haupttunnel (GL-T) auf, welche (GL-T4, GL-T5 und GL-T6) zwischen Kilometrierung Km 46+769 und Km 47+259 (Oströhre) und zwischen Kilometrierung Km 46+732 und Km 47+221 (Weströhre) konventionell vorgetrieben werden.

Der benannte GL-T4 Abschnitt hat ein Ausbruchquerschnitt von 84.42 m<sup>2</sup>. Er sieht die Untermauerung des Umrisses vor mit Bohrschrauben des Typs R51N ( $N_y \geq 630$  kN), 12 m lang (Querabstand 0.75 m und Längsabstand 3.0 m), metallische Lehrgerüste, welche aus zwei gekoppelten Profiltteilen IPN 180 mit variablen Achsenabstand von 0.75 - 1.5 m bestehen. Und er sieht die eventuelle Untermauerung der Ortsbrust mit Bohrschrauben des Typs R51N ( $N_y \geq 630$  kN), 15m lang und Achsenabstand 1.4m, sowie eine Gesamtstärke des Spritzbeton von 30 cm vor.

Für den Abschnitt GL-T5, mit Ausbruchquerschnitt von 84.42 m<sup>2</sup>, ist der Einsatz von radialen Nietungen vorgesehen, welche aus Bohrschrauben des Typs R38N ( $N_y \geq 400$  kN) bestehen, oder alternativ aus Anker SN28 Typ Dywidag, 6 m lang (Querabstand 1.5 m und Längsabstand 1.5 m). Es ist auch die Untermauerung des Umrisses mit Bohrschrauben des Typs R51N ( $N_y \geq 630$  kN), 12 m lang (Querabstand 0.75 m und Längsabstand 3.0 m) geplant. Außerdem sind metallische Lehrgerüste, welche aus zwei gekoppelten Profiltteilen IPN 180 mit variablen Achsenabstand von 0.75 - 1.5 m bestehen, die Befestigung der Ortsbrust mit Bohrschrauben des Typs R51N ( $N_y \geq 630$  kN), 15m lang und variable Anzahl von 1/2m<sup>2</sup> bis auf 1/1.2m<sup>2</sup>, sowie eine Gesamtstärke des Spritzbeton von 30 cm vorgesehen.

Für den Abschnitt GL-T6 mit Ausbruchquerschnitt von 95.86 m<sup>2</sup>, ist der Einsatz von radialen Anker vorgesehen, welche aus Selbstbohrankern des Typs R38N ( $N_y \geq 400$  kN) bestehen, von 8 m - 10 m Länge (Querabstand 1.0 m und Längsabstand 1.0 m). Die Sicherung des Umrisses erfolgt mit selbstbohrenden Ankern des Typs R51N ( $N_y \geq 630$  kN), 8 m lang (Querabstand 1.0 m und Längsabstand 2.0 m), Stahlbögen, Typ TH 36 mit variablem Achsenabstand von 0.75 - 1.25 m, sowie Spritzbeton von 30 cm Gesamtstärke.

Die Innenschale ist bewehrt und besteht aus Beton der Festigkeitsklasse C30/37 mit Mindeststärken welche die Bautoleranzen berücksichtigen und von 60 cm in der Kappe und 70 cm im Gegengewölbe sind, mit Ausnahme des Ausbruchquerschnitts wo das Gegengewölbe eine Stärke von 140 cm erweist.

Die geomechanische Charakterisierung der gegenständlichen Strecke wurde, in Folge der Ergebnisse der im Inneren des Erkundungstollens, zwischen den Kilometrierungen km 12+385 und km 12+535 (den Kilometrierungen km 46+769 ca.

## 1 INTRODUZIONE

La seguente relazione riporta il dimensionamento dei rivestimenti di prima fase e definitivi delle Gallerie di Linea (GL) realizzate mediante avanzamento in scavo tradizionale (GL-T4, GL-T5 e GL-T6) tra le progr. km 46+769 e km 47+259 (Canna Est) e tra le progr. km 46+732 e km 47+221 (Canna Ovest).

La sezione denominata GL-T4, ha una sezione di scavo di 84.42 m<sup>2</sup> e prevede il consolidamento al contorno mediante barre autoperforanti tipo R51N ( $N_y \geq 630$  kN), con lunghezza 12 m (passo trasversale 0.75 m e longitudinale 3.0 m), centine metalliche composte da due profilati IPN 180 accoppiati con interasse variabile da 0.75 - 1.5 m, consolidamento eventuale del fronte con barre autoperforanti tipo R51N ( $N_y \geq 630$  kN) di lunghezza 15m e interasse 1.4m e uno spessore di betoncino proiettato totale di 30 cm.

Per la sezione GL-T5, avente sezione di scavo 84.42 m<sup>2</sup>, si prevede l'impiego di chiodature radiali costituite da barre autoperforanti tipo R38N ( $N_y \geq 400$  kN) o in alternativa ancoraggi SN28 tipo Dywidag, con lunghezza 6 m (passo trasversale 1.5 m e longitudinale 1.5 m), consolidamento al contorno mediante barre autoperforanti tipo R51N ( $N_y \geq 630$  kN), con lunghezza 12 m (passo trasversale 0.75 m e longitudinale 3.0 m), centine metalliche composte da due profilati IPN 180 accoppiati con interasse variabile da 0.75 - 1.5 m, consolidamento del fronte con barre autoperforanti tipo R51N ( $N_y \geq 630$  kN) di lunghezza 15m e quantità variabile da 1/2m<sup>2</sup> a 1/1.2m<sup>2</sup>, e uno spessore di betoncino proiettato totale di 30 cm.

Per la sezione GL-T6, avente sezione di scavo 95.86 m<sup>2</sup>, si prevede l'impiego di chiodature radiali costituite da barre autoperforanti tipo R38N ( $N_y \geq 400$  kN), con lunghezza 8 m / 10 m (passo trasversale 1.0 m e longitudinale 1.0 m), consolidamento al contorno mediante barre autoperforanti tipo R51N ( $N_y \geq 630$  kN), con lunghezza 8 m (passo trasversale 1.0 m e longitudinale 2.0 m), centine tipo TH 36 con interasse variabile da 0.75 - 1.25 m e uno spessore di betoncino proiettato totale di 30 cm.

Il rivestimento definitivo è armato ed è costituito da calcestruzzo C30/37 con spessore minimi, che tengono conto delle tolleranze in fase di costruzione, pari a 60 e 70 cm rispettivamente in calotta e nell'arco rovescio, tranne nella sezione GL-T6 dove l'arco rovescio presenta uno spessore di 140 cm.

La caratterizzazione geomeccanica della tratta in oggetto ha subito un recente aggiornamento a seguito delle risultanze del sondaggio S20 eseguito dall'interno del Cunicolo Esplorativo tra le progressive km 12+385 e km 12+535 (corrispondente alla progressiva km 46+769 circa della canna

der Oströhre entsprechend), ausgeführten S20 Bohrung, kürzlich Neubearbeitet. Bevor die Ergebnisse dieser Bohrung zur Verfügung standen, war es vorgesehen die mit GA-BCA-GS-10g, FV-N-PS, FVM-N-PS, FVM-N-C, FVM-N-M und FVM-N- gekennzeichnet Gebirge, mit variierenden Überdeckungen von 430 m bis 700 m, mit den Haupttunneln zu durchqueren.

Die Bohrung S20 hat allerdings ein sich Hinausziehen der geomechanischen Bedingungen, welche das Gebiet der Maulstaler Verwerfung charakterisiert, wobei die vorherige Grenze zwischen der tektonisierten Zone der besagten Verwerfung und den Paraschiefern (GA-BCA-GS-10g/GA-BCA-A-10g) nach Norden verschoben wird. Die gesamte zuvor mit FVM-N-PS, FVM-N-C, FVM-N-M und FVM-N-Q klassifizierte tektonisierte Zone, wurde in der Neubearbeitung der geomechanischen Charakterisierung [4][5] vorsichtshalber mit den Gebirgen FVM-S-PS und FVM-S-B charakterisiert, welche bereits im Rahmen des Baulos Mauls 1 getroffen wurden.

Die gleichnamigen Ausbruchquerschnitte (GL-T4, GL-T5 und GL-T6), Gegenstand dieses Berichts, sind vorgesehen um auch den Vortrieb nach Norden [4], in der Strecke zwischen den Kilometrierungen Km 46+769 und km 44+351 (Oströhre) und den Kilometrierungen km 46+629 und km 44+314 (Weströhre), wo die Überdeckungen sogar 1200 m erreichen, anzugehen.

In Kapitel 3 wird die Verhaltensanalyse zum Vortrieb der Ausbruchquerschnitte GL-T in den entlang der Tunnelentwicklung vorgesehenen unterschiedlichen geomechanischen Charakterisierungen aufgezeigt. Der Vollständigkeit halber werden sowohl die vor der Neubearbeitung der geomechanischen Profile durchgeführten Analysen als auch dieser letzteren aufgezeigt.

est). Prima che fossero disponibili le risultanze di tale sondaggio, si prevedeva di attraversare con le Gallerie di Linea gli ammassi rocciosi denominati GA-BCA-GS-10g, FV-N-PS, FVM-N-PS, FVM-N-C, FVM-N-M e FVM-N-Q con coperture variabili da 430 m a 700 m.

Il sondaggio S20 ha tuttavia messo in evidenza un protrarsi delle condizioni geomeccaniche caratterizzanti la zona della faglia della val di Mules, spostando verso nord il precedente limite tra la zona tettonizzata della suddetta faglia e i parascisti (GA-BCA-GS-10g/GA-BCA-A-10g). Tutta la zona tettonizzata, precedentemente classificata come FVM-N-PS, FVM-N-C, FVM-N-M e FVM-N-Q, nell'aggiornamento della caratterizzazione geomeccanica [4][5] è stata cautelativamente caratterizzata con gli ammassi FVM-S-PS e FVM-S-B, già incontrati nell'ambito del Lotto Mules 1.

Le omonime sezione oggetto della presente relazione (GL-T4, GL-T5 e GL-T6) sono previste anche per affrontare lo scavo verso nord [12], nella tratta compresa tra le progr. Km 46+769 e km 44+351 (Canna Est) e tra le progr. km 46+629 e km 44+314 (Canna Ovest), dove le coperture raggiungono anche i 1200 m.

Nel capitolo 3 è riportata l'analisi del comportamento allo scavo delle sezioni GL-T nelle diverse caratterizzazioni geomeccaniche previste lungo lo sviluppo delle gallerie. Per completezza, sono riportate sia le analisi svolte prima dell'aggiornamento dei profili geomeccanici che a seguito di quest'ultimo.

Il dimensionamento dei rivestimenti definitivi è da ritenersi valido anche per la sezione tipo GL-E-Tf, già scavata all'interno del Lotto Mules 1.

## 2 MATERIALIEN

### 2.1 SPRITZBETON

Für die Bemessung der Außenschale wird ein Spritzbeton der Festigkeitsklasse C30/37 mit folgenden Eigenschaften angenommen:

$$E_{cm} = 32000 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

### 2.2 ANKER

Es ist die Verwendung von Nieten des Typs GEWI SN28 vorgesehen oder von Bohrschrauben des Typs R38N und R51N, mit folgenden Eigenschaften

$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

$$N_{yk} = 400 \text{ kN (R38N)}$$

$$N_{yk} = 630 \text{ kN (R51N)}$$

$$N_{yk} = 630 \text{ kN (SN28)}$$

Wobei:

- $E_s$  = Elastizitätsmodul
- $N_y$  = Ermüdungslast der Niete (der Niete sowie des Nietenkopfs im Falle von Felshaken Typ SN28)

### 2.3 LEHRGERÜSTE

Die metallischen Lehrgerüste bestehen aus Stahl S355 mit folgenden Eigenschaften:

$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

Wobei:

- $E_s$  = Elastizitätsmodul
- $f_{yk}$  = charakteristischer Wert der Streckgrenze

Die metallischen Lehrgerüste des Typs TH 36 bestehen aus Stahl MN31 mit folgenden Eigenschaften:

$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 520 \text{ MPa}$$

Wobei:

- $E_s$  = Elastizitätsmodul
- $f_{yk}$  = charakteristischer Wert der Streckgrenze

### 2.4 BETON

Für die Bemessung der Innenschale wird ein Beton der Festigkeitsklasse C30/37 mit folgenden Eigenschaften berücksichtigt:

## 2 MATERIALI

### 2.1 BETONCINO PROIETTATO

Per il dimensionamento del rivestimento di prima fase in betoncino proiettato si considera un calcestruzzo con classe di resistenza C30/37 con le seguenti caratteristiche:

### 2.2 ANCORAGGI

Si prevede l'utilizzo di chiodi da roccia tipo GEWI SN28 o autoperforanti tipo R38N e R51N aventi le seguenti caratteristiche:

Dove:

- $E_s$  è il modulo elastico
- $N_y$  è il carico di snervamento del chiodo (del chiodo e della testa nel caso di chiodi da roccia tipo SN28)

### 2.3 CENTINE

Le centine metalliche sono realizzate con acciaio S355 aventi le seguenti caratteristiche:

Dove:

- $E_s$  è il modulo elastico
- $f_{yk}$  è la tensione caratteristica di snervamento

Le centine metalliche di tipo TH 36 sono realizzate con acciaio MN31 aventi le seguenti caratteristiche:

Dove:

- $E_s$  è il modulo elastico
- $f_{yk}$  è la tensione caratteristica di snervamento

### 2.4 CALCESTRUZZO

Per il dimensionamento del rivestimento definitivo si considera un calcestruzzo con classe di resistenza C30/37 con le seguenti caratteristiche:

$$E_{cm} = 33000 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

Hierbei sind:

- $E_{cm}$  = Mittelwert Elastizitätsmodul
- $f_{ck}$  = charakteristische Druckfestigkeit des Betons nach 28 Tagen

Dove:

- $E_{cm}$  è il valore medio del modulo elastico
- $f_{ck}$  è la resistenza a compressione caratteristica del calcestruzzo dopo 28 giorni

## 2.5 BEWEHRUNGSSTAHL

Für die Bemessung der Außenschale ist Stahl des Typs B450C heranzuziehen:

$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 450 \text{ MN/m}^2$$

Hierbei ist:

- $E_s$  = Elastizitätsmodul
- $f_{yk}$  = charakteristischer Wert der Streckgrenze des Stahlbetons

## 2.5 ACCIAIO DA ARMATURA

Per il dimensionamento dell'anello si utilizza l'acciaio tipo B450C:

dove:

- $E_s$  = modulo elastico
- $f_{yk}$  = tensione caratteristica di snervamento acciaio per cemento armato

### 3 GEOTECHNISCHES MODELL

#### 3.1 GEOLOGIE UND GEOMECHANIK

Bevor die Ergebnisse der Bohrung S20 zur Verfügung standen entwickelten sich die Haupttunnel, einvernehmlich mit den geomechanischen und Detailplanungsprofilen [4] [5], innerhalb der Gebirge GA-BCA-GS-10g, FV-N-PS, FVM-N-PS, FVM-N-C, FVM-N-M und FVM-N-Q, mit variablen Überdeckungen die von 430 m bis 700 m reichen, sowie, nach Norden [6][7], in den Gebirgen GA-BCA-GS-10g, GA-BCA-A-10g mit variablen Überdeckungen, welche von 655 m bis 1200 m reichen.

In Folge der Neubearbeitung der geomechanischen Charakterisierung, angesichts der S 20 Bohrungsergebnisse, welche zwischen den Kilometrierungen km 12+385 und km 12+535 des Erkundungsstollens ausgeführt wurde, wurde, wie zuvor angedeutet, die gesamte gegenständliche Strecke mit den Gebirgen FVM-S-PS und FVM-S-B charakterisiert.

In folgende Tabelle sind die geomechanischen Grundparameter, welche zur Bemessung der Ausbruchquerschnitte GL-T4 und GL-T5 nach Norden, zwischen den Kilometrierungen km 46+769 und km 44+351 (Oströhre und den Kilometrierungen km 46+629 und km 44+314 (Weströhre) [12] übernommen wurden, aufgezeigt.

	GSI	$\sigma_{ci}$	$m_i$	Ei	$\gamma$
	[-]	[MPa]	[-]	[MPa]	[KN/m <sup>3</sup> ]
GA-BST-KS-8f [GL-T4]	55	50	13	50000	26.6
GA-BST-KS-8f [GL-T5]	50	41	12	37000	26.6

Tabelle 1: Zur Berechnung der Ausbruchquerschnitte GL-T4 und GL-T5 [12] benutzte Geomechanische Charakterisierung

In Folge, hingegen, werden die geomechanischen Parameter der gegenständlichen Strecken aufgeführt. Der Vollständigkeit halber werden auch die der geomechanischen Neubearbeitung vorhergehenden Parameter, welche aus der S20 Bohrung hergerührt sind, aufgezeigt.

	GSI	$\sigma_{ci}$	$m_i$	Ei	$\gamma$
	[-]	[MPa]	[-]	[MPa]	[KN/m <sup>3</sup> ]
GA-BCA-GS-10g	32.5	72.5	14.5	50550	27.3
FV-N-PS	45	30	20	11000	27
FVM-N-C	40	5.5	20	6000	27
FVM-N-M	60	30	12	35000	27
FVM-N-Q	50	20	20	15000	27
FVM-N-PS	45	30	20	11000	27
FVM-N-C	40	5.5	20	6000	27
FVM-S-PS (85%)	52	5	20	30000	27
FVM-S-B (15%)	42	25	23	25000	27

Tabelle 2: Geomechanische Charakterisierung

Wobei:

- $\gamma$  = spezifisches Gewicht des Gebirges

### 3 MODELLO GEOTECNICO

#### 3.1 GEOLOGIA E GEOMECCANICA

In accordo con i profili geomeccanici e progettuali di dettaglio [4][5], prima che fossero disponibili le risultanze del sondaggio S20, le Gallerie di Linea si sviluppavano negli ammassi rocciosi GA-BCA-GS-10g, FV-N-PS, FVM-N-PS, FVM-N-C, FVM-N-M e FVM-N-Q con coperture variabili da 430 m a 700 m e, verso nord [6][7], negli ammassi GA-BST-KS-8f, GA-BCA-GS-10g, GA-BCA-A-10g con coperture variabili da 655 m a 1200 m.

A seguito dell'aggiornamento della caratterizzazione geomeccanica sulla base delle risultanze del sondaggio S20, eseguito tra le progressive km 12+385 e km 12+535 del cunicolo esplorativo, come precedentemente accennato, tutta la tratta in oggetto è stata caratterizzata con gli ammassi FVM-S-PS e FVM-S-B.

Nella seguente tabella sono riportati i parametri geomeccanici di base assunti per il dimensionamento delle sezioni GL-T4 e GL-T5 nella tratta verso nord, tra le progr. Km 46+769 e km 44+351 (Canna Est) e tra le progr. km 46+629 e km 44+314 (Canna Ovest) [12].

Tabella 1: Caratterizzazione geomeccanica usata per il calcolo delle sezioni GL-T4 e GL-T5 [12]

Di seguito, invece, sono riportati i parametri geomeccanici delle tratte in oggetto. Per completezza si riportano anche quelli precedenti all'aggiornamento geomeccanico scaturito dal sondaggio S20.

Tabella 2: Caratterizzazione geomeccanica

Dove:

- $\gamma$  è il peso di volume naturale dell'ammasso roccioso.

- $\sigma_{ci}$  = einaxialen Druckfestigkeit der Gesteinsmatrix
- $m_i$  = Krümmungsparameter aus triaxialem Druckversuch des Gebirgsmaterial
- $E_i$  = Verformungsmodul der Gesteinsmatrix
- RMR = *Rock Mass Rating 1989*
- GSI = *Geological Strength Index*

- $\sigma_{ci}$  è la resistenza a compressione monoassiale di matrice.
- $m_i$  è un parametro di curvatura dell'involuppo di rottura triassiale del materiale roccia.
- $E_i$  è il modulo di deformazione di matrice.
- GSI è il *Geological Strength Index*.

Die typischen Verformungs- und Festigkeitsparameter jeder Strecke wurden gemäß dem Bruchkriterium nach Hoek & Brown [27] berechnet, welches und im geomechanischem Hauptbericht [1] näher beschrieben wird.

I parametri di deformabilità e di resistenza caratteristici di ciascuna unità sono stati calcolati in accordo al principio di linearizzazione dell'involuppo di rottura proposto da Hoek & Brown [27] e esplicitato nella relazione geomeccanica generale [1].

Rock mass name	Zone max overburden	$\gamma$	$\phi_{picco}$	$\phi_{res}$	$c_{picco}$	$c_{res}$	$E_{rm}$	$\psi$
	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[°]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[°]
GA-BST-KS-8f [GL-T4]	1115	26.6	33.8	25.5	3.0	1.8	20414.0	5.3
GA-BST-KS-8f [GL-T5]	1115	26.6	30.2	23.3	2.5	1.6	11365.9	3.8
GA-BCA-GS-10g	590	27.3	35.7	31.6	1.7	1.3	4845.6	4.5
FV-N-PS	560	27.0	35.9	29.7	1.6	1.1	2460.1	4.5
FVM-N-C	560	27.0	21.9	18.3	0.8	0.6	957.9	2.7
FVM-N-M	560	27.0	35.9	26.2	1.7	1.0	18200.0	6.7
FVM-N-Q	560	27.0	34.1	27.1	1.5	1.0	4607.8	4.3
FVM-N-PS	490	27.0	36.9	30.7	1.5	1.0	2460.1	4.6
FVM-N-C	490	27.0	22.8	19.1	0.7	0.5	957.9	2.9
FVM-S-PS (85%)	700	27.0	22.6	17.0	1.0	0.7	10373.8	3.1
FVM-S-B (15%)	700	27.0	33.0	27.8	1.7	1.2	4574.0	4.1

Tabelle 3: Typische Parameter der Gebirge in den unterschiedlichen Zonen, welche in der Berechnung benutzt wurden [12]

Tabella 3: Parametri caratteristici dell'ammasso nelle diverse zone e utilizzati nel calcolo [12]

Wobei:

- $\Phi_{picco}$  = Reibungswinkel am Peak
- $\Phi_{res}$  = Restreibungswinkel
- $c_{picco}$  = Kohäsion am Peak
- $c_{res}$  = Restkohäsion
- $E_{rm}$  = Gebirgsmodul
- $\psi$  = Dilatanz

Dove:

- $\Phi_{peak}$  è l'angolo d'attrito di picco.
- $\Phi_{res}$  è l'angolo d'attrito residuo.
- $c_{peak}$  è la coesione di picco.
- $c_{res}$  è la coesione residua.
- $E_{rm}$  è il modulo d'ammasso.
- $\psi$  è la dilatanza



## 4 GEBIRGSVERHALTEN

Die Ermittlung der Gebirgslast sowie die Ermittlung der Lastableitung von der Außen- auf die Innenschale erfolgt in Abhängigkeit des Gebirgsverhaltens:

- Bei druckhaftem Gebirgsverhalten werden die Gebirgslasten durch die numerische Modellierung der Interaktion zwischen Gebirge und Ausbau ermittelt.
- Bei trennflächendominiertem Gebirgsverhalten ermitteln sich die Gebirgslasten in erster Linie aus Bruchkörperanalyse.

Zur Einschätzung des Gebirgsverhaltens und zur Differenzierung zwischen den beiden Gebirgsverhalten ist das Kennlinienverfahren anzuwenden.

### 4.1 ABSCHÄTZUNG DES GEBIRGSVERHALTENS

Zur Abschätzung des Gebirgsverhaltens ist das Kennlinienverfahren eingesetzt worden.

Beim Kennlinienverfahren wird das wechselseitige Verhältnis bestimmt, zwischen radialem Druck auf dem Hohlraumumriss  $p$  und radiale Verschiebung  $u_r$  (späterhin Konvergenz genannt) auf dem Umriss selbst.

Diese Linien wurden hier durch ein elastisch-plastisch bildendes Modell, mit softening und nicht-assoziertem Gebirgsmaterialfluss, nach Mohr-Coulomb, in ihrer von Ribacchi vorgeschlagenen Formulierung [23], trassiert.

Die analysierten Kurven, zur Ermittlung des Verhalten Gebirge-Ausbruch, sind:

- Radialer Druck - Konvergenz
- Konvergenz - Ortsbrustabstand
- Radialer Druck - Ausdehnung der Plastischen Zone über das Ausbruchprofil hinaus
- Ortsbrustabstand - Ausdehnung der Plastischen Zone über das Ausbruchprofil hinaus
- Ortsbrustabstand - fiktive Ausbruchkräfte (die fiktiven Ausbruchkräfte sind die radialen Drucke, welche prozentuell zum ursprünglichen lithostatischen Druck ausgedrückt werden; durch Anwendung dieser auf die Wände eines zylinderförmigen Hohlraums von unendlicher Länge, werden dieselben radialen Konvergenzen  $u_r$  erreicht, die man in einem realen Hohlraum hat).

Die Kurve "Konvergenz- Ortsbrustabstand" ist durch eine vereinfachte analytische Prozedur ermittelt worden die folgende Relationen benutzt (siehe Nguyen, Minh et al. und [24]):

## 4 COMPORTAMENTO DELLA ROCCIA

Il calcolo del carico dell'ammasso e il calcolo del trasferimento del carico dal rivestimento esterno al rivestimento definitivo dipendono dal comportamento dell'ammasso:

- in caso di comportamenti dell'ammasso di tipo spingente, i carichi si calcolano tramite modellazione numerica dell'interazione fra ammasso e rivestimento;
- in caso di ammasso altamente fratturato, i carichi si calcolano mediante l'analisi dei blocchi.

Per la valutazione del comportamento dell'ammasso e per la differenziazione tra i due comportamenti si utilizza il metodo delle curve caratteristiche.

### 4.1 VALUTAZIONE DEL COMPORTAMENTO DELLA ROCCIA

Il metodo utilizzato per la valutazione del comportamento dell'ammasso è il metodo delle linee caratteristiche.

Nelle Linee Caratteristiche viene definito il legame reciproco tra pressione radiale sul contorno del cavo  $p$  e spostamento radiale  $u_r$  (detto nel seguito convergenza) sul contorno stesso.

In questa sede tali linee sono state tracciate assumendo un modello costitutivo elasto-plastico con softening e flusso non associato del materiale roccia secondo Mohr-Coulomb, nella loro formulazione proposta da Ribacchi [23].

Le curve analizzate per la determinazione del comportamento dell'ammasso roccioso allo scavo sono:

- Pressione Radiale – Convergenza.
- Convergenza – Distanza dal Fronte.
- Pressione Radiale – Estensione della Fascia Plastica oltre il profilo di scavo.
- Distanza dal fronte – Estensione della Fascia Plastica oltre il profilo di scavo.
- Distanza dal Fronte – Forze Fittizie di Scavo (le forze fittizie di scavo sono le pressioni radiali, espresse in percentuale sulla pressione litostatica originaria, che, applicate alle pareti di una cavità cilindrica di lunghezza infinita, consentono di ottenere le stesse convergenze radiali  $u_r$  che si hanno nella cavità reale).

La curva "Convergenza – Distanza dal fronte" è stata ricavata attraverso un procedimento analitico semplificato che sfrutta le seguenti relazioni (si vedano Nguyen, Minh et al. e [24]):

$$u_f = 0.3 \cdot u_{inf}$$

$$\frac{c(x)}{c_{inf}} = 1 - \left[ \frac{1}{1 + x / (0.84 \cdot R_{inf})} \right]^2$$

wobei:

- $u_f$  = Ortsbrustkonvergenz
- $u_{inf}$  = absolute Konvergenz ins Unendliche
- $c(x) = c_r$  = relative Konvergenz
- $c_{inf}$  = relative Konvergenz ins Unendliche
- $x$  = Ortsbrustabstand
- $R_{inf}$  = Gesamt plastischer Radius (ins Unendliche)

dove:

- $u_f$  è la convergenza al fronte
- $u_{inf}$  è la convergenza assoluta all'infinito
- $c(x) = c_r$  è la convergenza relativa
- $c_{inf}$  è la convergenza relativa all'infinito
- $x$  è la distanza dal fronte
- $R_{inf}$  è il raggio plastico totale (all'infinito)

Die Kurven " Ortsbrustabstand - fiktive Ausbruchkräfte" und " Ortsbrustabstand - plastische Zone" wurden per Herausarbeitung aus den andren dreien entnommen.

Per quanto riguarda le curve "Distanza dal fronte – Forze Fittizie di scavo" e "Distanza dal fronte - Fascia Plastica", esse sono derivate dalle altre tre per estrapolazione.

In Tabella 4 ist ein Annahmekriterium [25][26] aufgezeigt, welches der Einschätzung des Verhaltens der Ortsbrust in Abhängigkeit der Berechnungsergebnisse aus dem Gebirgskennlinienverfahren dient (Konvergenz an der Ortsbrust und Ausdehnung der plastischen Zone an der Ortsbrust).

In Tabella 4 si riporta un criterio [25] [26] per stimare il comportamento del fronte di scavo in funzione dei risultati delle analisi con le linee caratteristiche (convergenza al fronte e estensione della fascia plastica al fronte).

Fronte stabile Stabile Ortsbrust	Fronte stabile a breve termine Kurzzeitige Stabile Ortsbrust	Tendenza all'instabilità del fronte Neigung zur Instabilität der Ortsbrust	Fronte instabile Instabile Ortsbrust
$c_f < 1\% R_{scavo}$	$1\% R_{scavo} < c_f < 2\% R_{scavo}$	$2\% R_{scavo} < c_f < 3\% R_{scavo}$	$c_f > 3\% R_{scavo}$
$F_{plf} \ll R_{scavo}$	$F_{plf} < R_{scavo}$	$F_{plf} \geq R_{scavo}$	$F_{plf} \gg R_{scavo}$

Tabelle 4 Vorgeschlagene Stabilitätskriterien in [25][26];  $c_f$  = Ortsbrustkonvergenz;  $F_{plf}$  = Umfang des plastischen Streifens an der Ortsbrust;  $R_{scavo} = r_{eq}$  = entsprechender Ausbruchradius.

Tabella 4: Criteri di stabilità proposti in[25] [26];  $c_f$  = convergenza al fronte;  $F_{plf}$  = estensione della fascia plastica al fronte;  $R_{scavo} = r_{eq}$  = raggio equivalente di scavo.

Die ausgeführten Berechnungen mit dem Kennlinienverfahren berücksichtigen einen Ausbruchradius von 4,86 m.

Le analisi con le Linee Caratteristiche sono state eseguite considerando un raggio di scavo di 4.86 m.

In Folge ist die Tabelle mit den Hauptergebnissen aufgezeigt:

Di seguito è riportata una tabella con i principali risultati:

Rock mass name	Zone max overburden	$c_f$	$c_a$	$c_r$	$F_{plf}$	$F_{pla}$	$c_f/R$	$F_{plf}/R$	$c_r/R$	$F_{pla}/R$
	[m]	[cm]	[cm]	[cm]	[m]	[m]	[%]	[%]	[%]	[%]
GA-BST-KS-8f [GL-T4]	1115	1.57	5.25	3.67	2.30	6.92	0.32%	47.37%	0.76%	142.37%
GA-BST-KS-8f [GL-T5]	1115	4.17	13.91	9.73	4.04	10.18	0.86%	83.17%	2.00%	209.55%
GA-BCA-GS-10g	590	1.77	5.88	4.12	0.50	3.83	0.36%	10.30%	0.85%	78.76%
FV-N-PS	560	3.87	12.92	9.04	0.85	4.42	0.80%	17.50%	1.86%	90.92%
FVM-N-C	560	107.36	357.87	250.51	15.05	30.11	22.09%	309.70%	51.55%	619.56%
FVM-N-M	560	0.81	2.69	1.88	1.78	5.87	0.17%	36.53%	0.39%	120.70%
FVM-N-Q	560	2.84	9.48	6.64	1.73	5.99	0.59%	35.68%	1.37%	123.35%
FVM-N-PS	490	3.04	10.12	7.08	0.55	3.89	0.62%	11.23%	1.46%	80.00%
FVM-N-C	490	72.48	241.59	169.11	12.46	25.42	14.91%	256.31%	34.80%	523.05%
FVM-S-PS (85%)	700	19.35	64.51	45.15	18.99	37.01	3.98%	390.71%	9.29%	761.44%
FVM-S-B (15%)	700	3.40	11.35	7.94	1.72	5.96	0.70%	35.29%	1.63%	122.64%

Tabelle 5: Zusammenfassung der Ergebnisse des Kennlinienverfahrens

Tabella 5: Sintesi dei risultati delle linee caratteristiche

Die durchgeführten Analysen zeigen eine hohe Kritizität mit FVM-N-C benannte Gebirgsparameter, die in der der S20 Bohrung vorhergehenden geomechanischen Charakterisierung vermutet wurden.

Bei den anderen Gebirgen sind die Ergebnisse des Kennlinienverfahrens mit denen welche zur Bemessung der GL nach Norden benutzt wurden vergleichbar, sowohl als Konvergenzen als auch was die Plastizität angeht. Insbesondere die Gebirge GA-BCA-GS-10g und FVM-N-M zeigen ein ähnliches Verhalten wie das welches zur Bemessung der GL-T4 benutzt wurde, während das Verhalten in den Gebirgen FVM-N-PS und FVM-N-Q ist mit dem vergleichbar welcher zur Berechnung der GL-T5 genutzt wurde.

Die Parameter der neuen geomechanischen Charakterisierung weisen, insbesondere im mit FVM-S-PS benannten Gebirge, höhere Konvergenzen und plastische Zonen auf, als die der Berechnungsparameter der Ausbruchquerschnitte GL-T4 und GL-T5. Ergänzend zu den mit den Parametern der Strecke nach Norden [12] (Gebirge GA-BST-KS-8f) durchgeführten Analysen, werden daher in Kapitel 5.4 einige Bemerkungen bzgl. der Zuverlässigkeit auch für die gegenständliche Strecke der für die Ausbruchquerschnitte GL-T4 und GL-T5 vorgesehenen Eingriffe, aufgezeigt. Allerdings, angesichts der innewohnenden Schwierigkeit das Gebirgsverhältnis der durch die komplexe Geologie besonders beeinflussten gegenständlichen Strecke vollständig zu bestimmen, wird man nicht von einer beobachtenden Annäherungsweise, welche die Eichung der Eingriffe aufgrund der Ausbruchphasenergebnisse erlaubt, absehen können.

Um die Sicherheit während der Ausbruchphase zu steigern, wurde es, trotz Analysenbeweise, dass der Ausbruchquerschnitt GL-T5 in der Lage sei die vom Gebirge auf die Außenschale übertragene Last, auch bei schwierigsten Bedingungen, auszuhalten, als angebracht erhalten, einen Ausbruchquerschnitt mit verformbaren Lehrgerüsten

Le analisi effettuate mostrano un'elevata criticità con i parametri degli ammassi rocciosi denominati FVM-N-C che erano stati ipotizzati nella caratterizzazione geomeccanica precedente il sondaggio S20.

Negli altri ammassi, i risultati delle Linee Caratteristiche sono paragonabili, sia come convergenze che in termini di plasticizzazioni, a quelli utilizzati per il dimensionamento delle GL nella tratta verso nord. In particolare, gli ammassi GA-BCA-GS-10g e FVM-N-M mostrano un comportamento paragonabile a quello utilizzato per il dimensionamento della GL-T4, mentre il comportamento negli ammassi FVM-N-PS e FVM-N-Q è paragonabile a quello utilizzato per il calcolo della GL-T5.

I parametri della nuova caratterizzazione geomeccanica mostrano convergenze e fasce plastiche superiori rispetto ai parametri di calcolo della sezione GL-T4 e GL-T5, in particolare nell'ammasso denominato FVM-S-PS. Ad integrazione delle analisi svolte con i parametri della tratta verso nord [12] (ammasso GA-BST-KS-8f), nel paragrafo 5.4 vengono pertanto riportate alcune considerazioni in merito all'affidabilità degli interventi previsti per la sezione GL-T4 e GL-T5 anche per la tratta in oggetto. Tuttavia, data l'intrinseca difficoltà di definire in modo compiuto il comportamento dell'ammasso nella tratta in oggetto, particolarmente influenzato anche dalla complessa geologia, non si potrà prescindere da un approccio di tipo osservazionale che consenta di tarare gli interventi sulla base delle risultanze delle fasi di scavo.

Al fine di incrementare la sicurezza in fase di scavo, nonostante la analisi dimostrino che la sezione GL-T5 sia in grado di sopportare i carichi trasmessi dall'ammasso al rivestimento di prima fase anche nelle condizioni più critiche, si è ritenuto opportuno prevedere una sezione con centine deformabili (GL-T6). Questa sezione, per il cui dimensionamento si rimanda alla relazione [12] è in grado di assorbire convergenze relative dell'ammasso fino ad un massimo di 30 cm. In particolare, per consentire alla cavità di deformarsi in modo controllato si

vorzusehen (GL-T6). Dieser Ausbruchquerschnitt, für dessen Bemessung auf Bericht [12] verwiesen wird, ist in der Lage die relativen Gebirgskonvergenzen bis zu einem Maximum von 30 cm zu absorbieren. Insbesondere, um dem Hohlraum eine kontrollierte Verformung zu erlauben, sieht der Ausbruchquerschnitt, gleich hinter der Abbaufont, die Errichtung von Radialbohrschrauben R38N (L=8 m) und verformbare Lehrgerüste TH36, mit 5+15 cm Spritzbeton (mit Ausnahme des Bereichs der Profilegleitung) vor. Bei Erschöpfung der Verformungsphänomene wird die Stabilisierung der Schale, durch Ausführung einer weiteren Schicht von 10 cm Spritzbeton und Radialnietungen, bestehenden aus Bohrschrauben R38N, L=10 m, vorgesehen. Es sind außerdem Vortriebsnietungen R51N sowie eine Ortsbrustkonsolidierung mittels Bohrschrauben R51N geplant.

Für die Anwendungskriterien der Ausbruchquerschnitte wird auf das Dokument (02\_H61\_GD\_090\_KTB\_D0700\_21043) „Richtlinien zur Anwendung der Ausbruchquerschnitte“ verwiesen.

prevede la messa opera, subito a tergo del fronte, di autoperforanti radiali R38N (L=8 m) e centine deformabili TH36 con 5+15 cm di betoncino proiettato (ad eccezione della zona di scorrimento tra i profilati). Ad esaurimento dei fenomeni deformativi si prevede la stabilizzazione del rivestimento mediante la realizzazione di un ulteriore strato di 10 cm di betoncino proiettato e chiodature radiali costituite da autoperforanti R38N L=10 m. Sono inoltre previste chiodature in avanzamento R51N e un consolidamento del fronte mediante autoperforanti R51N.

Per i criteri di applicazione delle sezioni si rimanda al documento “Linee guida per l’applicazione delle sezioni di scavo” (02\_H61\_GD\_090\_KTB\_D0700\_21043)

## 5 AUSSENSCHALE

Aus der Berechnung mit dem Kennlinienverfahren geht hervor, dass das Verhalten des Gebirges das eines drückenden Typs ist, und daher eine Bemessung mittels numerische Modellierung verlangt.

Die numerischen Analysen sind sowohl bei ebene Verformungsbedingungen als auch bei axialsymmetrischen Bedingungen durchgeführt worden.

Die Berechnungen sind durch das Finite-Elemente-Programm MIDAS GTS [35] entwickelt worden. Dieses ermöglicht die Lastgeschichte und das spann-verformende Verhalten des Gebirges im Verlauf sämtlicher Stufen der Bauwerk Errichtung zu verfolgen.

Die im Fall der ebenen Verformungen durchgeführten Berechnungen betragen:

- die Bestimmung des geotechnischen Bezugmodells, welches ein Querschnitt zur Tunnelachse darstellt;
- die Bestimmung der Kraft-Verformungs- und Festigkeitsgesetze des vom Ausbruch betroffenen Gebirges;
- die Bestimmung des Spannungszustands im Gebirge vor dem Tunnelaushub;
- die Simulation der Ausbruchphasen und der Stützenaufstellung.

In Bezug zu den axialsymmetrischen Analysen wurden folgende berücksichtigt:

- Kreisquerschnitt und isotropischer Kraftzustand;
- Simulation des Etappenvortriebs;
- Vorkommen von Befestigungen an der Ortsbrust und an den Umrissen/Radial;
- Fehlen der Spritzbetonschale.

In den folgenden Kapiteln werden die Annahmen für die Ausbruchquerschnitte GL-T4 (Kap. 5.1) und GL-T5 (Kap.5.2) aufgezeigt, während in den Anhängen 2, 3 und 4 die entsprechenden Plots und strukturellen Überprüfungen aufgezeigt werden.

### 5.1 AUSBRUCHQUERSCHNITT GL-T4

Zur Bemessung des Ausbruchquerschnitts GL-T4 ist der Ausbruchquerschnitt mit der höchsten Überdeckung in der Gneis Gruppe (H=1115 m) berücksichtigt worden, und, in der Hypothese die Ausbruchquerschnittsberechnung im Norden der Nothaltestelle (km 44.5+55.0 / 44.3+51.750) durchzuführen, wurde das Vorkommen der angrenzenden Hohlräume übergangen.

## 5 RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE

Dall'analisi delle linee caratteristiche, si evidenzia che il comportamento dell'ammasso è di tipo spingente ed è pertanto richiesto un dimensionamento mediante modellazione numerica.

Le analisi numeriche sono state eseguite sia in condizioni di deformazione piana che in condizioni assialsimmetriche.

Le analisi sono state sviluppate mediante il programma agli elementi finiti MIDAS GTS [35]. Quest'ultimo consente di seguire la storia di carico e il comportamento tensio-deformativo dell'ammasso roccioso durante tutte gli step per la realizzazione dell'opera.

Le analisi, condotte nell'ipotesi di deformazioni piane, comportano:

- la definizione del modello geotecnico di riferimento che rappresenta una sezione trasversale all'asse della galleria;
- la definizione delle leggi sforzo-deformazione e di resistenza dell'ammasso roccioso interessato dagli scavi;
- la definizione dello stato tensionale presente nell'ammasso prima dello scavo della galleria;
- la simulazione delle fasi di scavo e di messa in opera dei sostegni.

Per quanto riguarda le analisi assialsimmetriche sono state considerate le seguenti:

- sezione circolare e stato di sforzo isotropo;
- simulazione dell'avanzamento a tappe;
- presenza di consolidamenti al fronte e al contorno/radiali;
- assenza del rivestimento in betoncino proiettato.

Nei seguenti paragrafi vengono riportate le assunzioni eseguite per le sezioni GL-T4 (Cap. 5.1) e GL-T5 (Cap.5.2) mentre nelle Appendici 2, 3 e 4 sono riportati i rispettivi plot e verifiche strutturali.

### 5.1 SEZIONE GL-T4

Per il dimensionamento della sezione GL-T4 si è considerata la sezione con la massima copertura nel complesso dei calcescisti (H=1115 m) e trascurata la presenza delle cavità limitrofe ipotizzando di eseguire la sezione di analisi a nord della Fermata di Emergenza (km 44.5+55.0 / 44.3+51.750).

### 5.1.1 Modellgeometrie

Das Berechnungsmodell, aufgrund der Problemsymmetrie, erstreckt sich 100 m in der Breite und 200 m in der Höhe, von denen sich 100 m unter und 100 m über der Schienenoberkante befinden. Um die Einwirkungen des Rands für unerheblich zu halten, sind diese Grenzen ausreichend. Das Gebirge wurde mittels zweidimensionaler, quadratischer Elemente mit Abmessungen von ca. 200x200 cm diskretisiert. In der Nähe des Tunnels wird die Maschenweite verdichtet und die Elemente erreichen Abmessungen von ca. 50x50 cm.

Die gewählten Auflagerbedingungen verhindern Verschiebung in beide Richtungen am unteren Modellrand und blockieren Verschiebungen in horizontaler Richtung an den vertikalen Modellrändern. Am oberen Modellrand wurde ein Druck aufgebracht, welcher der vorhandenen Bodenauflast (von Tunnel bis Geländeoberkante) entspricht.

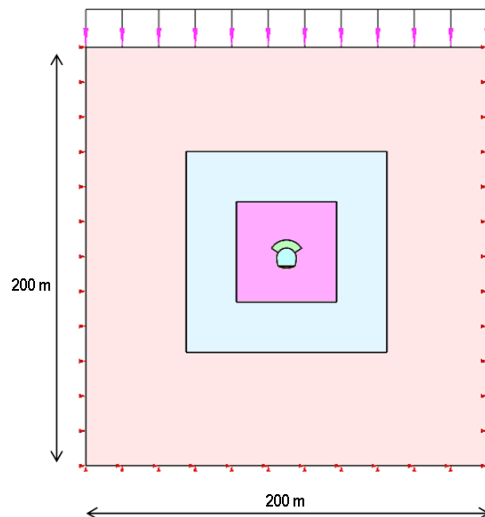


Abbildung 1: Berechnungsausbruchquerschnitt GL-T4

### 5.1.2 Bildendes Gebirgsmodell und Ausgangsspannungslage

Das Gebirge ist als ein kontinuierlich elastisch-plastisches Medium modelliert worden mit Widerstandskriterium des Typs Hoek-Brown [27] und Rest Parameter, welche gemäß der Cai et. al [34] Theorie bewertet werden. Insbesondere sind die elastischen (Verformungsmodul und Poisson-Beiwert), elastisch-plastischen ( $m_b$ ,  $s$  mit Peak- und Restwerte) und physischen (Dichte und einachsigen Komprimierungswiderstand) Eigencharakteristika der von dem Ausbruch betroffenen Felsen festgelegt worden.

Aufgrund der im Kap. 3.1 aufgezeigten Bemerkungen, wurden die geomechanischen Parameter des Gebirges GA-BST-KS-8f

### 5.1.1 Geometria del modello

Il modello di calcolo, in virtù della simmetria del problema, si estende per 100 m in larghezza agli estremi della cavità, 200 m in altezza, di cui 100 m al di sotto del piano del ferro e 100 m al di sopra di quest'ultimo. Tali limiti sono sufficienti per ritenere trascurabili gli effetti di bordo. L'ammasso è stato discretizzato mediante elementi bidimensionali quadrati di dimensioni pari a circa 200x200 cm, infittiti in prossimità della galleria, dove assumono dimensioni pari a circa 50x50 cm.

Le condizioni di vincolo al contorno del modello prevedono spostamenti impediti in entrambe le direzioni lungo il boundary inferiore e spostamenti impediti in direzione orizzontale lungo i boundary verticali. Sul boundary superiore è applicata una pressione pari al peso del terreno presente in sito fino alla quota del piano campagna.

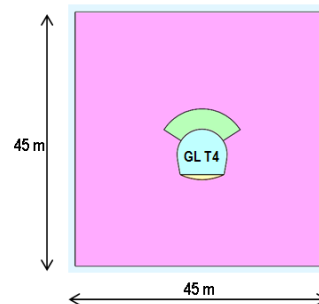


Figura 1: sezione di analisi GL-T4

### 5.1.2 Modello costitutivo dell'ammasso e stato tensionale iniziale

L'ammasso è stato modellato come un mezzo continuo elasto-plastico avente criterio di resistenza di tipo Hoek-Brown [27] con parametri residui valutati sulla base della teoria di Cai et. al [34]. In particolare sono state assegnate le caratteristiche elastiche (modulo di deformazione e coefficiente di Poisson), elasto-plastiche ( $m_b$ ,  $s$  con valori di picco e residuo) e fisiche (densità e resistenza a compressione monoassiale) proprie delle rocce interessate dallo scavo.

Sulla base delle considerazioni riportate nel Par 3.1, sono stati considerati i parametri geomeccanici relativi all'ammasso

berücksichtigt, mit Einbezug der optimistische Werte innerhalb der Variabilitätsfelder:

GA-BST-KS-8f, considerando valori ottimistici all'interno dei campi di variabilità:

Zone max overburden [m]	GSI	GSI <sub>res</sub>	γ [kN/m <sup>3</sup> ]	E <sub>m</sub> [MPa]	σ <sub>ci</sub> [MPa]	σ <sub>cm</sub> [MPa]	m <sub>i</sub> [-]	m <sub>b, peak</sub> [-]	m <sub>b, res</sub> [-]	s <sub>, peak</sub> [-]	s <sub>, res</sub> [-]
1115	55	26.32	26.6	20414	50	11	13	2.606	0.936	0.0067	0.0003

Tabelle 6: Berücksichtigte geomechanische Parameter (GL-T4)

Tabella 6: Parametri geomeccanici considerati (GL-T4)

Die Kraftlage vor Ort ist gemäß folgenden Verhältnissen ausgewertet worden:

Lo stato di sforzo in sito è stato valutato secondo le seguenti relazioni:

$$\sigma_y = \gamma \cdot z$$

$$\sigma_x = K_0 \cdot \sigma_z$$

Wobei:

Dove

- Z = Abstand des allgemeinen Elements von der Geländeoberkante
- K<sub>0</sub> = Beiwert des waagrechten Schubs das gleich 0.75 angenommen.

- Z rappresenta la distanza del generico elemento dal piano campagna
- K<sub>0</sub> è il coefficiente di spinta orizzontale, assunto pari a 0.75.

### 5.1.3 Eigenschaften der Außenschale

### 5.1.3 Caratteristiche dei rivestimenti di prima fase

Folgende Tabelle zeigt die Charakteristiken der Sicherheitsmaßnahmen für Profil GL-T4 auf:

La seguente tabella riporta le caratteristiche dei provvedimenti di messa in sicurezza per il profilo GL-T4:

GL-T4	Ancoraggi							Betoncino proiettato			Centine	
	Anker							Spritzbeton			Lehrgerüste	
	Posizione Position	Tipo Typ	N <sub>y</sub> [kN]	L [m]	i <sub>long</sub> [m]	i <sub>trasv</sub> [m]	n° [-]	Classe Klasse [-]	s <sub>nominale</sub> [cm]	s <sub>minimo</sub> [cm]	Tipo Typ	i [m]
Contorno Umriss	R51N	630	12	3.0	0.75	28	C30/37	30	25	2 IPN 180	0.75-1.5	

Tabelle 7: Eigenschaften der Außenschale GL-T4

Tabella 7: Caratteristiche rivestimenti di prima fase GL-T4

Zur Modellierung des Spritzbetons sind eindimensionale Beam-Elemente mit elastischem Verhalten angenommen worden. Vorsichtshalber wurden zwei Berechnungen durchgeführt: eine mit E = 5 GPa um die Verformungen zu maximieren, und eine mit E = 15 GPa um die Belastungen zu maximieren. Der Wert E = 15 GPa entspricht ca. 50% der Steifigkeit eines verhärteten Betons mittlerer Klasse; auf dieser Weise kann man das typische Verhalten der viskosen Verformung und des Schwindens berücksichtigen.

Per la modellazione del betoncino proiettato si sono assunti elementi monodimensionali beam con comportamento elastico. In via cautelativa si sono eseguite due analisi: una con E = 5 GPa per massimizzare le deformazioni e una con E = 15 GPa per massimizzare le sollecitazioni. Il valore di E = 15 GPa, corrisponde a circa il 50% della rigidezza di un calcestruzzo indurito di classe media; in questo modo è possibile considerare il caratteristico comportamento di deformazione viscosa e il ritiro.

Bei der numerischen Modellierung, gemäß einer konservativen Herangehensweise, wurden die Lehrgerüste nicht modelliert, sondern bloß bei den Ausbruchquerschnittsüberprüfungen, die in Anhang 2 aufgezeigt sind, berücksichtigt.

Nella modellazione numerica, secondo un approccio conservativo, le centine non sono state modellate ma solamente considerate nelle verifiche sezionali riportate in Appendice 2.

Wie mit BBT SE vereinbart, werden die Anker mit einem Grenzwiderstand, der ihrem um den Widerstands- ( $Y_R = 1.15$ ) und Reibungsbeiwert ( $Y_R = 1.3$ ) faktorisierten Ermüdungswiderstand entspricht, ins Modell eingesetzt. Die Anker wurden mit spezifischen eindimensionalen Elementen (Truss) nachgebildet, welche ein perfekt elastisches Verhalten haben (Abbildung 2), mit ein Von Mises-Bruchkriterium ( $N_{yd} = N_{yk}/1.15 = 348$  kN); diese sind an den Gitterknoten mittels eine Schnittstelle verbunden, in Hinblick auf die Vorsichtswerte des Schubwiderstands (190 kN/m) und der tangentielle Steifigkeit (15 MN/m/m) [33].

Analog zum Bericht [10], wurde die Wirkung der Hohlraumumrissbefestigung mittels einer Materialschicht mit etwas höheren Widerstandparametern als die des umgebenden Materials, wie im Anhang 2 dargestellt, modelliert.

Gli ancoraggi vengono inseriti nel modello con una resistenza limite pari alla loro resistenza a snervamento fattorizzata per il coefficiente sulle resistenze ( $Y_R = 1.15$ ) e sull'aderenza di ( $Y_R = 1.3$ ) come concordato con BBT SE. Gli ancoraggi sono stati riprodotti con specifici elementi monodimensionali (Truss) aventi comportamento elastico perfettamente plastico (Figura 2) con criterio di rottura alla Von Mises ( $N_{yd} = N_{yk}/1.15 = 348$  kN) collegati ai nodi della griglia mediante un'interfaccia considerando valori cautelativi di resistenza a taglio (190 kN/m) e rigidità tangenziale (15 MN/m/m) [33].

Analogamente al Rapporto [10], l'effetto del consolidamento del contorno del cavo è stato modellato tramite uno strato di materiale con parametri di resistenza lievemente superiori del materiale circostante come illustrato in Appendice 2.

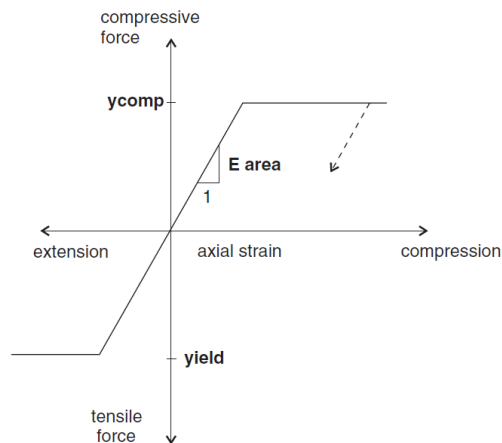


Abbildung 2: Kraft-Verformungsverhalten der Anker

Figura 2: Comportamento sforzo-deformazione per gli ancoraggi



#### 5.1.4 Laststufe

Nach einer ersten Phase der Modellinitialisierung, zur Berechnung des Ausgangsgleichgewichts, wird die Tunnelausbruch mittels Trägheits-Kräften des Ausbruchs simuliert (späterhin TKA).

Nachfolgend sind die Berechnungsstufen zusammengefasst:

- 1) Geostatische Ausgangslage mit Bestimmung der Geometrie, der Umgebungslagen, der Stratigraphie und der geostatischen Ausgangsspannungen;
- 2) Annullierung der Zonen innerhalb des Ausbruchs und Reduktion der TKA bis zum Wert den sie an der Ortsbrust einnehmen (TKA =12%);
- 3) Reduktion der TKA bis zum Wert den sie bei der Einsetzung der Außenschale einnehmen (auf 1.5 m von der Ortsbrust) (TKA =7%);
- 4) Reduktion der TKA auf ca. 2% (10 Meter – 1 Durchmesser) und Einsatz ins numerische Modell des Spritzbetons (Kappe  $s_{tot} = 24$  cm,  $E = 15$  GPa; Gegengewölbe  $s_{tot} = 28$  cm,  $E = 15$  GPa)
- 5) Annullierung der TKA (TKA =0%);
- 6) Entfernung der Außenschale und Simulation der Langzeitkonfiguration mit der Einsetzung der Innenschale. Diese ist mit der Bewehrungsmatte verbunden mittels ein Schnittstellenelement, mit normaler dem Gebirge entsprechende Steifigkeit, und tangentielle Steifigkeit gleich Null. Dieses Schnittstellenelement ermöglicht die Wirkung der Abdichtungsschicht zwischen den zwei Schalen zu berücksichtigen, indem es die tangentialen Spannungen annulliert, darüber hinaus erlaubt es die Drucke, welche auf der Innenschale wirken, zu schätzen.

#### 5.1.4 Step di carico

Dopo una prima fase di inizializzazione del modello, necessaria per calcolare l'equilibrio iniziale, lo scavo della GL viene simulato mediante l'utilizzo delle Forze Fittizie di Scavo, di seguito denominate FFS.

Di seguito sono riassunti gli step di calcolo per il modello in deformazioni piane con le FFS:

- 1) Condizione geostatica iniziale con definizione della geometria, delle condizioni al contorno, della stratigrafia e delle tensioni geostatiche iniziali;
- 2) Inserimento zona consolidata al contorno e riduzione delle forze FFS, fino al valore che assumono al fronte (FFS=12%);
- 3) Riduzione delle FFS fino al valore che assumono nel momento di installazione del rivestimento di prima fase (1.5 m dal fronte) (FFS=7%);
- 4) Riduzione delle FFS a ca. 2.0% (10 metri - 1 diametro) e introduzione nel modello numerico del betoncino proiettato (calotta  $s_{tot} = 24$  cm,  $E = 15$  GPa; arco rovescio  $s_{tot} = 28$  cm,  $E = 15$  GPa);
- 5) Annullamento delle FFS (FFS=0%).
- 6) Rimozione del rivestimento di prima fase e simulazione della configurazione a lungo termine con l'installazione del rivestimento definitivo. Quest'ultimo è collegato alla mesh mediante un elemento interfaccia avente rigidità normale pari a quella dell'ammasso e rigidità tangenziale nulla. Quest'ultimo elemento, oltre a consentire di valutare le pressioni che agiscono sul rivestimento definitivo, consente di considerare l'effetto del pacchetto di impermeabilizzazione presente tra i due rivestimenti, annullando le tensioni tangenziali.

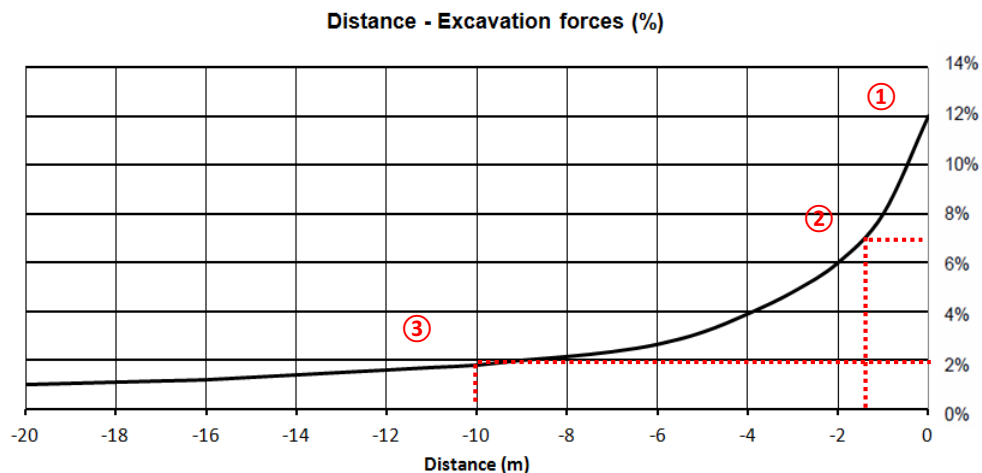


Abbildung 3: Berücksichtigte TKA für das Modell GL-T4

Figura 3: FFS considerate per il modello GL-T4

### 5.1.5 Nachweisverfahren

Gemäß den NTC 2000 wurden die aus dem FEM Modell entnommenen Wirkungen auf die Außenschale um  $Y_G = 1,30$  erhöht und die Widerstände des strukturellen Abschnitts um  $Y_c = 1,50$  reduziert, d.h.  $Y_s = 1,15$ .

Die Nachweise ergeben sich als zufriedenstellend wenn folgende Ungleichung verifiziert ist:

$$E_d \leq R_d$$

Hierbei ist:

- $R_d$  = Bemessungswert Widerstand
- $E_d$  = Bemessungswert Einwirkung

Außerdem ereignet sich, dass die Anker welche die Ermüdungsgrenze erreichen ( $N_{yd} = 348$  kN) nicht die axiale Verformungsgrenze von 5% überschreiten.

### 5.1.6 Ergebnisse

Die in Anhang 2 aufgezeigten Berechnungen bestätigen, dass das Verhalten des Gebirges durch ein mäßig drückendes Verhalten charakterisiert ist. Die Gesamtkonvergenz bei Vorkommen der Befestigungen und der Schalen ist von ca. 70 mm (relative Konvergenz ca. 40 mm) mit Formation eines plastischen Streifens mit maximale Ausdehnung von ca. 4 m.

Die strukturellen Überprüfungen an der provisorischen Schale erweisen sich als befriedigend und die Anker erreichen die Ermüdungsgrenze ( $N_{yd} = 348$  kN), aber nicht die Stahlverformungsgrenze ( $\epsilon < 5\%$ ).

Der vom Gebirge erzeugte Druck auf die Innenschale, bei Verfall der Außenschale, ist in Höhe von 280 kPa.

### 5.1.5 Procedura di verifica

In conformità alle NTC 2008 le azioni ricavate dal modello FEM sul rivestimento di prima fase sono aumentate di  $Y_G = 1,30$  e le resistenze della sezione strutturale sono ridotte di  $Y_c = 1,50$  ovvero  $Y_s = 1,15$ .

Le verifiche risultano soddisfatte se è verificata la seguente disuguaglianza:

Dove:

- $R_d$  = Valore della resistenza di progetto
- $E_d$  = Valore di progetto dell'effetto delle azioni

Inoltre si verifica che gli ancoraggi che raggiungono il limite di snervamento ( $N_{yd} = 348$  kN) non superino il limite di deformazione assiale posto pari a 5%.

### 5.1.6 Risultati

Le analisi riportate nell'Appendice 2 confermano che il comportamento dell'ammasso è caratterizzato da un comportamento moderatamente spingente. La convergenza totale in presenza dei consolidamenti e dei rivestimenti è di ca. 70 mm (convergenza relativa ca. 40 mm) con la formazione di una fascia plastica di estensione massima di ca. 4 m.

Le verifiche strutturali sul rivestimento provvisorio risultano soddisfatte e gli ancoraggi raggiungono il limite di snervamento ( $N_{yd} = 348$  kN) ma non il limite di deformazione dell'acciaio ( $\epsilon < 5\%$ ).

La pressione esercitata dall'ammasso sul rivestimento definitivo, al decadimento del rivestimento di prima fase, è dell'ordine dei 280 kPa.

## 5.2 AUSBRUCHQUERSCHNITT GL-T5

Zur Bemessung des Ausbruchquerschnitts GL-T5 wurde der Ausbruchquerschnitt mit der höchsten Überdeckung in der Gneis Gruppe (H=1115 m) berücksichtigt, sowie ein Modell welches den Einfluss der Ausbrüche zwischen den Haupttunnels in Nähe der Nothaltestelle und dem Zentralstollen von Freienfeld (FdE-CcT) miteinbeziehen würde. Die Folge der Ausbrüche gründet auf dem was im Arbeitsprogramm Baulos Mauls 2-3 angegeben ist.

### 5.2.1 Modellgeometrie

Das Berechnungsmodell, aufgrund der Problemsymmetrie, erstreckt sich 100 m in der Breite an den Enden der GL Ost und West, 300 m in der Höhe, von denen sich 100 m unter und 200 m über der Schienenoberkante befinden. Um die Einwirkungen des Rands für unerheblich zu halten, sind diese Grenzen ausreichend. Das Gebirge wurde mittels zweidimensionaler, quadratischer Elemente mit Abmessungen von ca. 200x200 cm diskretisiert. In der Nähe des Tunnels wird die Maschenweite verdichtet und die Elemente erreichen Abmessungen von ca. 50x50 cm. Die gewählten Auflagerbedingungen verhindern Verschiebung in beide Richtungen am unteren Modellrand und blockieren Verschiebungen in horizontaler Richtung an den vertikalen Modelrändern. Am oberen Modellrand wurde ein Druck aufgebracht, welcher der vorhandenen Bodenauflast (von Tunnel bis Geländeoberkante) entspricht.

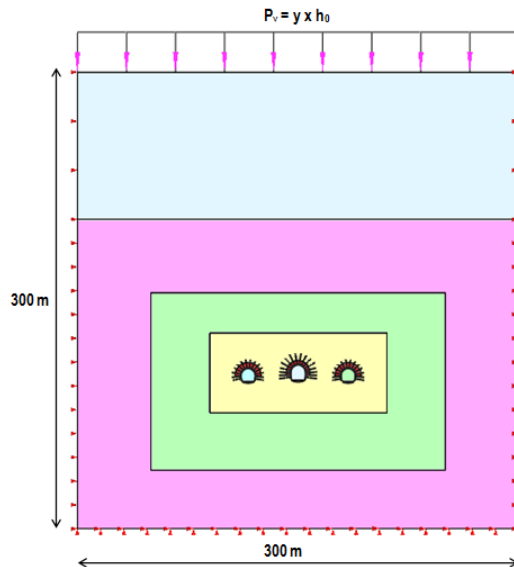


Abbildung 4: Berechnungsausbruchquerschnitt GL-T5

### 5.2.2 Bildendes Gebirgsmodell und Ausgangsspannungslage

Das Gebirge wurde als ein kontinuierlich elastisch-plastisches Medium modelliert, mit Widerstandskriterium des Typs Hoek-Brown [27] und Rest Parameter, welche gemäß der Cai et. al [34] bewertet wurden. Insbesondere sind die elastischen (Verformungsmodul und Poisson-Beiwert), elastisch-

## 5.2 SEZIONE GL-T5

Per il dimensionamento della sezione GL-T5 si è considerata la sezione con la massima copertura nel complesso dei calcescisti (H=1115 m) e un modello numerico che tenesse in considerazione l'influsso tra gli scavi tra le Gallerie di Linea in prossimità della fermata di emergenza e il cunicolo centrale di Trens (FdE-CcT). La sequenza degli scavi si basa su quanto indicato nel Programma Lavori Lotto Mules 2-3.

### 5.2.1 Geometria del modello

Il modello di calcolo, in virtù della simmetria del problema, si estende per 100 m in larghezza agli estremi della GL Est ed Ovest, 300 m in altezza, di cui 100 m al di sotto del piano del ferro e 200 m al di sopra di quest'ultimo. Tali limiti sono sufficienti per ritenere trascurabili gli effetti di bordo. L'ammasso è stato discretizzato mediante elementi bidimensionali quadrati di dimensioni pari a circa 200x200 cm, infittiti in prossimità della galleria, dove assumono dimensioni pari a circa 50x50 cm. Le condizioni di vincolo al contorno del modello prevedono spostamenti impediti in entrambe le direzioni lungo il boundary inferiore e spostamenti impediti in direzione orizzontale lungo i boundary verticali. Sul boundary superiore è applicata una pressione pari al peso del terreno presente in sito fino alla quota del piano campagna.

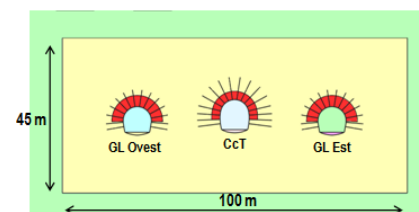


Figura 4: sezione di analisi GL-T5

### 5.2.2 Modello costitutivo dell'ammasso e stato tensionale iniziale

L'ammasso è stato modellato come un mezzo continuo elasto-plastico avente criterio di resistenza di tipo Hoek-Brown [27] con parametri residui valutati sulla base della teoria di Cai et. al [34]. In particolare sono state assegnate le caratteristiche elastiche (modulo di deformazione e

plastischen ( $m_b$ ,  $s$  mit Peak- und Restwerte) und physischen (Dichte und einachsigem Komprimierungswiderstand) Eigencharakteristika der vom Ausbruch betroffenen Felsen festgelegt worden.

Zur Bemessung des Profils GL-T5 wurden die geomechanischen Parameter des Gebirges GA-BST-KS-8f berücksichtigt, gemäß folgende Tabelle:

Zone max overburden [m]	GSI	GSI <sub>res</sub>	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_{rm}$ [MPa]	$\sigma_{ci}$ [MPa]	$\sigma_{cm}$ [MPa]	$m_i$ [-]	$m_{b, peak}$ [-]	$m_{b, res}$ [-]	$s_{, peak}$ [-]	$s_{, res}$ [-]
1115	50	25.59	26.6	11135	41	7.15	12	2.012	0.841	0.0039	0.0003

Tabelle 8: Berücksichtigte geomechanische Parameter (GL-T5)

coefficiente di Poisson), elasto-plastiche ( $m_b$ ,  $s$  con valori di picco e residuo) e fisiche (densità e resistenza a compressione monoassiale) proprie delle rocce interessate dallo scavo.

Per il dimensionamento del profilo GL-T5 si sono considerati i parametri geomeccanici relativi all'ammasso GA-BST-KS-8f secondo la tabella seguente:

Tabella 8: Parametri geomeccanici considerati (GL-T5)

Die Kraftlage vor Ort ist gemäß folgenden Verhältnissen ausgewertet worden:

$$\sigma_y = \gamma \cdot z$$

$$\sigma_x = K_0 \cdot \sigma_z$$

Lo stato di sforzo in sito è stato valutato secondo le seguenti relazioni:

### 5.2.3 Eigenschaften der Außenschale

Folgende Tabelle zeigt die Charakteristiken der Sicherheitsmaßnahmen für Profil GL-T5 auf:

GL-T5	Ancoraggi							Betoncino proiettato			Centine	
	Posizione Position	Typo Typ	$N_y$ [kN]	L [m]	$i_{long}$ [m]	$i_{trasv}$ [m]	$n^\circ$ [-]	Spritzbeton			Lehrgerüste	
								Classe Klasse [-]	$s_{nominale}$ [cm]	$s_{minimo}$ [cm]	Typo Typ	i [m]
Radiali Radial	R38N	400	6	1.5	1.5	15	C30/37	30	25	2 IPN 180	0.75 - 1.5	
Contorno Umriss	R51N	630	12	3.0	0.75	28						

Tabelle 9: Eigenschaften der Außenschale GL-T5

### 5.2.3 Caratteristiche dei rivestimenti di prima fase

La seguente tabella riporta le caratteristiche dei provvedimenti di messa in sicurezza per il profilo GL-T5:

Tabella 9: Caratteristiche rivestimenti di prima fase GL-T5

Zur Modellierung des Spritzbetons sind eindimensionale Beam-Elemente mit elastischem Verhalten angenommen worden. Vorsichtshalber wurden zwei Berechnungen durchgeführt: eine mit  $E = 5$  GPa um die Verformungen zu maximieren, und eine mit  $E = 15$  GPa um die Belastungen zu maximieren. Der Wert  $E = 15$  GPa entspricht ca. 50% der Steifigkeit eines verhärteten Betons mittlerer Klasse; auf dieser Weise kann man das typische Verhalten der viskosen Verformung und des Schwindens berücksichtigen.

Bei der numerischen Modellierung, gemäß einer konservativen Herangehensweise, wurden die Lehrgerüste nicht modelliert, sowie werden aber bei den Ausbruchquerschnittsüberprüfungen berücksichtigt (Anhang 3).

Per la modellazione del betoncino proiettato si sono assunti elementi monodimensionali beam con comportamento elastico. In via cautelativa si sono eseguite due analisi: una con  $E = 5$  GPa per massimizzare le deformazioni e una con  $E = 15$  GPa per massimizzare le sollecitazioni. Il valore di  $E = 15$  GPa, corrisponde a circa il 50% della rigidità di un calcestruzzo indurito di classe media; in questo modo è possibile considerare il caratteristico comportamento di deformazione viscosa e il ritiro.

Nella modellazione numerica, secondo un approccio conservativo, le centine non sono state modellate ma vengono considerate nelle verifiche sezionali (Appendice 3).

Wie mit BBT SE vereinbart, werden die Anker mit einem Grenzwiderstand, der ihrem um den Widerstands- ( $Y_R = 1.15$ ) und Reibungsbeiwert ( $Y_R = 1.3$ ) faktorisierten Ermüdungswiderstand entspricht, ins Modell eingesetzt. Die Anker wurden mit spezifischen eindimensionalen Elementen (Truss) nachgebildet, welche ein perfekt elastisches Verhalten haben (Abbildung 2), mit ein Von Mises-Bruchkriterium ( $N_{yd} = N_{yk}/1.15 = 348 \text{ kN}$ ); diese sind an den Gitterknoten mittels eine Schnittstelle verbunden, in Hinblick auf die Vorsichtswerte des Schubwiderstands (190 kN/m) und der tangentiale Steifigkeit (15 MN/m/m) [33].

Analog zum Bericht [10], wurde die Wirkung der Hohlraumumrissbefestigung mittels einer Materialschicht mit etwas höheren Widerstandparametern als die des umgebenden Materials, wie im Anhang 3 dargestellt, modelliert.

#### 5.2.4 Laststufe

In Folge werden die Berechnungsstufen für das Modell in ebene Verformungen zusammengefasst, mit Auswertung der TKA aufgrund des Kennlinienverfahrens:

Nachfolgend sind die Berechnungsstufen zusammengefasst:

- 1) Geostatische Ausgangslage mit Bestimmung der Geometrie, der Umgebungslagen, der Stratigraphie und der geostatischen Ausgangsspannungen;
- 2) Annullierung der Zonen innerhalb des Ausbruchs und Reduktion der TKA bis zum Wert den sie an der Ortsbrust einnehmen (TKA =10%);
- 3) Reduktion der TKA bis zum Wert den sie bei der Einsetzung der Außenschale einnehmen (auf 1.5 m von der Ortsbrust) (TKA =7.0%);
- 4) Einsetzung der radialen Anker ins numerische Modell und Reduktion der TKA auf ca. 2% (1 Durchmesser – ca. 10 Meter);
- 5) Einsetzung des Spritzbetons (Kappe  $s_{tot} = 24 \text{ cm}$ ,  $E = 15 \text{ GPa}$ ; Gegengewölbe  $s_{tot} = 28 \text{ cm}$ ,  $E = 15 \text{ GPa}$ ) und Annullierung der TKA (TKA =0%);
- 6) Entfernung der Außenschale und Simulation der Langzeitkonfiguration mit Einsatz der Innenschale. Diese ist mit der Bewehrungsmatte verbunden mittels ein Schnittstellenelement, mit normaler dem Gebirge entsprechende Steifigkeit, und tangentiale Steifigkeit gleich Null. Dieses Schnittstellenelement ermöglicht die Wirkung der Abdichtungsschicht zwischen den zwei Schalen zu berücksichtigen, indem es die tangentialen Spannungen annulliert, darüber hinaus erlaubt es die Drucke, die auf der Innenschale wirken, zu schätzen.

Gli ancoraggi vengono inseriti nel modello con una resistenza limite pari alla loro resistenza a snervamento fattorizzata per il coefficiente sulle resistenze ( $Y_R = 1.15$ ) e sull'aderenza di ( $Y_R = 1.3$ ) come concordato con BBT SE. Gli ancoraggi sono stati riprodotti con specifici elementi monodimensionali (Truss) aventi comportamento elastico perfettamente plastico (Figura 2) con criterio di rottura alla Von Mises ( $N_{yd} = N_{yk}/1.15 = 348 \text{ kN}$ ) collegati ai nodi della griglia mediante un'interfaccia considerando valori cautelativi di resistenza a taglio (190 kN/m) e rigidezza tangenziale (15 MN/m/m) [33].

Analogamente al Rapporto [10], l'effetto del consolidamento del contorno del cavo è stato modellato tramite uno strato di materiale con parametri di resistenza lievemente superiori del materiale circostante come illustrato in Appendice 3.

#### 5.2.4 Step di carico

Di seguito sono riassunti gli step di calcolo per il modello in deformazioni piane con le FFS valutate sulla base delle linee caratteristiche:

Di seguito sono riassunti gli step di calcolo:

- 1) Condizione geostatica iniziale con definizione della geometria, delle condizioni al contorno, della stratigrafia e delle tensioni geostatiche iniziali;
- 2) Inserimento zona consolidata al contorno e riduzione delle forze FFS, fino al valore che assumono al fronte (FFS=10%);
- 3) Riduzione delle FFS fino al valore che assumono nel momento di installazione del rivestimento di prima fase (1.5 m dal fronte) (FFS=7.0%);
- 4) Introduzione nel modello numerico degli ancoraggi radiali e riduzione delle FFS a ca. 2.0% (1 diametro - ca. 10 metri);
- 5) Introduzione dello betoncino proiettato (calotta  $s_{tot} = 24 \text{ cm}$ ,  $E = 15 \text{ GPa}$ ; arco rovescio  $s_{tot} = 28 \text{ cm}$ ,  $E = 15 \text{ GPa}$ ) e annullamento delle FFS (FFS=0%).
- 6) 5) Rimozione del rivestimento di prima fase e simulazione della configurazione a lungo termine con l'installazione del rivestimento definitivo. Quest'ultimo è collegato alla mesh mediante un elemento interfaccia avente rigidezza normale pari a quella dell'ammasso e rigidezza tangenziale nulla. Quest'ultimo elemento, oltre a consentire di valutare le pressioni che agiscono sul rivestimento definitivo, consente di considerare l'effetto del pacchetto di impermeabilizzazione presente tra i due rivestimenti, annullando le tensioni tangenziali.

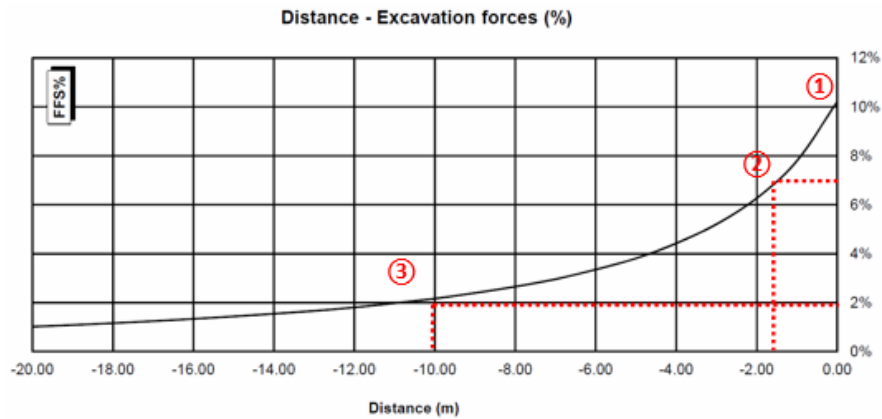


Abbildung 5: Berücksichtigte TKA für das Modell GL-T5

Figura 5: FFS considerate per il modello GL-T5

### 5.2.5 Nachweisverfahren

Gemäß den NTC 2000 wurden die aus dem FEM Modell entnommenen Wirkungen auf die Außenschale um  $Y_G = 1,30$  erhöht und die Widerstände des strukturellen Abschnitts um  $Y_c = 1,50$  reduziert, d.h.  $Y_s = 1,15$ .

Die Überprüfungen ergeben sich als zufriedenstellend wenn folgende Ungleichung verifiziert ist:

$$E_d \leq R_d$$

Hierbei ist:

- $R_d$  = Bemessungswert Widerstand
- $E_d$  = Bemessungswert Einwirkung

Außerdem ereignet sich, dass die Anker welche die Ermüdungsgrenze erreichen ( $N_{yd} = 348$  kN) nicht die axiale Verformungsgrenze von 5% überschreiten.

### 5.2.6 Ergebnisse

Die in Anhang 3 aufgezeigten Berechnungen bestätigen, dass das Verhalten des Gebirges durch ein mittelmäßig drückendes Verhalten charakterisiert ist.

Die Gesamtkonvergenz bei Vorkommen der Befestigung und der Schalen ist von ca. 120 mm (relative Konvergenz ca. 70 mm) mit Formation einer plastischen Zone mit maximale Ausdehnung von ca. 6/7 m. Es ist außerdem ermessen worden, dass bei Vorkommen des Spritzbetons mit  $E=15$  GPa die Einhaltung des Extraaushub von 10 cm eingehalten werden kann.

Die strukturellen Überprüfungen an der provisorischen Schale sind zufriedenstellend und die Anker erreichen die Ermüdungsgrenze ( $N_{yd} = 348$  kN), aber nicht die Stahlverformungsgrenze ( $\epsilon < 5\%$ ).

Der vom Gebirge erzeugte Druck auf die Innenschale, bei Verfall der Außenschale, ist in Höhe von 460 kPa.

### 5.2.5 Procedura di verifica

In conformità alle NTC 2008 le azioni ricavate dal modello FEM sul rivestimento di prima fase sono aumentate di  $Y_G = 1,30$  e le resistenze della sezione strutturale sono ridotte di  $Y_c = 1,50$  ovvero  $Y_s = 1,15$ .

Le verifiche risultano soddisfatte se è verificata la seguente disuguaglianza:

Dove:

- $R_d$  = Valore della resistenza di progetto
- $E_d$  = Valore di progetto dell'effetto delle azioni

Inoltre si verifica che gli ancoraggi che raggiungono il limite di snervamento ( $N_{yd} = 348$  kN) non superino il limite di deformazione assiale posto pari a 5%.

### 5.2.6 Risultati

Le analisi riportate nell'Appendice 3 confermano che il comportamento dell'ammasso è caratterizzato da un comportamento mediamente spingente.

La convergenza totale in presenza dei consolidamenti e dei rivestimenti è di ca. 120 mm (convergenza relativa ca. 70 mm) con la formazione di una fascia plastica di estensione massima di ca. 6/7 m. Si è valutato inoltre che in presenza del betoncino proiettato con  $E=15$  GPa è possibile rispettare il sovrascavo di 10 cm.

Le verifiche strutturali sul rivestimento provvisorio risultano soddisfatte e gli ancoraggi raggiungono il limite di snervamento ( $N_{yd} = 348$  kN) ma non il limite di deformazione dell'acciaio ( $\epsilon < 5\%$ ).

La pressione esercitata dall'ammasso sul rivestimento definitivo, al decadimento del rivestimento di prima fase, è dell'ordine dei 460 kPa.

### 5.3 ANALYSE DER ORTBRUSTSTABILITÄT

#### 5.3.1 NACHWEISVERFAHREN

In den Anhängen 2 und 3 werden die axialsymmetrischen Analysen aufgezeigt, welche zur Überprüfung der Wirkung der Ortsbrustbefestigung in Bezug auf Reduktion der Konvergenzen und der Ortsbrustextrusionen durchgeführt wurden.

#### 5.3.2 Ergebnisse

##### 5.3.2.1 Ausbruchquerschnitt GL-T4

Für den Ausbruchquerschnitt GL-T4 bestätigt die axialsymmetrische Analyse, welche ohne Schalen (Anhang 2) und nach Abschlüge von 1.5m durchgeführt wurde, die Angaben des Kennlinienverfahrens. Es wird hervorgehoben, dass die Ortsbrustextrusion ca. 50 mm beträgt, mit absolute radiale Konvergenz von 70 mm, während der plastizierte Bereich sich auf ca. 4 m vor der Ortsbrust und 5/6 m am Umriss ausdehnt.

Die Eingriffe an der Ortsbrust bestehen aus Bohrschrauben Typ R51N ( $N_y \geq 630 \text{ kN}$ ), mit 15.00 m Länge, 6.00 m Überlagerung, 1.5m Achsenabstand, und mit einer Zementmischung mit  $R_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$  zementiert, welche die Begrenzung der Ortsbrustextrusion auf ca. 30 mm ermöglichen, sowie die Begrenzung der Ausdehnung des plastizierten Bereichs vor der Ortsbrust (3 m) und am Umriss (4/5 m) erlauben.

Vom Standpunkt einer beobachtenden Herangehensweise, wird man das tatsächliche Verhalten des Gebirges überprüfen müssen, und demzufolge die Stärke der Anker an der Ortsbrust zu reduzieren oder zu erhöhen, auch hinsichtlich des Auftretens eventueller einzelne Abbruchblöcke.

##### 5.3.2.2 Ausbruchquerschnitt GL-T5

Für den Ausbruchquerschnitt GL-T5, welcher innerhalb des Gebirges GA-BST-KS-8f berechnet wurde, bestätigt die axialsymmetrische Analyse, welche ohne Schalen (Anhang 3) und nach Abschlüge von 1.5m durchgeführt wurde, die Angaben des Kennlinienverfahrens. Es wird hervorgehoben, dass die Ortsbrustextrusion ca. 80 mm beträgt, mit absolute radiale Konvergenz von 160 mm, während der plastizierte Bereich sich auf ca. 6 m vor der Ortsbrust und 7/8 m am Umriss ausdehnt.

Die Eingriffe an der Ortsbrust bestehen aus Bohrschrauben Typ R51N ( $N_y \geq 630 \text{ kN}$ ), mit 15.00 m Länge, 6.00 m Überlagerung, 1.5 m Achsenabstand, und mit einer Zementmischung mit  $R_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$  zementiert, welche die Begrenzung der Ortsbrustextrusion auf ca. 50 mm ermöglichen, sowie die Begrenzung der Ausdehnung des plastizierten Bereichs vor der Ortsbrust (5 m) und am Umriss (6/7 m) erlauben.

Vom Standpunkt einer beobachtenden Herangehensweise, wird man das tatsächliche Verhalten des Gebirges überprüfen

### 5.3 ANALISI DELLA STABILITÀ DEL FRONTE

#### 5.3.1 Procedura di verifica

Nelle Appendici 2 e 3 vengono riportate le analisi assialsimmetriche eseguite per verificare l'effetto dei consolidamenti del fronte in termini di riduzione delle convergenze e delle estrusioni al fronte.

#### 5.3.2 Risultati

##### 5.3.2.1 Sezione GL-T4

Per la sezione GL-T4, l'analisi assialsimmetrica eseguita in assenza dei rivestimenti (Appendice 2) e secondo sfondi di 1.5m, conferma le indicazioni delle linee caratteristiche. Si evidenzia che l'estrusione del fronte è pari a circa 50 mm, con convergenza radiale assoluta di 70 mm, mentre la zona plasticizzata si estende per circa 4 m davanti al fronte e di 5/6 m al contorno.

Gli interventi al fronte costituiti da barre autoperforanti tipo R51N ( $N_y \geq 630 \text{ kN}$ ), con lunghezza 15.00 m, sovrapposizione 6.00 m, interasse 1.5m e cementati con miscela cementizia avente  $R_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$ , consentono di limitare l'estrusione al fronte a circa 30 mm, l'estensione della zona plasticizzata davanti al fronte (3 m) e al contorno (4/5 m).

Nell'ottica di un approccio osservazionale, si dovrà valutare l'effettivo comportamento dell'ammasso e conseguentemente ridurre o aumentare l'intensità degli ancoraggi al fronte anche in considerazione della presenza di eventuali singoli blocchi di distacco.

##### 5.3.2.2 Sezione GL-T5

Per la sezione GL-T5, analizzata all'interno dell'ammasso GA-BST-KS-8f, l'analisi assialsimmetrica eseguita in assenza dei rivestimenti (Appendice 3) e secondo sfondi di 1.5m, conferma le indicazioni delle linee caratteristiche. Si evidenzia che l'estrusione del fronte è pari a circa 80 mm, con convergenza radiale assoluta di 160 mm, mentre la zona plasticizzata si estende per circa 6 m davanti al fronte e di 7/8 m al contorno.

Gli interventi al fronte costituiti da barre autoperforanti tipo R51N ( $N_y \geq 630 \text{ kN}$ ), con lunghezza 15.00 m, sovrapposizione 6.00 m, interasse 1.5 m e cementati con miscela cementizia avente  $R_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$ , consentono di limitare l'estrusione al fronte a circa 50 mm, l'estensione della zona plasticizzata davanti al fronte (5 m) e al contorno (6/7 m).

Nell'ottica di un approccio osservazionale, si dovrà valutare l'effettivo comportamento dell'ammasso e

müssen, und demzufolge die Stärke der Anker an der Ortsbrust zu reduzieren oder zu erhöhen.

#### **5.4 VERHALTENSÜBERPRÜFUNG ZUM AUSBRUCH UND BEMESSUNG DES AUSBRUCHQUERSCHNITTS GL-T5 DES GEBIRGES FVM-S-PS**

Aus dem Kennlinienverfahren, erweist das Gebirge FVM-S-PS eine hohe Ortsbrustinstabilitätstendenz, mit Konvergenzen an der Ortsbrust in einer Größenordnung von 4% des Ausbruchsradius.

Die Vereinbarkeitsüberprüfung der im Ausbruchquerschnitt GL-T5, der in der Strecke nach Norden angewandt und in den vorhergehenden Kapiteln bemessen wird, vorgesehenen Eingriffe, sowohl die der Gebirgskonsolidierung als auch die der Stützung, mit den geomechanischen Parametern der gegenständlichen Strecke FVM-S-PS, wurde mittels den Modellen der Finite Differenzen durchgeführt. Insbesondere wurden zwei axialsymmetrische Modelle entwickelt, die in der Lage sind Folgendes nachzubilden:

- Die Kennlinien des nicht gestützten Hohlraums (Radialdruck - Konvergenz)
- Die Kurve Konvergenz- Ortsbrustabstand

Diese Modelle, im Gegensatz zu den in Kapitel 4.1 und Anhang 1 aufgezeigten Kennlinien, erlauben es den Wirkungsgrad der Verfestigungseingriffe zu bewerten. Insbesondere wurden diese Eingriffe durch Übertragung einer Kohäsionserhöhung auf das betroffene Bodenvolumen schematisiert.

##### **5.4.1 Der Berechnungskodex**

Die Zahlenanalysen sind mit Hilfe des Rechnungsprogramms FLAC 7.0 (Fast Lagrangian Analysis of Continua) durchgeführt, ein Berechnungskodex zur Analyse der Ebenen Probleme die das mechanische Verhalten von kontinuierlichen Media (Böden, Gebirge) und interagierende Strukturen betrifft. Die Analysen sind entwickelt worden um das Verhalten der Höhle zu analysieren und die Angemessenheit der vorgesehenen Schalen zu kontrollieren.

Die Analysenmethode zu den Finite-Differenzen besteht in der Diskretisierung der Differentialgleichungen, die das zu überprüfende physische Problem regieren, indem man den Ableitungen ein Verhältnis innerhalb Finite-Werten substituiert. So gehen Differentialgleichungen in algebraische Gleichungen über, die dann in weiteren Berechnungsschritten zu lösen sind. Der Berechnungsalgorithmus folgt einem ausdrücklichen Lagrangesches-Schema zur direkten Zeitintegration das eine leichte (und sehr schnelle) Bearbeitung zulässt der nichtlinearen Systeme, mit hohen Verformungen, mit sehr fortgeschrittenen Einsturz- und Instabilitätslagen. Die Diskretisierung wird durchgeführt indem ein Gitter, mit quadratischen Maschen, bei

consequentemente ridurre o aumentare l'intensità degli ancoraggi al fronte.

#### **5.4 VERIFICA DEL COMPORTAMENTO ALLO SCAVO E DIMENSIONAMENTO DELLA SEZIONE GL-T5 NELL'AMMASSO FVM-S-PS**

Dall'analisi delle linee caratteristiche, l'ammasso FVM-S-PS mostra un'elevata tendenza all'instabilità del fronte di scavo, con convergenze al fronte dell'ordine del 4% del raggio di scavo.

La verifica della compatibilità degli interventi, sia di consolidamento dell'ammasso che di sostegno, previsti nella sezione GL-T5 adottata nella tratta verso nord (dimensionati nei paragrafi precedenti) con i parametri geomeccanici della tratta in oggetto FVM-S-PS, è stata condotta mediante modelli alle differenze finite. In particolare, sono stati elaborati due modelli assialsimmetrici in grado di riprodurre:

- La linea caratteristica della cavità non sostenuta (Pressione radiale - Convergenza)
- La curva Convergenza - Distanza dal fronte

Questi modelli, a differenza delle linee caratteristiche riportate al capitolo 4.1 e in Appendice 1 consentono di valutare l'efficacia degli interventi di consolidamento. In particolare, tali interventi sono stati schematizzati assegnando al volume di terreno interessato un incremento di coesione.

##### **5.4.1 Il codice di calcolo**

Le analisi numeriche sono svolte utilizzando il programma di calcolo numerico FLAC 7.0 (Fast Lagrangian Analysis of Continua), codice di calcolo per l'analisi di problemi piani riguardanti il comportamento meccanico di mezzi continui (terreni, rocce) e di strutture interagenti. Le analisi sono sviluppate per analizzare il comportamento del cavo e verificare l'adeguatezza dei rivestimenti previsti.

Il metodo di analisi alle differenze finite consiste nella discretizzazione delle equazioni differenziali che governano il problema fisico in esame sostituendo alle derivate un rapporto tra termini finiti. In tal modo le equazioni differenziali si trasformano in equazioni algebriche da risolversi in passi successivi di calcolo. L'algoritmo di calcolo segue uno schema lagrangiano "esplicito" per integrazione diretta nel tempo, in grado di lavorare agevolmente (e molto velocemente) per sistemi non lineari, con grandi deformazioni, con stati di collasso molto avanzati e in condizioni di instabilità. La discretizzazione viene operata sovrapponendo alla porzione di continuo considerata una griglia, a maglie quadrilatera, in cui in corrispondenza dei



denen die Spielgrößen an den Knoten festgelegt sind, einem Teil des berücksichtigten Kontinuums überlappt wird. Jeder Zone werden die physischen und mechanischen Eigenschaften zugeordnet die dessen Verhalten bei der Analyse charakterisieren. Die Scheitel jeder Zone bilden die Gitterknoten, an dessen Koordinaten die Lagrange'sche Formulierung, zur Analyse des Kontinuums, ausgerichtet ist. Die erste Ableitung einer Funktion, hinsichtlich einer unabhängigen Variablen, kann mit einem Verhältnis zwischen der von der Funktion erlittenen Differenz beim Wechsel von einem Knoten zum angrenzenden, und der entsprechenden Differenz der unabhängigen Variablen ersetzt werden. Für jeden Gitterknoten schätzt man die Masse  $m$ , die Resultante der externen Kräfte  $F_e$  (Gravitation, externe Lasten, usw.), die Resultante der internen Kräfte  $F_i$ , ausgerechnet per Integrierung der Kräfte in den vom selben Knoten verbundenen Zonen, und die nicht ausbalancierte Kraft die auf den Knoten wirkt  $F_u$  (unbalance force  $F_u = F_e - F_i$ ); damit das System im Gleichgewicht bleibt muss die nicht ausbalancierte Kraft gleich null sein. Im Allgemeinen endet der iterative Prozess wenn die nicht ausbalancierte Kraft an einen niedrigeren Wert als den der festgelegten Toleranz gelangt.

#### 5.4.2 Bildendes Gebirgsmodell

Das Gebirge ist als ein kontinuierlich elastisch-plastisches Medium modelliert worden mit einem Festigkeitskriterium des Typs Mohr-Coulomb mit softening und nicht assoziiertem Fließgesetz. Insbesondere sind die elastischen (Verformungsmodul und Poisson-Beiwert), elastisch-plastischen (Reibungswinkel und Peak- und Restkohäsion) und physischen (Dichte) Eigencharakteristika der von der Aushebung betroffenen Felsen festgelegt worden.

$\gamma$	$\phi_{picco}$	$\phi_{res}$	$c_{picco}$	$c_{res}$	$E_{rm}$ (GSI picco)	$\psi$
[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[°]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[°]
27.0	22.6	17.0	1.033	0.661	10374	3.1

Tabelle 10: Charakteristische Bruchparameter des Gebirge FVM-S-PS

#### 5.4.3 Schematisierung der Konsolidierung

Wie zuvor angedeutet, wurden die Konsolidierungen durch Übertragung einer Kohäsionserhöhung  $\Delta c$  auf die betroffenen Zonen schematisiert. Diese Kohäsionserhöhung wurde laut folgendes Verhältnis gewertet:

$$\sigma_3 = \frac{N_y}{A_{inf} \cdot \gamma_s}$$

$$\Delta c = \frac{\sigma_3 \cdot \sqrt{k_p}}{2}$$

wobei:

nodi sono definite le grandezze in gioco. A ciascuna zona si assegnano le proprietà fisiche e meccaniche che ne caratterizzeranno il comportamento nell'analisi. I vertici di ogni zona costituiscono i nodi della griglia, alle cui coordinate è riferita la formulazione Lagrangiana adottata per l'analisi del continuo. La derivata prima di una funzione, rispetto ad una variabile indipendente, si può sostituire con il rapporto tra la variazione subita dalla funzione nel passare da un nodo ad uno contiguo e la corrispondente variazione della variabile indipendente. Per ogni nodo della griglia si valuta la massa  $m$ , la risultante delle forze esterne  $F_e$  (gravità, carichi esterni, ecc.), la risultante delle forze interne  $F_i$ , calcolata per integrazione degli sforzi nelle zone collegate da uno stesso nodo, e la forza sbilanciata agente sul nodo  $F_u$  (unbalance force  $F_u = F_e - F_i$ ); affinché il sistema sia in equilibrio la forza sbilanciata deve essere nulla. In genere, il processo iterativo termina quando la forza sbilanciata arriva ad un valore minore di una tolleranza prestabilita.

#### 5.4.2 Modello costitutivo dell'ammasso

L'ammasso è stato modellato come un mezzo continuo elasto-plastico avente criterio di resistenza di tipo Mohr-Coulomb con softening e legge di flusso non associata. In particolare sono state assegnate le caratteristiche elastiche (modulo di deformazione e coefficiente di Poisson), elasto-plastiche (angolo di resistenza al taglio e coesione, di picco e residui) e fisiche (densità) proprie delle rocce interessate dallo scavo.

Tabella 10: Parametri di rottura caratteristici dell'ammasso FVM-S-PS

#### 5.4.3 Schematizzazione dei consolidamenti e

Come precedentemente accennato, i consolidamenti sono stati schematizzati assegnando un incremento di coesione  $\Delta c$  alle zone interessate. Tale incremento è stato valutato secondo la seguente relazione:

dove:

- $\sigma_3$  = Confinementdruck
- $N_y$  = Ermüdungswiderstand der Bohrschrauben
- $A_{inf}$  = Einflussfläche jeder Bohrschraube
- $\gamma_s$  = Sicherheitskoeffizient (1.15)
- $K_p$  = passiver Druckkoeffizient

- $\sigma_3$  = Pressione di confinamento
- $N_y$  = Resistenza allo snervamento degli autoperforanti
- $A_{inf}$  = Area di influenza di ciascun autoperforante
- $\gamma_s$  = coefficiente di sicurezza (1.15)
- $K_p$  = coefficiente di spinta passiva

Die Kohäsionserhöhung auf den Hohlraumrand wurde als Summe der Kohäsionserhöhung, welche sich durch das Vorhandensein von Radialnietungen und Vortriebsrohrschirme ergibt, gewertet. In Bezug zu diesen letzteren, wird festgestellt, dass die Kohäsionserhöhung durch Projizierung des Ermüdungswiderstands der Rohrschirme in Richtung der Radialnietungen bewertet wurde.

L'incremento di coesione sul contorno del cavo è stato valutato come somma dell'incremento di coesione dovuta alla presenza delle chiodature radiali e da quelle in avanzamento. In merito a quest'ultimi, si precisa che l'incremento di coesione è stato valutato proiettando la resistenza allo snervamento degli elementi in avanzamento nella direzione delle chiodature radiali.

Angesichts der Eingriffseigenschaften des Ausbruchquerschnitts GL-T5:

Considerando le caratteristiche degli interventi della sezione GL-T5:

- Radialnietungen mit Bohrschrauben R38N mit quadratischem Raster 1.5 x 1.5 m;
- Vortriebsnietungen, mit Bohrschrauben R51N, Abstand 0.75 x 3 m, mit 20° Neigung, ausgeführt;
- Nr. 56 Bohrschrauben R51N an der Ortsbrust,

- Chiodature radiali costituite da autoperforanti R38N a maglia quadrata 1.5 x 1.5 m;
- Chiodature in avanzamento realizzate mediante autoperforanti R51N a passo 0.75 x 3 m, inclinati di 20° sull'orizzontale;
- n°56 autoperforanti R51N sul fronte.

ergeben sich folgende Parameter:

si ricavano i seguenti parametri:

Consolidamenti Sezione GL-T5									
Contorno				Fronte					
$\sigma_3$	$\Delta c$	$c_{picco}$	$c_{res}$	n. inclusi	$\sigma_3$	$\Delta c$	$c_{picco}$	$c_{res}$	
[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
0.323	0.243	1.275	0.904	56	0.413	0.310	1.343	0.972	

Tabelle 11: angewandte Parameter für die an Rand und Ortsbrust konsolidierten Zonen

Tabella 11: Parametri adottati per le zone consolidate sul contorno e sul fronte.

#### 5.4.4 Modell zur Festlegung der Kurve Konvergenz-Ortsbrustabstand

Das benutzte Modell (Figura 6) ist 100 m x 150 m groß; die Wirkung der Überdeckung (700 m) wurde mittels einen lithostatischen Druck entlang der Gitterrostoberfläche schematisiert. Die Maße der Elemente variieren von 25 x 50 cm im Ausbruchbereich bis 2 x 0.5 m im äußersten Bereich; die oberen und unteren Ränder sind in Längsrichtung mittels Wagen gebunden worden.

Die Präsenz der Ortsbrust- und Randkonsolidierungen wurde durch Übertragung der im vorhergehenden Kapitel festgelegten Kohäsionen auf die vor der Abbaufont vorgelagerten Bereiche, auf eine der Mindestüberlappung der Stäbe entsprechenden Länge (6 m), und am Rand auf eine Breite von 6 m, modelliert. Folgende Abbildung stellt diese Zonen dar.

#### 5.4.4 Modello per la determinazione della curva Convergenza - Distanza dal fronte

Il modello utilizzato (Figura 6) ha dimensioni di 100 m x 150 m; l'effetto della copertura (700 m) è stato schematizzato mediante una pressione litostatica lungo la superficie della griglia. Gli elementi hanno dimensioni variabili da 25 x 50 cm nell'area di scavo a 2 x 0.5 m nell'area più esterna; i boundary superiori e inferiori sono stati vincolati in direzione longitudinale mediante dei carrelli.

La presenza dei consolidamenti al fronte e al contorno è stata modellata assegnando alle zone antistanti il fronte di scavo, per una lunghezza pari alla sovrapposizione minima delle barre (6 m), e sul contorno, per una larghezza di 6 m, le coesioni definite al paragrafo precedente. La seguente figura rappresenta tali zone.

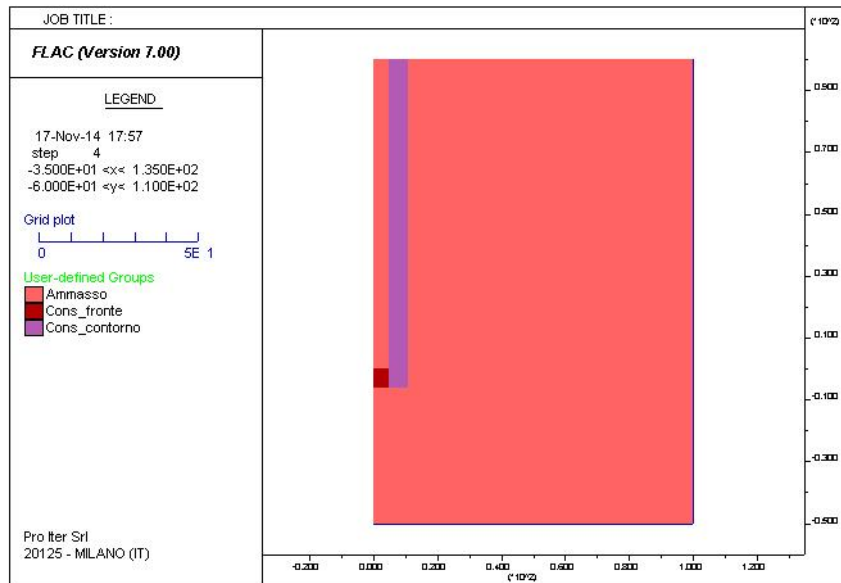


Abbildung 6: Berechnungsmodell

Figura 6: Modello di calcolo

Der Tunnelausbruch wurde durch Annullierung der dem Ausbruch entsprechenden Zonen, und durch Anwendung eines äquivalenten Drucks auf den Rand simuliert. Dieser Druck, ausgehend vom geostatischen Druck, wurde stufenweise bis zu dessen kompletten Annullierung reduziert.

Lo scavo della galleria è stato simulato annullando le zone corrispondenti allo scavo e applicando sul contorno una pressione equivalente. Tale pressione, a partire dalla pressione geostatica, è stata ridotta per step fino al suo completo annullamento.

Einst die Konvergenz erreicht, wurden die Verschiebungen in Richtung x aller Konten am Ausbruchrand registriert, wobei die Kurve Konvergenz - Ortsbrustabstand entnommen wurde.

Raggiunta la convergenza sono stati registrati gli spostamenti in direzione x di tutti i nodi sul contorno dello scavo, ricavando così la curva Convergenza - Distanza dal fronte.

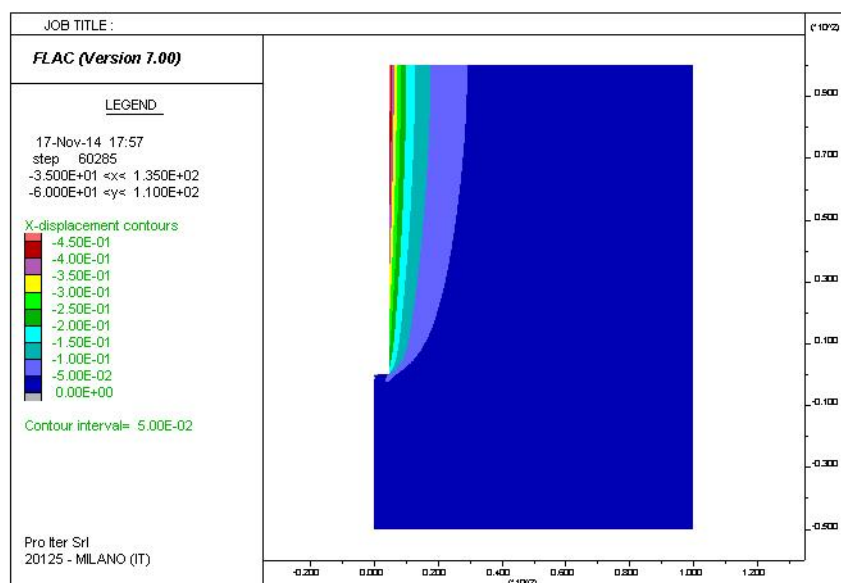


Abbildung 7: horizontale Verschiebung - Modell mit Konsolidierungen

Figura 7: Spostamenti in direzione orizzontale

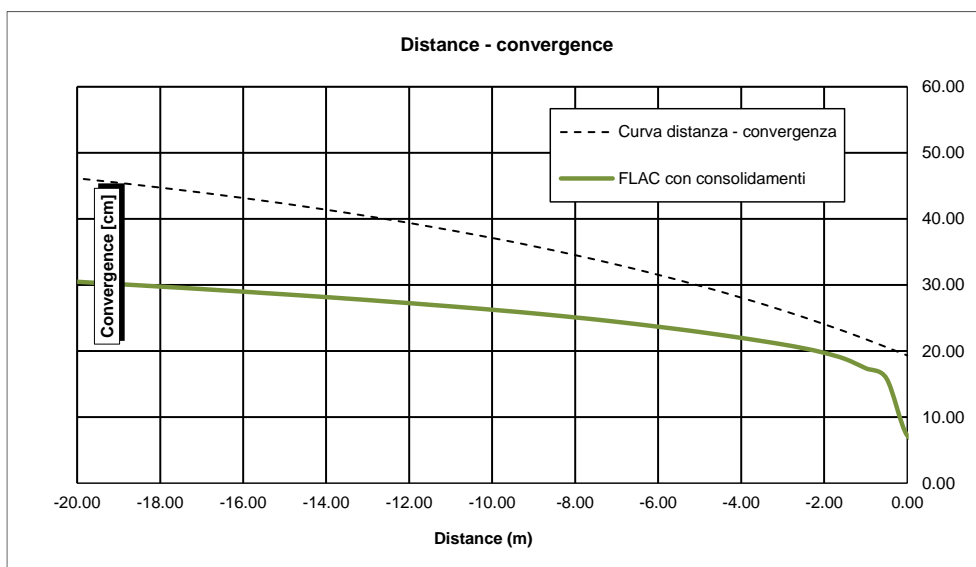


Abbildung 8: Kurve Konvergenz - Ortsbrustabstand

Figura 8: Curva Convergenza - Distanza dal fronte

Aus dem Vergleich der zwei Kurven kann beobachtet werden, wie die vorgesehenen Konsolidierungen die Konvergenzen merklich reduzieren. Die Ortsbrustkonvergenz, insbesondere, reduziert sich auf 7 cm, was ungefähr 1.5% des Ausbruchradius entspricht, wobei die Sicherheit der Ausbruchphase gewährleistet wird.

Dal confronto delle due curve si può osservare come i consolidamenti previsti riducono sensibilmente le convergenze. La convergenza al fronte, in particolare, si riduce a 7 cm, pari a circa l'1.5% del raggio di scavo, garantendo la sicurezza in fase di scavo.

**5.4.5 Modell zur Festlegung der Kurve Radialdruck - Konvergenz**

Das benutzte Modell (Figura 6) ist 100 m x 1 m groß; die Wirkung der Überdeckung (700 m) wurde mittels einen lithostatischen Druck entlang der rechten Rands schematisiert. Die Maße der Elemente sind von 25 x 33 cm im konsolidierten Bereich, dagegen wurde das Gebirge mit 1 x 0.33 m großen Elementen schematisiert; die oberen und unteren Ränder sind in Längsrichtung mittels Wagen gebunden worden.

Die Präsenz der Randkonsolidierungen wurde durch Übertragung der in Kapitel 5.4.3 bestimmten Kohäsionen, auf den Hohlraumrand, auf eine Breite von 6 m, modelliert. Folgende Abbildung stellt diese Zonen dar.

**5.4.5 Modello per la determinazione della curva Pressione radiale - Convergenza**

Il modello utilizzato (Figura 9) ha dimensioni di 100 m x 1 m; l'effetto della copertura (700 m) è stato schematizzato mediante una pressione litostatica lungo il boundary di destra. Gli elementi hanno dimensioni di 25 x 33 cm nell'area di scavo e nell'area consolidata mentre l'ammasso è stato schematizzato con elementi di dimensioni 1 x 0.33 m; i boundary superiori e inferiori sono stati vincolati in direzione longitudinale mediante dei carrelli.

La presenza dei consolidamenti al contorno è stata modellata assegnando alle zone sul contorno del cavo, per una larghezza di 6.0 m, le coesioni definite al paragrafo 5.4.3. La seguente figura rappresenta tali zone.

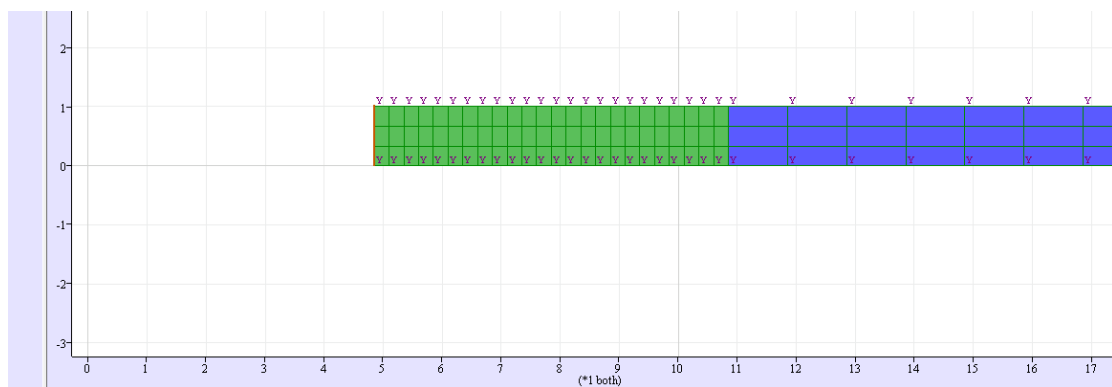
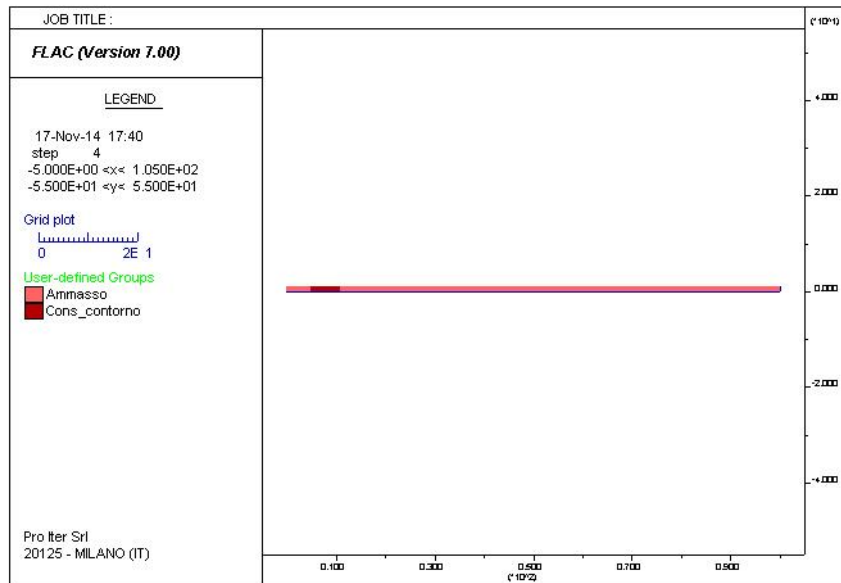


Abbildung 9: Berechnungsmodell

Figura 9: Modello di calcolo

Der Tunnelausbruch wurde durch Annullierung der dem Ausbruch entsprechenden Zonen (x zwischen 0 und 4.85 m), und durch Anwendung eines äquivalenten Drucks auf den Ausbruchrand simuliert. Dieser Druck, ausgehend vom geostatischen Druck, wurde stufenweise bis zu dessen kompletten Annullierung reduziert.

Lo scavo della galleria è stato simulato annullando le zone corrispondenti allo scavo (x compreso tra 0 e 4.85 m) e applicando sul contorno dello scavo una pressione equivalente. Tale pressione, a partire dalla pressione geostatica, è stata ridotta per step fino al suo completo annullamento.

An jeder Entladungsstufe wurde die entsprechende Verschiebung in Richtung x registriert, wobei die Kurve Radialdruck -Konvergenz entnommen wurde.

Ad ogni step di scarico si è registrato il corrispondente spostamento in direzione x, ricavando così la curva Pressione radiale - Convergenza.

Dasselbe Modell wurde auch zur Rückverfolgung der analytischen Kurve von Ribacchi ohne Konsolidierungen genutzt.

Il medesimo modello è stato utilizzato anche per ripercorrere la curva analitica di Ribacchi in assenza di consolidamenti.

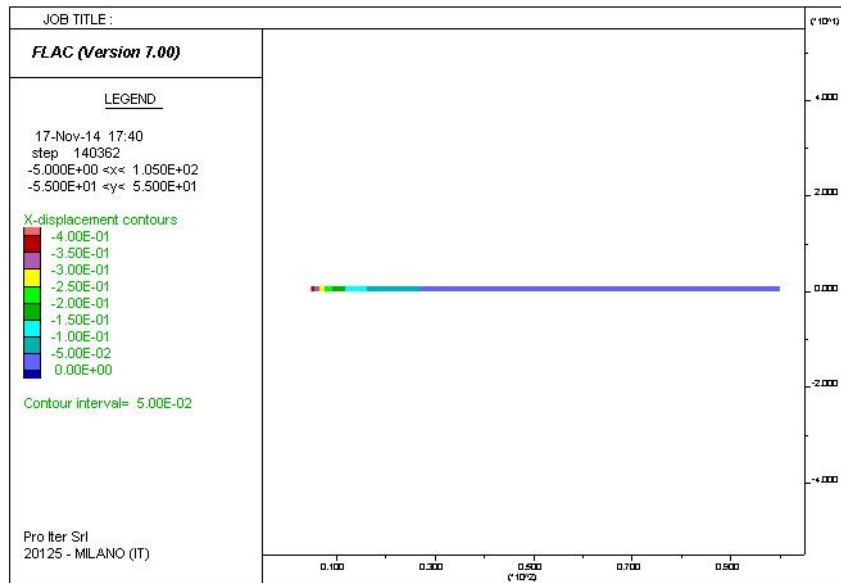


Abbildung 10: Horizontale Verschiebungen - Modell mit Konsolidierungen

Figura 10: Spostamenti in direzione orizzontale - Modello con consolidamenti

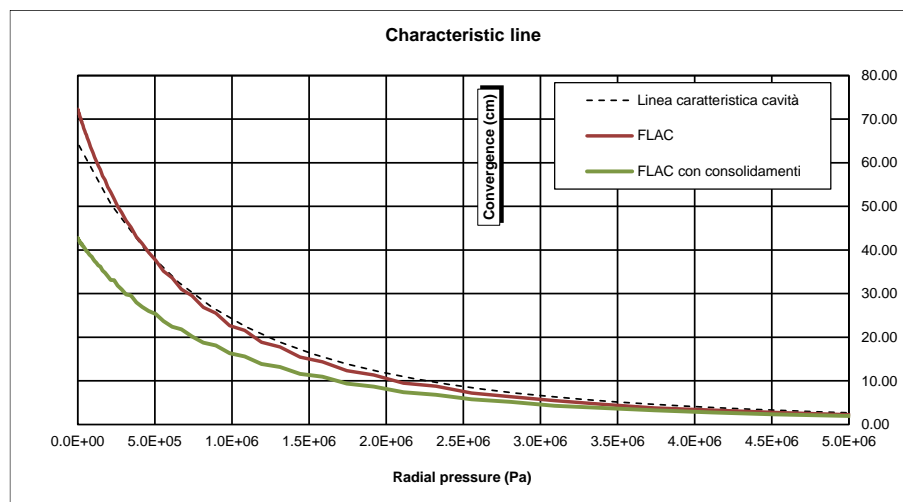


Abbildung 11: Radialdruck - Konvergenz Kurve

Figura 11: Curva Pressione radiale - Convergenza

Aus dem Vergleich der drei Kurven kann beobachtet werden, dass

- die aus der FLAC Analyse ohne Konsolidierungen entnommene Kurve bildet mit gute Näherung die theoretische Kurve nach.
- die geplanten Konsolidierungen reduzieren merklich bei nicht gestütztem Hohlraum die Konvergenzen; die Höchstkonvergenz reduziert sich von 70 cm auf 43 cm.

Dal confronto delle tre curve si può osservare che:

- La curva ricavata dall'analisi FLAC in assenza di consolidamenti riproduce con ottima approssimazione la curva teorica.
- I consolidamenti previsti sul contorno riducono sensibilmente le convergenze; a cavità non sostenuta, la convergenza massima si riduce da 70 cm a 43 cm.

#### 5.4.6 Bemessung der Außenschale

Die Außenschale wurde durch Überlappung der Außenschalenkennlinie auf die Hohlraumkennlinie bemessen.

In Anbetracht einer Schalenbemessung mit dem Kennlinienverfahren, wenn man mit  $k$  die elastische Schalensteifigkeit kennzeichnet, wird der elastische Teil der charakteristischen Schalenkurve mittels folgendem Verhältnis ermittelt:

$$P = k \cdot u$$

in dem:

- $P$  = auf die Schale wirkender Außendruck;
- $k$  = Schalensteifigkeit;
- $u$  = radiale Verformung oder Verschiebung am Hohlraumrand.

Wenn die Schale aus zwei unterschiedlichen Stützsystemen besteht (z.B. Spritzbeton und Lehrgerüste), empfiehlt die Literatur die Gesamtsteifigkeit des Systems als Summe der einzelnen Steifigkeiten jeder Komponente zu berechnen.

Daher wurden die Steifigkeiten der Schalenkomponente durch die Verwendung folgende Formeln (mit Annahme der kreisförmigen Spritzbetonschale). Für den Spritzbeton wurde dieses Verhältnis genutzt:

$$k_c = \frac{E_c \cdot (R_i^2 - (R_i - s_c)^2)}{(1 + \nu_c) \cdot R_i \cdot ((1 - 2\nu_c) \cdot R_i^2 + (R_i - s_c)^2)}$$

wobei:

- $E_c$  = Elastizitätsmodul des Betons;
- $\nu_c$  = Poisson-Modul des Betons;
- $R_i$  = Ausbruchradius;
- $s_c$  = Stärke des Spritzbetonrings;

hingegen wurde für die Lehrgerüste dieser Ausdruck genutzt:

$$\frac{1}{k_s} = \frac{S \cdot R_s^2}{E_s \cdot A_s}$$

bei dem:

- $k_s$  = Steifigkeit der Lehrgerüste;
- $R_s$  = entsprechender Radius des Lehrgerüsts;

#### 5.4.6 Dimensionamento dei rivestimenti di prima fase

Il rivestimento di prima fase è stato dimensionato sovrapponendo alla linea caratteristica della cavità, la linea caratteristica del rivestimento di prima fase.

Nell'ottica di un dimensionamento dei rivestimenti con il metodo delle linee caratteristiche, se si indica con  $k$  la rigidità elastica del rivestimento, la parte elastica della curva caratteristica del rivestimento è individuata dalla seguente relazione:

in cui:

- $P$  è la pressione esterna agente sul rivestimento;
- $k$  è la rigidità del rivestimento;
- $u$  è la deformazione o spostamento radiale al contorno della cavità.

Quando il rivestimento è costituito da due sistemi distinti di sostegno (ad esempio, calcestruzzo proiettato e centine), la letteratura suggerisce di calcolare la rigidità complessiva dell'intero sistema come somma delle singole rigidità di ciascun componente.

Si sono dunque calcolate le rigidità dei componenti del rivestimento, attraverso l'impiego delle seguenti formule (con l'ipotesi di forma circolare del rivestimento in calcestruzzo proiettato). Per il calcestruzzo proiettato si è utilizzata la relazione:

dove:

- $E_c$  è il modulo elastico del calcestruzzo;
- $\nu_c$  è il modulo di Poisson del calcestruzzo;
- $R_i$  è il raggio di scavo;
- $s_c$  è lo spessore dell'anello di calcestruzzo proiettato;

mentre per le centine si è utilizzata l'espressione:

nella quale:

- $k_s$  è la rigidità delle centine;
- $R_s$  è il raggio equivalente della centina;

- S = Zwischenabstand der Lehrgerüste;
- A<sub>s</sub> = Querschnittswiderstandsfläche des Lehrgerüsts;
- E<sub>s</sub> = Young-Modul des Lehrgerüsts.
- S è la spaziatura delle centine;
- A<sub>s</sub> è l'area della sezione resistente della centina;
- E<sub>s</sub> è il modulo di Young della centina.

Die von den zwei Strukturen angebotenen maximalen Confinementdrücke wurden mit folgenden Verhältnissen berechnet:

Le pressioni massime di confinamento offerte dalle due strutture sono state calcolate con le seguenti relazioni:

$$P_{sc\ max} = \frac{1}{2} \cdot f_{cd} \cdot \left( 1 - \frac{(R_i - s_c)^2}{R_i^2} \right)$$

$$P_{ss\ max} = \frac{f_{sd} \cdot A_s}{S \cdot R_s}$$

in dem:

- f<sub>cd</sub> = Planwiderstand des Spritzbetons;
- R<sub>i</sub> = entsprechender Ausbruchradius;
- s<sub>c</sub> = Schalenstärke;
- A<sub>s</sub> = Querschnittsfläche des Lehrgerüsts;
- f<sub>sd</sub> = Planwiderstand des Stahls;
- S = Längszwischenabstand der Lehrgerüste;
- R<sub>s</sub> = entsprechender Radius des Lehrgerüsts.

in cui:

- f<sub>cd</sub> resistenza di progetto del cls proiettato;
- R<sub>i</sub> raggio equivalente di scavo;
- s<sub>c</sub> spessore del rivestimento;
- A<sub>s</sub> area della sezione trasversale della centina;
- f<sub>sd</sub> resistenza di progetto dell'acciaio;
- S interasse longitudinale delle centine;
- R<sub>s</sub> è il raggio equivalente della centina.

Es wurde außerdem angenommen, dass dieses die kurzfristigen Widerstände seien:

Si è inoltre assunto che le resistenze a breve termine siano:

$$f_{cd} = 0.83 \cdot 0.8 \cdot \frac{R_{ck}}{1.5 \cdot 1.3}$$

$$f_{sd} = \frac{f_{yk}}{1.15 \cdot 1.3}$$

Den Widerständen wurde auch der Koeffizient 1.3 angewandt, um die Normkoeffizienten auf den Belastungen zu berücksichtigen, die hier nicht verstärkt wurden.

Alle resistenze è stata applicato anche il coefficiente 1.3 per tener in conto dei coefficienti di Normativa sulle sollecitazioni, qui non amplificate.

Nach der Steifigkeitsermittlung der zwei Komponente wurden in getrennter Weise die zwei erlaubten Höchstverformungen berechnet, als ob jeder Eingriff allein arbeiten würde:

Dopo aver individuato le rigidzze dei due componenti sono state calcolate, in maniera distinta, le due deformazioni massime consentite, come se ciascun intervento agisse da solo:

$$U_{max} = \frac{P_{max}}{k}$$

in dem:

- U<sub>max</sub> = Höchstkonvergenz;
- P<sub>max</sub> = maximaler auf der Schale wirkender Druckwert;
- K = Steifigkeit des einzelnen Schalenelements.

in cui:

- U<sub>max</sub> è la massima convergenza;
- P<sub>max</sub> il massimo valore di pressione agente sul rivestimento;



Zwischen den zwei Höchstkonvergenzen wurde die kleinere gewählt, weil, wenn sie zusammen wirken, die Stütze mit dem tieferen  $u_r$  Wert den von den zwei Schalen höchst aushaltbaren Druck ermittelt. So wurde der Höchstdruck, der auf die Gesamtschale wirken kann, berechnet (d.h. angesichts der Summe der zwei Steifigkeiten).

- $k$  è la rigidezza del singolo elemento del rivestimento.

Tra le due convergenze massime si è scelta la minore, perché il sostegno con il valore di  $u_r$  inferiore individua la massima pressione sostenibile dai due rivestimenti quando essi agiscono insieme. In tal modo è stata calcolata la massima pressione che può agire sul rivestimento complessivo (considerato, cioè, sommando le due rigidzze):

$$P_{max} = U_{max} \cdot (k_c + k_s)$$

Es wird allerdings beobachtet, dass die Struktursteifigkeiten, die durch Anwendung der oben beschriebenen Formeln entstehen (welche für geschlossene Kreisgeometrien gelten), extrem hoch sind, und nicht die "Verhaltensbeiwerte berücksichtigen, welche folgende Wirkungen erfassen:

- Kombinationsspiele zwischen Gebirge und Struktur;
- zeitversetzte Entwicklung der Spritzbetonwiderstände im Vergleich zur Anbringung mit folgende fortbestehende Erhöhung des Elastizitätsmoduls;
- Fehlen der sofortigen Schließung des Rings mit Gegengewölbe.

Aus diesem Grund wurde auch eine konventionelle Schalensteifigkeit bestimmt, in der Annahme, dass der Höchstdruck, welcher von der Schale ausgeht, bei einer Konvergenz von 1% des Ausbruchradius erreicht sein würde.

Folgende Tabelle zeigt die Berechnungen der oben genannten Größen, mit Schätzung einer Mindeststärke der Außenschale, Festigkeitsklasse C30/C37, von 25 cm, bewehrt mit 2 Lehrgerüste IPN180, Abstand 1.5 m.

$R_c$	$S_c$	$R_s$	$A_s$		$S$	$K_c$	$K_s$	$P_{sc max}$	$P_{ss max}$	$U_{max c}$	$U_{max s}$	$U_{max}$	$P_{max}$	$K_c + K_s$
[m]	[m]	[m]	[-]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[MPa/m]	[MPa/m]	[MPa]	[MPa]	[m]	[m]	[m]	[MPa]	[MPa/m]
4.70	0.25	4.70	2IPN180	0.00558	1.50	416.8	34.7	0.652	0.188	0.0016	0.005	0.0016	0.707	451.5

Tabelle 12: Charakteristika der Außenschale GL-T5

In Folge werden die Diagramme mit der Überlappung der Außenschalenkennlinie aufgezeigt.

Si osserva tuttavia che la rigidezza della struttura derivata dall'applicazione delle formule sopra esposte (valide per geometrie circolari chiuse) sono estremamente elevate e non tengono conto di "coefficienti di comportamento" che considerino gli effetti di:

- giochi di accoppiamento tra ammasso e struttura;
- sviluppo differito delle resistenze del calcestruzzo proiettato rispetto alla messa in opera e conseguente progressivo aumento nel tempo del modulo elastico;
- mancanza di chiusura immediata dell'anello con arco rovescio.

Per tale motivo è stata definita anche una rigidezza convenzionale del rivestimento ipotizzando che la pressione massima fornita da quest'ultimo venga raggiunta in corrispondenza di una convergenza pari all'1% del raggio di scavo.

La seguente tabella riporta il calcolo delle sopracitate grandezze considerando uno spessore minimo del rivestimento di prima fase C30/37 pari a 25 cm armato con 2 centine IPN180 a passo 1.5 m.

Tabella 12: Caratteristiche rivestimenti di prima fase GL-T5

Di seguito sono riportati i grafici con la sovrapposizione della linea caratteristica del rivestimento di prima fase.

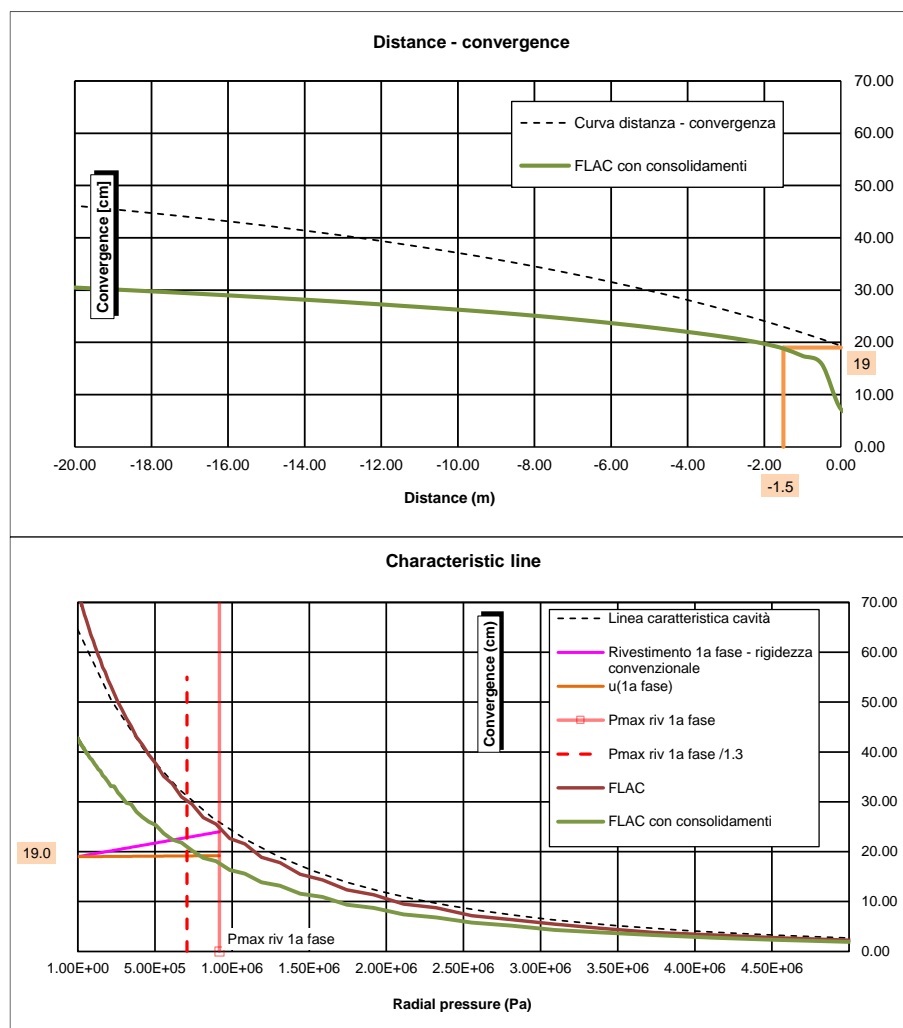


Abbildung 12: Überlappung Kennlinie des Hohraums und der Schale GL-T5

Figura 12: Sovrapposizione linea caratteristica della cavità e del rivestimento GL-T5

Aus der Ergebnisanalyse entnimmt man, dass:

- der Höchstdruck auf die Außenschale, angesichts der reellen Schalensteifigkeit und der Kennlinie des nicht gestützten Hohraums, würde, auch ohne Berücksichtigung des Koeffizienten auf Lasten 1.3, entschieden höher sein als der von der Schale selbst ertragbare Grenzdruck. ( $P_{Ed}=1150 \text{ kPa} \gg P_{Max}=920 \text{ kPa}$ ).
- Unter Berücksichtigung eines Beitrags der Konsolidierungen, reduziert sich die Last auf die Schale auf 800 kPa; dieser Werte liegt unter dem von der Schale ertragbaren Grenzlastwert, aber über dem von der Schale durch den Koeffizienten auf Lasten 1.3 multipliziertem ertragbaren Grenzlastwert.  
( $P_{Max/1.3} = 707 \text{ kPa} < P_{Ed}=800 \text{ kPa} < P_{Max}=920 \text{ kPa}$ ).
- Unter Berücksichtigung der "Verhaltensbeiwerte" zwischen Gebirge und Struktur, reduziert sich die Last weiter bis auf 600 kPa. Dieser Wert erlaubt sämtliche

Dall'analisi dei risultati si evince che:

- La pressione massima sul rivestimento di prima fase, considerando la rigidezza reale del rivestimento e la linea caratteristica della cavità non sostenuta sarebbe decisamente superiore alla pressione limite sopportabile dal rivestimento stesso, anche senza considerare il coefficiente sui carichi 1.3. ( $P_{Ed}=1150 \text{ kPa} \gg P_{Max}=920 \text{ kPa}$ ).
- Considerando il contributo dei consolidamenti, il carico sul rivestimento si riduce a 800 kPa, valore inferiore al carico limite sopportabile dal rivestimento ma superiore al valore del carico limite sopportabile dal rivestimento fattorizzato del coefficiente sui carichi 1.3  
( $P_{Max/1.3} = 707 \text{ kPa} < P_{Ed}=800 \text{ kPa} < P_{Max}=920 \text{ kPa}$ ).
- Considerando i "coefficienti di comportamento" tra ammasso e rivestimento, il carico si riduce ulteriormente, fino a 600 kPa. Tale valore consente

von den Bestimmungen auferlegten Koeffizienten einzuhalten. ( $P_{Ed}=600 \text{ kPa} < P_{Max/1.3} = 707 \text{ kPa}$ )

In Anbetracht der oben genannten Bemerkungen, ist die für den Ausbruchquerschnitt GL-T5 vorgesehene Schale im Stande die Hohlraumstabilität im FVM-S-PS Gebirge zu gewährleisten. Es wird außerdem beobachtet, dass die relative Konvergenz zwischen Ortsbrust und Außenschale der Extraaushubgröße (10 cm) entspricht.

Zu Validierung des hier benutzten Kennlinienverfahrens wurden die axialsymmetrischen Modelle mit Berücksichtigung der geomechanischen Parametern, welche zur Analyse der Ausbruchphasen des Querschnitts GL-T5 angewandt wurden und in Kapitel 5.2 für das Gebirge GA-BST-KS-8f, mit Überdeckungen von 1115 m, aufgezeigt sind, wiederholt.

Wie aus folgende Diagramme zu beobachten ist, trotzdem, dass die erwarteten Konvergenzen niedriger als die im Gebirge FVM-S-PS vorgesehenen sind, setzten die höheren mitwirkenden Überdeckungen einen gleich wertigen Belastungszustand auf die Schalen voraus.

Die Schalenbemessung des Ausbruchquerschnitts GL-T5, welcher unter Berücksichtigung der Eigenschaften des Gebirges GA-BST-KS-8f durchgeführt wurde, ist daher auch für das Gebirge FVM-S-PS, mit Überdeckungen bis zu 600 m, gültig.

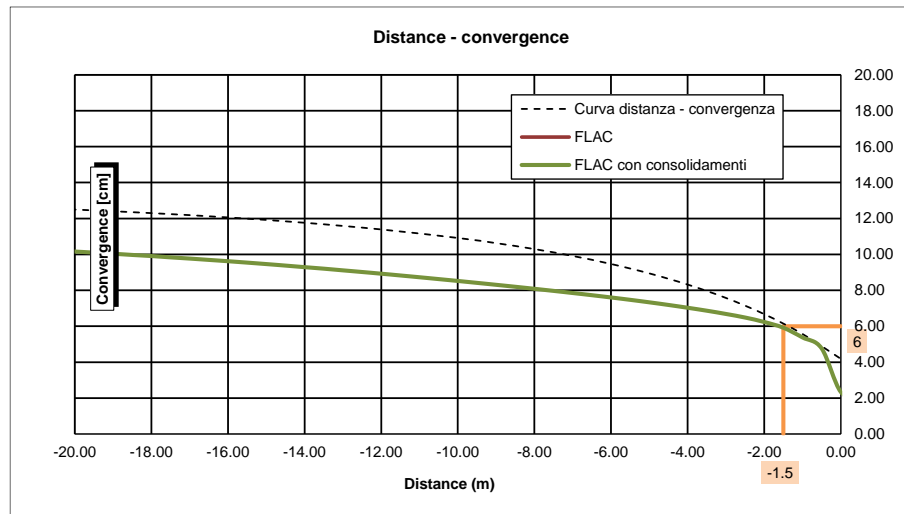
di rispettare tutti i coefficienti imposti dalla Normativa. ( $P_{Ed}=600 \text{ kPa} < P_{Max/1.3} = 707 \text{ kPa}$ )

Alla luce delle sopracitate considerazioni, il rivestimento previsto per la sezione GL-T5 è in grado di garantire la stabilità del cavo nell'ammasso FVM-S-PS. Si osserva inoltre che la convergenza relativa tra il fronte e l'installazione del rivestimento di prima fase è dell'ordine di grandezza dell'extrascavo (10 cm).

A validazione del metodo delle linee caratteristiche qui adottato, i modelli assialsimmetrici sono stati ripetuti considerando i parametri geomeccanici adottati per l'analisi delle fasi di scavo della sezione GL-T5, riportate al paragrafo 5.2. per l'ammasso GA-BST-KS-8f con coperture di 1115 m.

Come si può osservare dai seguenti grafici, nonostante le convergenze attese siano minori di quelle previste nell'ammasso FVM-S-PS, le maggiori coperture in gioco comportano uno stato di sollecitazione sui rivestimenti dello stesso ordine di grandezza.

Il dimensionamento dei rivestimenti della sezione GL-T5 condotta considerando le caratteristiche dell'ammasso GA-BST-KS-8f è da ritenersi pertanto valida anche nell'ammasso FVM-S-PS con coperture fino a 600 m.



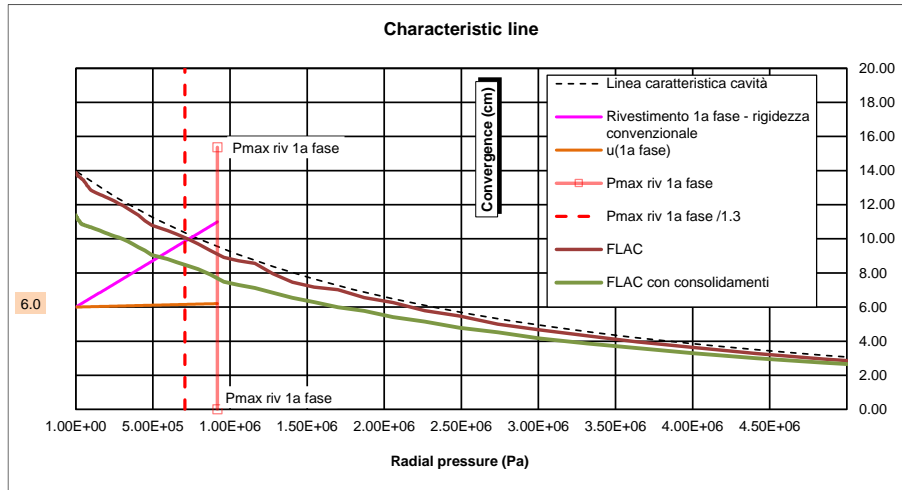


Abbildung 13: Überlappung der Kennlinie des Hohlraums und der Schale GL-T5 im Gebirge GA-BST-KS-8f (H=1115 m)

Figura 13: Sovrapposizione linea caratteristica della cavità e del rivestimento GL-T5 nell'ammasso GA-BST-KS-8f (H=1115m)

## 6 INNENSCHALE

### 6.1 STABWERKSMODELLE

Die Beanspruchungen der Innenschale sind mit dem Berechnungsprogramm MIDAS Gen2013, welches auf die Finite-Elementen-Methode (FEM) stützt, berechnet worden.

Für die Berechnung wird ein Tunnelquader mit einheitliche Tiefe (1m) berücksichtigt und es wird, mittels ebenen Finite-Elemente des Typs Träger (beam), ein Strukturmodell festgelegt. Die Tunnelschale ist durch Elemente mit einer Länge unter 0.5 m schematisiert, welche die reellen Stärken des erfassten strukturellen Elements erweisen (Kappe, Widerlager, Gegenbogen/Grundplatte).

Die strukturelle Steifigkeit der Trägerelemente wird mit  $E'_c \times I_y$  des nicht gerissenen Querschnitts berechnet. Das Trägheitsmoment  $I_y$  wird angesichts der Ausbruchquerschnittachse aus Beton berechnet, indem das Vorkommen des Stahls, wo dieser vorhanden ist, übergangen wird. Das elastische Modul  $E'_c$  bei ebene Verformungslage ist:

$$E'_c = \frac{E_c}{1 - \nu^2}$$

wobei:

- $E_c$  = Modul der Betonelastizität;
- $\nu$  = Poisson Verhältnis (0.2);

Zur Berechnung des unbewehrten Betons wird ein formendes Modell des elastisch-linearen Materials verwendet. Infolge des Verlusts an Querschnittssteifigkeit, welche durch die Öffnung von Spalten verursacht ist, dort wo die Betonzugfestigkeit überwunden wird (Ausformung von plastischen Scharnieren), wird, laut Kapitel 12.5 des EC2, die Neuverteilung der Belastungen berechnet. Die Modellierung der plastischen Scharniere erfolgt durch den Einsatz von Torsionsfedern dessen Steifigkeit mit der Pöttler-Methode [31][32] iterativ berechnet wird.

### 6.2 MODELLIERUNG DER BETTUNG

Die Zusammenwirkung Boden-Struktur wird mittels Einsatz von Point Support Elementen simuliert, die in Höhe der Modellknoten gesetzt werden. Diese Elemente übertragen, nur bei Komprimierung, den Knoten eine Reaktion die dem Annäherungsdruck Boden-Struktur entspricht. Die Steifigkeit der zitierten Elemente wird angesichts des Reaktionsmoduls des Bodens  $k$  und der Schnittstelle, welche sich aus dem Paket Abdichtung-Dränageschicht ergibt, bestimmt. Die erste wird gemäß den später beschriebenen Verhältnissen (Kapitel 6.2.1 und 6.2.2) bestimmt, respektive für gekrümmte und gradlinige Oberflächen. Die zweite ist, den Eigenschaften der Abdichtungszone zufolge, mit  $60'000 \text{ kN/m}^3$  angenommen worden. Letztere hat eine Verschiebungswertigkeit unter 0.5cm.

## 6 RIVESTIMENTO DEFINITIVO

### 6.1 METODO DELLE REAZIONI IPERSTATICHE

Le sollecitazioni nel rivestimento definitivo sono state calcolate mediante il programma di calcolo MIDAS Gen2013, basato sul Metodo degli Elementi Finiti (FEM).

Per il calcolo si considera un concio di galleria con profondità unitaria (1m) e si definisce un modello della struttura mediante elementi finiti piani di tipo trave (beam). Il rivestimento della galleria è schematizzato con elementi di lunghezza inferiore a 0.5 m aventi gli spessori reali dell'elemento strutturale considerato (calotta, piedritto, arco rovescio/platea).

La rigidezza strutturale degli elementi trave è calcolata come  $E'_c \times I_y$  della sezione non fessurata. Il momento d'inerzia  $I_y$  è calcolato rispetto all'asse della sezione in calcestruzzo, trascurando la presenza dell'acciaio ove presente. Il modulo elastico  $E'_c$ , in condizioni di deformazioni piane, vale:

dove:

- $E_c$  = modulo di elasticità del calcestruzzo;
- $\nu$  = rapporto di Poisson (0.2);

Per la modellazione del calcestruzzo non armato si utilizza un modello costitutivo del materiale elastico-lineare. Viene presa in considerazione la ridistribuzione delle sollecitazioni in seguito alla perdita di rigidezza sezionale causata dall'apertura di fessure laddove venga superata la resistenza a trazione del calcestruzzo (formazione di cerniere plastiche), in accordo con il paragrafo 12.5 dell'EC2. La modellazione delle cerniere plastiche avviene mediante l'inserimento di molle torsionali la cui rigidezza è calcolata iterativamente mediante il metodo di Pöttler [31][32].

### 6.2 INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA

L'interazione terreno-struttura viene simulata mediante l'utilizzo di elementi point support posti in corrispondenza dei nodi del modello. Tali elementi trasmettono ai nodi, solo se compressi, una reazione pari alla pressione di contatto terreno-struttura. La rigidezza degli elementi citati è determinata tenendo conto del modulo di reazione del terreno  $k$  e dell'interfaccia data dal pacchetto impermeabilizzazione-strato drenante. La prima è definita secondo le relazioni di seguito descritte (paragrafo 6.2.1 e 6.2.2), rispettivamente per superfici curve e rettilinee. La seconda è stata assunta pari a  $60'000 \text{ kN/m}^3$  in virtù delle caratteristiche del pacchetto d'impermeabilizzazione. Quest'ultima ha valenza per

Wenn diese Verschiebungen überwunden sind, wird die Schnittstellensteifigkeit die des Gebirges.

Die tangentielle Steifigkeit, aufgrund des Vorkommens des Abdichtungsmantels an der Schnittstelle Boden-Struktur, wurde übergangen.

spostamenti inferiori a 0.5 cm. Superati tali spostamenti, la rigidezza dell'interfaccia diventa quella dell'ammasso.

La rigidezza tangenziale è stata trascurata in virtù della presenza del manto di impermeabilizzazione nell'interfaccia terreno-struttura.

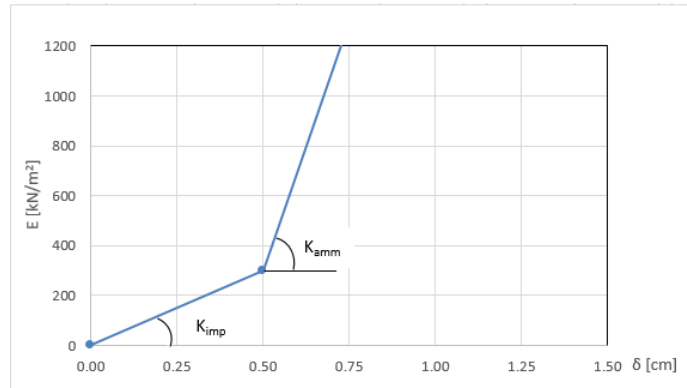


Abbildung 14: Schematisierung der Schnittstelle

Figura 14: Schematizzazione dell'interfaccia

### 6.2.1 Modellierung der Bettung

Zur Bestimmung der radialen Bettung der Innenschale im Gebirge/Boden wird das Elastizitätsmodul E, der Poisson Koeffizient  $\nu$  des Gebirges, sowie der entsprechende Innenschalenradius R des Tunnels berücksichtigt:

$$K_R = E \times \frac{(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu) \times R} = \frac{E_s}{R}$$

Hierbei ist:

- $K_R$  = Steifigkeit radiale Bettung Innenschale – Gebirge [MN/m³]
- E = Elastizitätsmodul des Gebirges
- $E_s$  = Steifemodul des Gebirges
- $\nu$  = Querdehnzahl des Gebirges
- R = Tunnelradius - Systemlinie

### 6.2.2 Federkonstanten Auflagerbereich/Sohle

Die Stütze der Konstruktion mit Sohlplatte bzw. offener Sohle wird durch Federn mit zugehöriger Steifigkeit abhängig von der Einflussbreite „b“ der einzelnen Feder modelliert. Die Federkonstanten werden wie folgt berechnet:

Federkonstante  $c_v$  – vertikal

- $c_v = E_{Geb.} \cdot 0,5 \cdot b$

Federkonstante  $c_h$  – horizontal

- $c_h = 0,5 \cdot c_v$

### 6.2.1 Rigidezza radiale

Per la definizione della rigidezza del letto di molle radiali in materiale sciolto, si tiene conto del modulo elastico E, del coefficiente di Poisson  $\nu$  dell'ammasso roccioso e del raggio interno R della galleria.

Dove:

- $K_R$  = rigidezza del letto di molle radiali a contatto con l'anello interno [MN/m³]
- E = modulo elastico dell'ammasso roccioso
- $E_s$  = modulo edometrico dell'ammasso roccioso
- $\nu$  = coeff. di Poisson dell'ammasso roccioso
- R = raggio della galleria – linea di riferimento

### 6.2.2 Costante della molla nelle zone di appoggio / fondo

L'appoggio della costruzione con platea oppure con fondo aperto viene modellato con molla con rigidezza relativa all'area di influenza della singola molla "b". La costante della molla si calcola come segue:

Costante della molla  $c_v$  – verticale

- $c_v = E_{Geb.} \cdot 0,5 \cdot b$

Costante della molla  $c_h$  – orizzontale

- $c_h = 0,5 \cdot c_v$

### 6.3 LASTENANALYSE

Folgende Kürzel werden für die Einwirkungen benutzt:

- G = ständige Einwirkungen
- Q = vorübergehende Einwirkungen
- A = außergewöhnliche Einwirkungen (z.B. Brand, Anprall, Explosion)
- E = Erdbeben

#### 6.3.1 Eigengewicht G1

Das für die Berechnung des Eigengewichts verwendete Volumen basiert auf den Planmaßen der Konstruktion.

Das spezifische Eigengewicht des Stahlbetons ist mit  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$  angenommen.

#### 6.3.2 Oberleitung G2

Die Oberleitungslasten werden, laut Abbildung, aus Sicherheitsgründen auf eine maximale Spannweite von 50 m angesetzt. Aus diesen Lasten ergeben sich die am Aufhängepunkt anzusetzenden Lasten:

- Moment von 3,80 kNm
- Horizontallast von 0,70 kN
- Vertikallast von 2,50 kN

### 6.3 ANALISI DEI CARICHI

Per le azioni si utilizzano le seguenti abbreviazioni:

- G = Azioni permanenti
- Q = Azioni variabili
- A = Azioni eccezionali (per es. incendio, urto, esplosione)
- E = Azioni sismiche

#### 6.3.1 Peso proprio G1

Il volume utilizzato per il calcolo del peso proprio si basa sulle dimensioni effettive della struttura.

Il peso specifico del calcestruzzo viene assunto pari  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ .

#### 6.3.2 Catenaria G2

Le catenarie vengono applicate per sicurezza su una distanza massima di 50 m, come nella Illustrazione. Da questi carichi derivano quelli da applicare al punto di sospensione:

- Momento di 3,80 kNm
- Carico orizzontale di 0,70 kN
- Carico verticale di 2,50 kN

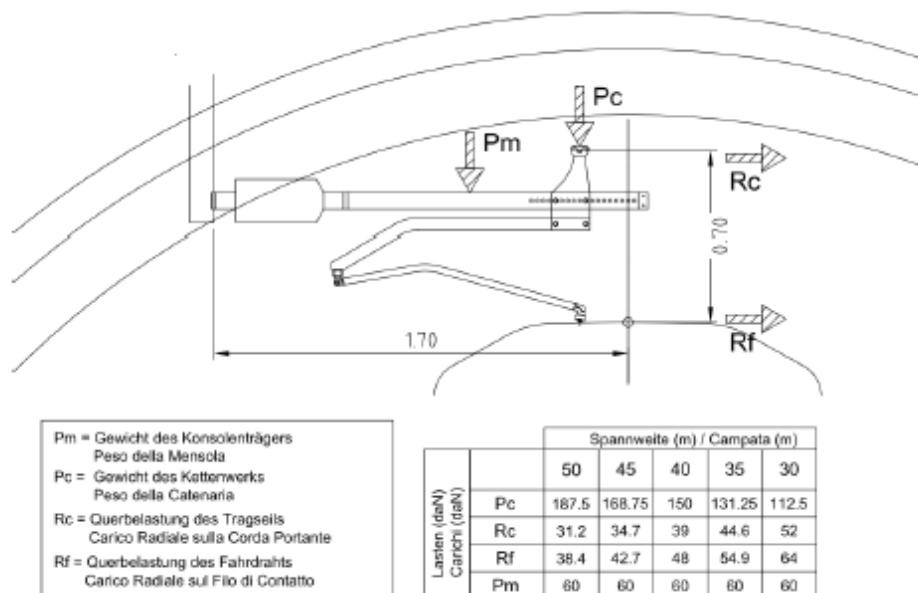


Abbildung 15: Lasten der Oberleitung

Figura 15: Carichi della catenaria

#### 6.3.3 Betonauffüllung über dem Sohlgewölbe G3

Das für die Berechnung des Eigengewichts verwendete Volumen basiert auf den Planmaßen der Konstruktion.

#### 6.3.3 Riempimento in cls al di sopra dell'arco rovescio G3

Il volume utilizzato per il calcolo del peso proprio si basa sulle dimensioni effettive della struttura.

Das spezifische Gewicht des unbewehrten Betons wird mit  $\gamma_{c,na} = 24 \text{ kN/m}^3$  angenommen.

Das spezifische Gewicht des Stahlbetons wird mit  $\gamma_{c,ar} = 25 \text{ kN/m}^3$  angenommen.

Im behandelten Ausbruchquerschnitt ist keine Betonauffüllung vorhanden.

#### 6.3.4 Wasserdruck G4

Für drainierte Tunnels (druckentlastet) wird der Wasserdruck, bei Regelquerschnitten mit Sohlgewölbe, nur vom Ende unter dem Sohlgewölbe bis auf Höhe der Ulmenlängsdrainage berücksichtigt. Die Wasserlasten werden laut folgendes Schema angesetzt:

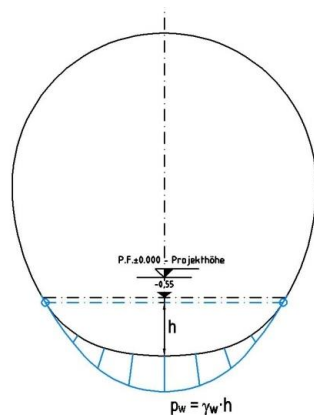


Abbildung 16: Hydrostatischer Druck – drainierter Regelquerschnitt

#### 6.3.5 Gebirgslast G5

Die Gebirgslast die auf die Innenschale der Klassen IV und V wirkt ergibt sich aus den Berechnungen die mit der Analyse der Finite-Differenzen ausgeführt wurden.

Die Gebirgslast der Klassen IV und V zeigt einen konstanten Verlauf mit linearer Druckreduzierung die unter dem Sohlgewölbe auf Null tendiert.

Beide Lasten wurden vom kompletten Verfall der fiktiven Aushubkräfte ausgehend berechnet (letzte Stufe der FDM Analyse).

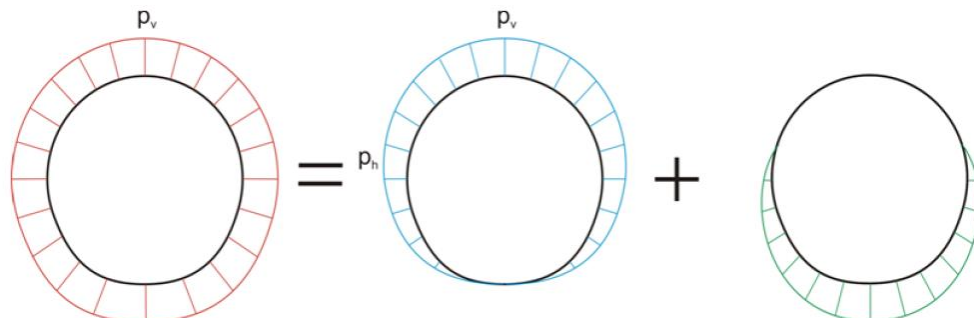


Abbildung 17: Qualitative Darstellung der numerisch ermittelten Normalspannungen (rot), der aktiven Gebirgslast (blau) und der Bettungsreaktion des Bodens (grün)

Il peso specifico del calcestruzzo non armato viene assunto pari a  $\gamma_{c,na} = 24 \text{ kN/m}^3$ .

Il peso specifico del calcestruzzo armato viene assunto pari a  $\gamma_{c,ar} = 25 \text{ kN/m}^3$

#### 6.3.4 Pressione idraulica G4

Per il caso di galleria drenata (senza pressione) nelle sezioni tipi con arco rovescio, il carico idraulico viene considerato solo dal vertice inferiore al di sotto dell'arco rovescio fino all'altezza del drenaggio sul piedritto. Il carico idraulico viene applicato secondo il seguente schema:

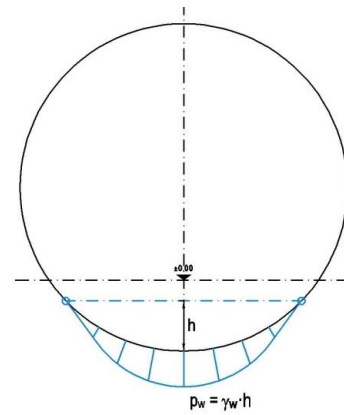


Figura 16: Pressione idrostatica - Sezione tipo drenata

#### 6.3.5 Carico dell'ammasso G5

Il carico d'ammasso che agisce sul rivestimento definitivo per le classi di scavo IV e V deriva da calcoli svolti mediante analisi alle differenze finite.

Il carico dell'ammasso per le classi di scavo IV e V presenta un andamento costante con riduzione lineare della pressione che al disotto dell'arco rovescio tende a zero.

Entrambi i carichi sono calcolati a partire dal completo decadimento delle forze fittizie di scavo (ultimo step delle analisi FDM).



### 6.3.6 Kriechen und Schwinden des Betons G6

Das Schwindmaß des Betons wird gemäß NTC 2008 Kap. 11.2.10.6 ermittelt.

Die Kriechzahl  $\phi$  wird gemäß NTC 2008 Kap. 11.2.10.7 ermittelt.

Die Kriechzahl  $\phi$  wird gemäß dem NTC 2008 Kap. 11.2.10.7 unter Berücksichtigung des Spannungszustandes aus einer Einwirkungskombination ständiger Lasten (G1 (Eigengewicht) + G2 (Oberleitung)) ermittelt.

Kriechen und Schwinden des Betons bewirkt eine Längenänderung  $\Delta l$ . Diese Längenänderung (Endschwindmaß) liegt, in Form einer gleichmäßigen Temperaturabkühlung, der Rechnung zu Grunde.

Für alle Querschnitte die höher als 25 cm und aus Beton der Festigkeitsklasse C30/37 sind, ergibt sich eine Durchschnittsverformung per autogenes zeitlich unendliches Schwinden von 0.27%. Bei der Dimensionierung wurde das von der Norm vorgeschriebene 50% des Schwindens übernommen, was durch eine gleichmäßige Temperaturabkühlung von -13.4 °C simulierbar ist. Diese Abkühlung muss, z.B., mittels Einsatz eines funktionstüchtigen Superverflüssigungsmittels (Typ MasterGlenium von BASF), nicht-kalkhaltigen Zuschlagstoffen und Zugabe eines Expansionsmittels (Typ MasterLife SRA100 von BASF) bewirkt werden. Das angewendete System muss auf der Baustelle zuvor mit Proben geprüft werden.

Bei der Modellierung der Innenschale, insbesondere bezüglich NTC08 Kapitel 4.1.1.1, verfährt man mit einer gleichmäßigen Temperaturabkühlung von -6.7° C an den GZT und von -8.9°C an den GZG.

### 6.3.7 Quetschen und Quellen G7

Schwellungstests auf Gesteinsproben der Probebohrung Vi-B-0/01 haben Schwellungsdrucke der Größenordnung von 0.1 und 0.3 MPa hervorgehoben. Vorsichtshalber wird ein von unten agierender Druck von 0.3 MPa berücksichtigt.

Obgleich das Vorkommen von tonhaltigen anschwellenden Mineralien in mäßigem Maße vorgesehen ist, wurden sowohl die Belastungen, welche auf den Ring im Falle von Schwellung agieren, als auch das Phänomen der fehlenden Belastungen bei der Innenschalenbemessung nicht getrennt analysiert. Diese Wahl, im Gegensatz zu anderen analysierten Regelquerschnitten, ergibt sich aus dem Grund, dass die Schwellung nicht auf den Einfall der notwendigen Querschnittsbewehrung bzgl. der strukturellen Sicherheit Einfluss hat.

### 6.3.6 Viscosità e ritiro del calcestruzzo G6

La deformazione dovuta al ritiro del calcestruzzo si calcola in base al paragrafo 11.2.10.6 delle NTC 2008.

Il valore di viscosità  $\phi$  si calcola secondo le NTC 2008, capitolo 11.2.10.7.

Il coefficiente di viscosità  $\phi$  si calcola ai sensi delle NTC 2008 par. 11.2.10.7, considerando la condizione tensionale derivante dalla combinazione di azioni permanenti (G1 (peso proprio) + G2 (catenaria)).

Viscosità e ritiro del calcestruzzo comportano un cambiamento in lunghezza  $\Delta l$  (valore finale del ritiro), su cui deve essere basato il calcolo, in forma di diminuzione uniforme della temperatura.

Per tutte le sezioni con altezza maggiore di 25 cm e calcestruzzo con classe di resistenza C30/37 risulta una deformazione media per ritiro autogeno a tempo infinito pari a 0.27%. Nel dimensionamento si è assunto il 50% del ritiro imposto dalla Normativa, simulabile mediante l'applicazione di un abbassamento uniforme della temperatura di -13.4 °C. Tale riduzione dovrà essere ottenuta, ad esempio, mediante l'utilizzo di un superfluidificante performante (tipo MasterGlenium della BASF), di inerti non calcarei e tramite l'aggiunta di un espansivo (tipo MasterLife SRA100 della BASF). Il sistema adottato dovrà essere verificato con prove preventive in cantiere.

Nella modellazione del rivestimento definitivo, con particolare riferimento al paragrafo 4.1.1.1 dell'NTC08, si procede applicando un abbassamento uniforme della temperatura di -6.7° C agli SLU e di -8.9°C agli SLE.

### 6.3.7 Squeezinq e swelling G7

Prove di rigonfiamento su campioni di roccia del sondaggio Vi-B-0/01 hanno rilevato pressioni di rigonfiamento nell'ordine di grandezza tra 0.1 e 0.3 MPa. In via cautelativa si considera una pressione agente dal basso pari a 0.3 MPa.

Nonostante la presenza di minerali argillosi rigonfiabili sia prevista in percentuali moderate, nel dimensionamento dei rivestimenti definitivi non si è proceduto analizzando separatamente sia le sollecitazioni agenti sull'anello nel caso in cui il rigonfiamento è presente sia quando tale fenomeno è assente. Tale scelta, contrariamente ad altre sezioni tipo analizzate, è dettata dal fatto che il carico da rigonfiamento non influisce sull'incidenza di armatura sezionale necessaria ai fini della sicurezza strutturale.

### 6.3.8 Temperatur Q1

Die Dimensionierung der Innenschalen erfolgt, laut folgende Tabelle, unter Berücksichtigung der Temperatureinwirkungen entsprechend dem Abstand zum Portal.

Abstand Portal / Distanza dall'imbocco [km]	3,0 - 10,0	
Temperaturgradient / gradiente della temperatura $\Delta T$ / [°C]	2	
$\Delta T_{\text{eff}}$ [°C]	Winter / Inverno	Sommer / Estate
	-10	10

Tabelle 13: Temperatureinwirkung

Der Temperaturgradient  $\Delta T$  zeigt die Temperaturdifferenz zwischen der Innen- und Außenfläche der Tübbingschale.

Temperaturbeanspruchungen während des Innenschalenbaus werden übergangen.

Die Wirkungen, die durch die hohen Temperaturen erzeugt werden infolge eines Brands, sind Gegenstand des Kapitels 6.3.12.

### 6.3.9 Erdbebeneinwirkung E1

Im Gegensatz zu den anderen Lastkombinationen stellt die Erdbebenlast ein wenig beeinflussenden Zustand da und wird deshalb nicht berücksichtigt

### 6.3.10 Aerodynamischer Druck A1

Die Verdichtungs- und Druckentlastungsvorgänge in Folge der Zugsdurchfahrt sind in Dokument D0118-064 „Aerodynamik – Klima – Lüftung“ festgelegt. Dem Dokument kann man entnehmen, dass im Extremfall (außergewöhnliche Einwirkung) im Tunnel aerodynamische Einwirkungen von  $\Delta p_{\text{Druck}} = + 11 \text{ kN/m}^2$  und  $\Delta p_{\text{Sog}} = - 9 \text{ kN/m}^2$  vorkommen. Da diese Einwirkungen, auch angesichts der entsprechend angepassten Teilsicherheitsfaktoren, die maßgebende Einwirkung darstellen, werden die aerodynamischen Einwirkungen nur in Kombination mit den Einwirkungen bei außergewöhnlicher Bemessungssituation erfasst.

### 6.3.11 Aufprall A2

Die Last des Aufpralls wird nur in den Verzweigungskavernen und den Portalen berücksichtigt. Im vorliegenden Bereich wird sie daher nicht berücksichtigt.

### 6.3.12 Brand A3

Die Dimensionierung im Brandfall wird gemäß den Vorschriften der EN 1992-1-2 ausgeführt.

Gemäß den Vorschriften des MD 28/10/2005 Sicherheit in den Eisenbahntunnels, wird die Stabilität aller Bauwerke in Hinblick

### 6.3.8 Temperatura Q1

Per il dimensionamento dei rivestimenti definitivi si considerano azioni termiche, in conformità alla seguente tabella, secondo la distanza dall'imbocco.

Tabella 13: Variazione termica

Il gradiente della temperatura  $\Delta T$  indica la differenza di temperatura tra le superfici interna ed esterna del rivestimento in conci.

Le sollecitazioni derivanti dalla temperatura durante la costruzione dell'anello vengono trascurate.

Le azioni derivanti dalle alte temperatura a seguito di incendio sono oggetto del paragrafo 6.3.12.

### 6.3.9 Azione sismica E1

Il carico sismico rappresenta una condizione poco influente rispetto alle altre combinazioni di carico e pertanto non viene considerata.

### 6.3.10 Pressione aerodinamica A1

I processi di carico e scarico tensionale a seguito del passaggio dei treni sono definiti nel documento D0118-064 „Aerodinamica – clima – ventilazione“. Dal documento si deduce che in casi estremi (azioni eccezionali) si presentano in galleria azioni aerodinamiche di  $\Delta p_{\text{pressione}} = + 11 \text{ kN/m}^2$  e  $\Delta p_{\text{aspirazione}} = - 9 \text{ kN/m}^2$ . Poiché si tratta di azioni rilevanti, anche in considerazione dei relativi coefficienti parziali di sicurezza adottati, le azioni aerodinamiche si considerano solo associate in combinazione con le azioni derivanti dalla situazione di dimensionamento eccezionale.

### 6.3.11 Urto A2

Il carico da urto è da considerare solo nelle caverne di diramazione e ai portali. Nella zona in oggetto non è pertanto considerato.

### 6.3.12 Incendio A3

Il dimensionamento in caso di incendio si esegue in conformità alle prescrizioni della EN 1992-1-2.

In accordo con le prescrizioni del DM 28/10/2005 Sicurezza gallerie ferroviarie viene garantita la stabilità di tutte le opere

auf der Temperatur-Zeit Kurve laut UNI 11076 gemäß D0118-04326 "Sicherheit gegen die Brandexplosionen" gewährleistet.

Hier begrenzt man sich mit der Beobachtung, dass, einvernehmlich mit Tabelle D.6.3 des M.D. 16.02.2007 "Klassifizierung der Feuerbeständigkeit der Bauprodukte und -elemente für Bauwerke", ausreichende Bedingungen zur Gewährleistung der REI 120 Klasse sind:

- Stärke 's' der Strukturelemente über 160 mm;
- Betondeckung 'a' (Achsenabstand der Bewehrung von der ausgesetzten Oberfläche) über 35 mm.

Beide Voraussetzungen sind zufriedenstellend.

#### 6.4 EINWIRKUNGSKOMBINATIONEN

Die zu untersuchenden Einwirkungskombinationen müssen gemäß NTC 2008 mit den entsprechenden Kombinationsbeiwerten  $\psi$  berücksichtigt werden.

Die maßgebenden Einwirkungskombinationen für die Dimensionierung der Innenschale sind nachfolgend aufgezeigt (Tabelle 14):

Lastfall / Caso di carico Einwirkungskombination / Combinazioni	ständig / permanenti							vorübergehend / variabili			außergewöhnlich / eccezionali		
	Eigengewicht Peso proprio	Oberleitung Catenaria	Sohlbeton Carichi permanenti sull'arco rovescio	Wasserdruck Carico idraulico	Gebirgslast ohne Auftrieb Carichi della roccia in condizioni asciutte	Kriechen und Schwinden Ritiro e rilassamento	Quell-druck Swelling-Squeezeing	Temperatur (Sommer) Temperatura (Estate)	Temperatur (Winter) Temperatura (inverno)	Verkehrslast (Zugfahrt) Carico ferroviario	Brand Fuoco	Druck infolge Zugfahrt Carico aereodinamico (pressione)	Sog infolge Zugfahrt Carico aereodinamico (aspirazione)
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	Q1	Q1	Q2	A3	A1	A1
druckentlastet / sistema drenato	1	1.35						1.50					
		1.00						1.00					
	2	1.35					1.00		1.50				
		1.00					1.00		1.00				
	3	1.35	1.35	1.00					1.50				
		1.00	1.00	1.00					1.00				
	4	1.35	1.35	1.00			1.00		1.50				
		1.00	1.00	1.00			1.00		1.00				
	5	1.35	1.35	1.00	1.35	1.35			1.50				
		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			1.00				
	6	1.35	1.35	1.00	1.35	1.35	1.00		1.50				
		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		1.00				
	7	1.35	1.35	1.00	1.35	1.35		1.35	1.50				
		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		1.00	1.00				
	8	1.35	1.35	1.00	1.35	1.35	1.00	1.35	1.50				
		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
	9	1.35	1.35	1.00				1.35	1.50				
		1.00	1.00	1.00				1.00	1.00				
	10	1.35	1.35	1.00			1.00	1.35	1.50				
		1.00	1.00	1.00			1.00	1.00	1.00				
	11	1.00	1.00	1.00					0.60			1.00	
	12	1.00	1.00	1.00			1.00		0.60				1.00
	21	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			0.60			1.00	
	22	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00					1.00	
23	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		1.00	0.60			1.00		
24	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				1.00		

Tabelle 14: Einwirkungskombinationen Innenschale

in considerazione della curva temperatura-tempo secondo la UNI 11076 in conformità a D0118-04326 "Sicurezza contro le esplosioni di incendio".

In questa sede ci si limita ad osservare che in accordo alla tabella D.6.3 del D.M. 16.02.2007 "Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione" condizioni sufficienti affinché la classe di resistenza REI 120 sia garantita sono:

- spessore 's' degli elementi strutturali maggiore di 160 mm;
- copriferro 'a' (distanza dell'asse delle armature dalla superficie esposta) maggiore di 35 mm.

Entrambi i requisiti sono soddisfatti.

#### 6.4 COMBINAZIONE DI CARICO

Le combinazioni delle azioni da analizzare devono essere considerate in conformità alle NTC 2008, con i relativi coefficienti di combinazione  $\psi$ .

Le combinazioni delle azioni rilevanti per il dimensionamento dell'anello interno sono di seguito riportate nella Tabella 14:

Tabella 14: Combinazioni di carico

#### 6.5 NACHWEISE

Für den Nachweis des Grenzzustandes und der Grenzgebrauchstauglichkeit der Innenschale wurden die Wirkungskombinationen gemäß Vorgaben des NTC2008, Abs. 2.5.3 berücksichtigt.

#### 6.5 VERIFICHE

Per la verifica allo stato limite ultimo ed allo stato limite di esercizio dell'anello interno sono state considerate le combinazioni delle azioni in conformità delle prescrizioni del paragrafo 2.5.3 delle NTC2008.

### 6.5.1 Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)

#### 6.5.1.1 Teilsicherheitsfaktoren Einwirkungen

Die zu berücksichtigenden Teilsicherheitsfaktoren variieren abhängig von Kombinationen und Art der Einwirkungen. Gemäß NTC2008 werden folgende Teilsicherheitsfaktoren für ständige, vorübergehende und außergewöhnliche Bemessungssituationen berücksichtigt:

$$\begin{aligned} \gamma_{Gj,inf} \text{ günstig/favorevole} &= 1,00 / 1,00 / 1,00 \\ \gamma_{Gj,sup} \text{ ungünstig/sfavorevole} &= 1,35 / 1,20 / 1,00 \\ \gamma_{Q,1,sup} / \gamma_{Q,i,sup} \text{ günstig/favorevole} &= 0,00 / 0,00 / 0,00 \\ \gamma_{Q,1,sup} / \gamma_{Q,i,sup} \text{ ungünstig/sfavorevole} &= 1,50 / 1,30 / 1,00 \end{aligned}$$

Angesichts der Einwirkungen aus dem Schwinden für die Überprüfung im Grenzzustand der Tragfähigkeit, wurde gemäß EC2, Teil 1, Kap. 2.4.2.1, der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{SH} = 1,0$  berücksichtigt.

#### 6.5.1.2 Kombinationsbeiwerte Einwirkungen

Gemäß EN 1990 bzw. NTC2008 müssen folgende Kombinationsbeiwerte benutzt werden:

Einwirkung /	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Druck / Sog infolge Zugfahrt A1 / Pressione aerodinamica A1	0,8	0,5	0,0
Temperatur Q1 / Forze termiche Q1	0,6	0,6	0,5

Tabelle 15: Kombinationsbeiwerte

#### 6.5.1.3 Einwirkungskombinationen

Die zu untersuchenden Einwirkungskombinationen müssen gemäß NTC 2008 mit den entsprechenden Kombinationsbeiwerten  $\psi$  zu berücksichtigt werden.

Die für die Dimensionierung der Innenschale entsprechenden maßgebenden Einwirkungskombinationen sind abhängig von den in-situ vorherrschenden Randbedingungen auszuwählen.

#### 6.5.1.4 Teilsicherheitsfaktoren der Widerstände

Die Teilsicherheitsfaktoren der Widerstände bei einer ständigen und vorübergehenden Bemessungssituation werden, wie mit BBT SE vereinbart, wie folgt betrachtet, unter Berücksichtigung einer Bauwerklebensdauer von 200 Jahren:

##### Stahlbeton

- Teilsicherheitskoeffizient für den Betonwiderstand  $\gamma_c = 1,60$
- Minderungsbeiwert zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung der Betondruckfestigkeit:  $\alpha_{cc} = 0,85$

### 6.5.1 Stati Limite Ultimi (SLU)

#### 6.5.1.1 Coefficienti parziali di sicurezza per le azioni

I coefficienti parziali di sicurezza da considerare variano in funzione delle combinazioni e del tipo di azioni. In conformità alle NTC2008, per le situazioni di dimensionamento standard, temporanee ed eccezionali sono da considerarsi i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

Considerando le azioni derivanti dal ritiro, per la verifica allo stato limite ultimo, si è considerato, in conformità all'EC2, parte 1, paragrafo 2.4.2.1 il coefficiente parziale di sicurezza  $\gamma_{SH} = 1,0$ .

#### 6.5.1.2 Coefficienti di combinazione delle azioni

In conformità alla EN 1990 ovvero alla NTC2008 devono essere utilizzati i seguenti coefficienti di combinazione:

Tabella 15: Coefficienti di combinazione

#### 6.5.1.3 Combinazione delle azioni

Le combinazioni delle azioni da analizzare devono essere considerate in conformità alle NTC 2008, con i relativi coefficienti di combinazione  $\psi$ .

Le combinazioni delle azioni rilevanti per il dimensionamento dell'anello devono essere scelte in funzione delle effettive condizioni al contorno in situ.

#### 6.5.1.4 Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze

I coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze in fase permanente e temporanea vanno considerati, come concordato con BBT SE, come segue tenendo conto della vita utile dell'opera di 200 anni:

##### Calcestruzzo armato

- Coefficiente parziale di sicurezza per la resistenza del calcestruzzo  $\gamma_c = 1,60$
- Coefficiente riduttivo della resistenza a compressione del calcestruzzo di lunga durata:  $\alpha_{cc} = 0,85$

- Teilsicherheitskoeffizient  $Y_s$  für Stahlwiderstand  $Y_s = 1,20$

- Coefficiente parziale di sicurezza  $Y_s$  per la resistenza dell'acciaio  $Y_s = 1,20$

#### Unbewehrter Beton

#### Calcestruzzo non armato

- Teilsicherheitskoeffizient für den Betonwiderstand  $Y_c = 1,60$
- Minderungsbeiwert zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung der Betondruck- bzw. -zugfestigkeit:  $\alpha_{cc,pl} / \alpha_{ct,pl} = 0,80$

- Coefficiente parziale di sicurezza per la resistenza del calcestruzzo  $Y_c = 1,60$
- Coefficiente riduttivo della resistenza a compressione e a trazione del calcestruzzo di lunga durata:  $\alpha_{cc,pl} / \alpha_{ct,pl} = 0,80$

Für die Überprüfungen der außergewöhnlichen Bemessungssituation müssen die Teilsicherheitsfaktoren mit  $Y_c = 1,20$  und  $Y_s = 1,00$  berücksichtigt werden. Der Minderungsbeiwert der Betondruckfestigkeit  $\alpha$  bleibt unverändert.

Per le verifiche nella situazione di dimensionamento eccezionale i fattori parziali di sicurezza devono essere considerati con  $Y_c = 1,20$  e  $Y_s = 1,00$ . Il coefficiente di riduzione della resistenza a compressione del calcestruzzo  $\alpha$  resta invariato.

#### 6.5.1.5 Überprüfung auf Beulspannung

#### 6.5.1.5 Verifica a pressoflessione

Die Bemessung des Stahlbetons erfolgt gemäß den Vorgaben des NTC2008, Abs. 4.1.2.1.2.

Per il calcestruzzo armato il calcolo segue le indicazioni delle NTC2008, par. 4.1.2.1.2.

Der Nachweis des unbewehrten Betons erfolgt gemäß dem NTC2008, Kapitel 4.1.11.1.

Per il calcestruzzo non armato si seguono le NTC 2008, par. 4.1.11.1.

Bei den unbewehrten Ausbruchquerschnitten mit hoher Exzentrizität berücksichtigt man, gemäß EC2 (§12.3.1), die Betonzugfestigkeit bis zum Planungswert  $f_{ctd}$ . Die Überprüfung gilt als zufriedenstellend wenn:

Nelle sezioni non armate con un'elevata eccentricità, in accordo con l'EC2 (§12.3.1) si considera la resistenza a trazione del calcestruzzo fino al valore di progetto  $f_{ctd}$ . La verifica risulta soddisfatta se:

$$\sigma_{1,2} = \frac{N_{Ed}}{A} \pm \frac{M_{Ed}}{J} \cdot (h/2) \leq \begin{cases} f_{ctd} & \alpha \\ f_{ctd} & \end{cases}$$

#### 6.5.1.6 Querkraftüberprüfung

#### 6.5.1.6 Verifica a taglio

Die Bemessung des Stahlbetons erfolgt gemäß den Vorgaben des NTC2008, Kap. 4.1.2.1.3.

Per il calcestruzzo armato il calcolo segue le indicazioni delle NTC2008, par. 4.1.2.1.3.

Die Bemessung der unbewehrten Innenschale erfolgt gemäß des NTC2008, bei Prüfung folgender Ungleichung:

Per il rivestimento interno non armato si seguono le NTC 2008, verificando la seguente disuguaglianza:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = f_{cvd} \cdot \frac{b \cdot x}{1.5}$$

$$f_{cvd} = \sqrt{f_{ctd}^2 + \sigma_c \cdot f_{ctd}} \quad \text{per } \sigma_c \leq \sigma_{clim}$$

$$f_{cvd} = \sqrt{f_{ctd}^2 + \sigma_c \cdot f_{ctd} - \delta^2/4} \quad \text{per } \sigma_c > \sigma_{clim}$$

$$\delta = \sigma_c - \sigma_{clim}$$

$$\sigma_{clim} = f_{cd} - 2 \cdot \sqrt{f_{ctd}^2 + f_{cd} \cdot f_{ctd}}$$

Bei den überwiegend komprimierten Ausbruchquerschnitten wird die Durchschnittsbelastung der Komprimierung  $\sigma_c$  als Durchschnitt der Komprimierungen im reagierenden Ausbruchquerschnittsteil 'x' berechnet:

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{x} = \frac{N_{Ed}}{h - 2 \cdot e}$$

In den Ausbruchquerschnitten mit hoher Exzentrizität, konsequenterweise zur Annahme die Betonzugfestigkeit bis auf den Wert  $f_{ctd}$  zu erfassen, wird der Querkraftwiderstand des Ausbruchquerschnitts ausgewertet, indem der ganze Ausbruchquerschnitt als reagierend ( $x=h$ ) betrachtet wird, und die Spannung  $\sigma_c$  als Durchschnittsspannung des ganzen Querschnitts, sowohl komprimiert als auch gespannt, gewertet wird.

Nelle sezioni prevalentemente compresse, lo sforzo medio di compressione  $\sigma_c$  è calcolato come media delle compressioni nella porzione di sezione reagente 'x':

Nelle sezioni con un'elevata eccentricità, coerentemente con l'assunzione di considerare la resistenza a trazione del calcestruzzo fino al valore di  $f_{ctd}$ , la resistenza a taglio della sezione viene valutata considerando reagente l'intera sezione ( $x=h$ ) e valutando la tensione  $\sigma_c$  come tensione media nell'intera sezione, sia compressa che tesa.

$$\sigma_c = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}$$

## 6.5.2 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (GZG)

### 6.5.2.1 Teilsicherheitsfaktoren Einwirkungen

Bei der Überprüfung des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit müssen die charakteristischen Einwirkungen mit deren Kombinationen berücksichtigt werden.

### 6.5.2.2 Kombinationsbeiwerte Einwirkungen

In Tabelle 14 befinden sich die bei Einwirkungskombinationen zu berücksichtigenden Beiwerten. Die Kombinationsbeiwerte werden gemäß Tabelle 15 zu berücksichtigen.

### 6.5.2.3 Einwirkungskombinationen

Die zu untersuchenden Einwirkungskombinationen müssen, gemäß NTC 2008, mit den entsprechenden Kombinationsbeiwerten  $\psi$  berücksichtigt werden.

### 6.5.2.4 Teilsicherheitsfaktoren Widerstand

Für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit werden die charakteristischen Werte der Widerstände berücksichtigt.

### 6.5.2.5 Berechnung der Verformungen

Die Ermittlung der Systemverformung erfolgt im GZG unter Berücksichtigung der Kombinationsregeln mit den charakteristischen Einwirkungen sowie den entsprechenden Kombinationsbeiwerten.

### 6.5.2.6 Begrenzung der Rissbreiten

Unter Berücksichtigung der NTC2008, wird im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit die maximale Rissweite  $w_{kal}$  für die maßgebenden Einwirkungskombinationen, unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsfaktoren und

## 6.5.2 Stati Limite Esercizio (SLE)

### 6.5.2.1 Coefficienti parziali di sicurezza delle azioni

Nella verifica agli stati limite di esercizio devono essere considerate le azioni caratteristiche con le loro combinazioni.

### 6.5.2.2 Coefficienti di combinazione delle azioni

In Tabella 14 si trovano i coefficienti da considerare nelle combinazioni delle azioni. I coefficienti di combinazione sono da considerare come in Tabella 15.

### 6.5.2.3 Combinazioni delle azioni

Le combinazioni delle azioni da analizzare devono essere considerate in conformità alle NTC 2008, con i relativi coefficienti di combinazione  $\psi$ .

### 6.5.2.4 Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze

Per la verifica agli stati limite di esercizio si devono considerare i valori caratteristici delle resistenze.

### 6.5.2.5 Calcolo delle deformazioni

Il calcolo delle deformazioni del sistema si esegue allo SLE in considerazione delle regole di combinazione con i carichi caratteristici e dei relativi coefficienti di combinazione.

### 6.5.2.6 Limitazione dello spessore delle fessure

In considerazione delle NTC2008, si controlla allo SLE lo spessore massimo delle fessure  $w_{kal}$  per le combinazioni di carico rilevanti, in considerazione dei fattori parziali di sicurezza e dei coefficienti di riduzione  $\psi$  secondo Tabella 14.

Minderungsfaktoren  $\psi$  laut Tabelle 14 nachgewiesen. Die zulässige Rissbreite für Normalbeton ohne besondere Stärkeanforderung oder bei Abdichtungsvorkommen wird auf  $w_{kal} \leq 0,3$  mm begrenzt.

Bei besonderer Anforderung an Stärke der Betoninnenschale oder bei aggressiven oder sehr aggressiven Umgebungsbedingungen wird die maximale Rissweite auf  $w_{kal} \leq 0,2$  mm begrenzt.

## 6.6 BAULICHE DURCHBILDUNG

### 6.6.1 Expositionsklasse und Mindestbetondeckung

Gemäß UNI 11104 und UNI EN 206-1:2006, wird bei Expositionsklasse XC3/XA1 die Anwendung von Beton der Festigkeitsklasse C30/37, hingegen bei Expositionsklasse XC4/XA2 Beton der Festigkeitsklasse C32/40 vorgesehen.

Die Berechnung der Mindestbetondeckung zur Gewährleistung der Bauwerklebensdauer >100 Jahren ist gemäß N.T.C. 2008 durchgeführt:

	XC3	XC4
Festigkeitsklasse	30/37	32/40
Umweltbedingungen	Normal	Aggressiv
$C_{min}$ [mm]	20	30
Nutzbare Lebenszeit > 100 Jahre [mm]	+10	+10
Bauliche Toleranz [mm]	+10	+10

$C_{nom}$ [mm]	40	50
----------------	----	----

Tabelle 16: Mindestbetondeckung

Zur Einheitlichkeit ist eine Betondeckung von 5 cm entlang der ganzen Entwicklung der Tunnels vorgesehen.

### 6.6.2 Mindestbewehrung

Im Fall einer bewehrten Innenschale, wird die Mindestbewehrung im NTC 2008, Punkt 4.1.6.1.1 bestimmt.

Die Querschnittsfläche der Längszugbewehrung darf nicht geringer sein als:

$$A_{S,min} = 0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b \times d$$

und jedenfalls nicht geringer als  $0,0013 \times b \times d$ ,

wobei:

- $b$  = mittlere Breite der Zugzone;
- $d$  = Nutzhöhe des Querschnitts;

La larghezza delle fessure ammessa per il cls normale senza particolari requisiti di spessore o in presenza di impermeabilizzazione è limitata a  $w_{kal} \leq 0,3$  mm.

In caso di particolari requisiti di spessore del rivestimento interno o di condizioni ambientali aggressive o molto aggressive la larghezza massima è limitata a  $w_{kal} \leq 0,2$  mm.

## 6.6 STRUTTURA COSTRUTTIVA

### 6.6.1 Classe di esposizione e copriferro minimo

In accordo alle UNI 11104, in classe di esposizione XC3 è previsto l'utilizzo di calcestruzzo C30/37 mentre in classe di esposizione XC4 è previsto l'utilizzo di calcestruzzo C32/40.

Il calcolo del copriferro minimo al fine di garantire una vita utile dell'opera >100anni è condotto in accordo alle N.T.C. 2008:

	XC3	XC4
Classe di resistenza	30/37	32/40
Cond. ambientali	Normali	Aggressive
$C_{min}$ [mm]	20	30
Vita utile > 100anni [mm]	+10	+10
Tolleranza costruttiva [mm]	+10	+10

$C_{nom}$ [mm]	40	50
----------------	----	----

Tabella 16: Copriferro minimo.

Per omogeneità si prevede un copriferro netto di 5 cm lungo tutto lo sviluppo delle gallerie.

### 6.6.2 Armatura minima

In caso il rivestimento necessiti di armatura il quantitativo minimo di armatura da inserire viene definito al punto 4.1.6.1.1 delle NTC 2008.

L'area dell'armatura longitudinale in zona tesa non deve essere inferiore a:

e comunque non minore di  $0,0013 \times b \times d$ ,

dove:

- $b$  rappresenta la larghezza media della zona tesa;
- $d$  è l'altezza utile della sezione;

- $f_{ctm}$  = Mittelwert der Zugfestigkeit des Betons;
- $f_{yk}$  = charakteristische Wert der Streckengrenze des Betonstahls.

- $f_{ctm}$  è il valore medio della resistenza a trazione del calcestruzzo;
- $f_{yk}$  è il valore caratteristico della resistenza a trazione dell'armatura ordinaria.

## 6.7 ERGEBNISSE

Die im Anhang 4 aufgezeigte Berechnung zeigt, dass die FEM-Modelle aufgrund der Wirkungssimulierung der Lockerungslast für die Klassen T4 und T5 den Einsatz einer biegsamen Bewehrung  $\Phi 14$  Abstand 150 mm an der Kappe und  $\Phi 16$  Abstand 150mm entlang der Wandflächen und am Sohlgewölbe benötigen. Die Verteilungsbewehrung besteht aus  $\Phi 10$  Abstand 200.

Es wird nicht die Notwendigkeit einer Querbewehrung festgestellt.

Der Einfall der Bewehrung ist von ca. 60 kg/m<sup>3</sup> Beton.

Die gleiche Bewehrung ist auch für Ausbruchquerschnitt GL-T6 vorgesehen.

Die Ergebnisse aus den statischen Berechnungen wurden mit jenen aus vereinfachten Berechnungsmethoden und durch ähnliche Berechnungen an vergleichbaren Strukturen auf ihre Richtigkeit geprüft. Die erhaltenen Ergebnisse sind daher als akzeptabel und richtig.

## 6.7 RISULTATI

Le analisi riportate in Appendice 4 mostrano che i modelli FEM per la simulazione del carico d'allentamento per le classi T4 e T5 necessitano l'impiego di armatura flessionale  $\Phi 14$  passo 150mm in calotta e  $\Phi 16$  passo 150 mm lungo i paramenti e nell'arco rovescio. L'armatura di ripartizione è costituita da  $\Phi 10$  passo 200.

Non si riscontra la necessità di predisporre dell'armatura a taglio.

L'incidenza di armatura è di circa 60 kg/m<sup>3</sup> di calcestruzzo.

La medesima armatura è prevista anche per la sezione GL-T6.

I risultati emersi dall'analisi statica condotta sono stati validati mediante confronto con metodi di calcolo semplificati e attraverso raffronti con altre analisi svolte su opere paragonabili. I risultati ottenuti sono pertanto ritenuti accettabili e corretti.



## 7 VERZEICHNISSE

### 7.1 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Zur Berechnung der Ausbruchquerschnitte GL-T4 und GL-T5 [12] benutzte Geomechanische Charakterisierung	10
Tabelle 2: Geomechanische Charakterisierung	10
Tabelle 3: Typische Parameter der Gebirge in den unterschiedlichen Zonen, welche in der Berechnung benutzt wurden [12]	11
Tabelle 4: Vorgeschlagene Stabilitätskriterien in [25][26]; $c_f$ = Ortsbrustkonvergenz; $F_{pf}$ = Umfang des plastischen Streifens an der Ortsbrust; $R_{scavo} = r_{eq}$ = entsprechender Ausbruchsradius.	13
Tabelle 5: Zusammenfassung der Ergebnisse des Kennlinienverfahrens	14
Tabelle 6: Berücksichtigte geomechanische Parameter (GL-T4)	18
Tabelle 7: Eigenschaften der Außenschale GL-T4	18
Tabelle 8: Berücksichtigte geomechanische Parameter (GL-T5)	23
Tabelle 9: Eigenschaften der Außenschale GL-T5	23
Tabelle 10: Charakteristische Bruchparameter des Gebirge FVM-S-PS	28
Tabelle 11: angewandte Parameter für die an Rand und Ortsbrust konsolidierten Zonen	29
Tabelle 12: Charakteristika der Außenschale GL-T5	36
Tabelle 13: Temperatureinwirkung	45
Tabelle 14: Einwirkungskombinationen Innenschale	46
Tabelle 15: Kombinationsbeiwerte	47
Tabelle 16: Mindestbetondeckung	50

### 7.2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Berechnungsausbruchquerschnitt GL-T4	17
Abbildung 2: Kraft-Verformungsverhalten der Anker	19
Abbildung 3: Berücksichtigte TKA für das Modell GL-T4	20
Abbildung 4: Berechnungsausbruchquerschnitt GL-T5	22
Abbildung 5: Berücksichtigte TKA für das Modell GL-T5	25
Abbildung 6: Berechnungsmodell	30

## 7 ELENCHI

### 7.1 ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1: Caratterizzazione geomeccanica usata per il calcolo delle sezioni GL-T4 e GL-T5 [12]	10
Tabella 2: Caratterizzazione geomeccanica	10
Tabella 3: Parametri caratteristici dell'ammasso nelle diverse zone e utilizzati nel calcolo [12]	11
Tabella 4: Criteri di stabilità proposti in[25] [26]; $c_f$ = convergenza al fronte; $F_{pf}$ = estensione della fascia plastica al fronte; $R_{scavo} = r_{eq}$ = raggio equivalente di scavo.	13
Tabella 5: Sintesi dei risultati delle linee caratteristiche	14
Tabella 6: Parametri geomeccanici considerati (GL-T4)	18
Tabella 7: Caratteristiche rivestimenti di prima fase GL-T4	18
Tabella 8: Parametri geomeccanici considerati (GL-T5)	23
Tabella 9: Caratteristiche rivestimenti di prima fase GL-T5	23
Tabella 10: Parametri di rottura caratteristici dell'ammasso FVM-S-PS	28
Tabella 11: Parametri adottati per le zone consolidate sul contorno e sul fronte.	29
Tabella 12: Caratteristiche rivestimenti di prima fase GL-T5	36
Tabella 13: Variazione termica	45
Tabella 14: Combinazioni di carico	46
Tabella 15: Coefficienti di combinazione	47
Tabella 16: Copriferro minimo	50

### 7.2 ELENCO DELLE ILLUSTRAZIONI

Figura 1: sezione di analisi GL-T4	17
Figura 2: Comportamento sforzo-deformazione per gli ancoraggi	19
Figura 3: FFS considerate per il modello GL-T4	20
Figura 4: sezione di analisi GL-T5	22
Figura 5: FFS considerate per il modello GL-T5	25
Figura 6: Modello di calcolo	30

Abbildung 7: horizontale Verschiebung - Modell mit Konsolidierungen 30	Figura 7: Spostamenti in direzione orizzontale ..... 30
Abbildung 8: Kurve Konvergenz - Ortsbrustabstand ..... 31	Figura 8: Curva Convergenza - Distanza dal fronte ..... 31
Abbildung 9: Berechnungsmodell ..... 32	Figura 9: Modello di calcolo ..... 32
Abbildung 10: Horizontale Verschiebungen - Modell mit Konsolidierungen 33	Figura 10: Spostamenti in direzione orizzontale - Modello con consolidamenti 33
Abbildung 11: Radialdruck - Konvergenz Kurve..... 33	Figura 11: Curva Pressione radiale - Convergenza ..... 33
Abbildung 12: Überlappung Kennlinie des Hohlraums und der Schale GL-T5 37	Figura 12: Sovrapposizione linea caratteristica della cavità e del rivestimento GL-T5..... 37
Abbildung 13: Überlappung der Kennlinie des Hohlraums und der Schale GL-T5 im Gebirge GA-BST-KS-8f (H=1115 m) 39	Figura 13: Sovrapposizione linea caratteristica della cavità e del rivestimento GL-T5 nell'ammasso GA-BST-KS-8f (H=1115m) 39
Abbildung 14: Schematisierung der Schnittstelle ..... 41	Figura 14: Schematizzazione dell'interfaccia ..... 41
Abbildung 15: Lasten der Oberleitung..... 42	Figura 15: Carichi della catenaria..... 42
Abbildung 16: Hydrostatischer Druck – drainierter Regelquerschnitt 43	Figura 16: Pressione idrostatica - Sezione tipo drenata..... 43
Abbildung 17: Qualitative Darstellung der numerisch ermittelten Normalspannungen (rot), der aktiven Gebirgslast (blau) und der Bettungsreaktion des Bodens (grün) ..... 43	Figura 17: Rappresentazione qualitativa delle tensioni normali (rosso), ottenute dal calcolo numerico, del carico attivo dell'ammasso (blu) e della reazione assestamento del terreno (verde). 43

### 7.3 ANLAGENVERZEICHNIS

- ANHANG 1 - KENNLINIEN
- ANHANG 2 - FEM-ANALYSE DER AUSSENSCHALE AUSBRUCHQUERSCHNITT GL-T4
- ANHANG 3 - FEM-ANALYSE DER AUSSENSCHALE AUSBRUCHQUERSCHNITT GL-T5
- ANHANG 4 - FEM-ANALYSE DER INNENSCHALE

### 7.4 REFERENZDOKUMENTE

#### 7.4.1 Eingangsdokumente

- [1] 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13018 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 - Gesamtbauwerke - Technischer Bericht - Allgemeiner geomechanischer Bericht
- [2] 02\_H61\_GD\_090\_GTB\_D0700\_21001 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 1 - Geomechanischer Detailbericht
- [3] 02\_H61\_GD\_040\_GTB\_D0700\_22001 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 2 - Geomechanischer Detailbericht

### 7.3 ELENCO APPENDICI

- APPENDICE 1 - CURVE CARATTERISTICHE
- APPENDICE 2 - ANALISI FEM DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE SEZIONE GL-T4
- APPENDICE 3 - ANALISI FEM DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE SEZIONE GL-T5
- APPENDICE 4 - ANALSI FEM DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO

### 7.4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

#### 7.4.1 Documenti in ingresso

- [1] 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13018 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali - Relazione tecnica - Relazione geomeccanica generale
- [2] 02\_H61\_GD\_090\_GTB\_D0700\_21001 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali Parte 1 - Relazione geomeccanica di dettaglio
- [3] 02\_H61\_GD\_040\_GTB\_D0700\_22001 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali Parte 2 - Relazione geomeccanica di dettaglio

- [4] 02\_H61\_GD\_090\_GLS\_D0700\_21005 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 1 - Geomechanisches Prognoseprofil Oströhre (Blatt 4/7)
- [5] 02\_H61\_GD\_090\_GLS\_D0700\_21009 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 1 - Geomechanisches Prognoseprofil Weströhre (Blatt 4/7)
- [6] 02\_H61\_GD\_040\_GLS\_D0700\_22002 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 2 - Geomechanisches Prognoseprofil Oströhre (Blatt 5/7)
- [7] 02\_H61\_GD\_040\_GLS\_D0700\_22003 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 2 - Geomechanisches Prognoseprofil Weströhre (Blatt 5/7)
- [8] Technische Bearbeitung des Projekts „Geomechanischer Bericht Hauptrohren Muls PMF Trens“
- [9] Technische Bearbeitung des Projekts „Geomechanischer Bericht Erkundungsstollen Muls-Brenner“
- [10] D0755/02-V04-OP.EN 01.02
- [11] 02\_H61\_EG\_995\_KTB\_D0700\_15003 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 – Gesamtbauwerke - Sicherheit gegen Feuereinwirkung
- [12] 02\_H61\_OP\_060\_KST\_D0700\_22905 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 2 – Statische Berechnung GL-T4/T6

#### 7.4.2 Normen und Richtlinien

- [13] Technische Konstruktionsnormen 2008 – NTC 2008;
- [14] Leitfaden N.617, Vorgehensweise zur Anwendung der "Neue technische Konstruktionsnormen", laut MD 14.Januar 2008
- [15] DM 28/10/2005 Sicherheit für Bahntunnel
- [16] UNI EN1990:2006 - Eurocodice 0 – Grundlage für Konstruktion und Dokumentation zur nationalen Umsetzung ;

- [4] 02\_H61\_GD\_090\_GLS\_D0700\_21005 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali Profilo geomeccanico e progettuale di previsione Galleria principale Est (Tav. 4/7)
- [5] 02\_H61\_GD\_090\_GLS\_D0700\_21009 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali Parte 1 - Profilo geomeccanico e progettuale di previsione Galleria principale Ovest (Tav. 4/7)
- [6] 02\_H61\_GD\_040\_GLS\_D0700\_22002 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali Parte 2 - Profilo geomeccanico e progettuale di previsione Galleria principale Est (Tav. 5/7)
- [7] 02\_H61\_GD\_040\_GLS\_D0700\_22003 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali Parte 2 - Profilo geomeccanico e progettuale di previsione Galleria principale Ovest (Tav. 5/7)
- [8] Elaborazione tecnica del progetto "Relazione geomeccanica Canne principali Muls PMF Trens"
- [9] Elaborazione tecnica del progetto "Relazione geomeccanica Cunicolo EsplorativoMuls-Brennero".
- [10] D0755/02-V04-OP.EN 01.02 - Relazione statica rivestimento di prima fase Cunicolo EsplorativoPeriadriatica ed Opere Propedeutiche ambito Muls.
- [11] 02\_H61\_EG\_995\_KTB\_D0700\_15003- Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali - Sicurezza nei riguardi di esposizione al fuoco.
- [12] 02\_H61\_OP\_060\_KST\_D0700\_22905- Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali Parte 2 - Relazione di calcolo GL-T4/T6

#### 7.4.2 Normative e linee guida

- [13] Norme Tecniche delle Costruzioni 2008 – NTC 2008;
- [14] Circolare n.617, Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008
- [15] DM 28/10/2005 , Sicurezza nelle gallerie ferroviarie.
- [16] UNI EN1990:2006 - Eurocodice 0 – Basi per la progettazione strutturale e documento di applicazione nazionale3

- [17] UNI EN 1991-1; Eurocode 1 – Actions on structures – 2010/2011
- [18] UNI EN 1992:2005 - Eurocodice 2 – Planung von für Stahlbetonbauwerke und Dokumente zur nationalen Umsetzung;
- [19] UNI EN 1997:2005 - Eurocodice 7 – Geotechnik und Dokumente zur nationalen Umsetzung
- [20] UNI EN 1992-1-2:2005 „Planung von Stahlbetonbauwerke Teil 1-2: Allgemeinregelung – Brandschutz Strukturplanung“
- [21] UNI 11076: vom 1. Juli 2003, "Testmodalitäten zur Bewertung des Benehmens der an den Decken von Untertagebauten angebrachten Schutzmaßnahmen in Brandfall".
- [22] D.M. 16.02.2007 "Feuerwiderstandsklassifizierung von Erzeugnisse und Bauelemente für Bauwerke"

#### 7.4.3 Bibliografie

- [23] Ribacchi R., Riccioni R. – Stato di sforzo e di deformazione intorno ad una galleria circolare. Gallerie e grandi opere sotterranee, 1977.
- [24] Nguyen-Minh D., Guo C. – Recent progress in convergence confinement method”, Eurock '96, pagg. 855-860.
- [25] Gamble J.C. – Durability-plasticity classification of shales. Ph. D. Thesis, University of Illinois, 1971.
- [26] Sakurai – Lessons Learned from Field Measurements in Tunneling. Tunneling and Underground Space Technology, 1997.
- [27] HOEK E., CARRANZA TORRES C., CORKUM B. – Hoek-Brown failure criterion. 2002
- [28] UNWEDGE-rocsience, Underground Wedge Stability Analysis Manual
- [29] Wang, J., 1993 - Seismic Design of Tunnels - A Simple State-of-the-Art Design
- [30] Hashash, Y., et al., 2001, - Seismic design and analysis of underground structures, Tunnelling and underground space technology 16, (247-293)
- [31] Pöttler, R. Die unbewehrte Innenschale im Felstunnelbau - Standsicherheit und Verformung im Reißbereich, Beton und Stahlbetonbau Heft 6, 1993
- [32] Pöttler, R. Standsicherheitsnachweis unbewehrter Innenschalen, Bautechnik 67, 1990

- [17] UNI EN 1991-1; Eurocode 1 – Actions on structures – 2010/2011
- [18] UNI EN 1992:2005 - Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo e documento di applicazione nazionale
- [19] UNI EN 1997:2005 - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica e documento di applicazione nazionale
- [20] UNI EN 1992-1-2:2005 "Progettazione delle strutture in calcestruzzo Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio"
- [21] UNI 11076 del 1 luglio 2003, "Modalità di prova per la valutazione del comportamento di protettivi applicati a soffitti di opere sotterranee, in condizioni di incendi".
- [22] D.M. 16.02.2007 "Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione"

#### 7.4.3 Bibliografia

- [23] Ribacchi R., Riccioni R. – Stato di sforzo e di deformazione intorno ad una galleria circolare. Gallerie e grandi opere sotterranee, 1977.
- [24] Nguyen-Minh D., Guo C. – Recent progress in convergence confinement method”, Eurock '96, pagg. 855-860.
- [25] Gamble J.C. – Durability-plasticity classification of shales. Ph. D. Thesis, University of Illinois, 1971.
- [26] Sakurai – Lessons Learned from Field Measurements in Tunneling. Tunneling and Underground Space Technology, 1997.
- [27] HOEK E., CARRANZA TORRES C., CORKUM B. – Hoek-Brown failure criterion. 2002
- [28] UNWEDGE-rocsience, Underground Wedge Stability Analysis Manual
- [29] Wang, J., 1993 - Seismic Design of Tunnels - A Simple State-of-the-Art Design
- [30] Hashash, Y., et al., 2001, - Seismic design and analysis of underground structures, Tunnelling and underground space technology 16, (247-293)
- [31] Pöttler, R. Die unbewehrte Innenschale im Felstunnelbau - Standsicherheit und Verformung im Reißbereich, Beton und Stahlbetonbau Heft 6, 1993
- [32] Pöttler, R. Standsicherheitsnachweis unbewehrter Innenschalen, Bautechnik 67, 1990

[33] Rocscience Phase2 online manual (Swelllex / Split Sets Section - indicazioni Atlas Copco 2006)

[34] Cai M., Kaiser P.K., Tasaka Y., Minami M. - Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 44 pag. 247-256, 2007

[35] MIDAS GTS Manual

[36] Crowder J., Bawden W.F., Review of Post-Peak Parameters and Behaviour of Rock Masses: Current Trends and Research. Rocscience.

[37] Hoek, E. (2007). *Practical Rock Engineering*. Toronto: Rocscience, e-book.

[33] Rocscience Phase2 online manual (Swelllex / Split Sets Section - indicazioni Atlas Copco 2006)

[34] Cai M., Kaiser P.K., Tasaka Y., Minami M. - Determination of residual strength parameters of jointed rock masses using the GSI system. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 44 pag. 247-256, 2007

[35] MIDAS GTS Manual

[36] Crowder J., Bawden W.F., Review of Post-Peak Parameters and Behaviour of Rock Masses: Current Trends and Research. Rocscience.

[37] Hoek, E. (2007). *Practical Rock Engineering*. Toronto: Rocscience, e-book.

## ANHANG 1 - KENNLINIEN

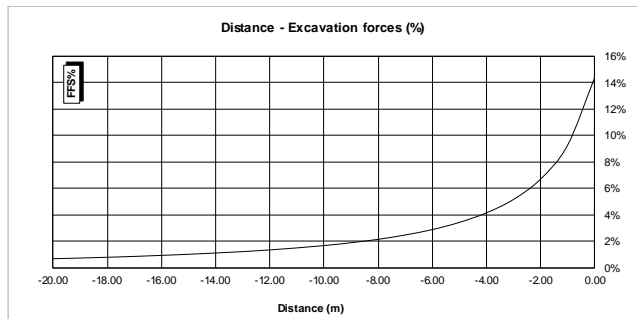
Aufgezeigt werden m folgenden die Kurven, mittels denen bewertet werden können:

- Radialdruck – Konvergenz.
- Konvergenz – Ortsbrustabstand.
- Radialdruck – Ausdehnung der plastischen Zone über den Ausbruchprofil hinaus.
- Ortsbrustabstand – Ausdehnung der plastischen Zone über den Ausbruchprofil hinaus.
- Ortsbrustabstand – Trägheitskräfte des Ausbruchs

## APPENDICE 1 - CURVE CARATTERISTICHE

Di seguito sono riportate le curve caratteristiche, mediante le quali è stato possibile valutare:

- Pressione Radiale – Convergenza.
- Convergenza – Distanza dal Fronte.
- Pressione Radiale – Estensione della Fascia Plastica oltre il profilo di scavo.
- Distanza dal fronte – Estensione della Fascia Plastica oltre il profilo di scavo.
- Distanza dal Fronte – Forze Fittizie di Scavo



1\_GL-T4 - LC GSI = 55, H = 1115m, C0 = 50Mpa, mi = 13, Ei = 50000GPa

INPUT DATA		RESULTS	
Weight [N/mc]	26600	<b>At final equilibrium</b>	
Overburden [m]	1115	Total convergence [cm]	5.2
Excavation radius [m]	4.86	Convergence after excavation [cm]	3.7
		Plastic zone thickness [m]	6.9
Peak internal friction angle [°]	33.84	<b>Equilibrium at excavation face</b>	
Post peak internal friction angle [°]	25.53	Convergence [cm]	1.6
Peak cohesion [Pa]	3003022	1 - (deconfinement ratio) [%]	14.3%
Post peak cohesion [Pa]	1801533		
Deformation modulus [Pa]	2.04E+10		
Poisson's ratio [-]	0.3		
Dilation angle [°]	5.29		

c(face) / Radius	0.32 [%]
c(total) / Radius	1.08 [%]
c(after excav.) / Radius	0.76 [%]
Pl.thick. (face)/Radius	47.4 [%]
Pl.thick. (total)/Radius	142.4 [%]

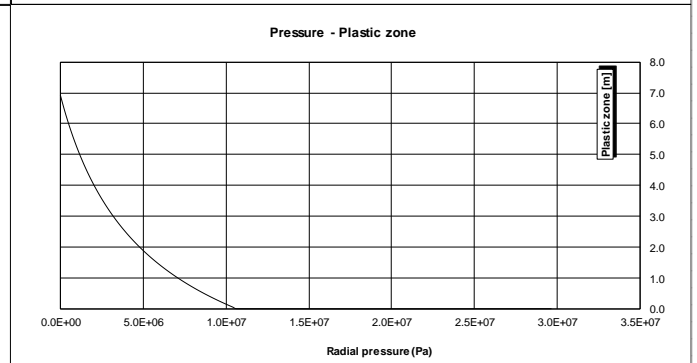
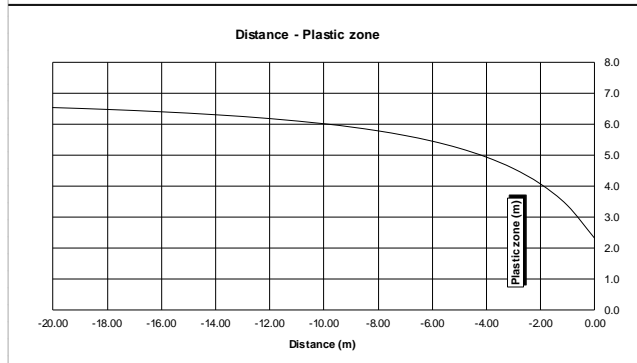
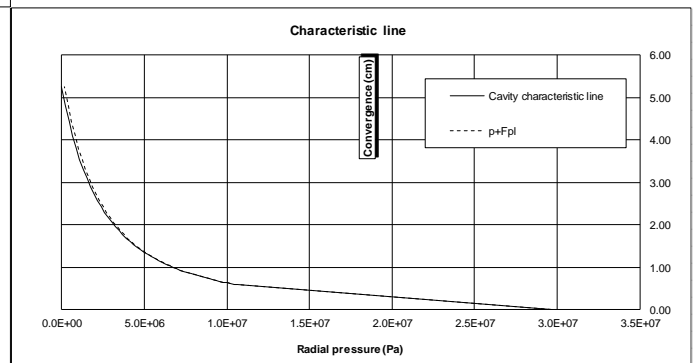
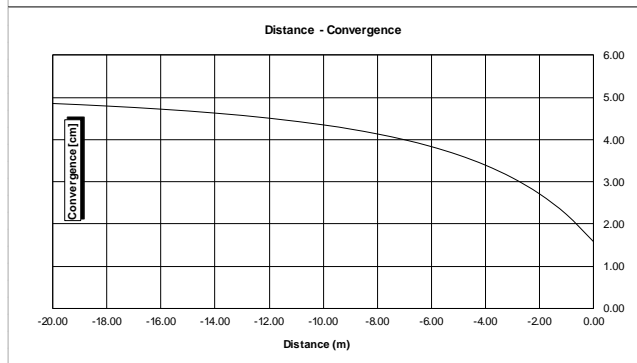
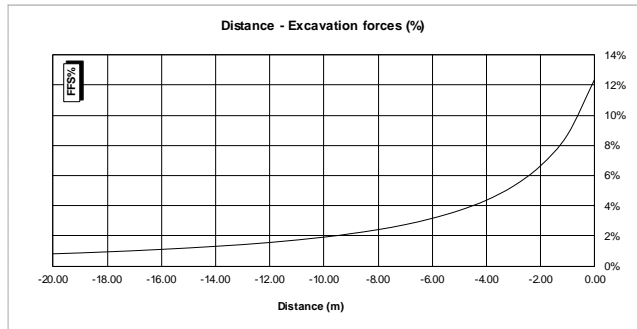


Abbildung 1: Kennlinie GL-T4

Illustrazione 1: Linea caratteristica GL-T4



2\_GL\_T5 - LC GSI = 50, H = 1115m, C0 = 41Mpa, mi = 12, Ei = 37000GPa

INPUT DATA		RESULTS	
Weight [N/mc]	26600	<b>At final equilibrium</b>	
Overburden [m]	1115	Total convergence [cm]	13.9
Excavation radius [m]	4.86	Convergence after excavation [cm]	9.7
		Plastic zone thickness [m]	10.2
Peak internal friction angle [°]	30.21	<b>Equilibrium at excavation face</b>	
Post peak internal friction angle [°]	23.35	Convergence [cm]	4.2
Peak cohesion [Pa]	2500835	1 - (deconfinement ratio) [%]	12.3%
Post peak cohesion [Pa]	1592400		
Deformation modulus [Pa]	1.14E+10	c(face) / Radius	0.86 [%]
Poisson's ratio [-]	0.3	c(total) / Radius	2.86 [%]
Dilation angle [°]	3.78	c(after excav.) / Radius	2.00 [%]
		Pl.thick. (face)/Radius	83.2 [%]
		Pl.thick. (total)/Radius	209.6 [%]

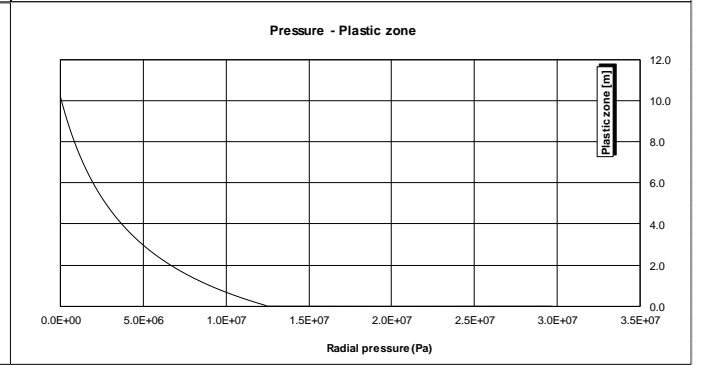
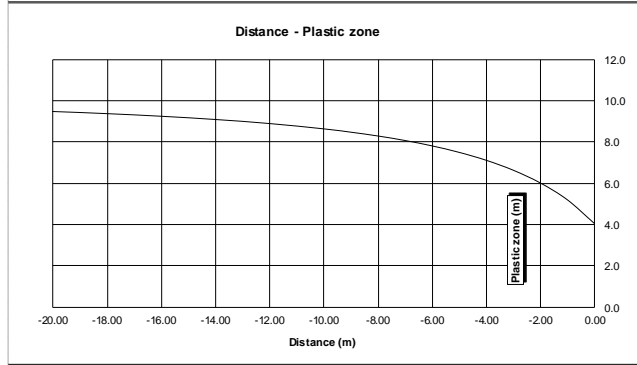
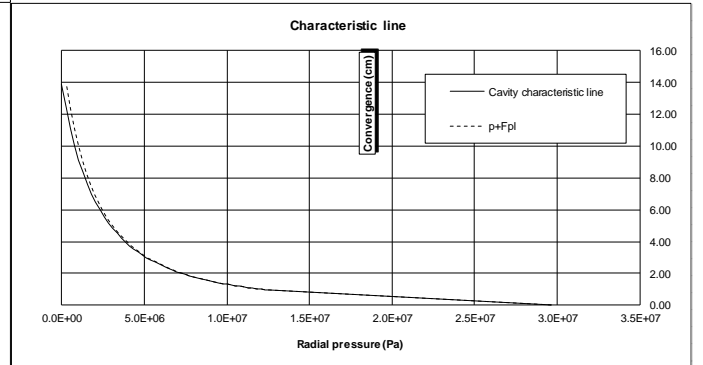
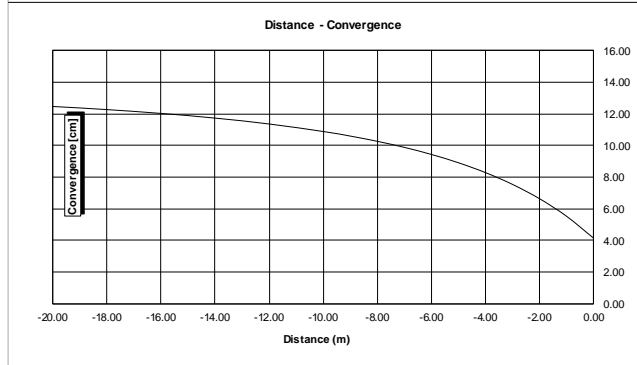
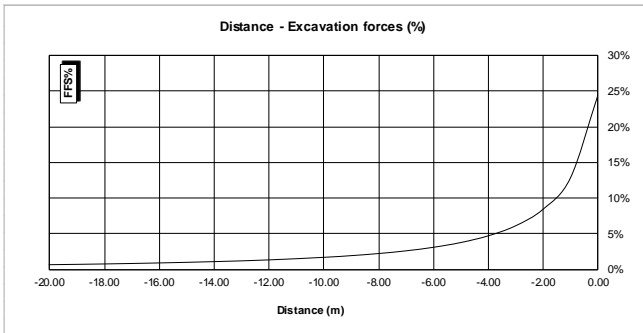


Abbildung 2: Kennlinie GL-T5

Illustrazione 2: Linea caratteristica GL-T5



8 - LC GSI = 32.5, H = 590m, C0 = 72.5MPa, mi = 14.5, Ei = 50550GPa

INPUT DATA		RESULTS	
Weight [N/mc]	27300	<b>At final equilibrium</b>	
Overburden [m]	590	Total convergence [cm]	5.9
Excavation radius [m]	4.86	Convergence after excavation [cm]	4.1
		Plastic zone thickness [m]	3.8
Peak internal friction angle [°]	35.67	<b>Equilibrium at excavation face</b>	
Post peak internal friction angle [°]	31.63	Convergence [cm]	1.8
Peak cohesion [Pa]	1663362	1 - (deconfinement ratio) [%]	24.3%
Post peak cohesion [Pa]	1270245		
Deformation modulus [Pa]	4.85E+09		
Poisson's ratio [-]	0.3		
Dilation angle [°]	4.46		

c(face) / Radius	0.36 [%]
c(total) / Radius	1.21 [%]
c(after excav.) / Radius	0.85 [%]
Pl.thick. (face)/Radius	10.3 [%]
Pl.thick. (total)/Radius	78.8 [%]

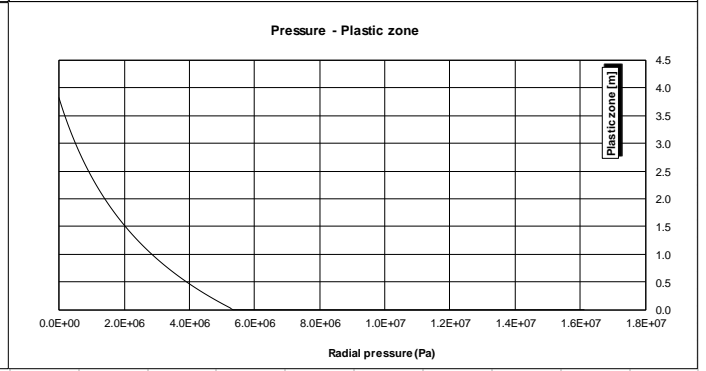
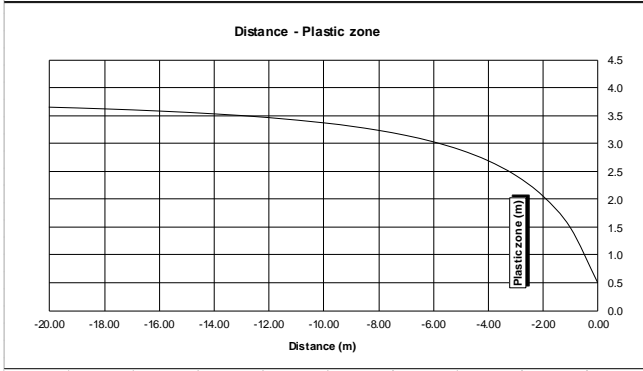
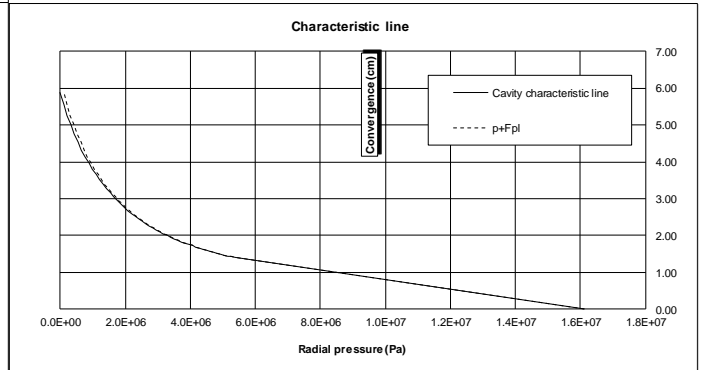
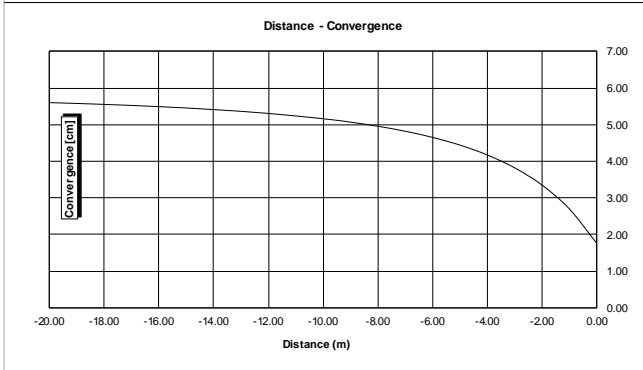
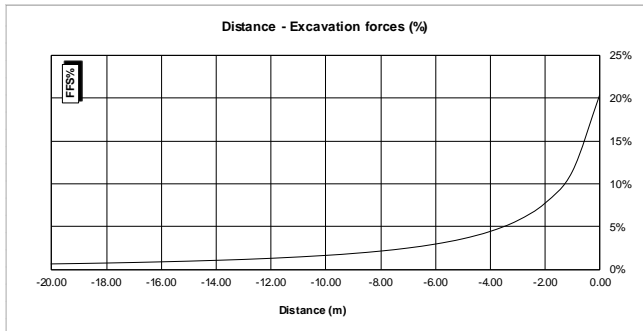


Abbildung 3: Kennlinie GA-BCA-GS-10g (H=590m)

Illustrazione 3: Linea caratteristica GA-BCA-GS-10g (H=590m)





9 - LC GSI = 45, H = 560m, C0 = 30MPa, mi = 20, Ei = 11000GPa

INPUT DATA		RESULTS	
Weight [N/mc]	27000	<b>At final equilibrium</b>	
Overburden [m]	560	Total convergence [cm]	12.9
Excavation radius [m]	4.86	Convergence after excavation [cm]	9.0
		Plastic zone thickness [m]	4.4
Peak internal friction angle [°]	35.86	<b>Equilibrium at excavation face</b>	
Post peak internal friction angle [°]	29.73	Convergence [cm]	3.9
Peak cohesion [Pa]	1599609	1 - (deconfinement ratio) [%]	20.4%
Post peak cohesion [Pa]	1103715		
Deformation modulus [Pa]	2.46E+09		
Poisson's ratio [-]	0.3		
Dilation angle [°]	4.48		

c(face) / Radius	0.80 [%]
c(total) / Radius	2.66 [%]
c(after excav.) / Radius	1.86 [%]
Pl.thick. (face)/Radius	17.5 [%]
Pl.thick. (total)/Radius	90.9 [%]

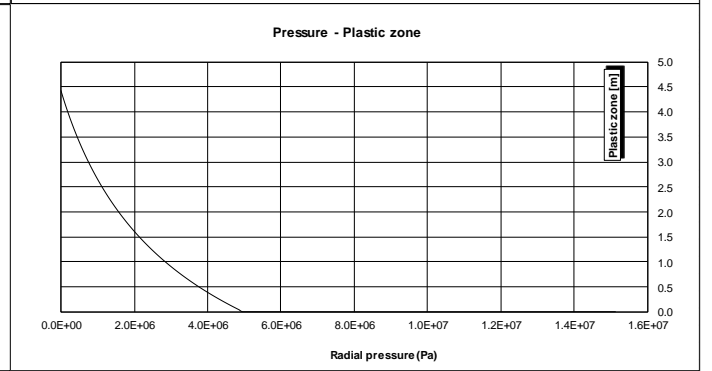
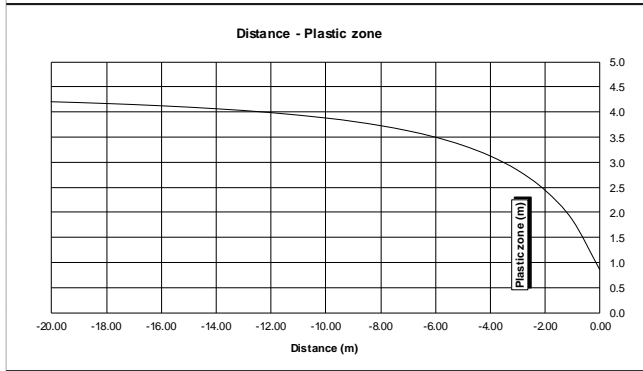
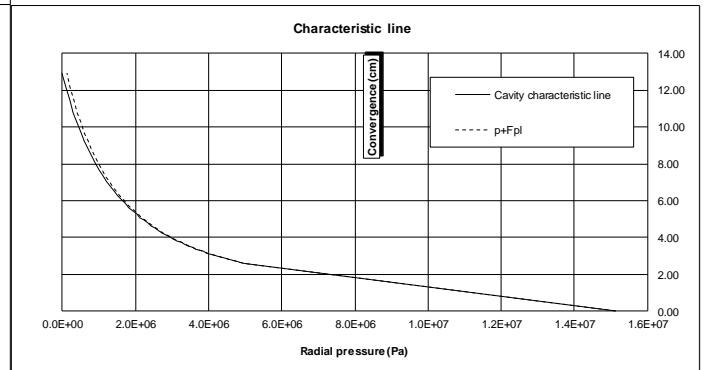
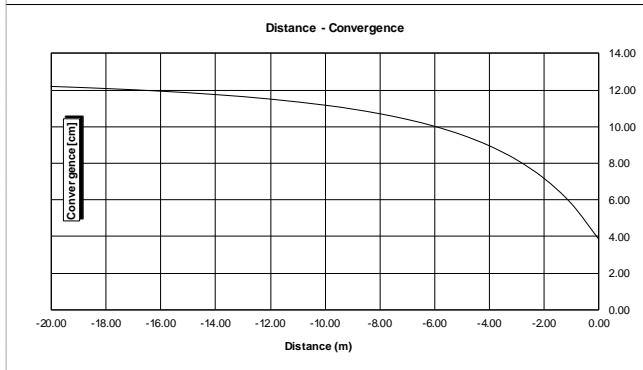
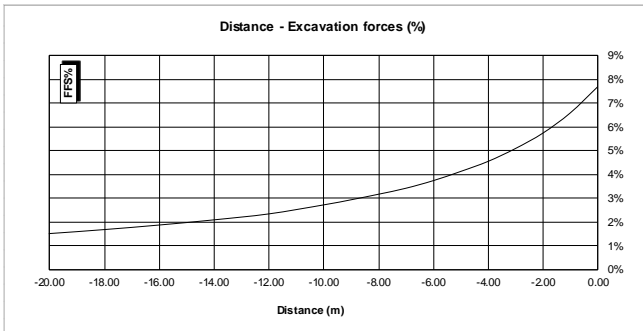


Abbildung 4: Kennlinie FV-N-PS (H=560m)

Illustrazione 4: Linea caratteristica FV-N-PS (H=560m)



10 - LC GSI = 40, H = 560m, C0 = 5.5MPa, mi = 20, Ei = 6000GPa

INPUT DATA		RESULTS	
Weight [N/mc]	27000	<b>At final equilibrium</b>	
Overburden [m]	560	Total convergence [cm]	357.9
Excavation radius [m]	4.86	Convergence after excavation [cm]	250.5
		Plastic zone thickness [m]	30.1
Peak internal friction angle [°]	21.92	<b>Equilibrium at excavation face</b>	
Post peak internal friction angle [°]	18.31	Convergence [cm]	107.4
Peak cohesion [Pa]	779319	1 - (deconfinement ratio) [%]	7.7%
Post peak cohesion [Pa]	568350		
Deformation modulus [Pa]	9.58E+08		
Poisson's ratio [-]	0.3		
Dilation angle [°]	2.74		

c(face) / Radius	22.09 [%]
c(total) / Radius	73.64 [%]
c(after excav.) / Radius	51.55 [%]
Pl.thick. (face)/Radius	309.7 [%]
Pl.thick. (total)/Radius	619.6 [%]

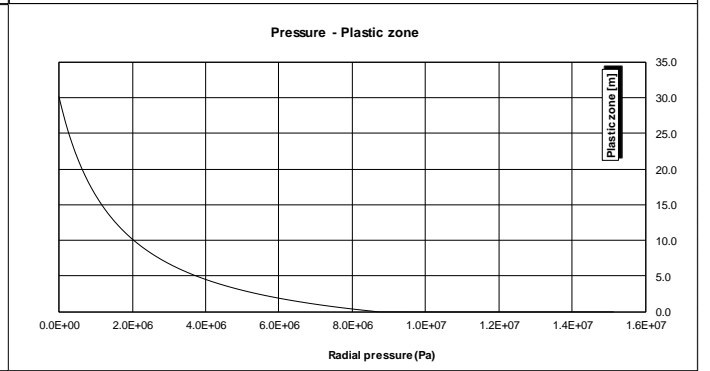
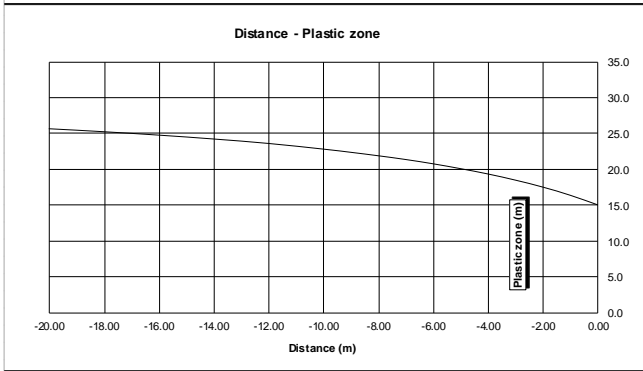
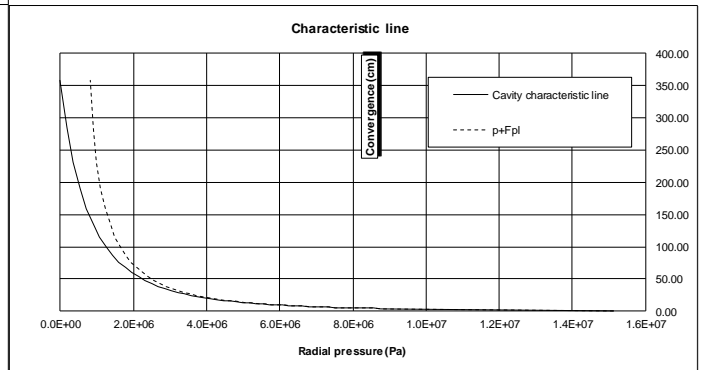
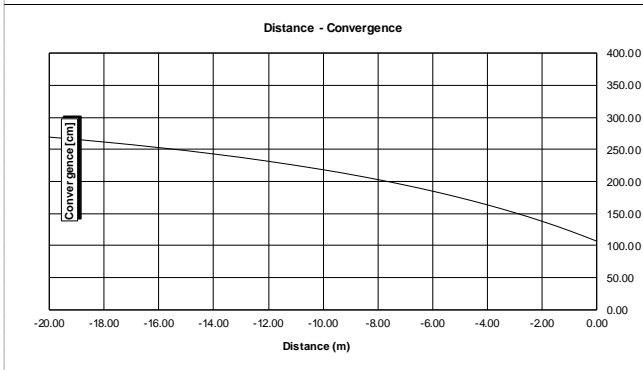
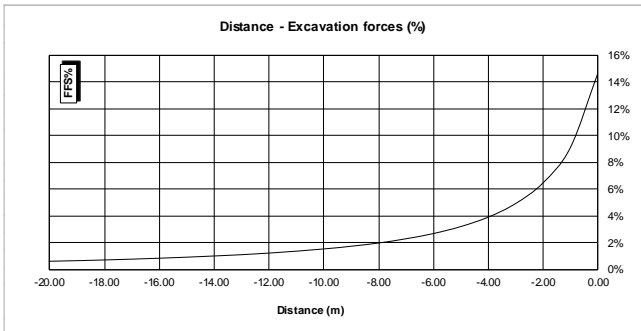


Abbildung 5: Kennlinie FVM-N-C (H=560m)

Illustrazione 5: Linea caratteristica FVM-N-C (H=560m)



11 - LC GSI = 60, H = 560m, C0 = 30MPa, mi = 12, Ei = 35000GPa

INPUT DATA		RESULTS	
Weight [N/mc]	27000	<b>At final equilibrium</b>	
Overburden [m]	560	Total convergence [cm]	2.7
Excavation radius [m]	4.86	Convergence after excavation [cm]	1.9
		Plastic zone thickness [m]	5.9
Peak internal friction angle [°]	35.87	<b>Equilibrium at excavation face</b>	
Post peak internal friction angle [°]	26.18	Convergence [cm]	0.8
Peak cohesion [Pa]	1736139	1 - (deconfinement ratio) [%]	14.6%
Post peak cohesion [Pa]	968345		
Deformation modulus [Pa]	1.82E+10	c(face) / Radius	0.17 [%]
Poisson's ratio [-]	0.3	c(total) / Radius	0.55 [%]
Dilation angle [°]	6.73	c(after excav.) / Radius	0.39 [%]
		Pl.thick. (face)/Radius	36.5 [%]
		Pl.thick. (total)/Radius	120.7 [%]

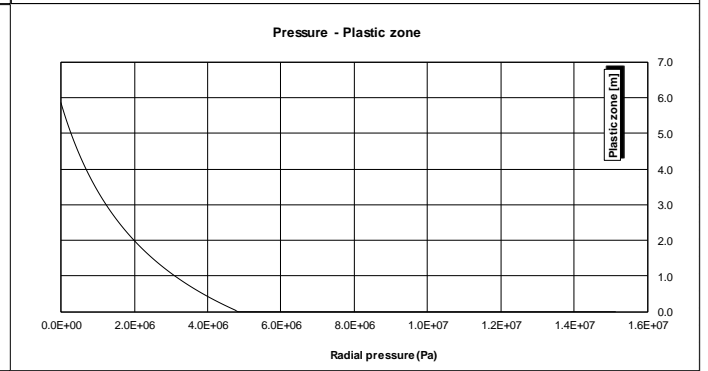
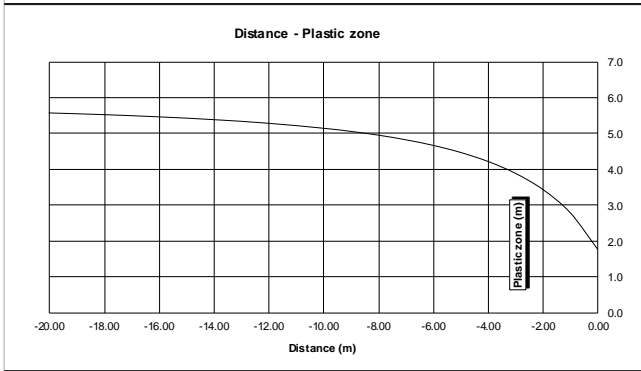
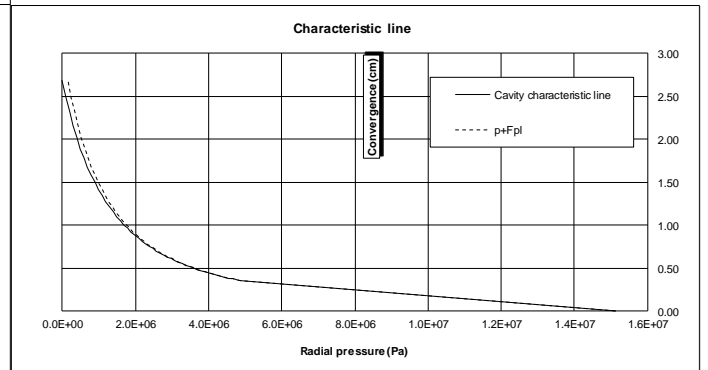
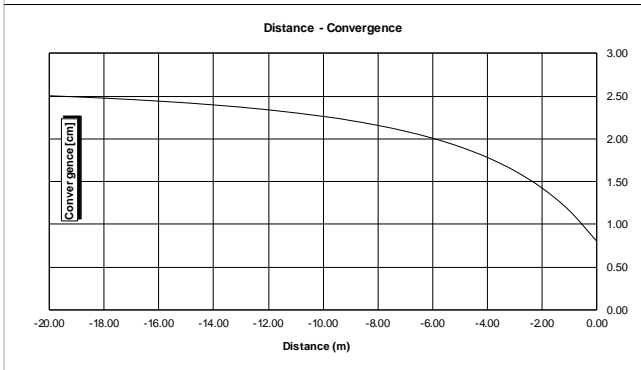
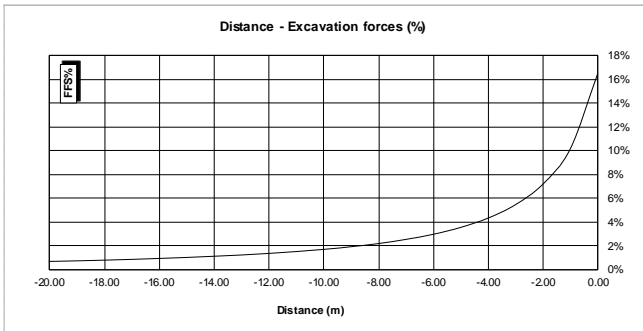


Abbildung 6: Kennlinie FVM-N-M (H=560m)

Illustrazione 6: Linea caratteristica FVM-N-M (H=560m)



12 - LC GSI = 50, H = 560m, C0 = 20MPa, mi = 20, Ei = 15000GPa

INPUT DATA		RESULTS	
Weight [N/mc]	27000	<b>At final equilibrium</b>	
Overburden [m]	560	Total convergence [cm]	9.5
Excavation radius [m]	4.86	Convergence after excavation [cm]	6.6
		Plastic zone thickness [m]	6.0
Peak internal friction angle [°]	34.11	<b>Equilibrium at excavation face</b>	
Post peak internal friction angle [°]	27.12	Convergence [cm]	2.8
Peak cohesion [Pa]	1485638	1 - (deconfinement ratio) [%]	16.4%
Post peak cohesion [Pa]	974490		
Deformation modulus [Pa]	4.61E+09		
Poisson's ratio [-]	0.3		
Dilation angle [°]	4.26		

c(face) / Radius	0.59 [%]
c(total) / Radius	1.95 [%]
c(after excav.) / Radius	1.37 [%]
Pl.thick. (face)/Radius	35.7 [%]
Pl.thick. (total)/Radius	123.4 [%]

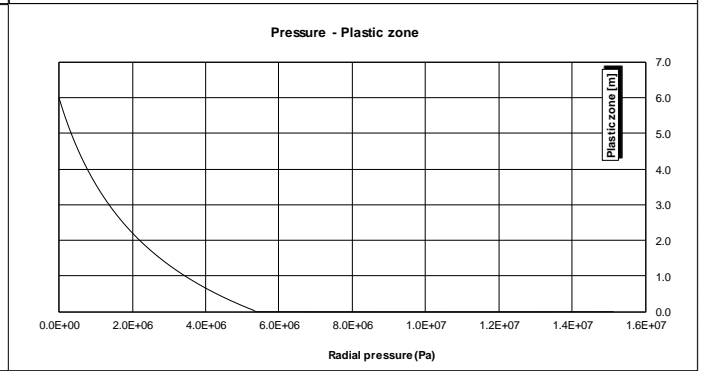
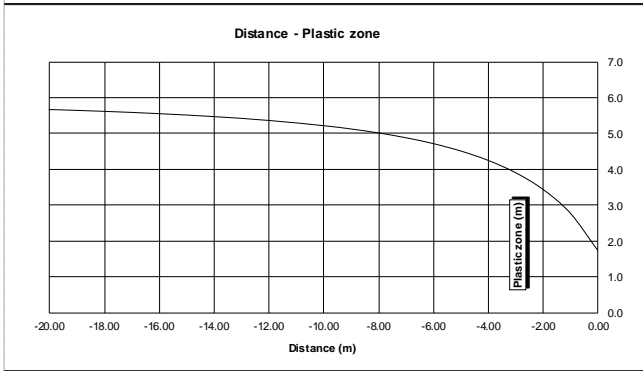
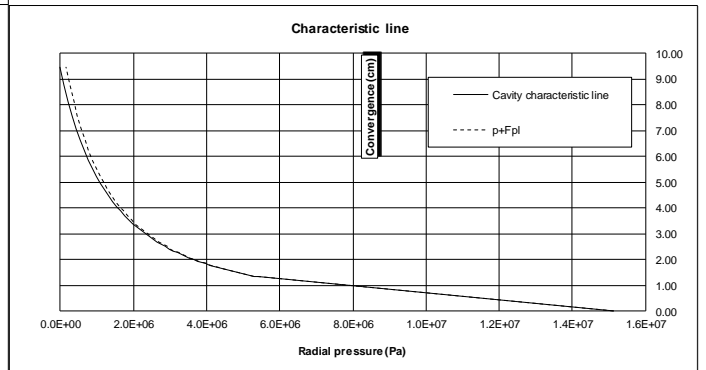
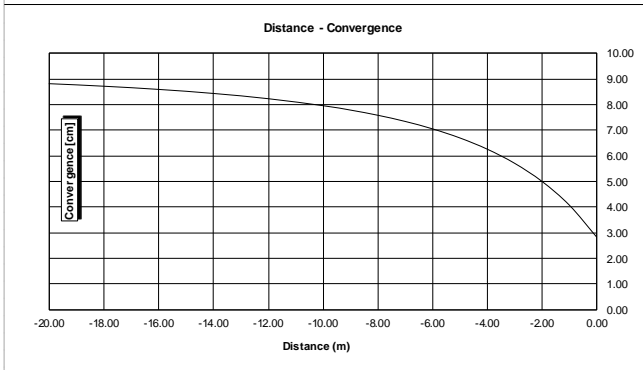
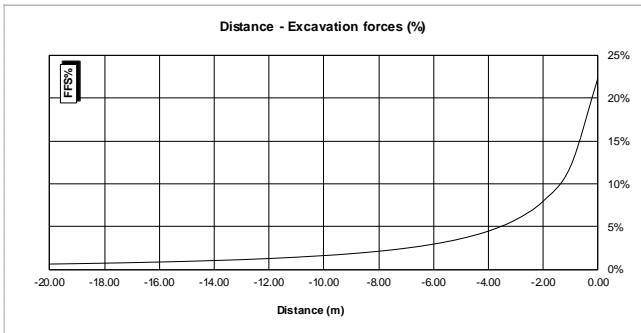


Abbildung 7: Kennlinie FVM-N-Q (H=560m)

Illustrazione 7: Linea caratteristica FVM-N-Q (H=560m)



13 - LC GSI = 45, H = 490m, C0 = 30MPa, mi = 20, Ei = 11000GPa

INPUT DATA		RESULTS	
Weight [N/mc]	27000	<b>At final equilibrium</b>	
Overburden [m]	490	Total convergence [cm]	10.1
Excavation radius [m]	4.86	Convergence after excavation [cm]	7.1
		Plastic zone thickness [m]	3.9
Peak internal friction angle [°]	36.91	<b>Equilibrium at excavation face</b>	
Post peak internal friction angle [°]	30.71	Convergence [cm]	3.0
Peak cohesion [Pa]	1469240	1 - (deconfinement ratio) [%]	22.3%
Post peak cohesion [Pa]	1012738		
Deformation modulus [Pa]	2.46E+09		
Poisson's ratio [-]	0.3		
Dilation angle [°]	4.61		

c(face) / Radius	0.62 [%]
c(total) / Radius	2.08 [%]
c(after excav.) / Radius	1.46 [%]
Pl.thick. (face)/Radius	11.2 [%]
Pl.thick. (total)/Radius	80.0 [%]

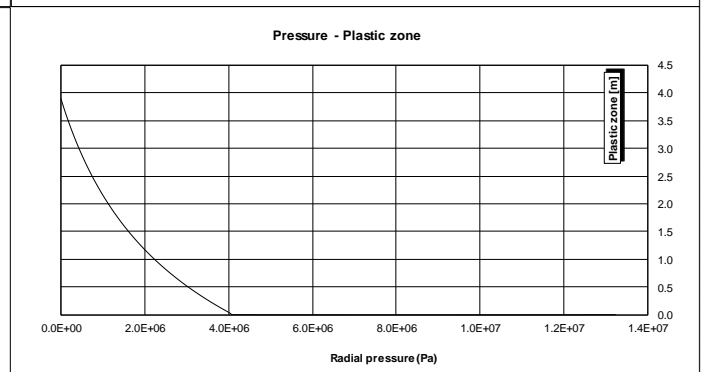
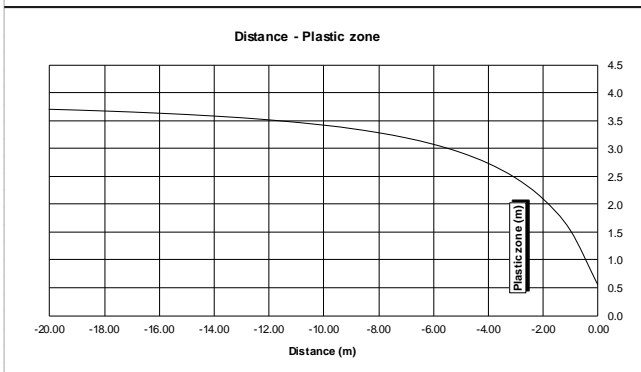
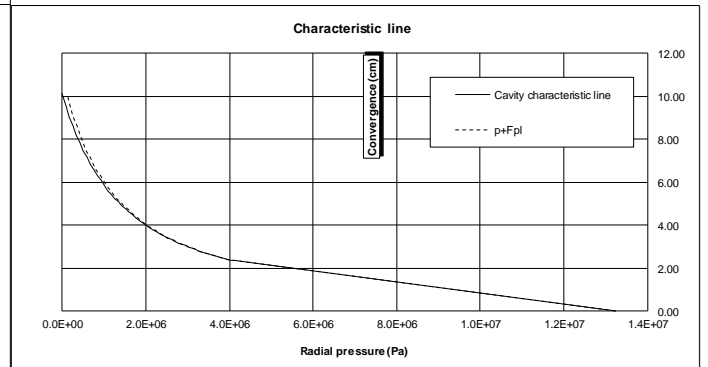
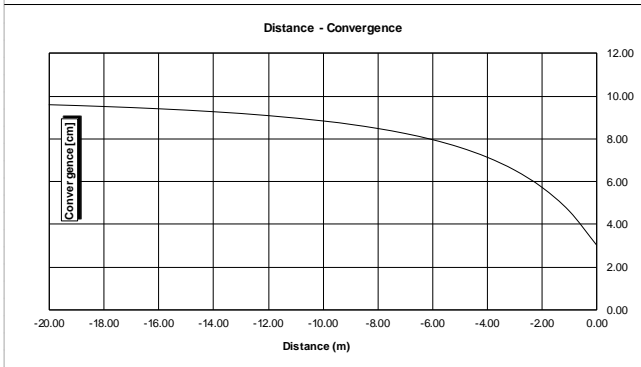
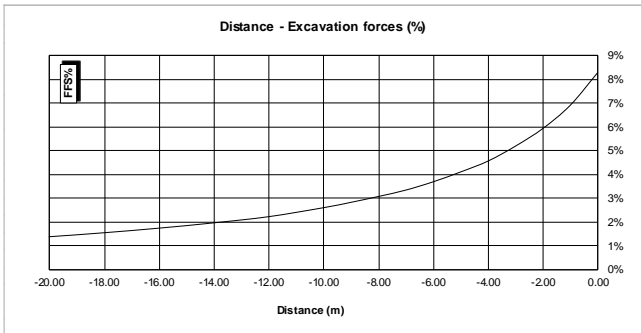


Abbildung 8: Kennlinie FVM-N-PS (H=490m)

Illustrazione 8: Linea caratteristica FVM-N-PS (H=490m)



14 - LC GSI = 40, H = 490m, C0 = 5.5MPa, mi = 20, Ei = 6000GPa

INPUT DATA		RESULTS	
Weight [N/mc]	27000	<b>At final equilibrium</b>	
Overburden [m]	490	Total convergence [cm]	241.6
Excavation radius [m]	4.86	Convergence after excavation [cm]	169.1
		Plastic zone thickness [m]	25.4
Peak internal friction angle [°]	22.82	<b>Equilibrium at excavation face</b>	
Post peak internal friction angle [°]	19.08	Convergence [cm]	72.5
Peak cohesion [Pa]	718796	1 - (deconfinement ratio) [%]	8.3%
Post peak cohesion [Pa]	524014		
Deformation modulus [Pa]	9.58E+08		
Poisson's ratio [-]	0.3		
Dilation angle [°]	2.85		

c(face) / Radius	14.91 [%]
c(total) / Radius	49.71 [%]
c(after excav.) / Radius	34.80 [%]
Pl.thick. (face)/Radius	256.3 [%]
Pl.thick. (total)/Radius	523.0 [%]

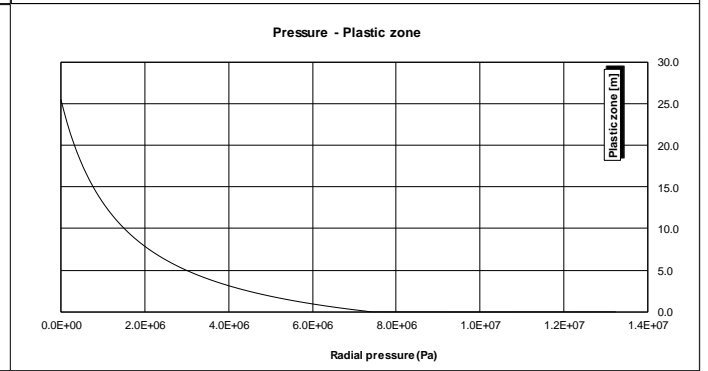
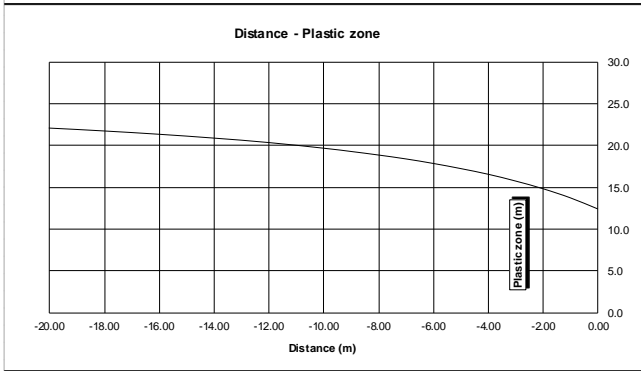
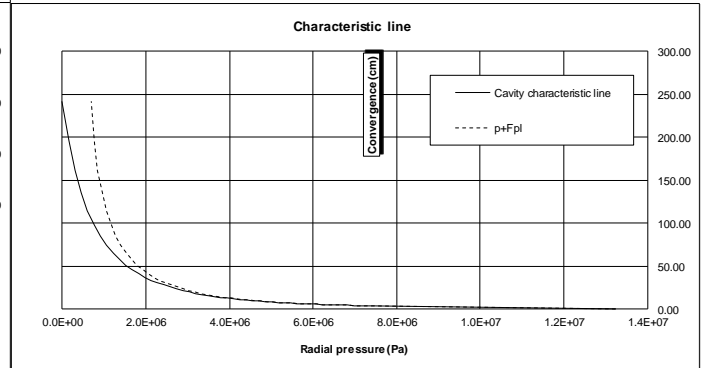
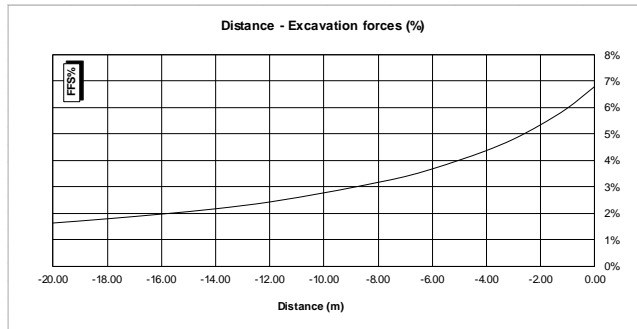


Abbildung 9: Kennlinie FVM-N-C (H=490m)

Illustrazione 9: Linea caratteristica FVM-N-C (H=490m)



**3\_(S-PS) - LC GSI = 52, H = 700m, C0 = 5Mpa, mi = 20, Ei = 30000GPa**

INPUT DATA		RESULTS	
Weight [N/mc]	27000	<b>At final equilibrium</b>	
Overburden [m]	700	Total convergence [cm]	64.5
Excavation radius [m]	4.86	Convergence after excavation [cm]	45.2
		Plastic zone thickness [m]	37.0
Peak internal friction angle [°]	22.63	<b>Equilibrium at excavation face</b>	
Post peak internal friction angle [°]	17.01	Convergence [cm]	19.4
Peak cohesion [Pa]	1032697	1 - (deconfinement ratio) [%]	6.8%
Post peak cohesion [Pa]	661443		
Deformation modulus [Pa]	1.04E+10		
Poisson's ratio [-]	0.3		
Dilation angle [°]	3.11		

c(face) / Radius	3.98 [%]
c(total) / Radius	13.27 [%]
c(after excav.) / Radius	9.29 [%]
Pl.thick. (face)/Radius	390.7 [%]
Pl.thick. (total)/Radius	761.4 [%]

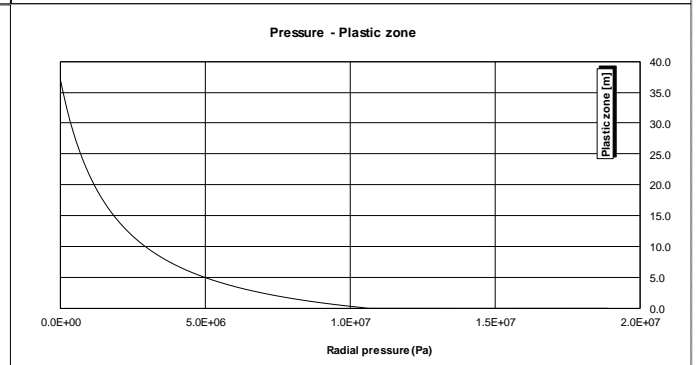
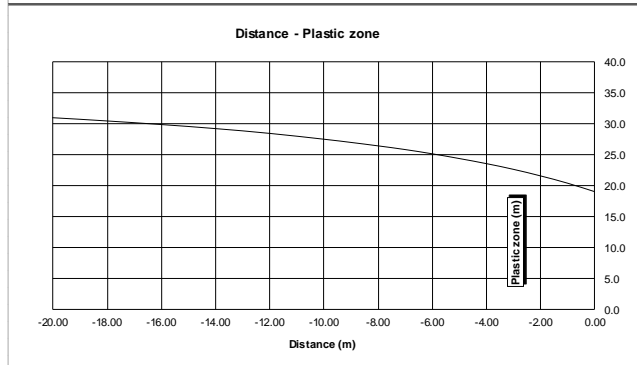
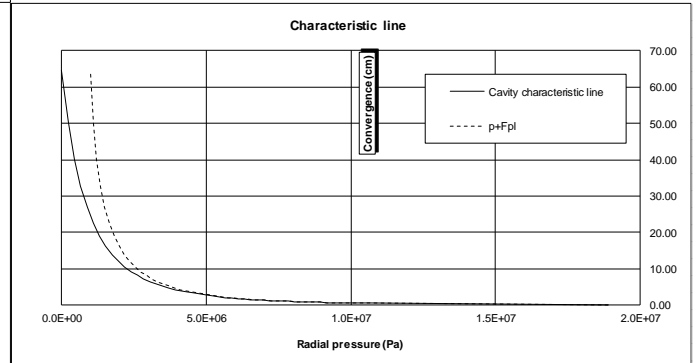
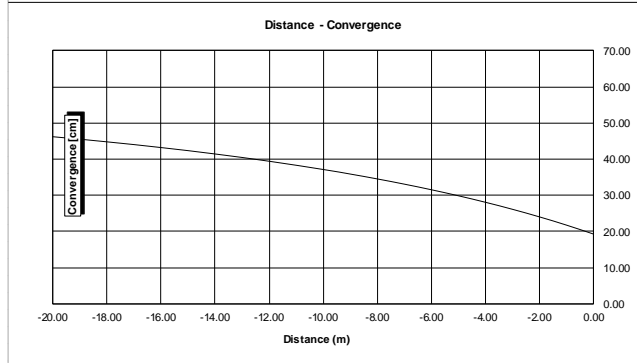
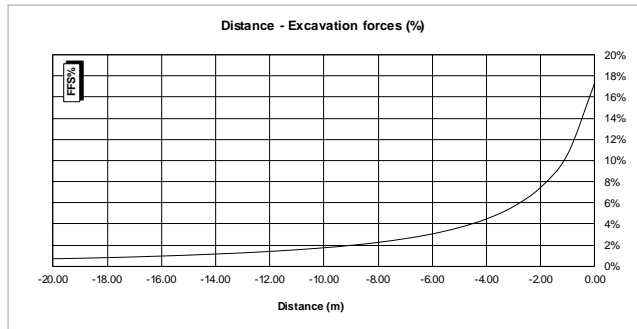


Abbildung 10: Kennlinie FVM-S-PS (85%) (H=700m)

Illustrazione 10: Linea caratteristica FVM-S-PS (85%) (H=700m)



**4\_(S-B) - LC GSI = 42, H = 700m, C0 = 25Mpa, mi = 23, Ei = 25000GPa**

INPUT DATA		RESULTS	
Weight [N/mc]	27000	<b>At final equilibrium</b>	
Overburden [m]	700	Total convergence [cm]	11.3
Excavation radius [m]	4.86	Convergence after excavation [cm]	7.9
		Plastic zone thickness [m]	6.0
Peak internal friction angle [°]	32.98	<b>Equilibrium at excavation face</b>	
Post peak internal friction angle [°]	27.80	Convergence [cm]	3.4
Peak cohesion [Pa]	1727086	1 - (deconfinement ratio) [%]	17.3%
Post peak cohesion [Pa]	1237514		
Deformation modulus [Pa]	4.57E+09		
Poisson's ratio [-]	0.3		
Dilation angle [°]	4.12		

c(face) / Radius	0.70 [%]
c(total) / Radius	2.34 [%]
c(after excav.) / Radius	1.63 [%]
Pl.thick. (face)/Radius	35.3 [%]
Pl.thick. (total)/Radius	122.6 [%]

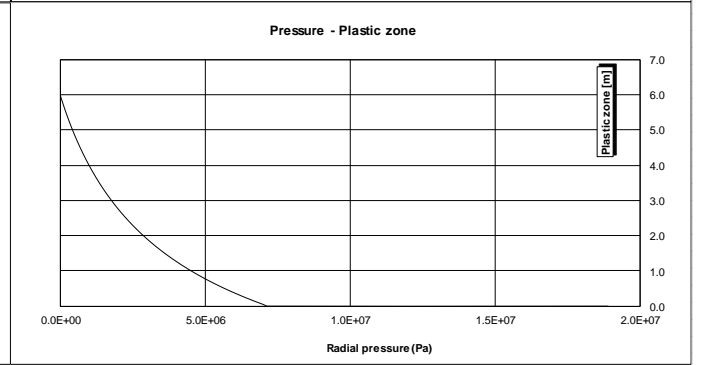
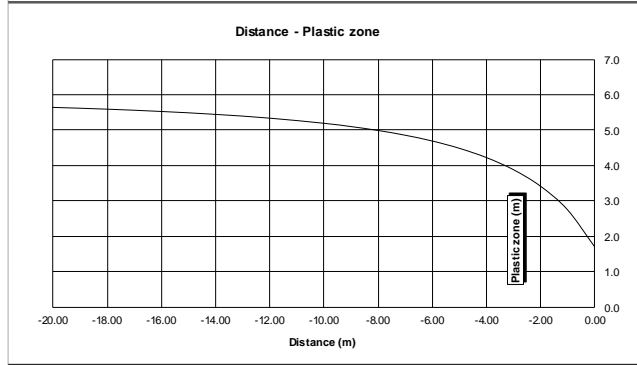
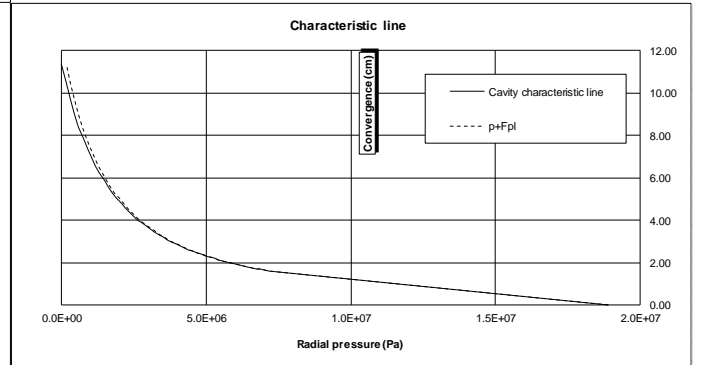
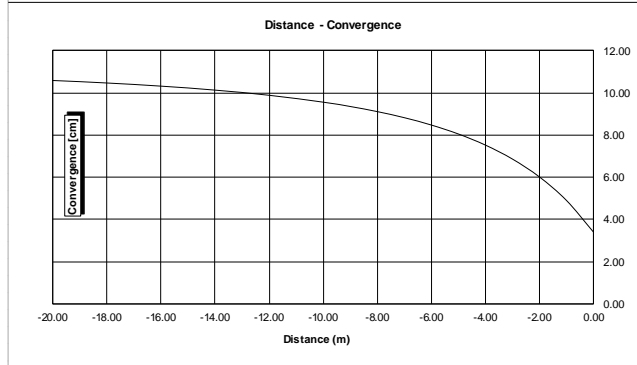


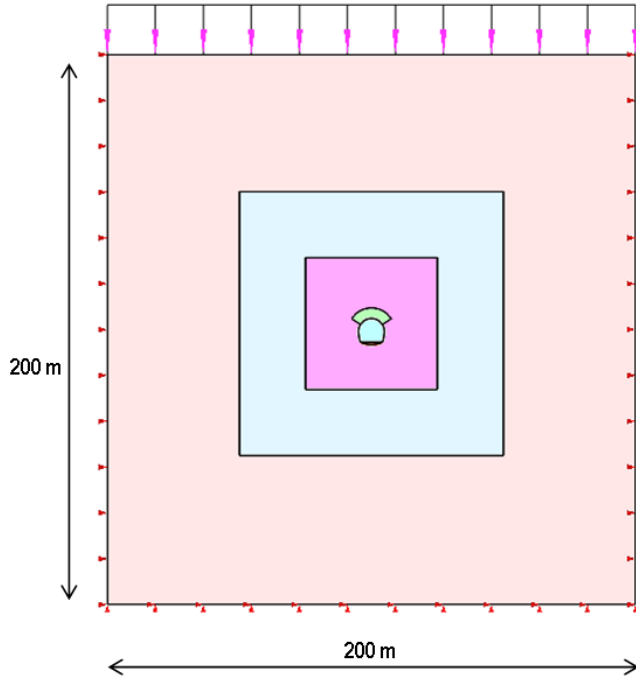
Abbildung 11: Kennlinie FVM-S-B (15%) (H=700m)

Illustrazione 11: Linea caratteristica FVM-S-B (15%) (H=700m)



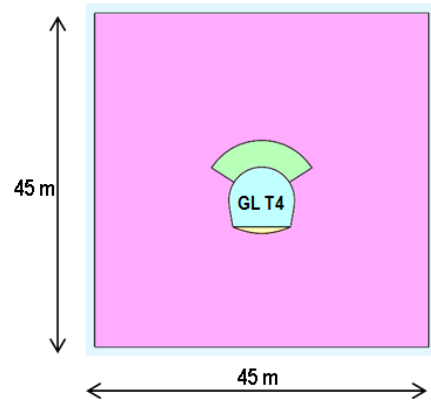
## ANHANG 2 - FEM-ANALYSE DER AUSSENSCHALE AUSBRUCHQUERSCHNITT GL-T4

In diesem Anhang werden die wichtigsten Outputs der Finite-Elemente-Analysen des Ausbruchquerschnitts GL-T4 aufgezeigt, welche mit dem Berechnungsprogramm Midas GTS durchgeführt wurden.



## APPENDICE 2 - ANALISI FEM DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE SEZIONE GL-T4

Nella presente appendice sono riportati i principali output delle analisi agli elementi finiti della sezione GL-T4 effettuate con il programma di calcolo Midas GTS.



### A.2.1 OUTPUT FEM-MODELL

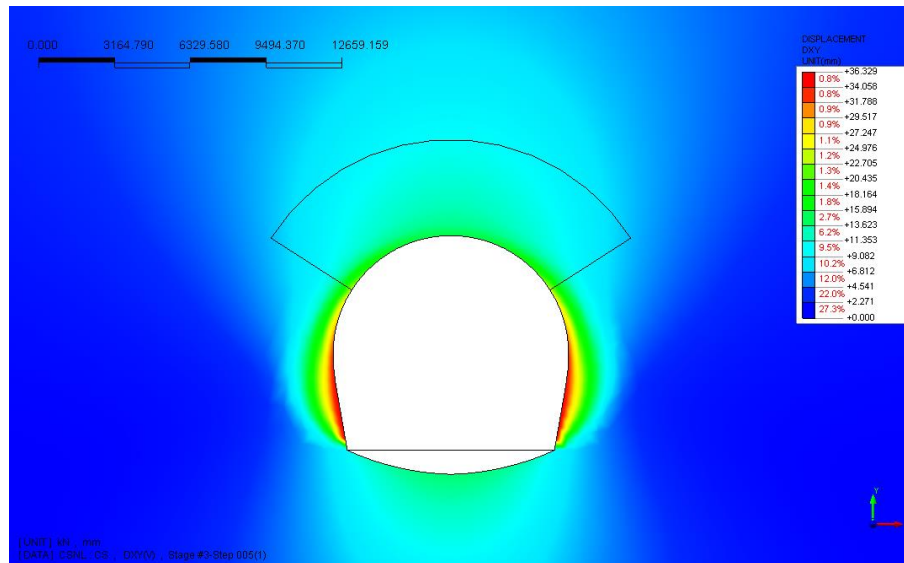


Abbildung 12: Verschiebungen xy [mm] – Ortsbrust GL-T4

### A.2.1 OUTPUT MODELLO FEM

Illustrazione 12: Spostamenti xy [mm] - fronte GL-T4

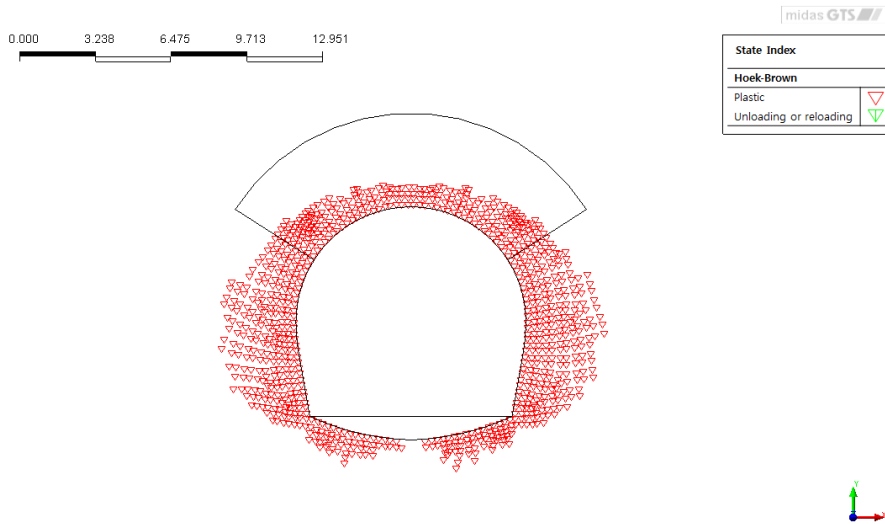


Abbildung 13: Das Plastischwerden an der Ortsbrust GL-T4

Illustrazione 13: Plasticizzazioni - fronte GL-T4

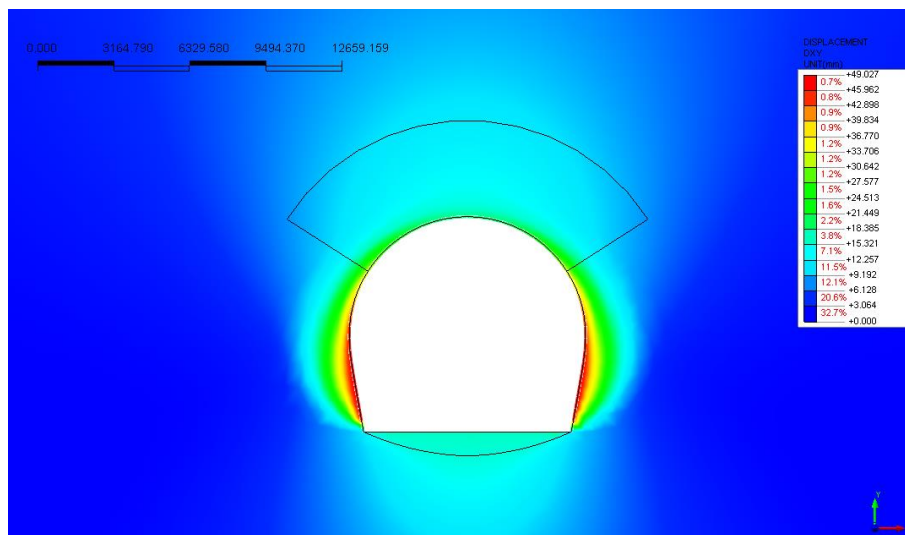


Abbildung 14: Ortsbrustverschiebungen xy [mm] an 1.5m von der Ortsbrust GL-T4 entfernt

Illustrazione 14: Spostamenti xy [mm] a 1.5m fronte GL-T4

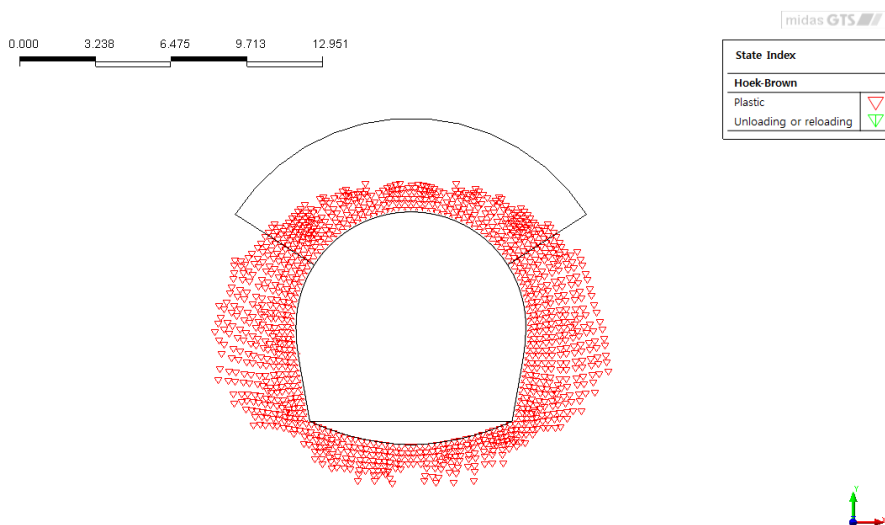


Abbildung 15: Das Plastischwerden an 1.5m von der Ortsbrust GL-T4 entfernt

Illustrazione 15: Plasticizzazioni a 1.5m dal fronte GL-T4

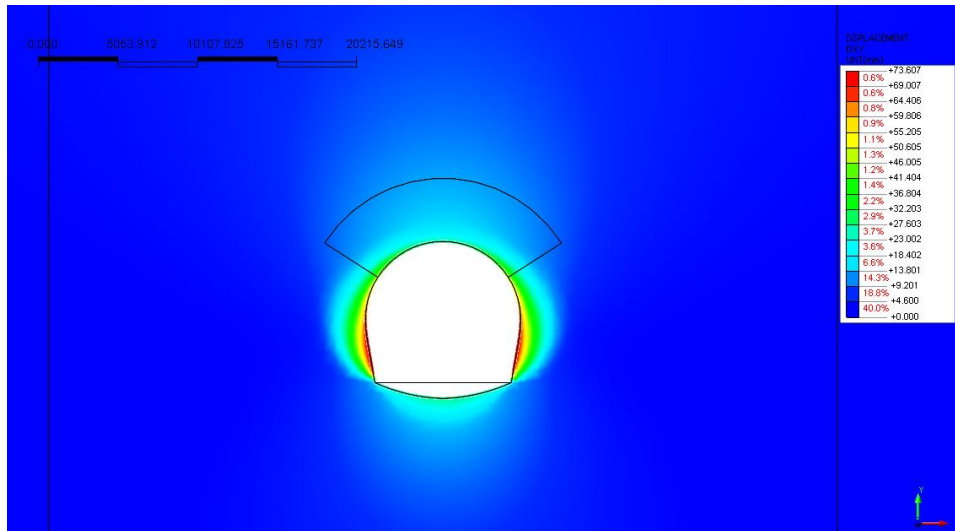


Abbildung 16: Verschiebungen xy [mm] am Aushubsende GL-T4

Illustrazione 16: Spostamenti xy [mm] fine scavo GL-T4

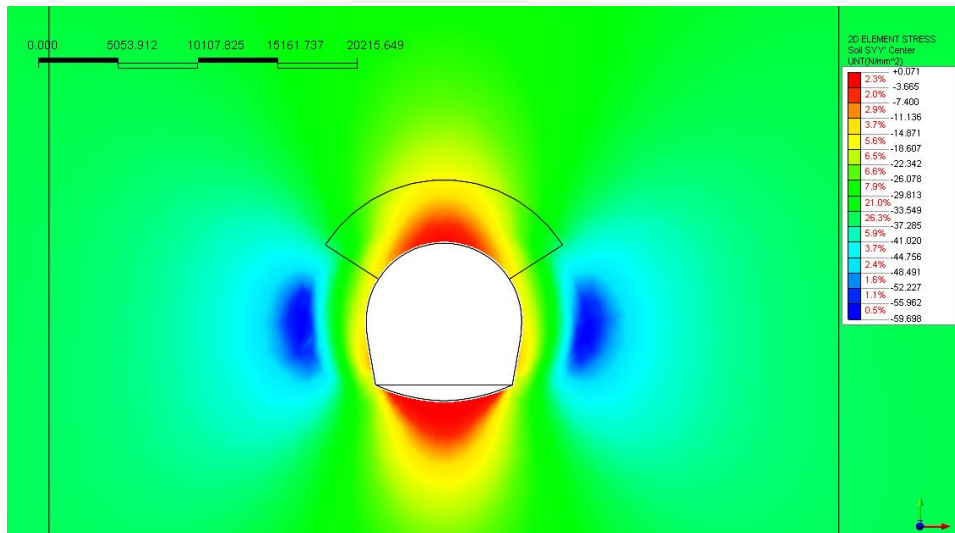


Abbildung 17: Vertikale  $\sigma_{yy}$  Spannungen [kN/m<sup>2</sup>] – Aushubsende GL-T4

Illustrazione 17: Tensioni verticali  $\sigma_{yy}$  [N/mm<sup>2</sup>] - fine scavo GL-T4

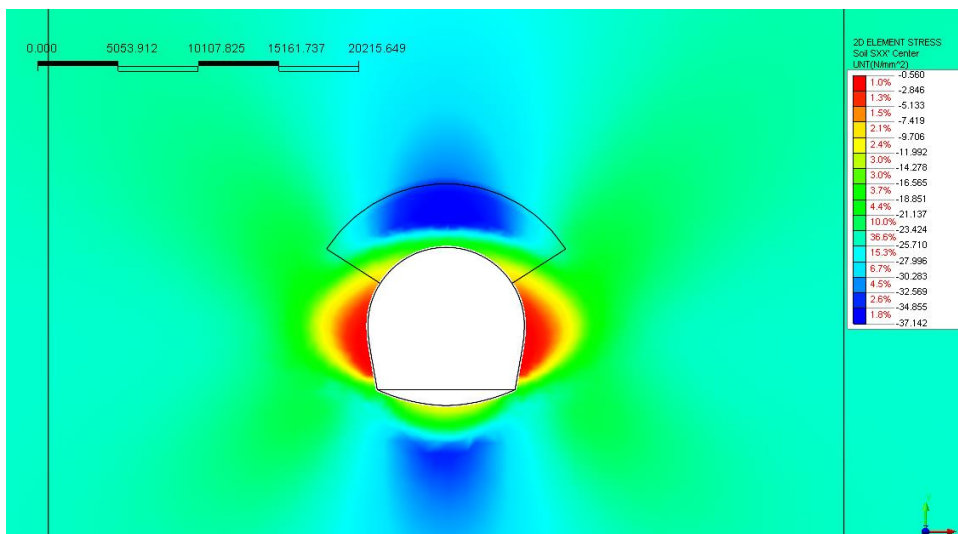


Abbildung 18: Horizontale  $\sigma_{xx}$  Spannungen [kN/m<sup>2</sup>] – Aushubsende GL-T4

Illustrazione 18: Tensioni orizzontali  $\sigma_{xx}$  [N/mm<sup>2</sup>] - fine scavo GL-T4

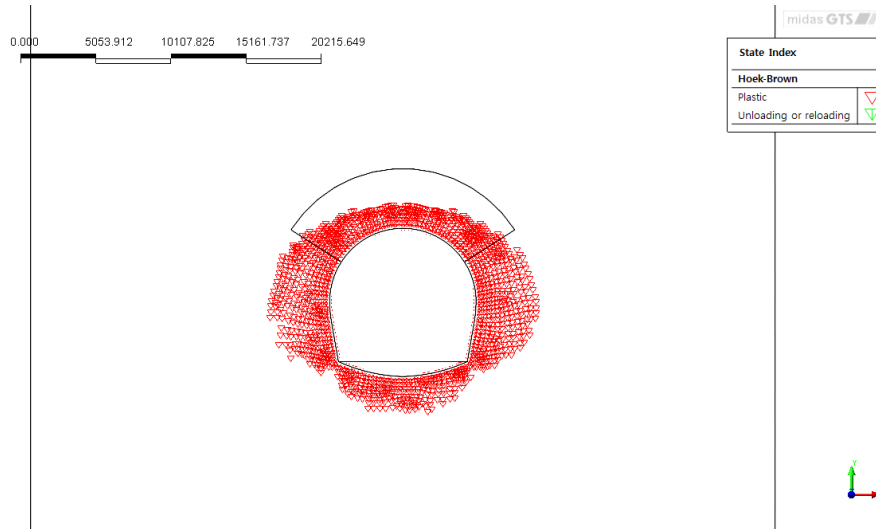


Abbildung 19: Das Plastischwerden am Aushubsende GL-T4

Illustrazione 19: Plasticizzazioni fine scavo GL-T4

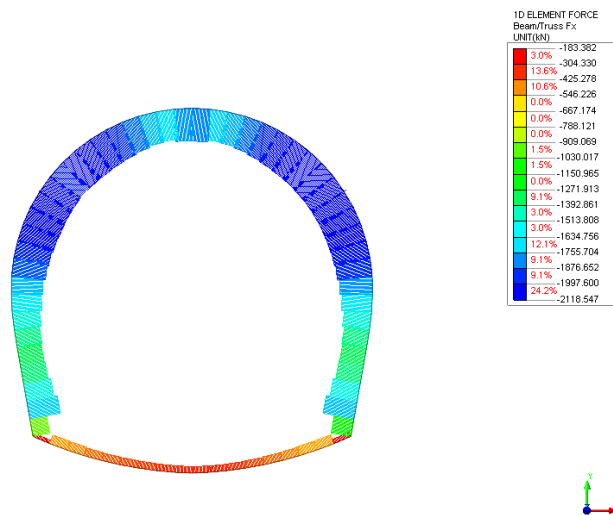


Abbildung 20: Normale Belastungen auf die Außenschale [kN] – Aushubsende GL-T4

Illustrazione 20: Sollecitazioni normali sul rivestimento di prima fase [kN] - fine scavo GL-T4

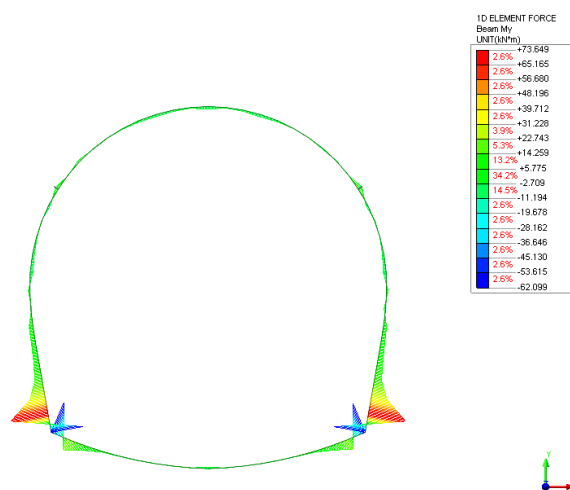


Abbildung 21: Momente auf der Außenschale [kNm] – Aushubsende GL-T4

Illustrazione 21: Momenti sul rivestimento di prima fase [kNm] - fine scavo GL-T4

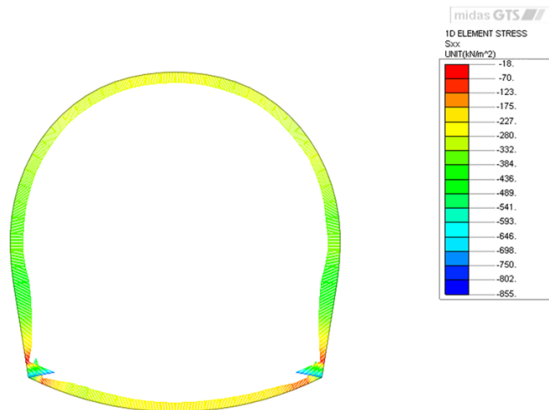


Abbildung 22: Normale Drucke auf die Innenschale GL-T4 - Aushubsende

Illustrazione 22: Carico di allentamento sul rivestimento interno GL-T4 - fine scavo

## A.2.2 ÜBERPRÜFUNGEN AUSSENSCHALE

## A.2.2 VERIFICHE RIVESTIMENTO PRIMA FASE

### Überprüfungen des Wechselwirkung-Diagramms M-N

### Verifiche diagramma di interazione M-N

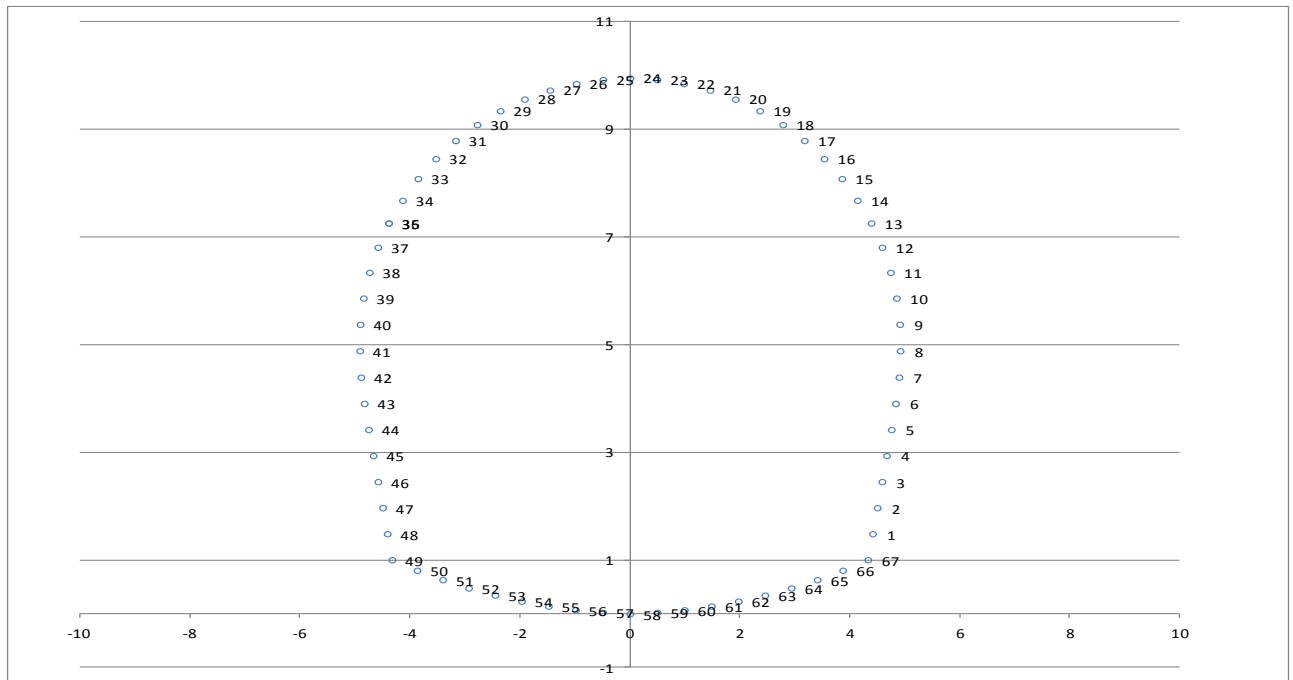
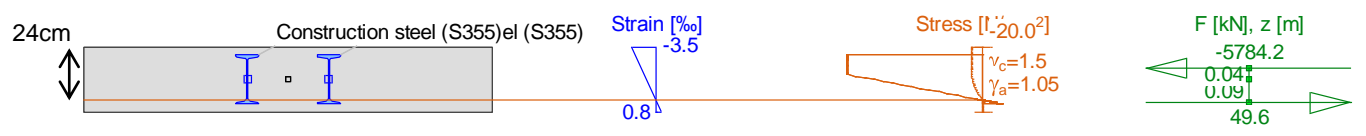
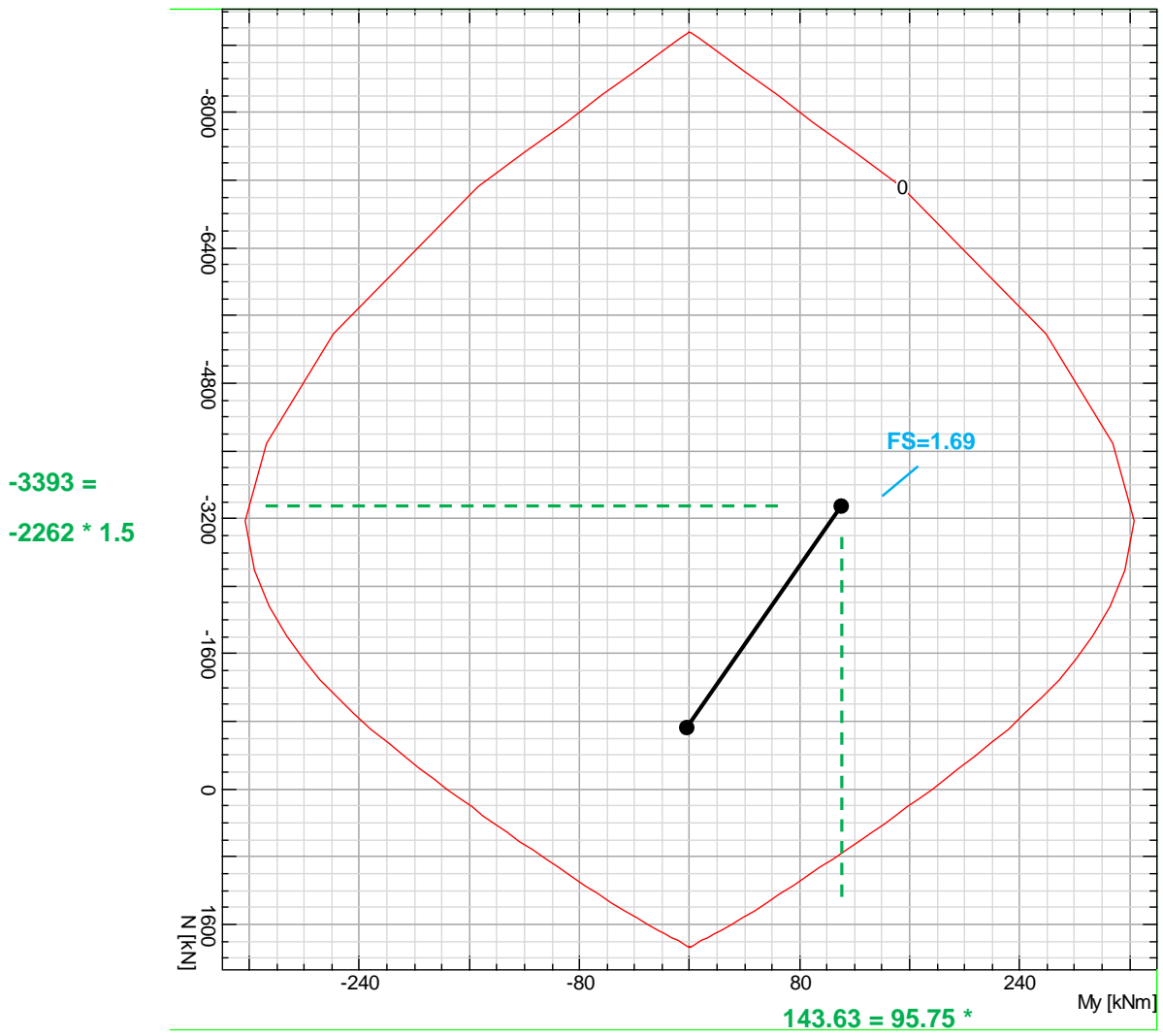


Abbildung 23: Nummerierung der Knoten des numerischen Modells GL-T4

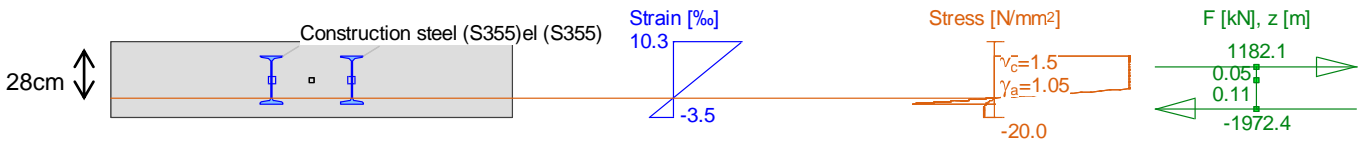
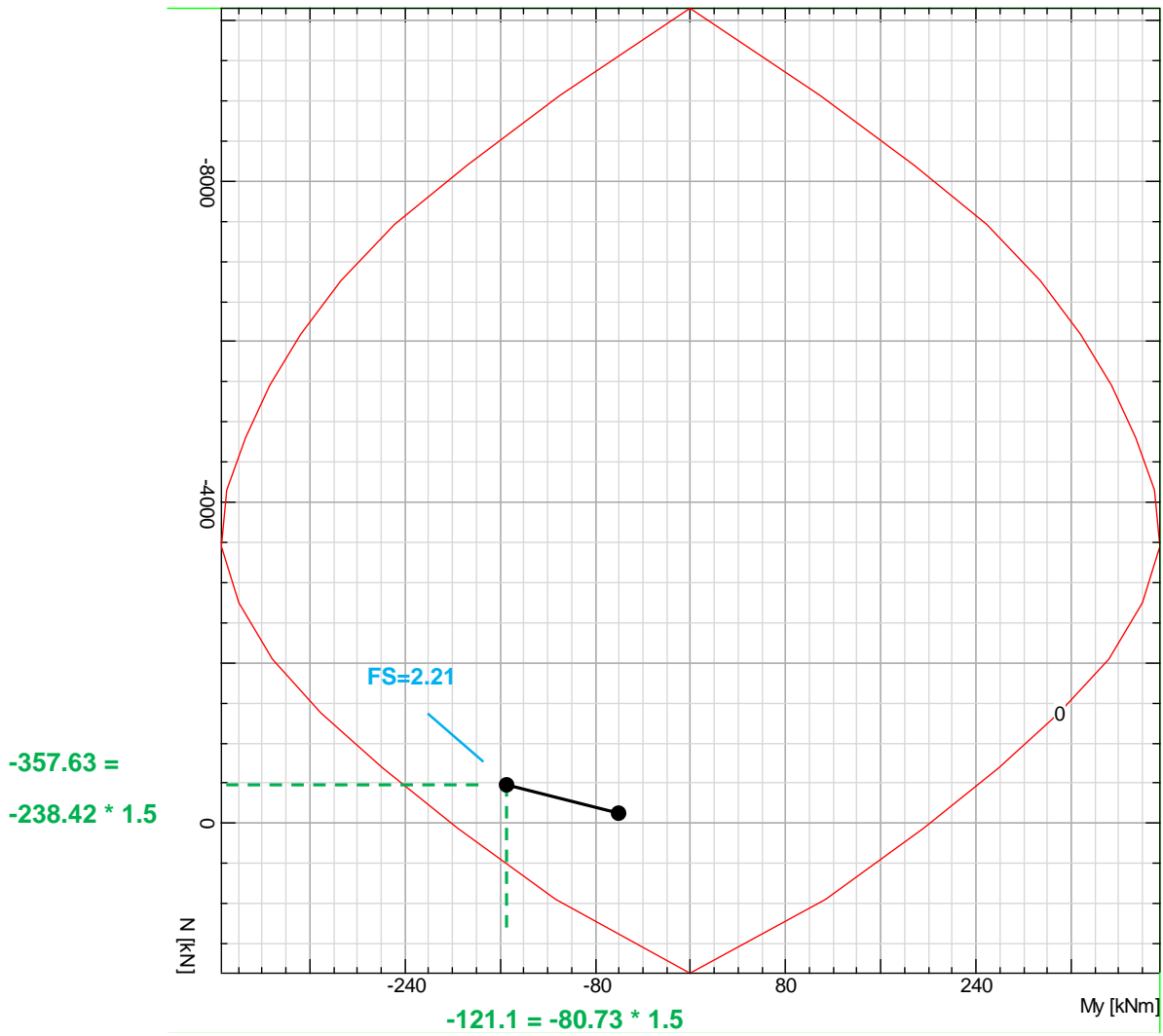
Illustrazione 23: Numerazione dei nodi del modello numerico GL-T4

	X	Y	N <sub>k</sub>	M <sub>k</sub>	N <sub>d</sub>	M <sub>d</sub>	FS
	[m]	[m]	[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[-]
1	4.41	1.49	-1740.00	73.65	-2262.00	95.75	1.69
2	4.50	1.97	-1737.00	31.11	-2258.10	40.44	2.18
3	4.58	2.45	-1523.00	13.88	-1979.90	18.04	2.73
4	4.67	2.94	-1374.00	10.05	-1786.20	13.07	3.09
5	4.75	3.42	-1386.00	7.63	-1801.80	9.92	3.12
6	4.83	3.91	-1504.00	5.93	-1955.20	7.71	2.92
7	4.89	4.40	-1671.00	-3.08	-2172.30	-4.01	2.69
8	4.91	4.89	-1800.00	3.22	-2340.00	4.19	2.5
9	4.91	5.38	-1934.00	-5.53	-2514.20	-7.19	2.3
10	4.85	5.86	-2010.00	-3.04	-2613.00	-3.95	2.25
11	4.74	6.34	-2058.00	-0.14	-2675.40	-0.18	2.23
12	4.58	6.81	-2096.00	1.04	-2724.80	1.35	2.18
13	4.39	7.26	-2098.00	-3.50	-2727.40	-4.55	2.15
14	4.14	7.68	-2094.00	8.25	-2722.20	10.73	2.1
15	3.85	8.08	-2119.00	-0.51	-2754.70	-0.66	2.16
16	3.53	8.46	-2116.00	0.59	-2750.80	0.76	2.17
17	3.17	8.79	-2096.00	-1.70	-2724.80	-2.21	2.17
18	2.78	9.09	-2080.00	-0.02	-2704.00	-0.02	2.21
19	2.36	9.35	-2034.00	-0.15	-2644.20	-0.20	2.26
20	1.92	9.56	-1954.00	-2.20	-2540.20	-2.86	2.32
21	1.45	9.73	-1859.00	-4.63	-2416.70	-6.01	2.4
22	0.98	9.85	-1764.00	-2.38	-2293.20	-3.09	2.57
23	0.49	9.92	-1820.00	-0.89	-2366.00	-1.15	2.51
24	0.00	9.95	-1820.00	-5.34	-2366.00	-6.94	2.44
25	-0.49	9.92	-1796.00	-1.30	-2334.80	-1.68	2.54
26	-0.98	9.85	-1739.00	-2.32	-2260.70	-3.02	2.6
27	-1.45	9.73	-1852.00	-4.26	-2407.60	-5.54	2.42
28	-1.92	9.56	-1943.00	-2.65	-2525.90	-3.45	2.33
29	-2.36	9.35	-2011.00	-0.86	-2614.30	-1.12	2.27
30	-2.78	9.09	-2051.00	-0.14	-2666.30	-0.19	2.24
31	-3.17	8.79	-2053.00	-1.13	-2668.90	-1.46	2.22
32	-3.53	8.46	-2058.00	3.62	-2675.40	4.70	2.19
33	-3.85	8.08	-2046.00	-0.88	-2659.80	-1.15	2.24
34	-4.14	7.68	-2068.00	5.77	-2688.40	7.50	2.15
35	-4.39	7.26	-2070.00	-2.95	-2691.00	-3.84	2.18
36	-4.39	7.26	-2094.00	-2.95	-2722.20	-3.84	2.16
37	-4.58	6.81	-2097.00	0.51	-2726.10	0.67	2.19
38	-4.74	6.34	-2041.00	-1.19	-2653.30	-1.55	2.24
39	-4.85	5.86	-1965.00	-3.84	-2554.50	-4.99	2.29
40	-4.91	5.38	-1882.00	-5.03	-2446.60	-6.54	2.37
41	-4.91	4.89	-1748.00	3.12	-2272.40	4.05	2.58
42	-4.89	4.40	-1651.00	-1.98	-2146.30	-2.58	2.75
43	-4.83	3.91	-1501.00	7.53	-1951.30	9.79	2.9
44	-4.75	3.42	-1390.00	7.92	-1807.00	10.29	3.1
45	-4.67	2.94	-1371.00	10.04	-1782.30	13.05	3.09
46	-4.58	2.45	-1519.00	14.00	-1974.70	18.20	2.74
47	-4.50	1.97	-1715.00	29.76	-2229.50	38.69	2.23
48	-4.41	1.49	-1718.00	73.51	-2233.40	95.56	1.7



	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>N<sub>k</sub></b>	<b>M<sub>k</sub></b>	<b>N<sub>d</sub></b>	<b>M<sub>d</sub></b>	<b>FS</b>
	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[kN/m]</b>	<b>[kNm/m]</b>	<b>[kN/m]</b>	<b>[kNm/m]</b>	<b>[-]</b>
49	-4.33	1.00	-183.40	-62.10	-238.42	-80.73	2.21
50	-3.87	0.81	-504.60	22.04	-655.98	28.65	6.85
51	-3.41	0.63	-505.60	9.52	-657.28	12.37	8.63
52	-2.93	0.48	-490.60	1.69	-637.78	2.20	10.27
53	-2.45	0.34	-444.70	0.37	-578.11	0.48	11.63
54	-1.97	0.23	-420.30	0.43	-546.39	0.56	12.28
55	-1.48	0.14	-405.70	0.16	-527.41	0.21	12.8
56	-0.99	0.07	-387.30	0.17	-503.49	0.22	13.4
57	-0.50	0.03	-367.90	0.23	-478.27	0.30	14.07
58	0.00	0.00	-359.10	-2.35	-466.83	-3.05	13.62
59	0.50	0.03	-353.10	0.29	-459.03	0.38	14.64
60	0.99	0.07	-371.20	-0.12	-482.56	-0.16	14
61	1.48	0.14	-402.00	0.20	-522.60	0.26	12.9
62	1.97	0.23	-440.70	0.12	-572.91	0.15	11.8
63	2.45	0.34	-473.80	0.36	-615.94	0.46	10.92
64	2.93	0.48	-518.50	1.97	-674.05	2.56	9.69
65	3.41	0.63	-519.50	9.17	-675.35	11.92	8.49
66	3.87	0.81	-518.40	20.76	-673.92	26.99	6.92
67	4.33	1.00	-246.90	-61.16	-320.97	-79.51	2.5





### **A.2.3 ÜBERPRÜFUNG DER ORTSBRUSTSTABILITÄT**

In Folge sind die Plots der für Ausbruchquerschnitt GL-T4 durchgeführten axialsymmetrischen Analysen.

#### **Analyse ohne Befestigungseingriffe**

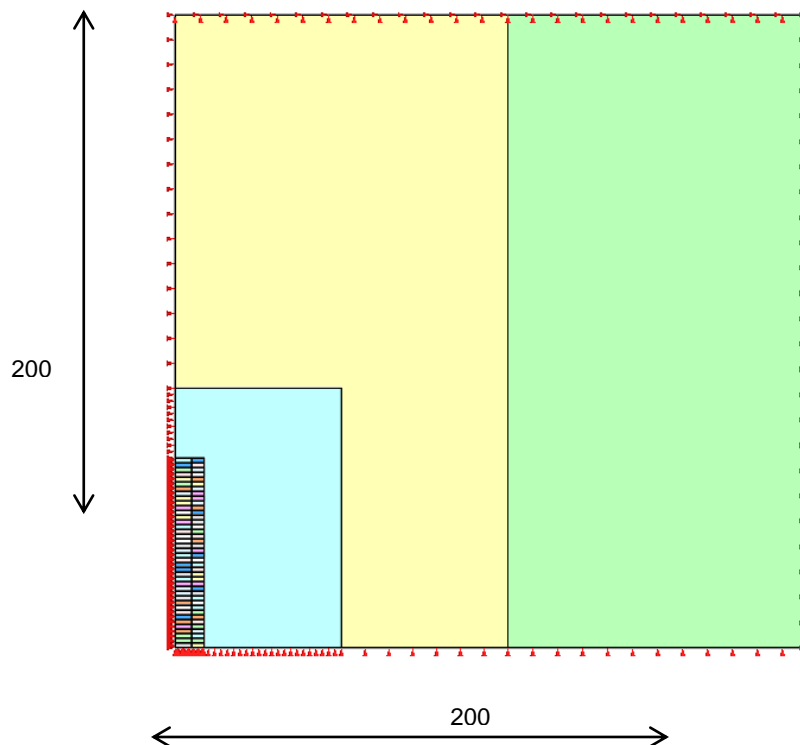
Die Analyse ist ohne Befestigungseingriffe der Ortsbrust, ohne Außenschalen und auf Teilstrecken von 1.5 Meter durchgeführt worden.

### **A.2.3 VERIFICHE STABILITÀ DEL FRONTE**

Nel seguito si riportano i plot delle analisi assialsimmetriche eseguite per la sezione GL-T4.

#### **Analisi senza interventi di consolidamento**

L'analisi è stata eseguita in assenza di interventi di consolidamento del fronte e di assenza dei rivestimenti di prima fase e per tappe di 1.5 metri.



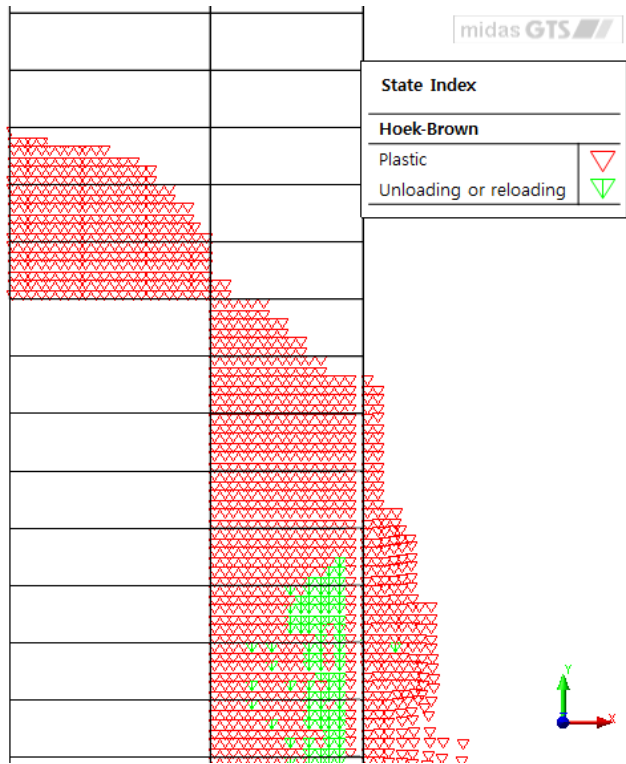


Abbildung 24: Axialsymmetrisches Modell, plastizierter Bereich ohne Anker an der Ortsbrust

Illustrazione 24: Modello Assialsimmetrico, Zona plasticizzata in assenza di ancoraggi al fronte

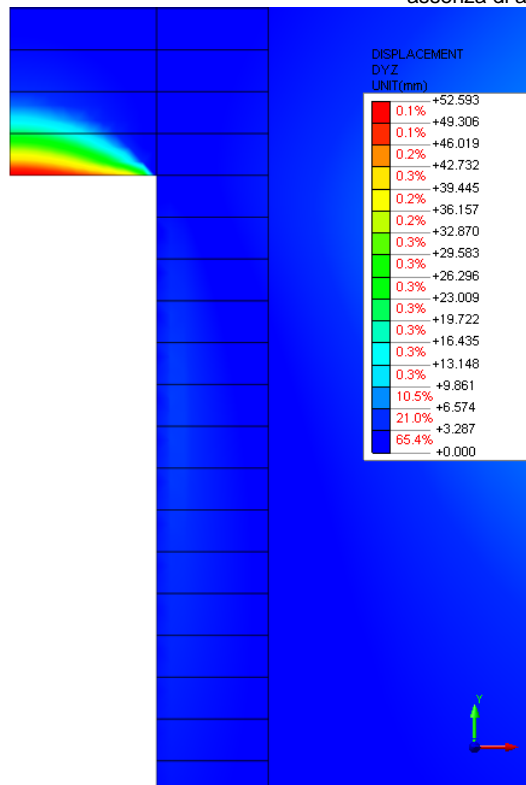


Abbildung 25: Axialsymmetrisches Modell, Ortsbrustextrusion

Illustrazione 25: Modello Assialsimmetrico, Estrusione al fronte

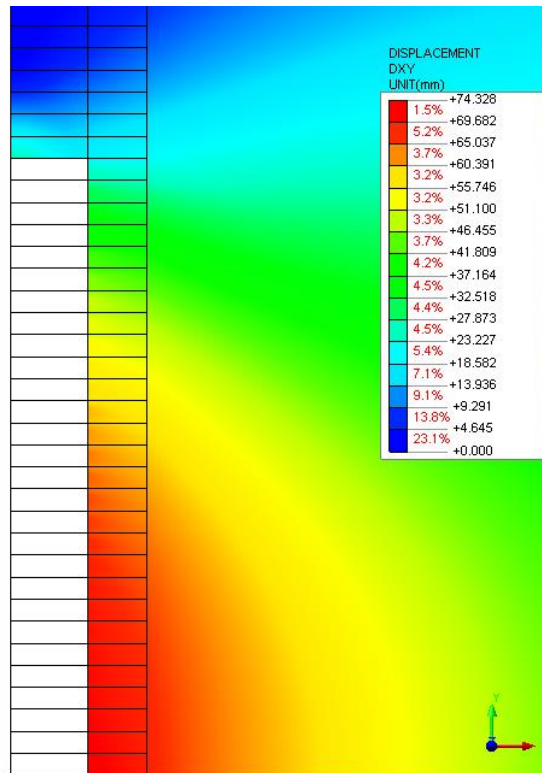


Abbildung 26: Axialsymmetrisches Modell, radiale Konvergenz

Illustrazione 26: Modello assialsimmetrico, convergenza radiale

### Analyse mit Befestigungseingriffe

Die Analyse ist mit Befestigungseingriffe der Ortsbrust und am Umriss auf Teilstrecken von 1.5 Meter durchgeführt worden, unter Berücksichtigung der minimalen Überlagerung von 6 Meter für die Anker an der Ortsbrust.

Die Wertung des Beitrags welches von Befestigungen ausgeht ist durch Anwendung eines Inkrements der fiktiven Kohäsion  $\Delta c$  des verstärkten Gebirges, welche dem Begrenzungsdruck  $\sigma_3$  gebunden ist (Ergebnis des Zugwiderstands einer Einlage dividiert durch dessen Einflussbereich):

### Analisi con interventi di consolidamento

L'analisi è stata eseguita con la presenza di interventi di consolidamento del fronte e al contorno per tappe di 1.5 metri, tenendo conto della sovrapposizione minima di 6 metri per gli ancoraggi al fronte.

La stima del contributo fornito dai consolidamenti è effettuata applicando un incremento di coesione fittizio  $\Delta c$  all'ammasso consolidato, legato alla pressione di confinamento  $\sigma_3$  (risultante della resistenza a trazione di un incluso divisa per la sua area d'influenza):

$$\Delta\sigma_3 = \min\left[T_f = \pi \cdot D \cdot \alpha \cdot L \cdot \tau_a; T_f = \sigma_b \cdot A_b\right] \cdot \left(\frac{N_b}{A_b}\right)$$

$$\Delta c = \frac{\cos \phi}{2 \cdot (1 - \sin \phi)} \cdot \Delta\sigma_3$$

Wobei:

- $\Delta\sigma_3$  = Begrenzungsdruck
- $N_b$  = Anzahl der Stäbe an der Ortsbrust
- $A_b$  = widerstandsfähiger Bereich der Stäbe
- $\sigma_b$  = Bruchdehnungswiderstand
- $D$  = Bohrungsdurchmesser
- $\alpha$  = Dilatationsbeiwert

In cui:

- $\Delta\sigma_3$  = pressione di confinamento
- $N_b$  = numero delle barre al fronte
- $A_b$  = area resistente della barra
- $\sigma_b$  = resistenza di rottura a trazione
- $D$  = diametro di perforazione
- $\alpha$  = coefficiente di sbulbatura

- $L$  = Überlagerungslänge
- $s_l$  = seitliche Staboberfläche
- $\tau_a$  = Verbundspannung zwischen Stab und Mörtel (oder Mörtel und Boden)

- $L$  = lunghezza di sovrapposizione
- $s_l$  = superficie laterale della barra
- $\tau_a$  = tensione di aderenza tra barra e malta (o tra malta e terreno)

In Bezug zur Befestigung des Hohlraumumrisses ist, analog zum Dokument [10], die Herangehensweise von Hoek e Ribacchi angewandt worden. Es wird ein Teil des befestigten Bereichs berücksichtigt mit einem Quermaß von 1 m und es wird ein Verfahren der Durchschnittswichtungen, bei Berechnung der gleichwertigen Werte des elastischen Moduls und der Kohäsion in Bezug zur Fläche und zum Widerstand jeder einzelne Komponente (Gebirge und Zement einspritzung), durchgeführt.

Per quanto riguarda il consolidamento del contorno del cavo viene adottato l'approccio di Hoek e Ribacchi analogamente al Doc. [10]. Si considera una porzione di zona consolidata avente dimensione trasversale di 1m e si esegue un processo di medie pesate con riferimento all'area ed alla resistenza di ogni singolo componente (ammasso e iniezione cementizia), calcolando valori equivalenti di modulo elastico e coesione:

$$\sigma_{cm,eq} = \frac{\sigma_{cm} \cdot A_{rock} + R_c \cdot A_c}{A_{TOT}}$$

$$c_{eq} = \sigma_{cm,eq} \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{2 \cos \varphi}$$

$$E_{eq} = \frac{E_{rock} \cdot A_{rock} + E_c \cdot A_c}{A_{TOT}}$$

Wobei:

- $\sigma_{cm}$  = Widerstand des ursprünglichen Gebirges entsprechend dem einachsigen Druckwiderstand;
- $A_{rock}$  = Oberfläche des nicht befestigten Gebirges;
- $R_c$  = Widerstand des eingespritzten Gemischs;
- $A_c$  = von der Einspritzung betroffener Bereich.

Dove:

- $\sigma_{cm}$  è la resistenza dell'ammasso originario pari alla resistenza a compressione monoassiale;
- $A_{rock}$  è la superficie dell'ammasso non consolidato;
- $R_c$  è la resistenza della miscela iniettata;
- $A_c$  è l'area interessata dall'iniezione.

Parametri geotecnici ammasso	Angolo d'attrito di picco	$\Phi'_p$	33.0	°
	Angolo d'attrito residuo	$\Phi'_r$	25.5	°
	Angolo di dilatanza	$\psi$	6.1	°
	Coesione di picco	$c'_p$	3	MPa
	Coesione residua	$c'_r$	1.8	MPa
	Resistenza a compressione uniassiale di picco	$\sigma_{cm,p}$	11.051	MPa
	Resistenza a compressione uniassiale residua	$\sigma_{cm,r}$	5.706	MPa
	Pendenza curva $\sigma_1/3$	k	3.392	-
	Modulo elastico	Em	20414	MPa
	Coefficiente di Poisson	v	0.3	-

Parametri tunnel	Raggio tunnel	$r_0$	4.8	m
	Copertura	h	1115	m
	Peso specifico roccia	$\gamma_r$	26.6	kN/m <sup>3</sup>
	Pressione idrostatica	$p_0$	29.66	MPa

Consolidamento al contorno	Passo longitudinale	il	3.0	m
	Passo trasversale	it	0.75	m
	Numero barre / m <sup>2</sup>	n	0.444	-
	area barra	Ab	0.015	m <sup>2</sup>
	Diametro corona	dc	0.1	m
	Coefficiente sbulbatura	$\alpha$	1.3	-
	Area di iniezione	Ac	0.013	m <sup>2</sup>
	Resistenza iniezione	Rc	25	MPa
	Modulo elastico iniezione	Ec	25000	MPa
	Resistenza equivalente picco	$R_{p,eq}$	11.195	MPa
	Resistenza equivalente residua	$R_{r,eq}$	5.850	MPa
	Coesione di picco equivalente	$c_{p,eq}$	<b>3.039</b>	MPa
	Coesione residua equivalente	$c_{r,eq}$	<b>1.846</b>	MPa
	Modulo elastico equivalente	Eeq	<b>20558</b>	MPa

Consolidamento del nucleo	Numero consolidamenti	Nb	32.0	-
	Diametro perforazione	D	0.1	m
	Lunghezza sovrapposizione	L	6.0	m
	Coefficiente sbulbatura	$\alpha$	1	-
	Tensione aderenza barra/malta	$\tau$	0.3	MPa
	Tensione caratteristica SLU	$\sigma_b$	650	MPa
	Diametro esterno	de	0.051	m
	Diametro interno	di	0.038	m
	Area resistente	Ab	0.001	m <sup>2</sup>
	Area del fronte di scavo	sb	72.38	m <sup>2</sup>
	Resistenza a rottura	T1	590.66	kN
	Resistenza a sfilamento	T2	565.49	kN
	Pressione di confinamento longitudinale	$\Delta\sigma_3$	<b>0.250</b>	MPa
	Coesione migliorata	$c'$	<b>3.107</b>	MPa

Nachdem das bildende Modell von Hoek-Brown eingesetzt wurde, sind die dazugehörigen Inkremente des Parameters  $s_b$ , berücksichtigt worden, aufgrund der in [37] beinhalteten Angaben.

Essendo stato impiegato il modello costitutivo di Hoek-Brown, sono stati considerati corrispondenti incrementi del parametro  $s_b$ , sulla base delle indicazioni contenute in [37].

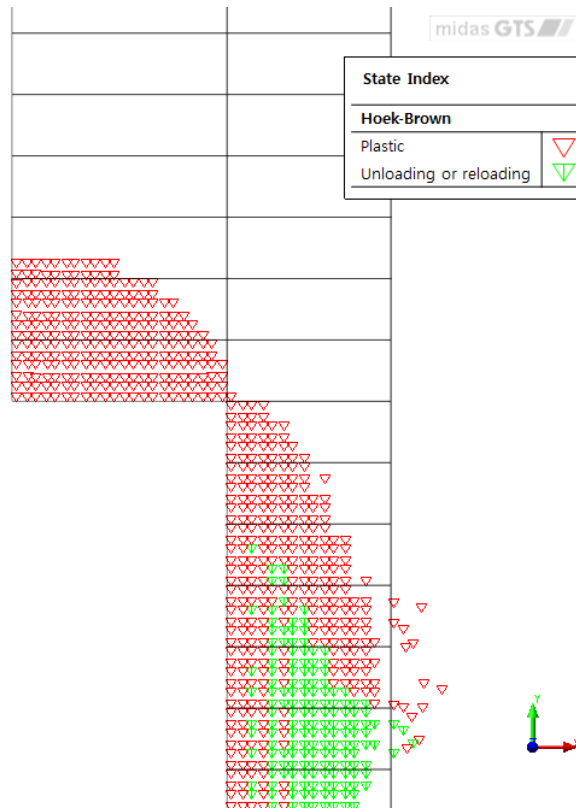


Abbildung 27: Axialsymmetrisches Modell, plastizierter Bereich bei Vorhandensein der Befestigungen

Illustrazione 27: Modello Assialsimmetrico, Zona plasticizzata in presenza dei consolidamenti

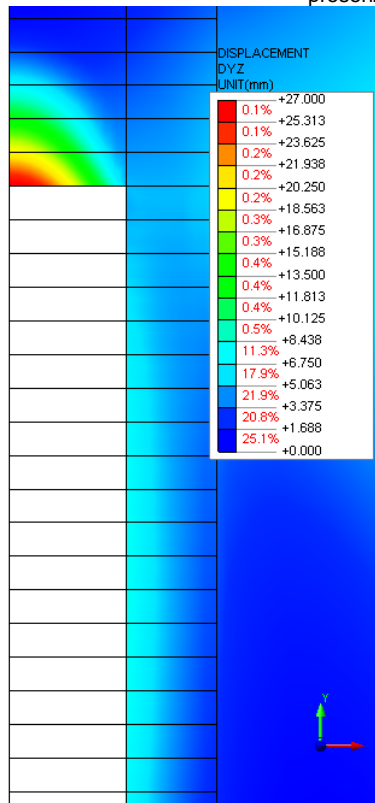


Abbildung 28: Axialsymmetrisches Modell, Ortsbrustextrusion

Illustrazione 28: Modello Assialsimmetrico, Estrusione al fronte

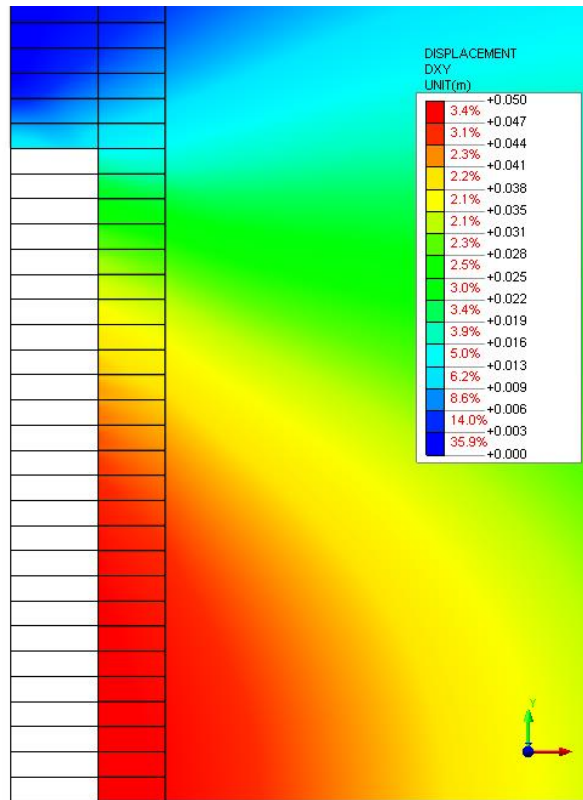


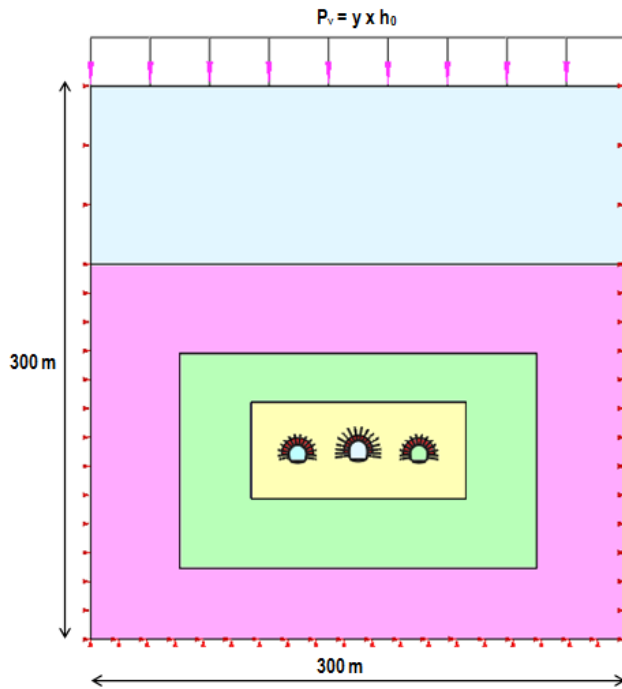
Abbildung 29: Axialsymmetrisches Modell, radiale Konvergenz

Illustrazione 29: Modello assialsimmetrico, convergenza radiale



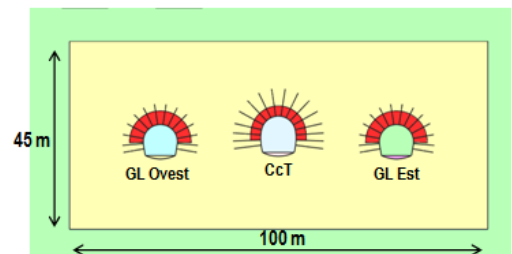
### ANHANG 3 - FEM-ANALYSE DER AUSSENSCHALE AUSBRUCHQUERSCHNITT GL-T5

In diesem Anhang werden die wichtigsten Outputs der Finite-Elemente-Analysen des Ausbruchquerschnitts GL-T5 aufgezeigt, welche mit dem Berechnungsprogramm Midas GTS durchgeführt wurden.



### APPENDICE 3 - ANALISI FEM DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE SEZIONE GL-T5

Nella presente appendice sono riportati i principali output delle analisi agli elementi finiti della sezione GL-T5 effettuate con il programma di calcolo Midas GTS.



### A.3.1 OUTPUT FEM-MODELL

### A.3.1 OUTPUT MODELLO FEM

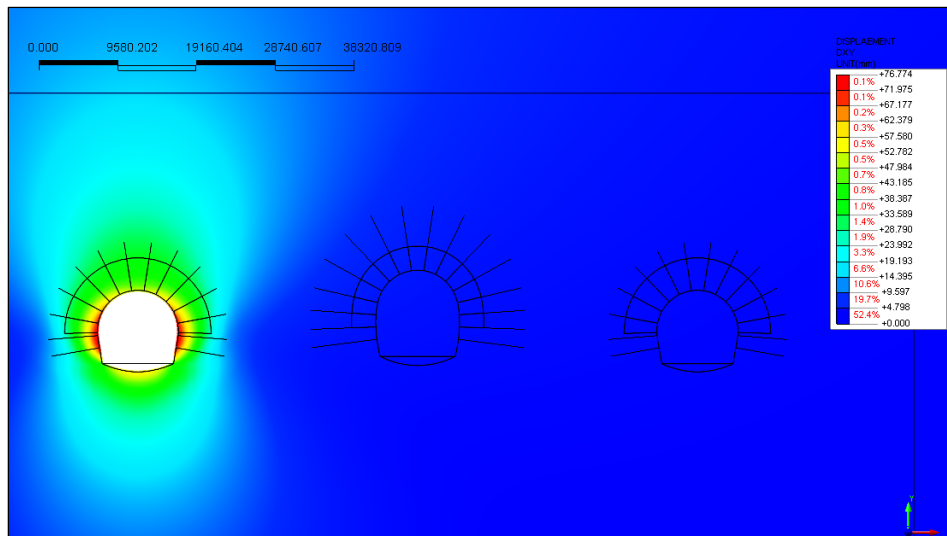


Abbildung 30: Verschiebungen xy [mm] Aushubsende GL West

Illustrazione 30: Spostamenti xy [mm] fine scavo GL Ovest

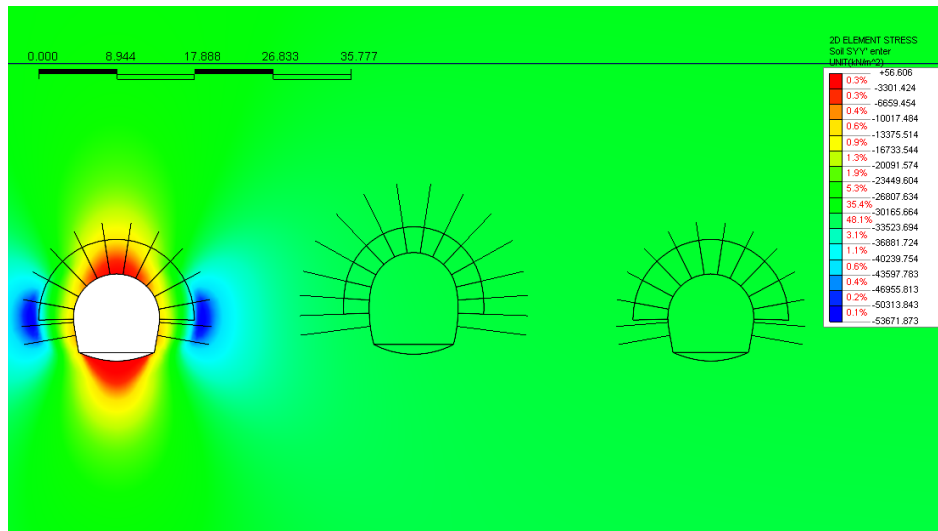


Abbildung 31: Vertikale Spannungen  $\sigma_{yy}$  [kN/m<sup>2</sup>] – Aushubsende GL West

Illustrazione 31: Tensioni verticali  $\sigma_{yy}$  [kN/m<sup>2</sup>] - fine scavo GL Ovest

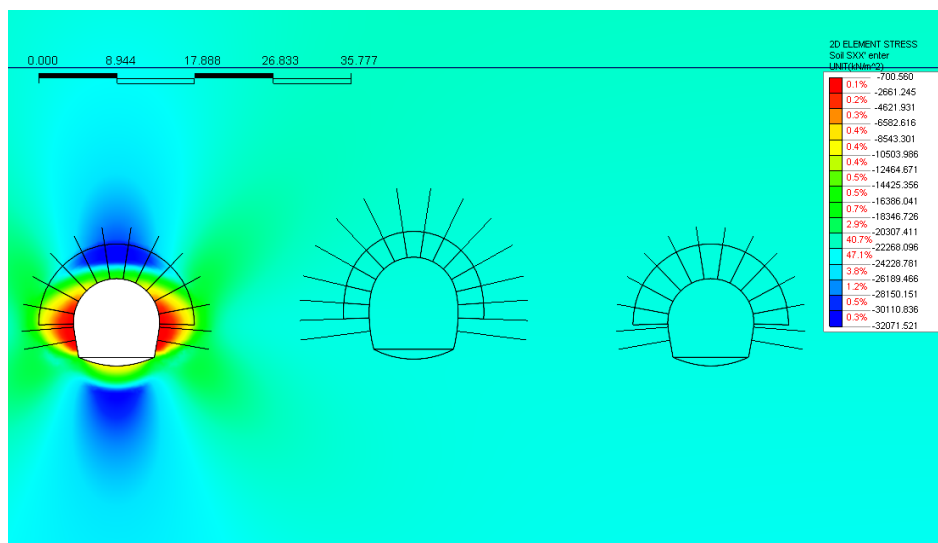


Abbildung 32: Horizontale Spannungen  $\sigma_{xx}$  [kN/m<sup>2</sup>] – Aushubsende GL West

Illustrazione 32: Tensioni orizzontali  $\sigma_{xx}$  [kN/m<sup>2</sup>] - fine scavo GL Ovest

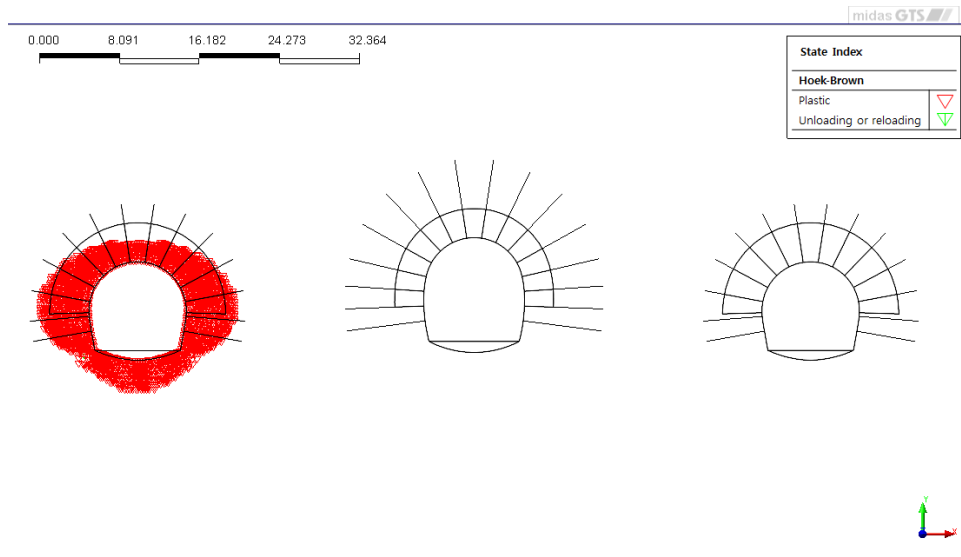


Abbildung 33: Das Plastischerwerden am Aushubsende GL West

Illustrazione 33: Plasticizzazioni fine scavo GL Ovest

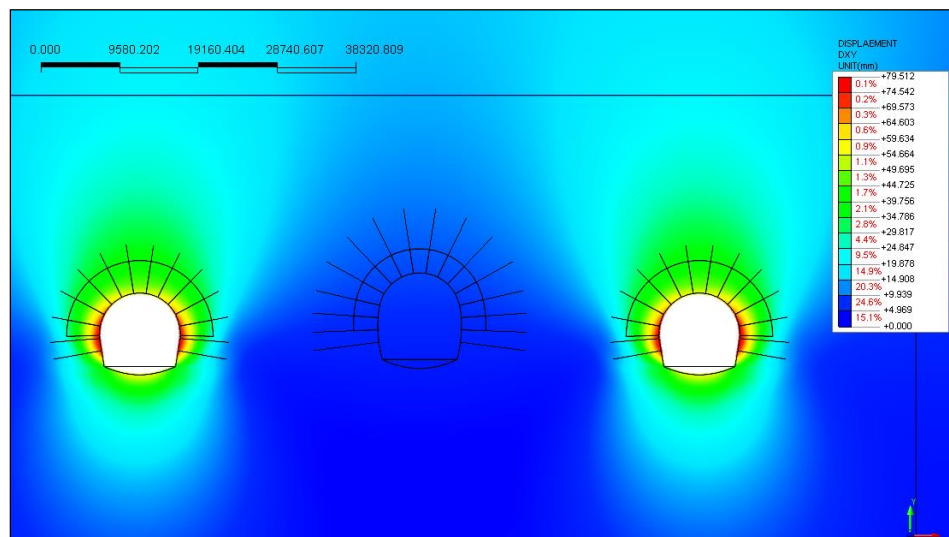


Abbildung 34: Verschiebungen xy [mm] Aushubsende GL Ost

Illustrazione 34: Spostamenti xy [mm] fine scavo GL Est

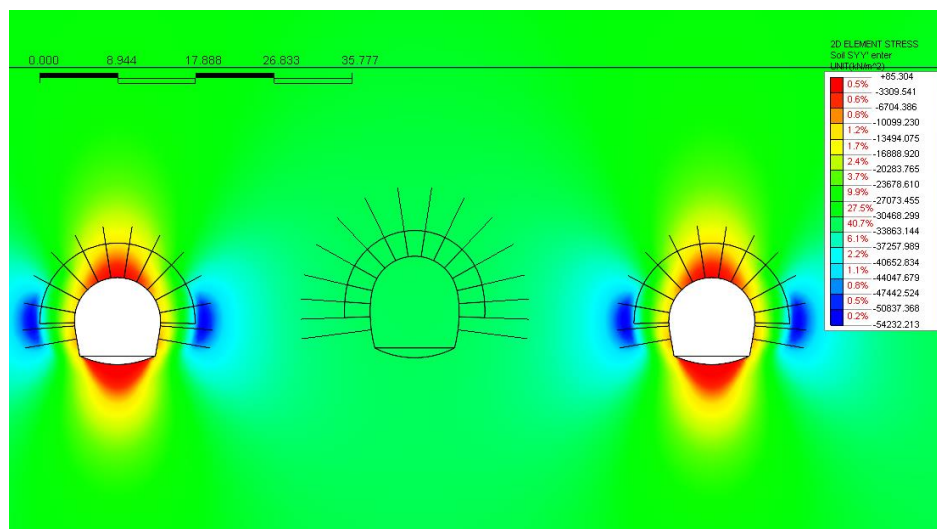


Abbildung 35: Vertikale Spannungen  $\sigma_{yy}$  [kN/m<sup>2</sup>] - Aushubsende GL Ost

Illustrazione 35: Tensioni verticali  $\sigma_{yy}$  [kN/m<sup>2</sup>] - fine scavo GL Est

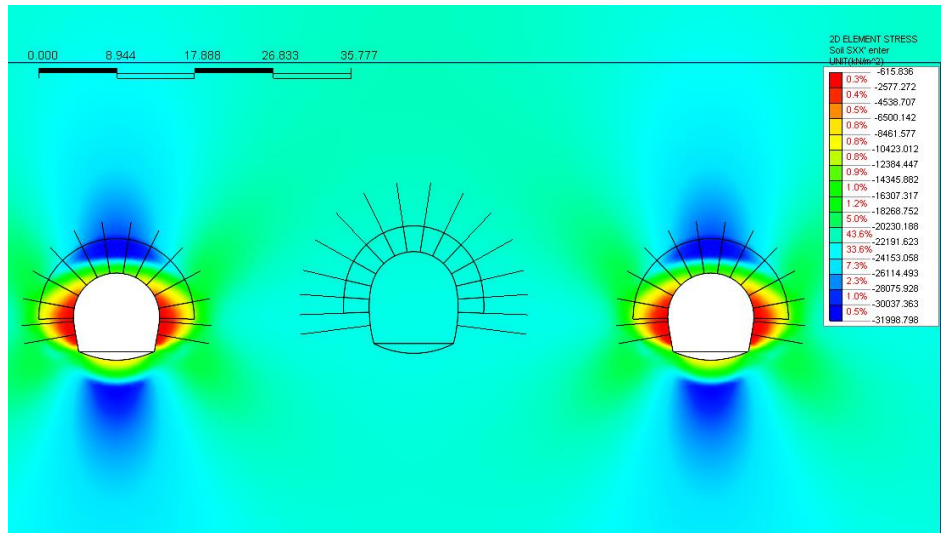


Abbildung 36: Horizontale Spannungen  $\sigma_{xx}$  [kN/m<sup>2</sup>] – Aushubsende GL Ost

Illustrazione 36: Tensioni orizzontali  $\sigma_{xx}$  [kN/m<sup>2</sup>] - fine scavo GL Est

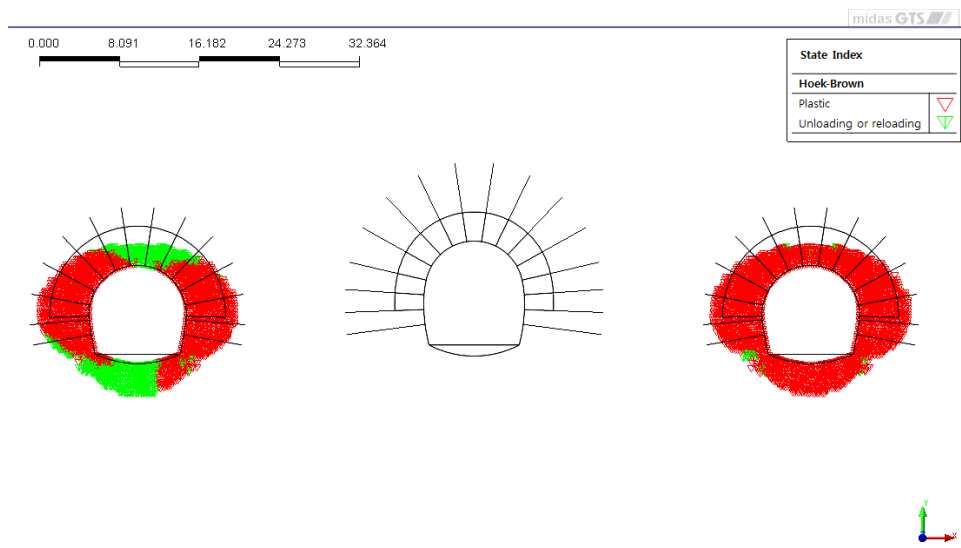


Abbildung 37: Das Plastischwerden am Aushubsende GL Ost

Illustrazione 37: Plasticizzazioni - fine scavo GL Est

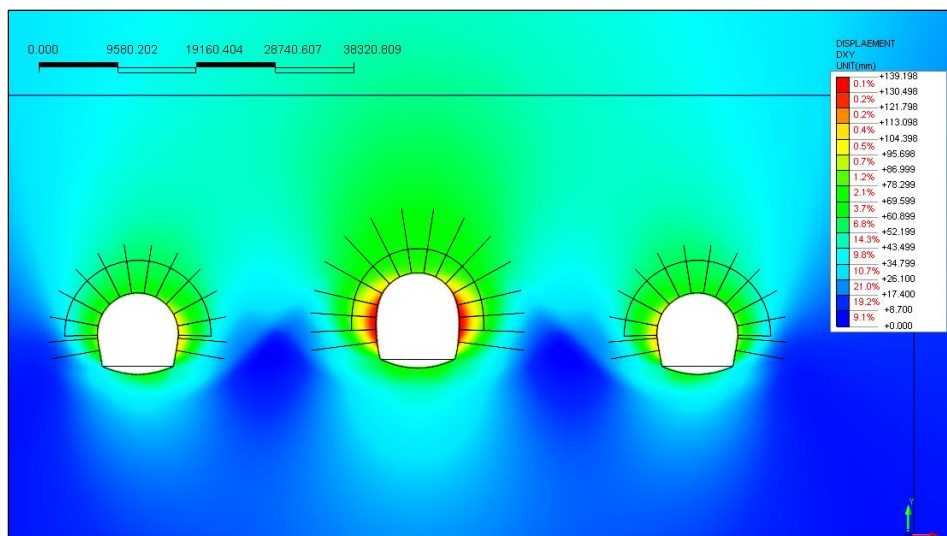


Abbildung 38: Verschiebungen xy [mm] Aushubsende FdE-CcT

Illustrazione 38: Spostamenti xy [mm] fine scavo FdE-CcT

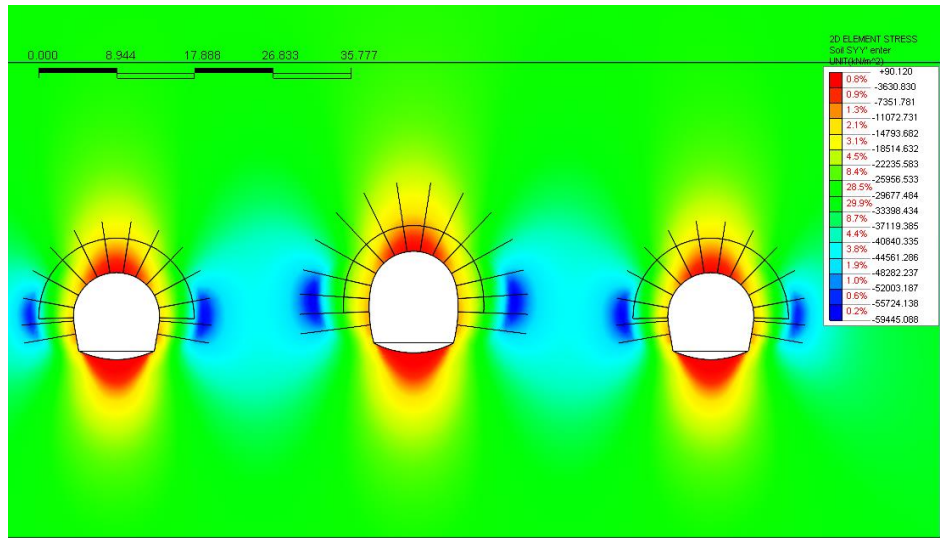


Abbildung 39: Vertikale Spannungen  $\sigma_{yy}$  [kN/m<sup>2</sup>] Aushubsende FdE-CcT      Illustrazione 39: Tensioni verticali  $\sigma_{yy}$  [kN/m<sup>2</sup>] - fine scavo FdE-CcT

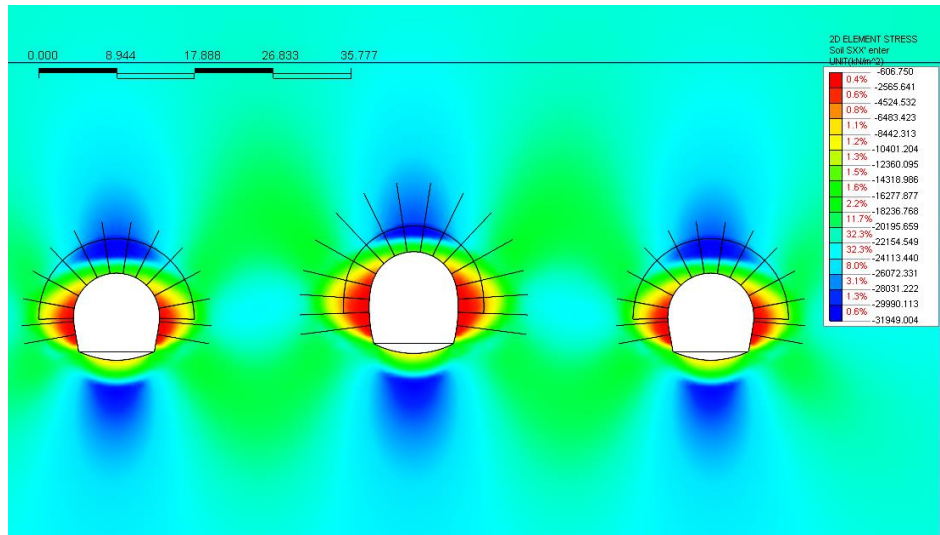


Abbildung 40: Horizontale Spannungen  $\sigma_{xx}$  [kN/m<sup>2</sup>] Aushubsende FdE-CcT      Illustrazione 40: Tensioni orizzontali  $\sigma_{xx}$  [kN/m<sup>2</sup>] - fine scavo FdE-CcT

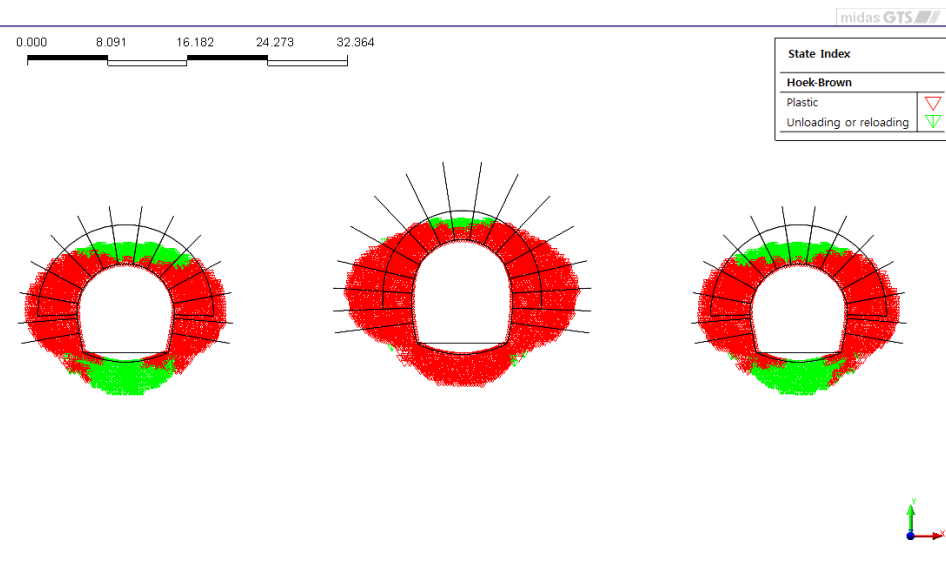


Abbildung 41: Das Plastischwerden am Aushubsende FdE-CcT

Illustrazione 41: Plasticizzazioni - fine scavo FdE-CcT

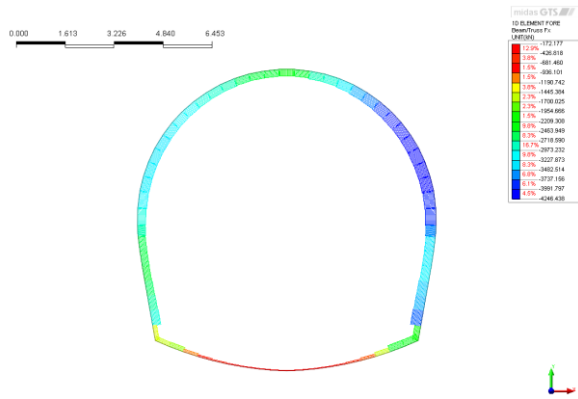


Abbildung 42: Normale Belastungen auf die Außenschale [kN] – Aushubsende FdE-CcT (rechts der GL-T4 Weströhre und links der GL-T5 Oströhre)

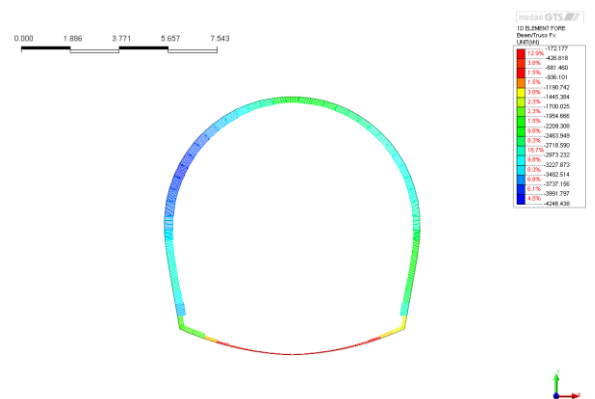


Illustrazione 42: Sollecitazioni normali sul rivestimento di prima fase [kN] - fine scavo FdE-CcT (a destra GL-T4 canna Ovest e a sinistra GL-T5 canna Est)

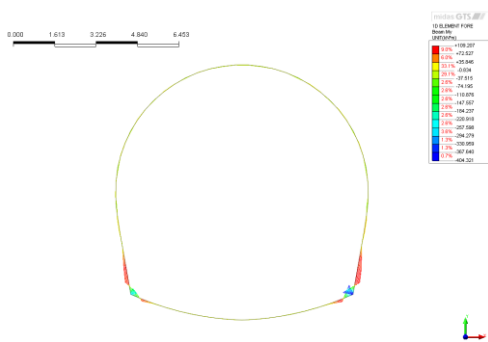


Abbildung 43: Momente auf die Außenschale [kNm] – Aushubsende FdE-CcT (rechts der GL-T5 Weströhre und links der GL-T5 Oströhre)

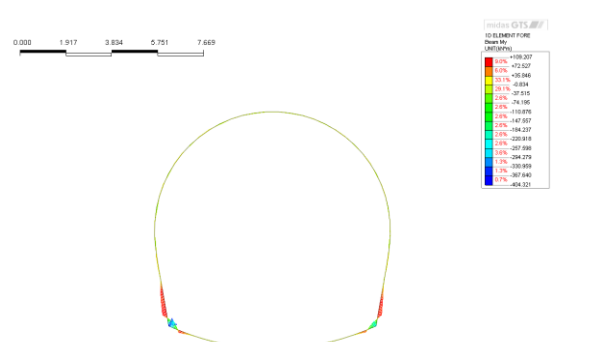


Illustrazione 43: Momenti sul rivestimento di prima fase [kNm] - fine scavo FdE-CcT (a destra GL-T5 canna Ovest e a sinistra GL-T5 canna Est)

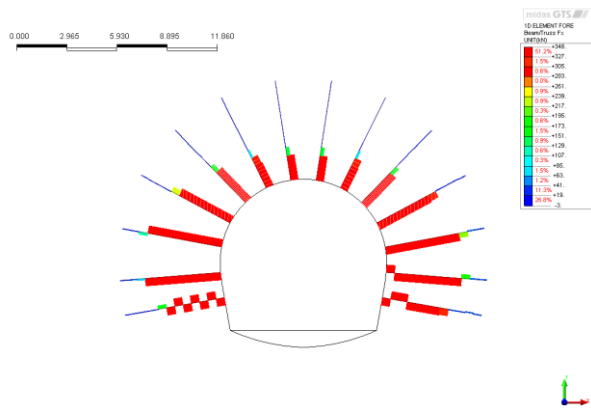


Abbildung 44: Axiale Belastungen an den Nieten [kN] – Aushubsende FdE-CcT (rechts der GL-T5 Weströhre und links der GL-T5 Oströhre)

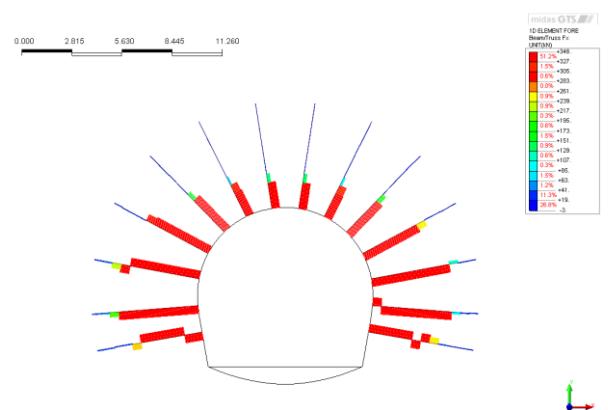


Illustrazione 44: Sollecitazioni assiali nei chiodi [-] - fine scavo FdE-CcT (a destra GL-T5 canna Ovest e a sinistra GL-T5 canna Est)

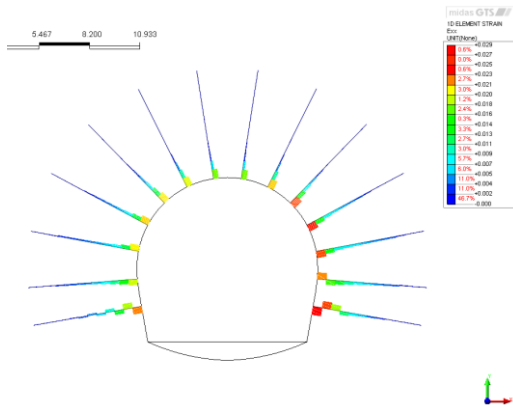


Abbildung 45: Axiale Verformung an den Nieten [-] – Aushubsende FdE-CcT (rechts der GL-T5 Weströhre und links der GL-T5 Oströhre)

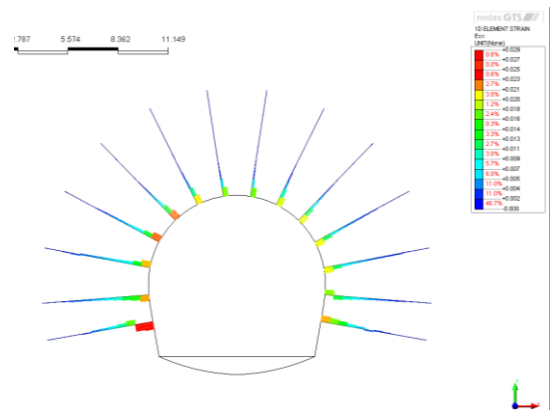


Illustrazione 45: Deformazione assiale nei chiodi [-] - fine scavo FdE-CcT (a destra GL-T5 canna Ovest e a sinistra GL-T5 canna Est)

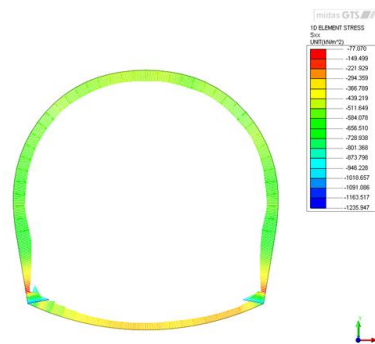


Abbildung 46: Lockerungsdrucke auf die Innenschale – Aushubsende FdE-CcT

Illustrazione 46: Carico di allentamento sul rivestimento interno - fine scavo FdE-CcT

### A.3.2 ÜBERPRÜFUNGEN AUSSENSCHALE

In Folge wird nur der Ausbruchquerschnitt GL-T5 Oströhre überprüft, da dieser, aufgrund des Aushubs der angrenzenden Höhlen, sich als am meisten belastet erweist.

#### Überprüfungen des Wechselwirkung-Diagramms M-N

Auf Höhe des Fußes des Tunnelbogenaufsatzes wurden die Belastungsspeaks übergangen, da sie der theoretischen Geometrie der Bewehrungsmatte verdankt sind, welche mit der numerischen Modellierung Kräfte massierungen erzeugt.

### A.3.2 VERIFICHE RIVESTIMENTO PRIMA FASE

Nel seguito viene verificata solamente la sezione GL-T5 canna Est in quanto risulta maggiormente sollecitata a causa dello scavo delle cavità limitrofe.

#### Verifiche diagramma di interazione M-N

In corrispondenza del piede della muretta sono stati trascurati i picchi di sollecitazione in quanto dovuti alla geometria teorica della mesh che con la modellazione numerica genera delle concentrazioni di sforzi.

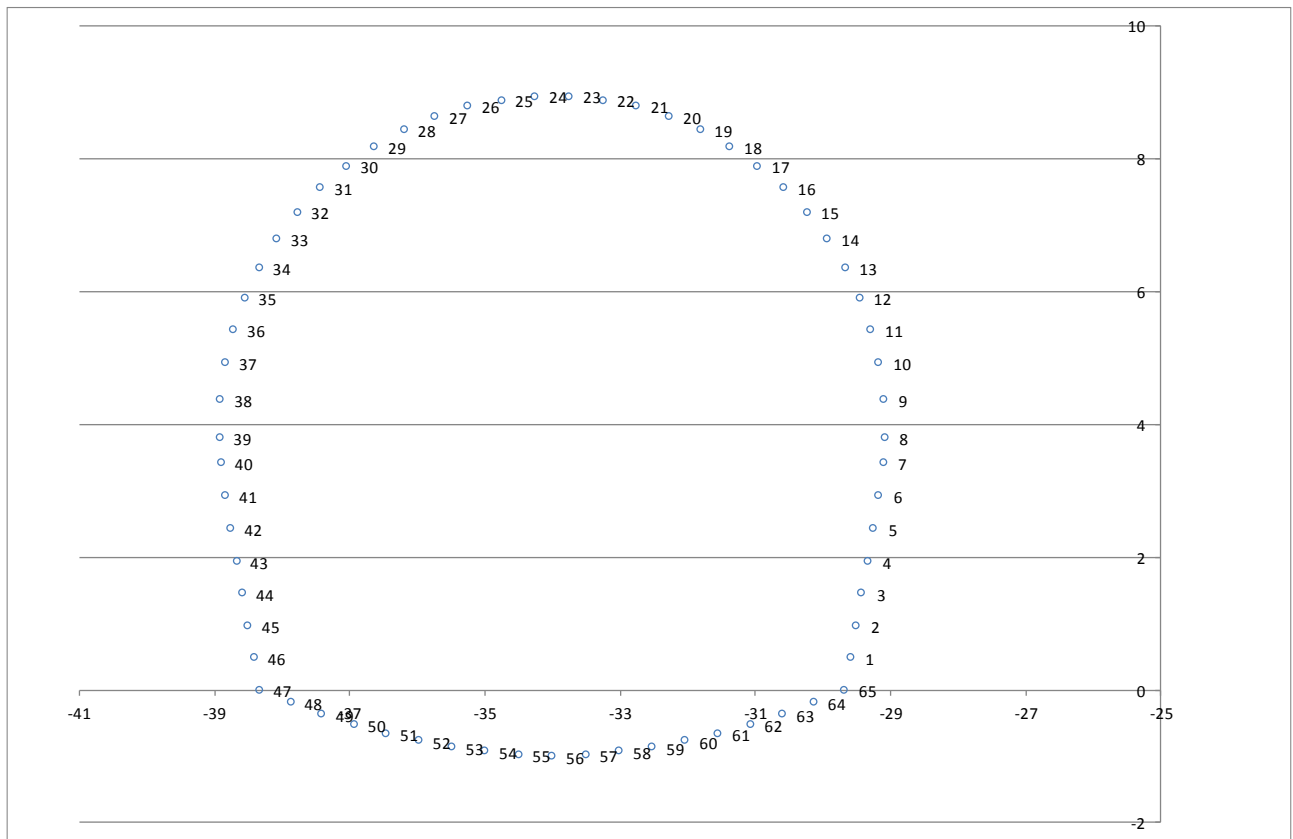
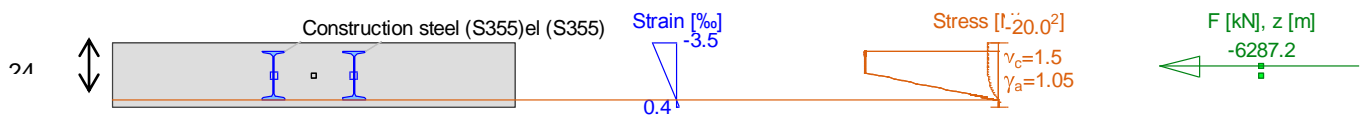
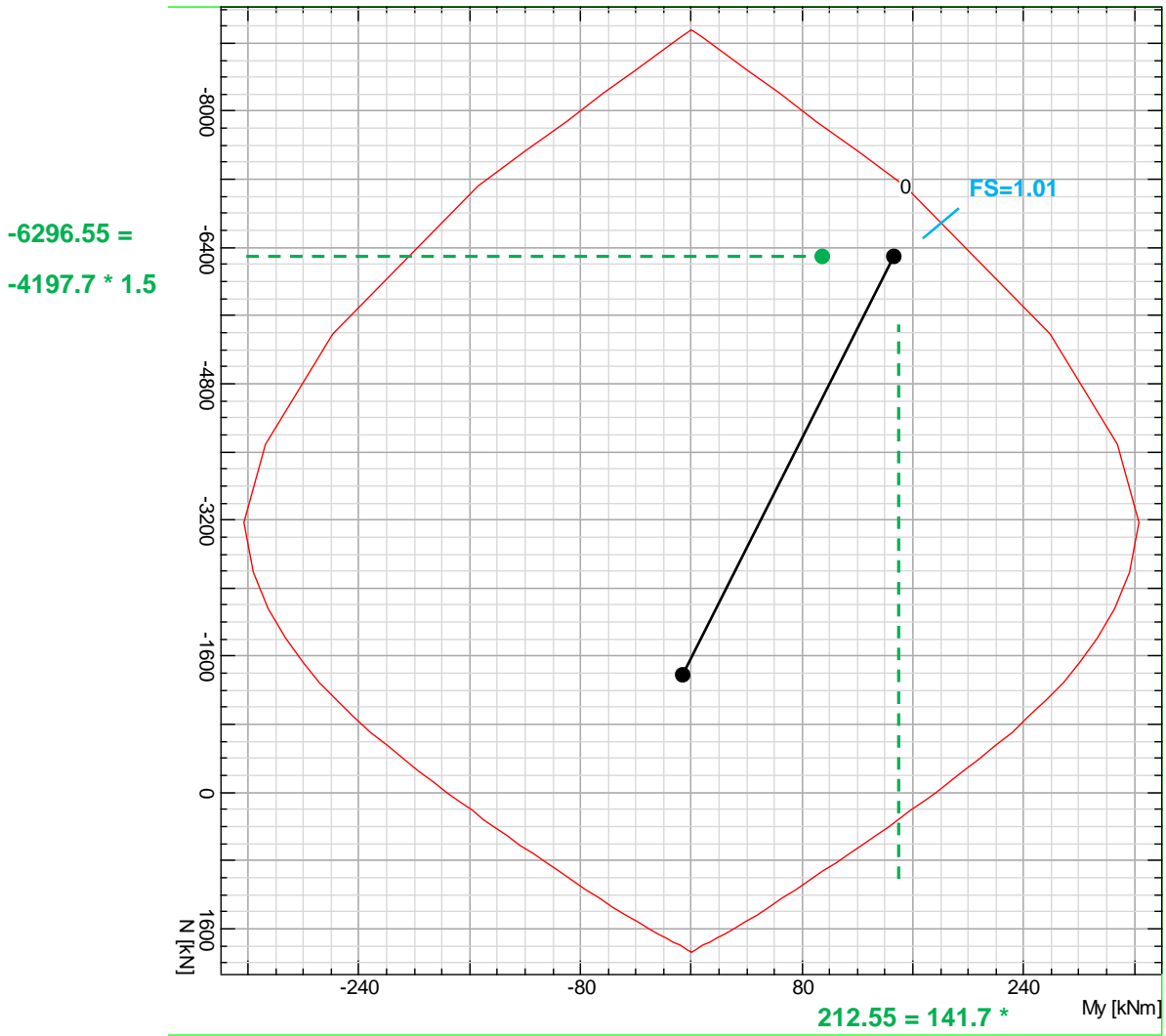


Abbildung 47: Nummerierung der Knoten des numerischen Modells

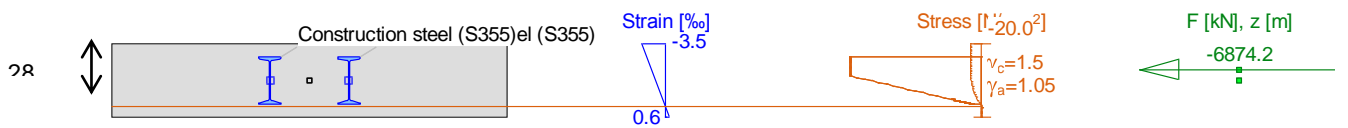
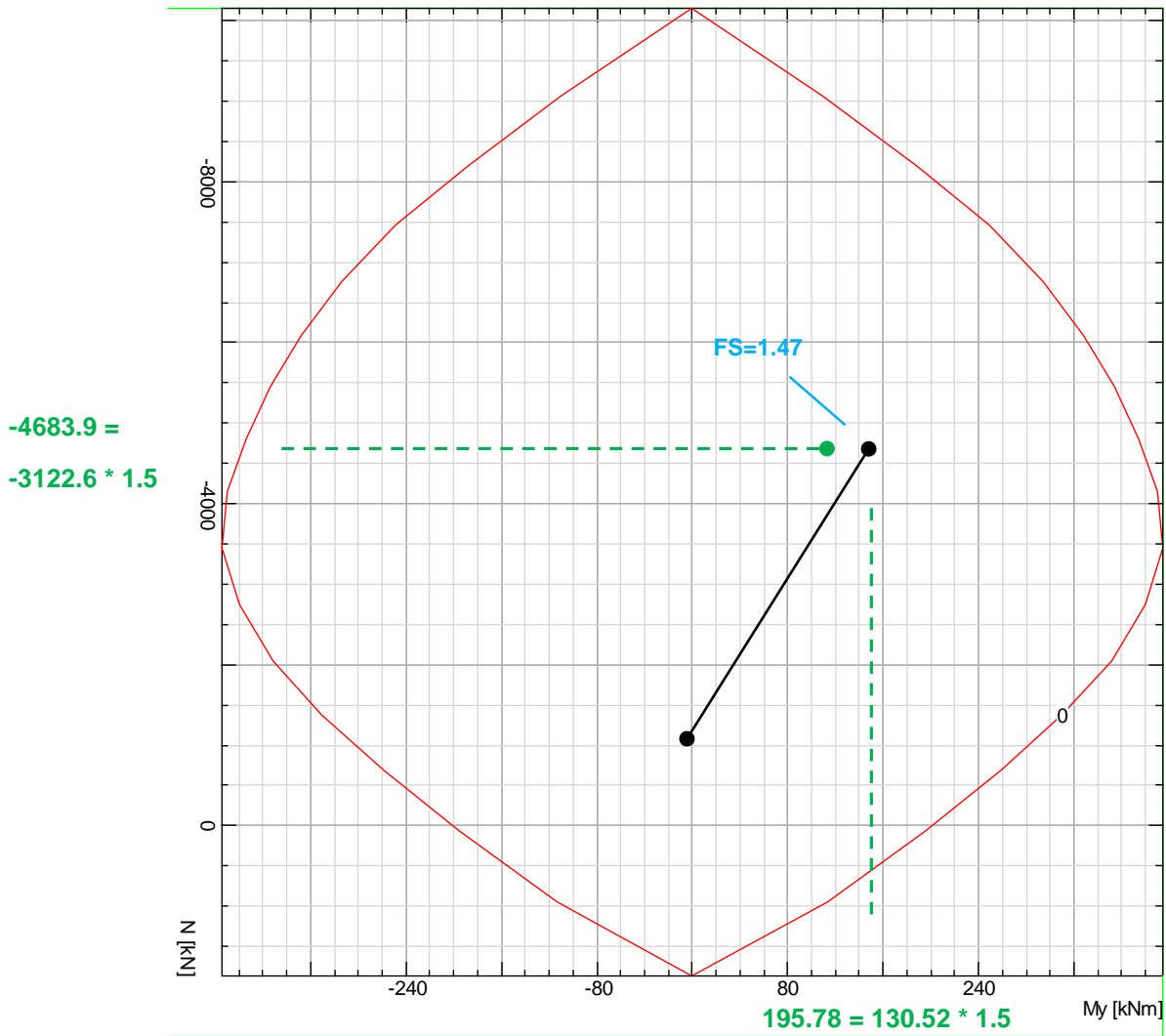
Illustrazione 47: Numerazione dei nodi del modello numerico



	X	Y	N <sub>k</sub>	M <sub>k</sub>	N <sub>d</sub>	M <sub>d</sub>	FS
	[m]	[m]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[-]
1	-29.588	0.485	-3229.00	109.00	-4197.70	141.70	1.01
2	-29.502	0.970	-3507.00	88.00	-4559.10	114.40	1.01
3	-29.417	1.455	-3504.00	80.12	-4555.20	104.16	1.03
4	-29.331	1.940	-3427.00	0.83	-4455.10	1.08	1.34
5	-29.244	2.434	-3251.00	28.02	-4226.30	36.43	1.29
6	-29.167	2.929	-3329.00	26.37	-4327.70	34.28	1.27
7	-29.104	3.426	-3623.00	-33.55	-4709.90	-43.62	1.15
8	-29.083	3.803	-3877.00	-4.03	-5040.10	-5.24	1.17
9	-29.095	4.371	-3939.00	5.26	-5120.70	6.83	1.15
10	-29.164	4.934	-4130.00	-26.85	-5369.00	-34.91	1.04
11	-29.286	5.424	-4179.00	4.80	-5432.70	6.23	1.09
12	-29.454	5.899	-4246.00	15.79	-5519.80	20.53	1.04
13	-29.665	6.358	-4244.00	-24.30	-5517.20	-31.59	1.02
14	-29.929	6.788	-4178.00	11.59	-5431.40	15.07	1.07
15	-30.231	7.192	-4071.00	12.76	-5292.30	16.59	1.09
16	-30.575	7.562	-4039.00	-18.29	-5250.70	-23.78	1.08
17	-30.958	7.891	-3850.00	8.98	-5005.00	11.68	1.16
18	-31.370	8.182	-3652.00	15.83	-4747.60	20.58	1.20
19	-31.807	8.434	-3520.00	-22.10	-4576.00	-28.73	1.22
20	-32.270	8.634	-3217.00	1.85	-4182.10	2.41	1.42
21	-32.751	8.787	-2927.00	-1.34	-3805.10	-1.74	1.56
22	-33.247	8.881	-2814.00	-13.24	-3658.20	-17.21	1.55
23	-33.748	8.939	-2454.00	-8.46	-3190.20	-11.00	1.80
24	-34.252	8.939	-2467.00	-2.45	-3207.10	-3.18	1.84
25	-34.753	8.881	-2504.00	-9.94	-3255.20	-12.93	1.76
26	-35.249	8.787	-2608.00	-6.46	-3390.40	-8.40	1.71
27	-35.730	8.634	-2822.00	7.50	-3668.60	9.74	1.58
28	-36.193	8.434	-2891.00	-16.34	-3758.30	-21.24	1.49
29	-36.630	8.182	-2969.00	7.45	-3859.70	9.69	1.51
30	-37.042	7.891	-3118.00	13.38	-4053.40	17.39	1.41
31	-37.425	7.562	-3163.00	-14.33	-4111.90	-18.63	1.38
32	-37.769	7.192	-3216.00	3.59	-4180.80	4.66	1.41
33	-38.071	6.788	-3322.00	14.49	-4318.60	18.84	1.32
34	-38.335	6.358	-3325.00	-19.79	-4322.50	-25.73	1.29
35	-38.546	5.899	-3298.00	7.61	-4287.40	9.89	1.36
36	-38.714	5.424	-3257.00	10.01	-4234.10	13.01	1.36
37	-38.836	4.934	-3253.00	-26.12	-4228.90	-33.96	1.29
38	-38.905	4.371	-3195.00	6.83	-4153.50	8.88	1.40
39	-38.917	3.803	-2977.00	6.28	-3870.10	8.17	1.51
40	-38.896	3.426	-2815.00	-27.10	-3659.50	-35.23	1.47
41	-38.833	2.929	-2561.00	19.73	-3329.30	25.65	1.65
42	-38.756	2.434	-2521.00	18.75	-3277.30	24.38	1.68
43	-38.669	1.940	-2618.00	-9.99	-3403.40	-12.98	1.68
44	-38.583	1.455	-2758.00	48.49	-3585.40	63.04	1.38
45	-38.498	0.970	-2955.00	98.94	-3841.50	128.62	1.09
46	-38.412	0.485	-2958.00	84.90	-3845.40	110.37	1.15



	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>N<sub>k</sub></b>	<b>M<sub>k</sub></b>	<b>N<sub>d</sub></b>	<b>M<sub>d</sub></b>	<b>FS</b>
	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[kN]</b>	<b>[kNm]</b>	<b>[kNm]</b>	<b>[kN]</b>	<b>[-]</b>
47	-38.327	0.000	-1555.00	-249.30	-2021.50	-324.09	-
48	-37.870	-0.195	-1679.00	77.72	-2182.70	101.04	2.01
49	-37.405	-0.370	-1680.00	7.52	-2184.00	9.77	2.97
50	-36.933	-0.524	-1061.00	-3.57	-1379.30	-4.63	4.75
51	-36.455	-0.658	-672.70	-1.76	-874.51	-2.29	7.55
52	-35.971	-0.770	-445.20	-3.01	-578.76	-3.92	10.96
53	-35.482	-0.860	-317.70	0.56	-413.01	0.72	16.13
54	-34.991	-0.930	-263.90	0.79	-343.07	1.03	19.20
55	-34.496	-0.977	-229.60	3.72	-298.48	4.84	19.45
56	-34.000	-1.002	-210.30	-0.91	-273.39	-1.18	23.74
57	-33.504	-0.977	-227.20	2.47	-295.36	3.22	20.70
58	-33.010	-0.930	-268.80	1.72	-349.44	2.23	18.21
59	-32.518	-0.860	-365.80	-1.65	-475.54	-2.14	13.64
60	-32.029	-0.770	-581.80	-5.39	-756.34	-7.01	8.20
61	-31.545	-0.658	-977.30	-3.67	-1270.49	-4.78	5.14
62	-31.067	-0.524	-1545.00	-6.02	-2008.50	-7.82	3.25
63	-30.595	-0.370	-2403.00	13.53	-3123.90	17.59	2.05
64	-30.130	-0.195	-2402.00	100.40	-3122.60	130.52	1.47
65	-29.673	0.000	-2359.00	-404.30	-3066.70	-525.59	-



### A.3.3 ÜBERPRÜFUNGEN DER ORTSBRUSTSTABILITÄT

In Folge werden die Plots der für den Ausbruchquerschnitt GL-T5 durchgeführten axialsymmetrischen Analysen.

#### Analyse ohne Befestigungseingriffe

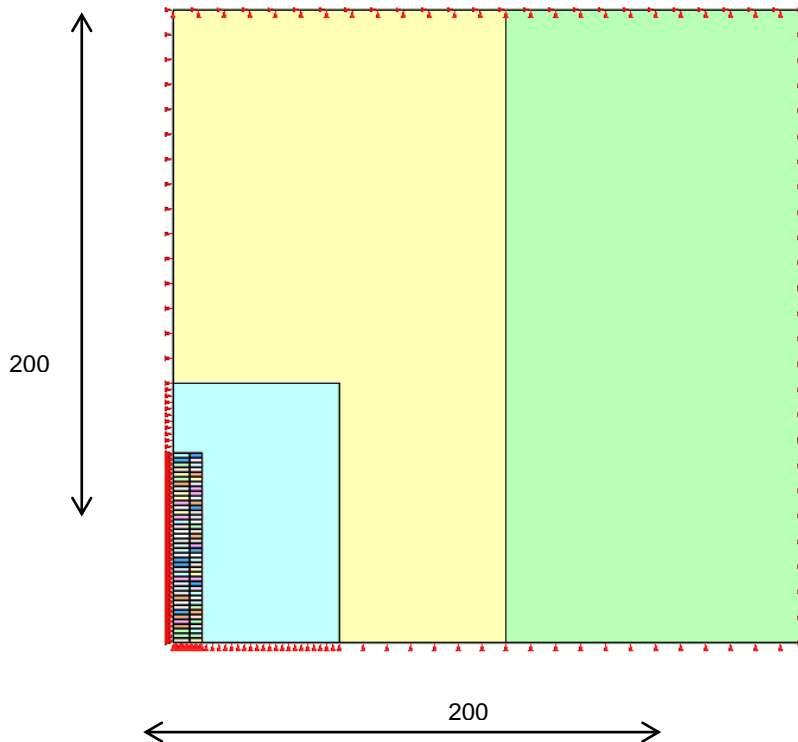
Die Analyse ist ohne Befestigungseingriffe der Ortsbrust, ohne Außenschalen und auf Teilstrecken von 1.5 Meter durchgeführt worden.

### A.3.3 VERIFICHE STABILITÀ DEL FRONTE

Nel seguito si riportano i plot delle analisi assialsimmetriche eseguite per la sezione GL-T5.

#### Analisi senza interventi di consolidamento

L'analisi è stata eseguita in assenza di interventi di consolidamento del fronte e di assenza dei rivestimenti di prima fase e per tappe di 1.5 metri.



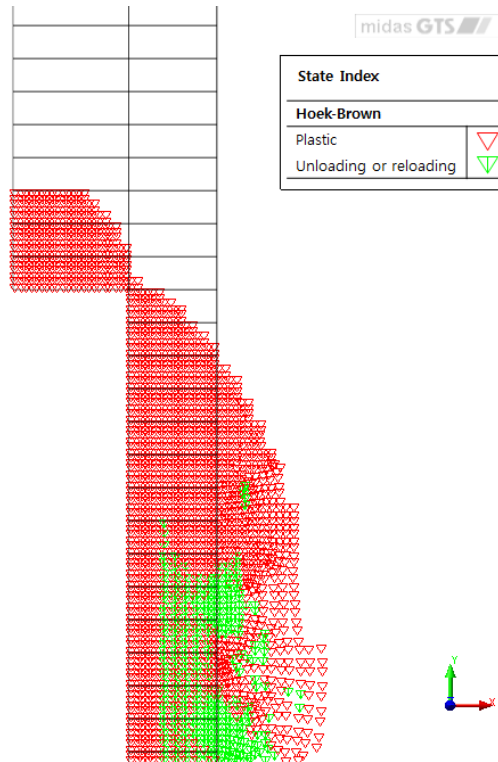


Abbildung 48: Axialsymmetrisches Modell, plastizierter Bereich ohne Anker an der Ortsbrust

Illustrazione 48: Modello Assialsimmetrico, Zona plasticizzata in assenza di ancoraggi al fronte

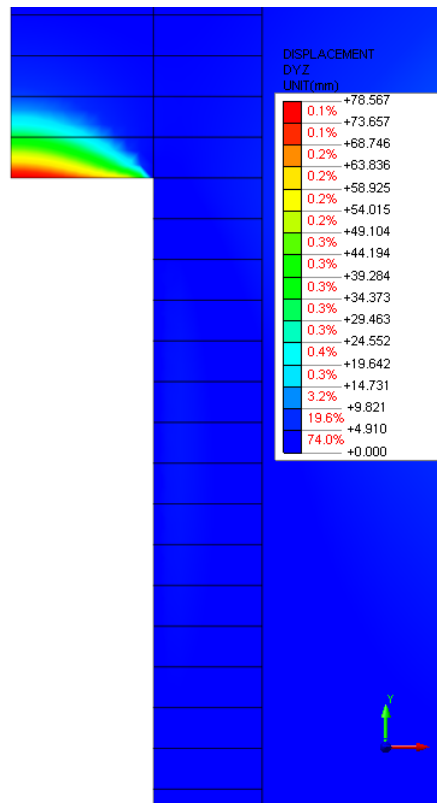


Abbildung 49: Axialsymmetrisches Modell, Ortsbrustextrusion

Illustrazione 49: Modello Assialsimmetrico, Estrusione al fronte

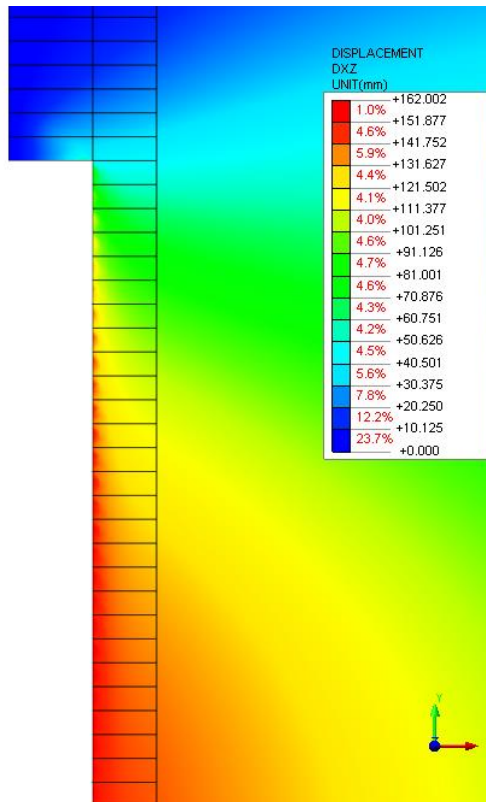


Abbildung 50: Axialsymmetrisches Modell, radiale Konvergenz

Illustrazione 50: Modello assialsimmetrico, convergenza radiale

### Analyse mit Befestigungseingriffe

Die Analyse ist mit Befestigungseingriffe der Ortsbrust und am Umriss auf Teilstrecken von 1.5 Meter durchgeführt worden, unter Berücksichtigung der minimalen Überlagerung von 6 Meter für die Anker an der Ortsbrust.

Die Wertung des Beitrags, welches von Befestigungen ausgeht, ist durch Anwendung eines Inkrements der fiktiven Kohäsion  $\Delta c$  des verstärkten Gebirges, welche dem Begrenzungsdruck  $\sigma_3$  gebunden ist (Ergebnis des Zugwiderstands einer Einlage dividiert durch dessen Einflussbereich):

$$\Delta\sigma_3 = \min\left[T_f = \pi \cdot D \cdot \alpha \cdot L \cdot \tau_a; T_f = \sigma_b \cdot A_b\right] \cdot \left(\frac{N_b}{A_b}\right)$$
$$\Delta c = \frac{\cos \phi}{2 \cdot (1 - \sin \phi)} \cdot \Delta\sigma_3$$

Wobei:

- $\Delta\sigma_3$  = Begrenzungsdruck
- $N_b$  = Anzahl der Stäbe an der Ortsbrust
- $A_b$  = widerstandsfähiger Bereich der Stäbe
- $\sigma_b$  = Bruchdehnungswiderstand
- $D$  = Bohrungsdurchmesser
- $\alpha$  = Dilatationsbeiwert
- $L$  = Überlagerungslänge
- $s_l$  = seitliche Staboberfläche
- $\tau_a$  = Verbundspannung zwischen Stab und Mörtel (oder Mörtel und Boden)

In Bezug zur Befestigung des Hohlraumumrisses ist, analog zum Dokument [10], die Herangehensweise von Hoek e Ribacchi angewandt worden. Es wird ein Teil des befestigten Bereichs berücksichtigt mit einem Quermaß von 1m und es wird ein Verfahren der Durchschnittswichtungen in Bezug zur Fläche und zum Widerstand jeder einzelne Komponente (Gebirge und Zementeinspritzung) durchgeführt, indem gleichwertige Werte des elastischen Moduls und der Kohäsion berechnet werden.

$$\sigma_{cm,eq} = \frac{\sigma_{cm} \cdot A_{rock} + R_c \cdot A_c}{A_{TOT}}$$
$$c_{eq} = \sigma_{cm,eq} \cdot \frac{1 - \sin \phi}{2 \cos \phi}$$
$$E_{eq} = \frac{E_{rock} \cdot A_{rock} + E_c \cdot A_c}{A_{TOT}}$$

Wobei:

### Analisi con interventi di consolidamento

L'analisi è stata eseguita con la presenza di interventi di consolidamento del fronte e al contorno per tappe di 1.5 metri, tenendo conto della sovrapposizione minima di 6 metri per gli ancoraggi al fronte.

La stima del contributo fornito dai consolidamenti è effettuata applicando un incremento di coesione fittizio  $\Delta c$  all'ammasso consolidato, legato alla pressione di confinamento  $\sigma_3$  (risultante della resistenza a trazione di un incluso divisa per la sua area d'influenza):

In cui:

- $\Delta\sigma_3$  = pressione di confinamento
- $N_b$  = numero delle barre al fronte
- $A_b$  = area resistente della barra
- $\sigma_b$  = resistenza di rottura a trazione
- $D$  = diametro di perforazione
- $\alpha$  = coefficiente di sbulbatura
- $L$  = lunghezza di sovrapposizione
- $s_l$  = superficie laterale della barra
- $\tau_a$  = tensione di aderenza tra barra e malta (o tra malta e terreno)

Per quanto riguarda il consolidamento del contorno del cavo viene adottato l'approccio di Hoek e Ribacchi analogamente al Doc. [10]. Si considera una porzione di zona consolidata avente dimensione trasversale di 1m e si esegue un processo di medie pesate con riferimento all'area ed alla resistenza di ogni singolo componente (ammasso e iniezione cementizia), calcolando valori equivalenti di modulo elastico e coesione:

Dove:



- $\sigma_{cm}$  = Widerstand des ursprünglichen Gebirges entsprechend dem einachsigen Druckwiderstand;
  - $A_{rock}$  = Oberfläche des nicht befestigten Gebirges;
  - $R_c$  = Widerstand des eingespritzten Gemischs;
  - $A_c$  = von der Einspritzung betroffener Bereich.
- $\sigma_{cm}$  è la resistenza dell'ammasso originario pari alla resistenza a compressione monoassiale;
  - $A_{rock}$  è la superficie dell'ammasso non consolidato;
  - $R_c$  è la resistenza della miscela iniettata;
  - $A_c$  è l'area interessata dall'iniezione.

Parametri geotecnici a massa	Angolo d'attrito di picco	$\Phi'_p$	28.0	°
	Angolo d'attrito residuo	$\Phi'_r$	21.5	°
	Angolo di dilatanza	$\psi$	3.5	°
	Coesione di picco	$c'_p$	2.127	MPa
	Coesione residua	$c'_r$	1.349	MPa
	Resistenza a compressione uniassiale di picco	$\sigma_{cm,p}$	7.080	MPa
	Resistenza a compressione uniassiale residua	$\sigma_{cm,r}$	3.963	MPa
	Pendenza curva $\sigma$ 1/3	k	2.770	-
	Modulo elastico	Em	11135	MPa
	Coefficiente di Poisson	$\nu$	0.3	-

Parametri tunnel	Raggio tunnel	$r_0$	4.8	m
	Copertura	h	1115	m
	Peso specifico roccia	$\gamma_r$	26.6	kN/m <sup>3</sup>
	Pressione idrostatica	$p_0$	29.66	MPa

Consolidamento al contorno	Passo longitudinale	il	3.0	m
	Passo trasversale	it	0.75	m
	Numero barre / m <sup>2</sup>	n	0.444	-
	area barra	Ab	0.015	m <sup>2</sup>
	Diametro corona	dc	0.1	m
	Coefficiente sbulbatura	$\alpha$	1.3	-
	Area di iniezione	Ac	0.013	m <sup>2</sup>
	Resistenza iniezione	Rc	25	MPa
	Modulo elastico iniezione	Ec	25000	MPa
	Resistenza equivalente picco	$R_{p,eq}$	7.224	MPa
	Resistenza equivalente residua	$R_{r,eq}$	4.107	MPa
	Coesione di picco equivalente	$c_{p,eq}$	<b>2.170</b>	MPa
	Coesione residua equivalente	$c_{r,eq}$	<b>1.398</b>	MPa
	Modulo elastico equivalente	Eeq	<b>11279</b>	MPa

Consolidamento del nucleo	Numero consolidamenti	Nb	45.0	-
	Diametro perforazione	D	0.1	m
	Lunghezza sovrapposizione	L	6.0	m
	Coefficiente sbulbatura	$\alpha$	1	-
	Tensione aderenza barra/malta	$\tau$	0.3	MPa
	Tensione caratteristica SLU	$\sigma_b$	650	MPa
	Diametro esterno	de	0.051	m
	Diametro interno	di	0.038	m
	Area resistente	Ab	0.001	m <sup>2</sup>
	Area del fronte di scavo	sb	72.38	m <sup>2</sup>
	Resistenza a rottura	T1	590.66	kN
	Resistenza a sfilamento	T2	565.49	kN
	Pressione di confinamento longitudinale	$\Delta\sigma_3$	<b>0.352</b>	MPa
	Coesione migliorata	c'	<b>2.276</b>	MPa

Nachdem das bildende Modell von Hoek-Brown eingesetzt wurde, sind die dazugehörigen Inkremente des Parameters  $s_b$ , berücksichtigt worden, aufgrund der in [37] beinhalteten Angaben.

Essendo stato impiegato il modello costitutivo di Hoek-Brown, sono stati considerati corrispondenti incrementi del parametro  $s_b$ , sulla base delle indicazioni contenute in [37].

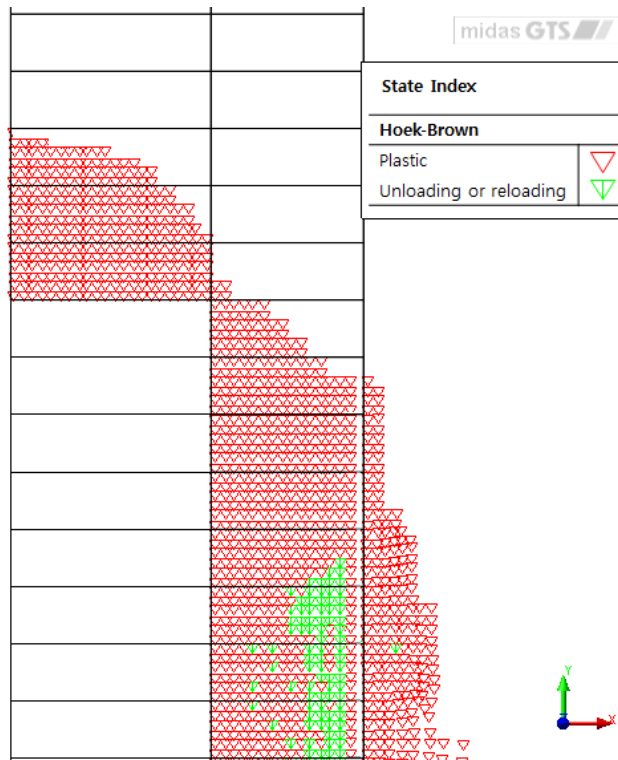


Abbildung 51: Axialsymmetrisches Modell, plastizierter Bereich bei Vorhandensein der Befestigungen

Illustrazione 51: Modello Assialsimmetrico, Zona plasticizzata in presenza dei consolidamenti

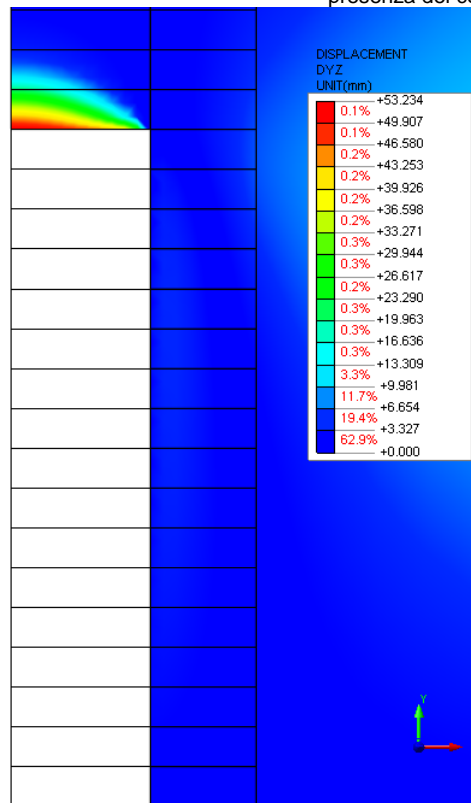


Abbildung 52: Axialsymmetrisches Modell, Ortsbrustextrusion

Illustrazione 52: Modello Assialsimmetrico, Estrusione al fronte

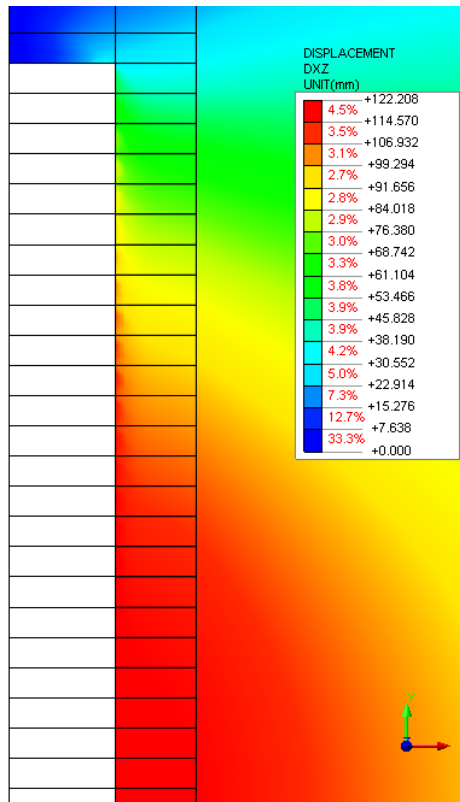


Abbildung 53: Axialsymmetrisches Modell, radiale Konvergenz

Illustrazione 53: Modello assialsimmetrico, convergenza radiale

## ANHANG 4 – FEM-ANALYSE DER INNENSCHALE

Anhang 4 beinhaltet sowohl die graphischen Darstellungen der bedeutendsten In- und Output der Innenschalenanalysen, welche mit dem Programm MIDAS Gen durchgeführt wurden, als auch die angemessenen Schnittüberprüfungen auf GZT und GZG.

## APPENDICE 4 - ANALISI FEM DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO

L'appendice 4 contiene le rappresentazioni grafiche dei principali input e output dell'analisi del rivestimento definitivo condotte con il programma MIDAS Gen, oltre alle opportune verifiche sezionali allo SLU e SLE.

### General parameters of structure

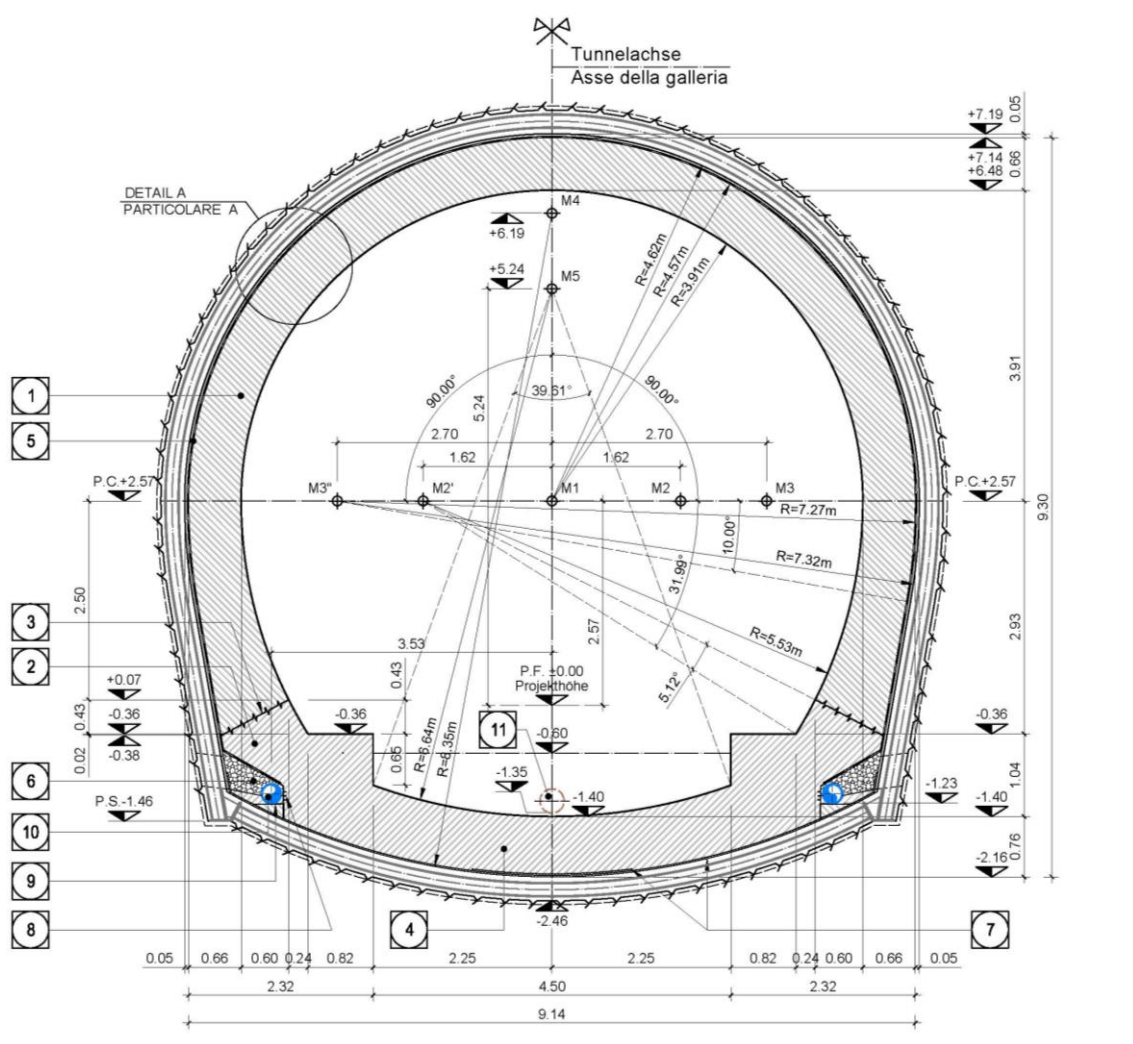


Figure 1 GL-T4-T5 cross section

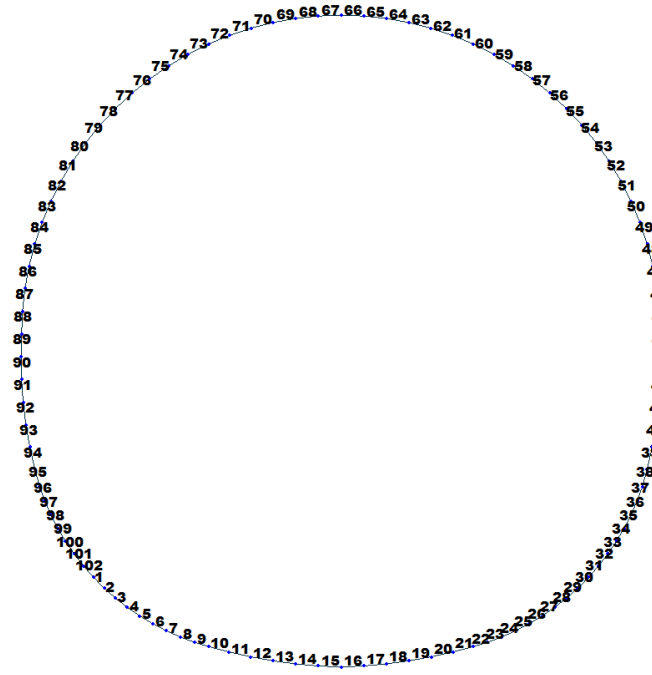


Figure 2 Elements number

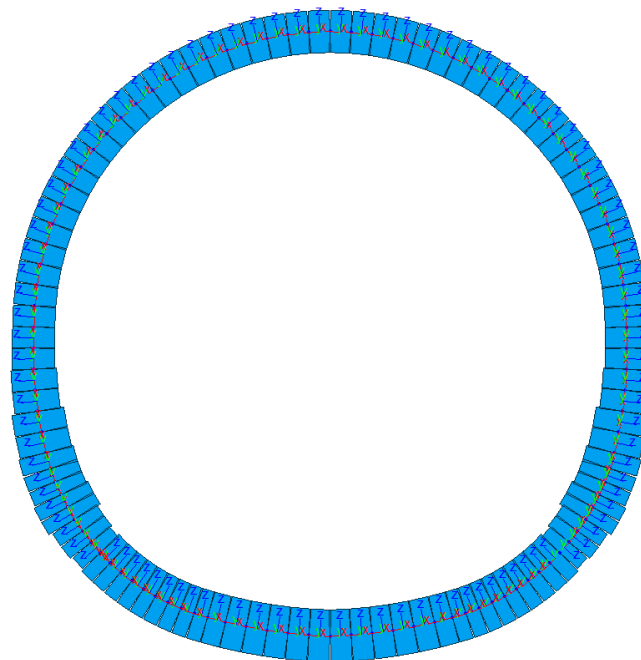


Figure 3 Element local axis

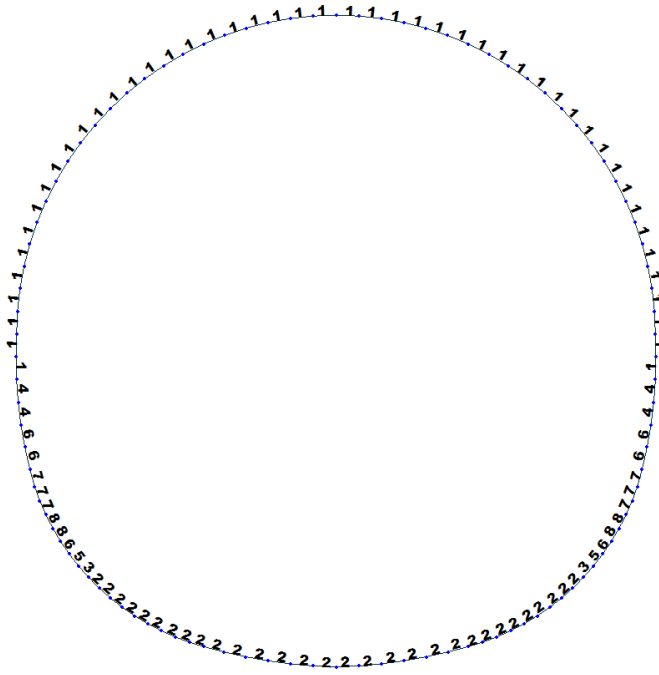


Figure 4 Element section property

Table 1 Section characteristic

ID	Name	Area (m <sup>2</sup> )	Asy (m <sup>2</sup> )	Asz (m <sup>2</sup> )	Ixx (m <sup>4</sup> )	Iyy (m <sup>4</sup> )	Izz (m <sup>4</sup> )	Cyp (m)	Cym (m)	Czp (m)	Czm (m)
1	100 x 60	0.6000	0.5000	0.5000	0.0451	0.0180	0.0500	0.5000	0.5000	0.3000	0.3000
2	100 x 74	0.7400	0.6167	0.6167	0.0737	0.0338	0.0617	0.5000	0.5000	0.3700	0.3700
3	100 x 68	0.6800	0.5667	0.5667	0.0607	0.0262	0.0567	0.5000	0.5000	0.3400	0.3400
4	100 x 65	0.6500	0.5417	0.5417	0.0546	0.0229	0.0542	0.5000	0.5000	0.3250	0.3250
5	100 x 70	0.7500	0.6250	0.6250	0.0759	0.0352	0.0625	0.5000	0.5000	0.3750	0.3750
6	100 X 75	0.7500	0.6250	0.6250	0.0759	0.0352	0.0625	0.5000	0.5000	0.3750	0.3750
7	100 X 80	0.8000	0.6667	0.6667	0.0876	0.0427	0.0667	0.5000	0.5000	0.4000	0.4000
8	100 X 85	0.8500	0.7083	0.7083	0.0999	0.0512	0.0708	0.5000	0.5000	0.4250	0.4250
9	100 x 60	0.6000	0.5000	0.5000	0.0451	0.0180	0.0500	0.5000	0.5000	0.3000	0.3000

Table 2 Material parameters

ID	Name	Type	Code	Elasticity (kN/m <sup>2</sup> )	Poisson	Thermal (1/[F])	Density (kN/m <sup>3</sup> )	Mass Density (kN/m <sup>3</sup> /g)
1	C30/37	Concrete	NTC2008	3.30e+007	0.2	1e-005	2.50e+001	2.5493e+0

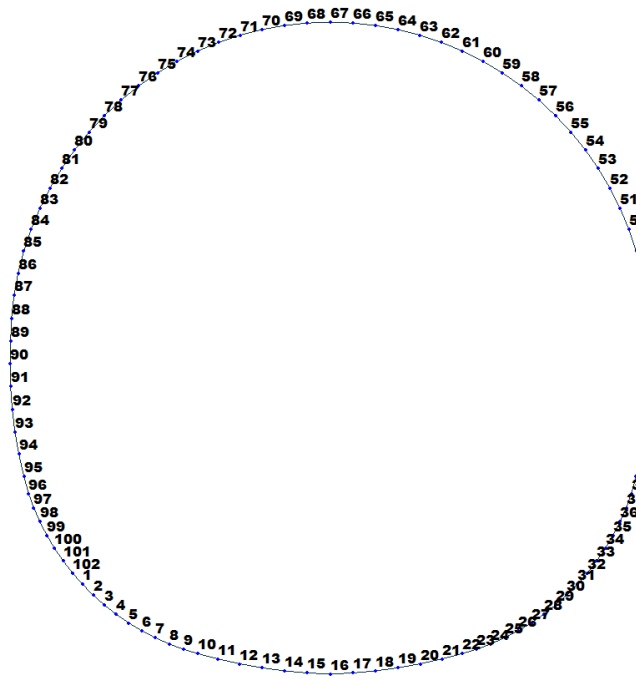


Figure 5 Node numbering

Table 3 Bounderies parameters

Node	Type	SDx (kN/m)	SDz (kN/m)	Stiffness (kN/m)	Direction	Multi-Linear Type	cx (m)	cy (kN)	dx (m)	dy (kN)
1	Linear	30000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
1	Comp.-only	0.0	0.0	65000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
2	Linear	30000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
2	Comp.-only	0.0	0.0	65000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
3	Linear	30000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
3	Comp.-only	0.0	0.0	65000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
4	Linear	30000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
4	Comp.-only	0.0	0.0	65000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
5	Linear	30000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
5	Comp.-only	0.0	0.0	65000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
6	Linear	30000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
6	Comp.-only	0.0	0.0	65000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
7	Linear	30000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
7	Comp.-only	0.0	0.0	65000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
8	Linear	30000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
8	Comp.-only	0.0	0.0	65000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
9	Linear	30000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
9	Comp.-only	0.0	0.0	65000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
10	Linear	30000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
10	Comp.-only	0.0	0.0	65000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
11	Linear	30000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
11	Comp.-only	0.0	0.0	65000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
12	Linear	30000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
12	Comp.-only	0.0	0.0	65000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
13	Linear	30000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
13	Comp.-only	0.0	0.0	65000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
14	Linear	30000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
14	Comp.-only	0.0	0.0	65000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
15	Linear	30000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0







A.4.1. Load for cross section GL-T4-T5

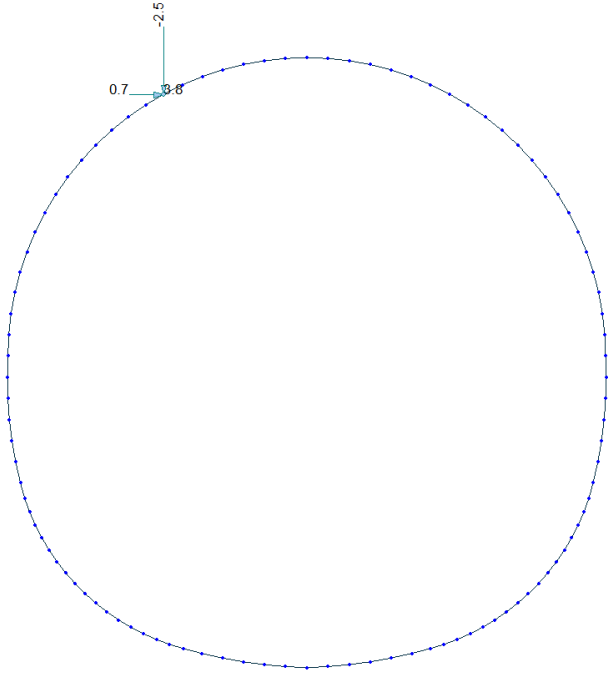


Figure 6 Load G2

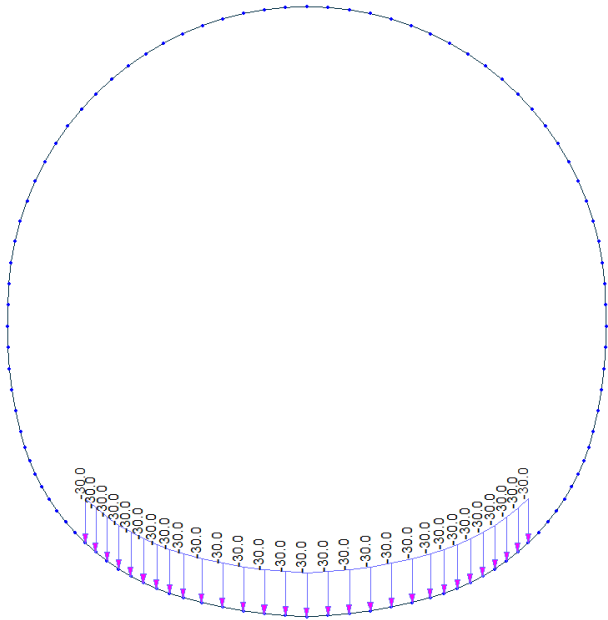


Figure 7 Load G3

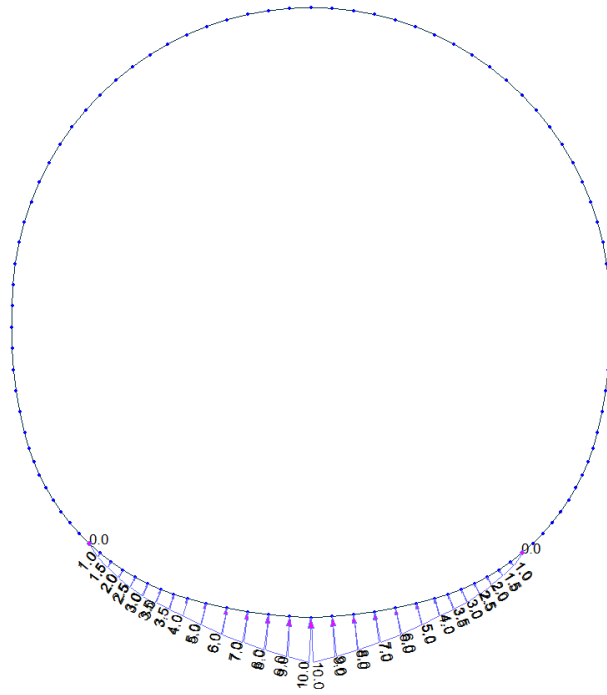


Figure 8 Load G4

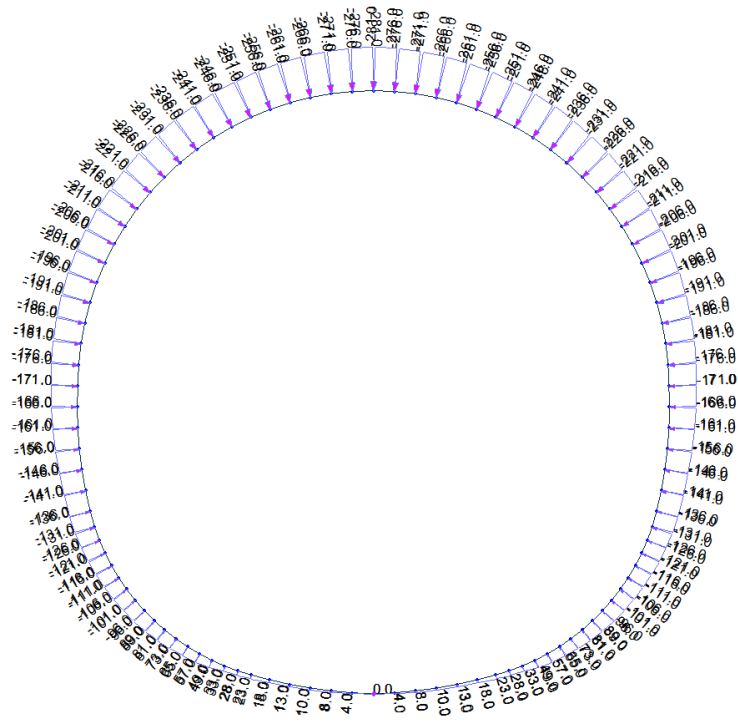


Figure 9 Load G5 for geometrical class IV cross section (GL-T4)

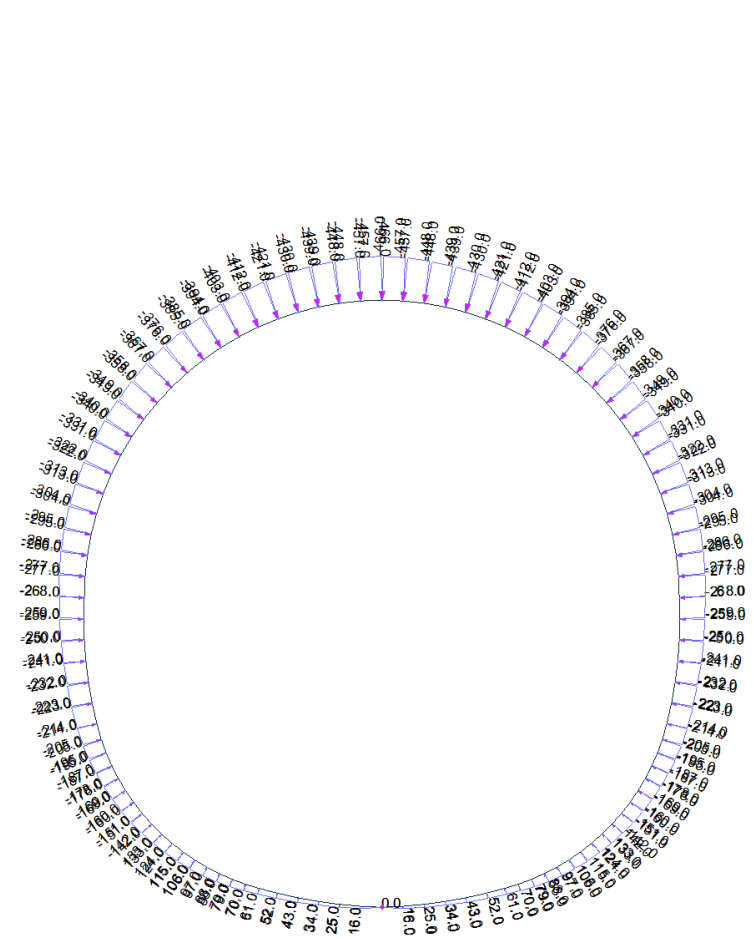


Figure 10 Load G5 for geometrical class V cross section (GL-T5)

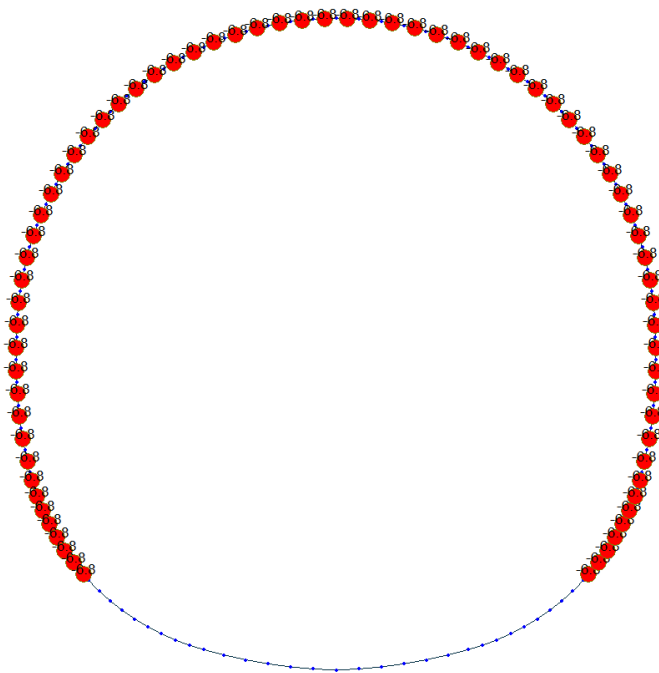


Figure 11 Load G6 SLU

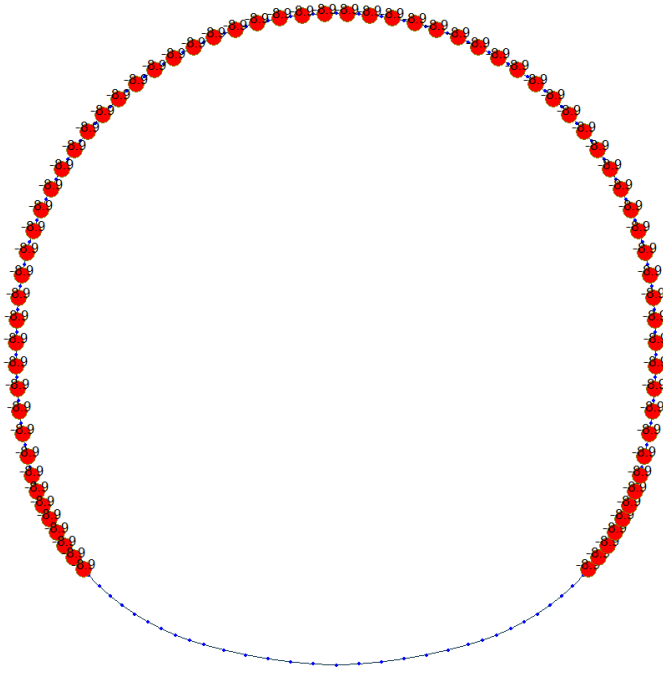


Figure 12 Load G6 SLE

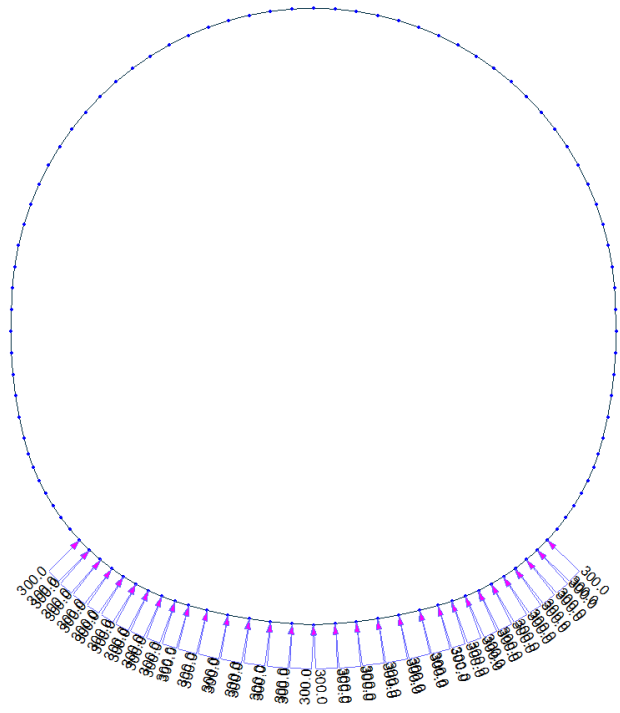


Figure 13 Load G7



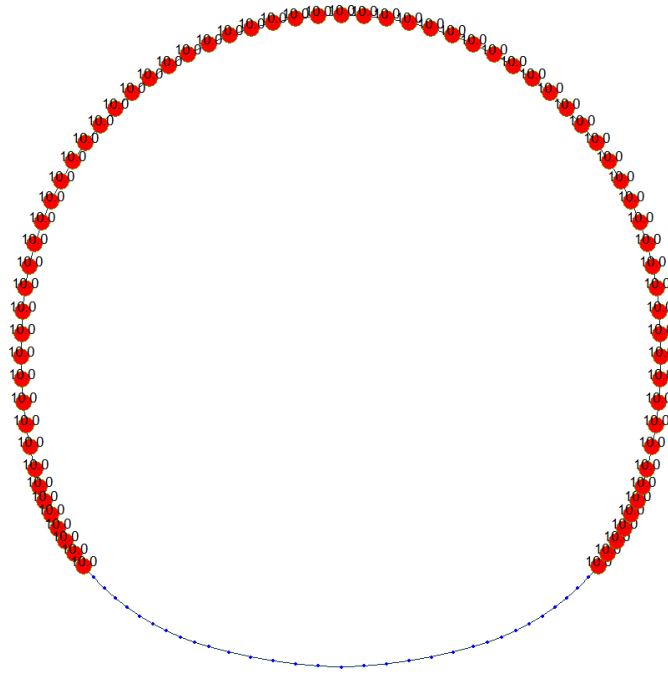


Figure 14 Q1 E (Constant temperature)

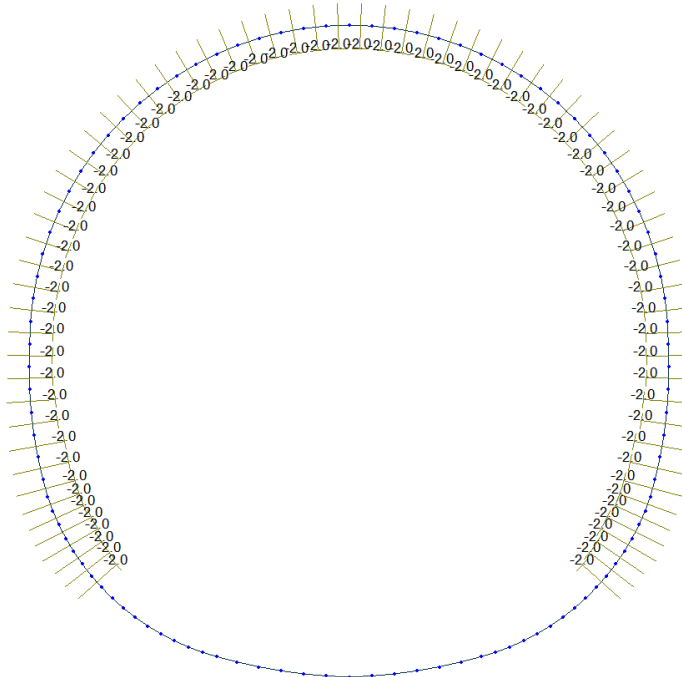


Figure 15 Load Q1 E (Temperature gradient)



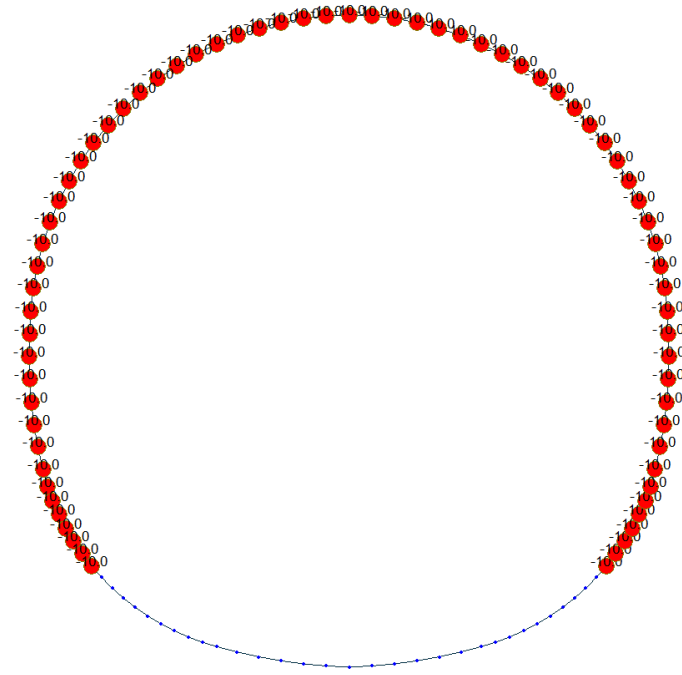


Figure 16 Load Q1 I (Costant temperature)

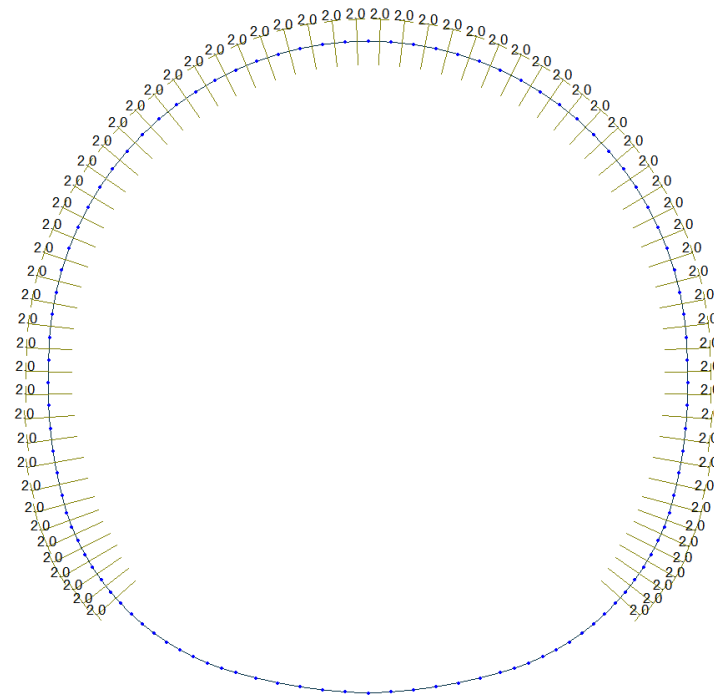


Figure 17 Load Q1 I (Temperature gradient)

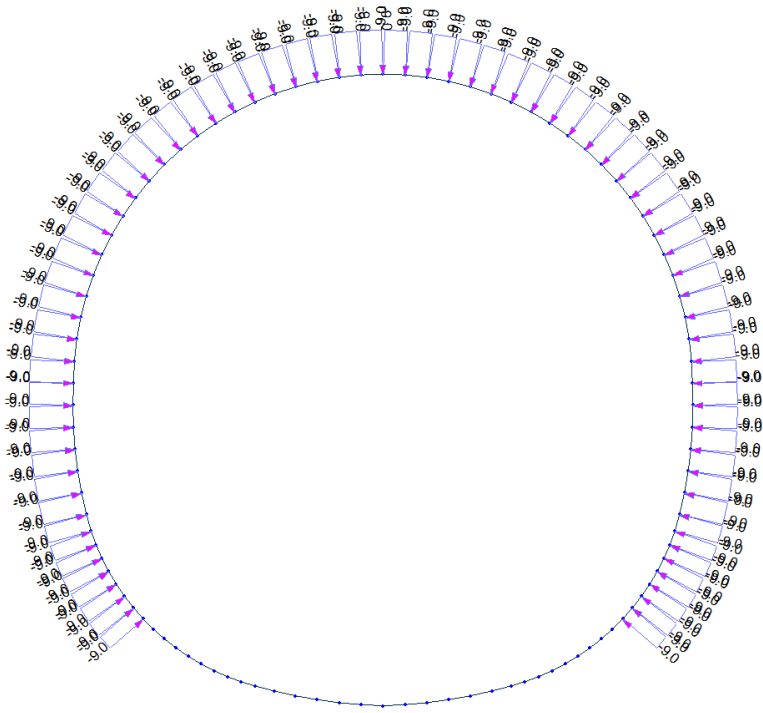


Figure 18 Load A1 aspiration

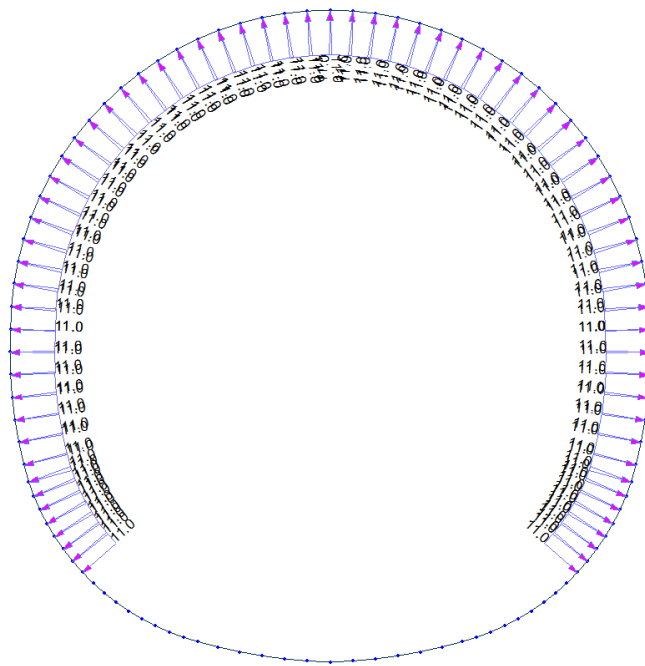


Figure 19 Load A1 pression

#### A.4.2. Load combinations

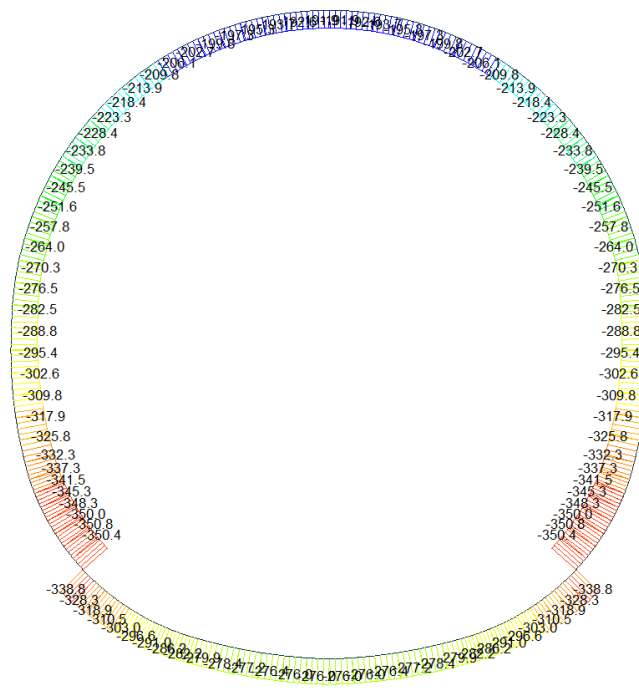
NUM	NAME	ACTIVE	TYPE	LOADCASE(FACTOR) +	LOADCASE(FACTOR) +	LOADCASE(FACTOR)
1	1	Inactive	Add	G1( 1.350) +	Q1 - E( 1.500)	
2	2	Inactive	Add	G1( 1.350) +	G6 - SLU( 1.000) +	Q1 - I( 1.500)
3	3	Inactive	Add	G1( 1.350) + + Q1 - E( 1.500)	G2( 1.350) +	G3( 1.000)
4	4	Inactive	Add	G1( 1.350) + + G6 - SLU( 1.000) +	G2( 1.350) + Q1 - I( 1.500)	G3( 1.000)
5	5	Inactive	Add	G1( 1.350) + + G4( 1.350) +	G2( 1.350) + G5( 1.350) +	G3( 1.000) Q1 - E( 1.500)
6	6	Inactive	Add	G1( 1.350) + + G4( 1.350) + + G6 - SLU( 1.000)	G2( 1.350) + G5( 1.350) +	G3( 1.000) Q1 - I( 1.500)
7	7	Inactive	Add	G1( 1.350) + + G4( 1.350) + + Q1 - E( 1.500)	G2( 1.350) + G5( 1.350) +	G3( 1.000) G7( 1.350)
8	8	Inactive	Add	G1( 1.350) + + G4( 1.350) + + G7( 1.350) +	G2( 1.350) + G5( 1.350) + Q1 - I( 1.500)	G3( 1.000) G6 - SLU( 1.000)
9	9	Inactive	Add	G1( 1.350) + + G7( 1.350) +	G2( 1.350) + Q1 - E( 1.500)	G3( 1.000)
10	10	Inactive	Add	G1( 1.350) + + G6 - SLU( 1.000) +	G2( 1.350) + G7( 1.350) +	G3( 1.000) Q1 - I( 1.500)
11	11	Inactive	Add	G1( 1.000) + + Q1 - E( 0.600) +	G2( 1.000) + A1 - P( 1.000)	G3( 1.000)
12	12	Inactive	Add	G1( 1.000) + + G6 - SLU( 1.000) +	G2( 1.000) + Q1 - I( 0.600) +	G3( 1.000) A1 - A( 1.000)
13	21	Inactive	Add	G1( 1.000) + + G4( 1.000) +	G2( 1.000) + G5( 1.000) +	G3( 1.000) Q1 - E( 0.600)
14	22	Inactive	Add	G1( 1.000) + + G4( 1.000) +	G2( 1.000) + G5( 1.000) +	G3( 1.000) G6 - SLU( 1.000)
15	23	Inactive	Add	G1( 1.000) + + G4( 1.000) + + Q1 - E( 0.600)	G2( 1.000) + G5( 1.000) +	G3( 1.000) G7( 1.000)

16	24	Inactive	Add		
		G1( 1.000) +		G2( 1.000) +	G3( 1.000)
		G4( 1.000) +		G5( 1.000) +	G6 - SLU( 1.000)
		G7( 1.000)			
17	SLE - 1	Inactive	Add		
		G1( 1.000) +		Q1 - E( 1.000)	
18	SLE - 2	Inactive	Add		
		G1( 1.000) +		G6 - SLE( 1.000) +	Q1 - I( 1.000)
19	SLE - 3	Inactive	Add		
		G1( 1.000) +		G2( 1.000) +	G3( 1.000)
		Q1 - E( 1.000)			
20	SLE - 4	Inactive	Add		
		G1( 1.000) +		G2( 1.000) +	G3( 1.000)
		G6 - SLE( 1.000) +		Q1 - I( 1.000)	
21	SLE - 5	Inactive	Add		
		G1( 1.000) +		G2( 1.000) +	G3( 1.000)
		G4( 1.000) +		G5( 1.000) +	Q1 - E( 1.000)
22	SLE - 6	Inactive	Add		
		G1( 1.000) +		G2( 1.000) +	G3( 1.000)
		G4( 1.000) +		G5( 1.000) +	G6 - SLE( 1.000)
		Q1 - I( 1.000)			
23	SLE - 7	Inactive	Add		
		G1( 1.000) +		G2( 1.000) +	G3( 1.000)
		G4( 1.000) +		G5( 1.000) +	G7( 1.000)
		Q1 - E( 1.000)			
24	SLE - 8	Inactive	Add		
		G1( 1.000) +		G2( 1.000) +	G3( 1.000)
		G4( 1.000) +		G5( 1.000) +	G6 - SLE( 1.000)
		G7( 1.000) +		Q1 - I( 1.000)	
25	SLE - 9	Inactive	Add		
		G1( 1.000) +		G2( 1.000) +	G3( 1.000)
		G7( 1.000) +		Q1 - E( 1.000)	
26	SLE - 10	Inactive	Add		
		G1( 1.000) +		G2( 1.000) +	G3( 1.000)
		G6 - SLE( 1.000) +		G7( 1.000) +	Q1 - I( 1.000)

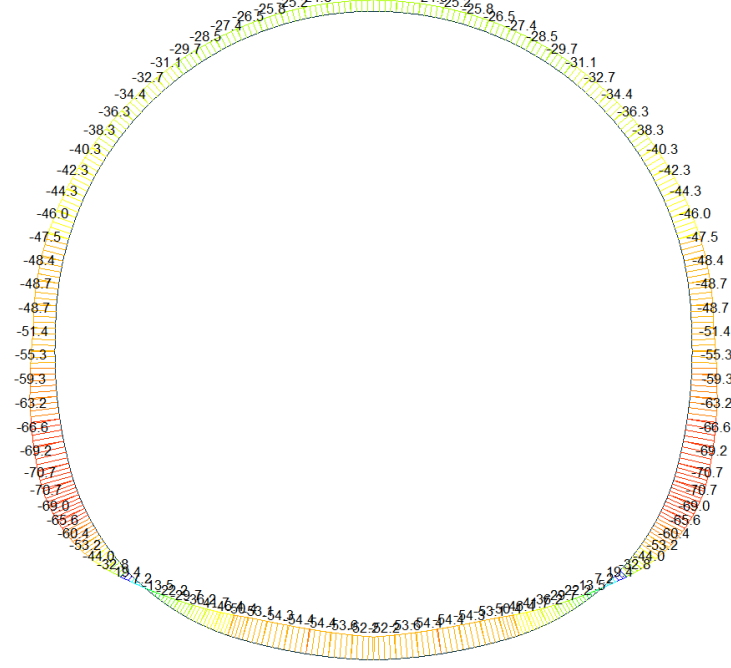
### A.4.3. Output and check result for cross section GL-T4

#### A.4.3.1. Load combination SLU 1

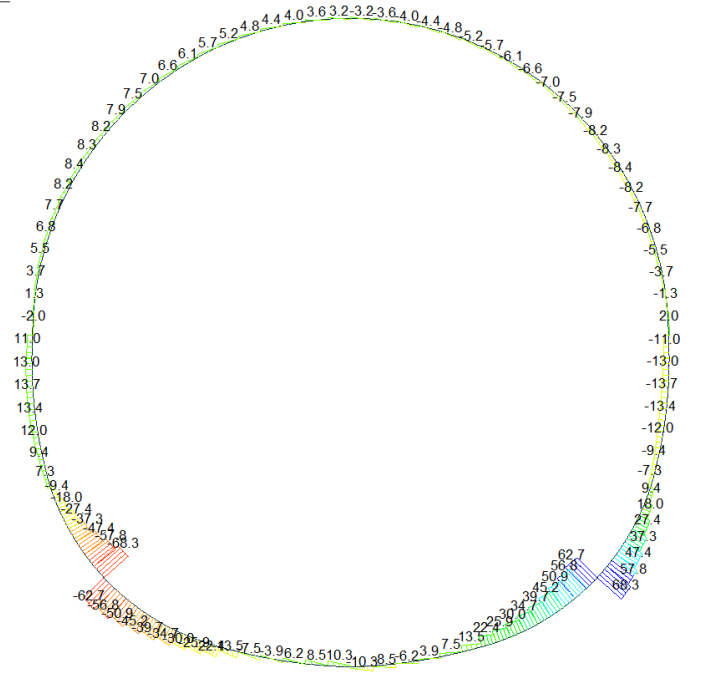
Beam Diagram\_Fx / ST\_N1



Beam Diagram\_My / ST\_N1



Beam Diagram\_Fz / ST\_N1



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

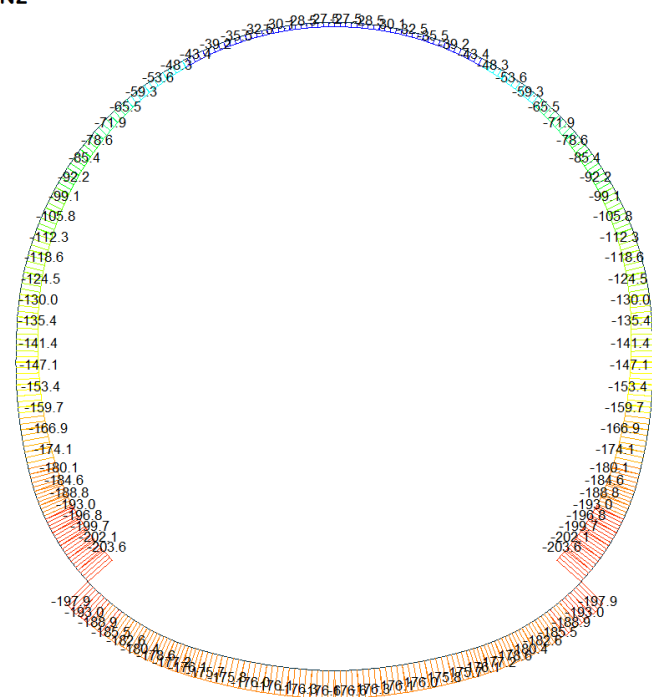
68.32
55.90
43.48
31.06
18.63
0.00
-6.21
-18.63
-31.06
-43.48
-55.90
-68.32

ST: N1  
MAX : 91  
MIN : 102  
FILE: GL\_T4  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.3.2. Load combination SLU 2

Beam Diagram\_Fx / ST\_N2



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

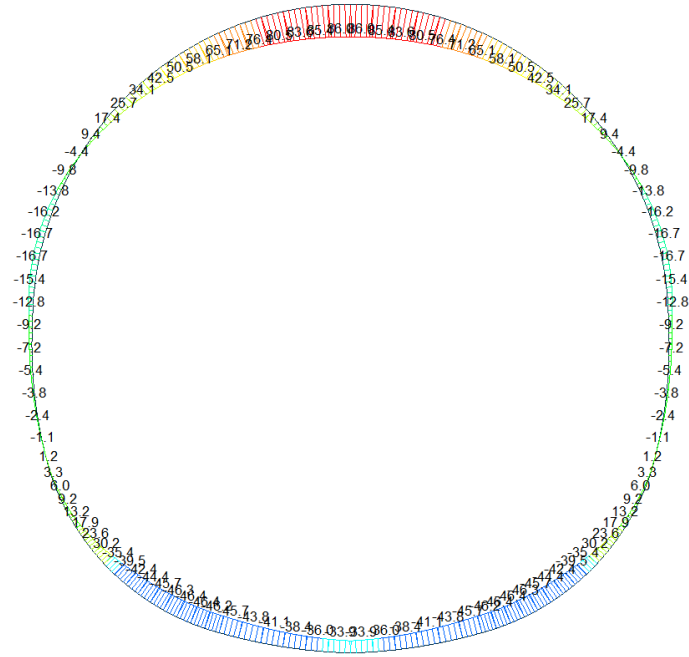
AXIAL

-27.30
-43.33
-59.35
-75.38
-91.41
-107.44
-123.46
-139.49
-155.52
-171.55
-187.57
-203.60

ST: N2  
MAX : 66  
MIN : 102  
FILE: GL\_T4  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_N2



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

86.05
74.00
61.96
49.92
37.88
25.83
13.79
0.00
-10.29
-22.34
-34.38
-46.42

ST: N2

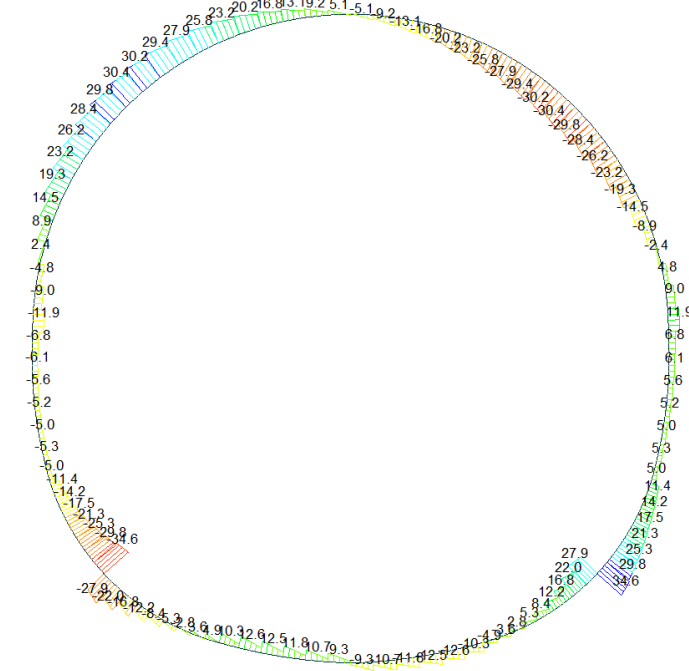
MAX : 67  
MIN : 8

FILE: GL\_T4  
UNIT: KNm  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000



Beam Diagram\_Fz / ST\_N2



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

34.56
28.28
21.99
15.71
9.43
0.00
-3.14
-9.43
-15.71
-21.99
-28.28
-34.56

ST: N2

MAX : 31  
MIN : 102

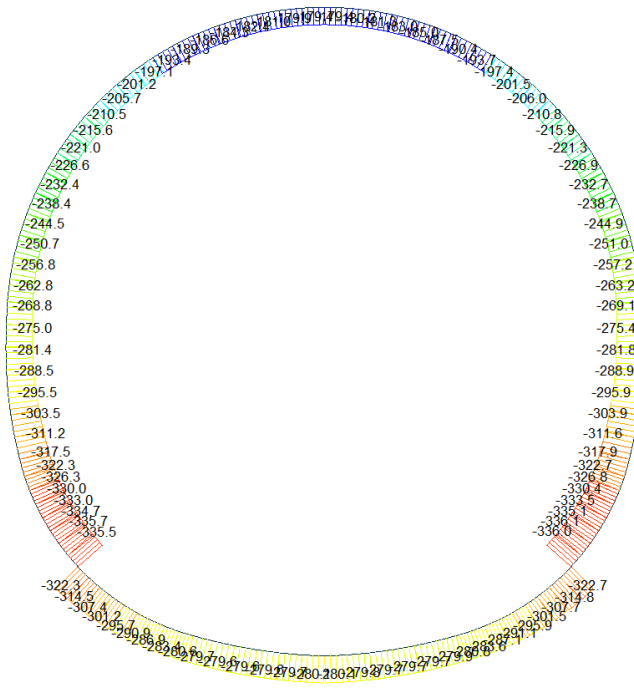
FILE: GL\_T4  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000



A.4.3.3. Load combination SLU 3

Beam Diagram\_Fx / ST\_N3



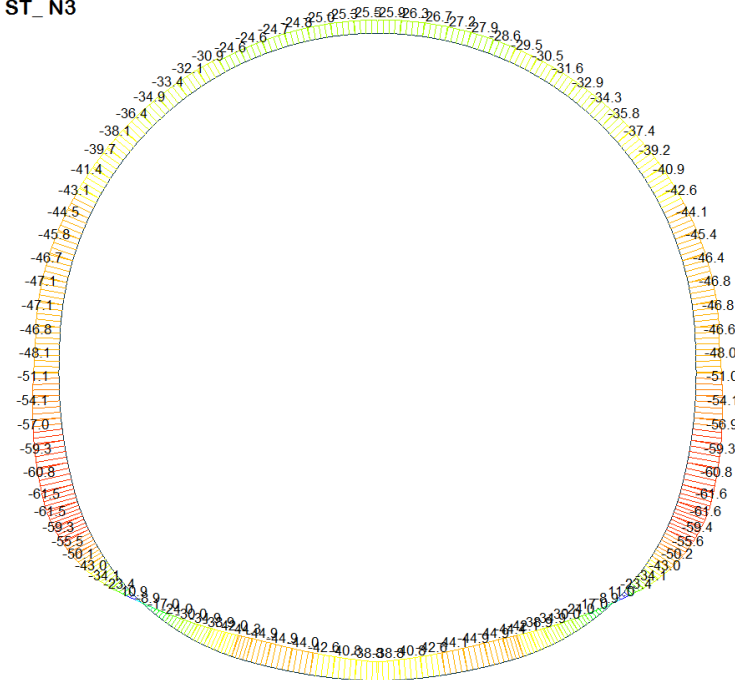
midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

ST: N3  
MAX : 67  
MIN : 32  
FILE: GL\_T4  
UNIT: kN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_N3



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

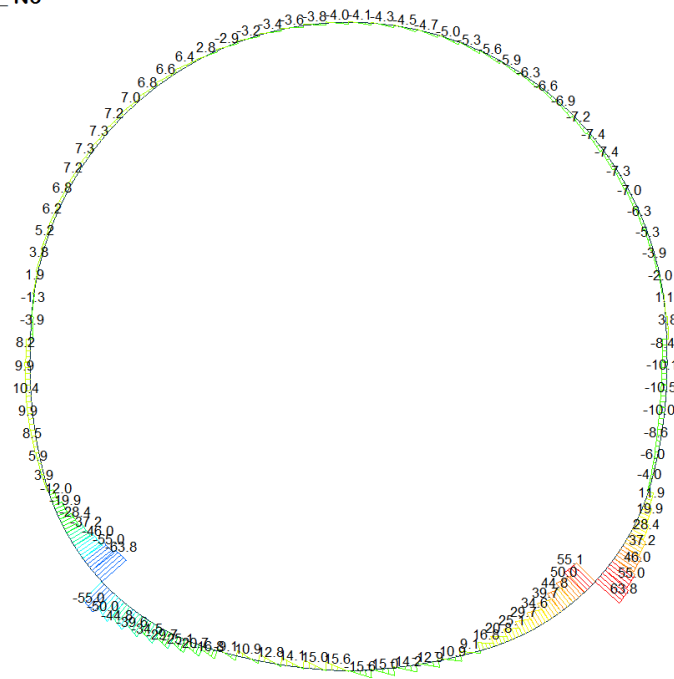
MOMENT-y

ST: N3  
MAX : 30  
MIN : 38  
FILE: GL\_T4  
UNIT: kNm  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000



Beam Diagram\_Fz / ST\_N3



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

63.82
52.23
40.63
29.03
17.43
5.83
0.00
-17.37
-28.97
-40.57
-52.17
-63.77

ST: N3

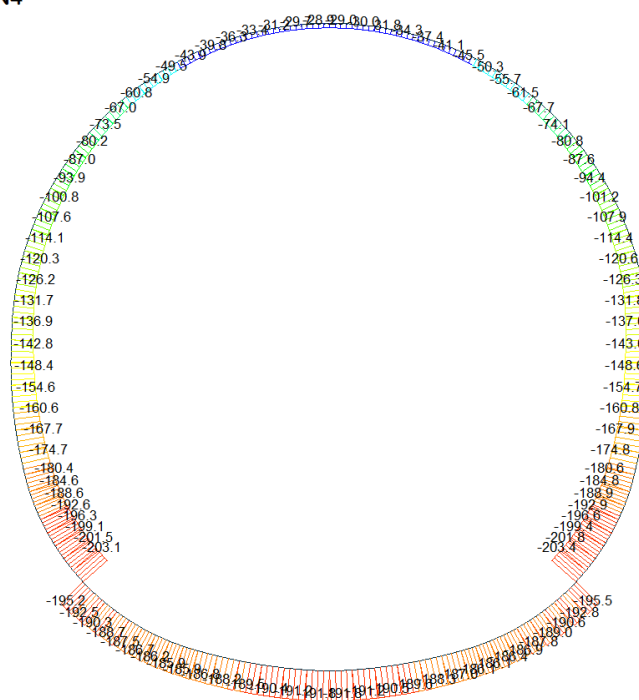
MAX : 31  
MIN : 102

FILE: GL\_T4  
UNIT: kN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.3.4. Load combination SLU 4

Beam Diagram\_Fx / ST\_N4



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

-28.65
-44.54
-60.42
-76.31
-92.20
-108.08
-123.97
-139.85
-155.74
-171.63
-187.51
-203.40

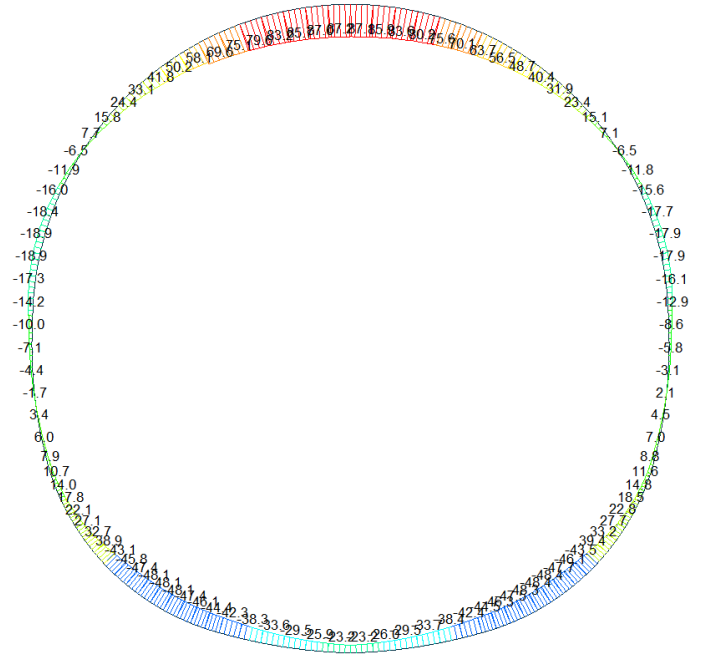
ST: N4

MAX : 67  
MIN : 31

FILE: GL\_T4  
UNIT: kN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_N4



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

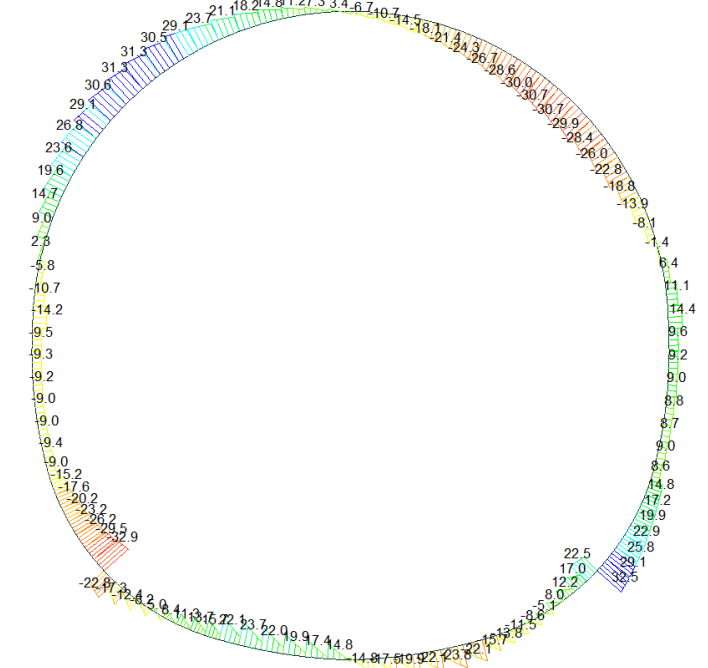
87.23
74.90
62.58
50.25
37.92
25.59
13.26
0.00
-11.39
-23.72
-36.05
-48.37

ST: N4  
MAX : 87  
MIN : 27

FILE: GL\_T4  
UNIT: KN\*M  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_Fz / ST\_N4



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

32.55
26.60
20.66
14.71
8.76
0.00
-3.13
-9.07
-15.02
-20.96
-26.91
-32.86

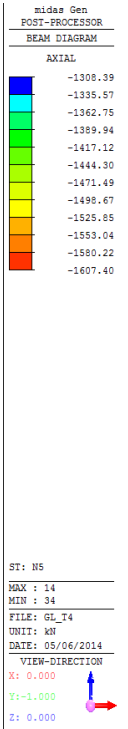
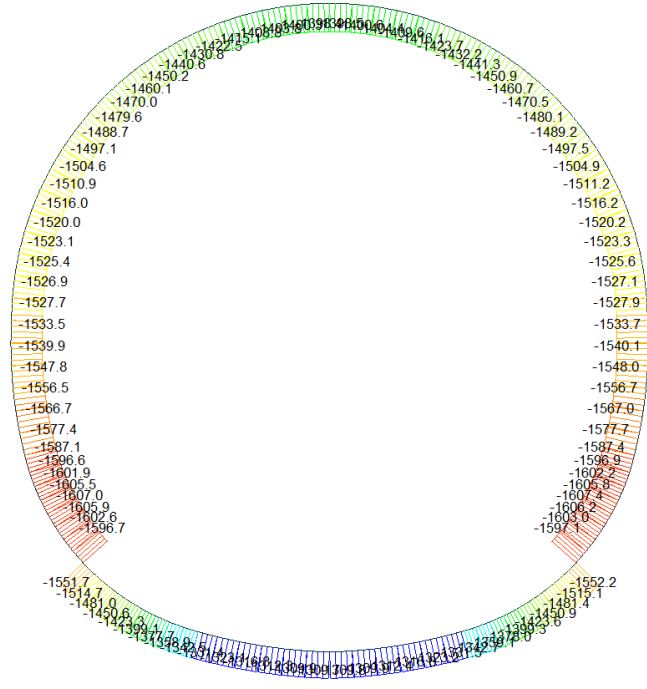
ST: N4  
MAX : 31  
MIN : 102

FILE: GL\_T4  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

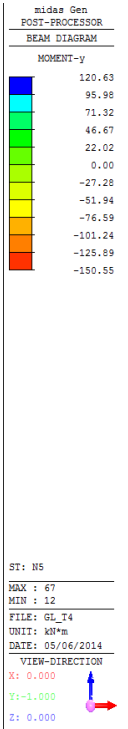
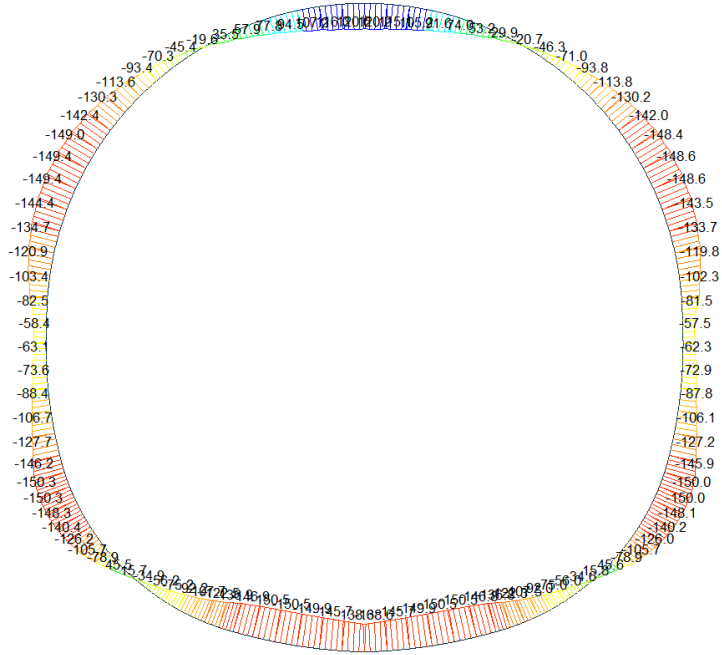
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.3.5. Load combination SLU 5

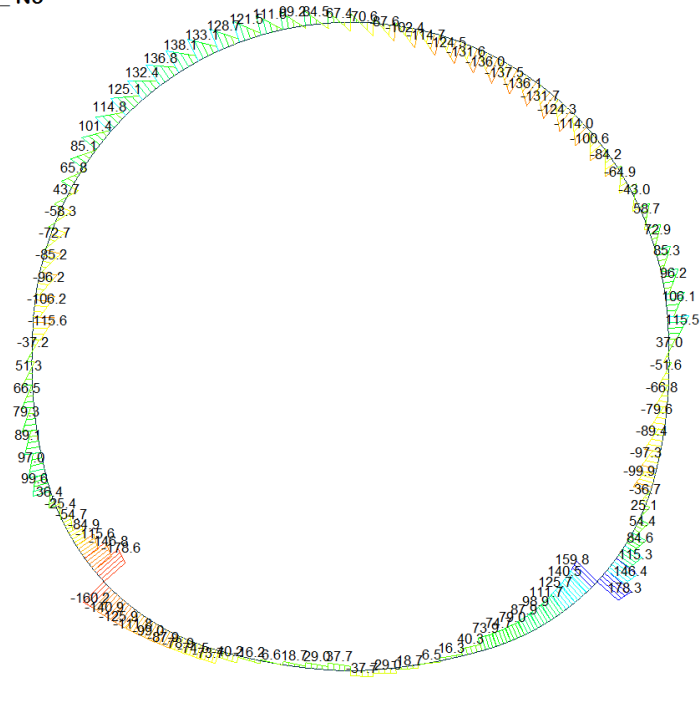
Beam Diagram\_Fx / ST\_N5



Beam Diagram\_My / ST\_N5



Beam Diagram\_Fz / ST\_N5



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

178.26
145.82
113.38
80.94
48.50
0.00
-16.37
-48.81
-81.25
-113.69
-146.13
-178.56

ST: N5

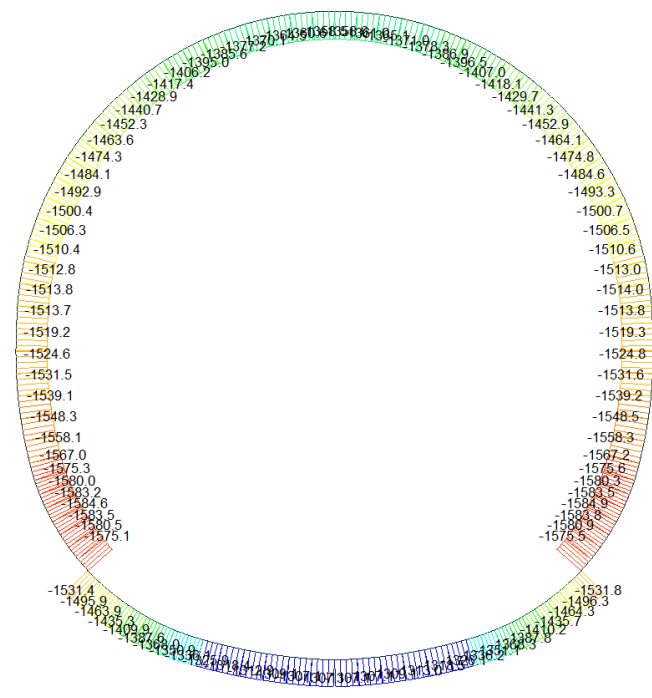
MAX : 91  
MIN : 102

FILE: GL\_T4  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.3.6. Load combination SLU 6

Beam Diagram\_Fx / ST\_N6



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

-1305.55
-1330.94
-1356.34
-1381.74
-1407.14
-1432.54
-1457.93
-1483.33
-1508.73
-1534.13
-1559.53
-1584.92

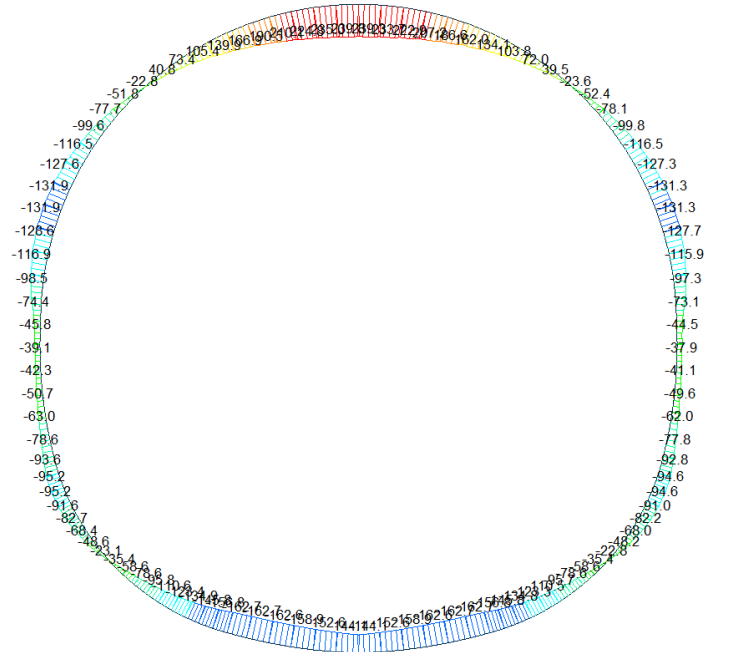
ST: N6

MAX : 14  
MIN : 34

FILE: GL\_T4  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_N6



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

239.85
203.25
166.65
130.05
93.46
56.86
20.26
0.00
-52.93
-89.53
-126.13
-162.73

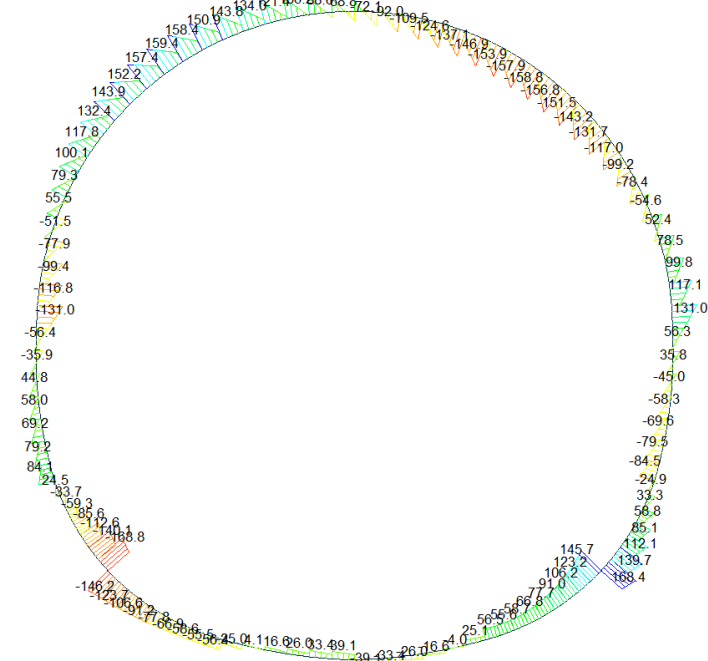
ST: N6

MAX : 67  
MIN : 10

FILE: GL\_I4  
UNIT: kN\*m  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_Fz / ST\_N6



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

Shear-z

168.37
137.72
107.07
76.41
45.76
0.00
-15.55
-46.20
-76.85
-107.50
-138.16
-168.81

ST: N6

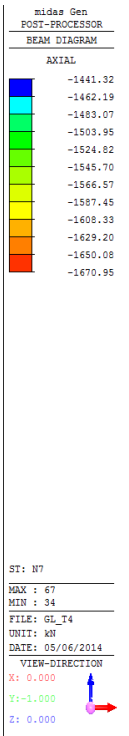
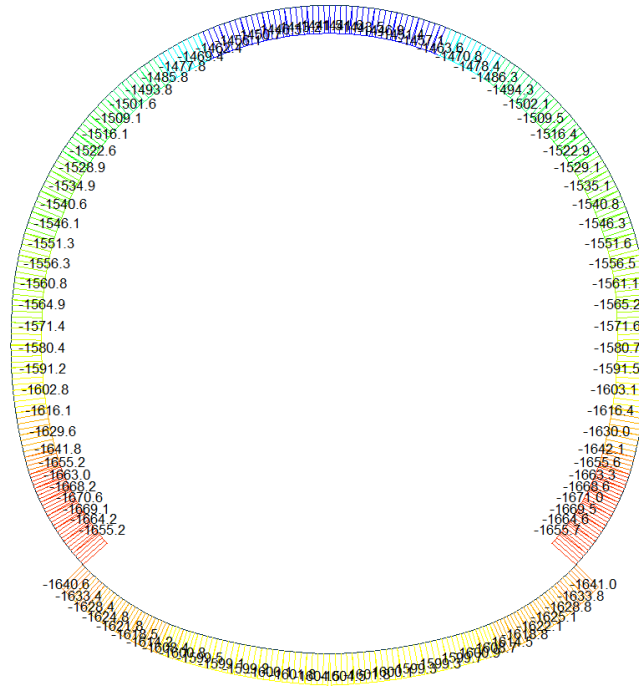
MAX : 31  
MIN : 102

FILE: GL\_I4  
UNIT: kN  
DATE: 05/06/2014

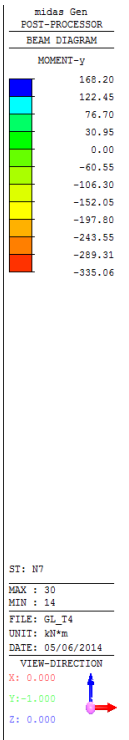
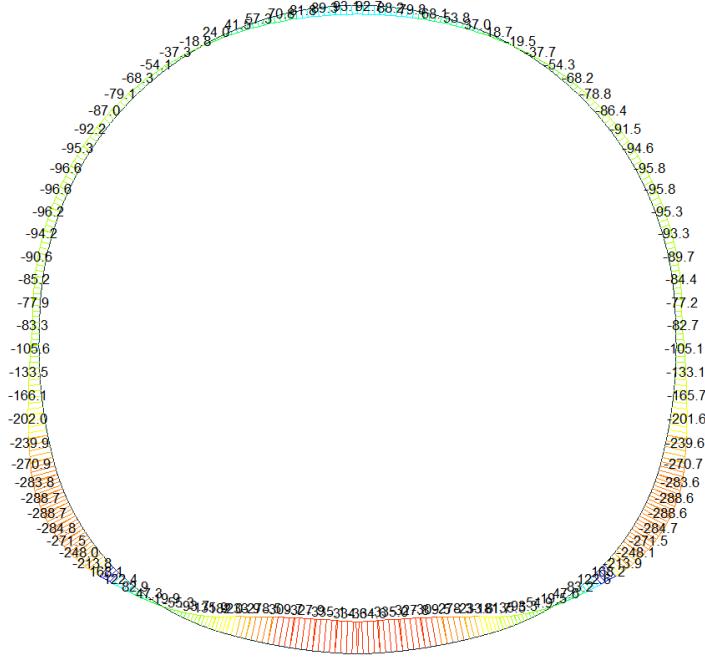
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.3.7. Load combination SLU 7

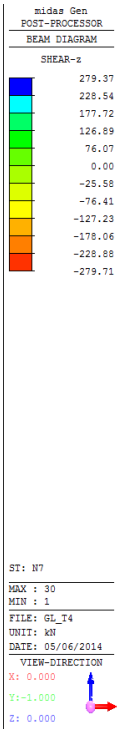
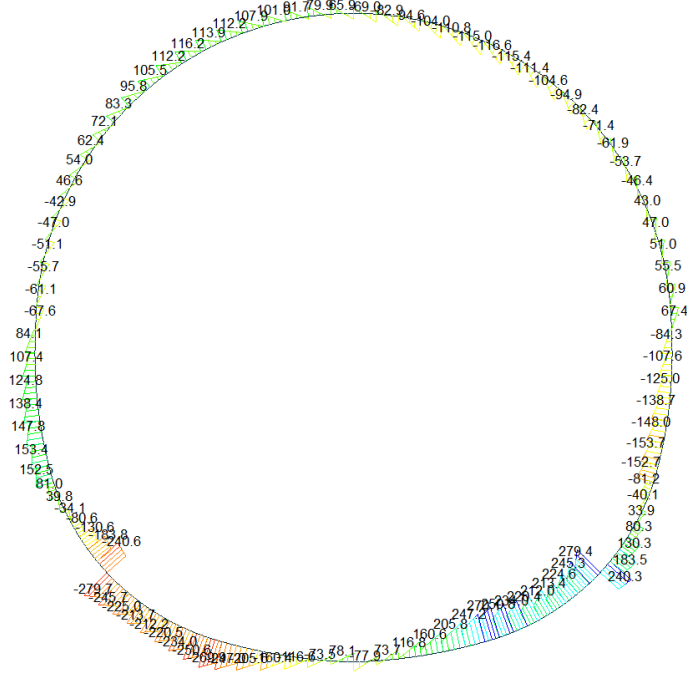
Beam Diagram\_Fx / ST\_N7



Beam Diagram\_My / ST\_N7

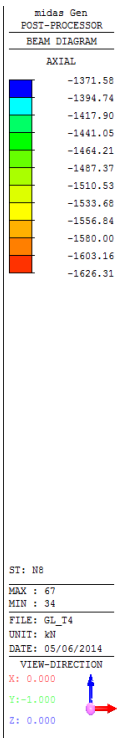
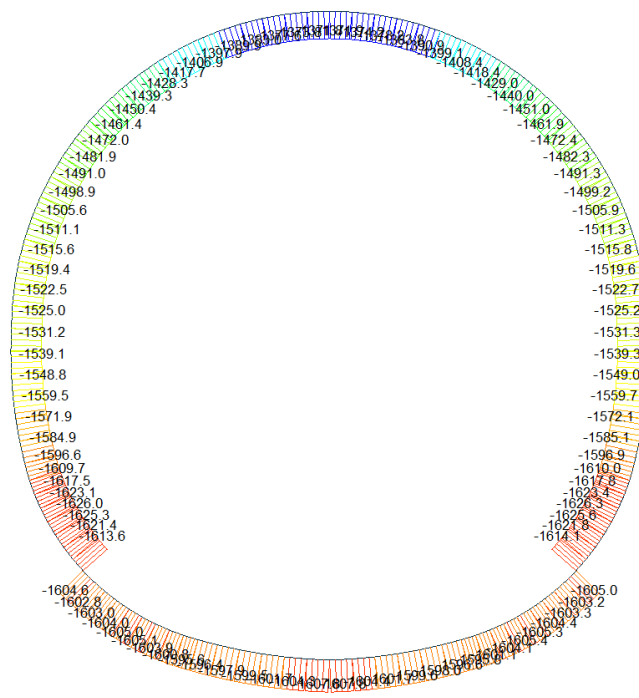


Beam Diagram\_Fz / ST\_N7

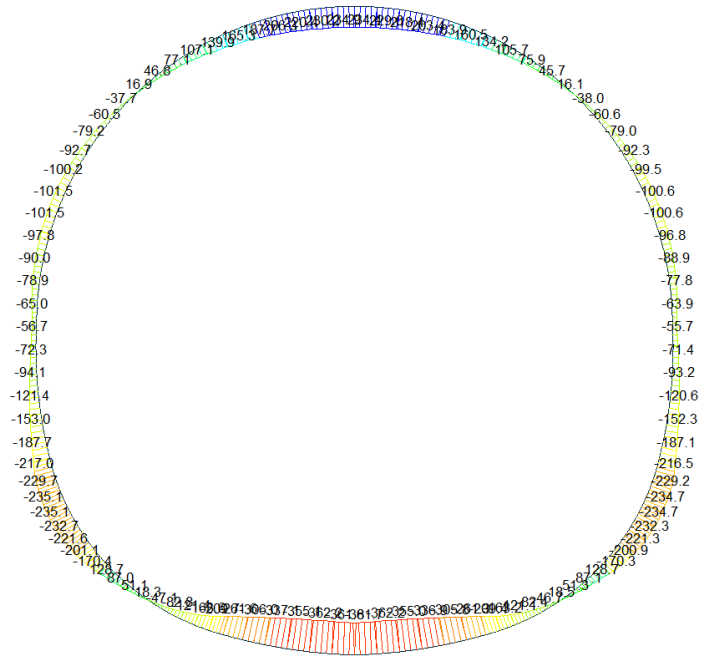


A.4.3.8. Load combination SLU 8

Beam Diagram\_Fx / ST\_N8



Beam Diagram\_My / ST\_N8



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

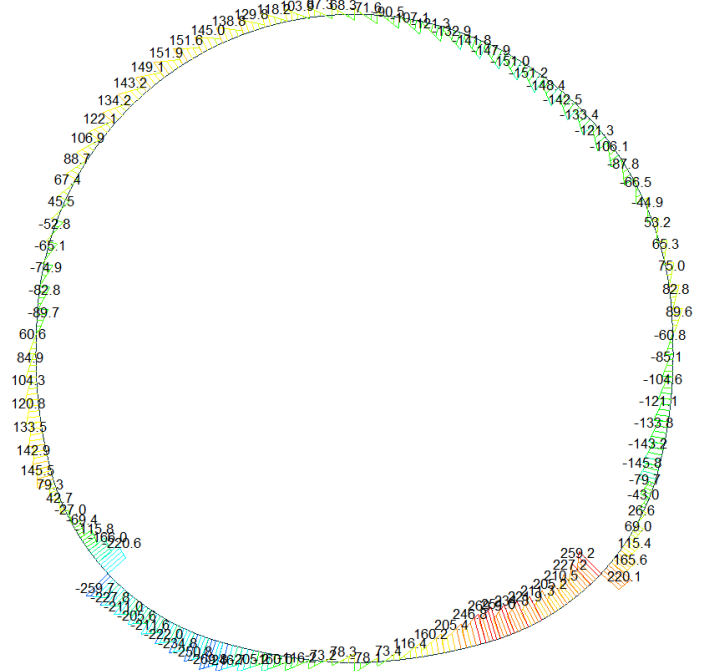
MOMENT-y

234.89
180.61
126.32
72.04
0.00
-36.53
-90.82
-145.10
-199.39
-253.67
-307.96
-362.24

ST: N8  
MAX : 67  
MIN : 14  
FILE: GL\_T4  
UNIT: kNm  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_Fz / ST\_N8



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

269.92
220.86
171.80
122.74
73.68
24.61
0.00
-73.51
-122.57
-171.64
-220.70
-269.76

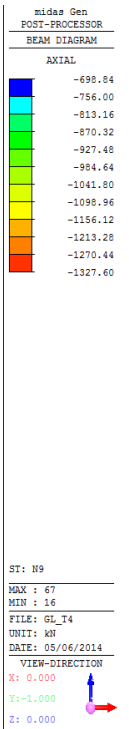
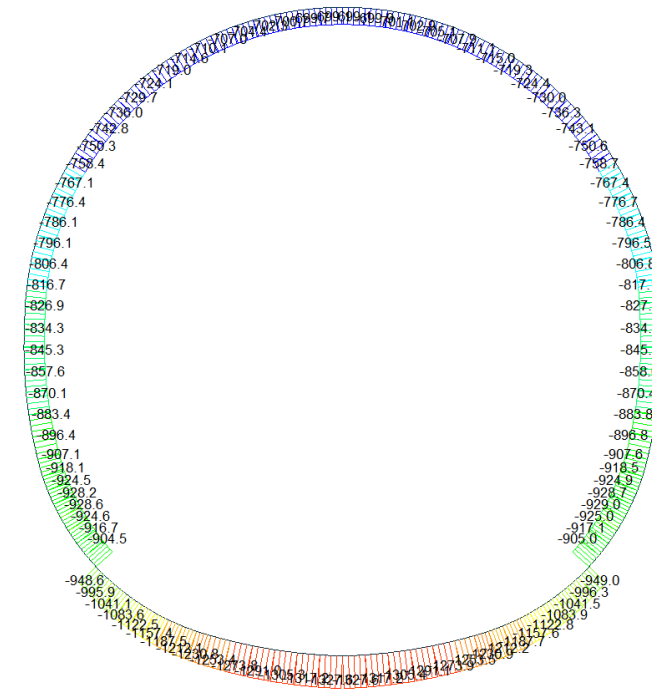
ST: N8  
MAX : 22  
MIN : 9  
FILE: GL\_T4  
UNIT: kN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

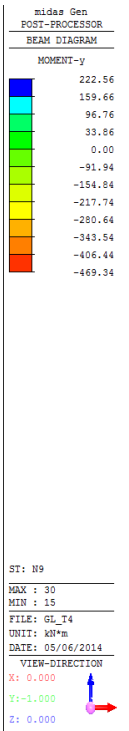
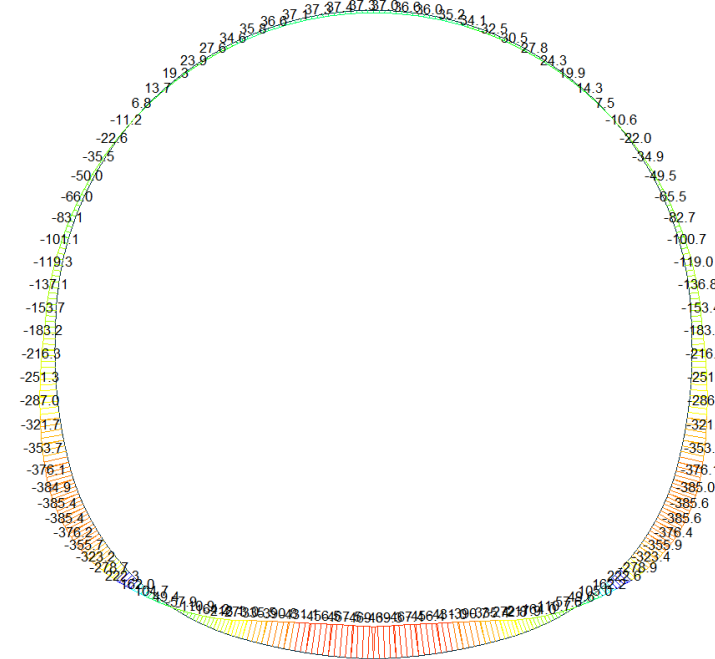


A.4.3.9. Load combination SLU 9

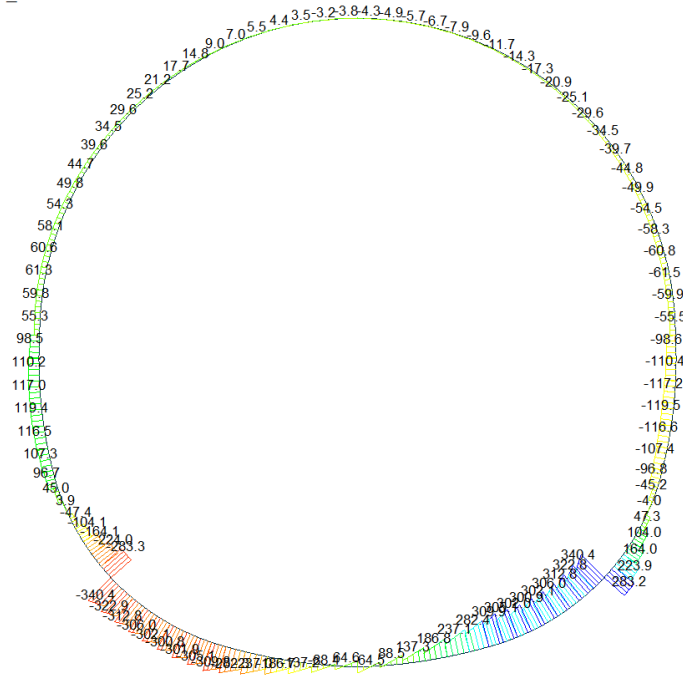
Beam Diagram\_Fx / ST\_N9



Beam Diagram\_My / ST\_N9



Beam Diagram\_Fz / ST\_N9



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

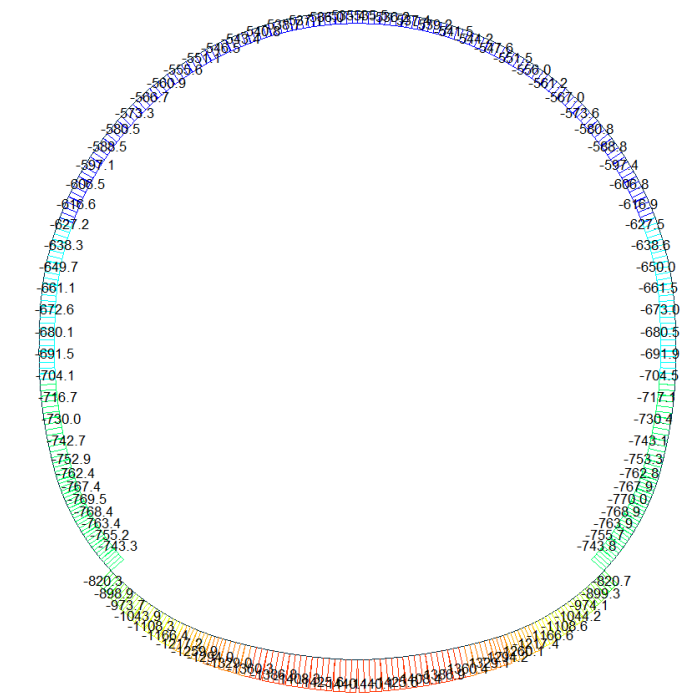
340.37
278.48
216.59
154.70
92.81
0.00
-30.97
-92.86
-154.75
-216.64
-278.53
-340.42

ST: N9  
MAX : 30  
MIN : 1  
FILE: GL\_T4  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.3.10. Load combination SLU 10

Beam Diagram\_Fx / ST\_N10



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

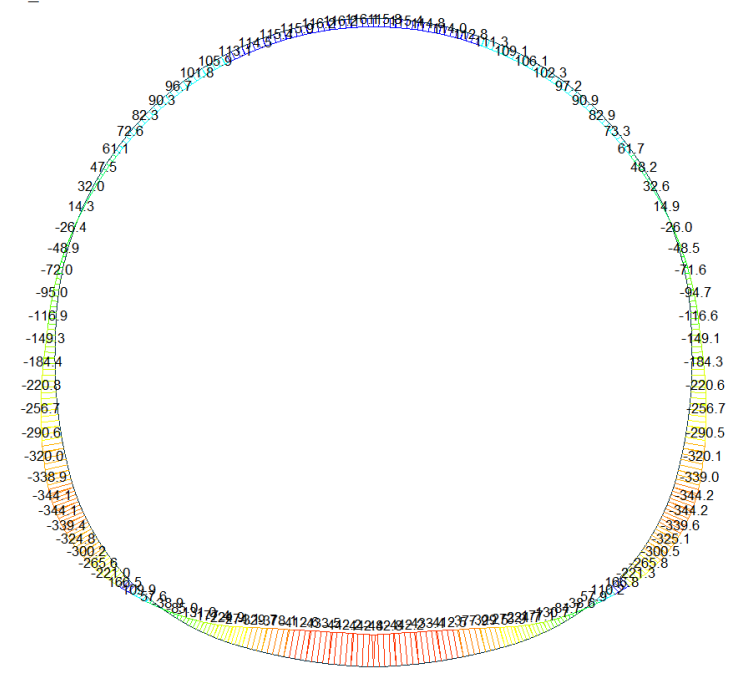
AXIAL

-535.19
-617.45
-699.72
-781.98
-864.25
-946.52
-1028.78
-1111.05
-1193.31
-1275.58
-1357.84
-1440.11

ST: N10  
MAX : 67  
MIN : 16  
FILE: GL\_T4  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_N10



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

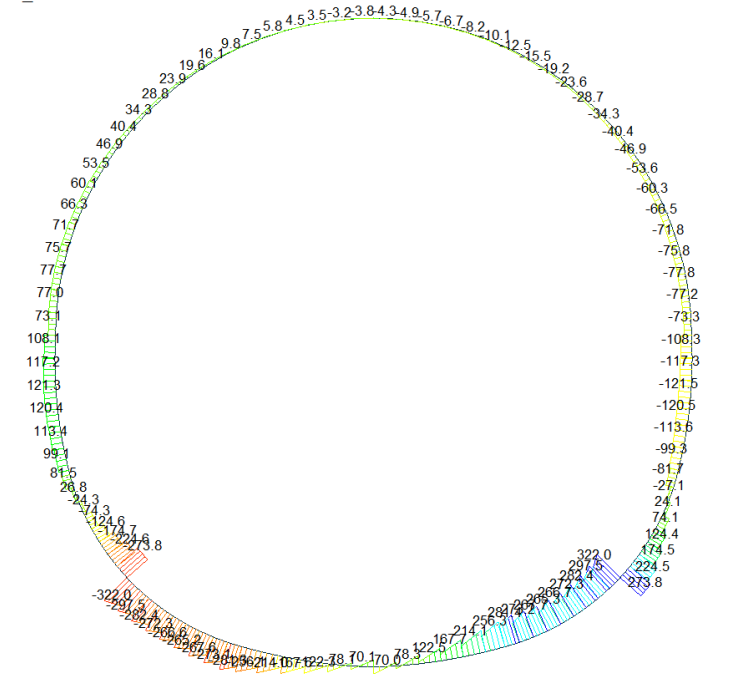
166.82
111.40
55.98
0.00
-54.87
-110.29
-165.71
-221.13
-276.55
-331.97
-387.39
-442.81

ST: N10  
MAX : 90  
MIN : 15

FILE: GL\_T4  
UNIT: KNm  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_Fz / ST\_N10



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

322.01
263.46
204.91
146.36
87.81
0.00
-29.29
-87.84
-146.39
-204.94
-263.49
-322.04

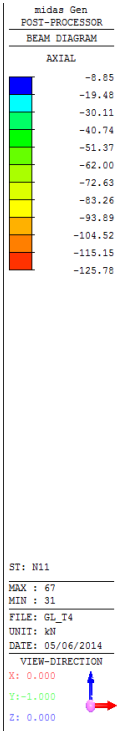
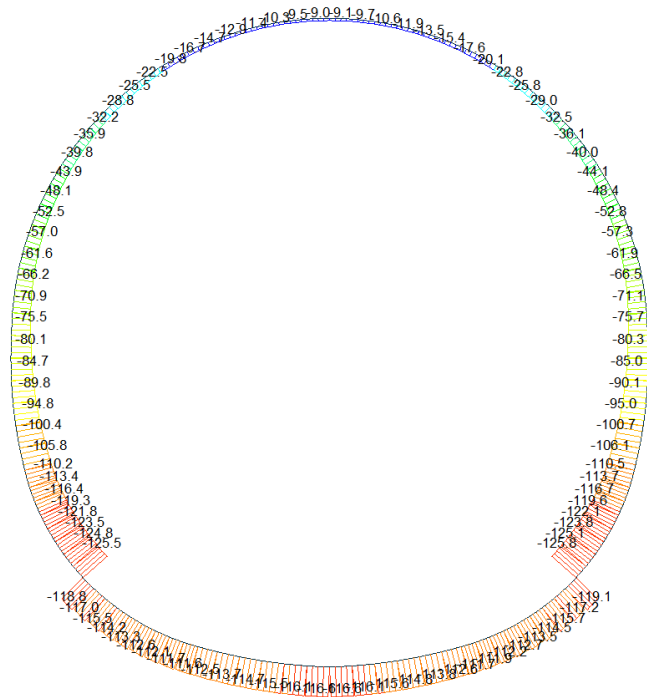
ST: N10  
MAX : 30  
MIN : 1

FILE: GL\_T4  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

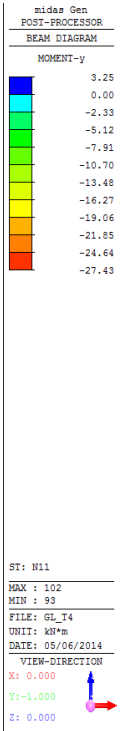
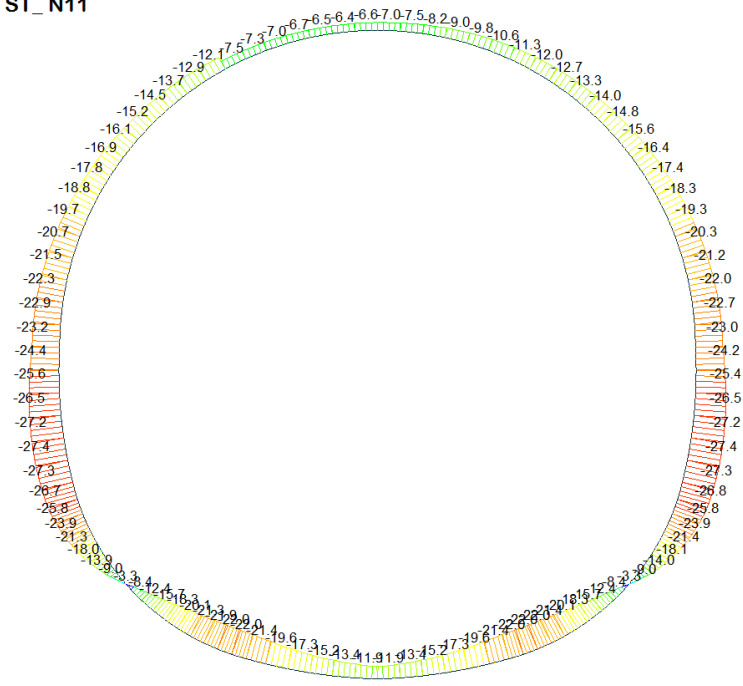
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.3.11. Load combination SLU 11

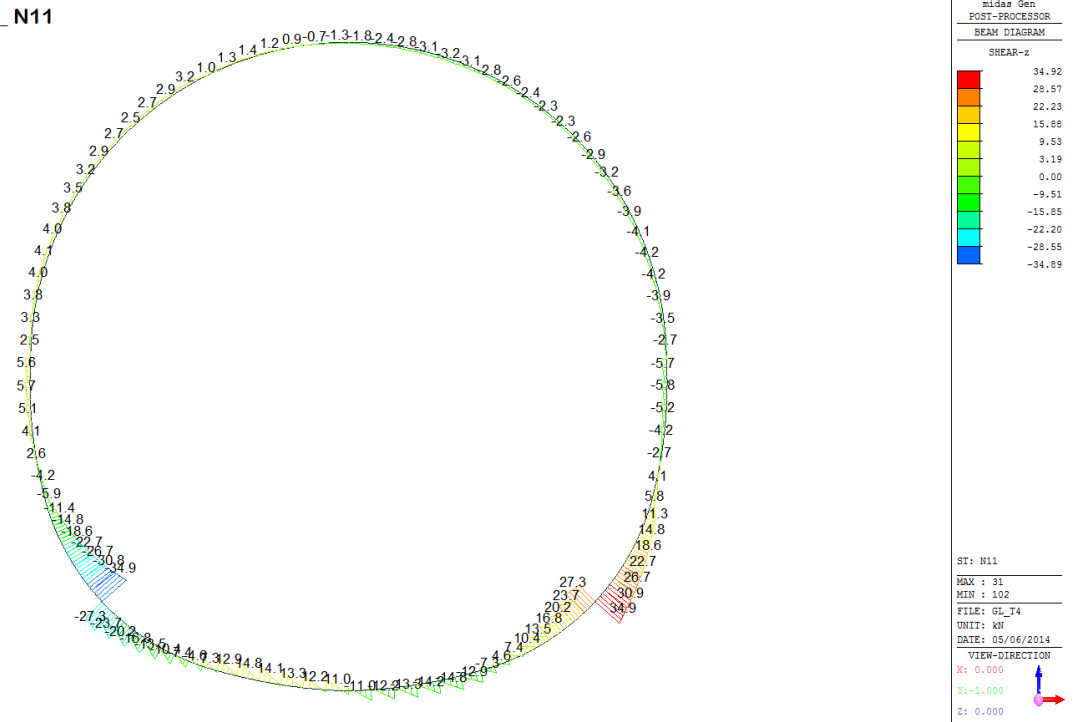
Beam Diagram\_Fx / ST\_N11



Beam Diagram\_My / ST\_N11

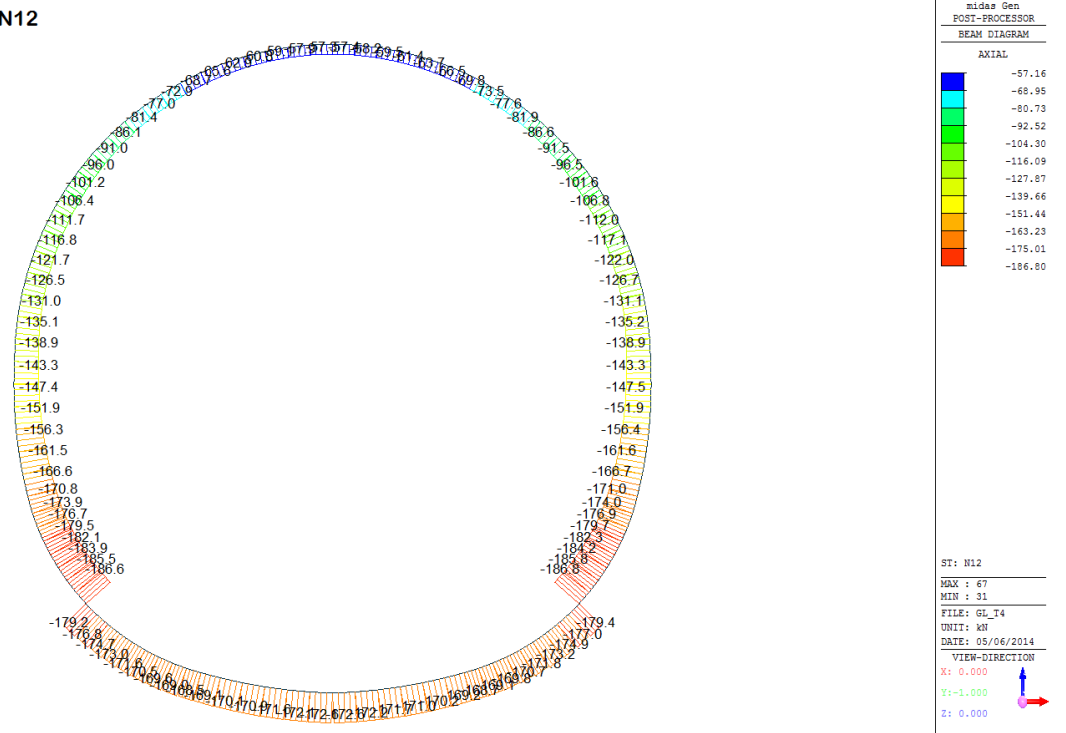


Beam Diagram\_Fz / ST\_N11

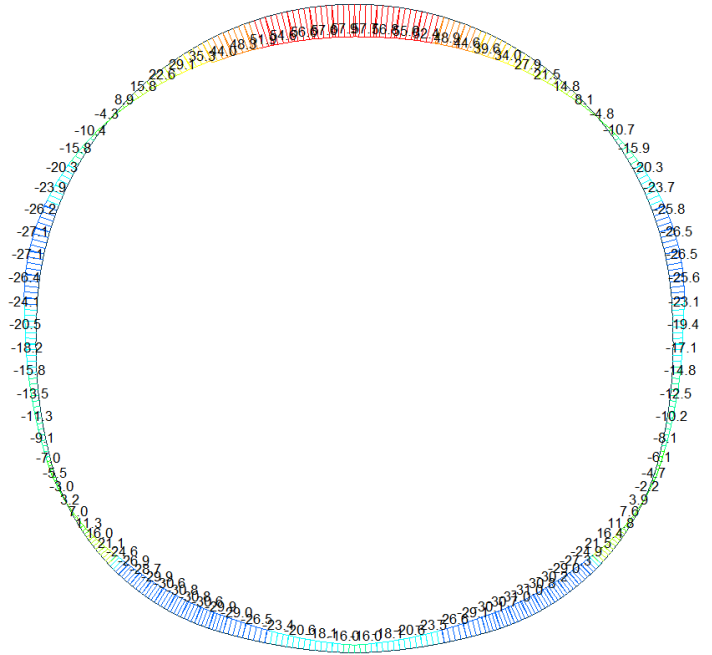


A.4.3.12. Load combination SLU 12

Beam Diagram\_Fx / ST\_N12



Beam Diagram\_My / ST\_N12



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

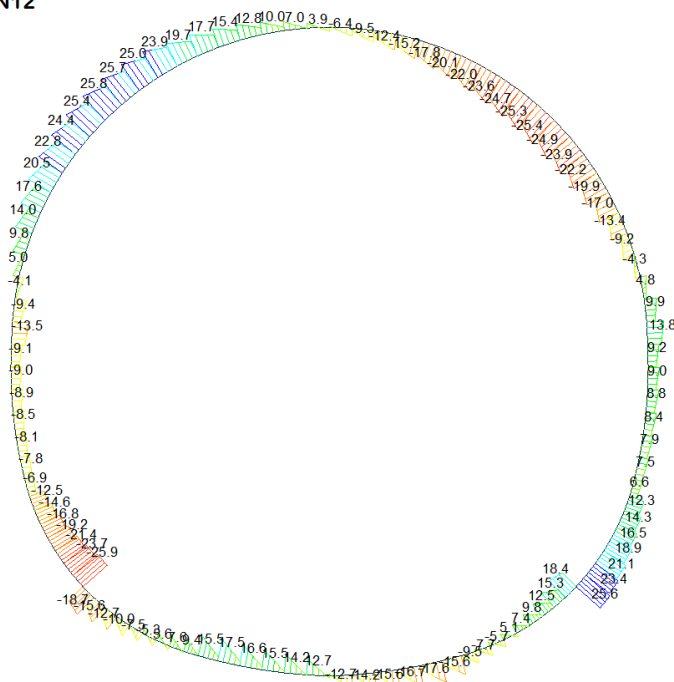
MOMENT-y

57.88
49.80
41.73
33.65
25.57
17.49
9.41
0.00
-6.75
-14.82
-22.90
-30.98

ST: N12  
MAX : 67  
MIN : 25  
FILE: GL\_T4  
UNIT: KN\*m  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_Fz / ST\_N12



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

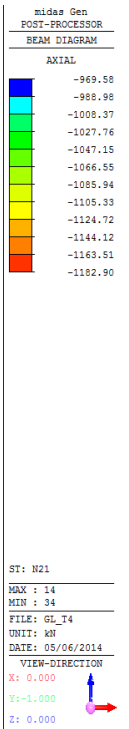
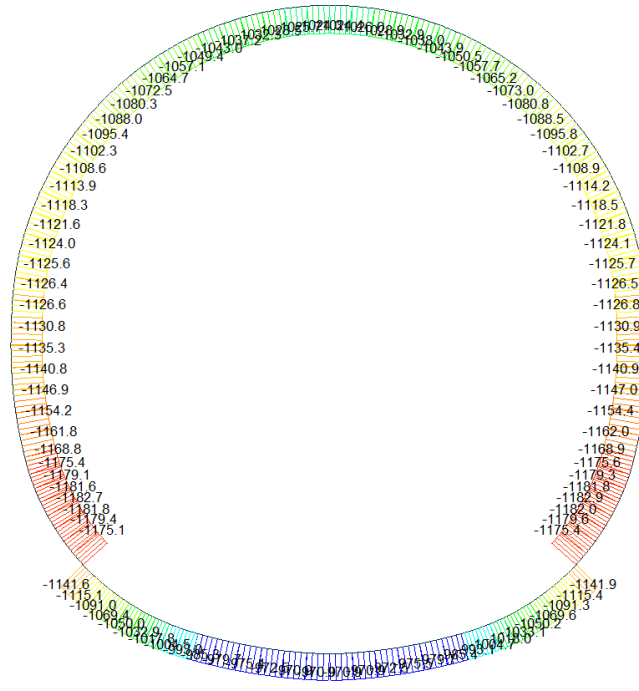
25.83
21.13
16.43
11.73
7.02
0.00
-2.38
-7.08
-11.79
-16.49
-21.19
-25.89

ST: N12  
MAX : 77  
MIN : 102  
FILE: GL\_T4  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

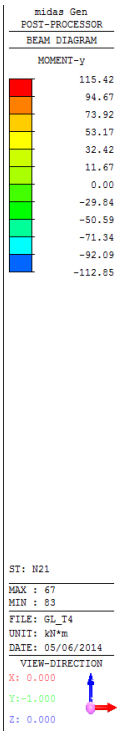
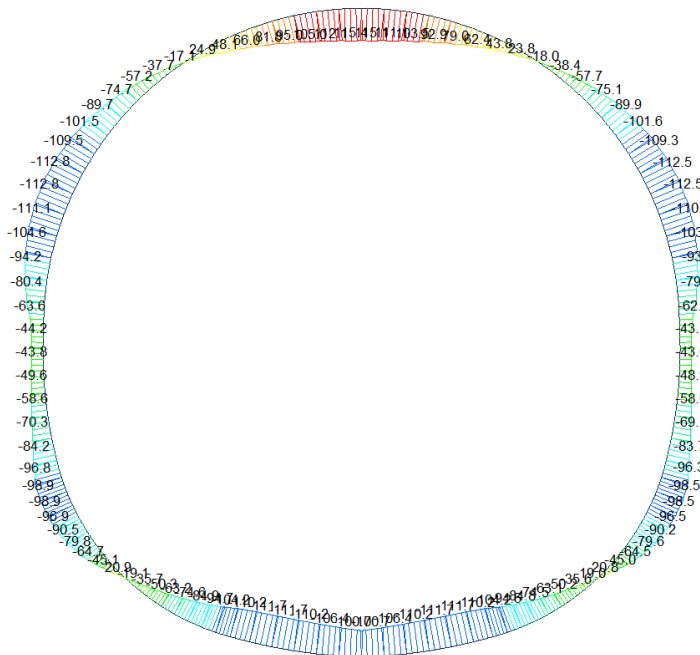
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.3.13. Load combination SLU 21

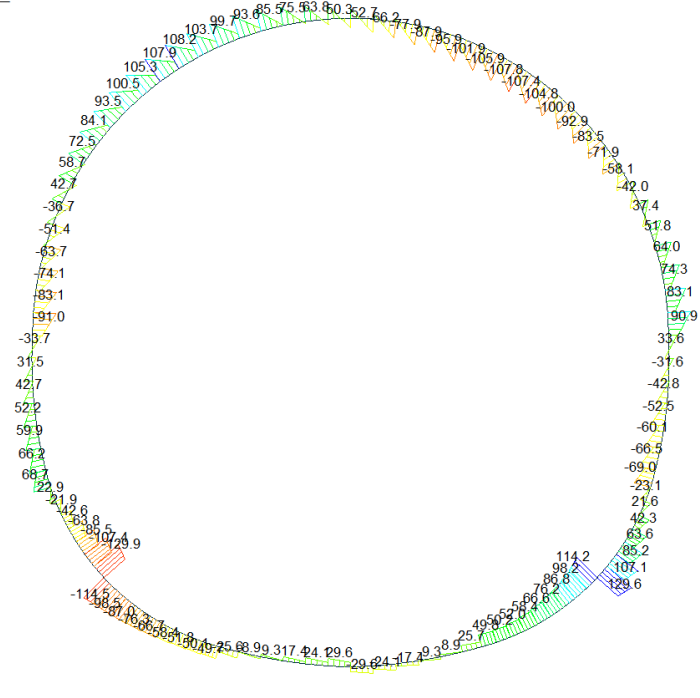
Beam Diagram\_Fx / ST\_N21



Beam Diagram\_My / ST\_N21



Beam Diagram\_Fz / ST\_N21



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

129.59
106.00
82.41
58.83
35.24
0.00
-11.94
-35.53
-59.11
-82.70
-106.29
-129.88

ST: N21

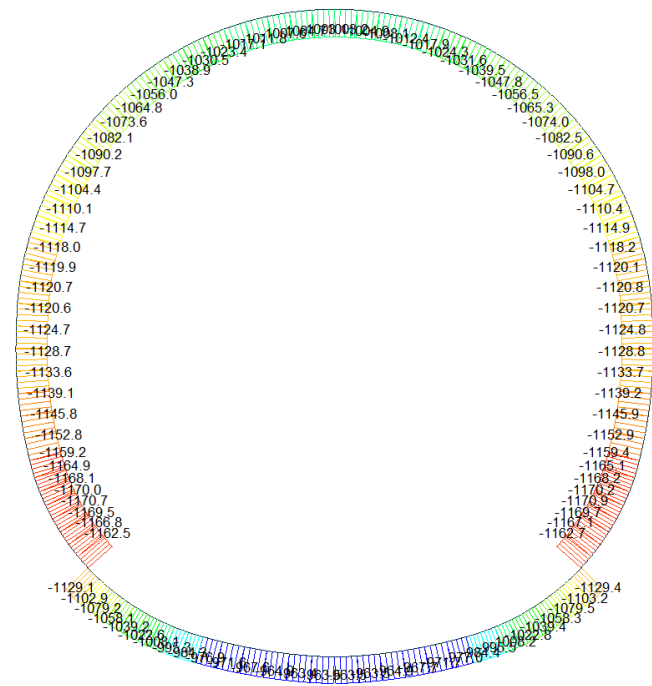
MAX : 31  
MIN : 102

FILE: GL\_T4  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.3.14. Load combination SLU 22

Beam Diagram\_Fx / ST\_N22



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

-962.12
-981.10
-1000.08
-1019.06
-1038.04
-1057.02
-1076.00
-1094.98
-1113.96
-1132.94
-1151.92
-1170.90

ST: N22

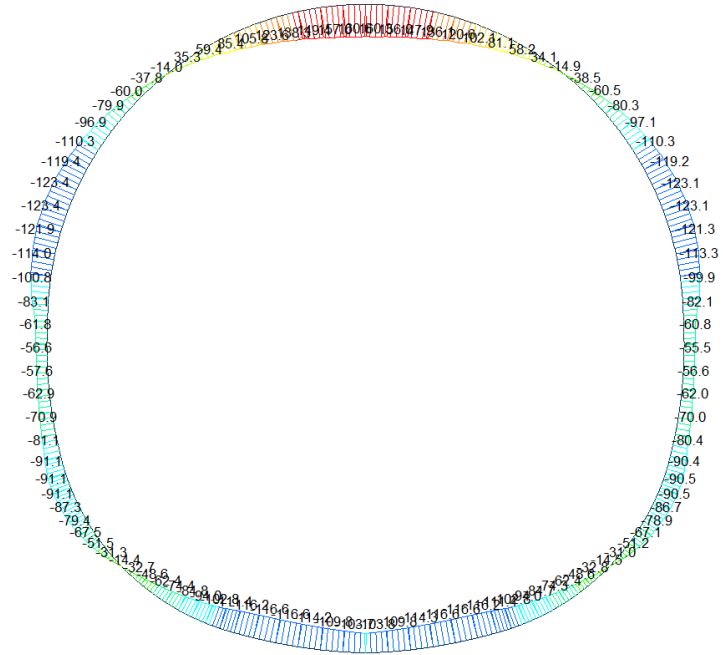
MAX : 14  
MIN : 34

FILE: GL\_T4  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000



Beam Diagram\_My / ST\_N22



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

160.63
134.80
108.98
83.16
57.34
31.51
0.00
-20.13
-45.95
-71.78
-97.60
-123.42

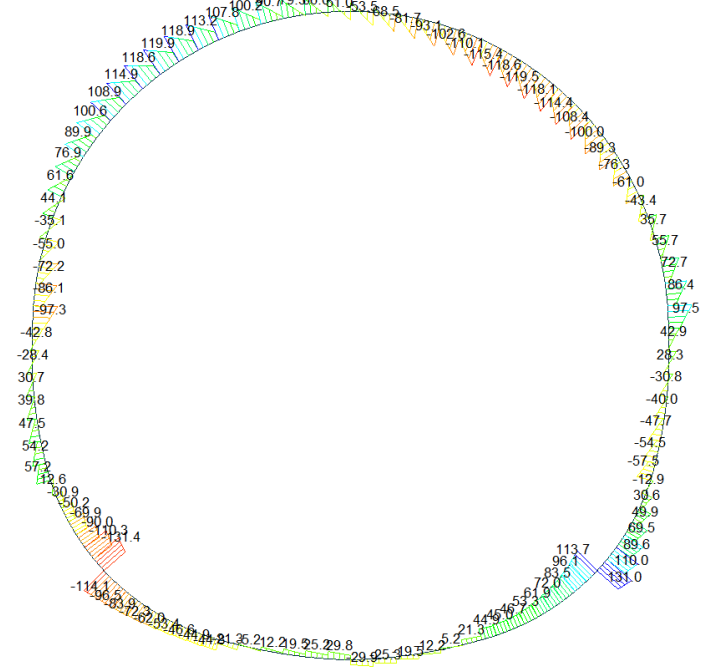
ST: N22  
MAX : 67  
MIN : 84

FILE: GL\_T4  
UNIT: KNm  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000



Beam Diagram\_Fz / ST\_N22



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

131.00
107.15
83.30
59.45
35.59
0.00
-12.11
-35.96
-59.81
-83.66
-107.51
-131.36

ST: N22  
MAX : 31  
MIN : 102

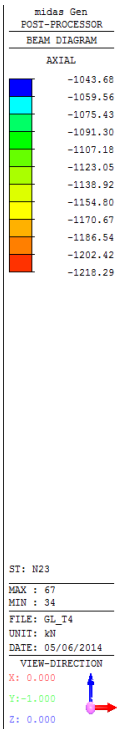
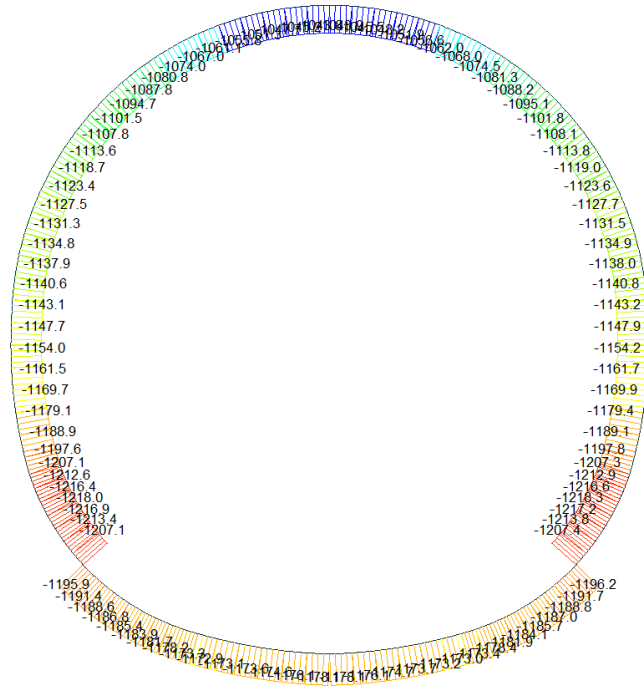
FILE: GL\_T4  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

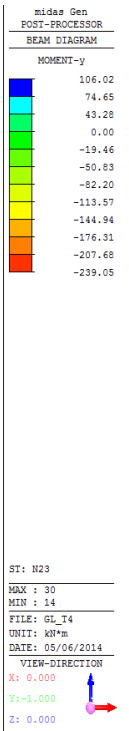
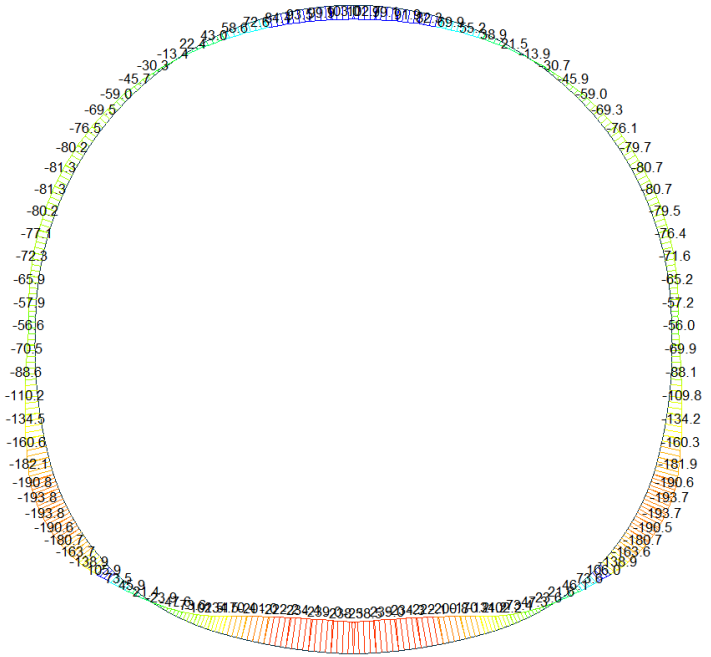


A.4.3.15. Load combination SLU 23

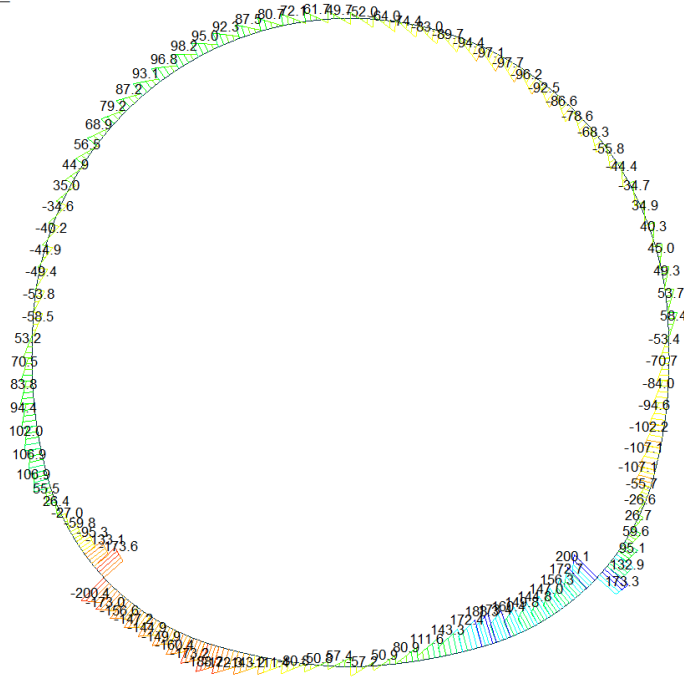
Beam Diagram\_Fx / ST\_N23



Beam Diagram\_My / ST\_N23



Beam Diagram\_Fz / ST\_N23



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

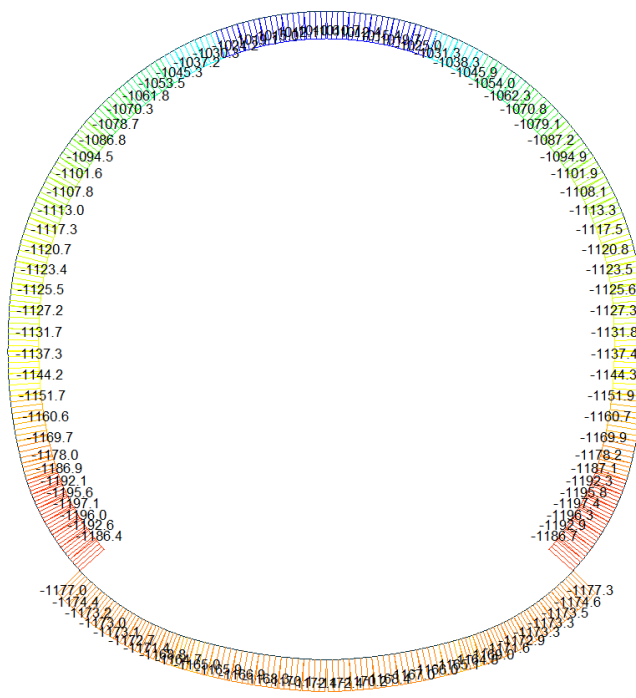
SHEAR-z

200.13
163.72
127.30
90.89
54.48
0.00
-18.35
-54.76
-91.17
-127.59
-164.00
-200.41

ST: N23  
MAX : 90  
MIN : 1  
FILE: GL\_T4  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.3.16. Load combination SLU 24

Beam Diagram\_Fx / ST\_N24



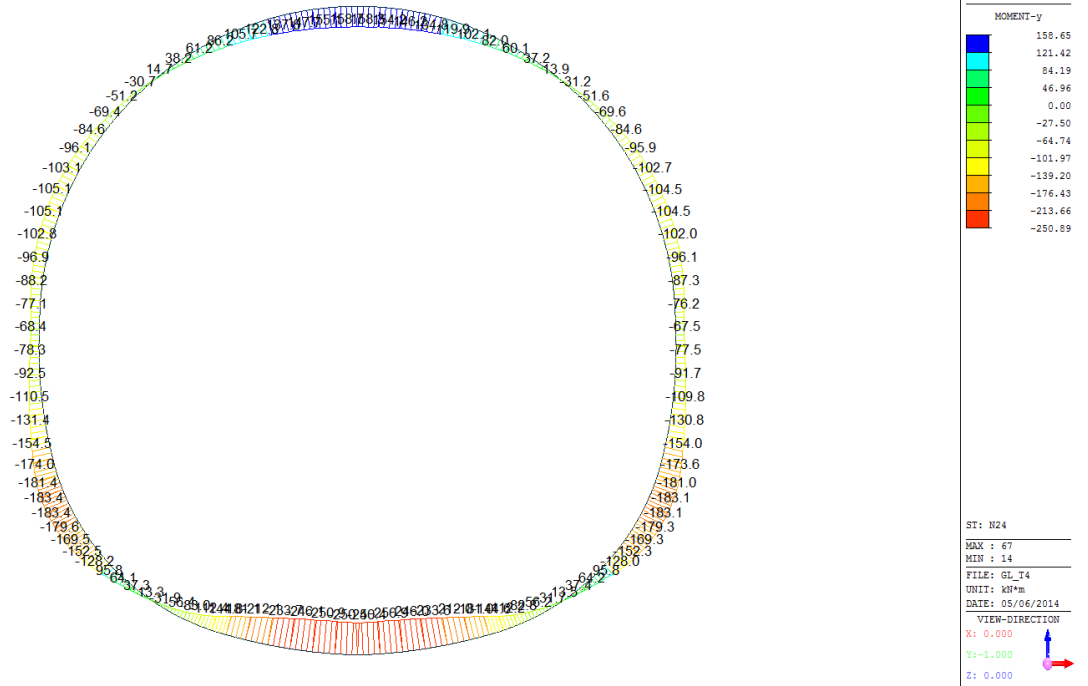
midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

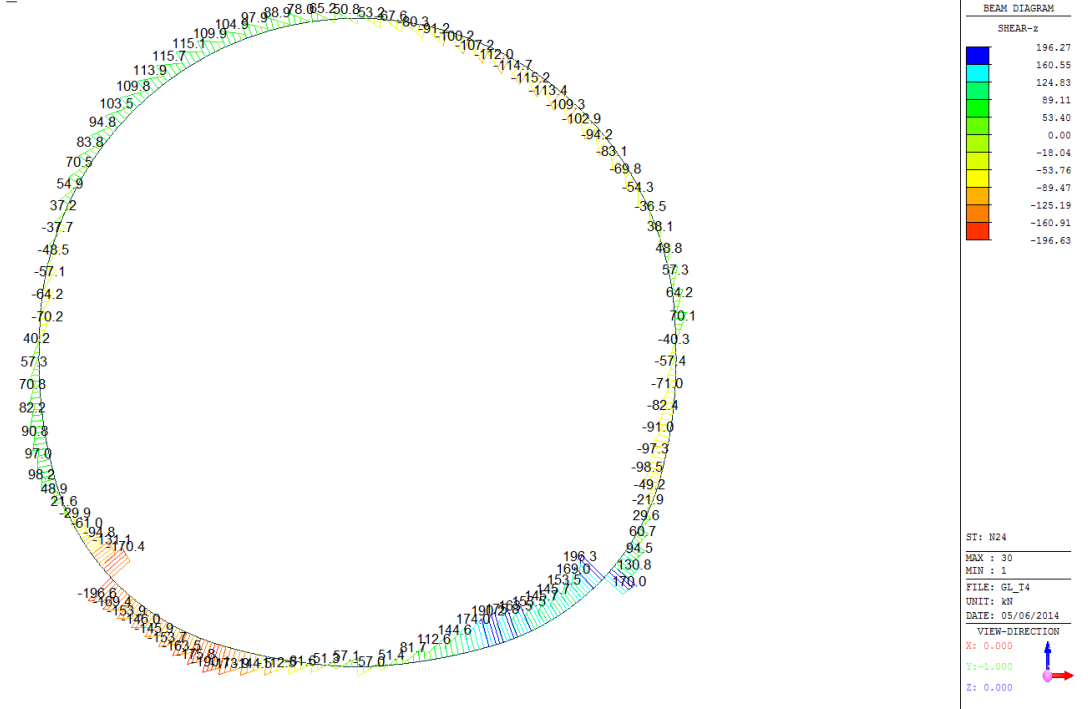
-1010.43
-1027.42
-1044.42
-1061.41
-1078.41
-1095.40
-1112.40
-1129.40
-1146.39
-1163.39
-1180.38
-1197.38

ST: N24  
MAX : 67  
MIN : 34  
FILE: GL\_T4  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_N24



Beam Diagram\_Fz / ST\_N24



A.4.3.17. Rebarred section ratio checking

SECTION CHECKING															
MEMBER	SECTION PROPERTIES		f <sub>ck</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>yk</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	CHECK	LOAD CB M-N iteration	LOAD CB V	Rebar	N <sub>Rdmax</sub>	N <sub>Ed</sub>	M <sub>Edy</sub>	M <sub>Edz</sub>	V <sub>Rdc</sub>	V <sub>Rds</sub>	V <sub>Ed</sub>
SECTION	B <sub>c</sub> (m)	H <sub>c</sub> (m)								Ratio-N	Ratio-My	Ratio-Mz	Ratio-Vc	Ratio-Vs	Ratio-V
1	100 x 74		30.00	450.00	OK	N7	N9	14-2-P16	12'804	1637.030	168.051	0.000	384.571	-	340.416
2	1.00	0.74								<b>0.174</b>	<b>0.172</b>	0.000	0.885	-	<b>0.885</b>
2	100 x 74		30.00	450.00	OK	N7	N9	14-2-P16	12'804	<b>1626.090</b>	<b>122.392</b>	0.000	390.661	-	<b>322.866</b>
2	1.00	0.74								<b>0.157</b>	<b>0.158</b>	0.000	0.826	-	<b>0.826</b>
3	100 x 74		30.00	450.00	OK	N7	N9	14-2-P16	12'804	1621.610	82.867	0.000	397.059	-	312.832
2	1.00	0.74								<b>0.146</b>	<b>0.147</b>	0.000	0.788	-	<b>0.788</b>
4	100 x 74		30.00	450.00	OK	N7	N9	14-2-P16	12'804	1618.580	47.256	0.000	403.077	-	305.999
2	1.00	0.74								<b>0.137</b>	<b>0.137</b>	0.000	0.759	-	<b>0.759</b>
5	100 x 74		30.00	450.00	OK	N6	N9	14-2-P16	12'804	1409.910	110.591	0.000	408.604	-	302.052
2	1.00	0.74								<b>0.138</b>	<b>0.137</b>	0.000	0.739	-	<b>0.739</b>
6	100 x 74		30.00	450.00	OK	N8	N9	14-2-P16	12'804	1605.070	82.845	0.000	413.559	-	300.806
2	1.00	0.74								<b>0.144</b>	<b>0.147</b>	0.000	0.727	-	<b>0.727</b>
7	100 x 74		30.00	450.00	OK	N8	N9	14-2-P16	12'804	1603.850	121.438	0.000	417.852	-	301.948
2	1.00	0.74								<b>0.155</b>	<b>0.157</b>	0.000	0.723	-	<b>0.723</b>
8	100 x 74		30.00	450.00	OK	N10	N9	14-2-P16	12'804	1259.900	224.910	0.000	421.381	-	305.052
2	1.00	0.74								<b>0.173</b>	<b>0.173</b>	0.000	0.724	-	<b>0.724</b>
9	100 x 74		30.00	450.00	OK	N10	N9	14-2-P16	12'804	1294.010	274.110	0.000	424.087	-	309.795
2	1.00	0.74								<b>0.200</b>	<b>0.199</b>	0.000	0.730	-	<b>0.730</b>
10	100 x 74		30.00	450.00	OK	N9	N9	14-2-P16	12'804	1253.410	335.549	0.000	427.177	-	282.288
2	1.00	0.74								<b>0.242</b>	<b>0.238</b>	0.000	0.661	-	<b>0.661</b>
11	100 x 74		30.00	450.00	OK	N9	N9	14-2-P16	12'804	1273.790	390.848	0.000	430.046	-	237.045
2	1.00	0.74								<b>0.289</b>	<b>0.288</b>	0.000	0.551	-	<b>0.551</b>
12	100 x 74		30.00	450.00	OK	N9	N9	14-2-P16	12'804	1291.020	431.070	0.000	432.552	-	186.711
2	1.00	0.74								<b>0.327</b>	<b>0.329</b>	0.000	0.432	-	<b>0.432</b>
13	100 x 74		30.00	450.00	OK	N9	N9	14-2-P16	12'804	1305.350	456.455	0.000	434.654	-	137.199
2	1.00	0.74								<b>0.365</b>	<b>0.363</b>	0.000	0.316	-	<b>0.316</b>
14	100 x 74		30.00	450.00	OK	N9	N9	14-2-P16	12'804	1317.170	467.225	0.000	436.405	-	88.436
2	1.00	0.74								<b>0.383</b>	<b>0.377</b>	0.000	0.203	-	<b>0.203</b>
15	100 x 74		30.00	450.00	OK	N9	N8	14-2-P16	12'804	1326.780	467.225	0.000	477.261	-	78.299
2	1.00	0.74								<b>0.386</b>	<b>0.377</b>	0.000	0.164	-	<b>0.164</b>
16	100 x 74		30.00	450.00	OK	N9	N8	14-2-P16	12'804	1326.800	467.192	0.000	477.263	-	78.110
2	1.00	0.74								<b>0.386</b>	<b>0.377</b>	0.000	0.164	-	<b>0.164</b>
17	100 x 74		30.00	450.00	OK	N9	N9	14-2-P16	12'804	1317.200	467.192	0.000	436.410	-	88.544
2	1.00	0.74								<b>0.383</b>	<b>0.377</b>	0.000	0.203	-	<b>0.203</b>
18	100 x 74		30.00	450.00	OK	N9	N9	14-2-P16	12'804	1305.410	456.390	0.000	434.662	-	137.305
2	1.00	0.74								<b>0.366</b>	<b>0.363</b>	0.000	0.316	-	<b>0.316</b>
19	100 x 74		30.00	450.00	OK	N9	N9	14-2-P16	12'804	1291.100	430.973	0.000	432.564	-	186.813
2	1.00	0.74								<b>0.327</b>	<b>0.329</b>	0.000	0.432	-	<b>0.432</b>
20	100 x 74		30.00	450.00	OK	N9	N9	14-2-P16	12'804	1273.900	390.721	0.000	430.060	-	237.144
2	1.00	0.74								<b>0.289</b>	<b>0.288</b>	0.000	0.551	-	<b>0.551</b>
21	100 x 74		30.00	450.00	OK	N9	N9	14-2-P16	12'804	1253.540	335.392	0.000	427.195	-	282.383
2	1.00	0.74								<b>0.242</b>	<b>0.237</b>	0.000	0.661	-	<b>0.661</b>
22	100 x 74		30.00	450.00	OK	N10	N9	14-2-P16	12'804	1294.150	273.893	0.000	424.108	-	309.884
2	1.00	0.74								<b>0.201</b>	<b>0.199</b>	0.000	0.731	-	<b>0.731</b>
23	100 x 74		30.00	450.00	OK	N10	N9	14-2-P16	12'804	1260.070	224.672	0.000	421.406	-	305.131
2	1.00	0.74								<b>0.173</b>	<b>0.173</b>	0.000	0.724	-	<b>0.724</b>
24	100 x 74		30.00	450.00	OK	N8	N9	14-2-P16	12'804	1604.120	121.054	0.000	417.882	-	302.015
2	1.00	0.74								<b>0.155</b>	<b>0.156</b>	0.000	0.723	-	<b>0.723</b>
25	100 x 74		30.00	450.00	OK	N8	N9	14-2-P16	12'804	1605.370	82.447	0.000	413.594	-	300.859
2	1.00	0.74								<b>0.144</b>	<b>0.146</b>	0.000	0.727	-	<b>0.727</b>
26	100 x 74		30.00	450.00	OK	N6	N9	14-2-P16	12'804	1410.220	110.471	0.000	408.644	-	302.088
2	1.00	0.74								<b>0.138</b>	<b>0.137</b>	0.000	0.739	-	<b>0.739</b>
27	100 x 74		30.00	450.00	OK	N7	N9	14-2-P16	12'804	1618.920	47.596	0.000	403.121	-	306.018
2	1.00	0.74								<b>0.137</b>	<b>0.138</b>	0.000	0.759	-	<b>0.759</b>
28	100 x 74		30.00	450.00	OK	N7	N9	14-2-P16	12'804	1621.990	83.159	0.000	397.108	-	312.829
2	1.00	0.74								<b>0.146</b>	<b>0.147</b>	0.000	0.788	-	<b>0.788</b>
29	100 x 74		30.00	450.00	OK	N7	N9	14-2-P16	12'804	1626.490	122.610	0.000	390.716	-	322.841
2	1.00	0.74								<b>0.157</b>	<b>0.158</b>	0.000	0.826	-	<b>0.826</b>
30	100 x 74		30.00	450.00	OK	N7	N9	14-2-P16	12'804	1637.450	168.201	0.000	384.632	-	340.365
2	1.00	0.74								<b>0.174</b>	<b>0.172</b>	0.000	0.885	-	<b>0.885</b>

SECTION CHECKING															
MEMBER	SECTION PROPERTIES		f <sub>ck</sub>	f <sub>yk</sub>	CHECK	LOAD CB	LOAD CB		N_Rdmax	N_Ed	M_Edy	M_Edz	V_Rdc	V_Rds	V_Ed
SECTION	Bc (m)	Hc (m)	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		M-N iteration	V	Rebar		Ratio-N	Ratio-My	Ratio-Mz	Ratio-Vc	Ratio-Vs	Ratio-V
31	100 x 68		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	11'848	901.557	278.884	0.000	339.466	-	273.773
3	1.00	0.68								<b>0.250</b>	<b>0.248</b>	0.000	0.806	-	<b>0.806</b>
32	100 x 70		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	12'964	913.137	323.352	0.000	360.882	-	224.498
5	1.00	0.75								<b>0.252</b>	<b>0.251</b>	0.000	0.622	-	<b>0.622</b>
33	100 x 75		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	12'964	920.848	355.862	0.000	362.035	-	174.548
6	1.00	0.75								<b>0.299</b>	<b>0.297</b>	0.000	0.482	-	<b>0.482</b>
34	100 x 85		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	14'557	924.111	376.361	0.000	390.294	-	124.449
8	1.00	0.85								<b>0.232</b>	<b>0.236</b>	0.000	0.319	-	<b>0.319</b>
35	100 x 85		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	14'557	923.590	385.555	0.000	390.451	-	74.104
8	1.00	0.85								<b>0.262</b>	<b>0.257</b>	0.000	0.190	-	<b>0.190</b>
36	100 x 80		30.00	450.00	OK	N9	N8	14-2-P16	13'760	924.916	385.555	0.000	495.983	-	43.035
7	1.00	0.80								<b>0.294</b>	<b>0.293</b>	0.000	0.087	-	<b>0.087</b>
37	100 x 80		30.00	450.00	OK	N9	N7	14-2-P16	13'760	918.491	384.966	0.000	501.296	-	81.191
7	1.00	0.80								<b>0.292</b>	<b>0.292</b>	0.000	0.162	-	<b>0.162</b>
38	100 x 80		30.00	450.00	OK	N9	N7	14-2-P16	13'760	907.557	376.116	0.000	499.404	-	152.705
7	1.00	0.80								<b>0.289</b>	<b>0.286</b>	0.000	0.306	-	<b>0.306</b>
39	100 x 75		30.00	450.00	OK	N9	N7	14-2-P16	12'964	896.823	353.663	0.000	483.283	-	153.679
6	1.00	0.75								<b>0.306</b>	<b>0.301</b>	0.000	0.318	-	<b>0.318</b>
40	100 x 75		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	12'964	883.835	321.694	0.000	356.297	-	113.558
6	1.00	0.75								<b>0.253</b>	<b>0.253</b>	0.000	0.319	-	<b>0.319</b>
41	100 x 65		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	11'370	870.448	286.911	0.000	326.245	-	120.547
4	1.00	0.65								<b>0.291</b>	<b>0.292</b>	0.000	0.369	-	<b>0.369</b>
42	100 x 65		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	11'370	857.979	251.181	0.000	324.495	-	121.455
4	1.00	0.65								<b>0.243</b>	<b>0.240</b>	0.000	0.374	-	<b>0.374</b>
43	100 x 60		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P14	10'337	845.690	216.109	0.000	308.294	-	117.335
1	1.00	0.60								<b>0.247</b>	<b>0.251</b>	0.000	0.381	-	<b>0.381</b>
44	100 x 60		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P14	10'337	834.698	183.016	0.000	306.725	-	108.098
1	1.00	0.60								<b>0.202</b>	<b>0.202</b>	0.000	0.352	-	<b>0.352</b>
45	100 x 60		30.00	450.00	OK	N7	N6	14-2-P14	10'337	1559.120	77.177	0.000	421.309	-	131.028
1	1.00	0.60								<b>0.180</b>	<b>0.178</b>	0.000	0.311	-	<b>0.311</b>
46	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	1521.080	102.346	0.000	421.335	-	117.065
1	1.00	0.60								<b>0.187</b>	<b>0.190</b>	0.000	0.278	-	<b>0.278</b>
47	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N10	14-2-P14	10'337	1519.640	119.837	0.000	303.368	-	77.831
1	1.00	0.60								<b>0.195</b>	<b>0.199</b>	0.000	0.257	-	<b>0.257</b>
48	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N10	14-2-P14	10'337	1517.460	133.690	0.000	301.802	-	75.813
1	1.00	0.60								<b>0.204</b>	<b>0.203</b>	0.000	0.251	-	<b>0.251</b>
49	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N10	14-2-P14	10'337	1514.490	143.480	0.000	300.278	-	71.831
1	1.00	0.60								<b>0.207</b>	<b>0.212</b>	0.000	0.239	-	<b>0.239</b>
50	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N10	14-2-P14	10'337	1510.620	148.638	0.000	298.817	-	66.480
1	1.00	0.60								<b>0.211</b>	<b>0.213</b>	0.000	0.222	-	<b>0.222</b>
51	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N10	14-2-P14	10'337	1511.180	148.638	0.000	297.433	-	60.265
1	1.00	0.60								<b>0.211</b>	<b>0.213</b>	0.000	0.203	-	<b>0.203</b>
52	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	1504.940	148.448	0.000	418.121	-	99.246
1	1.00	0.60								<b>0.210</b>	<b>0.213</b>	0.000	0.237	-	<b>0.237</b>
53	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	1497.530	142.049	0.000	416.773	-	117.009
1	1.00	0.60								<b>0.205</b>	<b>0.210</b>	0.000	0.281	-	<b>0.281</b>
54	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	1489.160	130.220	0.000	415.310	-	131.664
1	1.00	0.60								<b>0.200</b>	<b>0.198</b>	0.000	0.317	-	<b>0.317</b>
55	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	1480.080	113.840	0.000	413.766	-	143.178
1	1.00	0.60								<b>0.190</b>	<b>0.189</b>	0.000	0.346	-	<b>0.346</b>
56	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	1470.520	93.800	0.000	412.175	-	151.538
1	1.00	0.60								<b>0.179</b>	<b>0.179</b>	0.000	0.368	-	<b>0.368</b>
57	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	1460.720	70.999	0.000	410.571	-	156.751
1	1.00	0.60								<b>0.167</b>	<b>0.170</b>	0.000	0.382	-	<b>0.382</b>
58	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	10'337	50.121	50.536	0.000	408.988	-	158.842
1	1.00	0.60								<b>0.169</b>	<b>0.171</b>	0.000	0.388	-	<b>0.388</b>
59	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	10'337	45.164	58.121	0.000	407.458	-	157.855
1	1.00	0.60								<b>0.209</b>	<b>0.211</b>	0.000	0.387	-	<b>0.387</b>
60	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	10'337	40.721	65.054	0.000	406.014	-	153.851
1	1.00	0.60								<b>0.248</b>	<b>0.248</b>	0.000	0.379	-	<b>0.379</b>

SECTION CHECKING															
MEMBER	SECTION PROPERTIES		fck	fyk	CHECK	LOAD CB	LOAD CB		N_Rdmax	N_Ed	M_Edy	M_Edz	V_Rdc	V_Rds	V_Ed
SECTION	Bc (m)	Hc (m)	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		M-N iteration	V	Rebar		Ratio-N	Ratio-My	Ratio-Mz	Ratio-Vc	Ratio-Vs	Ratio-V
61	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	10'337	36.846	71.184	0.000	404.686	-	146.911
1	1.00	0.60								<b>0.284</b>	<b>0.281</b>	0.000	0.363	-	<b>0.363</b>
62	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	10'337	33.582	76.381	0.000	403.506	-	137.131
1	1.00	0.60								<b>0.305</b>	<b>0.308</b>	0.000	0.340	-	<b>0.340</b>
63	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	10'337	30.969	80.538	0.000	402.501	-	124.624
1	1.00	0.60								<b>0.327</b>	<b>0.330</b>	0.000	0.310	-	<b>0.310</b>
64	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	10'337	29.037	83.568	0.000	401.699	-	109.516
1	1.00	0.60								<b>0.343</b>	<b>0.346</b>	0.000	0.273	-	<b>0.273</b>
65	100 x 60		30.00	450.00	OK	N4	N6	14-2-P14	10'337	29.396	85.943	0.000	401.126	-	91.951
1	1.00	0.60								<b>0.358</b>	<b>0.357</b>	0.000	0.229	-	<b>0.229</b>
66	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	10'337	27.300	86.029	0.000	400.805	-	72.083
1	1.00	0.60								<b>0.368</b>	<b>0.360</b>	0.000	0.180	-	<b>0.180</b>
67	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	10'337	27.300	86.029	0.000	400.789	-	68.758
1	1.00	0.60								<b>0.368</b>	<b>0.360</b>	0.000	0.172	-	<b>0.172</b>
68	100 x 60		30.00	450.00	OK	N4	N6	14-2-P14	10'337	29.036	86.955	0.000	401.077	-	88.642
1	1.00	0.60								<b>0.365</b>	<b>0.362</b>	0.000	0.221	-	<b>0.221</b>
69	100 x 60		30.00	450.00	OK	N4	N6	14-2-P14	10'337	30.130	85.660	0.000	401.618	-	106.241
1	1.00	0.60								<b>0.356</b>	<b>0.355</b>	0.000	0.265	-	<b>0.265</b>
70	100 x 60		30.00	450.00	OK	N4	N6	14-2-P14	10'337	31.924	83.203	0.000	402.388	-	121.399
1	1.00	0.60								<b>0.337</b>	<b>0.341</b>	0.000	0.302	-	<b>0.302</b>
71	100 x 60		30.00	450.00	OK	N4	N6	14-2-P14	10'337	34.393	79.642	0.000	403.362	-	133.973
1	1.00	0.60								<b>0.328</b>	<b>0.323</b>	0.000	0.332	-	<b>0.332</b>
72	100 x 60		30.00	450.00	OK	N4	N6	14-2-P14	10'337	37.508	75.058	0.000	404.512	-	143.836
1	1.00	0.60								<b>0.300</b>	<b>0.298</b>	0.000	0.356	-	<b>0.356</b>
73	100 x 60		30.00	450.00	OK	N4	N6	14-2-P14	10'337	41.233	69.558	0.000	405.809	-	150.874
1	1.00	0.60								<b>0.276</b>	<b>0.269</b>	0.000	0.372	-	<b>0.372</b>
74	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	10'337	45.164	58.121	0.000	407.349	-	158.377
1	1.00	0.60								<b>0.209</b>	<b>0.211</b>	0.000	0.389	-	<b>0.389</b>
75	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	10'337	50.121	50.536	0.000	408.885	-	159.419
1	1.00	0.60								<b>0.169</b>	<b>0.171</b>	0.000	0.390	-	<b>0.390</b>
76	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	1460.100	70.317	0.000	410.474	-	157.380
1	1.00	0.60								<b>0.167</b>	<b>0.168</b>	0.000	0.383	-	<b>0.383</b>
77	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	1469.950	93.351	0.000	412.084	-	152.216
1	1.00	0.60								<b>0.179</b>	<b>0.178</b>	0.000	0.369	-	<b>0.369</b>
78	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	1479.570	113.635	0.000	413.682	-	143.901
1	1.00	0.60								<b>0.190</b>	<b>0.189</b>	0.000	0.348	-	<b>0.348</b>
79	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	1488.710	130.270	0.000	415.233	-	132.429
1	1.00	0.60								<b>0.200</b>	<b>0.198</b>	0.000	0.319	-	<b>0.319</b>
80	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	1497.140	142.363	0.000	416.704	-	117.812
1	1.00	0.60								<b>0.207</b>	<b>0.207</b>	0.000	0.283	-	<b>0.283</b>
81	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	1504.610	149.033	0.000	418.060	-	100.082
1	1.00	0.60								<b>0.210</b>	<b>0.214</b>	0.000	0.239	-	<b>0.239</b>
82	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N10	14-2-P14	10'337	1510.910	149.416	0.000	297.392	-	60.128
1	1.00	0.60								<b>0.211</b>	<b>0.214</b>	0.000	0.202	-	<b>0.202</b>
83	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N10	14-2-P14	10'337	1510.390	149.416	0.000	298.774	-	66.329
1	1.00	0.60								<b>0.211</b>	<b>0.214</b>	0.000	0.222	-	<b>0.222</b>
84	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N10	14-2-P14	10'337	1514.280	144.387	0.000	300.234	-	71.673
1	1.00	0.60								<b>0.209</b>	<b>0.210</b>	0.000	0.239	-	<b>0.239</b>
85	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N10	14-2-P14	10'337	1517.270	134.674	0.000	301.756	-	75.653
1	1.00	0.60								<b>0.204</b>	<b>0.205</b>	0.000	0.251	-	<b>0.251</b>
86	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N10	14-2-P14	10'337	1519.450	120.853	0.000	303.321	-	77.673
1	1.00	0.60								<b>0.196</b>	<b>0.199</b>	0.000	0.256	-	<b>0.256</b>
87	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	1520.880	103.360	0.000	421.316	-	116.848
1	1.00	0.60								<b>0.188</b>	<b>0.187</b>	0.000	0.277	-	<b>0.277</b>
88	100 x 60		30.00	450.00	OK	N7	N6	14-2-P14	10'337	1558.850	77.897	0.000	421.291	-	130.965
1	1.00	0.60								<b>0.180</b>	<b>0.180</b>	0.000	0.311	-	<b>0.311</b>
89	100 x 60		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P14	10'337	834.325	183.218	0.000	306.674	-	107.931
1	1.00	0.60								<b>0.202</b>	<b>0.202</b>	0.000	0.352	-	<b>0.352</b>
90	100 x 60		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P14	10'337	845.310	216.267	0.000	308.243	-	117.164
1	1.00	0.60								<b>0.261</b>	<b>0.256</b>	0.000	0.380	-	<b>0.380</b>

SECTION CHECKING															
MEMBER	SECTION PROPERTIES		f <sub>ck</sub>	f <sub>yk</sub>	CHECK	LOAD CB	LOAD CB	Rebar	N_Rdmax	N_Ed	M_Edy	M_Edz	V_Rdc	V_Rds	V_Ed
SECTION	Bc (m)	Hc (m)	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		M-N iteration	V			Ratio-N	Ratio-My	Ratio-Mz	Ratio-Vc	Ratio-Vs	Ratio-V
91	100 x 65		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	11'370	857.592	251.296	0.000	324.442	-	121.280
4	1.00	0.65								<b>0.243</b>	<b>0.240</b>	0.000	0.374	-	<b>0.374</b>
92	100 x 65		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	11'370	870.054	286.984	0.000	326.191	-	120.364
4	1.00	0.65								<b>0.291</b>	<b>0.292</b>	0.000	0.369	-	<b>0.369</b>
93	100 X 75		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	12'964	883.434	321.725	0.000	356.241	-	113.365
6	1.00	0.75								<b>0.253</b>	<b>0.253</b>	0.000	0.318	-	<b>0.318</b>
94	100 X 75		30.00	450.00	OK	N9	N7	14-2-P16	12'964	896.415	353.650	0.000	483.237	-	153.446
6	1.00	0.75								<b>0.305</b>	<b>0.301</b>	0.000	0.318	-	<b>0.318</b>
95	100 X 80		30.00	450.00	OK	N9	N7	14-2-P16	13'760	907.142	376.068	0.000	499.356	-	152.470
7	1.00	0.80								<b>0.288</b>	<b>0.286</b>	0.000	0.305	-	<b>0.305</b>
96	100 X 80		30.00	450.00	OK	N9	N7	14-2-P16	13'760	918.064	384.890	0.000	501.245	-	80.964
7	1.00	0.80								<b>0.292</b>	<b>0.292</b>	0.000	0.162	-	<b>0.162</b>
97	100 X 80		30.00	450.00	OK	N9	N8	14-2-P16	13'760	924.480	385.450	0.000	495.940	-	42.680
7	1.00	0.80								<b>0.294</b>	<b>0.293</b>	0.000	0.086	-	<b>0.086</b>
98	100 X 85		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	14'557	923.145	385.692	0.000	390.386	-	74.279
8	1.00	0.85								<b>0.262</b>	<b>0.256</b>	0.000	0.190	-	<b>0.190</b>
99	100 X 85		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	14'557	923.656	376.224	0.000	390.227	-	124.595
8	1.00	0.85								<b>0.232</b>	<b>0.236</b>	0.000	0.319	-	<b>0.319</b>
100	100 X 75		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	12'964	920.384	355.692	0.000	361.967	-	174.665
6	1.00	0.75								<b>0.299</b>	<b>0.296</b>	0.000	0.483	-	<b>0.483</b>
101	100 x 70		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	12'964	912.665	323.154	0.000	360.813	-	224.584
5	1.00	0.75								<b>0.252</b>	<b>0.251</b>	0.000	0.622	-	<b>0.622</b>
102	100 x 68		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	11'848	901.079	278.664	0.000	339.397	-	273.829
3	1.00	0.68								<b>0.250</b>	<b>0.248</b>	0.000	0.807	-	<b>0.807</b>

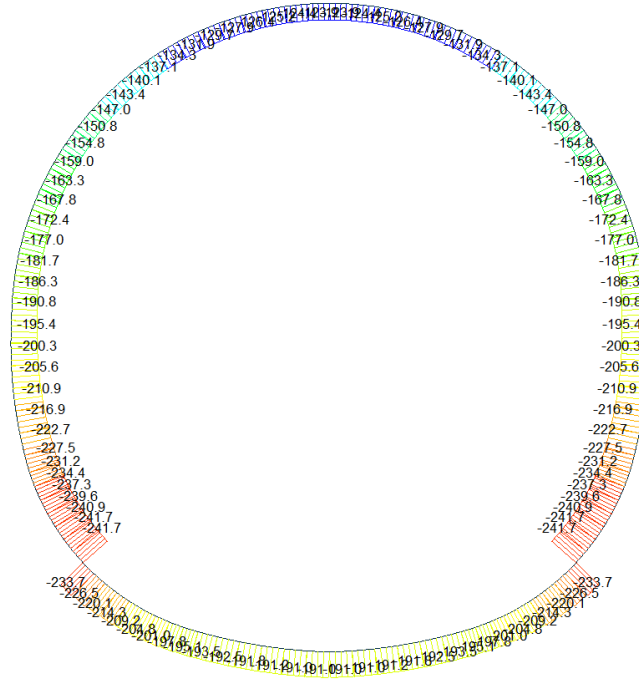
A.4.3.18. Rebared section ratio checking for fire combinations load

SECTION CHECKING - FIRE COMBINATIONS LOAD															
MEMBER	SECTION PROPERTIES		f <sub>ck</sub>	f <sub>yk</sub>	CHECK	LOAD CB	LOAD CB	Rebar	N_Rdmax	N_Ed	M_Edy	M_Edz	V_Rdc	V_Rds	V_Ed
SECTION	Bc (m)	Hc (m)	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		M-N iteration	V			Ratio-N	Ratio-My	Ratio-Mz	Ratio-Vc	Ratio-Vs	Ratio-V
67(M+N) / 75(V)	100 x 60		30.00	360.00	OK	N22	N22	14-2-P14	7'105	1009.900	141.265	0.000	371.449	-	113.177
1	1.00	0.55								<b>0.150</b>	<b>0.152</b>	0.000	0.305	-	<b>0.305</b>
14(M+N) / 22(V)	100 x 74		30.00	360.00	OK	N24	N24	14-2-P16	6'936	1189.110	230.448	0.000	444.411	-	187.405
2	1.00	0.69								<b>0.150</b>	<b>0.151</b>	0.000	0.422	-	<b>0.422</b>
31(M+N) / 102(V)	100 x 68		30.00	360.00	OK	N23	N23	14-2-P16	7'821	1200.050	137.281	0.000	433.276	-	159.490
3	1.00	0.63								<b>0.126</b>	<b>0.128</b>	0.000	0.368	-	<b>0.368</b>
92(M+N) / 41(V)	100 x 65		30.00	360.00	OK	N23	N23	14-2-P16	8'707	1162.190	92.128	0.000	420.692	-	96.702
4	1.00	0.60								<b>0.113</b>	<b>0.115</b>	0.000	0.230	-	<b>0.230</b>
32(M+N) / 101(V)	100 x 70		30.00	360.00	OK	N23	N23	14-2-P16	9'946	1205.540	159.313	0.000	438.892	-	119.828
5	1.00	0.65								<b>0.130</b>	<b>0.132</b>	0.000	0.273	-	<b>0.273</b>
100(M+N) / 39(V)	100 X 75		30.00	360.00	OK	N23	N23	14-2-P16	6'050	1207.990	173.903	0.000	447.320	-	111.713
6	1.00	0.70								<b>0.123</b>	<b>0.124</b>	0.000	0.250	-	<b>0.250</b>
97(M+N) / 38(V)	100 X 80		30.00	360.00	OK	N23	N23	14-2-P16	10'478	1205.200	182.697	0.000	459.845	-	113.041
7	1.00	0.75								<b>0.114</b>	<b>0.115</b>	0.000	0.246	-	<b>0.246</b>
35(M+N) / 99(V)	100 X 85		30.00	360.00	OK	N23	N22	14-2-P16	10'478	1206.040	182.580	0.000	466.499	-	60.846
8	1.00	0.80								<b>0.105</b>	<b>0.103</b>	0.000	0.130	-	<b>0.130</b>



A.4.3.19. Load combination SLE 1

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 1



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

Blue	-123.73
Cyan	-134.46
Green	-145.19
Light Green	-155.92
Yellow-Green	-166.64
Yellow	-177.37
Orange-Yellow	-188.10
Orange	-198.83
Red-Orange	-209.55
Red	-220.28
Dark Red	-231.01
Black	-241.74

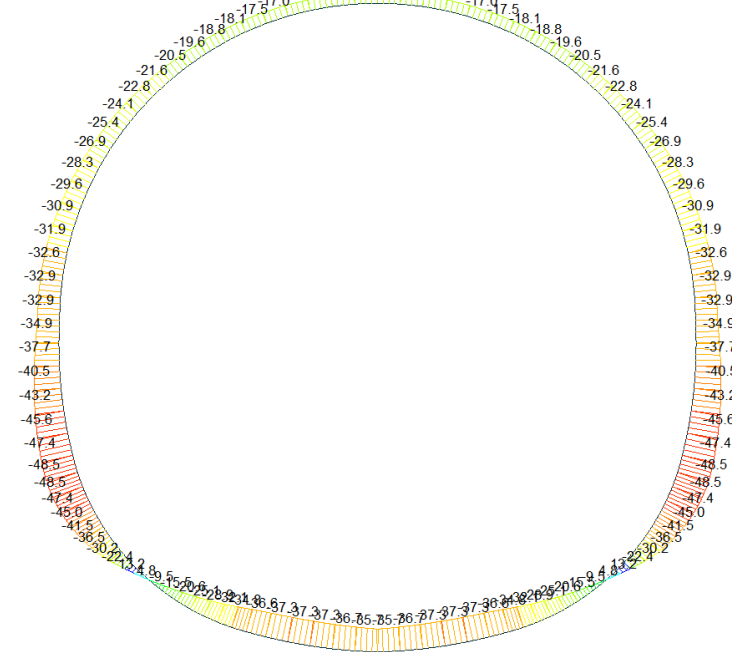
ST: NSLE - 1

MAX : 67  
MIN : 101

FILE: GL\_T4  
UNIT: kN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 1



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

Blue	13.18
Cyan	7.57
Green	0.00
Light Green	-3.64
Yellow-Green	-9.25
Yellow	-14.85
Orange-Yellow	-20.46
Orange	-26.07
Red-Orange	-31.67
Red	-37.28
Dark Red	-42.89
Black	-48.49

ST: NSLE - 1

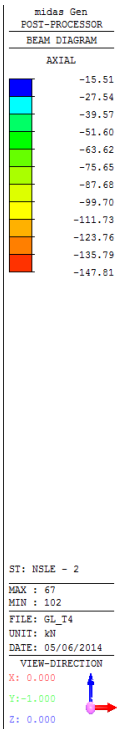
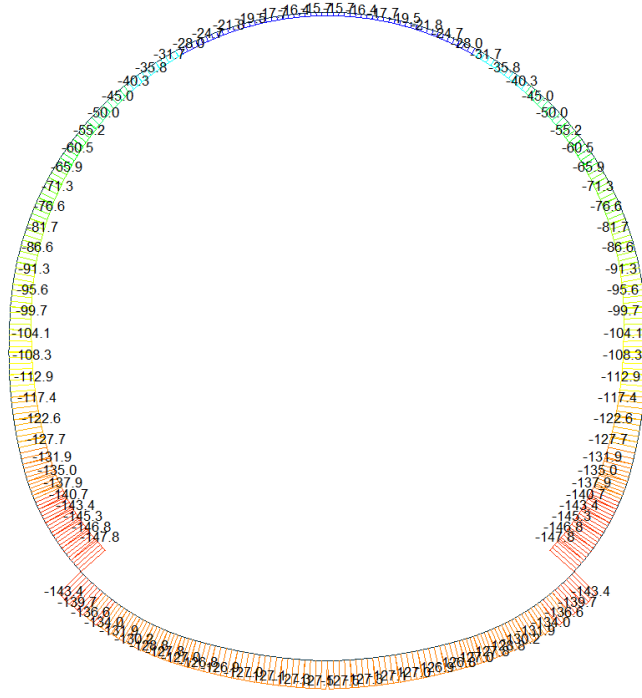
MAX : 30  
MIN : 95

FILE: GL\_T4  
UNIT: kNm  
DATE: 05/06/2014

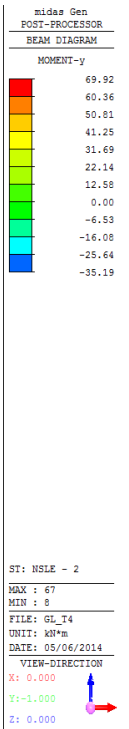
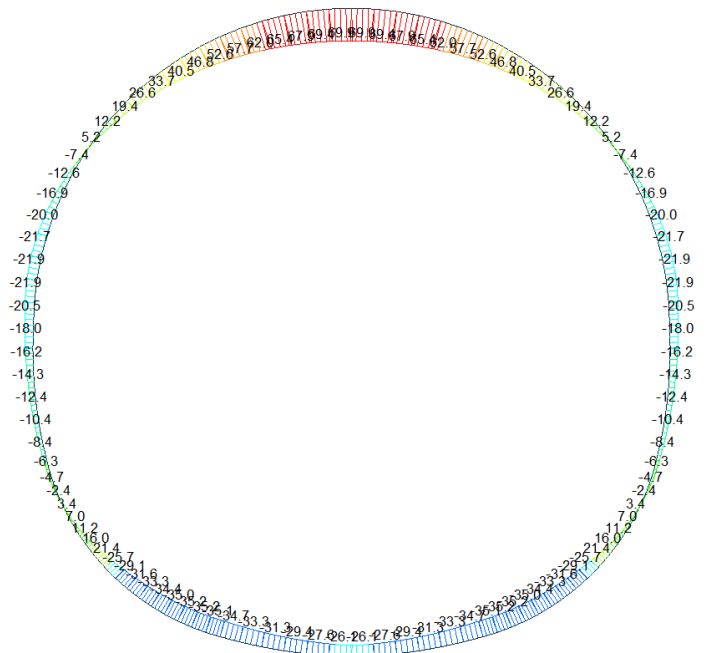
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.3.20. Load combination SLE 2

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 2

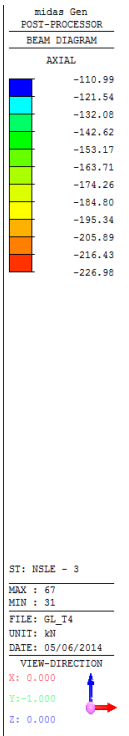
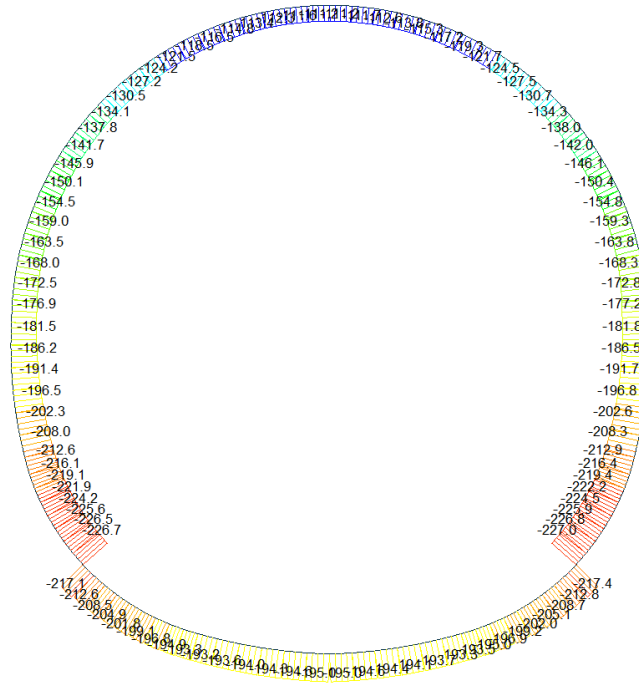


Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 2

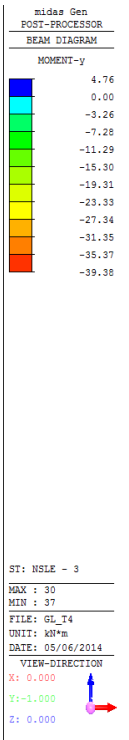
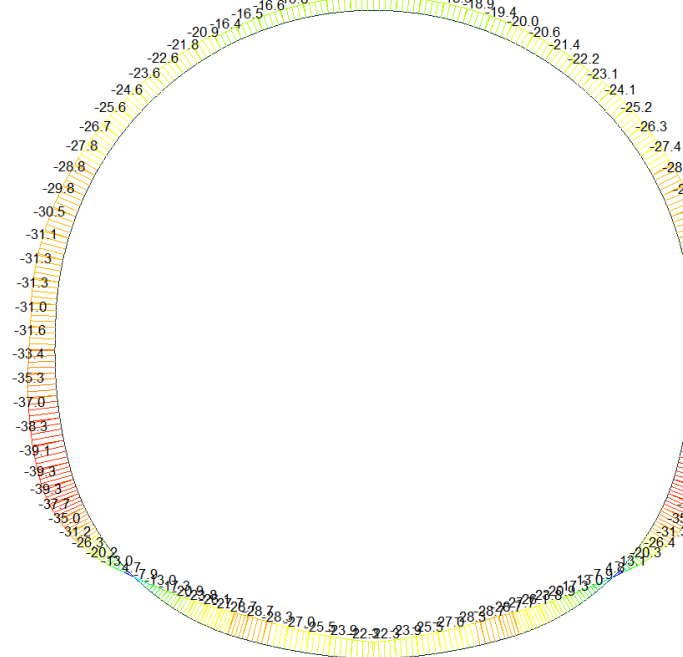


A.4.3.21. Load combination SLE 3

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 3

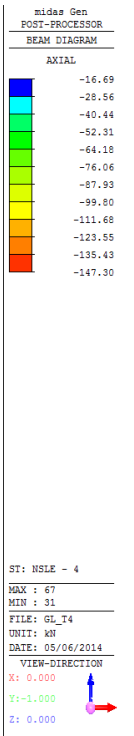
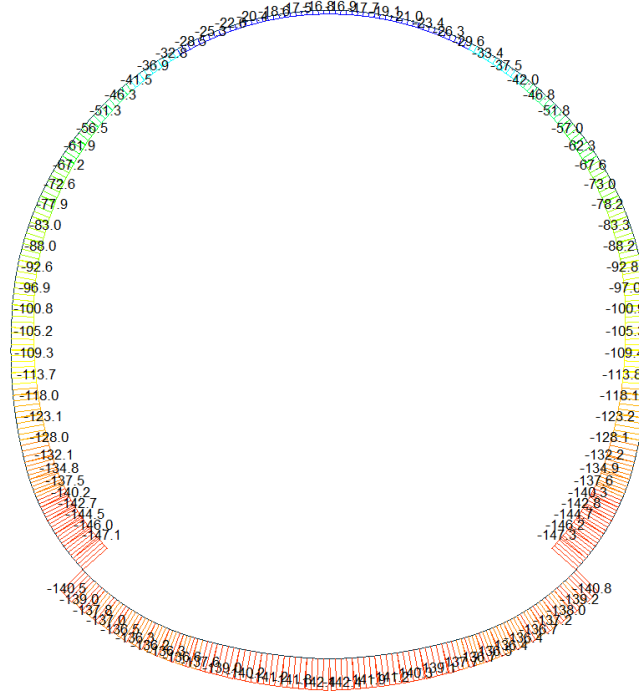


Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 3

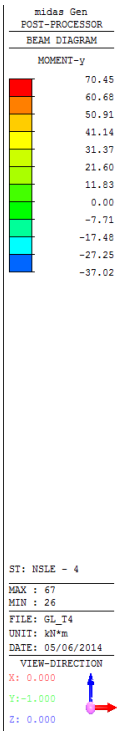
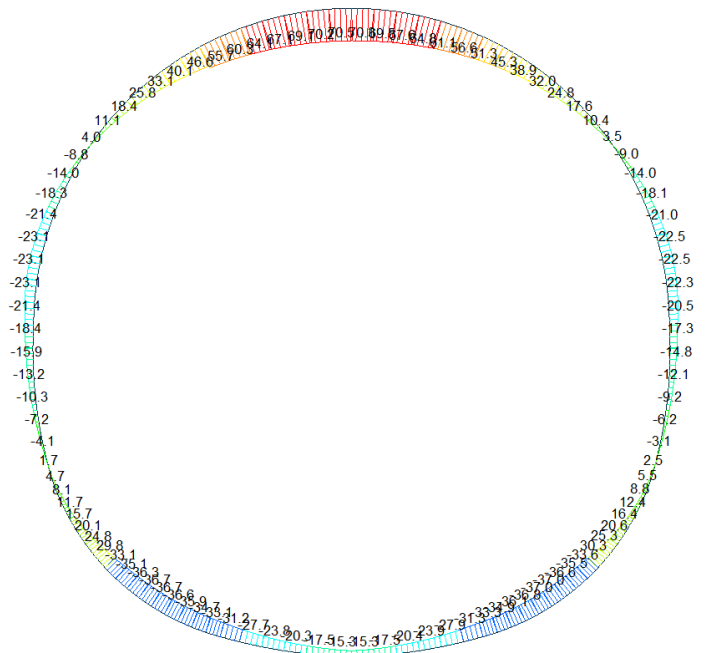


A.4.3.22. Load combination SLE 4

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 4

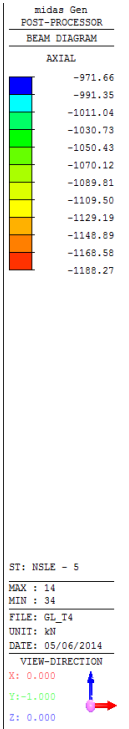
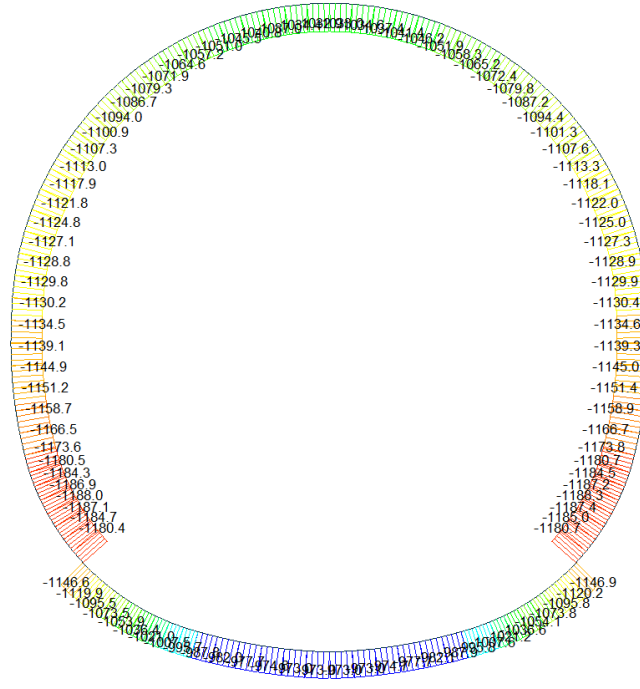


Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 4

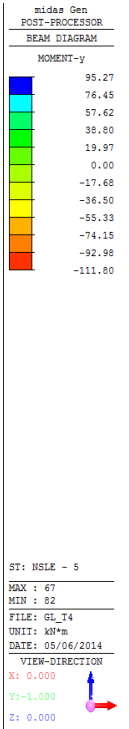
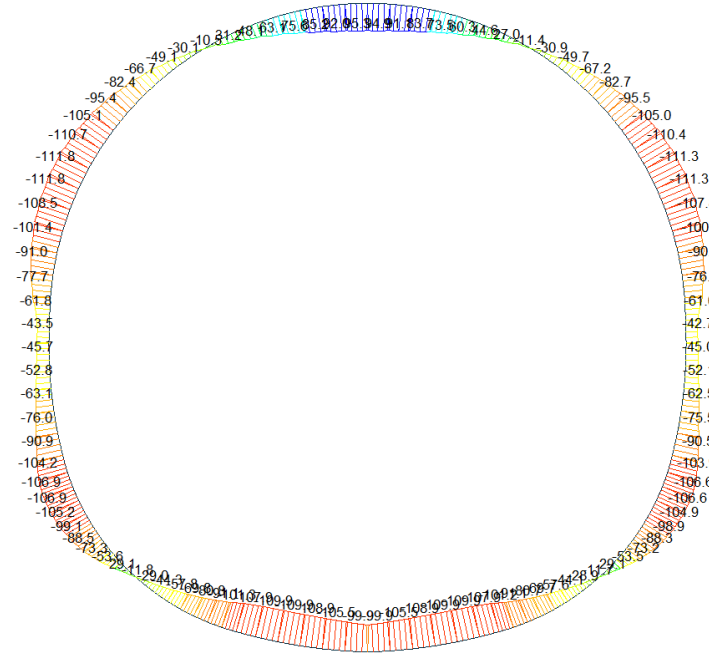


A.4.3.23. Load combination SLE 5

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 5

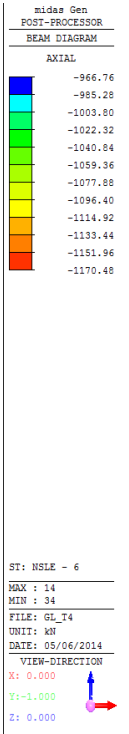
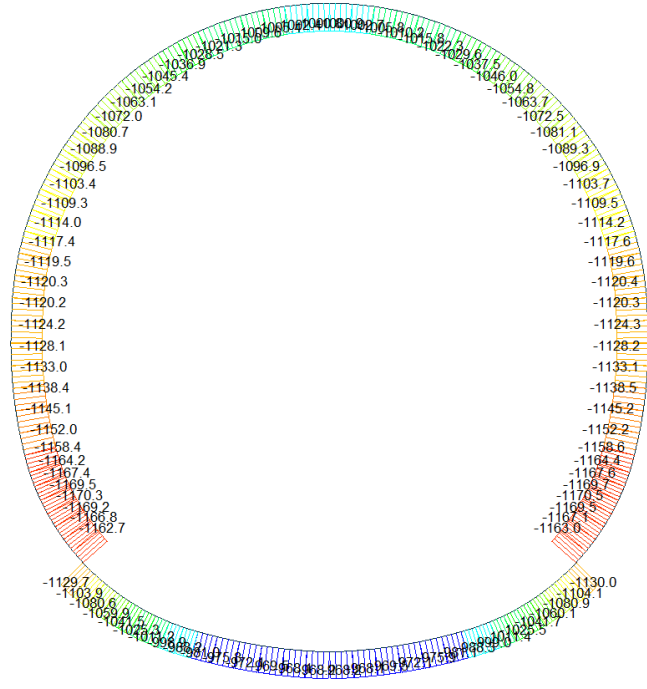


Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 5

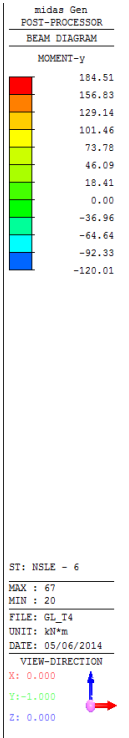
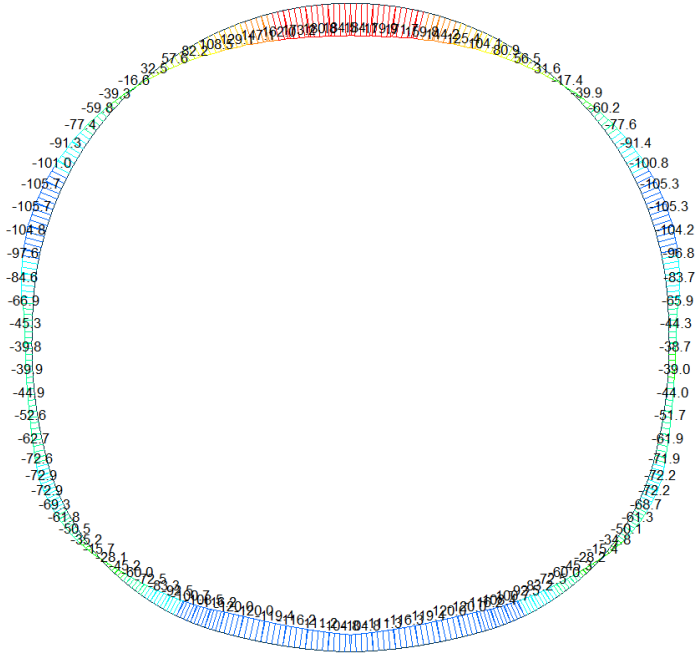


A.4.3.24. Load combination SLE 6

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 6

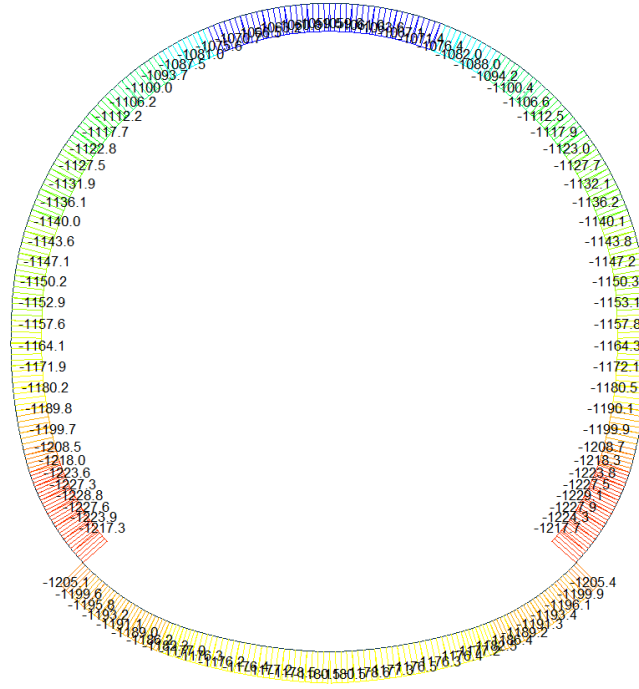


Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 6



A.4.3.25. Load combination SLE 7

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 7



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

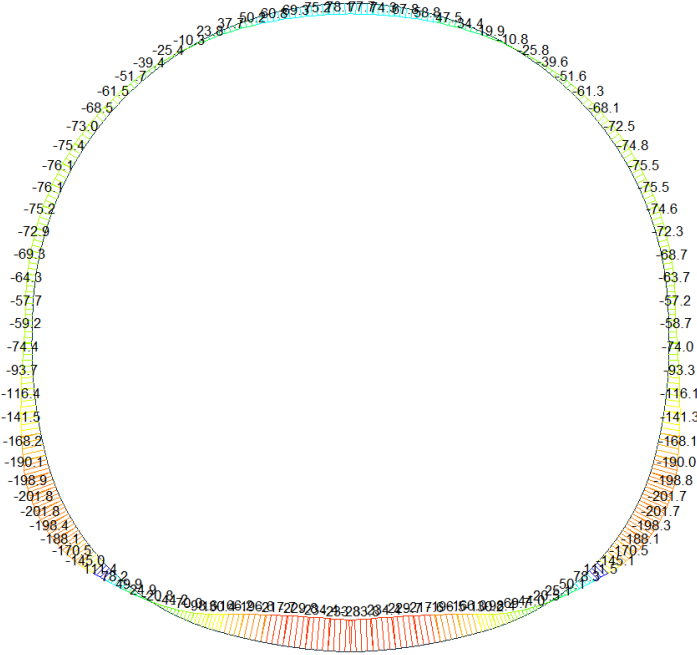
AXIAL

Blue	-1059.34
Cyan	-1074.78
Green	-1090.21
Light Green	-1105.64
Yellow-Green	-1121.08
Yellow	-1136.51
Orange-Yellow	-1151.94
Orange	-1167.38
Red-Orange	-1182.81
Red	-1198.25
Dark Red	-1213.68
Black	-1229.11

ST: NSLE - 7  
MAX : 67  
MIN : 34  
FILE: GL\_T4  
UNIT: kN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 7



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

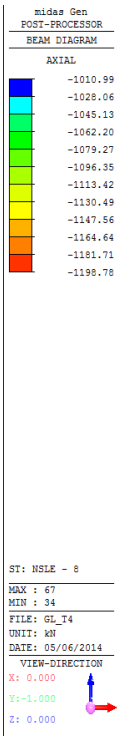
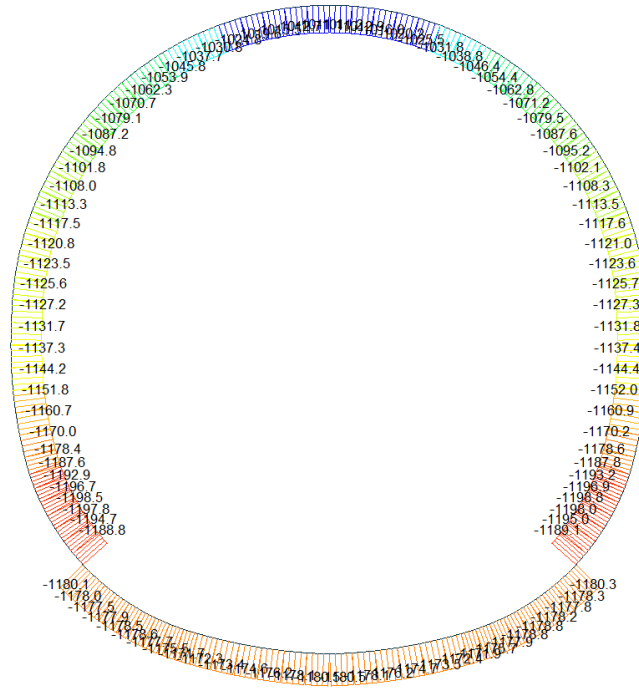
Blue	111.47
Cyan	80.02
Green	48.58
Light Green	17.14
Yellow-Green	0.00
Yellow	-45.75
Orange-Yellow	-77.19
Orange	-108.63
Red-Orange	-140.08
Red	-171.52
Dark Red	-202.96
Black	-234.41

ST: NSLE - 7  
MAX : 30  
MIN : 14  
FILE: GL\_T4  
UNIT: kNm  
DATE: 05/06/2014

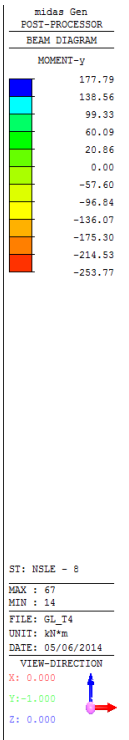
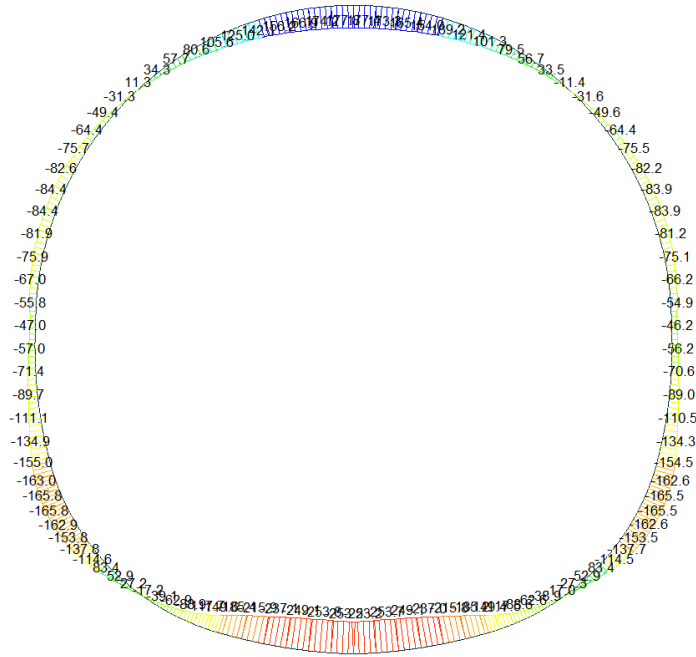
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.3.26. Load combination SLE 8

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 8



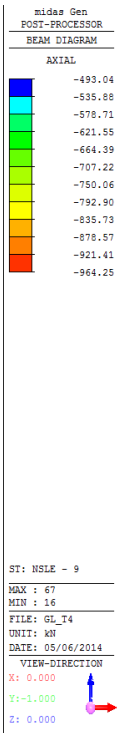
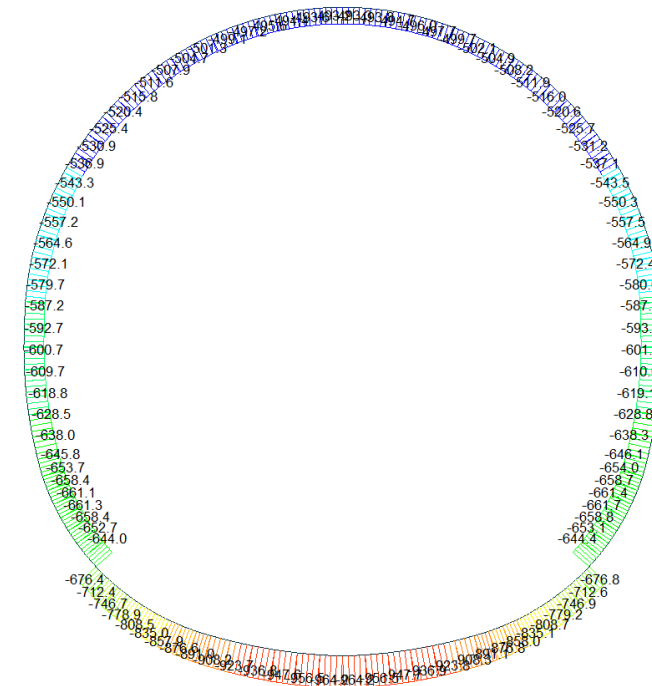
Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 8



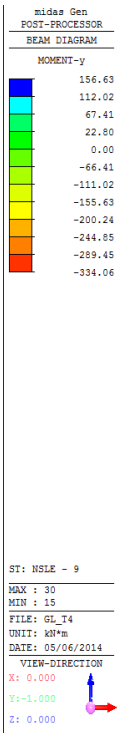
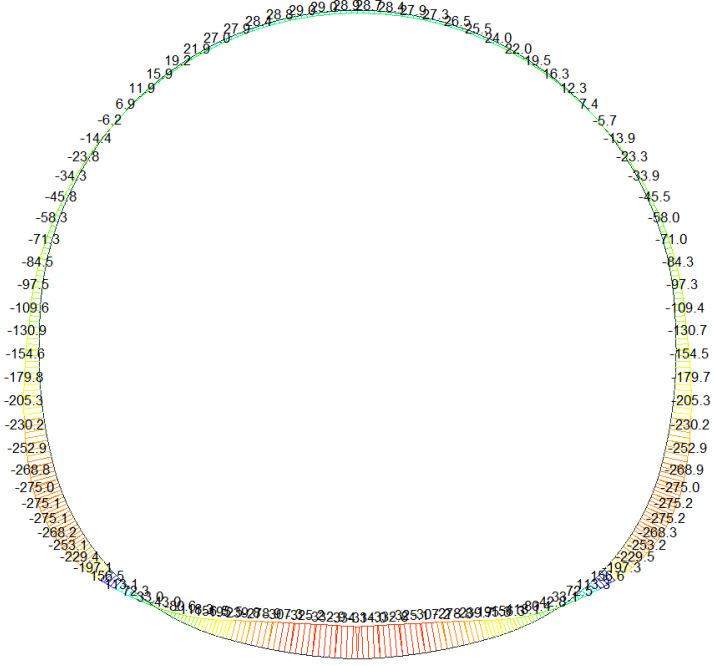


A.4.3.27. Load combination SLE 9

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 9

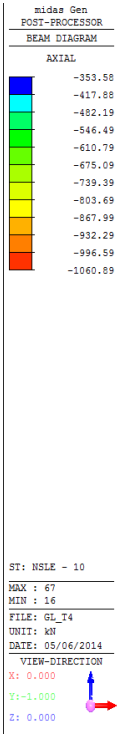
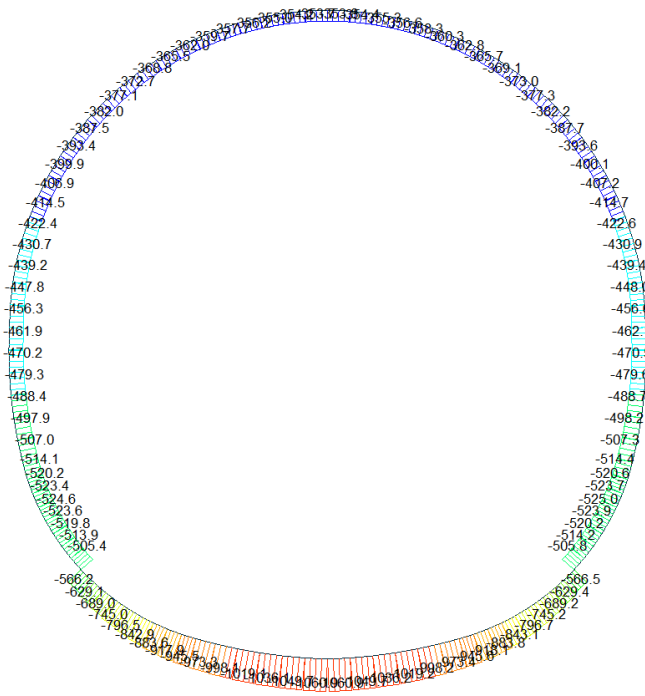


Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 9

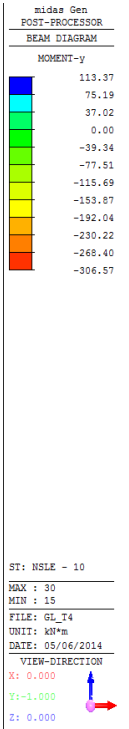
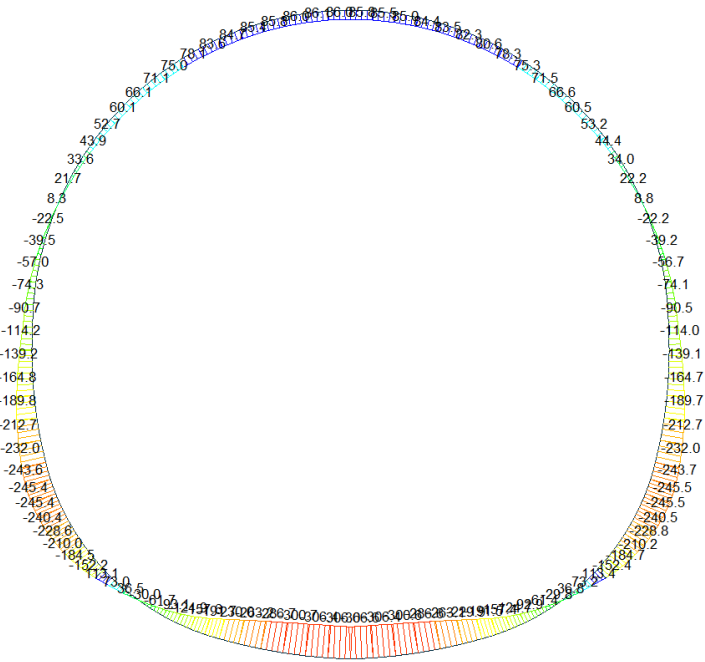


A.4.3.28. Load combination SLE 10

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 10



Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 10



A.4.3.29. Stress checking

STRESS CONTROL												
MEMBER	SECTION PROPERTIES		LOAD CB	$\sigma_{ct, MAX}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{ct, Adm}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	CHECK	$\sigma_c, MAX$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_c, Adm$ [N/mm <sup>2</sup> ]	CHECK	$\sigma_s, MAX$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_s, Adm$ [N/mm <sup>2</sup> ]	CHECK
SECTION	Bc (m)	Hc (m)										
1	100 x 74		SLE - N7	0.48	2.90	OK	-3.31	-18.00	OK	1.75	360.00	OK
2	1.00	0.74										
2	100 x 74		SLE - N7	0.20	2.90	OK	-2.82	-18.00	OK	0.84	360.00	OK
2	1.00	0.74										
3	100 x 74		SLE - N7	0.21	2.90	OK	-2.38	-18.00	OK	0.92	360.00	OK
2	1.00	0.74										
4	100 x 74		SLE - N7	0.22	2.90	OK	-2.23	-18.00	OK	0.97	360.00	OK
2	1.00	0.74										
5	100 x 74		SLE - N6	0.22	2.90	OK	-2.32	-18.00	OK	0.99	360.00	OK
2	1.00	0.74										
6	100 x 74		SLE - N8	0.22	2.90	OK	-2.48	-18.00	OK	0.98	360.00	OK
2	1.00	0.74										
7	100 x 74		SLE - N8	0.21	2.90	OK	-2.89	-18.00	OK	0.94	360.00	OK
2	1.00	0.74										
8	100 x 74		SLE - N10	0.49	2.90	OK	-3.30	-18.00	OK	1.34	360.00	OK
2	1.00	0.74										
9	100 x 74		SLE - N10	0.82	2.90	OK	-3.73	-18.00	OK	3.04	360.00	OK
2	1.00	0.74										
10	100 x 74		SLE - N9	1.21	2.90	OK	-4.21	-18.00	OK	4.98	360.00	OK
2	1.00	0.74										
11	100 x 74		SLE - N9	1.54	2.90	OK	-4.64	-18.00	OK	6.65	360.00	OK
2	1.00	0.74										
12	100 x 74		SLE - N9	1.78	2.90	OK	-4.95	-18.00	OK	7.81	360.00	OK
2	1.00	0.74										
13	100 x 74		SLE - N9	1.97	2.90	OK	-5.15	-18.00	OK	8.69	360.00	OK
2	1.00	0.74										
14	100 x 74		SLE - N9	2.05	2.90	OK	-5.24	-18.00	OK	9.09	360.00	OK
2	1.00	0.74										
15	100 x 74		SLE - N9	2.05	2.90	OK	-5.24	-18.00	OK	9.08	360.00	OK
2	1.00	0.74										
16	100 x 74		SLE - N9	2.05	2.90	OK	-5.24	-18.00	OK	9.08	360.00	OK
2	1.00	0.74										
17	100 x 74		SLE - N9	2.05	2.90	OK	-5.24	-18.00	OK	9.09	360.00	OK
2	1.00	0.74										
18	100 x 74		SLE - N9	1.97	2.90	OK	-5.15	-18.00	OK	8.69	360.00	OK
2	1.00	0.74										
19	100 x 74		SLE - N9	1.78	2.90	OK	-4.95	-18.00	OK	7.80	360.00	OK
2	1.00	0.74										
20	100 x 74		SLE - N9	1.53	2.90	OK	-4.64	-18.00	OK	6.65	360.00	OK
2	1.00	0.74										
21	100 x 74		SLE - N9	1.20	2.90	OK	-4.21	-18.00	OK	4.97	360.00	OK
2	1.00	0.74										
22	100 x 74		SLE - N10	0.82	2.90	OK	-3.72	-18.00	OK	3.03	360.00	OK
2	1.00	0.74										
23	100 x 74		SLE - N10	0.48	2.90	OK	-3.30	-18.00	OK	1.33	360.00	OK
2	1.00	0.74										
24	100 x 74		SLE - N8	0.22	2.90	OK	-2.89	-18.00	OK	0.95	360.00	OK
2	1.00	0.74										
25	100 x 74		SLE - N8	0.22	2.90	OK	-2.47	-18.00	OK	0.99	360.00	OK
2	1.00	0.74										
26	100 x 74		SLE - N6	0.23	2.90	OK	-2.32	-18.00	OK	1.01	360.00	OK
2	1.00	0.74										
27	100 x 74		SLE - N7	0.22	2.90	OK	-2.23	-18.00	OK	0.98	360.00	OK
2	1.00	0.74										
28	100 x 74		SLE - N7	0.21	2.90	OK	-2.38	-18.00	OK	0.93	360.00	OK
2	1.00	0.74										
29	100 x 74		SLE - N7	0.20	2.90	OK	-2.83	-18.00	OK	0.86	360.00	OK
2	1.00	0.74										
30	100 x 74		SLE - N7	0.48	2.90	OK	-3.31	-18.00	OK	1.76	360.00	OK
2	1.00	0.74										

STRESS CONTROL												
MEMBER	SECTION PROPERTIES		LOAD CB	$\sigma_{ct, MAX}$	$\sigma_{ct, Adm}$	CHECK	$\sigma_c, MAX$	$\sigma_c, Adm$	CHECK	$\sigma_s, MAX$	$\sigma_s, Adm$	CHECK
SECTION	Bc (m)	Hc (m)		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	
31	100 x 68		SLE - N9	1.24	2.90	OK	-4.31	-18.00	OK	5.53	360.00	OK
3	1.00	0.68										
32	100 x 70		SLE - N9	1.53	2.90	OK	-4.51	-18.00	OK	7.09	360.00	OK
5	1.00	0.75										
33	100 X 75		SLE - N9	1.55	2.90	OK	-4.29	-18.00	OK	7.39	360.00	OK
6	1.00	0.75										
34	100 X 85		SLE - N9	1.29	2.90	OK	-3.63	-18.00	OK	6.30	360.00	OK
8	1.00	0.85										
35	100 X 85		SLE - N9	1.38	2.90	OK	-3.69	-18.00	OK	6.81	360.00	OK
8	1.00	0.85										
36	100 X 80		SLE - N9	1.65	2.90	OK	-4.07	-18.00	OK	8.07	360.00	OK
7	1.00	0.80										
37	100 X 80		SLE - N9	1.65	2.90	OK	-4.06	-18.00	OK	8.07	360.00	OK
7	1.00	0.80										
38	100 X 80		SLE - N9	1.64	2.90	OK	-3.99	-18.00	OK	8.03	360.00	OK
7	1.00	0.80										
39	100 X 75		SLE - N9	1.80	2.90	OK	-4.26	-18.00	OK	8.68	360.00	OK
6	1.00	0.75										
40	100 X 75		SLE - N9	1.60	2.90	OK	-4.00	-18.00	OK	7.68	360.00	OK
6	1.00	0.75										
41	100 x 65		SLE - N9	1.94	2.90	OK	-4.69	-18.00	OK	8.97	360.00	OK
4	1.00	0.65										
42	100 x 65		SLE - N9	1.60	2.90	OK	-4.31	-18.00	OK	7.27	360.00	OK
4	1.00	0.65										
43	100 x 60		SLE - N9	1.53	2.90	OK	-4.47	-18.00	OK	6.67	360.00	OK
1	1.00	0.60										
44	100 x 60		SLE - N9	1.13	2.90	OK	-4.06	-18.00	OK	4.69	360.00	OK
1	1.00	0.60										
45	100 x 60		SLE - N7	0.75	2.90	OK	-3.70	-18.00	OK	2.81	360.00	OK
1	1.00	0.60										
46	100 x 60		SLE - N5	0.49	2.90	OK	-3.50	-18.00	OK	1.54	360.00	OK
1	1.00	0.60										
47	100 x 60		SLE - N5	0.24	2.90	OK	-3.47	-18.00	OK	0.95	360.00	OK
1	1.00	0.60										
48	100 x 60		SLE - N5	0.24	2.90	OK	-3.59	-18.00	OK	0.95	360.00	OK
1	1.00	0.60										
49	100 x 60		SLE - N5	0.24	2.90	OK	-3.67	-18.00	OK	0.88	360.00	OK
1	1.00	0.60										
50	100 x 60		SLE - N5	0.23	2.90	OK	-3.72	-18.00	OK	0.85	360.00	OK
1	1.00	0.60										
51	100 x 60		SLE - N5	0.22	2.90	OK	-3.72	-18.00	OK	0.82	360.00	OK
1	1.00	0.60										
52	100 x 60		SLE - N5	0.21	2.90	OK	-3.70	-18.00	OK	0.77	360.00	OK
1	1.00	0.60										
53	100 x 60		SLE - N5	0.20	2.90	OK	-3.60	-18.00	OK	0.72	360.00	OK
1	1.00	0.60										
54	100 x 60		SLE - N5	0.25	2.90	OK	-3.43	-18.00	OK	0.67	360.00	OK
1	1.00	0.60										
55	100 x 60		SLE - N5	0.38	2.90	OK	-3.20	-18.00	OK	1.13	360.00	OK
1	1.00	0.60										
56	100 x 60		SLE - N5	0.49	2.90	OK	-2.93	-18.00	OK	1.77	360.00	OK
1	1.00	0.60										
57	100 x 60		SLE - N5	0.57	2.90	OK	-2.63	-18.00	OK	2.40	360.00	OK
1	1.00	0.60										
58	100 x 60		SLE - N2	0.64	2.90	OK	-2.70	-18.00	OK	3.00	360.00	OK
1	1.00	0.60										
59	100 x 60		SLE - N2	0.73	2.90	OK	-3.07	-18.00	OK	3.56	360.00	OK
1	1.00	0.60										
60	100 x 60		SLE - N2	0.83	2.90	OK	-3.45	-18.00	OK	4.07	360.00	OK
1	1.00	0.60										

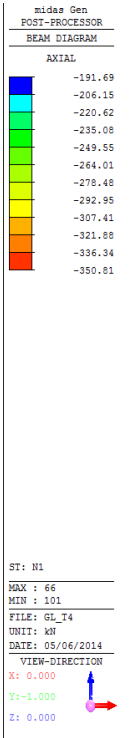
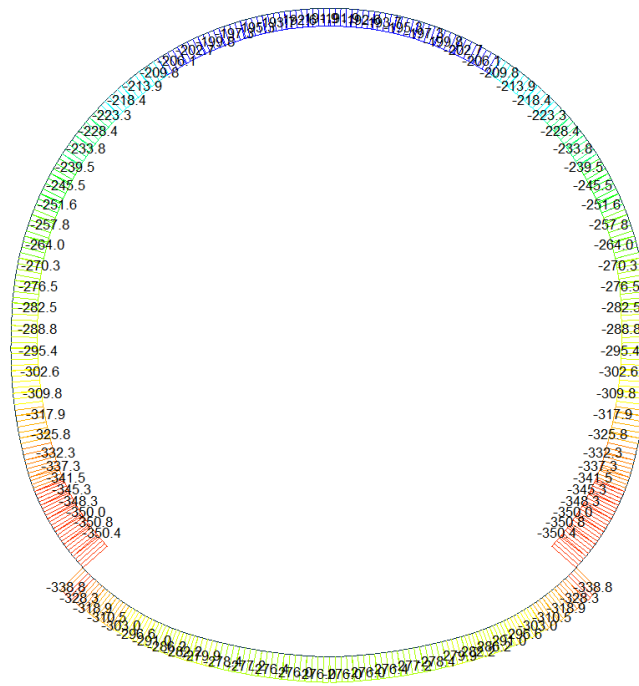
STRESS CONTROL												
MEMBER	SECTION PROPERTIES		LOAD CB	$\sigma_{ct, MAX}$	$\sigma_{ct, Adm}$	CHECK	$\sigma_c, MAX$	$\sigma_c, Adm$	CHECK	$\sigma_s, MAX$	$\sigma_s, Adm$	CHECK
SECTION	Bc (m)	Hc (m)		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	
61	100 x 60		SLE - N2	0.92	2.90	OK	-3.79	-18.00	OK	4.52	360.00	OK
1	1.00	0.60										
62	100 x 60		SLE - N2	1.00	2.90	OK	-4.09	-18.00	OK	4.90	360.00	OK
1	1.00	0.60										
63	100 x 60		SLE - N2	1.06	2.90	OK	-4.35	-18.00	OK	5.20	360.00	OK
1	1.00	0.60										
64	100 x 60		SLE - N2	1.19	2.90	OK	-4.54	-18.00	OK	5.42	360.00	OK
1	1.00	0.60										
65	100 x 60		SLE - N4	1.32	2.90	OK	-4.66	-18.00	OK	5.55	360.00	OK
1	1.00	0.60										
66	100 x 60		SLE - N2	1.37	2.90	OK	-4.71	-18.00	OK	5.62	360.00	OK
1	1.00	0.60										
67	100 x 60		SLE - N2	1.37	2.90	OK	-4.71	-18.00	OK	5.62	360.00	OK
1	1.00	0.60										
68	100 x 60		SLE - N4	1.33	2.90	OK	-4.67	-18.00	OK	5.61	360.00	OK
1	1.00	0.60										
69	100 x 60		SLE - N4	1.21	2.90	OK	-4.56	-18.00	OK	5.51	360.00	OK
1	1.00	0.60										
70	100 x 60		SLE - N4	1.09	2.90	OK	-4.38	-18.00	OK	5.33	360.00	OK
1	1.00	0.60										
71	100 x 60		SLE - N4	1.03	2.90	OK	-4.14	-18.00	OK	5.06	360.00	OK
1	1.00	0.60										
72	100 x 60		SLE - N4	0.97	2.90	OK	-3.85	-18.00	OK	4.72	360.00	OK
1	1.00	0.60										
73	100 x 60		SLE - N4	0.88	2.90	OK	-3.52	-18.00	OK	4.32	360.00	OK
1	1.00	0.60										
74	100 x 60		SLE - N2	0.73	2.90	OK	-3.09	-18.00	OK	3.56	360.00	OK
1	1.00	0.60										
75	100 x 60		SLE - N2	0.64	2.90	OK	-2.71	-18.00	OK	3.00	360.00	OK
1	1.00	0.60										
76	100 x 60		SLE - N5	0.57	2.90	OK	-2.62	-18.00	OK	2.40	360.00	OK
1	1.00	0.60										
77	100 x 60		SLE - N5	0.48	2.90	OK	-2.92	-18.00	OK	1.77	360.00	OK
1	1.00	0.60										
78	100 x 60		SLE - N5	0.37	2.90	OK	-3.20	-18.00	OK	1.12	360.00	OK
1	1.00	0.60										
79	100 x 60		SLE - N5	0.24	2.90	OK	-3.42	-18.00	OK	0.71	360.00	OK
1	1.00	0.60										
80	100 x 60		SLE - N5	0.21	2.90	OK	-3.60	-18.00	OK	0.76	360.00	OK
1	1.00	0.60										
81	100 x 60		SLE - N5	0.22	2.90	OK	-3.70	-18.00	OK	0.81	360.00	OK
1	1.00	0.60										
82	100 x 60		SLE - N5	0.23	2.90	OK	-3.73	-18.00	OK	0.85	360.00	OK
1	1.00	0.60										
83	100 x 60		SLE - N5	0.24	2.90	OK	-3.73	-18.00	OK	0.88	360.00	OK
1	1.00	0.60										
84	100 x 60		SLE - N5	0.24	2.90	OK	-3.68	-18.00	OK	0.92	360.00	OK
1	1.00	0.60										
85	100 x 60		SLE - N5	0.25	2.90	OK	-3.60	-18.00	OK	1.00	360.00	OK
1	1.00	0.60										
86	100 x 60		SLE - N5	0.25	2.90	OK	-3.48	-18.00	OK	1.00	360.00	OK
1	1.00	0.60										
87	100 x 60		SLE - N5	0.49	2.90	OK	-3.50	-18.00	OK	1.57	360.00	OK
1	1.00	0.60										
88	100 x 60		SLE - N7	0.75	2.90	OK	-3.71	-18.00	OK	2.83	360.00	OK
1	1.00	0.60										
89	100 x 60		SLE - N9	1.13	2.90	OK	-4.07	-18.00	OK	4.70	360.00	OK
1	1.00	0.60										
90	100 x 60		SLE - N9	1.54	2.90	OK	-4.47	-18.00	OK	6.68	360.00	OK
1	1.00	0.60										

STRESS CONTROL												
MEMBER	SECTION PROPERTIES		LOAD CB	$\sigma_{ct, MAX}$	$\sigma_{ct, Adm}$	CHECK	$\sigma_c, MAX$	$\sigma_c, Adm$	CHECK	$\sigma_s, MAX$	$\sigma_s, Adm$	CHECK
SECTION	Bc (m)	Hc (m)		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	
91	100 x 65		SLE - N9	1.60	2.90	OK	-4.31	-18.00	OK	7.27	360.00	OK
4	1.00	0.65										
92	100 x 65		SLE - N9	1.94	2.90	OK	-4.69	-18.00	OK	8.97	360.00	OK
4	1.00	0.65										
93	100 X 75		SLE - N9	1.89	2.90	OK	-4.48	-18.00	OK	8.96	360.00	OK
6	1.00	0.75										
94	100 X 75		SLE - N9	2.12	2.90	OK	-4.77	-18.00	OK	10.09	360.00	OK
6	1.00	0.75										
95	100 X 80		SLE - N9	1.64	2.90	OK	-3.99	-18.00	OK	8.03	360.00	OK
7	1.00	0.80										
96	100 X 80		SLE - N9	1.65	2.90	OK	-4.06	-18.00	OK	8.07	360.00	OK
7	1.00	0.80										
97	100 X 80		SLE - N9	1.65	2.90	OK	-4.07	-18.00	OK	8.07	360.00	OK
7	1.00	0.80										
98	100 X 85		SLE - N9	1.38	2.90	OK	-3.69	-18.00	OK	6.81	360.00	OK
8	1.00	0.85										
99	100 X 85		SLE - N9	1.29	2.90	OK	-3.63	-18.00	OK	6.30	360.00	OK
8	1.00	0.85										
100	100 X 75		SLE - N9	1.55	2.90	OK	-4.29	-18.00	OK	7.38	360.00	OK
6	1.00	0.75										
101	100 x 70		SLE - N9	1.53	2.90	OK	-4.51	-18.00	OK	7.08	360.00	OK
5	1.00	0.75										
102	100 x 68		SLE - N9	1.24	2.90	OK	-4.30	-18.00	OK	5.52	360.00	OK
3	1.00	0.68										

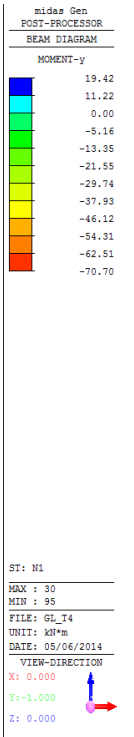
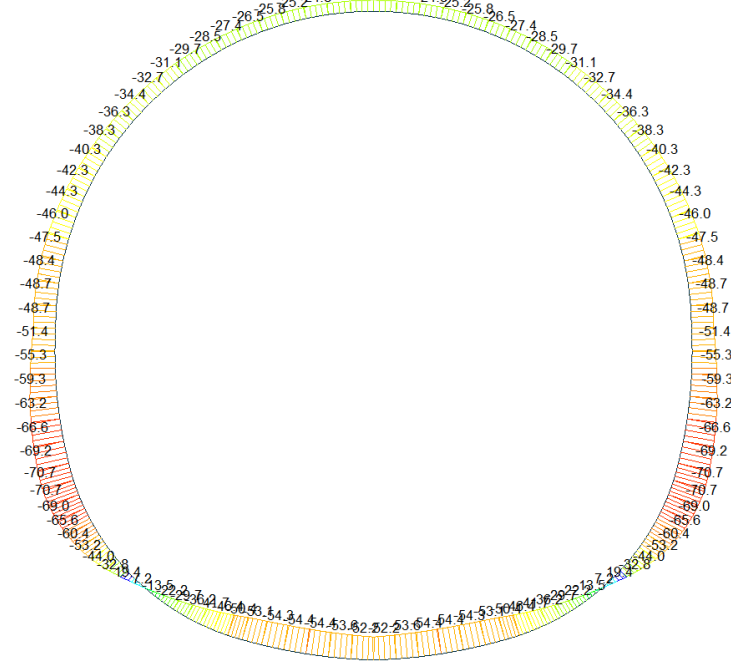
## A.4.4. Output and check result for cross section (GL-T5)

### A.4.4.1. Load combination SLU 1

Beam Diagram\_Fx / ST\_N1



Beam Diagram\_My / ST\_N1



Beam Diagram\_Fz / ST\_N1



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

68.32
55.90
43.48
31.06
18.63
0.00
-6.21
-18.63
-31.06
-43.48
-55.90
-68.32

ST: N1

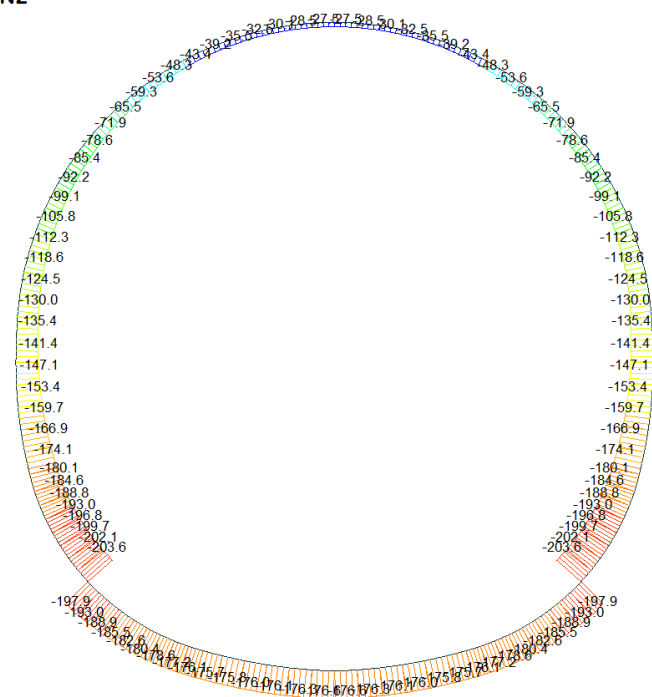
MAX : 91  
MIN : 102

FILE: GL\_T4  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.4.2. Load combination SLU 2

Beam Diagram\_Fx / ST\_N2



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

-27.30
-43.33
-59.35
-75.38
-91.41
-107.44
-123.46
-139.49
-155.52
-171.55
-187.57
-203.60

ST: N2

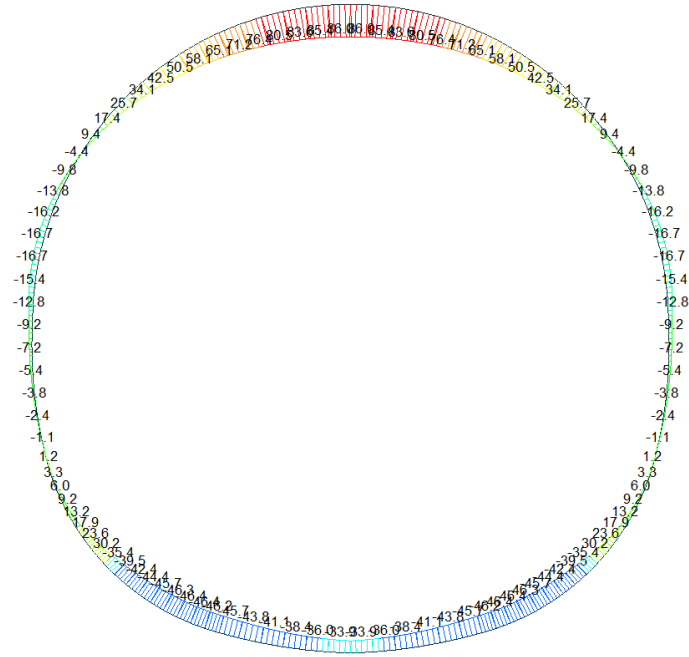
MAX : 66  
MIN : 102

FILE: GL\_T4  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000



Beam Diagram\_My / ST\_N2



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

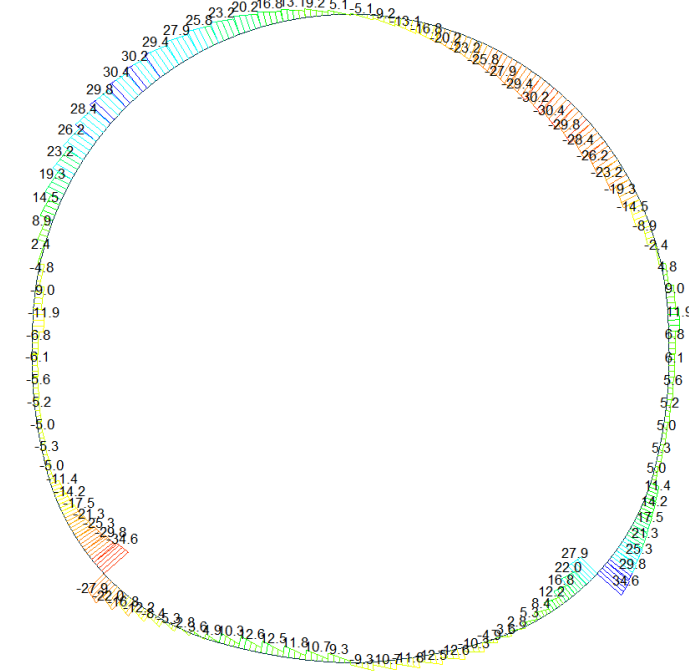
MOMENT-y

86.05
74.00
61.96
49.92
37.88
25.83
13.79
0.00
-10.29
-22.34
-34.38
-46.42

ST: N2  
MAX : 87  
MIN : 8  
FILE: GL\_T4  
UNIT: KNm  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_Fz / ST\_N2



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

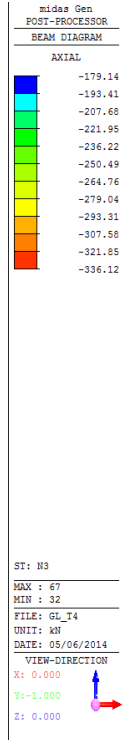
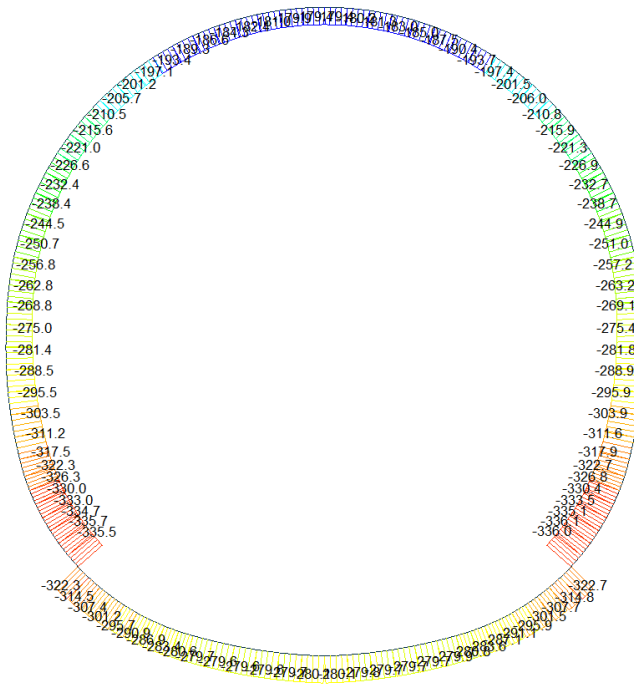
34.56
28.28
21.99
15.71
9.43
0.00
-3.14
-9.43
-15.71
-21.99
-28.28
-34.56

ST: N2  
MAX : 31  
MIN : 102  
FILE: GL\_T4  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

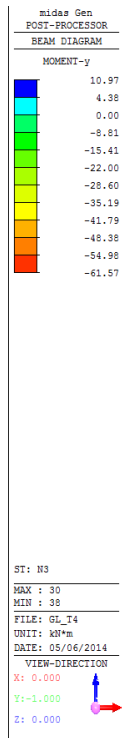
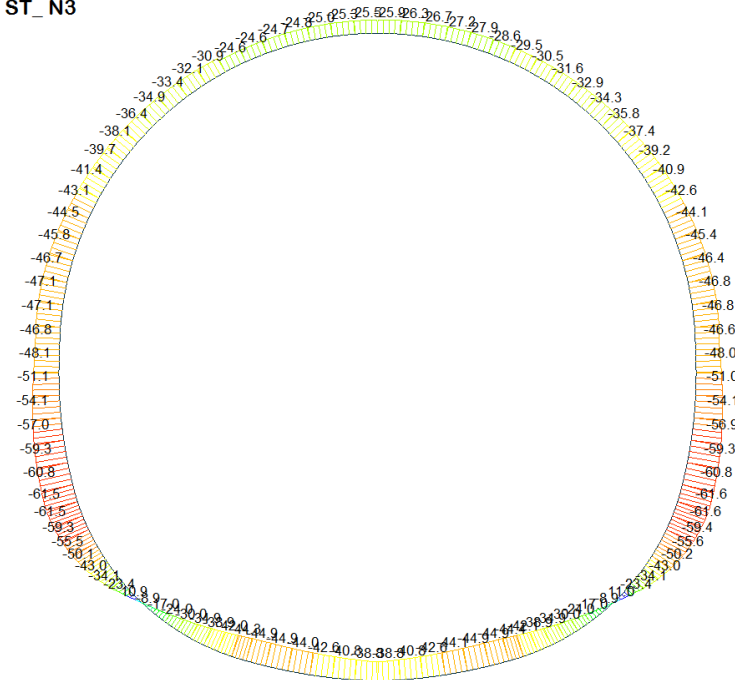
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.4.3. Load combination SLU 3

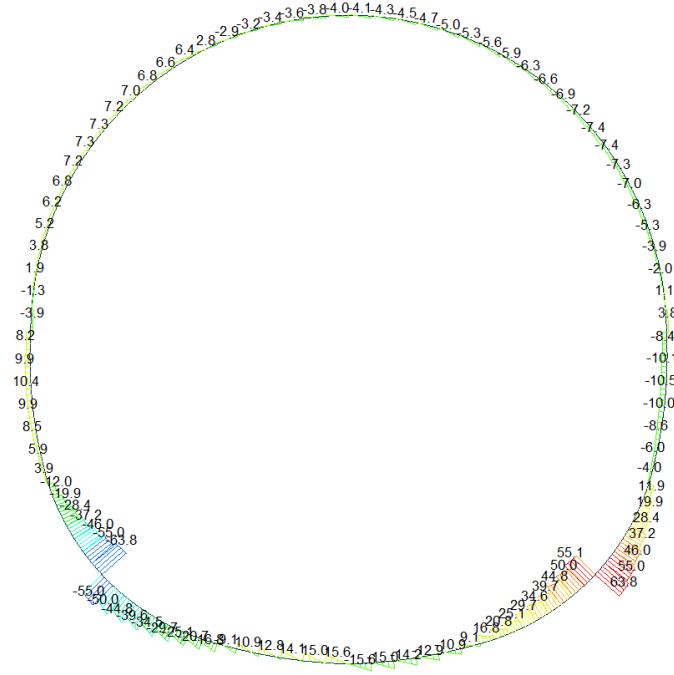
Beam Diagram\_Fx / ST\_N3



Beam Diagram\_My / ST\_N3



Beam Diagram\_Fz / ST\_N3



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

63.82
52.23
40.63
29.03
17.43
5.83
0.00
-17.37
-28.97
-40.57
-52.17
-63.77

ST: N3

---

MAX : 31  
MIN : 102

---

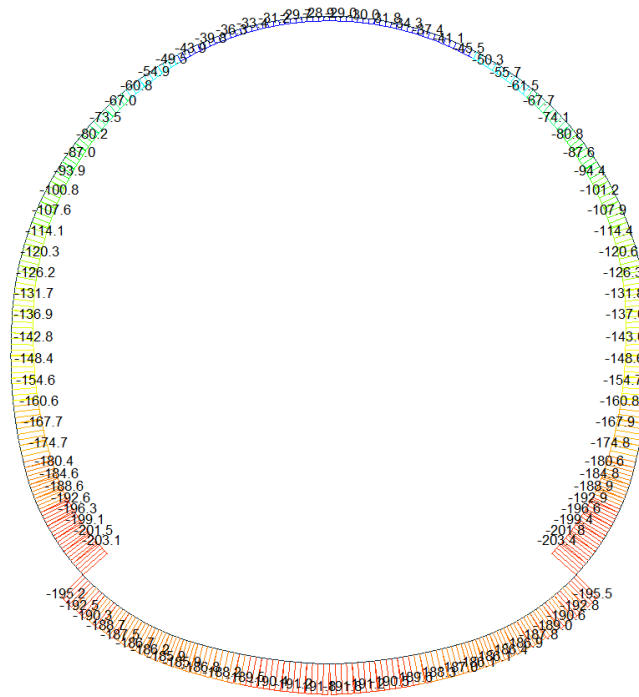
FILE: GL\_T4  
UNIT: kN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION

X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.4.4. Load combination SLU 4

Beam Diagram\_Fx / ST\_N4



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

-28.65
-44.54
-60.42
-76.31
-92.20
-108.08
-123.97
-139.85
-155.74
-171.63
-187.51
-203.40

ST: N4

---

MAX : 67  
MIN : 31

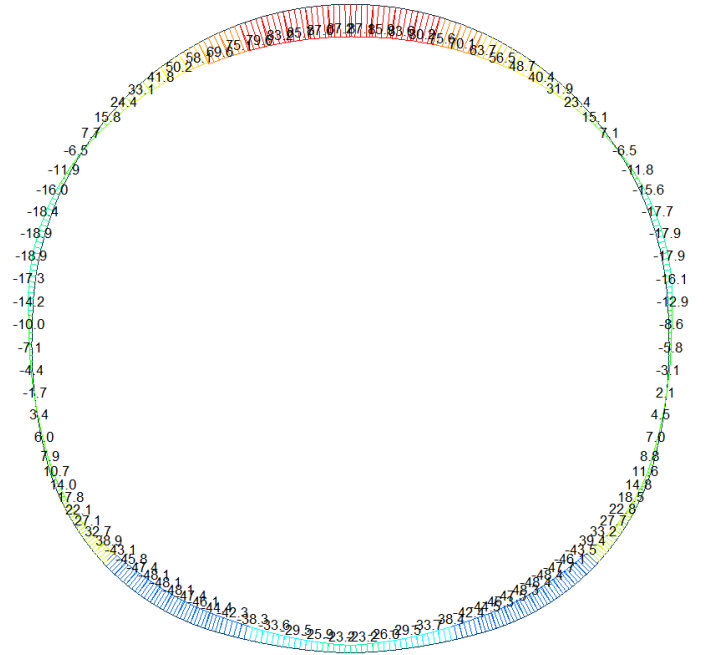
---

FILE: GL\_T4  
UNIT: kN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION

X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_N4



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

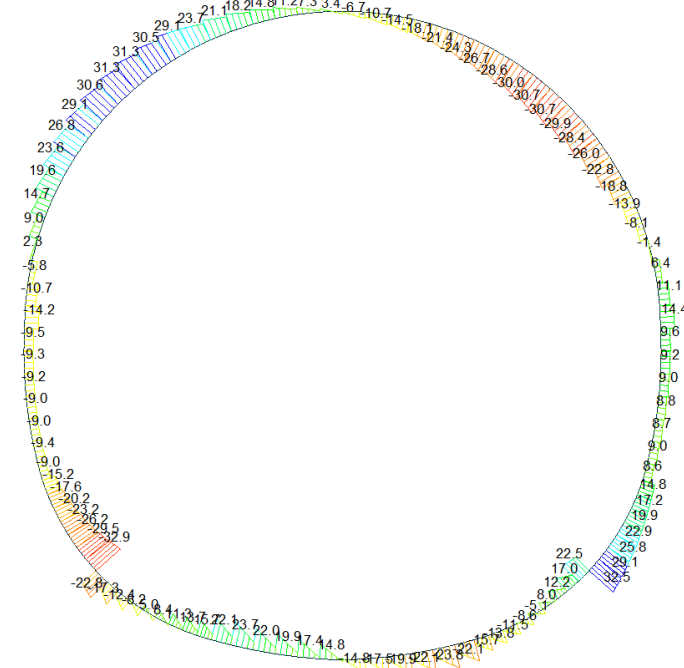
MOMENT-y

87.23
74.90
62.58
50.25
37.92
25.59
13.26
0.00
-11.39
-23.72
-36.05
-48.37

ST: N4  
MAX : 67  
MIN : 27  
FILE: GL\_T4  
UNIT: KNm  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_Fz / ST\_N4



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

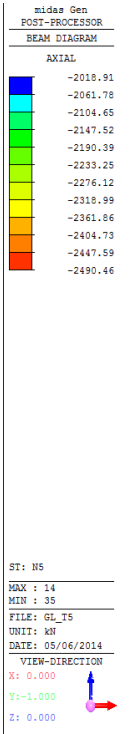
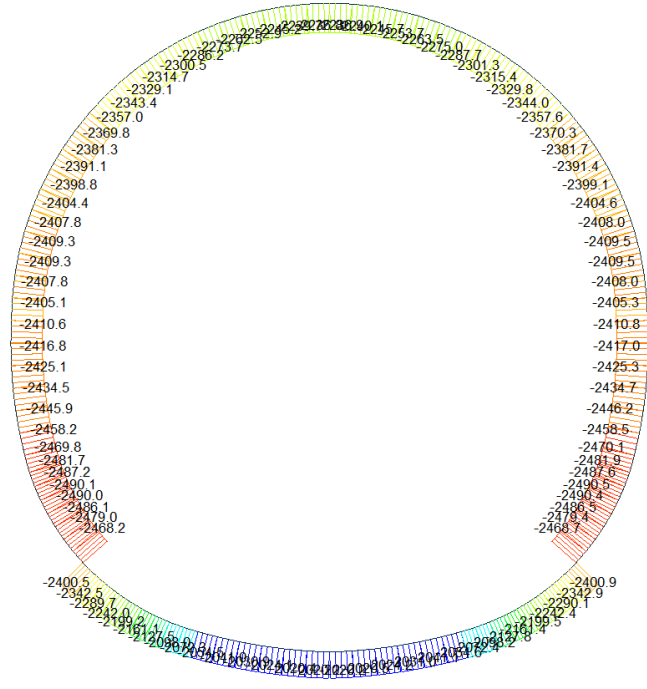
32.55
26.60
20.66
14.71
8.76
0.00
-3.13
-9.07
-15.02
-20.96
-26.91
-32.86

ST: N4  
MAX : 31  
MIN : 102  
FILE: GL\_T4  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

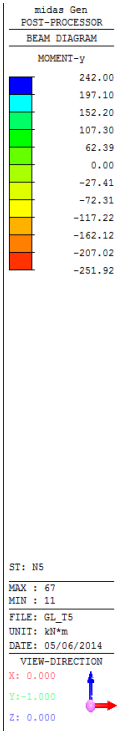
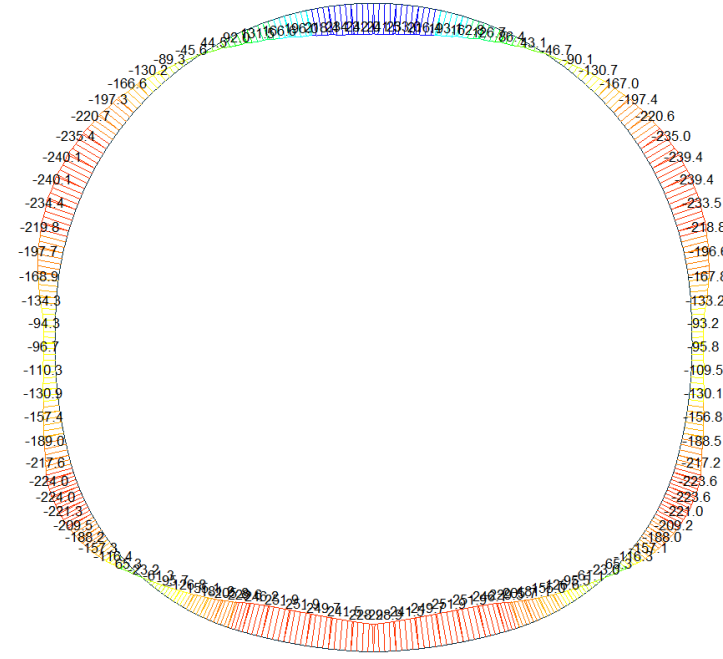
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.4.5. Load combination SLU 5

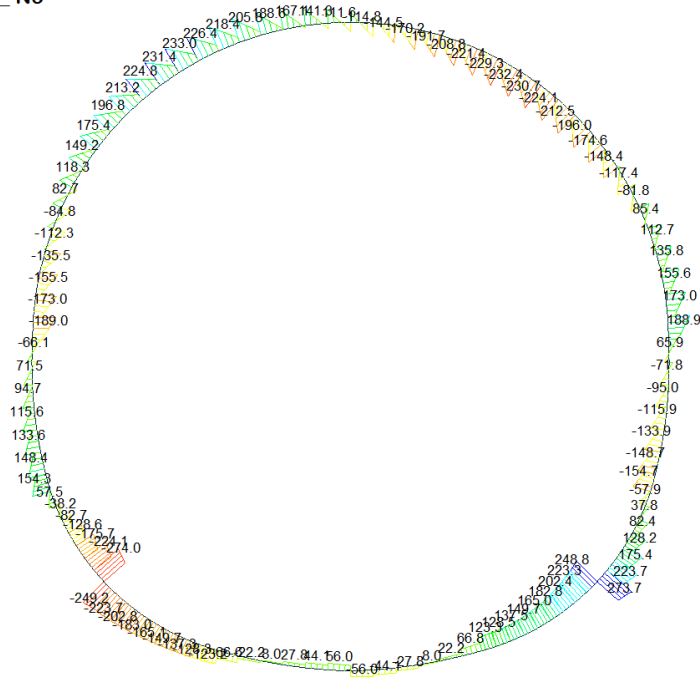
Beam Diagram\_Fx / ST\_N5



Beam Diagram\_My / ST\_N5

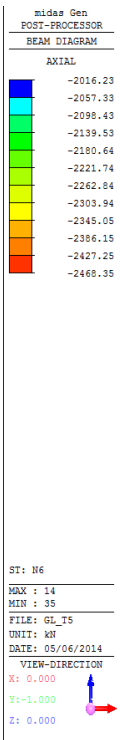
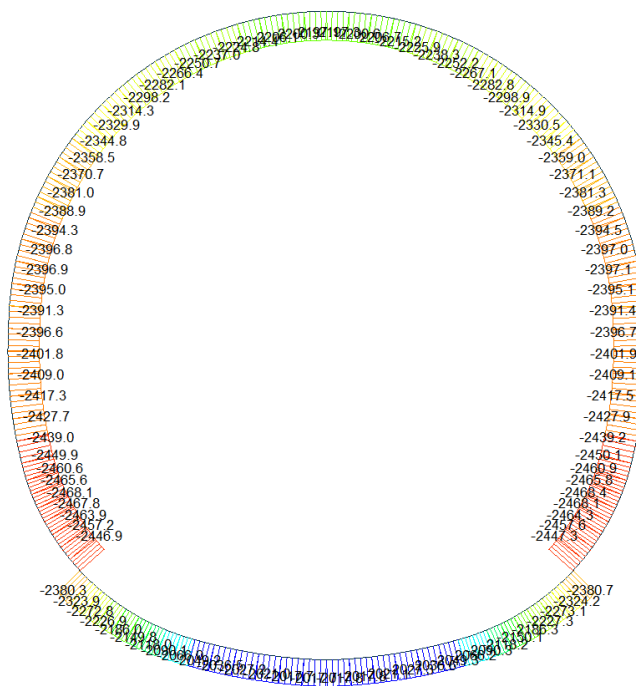


Beam Diagram\_Fz / ST\_N5

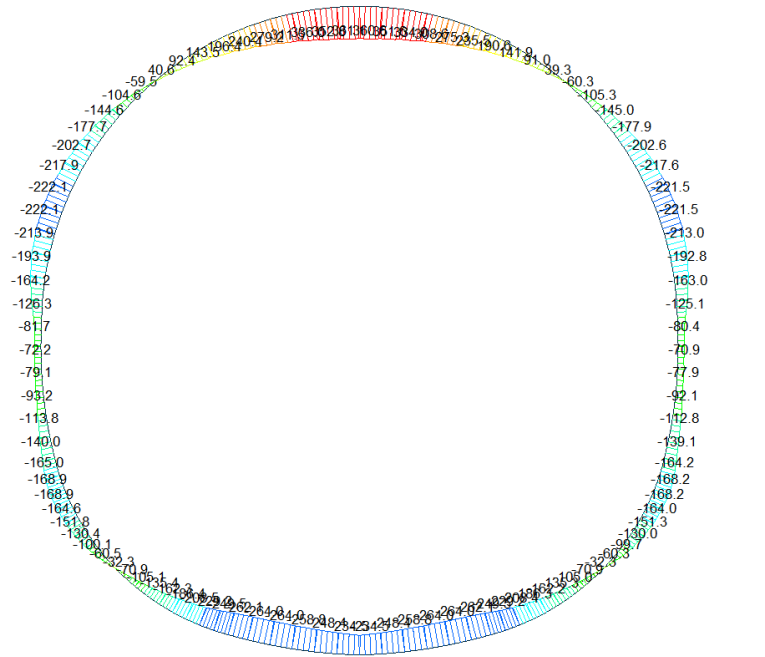


A.4.4.6. Load combination SLU 6

Beam Diagram\_Fx / ST\_N6



Beam Diagram\_My / ST\_N6



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

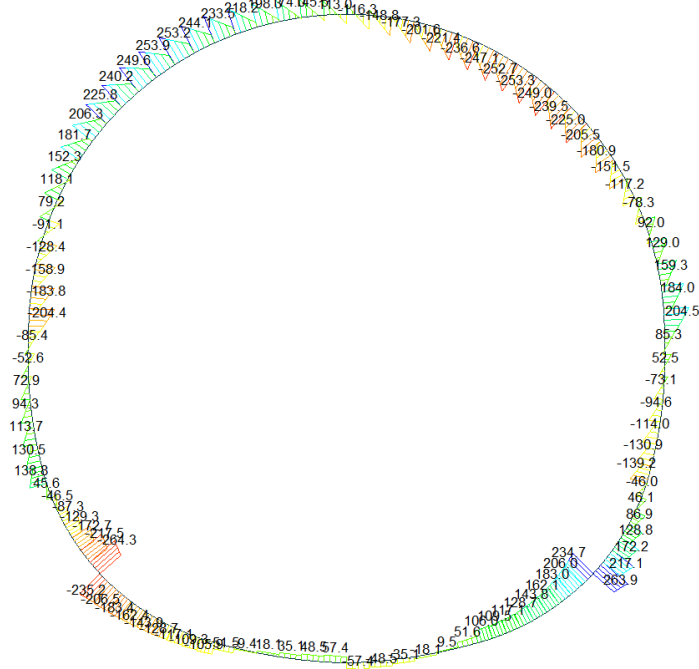
MOMENT-y

361.09
304.26
247.43
190.60
133.77
76.94
0.00
-36.72
-93.55
-150.38
-207.21
-264.04

ST: N6  
MAX : 67  
MIN : 19  
FILE: GL\_T5  
UNIT: KN\*M  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_Fz / ST\_N6



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

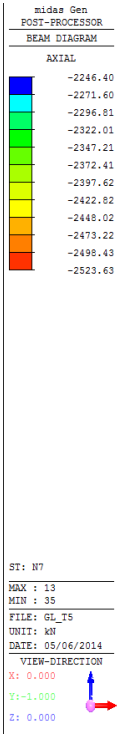
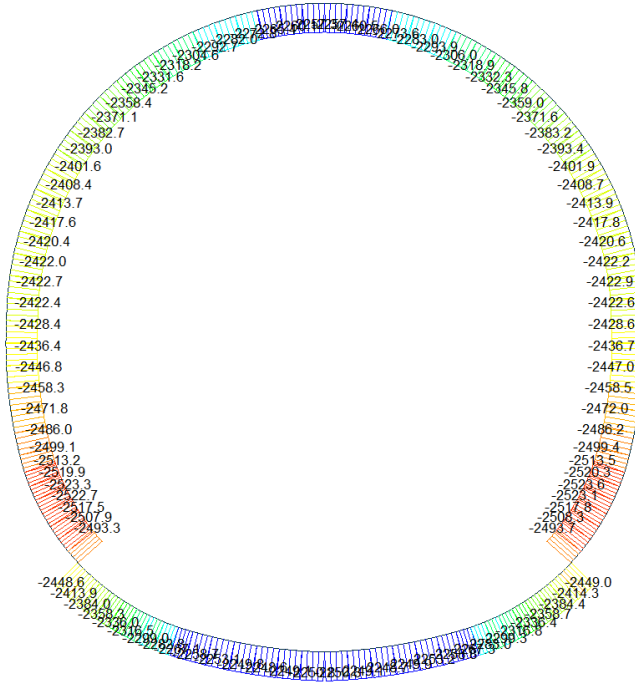
263.87
215.85
167.84
119.82
71.80
0.00
-24.23
-72.24
-120.26
-168.27
-216.29
-264.31

ST: N6  
MAX : 31  
MIN : 102  
FILE: GL\_T5  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

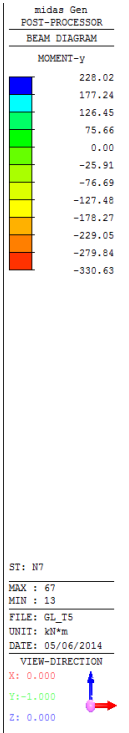
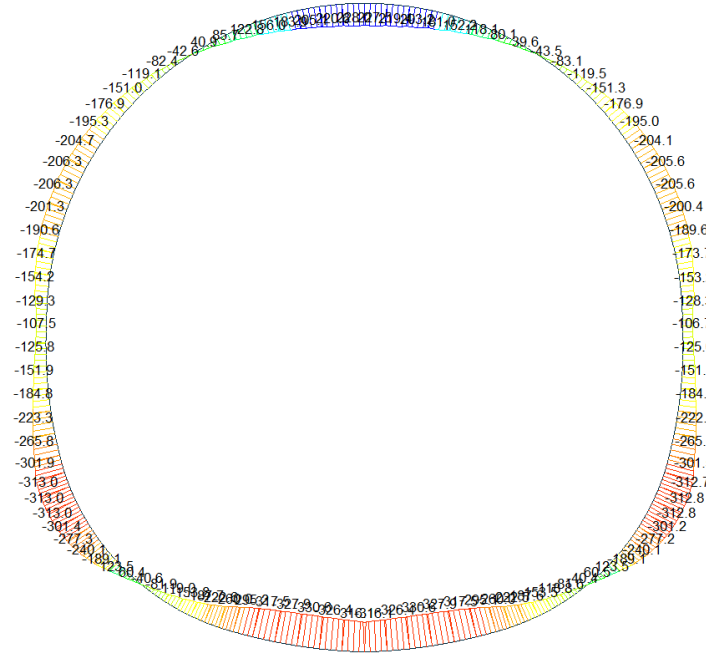
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.4.7. Load combination SLU 7

Beam Diagram\_Fx / ST\_N7

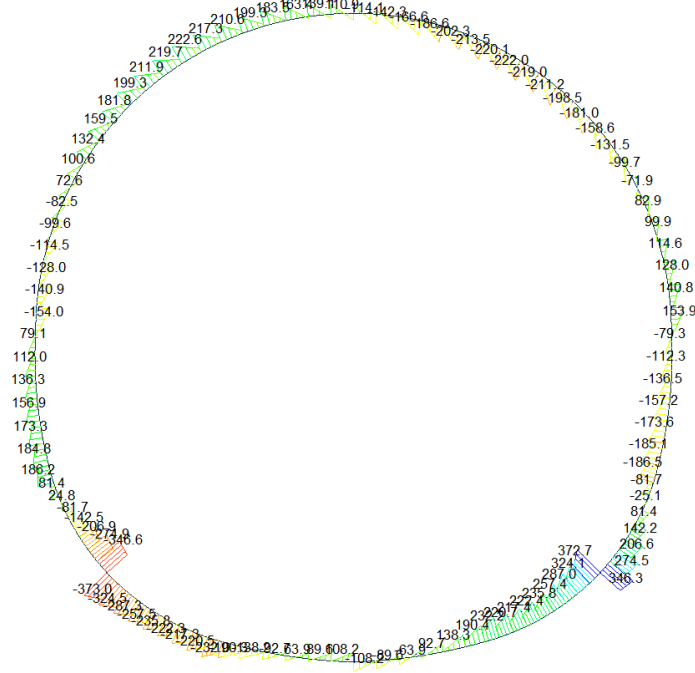


Beam Diagram\_My / ST\_N7



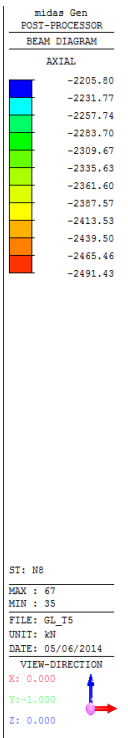
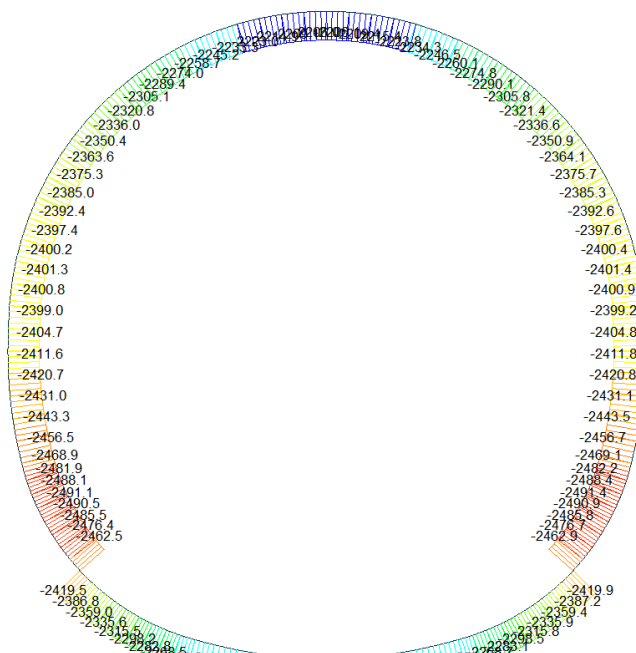


Beam Diagram\_Fz / ST\_N7

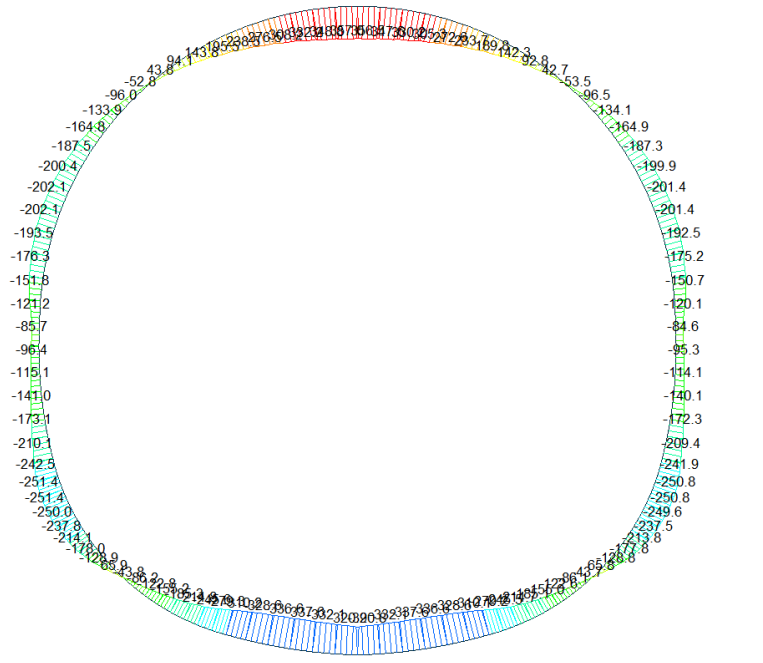


A.4.4.8. Load combination SLU 8

Beam Diagram\_Fx / ST\_N8



Beam Diagram\_My / ST\_N8



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

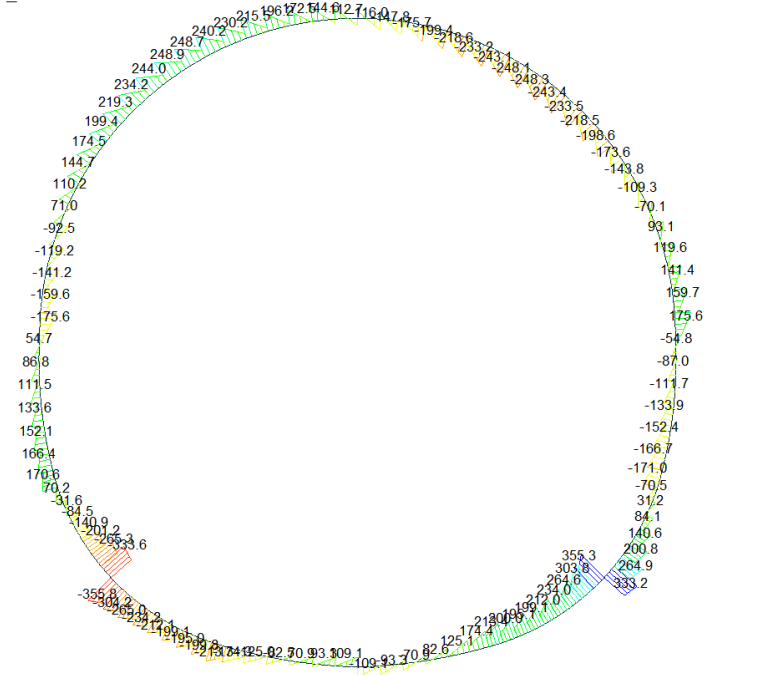
356.97
293.83
230.69
167.55
104.41
41.27
0.00
-85.01
-148.14
-211.28
-274.42
-337.56

ST: N8  
MAX : 67  
MIN : 13

FILE: GL\_T5  
UNIT: kNm  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_Fz / ST\_N8



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

355.33
290.69
226.04
161.40
96.76
0.00
-32.53
-97.18
-161.82
-226.47
-291.11
-355.75

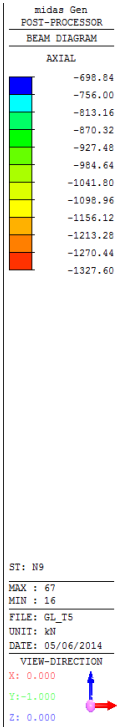
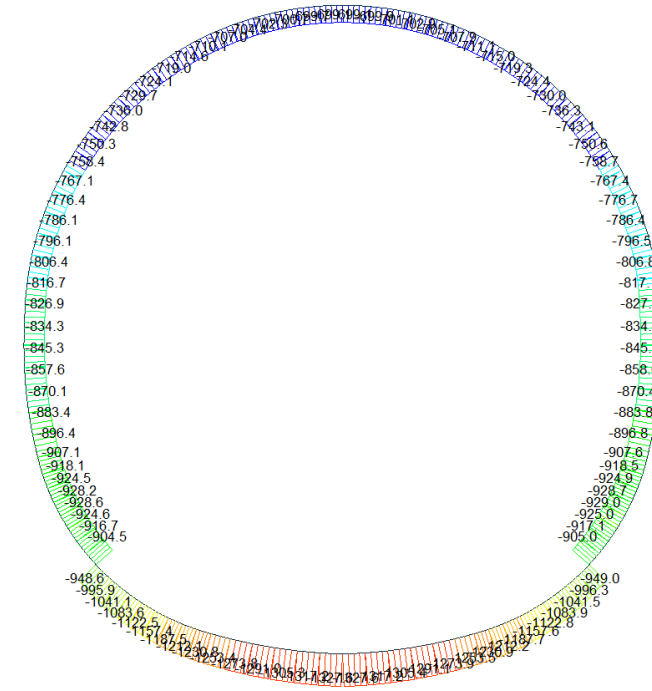
ST: N8  
MAX : 30  
MIN : 1

FILE: GL\_T5  
UNIT: kN  
DATE: 05/06/2014

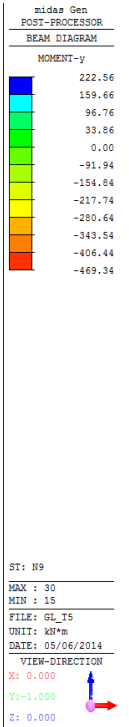
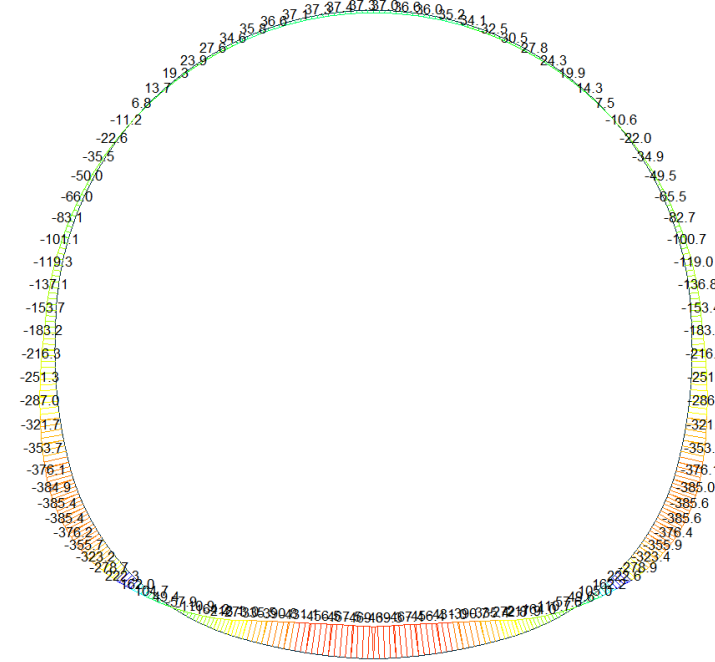
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.4.9. Load combination SLU 9

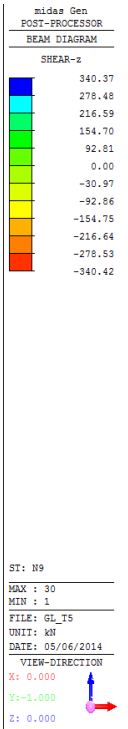
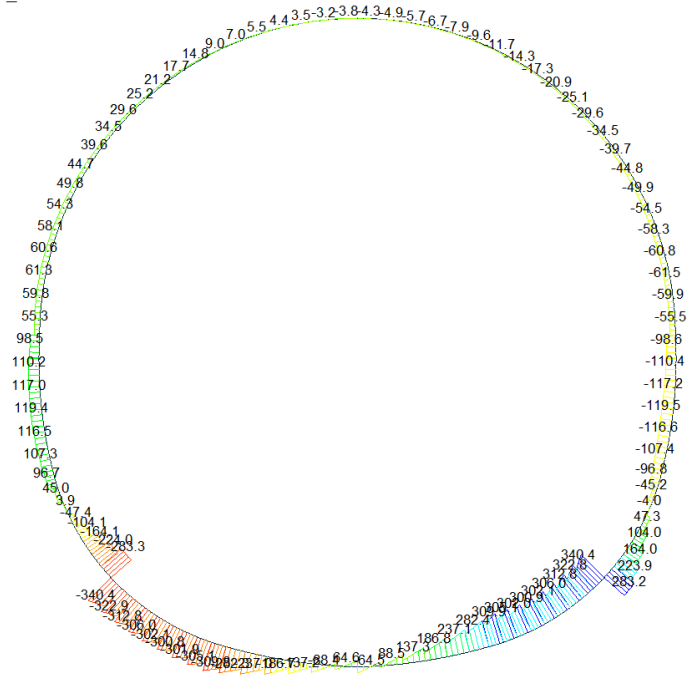
Beam Diagram\_Fx / ST\_N9



Beam Diagram\_My / ST\_N9

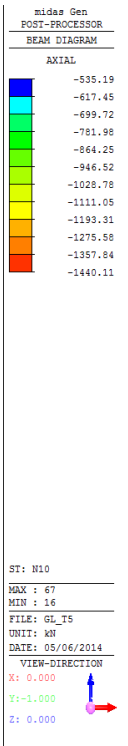
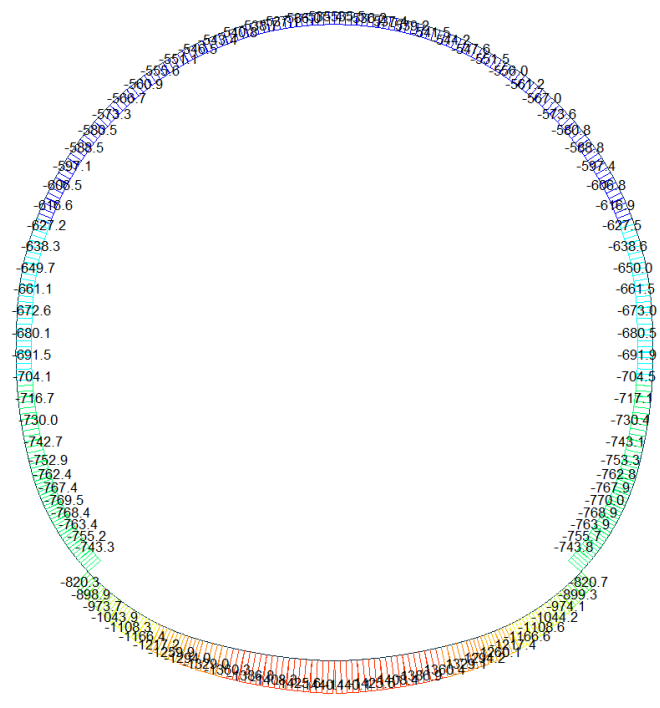


Beam Diagram\_Fz / ST\_N9

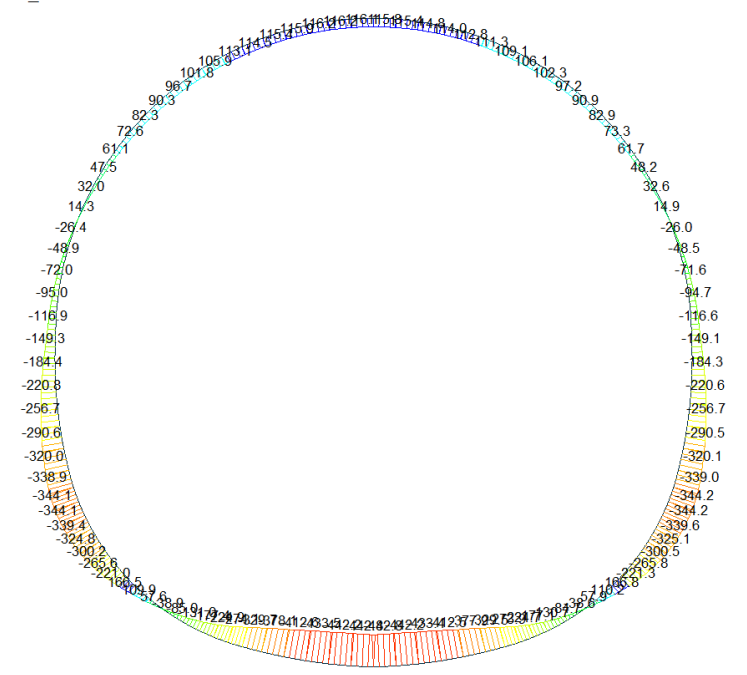


A.4.4.10. Load combination SLU 10

Beam Diagram\_Fx / ST\_N10



Beam Diagram\_My / ST\_N10



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

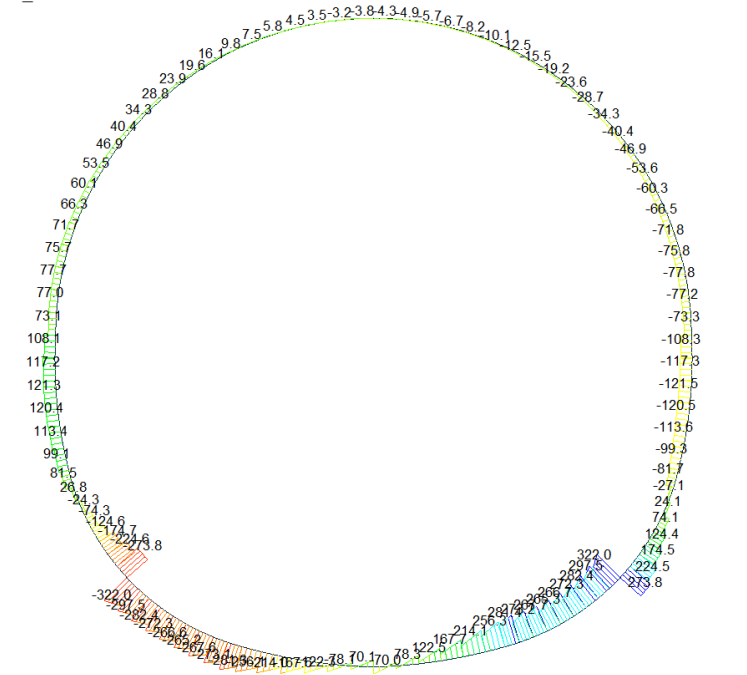
166.82
111.40
55.98
0.00
-54.87
-110.29
-165.71
-221.13
-276.55
-331.97
-387.39
-442.81

ST: N10  
MAX : 90  
MIN : 15

FILE: GL\_T5  
UNIT: KN\*m  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_Fz / ST\_N10



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

322.01
263.46
204.91
146.36
87.81
0.00
-29.29
-87.84
-146.39
-204.94
-263.49
-322.04

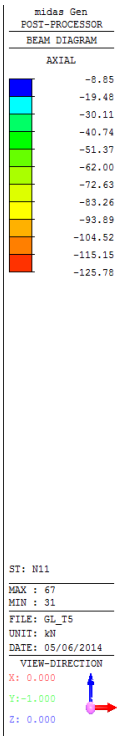
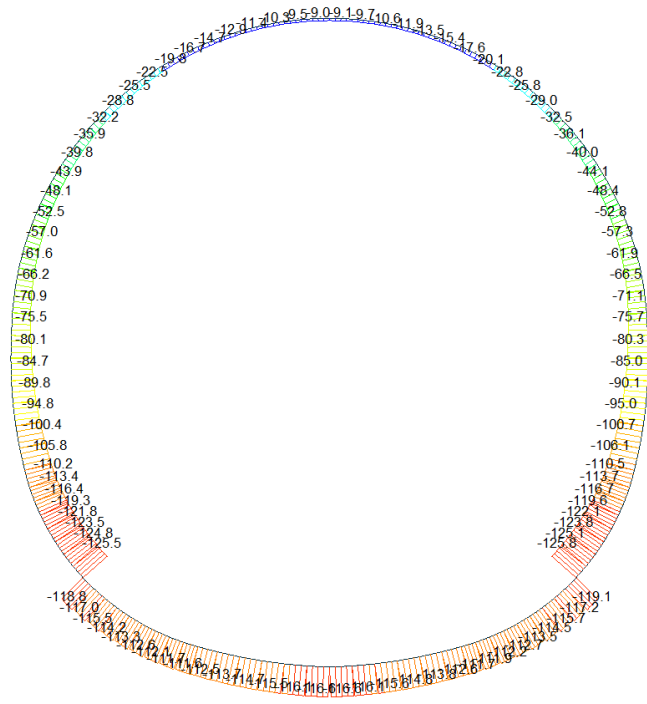
ST: N10  
MAX : 30  
MIN : 1

FILE: GL\_T5  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

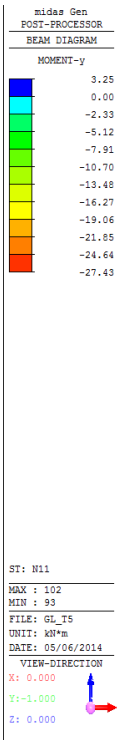
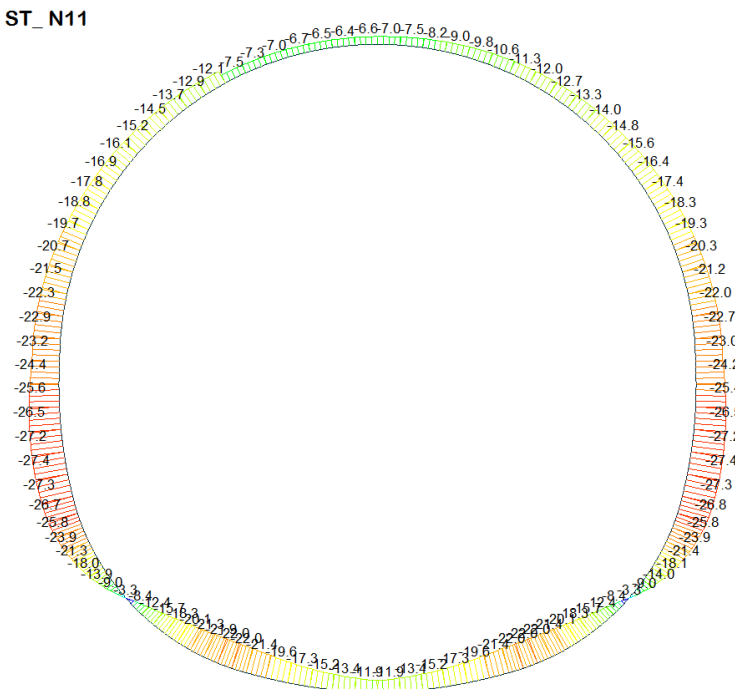
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.4.11. Load combination SLU 11

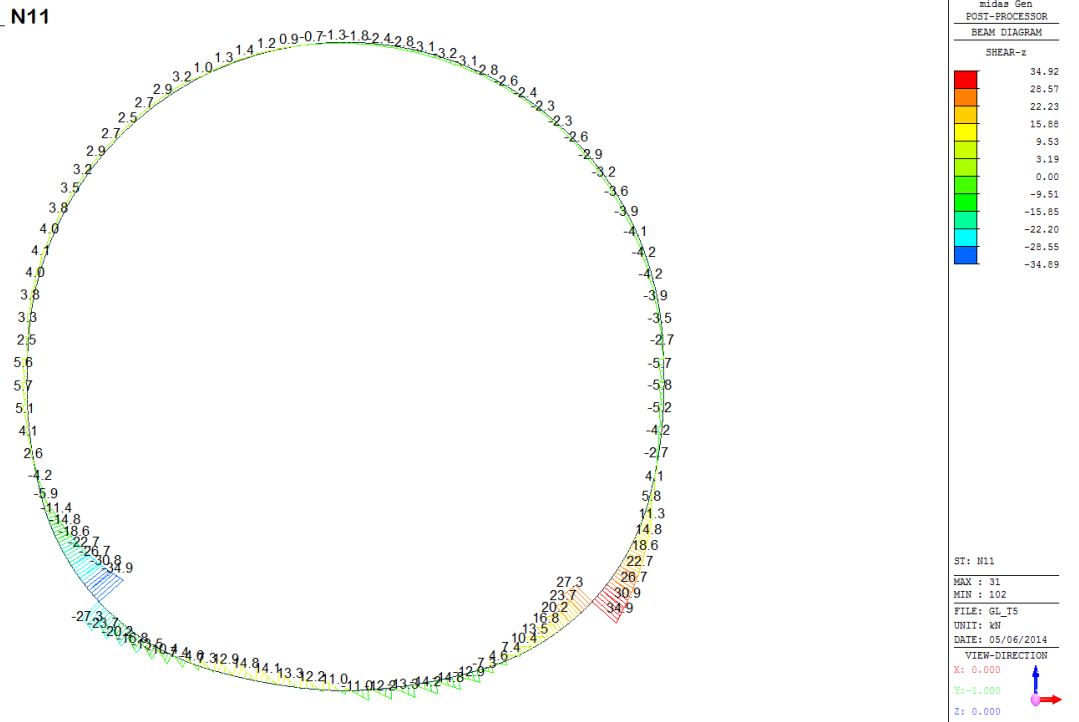
Beam Diagram\_Fx / ST\_N11



Beam Diagram\_My / ST\_N11

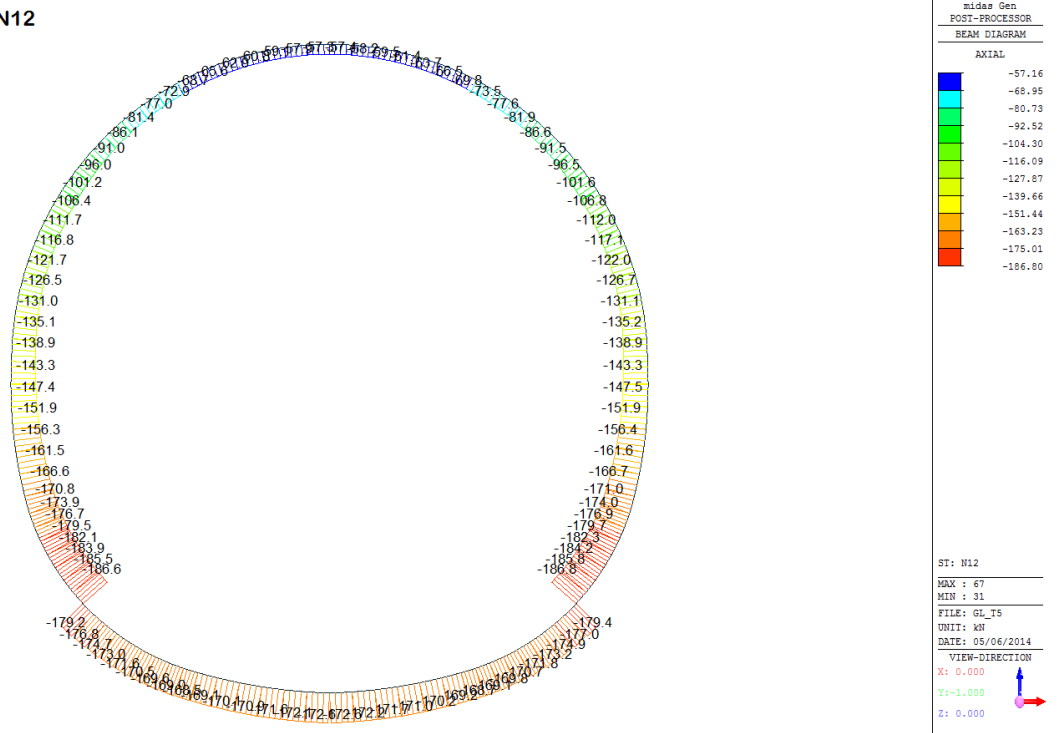


Beam Diagram\_Fz / ST\_N11

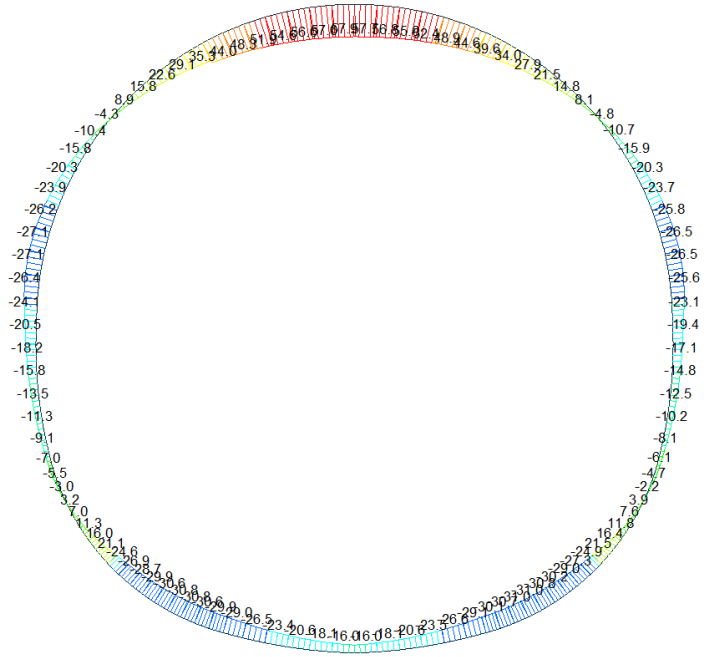


A.4.4.12. Load combination SLU 12

Beam Diagram\_Fx / ST\_N12



Beam Diagram\_My / ST\_N12



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

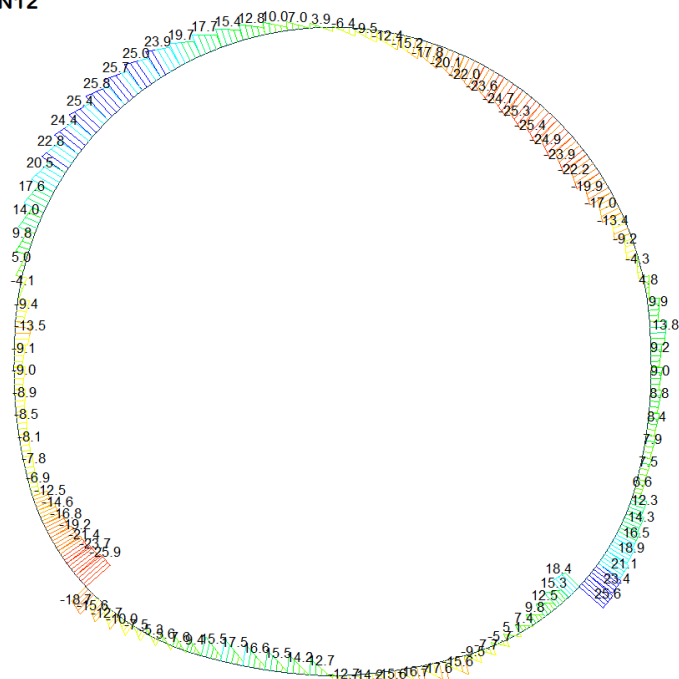
MOMENT-y

57.88
49.80
41.73
33.65
25.57
17.49
9.41
0.00
-6.75
-14.82
-22.90
-30.98

ST: N12  
MAX : 67  
MIN : 25  
FILE: GL\_T5  
UNIT: KN\*m  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_Fz / ST\_N12



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

25.83
21.13
16.43
11.73
7.02
0.00
-2.38
-7.08
-11.79
-16.49
-21.19
-25.89

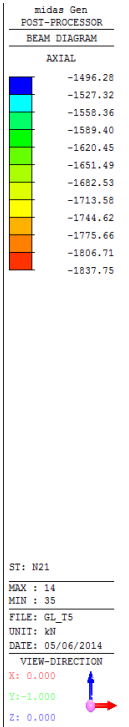
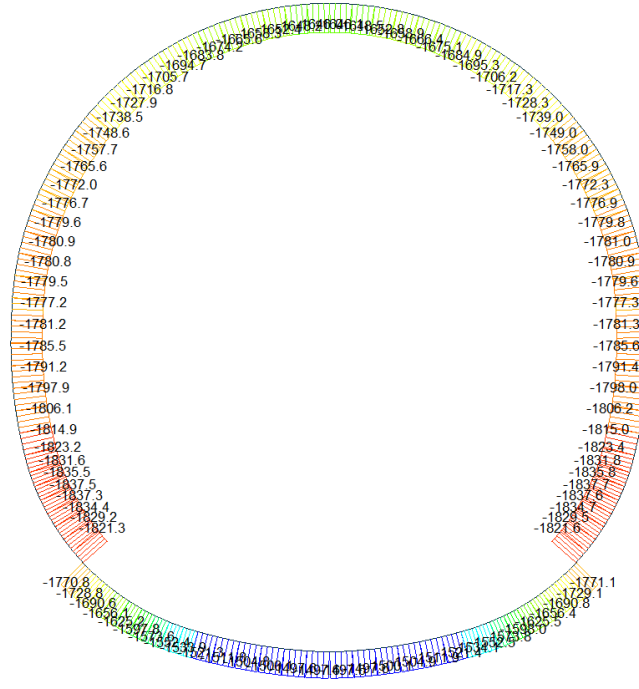
ST: N12  
MAX : 77  
MIN : 102  
FILE: GL\_T5  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

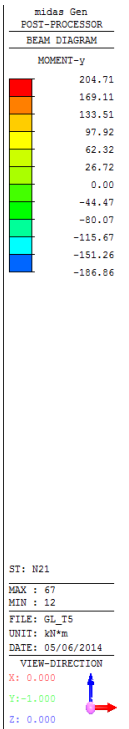
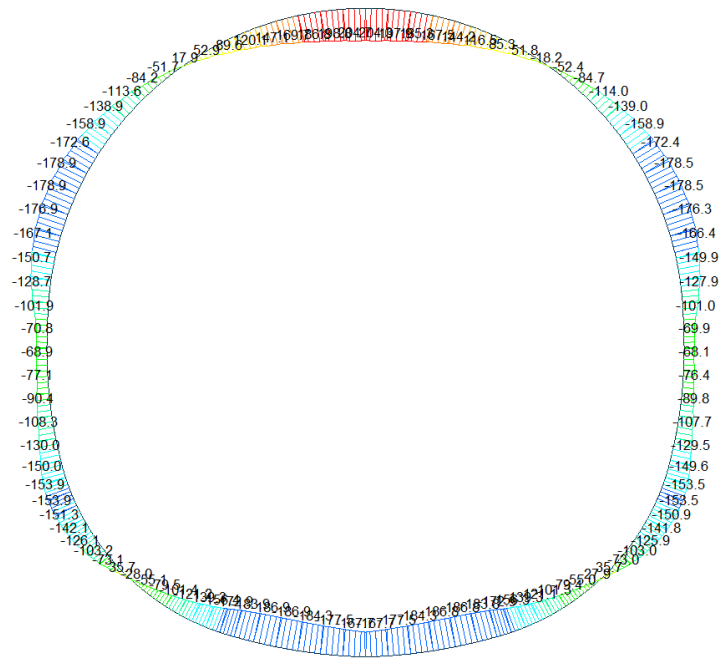


A.4.4.13. Load combination SLU 21

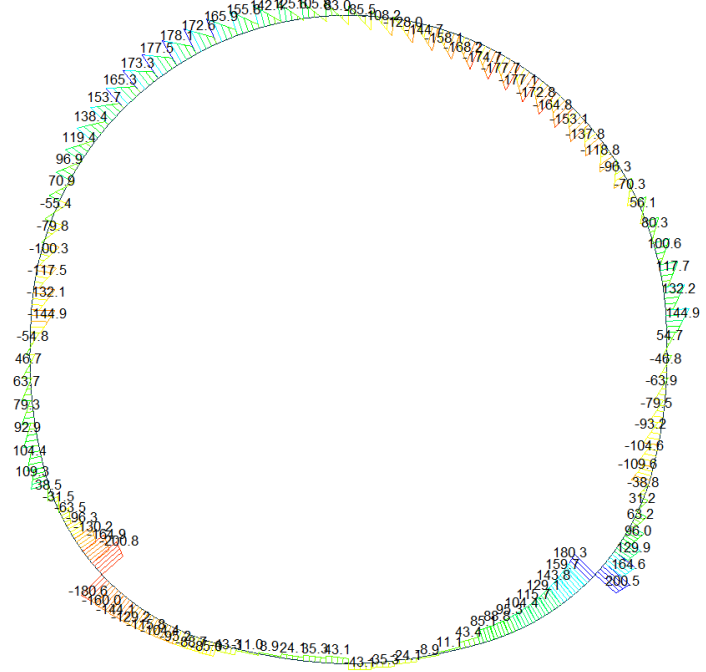
Beam Diagram\_Fx / ST\_N21



Beam Diagram\_My / ST\_N21



Beam Diagram\_Fz / ST\_N21



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

200.50
164.02
127.54
91.06
54.58
0.00
-18.38
-54.86
-91.34
-127.82
-164.30
-200.78

ST: N21

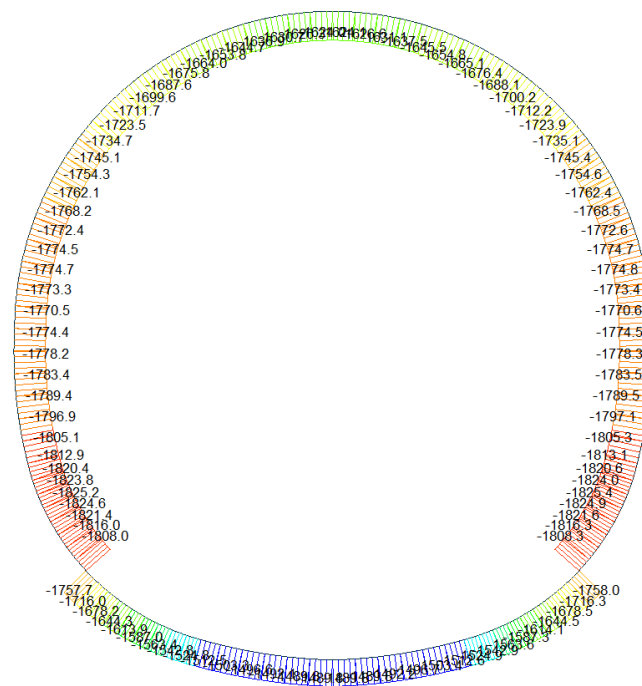
MAX : 91  
MIN : 102

FILE: GL\_T5  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.4.14. Load combination SLU 22

Beam Diagram\_Fx / ST\_N22



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

-1488.42
-1519.06
-1549.70
-1580.34
-1610.98
-1641.61
-1672.25
-1702.89
-1733.53
-1764.17
-1794.80
-1825.44

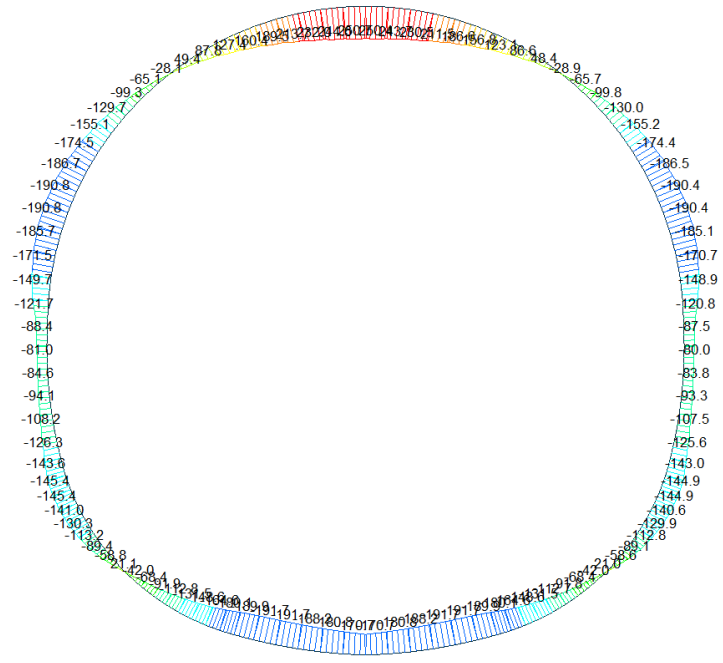
ST: N22

MAX : 14  
MIN : 35

FILE: GL\_T5  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_N22



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

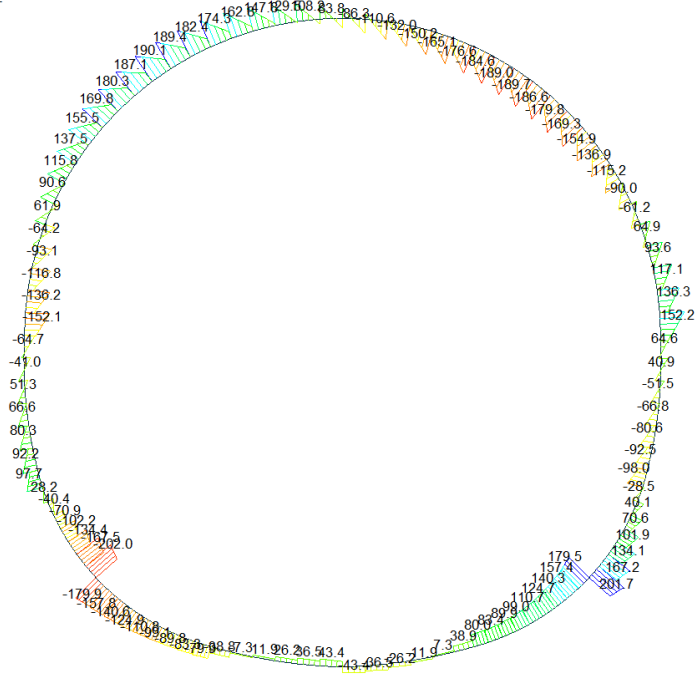
MOMENT-y

250.75
210.52
170.30
130.07
89.85
49.62
0.00
-30.83
-71.06
-111.28
-151.51
-191.73

ST: N22  
MAX : 67  
MIN : 20  
FILE: GL\_T5  
UNIT: KN\*M  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_Fz / ST\_N22



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

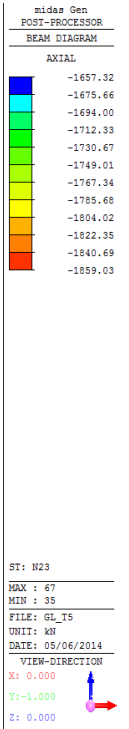
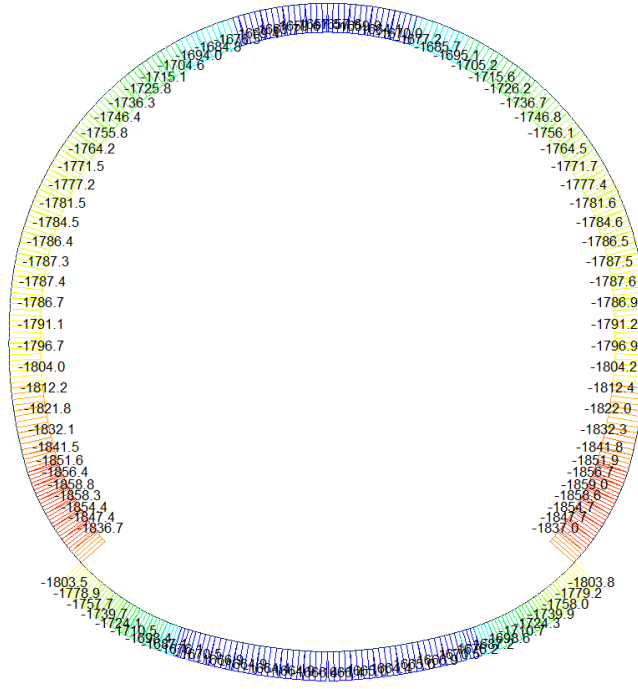
201.66
164.97
128.27
91.58
54.88
0.00
-18.51
-55.21
-91.90
-128.60
-165.29
-201.99

ST: N22  
MAX : 31  
MIN : 102  
FILE: GL\_T5  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

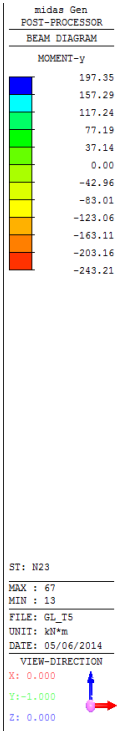
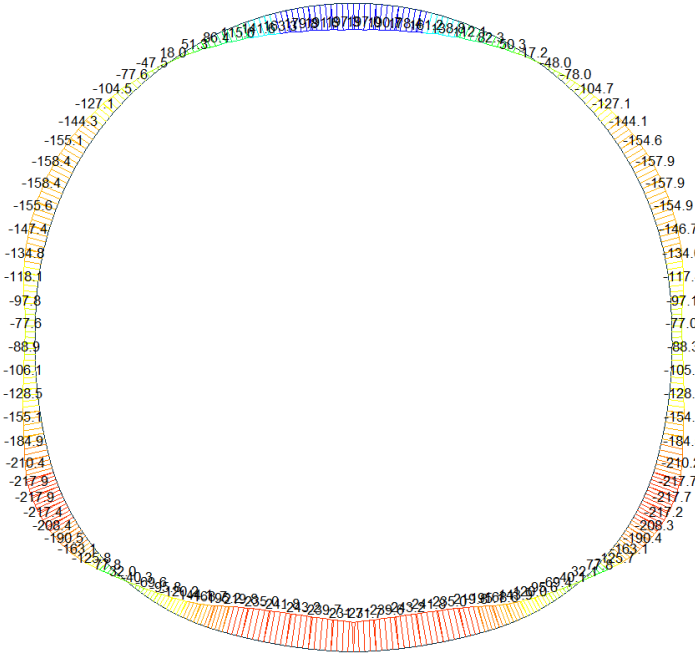
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.4.15. Load combination SLU 23

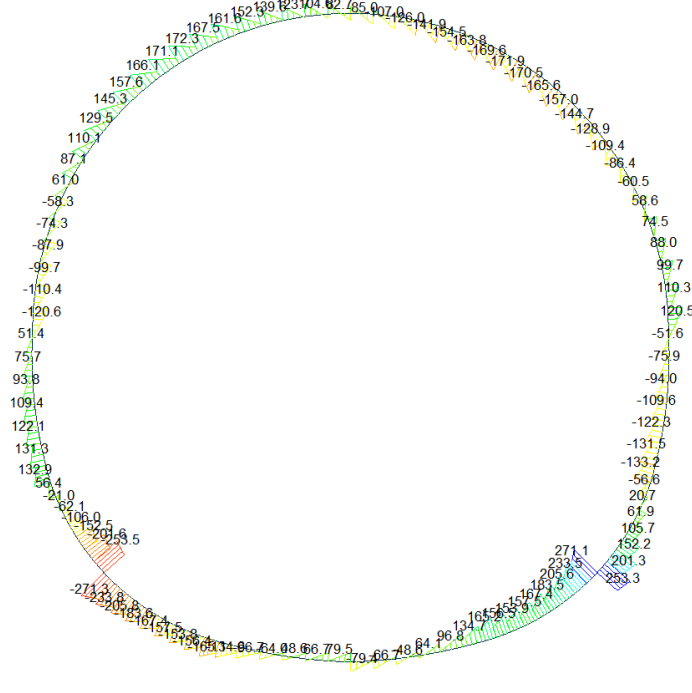
Beam Diagram\_Fx / ST\_N23



Beam Diagram\_My / ST\_N23



Beam Diagram\_Fz / ST\_N23



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

271.10
221.78
172.47
123.16
73.84
0.00
-24.78
-74.10
-123.41
-172.72
-222.04
-271.35

ST: N23

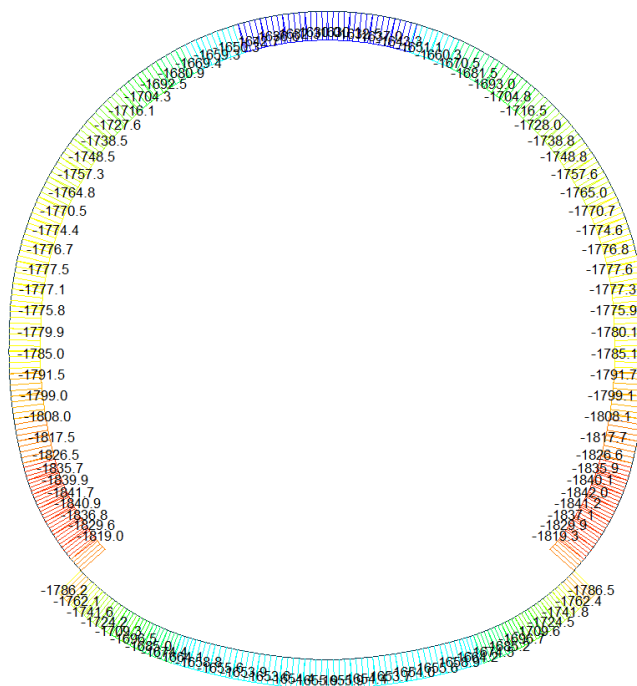
MAX : 90  
MIN : 1

FILE: GL\_T5  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.4.16. Load combination SLU 24

Beam Diagram\_Fx / ST\_N24



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

-1629.80
-1649.09
-1668.38
-1687.67
-1706.96
-1726.25
-1745.54
-1764.83
-1784.11
-1803.40
-1822.69
-1841.98

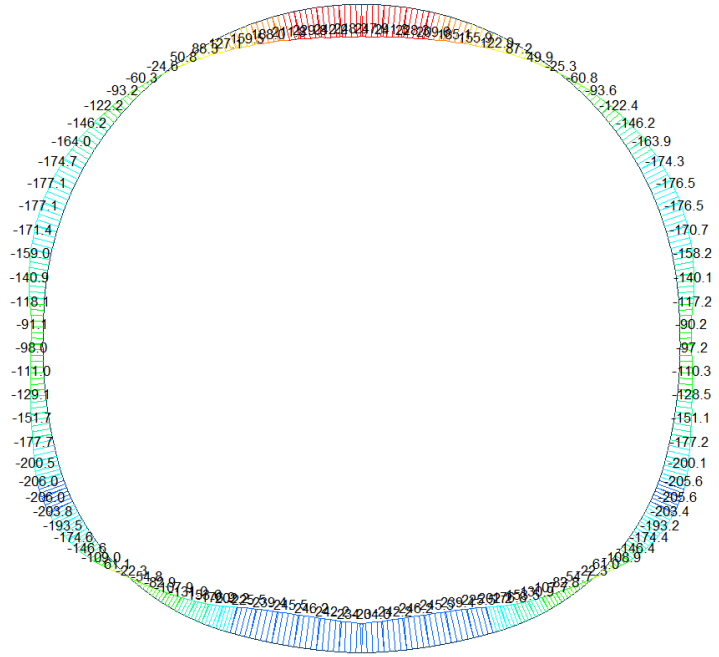
ST: N24

MAX : 67  
MIN : 35

FILE: GL\_T5  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_N24



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

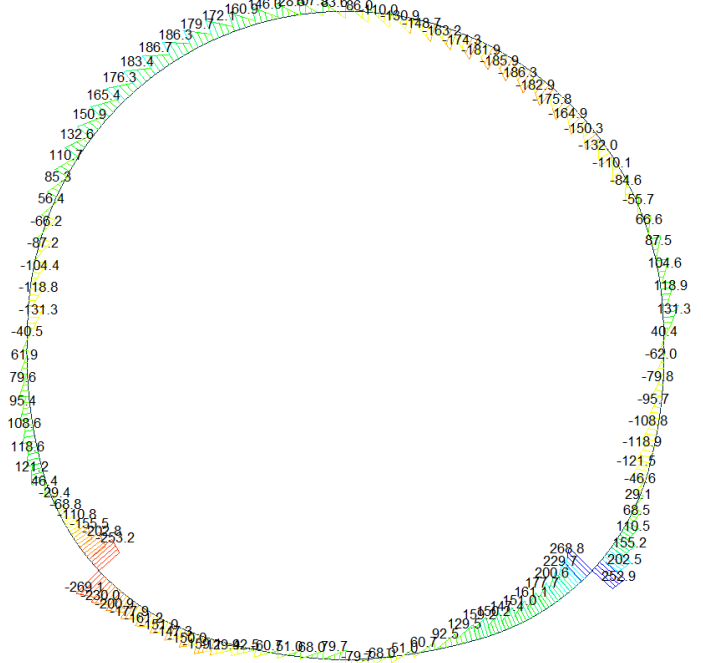
248.27
203.32
158.36
113.41
68.45
23.50
0.00
-66.42
-111.37
-156.33
-201.28
-246.24

ST: N24  
MAX : 67  
MIN : 13

FILE: GL\_T5  
UNIT: KN\*M  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_Fz / ST\_N24



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

268.76
219.66
170.97
122.08
73.18
0.00
-24.60
-73.50
-122.39
-171.28
-220.18
-269.07

ST: N24  
MAX : 30  
MIN : 1

FILE: GL\_T5  
UNIT: KN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.4.17. Rebarred section checking

SECTION CHECKING															
MEMBER	SECTION PROPERTIES		f <sub>ck</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>yk</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	CHECK	LOAD CB M-N iteration	LOAD CB V	Rebar	N_Rdmax	N_Ed	M_Edy	M_Edz	V_Rdc	V_Rds	V_Ed
SECTION	B <sub>c</sub> (m)	H <sub>c</sub> (m)								Ratio-N	Ratio-My	Ratio-Mz	Ratio-Vc	Ratio-Vs	Ratio-V
1	100 x 74		30.00	450.00	OK	N7	N9	14-2-P16	12'804	2445.060	123.486	0.000	384.571	-	340.416
2	1.00	0.74								<b>0.220</b>	<b>0.218</b>	0.000	0.885	-	<b>0.885</b>
2	100 x 74		30.00	450.00	OK	N7	N9	14-2-P16	12'804	<b>2406.630</b>	<b>60.393</b>	0.000	390.661	-	<b>322.866</b>
2	1.00	0.74								<b>0.201</b>	<b>0.204</b>	0.000	0.826	-	<b>0.826</b>
3	100 x 74		30.00	450.00	OK	N8	N9	14-2-P16	12'804	2359.040	86.218	0.000	397.059	-	312.832
2	1.00	0.74								<b>0.204</b>	<b>0.204</b>	0.000	0.788	-	<b>0.788</b>
4	100 x 74		30.00	450.00	OK	N8	N9	14-2-P16	12'804	2335.560	122.781	0.000	403.077	-	305.999
2	1.00	0.74								<b>0.211</b>	<b>0.212</b>	0.000	0.759	-	<b>0.759</b>
5	100 x 74		30.00	450.00	OK	N8	N9	14-2-P16	12'804	2315.530	155.208	0.000	408.604	-	302.052
2	1.00	0.74								<b>0.219</b>	<b>0.217</b>	0.000	0.739	-	<b>0.739</b>
6	100 x 74		30.00	450.00	OK	N8	N9	14-2-P16	12'804	2298.220	185.290	0.000	413.559	-	300.806
2	1.00	0.74								<b>0.227</b>	<b>0.224</b>	0.000	0.727	-	<b>0.727</b>
7	100 x 74		30.00	450.00	OK	N8	N9	14-2-P16	12'804	2282.820	214.820	0.000	417.852	-	301.948
2	1.00	0.74								<b>0.234</b>	<b>0.237</b>	0.000	0.723	-	<b>0.723</b>
8	100 x 74		30.00	450.00	OK	N8	N9	14-2-P16	12'804	2268.530	245.573	0.000	421.381	-	305.052
2	1.00	0.74								<b>0.245</b>	<b>0.243</b>	0.000	0.724	-	<b>0.724</b>
9	100 x 74		30.00	450.00	OK	N8	N9	14-2-P16	12'804	2254.610	279.275	0.000	424.087	-	309.795
2	1.00	0.74								<b>0.257</b>	<b>0.254</b>	0.000	0.730	-	<b>0.730</b>
10	100 x 74		30.00	450.00	OK	N8	N9	14-2-P16	12'804	2247.260	310.176	0.000	427.177	-	282.288
2	1.00	0.74								<b>0.266</b>	<b>0.270</b>	0.000	0.661	-	<b>0.661</b>
11	100 x 74		30.00	450.00	OK	N9	N9	14-2-P16	12'804	1273.790	390.848	0.000	430.046	-	237.045
2	1.00	0.74								<b>0.289</b>	<b>0.288</b>	0.000	0.551	-	<b>0.551</b>
12	100 x 74		30.00	450.00	OK	N9	N9	14-2-P16	12'804	1291.020	431.070	0.000	432.552	-	186.711
2	1.00	0.74								<b>0.327</b>	<b>0.329</b>	0.000	0.432	-	<b>0.432</b>
13	100 x 74		30.00	450.00	OK	N9	N9	14-2-P16	12'804	1305.350	456.455	0.000	434.654	-	137.199
2	1.00	0.74								<b>0.365</b>	<b>0.363</b>	0.000	0.316	-	<b>0.316</b>
14	100 x 74		30.00	450.00	OK	N9	N9	14-2-P16	12'804	1317.170	467.225	0.000	436.405	-	88.436
2	1.00	0.74								<b>0.383</b>	<b>0.377</b>	0.000	0.203	-	<b>0.203</b>
15	100 x 74		30.00	450.00	OK	N9	N9	14-2-P16	12'804	1326.780	467.225	0.000	566.032	-	109.078
2	1.00	0.74								<b>0.386</b>	<b>0.377</b>	0.000	0.193	-	<b>0.193</b>
16	100 x 74		30.00	450.00	OK	N9	N9	14-2-P16	12'804	1326.800	467.192	0.000	566.033	-	109.076
2	1.00	0.74								<b>0.386</b>	<b>0.377</b>	0.000	0.193	-	<b>0.193</b>
17	100 x 74		30.00	450.00	OK	N9	N9	14-2-P16	12'804	1317.200	467.192	0.000	436.410	-	88.544
2	1.00	0.74								<b>0.383</b>	<b>0.377</b>	0.000	0.203	-	<b>0.203</b>
18	100 x 74		30.00	450.00	OK	N9	N9	14-2-P16	12'804	1305.410	456.390	0.000	434.662	-	137.305
2	1.00	0.74								<b>0.366</b>	<b>0.363</b>	0.000	0.316	-	<b>0.316</b>
19	100 x 74		30.00	450.00	OK	N9	N9	14-2-P16	12'804	1291.100	430.973	0.000	432.564	-	186.813
2	1.00	0.74								<b>0.327</b>	<b>0.329</b>	0.000	0.432	-	<b>0.432</b>
20	100 x 74		30.00	450.00	OK	N9	N9	14-2-P16	12'804	1273.900	390.721	0.000	430.060	-	237.144
2	1.00	0.74								<b>0.289</b>	<b>0.288</b>	0.000	0.551	-	<b>0.551</b>
21	100 x 74		30.00	450.00	OK	N8	N9	14-2-P16	12'804	2247.400	310.141	0.000	427.195	-	282.383
2	1.00	0.74								<b>0.266</b>	<b>0.270</b>	0.000	0.661	-	<b>0.661</b>
22	100 x 74		30.00	450.00	OK	N8	N9	14-2-P16	12'804	2254.780	279.214	0.000	424.108	-	309.884
2	1.00	0.74								<b>0.257</b>	<b>0.254</b>	0.000	0.731	-	<b>0.731</b>
23	100 x 74		30.00	450.00	OK	N8	N9	14-2-P16	12'804	2268.730	245.483	0.000	421.406	-	305.131
2	1.00	0.74								<b>0.245</b>	<b>0.243</b>	0.000	0.724	-	<b>0.724</b>
24	100 x 74		30.00	450.00	OK	N8	N9	14-2-P16	12'804	2283.070	214.694	0.000	417.882	-	302.015
2	1.00	0.74								<b>0.234</b>	<b>0.237</b>	0.000	0.723	-	<b>0.723</b>
25	100 x 74		30.00	450.00	OK	N8	N9	14-2-P16	12'804	2298.500	185.133	0.000	413.594	-	300.859
2	1.00	0.74								<b>0.227</b>	<b>0.224</b>	0.000	0.727	-	<b>0.727</b>
26	100 x 74		30.00	450.00	OK	N8	N9	14-2-P16	12'804	2315.850	155.038	0.000	408.644	-	302.088
2	1.00	0.74								<b>0.219</b>	<b>0.217</b>	0.000	0.739	-	<b>0.739</b>
27	100 x 74		30.00	450.00	OK	N8	N9	14-2-P16	12'804	2335.910	122.617	0.000	403.121	-	306.018
2	1.00	0.74								<b>0.211</b>	<b>0.212</b>	0.000	0.759	-	<b>0.759</b>
28	100 x 74		30.00	450.00	OK	N8	N9	14-2-P16	12'804	2359.400	86.079	0.000	397.108	-	312.829
2	1.00	0.74								<b>0.204</b>	<b>0.204</b>	0.000	0.788	-	<b>0.788</b>
29	100 x 74		30.00	450.00	OK	N7	N9	14-2-P16	12'804	2407.020	60.515	0.000	390.716	-	322.841
2	1.00	0.74								<b>0.201</b>	<b>0.204</b>	0.000	0.826	-	<b>0.826</b>
30	100 x 74		30.00	450.00	OK	N7	N9	14-2-P16	12'804	2445.470	123.540	0.000	384.632	-	340.365
2	1.00	0.74								<b>0.220</b>	<b>0.219</b>	0.000	0.885	-	<b>0.885</b>

SECTION CHECKING															
MEMBER	SECTION PROPERTIES		fck	fyk	CHECK	LOAD CB	LOAD CB	Rebar	N_Rdmax	N_Ed	M_Edy	M_Edz	V_Rdc	V_Rds	V_Ed
SECTION	Bc (m)	Hc (m)	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		M-N iteration	V			Ratio-N	Ratio-My	Ratio-Mz	Ratio-Vc	Ratio-Vs	Ratio-V
31	100 x 68		30.00	450.00	OK	N7	N10	14-2-P16	11'848	2490.240	189.103	0.000	339.466	-	273.773
3	1.00	0.68								0.267	0.267	0.000	0.806	-	0.806
32	100 x 70		30.00	450.00	OK	N7	N10	14-2-P16	12'964	2504.270	240.077	0.000	360.882	-	224.498
5	1.00	0.75								0.253	0.258	0.000	0.622	-	0.622
33	100 X 75		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	12'964	920.848	355.862	0.000	362.035	-	174.548
6	1.00	0.75								0.299	0.297	0.000	0.482	-	0.482
34	100 X 85		30.00	450.00	OK	N7	N10	14-2-P16	14'557	2518.180	301.207	0.000	390.294	-	124.449
8	1.00	0.85								0.234	0.239	0.000	0.319	-	0.319
35	100 X 85		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	14'557	923.590	385.555	0.000	390.451	-	74.104
8	1.00	0.85								0.262	0.257	0.000	0.190	-	0.190
36	100 X 80		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	13'760	924.916	385.555	0.000	524.458	-	40.135
7	1.00	0.80								0.294	0.293	0.000	0.077	-	0.077
37	100 X 80		30.00	450.00	OK	N9	N7	14-2-P16	13'760	918.491	384.966	0.000	621.942	-	81.668
7	1.00	0.80								0.292	0.292	0.000	0.131	-	0.131
38	100 X 80		30.00	450.00	OK	N9	N7	14-2-P16	13'760	907.557	376.116	0.000	619.954	-	186.514
7	1.00	0.80								0.289	0.286	0.000	0.301	-	0.301
39	100 X 75		30.00	450.00	OK	N9	N7	14-2-P16	12'964	896.823	353.663	0.000	589.773	-	185.137
6	1.00	0.75								0.306	0.301	0.000	0.314	-	0.314
40	100 X 75		30.00	450.00	OK	N9	N7	14-2-P16	12'964	883.835	321.694	0.000	356.297	-	113.558
6	1.00	0.75								0.253	0.253	0.000	0.319	-	0.319
41	100 x 65		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	11'370	870.448	286.911	0.000	326.245	-	120.547
4	1.00	0.65								0.291	0.292	0.000	0.369	-	0.369
42	100 x 65		30.00	450.00	OK	N7	N10	14-2-P16	11'370	2447.000	151.194	0.000	324.495	-	121.455
4	1.00	0.65								0.264	0.259	0.000	0.374	-	0.374
43	100 x 60		30.00	450.00	OK	N7	N10	14-2-P14	10'337	2436.660	124.985	0.000	308.294	-	117.335
1	1.00	0.60								0.284	0.278	0.000	0.381	-	0.381
44	100 x 60		30.00	450.00	OK	N7	N10	14-2-P14	10'337	2428.560	106.655	0.000	306.725	-	108.098
1	1.00	0.60								0.273	0.278	0.000	0.352	-	0.352
45	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	2399.210	133.203	0.000	476.962	-	204.486
1	1.00	0.60								0.282	0.286	0.000	0.429	-	0.429
46	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	2401.960	167.815	0.000	476.962	-	184.033
1	1.00	0.60								0.300	0.297	0.000	0.386	-	0.386
47	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	2403.500	196.596	0.000	476.962	-	159.288
1	1.00	0.60								0.314	0.314	0.000	0.334	-	0.334
48	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	2403.640	218.815	0.000	476.962	-	135.779
1	1.00	0.60								0.329	0.323	0.000	0.285	-	0.285
49	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N10	14-2-P14	10'337	2402.220	233.498	0.000	300.278	-	71.831
1	1.00	0.60								0.333	0.337	0.000	0.239	-	0.239
50	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N10	14-2-P14	10'337	2399.010	239.404	0.000	298.817	-	66.480
1	1.00	0.60								0.341	0.335	0.000	0.222	-	0.222
51	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	2399.140	239.404	0.000	476.962	-	117.216
1	1.00	0.60								0.341	0.335	0.000	0.246	-	0.246
52	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	2391.420	235.029	0.000	476.962	-	151.487
1	1.00	0.60								0.333	0.337	0.000	0.318	-	0.318
53	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	2381.690	220.570	0.000	476.962	-	180.947
1	1.00	0.60								0.326	0.325	0.000	0.379	-	0.379
54	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	2370.290	197.418	0.000	476.962	-	205.489
1	1.00	0.60								0.313	0.310	0.000	0.431	-	0.431
55	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	2357.590	166.994	0.000	476.962	-	225.035
1	1.00	0.60								0.294	0.296	0.000	0.472	-	0.472
56	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	2343.970	130.748	0.000	476.962	-	239.534
1	1.00	0.60								0.278	0.272	0.000	0.502	-	0.502
57	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	2329.800	90.146	0.000	476.962	-	248.967
1	1.00	0.60								0.257	0.259	0.000	0.522	-	0.522
58	100 x 60		30.00	450.00	OK	N8	N6	14-2-P14	10'337	2286.680	92.804	0.000	476.962	-	253.341
1	1.00	0.60								0.255	0.253	0.000	0.531	-	0.531
59	100 x 60		30.00	450.00	OK	N8	N6	14-2-P14	10'337	2271.690	142.342	0.000	476.962	-	252.693
1	1.00	0.60								0.274	0.279	0.000	0.530	-	0.530
60	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P14	10'337	2249.470	190.551	0.000	476.962	-	247.087
1	1.00	0.60								0.297	0.299	0.000	0.518	-	0.518



SECTION CHECKING															
MEMBER	SECTION PROPERTIES		fck	fyk	CHECK	LOAD CB	LOAD CB	Rebar	N_Rdmax	N_Ed	M_Edy	M_Edz	V_Rdc	V_Rds	V_Ed
SECTION	Bc (m)	Hc (m)	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		M-N iteration	V			Ratio-N	Ratio-My	Ratio-Mz	Ratio-Vc	Ratio-Vs	Ratio-V
61	100 x 60		30.00	450.00	OK	N8	N6	14-2-P14	10'337	2244.180	233.691	0.000	476.962	-	236.615
1	1.00	0.60								0.325	0.319	0.000	0.496	-	0.496
62	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P14	10'337	2223.950	275.271	0.000	476.962	-	221.395
1	1.00	0.60								0.347	0.349	0.000	0.464	-	0.464
63	100 x 60		30.00	450.00	OK	N8	N6	14-2-P14	10'337	2222.330	305.257	0.000	476.962	-	201.572
1	1.00	0.60								0.373	0.366	0.000	0.423	-	0.423
64	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P14	10'337	2205.620	334.000	0.000	476.962	-	177.315
1	1.00	0.60								0.385	0.392	0.000	0.372	-	0.372
65	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P14	10'337	2199.960	350.343	0.000	476.962	-	148.816
1	1.00	0.60								0.398	0.405	0.000	0.312	-	0.312
66	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P14	10'337	2197.040	356.379	0.000	476.962	-	116.290
1	1.00	0.60								0.405	0.408	0.000	0.244	-	0.244
67	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P14	10'337	2196.920	356.379	0.000	476.962	-	112.965
1	1.00	0.60								0.405	0.408	0.000	0.237	-	0.237
68	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P14	10'337	2199.610	351.341	0.000	476.962	-	145.507
1	1.00	0.60								0.398	0.406	0.000	0.305	-	0.305
69	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P14	10'337	2205.030	335.990	0.000	476.962	-	174.040
1	1.00	0.60								0.392	0.391	0.000	0.365	-	0.365
70	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P14	10'337	2212.900	311.526	0.000	476.962	-	198.348
1	1.00	0.60								0.372	0.374	0.000	0.416	-	0.416
71	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P14	10'337	2222.900	279.210	0.000	476.962	-	218.237
1	1.00	0.60								0.346	0.354	0.000	0.458	-	0.458
72	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P14	10'337	2234.710	240.365	0.000	476.962	-	233.539
1	1.00	0.60								0.323	0.329	0.000	0.490	-	0.490
73	100 x 60		30.00	450.00	OK	N8	N6	14-2-P14	10'337	2255.940	195.525	0.000	476.962	-	244.110
1	1.00	0.60								0.303	0.297	0.000	0.512	-	0.512
74	100 x 60		30.00	450.00	OK	N8	N6	14-2-P14	10'337	2270.920	143.831	0.000	476.962	-	253.215
1	1.00	0.60								0.276	0.274	0.000	0.531	-	0.531
75	100 x 60		30.00	450.00	OK	N8	N6	14-2-P14	10'337	2285.950	94.126	0.000	476.962	-	253.918
1	1.00	0.60								0.255	0.257	0.000	0.532	-	0.532
76	100 x 60		30.00	450.00	OK	N7	N6	14-2-P14	10'337	2345.180	82.427	0.000	476.962	-	249.596
1	1.00	0.60								0.256	0.258	0.000	0.523	-	0.523
77	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	2343.370	130.151	0.000	476.962	-	240.212
1	1.00	0.60								0.275	0.280	0.000	0.504	-	0.504
78	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	2357.040	166.632	0.000	476.962	-	225.758
1	1.00	0.60								0.294	0.295	0.000	0.473	-	0.473
79	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	2369.800	197.301	0.000	476.962	-	206.254
1	1.00	0.60								0.313	0.310	0.000	0.432	-	0.432
80	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	2381.250	220.709	0.000	476.962	-	181.750
1	1.00	0.60								0.326	0.326	0.000	0.381	-	0.381
81	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	2391.050	235.431	0.000	476.962	-	152.323
1	1.00	0.60								0.333	0.338	0.000	0.319	-	0.319
82	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	2398.830	240.077	0.000	476.962	-	118.081
1	1.00	0.60								0.341	0.336	0.000	0.248	-	0.248
83	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N10	14-2-P14	10'337	2398.750	240.077	0.000	298.774	-	66.329
1	1.00	0.60								0.341	0.336	0.000	0.222	-	0.222
84	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N10	14-2-P14	10'337	2402.000	234.364	0.000	300.234	-	71.673
1	1.00	0.60								0.335	0.336	0.000	0.239	-	0.239
85	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	2403.450	219.810	0.000	476.962	-	135.534
1	1.00	0.60								0.329	0.324	0.000	0.284	-	0.284
86	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	2403.320	197.664	0.000	476.962	-	158.880
1	1.00	0.60								0.317	0.311	0.000	0.333	-	0.333
87	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	2401.790	168.912	0.000	476.962	-	183.816
1	1.00	0.60								0.300	0.299	0.000	0.385	-	0.385
88	100 x 60		30.00	450.00	OK	N7	N6	14-2-P14	10'337	2416.300	129.255	0.000	476.962	-	204.424
1	1.00	0.60								0.281	0.287	0.000	0.429	-	0.429
89	100 x 60		30.00	450.00	OK	N7	N10	14-2-P14	10'337	2428.350	107.532	0.000	306.674	-	107.931
1	1.00	0.60								0.274	0.274	0.000	0.352	-	0.352
90	100 x 60		30.00	450.00	OK	N7	N10	14-2-P14	10'337	2436.440	125.787	0.000	308.243	-	117.164
1	1.00	0.60								0.284	0.280	0.000	0.380	-	0.380

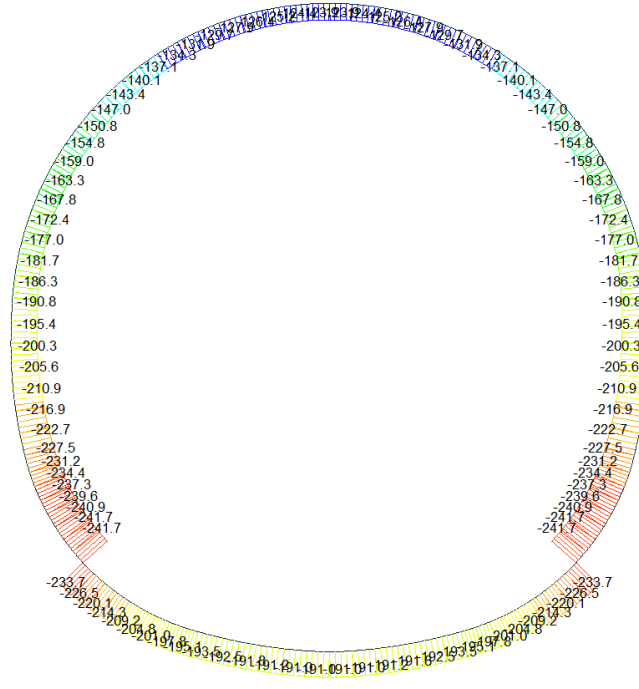
SECTION CHECKING															
MEMBER	SECTION PROPERTIES		fck	fyk	CHECK	LOAD CB	LOAD CB	Rebar	N_Rdmax	N_Ed	M_Edy	M_Edz	V_Rdc	V_Rds	V_Ed
SECTION	Bc (m)	Hc (m)	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		M-N iteration	V			Ratio-N	Ratio-My	Ratio-Mz	Ratio-Vc	Ratio-Vs	Ratio-V
91	100 x 65		30.00	450.00	OK	N7	N10	14-2-P16	11'370	2446.770	151.913	0.000	324.442	-	121.280
4	1.00	0.65								<b>0.264</b>	<b>0.260</b>	0.000	0.374	-	<b>0.374</b>
92	100 x 65		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	11'370	870.054	286.984	0.000	326.191	-	120.364
4	1.00	0.65								<b>0.291</b>	<b>0.292</b>	0.000	0.369	-	<b>0.369</b>
93	100 x 75		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	12'964	883.434	321.725	0.000	356.241	-	113.365
6	1.00	0.75								<b>0.253</b>	<b>0.253</b>	0.000	0.318	-	<b>0.318</b>
94	100 x 75		30.00	450.00	OK	N9	N7	14-2-P16	12'964	896.415	353.650	0.000	589.773	-	184.829
6	1.00	0.75								<b>0.305</b>	<b>0.301</b>	0.000	0.313	-	<b>0.313</b>
95	100 x 80		30.00	450.00	OK	N9	N7	14-2-P16	13'760	907.142	376.068	0.000	619.913	-	186.201
7	1.00	0.80								<b>0.288</b>	<b>0.286</b>	0.000	0.300	-	<b>0.300</b>
96	100 x 80		30.00	450.00	OK	N9	N7	14-2-P16	13'760	918.064	384.890	0.000	621.897	-	81.361
7	1.00	0.80								<b>0.292</b>	<b>0.292</b>	0.000	0.131	-	<b>0.131</b>
97	100 x 80		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	13'760	924.480	385.450	0.000	524.430	-	40.438
7	1.00	0.80								<b>0.294</b>	<b>0.293</b>	0.000	0.077	-	<b>0.077</b>
98	100 x 85		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	14'557	923.145	385.450	0.000	390.386	-	74.279
8	1.00	0.85								<b>0.262</b>	<b>0.256</b>	0.000	0.190	-	<b>0.190</b>
99	100 x 85		30.00	450.00	OK	N7	N10	14-2-P16	14'557	2517.810	301.398	0.000	390.227	-	124.595
8	1.00	0.85								<b>0.234</b>	<b>0.239</b>	0.000	0.319	-	<b>0.319</b>
100	100 x 75		30.00	450.00	OK	N9	N10	14-2-P16	12'964	920.384	355.692	0.000	361.967	-	174.665
6	1.00	0.75								<b>0.299</b>	<b>0.296</b>	0.000	0.483	-	<b>0.483</b>
101	100 x 70		30.00	450.00	OK	N7	N10	14-2-P16	12'964	2503.860	240.146	0.000	360.813	-	224.584
5	1.00	0.75								<b>0.253</b>	<b>0.259</b>	0.000	0.622	-	<b>0.622</b>
102	100 x 68		30.00	450.00	OK	N7	N10	14-2-P16	11'848	2489.810	189.111	0.000	339.397	-	273.829
3	1.00	0.68								<b>0.267</b>	<b>0.267</b>	0.000	0.807	-	<b>0.807</b>

A.4.4.18. Rebared section checking for fire combinations load

SECTION CHECKING - FIRE COMBINATIONS LOAD															
MEMBER	SECTION PROPERTIES		fck	fyk	CHECK	LOAD CB	LOAD CB	Rebar	N_Rdmax	N_Ed	M_Edy	M_Edz	V_Rdc	V_Rds	V_Ed
SECTION	Bc (m)	Hc (m)	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		M-N iteration	V			Ratio-N	Ratio-My	Ratio-Mz	Ratio-Vc	Ratio-Vs	Ratio-V
65(M+N) / 74(V)	100 x 60		30.00	360.00	OK	N22	N22	14-2-P14	7'105	1638.250	217.963	0.000	478.599	-	180.538
1	1.00	0.55								<b>0.223</b>	<b>0.218</b>	0.000	0.377	-	<b>0.377</b>
12(M+N) / 1(V)	100 x 74		30.00	360.00	OK	N24	N23	14-2-P16	6'936	1661.600	207.962	0.000	556.318	-	254.071
2	1.00	0.69								<b>0.148</b>	<b>0.150</b>	0.000	0.457	-	<b>0.457</b>
31(M+N) / 102(V)	100 x 68		30.00	360.00	OK	N23	N23	14-2-P16	7'821	1830.720	115.129	0.000	544.697	-	237.875
3	1.00	0.63								<b>0.146</b>	<b>0.146</b>	0.000	0.437	-	<b>0.437</b>
92(M+N) / 41(V)	100 x 65		30.00	360.00	OK	N23	N23	14-2-P16	8'707	1805.480	100.933	0.000	532.857	-	111.726
4	1.00	0.60								<b>0.148</b>	<b>0.149</b>	0.000	0.210	-	<b>0.210</b>
101(M+N) / 101(V)	100 x 70		30.00	360.00	OK	N23	N24	14-2-P16	9'946	1840.100	149.588	0.000	549.155	-	186.595
5	1.00	0.65								<b>0.151</b>	<b>0.152</b>	0.000	0.340	-	<b>0.340</b>
100(M+N) / 100(V)	100 x 75		30.00	360.00	OK	N23	N24	14-2-P16	6'050	1846.340	174.336	0.000	563.298	-	140.486
6	1.00	0.70								<b>0.144</b>	<b>0.146</b>	0.000	0.249	-	<b>0.249</b>
97(M+N) / 38(V)	100 x 80		30.00	360.00	OK	N23	N23	14-2-P16	10'478	1849.850	196.758	0.000	576.777	-	139.005
7	1.00	0.75								<b>0.138</b>	<b>0.140</b>	0.000	0.241	-	<b>0.241</b>
98(M+N) / 99(V)	100 x 85		30.00	360.00	OK	N23	42	14-2-P16	10'478	1849.000	196.758	0.000	588.679	-	97.132
8	1.00	0.80								<b>0.127</b>	<b>0.128</b>	0.000	0.165	-	<b>0.165</b>

A.4.4.19. Load combination SLE 1

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 1



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

Blue	-123.73
Cyan	-134.46
Green	-145.19
Light Green	-155.92
Yellow-Green	-166.64
Yellow	-177.37
Orange-Yellow	-188.10
Orange	-198.83
Red-Orange	-209.55
Red	-220.28
Dark Red	-231.01
Black	-241.74

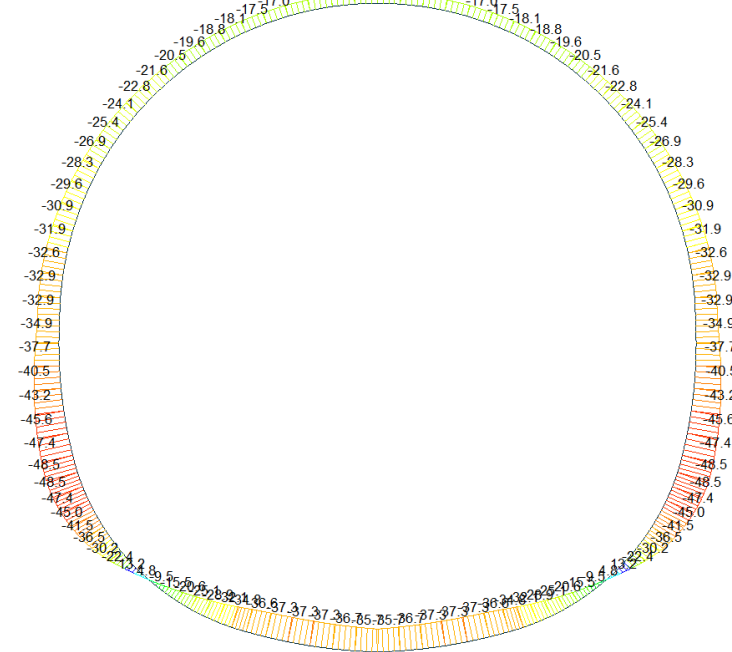
ST: NSLE - 1

MAX : 67  
MIN : 101

FILE: GL\_T4  
UNIT: kN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 1



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

Blue	13.18
Cyan	7.57
Green	0.00
Light Green	-3.64
Yellow-Green	-9.25
Yellow	-14.85
Orange-Yellow	-20.46
Orange	-26.07
Red-Orange	-31.67
Red	-37.28
Dark Red	-42.89
Black	-48.49

ST: NSLE - 1

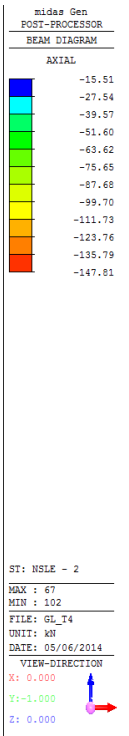
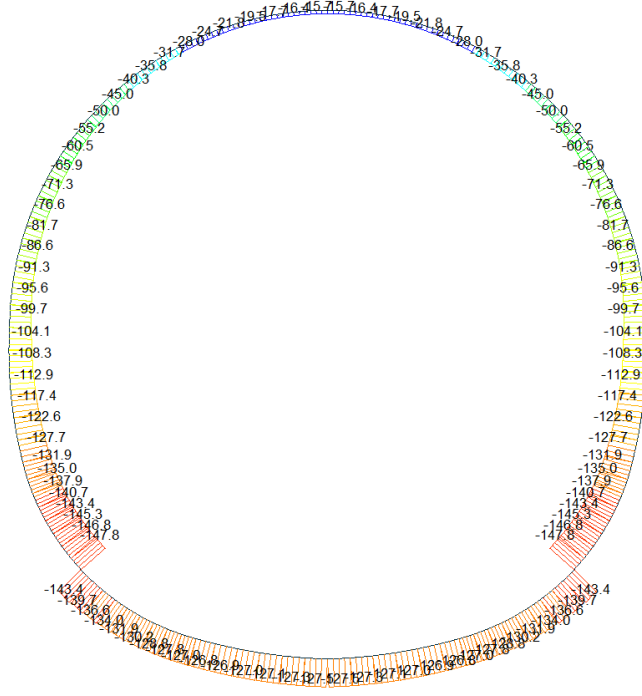
MAX : 30  
MIN : 95

FILE: GL\_T4  
UNIT: kNm  
DATE: 05/06/2014

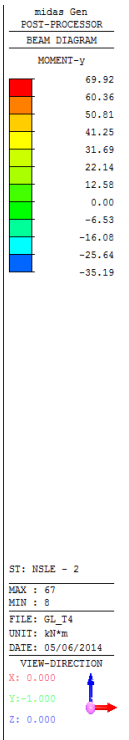
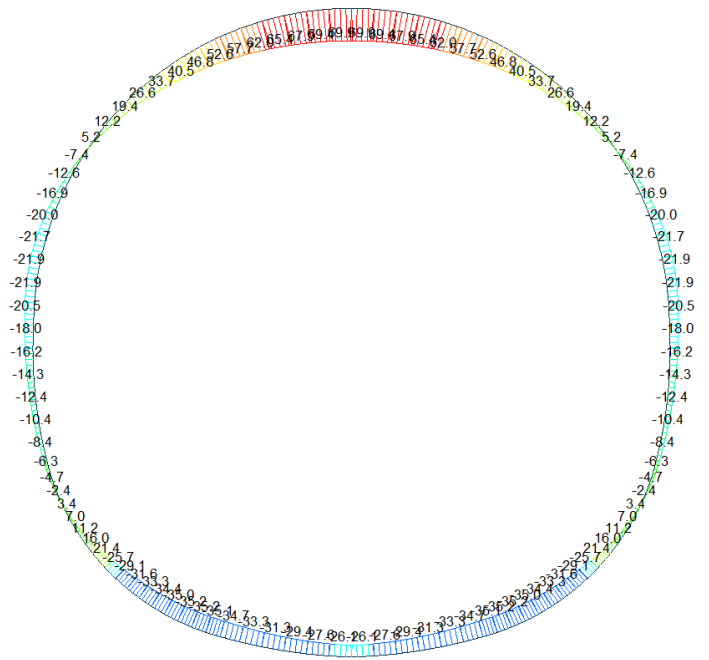
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.4.20. Load combination SLE 2

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 2

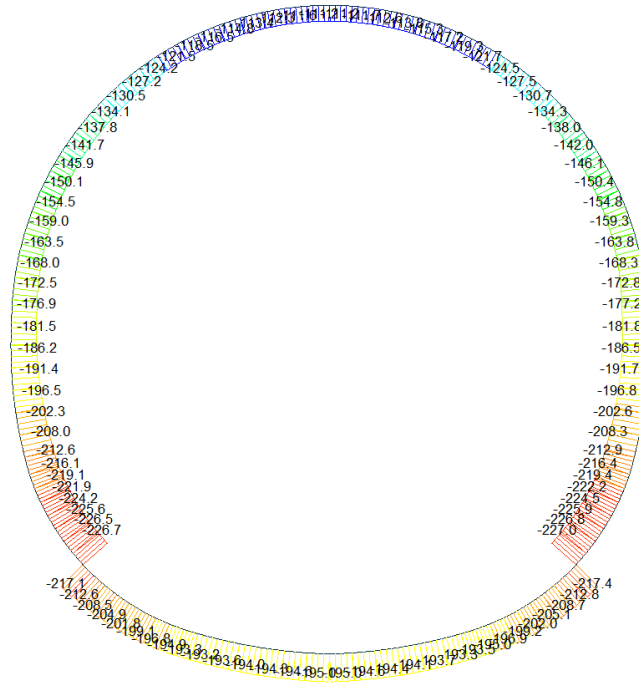


Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 2



A.4.4.21. Load combination SLE 3

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 3



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

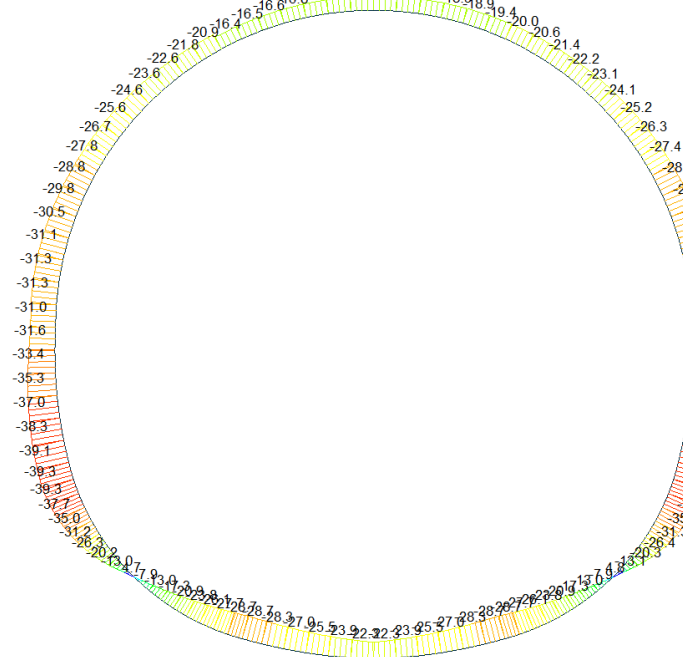
AXIAL

Blue	-110.99
Cyan	-121.54
Green	-132.08
Light Green	-142.62
Yellow-Green	-153.17
Yellow	-163.71
Orange-Yellow	-174.26
Orange	-184.80
Red-Orange	-195.34
Red	-205.89
Dark Red	-216.43
Black	-226.98

ST: NSLE - 3  
MAX : 67  
MIN : 31  
FILE: GL\_T4  
UNIT: kN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 3



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

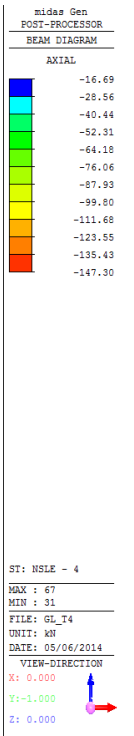
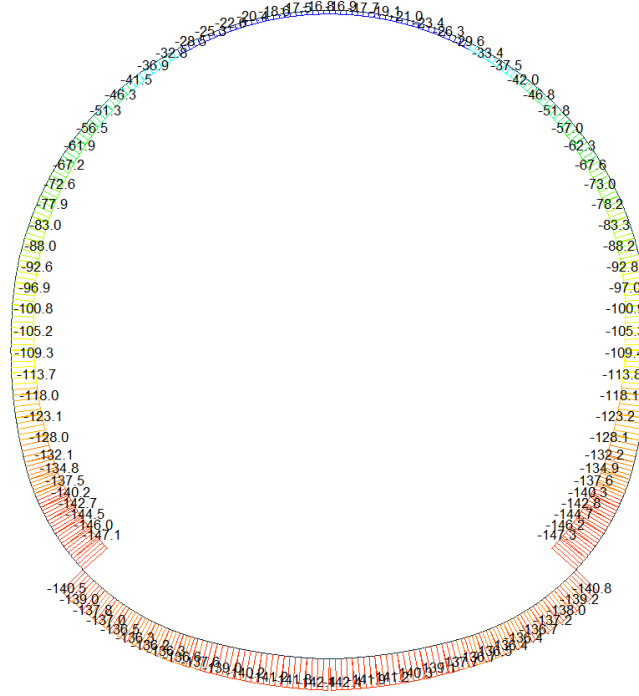
Blue	4.76
Cyan	0.00
Green	-3.26
Light Green	-7.28
Yellow-Green	-11.29
Yellow	-15.30
Orange-Yellow	-19.31
Orange	-23.33
Red-Orange	-27.34
Red	-31.35
Dark Red	-35.37
Black	-39.38

ST: NSLE - 3  
MAX : 30  
MIN : 37  
FILE: GL\_T4  
UNIT: kNm  
DATE: 05/06/2014

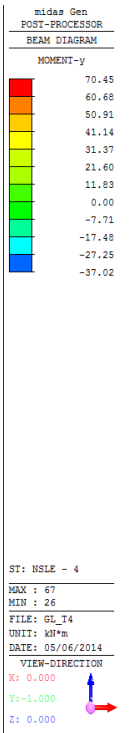
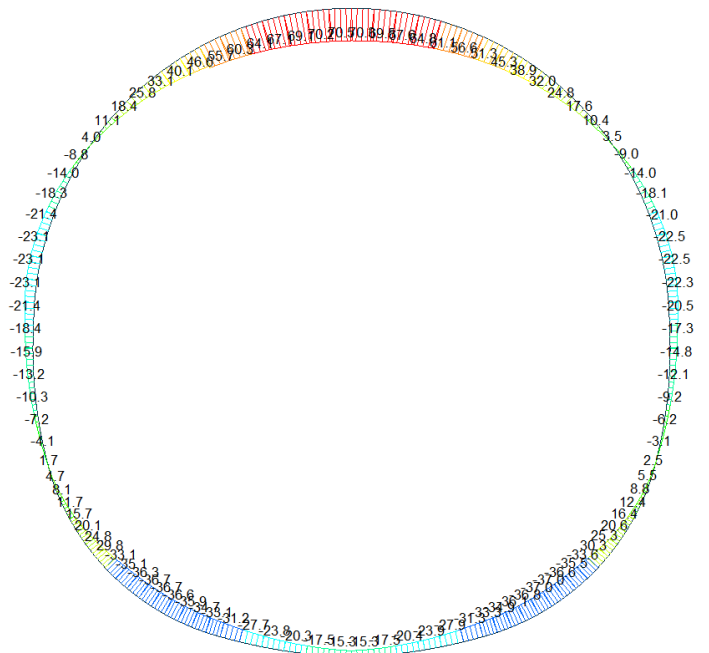
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.4.22. Load combination SLE 4

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 4

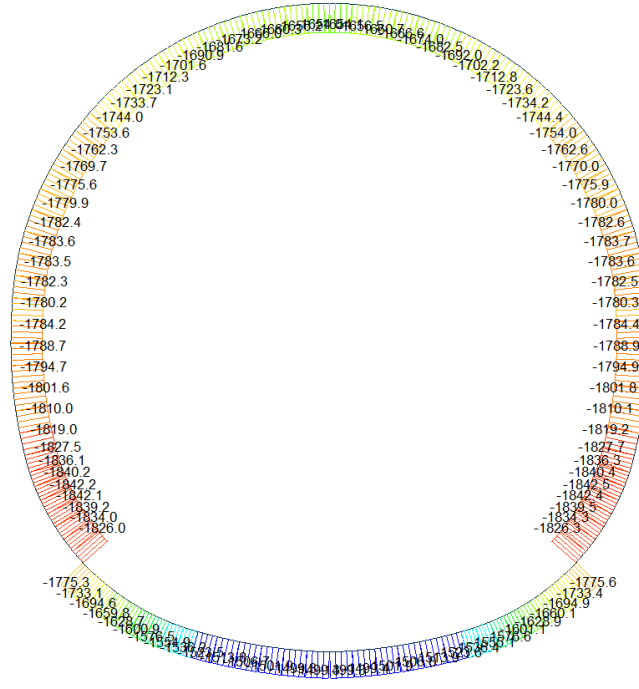


Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 4

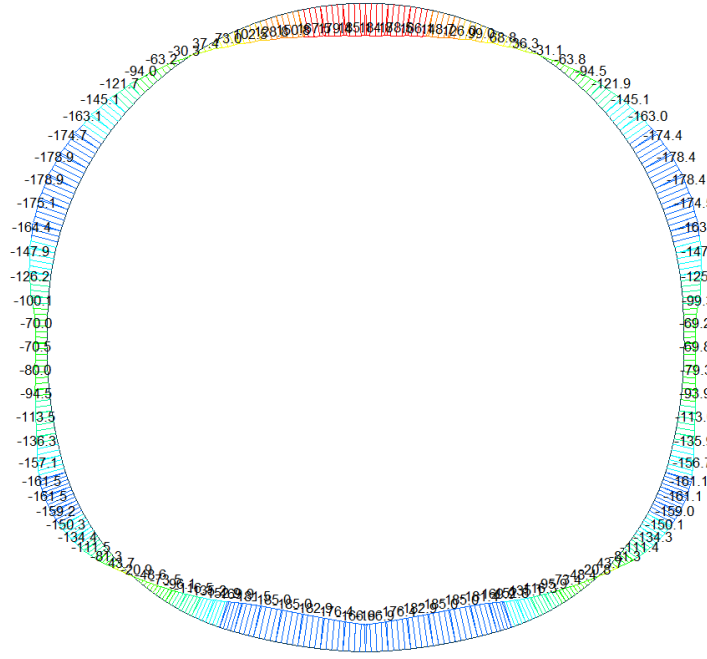


A.4.4.23. Load combination SLE 5

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 5

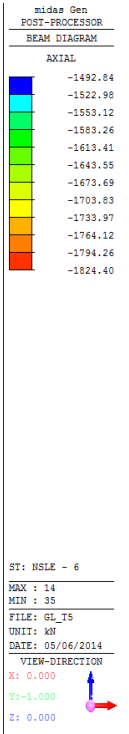
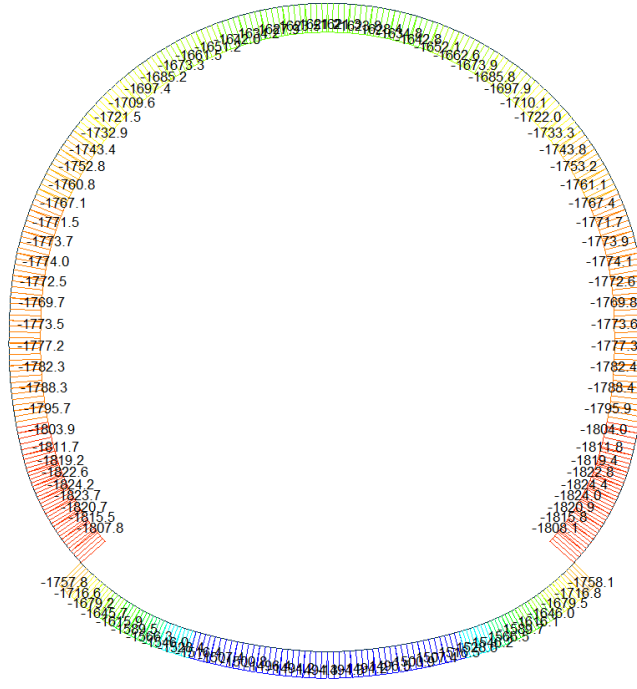


Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 5

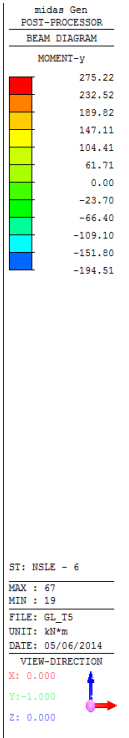
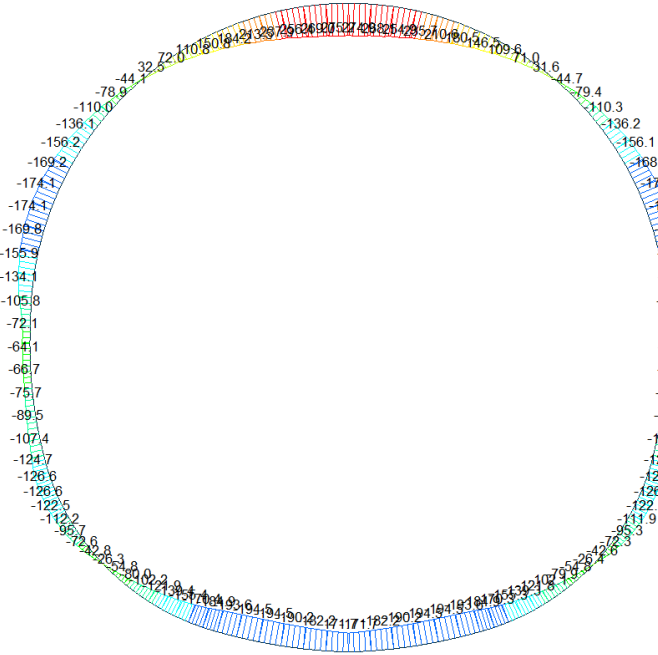


A.4.4.24. Load combination SLE 6

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 6



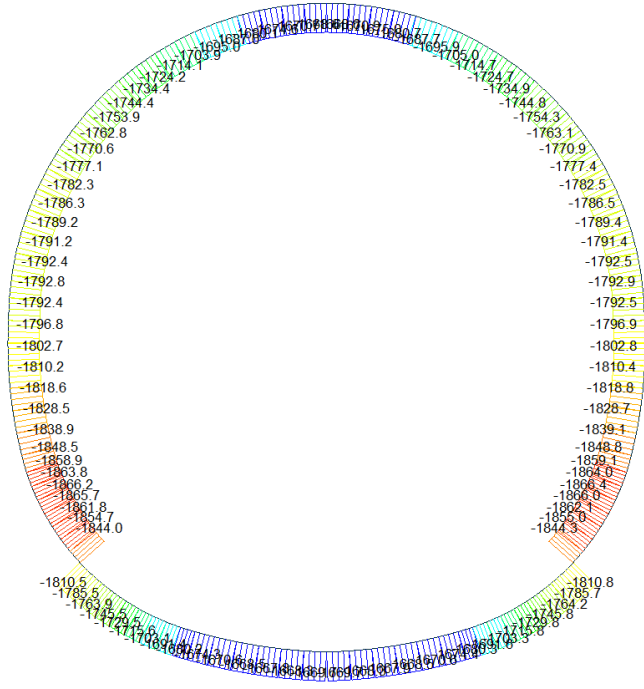
Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 6





A.4.4.25. Load combination SLE 7

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 7



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

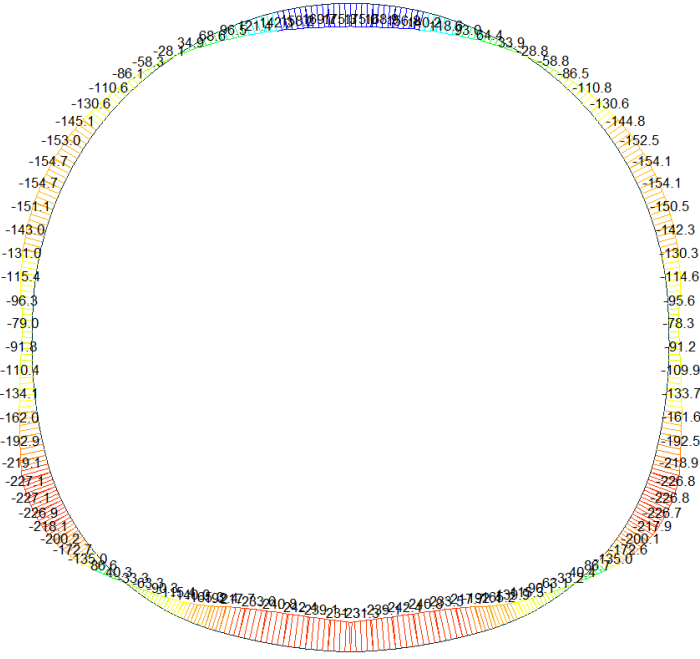
ST: NSLE - 7

MAX : 13  
MIN : 35

FILE: GL\_T5  
UNIT: kN  
DATE: 05/06/2014

VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 7



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

ST: NSLE - 7

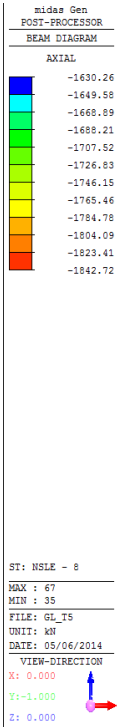
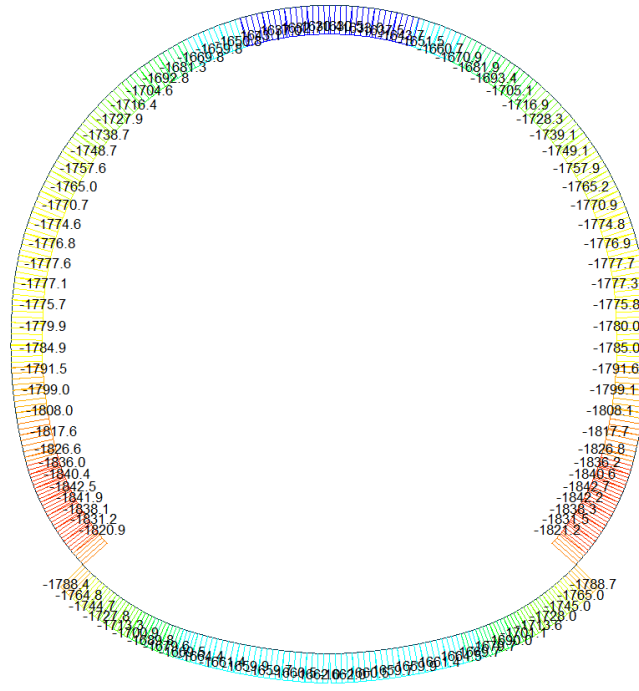
MAX : 67  
MIN : 13

FILE: GL\_T5  
UNIT: kNm  
DATE: 05/06/2014

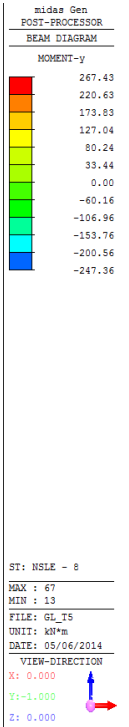
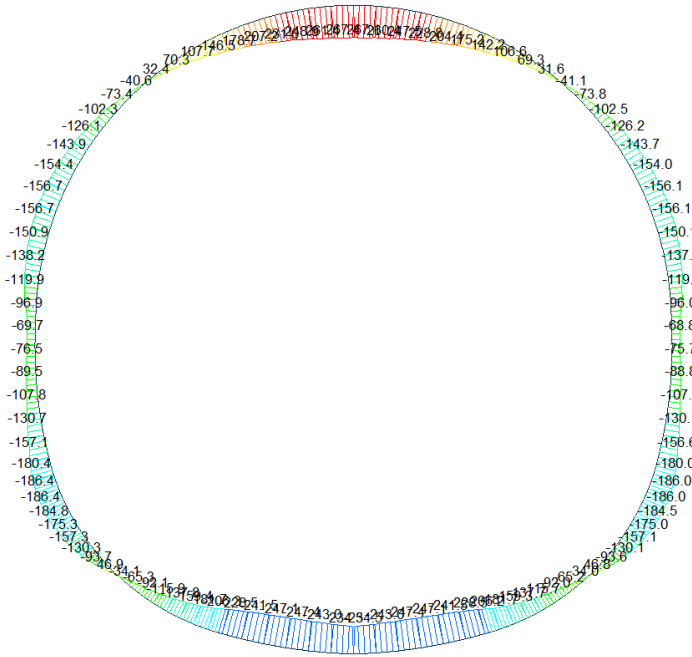
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.4.26. Load combination SLE 8

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 8

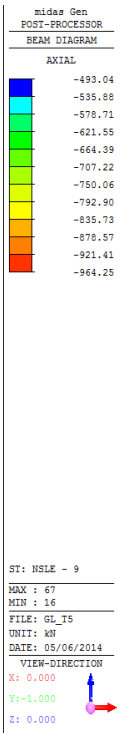
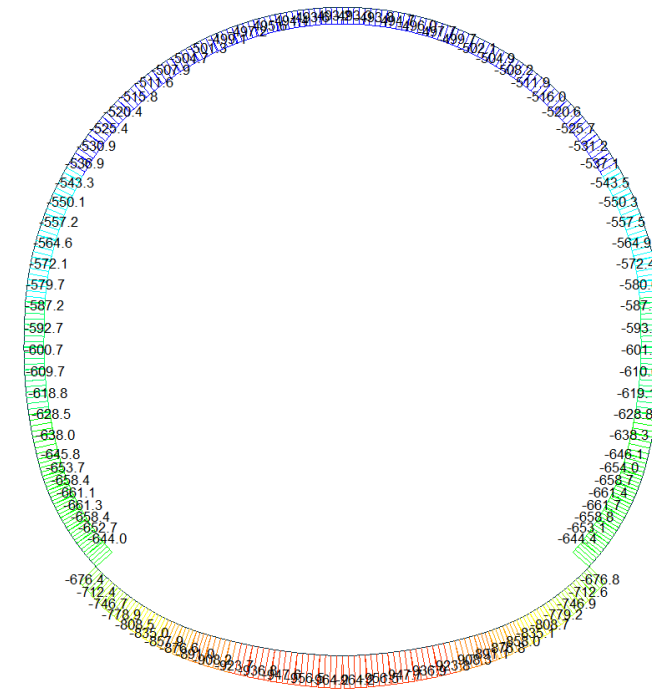


Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 8

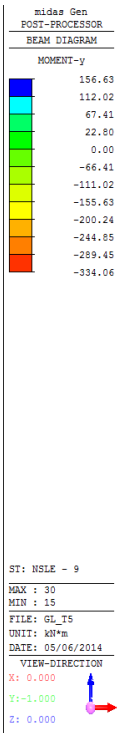
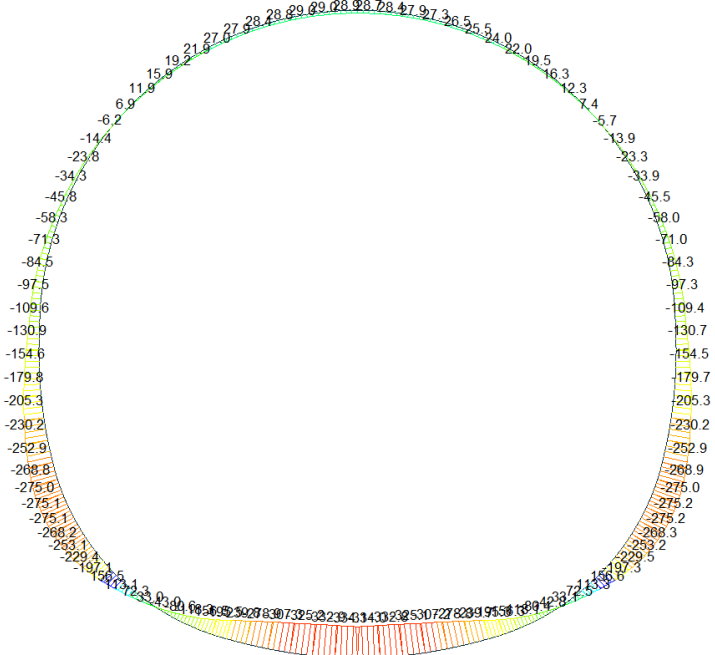


A.4.4.27. Load combination SLE 9

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 9

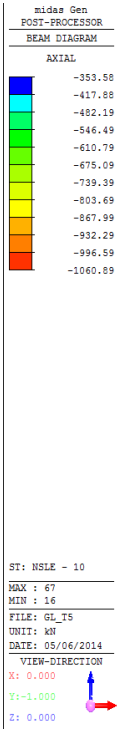
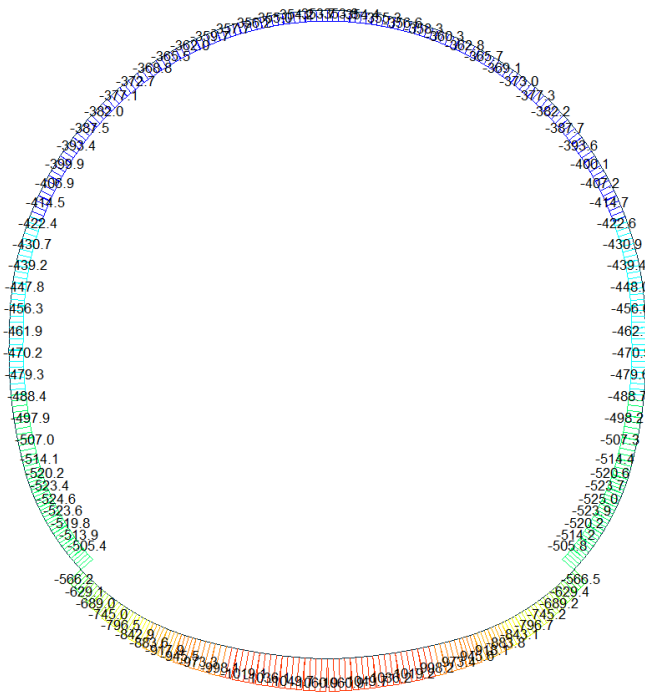


Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 9

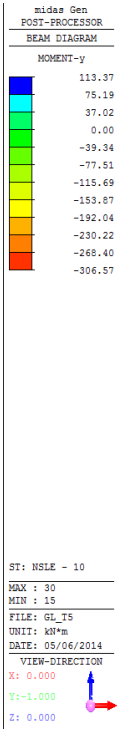
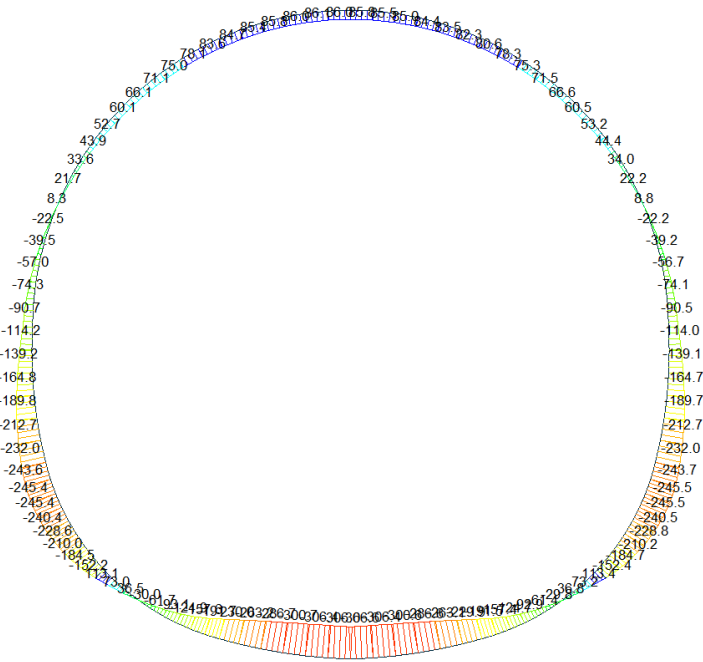


A.4.4.28. Load combination SLE 10

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 10



Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 10



A.4.4.29. Stress checking

STRESS CONTROL												
MEMBER	SECTION PROPERTIES		LOAD CB	$\sigma_{ct, MAX}$	$\sigma_{ct, Adm}$	CHECK	$\sigma_c, MAX$	$\sigma_c, Adm$	CHECK	$\sigma_s, MAX$	$\sigma_s, Adm$	CHECK
SECTION	Bc (m)	Hc (m)		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]		
1	100 x 74		SLE - N7	0.48	2.90	OK	-4.13	-18.00	OK	1.75	360.00	OK
2	1.00	0.74										
2	100 x 74		SLE - N7	0.20	2.90	OK	-3.62	-18.00	OK	0.84	360.00	OK
2	1.00	0.74										
3	100 x 74		SLE - N8	0.21	2.90	OK	-3.15	-18.00	OK	0.92	360.00	OK
2	1.00	0.74										
4	100 x 74		SLE - N8	0.22	2.90	OK	-3.34	-18.00	OK	0.97	360.00	OK
2	1.00	0.74										
5	100 x 74		SLE - N8	0.22	2.90	OK	-3.58	-18.00	OK	0.99	360.00	OK
2	1.00	0.74										
6	100 x 74		SLE - N8	0.22	2.90	OK	-3.81	-18.00	OK	0.98	360.00	OK
2	1.00	0.74										
7	100 x 74		SLE - N8	0.21	2.90	OK	-4.03	-18.00	OK	0.94	360.00	OK
2	1.00	0.74										
8	100 x 74		SLE - N8	0.49	2.90	OK	-4.26	-18.00	OK	1.34	360.00	OK
2	1.00	0.74										
9	100 x 74		SLE - N8	0.82	2.90	OK	-4.52	-18.00	OK	3.04	360.00	OK
2	1.00	0.74										
10	100 x 74		SLE - N8	1.21	2.90	OK	-4.88	-18.00	OK	4.98	360.00	OK
2	1.00	0.74										
11	100 x 74		SLE - N9	1.54	2.90	OK	-5.30	-18.00	OK	6.65	360.00	OK
2	1.00	0.74										
12	100 x 74		SLE - N9	1.76	2.90	OK	-5.61	-18.00	OK	7.81	360.00	OK
2	1.00	0.74										
13	100 x 74		SLE - N9	1.89	2.90	OK	-5.81	-18.00	OK	8.46	360.00	OK
2	1.00	0.74										
14	100 x 74		SLE - N9	1.93	2.90	OK	-5.89	-18.00	OK	8.62	360.00	OK
2	1.00	0.74										
15	100 x 74		SLE - N9	1.91	2.90	OK	-5.89	-18.00	OK	8.53	360.00	OK
2	1.00	0.74										
16	100 x 74		SLE - N9	1.91	2.90	OK	-5.89	-18.00	OK	8.53	360.00	OK
2	1.00	0.74										
17	100 x 74		SLE - N9	1.93	2.90	OK	-5.89	-18.00	OK	8.62	360.00	OK
2	1.00	0.74										
18	100 x 74		SLE - N9	1.89	2.90	OK	-5.81	-18.00	OK	8.46	360.00	OK
2	1.00	0.74										
19	100 x 74		SLE - N9	1.76	2.90	OK	-5.61	-18.00	OK	7.80	360.00	OK
2	1.00	0.74										
20	100 x 74		SLE - N9	1.53	2.90	OK	-5.30	-18.00	OK	6.65	360.00	OK
2	1.00	0.74										
21	100 x 74		SLE - N8	1.20	2.90	OK	-4.88	-18.00	OK	4.97	360.00	OK
2	1.00	0.74										
22	100 x 74		SLE - N8	0.82	2.90	OK	-4.52	-18.00	OK	3.03	360.00	OK
2	1.00	0.74										
23	100 x 74		SLE - N8	0.48	2.90	OK	-4.26	-18.00	OK	1.33	360.00	OK
2	1.00	0.74										
24	100 x 74		SLE - N8	0.22	2.90	OK	-4.03	-18.00	OK	0.95	360.00	OK
2	1.00	0.74										
25	100 x 74		SLE - N8	0.22	2.90	OK	-3.81	-18.00	OK	0.99	360.00	OK
2	1.00	0.74										
26	100 x 74		SLE - N8	0.23	2.90	OK	-3.58	-18.00	OK	1.01	360.00	OK
2	1.00	0.74										
27	100 x 74		SLE - N8	0.22	2.90	OK	-3.34	-18.00	OK	0.98	360.00	OK
2	1.00	0.74										
28	100 x 74		SLE - N8	0.21	2.90	OK	-3.15	-18.00	OK	0.93	360.00	OK
2	1.00	0.74										
29	100 x 74		SLE - N7	0.20	2.90	OK	-3.62	-18.00	OK	0.86	360.00	OK
2	1.00	0.74										
30	100 x 74		SLE - N7	0.48	2.90	OK	-4.13	-18.00	OK	1.76	360.00	OK
2	1.00	0.74										

STRESS CONTROL												
MEMBER	SECTION PROPERTIES		LOAD CB	$\sigma_{ct, MAX}$	$\sigma_{ct, Adm}$	CHECK	$\sigma_c, MAX$	$\sigma_c, Adm$	CHECK	$\sigma_s, MAX$	$\sigma_s, Adm$	CHECK
SECTION	Bc (m)	Hc (m)		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	
31	100 x 68		SLE - N7	1.24	2.90	OK	-5.23	-18.00	OK	5.53	360.00	OK
3	1.00	0.68										
32	100 x 70		SLE - N7	1.53	2.90	OK	-5.42	-18.00	OK	7.09	360.00	OK
5	1.00	0.75										
33	100 X 75		SLE - N9	1.55	2.90	OK	-5.15	-18.00	OK	7.39	360.00	OK
6	1.00	0.75										
34	100 X 85		SLE - N7	1.29	2.90	OK	-4.39	-18.00	OK	6.30	360.00	OK
8	1.00	0.85										
35	100 X 85		SLE - N9	1.38	2.90	OK	-4.45	-18.00	OK	6.81	360.00	OK
8	1.00	0.85										
36	100 X 80		SLE - N9	1.65	2.90	OK	-4.88	-18.00	OK	8.07	360.00	OK
7	1.00	0.80										
37	100 X 80		SLE - N9	1.65	2.90	OK	-4.87	-18.00	OK	8.07	360.00	OK
7	1.00	0.80										
38	100 X 80		SLE - N9	1.64	2.90	OK	-4.80	-18.00	OK	8.03	360.00	OK
7	1.00	0.80										
39	100 X 75		SLE - N9	1.80	2.90	OK	-5.12	-18.00	OK	8.68	360.00	OK
6	1.00	0.75										
40	100 X 75		SLE - N9	1.60	2.90	OK	-4.87	-18.00	OK	7.68	360.00	OK
6	1.00	0.75										
41	100 x 65		SLE - N9	1.94	2.90	OK	-5.68	-18.00	OK	8.97	360.00	OK
4	1.00	0.65										
42	100 x 65		SLE - N7	1.60	2.90	OK	-5.31	-18.00	OK	7.27	360.00	OK
4	1.00	0.65										
43	100 x 60		SLE - N7	1.53	2.90	OK	-5.55	-18.00	OK	6.67	360.00	OK
1	1.00	0.60										
44	100 x 60		SLE - N7	1.13	2.90	OK	-5.15	-18.00	OK	4.69	360.00	OK
1	1.00	0.60										
45	100 x 60		SLE - N5	0.75	2.90	OK	-4.78	-18.00	OK	2.81	360.00	OK
1	1.00	0.60										
46	100 x 60		SLE - N5	0.49	2.90	OK	-5.17	-18.00	OK	1.54	360.00	OK
1	1.00	0.60										
47	100 x 60		SLE - N5	0.24	2.90	OK	-5.53	-18.00	OK	0.95	360.00	OK
1	1.00	0.60										
48	100 x 60		SLE - N5	0.24	2.90	OK	-5.77	-18.00	OK	0.95	360.00	OK
1	1.00	0.60										
49	100 x 60		SLE - N5	0.24	2.90	OK	-5.87	-18.00	OK	0.88	360.00	OK
1	1.00	0.60										
50	100 x 60		SLE - N5	0.23	2.90	OK	-5.93	-18.00	OK	0.85	360.00	OK
1	1.00	0.60										
51	100 x 60		SLE - N5	0.22	2.90	OK	-5.93	-18.00	OK	0.82	360.00	OK
1	1.00	0.60										
52	100 x 60		SLE - N5	0.21	2.90	OK	-5.86	-18.00	OK	0.77	360.00	OK
1	1.00	0.60										
53	100 x 60		SLE - N5	0.20	2.90	OK	-5.65	-18.00	OK	0.72	360.00	OK
1	1.00	0.60										
54	100 x 60		SLE - N5	0.25	2.90	OK	-5.34	-18.00	OK	0.67	360.00	OK
1	1.00	0.60										
55	100 x 60		SLE - N5	0.38	2.90	OK	-4.94	-18.00	OK	1.13	360.00	OK
1	1.00	0.60										
56	100 x 60		SLE - N5	0.49	2.90	OK	-4.46	-18.00	OK	1.77	360.00	OK
1	1.00	0.60										
57	100 x 60		SLE - N5	0.57	2.90	OK	-3.94	-18.00	OK	2.40	360.00	OK
1	1.00	0.60										
58	100 x 60		SLE - N8	0.64	2.90	OK	-3.99	-18.00	OK	3.00	360.00	OK
1	1.00	0.60										
59	100 x 60		SLE - N8	0.73	2.90	OK	-4.61	-18.00	OK	3.56	360.00	OK
1	1.00	0.60										
60	100 x 60		SLE - N6	0.83	2.90	OK	-5.21	-18.00	OK	4.07	360.00	OK
1	1.00	0.60										

STRESS CONTROL												
MEMBER	SECTION PROPERTIES		LOAD CB	$\sigma_{ct, MAX}$	$\sigma_{ct, Adm}$	CHECK	$\sigma_c, MAX$	$\sigma_c, Adm$	CHECK	$\sigma_s, MAX$	$\sigma_s, Adm$	CHECK
SECTION	Bc (m)	Hc (m)		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	
61	100 x 60		SLE - N8	0.92	2.90	OK	-5.76	-18.00	OK	4.52	360.00	OK
1	1.00	0.60										
62	100 x 60		SLE - N6	1.00	2.90	OK	-6.25	-18.00	OK	4.90	360.00	OK
1	1.00	0.60										
63	100 x 60		SLE - N8	1.21	2.90	OK	-6.65	-18.00	OK	5.20	360.00	OK
1	1.00	0.60										
64	100 x 60		SLE - N6	1.54	2.90	OK	-6.96	-18.00	OK	5.42	360.00	OK
1	1.00	0.60										
65	100 x 60		SLE - N6	1.75	2.90	OK	-7.16	-18.00	OK	5.55	360.00	OK
1	1.00	0.60										
66	100 x 60		SLE - N6	1.83	2.90	OK	-7.23	-18.00	OK	5.90	360.00	OK
1	1.00	0.60										
67	100 x 60		SLE - N6	1.83	2.90	OK	-7.23	-18.00	OK	5.90	360.00	OK
1	1.00	0.60										
68	100 x 60		SLE - N6	1.76	2.90	OK	-7.17	-18.00	OK	5.61	360.00	OK
1	1.00	0.60										
69	100 x 60		SLE - N6	1.56	2.90	OK	-6.99	-18.00	OK	5.51	360.00	OK
1	1.00	0.60										
70	100 x 60		SLE - N6	1.24	2.90	OK	-6.69	-18.00	OK	5.33	360.00	OK
1	1.00	0.60										
71	100 x 60		SLE - N6	1.03	2.90	OK	-6.29	-18.00	OK	5.06	360.00	OK
1	1.00	0.60										
72	100 x 60		SLE - N6	0.97	2.90	OK	-5.82	-18.00	OK	4.72	360.00	OK
1	1.00	0.60										
73	100 x 60		SLE - N8	0.88	2.90	OK	-5.28	-18.00	OK	4.32	360.00	OK
1	1.00	0.60										
74	100 x 60		SLE - N8	0.73	2.90	OK	-4.63	-18.00	OK	3.56	360.00	OK
1	1.00	0.60										
75	100 x 60		SLE - N8	0.64	2.90	OK	-4.00	-18.00	OK	3.00	360.00	OK
1	1.00	0.60										
76	100 x 60		SLE - N7	0.57	2.90	OK	-3.93	-18.00	OK	2.40	360.00	OK
1	1.00	0.60										
77	100 x 60		SLE - N5	0.48	2.90	OK	-4.46	-18.00	OK	1.77	360.00	OK
1	1.00	0.60										
78	100 x 60		SLE - N5	0.37	2.90	OK	-4.93	-18.00	OK	1.12	360.00	OK
1	1.00	0.60										
79	100 x 60		SLE - N5	0.24	2.90	OK	-5.34	-18.00	OK	0.71	360.00	OK
1	1.00	0.60										
80	100 x 60		SLE - N5	0.21	2.90	OK	-5.66	-18.00	OK	0.76	360.00	OK
1	1.00	0.60										
81	100 x 60		SLE - N5	0.22	2.90	OK	-5.86	-18.00	OK	0.81	360.00	OK
1	1.00	0.60										
82	100 x 60		SLE - N5	0.23	2.90	OK	-5.94	-18.00	OK	0.85	360.00	OK
1	1.00	0.60										
83	100 x 60		SLE - N5	0.24	2.90	OK	-5.94	-18.00	OK	0.88	360.00	OK
1	1.00	0.60										
84	100 x 60		SLE - N5	0.24	2.90	OK	-5.88	-18.00	OK	0.92	360.00	OK
1	1.00	0.60										
85	100 x 60		SLE - N5	0.25	2.90	OK	-5.78	-18.00	OK	1.00	360.00	OK
1	1.00	0.60										
86	100 x 60		SLE - N5	0.25	2.90	OK	-5.55	-18.00	OK	1.00	360.00	OK
1	1.00	0.60										
87	100 x 60		SLE - N5	0.49	2.90	OK	-5.18	-18.00	OK	1.57	360.00	OK
1	1.00	0.60										
88	100 x 60		SLE - N7	0.75	2.90	OK	-4.79	-18.00	OK	2.83	360.00	OK
1	1.00	0.60										
89	100 x 60		SLE - N7	1.13	2.90	OK	-5.15	-18.00	OK	4.70	360.00	OK
1	1.00	0.60										
90	100 x 60		SLE - N7	1.54	2.90	OK	-5.55	-18.00	OK	6.68	360.00	OK
1	1.00	0.60										

STRESS CONTROL												
MEMBER	SECTION PROPERTIES		LOAD CB	$\sigma_{ct, MAX}$	$\sigma_{ct, Adm}$	CHECK	$\sigma_c, MAX$	$\sigma_c, Adm$	CHECK	$\sigma_s, MAX$	$\sigma_s, Adm$	CHECK
SECTION	Bc (m)	Hc (m)		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	
91	100 x 65		SLE - N7	1.60	2.90	OK	-5.31	-18.00	OK	7.27	360.00	OK
4	1.00	0.65										
92	100 x 65		SLE - N9	1.94	2.90	OK	-5.68	-18.00	OK	8.97	360.00	OK
4	1.00	0.65										
93	100 X 75		SLE - N9	1.89	2.90	OK	-5.40	-18.00	OK	8.96	360.00	OK
6	1.00	0.75										
94	100 X 75		SLE - N9	2.12	2.90	OK	-5.69	-18.00	OK	10.09	360.00	OK
6	1.00	0.75										
95	100 X 80		SLE - N9	1.64	2.90	OK	-4.80	-18.00	OK	8.03	360.00	OK
7	1.00	0.80										
96	100 X 80		SLE - N9	1.65	2.90	OK	-4.87	-18.00	OK	8.07	360.00	OK
7	1.00	0.80										
97	100 X 80		SLE - N9	1.65	2.90	OK	-4.88	-18.00	OK	8.07	360.00	OK
7	1.00	0.80										
98	100 X 85		SLE - N9	1.38	2.90	OK	-4.45	-18.00	OK	6.81	360.00	OK
8	1.00	0.85										
99	100 X 85		SLE - N7	1.29	2.90	OK	-4.39	-18.00	OK	6.30	360.00	OK
8	1.00	0.85										
100	100 X 75		SLE - N9	1.55	2.90	OK	-5.15	-18.00	OK	7.38	360.00	OK
6	1.00	0.75										
101	100 x 70		SLE - N7	1.53	2.90	OK	-5.42	-18.00	OK	7.08	360.00	OK
5	1.00	0.75										
102	100 x 68		SLE - N7	1.24	2.90	OK	-5.23	-18.00	OK	5.52	360.00	OK
3	1.00	0.68										