



Mit Beteiligung der Europäischen Union aus dem Haushalt der Transeuropäischen Verkehrsnetzefinanziertes 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> Zugangstunnel Trens	<b>WBS</b> Galleria di accesso Trens
<b>Dokumentenart</b> Statische Berechnung	<b>Tipo Documento</b> Calcolo statico
<b>Titel</b> Statischer Bericht GA-T4/T5	<b>Titolo</b> Relazione di calcolo GA-T4/T5

 <b>Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P</b> <small>olo Pro. Itir S.r.l., Via G.B. Sanmarini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026787911, Fax: +39 0267152612</small>	<i>Generalplaner / Responsabile integrazioni prestazioni specialistiche</i> Ing. Enrico Maria Pizzarotti Ord. Ingg. Milano N° A 29470
--	---

<i>Mandataria</i>  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	<i>Mandante</i> 	<i>Mandante</i> 	<i>Mandante</i>  ENGINEERING s.r.l./G.m.b.H.
		<i>Fachplaner / il progettista specialista</i> Ing. Davide Merlini Ord. Ingg. Como N° 2354 A	

	<b>Datum / Data</b>	<b>Name / Nome</b>	<b>Gesellschaft / Società</b>
<b>Bearbeitet / Elaborato</b>	30.01.2015	A. Battaglia / M. Falanesca	Pini Swiss
<b>Geprüft / Verificato</b>	30.01.2015	D. Merlini	Pini Swiss

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

<b>Projekt-kilometer / Chilometro progetto</b>	von / da 32.0+88 bis / a 54.0+15 bei / al	<b>Projekt-kilometer / Chilometro opera</b>	von / da 0.0+00 bis / a 3.8+06 bei / al	<b>Status Dokument / Stato documento</b>		<b>Massstab / Scala</b>	-
--	---	---	---	--	--	-------------------------	---

<b>Staat</b> Stato	<b>Los</b> Lotto	<b>Einheit</b> Unità	<b>Nummer</b> Numero	<b>Dokumentenart</b> Tipo Documento	<b>Vertrag</b> Contratto	<b>Nummer</b> Codice	<b>Revision</b> Revisione
02	H61	OP	080	KST	D0700	22902	21

## Bearbeitungsstand Stato di elaborazione

Revision Revisione	Änderungen / Cambiamenti	Verantwortlicher Änderung Responsabile modifica	Datum Data
00	Vorläufige Abgabe / Consegna preliminare	A.Battaglia / M. Falanesca	22.05.2014
10	Endgültige Abgabe / Consegna definitiva	A.Battaglia / M. Falanesca	31.07.2014
11	Projektvollständigung und Umsetzung der Verbesserungen aus dem Prüfverfahren / Completamento progetto e recepimento istruttoria	A.Battaglia / M. Falanesca	09.10.2014
20	Überarbeitung infolge Dienstanweisung Nr. 1 vom 17.10.2014 / Revisione a seguito ODS n°1 del 17.10.14	A.Battaglia / M. Falanesca	04.12.2014
21	Abgabe für Ausschreibung / Emissione per Appalto	A.Battaglia	30.01.2015

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	
<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>MATERIALKENNWERTE</b>	
<b>2</b>	<b>MATERIALI</b> .....	<b>10</b>
2.1	SPRITZBETON	
2.1	BETONCINO PROIETTATO .....	10
2.2	ANKER	
2.2	ANCORAGGI .....	10
2.3	STAHLBÖGEN	
2.3	CENTINE.....	10
2.4	BETON	
2.4	CALCESTRUZZO.....	11
2.5	BEWEHRUNGSSTAHL	
2.5	ACCIAIO DA ARMATURA.....	11
<b>3</b>	<b>GEOTECHNISCHES MODELL</b>	
<b>3</b>	<b>MODELLO GEOTECNICO</b> .....	<b>12</b>
3.1	GEOLOGIE UND GEOMECHANIK	
3.1	GEOLOGIA E GEOMECCANICA.....	12
3.2	TRENNFLÄCHENORIENTIERUNG	
3.2	ORIENTAMENTO DELLE DISCONTINUITÀ .....	14
<b>4</b>	<b>GEIBIRGSVERHALTEN</b>	
<b>4</b>	<b>COMPORTAMENTO DELLA ROCCIA</b> .....	<b>15</b>
4.1	ABSCHÄTZUNG DES GEBIRGSVERHALTENS	
4.1	VALUTAZIONE DEL COMPORTAMENTO DELLA ROCCIA.....	15
<b>5</b>	<b>AUßENSCHALE</b>	
<b>5</b>	<b>RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE</b> .....	<b>18</b>
5.1	QUERSCHNITT GA-T4	
5.1	SEZIONE GA-T4 .....	18
5.1.1	Modellgeometrie	
5.1.1	Geometria del modello .....	18
5.1.2	Gebirgsmodell und Ausgangsspannungslage	
5.1.2	Modello costitutivo dell'ammasso e stato tensionale iniziale .....	20
5.1.3	Eigenschaften der Außenschale	
5.1.3	Caratteristiche dei rivestimenti di prima fase .....	20
5.1.4	Laststufe	
5.1.4	Step di carico.....	22
5.1.5	Nachweisverfahren	
5.1.5	Procedura di verifica.....	23
5.1.6	Ergebnisse	
5.1.6	Risultati.....	23
5.2	QUERSCHNITT GA-T5	
5.2	SEZIONE GA-T5 .....	24
5.2.1	Modellgeometrie	
5.2.1	Geometria del modello .....	24
5.2.2	Gebirgsmodell und Ausgangsspannungslage	
5.2.2	Modello costitutivo dell'ammasso e stato tensionale iniziale .....	25
5.2.3	Eigenschaften der Außenschale Eigenschaften der Außenschale	
5.2.3	Caratteristiche dei rivestimenti di prima fase .....	25

5.2.4	Laststufe	
5.2.4	Step di carico	26
5.2.5	Nachweisverfahren	
5.2.5	Procedura di verifica	27
5.2.6	Ergebnisse	
5.2.6	Risultati	28
5.3	ANALYSE DER STANDSICHERHEIT DER ORTBRUST	
5.3	ANALISI DELLA STABILITÀ DEL FRONTE	29
5.3.1	Nachweisverfahren	
5.3.1	Procedura di verifica	29
5.3.2	Ergebnisse	
5.3.2	Risultati	29
5.3.2.1	Querschnitt GA-T4	
5.3.2.1	Sezione GA-T4	29
5.3.2.2	Querschnitt GA-T5	
5.3.2.2	Sezione GA-T5	29
<b>6</b>	<b>INNENSCHALE</b>	
<b>6</b>	<b>RIVESTIMENTO DEFINITIVO</b>	<b>31</b>
6.1	STABWERKSMODELLE	
6.1	METODO DELLE REAZIONI IPERSTATICHE	31
6.2	INTERAKTION TRAGWERK-BAUGRUND	
6.2	INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA	31
6.2.1	Modellierung der Bettung	
6.2.1	Rigidezza radiale	32
6.2.2	Federkonstanten Auflagerbereich/Sohle	
6.2.2	Costante della molla nelle zone di appoggio / fondo	32
6.3	EINWIRKUNGEN	
6.3	ANALISI DEI CARICHI	33
6.3.1	Eigengewicht G1	
6.3.1	Peso proprio G1	33
6.3.2	Kettenwerk G2	
6.3.2	Catenaria G2	33
6.3.3	Auffüllung mit Beton oberhalb des Sohlgewölbes G3	
6.3.3	Riempimento in cls al di sopra dell'arco rovescio G3	34
6.3.4	Wasserdruck G4	
6.3.4	Pressione idraulica G4	34
6.3.5	Gebirgslast G5	
6.3.5	Carico dell'ammasso G5	34
6.3.6	Squeezinq e swelling G7	
6.3.6	Squeezinq e swelling G7	35
6.3.7	Kriechen und Schwinden des Betons G6	
6.3.7	Viscosità e ritiro del calcestruzzo G6	35
6.3.8	Temperatur Q1	
6.3.8	Temperatura Q1	35
6.3.9	Erdbebeneinwirkung E1	
6.3.9	Azione sismica E1	36
6.3.10	Aerodynamischer Druck A1	
6.3.10	Pressione aerodinamica A1	36
6.3.11	Anpralllast A2	
6.3.11	Urto A2	36

6.3.12 Brand A3	
6.3.12 Incendio A3 .....	36
6.4 LASTFALLKOMBINATIONEN	
6.4 COMBINAZIONE DI CARICO .....	37
6.5 NACHWEISVERFAHREN	
6.5 VERIFICHE .....	37
6.5.1 Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)	
6.5.1 Stati Limite Ultimi (SLU) .....	37
6.5.1.1 Teilsicherheitsfaktoren Einwirkungen	
6.5.1.1 Coefficienti parziali di sicurezza per le azioni .....	37
6.5.1.2 Kombinationsbeiwerte Einwirkungen	
6.5.1.2 Coefficienti di combinazione delle azioni .....	38
6.5.1.3 Lastfallkombinationen	
6.5.1.3 Combinazione delle azioni.....	38
6.5.1.4 Teilsicherheitsfaktoren Festigkeit	
6.5.1.4 Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze .....	38
6.5.1.5 Bemessung auf Biegung und Druck	
6.5.1.5 Verifica a pressoflessione.....	39
6.5.1.6 Bemessung Querkraft	
6.5.1.6 Verifica a taglio .....	39
6.5.2 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (GZG)	
6.5.2 Stati Limite Esercizio (SLE) .....	40
6.5.2.1 Teilsicherheitsfaktoren Einwirkungen	
6.5.2.1 Coefficienti parziali di sicurezza delle azioni.....	40
6.5.2.2 Kombinationsbeiwerte Einwirkungen	
6.5.2.2 Coefficienti di combinazione delle azioni.....	40
6.5.2.3 Lastfallkombinationen	
6.5.2.3 Combinazioni delle azioni.....	40
6.5.2.4 Teilsicherheitsfaktoren der Festigkeiten	
6.5.2.4 Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze .....	40
6.5.2.5 Ermittlung der Schnittgrößen und Verformungen	
6.5.2.5 Calcolo delle deformazioni .....	40
6.5.2.6 Begrenzung der Rissbreiten	
6.5.2.6 Limitazione dello spessore delle fessure.....	40
6.6 BAULICHE DURCHBILDUNG	
6.6 STRUTTURA COSTRUTTIVA .....	41
6.6.1 Expositionsklasse und Mindestbetondeckung	
6.6.1 Classe di esposizione e copriferro minimo .....	41
6.6.2 Mindestbewehrung	
6.6.2 Armatura minima .....	41
6.7 ERGEBNISSE	
6.7 RISULTATI.....	42
<b>7 VERZEICHNISSE</b>	
<b>7 ELENCHI.....</b>	<b>43</b>
7.1 TABELLENVERZEICHNIS	
7.1 ELENCO DELLE TABELLE.....	43
7.2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS	
7.2 ELENCO DELLE ILLUSTRAZIONI.....	44
7.3 ANLAGENVERZEICHNIS	
7.3 ELENCO APPENDICI .....	44

7.4	REFERENZDOKUMENTE	
7.4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	44
7.4.1	Eingangsdokumente	
7.4.1	Documenti in ingresso.....	44
7.4.1.1	Ausführungsprojekt Baulos Muls 2-3	
7.4.1.1	Progetto Esecutivo Lotto Muls 2-3.....	44
7.4.1.2	Technische Projektaufbereitung	
7.4.1.2	Elaborazione tecnica del progetto .....	45
7.4.1.3	Ausführungsprojekt Erweiterung Baulos Muls 1	
7.4.1.3	Progetto Esecutivo Estensione Lotto Muls 1 .....	45
7.4.2	Normen und Richtlinien	
7.4.2	Normativa.....	45
7.4.3	Literatur	
7.4.3	Letteratura.....	46
<b>ANHANG 1 – KENNLINIENVERFAHREN</b>		
<b>APPENDICE 1 - CURVE CARATTERISTICHE.....</b>		<b>48</b>
<b>ANHANG 2 - FEM- ANALYSE DER AUßENSCHALE DES QUERSCHNITTS GA-T4</b>		
<b>APPENDICE 2 - ANALISI FEM DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE SEZIONE GA-T4 .....</b>		<b>51</b>
<b>ANHANG 3 – FEM - ANALYSE DER AUßENSCHALE DES QUERSCHNITTS GA-T5</b>		
<b>APPENDICE 3 - ANALISI FEM DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE SEZIONE GA-T5 .....</b>		<b>67</b>
<b>ANHANG 4 - FEM- ANALYSEN DER INNENSCHALE</b>		
<b>APPENDICE 4 - ANALISI FEM DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO .....</b>		<b>84</b>
<b>ANHANG 5 - ZWISCHENPLATTE</b>		
<b>APPENDICE 5 – SOLETTA INTERMEDIA .....</b>		<b>156</b>
1	<b>EINFÜHRUNG</b>	
1	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>157</b>
2	<b>NORMEN UND RICHTLINIEN</b>	
2	<b>NORMATIVA.....</b>	<b>157</b>
3	<b>MATERIALIEN</b>	
3	<b>MATERIALI.....</b>	<b>158</b>
3.1	BETON	
3.1	CALCESTRUZZO.....	158
3.2	BEWEHRUNGSSTAHL	
3.2	ACCIAIO DA ARMATURA.....	158
4	<b>BERECHNUNGSMODELL</b>	
4	<b>MODELLO DI CALCOLO .....</b>	<b>158</b>
4.1	BELASTUNGSANALYSE	
4.1	ANALISI DEI CARICHI .....	158
4.1.1	Eigengewicht G1	
4.1.1	Peso proprio G1 .....	158
4.1.2	Lüftung Q1	
4.1.2	Ventilazione Q1 .....	158
4.1.3	Nutzung Q2	
4.1.3	Utilizzazione Q2 .....	159
4.1.4	Brand A1	
4.1.4	Incendio A1 .....	159

4.1.4.1	Temperatur-Zeitkurve im Tunnelbau [UNI 11076]	
4.1.4.1	Curva della temperatura/tempo per tunnel [UNI 11076] .....	159
4.1.4.2	Koeffizienten zur Bewertung der temperaturbedingten Festigkeitsminderung der Materialien	
4.1.4.2	Coefficienti per la valutazione della diminuzione delle caratteristiche di resistenza dei materiali in funzione della temperatura.....	161
4.2	<b>NACHWEISVERFAHREN</b>	
4.2	<b>VERIFICHE</b> .....	162
4.2.1	Traggrenzzustände (GZT) und Gebrauchsgrenzzustände (GZG)	
4.2.1	Stati Limite Ultimi (SLU) e Stati Limite di Esercizio (SLE) .....	162
4.2.1.1	Kombinations- und Teilkoeffizienten der Sicherheit der Wirkungen	
4.2.1.1	Coefficienti di combinazione e parziali di sicurezza per le azioni .....	162
4.2.1.2	Teilsicherheitsbeiwerte der Festigkeiten	
4.2.1.2	Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze .....	162
4.3	<b>ERGEBNISSE</b>	
4.3	<b>RISULTATI</b> .....	163
4.3.1	Traggrenzzustände (GZT)	
4.3.1	Sollecitazioni Stati Limite Ultimi (SLU).....	163
4.3.2	Gebrauchsgrenzzustände (GZG)	
4.3.2	Sollecitazioni Stati Limite d'Esercizio (SLE).....	163
4.3.3	Brandzustände (GZT)	
4.3.3	Sollecitazioni incendio (SLU).....	164
4.4	<b>NACHWEISVERFAHREN</b>	
4.4	<b>VERIFICHE</b> .....	164
4.4.1	Nachweis Grenzzustand der Tragfähigkeit	
4.4.1	Verifiche Stati Limite Ultimi.....	164
4.4.1.1	Prüfung auf Biegung	
4.4.1.1	Verifica a flessione .....	164
4.4.1.2	Prüfung auf Querkraft	
4.4.1.2	Verifica a taglio .....	164
4.4.2	Nachweis Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	
4.4.2	Verifiche Stati Limite d'Esercizio.....	164
4.4.3	Prüfungen auf Rissbildung	
4.4.3	Verifiche a fessurazione .....	165
4.4.4	Prüfungen auf Verformung	
4.4.4	Verifica di deformabilità .....	165
4.4.5	Prüfung auf Ermüdung durch Biegung	
4.4.5	Verifica a fatica a flessione.....	166
4.4.6	Prüfung auf Ermüdung auf Querkraft	
4.4.6	Verifica a fatica a taglio .....	166
4.4.7	Brandprüfung (GZT)	
4.4.7	Verifica incendio (SLU).....	166
<b>5</b>	<b>VERANKERUNGEN</b>	
<b>5</b>	<b>ANCORAGGI</b> .....	<b>167</b>
	<b>ANLAGE 1</b>	
	<b>ALLEGATO 1</b> .....	<b>168</b>
	<b>ANLAGE 2</b>	
	<b>ALLEGATO 2</b> .....	<b>169</b>

**ANLAGE 3**  
**ALLEGATO 3 ..... 170**

**ANLAGE 4**  
**ALLEGATO 4 ..... 171**

**ANLAGE 5**  
**ALLEGATO 5 ..... 172**

**ANLAGE 6**  
**ALLEGATO 6 ..... 173**



## 1 EINLEITUNG

Das vorliegende Dokument beinhaltet die Erläuterung zur Bemessung der Außen- und Innenschalen des Zugangstunnels Trens (GA), die zwischen Kilometrierung km 45.1+92.420 und km 48.8+80.648 ca. (Oströhre) und zwischen Kilometrierung km 45.1+55.363 und km 48.9+09.091 ca. (Weströhre) konventionell vorgetrieben werden (GL-T). Der GA entwickelt sich in diesem Abschnitt von Süden startend in Richtung Norden im Granitkomplex, in der Pustertallinie, in Tonaliten, der Maulser-Tal-Störung, dem Bündnerschieferkomplex und der Amphibolite (Geomechanische Homogenzonen 14 – 25 [2]) mit variablen Überlagerungen von 1200 m bis 440 m, wie in den geomechanischen Detailprofilen [3] angegeben und in Abbildung 1 dargestellt.

Der Ausbruchsquerschnitt in Ausbruchsklasse III für das in Abs. 3.1 berücksichtigte Gebirge, GA-T4 genannt, weist eine Ausbruchsquerschnittsfläche von  $107.97 \text{ m}^2$  auf und sieht den Einsatz von Selbstbohrankern des Typs R38N ( $N_y \geq 400 \text{ kN}$ ) und Anker des Typs Dywidag SN 28 ( $N_y \geq 413 \text{ kN}$ ) von 6 m Länge (Querabstand 1.5 m und Längsabstand 1.5 m), die Sicherung der Laibung mit Selbstbohrankern des Typs R51N ( $N_y \geq 630 \text{ kN}$ ), von 12 m Länge (Querabstand 0.75 m und Längsabstand 3.0 m), Stahlgitterträger  $4\Phi 26$  mit variablem Achsenabstand von 0.75 - 1.5 m, Befestigung der Ortsbrust durch Selbstbohranker des Typs R51N ( $N_y \geq 630 \text{ kN}$ ) von 15 m Länge und 1.4 m Achsenabstand sowie einer Gesamtstärke von 30 cm Spritzbeton vorgesehen.

Der Ausbruchsquerschnitt in Ausbruchsklasse IV für das in Abs. 3.1 berücksichtigte Gebirge, GA-T5 genannt, weist eine Ausbruchsquerschnittsfläche von  $107.97 \text{ m}^2$  auf. Hier ist der Einsatz von radialen Ankern vorgesehen, welche aus Selbstbohranker des Typs R38N ( $N_y \geq 400 \text{ kN}$ ) von 8 m Länge (Querabstand 1.5 m und Längsabstand 1.5 m) bestehen, die Sicherung der Laibung mit selbstbohrenden Ankern des Typs R51N ( $N_y \geq 630 \text{ kN}$ ), 12 m lang (Querabstand 0.75 m und Längsabstand 3.0 m), Stahlbögen, welche aus zwei gekoppelten Profilteilen IPN 180 mit variablen Achsenabstand von 0.75 - 1.5 m bestehen, sowie eine Befestigung der Ortsbrust mit selbstbohrenden Ankern des Typs R51N ( $N_y \geq 630 \text{ kN}$ ), von 15 m Länge und mit variabler Anzahl von  $1/2 \text{ m}^2$  bis auf  $1/1.2 \text{ m}^2$ , sowie Spritzbeton von 30 cm Gesamtstärke.

Die analysierten Ausbruchquerschnitte zeigen eine bewehrte Innenschale, die aus Beton C30/37 besteht und dessen Mindeststärken, die auf jeden Fall die Bautolleranzen berücksichtigen, jeweils 60 und 70 cm an der Kalotte und am Sohlgewölbe betragen.

## 1 INTRODUZIONE

La seguente relazione riporta il dimensionamento dei rivestimenti di prima fase e definitivi della Galleria di accesso di Trens (GA), realizzata mediante avanzamento in scavo tradizionale tra le progr. 45.1+92.420 e 48.8+80.648 ca. (Canna Est) e tra le progr. 45.1+55.363 e 48.9+09.091 ca. (Canna Ovest). La GA in questa tratta si sviluppa a partire da sud verso nord attraverso il complesso dei Graniti, della zona di faglia della Pusteria, delle Tonaliti, della zona di faglia della Val di Mules, dei Parascisti e delle Anfiboliti (zone geomeccaniche omogenee 14 - 25 [2]) con coperture variabili da 1200 m a 440 come indicato nei profili geomeccanici di dettaglio [3] e riportato in Figura 1.

La sezione prevista per affrontare lo scavo in classe III per gli ammassi considerati al Par. 3.1, è denominata GA-T4, avente sezione di scavo  $107.97 \text{ m}^2$ , chiodature radiali costituite da barre autoperforanti tipo R38N ( $N_y \geq 400 \text{ kN}$ ) e ancoraggi Dywidag SN28 ( $N_y \geq 413 \text{ kN}$ ), con lunghezza 6 m (passo trasversale 1.5 m e longitudinale 1.5 m), consolidamento al contorno mediante barre autoperforanti tipo R51N ( $N_y \geq 630 \text{ kN}$ ), con lunghezza 12 m (passo trasversale 0.75 m e longitudinale 3.0 m), centine metalliche reticolari  $4\Phi 26$  con interasse variabile da 0.75 - 1.5 m, consolidamento del fronte con barre autoperforanti tipo R51N ( $N_y \geq 630 \text{ kN}$ ) di lunghezza 15 m e interasse 1.4 m e uno spessore di spritz-beton totale di 30 cm.

La sezione prevista per affrontare lo scavo in classe IV per gli ammassi considerati al Par. 3.1, è denominata GA-T5, avente sezione di scavo  $107.97 \text{ m}^2$ , chiodature radiali costituite da barre autoperforanti tipo R38N ( $N_y \geq 400 \text{ kN}$ ), con lunghezza 8 m (passo trasversale 1.5 m e longitudinale 1.5 m), consolidamento al contorno mediante barre autoperforanti tipo R51N ( $N_y \geq 630 \text{ kN}$ ), 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 ( $N_y \geq 630 \text{ kN}$ ) di lunghezza 15 m e quantità variabile da  $1/2 \text{ m}^2$  a  $1/1.2 \text{ m}^2$ , e uno spessore di spritz-beton totale di 30 cm.

Per le sezioni in analisi, 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.

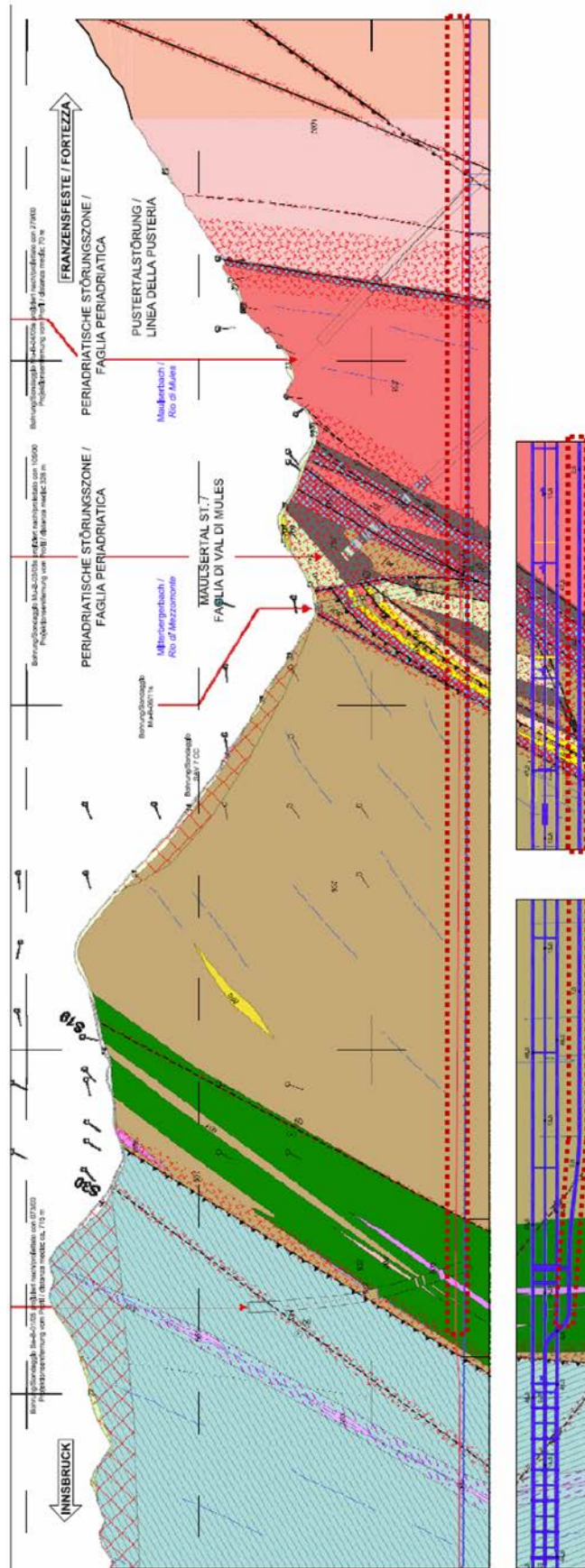


Abbildung 1: Auszug aus dem geomechanischen Längsprofil und des geologischen Lageplans [3] mit Angabe des Untersuchungsgebietes.

Figura 1: Estratto del profilo geomeccanico longitudinale e della planimetria geologica [3] con indicazione dell'area di studio.

Die Bemessung der Typprofile GA T2-T3 ist im Bericht D0700-22901 "Statischer Bericht GA (T2-T3)" angegeben.

I dimensionamenti statici per i profili tipo GA T2/T3 sono riportati nel rapporto D0700-22909 "Relazione di calcolo GA (T2-T3)".

## 2 MATERIALKENNWERTE

## 2 MATERIALI

### 2.1 SPRITZBETON

### 2.1 BETONCINO PROIETTATO

Für die Bemessung der Spritzbetonaußenschale ist in der Regel ein Beton der Festigkeitsklasse C30/37 mit folgenden Eigenschaften zu berücksichtigen:

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:

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

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

Hierbei sind:

Dove:

- $E_{cm}$  = Mittelwert Sekantenmodul
- $f_{ck}$  = charakteristische Druckfestigkeit Spritzbeton nach 28 Tagen

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

### 2.2 ANKER

### 2.2 ANCORAGGI

Es wird der Einsatz von Anker des Typs R38N und R51N vorgesehen, mit folgenden Eigenschaften:

Si prevede l'utilizzo di ancoraggi autoperforanti tipo R38N e R51N aventi le seguenti caratteristiche:

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

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

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

Wobei:

Dove:

- $E_s$  = Elastizitätsmodul
- $N_y$  = Ermüdungslast der Niete

- $E_s$  è il modulo elastico
- $N_y$  è il carico di snervamento del chiodo

### 2.3 STAHLBÖGEN

### 2.3 CENTINE

Die Stahlbögen des Typs IPN 180 und die Gitterträger bestehen aus Stahl S355 und B450C und besitzen folgende Eigenschaften:

Le centine metalliche IPN 180 e reticolari sono realizzate con acciaio rispettivamente S355 e B450C aventi le seguenti caratteristiche:

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

$$f_{yk} = 355 \text{ MPa} / f_{yk} = 450 \text{ MPa}$$

Wobei:

Dove:

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

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

## 2.4 BETON

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

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

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

Hierbei sind:

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

## 2.4 CALCESTRUZZO

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

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

Folgende Betonstähle sind für die Bemessung der Außenschale heranzuziehen:

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

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

Hierbei ist:

- $E_s$  = Sekantenmodul
- $f_{yk}$  = charakteristischer Wert der Streckgrenze des Betonstahls

## 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

Der GA wird konventionell ausgebrochen und durchörtert von Süden nach Norden entsprechend den geomechanischen Profilen und den Detailprofilen des Projektes [3] zwischen den Stationierungen 44.5+15.0 und 45.1+31.6 ca. (Oströhre) die geomechanischen Zonen 14-25 mit variablen Überlagerungen von 440 m bis 1200 m.

Zone number	Zone initial pk (approx.)	Zone final pk (approx.)	Zone length	Zone max overburden	Zone min overburden	Rock mass name	Rock mass Length	
	[km]	[km]	[m]	[m]	[m]		[% of zone length]	[m]
14	45.1	45.5	390	1200	1095	GA-BCA-A-10g	85%	331.5
						GA-BCA-GS-10g	15%	58.5
15	45.5	46.7	1203	1135	700	GA-BCA-GS-10g	90%	1082.7
						GA-BCA-A-10g	10%	120.3
19bis	46.7	47.26	552	700	450	FVM-S-PS	85%	413.1
						FVM-S-B	15%	72.9
19	47.25	47.34	75	450	450	FVM-C-Q	100%	75
19bis	47.34	47.58	225	550	450	FVM-S-PS	85%	191.25
						FVM-S-B	15%	33.75
19ter	47.58	47.60	35	550	550	TM-T-TM	100%	35
20	47.60	48.12	537	615	450	TM-T-1	100%	537
21	48.12	48.16	46	655	620	TM-DZ-GA3	100%	46
22	48.16	48.19	30	655	665	GB-CZ-GA2	50%	15
						GB-CZ-GA2ter	50%	15
23	48.19	48.30	148.5	745	655	GB-DZ-GA1	100%	148.5
24	48.30	48.35	34	760	740	GB-G-GA-9	100%	34
25	48.35	49.0	534.5	1090	465	GB-G-GA-10	100%	534.5

Tabelle 1 geomechanische Homogenbereiche

Die Tabelle 2 zeigt die geomechanischen Grundparameter für die Definition der geomechanisch homogenen Zonen und die Wahrscheinlichkeitsverteilung nach Bieniawskis ([1], [2]) der unterschiedlichen Klassen.

Betreffend die Malsertalstörung wurden die geologischen und hydrogeologischen Informationen aus den Dokumenten der Ausdehnung des Bauloses Mals I [9] entnommen, die Charakterisierung kommt aus den Laborproben und aus den Beobachtungen des Verhaltens während des Ausbruchs.

Wobei:

- $\gamma$  = spezifisches Gewicht des Gebirges
- $\sigma_{ci}$  = einaxiale Druckfestigkeit der Gesteinsmatrix
- $m_i$  = Krümmungsparameter aus triaxialem Druckversuch des Gebirgsmaterial

### 3 MODELLO GEOTECNICO

#### 3.1 GEOLOGIA E GEOMECCANICA

La GA è scavata in tradizionale e attraversa a partire da sud verso nord, in accordo con il profilo geomeccanico e progettuale di dettaglio [3], tra la progressive 44.5+15.0 e 45.1+31.6 ca. (canna est), le zone geomeccaniche 14-25 zone geomeccaniche omogenee con coperture variabili da 440 m a 1200 m.

Tabella 1: Zone geomeccaniche omogenee

La Tabella 2 riporta i parametri geomeccanici di base che caratterizzano ciascuna zona geomeccanica omogenea e la distribuzione probabilistica delle diverse classi secondo la classificazione di Bieniawski ([1], [2]).

Per la Faglia della Val di Mules le informazioni geologiche e idrogeologiche sono tratte dai documenti dell'Estensione del Lotto Mules I [9]; la caratterizzazione deriva dalle prove di laboratorio e dall'osservazione del comportamento allo scavo.

Dove:

- $\gamma$  è il peso di volume naturale dell'ammasso roccioso.
- $\sigma_{ci}$  è la resistenza a compressione monoassiale di matrice.
- $m_i$  è un parametro di curvatura dell'involuppo di rottura triassiale del materiale roccia.

- $E_i$  = Verformungsmodul der Gesteinsmatrix
- $E_i$  è il modulo di deformazione di matrice.
- RMR = *Rock Mass Rating 1989*
- RMR è il *Rock Mass Rating 1989*.
- GSI = *Geological Strength Index*
- GSI è il *Geological Strength Index*.

Zone number	Rock mass name	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_{ci}$ [MPa]	$m_i$ [-]	$E_i$ [GPa]	RMR	GSI	Classe di scavo RMR
14	GA-BCA-A-10g	27.8±0.52	140±48	20±6	53±8	70±5	65±10	II
	GA-BCA-GS-10g	27.3±1.49	75±5	17±3	56±10.9	60±5	50±5	III
15	GA-BCA-GS-10g	27.3±1.49	75±5	17±3	56±10.9	60±5	50±5	III
	GA-BCA-A-10g	27.8±0.52	140±48	20±6	53±8	70±5	65±10	II
19BIS	FVM-S-PS	27.0	5	20	30	51	52	IV
	FVM-S-B	27.0	25	23	25	42	42	IV
19	FVM-C-Q	27.0	50	20	15	55	60	III
19BIS	FVM-S-PS	27.0	5	20	21.5	51	52	IV
	FVM-S-B	27.0	25	23	25	42	42	IV
19TER	TM-T-TM	27.0	45	25	20	40	40	IV
20	TM-T-1	26.8±0.55	61±33	18±2	36±10	56±5	57±4	III
21	TM-DZ-GA3	26.4±0.65	26±5	20±2	8±2	46±4	47±5	III
22	GB-CZ-GA2	26.0	5	20	22.5	55	55	III
	GB-CZ-GA2ter	26.0	5	20	22.5	55	55	III
23	GB-DZ-GA1	26.0	55	30	22.5	45	45	III
24	GB-G-GA-9	26.7±0.15	115±19	24±4	34±6.1	69±5	73±4	II
25	GB-G-GA-10	26.7±0.15	115±19	24±4	34±6.1	66±8	70±5	II

Tabelle 2: Bestimmung des Gebirges jeder homogenen Zone und Wahrscheinlichkeitsverteilung der unterschiedlichen Klassen [1], [2] und [7]

Tabella 2: Caratterizzazione degli ammassi di ciascuna zona omogenea e distribuzione probabilistica delle diverse classi [1], [2] e [7]

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

I parametri di deformabilità e di resistenza caratteristici di ciascuna tratta 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].

Zone number	Rock mass name	Class [-]	Max overburden [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\Phi_{peak}$ [°]	$\Phi_{res}$ [°]	$C_{peak}$ [MPa]	$C_{res}$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$\Psi$ [°]
14	GA-BCA-A-10g	II	1200	27.8	42.21	33.15	4.887	2.900	21074	6.86
	GA-BCA-GS-10g	III		27.3	36.23	28.85	3.535	2.274	15528	4.53
15	GA-BCA-GS-10g	III	1135	27.3	36.23	28.85	3.535	2.274	15528	4.53
	GA-BCA-A-10g	II		27.8	42.21	33.15	4.887	2.900	21074	6.86
19BIS	FVM-S-PS	IV	700	27.0	24.31	18.37	0.893	0.572	10374	3.34
	FVM-S-B	IV			34.87	29.52	1.481	1.060	4574	4.36
19	FVM-C-Q	III	450	27.0	45.92	35.91	2.136	1.206	7800	8.61
19BIS	FVM-S-PS	IV	550	27.0	24.31	18.37	0.893	0.572	7435	3.34
	FVM-S-B	IV			34.87	29.52	1.481	1.060	4574	4.36
19TER	TM-T-TM	IV	550	27.0	39.62	34.41	1.818	1.326	5748	4.95
20	TM-T-1	III	640	27.0	44.8	36.1	2.143	1.330	12700	5.80
21	GB-DZ-GA3	III	655	27.0	36.81	30.78	1.857	1.295	3200	4.60
22	GB-CZ-GA2	III	665	26.0	23.99	17.59	1.023	0.633	9186	3.20
	GB-CZ-GA2ter	III		26.0	23.99	17.59	1.023	0.633	9186	3.20
23	GB-DZ-GA1	III	665	26.0	42.14	35.94	2.650	1.857	5032	2.83
24	GB-G-GA-9	II	765	26.7±0.15	51.76	38.76	5.252	2.278	24304	12.94
25	GB-G-GA-10	II / III	1100	26.7±0.15	51.98 <sup>1)</sup>	35.93	8.701	2.872	28678	12.93
					47.14 <sup>2)</sup>	35.93	5.416	2.872	19552	10.31
					41.46 <sup>3)</sup>	35.06	3.934	2.710	6922	5.18

<sup>1)</sup> GSI = 85; <sup>2)</sup> GSI = 65; <sup>3)</sup> GSI = 45

Tabelle 3: Typische Parameter der Gebirges in den unterschiedlichen Zonen und Klassen

Tabella 3: Parametri caratteristici dell'ammasso nelle diverse zone e classi

Wobei:

- $\Phi_{\text{peak}}/\Phi_{\text{res}}$  Reibungswinkel am Peak / Restreibungswinkel
- $C_{\text{peak}} / C_{\text{res}}$  Kohäsion am Peak / Restkohäsion
- $E_{\text{rm}}$  Gebirgsmodul
- $\Psi$  Dilatanz

Dove:

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

### 3.2 TRENNFLÄCHENORIENTIERUNG

Auf Grund der verfügbaren Daten aus der Regelplanung [7] und den Ortsbrustaufnahmen für den GL Ost (km 47.9+94 / 48.8+99), GL West (km 48.1+47.2 / 48.8+99) und den Erkundungstunnel (km 10.9+19 / 11.9+22) wurden die Trennflächen aus Tabelle 4 berücksichtigt. Die Bruchkörperanalyse ist im Dokument D0700-22901 „Statischer Bericht GA (T2-T3)“ enthalten.

### 3.2 ORIENTAMENTO DELLE DISCONTINUITÀ

Sulla base dei dati disponibili dalla progettazione di sistema [8] e dai dati disponibili dei rilievi al fronte per la GL Est (pk 47.9+94 / 48.8+99), GL Ovest (pk 48.1+47.2 / 48.8+99) e cunicolo esplorativo (pk 10.9+19 / 11.9+22) sono state considerate le discontinuità riportate in Tabella 4. L'analisi dei blocchi è contenuto nel documento D0700-22901 "Relazione di calcolo GA (T2-T3)".

Rock mass name	ID Joint	Dip direction [°]	Dip [°]	Max Persistence [m]
<b>GB-DZ-GA1</b> <b>GB-G-GA-9</b> <b>GB-G-GA-10</b> (da rilievi al fronte) (aus den Ortsbrustaufnahmen)	K1	80	70	10
	K2	170	85	10
	K3	230	70	10
	K4	170	45	10
	K5	30	85	3
	K6	300	70	3
	K7	130	50	3
	K8	230	35	10
	K9	340	45	10
	K10	350	85	10
	K11	270	60	10
	K12	50	30	10
	K13	90	30	10
<b>GB-CZ-GA2 /</b> <b>GB-CZ-GA2ter</b> (da rilievi al fronte) (aus den Ortsbrustaufnahmen)	K1	230	40	10
	K2	190	80	10
	K3	140	80	10
	K4	30	70	10
	K5	325	85	10
	K6	180	20	10
	K7	250	85	10
	K8	85	20	10
	K9	290	70	10
	K10	90	80	10
	K11	40	70	10
	K12	357	80	10
<b>TM-T-1/</b> <b>TM-DZ-GA3</b> (da rilievi al fronte) (aus den Ortsbrustaufnahmen)	K1	15	75	10
	K2	270	65	10
	K3	170	80	10
	K4	310	70	10
	K5	210	75	10
	K6	70	50	3
	K7	125	65	10
	K8	200	30	10
	K9	10	30	10
	K10	90	90	10
	K11	340	30	10
<b>GA-BCA-A-10g</b> <b>GA-BCA-GS-10g</b> Doc. [13]	SC	345	45	3
	RTF1	160	80	1
	RTFw	255	75	1
	RTF3	300	85	1
	RTF6	020	80	3

Tabelle 4: Lage der Trennflächen

Tabella 4: Giacitura delle discontinuità

#### 4 GEIBIRGSVERHALTEN

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

- Bei spannungsdominiertem 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 Bruchkörperanalysen.

Zur Einschätzung des Gebirgsverhaltens und zur Unterscheidung der beiden Gebirgsverhalten ist das Kennlinienverfahren anzuwenden.

##### 4.1 ABSCHÄTZUNG DES GEBIRGSVERHALTENS

Zur Abschätzung des Gebirgsverhaltens wurden die Dokumente [1], [2] und [7] berücksichtigt. Für weitere Details verweist man auf den Bericht [2]. In der folgenden Tabelle werden die aus dem Gebirgskennlinienverfahren resultierenden Ergebnisse aufgezeigt.

Zone number	Rock mass name	Class	Zone max overburden	$c_r$	$c_a$	$c_r$	$F_{plf}$	$F_{pla}$	$c_r/R$	$F_{plf}/R$	$c_r/R$	$F_{pla}/R$
				[cm]	[cm]	[cm]	[m]	[m]	[%]	[-]	[%]	[-]
14	GA-BCA-A-10g	II	1200	0.66	2.22	1.55	0.00	2.39	0.14%	0.00	0.32%	0.49
	GA-BCA-GS-10g	III		1.39	4.62	3.23	0.96	4.61	0.29%	0.20	0.67%	0.95
15	GA-BCA-GS-10g	III	1135	0.58	1.92	1.35	0.00	2.85	0.12%	0.00	0.28%	0.59
	GA-BCA-A-10g	II		0.30	1.02	0.71	0.00	1.40	0.06%	0.00	0.15%	0.29
19bis	FVM-S-PS	IV	700	19.35	64.51	45.15	18.99	37.01	3.98%	3.91	9.29%	7.61
	FVM-S-B	IV		3.40	11.35	7.94	1.72	5.96	0.70%	0.35	1.63%	1.23
19	FVM-C-Q	III	450	0.52	1.75	1.22	0.00	1.52	0.11%	0.00	0.25%	0.31
19bis	FVM-S-PS	IV	550	12.66	42.22	29.55	13.25	26.72	2.61%	2.73	6.08%	5.50
	FVM-S-B	IV		2.14	7.14	5.00	1.03	4.73	0.44%	0.21	1.03%	0.97
19ter	TM-T-TM	IV	550	1.91	6.35	4.45	0.00	2.61	0.39%	0.00	0.92%	0.54
20	TM-T-1	III	615	0.51	1.69	1.18	0.00	2.11	0.10%	0.00	0.24%	0.43
21	TM-DZ-GA3	III	655	3.53	11.75	8.23	0.73	4.21	0.73%	0.15	1.69%	0.87
22	GB-CZ-GA2	III	665	16.15	53.83	37.68	15.85	31.21	3.32%	3.26	7.75%	6.42
	GB-CZ-GAZ ter	III		16.15	53.83	37.68	15.85	31.21	3.32%	3.26	7.75%	6.42
23	GB-DZ-GA1	III	745	1.38	4.61	3.23	0.00	2.05	0.28%	0.00	0.66%	0.42
24	GB-G-GA-9 (*)	III	760	0.20	0.67	0.47	0.00	0.50	0.04%	0.00	0.10%	0.10
25	GB-G-GA-10	I	1090	0.23	0.76	0.53	0.00	0.32	0.05%	0.00	0.11%	0.07
		II		0.49	1.63	1.14	0.00	1.37	0.10%	0.00	0.24%	0.28
		III		1.59	5.29	3.70	0.00	2.23	0.33%	0.00	0.76%	0.46

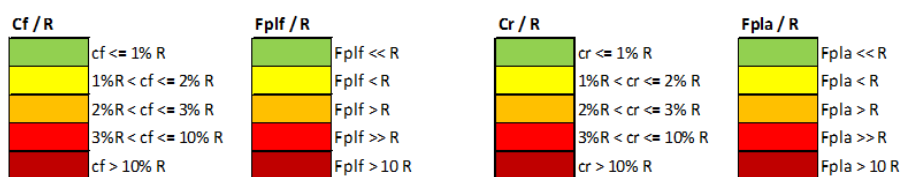


Tabelle 5: Ergebnisse Kennlinienverfahren.  $c_r$  = Ortsbrustkonvergenz,  $c_a$  = absolute Konvergenz am natürlichen Gleichgewicht,  $c_r$  = relative Konvergenz am natürlichen Gleichgewicht,  $F_{plf}$  = plastische Zone an der Ortsbrust,  $F_{pla}$  = plastische Zone Gleichgewicht,  $R$  = Ausbruchradius (mit 4.86m angenommen).

#### 4 COMPORTEMENTO 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 COMPORTEMENTO DELLA ROCCIA

Per la valutazione del comportamento dell'ammasso roccioso in esame sono stati presi in considerazione i documenti [1], [2] e [7]. Rimandando al Rapporto [2] per maggiori dettagli, si riporta nella tabella seguente i risultati ottenuti dalle linee caratteristiche.

Tabella 5: Risultati del metodo delle Linee Caratteristiche.  $c_r$  = convergenza al fronte,  $c_a$  = convergenza assoluta all'equilibrio naturale,  $c_r$  = convergenza relativa all'equilibrio naturale,  $F_{plf}$  = fascia plastica al fronte,  $F_{pla}$  = fascia plastica all'equilibrio naturale,  $R$  = raggio di scavo (assunto pari a 4.86m).



Innerhalb der Tabelle 6 sind die Angaben aus den Methoden laut Jehtwa, Bhasin, Hoek und Panet, betreffend die Bewertung des Risikos bei großen Verformungen des Gebirges (squeezing) und der Instabilität der Ortsbrust, zusammen mit den Methoden von Tao Zhen-Yu und Hoek betreffend das Risiko des Bergschlages (rock burst) zusammengefasst.

All'interno della Tabella 6 sono riassunte le indicazioni ottenute dai metodi di Jehtwa, Bhasin, Hoek e Panet per quanto riguarda la valutazione del rischio di elevate deformazioni dell'ammasso (*squeezing*) e di instabilità del fronte, insieme a quelle ottenute dai metodi di Tao Zhen-Yu e Hoek per il rischio di rottura fragile (*rock burst*).

Zone number	Rock mass name	Class	Zone max overburden	Squeezing and face stability					Rock burst	
				Jehtwa	Bhasin	Hoek	Panet		Tao Zhen-Yu	Hoek
							Face behaviour	Face condition		
14	GA-BCA-A-10g	II	1200	MiS	MS	FP	PP	STS	MRB	SSp
	GA-BCA-GS-10g	III		MoS	MS	FP	PP	STS		
15	GA-BCA-GS-10g	III	1135	MoS	MS	FP	PP	STS		
	GA-BCA-A-10g	II		MiS	MS	FP	PP	STS	MRB	SSp
19bis	FVM-S-PS	IV	510	HS	HS	ES	P	US		
	FVM-S-B	IV		HS	HS	ES	P	US		
19	FVM-C-Q	III	450	MiS	MS	FP	E	US		
19bis	FVM-S-PS	IV	550	HS	HS	ES	P	US		
	FVM-S-B	IV		HS	HS	ES	P	US		
19ter	TM-T-TM	IV	550	MoS	MS	ES	PP	US		
20	TM-T-1	III	615	MiS	MS	FP	PP	US		
21	TM-DZ-GA3	III	655	MoS	MS	MS	PP	US		
22	GB-CZ-GA2	III	665	HS	HS	ES	P	US		
	GB-CZ-GA2 ter	III		HS	HS	ES	P	US		
23	GB-DZ-GA1	III	745	MoS	MS	FP	PP	US		
24	GB-G-GA-9 (*)	III	760	NS	NS	FP	E	S		
25	GB-G-GA-10	I	1090	NS	NS	FP	E	S	MRB	SSp
		II		MiS	MS	FP	E	S	MRB	SSp
		III		MiS	MS	FP	PP	STS		

<p><b>Jehtwa</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>NS No squeezing</li> <li>MiS Mildly squeezing</li> <li>MoS Moderately squeezing</li> <li>HS Highly squeezing</li> </ul>	<p><b>Bhasin</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>NS No squeezing</li> <li>MS Mild to moderate squeezing</li> <li>HS Highly squeezing</li> </ul>	<p><b>Hoek (Squeezing)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>FP Few stability problems</li> <li>MS Minor squeezing problems</li> <li>SS Severe squeezing problems</li> <li>VSS Very severe squeezing and face stability problems</li> <li>ES Extreme squeezing problems</li> </ul>
<p><b>Panet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>E Elastic</li> <li>PP Partially plastic</li> <li>P Plastic</li> <li>S Stable</li> <li>STS Stable (only short-term)</li> <li>US Unstable</li> </ul>	<p><b>Tao Zhen-Yu</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>NRB No rockbursting</li> <li>LRB Low rockbursting activity</li> <li>MRB Moderate rockbursting activity</li> <li>HRB High rockbursting activity</li> </ul>	<p><b>Hoek (Rock burst)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>S Stability</li> <li>Sp Spalling</li> <li>SSp Severe spalling - slabbing</li> <li>ISM Need of important stabilization measures</li> <li>RB Cavity collapse (rock burst)</li> </ul>

Tabelle 6: Ergebnisse der empirischen Methoden

Tabella 6: Risultati dei metodi empirici.

In der Tabelle 7 wird ein Kriterium [25] [26] zur Abschätzung des Verhaltens der Ortsbrust in Abhängigkeit der Ergebnisse des Gebirgskennlinienverfahrens (Konvergenz und Ausdehnung des plastischen Zone an der Ortsbrust) aufgezeigt

In Tabella 7 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 der Ortsbrust zur Instabilität	Fronte instabile Ortsbrust
$c_f < 1\% R_{scavo}$	$1\% R_{scavo} < c_f < 2\% R_{scavo}$	$2\% R_{scavo} < c_f < 3\% R_{scavo}$	$c_f > 3\% R_{scavo}$
$F_{pl f} \ll R_{scavo}$	$F_{pl f} < R_{scavo}$	$F_{pl f} \geq R_{scavo}$	$F_{pl f} \gg R_{scavo}$

Tabelle 7: Vorgeslagene Stabilitätskriterien in [25] [26];  $c_f$  = Ortsbrustkonvergenz;  $F_{pl f}$  = Umfang des plastischen Streifens an der Ortsbrust;  $R_{scavo} = r_{eq}$  = entsprechender Aushebungsradius.

Tabella 7: Criteri di stabilità proposti in [25] [26];  $c_f$  = convergenza al fronte;  $F_{pl f}$  = estensione della fascia plastica al fronte;  $R_{scavo} = r_{eq}$  = raggio equivalente di scavo.

Das Berechnungsergebnis laut Tabelle 5-7 und ausgehend von den Annahmen laut Kap. 3.1 wird aufgezeigt, dass die statische Bemessung im vorliegenden Dokument für die Gebirge der Klassen III und IV (Homogenzonen 19-23), welche in die Störzone des Malsertales und der Pustertallinie fallen, gelten kann. Das erwartete Verhalten des Hohlraums ist im Wesentlichen von plastischer Art mit mittel bis stark druckhaftem Verhalten und einer Ortsbrust, deren Verhalten kurzzeitig stabil bis instabil bezeichnet wird.

Andere Betrachtungen, mittels Rückrechnung der geomechanischen Parameter (back-analysis) können im Anschluss an den Vortrieb der GL Ost und West innerhalb der Malsertalstörung (pk 46.8 - 47.8) angestellt werden.

Dall'analisi delle Tabelle 5-7 e dalle considerazioni riportate al Par. 3.1 si evidenzia come il dimensionamento statico contenuto nel presente rapporto può essere valido per gli ammassi in classe III e IV (zone omogenee 19-23) che ricadono nella zona di faglia della Val di Mules e della Faglia della Pusteria. Il comportamento del cavo atteso è di tipo sostanzialmente plastico, con comportamento da mediamente a fortemente spingente e con il fronte che si presenta da stabile a breve termine ad instabile.

Ulteriori considerazioni, attraverso analisi a ritroso dei parametri geomeccanici (back-analysis), potranno essere eseguite successivamente allo scavo della GL Est e Ovest all'interno della Faglia della Val di Mules (pk 46.8 - 47.8).

## 5 AUßENSCHALE

Aus der Analyse mittels Kennlinienverfahren für die Gebirge geht hervor, dass das Gebirgsverhalten druckhaft ist und deshalb eine Dimensionierung mittels numerischer Modellierung erforderlich ist.

Die numerischen Analysen wurden sowohl bei ebenen Verformungsbedingungen als auch bei axialsymmetrischen Bedingungen durchgeführt.

Die Analysen wurden mit dem Finite-Elemente-Programm MIDAS GTS [35] durchgeführt. Dieses ermöglicht es, die Lastgeschichte und das spann-verformende Verhalten des Gebirges im Verlauf sämtlicher Stufen der Bauwerkerrichtung zu verfolgen.

Bei ebenen Verformungen werden folgende Analysen durchgeführt:

- die Bestimmung des geotechnischen Bezugmodells das einen Querschnitt zur Tunnelachse darstellt;
- die Bestimmung der Kraft-Verformungs- und Festigkeitsgesetze des vom Aushub betroffenen Gebirges;
- die Bestimmung des Spannungszustands im Gebirge vor dem Tunnelaushub;
- die Simulation der Aushubphasen und der Stützaufstellung.

Bei den axialsymmetrischen Analysen wurde folgendes berücksichtigt:

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

Nachfolgend werden die Annahmen für die Querschnitte GA- T4 (Kap. 5.1) und GA-T5 (Kap. 5.2) beschrieben, während in den Anhängen 2-3 die entsprechenden Plots und statischen Nachweise wiedergegeben sind.

### 5.1 QUERSCHNITT GA-T4

Zur Bemessung des Querschnittes GA-T4 wurde der Abschnitt mit der höchsten Überdeckung in der Maulsertalstörung (700 m) berücksichtigt

#### 5.1.1 Modellgeometrie

Das Berechnungsmodell, der Problemsymmetrie zufolge, erstreckt sich 100 m in der Breite an den Enden des Hohlraums,

## 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 spritzbeton.

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

### 5.1 SEZIONE GA-T4

Per il dimensionamento della sezione GA-T4 si è considerata la sezione con la massima copertura all'interno della zona di faglia della Val di Mules (700 m).

#### 5.1.1 Geometria del modello

Il modello di calcolo, in virtù della simmetria del problema, si estende per 100 m in larghezza agli

200 m in der Höhe, von denen sich 100 m unter und 100 m über der Schienenoberkante befinden. Durch die gewählten Modellabmessungen kann davon ausgegangen werden, dass eventuelle Randeinflüsse vernachlässigbar sind. Das Gebirge wurde mittels zweidimensionaler, quadratischer Elemente mit Abmessungen von ca. 200x200 cm diskretisiert. In der Nähe des Tunnels wird die Mesh verdichtet und die Elemente erreichen Abmessungen von 50x50 cm.

Die gewählten Auflagebedingungen verhindern eine 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 Bodenaufplast (von Tunnel bis Geländeoberkante) entspricht.

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.

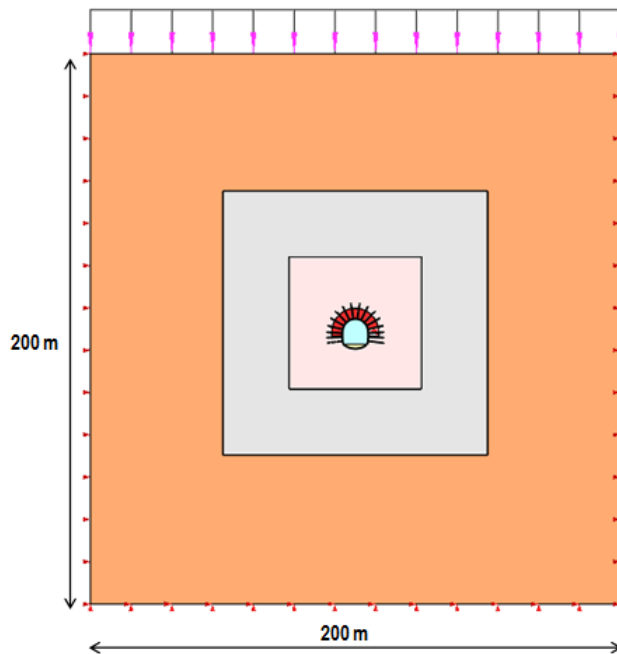


Abbildung 2: Analyseabschnitt GA-T4

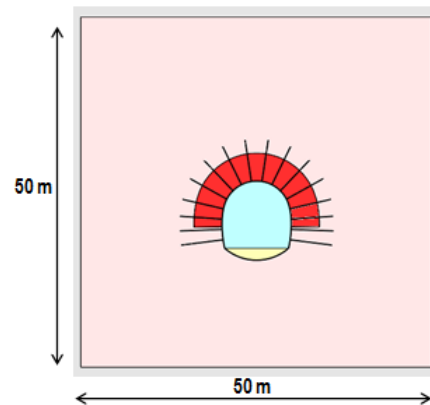


Figura 2: sezione di analisi GA-T4

Analog zum Bericht [12] wurde der Effekt der Hohlraumsicherung mittels Festigkeitsparameter modelliert, welche leicht höher angenommen, als dem umliegenden Material entspricht, wie in Anhang 2 beschrieben.

Analogamente al Rapporto [12] 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.

### 5.1.2 Gebirgsmodell und Ausgangsspannungslage

Das Gebirge wurde als ein kontinuierlich elastisch-plastisches Medium modelliert mit Widerstandskriterium des Typs Mohr-Coulomb in Analogie zum Bericht [12]. Im Besonderen wurden die elastischen (Verformungsmodul und Poisson-Beiwert), elastisch-plastischen ( $c$ ,  $\phi$ , tension cut-off [22]) und physischen (Dichte und einachsiger Komprimierungswiderstand) Eigenschaften der vom Aushub betroffenen Felsen bestimmt.

Aufgrund der im Abs. 4.1 und [6] aufgezeigten Bemerkungen, werden die geomechanischen Parameter des Gebirges FVM-S-B berücksichtigt:

Zone max overburden [m]	RMR	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_{rm}$ [MPa]	$c$ [MPa]	$\phi$ [°]	$\psi$ [-]	$\tau$ [kPa]
700	42	27	4574	1.481	34.87	4.36	24

Tabelle 8: Angenommene geomechanische Parameter (GA-T4)

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

L'ammasso è stato modellato come un mezzo continuo elasto-plastico ideale avente criterio di resistenza di tipo Mohr-Coulomb analogamente al rapporto [12]. In particolare sono state assegnate le caratteristiche elastiche (modulo di deformazione e coefficiente di Poisson), elasto-plastiche ( $c$ ,  $\phi$ , tension cut-off [27]) e fisiche (densità e resistenza a compressione monoassiale) proprie delle rocce interessate dallo scavo.

Sulla base delle considerazioni riportate nel Par 4.1 e nell'elaborato [6], sono stati considerati i seguenti parametri geomeccanici relativi all'ammasso FVM-S-B:

Tabella 8: Parametri geomeccanici considerati (GA-T4)

Die Kraftlage vor Ort wurde gemäß folgenden Verhältnissen ausgewertet:

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

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

Wobei:

- $Z$  = Abstand des allgemeinen Elements von der Geländeoberkante
- $K_0$  = Beiwert des horizontal wirkenden Erddrucks, gleich 0.75 angenommen.

Dove

- $Z$  rappresenta la distanza del generico elemento dal piano campagna
- $K_0$  è il coefficiente di spinta orizzontale, assunto pari a 0.75.

### 5.1.3 Eigenschaften der Außenschale

Folgende Tabelle zeigt die Eigenschaften der Sicherheitsmaßnahmen für das Profil GA-T4 auf:

GA-T4	Anker Ancoraggi						Spritzbeton Betoncino proiettato			Stahlbogen Centine	
	Position Posizione	Typ Tipo	$N_y$ [kN]	$L$ [m]	$i_{längs/long}$ [m]	$i_{quer/trasv}$ [m]	Klasse Classe [-]	$s_{nom}$ [cm]	$s_{min}$ [cm]	Typ Tipo	$i$ [m]
	Radial	R38N	400	6	1.5	1.5	C30/37	30	24	Gitterträger Reticolari 4Φ26	0.75- 1.5
	Radiali	SN28	413	5.5	1.5	1.5					
	Umriss Contorno	R51N	630	8	3.0	0.75					

Tabelle 9: Eigenschaften der Außenschale GA-T4

### 5.1.3 Caratteristiche dei rivestimenti di prima fase

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

Tabella 9: Caratteristiche rivestimenti di prima fase GA-T4

Zur Modellierung des Spritzbetons wurden eindimensionale Elemente - beam mit elastischem Verhalten angenommen. Vorsichtshalber wurden zwei Analysen durchgeführt: eine mit  $E = 5 \text{ GPa}$ , um die Verformungen zu maximieren und eine mit  $E = 15 \text{ GPa}$ , um die Belastungen zu maximieren. Der Wert  $E = 15 \text{ GPa}$  entspricht ca. 50% der Steifigkeit eines verhärteten Betons mittlerer Klasse; auf diese Weise ist es möglich das typische Verhalten der viskosen Verformung und des Schwindens zu berücksichtigen.

Die numerische Modellierung modelliert nicht die Stahlbögen aufgrund des konservativen Ansatzes, die Stahlbögen wurden nur bei den Abschnittsüberprüfungen aus Anlage 3 berücksichtigt.

Die Anker werden ins Modell eingefügt und zwar mit einem Grenzwiderstand, der ihrer Streckgrenze entspricht, die um den Widerstandsbeiwert ( $Y_R = 1.15$ ) und der Reibung ( $Y_R = 1.3$ ) faktorisiert wird, so wie mit BBT SE abgesprochen. Die Anker werden mit spezifischen eindimensionalen Elementen (Truss) nachgebildet, mit perfekt plastisch-elastischem Verhalten (Abbildung 3) und Von Mises Bruchkriterium ( $N_{yd} = N_{yk}/1.15 = 348 \text{ kN}$ ). Sie sind mit den Gitterknoten über eine Schnittstelle verbunden, wobei Vorsichtswerte des Querwiderstands ( $190 \text{ kN/m}$ ) und der tangentialen Steifigkeit ( $15 \text{ MN/m/m}$ ) [33] berücksichtigt werden.

Analog zum Bericht [12] wurde die Wirkung der Hohlraumverfestigung durch eine Materialschicht mit leicht erhöhten Widerstandsparametern modelliert, wie in der Anlage 2 ersichtlich.

Per la modellazione dello spritzbeton si sono assunti elementi monodimensionali beam con comportamento elastico. In via cautelativa si sono eseguite due analisi: una con  $E = 5 \text{ GPa}$  per massimizzare le deformazioni e una con  $E = 15 \text{ GPa}$  per massimizzare le sollecitazioni. Il valore di  $E = 15 \text{ GPa}$ , 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 cinte non sono state modellate ma solamente considerate nelle verifiche sezionali riportate in Appendice 3.

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 3) 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 ( $190 \text{ kN/m}$ ) e rigidità tangenziale ( $15 \text{ MN/m/m}$ ) [33].

Analogamente al Rapporto [12], 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.

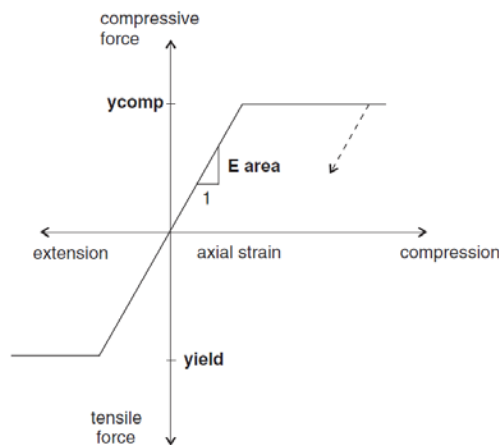


Abbildung 3: Kraft-Verformungsverhalten der Anker-Elemente

Figura 3: Comportamento sforzo-deformazione per gli ancoraggi

#### 5.1.4 Laststufe

Nach einer ersten Phase der Modellinitialisierung, zur Berechnung des Ausgangsgleichgewichts, wird die Tunnelaushebung mittels Trägheits-Kräften der Aushebung simuliert (späterhin FFS).

Nachfolgend sind die Berechnungsstufen für das Modell mit ebenen Verformungen mit den aus der Interpolation der Kennlinien erhaltenen FFS (sh. Anhang 1) zusammengefasst:

- 0) Geostatische Ausgangslage mit Bestimmung der Geometrie, der Umgebungslagen, der Stratigraphie und der geostatischen Ausgangsspannungen;
- 1) Annullierung der Zonen innerhalb der Aushebung und Reduktion der FFS bis zum Wert den sie an der Ortsbrust einnehmen (FFS=18%);
- 2) Reduktion der FFS bis zum Wert den sie bei der Einsetzung der Außenschale einnehmen (auf 1.5 m von der Ortsbrust) (FFS =8.5%);
- 3) Einführung des numerischen Modells der radialen Ankerung in der Kalotte und Senkung der FFS auf ca. 2% (1 Durchmesser, ca. 10 Meter)
- 4) Aktivierung des Spritzbetons (Kalotte  $s_{tot} = 24$  cm,  $E = 15$  GPa; Sohle  $s_{tot} = 28$  cm,  $E = 15$  GPa) und Annullierung der FFS (FFS = 0%)
- 5) Entfernung der Außenschale und Simulation der Langzeitkonfiguration mit der Einsetzung der Innenschale. Diese ist mit der Bewehrungsmatte verbunden mittels eines Schnittstellenelementes, mit normaler dem Gebirge entsprechende Steifigkeit, und tangentialer Steifigkeit gleich Null. Dieses Schnittstellenelement ermöglicht die Wirkung der Abdichtungsschicht zwischen den zwei Schalen zu berücksichtigen, indem es die tangentialen Spannungen annulliert, darüber hinaus die Drucke zu schätzen die auf der Innenschale wirken.

#### 5.1.4 Step di carico

Dopo una prima fase di inizializzazione del modello, necessaria per calcolare l'equilibrio iniziale, lo scavo della GA-T4 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 ottenute dall'interpolazione delle curve caratteristiche (vedasi Appendice 1):

- 0) Condizione geostatica iniziale con definizione della geometria, delle condizioni al contorno, della stratigrafia e delle tensioni geostatiche iniziali;
- 1) Inserimento zona consolidata al contorno e riduzione delle forze FFS, fino al valore che assumono al fronte (FFS=18%);
- 2) Riduzione delle FFS fino al valore che assumono nel momento di installazione del rivestimento di prima fase (1.5 m dal fronte) (FFS=8.5%);
- 3) Introduzione nel modello numerico degli ancoraggi radiali in calotta e riduzione delle FFS a ca. 2% (1 diametro, ca. 10 metri);
- 4) Attivazione del calcestruzzo proiettato (calotta  $s_{tot} = 24$  cm,  $E = 15$  GPa; platea  $s_{tot} = 28$  cm,  $E = 15$  GPa) e annullamento delle FFS (FFS=0%).
- 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 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.

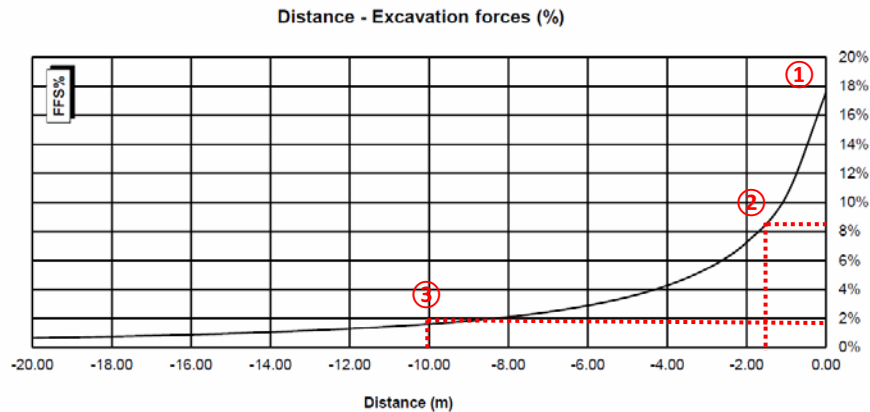


Abbildung 4: Berücksichtigte FFS für das Modell GA-T4

Figura 4: FFS considerate per il modello GA-T4

### 5.1.5 Nachweisverfahren

Gemäß den NTC 2008 werden die Einwirkungen auf die Außenschale, die dem FEM Modell entnommen sind, um  $\gamma_G = 1,30$  erhöht und die Widerstände des strukturellen Abschnitts um  $\gamma_c = 1,50$  reduziert, das heißt  $\gamma_s = 1,15$ .

Die Nachweise gelten erfüllt, wenn folgende Ungleichung verifiziert ist:

$$E_d \leq R_d$$

Hierbei ist:

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

Weiters wird festgestellt, dass die Anker, welche ihre Streckgrenze erreichen ( $N_{yd} = 348$  kN), nicht die axiale Verformungsgrenze von 5 % erreichen.

### 5.1.6 Ergebnisse

Die in Anhang 3 aufgezeigten Analysen bestätigen, dass das Verhalten des Gebirges durch ein mäßig druckhaftes Verhalten gekennzeichnet ist. Die Gesamtkonvergenz bei Vorhandensein von Befestigungen und Verkleidungen beträgt ca. 90 mm (relative Konvergenz ca. 40 mm) mit Ausbildung eines plastischen Streifens von maximaler Ausdehnung von ca. 4 m.

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

Der vom Gebirge ausgeübte Druck auf die Innenschale, bei Verfall der Außenschale, beträgt 380 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  $\gamma_G = 1,30$  e le resistenze della sezione strutturale sono ridotte di  $\gamma_c = 1,50$  ovvero  $\gamma_s = 1,15$ .

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 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. 90 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 380 kPa.



## 5.2 QUERSCHNITT GA-T5

Zur Bemaßung des Abschnitts GA-T5 wurde der Abschnitt mit der höchsten Abdeckung in der Maulsertalstörung berücksichtigt und analog zum Bericht [12] wurde eine Überlagerung von 375 m (Abnahme der Bildung eines Bogeneffekts, welcher die Reduzierung des effektiva auf die Laibung wirkenden Gebirgsdruckes erlaubt).

### 5.2.1 Modellgeometrie

Das Berechnungsmodell, der Problemsymmetrie zufolge, erstreckt sich 100 m in der Breite an den Enden des Hohlraums, 200 m in der Höhe, von denen sich 100 m unter und 100 m über der Schienenoberkante befinden. Durch die gewählten Modellabmessungen kann davon ausgegangen werden, dass eventuelle Randeinflüsse vernachlässigbar sind. 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 50x50 cm.

Die gewählten Auflagebedingungen verhindern eine 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.

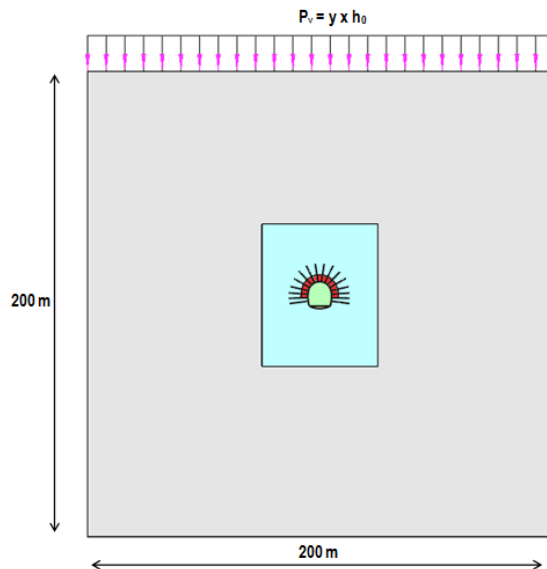


Abbildung 5: Analyseabschnitt GA-T5

## 5.2 SEZIONE GA-T5

Per il dimensionamento della sezione GA-T5 si è considerata una sezione all'interno della zona di faglia della Val di Mules e analogamente al rapporto [12], è stata considerata una copertura pari a 375 m (ipotesi di una formazione di effetto arco che permette di ridurre le pressioni effettivamente agenti sui rivestimenti).

### 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 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.

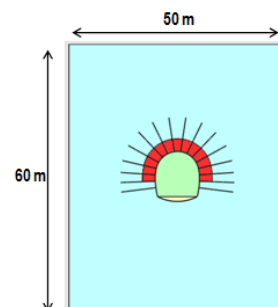


Figura 5: sezione di analisi GA-T5

### 5.2.2 Gebirgsmodell und Ausgangsspannungslage

Das Gebirge wurde als ein kontinuierlich elastisch-plastisches Medium modelliert mit Widerstandskriterium des Typs Mohr-Coulomb in Analogie zum Bericht [12]. Im Besonderen wurden die elastischen (Verformungsmodul und Poisson-Beiwert), elastisch-plastischen ( $c$ ,  $\varphi$ , tension cut-off [27]) und physischen (Dichte und einachsiger Komprimierungswiderstand) Eigenschaften der vom Aushub betroffenen Felsen bestimmt.

Aufgrund der im Abs. 4.1 aufgezeigten Bemerkungen, werden die geomechanischen Parameter des Gebirges FVM-S-PS berücksichtigt:

Zone max overburden [m]	RMR	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$E_{rm}$ [MPa]	$c$ [MPa]	$\varphi$ [°]	$\psi$ [-]	$\tau$ [kPa]
375	51	27	10375	0.893	24.3	3.34	3

Tabelle 10: Angenommene geomechanische Parameter (GA-T5)

Die Kraftlage vor Ort wurde gemäß folgenden Verhältnissen ausgewertet:

Wobei:

- $Z$  = Abstand des allgemeinen Elements von der Geländeoberkante
- $K_0$  = Beiwert des waagrechten Schubs, gleich 0.75 angenommen ist.

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

L'ammasso è stato modellato come un mezzo continuo elasto-plastico ideale avente criterio di resistenza di tipo Mohr-Coulomb analogamente al rapporto [12]. In particolare sono state assegnate le caratteristiche elastiche (modulo di deformazione e coefficiente di Poisson), elasto-plastiche ( $c$ ,  $\varphi$ , tension cut-off [27]) e fisiche (densità e resistenza a compressione monoassiale) proprie delle rocce interessate dallo scavo.

Sulla base delle considerazioni riportate nel Par 4.1, sono stati considerati i seguenti parametri geomeccanici relativi all'ammasso FVM-S-PS:

Tabella 10: Parametri geomeccanici considerati (GA-T5)

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

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

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

Dove

- $Z$  rappresenta la distanza del generico elemento dal piano campagna
- $K_0$  è il coefficiente di spinta orizzontale, assunto pari a 0.75.

### 5.2.3 Eigenschaften der Außenschale

Folgende Tabelle zeigt die Eigenschaften der Sicherungsmaßnahmen für das Profil GA-T5 auf:

GA-T5	Anker Ancoraggi						Spritzbeton Betoncino proiettato			Stahlbogen Centine	
	Position Posizione	Typ Tipo	$N_y$ [kN]	$L$ [m]	$i_{\text{lang}/\text{long}}$ [m]	$i_{\text{quer}/\text{trasv}}$ [m]	Klasse Classe [-]	$s_{\text{nom}}$ [cm]	$s_{\text{min}}$ [cm]	Typ Tipo	$i$ [m]
	Radial Radiali	R38N	400	8	1.5	1.5	C30/37	30	24	2 IPN 180	0.75 - 1.5
Umriss Contorno	R51N	630	12	3.0	0.75						

Tabelle 11: Eigenschaften der Außenschale GA-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 GA-T5:

Tabella 11: Caratteristiche rivestimenti di prima fase GA-T5

Zur Modellierung des Spritzbetons wurden eindimensionale Elemente - beam mit elastischem Verhalten angenommen.

Per la modellazione dello spritzbeton si sono assunti elementi monodimensionali beam con comportamento

Vorsichtshalber wurden zwei Analysen durchgeführt: eine mit  $E = 5 \text{ GPa}$ , um die Verformungen zu maximieren und eine mit  $E = 15 \text{ GPa}$ , um die Belastungen zu maximieren. Der Wert  $E = 15 \text{ GPa}$  entspricht ca. 50% der Steifigkeit eines verhärteten Betons mittlerer Klasse; auf diese Weise ist es möglich das typische Verhalten der viskosen Verformung und des Schwindens zu berücksichtigen.

Die numerische Modellierung modelliert nicht die Stahlbögen aufgrund des konservativen Ansatzes, die Stahlbögen wurden nur bei den Abschnittsüberprüfungen aus Anlage 4 berücksichtigt.

Die Anker besitzen im Modell einen Grenzwiderstand, der ihrem Ermüdungswiderstand entspricht, der wiederum um den Widerstandsbeiwert ( $Y_R = 1.15$ ) und Reibungsbeiwert ( $Y_R = 1.3$ ) faktorisiert ist, wie mit BBT SE vereinbart. Die Anker werden mit spezifischen eindimensionalen Elementen (Truss) nachgebildet, mit perfekt plastisch-elastischem Verhalten (Abbildung 3) und Von Mises Bruchkriterium ( $N_{yd} = N_{yk}/1.15 = 348 \text{ kN}$ ). Sie sind mit den Gitterknoten über eine Schnittstelle verbunden, wobei Vorsichtswerte des Querwiderstands ( $190 \text{ kN/m}$ ) und der tangentielle Steifigkeit ( $15 \text{ MN/m/m}$ ) [33] berücksichtigt werden.

Analog zum Bericht [12] wurde die Wirkung der Hohlraumverfestigung durch eine Materialschicht mit leicht erhöhten Widerstandsparametern modelliert, wie in der Anlage 3 ersichtlich.

#### 5.2.4 Laststufe

Nachfolgend sind die Berechnungsstufen für das Modell mit ebenen Verformungen mit den aus der Interpolation der Kennlinien erhaltenen FFS (sh. Anhang 1) zusammengefasst:

- 0) Geostatische Ausgangslage mit Bestimmung der Geometrie, der Randbedingungen, der Stratigraphie und der geostatischen Ausgangsspannungen;
- 1) Einfügen der befestigten Zone am Umriss und Verringerung der FFS bis zum Wert, den sie an der Ortsbrust einnehmen (FFS =12%);
- 2) Reduktion der FFS bis zum Wert, den sie bei der Einsetzung der Außenschale einnehmen (auf 1.5 m von der Ortsbrust) (FFS =8.5%);
- 3) Einführung der radialen Anker ins numerische Modell und Reduktion der FFS auf ca. 2.5% (10 Meter von der Ortsbrust -1 Durchmesser von der Ortsbrust);
- 4) Anbringung des Spritzbetons (Kalotte  $s_{tot} = 24 \text{ cm}$ ,  $E = 15 \text{ GPa}$ ; Gegengewölbe  $s_{tot} = 28 \text{ cm}$ ,  $E = 15 \text{ GPa}$ ) und

elastico. In via cautelativa si sono eseguite due analisi: una con  $E = 5 \text{ GPa}$  per massimizzare le deformazioni e una con  $E = 15 \text{ GPa}$  per massimizzare le sollecitazioni. Il valore di  $E = 15 \text{ GPa}$ , 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 4).

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 3) 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 ( $190 \text{ kN/m}$ ) e rigidità tangenziale ( $15 \text{ MN/m/m}$ ) [33].

Analogamente al Rapporto [12], 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 ottenute dall'interpolazione delle curve caratteristiche (vedasi Appendice 1):

- 0) Condizione geostatica iniziale con definizione della geometria, delle condizioni al contorno, della stratigrafia e delle tensioni geostatiche iniziali;
- 1) Inserimento zona consolidata al contorno e riduzione delle forze FFS, fino al valore che assumono al fronte (FFS=12%);
- 2) Riduzione delle FFS fino al valore che assumono nel momento di installazione del rivestimento di prima fase (1.5 m dal fronte) (FFS=8.5%);
- 3) Introduzione nel modello numerico degli ancoraggi radiali in calotta e riduzione delle FFS a ca. 2.5% (10.0 m dal fronte - 1 diametro dal fronte);
- 4) Attivazione del calcestruzzo proiettato (calotta

Annullierung der FFS (FFS =0%);

5) Entfernung der Außenschale und Simulation der Langzeitkonfiguration mit der Einsetzung der Innenschale. Diese ist mit der Mesh mittels eines Schnittstellenelements verbunden, mit normaler Steifigkeit, die dem Gebirge entspricht, und tangentialer Steifigkeit gleich Null. Dieses Schnittstellenelement ermöglicht es, die Wirkung der Abdichtungsschicht zwischen den zwei Schalen zu berücksichtigen, indem es die tangentialen Spannungen annulliert, sowie die Drucke zu schätzen, die auf der Innenschale wirken.

$s_{tot} = 24$  cm,  $E = 15$  GPa; platea  $s_{tot} = 28$  cm,  $E = 15$  GPa) e annullamento delle FFS (FFS=0%).

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 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.

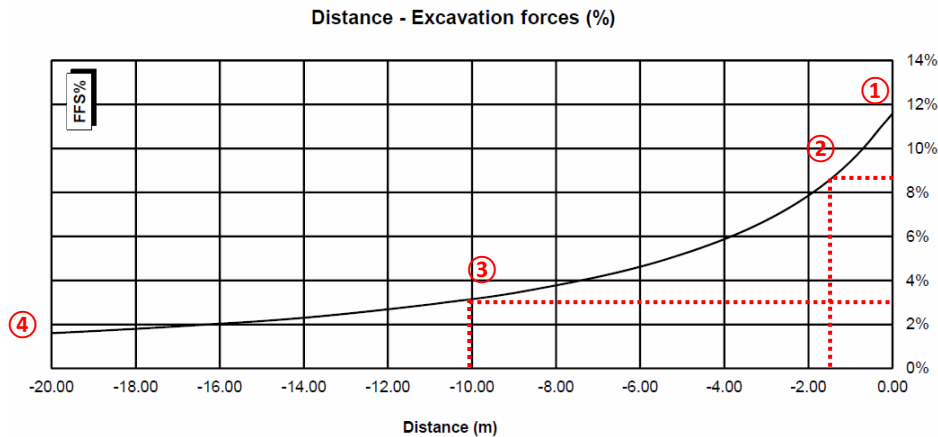


Abbildung 6: Berücksichtigte FFS für das Modell GA-T5

Figura 6: FFS considerate per il modello GA-T5

### 5.2.5 Nachweisverfahren

Gemäß den NTC 2008 werden die Einwirkungen auf die Außenschale, die dem FEM Modell entnommen sind, um  $\gamma_G = 1,30$  erhöht und die Widerstände des strukturellen Abschnitts um  $\gamma_c = 1,50$  reduziert, das heißt  $\gamma_s = 1,15$ .

Die Nachweise gelten erfüllt, wenn folgende Ungleichung verifiziert ist:

$$E_d \leq R_d$$

Hierbei ist:

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

Die Anker, die ihre Ermüdungsgrenze erreichen ( $N_{yd} = 348$  kN), überschreiten nicht die axiale Verformungsgrenze, die auf 5% gesetzt wurde.

### 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  $\gamma_G = 1,30$  e le resistenze della sezione strutturale sono ridotte di  $\gamma_c = 1,50$  ovvero  $\gamma_s = 1,15$ .

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 Ergebnisse

Die in Anhang 3 aufgezeigten Analysen bestätigen, dass das Verhalten des Gebirges durch ein druckhaftes Verhalten gekennzeichnet ist.

Die Gesamtkonvergenz bei Vorhandensein von Befestigungen und Verkleidungen beträgt ca. 380 mm (relative Konvergenz ca. 80 mm) mit Ausbildung eines plastischen Streifens von maximaler Ausdehnung von ca. 9/10 m.

Aufgrund des beobachtenden Ansatzes und unter Berücksichtigung der Informationen aus dem Vortrieb der naheliegenden GL, wird das effektive Gebirgsverhalten bewertet und demzufolge entschieden, ob das Übermaß erhöht werden soll und/oder ob zusätzliche Maßnahmen zu ergreifen sind [5].

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

Der vom Gebirge ausgeübte Druck auf die Innenschale, bei Verfall der Außenschale, beträgt 630 kPa.

### 5.2.6 Risultati

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

La convergenza totale in presenza dei consolidamenti e dei rivestimenti è di ca. 380 mm (convergenza relativa ca. 80 mm) con la formazione di una fascia plastica di estensione massima di ca. 9/10 m.

Nell'ottica di un approccio osservazionale, a seguito delle informazioni ottenibili dallo scavo delle limitofe GL, si dovrà valutare l'effettivo comportamento dell'ammasso e conseguentemente valutare se sia necessario aumentare il sovrascavo e/o predisporre provvedimenti integrativi [5].

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 630 kPa.

## 5.3 ANALYSE DER STANDSICHERHEIT DER ORTBRUST

### 5.3.1 Nachweisverfahren

In den Anhängen 2-3 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 Querschnitt GA-T4

Für den Abschnitt GA-T4 bestätigt die axialsymmetrische Analyse, die ohne Ausbau (Anhang 3) und mit Abschlügen von 1.5 m durchgeführt wurde, die Angaben des Kennlinienverfahrens. Es wird hervorgehoben, dass die Ortsbrustverformung ca. 90 mm beträgt, mit absoluter radialer Konvergenz von 130 mm, während der plastifizierte Bereich sich auf ca. 5 m vor der Ortsbrust und 4/5 m am Umriss ausdehnt.

Die Eingriffe an der Ortsbrust bestehen aus Selbstbohranker 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  $R_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$  verpresst, die die Begrenzung der Ortsbrustextrusion auf ca. 70 mm ermöglichen, sowie die Begrenzung der Ausdehnung des plastifizierten Bereichs vor der Ortsbrust (4 m) und am Umriss (4 m) erlauben.

Aufgrund des beobachtenden Ansatzes wird man das tatsächliche Verhalten des Gebirges überprüfen und demnach die Stärke der Anker an der Ortsbrust reduzieren oder erhöhen müssen, auch hinsichtlich des Auftretens eventueller einzelner Abbruchblöcke.

#### 5.3.2.2 Querschnitt GA-T5

Für den Abschnitt GA-T5, der innerhalb des Gebirges FVM-N-C analysiert wurde, bestätigt die axialsymmetrische Analyse, welche ohne Ausbau (Anhang 3) und mit Abschlügen von 1.5 m durchgeführt wurde, die Angaben des Kennlinienverfahrens. Es wird hervorgehoben, dass die Ortsbrustverformung ca. 310 mm beträgt mit absoluter radialer Konvergenz von 780 mm, während der plastifizierte Bereich sich auf ca. 6/7 m vor der Ortsbrust und 12 m am Umriss ausdehnt.

Die Eingriffe an der Ortsbrust bestehen aus Selbstbohranker 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. 210 mm ermöglichen, sowie die Begrenzung der Ausdehnung des plastifizierten Bereichs vor der Ortsbrust (6 m) und am Umriss

## 5.3 ANALISI DELLA STABILITÀ DEL FRONTE

### 5.3.1 Procedura di verifica

Nelle Appendici 2-3 vengono riportati 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 GA-T4

Per la sezione GA-T4, 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 90 mm, con convergenza radiale assoluta di 130 mm, mentre la zona plasticizzata si estende per circa 5 m davanti al fronte e di 4/5 m al contorno.

Gli interventi al fronte costituiti da barre autoperforanti tipo R51N ( $N_y \geq 630 \text{ kN}$ ), con lunghezza 15.00m, sovrapposizione 6.00m, interasse 1.5m e cementati con miscela cementizia avente  $R_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$ , consentono di limitare l'estrusione al fronte a circa 70 mm, l'estensione della zona plasticizzata davanti al fronte (4 m) e al contorno (4 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 GA-T5

Per la sezione GA-T5, analizzata all'interno dell'ammasso FVM-N-C, 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 310 mm, con convergenza radiale assoluta di 780 mm, mentre la zona plasticizzata si estende per circa 6/7 m davanti al fronte e di 12 m al contorno.

Gli interventi al fronte costituiti da barre autoperforanti tipo R51N ( $N_y \geq 630 \text{ kN}$ ), con lunghezza 15.00m, sovrapposizione 6.00m, interasse 1.5m e cementati con miscela cementizia avente  $R_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$ , consentono di limitare l'estrusione al fronte a circa 210 mm, l'estensione della zona plasticizzata davanti al fronte (6 m) e al contorno (10 m).

L'entità della convergenza massima e dell'estrusione al fronte

(10 m) erlauben.

Die Größenordnung der Konvergenzen und der Ortsbrustverformung, auch unter Vorhandensein der Hohlraumverfestigungen erscheint sehr hoch. Andererseits erachtet man es als nicht möglich, die Ortsbrustsicherungen noch weiter zu verdichten. Während der Ausführung muss deshalb auf diesen Aspekt besonderes Augenmerk gelegt werden, indem die Klüftungen bestmöglich ausinjeziert werden.

Aufgrund des Beobachtungsverfahrens wird das tatsächliche Verhalten des Gebirges anhand der angrenzenden Ausbrucharbeiten der GL (pk 46+800/47+800 e 48+115/49+331) beurteilt und dementsprechend die Anzahl der Ortsbrustanker reduziert oder erhöht.

anche in presenza degli interventi di consolidamento appare piuttosto alta. D'altra parte non si ritiene possibile incrementare ulteriormente in modo sensibile l'intensità del consolidamento del fronte. Particolare attenzione dovrà essere quindi posta a questo aspetto durante la fase esecutiva, curando al massimo la cementazione degli inclusi.

Nell'ottica di un approccio osservazionale, si dovrà valutare l'effettivo comportamento dell'ammasso a seguito delle informazioni derivanti dallo scavo delle limitrofe GL (pk 46+800/47+800 e 48+115/49+331) e conseguentemente ridurre o aumentare l'intensità degli ancoraggi al fronte.

## 6 INNENSCHALE

### 6.1 STABWERKSMODELLE

Die Beanspruchungen der Innenschale sind durch das informatische Rechenprogramm MIDAS Gen2013, das auf die Finite-Elementen-Methode (FEM) basiert, berechnet worden.

Für die Berechnung wird ein Abschnitt des Tunnels mit einheitlicher Tiefe (1 m) berücksichtigt und ein Strukturmodell festgelegt und zwar mittels ebenen Finite-Elemente des Typs Träger (beam). Die Tunnelschale ist durch Elemente schematisiert, die kürzer als 0.5 m sind und die reellen Stärken des berücksichtigten strukturellen Elements besitzen (Kalotte, Widerlager, Gegenbogen/Grundplatte).

Die strukturelle Steifigkeit der Träger Elemente wird als  $E'_c \times I_y$  des nicht gerissenen Schnitts berechnet. Das Trägheitsmoment  $I_g$  wird im Verhältnis zur Schnittachse aus Beton berechnet, wobei der Stahl, wo vorhanden, ausgelassen wird. Das elastische Modul  $E'_c$ , im Falle von ebener Verformung, beträgt

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

mit:

- $E_c$  = Elastizitätsmodul des Betons;
- $\nu$  = Poissonsahl (0.2);

Zur Modellierung des unbewehrten Betons wird ein elastisch-lineares Materialmodell verwendet. Die Neuverteilung der Belastungen werden laut Absatz 12.5 des EC2 berechnet, falls die abschnittsweise Steifigkeit durch die Bildung von Rissen, dort wo die Betonzugfestigkeit überschritten wurde (Bildung von plastischen Gelenken) verloren gegangen ist. Die Modellierung der plastischen Gelenke erfolgt durch den Einsatz von Torsionsfedern, deren Steifigkeit iterativ mit der Pöttler-Methode [31], [32] berechnet wird.

### 6.2 INTERAKTION TRAGWERK-BAUGRUND

Die Zusammenwirkung Boden-Struktur wird mit dem Einsatz von Point Support Elementen simuliert, die an die Modellknoten gesetzt werden. Nur bei Komprimierung übertragen diese Elemente den Knoten eine Reaktion, die dem Kontaktdruck Boden-Struktur entspricht. Die Steifigkeit der genannten Elemente wird unter Berücksichtigung des Reaktionsmoduls des Bodens  $k$  und der Schnittstelle, welche sich aus dem Paket der Abdichtung - Dränageschicht ergibt, bestimmt. Die erste wird laut den nachfolgend angeführten Relationen bestimmt und zwar jeweils für gekrümmte und gradlinige Oberflächen (Abs. 6.2.1 und 6.2.2). Die zweite wurde mit  $60'000 \text{ kN/m}^3$  aufgrund der Eigenschaften des Abdichtungsstreifens angenommen. Letztere gilt für Verschiebungen von weniger als 0.5 cm.

## 6 RIVESTIMENTO DEFINITIVO

### 6.1 METODO DELLE REAZIONI IPERSTATICHE

Le sollecitazioni nel rivestimento definitivo sono state calcolate mediante il programma di calcolo informatico 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 rigidità 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 redistribuzione delle sollecitazioni in seguito alla perdita di rigidità 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 rigidità 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 rigidità 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 spostamenti inferiori a 0.5 cm. Superati tali spostamenti, la



Werden diese Verschiebungen überschritten, entspricht die Schnittstellensteifigkeit der des Gebirges.

Die tangenziale Steifigkeit wurde aufgrund des Vorhandenseins des Abdichtungsmantels bei der Schnittstelle Boden-Struktur vernachlässigt.

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.

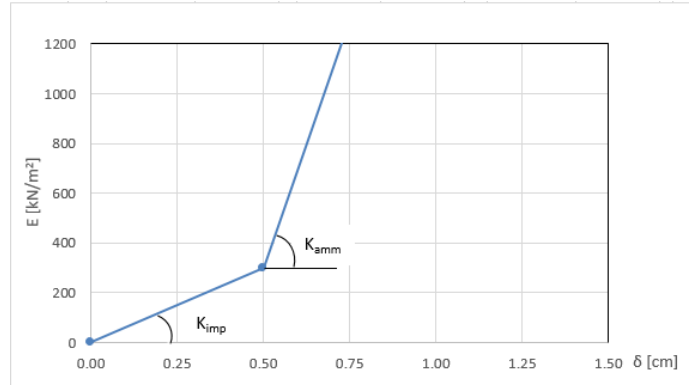


Abbildung 7: Schematisierung der Schnittstelle

Figura 7: Schematizzazione dell'interfaccia

### 6.2.1 Modellierung der Bettung

Die radiale Bettung der Innenschale im Gebirge/Boden ermittelt sich in der Regel unter Berücksichtigung des Elastizitätsmoduls  $E$  und der Querdehnzahl  $\nu$  des Gebirges/Bodens sowie der Systemlinie des entsprechenden Innenschalenradius  $R$  wie folgt:

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

Hierbei ist:

- $K_R$  = radiale Bettung Innenschale – Gebirge [MN/m<sup>3</sup>]
- $E$  = Elastizitätsmodul des umliegenden Gebirges
- $E_S$  = Steifemodul des umliegenden Gebirges
- $\nu$  = Querdehnzahl des Bodens/Gebirges
- $R$  = Tunnelradius Systemlinie

### 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/m<sup>3</sup>]
- $E$  = 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 Federkonstanten Auflagerbereich/Sohle

Das Widerlager der Konstruktion mit Sohlplatte bzw. offener Sohle wird durch Federn mit zugehöriger Steifigkeit in Abhängigkeit der dazugehörigen Einflussbreite „b“ modelliert. Die Federkonstanten sind wie folgt zu ermitteln:

Federkonstante  $c_v$  – vertikal

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

Federkonstante  $c_h$  – horizontal

- $c_h = 0,5 \cdot c_v$

### 6.2.2 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 EINWIRKUNGEN

Im Folgenden werden folgende Kürzel für die Einwirkungen herangezogen:

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

#### 6.3.1 Eigengewicht G1

Die für die Berechnung des Eigengewichts verwendete Querschnittsfläche pro Tunnelmeter basiert auf den Planmaßen der Konstruktion.

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

#### 6.3.2 Kettenwerk G2

Das Kettenwerk wird zur Sicherheit auf einem maximalen Abstand von 50 m angebracht, wie in der Abbildung ersichtlich. Aus diesen Lasten ergeben sich die am Aufhängepunkt anzusetzenden Lasten:

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

### 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 2,50kN

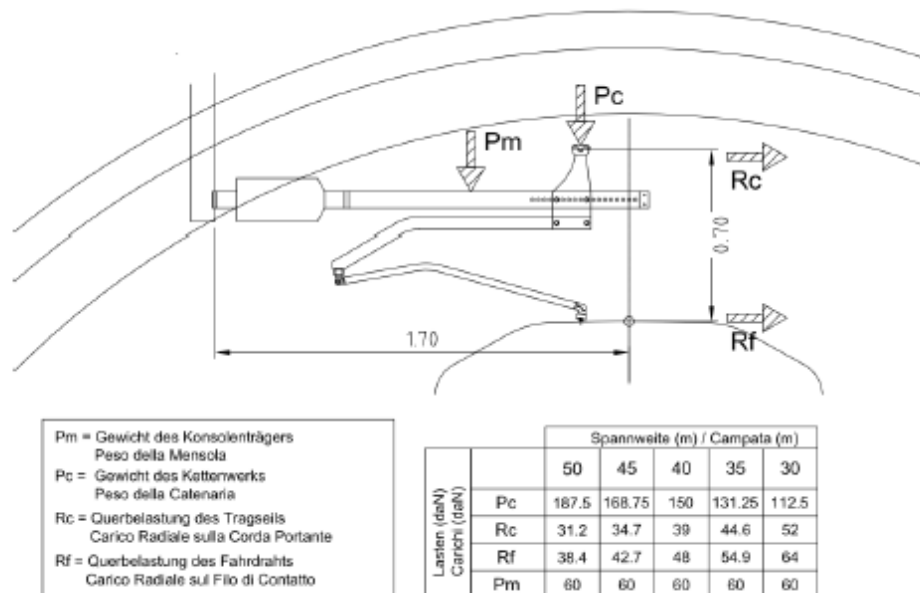


Abbildung 8: Lasten des Kettenwerks

Figura 8: Carichi della catenaria

### 6.3.3 Auffüllung mit Beton oberhalb des Sohlgewölbes G3

Das für die Berechnung des Eigengewichts verwendete Volumen basiert auf dem Planmaß der Konstruktion.

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

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

### 6.3.4 Wasserdruck G4

Für druckentlastete (drainierte) Tunnel wird der Wasserdruck bei Regelquerschnitten mit Sohlgewölbe nur vom unteren Scheitelpunkt unter dem Sohlgewölbe bis in die Höhe der Ulmenlängsdrainage berücksichtigt. Die Wasserlasten sind dann wie folgt anzusetzen:

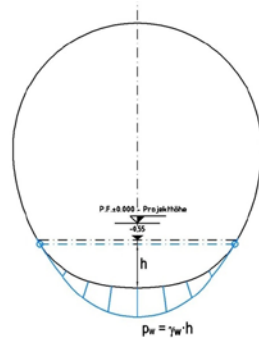


Abbildung 9: Lastbild Wasserdruck – drainierter Regelquerschnitt

### 6.3.5 Gebirgslast G5

Die Gebirgslast, die auf den Innenausbau für die Ausbruchquerschnitte T4 und T5 wirkt, leitet sich durch die Berechnung mit der Finite-Elemente-Methode ab.

Die Gebirgslast zeigt einen konstanten Verlauf mit linearer Verminderung des Drucks, der unter dem Sohlgewölbe gegen Null geht.

Beide Gebirgslasten wurden nach vollständigem Verfall der fiktiven Aushubkräfte (letzte Stufe der FEM-Analyse) berechnet.

### 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.

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

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

### 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:

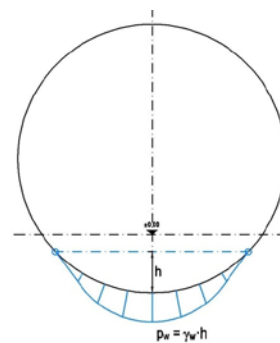


Figura 9: Pressione idrostatica - Sezione tipo drenata

### 6.3.5 Carico dell'ammasso G5

Il carico d'ammasso che agisce sul rivestimento definitivo per i profili di scavo T4 e T5 deriva da calcoli svolti mediante analisi agli elementi finiti.

Il carico dell'ammasso 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 FEM).

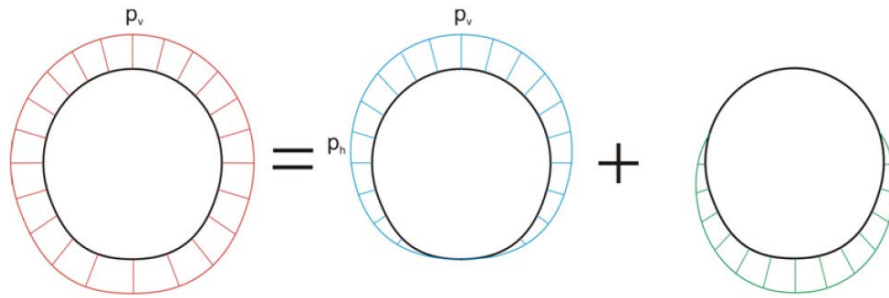


Abbildung 10: Qualitative Darstellung der numerisch ermittelten Normalspannungen (rot), der aktiven Gebirgslast (blau) und der passiven Bettungsreaktion (grün)

Figura 10: Rappresentazione qualitativa delle tensioni normali (rosso), ottenute dal calcolo numerico, del carico attivo dell'ammasso (blu) e della reazione assestamento del terreno (verde).

### 6.3.6 Squeezing e swelling G7

Es sind keine Quellungen vorhanden.

### 6.3.6 Squeezing e swelling G7

Non sono presenti fenomeni di rigonfiamento.

### 6.3.7 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 dem NTC 2008 Kap. 11.2.10.7 unter Berücksichtigung des Spannungszustandes aus einer Einwirkungskombination ständiger Lasten (G1 (Eigengewicht) + G2 (Kettenwerk)) ermittelt.

Kriechen und Schwinden des Betons bewirken eine Längenänderung  $\Delta l$  (Endschwindmaß), auf die die Berechnung basieren muss, und zwar in Form einer gleichmäßigen Temperaturabkühlung.

Für alle Abschnitte die höher als 25 cm sind und aus Beton C30/37 bestehen, ergibt sich eine Durchschnittsverformung durch autogenes zeitlich unendliches Schwinden von 0.27‰. Bei der Bemessung wurde gemäß Norm 50% des Schwindens angenommen, was durch eine gleichmäßige Temperaturabkühlung von  $-13.4^\circ\text{C}$  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 angewandte System muss auf der Baustelle durch Eignungsprüfungen nachgewiesen werden.

Bei der Modellierung der Innenschale, insbesondere bezüglich Absatz 4.1.1.1 des NTC08, wendet man eine gleichmäßige Temperaturabkühlung von  $-6.7^\circ\text{C}$  für den GZT und von  $-8.9^\circ\text{C}$  für den GZG an.

### 6.3.8 Temperatur Q1

Die Dimensionierung der Innenschale hat unter Berücksichtigung der Temperatureinwirkung gemäß der

### 6.3.7 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 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  $-13.4^\circ\text{C}$ . 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  $-6.7^\circ\text{C}$  agli SLU e di  $-8.9^\circ\text{C}$  agli SLE.

### 6.3.8 Temperatura Q1

Per il dimensionamento dei rivestimenti definitivi si considerano azioni termiche, in conformità alla seguente

nachfolgenden Tabelle entsprechend dem Abstand zum Portal zu erfolgen. tabella, secondo la distanza dall'imbocco.

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

Tabelle 12: Temperatureinwirkung Innenschale

Der Temperaturgradient  $\Delta T$  gibt die Temperaturdifferenz zwischen der Innenkante Innenschale und Außenkante Innenschale wieder.

Temperaturbeanspruchungen während des Baus der Innenschale können vernachlässigt werden.

Die von der Temperatur ausgehenden Einwirkungen in Folge eines Brands sind Gegenstand des Absatzes 6.3.12.

### 6.3.9 Erdbebeneinwirkung E1

Im Gegensatz zu den anderen Lastkombinationen hat die Erdbebenlast einen geringen Einfluss und wird deshalb nicht berücksichtigt.

### 6.3.10 Aerodynamischer Druck A1

Die Verdichtungs- und Druckentlastungsvorgänge aus der Zugdurchfahrt sind im Dokument D0118-064 „Aerodynamik – Klima – Lüftung“ festgelegt. Dem Dokument kann entnommen werden, dass im Extremfall (außergewöhnliche Einwirkungen) im Tunnel aerodynamische Einwirkungen von  $\Delta p_{Druck} = + 11$  kN/m<sup>2</sup> und  $\Delta p_{Sog} = - 9$  kN/m<sup>2</sup> aufkommen. Da dies erhebliche Einwirkungen sind, auch unter Berücksichtigung der entsprechend angenommenen Teilsicherheitsfaktoren, werden die aerodynamischen Einwirkungen nur in Kombination mit den Einwirkungen, die aus einer außerordentlichen Bemessungslage stammen, berücksichtigt.

### 6.3.11 Anpralllast A2

Die Einwirkung Aufprall Schienenfahrzeuge ist nur in den Verzweigungsbauwerken und Portalen zu berücksichtigen. Im untersuchten Abschnitt wurde sie demnach 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 auf die Temperatur-Zeit Kurve laut UNI 11076 gemäß D0118-

Tabella 12: 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  $\Delta p_{pressione} = + 11$  kN/m<sup>2</sup> e  $\Delta p_{aspirazione} = - 9$  kN/m<sup>2</sup>. 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 in considerazione della curva temperatura-tempo secondo la UNI 11076 in conformità a D0118-04326 "Sicurezza contro le

04326 "Sicherheit gegen die Brandexplosionen" gewährleistet.

Die bewehrten und unbewehrten Abschnitte sind hinsichtlich eines Brandes gemäß den Kriterien des spezifischen Berichts [4] geprüft worden. Hier beschränkt man sich darauf hinzuweisen, dass, einvernehmlich mit der Tabelle D.6.3 des D.M. 16.02.2007 "Klassifizierung der Feuerbeständigkeit der Bauprodukte und -elemente für Bauwerke", folgende Bedingungen ausreichend zur Gewährleistung der REI 120 Klasse sind:

- Stärke 's' der tragenden Bauteile größer als 160 mm;
- Betondeckung 'a' (Achsabstand der Bewehrung von der ausgesetzten Oberfläche) größer als 35 mm.

Beide Voraussetzungen sind erfüllt.

#### 6.4 LASTFALLKOMBINATIONEN

Die zu untersuchenden Lastfallkombinationen sind gemäß NTC 2008 mit den entsprechenden Kombinationsbeiwerten  $\psi$  zu berücksichtigen.

Die Lastfallkombinationen für die Dimensionierung der Innenschale sind in der 3 angegeben:

Lastfall / Caso di carico Einwirkungs- kombination /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- Squeezing	Temperatur (Sommer) Temperatura (Estate)	Temperatur (Winter) Temperatura (inverno)	Verkehrslast (Zugfahrt) Carico ferroviario	Brand Fuoco	Druck infolge Zugfahrt Carico aerodinamico (pressione)	Sog infolge Zugfahrt Carico aerodinamico (aspirazione)
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	Q1	Q1	Q2	A3	A1	A1
drucklastet / 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					
11	1.00	1.00	1.00					0.60				1.00	
12	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		

Tabelle 13: Einwirkungskombinationen Innenschale

#### 6.5 NACHWEISVERFAHREN

Für den Nachweis des Grenzzustandes der Trag- und Gebrauchstauglichkeit der Innenschale wurden die Lastfallkombinationen laut Vorgaben in NTC2008, Abs. 2.5.3 angewandt.

##### 6.5.1 Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)

###### 6.5.1.1 Teilsicherheitsfaktoren Einwirkungen

Die zu berücksichtigenden Teilsicherheitsfaktoren variieren in Abhängigkeit der Kombinationsregeln und den Bedingungen und sind dem Anhang zu entnehmen. Folgende

explosionen di incendio".

Le sezioni, armate e non, sono state verificate nei confronti dell'incendio secondo i criteri esposti nella relazione specifica [4]. 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 160mm;
- copriferro 'a' (distanza dell'asse delle armature dalla superficie esposta) maggiore di 35mm.

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 13:

Tabella 13: Combinazioni di carico

#### 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 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

Teilsicherheitsfaktoren sind gemäß EC 7 bzw. NTC2008 für ständige, vorübergehende, außergewöhnliche Bemessungssituationen zu berücksichtigen:

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

standard, temporanee ed eccezionali sono da considerarsi i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

Werden die Einwirkungen aus dem Schwinden für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit berücksichtigt, ist gemäß EC2, Teil 1, Abs. 2.4.2.1 der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{SH} = 1,0$  zu berücksichtigen.

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 Kombinationsbeiwerte Einwirkungen

Folgende Kombinationsbeiwerte sind gemäß EN 1990 bzw. NTC2008 zu berücksichtigen:

#### 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:

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 14: Kombinationsbeiwerte

Tabella 14: Coefficienti di combinazione

#### 6.5.1.3 Lastfallkombinationen

Die zu untersuchenden Lastfallkombinationen sind gemäß NTC 2008 mit den entsprechenden Kombinationsbeiwerten  $\psi$  zu berücksichtigen.

#### 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  $\psi$ .

Die für die Dimensionierung der Innenschale entsprechenden maßgebenden Lastfallkombinationen sind in Funktion der in-situ vorherrschenden Randbedingungen auszuwählen

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 Teilsicherheitsfaktoren Festigkeit

Die Teilsicherheitsfaktoren der Widerstände bei einer ständigen und vorübergehenden Bemessungssituation sind, wie mit BBT SE vereinbart, unter Berücksichtigung einer Lebensdauer des Bauwerkes von 200 Jahren wie folgt zu berücksichtigen:

#### 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:

##### Stahlbeton

- Teilsicherheitskoeffizient für den Betonfestigkeit  $\gamma_c = 1,60$
- Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung der Betondruckfestigkeit:  $\alpha_{cc} = 0,85$
- Teilsicherheitskoeffizient für Stahlfestigkeit  $\gamma_s = 1,20$

##### 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:  $\alpha_{cc} = 0,85$
- Coefficiente parziale di sicurezza  $\gamma_s$  per la resistenza dell'acciaio  $\gamma_s = 1,20$

##### Unbewehrter Beton

- Teilsicherheitskoeffizient für die Betonfestigkeit  $\gamma_c =$

##### Calcestruzzo non armato

- Coefficiente parziale di sicurezza per la resistenza

1,60

- Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung der Betondruck- bzw. -zugfestigkeit:  $\alpha_{cc,pl}/\alpha_{ct,pl} = 0,80$

Für den Nachweis der außergewöhnlichen Bemessungssituation sind die Teilsicherheitsfaktoren mit  $\gamma_c = 1,2$  und  $\gamma_s = 1,0$  zu berücksichtigen. Der Abminderungsbeiwert der Betondruckfestigkeit  $\alpha_{cc}$  bleibt unverändert.

#### 6.5.1.5 Bemessung auf Biegung und Druck

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

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

Bei den unbewehrten Abschnitten mit hoher Exzentrizität, berücksichtigt man gemäß EC2 (§12.3.1) die Betonzugfestigkeit bis zum Bemessungswert  $f_{ctd}$ . Der Nachweis gilt als erwiesen, wenn:

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

#### 6.5.1.6 Bemessung Querkraft

Die Bemessung des Stahlbetons erfolgt gemäß den Vorgaben des NTC2008, Abs. 4.1.2.1.2.4.

Der Nachweis bei der unbewehrten Innenschale erfolgt gemäß NTC2008, wobei diese Ungleichung nachgewiesen wird:

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

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

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

$$\delta = \sigma_c - \sigma_{c,lim}$$

$$\sigma_{c,lim} = f_{cd} - 2 \cdot \sqrt{f_{ctd}^2 + f_{cd} \cdot f_{ctd}}$$

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

del calcestruzzo  $\gamma_c = 1,60$

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

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

#### 6.5.1.5 Verifica a pressoflessione

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

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

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:

#### 6.5.1.6 Verifica a taglio

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

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

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



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

In den Abschnitten mit hoher Exzentrizität, bei Annahme der Betonzugfestigkeit bis  $f_{ctd}$ , wird der Querkraftwiderstand des Abschnitts ausgewertet, indem der ganze Abschnitt als reagierend ( $x=h$ ) betrachtet wird und die Spannung  $\sigma_c$  als Durchschnittsspannung des ganzen Abschnitts, sowohl unter Druck- als auch unter Zugbelastung.

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

Im Nachweis der Gebrauchstauglichkeit sind gemäß den Kombinationsregeln die charakteristischen Einwirkungen zu berücksichtigen.

### 6.5.2.2 Kombinationsbeiwerte Einwirkungen

Die in den Lastfallkombinationen zu berücksichtigenden Kombinationsbeiwerte sind der Tabelle 15 zu entnehmen. Die Kombinationsbeiwerte sind in der Tabelle 14 wiedergegeben

### 6.5.2.3 Lastfallkombinationen

Die zu untersuchenden Lastfallkombinationen sind gemäß NTC2008 mit den entsprechenden Kombinationsbeiwerten  $\psi$  zu berücksichtigen.

### 6.5.2.4 Teilsicherheitsfaktoren der Festigkeiten

Für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit sind die charakteristischen Werte der Festigkeiten zu berücksichtigen.

### 6.5.2.5 Ermittlung der Schnittgrößen und Verformungen

Die Ermittlung der Schnittgrößen bzw. der Systemverformung erfolgt im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) unter Berücksichtigung der Kombinationsregeln mit den charakteristischen Einwirkungen sowie den entsprechenden Kombinationsbeiwerten.

### 6.5.2.6 Begrenzung der Rissbreiten

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist für die maßgebenden Lastfallkombinationen unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsfaktoren und Abminderungsfaktoren  $\psi$  laut Tabelle 133 die maximale Rissweite  $w_{kal}$  unter Berücksichtigung NTC2008 nachzuweisen. Die zulässige Rissbreite für Normalbeton ohne besondere Anforderung der Dichtigkeit oder bei Existenz einer Abdichtung ist auf  $w_{kal} \leq 0,3$  mm zu begrenzen.

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

### 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 13. 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

Bei besonderer Anforderung an die Dichtigkeit der Betoninnenschale oder bei aggressiven oder sehr aggressiven Umgebungsbedingungen ist die maximale Rissweite auf  $w_{kal} \leq 0,2$  mm zu begrenzen.

## 6.6 BAULICHE DURCHBILDUNG

### 6.6.1 Expositionsklasse und Mindestbetondeckung

Gemäß UNI 11104 ist bei der Expositionsklasse XC3 die Verwendung von Beton C28/35, bei der Expositionsklasse XC4 Beton C32/40 vorgesehen.

Die Berechnung der Mindestbetondeckung zur Gewährleistung der Bauwerklebensdauer >100 Jahren erfolgt laut NTC2008:

	XC3	XC4
Festigkeitsklasse (UNI 11104)	28/35	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]	<b>40</b>	<b>50</b>
----------------	-----------	-----------

Tabelle 15: Mindestbetondeckung

Um die Stärke zu vereinheitlichen, ist eine Betondeckung entlang des ganzen Tunnels von 5 cm vorgesehen.

### 6.6.2 Mindestbewehrung

Ist eine bewehrte Innenschale vorgesehen, wird die Mindestbewehrung gemäß NTC 2008, Punkt 4.1.6.1.1 definiert.

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 die mittlere Breite der Zugzone;
- d die Nutzhöhe des Querschnitts;
- $f_{ctm}$  der Mittelwert der Zugfestigkeit des Betons;
- $f_{yk}$  der charakteristische Wert der Streckengrenze des

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 C28/35 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 (UNI 11104)	28/35	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]	<b>40</b>	<b>50</b>
----------------	-----------	-----------

Tabella 15: 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;
- $f_{ctm}$  è il valore medio della resistenza a trazione del calcestruzzo;
- $f_{yk}$  è il valore caratteristico della resistenza a

Betonstahls ist.

trazione dell'armatura ordinaria.

## 6.7 ERGEBNISSE

Die in Anhang 4 aufgezeigten Analysen zeigen, dass für die FEM-Modelle zur Simulation der Lockerungslast für die Klassen T4 und T5 eine Biegebewehrung  $\Phi 14$  mit Abstand 150 an der Kalotte und  $\Phi 16/\Phi 18$  mit Abstand 150 an den Ulmen und  $\Phi 18$  mit Abstand 150 am Sohlgewölbe gebraucht wird. Die Verteilerbewehrung besteht aus  $\Phi 10$  mit Abstand 200.

Der Einbau von Schubbewehrung wird nicht als notwendig erachtet.

Der Bewehrungsgehalt beträgt ca.  $60 \text{ kg/m}^3$  Beton für die Innenschale und  $150 \text{ kg/m}^3$  für die Zwischendecken.

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 150 in calotta,  $\Phi 16/\Phi 18$  passo 150 lungo i paramenti e  $\Phi 18$  passo 150 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 d'armatura è di circa  $60 \text{ kg/m}^3$  di calcestruzzo per il rivestimento e di  $150 \text{ kg/m}^3$  per le solette intermedie.

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 geomechanische Homogenbereiche .....	12
Tabelle 2: Bestimmung des Gebirges jeder homogenen Zone und Wahrscheinlichkeitsverteilung der unterschiedlichen Klassen [1], [2] und [7].....	13
Tabelle 3: Typische Parameter der Gebirges in den unterschiedlichen Zonen und Klassen .....	13
Tabelle 4: Lage der Trennflächen .....	14
Tabelle 5: Ergebnisse Kennlinienverfahren. $c_f$ = Ortsbrustkonvergenz, $c_a$ = absolute Konvergenz am natürlichen Gleichgewicht, $c_r$ = relative Konvergenz am natürlichen Gleichgewicht, $F_{plf}$ = plastische Zone an der Ortsbrust, $F_{pla}$ = plastische Zone Gleichgewicht, $R$ = Ausbruchradius (mit 4.86m angenommen). .....	15
Tabelle 6: Ergebnisse der empirischen Methoden .....	16
Tabelle 7: Vorgeschlagene Stabilitätskriterien in [25] [26]; $c_f$ = Ortsbrustkonvergenz; $F_{pf}$ = Umfang des plastischen Streifens an der Ortsbrust; $R_{scavo} = r_{eq}$ = entsprechender Aushebungsradius. ....	17
Tabelle 8: Angenommene geomechanische Parameter (GA-T4) .....	20
Tabelle 9: Eigenschaften der Außenschale GA-T4 .....	20
Tabelle 10: Angenommene geomechanische Parameter (GA-T5) .....	25
Tabelle 11: Eigenschaften der Außenschale GA-T5 .....	25
Tabelle 12: Temperatureinwirkung Innenschale.....	36
Tabelle 13: Einwirkungskombinationen Innenschale.....	37
Tabelle 14: Kombinationsbeiwerte .....	38
Tabelle 15: Mindestbetondeckung .....	41

## 7 ELENCHI

### 7.1 ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1: Zone geomeccaniche omogenee.....	12
Tabella 2: Caratterizzazione degli ammassi di ciascuna zona omogenea e distribuzione probabilistica delle diverse classi [1], [2] e [7] .....	13
Tabella 3: Parametri caratteristici dell'ammasso nelle diverse zone e classi .....	13
Tabella 4: Giacitura delle discontinuità .....	14
Tabella 5: Risultati del metodo delle Linee Caratteristiche. $c_f$ = convergenza al fronte, $c_a$ = convergenza assoluta all'equilibrio naturale, $c_r$ = convergenza relativa all'equilibrio naturale, $F_{plf}$ = fascia plastica al fronte, $F_{pla}$ = fascia plastica all'equilibrio naturale, $R$ = raggio di scavo (assunto pari a 4.86m). .....	15
Tabella 6: Risultati dei metodi empirici. ....	16
Tabella 7: 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. ....	17
Tabella 8: Parametri geomeccanici considerati (GA-T4) ...	20
Tabella 9: Caratteristiche rivestimenti di prima fase GA-T420	
Tabella 10: Parametri geomeccanici considerati (GA-T5) .	25
Tabella 11: Caratteristiche rivestimenti di prima fase GA-T5 .....	25
Tabella 12: Variazione termica .....	36
Tabella 13: Combinazioni di carico.....	37
Tabella 14: Coefficienti di combinazione .....	38
Tabella 15: Copriferro minimo. ....	41

## 7.2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Auszug aus dem geomechanischen Längsprofil und des geologischen Lageplans [3] mit Angabe des Untersuchungsgebietes.....	9
Abbildung 2: Analyseabschnitt GA-T4.....	19
Abbildung 3: Kraft-Verformungsverhalten der Anker-Elemente 21	
Abbildung 4: Berücksichtigte FFS für das Modell GA-T4 ...	23
Abbildung 5: Analyseabschnitt GA-T5.....	24
Abbildung 6: Berücksichtigte FFS für das Modell GA-T5 ...	27
Abbildung 7: Schamatisierung der Schnittstelle .....	32
Abbildung 8: Lasten des Kettenwerks .....	33
Abbildung 9: Lastbild Wasserdruck – drainierter Regelquerschnitt	34
Abbildung 10: Qualitative Darstellung der numerisch ermittelten Normalspannungen (rot), der aktiven Gebirgslast (blau) und der passiven Bettungsreaktion (grün) .....	35

## 7.3 ANLAGENVERZEICHNIS

- ANHANG 1 – KENNLINIENVERFAHREN
- ANHANG 2 - FEM- ANALYSEN FÜR DIE AUßENSCHALE SCHNITT GA-T4
- ANHANG 3 - FEM - ANALYSEN FÜR DIE AUßENSCHALE SCHNITT GA-T5
- ANHANG 4 - FEM- ANALYSEN DES INNEAUSBAUS
- ANHANG 5 - ZWISCHENDECKE

## 7.4 REFERENZDOKUMENTE

### 7.4.1 Eingangsdokumente

- 7.4.1.1 Ausführungsprojekt Baulos Mauls 2-3
- [1] 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13018 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke - Technischer Bericht - Allgemeiner geomechanischer Bericht
  - [2] 02\_H61\_GD\_040\_GTB\_D0700\_22001 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 2 - Geomechanischer Detailbericht
  - [3] 02\_H61\_GD\_040\_GLS\_D0700\_22004 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 2 -

## 7.2 ELENCO DELLE ILLUSTRAZIONI

Figura 1: Estratto del profilo geomeccanico longitudinale e della planimetria geologica [3] con indicazione dell'area di studio.	9
Figura 2: sezione di analisi GA-T4.....	19
Figura 3: Comportamento sforzo-deformazione per gli ancoraggi	21
Figura 4: FFS considerate per il modello GA-T4 .....	23
Figura 5: sezione di analisi GA-T5.....	24
Figura 6: FFS considerate per il modello GA-T5 .....	27
Figura 7: Schematizzazione dell'interfaccia .....	32
Figura 8: Carichi della catenaria .....	33
Figura 9: Pressione idrostatica - Sezione tipo drenata .....	34
Figura 10: Rappresentazione qualitativa delle tensioni normali (rosso), ottenute dal calcolo numerico, del carico attivo dell'ammasso (blu) e della reazione assestamento del terreno (verde).	35

## 7.3 ELENCO APPENDICI

- APPENDICE 1 - CURVE CARATTERISTICHE
- APPENDICE 2 - ANALISI FEM DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE SEZIONE GA-T4
- APPENDICE 3 - ANALISI FEM DEL RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE SEZIONE GA-T5
- APPENDICE 4 - ANALISI FEM DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO
- APPENDICE 5 - SOLETTA INTERMEDIA

## 7.4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 7.4.1 Documenti in ingresso

- 7.4.1.1 Progetto Esecutivo Lotto Mules 2-3
- [1] 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13018 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Relazione tecnica - Relazione geomeccanica generale
  - [2] 02\_H61\_GD\_040\_GTB\_D0700\_22001 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali Parte 2 - Relazione geomeccanica di dettaglio
  - [3] 02\_H61\_GD\_040\_GLS\_D0700\_22004 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali Parte 2 -

Geomechanisches und Planungsvorprofil - GA-T, FdE-CcT

- [4] 02\_H61\_EG\_995\_KTB\_D0700\_15003 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 – Sicherheit bzgl. Feuerexposition
- [5] 02\_H61\_GD\_040\_KTB\_D0700\_22900 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 – Richtlinien zur Anwendung der Ausbruchsquerschnitte
- [6] 02\_H61\_GD\_992\_GLS\_D0700\_13034 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mault 2-3 – Geologischer Längenschnitt Zugangstunnel Trens

#### 7.4.1.2 Technische Projektaufbereitung

- [7] Geomechanischer Bericht Haupttröhren Mault PMF Trens"
- [8] Geomechanischer Bericht Erkundungsstollen Mault-Brenner

#### 7.4.1.3 Ausführungsprojekt Erweiterung Baulos Mault 1

- [9] V04-OP.EG.05.01 "Erkundungsstollen Periadriatische Naht und vorbereitende Maßnahmen Bereich Mault – Geologie – Hydrogeologie - Geotechnik – Geomechanischer Bericht km 47+709/46+843"
- [10] D0755/02-V04-OP.EN.01.01 "Erkundungsstollen Periadriatische Naht und vorbereitende Maßnahmen Bereich Mault – Statischer Bericht Aussenschale Haupttunnel km 46+800/47+800"
- [11] D0755/02-V04-OP.EN.01.02 "Erkundungsstollen Periadriatische Naht und vorbereitende Maßnahmen Bereich Mault - Statischer Bericht Aussenschale - Erkundungsstollen km 46+800/47+800"
- [12] D0755/02-V04-OP.EN.01.03/04 "Erkundungsstollen Periadriatische Naht und vorbereitende Maßnahmen Bereich Mault - Statischer Bericht Aussenschale der Haupttunnel von km 48+115/49+331"

#### 7.4.2 Normen und Richtlinien

- [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 Sicherheit für Bahntunnel
- [16] UNI EN1990:2006 - Eurocodice 0 – Grundlage für Konstruktion und Dokumentation zur nationalen

Profilo geomeccanico e progettuale di previsione - GA-T, FdE-CcT

- [4] 02\_H61\_EG\_995\_KTB\_D0700\_15003 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Sicurezza nei riguardi di esposizione al fuoco
- [5] 02\_H61\_GD\_040\_KTB\_D0700\_22900 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Linee guida per l'applicazione delle sezioni di scavo
- [6] 02\_H61\_GD\_992\_GLS\_D0700\_13034 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mault 2-3 - Profilo geologico Galleria di accesso Trens

#### 7.4.1.2 Elaborazione tecnica del progetto

- [7] Relazione geomeccanica Canne principali Mault PMF Trens
- [8] Relazione geomeccanica Cunicolo esplorativo Mault-Brennero

#### 7.4.1.3 Progetto Esecutivo Estensione Lotto Mault 1

- [9] V04-OP.EG.05.01 "Cunicolo Esplorativo Periadriatica ed Opere Propedeutiche ambito Mault - Geologia - Idrogeologia - Geotecnica - Relazione geomeccanica km 47+709/46+843"
- [10] D0755/02-V04-OP.EN.01.01 " Cunicolo Esplorativo Periadriatica ed Opere Propedeutiche ambito Mault - Relazione statica rivestimento di prima fase Galleria di Linea km 46+800/47+800"
- [11] D0755/02-V04-OP.EN.01.02 " Cunicolo Esplorativo Periadriatica ed Opere Propedeutiche ambito Mault - Relazione statica rivestimento di prima fase - Cunicolo esplorativo km 46+800/47+800"
- [12] D0755/02-V04-OP.EN.01.03/04 "Periadriatica Galleria Principale - Opere strutturali - Relazione di calcolo rivestimento di prima fase delle gallerie di linea da pk 48+115/49+331"

#### 7.4.2 Normativa

- [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

- Umsetzung ;
- [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 "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"

- 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 – 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 Literatur

- [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-rocscience, 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

#### 7.4.3 Letteratura

- [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-rocscience, 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.

- [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.



## ANHANG 1 – KENNLINIENVERFAHREN

Nachfolgend werden die charakteristischen Kurven dargestellt, anhand derer es möglich war folgendes zu bewerten:

- Radialer Druck – Konvergenz
- Konvergenz – Distanz zur Ortsbrust
- Radialer Druck – Ausdehnung des plastischen Streifens außerhalb des Tunnelprofils
- Abstand zur Ortsbrust - Ausdehnung des plastischen Streifens außerhalb des Tunnelprofils
- Abstand zur Ortsbrust – Fiktive Ausbruchskräfte

Das Verfahren wurde angewandt unter Annahme eines elastisch-plastischen Materialverhaltens mit softening und nicht damit verbundenem Fließen des Materials Gestein laut Mohr-Coulomb und unter Berücksichtigung der Formel von Ribacchi [23]. Für das Gebirge GA-T-R-8f liefern die Gebirgskennlinien keine glaubhaften Ergebnisse und werden deshalb nicht dargestellt.

Die Kurve "Konvergenz - Entfernung von Ortsbrust" wurde durch ein vereinfachtes, analytisches Verfahren ermittelt, das die Relationen von Nguyen, Minh et al. [24] verwendet.

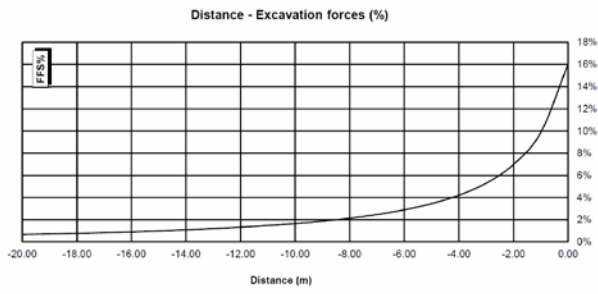
## APPENDICE 1 - CURVE CARATTERISTICHE

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

L'analisi è stata eseguita assumendo un modello costitutivo elasto-plastico con softening e flusso non associato del materiale roccia secondo Mohr-Coulomb, nella formulazione proposta da Ribacchi [23]. Per l'ammasso GA-T-R-8f le curve caratteristiche non forniscono risultati attendibili e non vengono pertanto riportate.

La curva "Convergenza – Distanza dal fronte" è stata ricavata attraverso un procedimento analitico semplificato che sfrutta le relazioni proposte da Nguyen, Minh et al. [24].

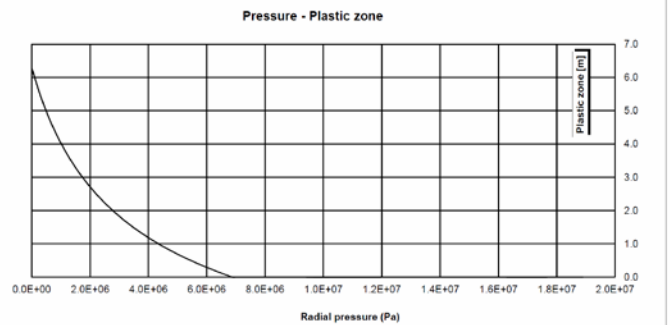
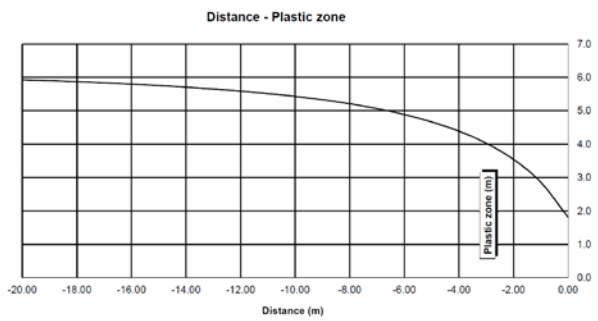
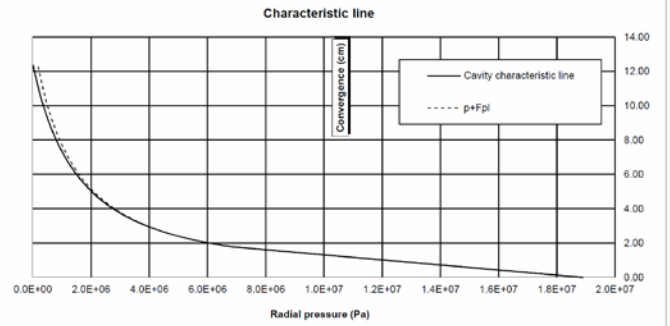
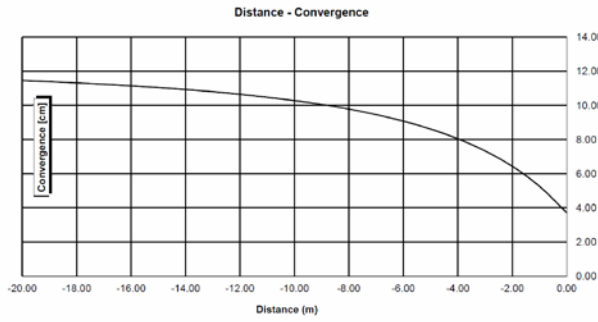


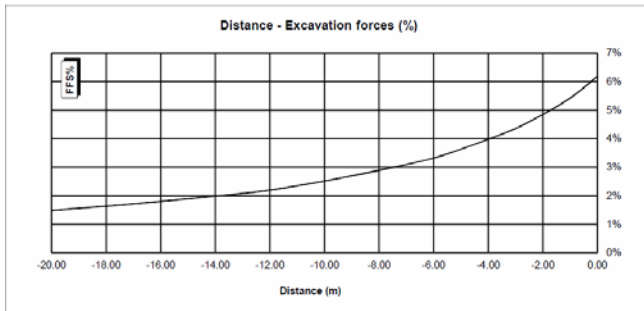
### FVM-S-B

INPUT DATA		RESULTS	
Weight [N/mc]	27000	<b>At final equilibrium</b>	
Overburden [m]	700	Total convergence [cm]	12.4
Excavation radius [m]	5.20	Convergence after excavation [cm]	8.7
		Plastic zone thickness [m]	6.3
Peak internal friction angle [°]	34.87	<b>Equilibrium at excavation face</b>	
Post peak internal friction angle [°]	29.52	Convergence [cm]	3.7
Peak cohesion [Pa]	1481000	1 - (deconfinement ratio) [%]	16.0%
Post peak cohesion [Pa]	1060000		
Deformation modulus [Pa]	4.57E+09		
Poisson's ratio [-]	0.3		
Dilation angle [°]	4.36		

c(face) / Radius	0.71 [%]
c(total) / Radius	2.38 [%]
c(after excav.) / Radius	1.67 [%]
Pl.thick. (face)/Radius	34.8 [%]
Pl.thick. (total)/Radius	121.2 [%]



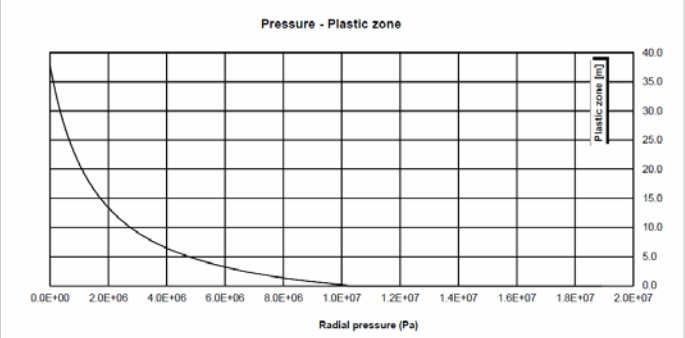
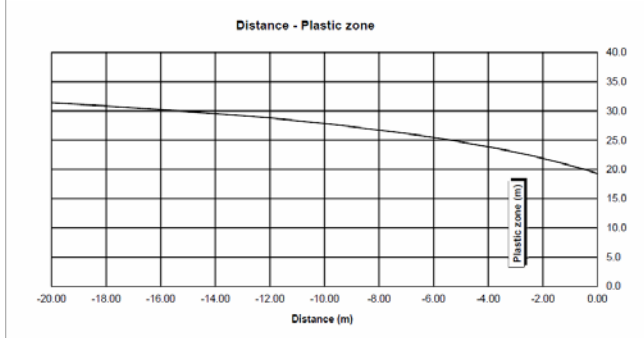
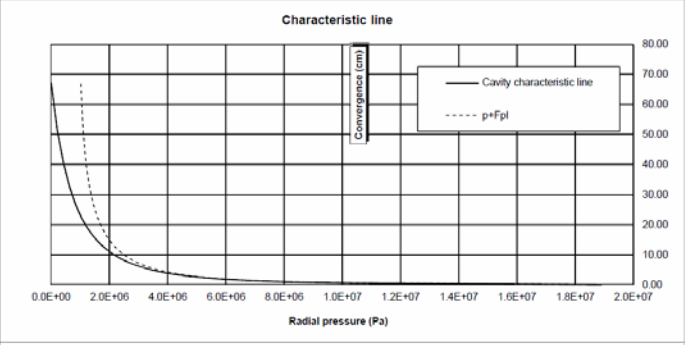
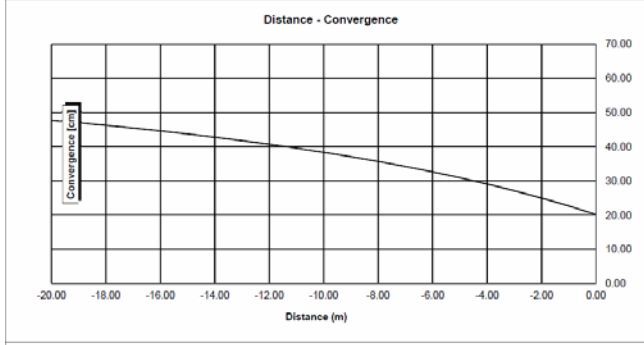


### FVM-S-PS

INPUT DATA		RESULTS	
Weight [N/mc]	27000	<b>At final equilibrium</b>	
Overburden [m]	700	Total convergence [cm]	67.2
Excavation radius [m]	5.20	Convergence after excavation [cm]	47.0
		Plastic zone thickness [m]	37.8
<b>Peak internal friction angle [°]</b>	<b>24.31</b>	<b>Equilibrium at excavation face</b>	
Post peak internal friction angle [°]	18.37	Convergence [cm]	20.2
Peak cohesion [Pa]	893000	1 - (deconfinement ratio) [%]	6.2%
Post peak cohesion [Pa]	572000		
Deformation modulus [Pa]	1.04E+10		
Poisson's ratio [-]	0.3		
Dilation angle [°]	3.34		

c(face) / Radius	3.88 [%]
c(total) / Radius	12.92 [%]
c(after excav.) / Radius	9.04 [%]
Pl.thick. (face)/Radius	371.6 [%]
Pl.thick. (total)/Radius	726.2 [%]

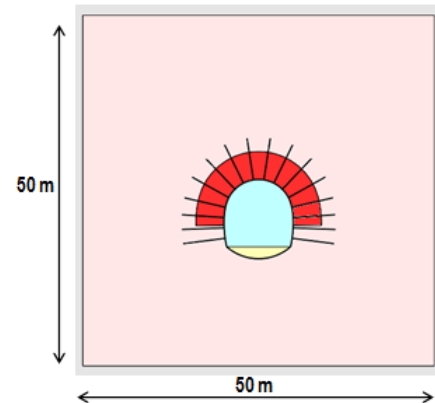
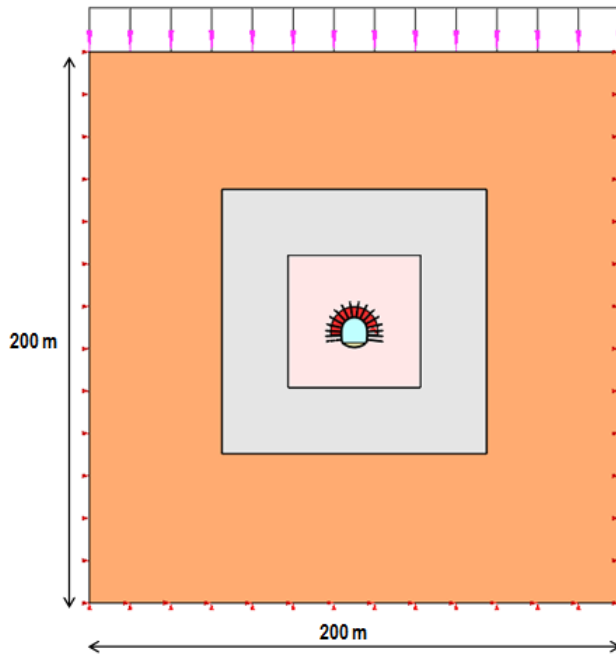


## ANHANG 2 - FEM- ANALYSE DER AUßENSCHALE DES QUERSCHNITTS GA-T4

Diese Anlage führt die wichtigsten Outputs der FEM-Analysen des Schnitts GA-T4 an, die mit dem Rechenprogramm Midas GTS durchgeführt wurden.

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

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



## A2.1 OUTPUTS MODELL FEM

## A2.1 OUTPUT MODELLO FEM

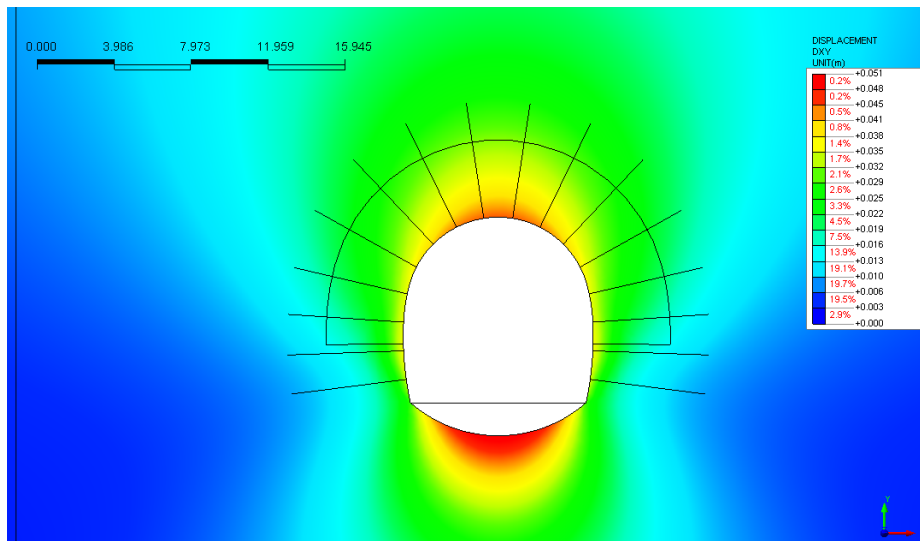


Abbildung 1: Verschiebungen xy [mm] - Ortsbrust GA-T4

Illustrazione 1: Spostamenti xy [mm] - fronte GA-T4

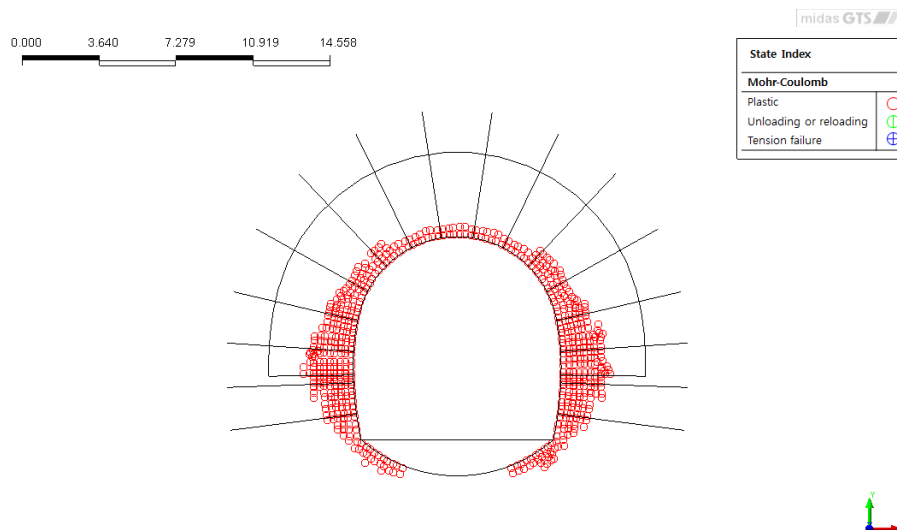


Abbildung 2: Plastificationen - Ortsbrust GA-T4

Illustrazione 2: Plasticizzazioni - fronte GA-T4

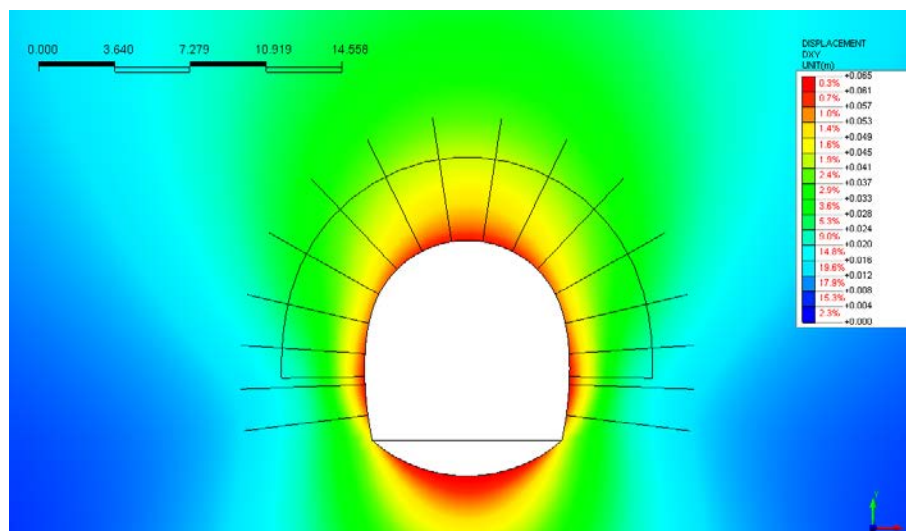


Abbildung 3: Verschiebungen xy [mm] bei 1.5m von der Ortsbrust GA-T4

Illustrazione 3: Spostamenti xy [mm] a 1.5m dal fronte GA-T4

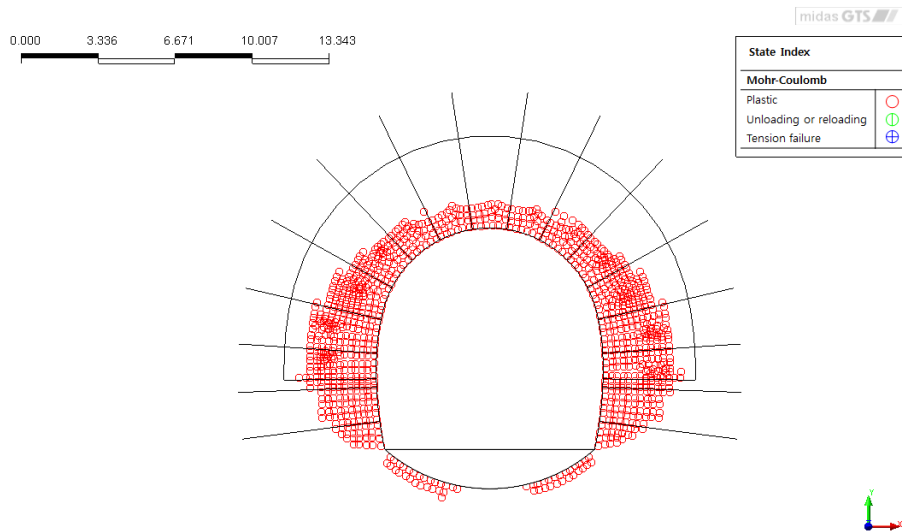


Abbildung 4: Plastificationen bei 1.5m von der Ortsbrust GA-T4

Illustrazione 4: Plasticizzazioni a 1.5m dal fronte GA-T4

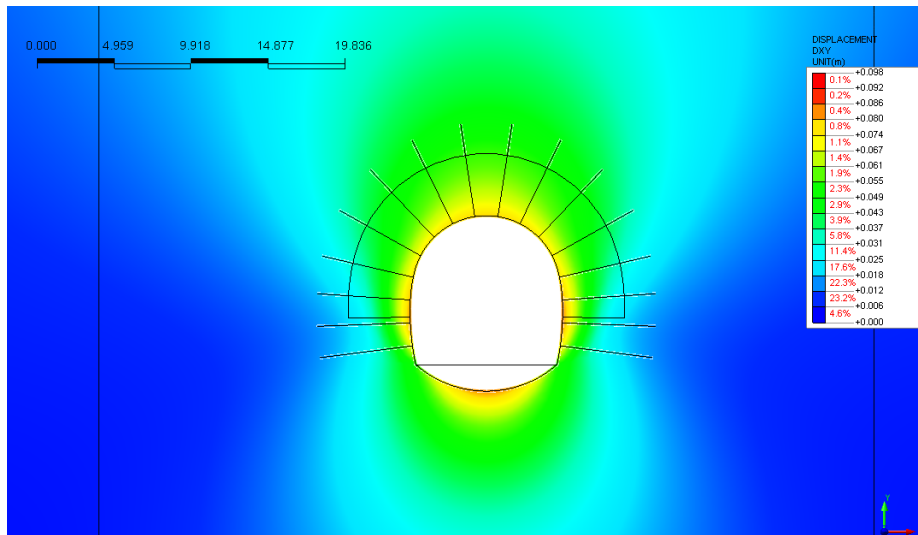


Abbildung 5: Verschiebungen xy [mm] Ende Ausbruch GA-T4

Illustrazione 5: Spostamenti xy [mm] fine scavo GA-T4

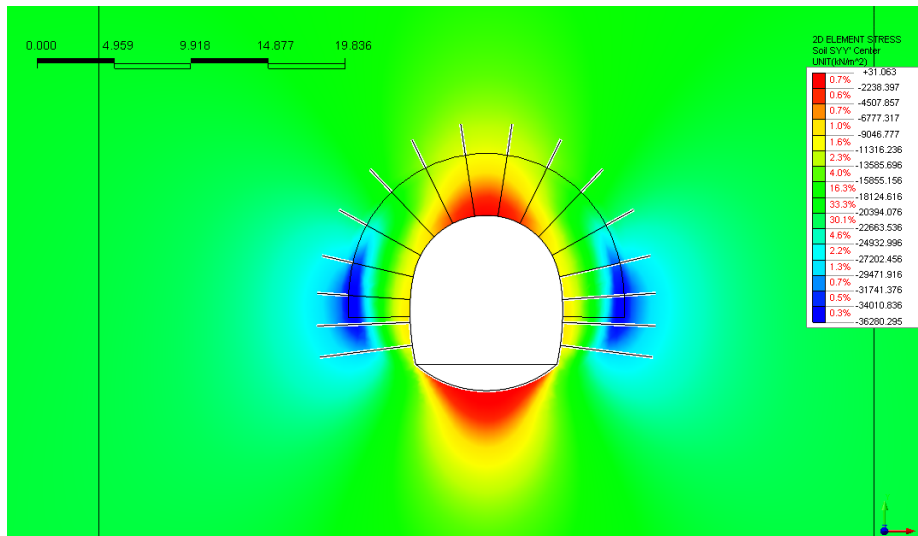


Abbildung 6: Vertikalspannungen  $\sigma_{yy}$  [kN/m<sup>2</sup>] – Ende Ausbruch GA-T4

Illustrazione 6: Tensioni verticali  $\sigma_{yy}$  [kN/m<sup>2</sup>] - fine scavo GA-T4

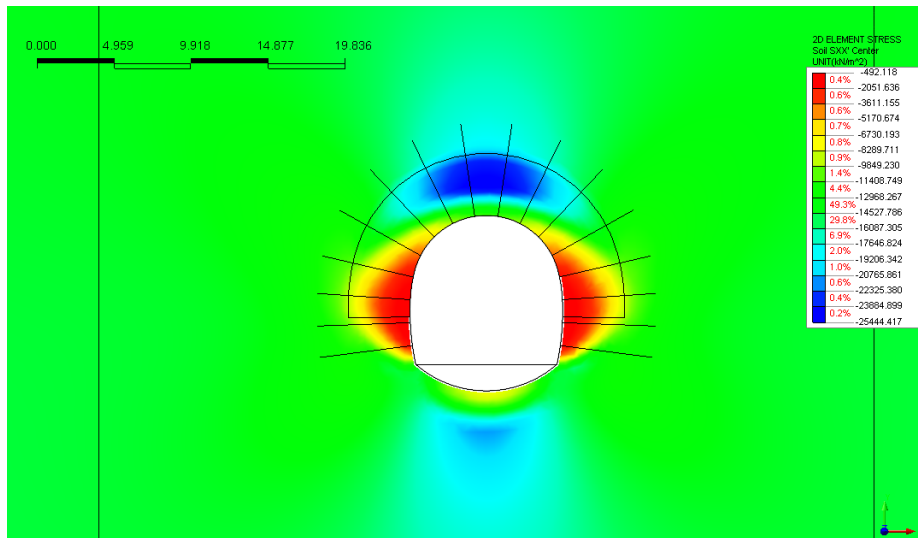


Abbildung 7: Horizontalspannungen  $\sigma_{xx}$  [kN/m<sup>2</sup>] – Ende Ausbruch GA-T4

Illustrazione 7: Tensioni orizzontali  $\sigma_{xx}$  [kN/m<sup>2</sup>] - fine scavo GA-T4

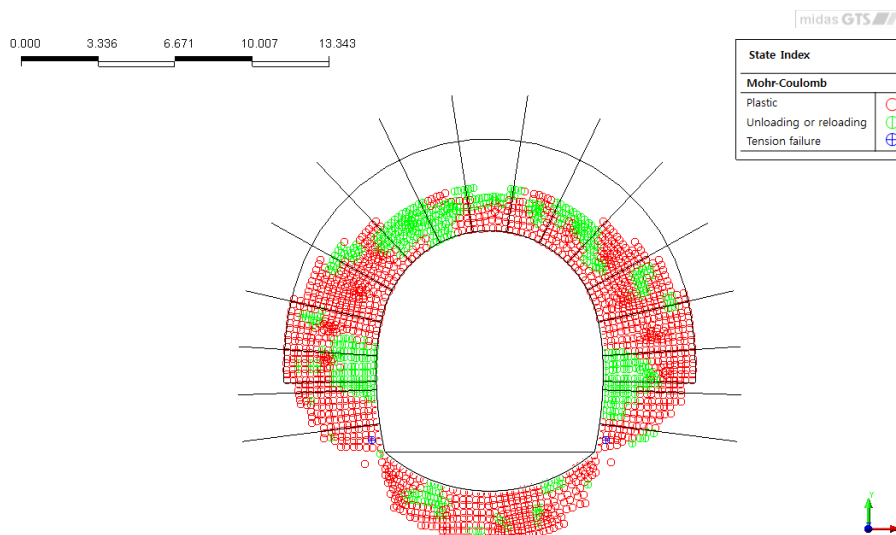


Abbildung 8: Plastifizierungen – Ende Ausbruch GA-T4

Illustrazione 8: Plasticizzazioni - fine scavo GA-T4

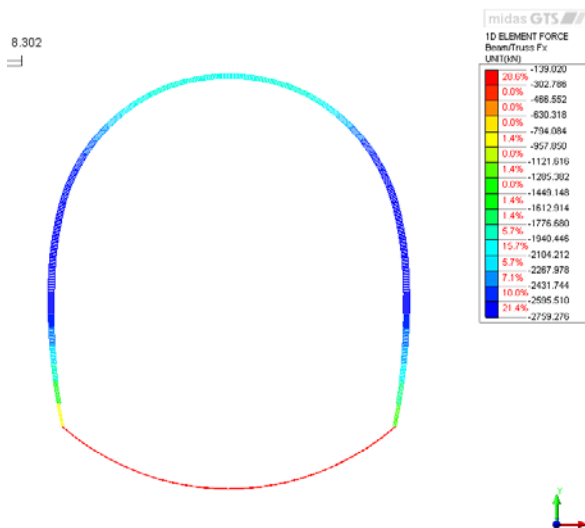


Abbildung 9: Normalspannungen auf der Außenschale [kN] – Ende Ausbruch GA-T4

Illustrazione 9: Sollecitazioni normali sul rivestimento di prima fase [kN] - fine scavo GA-T4

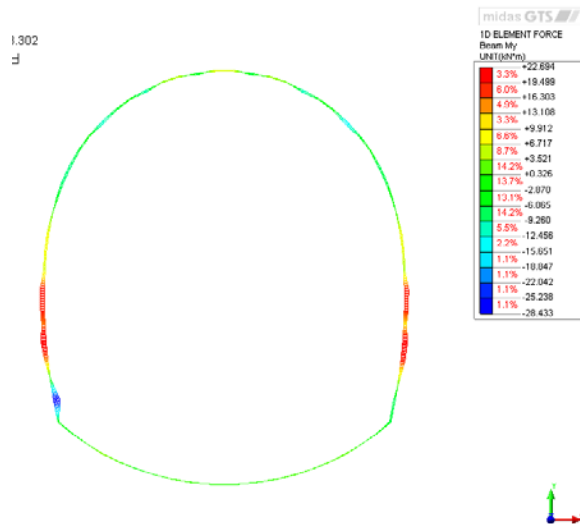


Abbildung 10: Momente auf der Aussenschale [kNm] – Ende Ausbruch GA-T4

Illustrazione 10: Momenti sul rivestimento di prima fase [kNm] - fine scavo GA-T4

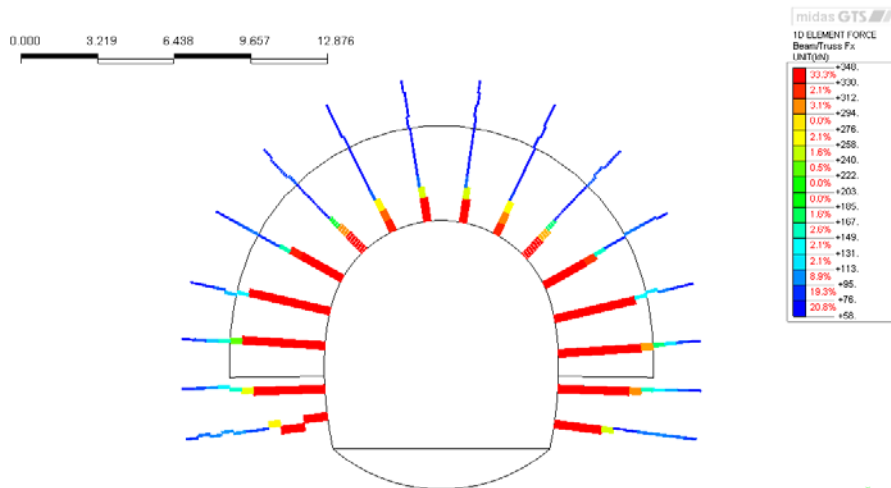


Abbildung 11: Axialbelastung der Anker [-] – Ende Ausbruch GA-T4

Illustrazione 11: Sollecitazione assiale nei chiodi [-] - fine scavo GA-T4

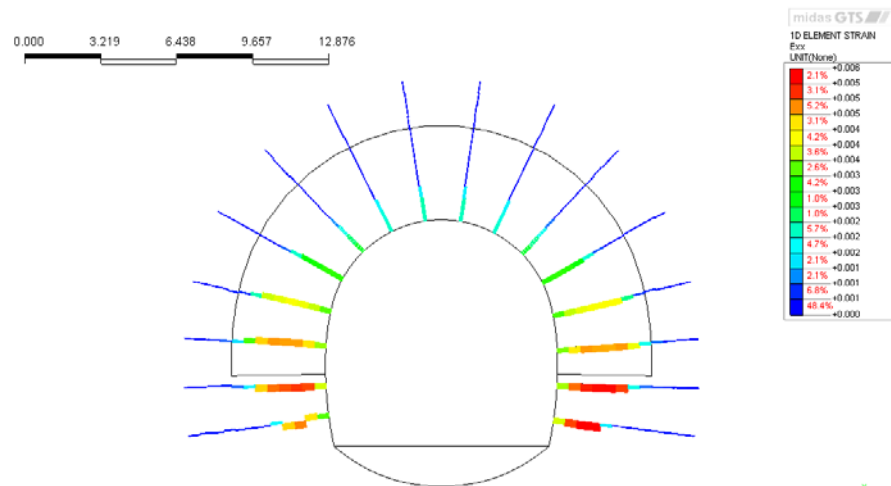


Abbildung 12: Axialverformung der Anker [-] – Ende Ausbruch GA-T4

Illustrazione 12: Deformazione assiale nei chiodi [-] - fine scavo GA-T4



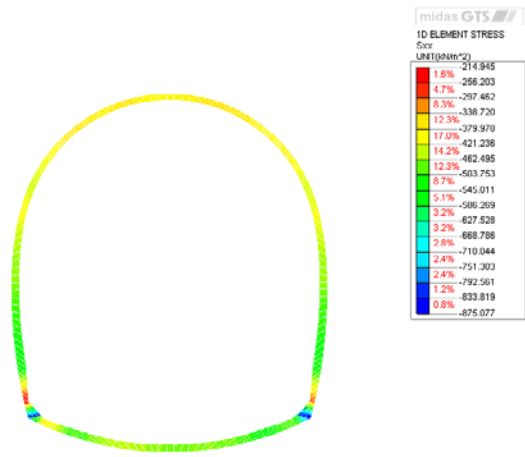


Abbildung 13: Last aus der Gebirgsauflockerung - Ende Ausbruch GA-T4

Illustrazione 13: Carico di allentamento sul rivestimento interno - fine scavo GA-T4

## A2.2 NACHWEISE AUßENSCHALE

Nachfolgend führt man den Nachweis des Querschnitts GA-T4

## A2.2 VERIFICHE RIVESTIMENTO PRIMA FASE

Nel seguito viene verificata la sezione GA-T4.

### Nachweis Diagramm Wechselwirkung M-N

### Verifiche diagramma di interazione M-N

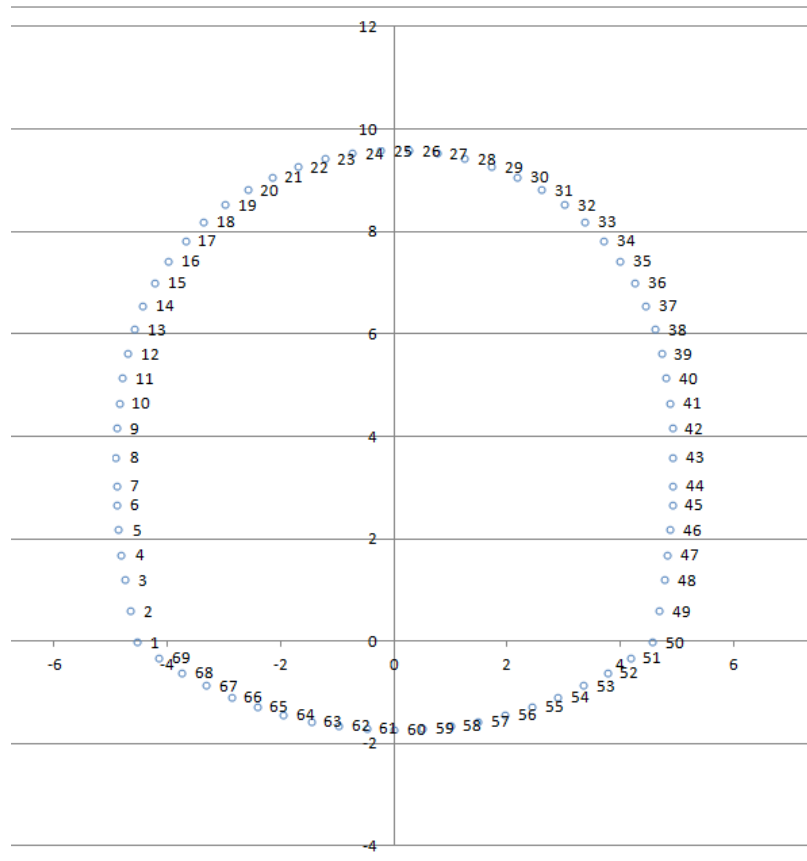
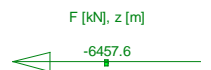
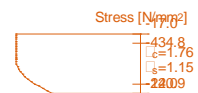
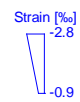
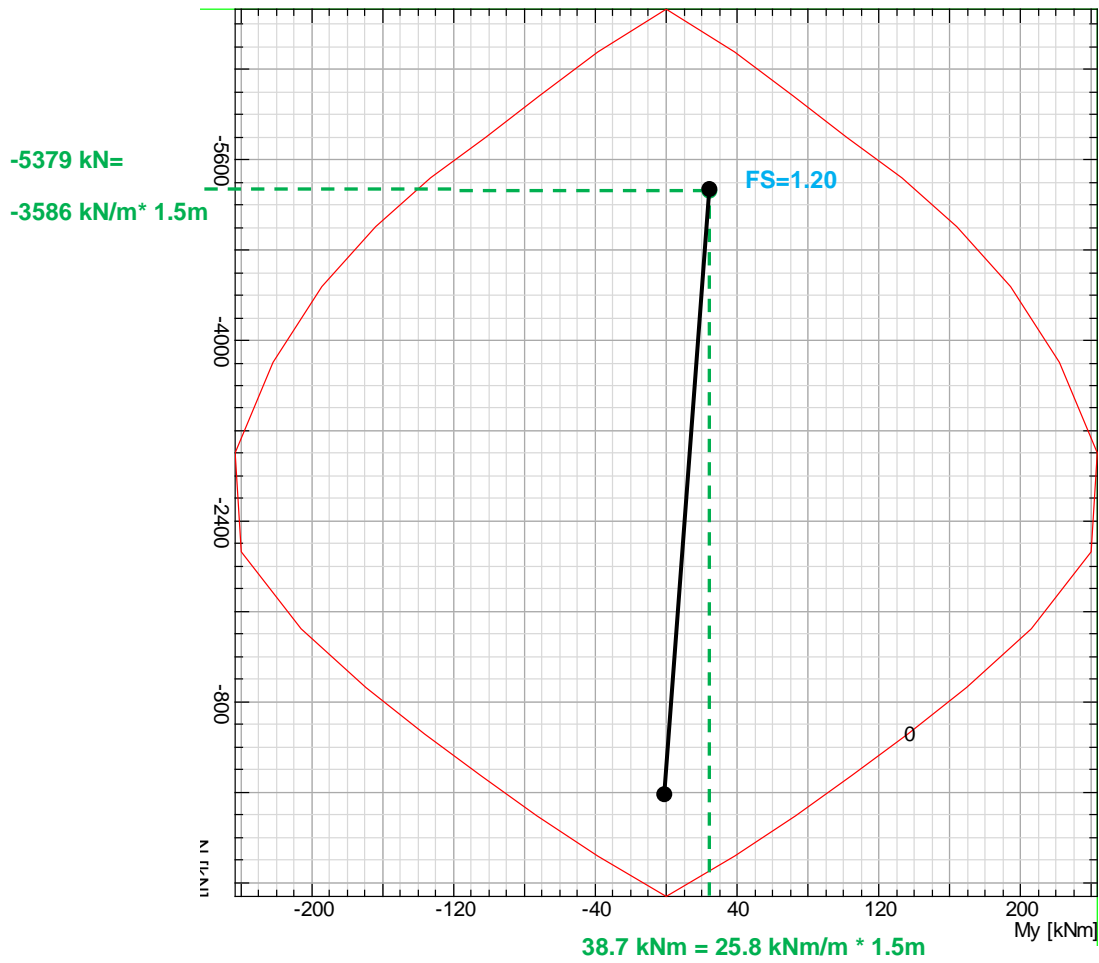


Abbildung 14: Nummerierung der Knoten des numerischen Modells GA-T4

Illustrazione 14: Numerazione dei nodi del modello numerico GA-T4

	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	-4.55	0.00	-857.10	-4.09	-1114.23	-5.32	3.97
2	-4.67	0.60	-1498.00	-28.43	-1947.40	-36.96	1.96
3	-4.77	1.21	-1873.00	-0.71	-2434.90	-0.93	1.90
4	-4.83	1.70	-2178.00	14.40	-2831.40	18.72	1.53
5	-4.87	2.19	-2362.00	22.69	-3070.60	29.50	1.37
6	-4.90	2.68	-2529.00	15.37	-3287.70	19.98	1.33
7	-4.92	3.05	-2699.00	18.27	-3508.70	23.75	1.23
8	-4.92	3.61	-2759.00	19.87	-3586.70	25.83	<b>1.20</b>
9	-4.90	4.17	-2744.00	6.49	-3567.20	8.43	1.27
10	-4.87	4.66	-2731.00	8.01	-3550.30	10.41	1.27
11	-4.80	5.14	-2711.00	7.91	-3524.30	10.28	1.28
12	-4.71	5.63	-2654.00	2.48	-3450.20	3.23	1.33
13	-4.60	6.10	-2581.00	-5.55	-3355.30	-7.22	1.36
14	-4.44	6.57	-2557.00	-8.74	-3324.10	-11.36	1.35
15	-4.24	7.01	-2522.00	-8.96	-3278.60	-11.65	1.37
16	-3.99	7.44	-2432.00	-6.61	-3161.60	-8.59	1.43
17	-3.70	7.84	-2338.00	-4.19	-3039.40	-5.45	1.50
18	-3.37	8.20	-2229.00	-11.47	-2897.70	-14.91	1.52
19	-3.00	8.53	-2099.00	-6.67	-2728.70	-8.67	1.65
20	-2.60	8.83	-1973.00	-3.25	-2564.90	-4.23	1.79
21	-2.17	9.07	-1934.00	-10.59	-2514.20	-13.77	1.74
22	-1.71	9.28	-1948.00	3.15	-2532.40	4.10	1.81
23	-1.23	9.43	-1960.00	4.83	-2548.00	6.28	1.78
24	-0.75	9.53	-1974.00	-6.44	-2566.20	-8.37	1.75
25	-0.25	9.59	-2004.00	6.97	-2605.20	9.06	1.72
26	0.25	9.59	-1986.00	6.21	-2581.80	8.07	1.74
27	0.75	9.53	-1943.00	-7.11	-2525.90	-9.24	1.77
28	1.24	9.43	-1936.00	3.95	-2516.80	5.14	1.81
29	1.71	9.28	-1933.00	2.48	-2512.90	3.22	1.83
30	2.17	9.07	-1967.00	-11.12	-2557.10	-14.46	1.71
31	2.60	8.83	-2091.00	-4.55	-2718.30	-5.92	1.67
32	3.00	8.53	-2244.00	-4.69	-2917.20	-6.09	1.56
33	3.37	8.20	-2386.00	-14.59	-3101.80	-18.97	1.40
34	3.70	7.84	-2523.00	-6.63	-3279.90	-8.62	1.38
35	3.99	7.44	-2608.00	-3.56	-3390.40	-4.63	1.35
36	4.24	7.01	-2641.00	-7.75	-3433.30	-10.08	1.31
37	4.44	6.57	-2650.00	-7.06	-3445.00	-9.18	1.31
38	4.60	6.10	-2664.00	-3.27	-3463.20	-4.25	1.33
39	4.71	5.63	-2686.00	1.58	-3491.80	2.05	1.32
40	4.80	5.14	-2701.00	7.64	-3511.30	9.93	1.29
41	4.87	4.66	-2693.00	7.07	-3500.90	9.18	1.29
42	4.90	4.17	-2667.00	4.04	-3467.10	5.25	1.32
43	4.92	3.61	-2677.00	19.35	-3480.10	25.16	1.24
44	4.92	3.05	-2502.00	17.96	-3252.60	23.35	1.32
45	4.90	2.68	-2380.00	11.50	-3094.00	14.95	1.43
46	4.87	2.19	-2264.00	21.40	-2943.20	27.82	1.43
47	4.83	1.70	-2056.00	18.63	-2672.80	24.22	1.58
48	4.77	1.21	-1763.00	5.74	-2291.90	7.47	1.96
49	4.67	0.60	-1258.00	-7.88	-1635.40	-10.24	2.66



### **A2.3 NACHWEIS STABILITÄT DER ORTSBRUST**

Nachfolgend gibt man die Plots der axialsymmetrischen Analysen für den Schnitt GA-T4 wieder.

#### **Analysen ohne Befestigungsmaßnahmen**

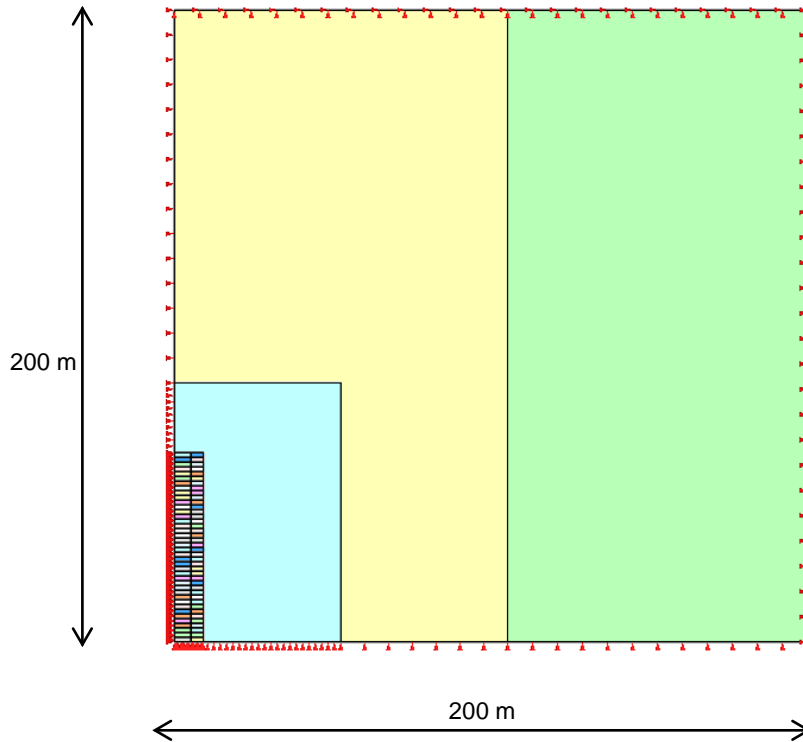
Die Analyse wurde ohne Befestigungsmaßnahmen an der Ortsbrust und ohne Außenschale sowie für Schritte von 1.5 m ausgeführt.

### **A2.3 VERIFICHE STABILITÀ DEL FRONTE**

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



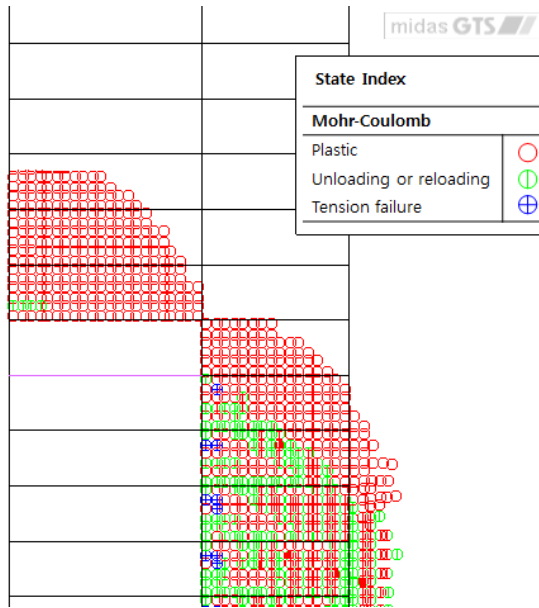


Abbildung 15: Axialsymmetrisches Modell, plastifizierte Zone ohne Verankerungen an der Ortsbrust

Illustrazione 15: Modello Assialsimmetrico, Zona plasticizzata in assenza di ancoraggi al fronte

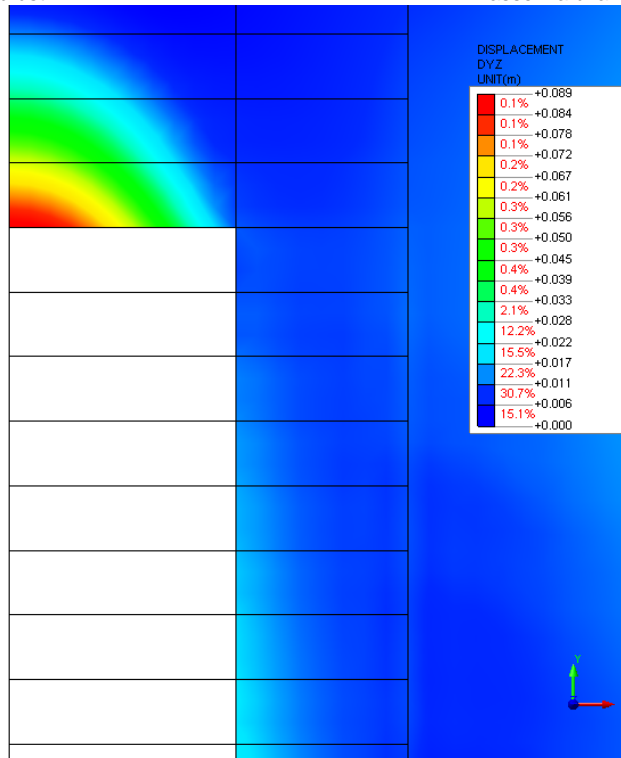


Abbildung 16: Axialsymmetrisches Modell - Extrusion an der Ortsbrust

Illustrazione 16: Modello Assialsimmetrico, Estrusione al fronte

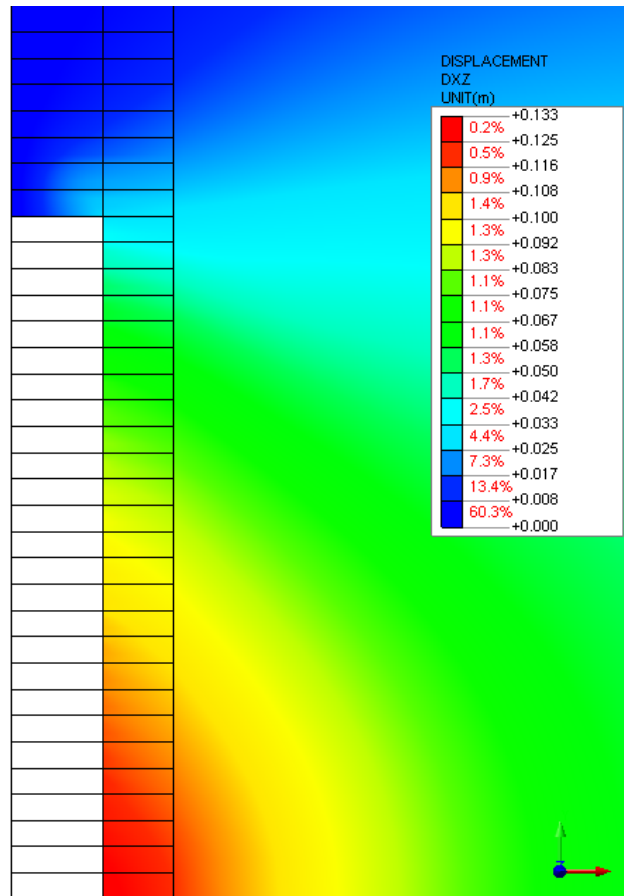


Abbildung 17: Axialsymmetrisches Modell, radiale Konvergenz

Illustrazione 17: Modello assialsimmetrico, convergenza radiale

### Analyse mit Konsolidierungen

Die Analyse wurde mit Vorhandensein der Ortsbrustsicherung und am Umriss durchgeführt, mit einem Schritt von 1.5 m, wobei eine Mindestüberlappung von 6 m der Anker an der Ortsbrust berücksichtigt wurden.

Um den Beitrag der Konsolidierungen abzuschätzen, wird eine fiktive Erhöhung der Kohäsion  $\Delta c$  am befestigten Gebirge angebracht, die mit dem Begrenzungsdruck  $\sigma_3$  (Resultierende der Zugfestigkeit eines Einschlusses dividiert durch Einflussbereich) zusammenhängt:

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

Mit:

- $\Delta\sigma_3$  = Begrenzungsdruck
- $N_b$  = Anzahl der Anker an Ortsbrust
- $A_b$  = Widerstandsfläche des Ankers
- $\sigma_b$  = Zug-Bruchfestigkeit
- $D$  = Durchmesser Bohrung
- $\alpha$  = Wulstkoeffizient
- $L$  = Länge Überlappung
- $s_l$  = seitliche Oberfläche des Ankers
- $\tau_a$  = Haftfestigkeit zwischen Anker und Mörtel (oder zwischen Mörtel und Boden)

Was hingegen die Befestigung des Umrisses des Hohlraums betrifft, so wird der Ansatz nach Hoek und Ribacchi, analog zum Dokument [12], angewandt. Man nimmt eine befestigte Zone von 1 m Quergröße an und führt eine Abfolge von gewichteten Durchschnitten durch mit Bezug auf die Widerstandsfläche der einzelnen Komponenten (Gebirge und Zementinjektion) und berechnet die äquivalenten Werte des Elastizitäts- und des Kohäsionsmodul:

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

Mit:

- $\sigma_{cm}$  Druckfestigkeit des urspr. Gebirges, die der einaxialen Druckfestigkeit entspricht;
- $A_{rock}$  Oberfläche des nicht befestigten Gebirges;
- $R_c$  Widerstand der injizierten Mischung;
- $A_c$  von der Injektion betroffene Fläche.

### 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. [12]. 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:

- $\sigma_{cm}$  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	$\Phi'_p$	36.3	°
	Angolo d'attrito residuo	$\Phi'_r$	30.1	°
	Angolo di dilatanza	$\psi$	3.1	°
	Coesione di picco	$c'_p$	1.545	MPa
	Coesione residua	$c'_r$	1.065	MPa
	Resistenza a compressione uniassiale di picco	$\sigma_{cm,p}$	6.104	MPa
	Resistenza a compressione uniassiale residua	$\sigma_{cm,r}$	3.697	MPa
	Pendenza curva $\sigma$ 1/3	k	3.902	-
	Modulo elastico	Em	2500	MPa
	Coefficiente di Poisson	v	0.21	-

Parametri tunnel	Raggio tunnel	$r_0$	5.2	m
	Copertura	h	620	m
	Peso specifico roccia	$\gamma_r$	26.5	kN/m <sup>3</sup>
	Pressione idrostatica	$p_0$	16.43	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	$R_{p,eq}$	6.248	MPa
	Resistenza equivalente residua	$R_{r,eq}$	3.841	MPa
	Coesione di picco equivalente	$c_{p,eq}$	<b>1.582</b>	MPa
	Coesione residua equivalente	$c_{r,eq}$	<b>1.107</b>	MPa
	Modulo elastico equivalente	Eeq	<b>2644</b>	MPa

Consolidamento del nucleo	Numero consolidamenti	Nb	41.0	-
	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	$\sigma_b$	400	MPa
	Diametro esterno	de	0.038	m
	Diametro interno	di	0.019	m
	Area resistente	Ab	0.001	m <sup>2</sup>
	Area del fronte di scavo	sb	84.95	m <sup>2</sup>
	Resistenza a rottura	T1	340.23	kN
	Resistenza a sfilamento	T2	565.49	kN
	Pressione di confinamento longitudinale	$\Delta\sigma_3$	<b>0.164</b>	MPa
	Coesione migliorata	$c'$	<b>1.623</b>	MPa

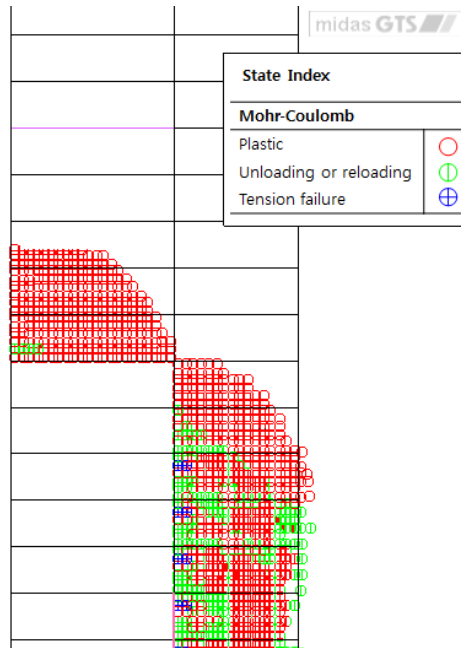


Abbildung 18: Axialsymmetrisches Modell, plastifizierte Zone beim Vorhandensein von Stützmitteln

Illustrazione 18: Modello Assialsimmetrico, Zona plasticizzata in presenza dei consolidamenti

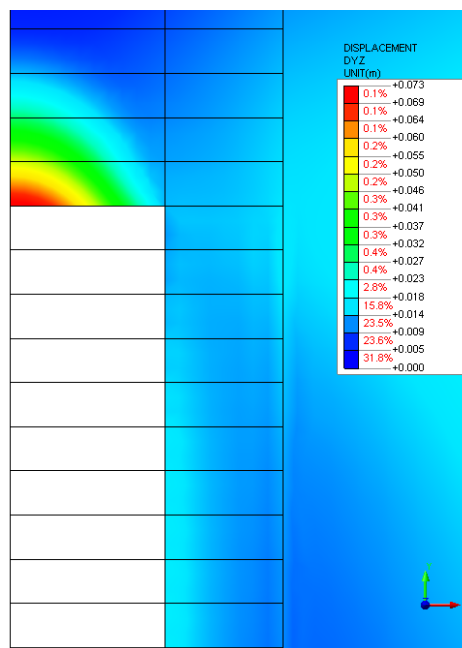


Abbildung 19: Axialsymmetrisches Modell, Extrusion an der Ortsbrust

Illustrazione 19: Modello Assialsimmetrico, Estrusione al fronte

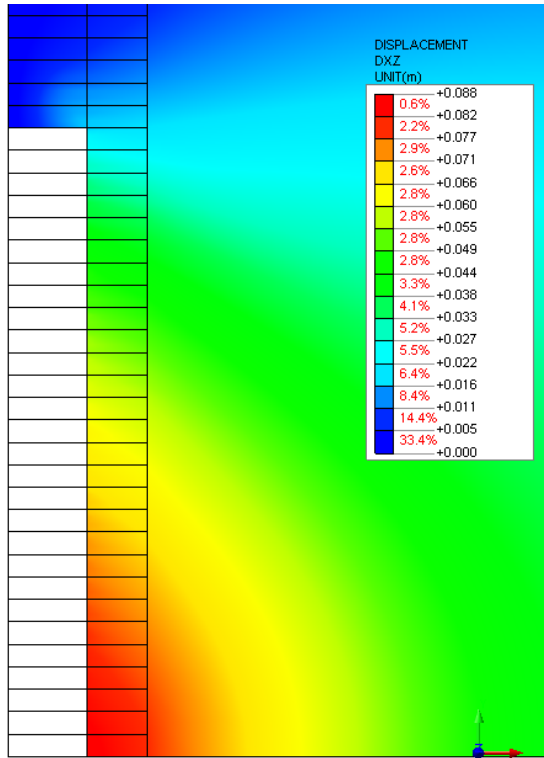


Abbildung 20: Axialsymmetrisches Modell, radiale Konvergenz

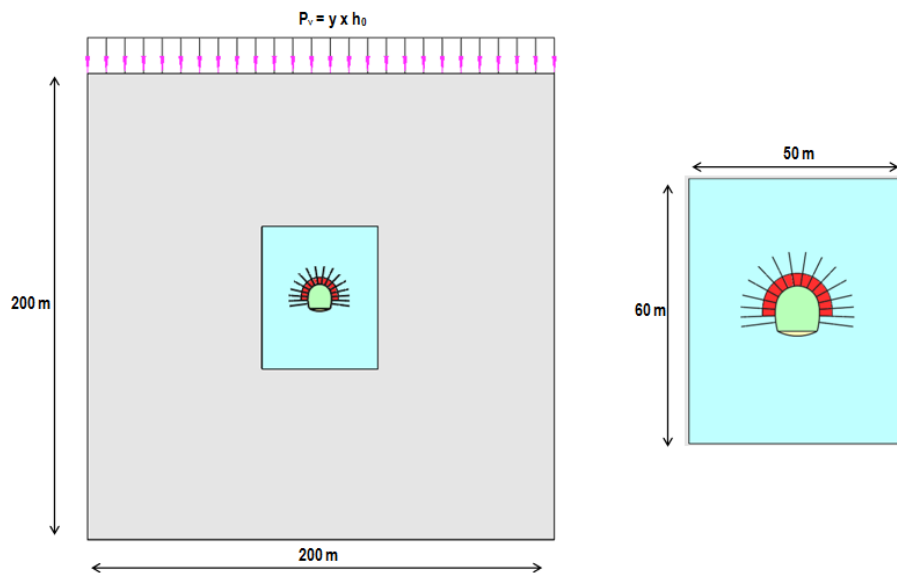
Illustrazione 20: Modello assialsimmetrico, convergenza radiale

### ANHANG 3 – FEM - ANALYSE DER AUßENSCHALE DES QUERSCHNITTS GA-T5

Diese Anlage führt die wichtigsten Outputs der FEM-Analysen des Schnitts GA-T5 an, die mit dem Rechenprogramm Midas GTS durchgeführt wurden.

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

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



### A3.1 OUTPUTS MODELL FEM

### A3.1 OUTPUT MODELLO FEM

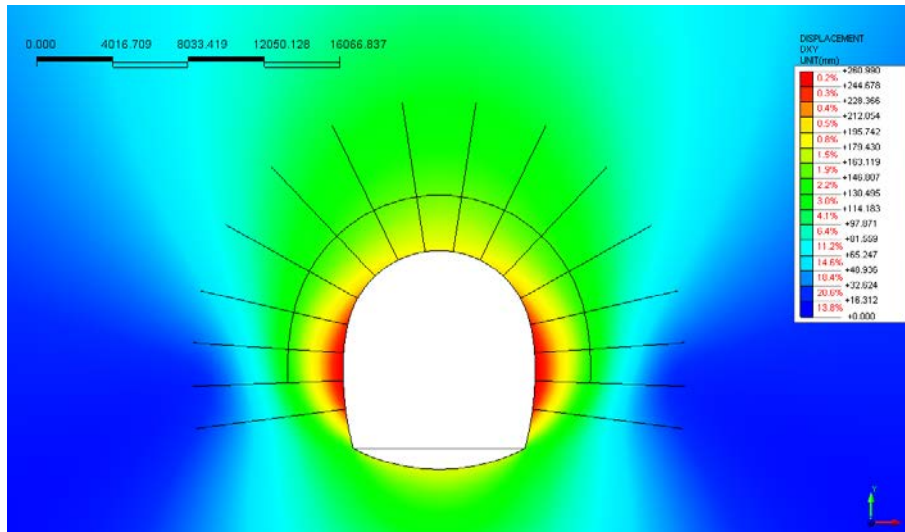


Abbildung 21: Verschiebungen xy [mm] Ortsbrust GA - T5

Illustrazione 21: Spostamenti xy [mm] - fronte GA-T5

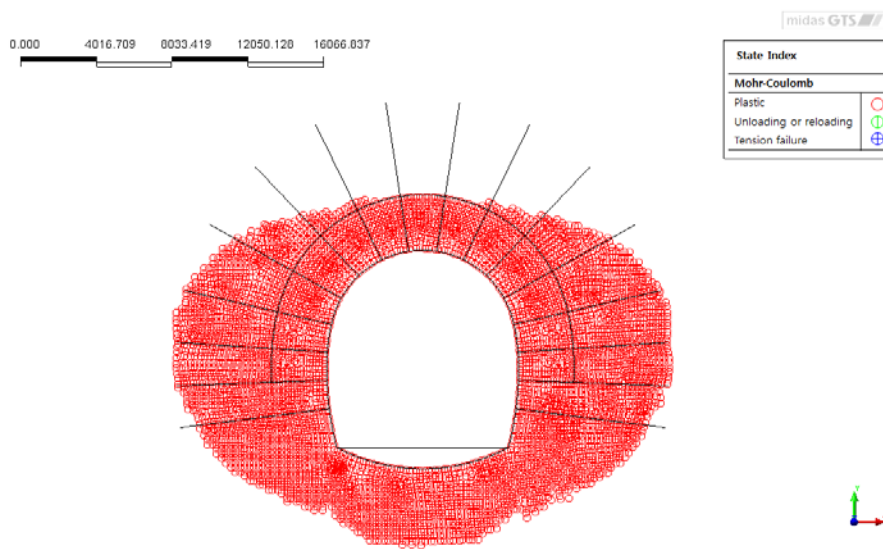


Abbildung 22: Plastifizierungen - Ortsbrust GA-T5

Illustrazione 22: Plasticizzazioni - fronte GA-T5

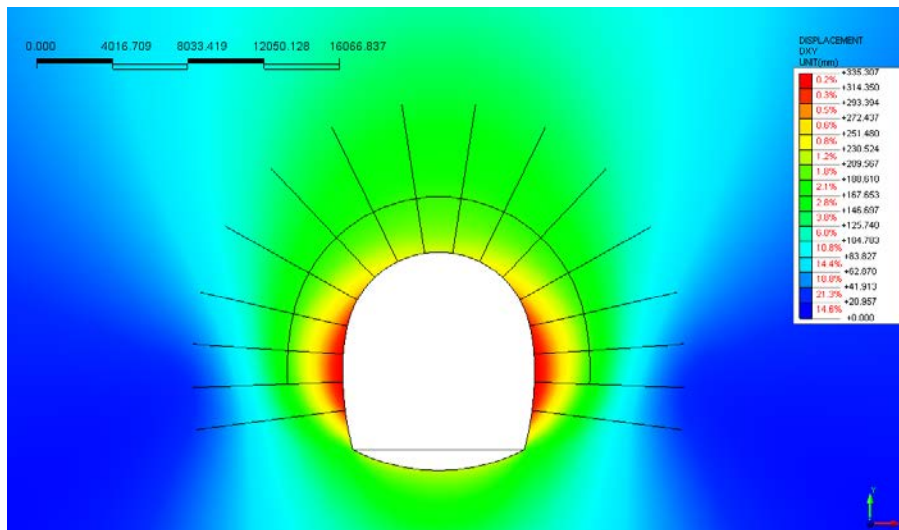


Abbildung 23: Verschiebungen xy [mm] bei 1.5m von der Ortsbrust GA-T5

Illustrazione 23: Spostamenti xy [mm] a 1.5m dal fronte GA-T5

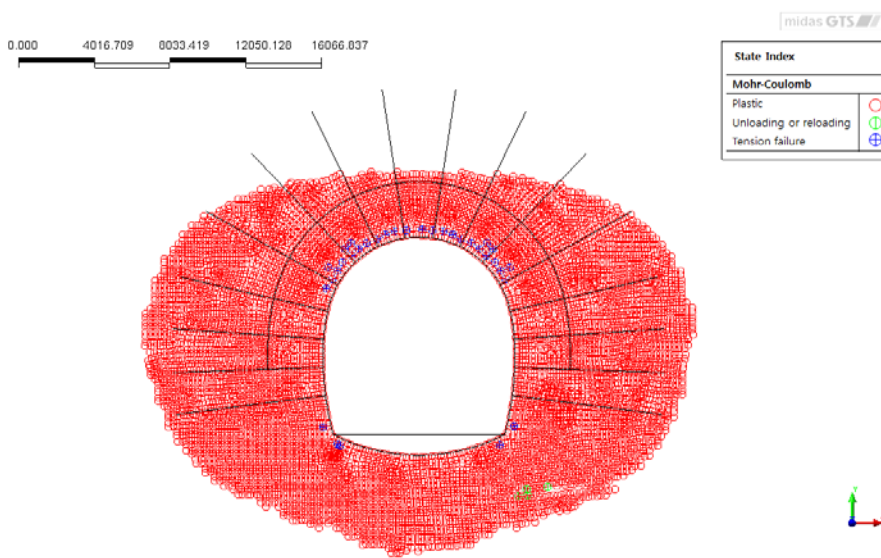


Abbildung 24: Plastifizierungen bei 1.5m von der Ortsbrust GA-T5

Illustrazione 24: Plasticizzazioni a 1.5m dal fronte GA-T5

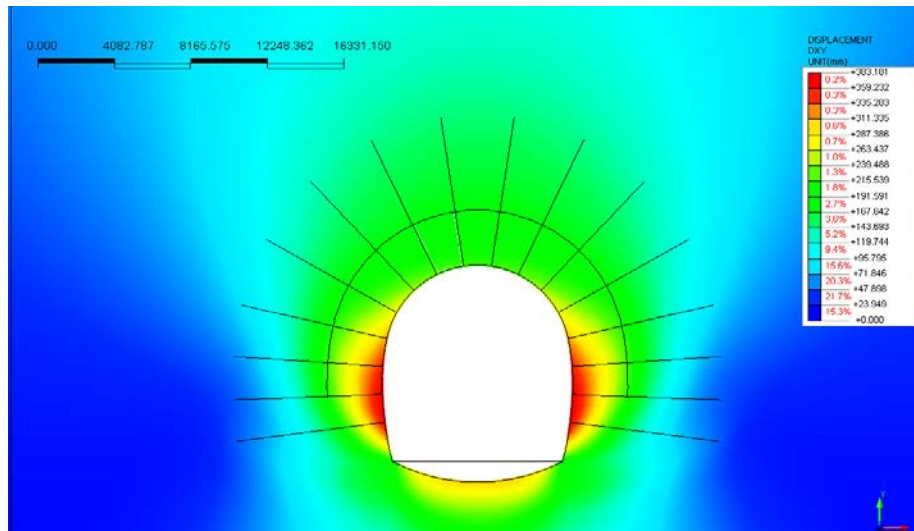


Abbildung 25: Vercchiebungen xy [mm] Ende Ausbruch GA-T5

Illustrazione 25: Spostamenti xy [mm] fine scavo GA-T5

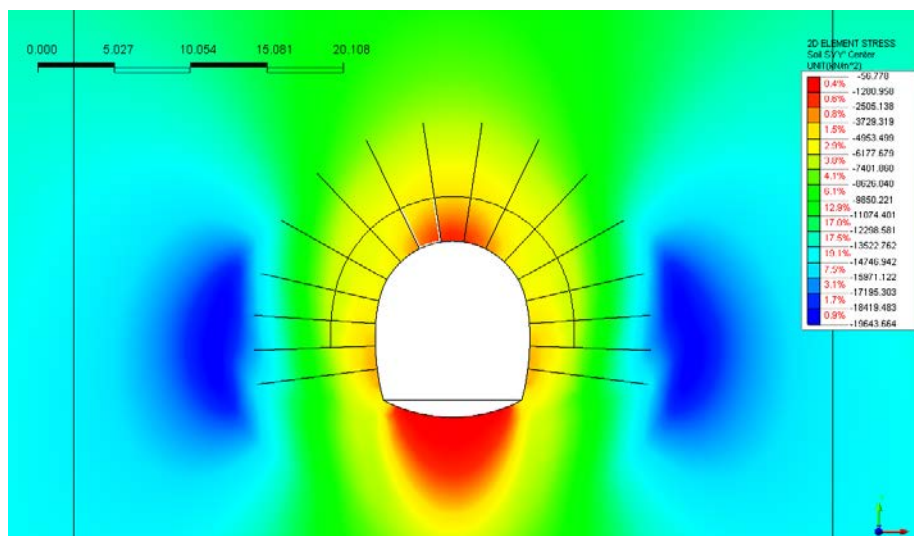


Abbildung 26: Vertikalspannungen  $\sigma_{yy}$  [kN/m<sup>2</sup>] – Ende Ausbruch GA-T5

Illustrazione 26: Tensioni verticali  $\sigma_{yy}$  [kN/m<sup>2</sup>] - fine scavo GA-T5

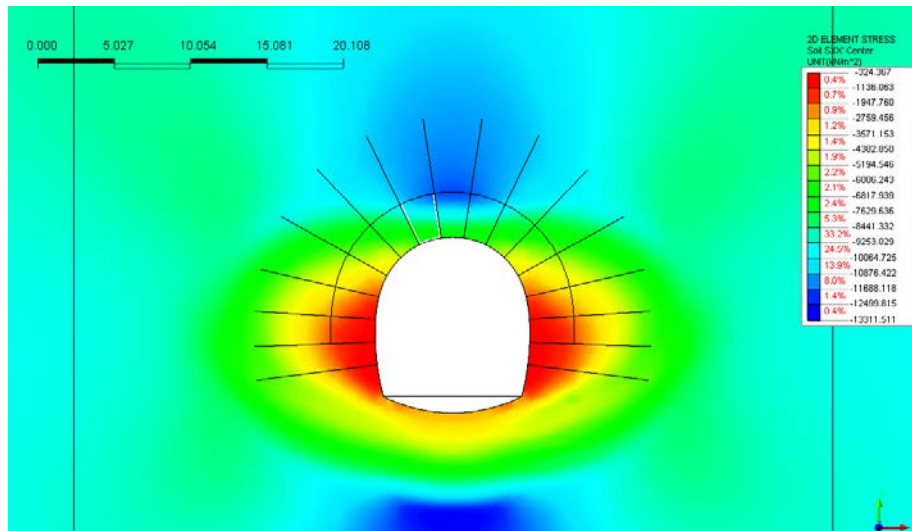


Abbildung 27: Horizontalspannung  $\sigma_{xx}$  [kN/m<sup>2</sup>] – Ende Ausbruch GA-T5

Illustrazione 27: Tensioni orizzontali  $\sigma_{xx}$  [kN/m<sup>2</sup>] - fine scavo GA-T5

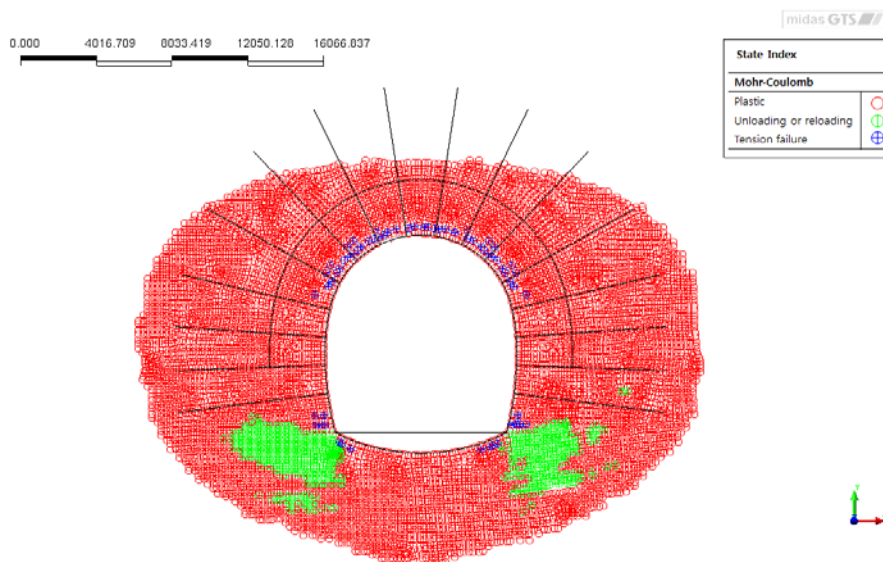


Abbildung 28: Plastifizierungen – Ende Ausbruch GA-T5

Illustrazione 28: Plasticizzazioni - fine scavo GA-T5

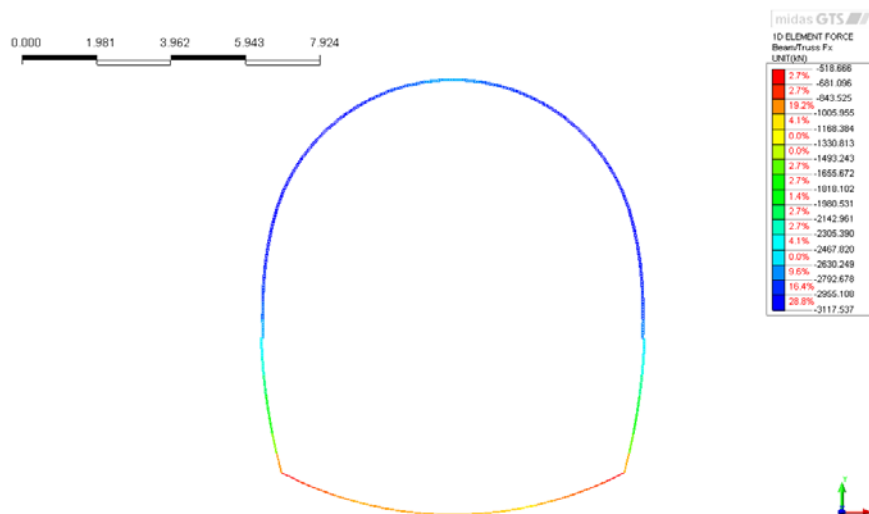


Abbildung 29: Normalkräfte auf der Außenschale [kN] – Ende Ausbruch GA-T5

Illustrazione 29: Sollecitazioni normali sul rivestimento di prima fase [kN] - fine scavo GA-T5

0.000 1.981 3.962 5.943 7.924

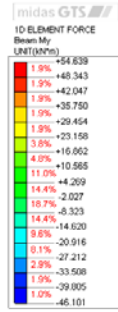
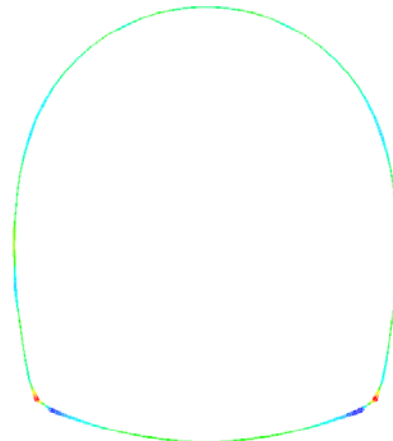


Abbildung 30: Momenten auf die Außenschale [kNm] – Ende Ausbruch GA-T5

Illustrazione 30: Momenti sul rivestimento di prima fase [kNm] - fine scavo GA-T5

0.000 3.978 7.956 11.934 15.912

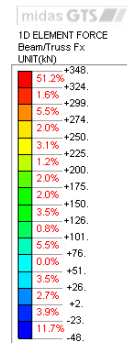
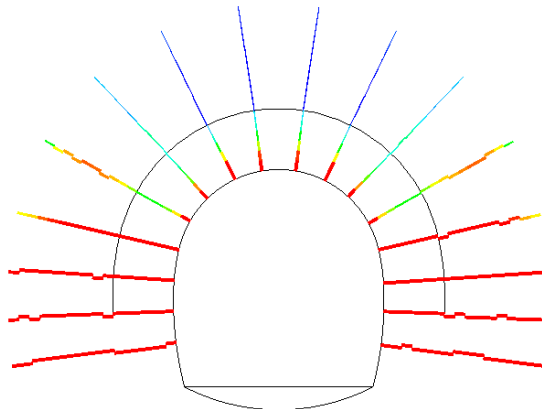


Abbildung 31: Axialbelastung in den Ankern [kN]

Illustrazione 31: Sollecitazione assiale nei chiodi [kN]

0.000 3.978 7.956 11.934 15.912

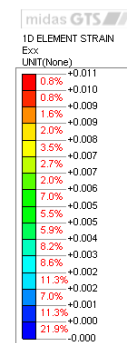
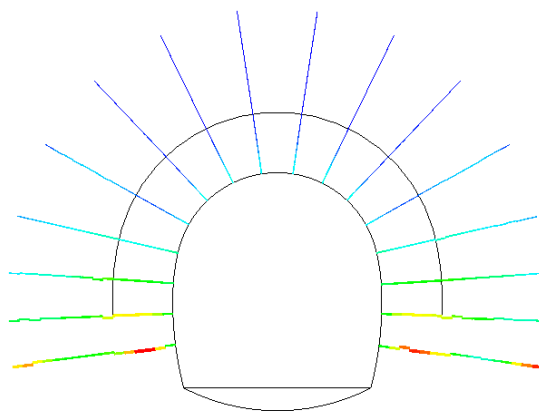
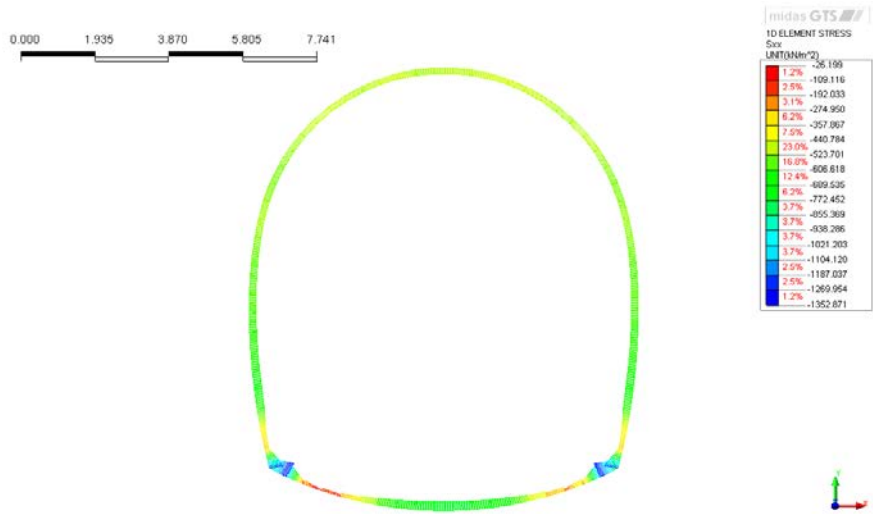


Abbildung 32: Axialverformung der Anker [-]

Illustrazione 32: Deformazione assiale nei chiodi [-]





### A3.2 NACHWEIS AUßENSCHALE

Nachfolgend führt man den Nachweis des Querschnitts GA-T5.

#### Nachweis Diagramm Wechselwirkung M-N

Im Bereich des Fußes des Widerlagers wurden die Höchstwerte der Beanspruchungen vernachlässigt, da sie auf die theoretische Geometrie der mesh zurückzuführen sind, da durch die numerische Modellierung die Spannung konzentriert wird.

### A3.2 VERIFICHE RIVESTIMENTO PRIMA FASE

Nel seguito viene verificata la sezione GA-T5.

#### 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.

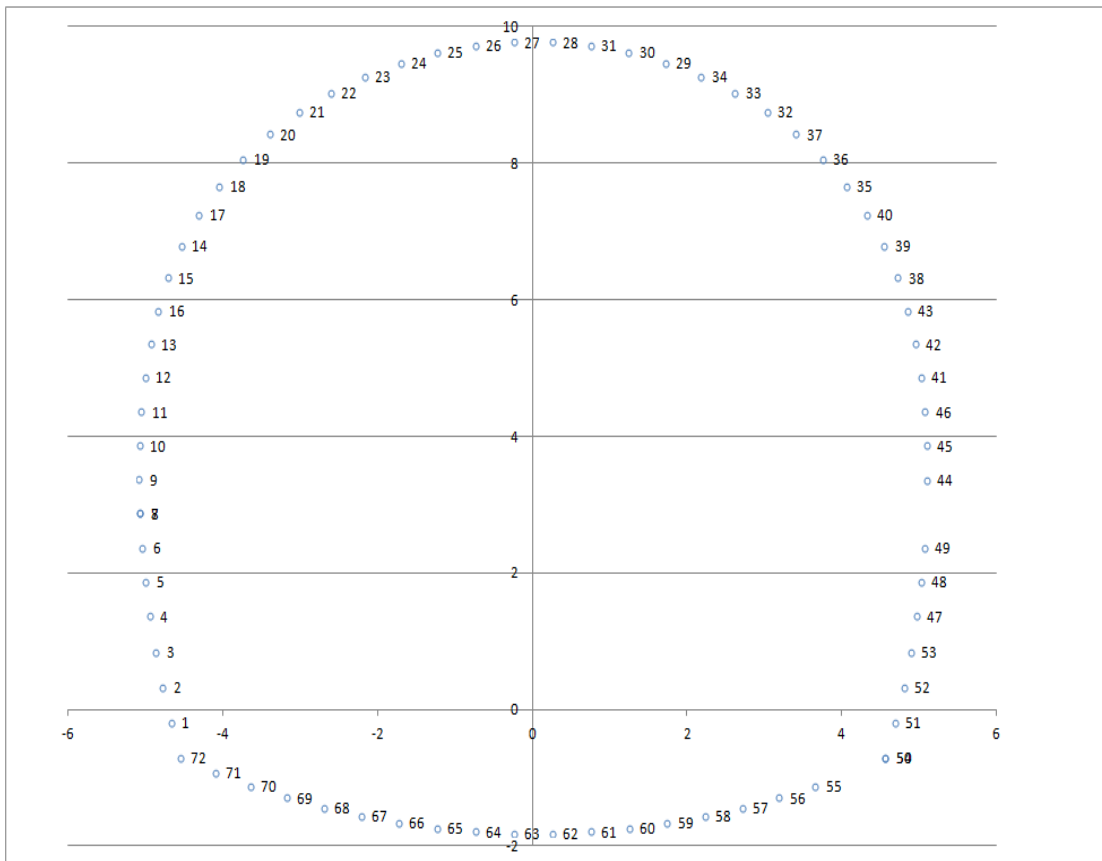
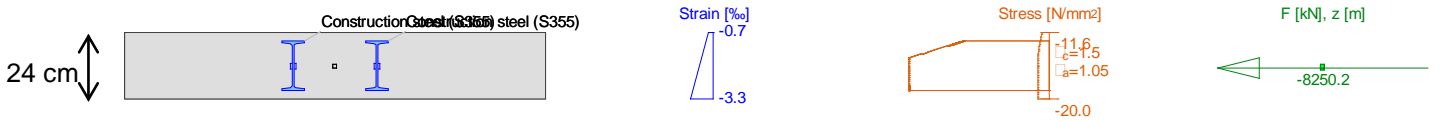
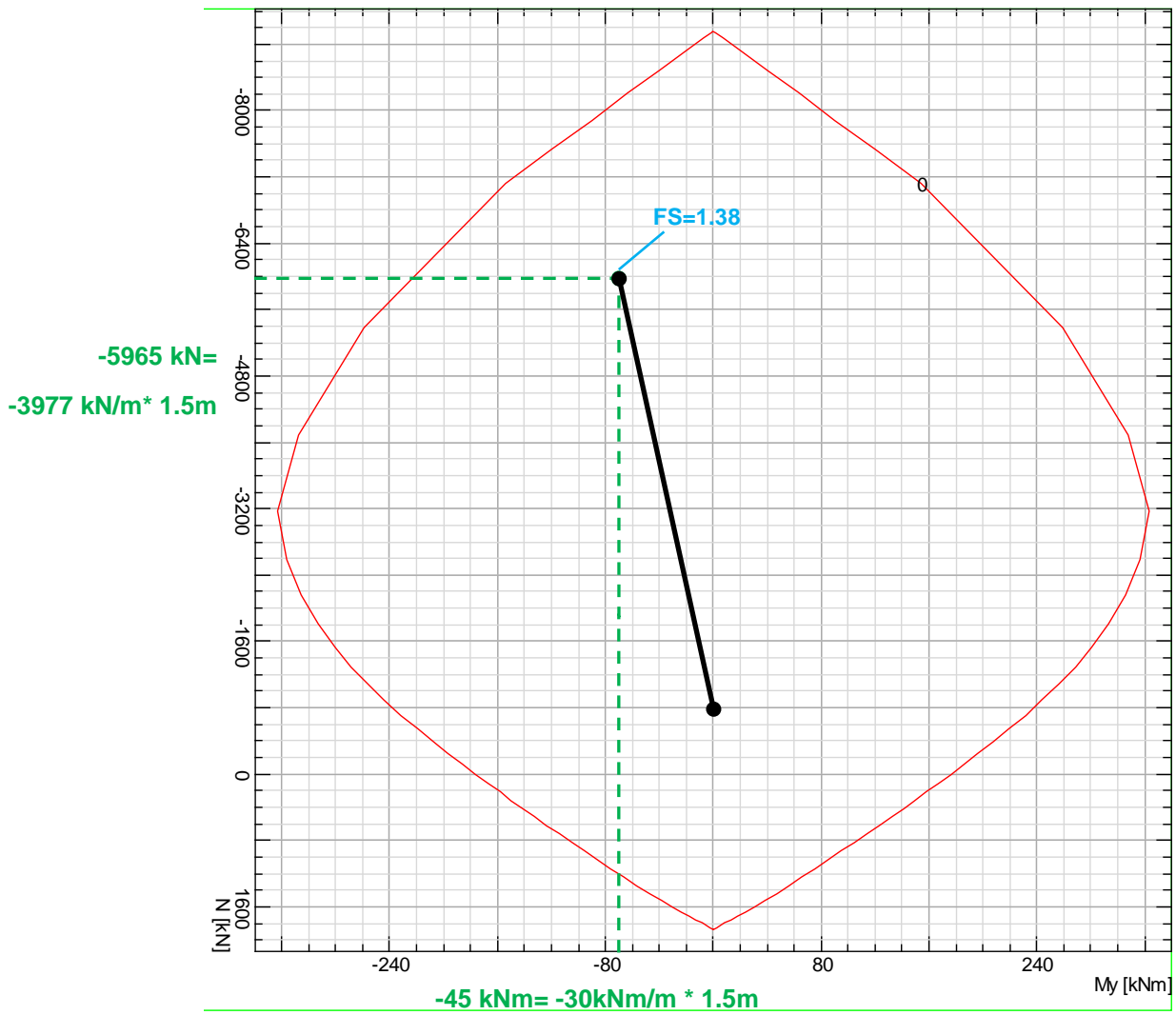


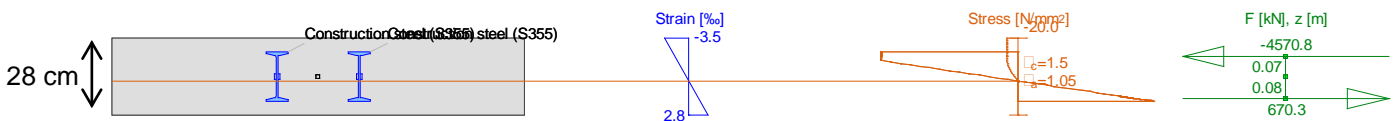
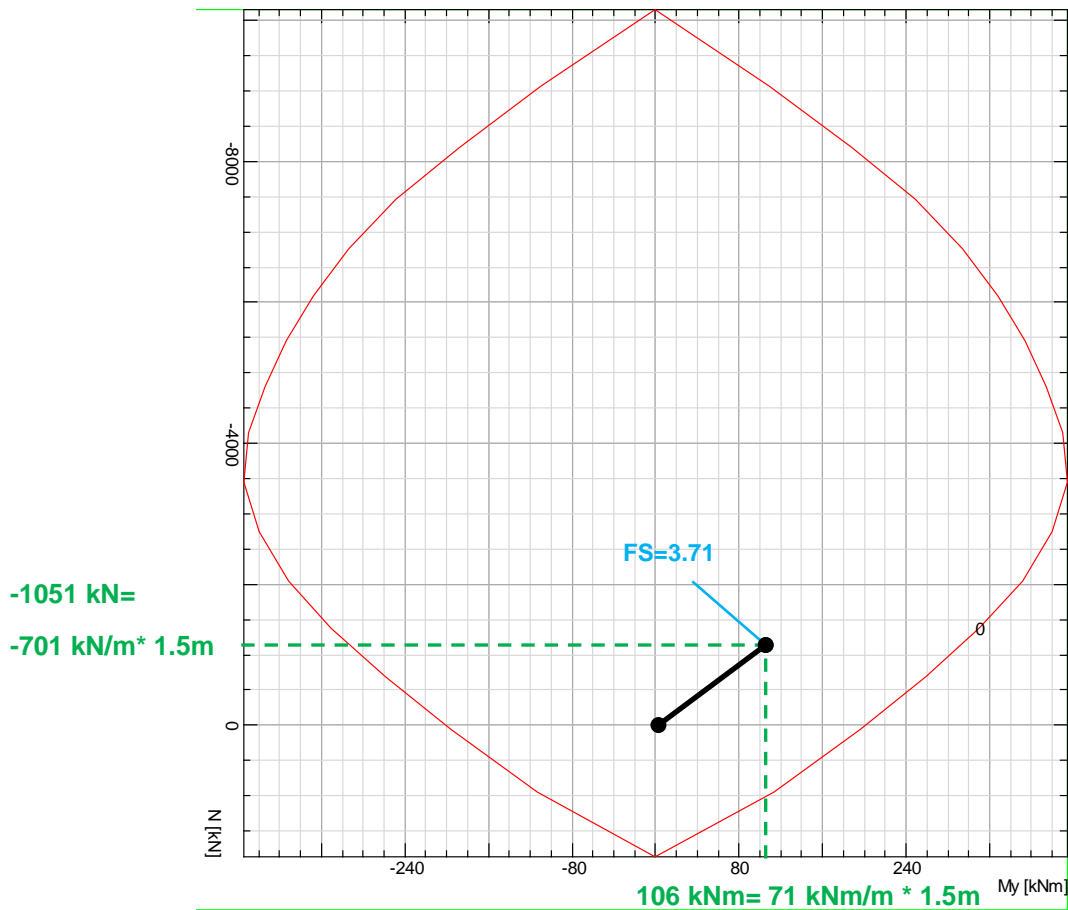
Abbildung 34: Nummerierung der Knoten des numerischen Modells

Illustrazione 34: 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	-4.680	-0.187	-936.00	-10.97	-1216.80	-14.26	4.33
2	-4.789	0.331	-1502.00	-6.93	-1952.60	-9.01	2.91
3	-4.882	0.853	-1730.00	0.78	-2249.00	1.02	2.64
4	-4.957	1.377	-1925.00	6.11	-2502.50	7.94	2.30
5	-5.013	1.877	-2099.00	-13.13	-2728.70	-17.07	2.04
6	-5.054	2.379	-2294.00	-25.92	-2982.20	-33.70	1.77
7	-5.080	2.881	-2421.00	-7.73	-3147.30	-10.05	1.83
8	-5.080	2.881	-2649.00	7.73	-3443.70	10.05	1.68
9	-5.090	3.378	-2759.00	17.38	-3586.70	22.59	1.55
10	-5.085	3.875	-2846.00	14.69	-3699.80	19.10	1.53
11	-5.063	4.371	-2916.00	-5.65	-3790.80	-7.35	1.54
12	-5.016	4.868	-2969.00	-2.22	-3859.70	-2.88	1.53
13	-4.943	5.363	-3011.00	-2.45	-3914.30	-3.18	1.51
14	-4.539	6.804	-3071.00	-16.65	-3992.30	-21.65	1.41
15	-4.714	6.336	-3059.00	-23.06	-3976.70	-29.98	<b>1.38</b>
16	-4.843	5.853	-3038.00	-11.75	-3949.40	-15.28	1.45
17	-4.317	7.252	-3069.00	-20.93	-3989.70	-27.21	1.39
18	-4.053	7.675	-3092.00	-10.83	-4019.60	-14.08	1.43
19	-3.746	8.070	-3112.00	-5.60	-4045.60	-7.28	1.45
20	-3.400	8.431	-3073.00	-10.16	-3994.90	-13.21	1.44
21	-3.021	8.756	-3015.00	-1.99	-3919.50	-2.59	1.51
22	-2.610	9.041	-2950.00	3.00	-3835.00	3.90	1.54
23	-2.173	9.283	-2868.00	-13.13	-3728.40	-17.07	1.52
24	-1.714	9.479	-2829.00	-2.89	-3677.70	-3.76	1.61
25	-1.237	9.628	-2774.00	4.38	-3606.20	5.69	1.63
26	-0.747	9.729	-2685.00	-7.71	-3490.50	-10.02	1.66
27	-0.250	9.779	-2647.00	-5.81	-3441.10	-7.55	1.69
28	0.250	9.779	-2713.00	-6.56	-3526.90	-8.53	1.65
29	1.714	9.479	-2877.00	-1.55	-3740.10	-2.02	1.59
30	1.237	9.628	-2850.00	4.90	-3705.00	6.38	1.58
31	0.747	9.729	-2798.00	-6.92	-3637.40	-8.99	1.60
32	3.021	8.756	-3076.00	-2.88	-3998.80	-3.74	1.48
33	2.610	9.041	-3014.00	2.30	-3918.20	3.00	1.51
34	2.173	9.283	-2955.00	-13.33	-3841.50	-17.33	1.48
35	4.053	7.675	-3068.00	-7.64	-3988.40	-9.94	1.46
36	3.746	8.070	-3094.00	-5.97	-4022.20	-7.76	1.45
37	3.400	8.431	-3115.00	-10.86	-4049.50	-14.12	1.42
38	4.714	6.336	-3030.00	-24.38	-3939.00	-31.69	1.39
39	4.539	6.804	-3011.00	-21.22	-3914.30	-27.59	1.41
40	4.317	7.252	-3019.00	-17.77	-3924.70	-23.10	1.43
41	5.016	4.868	-2949.00	-4.10	-3833.70	-5.32	1.53
42	4.943	5.363	-2989.00	-3.98	-3885.70	-5.17	1.51
43	4.843	5.853	-3020.00	-12.47	-3926.00	-16.21	1.45
44	5.090	3.372	-2725.00	17.39	-3542.50	22.61	1.57
45	5.085	3.872	-2826.00	12.99	-3673.80	16.89	1.55
46	5.063	4.371	-2894.00	-7.63	-3762.20	-9.91	1.54
47	4.957	1.377	-2152.00	7.33	-2797.60	9.53	2.06
48	5.013	1.874	-2334.00	-15.89	-3034.20	-20.66	1.83
49	5.054	2.373	-2468.00	-31.73	-3208.40	-41.25	1.62
50	4.554	-0.702	-990.10	54.64	-1287.13	71.03	2.59
51	4.680	-0.187	-1549.00	-17.92	-2013.70	-23.30	2.62
52	4.789	0.331	-1796.00	-13.09	-2334.80	-17.02	2.36
53	4.882	0.853	-1991.00	-0.12	-2588.30	-0.16	2.31



	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]	[-]
54	4.55	-0.70	-539.20	54.64	-700.96	71.03	3.71
55	3.65	-1.11	-810.40	-26.78	-1053.52	-34.81	4.73
56	3.18	-1.28	-858.90	-17.04	-1116.57	-22.15	5.04
57	2.70	-1.43	-893.70	-6.38	-1161.81	-8.30	5.44
58	2.22	-1.56	-984.70	3.39	-1280.11	4.40	5.12
59	1.73	-1.65	-1094.00	7.55	-1422.20	9.81	4.46
60	1.24	-1.73	-1040.00	9.21	-1352.00	11.97	4.60
61	0.75	-1.78	-1010.00	5.51	-1313.00	7.17	4.89
62	0.25	-1.80	-996.50	2.61	-1295.45	3.39	5.10
63	-0.25	-1.80	-984.10	2.41	-1279.33	3.13	5.17
64	-0.75	-1.78	-975.70	4.18	-1268.41	5.43	5.12
65	-1.24	-1.73	-956.60	8.16	-1243.58	10.61	5.02
66	-1.73	-1.65	-962.80	7.85	-1251.64	10.21	5.01
67	-2.22	-1.56	-944.60	3.35	-1227.98	4.35	5.33
68	-2.70	-1.43	-984.80	-8.50	-1280.24	-11.05	4.87
69	-3.18	-1.28	-923.80	-16.77	-1200.94	-21.80	4.75
70	-3.65	-1.11	-851.00	-25.42	-1106.30	-33.05	4.64
71	-4.11	-0.92	-795.00	-38.98	-1033.50	-50.67	4.12
72	-4.55	-0.70	-518.70	53.87	-674.31	70.03	3.77



### A3.3 NACHWEIS STABILITÄT DER ORTSBRUST

Nachfolgend gibt man die Plots der axialsymmetrischen Analysen für den Querschnitt GA-T5 wieder.

#### Analysen ohne Befestigungsmaßnahmen

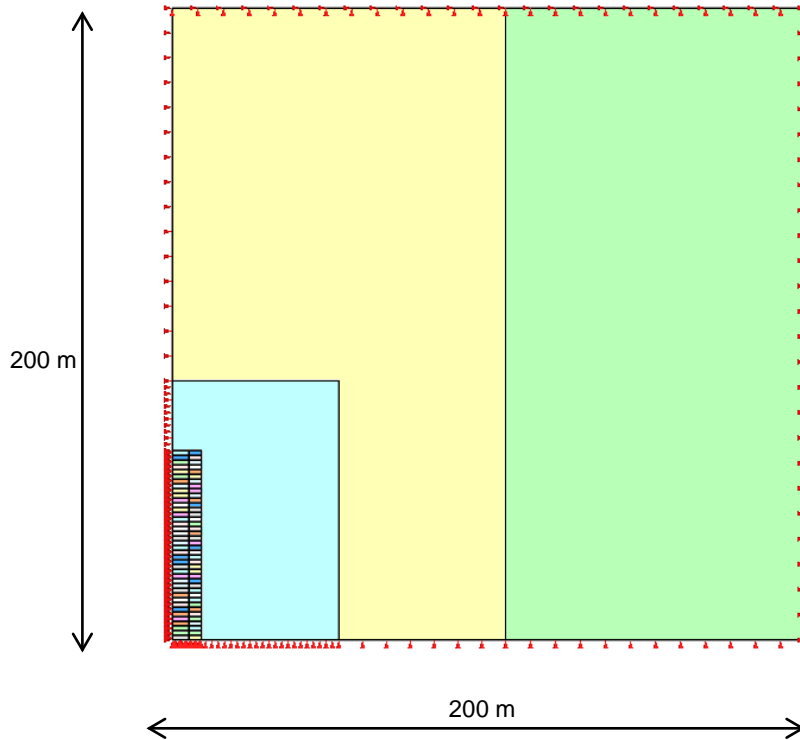
Die Analyse wurde ohne Befestigungsmaßnahmen an der Ortsbrust und ohne Außenschale sowie für Schritte von 1.5 m ausgeführt.

### A3.3 VERIFICHE STABILITÀ DEL FRONTE

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



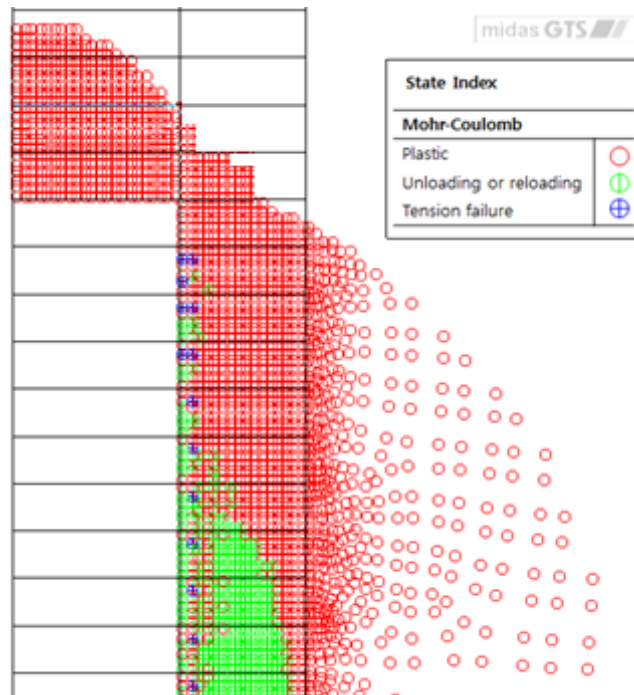


Abbildung 35: Axialsymmetrisches Modell, plastifizierte Zone, ohne Nägel an der Ortsbrust

Illustrazione 35: Modello Assialsimmetrico, Zona plasticizzata in assenza di ancoraggi al fronte

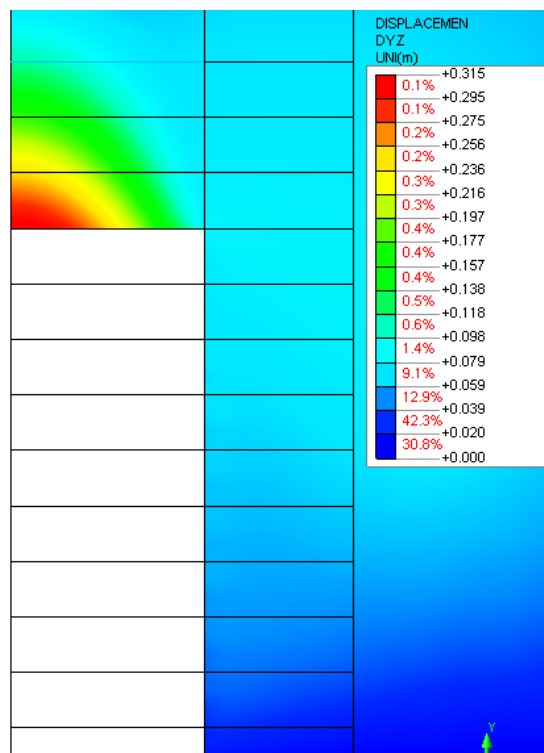


Abbildung 36: Axialsymmetrisches Modell; Extrusion an der Ortsbrust

Illustrazione 36: Modello Assialsimmetrico, Estrusione al fronte

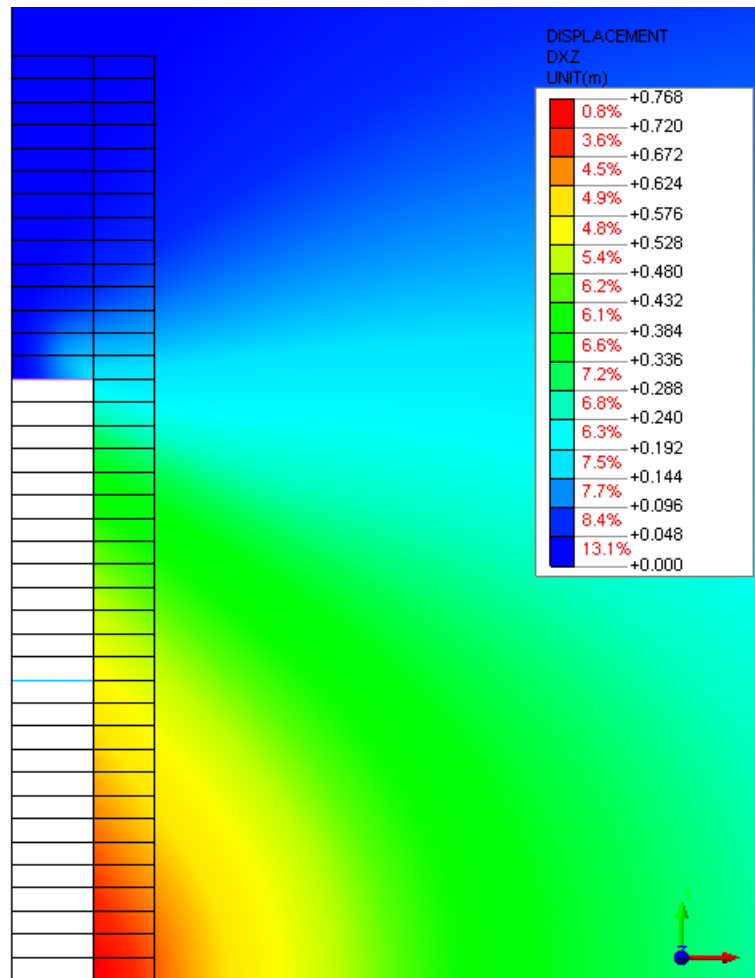


Abbildung 37: Axialsymmetrisches Modell, radiale Konvergenz

Illustrazione 37: Modello assialsimmetrico, convergenza radiale



## Analyse mit Konsolidierungen

Die Analyse wurde mit Vorhandensein der Ortsbrustsicherung und am Umriss durchgeführt, mit einem Schritt von 1.5 m, wobei eine Mindestüberlappung von 6 m der Anker an der Ortsbrust berücksichtigt wurden.

Um den Beitrag der Konsolidierungen abzuschätzen, wird eine fiktive Erhöhung der Kohäsion  $\Delta c$  am befestigten Gebirge angebracht, die mit dem Begrenzungsdruck  $\sigma_3$  (Resultierende der Zugfestigkeit eines Einschlusses dividiert durch Einflussbereich) zusammenhängt:

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

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

Mit:

- $\Delta\sigma_3$  = Begrenzungsdruck
- $N_b$  = Anzahl der Anker an Ortsbrust
- $A_b$  = Widerstandsfläche des Ankers
- $\sigma_b$  = Zug-Bruchfestigkeit
- $D$  = Durchmesser Bohrung
- $\alpha$  = Wulstkoeffizient
- $L$  = Länge Überlappung
- $s_l$  = seitliche Oberfläche des Ankers
- $\tau_a$  = Haftfestigkeit zwischen Anker und Mörtel (oder zwischen Mörtel und Boden)

Was hingegen die Befestigung des Umrisses des Hohlraums betrifft, so wird der Ansatz nach Hoek und Ribacchi, analog zum Dokument [12], angewandt. Man nimmt eine befestigte Zone von 1 m Quergröße an und führt eine Abfolge von gewichteten Durchschnitten durch mit Bezug auf die Widerstandsfläche der einzelnen Komponenten (Gebirge und Zementinjektion) und berechnet die äquivalenten Werte des Elastizität- und des Kohäsionsmodul:

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

Mit:

- $\sigma_{cm}$  Druckfestigkeit des urspr. Gebirges, die der einaxialen Druckfestigkeit entspricht;
- $A_{rock}$  Oberfläche des nicht befestigten Gebirges;
- $R_c$  Widerstand der injizierten Mischung;
- $A_c$  von der Injektion betroffene Fläche.

## 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.[12]. 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:

- $\sigma_{cm}$  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	$\Phi'_p$	22.3	°
	Angolo d'attrito residuo	$\Phi'_r$	18.6	°
	Angolo di dilatanza	$\psi$	1.9	°
	Coesione di picco	$c'_p$	0.754	MPa
	Coesione residua	$c'_r$	0.55	MPa
	Resistenza a compressione uniassiale di picco	$\sigma_{cm,p}$	2.248	MPa
	Resistenza a compressione uniassiale residua	$\sigma_{cm,r}$	1.531	MPa
	Pendenza curva $\sigma_{1/3}$	k	2.223	-
	Modulo elastico	Em	1000	MPa
	Coefficiente di Poisson	v	0.21	-

Parametri tunnel	Raggio tunnel	$r_0$	5.2	m
	Copertura	h	375	m
	Peso specifico roccia	$\gamma_r$	27	kN/m <sup>3</sup>
	Pressione idrostatica	$p_0$	10.13	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	$R_{p,eq}$	2.393	MPa
	Resistenza equivalente residua	$R_{r,eq}$	1.675	MPa
	Coesione di picco equivalente	$c_{p,eq}$	<b>0.802</b>	MPa
	Coesione residua equivalente	$c_{r,eq}$	<b>0.602</b>	MPa
Modulo elastico equivalente	Eeq	<b>1144</b>	MPa	

Consolidamento del nucleo	Numero consolidamenti	Nb	58.0	-
	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	84.95	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>0.386</b>	MPa
	Coesione migliorata	$c'$	<b>0.932</b>	MPa

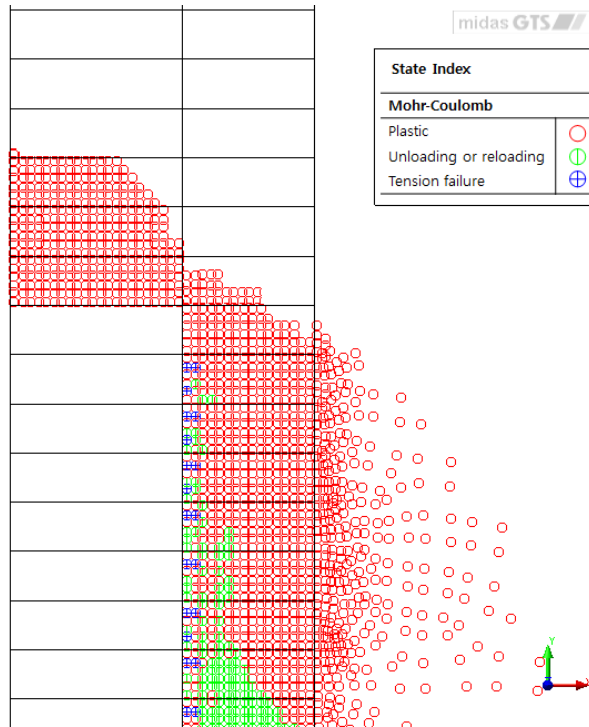


Abbildung 38: Axialsymmetrisches Modell, plastifizierte Zone mit Befestigungen

Illustrazione 38: Modello Assialsimmetrico, Zona plasticizzata in presenza dei consolidamenti

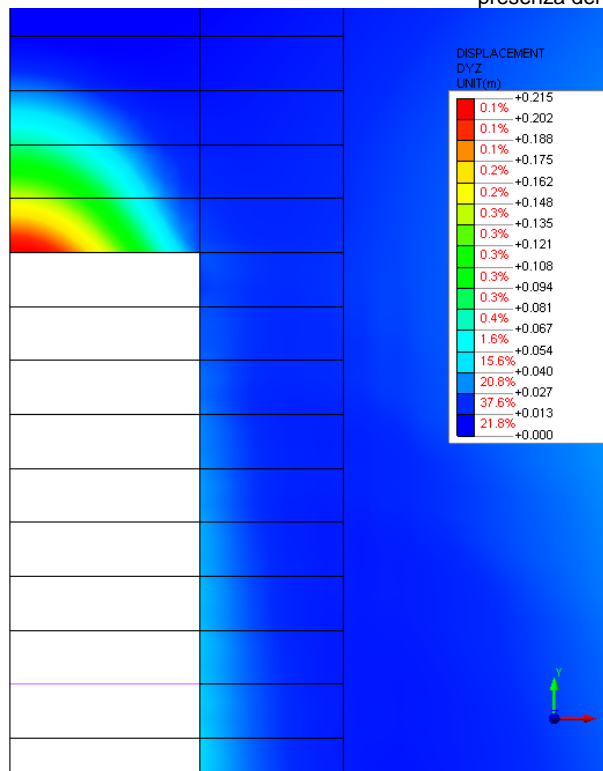


Abbildung 39: Axialsymmetrisches Modell, Extrusion an der Ortsbrust

Illustrazione 39: Modello Assialsimmetrico, Estrusione al fronte

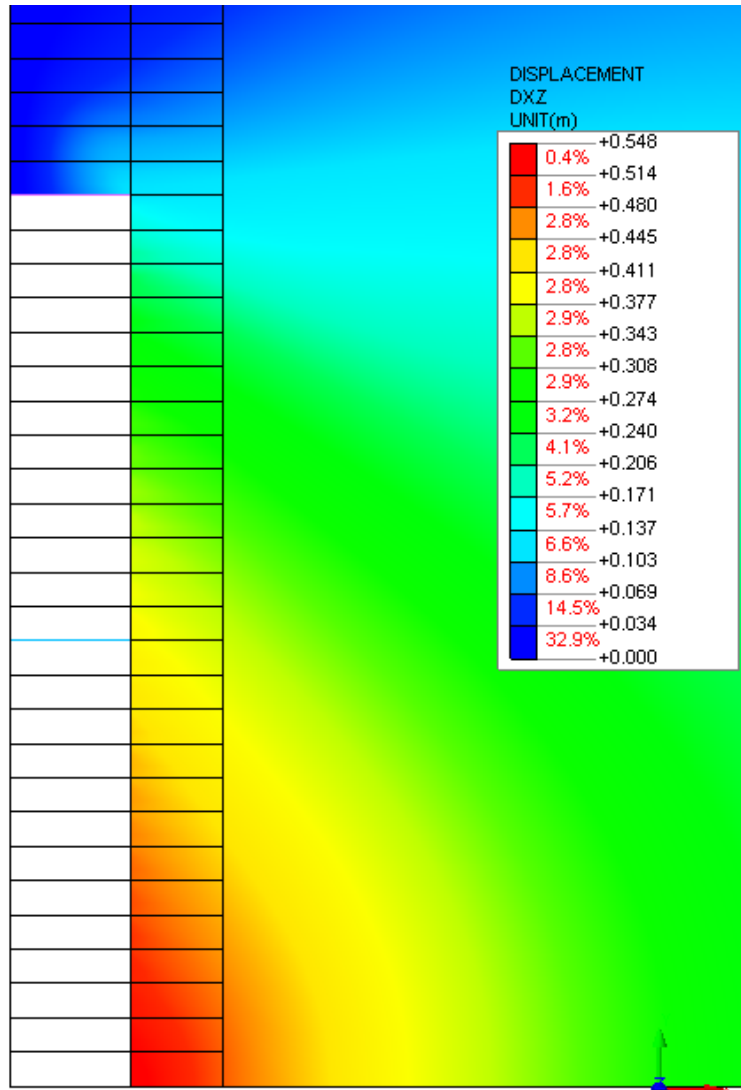


Abbildung 40: Axialsymmetrisches Modell, radiale Konvergenz

Illustrazione 40: Modello assialsimmetrico, convergenza radiale

#### **ANHANG 4 - FEM- ANALYSEN DER INNENSCHALE**

Die Anlage 4 führt die graphischen Darstellungen und wichtigsten Outputs der Analysen für den Innenausbau an, die mit dem Rechenprogramm Midas Gen durchgeführt wurden, sowie die Nachweise GZG und GZT.

#### **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.



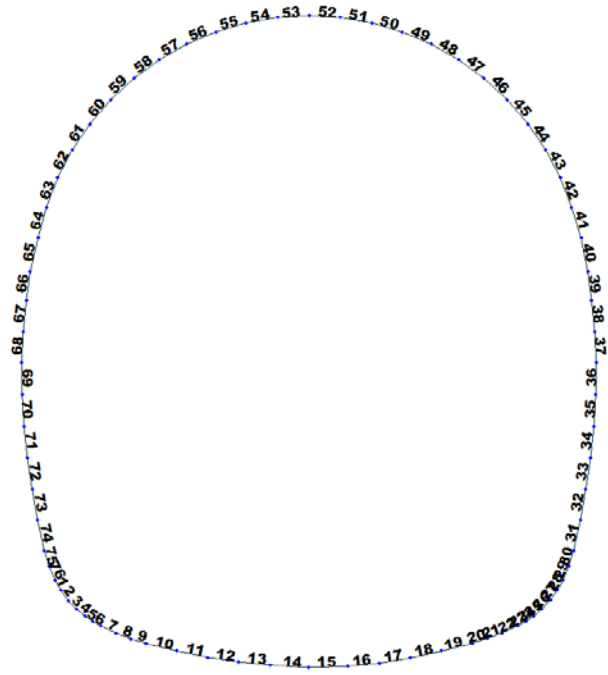


Figure 2 Elements numbering

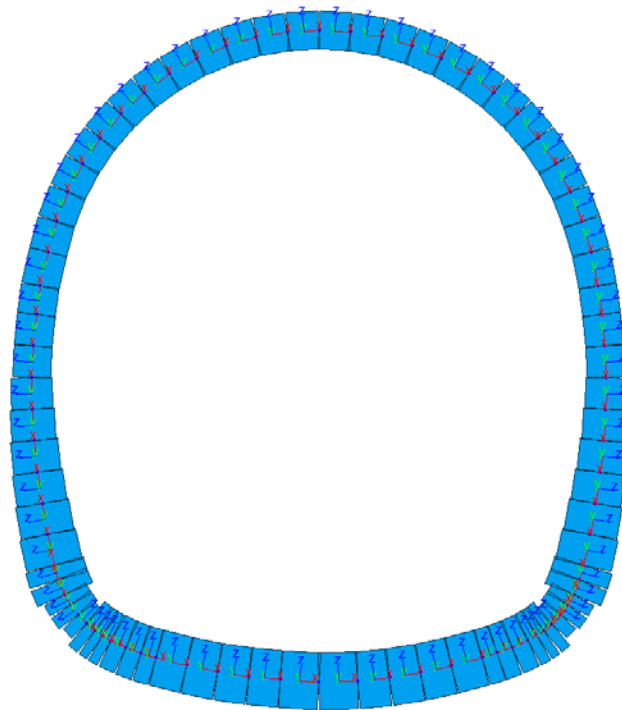


Figure 3 Element local axis

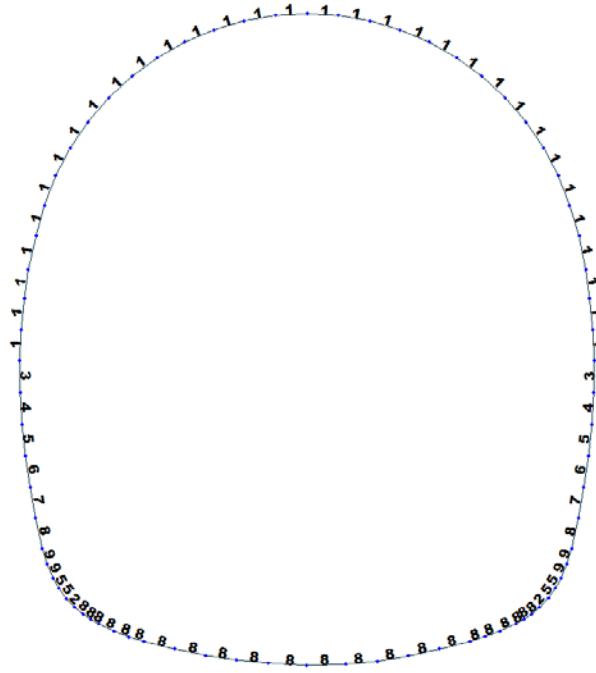


Figure 4 Element section property

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 66	0.6600	0.5500	0.5500	0.0566	0.0240	0.0550	0.5000	0.5000	0.3300	0.3300
3	100 x 65	0.6500	0.5417	0.5417	0.0546	0.0229	0.0542	0.5000	0.5000	0.3250	0.3250
4	100 x 70	0.7000	0.5833	0.5833	0.0649	0.0286	0.0583	0.5000	0.5000	0.3500	0.3500
5	100 x 75	0.7500	0.6250	0.6250	0.0759	0.0352	0.0625	0.5000	0.5000	0.3750	0.3750
6	100 x 80	0.8000	0.6667	0.6667	0.0876	0.0427	0.0667	0.5000	0.5000	0.4000	0.4000
7	100 x 85	0.8500	0.7083	0.7083	0.0999	0.0512	0.0708	0.5000	0.5000	0.4250	0.4250
8	100 x 90	0.9000	0.7500	0.7500	0.1128	0.0607	0.0750	0.5000	0.5000	0.4500	0.4500
9	100 x 95	0.9500	0.7917	0.7917	0.1264	0.0714	0.0792	0.5000	0.5000	0.4750	0.4750

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
2	B450C	Rebar steel	NTC2008	21.0e+007	0.2	0	7.85e+001	7.850 e+0



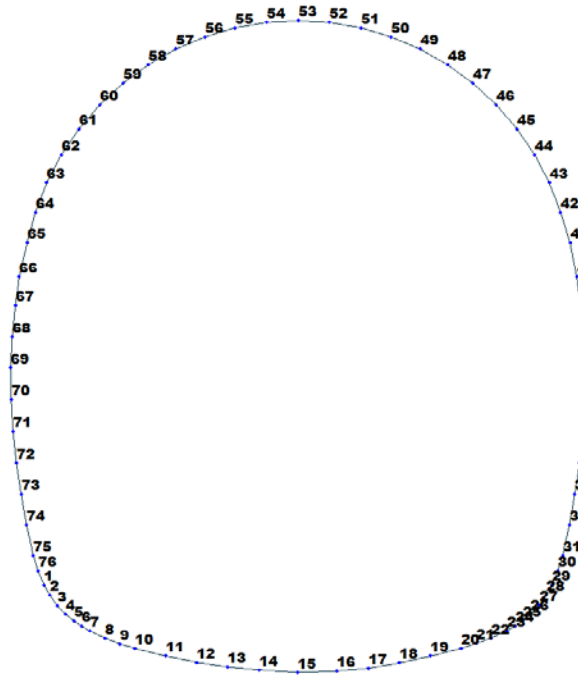


Figure 5 Node numbering

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	18000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
1	Comp.-only	0.0	0.0	55000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
2	Linear	18000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
2	Comp.-only	0.0	0.0	55000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
3	Linear	18000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
3	Comp.-only	0.0	0.0	55000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
4	Linear	18000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
4	Comp.-only	0.0	0.0	55000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
5	Linear	18000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
5	Comp.-only	0.0	0.0	55000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
6	Linear	18000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
6	Comp.-only	0.0	0.0	55000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
7	Linear	18000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
7	Comp.-only	0.0	0.0	55000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
8	Linear	18000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
8	Comp.-only	0.0	0.0	55000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
9	Linear	18000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
9	Comp.-only	0.0	0.0	55000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
10	Linear	18000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
10	Comp.-only	0.0	0.0	55000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
11	Linear	18000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
11	Comp.-only	0.0	0.0	55000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
12	Linear	18000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
12	Comp.-only	0.0	0.0	55000.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0
13	Linear	18000.0	0.0	0.0	Dx(+)	Unsymmetric	0.0	0.0	0.0	0.0



Node	Type	SDx (kN/m)	SDz (kN/m)	Stiffness (kN/m)	Direction	Multi-Linear Type	cx (m)	cy (kN)	dx (m)	dy (kN)
50	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	5300.0
51	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	5300.0
52	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	5300.0
53	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	5300.0
54	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	5300.0
55	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	5300.0
56	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	5300.0
57	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	5300.0
58	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	5300.0
59	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	5300.0
60	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	5300.0
61	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	5300.0
62	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	5300.0
63	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	5300.0
64	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	5300.0
65	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	5300.0
66	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	5300.0
67	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	5300.0
68	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	5300.0
69	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	5300.0
70	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	5300.0
71	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	5300.0
72	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	5300.0
73	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	9300.0
74	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	9300.0
75	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	9300.0
76	Multi-Linear	0.0	0.0	0.0	Dz(-)	Unsymmetric	0.01	150.0	0.10	9300.0







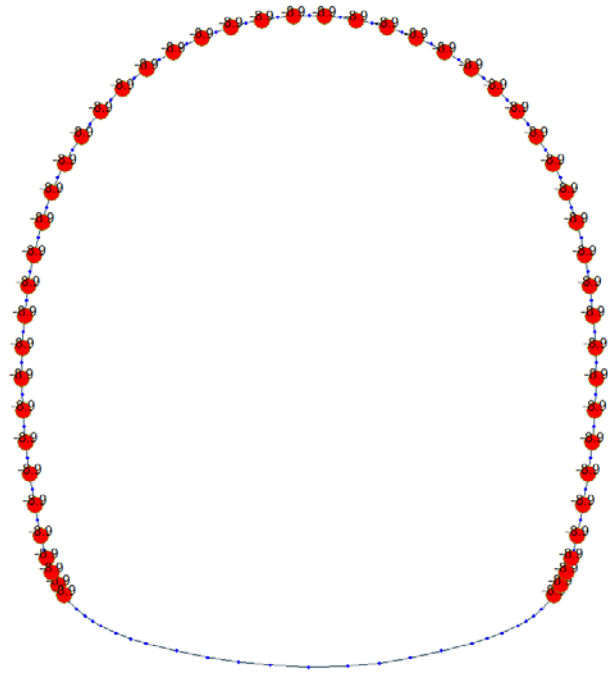


Figure 12 Load G6 SLE

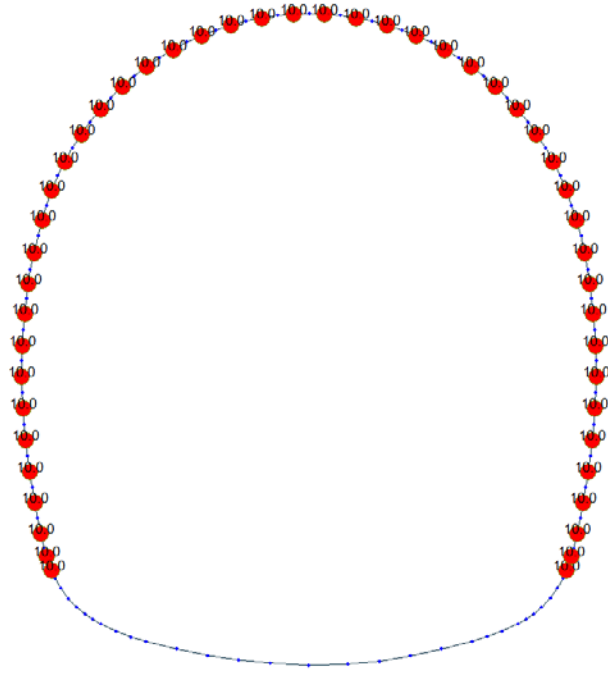


Figure 13 Q1 E (Constant temperature)

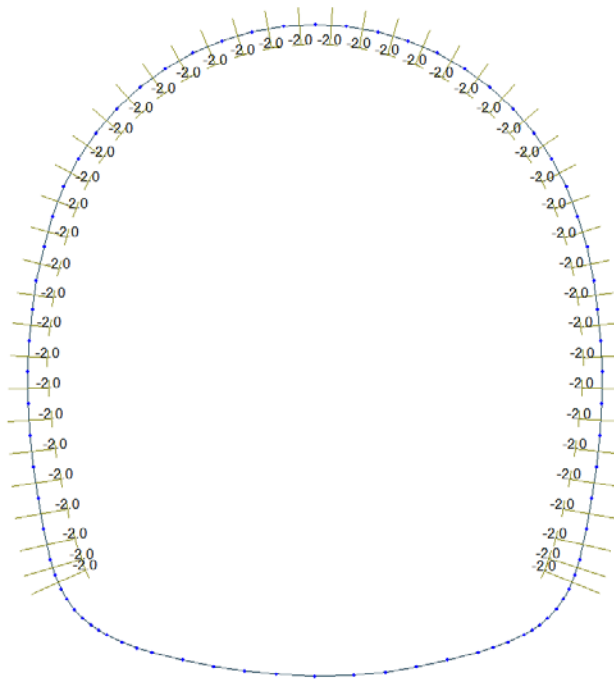


Figure 14 Load Q1 E (Temperature gradient)



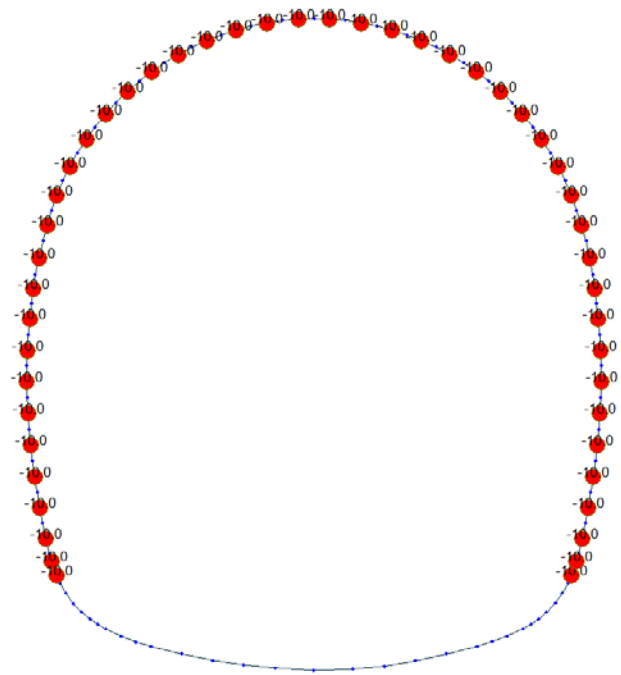


Figure 15 Load Q1 I (Constant temperature)

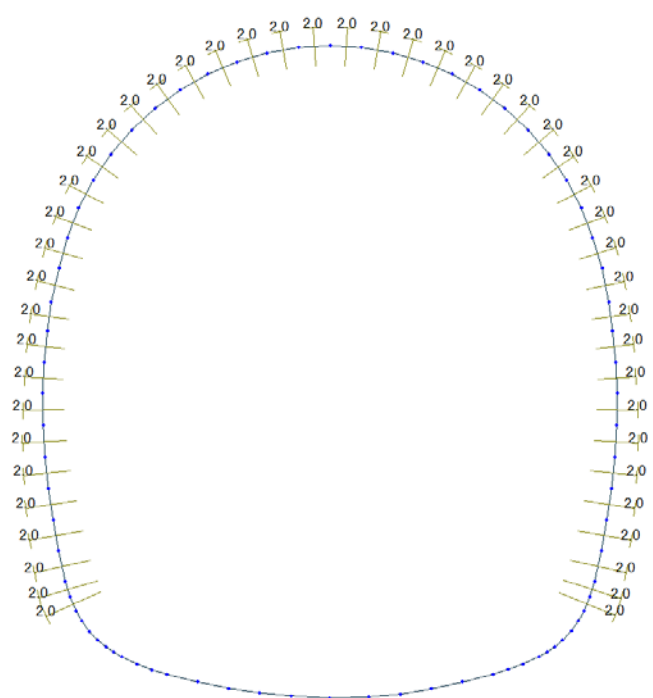


Figure 16 Load Q1 I (Temperature gradient)

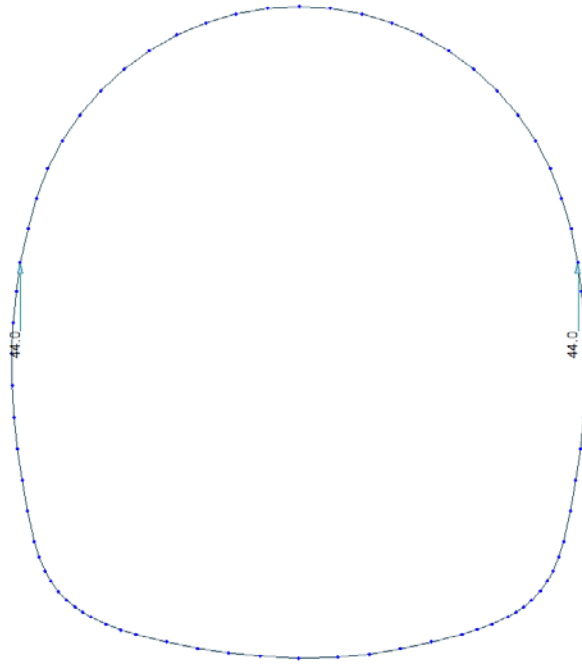


Figure 17 Load A1 P Paramenti (pression on paraments – Deck reaction)

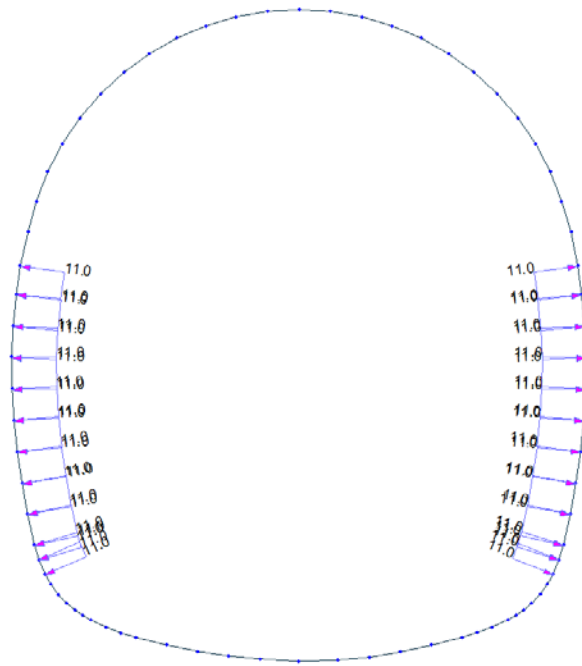


Figure 18 Load A1 P Paramenti (pression on paraments)

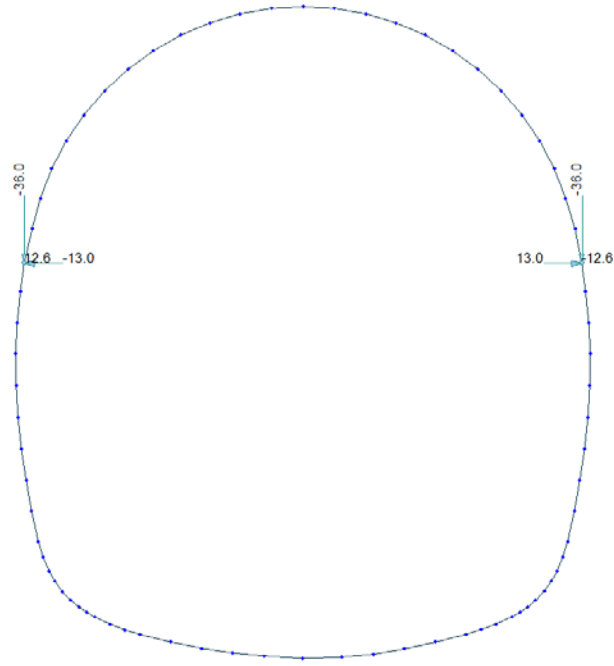


Figure 19 Load A1 A Paramenti (aspiration on paraments – Deck reaction)

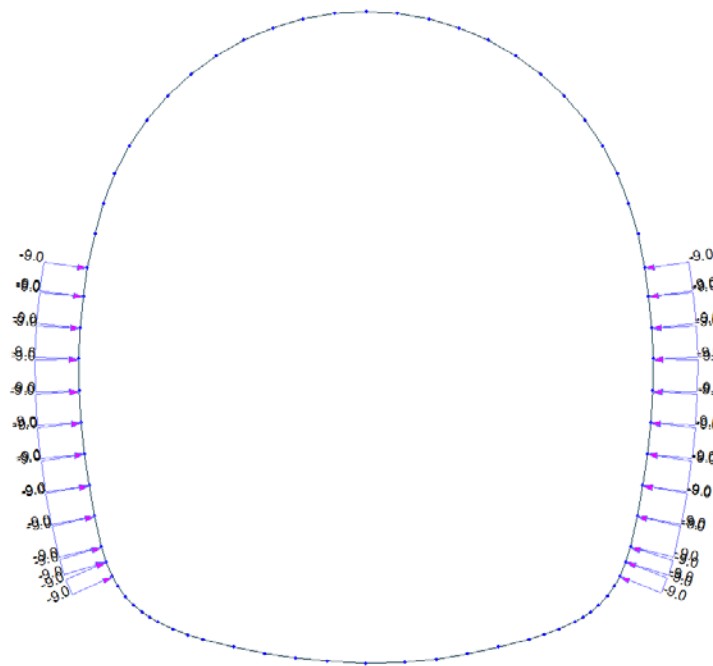


Figure 20 Load A1 A Paramenti (aspiration on paraments)

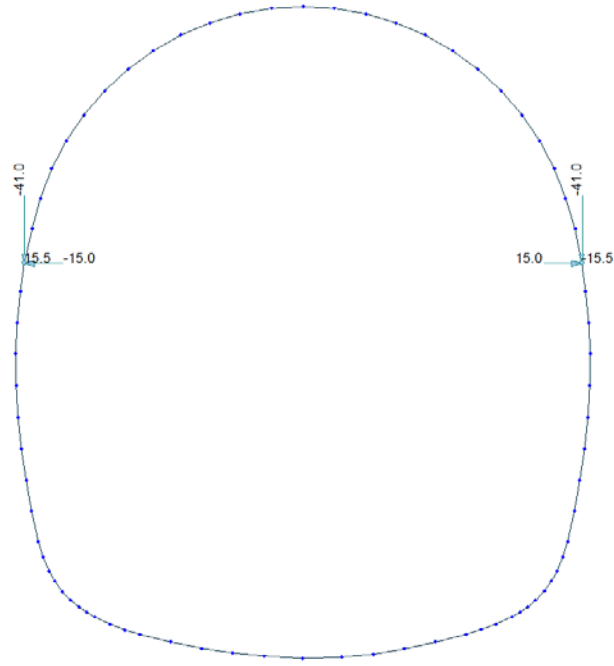


Figure 21 Load A1 P Volta (pression on crown – Deck reaction)

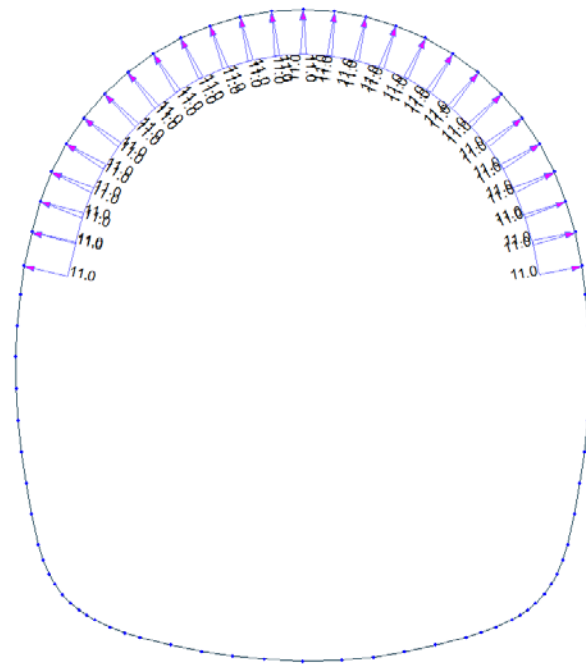


Figure 22 Load A1 P Volta (pression on crown)



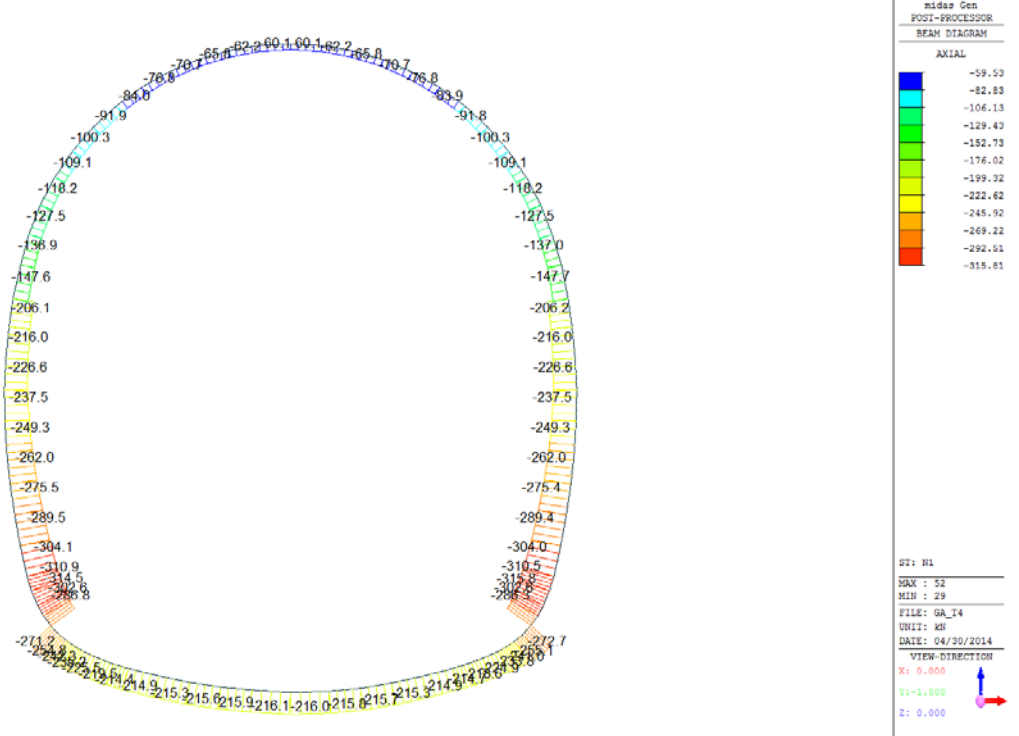
### A.4.3. Load combinations

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) +	G2( 1.350) +	G3( 1.000)
				+ Q1 - E( 1.500)		
4	4	Inactive	Add	G1( 1.350) +	G2( 1.350) +	G3( 1.000)
				+ G6 - SLU( 1.000) +	Q1 - I( 1.500)	
5	5	Inactive	Add	G1( 1.350) +	G2( 1.350) +	G3( 1.000)
				+ G4( 1.350) +	G5( 1.350) +	Q1 - E( 1.500)
6	6	Inactive	Add	G1( 1.350) +	G2( 1.350) +	G3( 1.000)
				+ G4( 1.350) +	G5( 1.350) +	G6 - SLU( 1.000)
				+ Q1 - I( 1.500)		
7	11	Inactive	Add	G1( 1.000) +	G2( 1.000) +	G3( 1.000)
				+ Q1 - E( 0.600) +	A1 - P( 1.000)	
8	12	Inactive	Add	G1( 1.000) +	G2( 1.000) +	G3( 1.000)
				+ G6 - SLU( 1.000) +	Q1 - I( 0.600) +	A1 - A( 1.000)
9	21	Strength/Stress	Add	G1( 1.000) +	G5( 1.000) +	Q1 - E( 0.600)
10	22	Strength/Stress	Add	G1( 1.000) +	G5( 1.000) +	G6 - SLU( 1.000)
11	SLE - 1	Inactive	Add	G1( 1.000) +	Q1 - E( 1.000)	
12	SLE - 2	Inactive	Add	G1( 1.000) +	G6 - SLE( 1.000) +	Q1 - I( 1.000)
13	SLE - 3	Inactive	Add	G1( 1.000) +	G2( 1.000) +	G3( 1.000)
				+ Q1 - E( 1.000)		
14	SLE - 4	Inactive	Add	G1( 1.000) +	G2( 1.000) +	G3( 1.000)
				+ G6 - SLE( 1.000) +	Q1 - I( 1.000)	
15	SLE - 5	Inactive	Add	G1( 1.000) +	G2( 1.000) +	G3( 1.000)
				+ G4( 1.000) +	G5( 1.000) +	Q1 - E( 1.000)
16	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)		

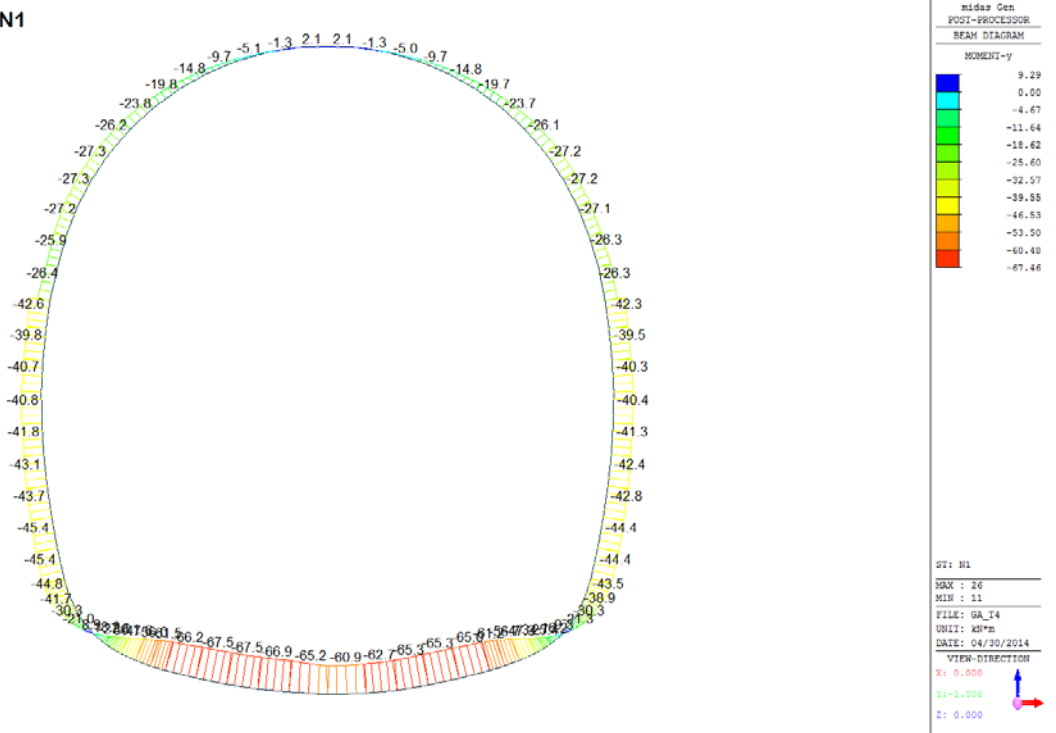
### A.4.4. Output and check result for cross section GA-T4

A.4.4.1. Load combination SLU 1

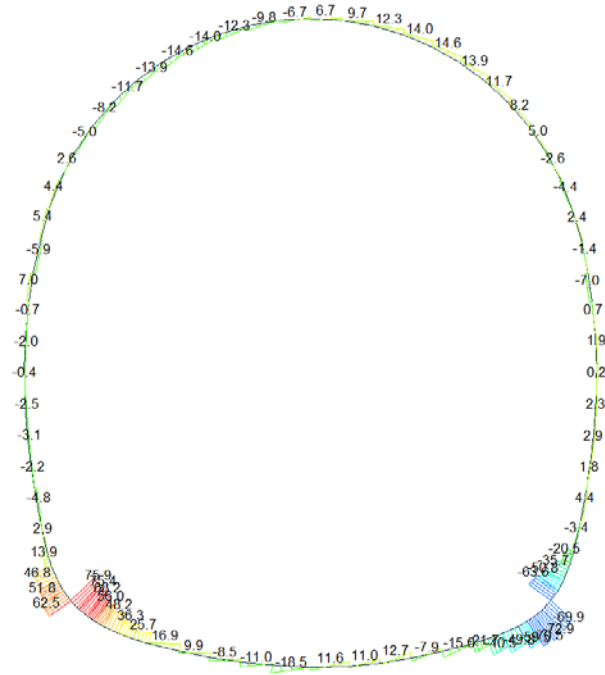
Beam Diagram\_Fx / ST\_N1



Beam Diagram\_My / ST\_N1



Beam Diagram\_Fz / ST\_N1



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

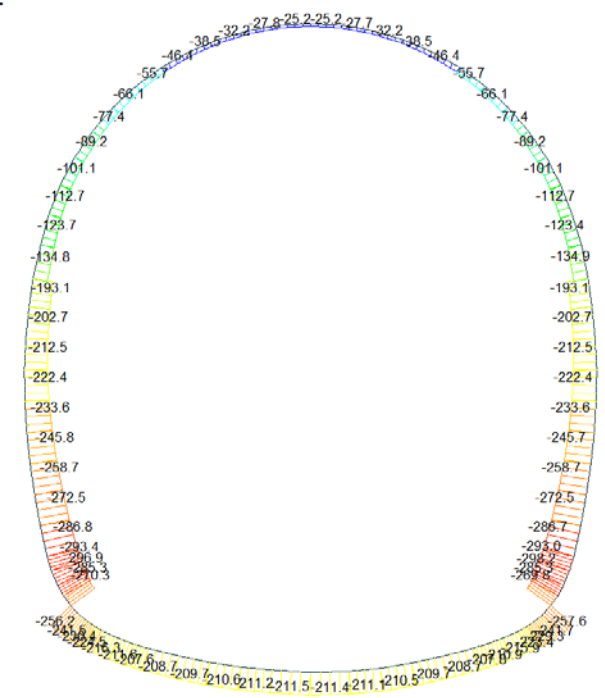
SHEAR-z

75.93
62.40
48.87
35.33
21.80
8.27
0.00
-18.80
-32.33
-45.86
-59.39
-72.53

ST: N1  
MAX : 3  
MIN : 25  
FILE: GA\_I4  
UNIT: KN  
DATE: 04/30/2014  
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

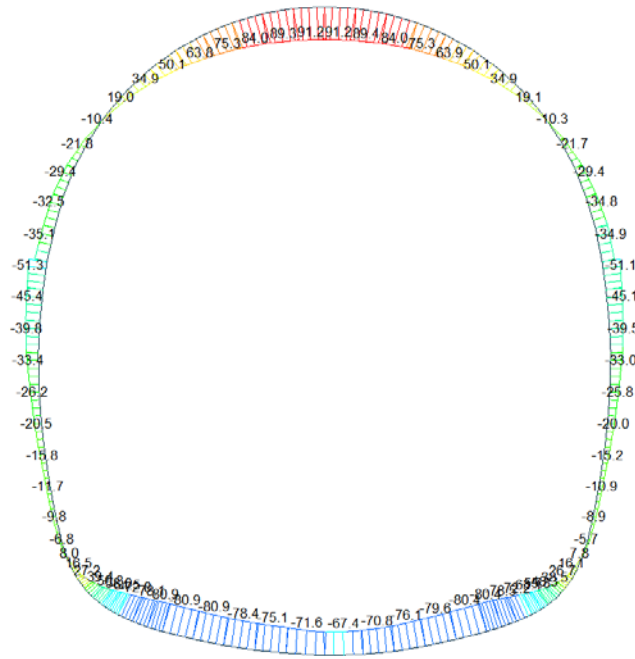
AXIAL

-24.61
-49.48
-74.36
-99.23
-124.10
-148.98
-173.85
-198.72
-223.59
-248.47
-273.34
-298.21

ST: N2  
MAX : 52  
MIN : 29  
FILE: GA\_I4  
UNIT: KN  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000



Beam Diagram\_My / ST\_N2



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

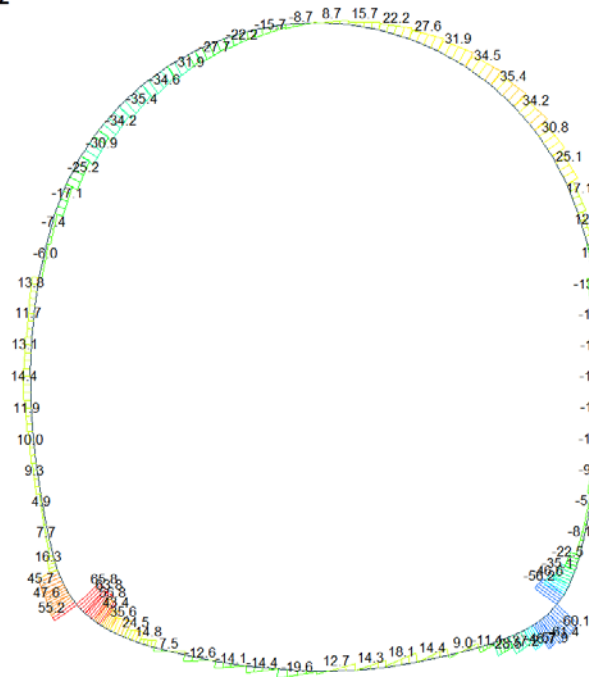
NOMENT-y

91.19
75.54
59.89
44.25
28.60
12.95
0.00
-18.34
-33.98
-49.63
-65.28
-80.92

ST: N2  
MAX : 92  
MIN : 11  
FILE: GA\_I4  
UNIT: kNm  
DATE: 04/30/2014

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

Beam Diagram\_Fz / ST\_N2



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

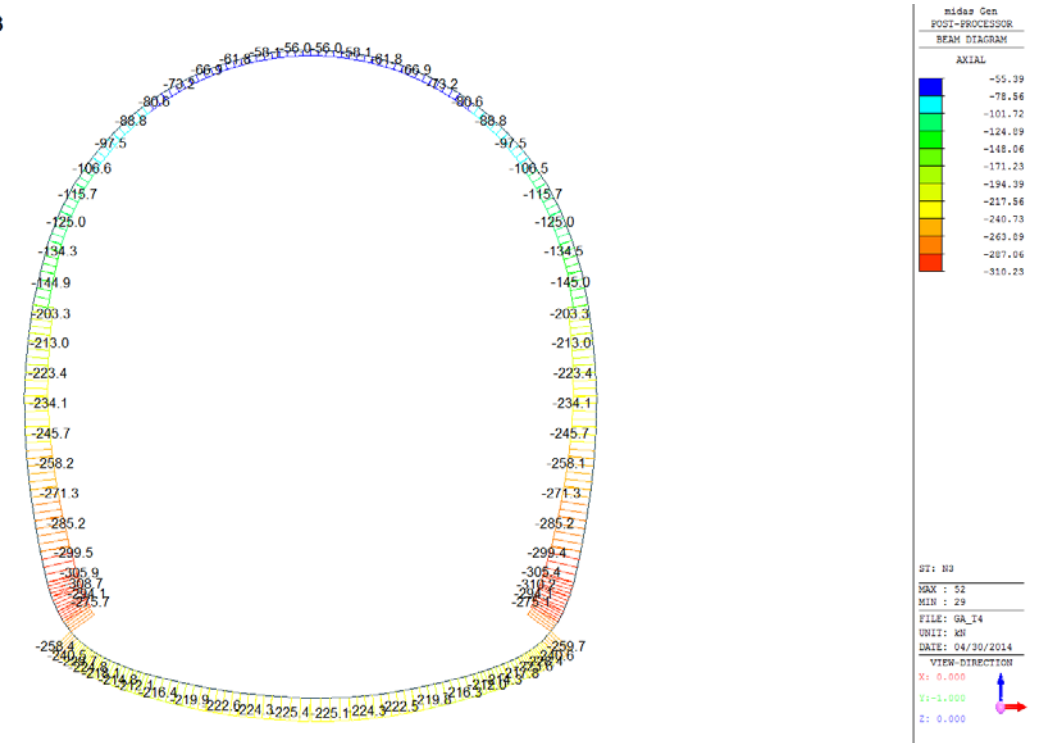
60.85
54.28
42.71
31.13
19.56
7.99
0.00
-15.15
-26.72
-38.30
-49.87
-61.44

ST: N2  
MAX : 3  
MIN : 25  
FILE: GA\_I4  
UNIT: kN  
DATE: 04/30/2014

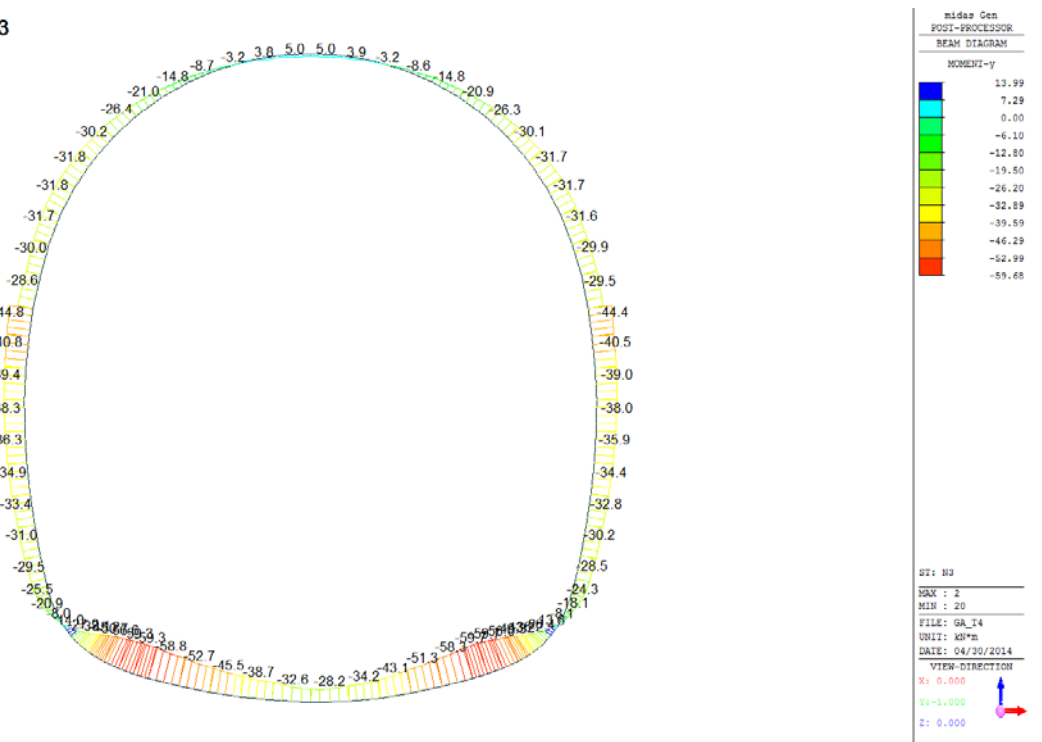
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

A.4.4.3. Load combination SLU 3

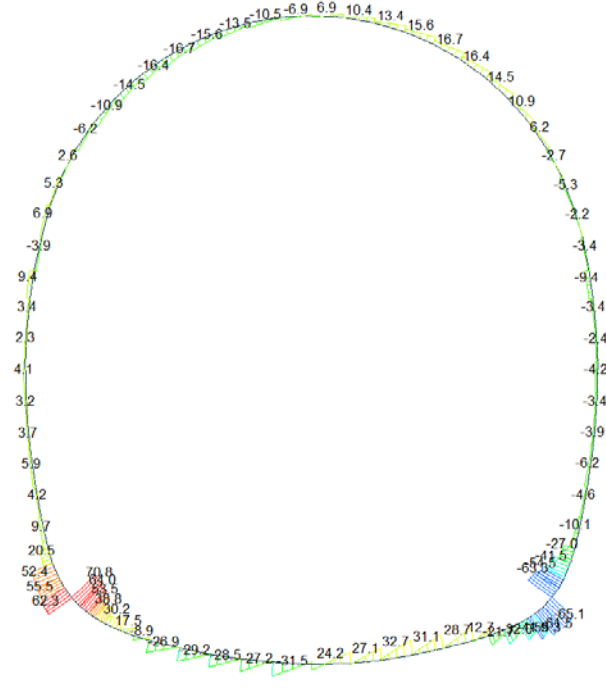
Beam Diagram\_Fx / ST\_N3



Beam Diagram\_My / ST\_N3



Beam Diagram\_Fz / ST\_N3



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

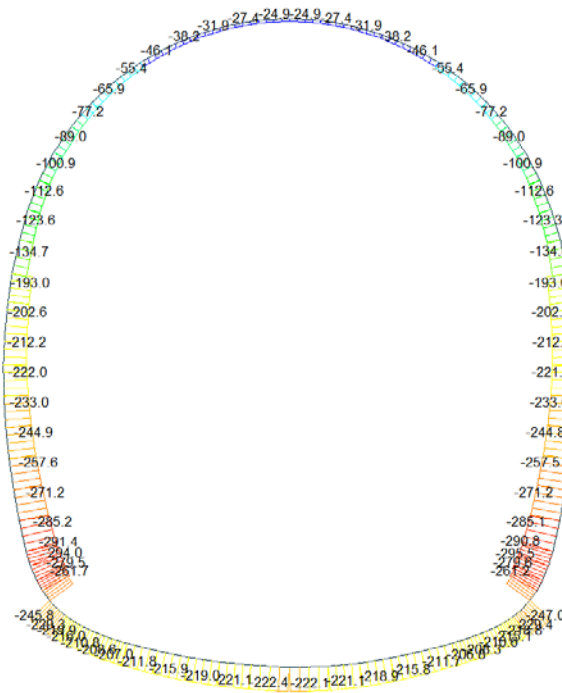
70.82
58.47
46.11
33.76
21.41
9.06
0.00
-15.45
-28.00
-40.35
-52.71
-65.06

ST: N3  
MAX : 3  
MIN : 26  
FILE: GA\_I4  
UNIT: KN  
DATE: 04/30/2014

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

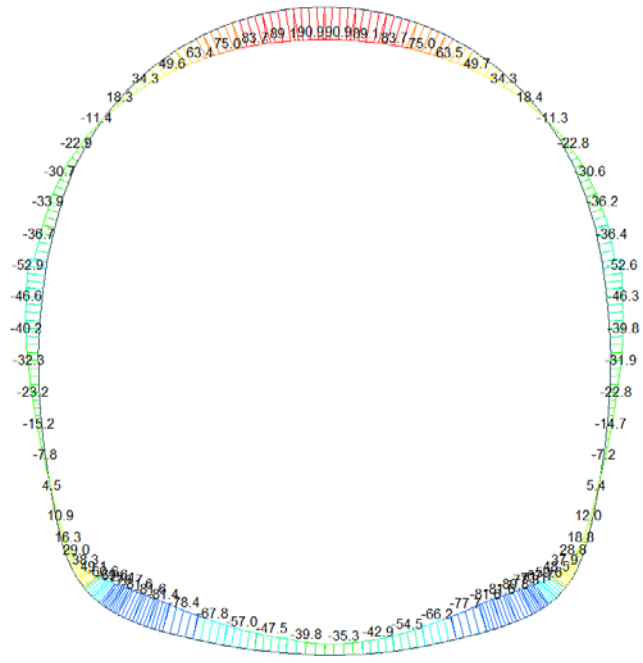
AXIAL

-24.29
-48.58
-73.60
-98.26
-122.92
-147.58
-172.24
-196.90
-221.56
-246.22
-270.88
-295.53

ST: N4  
MAX : 52  
MIN : 29  
FILE: GA\_I4  
UNIT: KN  
DATE: 04/30/2014

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

Beam Diagram\_My / ST\_N4



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

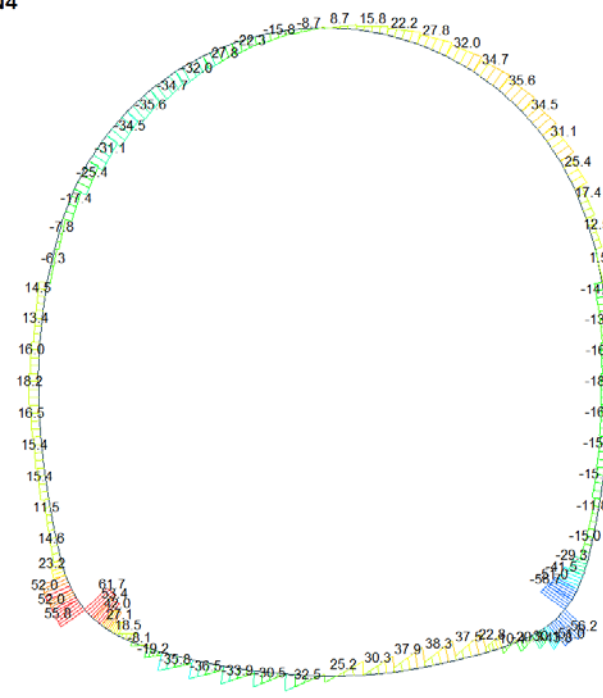
NOMENT-y

90.92
75.24
59.55
43.86
28.18
12.49
0.00
-18.88
-34.57
-50.26
-65.94
-81.63

ST: N4  
MAX : 52  
MIN : 0  
FILE: GA\_T4  
UNIT: kNm  
DATE: 04/30/2014

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

Beam Diagram\_Fz / ST\_N4



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

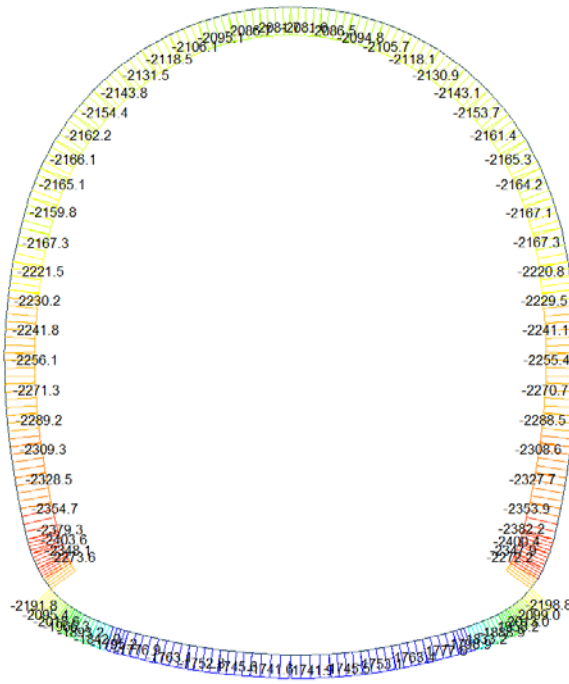
61.74
50.97
40.20
29.43
18.65
7.88
0.00
-13.66
-24.43
-35.20
-45.97
-56.75

ST: N4  
MAX : 3  
MIN : 27  
FILE: GA\_T4  
UNIT: kN  
DATE: 04/30/2014

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

A.4.4.5. Load combination SLU 5

Beam Diagram\_Fx / ST\_N5



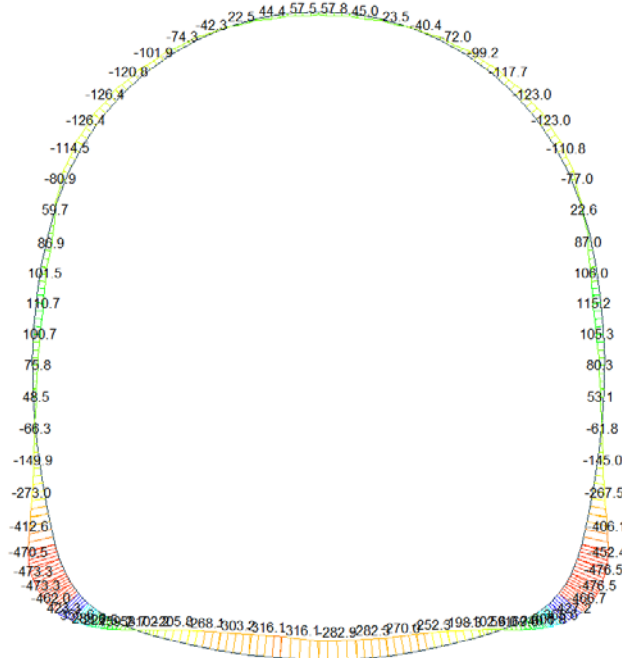
midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

Blue	-1739.71
Cyan	-1800.06
Green	-1860.42
Light Green	-1920.77
Yellow-Green	-1981.13
Yellow	-2041.49
Light Yellow	-2101.84
Orange	-2162.20
Red-Orange	-2222.55
Red	-2282.91
Dark Red	-2343.26
Black	-2403.62

ST: N5  
MAX: 14  
MIN: 76  
FILE: GA\_I4  
UNIT: kN  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_N5



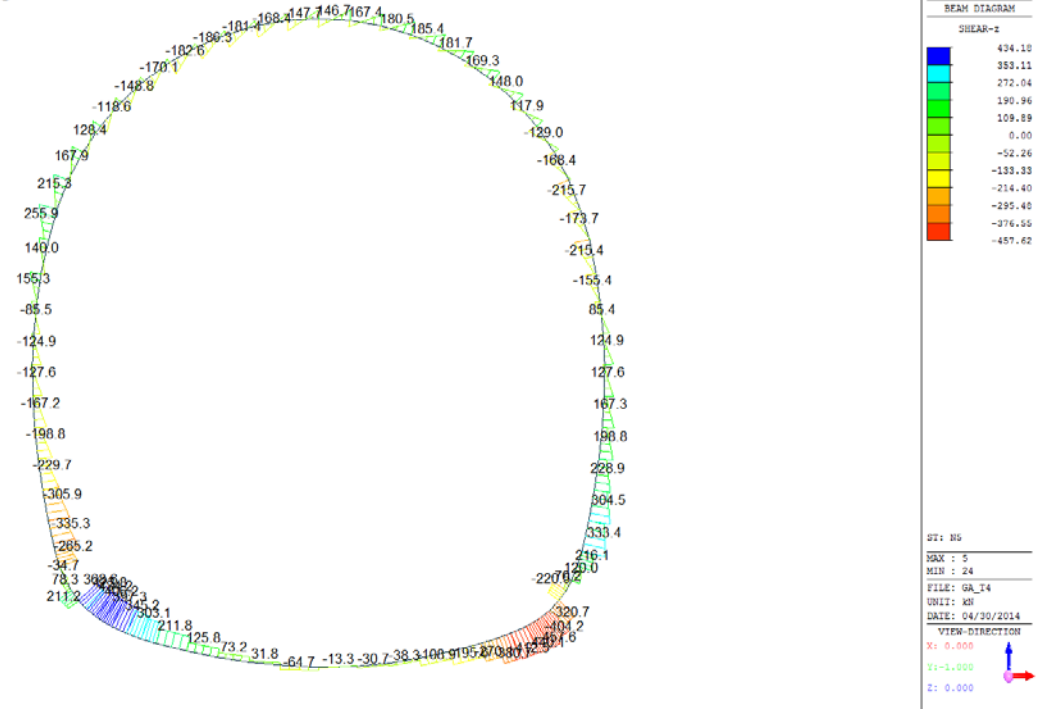
midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-Y

Blue	427.25
Cyan	345.09
Green	262.93
Light Green	180.77
Yellow-Green	98.61
Yellow	0.00
Light Yellow	-65.70
Orange	-147.86
Red-Orange	-230.02
Red	-312.18
Dark Red	-394.34
Black	-476.50

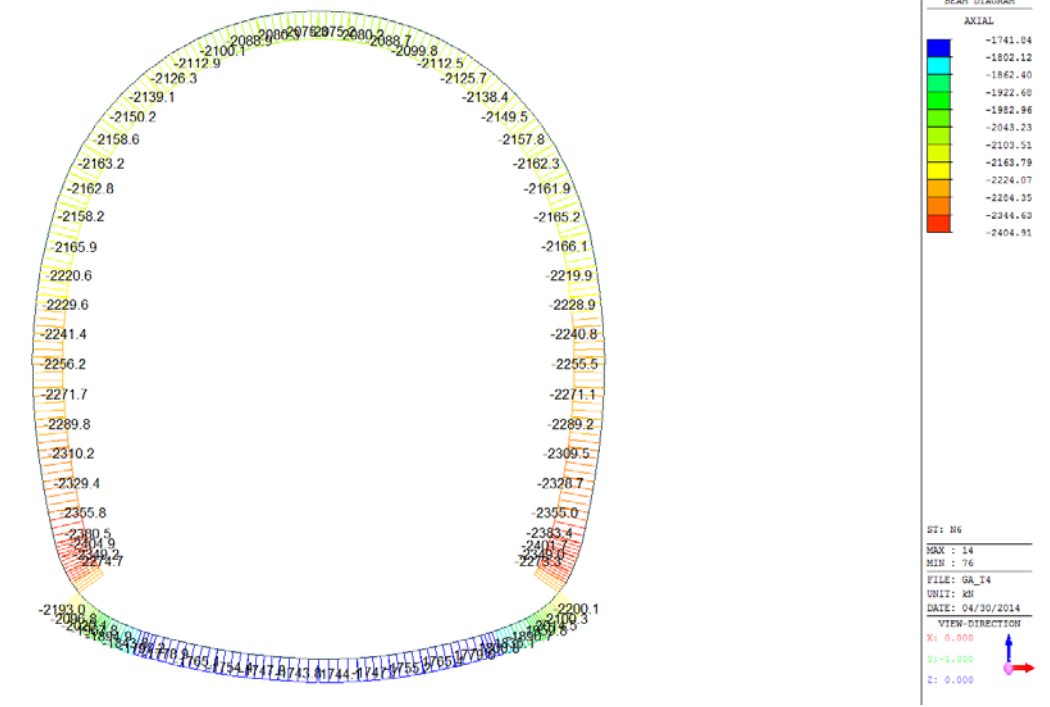
ST: N5  
MAX: 26  
MIN: 20  
FILE: GA\_I4  
UNIT: kNm  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_Fz / ST\_N5

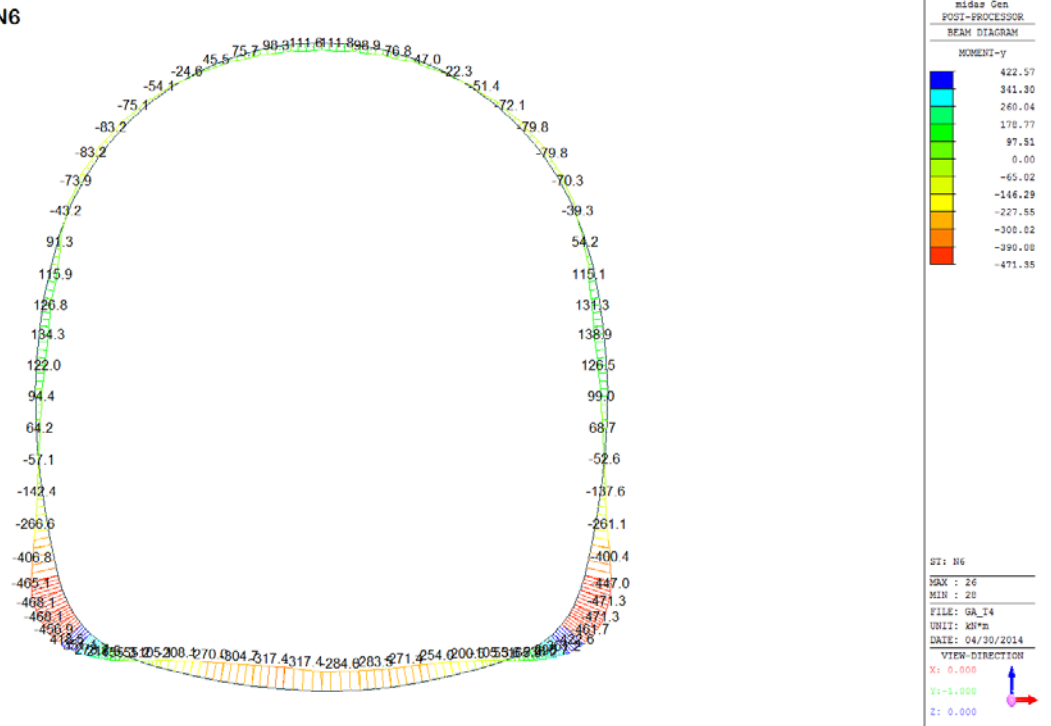


A.4.4.6. Load combination SLU 6

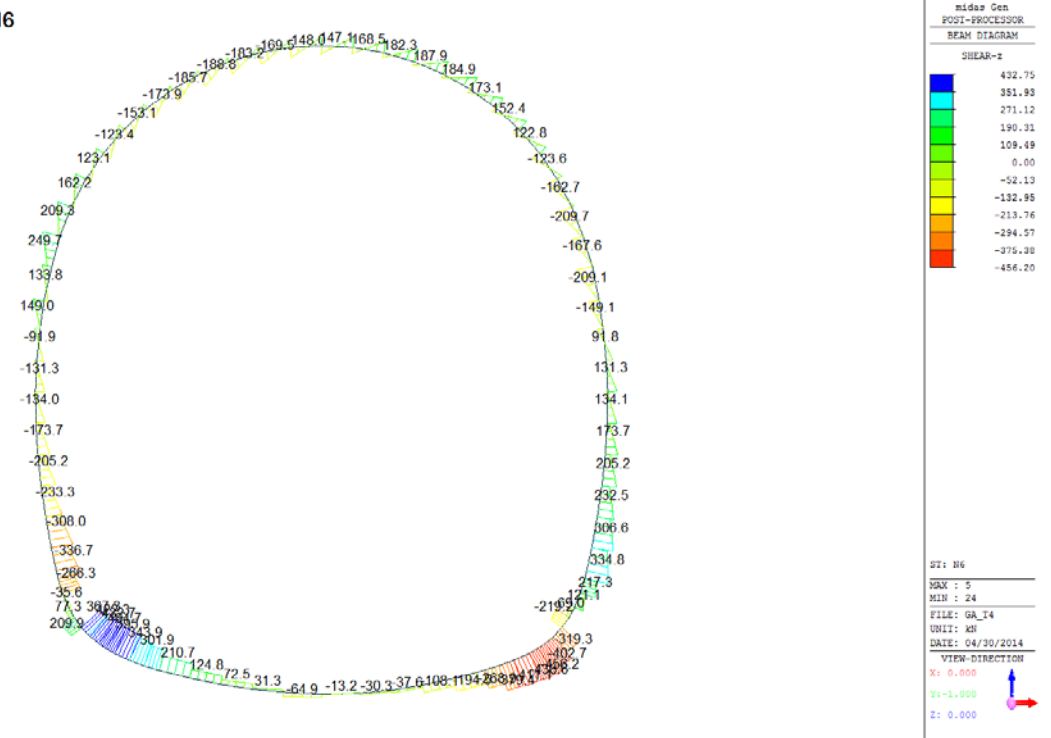
Beam Diagram\_Fx / ST\_N6



Beam Diagram\_My / ST\_N6

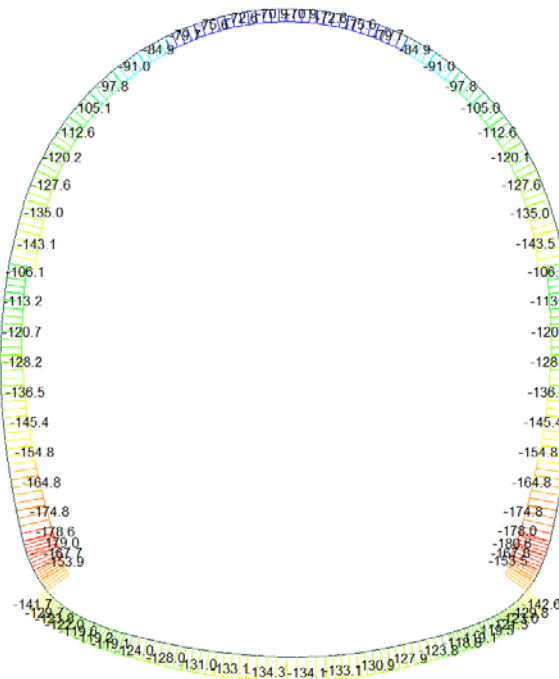


Beam Diagram\_Fz / ST\_N6



A.4.4.7. Load combination SLU 11

Beam Diagram\_Fx / ST\_N11

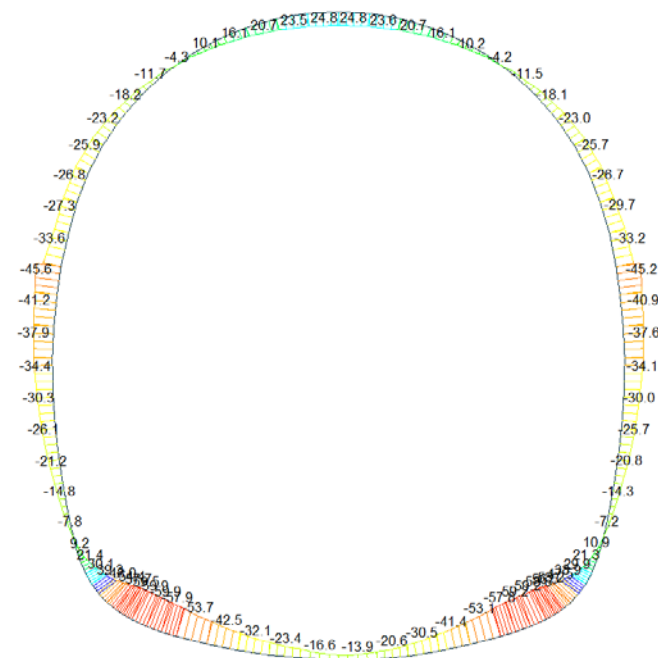


midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

ST: N11  
MAX : 52  
MIN : 29  
FILE: GA\_I4  
UNIT: kN  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_N11



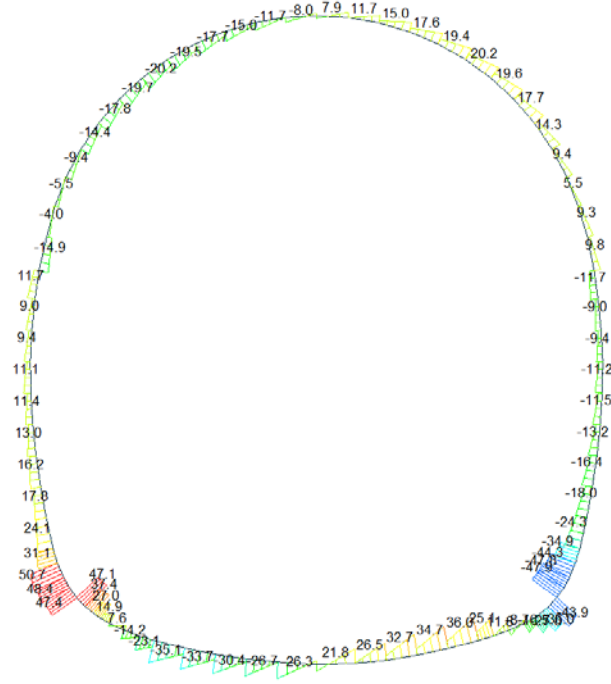
midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-Y

ST: N11  
MAX : 2  
MIN : 0  
FILE: GA\_I4  
UNIT: kNm  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

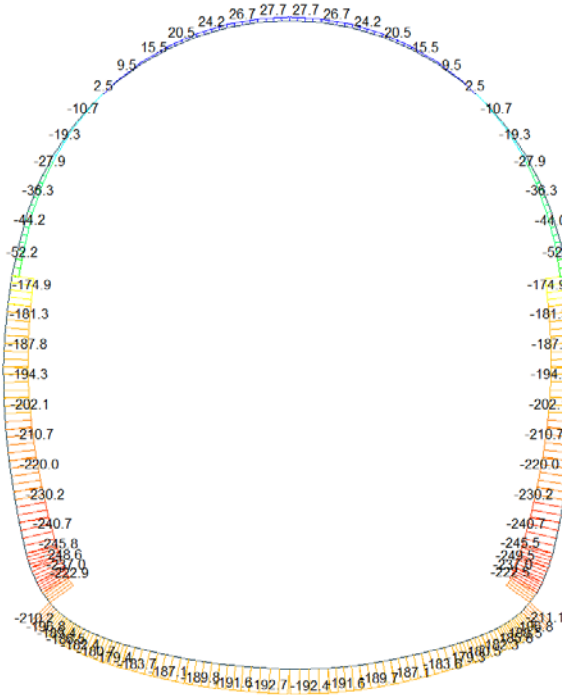


Beam Diagram\_Fz / ST\_N11

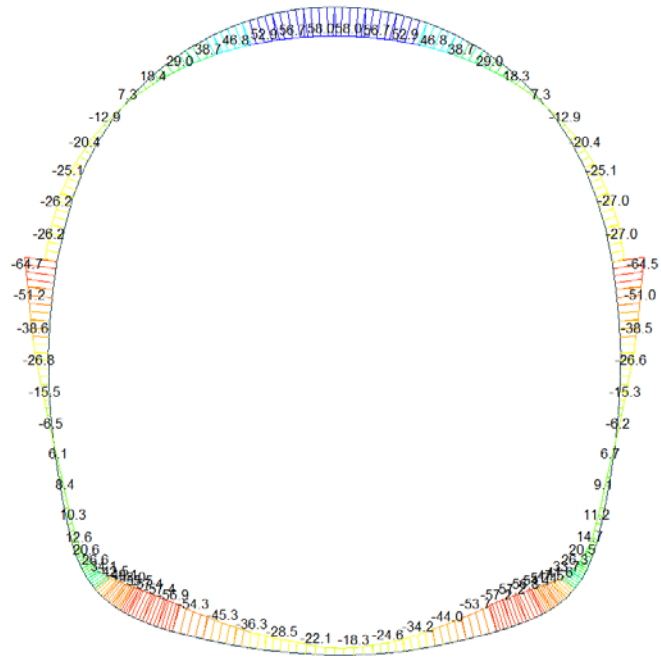


A.4.4.8. Load combination SLU 12

Beam Diagram\_Fx / ST\_N12



Beam Diagram\_My / ST\_N12



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

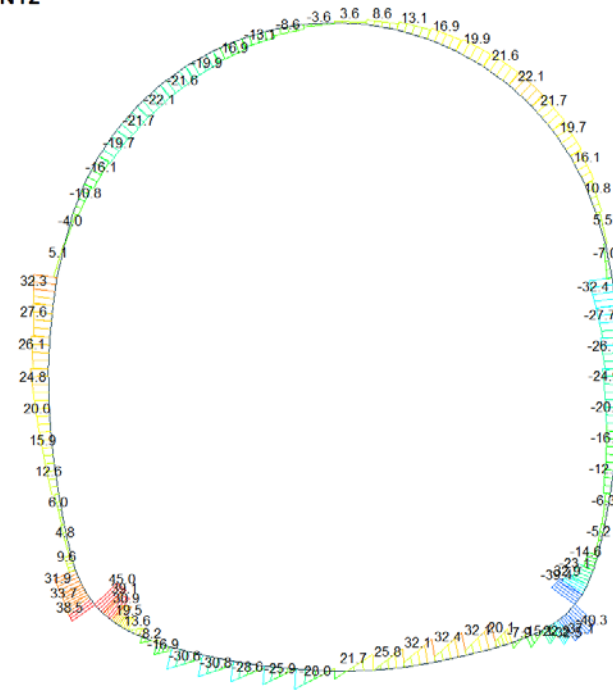
NOMENT-y

59.01
46.86
35.70
24.55
13.40
0.00
-8.90
-20.05
-31.20
-42.35
-53.50
-64.65

ST: N12  
MAX : 53  
MIN : 66  
FILE: GA\_I4  
UNIT: kNm  
DATE: 04/30/2014

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

Beam Diagram\_Fz / ST\_N12



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

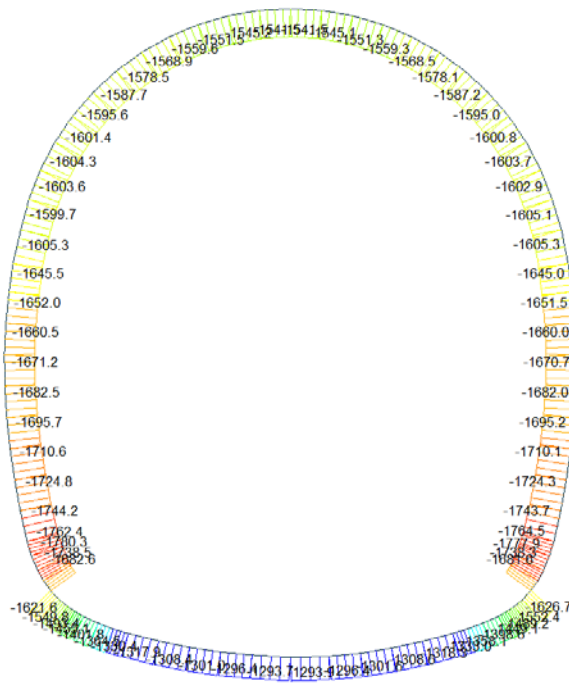
45.01
37.26
29.50
21.74
13.99
6.23
0.00
-8.28
-17.04
-24.00
-32.55
-40.31

ST: N12  
MAX : 3  
MIN : 26  
FILE: GA\_I4  
UNIT: kN  
DATE: 04/30/2014

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

A.4.4.9. Load combination SLU 21

Beam Diagram\_Fx / ST\_N21



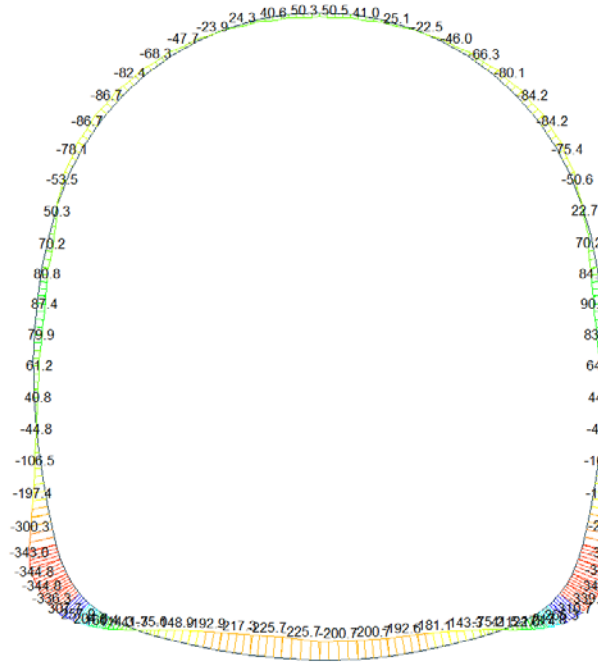
midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

Blue	-1291.97
Cyan	-1336.36
Green	-1380.75
Light Green	-1425.14
Yellow-Green	-1469.53
Yellow	-1513.93
Light Yellow	-1558.32
Orange	-1602.71
Red-Orange	-1647.10
Red	-1691.49
Dark Red	-1735.89
Black	-1780.28

ST: N21  
MAX: 14  
MIN: 76  
FILE: GA\_I4  
UNIT: kN  
DATE: 04/30/2014  
VIEW DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_N21



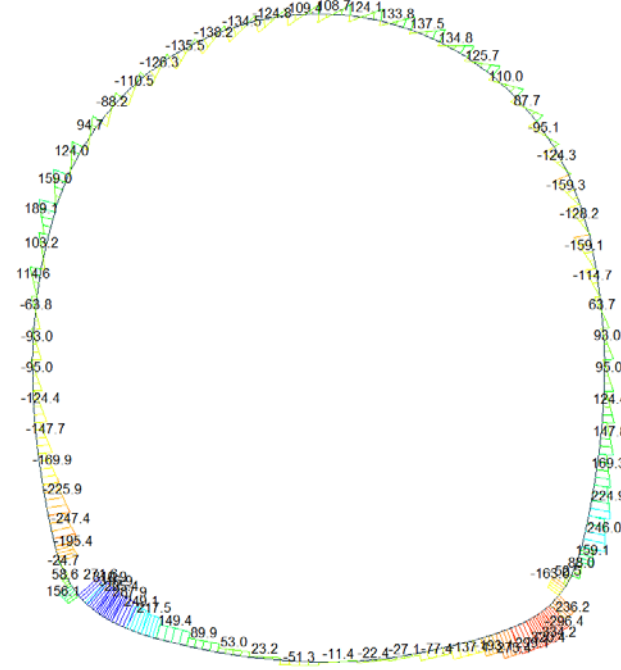
midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

Blue	310.65
Cyan	250.85
Green	191.05
Light Green	131.25
Yellow-Green	71.45
Yellow	0.00
Light Yellow	-40.16
Orange	-107.96
Red-Orange	-167.76
Red	-227.56
Dark Red	-287.37
Black	-347.17

ST: N21  
MAX: 26  
MIN: 28  
FILE: GA\_I4  
UNIT: kNm  
DATE: 04/30/2014  
VIEW DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_Fz / ST\_N21



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

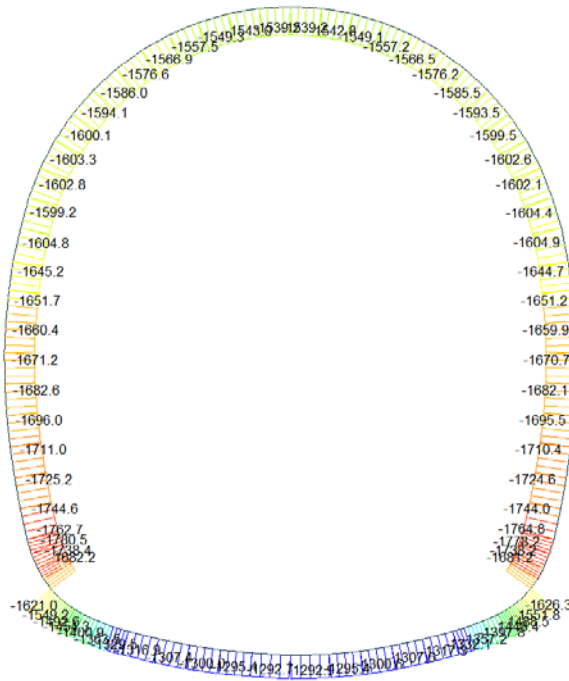
SHEAR-Fz

316.91
257.72
198.52
139.33
80.14
0.00
-30.25
-87.45
-156.64
-215.03
-273.03
-334.22

ST: N21  
MAX : 5  
MIN : 24  
FILE: GA\_I4  
UNIT: KN  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.4.10. Load combination SLU 22

Beam Diagram\_Fx / ST\_N22



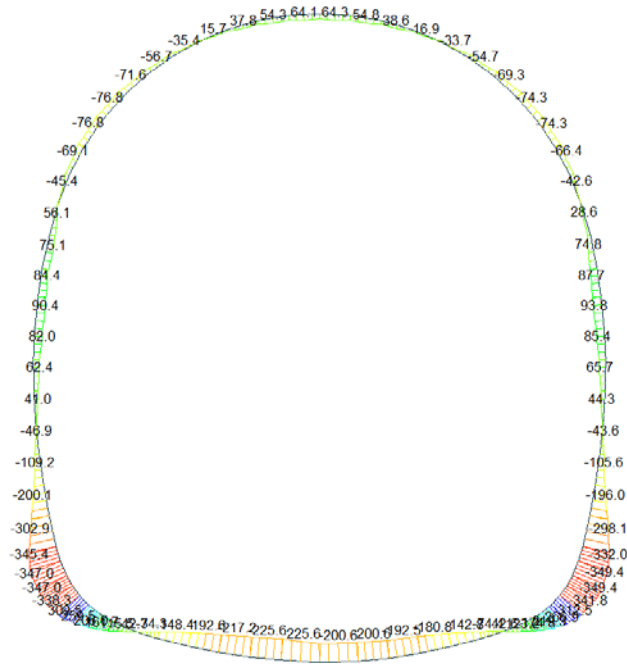
midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

-1290.94
-1335.44
-1379.95
-1424.45
-1468.96
-1513.46
-1557.97
-1602.47
-1646.98
-1691.40
-1735.99
-1780.49

ST: N22  
MAX : 14  
MIN : 76  
FILE: GA\_I4  
UNIT: KN  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_N22



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

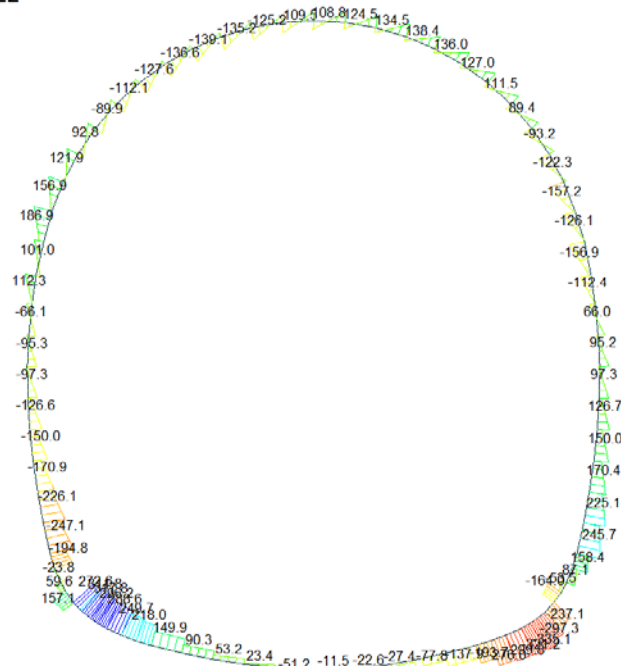
MOMENT-y

312.49
252.32
192.15
131.90
71.81
0.00
-40.53
-108.70
-168.87
-229.04
-289.21
-349.38

ST: N22  
MAX : 32  
MIN : 28  
FILE: GA\_T4  
UNIT: kNm  
DATE: 04/30/2014

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

Beam Diagram\_Fz / ST\_N22



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

317.70
258.43
199.08
139.73
80.38
0.00
-30.32
-97.68
-157.03
-216.30
-275.73
-335.08

ST: N22  
MAX : 5  
MIN : 24  
FILE: GA\_T4  
UNIT: kN  
DATE: 04/30/2014

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

A.4.4.11. Rebarred sections ratio checking

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
1	100 x 75		30.00	450.00	OK	N5	N3	14-2-P16	10'979	2343.550	477.547	0.000	282.447	-	65.765
5	1.00	0.75								0.399	0.402	0.000	0.233	-	0.233
2	100 x 75		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P16	10'979	2268.970	466.027	0.000	511.767	-	212.282
5	1.00	0.75								0.386	0.392	0.000	0.415	-	0.415
3	100 x 66		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P16	9'784	2187.970	427.147	0.000	453.567	-	369.808
2	1.00	0.66								0.440	0.444	0.000	0.815	-	0.815
4	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P18	13'239	2091.160	359.259	0.000	565.449	-	424.955
8	1.00	0.90								0.240	0.242	0.000	0.752	-	0.752
5	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P18	13'239	2012.870	286.398	0.000	554.359	-	435.400
8	1.00	0.90								0.215	0.213	0.000	0.785	-	0.785
6	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P18	13'239	1960.390	225.784	0.000	546.924	-	407.431
8	1.00	0.90								0.195	0.193	0.000	0.745	-	0.745
7	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P18	13'239	1885.470	162.253	0.000	536.310	-	398.516
8	1.00	0.90								0.173	0.175	0.000	0.743	-	0.743
8	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P18	13'239	1835.210	61.473	0.000	529.190	-	346.357
8	1.00	0.90								0.149	0.149	0.000	0.655	-	0.655
9	100 x 90		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P18	13'239	1797.260	105.604	0.000	522.729	-	304.073
8	1.00	0.90								0.155	0.154	0.000	0.582	-	0.582
10	100 x 90		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P18	13'239	1779.010	208.548	0.000	519.699	-	212.697
8	1.00	0.90								0.177	0.179	0.000	0.409	-	0.409
11	100 x 90		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P18	13'239	1765.250	270.383	0.000	517.917	-	126.552
8	1.00	0.90								0.192	0.196	0.000	0.244	-	0.244
12	100 x 90		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P18	13'239	1754.470	305.108	0.000	517.230	-	73.860
8	1.00	0.90								0.202	0.206	0.000	0.143	-	0.143
13	100 x 90		30.00	450.00	OK	N6	N4	14-2-P18	13'239	1747.890	317.706	0.000	300.020	-	31.520
8	1.00	0.90								0.208	0.206	0.000	0.105	-	0.105
14	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P18	13'239	1738.170	315.251	0.000	515.980	-	64.971
8	1.00	0.90								0.204	0.208	0.000	0.126	-	0.126
15	100 x 90		30.00	450.00	OK	N6	N4	14-2-P18	13'239	1744.210	284.320	0.000	300.398	-	25.524
8	1.00	0.90								0.197	0.196	0.000	0.085	-	0.085
16	100 x 90		30.00	450.00	OK	N6	N4	14-2-P18	13'239	1747.800	283.853	0.000	300.020	-	31.275
8	1.00	0.90								0.197	0.196	0.000	0.104	-	0.104
17	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N4	14-2-P18	13'239	1751.620	269.254	0.000	299.375	-	39.466
8	1.00	0.90								0.191	0.195	0.000	0.132	-	0.132
18	100 x 90		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P18	13'239	1765.560	254.413	0.000	517.908	-	109.520
8	1.00	0.90								0.189	0.190	0.000	0.211	-	0.211
19	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P18	13'239	1776.120	196.992	0.000	519.740	-	196.265
8	1.00	0.90								0.174	0.176	0.000	0.378	-	0.378
20	100 x 90		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P18	13'239	1800.920	105.782	0.000	523.194	-	270.905
8	1.00	0.90								0.155	0.154	0.000	0.518	-	0.518
21	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P18	13'239	1826.670	61.009	0.000	527.980	-	381.573
8	1.00	0.90								0.148	0.152	0.000	0.723	-	0.723
22	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P18	13'239	1880.760	171.915	0.000	535.643	-	413.514
8	1.00	0.90								0.176	0.175	0.000	0.772	-	0.772
23	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P18	13'239	1952.160	242.648	0.000	545.758	-	441.125
8	1.00	0.90								0.198	0.200	0.000	0.808	-	0.808
24	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P18	13'239	2007.390	303.462	0.000	553.582	-	458.724
8	1.00	0.90								0.218	0.220	0.000	0.829	-	0.829
25	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P18	13'239	2094.750	368.442	0.000	565.958	-	405.316
8	1.00	0.90								0.243	0.246	0.000	0.716	-	0.716
26	100 x 66		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P16	9'784	2194.670	430.321	0.000	453.567	-	321.913
2	1.00	0.66								0.442	0.447	0.000	0.710	-	0.710
27	100 x 75		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P16	10'979	2267.560	469.959	0.000	511.767	-	221.659
5	1.00	0.75								0.393	0.392	0.000	0.433	-	0.433
28	100 x 75		30.00	450.00	OK	N5	N3	14-2-P16	10'979	2343.240	479.988	0.000	282.447	-	64.618
5	1.00	0.75								0.399	0.404	0.000	0.229	-	0.229
29	100 x 95		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P18	13'904	2399.910	479.988	0.000	622.474	-	121.042
9	1.00	0.95								0.277	0.277	0.000	0.194	-	0.194
30	100 x 95		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P18	13'904	2381.750	456.167	0.000	619.873	-	217.277
9	1.00	0.95								0.270	0.268	0.000	0.351	-	0.351

SECTION CHECKING															
MEMBER	SECTION PROPERTIES		fck [N/mm <sup>2</sup> ]	fyk [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	Bc (m)	Hc (m)								Ratio-N	Ratio-My	Ratio-Mz	Ratio-Vc	Ratio-Vs	Ratio-V
31	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P18	13'239	2353.550	409.996	0.000	602.895	-	335.094
8	1.00	0.90								<b>0.270</b>	<b>0.276</b>	0.000	0.556	-	<b>0.556</b>
32	100 x 85		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P18	12'575	2327.430	271.828	0.000	575.946	-	307.329
7	1.00	0.85								<b>0.248</b>	<b>0.250</b>	0.000	0.534	-	<b>0.534</b>
33	100 x 80		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P16	11'643	2308.310	149.890	0.000	543.914	-	234.126
6	1.00	0.80								<b>0.235</b>	<b>0.234</b>	0.000	0.430	-	<b>0.430</b>
34	100 x 75		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P16	10'979	2288.270	67.360	0.000	511.767	-	208.287
5	1.00	0.75								<b>0.226</b>	<b>0.226</b>	0.000	0.407	-	<b>0.407</b>
35	100 x 70		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P16	10'315	2259.450	73.527	0.000	479.491	-	176.760
4	1.00	0.70								<b>0.240</b>	<b>0.244</b>	0.000	0.369	-	<b>0.369</b>
36	100 x 65		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P16	9'651	2244.610	105.287	0.000	447.071	-	137.122
3	1.00	0.65								<b>0.270</b>	<b>0.270</b>	0.000	0.307	-	<b>0.307</b>
37	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P14	8'749	2230.490	133.797	0.000	414.489	-	134.345
1	1.00	0.60								<b>0.316</b>	<b>0.314</b>	0.000	0.324	-	<b>0.324</b>
38	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P14	8'749	2218.490	140.695	0.000	414.489	-	94.861
1	1.00	0.60								<b>0.317</b>	<b>0.320</b>	0.000	0.229	-	<b>0.229</b>
39	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P14	8'749	2219.530	140.695	0.000	414.489	-	157.527
1	1.00	0.60								<b>0.317</b>	<b>0.320</b>	0.000	0.380	-	<b>0.380</b>
40	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P14	8'749	2165.470	125.882	0.000	414.489	-	217.491
1	1.00	0.60								<b>0.304</b>	<b>0.304</b>	0.000	0.525	-	<b>0.525</b>
41	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P14	8'749	2164.300	66.570	0.000	414.489	-	175.756
1	1.00	0.60								<b>0.275</b>	<b>0.271</b>	0.000	0.424	-	<b>0.424</b>
42	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P14	8'749	2155.520	91.914	0.000	414.489	-	217.637
1	1.00	0.60								<b>0.285</b>	<b>0.290</b>	0.000	0.525	-	<b>0.525</b>
43	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P14	8'749	2157.300	126.650	0.000	414.489	-	170.244
1	1.00	0.60								<b>0.303</b>	<b>0.306</b>	0.000	0.411	-	<b>0.411</b>
44	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P14	8'749	2154.260	139.690	0.000	414.489	-	130.697
1	1.00	0.60								<b>0.311</b>	<b>0.310</b>	0.000	0.315	-	<b>0.315</b>
45	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	8'749	2155.080	139.690	0.000	414.489	-	125.106
1	1.00	0.60								<b>0.311</b>	<b>0.310</b>	0.000	0.302	-	<b>0.302</b>
46	100 x 60	100 x 60	30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	8'749	2144.720	135.185	0.000	414.489	-	154.470
1	1.00	0.60								<b>0.307</b>	<b>0.308</b>	0.000	0.373	-	<b>0.373</b>
47	100 x 60	100 x 60	30.00	450.00	OK	N4	N6	14-2-P14	8'749	43.293	74.911	0.000	414.489	-	174.910
1	1.00	0.60								<b>0.299</b>	<b>0.295</b>	0.000	0.422	-	<b>0.422</b>
48	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	8'749	34.464	91.312	0.000	414.489	-	186.409
1	1.00	0.60								<b>0.385</b>	<b>0.380</b>	0.000	0.450	-	<b>0.450</b>
49	100 x 60		30.00	450.00	OK	N4	N6	14-2-P14	8'749	27.219	103.625	0.000	414.489	-	189.082
1	1.00	0.60								<b>0.448</b>	<b>0.445</b>	0.000	0.456	-	<b>0.456</b>
50	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	8'749	21.722	114.116	0.000	414.489	-	183.176
1	1.00	0.60								<b>0.508</b>	<b>0.500</b>	0.000	0.442	-	<b>0.442</b>
51	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	8'749	18.171	120.158	0.000	414.489	-	169.062
1	1.00	0.60								<b>0.541</b>	<b>0.532</b>	0.000	0.408	-	<b>0.408</b>
52	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	8'749	16.661	122.199	0.000	414.489	-	147.226
1	1.00	0.60								<b>0.533</b>	<b>0.542</b>	0.000	0.355	-	<b>0.355</b>
53	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	8'749	16.662	122.199	0.000	414.489	-	148.200
1	1.00	0.60								<b>0.533</b>	<b>0.542</b>	0.000	0.358	-	<b>0.358</b>
54	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	8'749	18.175	120.146	0.000	414.489	-	170.023
1	1.00	0.60								<b>0.541</b>	<b>0.532</b>	0.000	0.410	-	<b>0.410</b>
55	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	8'749	21.729	114.092	0.000	414.489	-	184.112
1	1.00	0.60								<b>0.509</b>	<b>0.500</b>	0.000	0.444	-	<b>0.444</b>
56	100 x 60		30.00	450.00	OK	N4	N6	14-2-P14	8'749	27.230	103.584	0.000	414.489	-	189.980
1	1.00	0.60								<b>0.448</b>	<b>0.445</b>	0.000	0.458	-	<b>0.458</b>
57	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	8'749	34.476	91.265	0.000	414.489	-	187.258
1	1.00	0.60								<b>0.385</b>	<b>0.380</b>	0.000	0.452	-	<b>0.452</b>
58	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	8'749	2133.180	120.050	0.000	414.489	-	175.698
1	1.00	0.60								<b>0.297</b>	<b>0.300</b>	0.000	0.424	-	<b>0.424</b>
59	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	8'749	2145.360	138.144	0.000	414.489	-	155.187
1	1.00	0.60								<b>0.310</b>	<b>0.306</b>	0.000	0.374	-	<b>0.374</b>
60	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	8'749	2155.800	142.956	0.000	414.489	-	125.744
1	1.00	0.60								<b>0.314</b>	<b>0.309</b>	0.000	0.303	-	<b>0.303</b>

SECTION CHECKING															
MEMBER	SECTION PROPERTIES		f <sub>ck</sub>	f <sub>yk</sub>	CHECK	LOAD CB	LOAD CB	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)	[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	N5	N5	14-2-P14	8'749	2155.040	142.956	0.000	414.489	-	130.166
1	1.00	0.60								<b>0.314</b>	<b>0.309</b>	0.000	0.314	-	<b>0.314</b>
62	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P14	8'749	2158.140	130.182	0.000	414.489	-	169.806
1	1.00	0.60								<b>0.306</b>	<b>0.305</b>	0.000	0.410	-	<b>0.410</b>
63	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P14	8'749	2156.400	95.664	0.000	414.489	-	217.297
1	1.00	0.60								<b>0.288</b>	<b>0.288</b>	0.000	0.524	-	<b>0.524</b>
64	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P14	8'749	2157.370	103.730	0.000	414.489	-	257.909
1	1.00	0.60								<b>0.293</b>	<b>0.288</b>	0.000	0.622	-	<b>0.622</b>
65	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P14	8'749	2165.180	121.414	0.000	414.489	-	142.076
1	1.00	0.60								<b>0.301</b>	<b>0.303</b>	0.000	0.343	-	<b>0.343</b>
66	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P14	8'749	2220.200	136.186	0.000	414.489	-	157.440
1	1.00	0.60								<b>0.315</b>	<b>0.319</b>	0.000	0.380	-	<b>0.380</b>
67	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P14	8'749	2219.160	136.186	0.000	414.489	-	94.929
1	1.00	0.60								<b>0.315</b>	<b>0.319</b>	0.000	0.229	-	<b>0.229</b>
68	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P14	8'749	2231.170	129.253	0.000	414.489	-	134.379
1	1.00	0.60								<b>0.313</b>	<b>0.312</b>	0.000	0.324	-	<b>0.324</b>
69	100 x 65		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P16	9'651	2245.280	100.727	0.000	447.071	-	137.112
3	1.00	0.65								<b>0.268</b>	<b>0.271</b>	0.000	0.307	-	<b>0.307</b>
70	100 x 70		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P16	10'315	2260.130	68.971	0.000	479.491	-	176.719
4	1.00	0.70								<b>0.239</b>	<b>0.243</b>	0.000	0.369	-	<b>0.369</b>
71	100 x 75		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P16	10'979	2288.920	71.977	0.000	511.767	-	208.215
5	1.00	0.75								<b>0.227</b>	<b>0.230</b>	0.000	0.407	-	<b>0.407</b>
72	100 x 80		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P16	11'643	2309.000	155.081	0.000	543.914	-	234.830
6	1.00	0.80								<b>0.237</b>	<b>0.233</b>	0.000	0.432	-	<b>0.432</b>
73	100 x 85		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P18	12'575	2328.150	277.892	0.000	575.946	-	308.694
7	1.00	0.85								<b>0.249</b>	<b>0.253</b>	0.000	0.536	-	<b>0.536</b>
74	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P18	13'239	2354.350	417.158	0.000	603.004	-	336.952
8	1.00	0.90								<b>0.273</b>	<b>0.278</b>	0.000	0.559	-	<b>0.559</b>
75	100 x 95		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P18	13'904	2380.990	464.613	0.000	619.463	-	266.316
9	1.00	0.95								<b>0.274</b>	<b>0.268</b>	0.000	0.430	-	<b>0.430</b>
76	100 x 95		30.00	450.00	OK	N5	N3	14-2-P18	13'904	2403.160	477.547	0.000	333.874	-	60.887
9	1.00	0.95								<b>0.277</b>	<b>0.276</b>	0.000	0.182	-	<b>0.182</b>

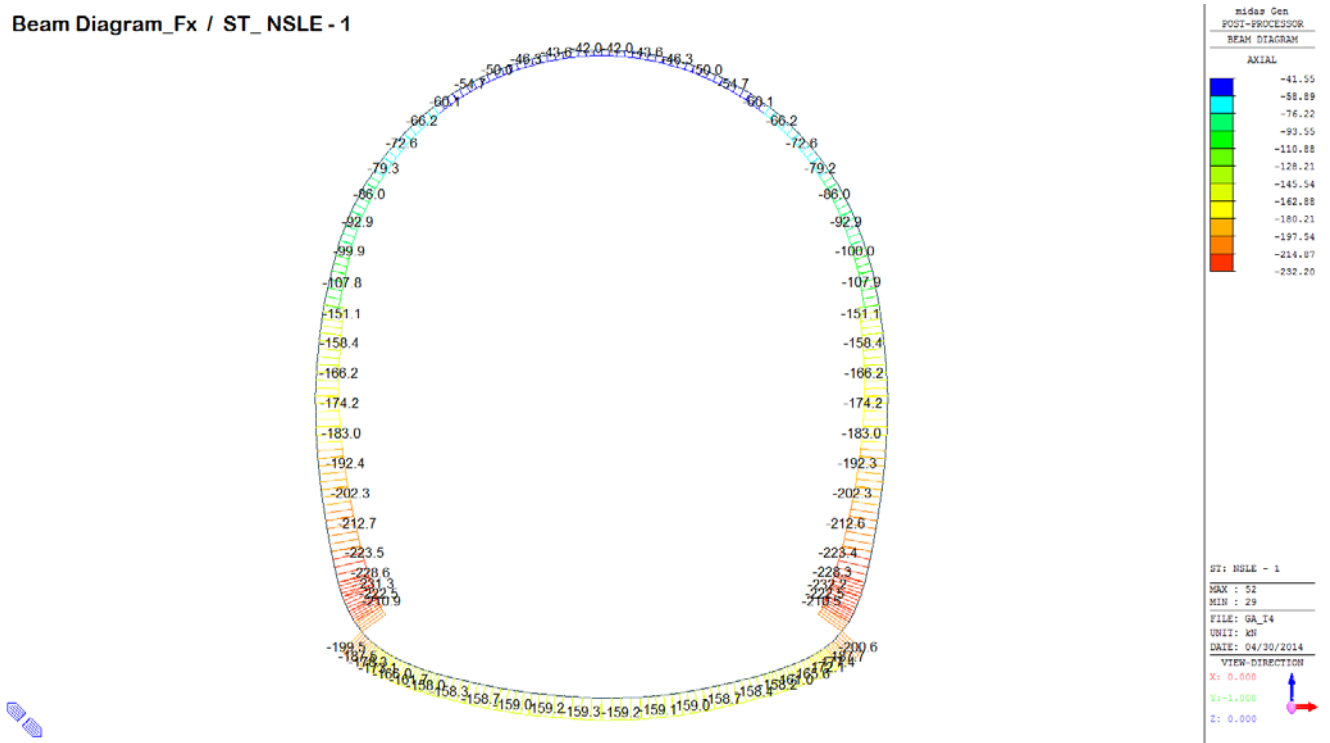
A.4.4.12. Rebarred sections ratio checking for fire combinations load

SECTION CHECKING - FIRE COMBINATIONS LOAD															
MEMBER	SECTION PROPERTIES		f <sub>ck</sub>	f <sub>yk</sub>	CHECK	LOAD CB	LOAD CB	Rebar	N <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)	[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
37(M+N) / 64(V)	100 x 60		30.00	360.00	OK	N22	N22	14-2-P14	12'418	1642.980	88.098	0.000	444.354	-	190.388
1	1.00	0.55								<b>0.162</b>	<b>0.166</b>	0.000	0.428	-	<b>0.428</b>
26(M+N) / 3(V)	100 x 66		30.00	360.00	OK	N22	N22	14-2-P16	13'916	<b>1609.400</b>	<b>309.675</b>	0.000	484.057	-	<b>268.579</b>
2	1.00	0.61								<b>0.248</b>	<b>0.250</b>	0.000	0.555	-	<b>0.555</b>
36(M+N) / 36(V)	100 x 65		30.00	360.00	OK	N22	N22	14-2-P16	13'703	1652.620	68.623	0.000	489.128	-	98.927
3	1.00	0.60								<b>0.139</b>	<b>0.141</b>	0.000	0.202	-	<b>0.202</b>
35(M+N) / 35(V)	100 x 70		30.00	360.00	OK	N21	N22	14-2-P16	14'766	1662.890	46.422	0.000	494.293	-	128.808
4	1.00	0.65								<b>0.123</b>	<b>0.124</b>	0.000	0.261	-	<b>0.261</b>
28(M+N) / 27(V)	100 x 75		30.00	360.00	OK	N22	N22	14-2-P16	15'828	1720.560	346.296	0.000	514.519	-	162.394
5	1.00	0.70								<b>0.217</b>	<b>0.220</b>	0.000	0.316	-	<b>0.316</b>
72(M+N) / 72(V)	100 x 80		30.00	360.00	OK	N22	N22	14-2-P16	16'891	1698.730	109.388	0.000	531.093	-	170.697
6	1.00	0.75								<b>0.121</b>	<b>0.119</b>	0.000	0.321	-	<b>0.321</b>
73(M+N) / 73(V)	100 x 85		30.00	360.00	OK	N22	N21	14-2-P18	18'205	1712.330	199.210	0.000	568.795	-	223.967
7	1.00	0.80								<b>0.129</b>	<b>0.131</b>	0.000	0.394	-	<b>0.394</b>
74(M+N) / 24(V)	100 x 90		30.00	360.00	OK	N22	N22	14-2-P18	19'267	1731.030	300.427	0.000	546.523	-	328.339
8	1.00	0.85								<b>0.144</b>	<b>0.144</b>	0.000	0.601	-	<b>0.601</b>
76(M+N) / 25(V)	100 x 95		30.00	360.00	OK	N22	N21	14-2-P18	20'330	1765.920	343.521	0.000	596.928	-	193.339
9	1.00	0.90								<b>0.146</b>	<b>0.143</b>	0.000	0.324	-	<b>0.324</b>

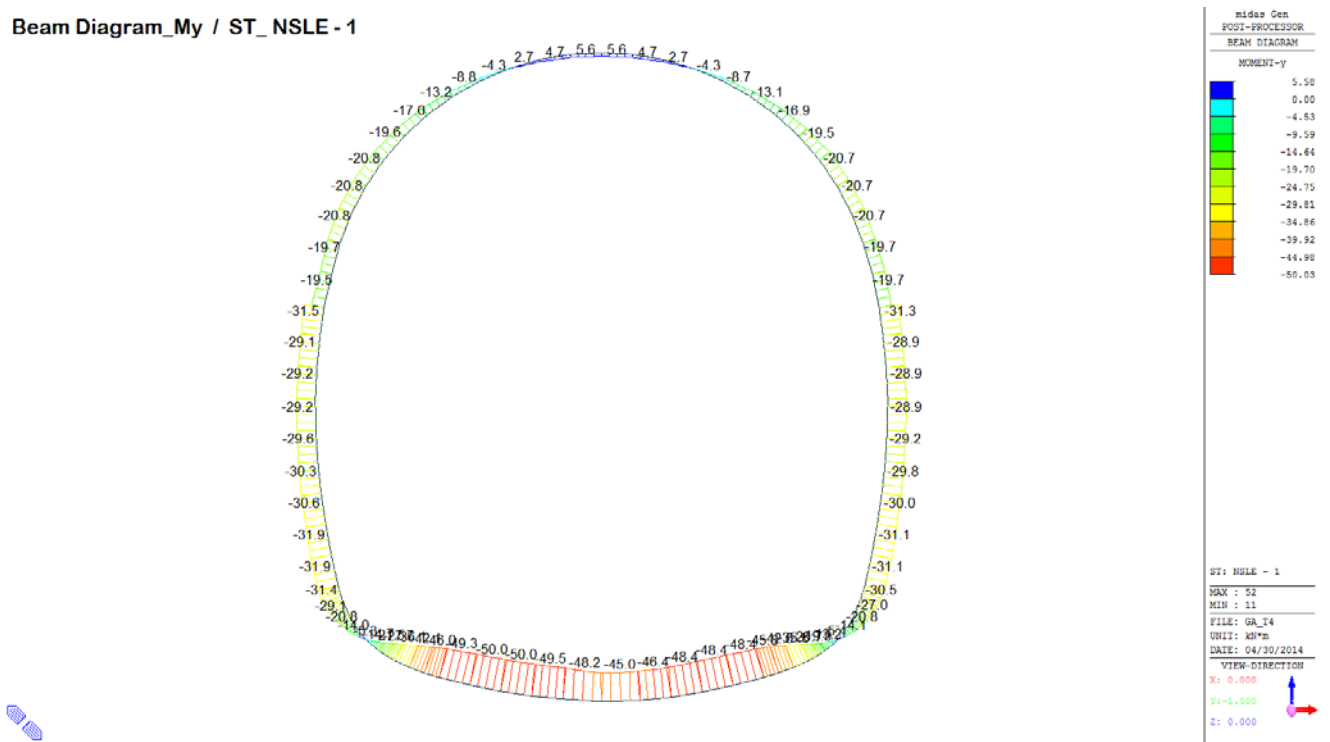


A.4.4.13. Load combination SLE 1

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 1

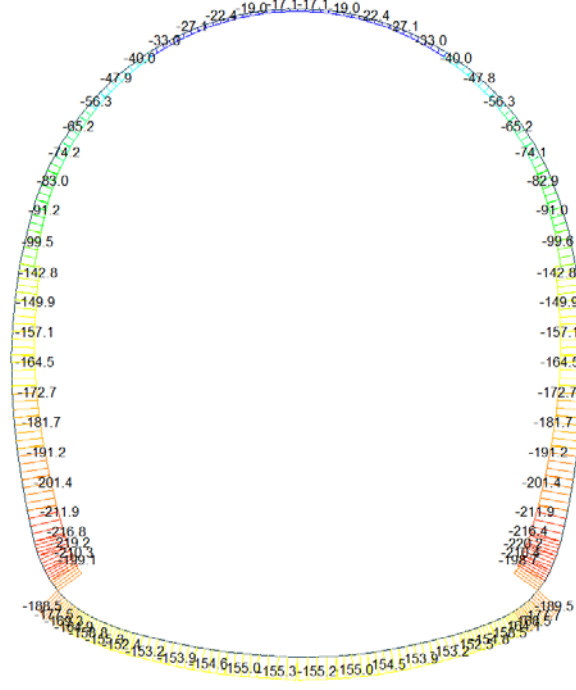


Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 1



A.4.4.14. Load combination SLE 2

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 2



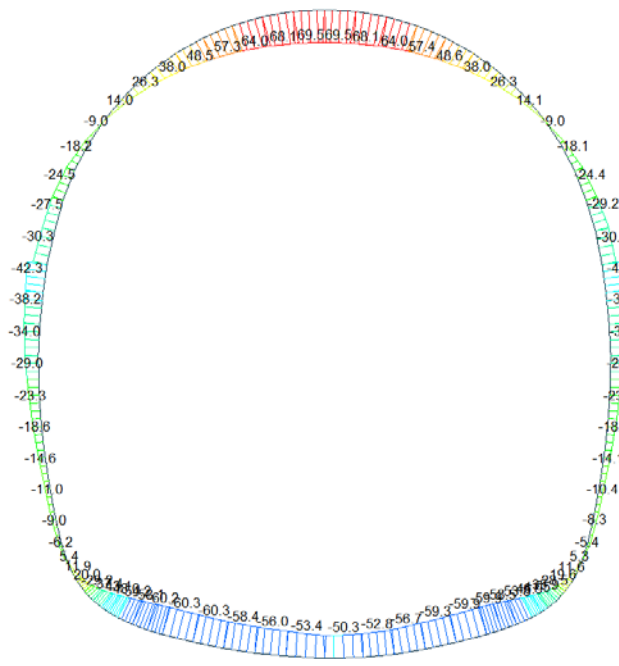
midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

-16.70
-35.20
-53.70
-72.20
-90.70
-109.20
-127.70
-146.20
-164.70
-183.20
-201.70
-220.20

ST: NSLE - 2  
MAX : 52  
MIN : 29  
FILE: GA\_14  
UNIT: kN  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 2



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

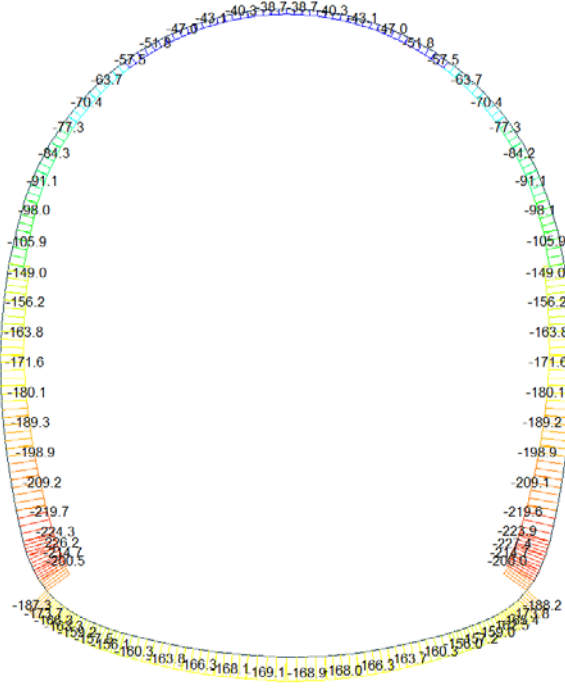
MOMENT-y

69.48
57.69
45.89
34.09
22.29
10.49
0.00
-13.11
-24.90
-36.70
-48.50
-60.30

ST: NSLE - 2  
MAX : 52  
MIN : 10  
FILE: GA\_14  
UNIT: kNm  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

A.4.4.15. Load combination SLE 3

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 3



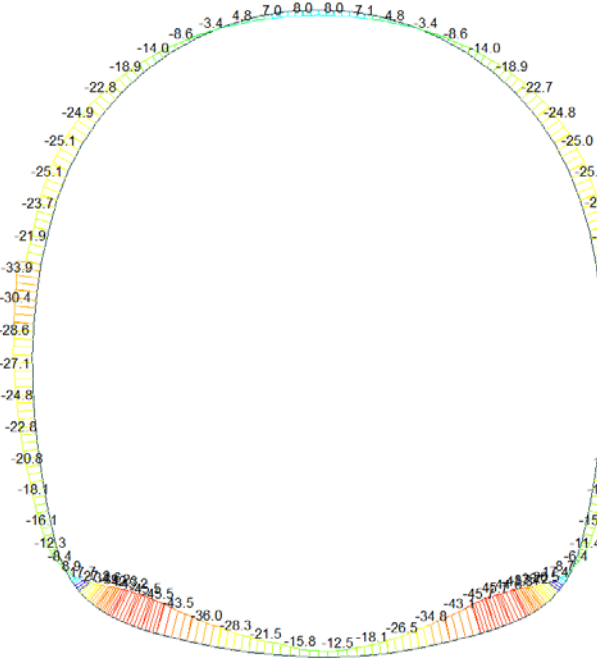
midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

Blue	-30.26
Cyan	-55.45
Green	-72.64
Light Green	-89.84
Yellow-Green	-107.03
Yellow	-124.22
Orange-Yellow	-141.41
Orange	-158.60
Red-Orange	-175.79
Red	-192.98
Dark Red	-210.18
Black	-227.37

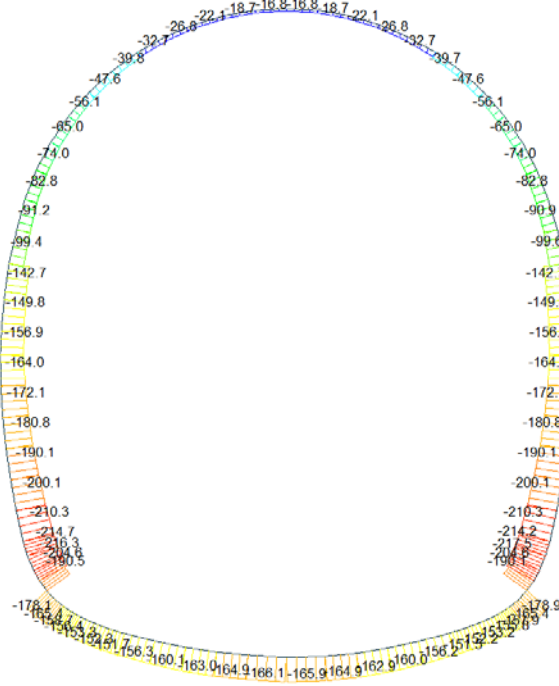
ST: NSLE - 3  
MAX : 52  
MIN : 29  
FILE: GA\_I4  
UNIT: kN  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 3



A.4.4.16. Load combination SLE 4

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 4



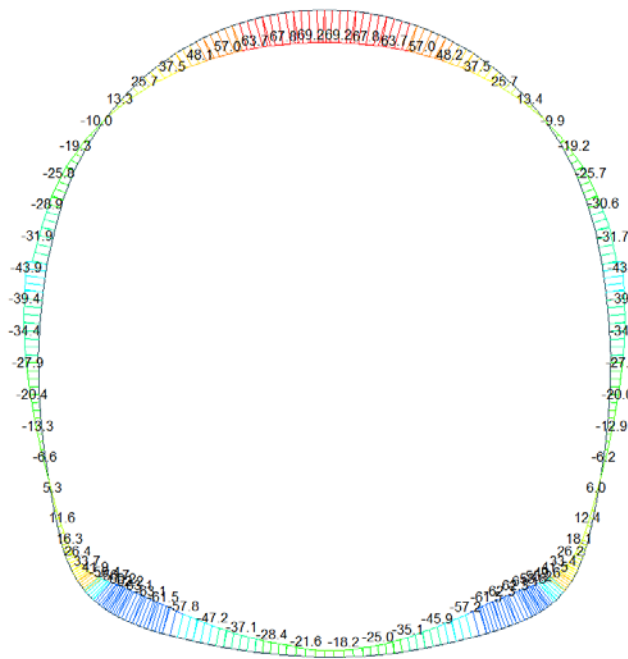
midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

-16.37
-34.66
-52.94
-71.23
-89.52
-107.80
-126.09
-144.38
-162.66
-180.95
-199.23
-217.52

ST: NSLE - 4  
MAX : 52  
MIN : 29  
FILE: GA\_I4  
UNIT: kN  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 4



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

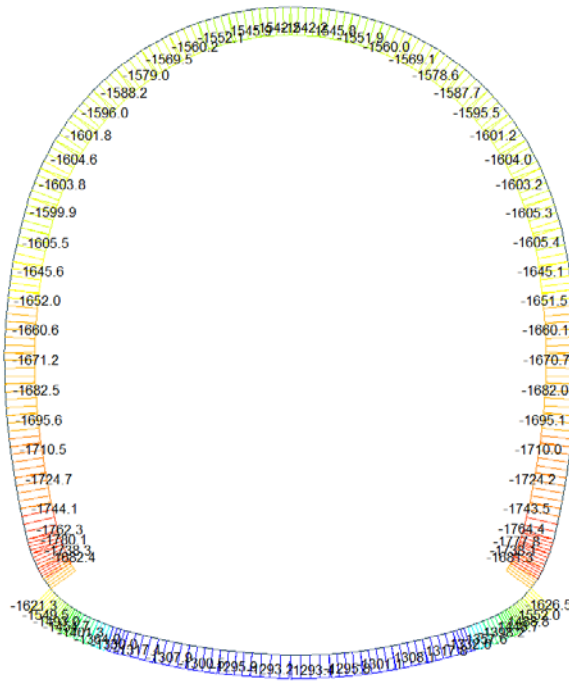
MOMENT-y

69.22
57.20
45.17
33.15
21.12
9.10
0.00
-14.95
-26.98
-39.01
-51.03
-63.06

ST: NSLE - 4  
MAX : 52  
MIN : 0  
FILE: GA\_I4  
UNIT: kNm  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

A.4.4.17. Load combination SLE 5

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 5



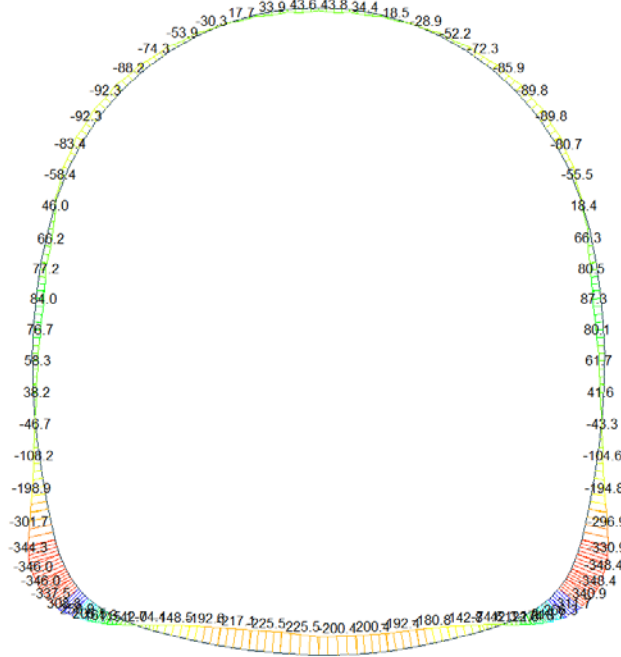
midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

Blue	-1291.44
Cyan	-1335.86
Green	-1380.29
Light Green	-1424.71
Yellow-Green	-1469.13
Yellow	-1513.56
Light Yellow	-1557.98
Orange	-1602.40
Red-Orange	-1646.83
Red	-1691.25
Dark Red	-1735.67
Black	-1780.10

ST: NSLE - 5  
MAX : 14  
MIN : 76  
FILE: GA\_I4  
UNIT: KN  
DATE: 04/30/2014  
VIEW DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 5



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

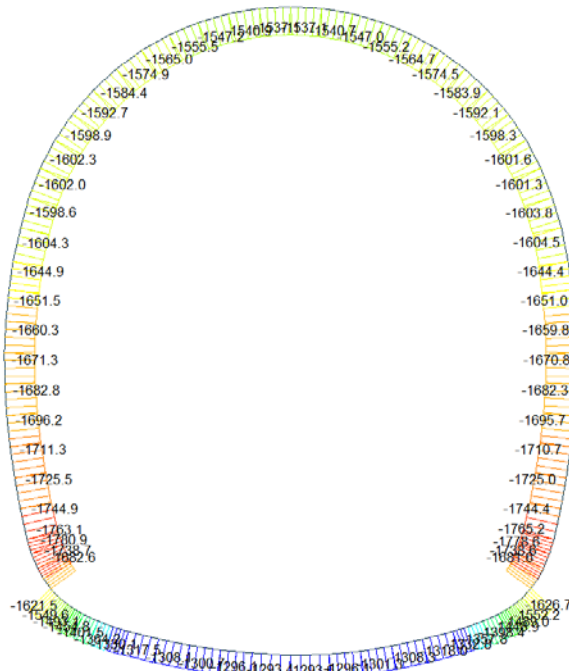
MOMENT-y

Blue	311.74
Cyan	251.73
Green	191.72
Light Green	131.70
Yellow-Green	71.69
Yellow	0.00
Light Yellow	-40.33
Orange	-108.35
Red-Orange	-168.36
Red	-228.37
Dark Red	-288.38
Black	-348.40

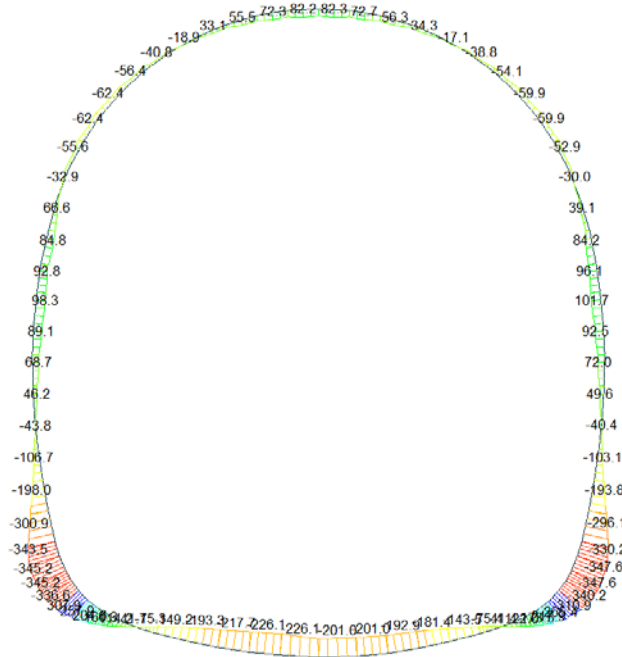
ST: NSLE - 5  
MAX : 26  
MIN : 28  
FILE: GA\_I4  
UNIT: KN\*m  
DATE: 04/30/2014  
VIEW DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

A.4.4.18. Load combination SLE 6

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 6



Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 6



A.4.4.19. 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 75		SLE - N5	1.40	2.90	OK	-6.03	-18.00	OK	5.12	360.00	OK
5	1.00	0.75										
2	100 x 75		SLE - N5	1.39	2.90	OK	-5.86	-18.00	OK	5.09	360.00	OK
5	1.00	0.75										
3	100 x 66		SLE - N5	1.83	2.90	OK	-6.74	-18.00	OK	6.66	360.00	OK
2	1.00	0.66										
4	100 x 90		SLE - N5	0.29	2.90	OK	-3.65	-18.00	OK	1.42	360.00	OK
8	1.00	0.90										
5	100 x 90		SLE - N5	0.32	2.90	OK	-3.19	-18.00	OK	1.59	360.00	OK
8	1.00	0.90										
6	100 x 90		SLE - N5	0.34	2.90	OK	-2.82	-18.00	OK	1.68	360.00	OK
8	1.00	0.90										
7	100 x 90		SLE - N5	0.35	2.90	OK	-2.41	-18.00	OK	1.74	360.00	OK
8	1.00	0.90										
8	100 x 90		SLE - N6	0.35	2.90	OK	-1.83	-18.00	OK	1.75	360.00	OK
8	1.00	0.90										
9	100 x 90		SLE - N6	0.34	2.90	OK	-2.03	-18.00	OK	1.67	360.00	OK
8	1.00	0.90										
10	100 x 90		SLE - N6	0.32	2.90	OK	-2.57	-18.00	OK	1.59	360.00	OK
8	1.00	0.90										
11	100 x 90		SLE - N6	0.31	2.90	OK	-2.88	-18.00	OK	1.55	360.00	OK
8	1.00	0.90										
12	100 x 90		SLE - N6	0.29	2.90	OK	-3.06	-18.00	OK	1.44	360.00	OK
8	1.00	0.90										
13	100 x 90		SLE - N6	0.27	2.90	OK	-3.11	-18.00	OK	1.31	360.00	OK
8	1.00	0.90										
14	100 x 90		SLE - N6	0.25	2.90	OK	-3.11	-18.00	OK	1.19	360.00	OK
8	1.00	0.90										
15	100 x 90		SLE - N6	0.22	2.90	OK	-2.92	-18.00	OK	1.07	360.00	OK
8	1.00	0.90										
16	100 x 90		SLE - N6	0.25	2.90	OK	-2.93	-18.00	OK	1.18	360.00	OK
8	1.00	0.90										
17	100 x 90		SLE - N6	0.28	2.90	OK	-2.87	-18.00	OK	1.37	360.00	OK
8	1.00	0.90										
18	100 x 90		SLE - N6	0.31	2.90	OK	-2.79	-18.00	OK	1.51	360.00	OK
8	1.00	0.90										
19	100 x 90		SLE - N6	0.32	2.90	OK	-2.52	-18.00	OK	1.57	360.00	OK
8	1.00	0.90										
20	100 x 90		SLE - N6	0.34	2.90	OK	-2.03	-18.00	OK	1.67	360.00	OK
8	1.00	0.90										
21	100 x 90		SLE - N6	0.35	2.90	OK	-1.83	-18.00	OK	1.72	360.00	OK
8	1.00	0.90										
22	100 x 90		SLE - N5	0.34	2.90	OK	-2.47	-18.00	OK	1.69	360.00	OK
8	1.00	0.90										
23	100 x 90		SLE - N5	0.33	2.90	OK	-2.91	-18.00	OK	1.64	360.00	OK
8	1.00	0.90										
24	100 x 90		SLE - N5	0.31	2.90	OK	-3.28	-18.00	OK	1.54	360.00	OK
8	1.00	0.90										
25	100 x 90		SLE - N5	0.28	2.90	OK	-3.71	-18.00	OK	1.36	360.00	OK
8	1.00	0.90										
26	100 x 66		SLE - N5	1.86	2.90	OK	-6.78	-18.00	OK	6.82	360.00	OK
2	1.00	0.66										
27	100 x 75		SLE - N5	1.42	2.90	OK	-5.90	-18.00	OK	5.29	360.00	OK
5	1.00	0.75										
28	100 x 75		SLE - N5	1.43	2.90	OK	-6.06	-18.00	OK	5.25	360.00	OK
5	1.00	0.75										
29	100 x 95		SLE - N5	0.46	2.90	OK	-4.20	-18.00	OK	1.11	360.00	OK
9	1.00	0.95										
30	100 x 95		SLE - N5	0.36	2.90	OK	-4.07	-18.00	OK	0.57	360.00	OK
9	1.00	0.95										

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)										
31	100 x 90		SLE - N5	0.63	2.90	OK	-4.99	-18.00	OK	1.40	360.00	OK
8	1.00	0.90										
32	100 x 85		SLE - N5	0.07	2.90	OK	-3.67	-18.00	OK	0.14	360.00	OK
7	1.00	0.85										
33	100 x 80		SLE - N5	0.10	2.90	OK	-3.15	-18.00	OK	0.29	360.00	OK
6	1.00	0.80										
34	100 x 75		SLE - N5	0.14	2.90	OK	-2.76	-18.00	OK	0.43	360.00	OK
5	1.00	0.75										
35	100 x 70		SLE - N6	0.18	2.90	OK	-3.01	-18.00	OK	0.59	360.00	OK
4	1.00	0.70										
36	100 x 65		SLE - N6	0.24	2.90	OK	-3.62	-18.00	OK	0.95	360.00	OK
3	1.00	0.65										
37	100 x 60		SLE - N6	0.41	2.90	OK	-4.35	-18.00	OK	1.76	360.00	OK
1	1.00	0.60										
38	100 x 60		SLE - N6	0.49	2.90	OK	-4.43	-18.00	OK	2.17	360.00	OK
1	1.00	0.60										
39	100 x 60		SLE - N6	0.54	2.90	OK	-4.43	-18.00	OK	2.39	360.00	OK
1	1.00	0.60										
40	100 x 60		SLE - N5	0.40	2.90	OK	-4.18	-18.00	OK	1.78	360.00	OK
1	1.00	0.60										
41	100 x 60		SLE - N5	0.34	2.90	OK	-3.46	-18.00	OK	1.51	360.00	OK
1	1.00	0.60										
42	100 x 60		SLE - N5	0.24	2.90	OK	-3.75	-18.00	OK	0.95	360.00	OK
1	1.00	0.60										
43	100 x 60		SLE - N5	0.25	2.90	OK	-4.18	-18.00	OK	1.01	360.00	OK
1	1.00	0.60										
44	100 x 60		SLE - N5	0.25	2.90	OK	-4.34	-18.00	OK	1.02	360.00	OK
1	1.00	0.60										
45	100 x 60		SLE - N5	0.41	2.90	OK	-4.34	-18.00	OK	1.93	360.00	OK
1	1.00	0.60										
46	100 x 60	100 x 60	SLE - N5	0.66	2.90	OK	-4.27	-18.00	OK	3.20	360.00	OK
1	1.00	0.60										
47	100 x 60	100 x 60	SLE - N5	0.90	2.90	OK	-4.04	-18.00	OK	4.41	360.00	OK
1	1.00	0.60										
48	100 x 60		SLE - N6	1.12	2.90	OK	-3.70	-18.00	OK	5.48	360.00	OK
1	1.00	0.60										
49	100 x 60		SLE - N6	1.30	2.90	OK	-3.39	-18.00	OK	6.37	360.00	OK
1	1.00	0.60										
50	100 x 60		SLE - N5	1.43	2.90	OK	-3.74	-18.00	OK	7.03	360.00	OK
1	1.00	0.60										
51	100 x 60		SLE - N5	1.51	2.90	OK	-3.97	-18.00	OK	7.44	360.00	OK
1	1.00	0.60										
52	100 x 60		SLE - N5	1.54	2.90	OK	-4.06	-18.00	OK	7.58	360.00	OK
1	1.00	0.60										
53	100 x 60		SLE - N5	1.54	2.90	OK	-4.06	-18.00	OK	7.58	360.00	OK
1	1.00	0.60										
54	100 x 60		SLE - N5	1.51	2.90	OK	-3.97	-18.00	OK	7.44	360.00	OK
1	1.00	0.60										
55	100 x 60		SLE - N5	1.43	2.90	OK	-3.72	-18.00	OK	7.03	360.00	OK
1	1.00	0.60										
56	100 x 60		SLE - N6	1.30	2.90	OK	-3.38	-18.00	OK	6.36	360.00	OK
1	1.00	0.60										
57	100 x 60		SLE - N6	1.12	2.90	OK	-3.72	-18.00	OK	5.48	360.00	OK
1	1.00	0.60										
58	100 x 60		SLE - N5	0.90	2.90	OK	-4.07	-18.00	OK	4.40	360.00	OK
1	1.00	0.60										
59	100 x 60		SLE - N5	0.66	2.90	OK	-4.31	-18.00	OK	3.20	360.00	OK
1	1.00	0.60										
60	100 x 60		SLE - N5	0.41	2.90	OK	-4.38	-18.00	OK	1.92	360.00	OK
1	1.00	0.60										

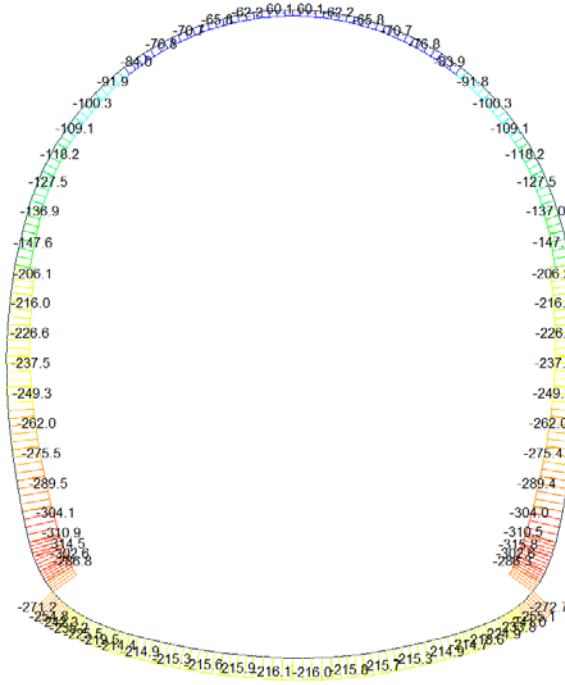


STRESS CONTROL												
MEMBER	SECTION PROPERTIES		LOAD CB	$\sigma_{ct, MAX}$	$\sigma_{ct, Adm}$	CHECK	$\sigma_{c, MAX}$	$\sigma_{c, Adm}$	CHECK	$\sigma_{s, MAX}$	$\sigma_{s, Adm}$	CHECK
SECTION	Bc (m)	Hc (m)		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	
61	100 x 60		SLE - N5	0.25	2.90	OK	-4.38	-18.00	OK	1.03	360.00	OK
1	1.00	0.60										
62	100 x 60		SLE - N5	0.25	2.90	OK	-4.23	-18.00	OK	1.02	360.00	OK
1	1.00	0.60										
63	100 x 60		SLE - N5	0.24	2.90	OK	-3.80	-18.00	OK	0.96	360.00	OK
1	1.00	0.60										
64	100 x 60		SLE - N5	0.31	2.90	OK	-3.91	-18.00	OK	1.37	360.00	OK
1	1.00	0.60										
65	100 x 60		SLE - N5	0.40	2.90	OK	-4.13	-18.00	OK	1.80	360.00	OK
1	1.00	0.60										
66	100 x 60		SLE - N6	0.54	2.90	OK	-4.38	-18.00	OK	2.41	360.00	OK
1	1.00	0.60										
67	100 x 60		SLE - N6	0.50	2.90	OK	-4.37	-18.00	OK	2.19	360.00	OK
1	1.00	0.60										
68	100 x 60		SLE - N6	0.42	2.90	OK	-4.30	-18.00	OK	1.78	360.00	OK
1	1.00	0.60										
69	100 x 65		SLE - N6	0.24	2.90	OK	-3.57	-18.00	OK	0.97	360.00	OK
3	1.00	0.65										
70	100 x 70		SLE - N6	0.18	2.90	OK	-2.97	-18.00	OK	0.62	360.00	OK
4	1.00	0.70										
71	100 x 75		SLE - N5	0.15	2.90	OK	-2.80	-18.00	OK	0.46	360.00	OK
5	1.00	0.75										
72	100 x 80		SLE - N5	0.11	2.90	OK	-3.18	-18.00	OK	0.32	360.00	OK
6	1.00	0.80										
73	100 x 85		SLE - N5	0.08	2.90	OK	-3.71	-18.00	OK	0.17	360.00	OK
7	1.00	0.85										
74	100 x 90		SLE - N5	0.32	2.90	OK	-4.19	-18.00	OK	0.19	360.00	OK
8	1.00	0.90										
75	100 x 95		SLE - N5	0.45	2.90	OK	-4.16	-18.00	OK	1.07	360.00	OK
9	1.00	0.95										
76	100 x 95		SLE - N5	0.44	2.90	OK	-4.19	-18.00	OK	1.01	360.00	OK
9	1.00	0.95										

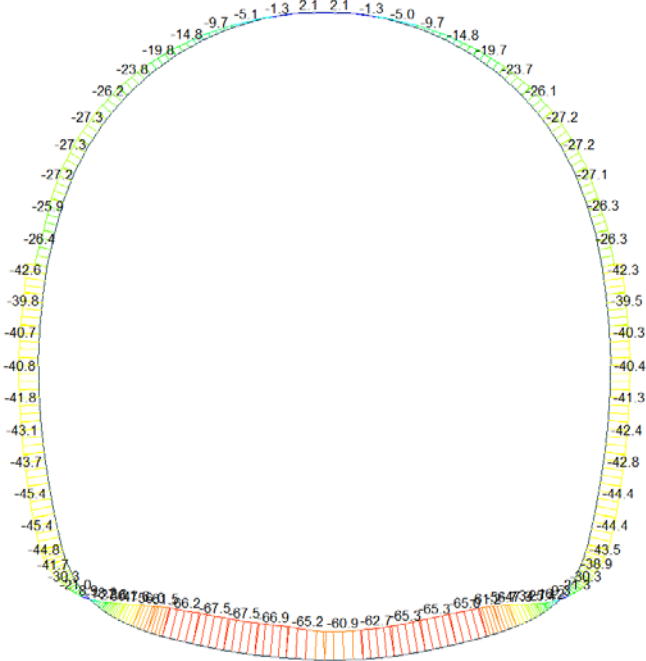
## A.4.5. Output and check result for cross section GA-T5

A.4.5.1. Load combination SLU 1

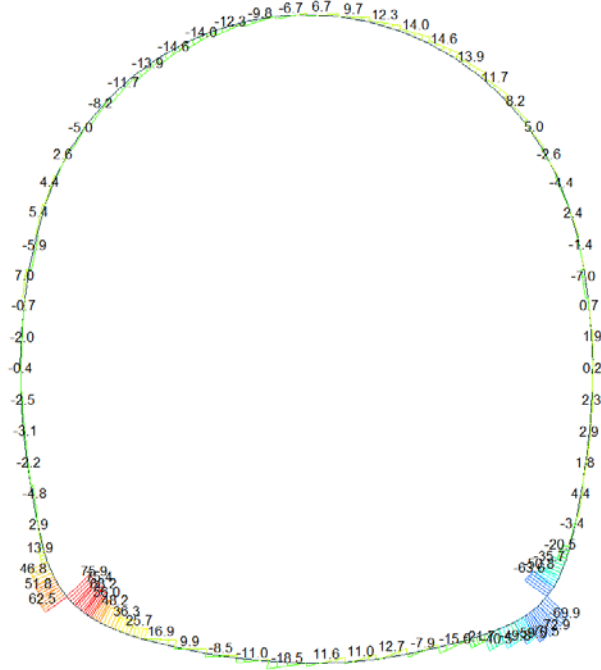
Beam Diagram\_Fx / ST\_N1



Beam Diagram\_My / ST\_N1



Beam Diagram\_Fz / ST\_N1



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-Fz

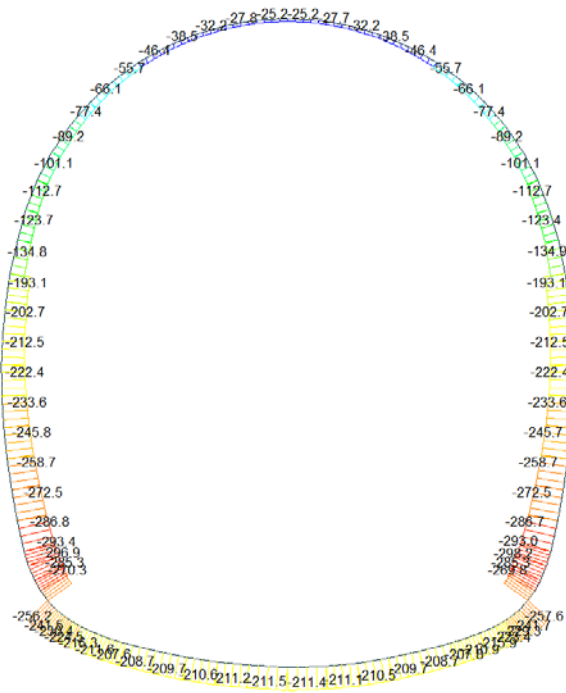
75.93
62.40
48.87
35.33
21.80
8.27
0.00
-18.80
-32.33
-45.86
-59.39
-72.95

ST: N1  
MAX : 3  
MIN : 25  
FILE: GA\_15  
UNIT: KN  
DATE: 04/30/2014

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

A.4.5.2. Load combination SLU 2

Beam Diagram\_Fx / ST\_N2



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

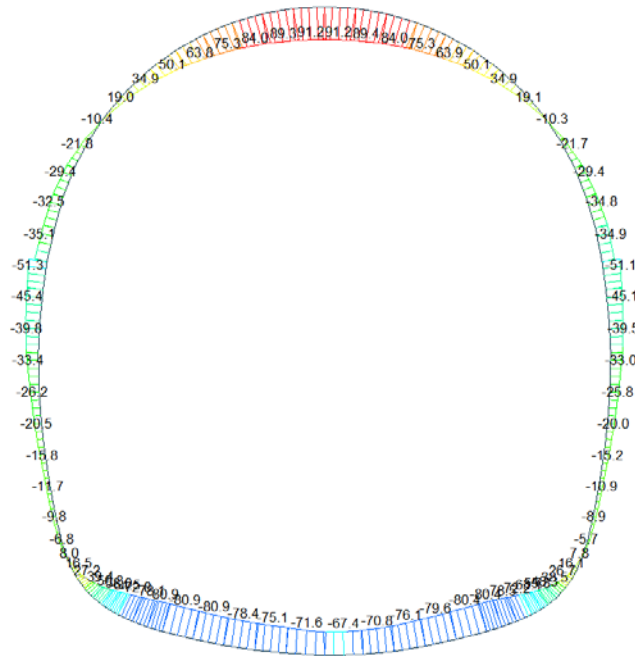
AXIAL

-24.61
-49.48
-74.36
-99.23
-124.10
-148.98
-173.85
-198.72
-223.59
-248.47
-273.34
-298.21

ST: N2  
MAX : 52  
MIN : 29  
FILE: GA\_15  
UNIT: KN  
DATE: 04/30/2014

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

Beam Diagram\_My / ST\_N2



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

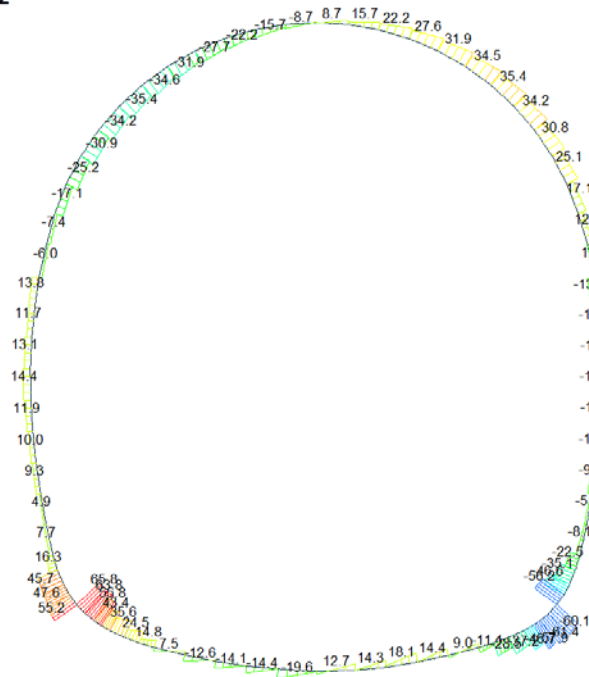
NOMENT-y

91.19
75.54
59.89
44.25
28.60
12.95
0.00
-18.34
-33.98
-49.63
-65.28
-80.92

ST: N2  
MAX : 92  
MIN : 11  
FILE: GA\_15  
UNIT: kNm  
DATE: 04/30/2014

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

Beam Diagram\_Fz / ST\_N2



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

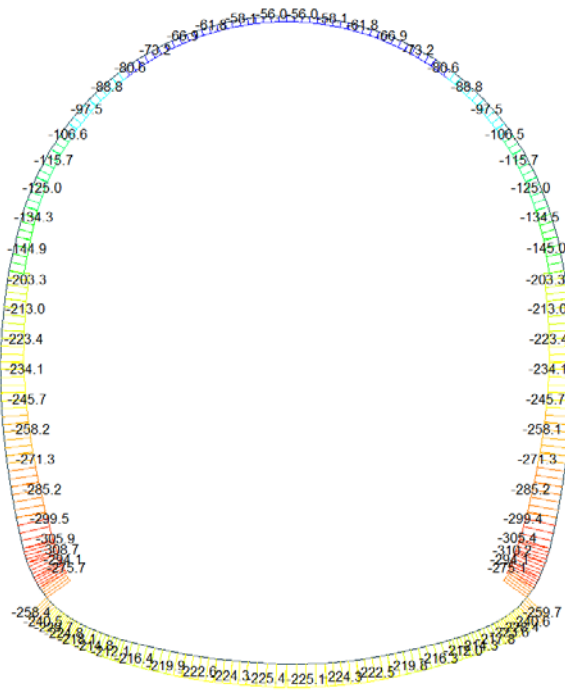
60.85
54.28
42.71
31.13
19.56
7.99
0.00
-15.15
-26.72
-38.30
-49.87
-61.44

ST: N2  
MAX : 3  
MIN : 25  
FILE: GA\_15  
UNIT: kN  
DATE: 04/30/2014

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

A.4.5.3. Load combination SLU 3

Beam Diagram\_Fx / ST\_N3



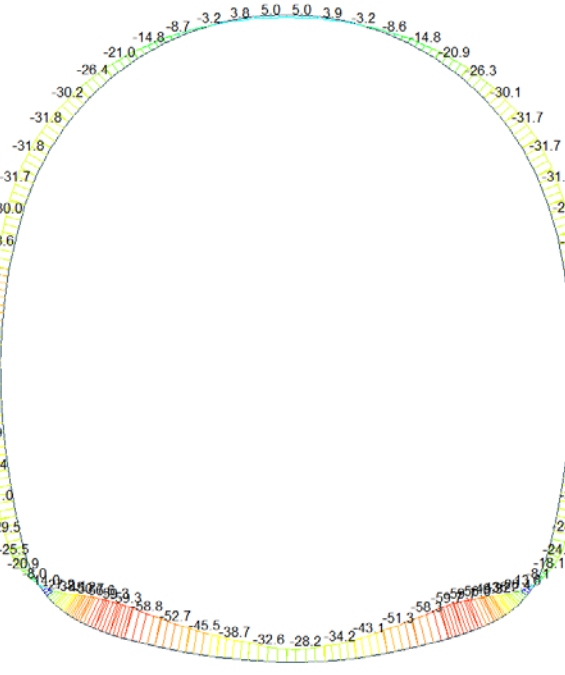
midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

Blue	-50.39
Cyan	-78.56
Green	-101.72
Light Green	-124.89
Yellow-Green	-148.06
Yellow	-171.23
Light Yellow	-194.39
Orange	-217.56
Red-Orange	-240.73
Red	-263.89
Dark Red	-287.06
Black	-310.23

ST: N3  
MAX : 52  
MIN : 29  
FILE: GA\_15  
UNIT: kN  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_N3



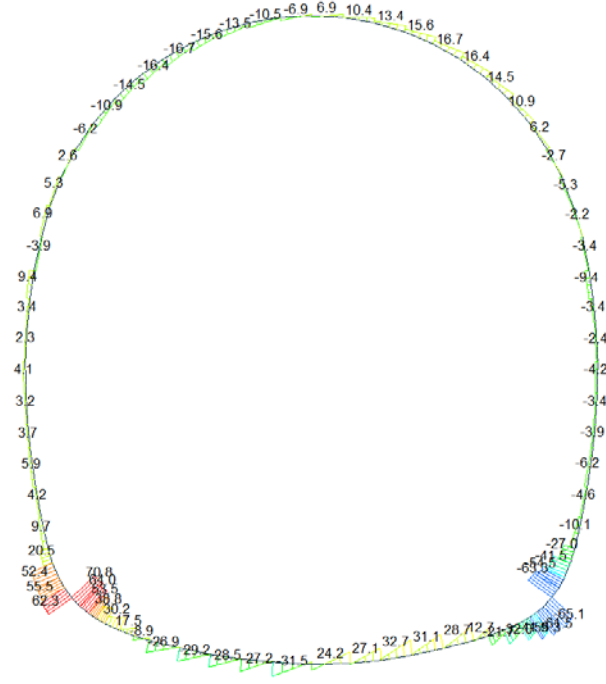
midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

Blue	13.99
Cyan	7.29
Green	0.00
Light Green	-6.10
Yellow-Green	-12.80
Yellow	-19.50
Light Yellow	-26.20
Orange	-32.89
Red-Orange	-39.59
Red	-46.29
Dark Red	-52.99
Black	-59.68

ST: N3  
MAX : 2  
MIN : 20  
FILE: GA\_15  
UNIT: kNm  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_Fz / ST\_N3



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-Fz

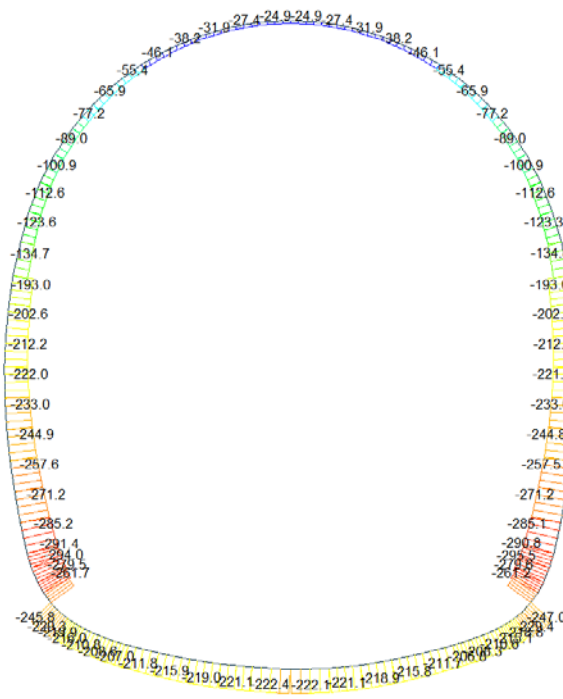
70.82
58.47
46.11
33.76
21.41
9.06
0.00
-15.65
-28.00
-40.35
-52.71
-65.06

ST: N3  
MAX : 3  
MIN : 26  
FILE: GA\_I5  
UNIT: KN  
DATE: 04/30/2014

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

A.4.5.4. Load combination SLU 4

Beam Diagram\_Fx / ST\_N4



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

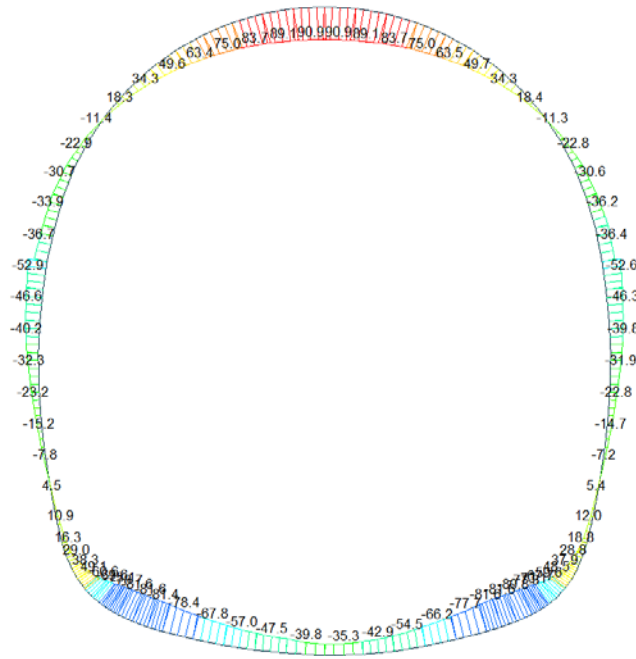
AXIAL

-24.29
-48.58
-73.60
-98.26
-122.92
-147.58
-172.24
-196.90
-221.56
-246.22
-270.88
-295.53

ST: N4  
MAX : 52  
MIN : 29  
FILE: GA\_I5  
UNIT: KN  
DATE: 04/30/2014

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

Beam Diagram\_My / ST\_N4



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

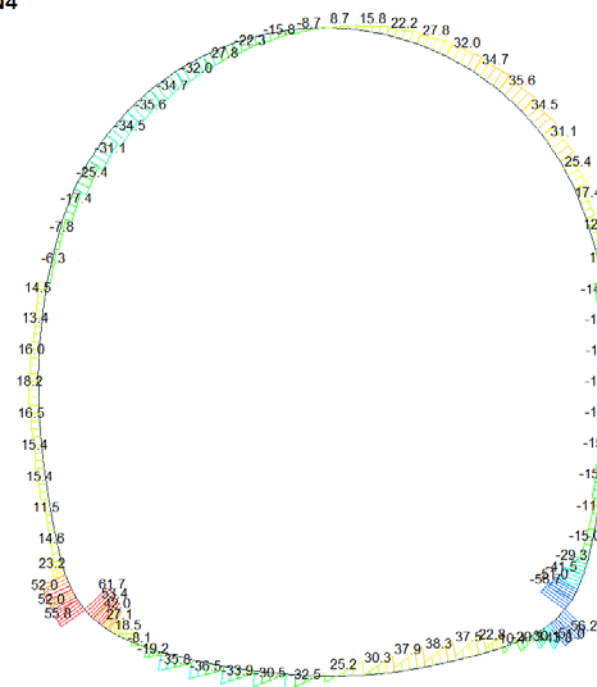
NOMENT-y

90.92
75.24
59.55
43.86
28.18
12.49
0.00
-18.88
-34.57
-50.26
-65.94
-81.63

ST: N4  
MAX : 92  
MIN : 0  
FILE: GA\_15  
UNIT: kNm  
DATE: 04/30/2014

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

Beam Diagram\_Fz / ST\_N4



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

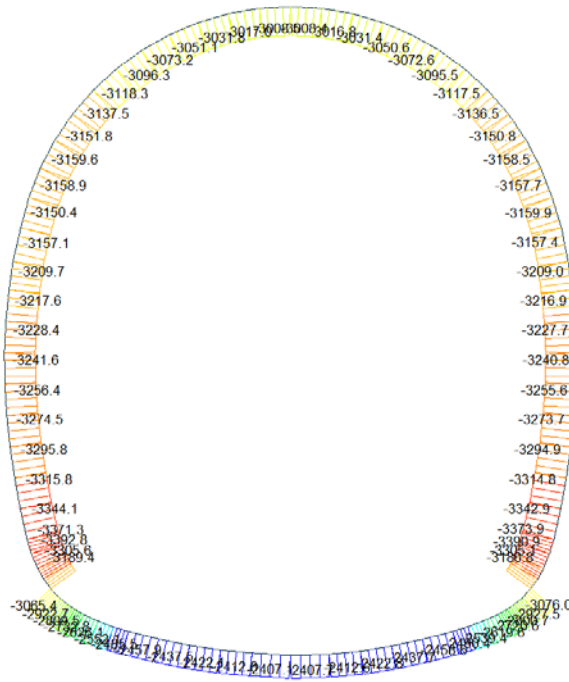
61.74
50.97
40.20
29.43
18.65
7.88
0.00
-13.66
-24.43
-35.20
-45.97
-56.75

ST: N4  
MAX : 3  
MIN : 27  
FILE: GA\_15  
UNIT: kN  
DATE: 04/30/2014

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

A.4.5.5. Load combination SLU 5

Beam Diagram\_Fx / ST\_N5



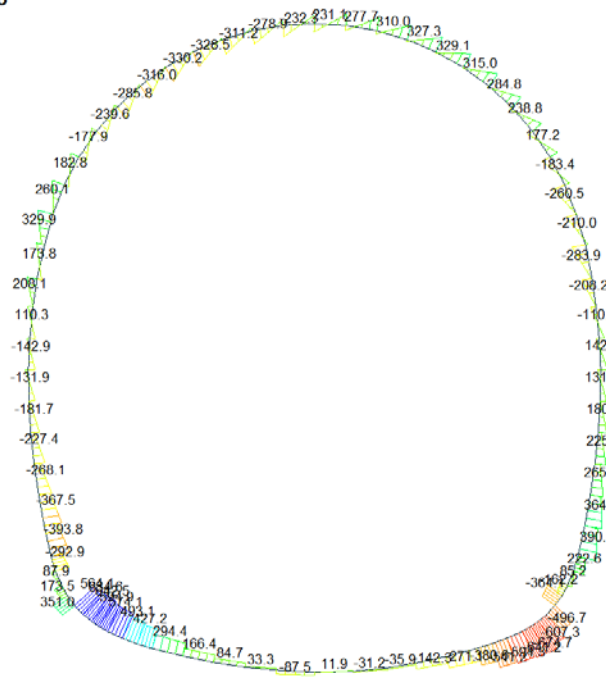
midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

Blue	-2405.20
Cyan	-2494.98
Green	-2584.77
Light Green	-2674.55
Yellow-Green	-2764.33
Yellow	-2854.12
Orange-Yellow	-2943.90
Orange	-3033.69
Red-Orange	-3123.47
Red	-3213.25
Dark Red	-3303.04
Black	-3392.82

ST: N5  
MAX: 14  
MIN: 76  
FILE: GA\_15  
UNIT: KN  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_Fz / ST\_N6



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

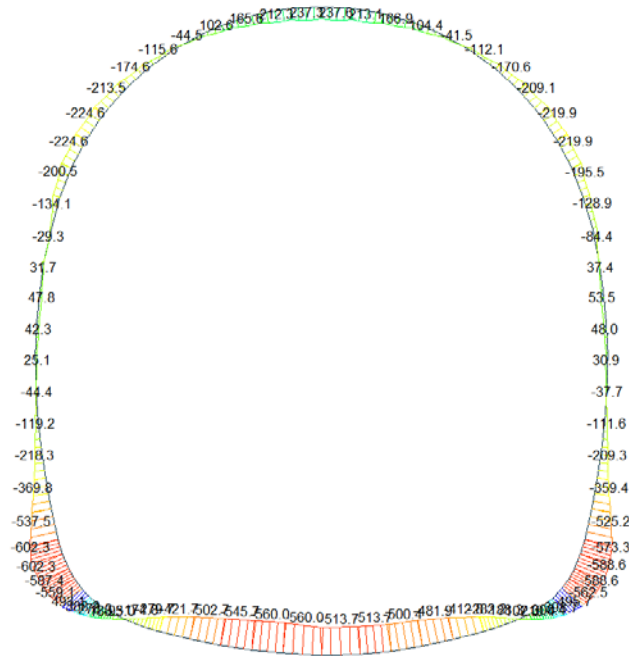
SHEAR-z

Blue	642.52
Cyan	522.78
Green	403.03
Light Green	283.29
Yellow-Green	163.54
Yellow	0.00
Orange-Yellow	-75.94
Orange	-195.69
Red-Orange	-315.43
Red	-435.18
Dark Red	-554.92
Black	-674.66

ST: N6  
MAX: 5  
MIN: 24  
FILE: GA\_15  
UNIT: KN  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

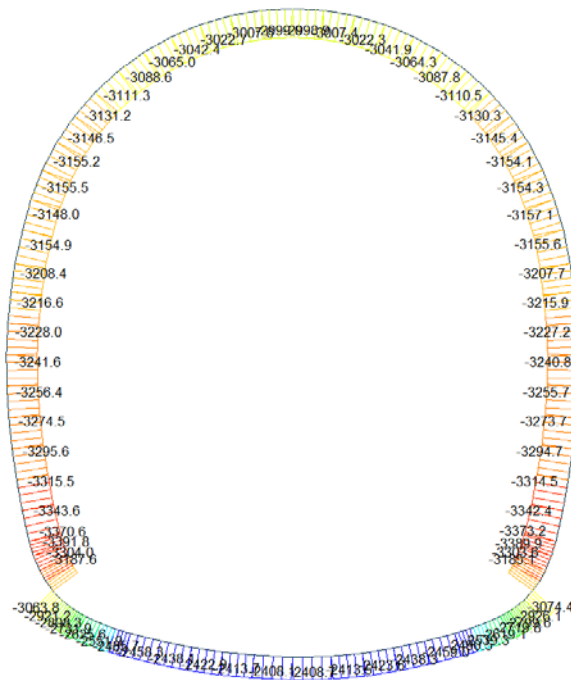


Beam Diagram\_My / ST\_N5

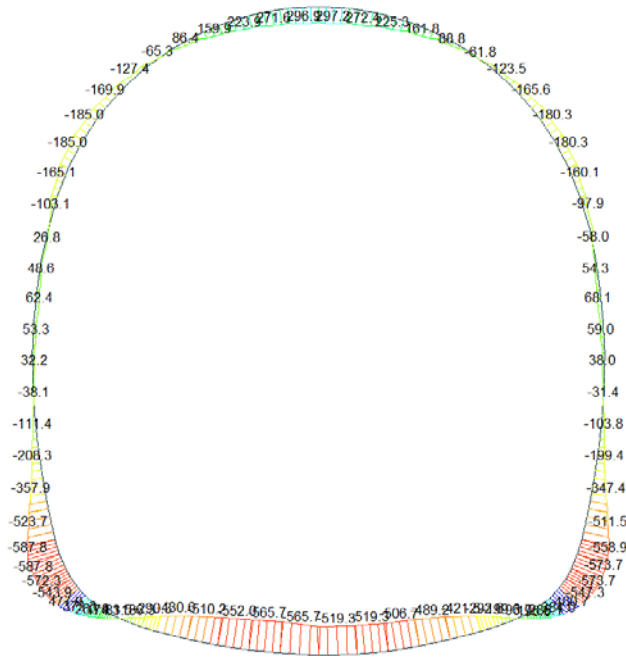


A.4.5.6. Load combination SLU 6

Beam Diagram\_Fx / ST\_N6



Beam Diagram\_My / ST\_N6



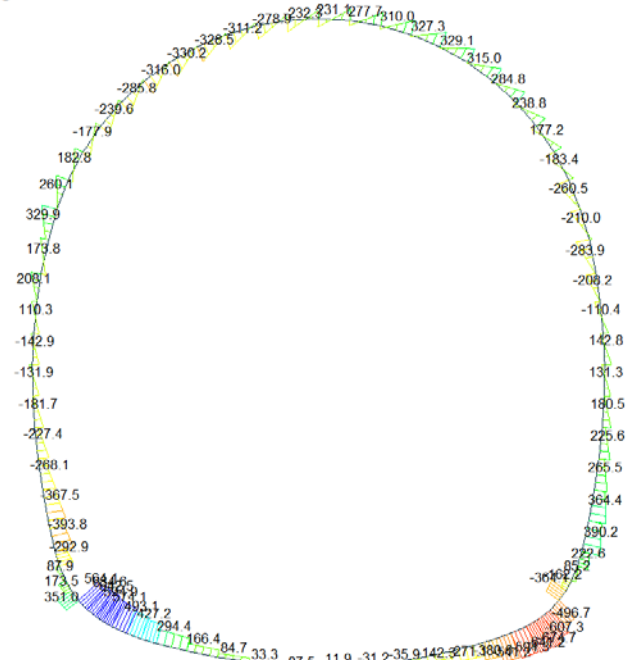
midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

400.69
383.55
286.42
189.29
92.15
0.00
-102.12
-189.25
-286.38
-393.52
-490.66
-587.79

ST: N6  
MAX : 36  
MIN : 75  
FILE: GA\_I5  
UNIT: kNm  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_Fz / ST\_N6



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

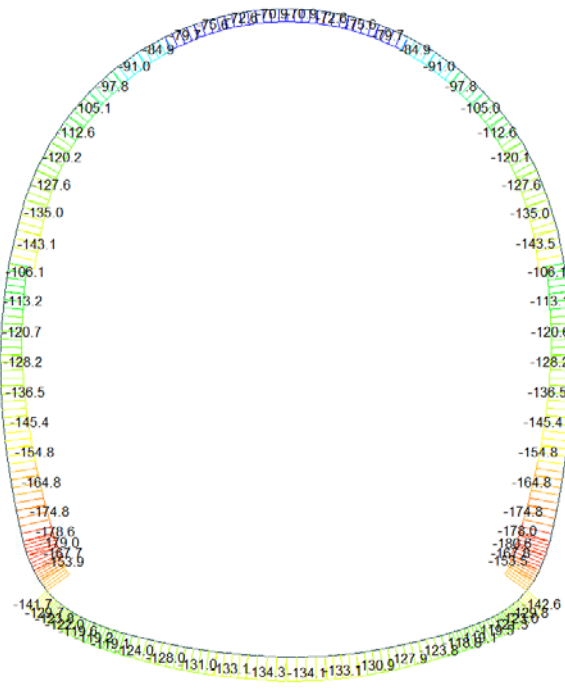
Shear-z

642.52
522.78
403.03
283.29
163.54
0.00
-75.94
-196.69
-316.43
-435.18
-554.92
-674.66

ST: N6  
MAX : 5  
MIN : 24  
FILE: GA\_I5  
UNIT: kN  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

A.4.5.7. Load combination SLU 11

Beam Diagram\_Fx / ST\_N11



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

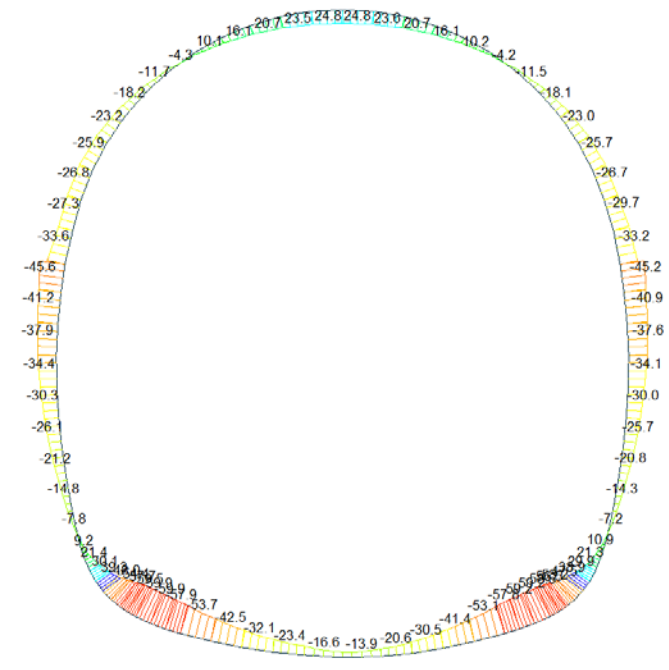
Blue	-70.44
Cyan	-80.45
Green	-90.46
Light Green	-100.47
Yellow-Green	-110.48
Yellow	-120.49
Orange-Yellow	-130.50
Orange	-140.51
Red-Orange	-150.52
Red	-160.53
Dark Red	-170.54
Black	-180.55

ST: N11  
MAX : 52  
MIN : 29

FILE: GA\_15  
UNIT: kN  
DATE: 04/30/2014

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

Beam Diagram\_My / ST\_N11



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

Blue	39.25
Cyan	30.24
Green	21.22
Light Green	12.21
Yellow-Green	0.00
Yellow	-5.82
Orange-Yellow	-14.83
Orange	-23.85
Red-Orange	-32.86
Red	-41.88
Dark Red	-50.89
Black	-59.91

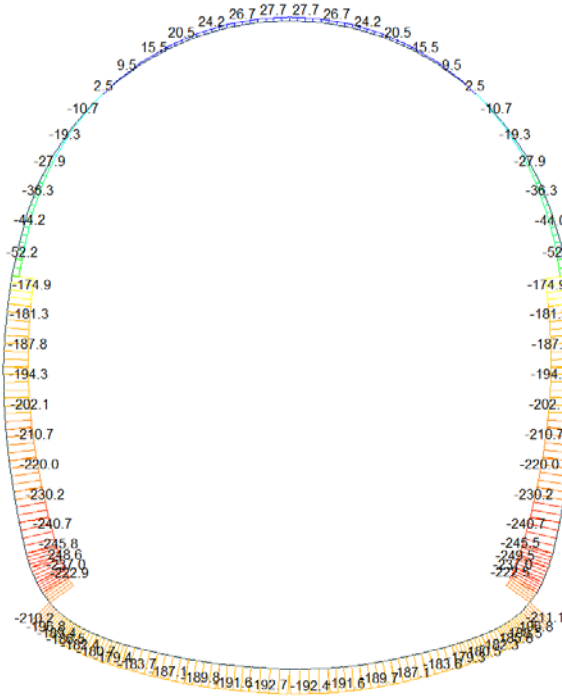
ST: N11  
MAX : 2  
MIN : 0

FILE: GA\_15  
UNIT: kNm  
DATE: 04/30/2014

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

A.4.5.8. Load combination SLU 12

Beam Diagram\_Fx / ST\_N12



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

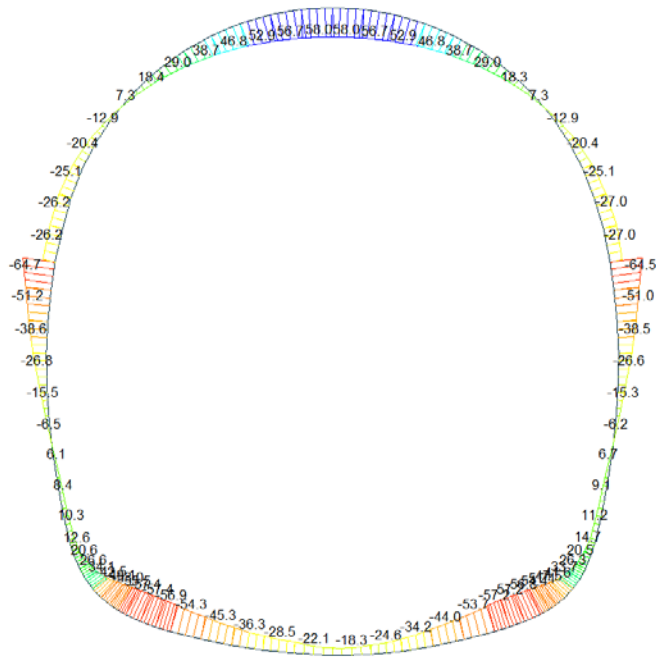
27.67
0.00
-22.71
-47.91
-73.10
-98.30
-123.49
-148.68
-173.88
-199.07
-224.27
-249.46

ST: N12  
MAX : 53  
MIN : 29

FILE: GA\_15  
UNIT: kN  
DATE: 04/30/2014

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

Beam Diagram\_My / ST\_N12



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

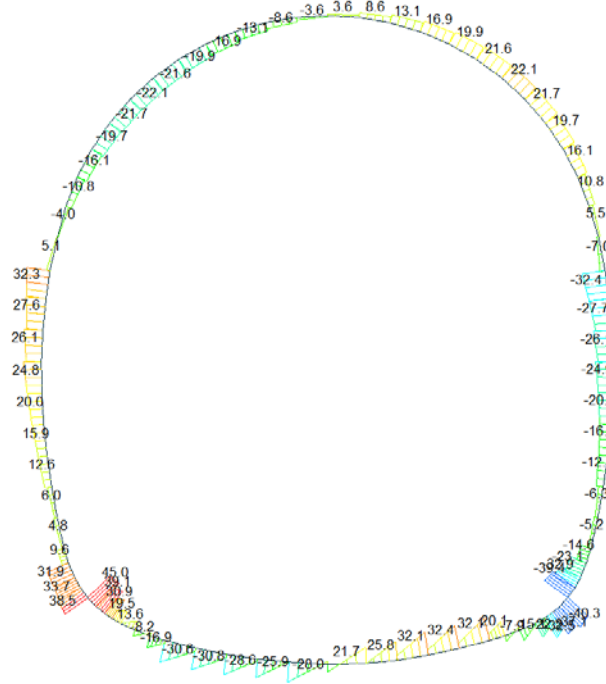
50.01
46.86
38.70
24.55
13.40
0.00
-8.90
-20.05
-31.20
-42.35
-53.50
-64.65

ST: N12  
MAX : 53  
MIN : 66

FILE: GA\_15  
UNIT: kNm  
DATE: 04/30/2014

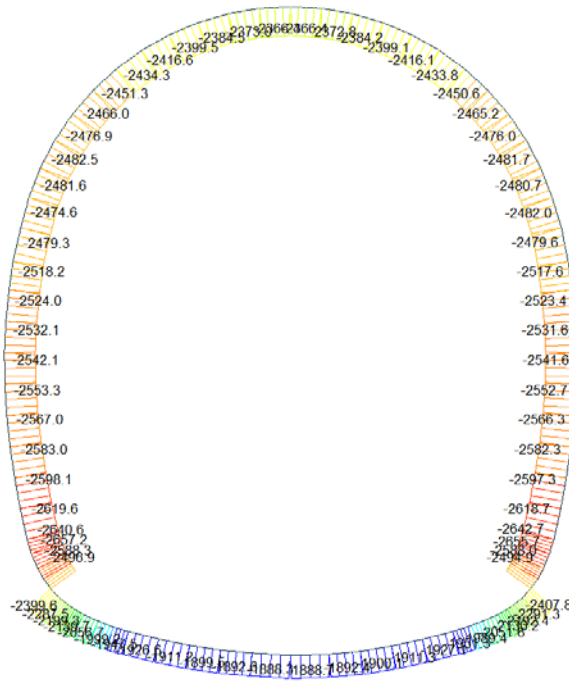
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_Fz / ST\_N12

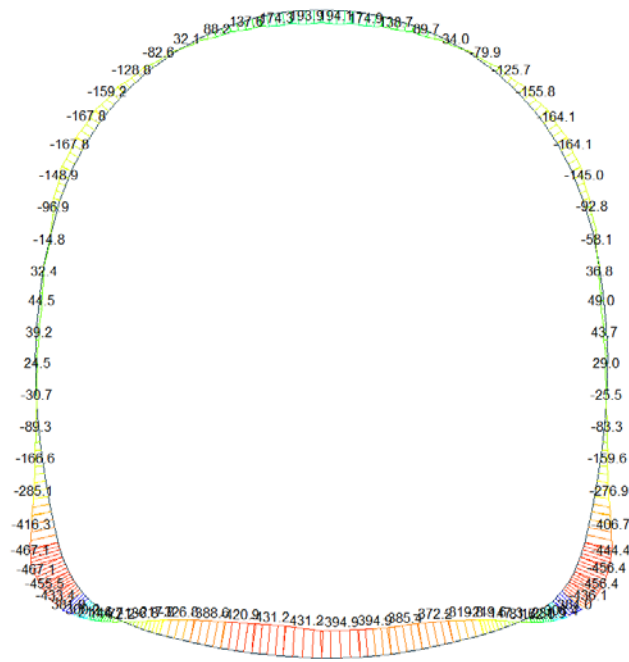


A.4.5.9. Load combination SLU 21

Beam Diagram\_Fx / ST\_N21



Beam Diagram\_My / ST\_N21



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

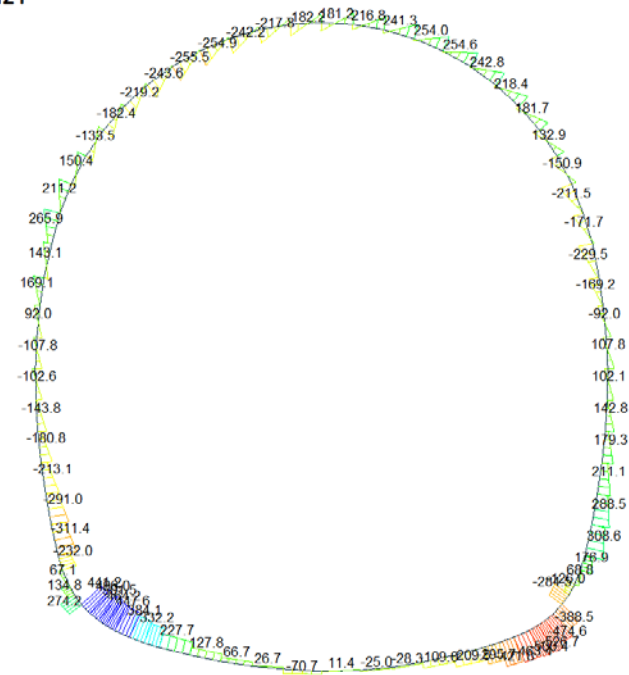
MOMENT-y

384.00
306.63
229.26
151.89
74.52
0.00
-80.23
-157.60
-234.97
-312.34
-389.71
-467.08

ST: N21  
MAX : 36  
MIN : 76  
FILE: GA\_T5  
UNIT: kNm  
DATE: 04/30/2014

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

Beam Diagram\_Fz / ST\_N21



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

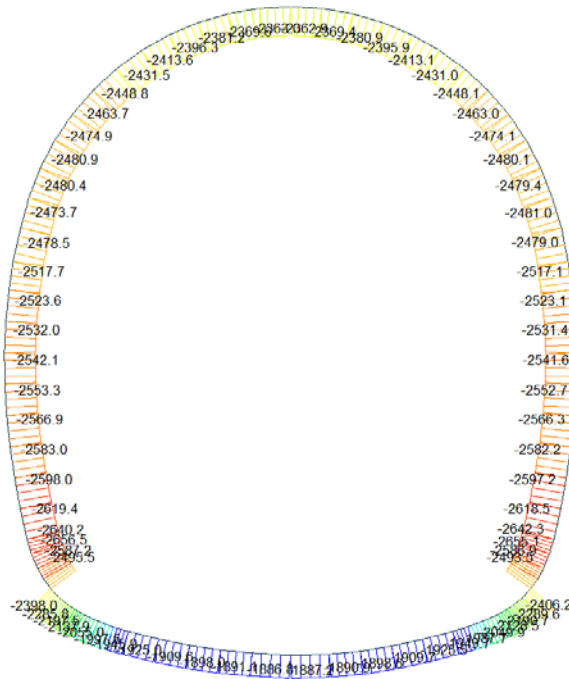
501.52
408.05
314.58
221.10
127.63
0.00
-59.31
-152.79
-246.26
-339.73
-433.21
-526.68

ST: N21  
MAX : 5  
MIN : 24  
FILE: GA\_T5  
UNIT: kN  
DATE: 04/30/2014

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

A.4.5.10. Load combination SLU 22

Beam Diagram\_Fx / ST\_N22



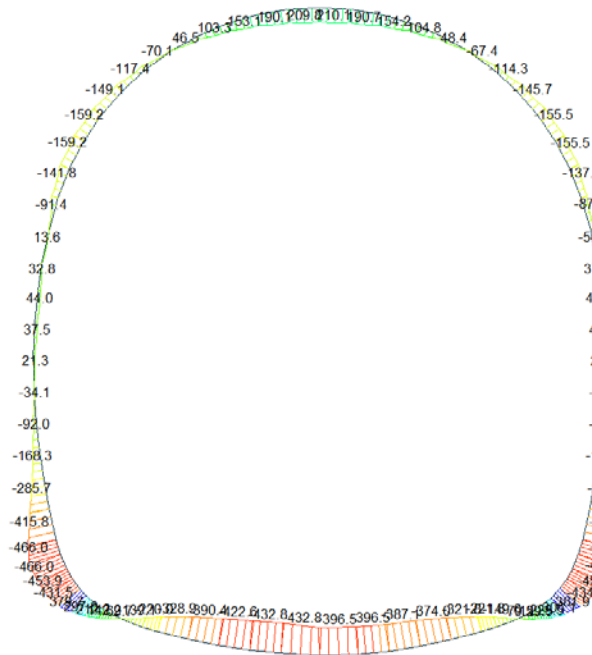
midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

Blue	-1000.04
Cyan	-1955.18
Green	-2025.31
Light Green	-2095.44
Yellow-Green	-2165.57
Yellow	-2235.71
Orange-Yellow	-2305.84
Orange	-2375.97
Red-Orange	-2446.11
Red	-2516.24
Dark Red	-2586.37
Dark Red	-2656.51

ST: N22  
MAX: 14  
MIN: 76  
FILE: GA\_15  
UNIT: kN  
DATE: 04/30/2014  
VIEW DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_N22



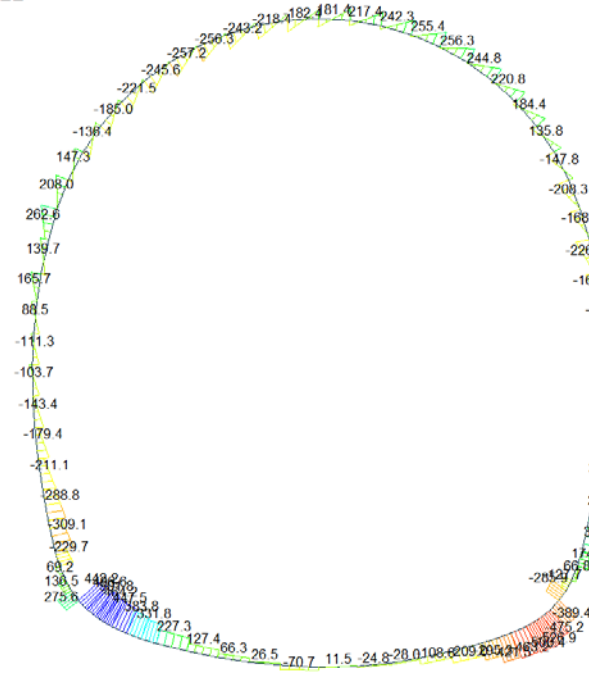
midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

Blue	301.00
Cyan	304.80
Green	227.72
Light Green	150.64
Yellow-Green	73.55
Yellow	0.00
Orange-Yellow	-80.61
Orange	-157.70
Red-Orange	-234.78
Red	-311.86
Dark Red	-388.94
Dark Red	-466.03

ST: N22  
MAX: 26  
MIN: 75  
FILE: GA\_15  
UNIT: kNm  
DATE: 04/30/2014  
VIEW DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_Fz / ST\_N22



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

SHEAR-z

501.70
408.26
314.75
221.23
127.71
0.00
-59.33
-152.85
-246.37
-339.89
-433.40
-526.92

ST: N22

MAX : 5  
MIN : 24

FILE: GA\_15  
UNIT: KN  
DATE: 04/30/2014

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





A.4.5.11. Rebarred sections ratio checking

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
1	100 x 75		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P16	12'964	3302.160	595.769	0.000	640.961	-	173.500
5	1.00	0.75								<b>0.447</b>	<b>0.447</b>	0.000	0.271	-	<b>0.271</b>
2	100 x 75		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P16	12'964	<b>3185.950</b>	<b>567.385</b>	0.000	640.961	-	<b>351.459</b>
5	1.00	0.75								<b>0.423</b>	<b>0.430</b>	0.000	0.548	-	<b>0.548</b>
3	100 x 66		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P16	11'529	3062.790	501.102	0.000	566.876	-	565.699
2	1.00	0.66								<b>0.471</b>	<b>0.475</b>	0.000	0.998	-	<b>0.998</b>
4	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P18	15'621	2919.490	395.909	0.000	708.460	-	637.032
8	1.00	0.90								<b>0.258</b>	<b>0.263</b>	0.000	0.899	-	<b>0.899</b>
5	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P18	15'621	2804.680	285.710	0.000	692.224	-	645.560
8	1.00	0.90								<b>0.227</b>	<b>0.232</b>	0.000	0.933	-	<b>0.933</b>
6	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P18	15'621	2727.840	195.369	0.000	681.365	-	598.383
8	1.00	0.90								<b>0.206</b>	<b>0.203</b>	0.000	0.878	-	<b>0.878</b>
7	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P18	15'621	2619.170	101.687	0.000	666.002	-	577.890
8	1.00	0.90								<b>0.182</b>	<b>0.186</b>	0.000	0.868	-	<b>0.868</b>
8	100 x 90		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P18	15'621	2550.970	190.941	0.000	655.660	-	496.931
8	1.00	0.90								<b>0.195</b>	<b>0.191</b>	0.000	0.758	-	<b>0.758</b>
9	100 x 90		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P18	15'621	2484.890	294.625	0.000	646.400	-	430.892
8	1.00	0.90								<b>0.210</b>	<b>0.214</b>	0.000	0.667	-	<b>0.667</b>
10	100 x 90		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P18	15'621	2457.620	434.248	0.000	642.065	-	297.806
8	1.00	0.90								<b>0.242</b>	<b>0.248</b>	0.000	0.464	-	<b>0.464</b>
11	100 x 90		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P18	15'621	2437.500	513.328	0.000	639.358	-	169.256
8	1.00	0.90								<b>0.268</b>	<b>0.267</b>	0.000	0.265	-	<b>0.265</b>
12	100 x 90		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P18	15'621	2422.320	554.733	0.000	637.399	-	86.890
8	1.00	0.90								<b>0.276</b>	<b>0.282</b>	0.000	0.136	-	<b>0.136</b>
13	100 x 90		30.00	450.00	OK	N6	N4	14-2-P18	15'621	2413.240	568.151	0.000	325.819	-	30.503
8	1.00	0.90								<b>0.284</b>	<b>0.283</b>	0.000	0.094	-	<b>0.094</b>
14	100 x 90		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P18	15'621	2405.700	568.151	0.000	635.768	-	87.458
8	1.00	0.90								<b>0.284</b>	<b>0.283</b>	0.000	0.138	-	<b>0.138</b>
15	100 x 90		30.00	450.00	OK	N6	N4	14-2-P18	15'621	2408.260	521.012	0.000	326.188	-	25.210
8	1.00	0.90								<b>0.269</b>	<b>0.268</b>	0.000	0.077	-	<b>0.077</b>
16	100 x 90		30.00	450.00	OK	N6	N4	14-2-P18	15'621	2413.000	521.766	0.000	325.818	-	30.302
8	1.00	0.90								<b>0.270</b>	<b>0.268</b>	0.000	0.093	-	<b>0.093</b>
17	100 x 90		30.00	450.00	OK	N6	N4	14-2-P18	15'621	2423.050	509.380	0.000	325.191	-	37.896
8	1.00	0.90								<b>0.266</b>	<b>0.265</b>	0.000	0.117	-	<b>0.117</b>
18	100 x 90		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P18	15'621	2437.650	492.337	0.000	639.336	-	145.188
8	1.00	0.90								<b>0.258</b>	<b>0.263</b>	0.000	0.227	-	<b>0.227</b>
19	100 x 90		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P18	15'621	2458.290	425.126	0.000	642.116	-	274.462
8	1.00	0.90								<b>0.242</b>	<b>0.243</b>	0.000	0.427	-	<b>0.427</b>
20	100 x 90		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P18	15'621	2489.740	296.816	0.000	647.048	-	384.253
8	1.00	0.90								<b>0.211</b>	<b>0.215</b>	0.000	0.594	-	<b>0.594</b>
21	100 x 90		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P18	15'621	2538.460	204.178	0.000	653.905	-	544.990
8	1.00	0.90								<b>0.195</b>	<b>0.198</b>	0.000	0.833	-	<b>0.833</b>
22	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P18	15'621	2612.230	113.360	0.000	665.026	-	598.066
8	1.00	0.90								<b>0.184</b>	<b>0.185</b>	0.000	0.899	-	<b>0.899</b>
23	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P18	15'621	2715.590	217.097	0.000	679.639	-	644.711
8	1.00	0.90								<b>0.209</b>	<b>0.210</b>	0.000	0.949	-	<b>0.949</b>
24	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P18	15'621	2796.180	307.362	0.000	691.028	-	677.711
8	1.00	0.90								<b>0.232</b>	<b>0.232</b>	0.000	0.981	-	<b>0.981</b>
25	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P18	15'621	2924.470	405.977	0.000	709.169	-	609.683
8	1.00	0.90								<b>0.263</b>	<b>0.261</b>	0.000	0.860	-	<b>0.860</b>
26	100 x 66		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P16	11'529	3073.080	503.286	0.000	566.876	-	498.288
2	1.00	0.66								<b>0.473</b>	<b>0.477</b>	0.000	0.879	-	<b>0.879</b>
27	100 x 75		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P16	12'964	3183.420	570.259	0.000	640.961	-	364.632
5	1.00	0.75								<b>0.423</b>	<b>0.433</b>	0.000	0.569	-	<b>0.569</b>
28	100 x 75		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P16	12'964	3301.660	596.528	0.000	640.961	-	162.222
5	1.00	0.75								<b>0.447</b>	<b>0.447</b>	0.000	0.253	-	<b>0.253</b>
29	100 x 95		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P18	16'418	3391.470	596.528	0.000	333.599	-	44.298
9	1.00	0.95								<b>0.311</b>	<b>0.315</b>	0.000	0.133	-	<b>0.133</b>
30	100 x 95		30.00	450.00	OK	N5	N11	14-2-P18	16'418	3374.500	581.223	0.000	787.394	-	225.532
9	1.00	0.95								<b>0.310</b>	<b>0.307</b>	0.000	0.286	-	<b>0.286</b>

SECTION CHECKING															
MEMBER	SECTION PROPERTIES		fck	fyk	CHECK	LOAD CB	LOAD CB			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	N_Rdmax	Ratio-N	Ratio-My	Ratio-Mz	Ratio-Vc	Ratio-Vs	Ratio-V
31	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P18	15'621	3343.440	533.009	0.000	763.458	-	393.796
8	1.00	0.90								<b>0.318</b>	<b>0.318</b>	0.000	0.516	-	<b>0.516</b>
32	100 x 85		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P18	14'824	3315.270	366.698	0.000	722.745	-	368.440
7	1.00	0.85								<b>0.296</b>	<b>0.295</b>	0.000	0.510	-	<b>0.510</b>
33	100 x 80		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P16	13'760	3295.290	216.054	0.000	681.916	-	269.594
6	1.00	0.80								<b>0.285</b>	<b>0.281</b>	0.000	0.395	-	<b>0.395</b>
34	100 x 75		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P16	12'964	3274.050	117.561	0.000	640.961	-	228.682
5	1.00	0.75								<b>0.278</b>	<b>0.282</b>	0.000	0.357	-	<b>0.357</b>
35	100 x 70		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P16	12'167	3255.900	42.871	0.000	599.865	-	181.314
4	1.00	0.70								<b>0.278</b>	<b>0.278</b>	0.000	0.302	-	<b>0.302</b>
36	100 x 65		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P16	11'370	3229.880	34.406	0.000	558.612	-	131.279
3	1.00	0.65								<b>0.293</b>	<b>0.296</b>	0.000	0.235	-	<b>0.235</b>
37	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P14	10'337	3216.890	57.704	0.000	517.181	-	142.844
1	1.00	0.60								<b>0.331</b>	<b>0.325</b>	0.000	0.276	-	<b>0.276</b>
38	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P14	10'337	3205.360	59.641	0.000	517.181	-	119.867
1	1.00	0.60								<b>0.330</b>	<b>0.336</b>	0.000	0.232	-	<b>0.232</b>
39	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P14	10'337	3207.110	59.641	0.000	517.181	-	217.582
1	1.00	0.60								<b>0.330</b>	<b>0.336</b>	0.000	0.421	-	<b>0.421</b>
40	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P14	10'337	3147.290	94.222	0.000	517.181	-	293.208
1	1.00	0.60								<b>0.338</b>	<b>0.335</b>	0.000	0.567	-	<b>0.567</b>
41	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P14	10'337	3151.270	140.578	0.000	517.181	-	219.067
1	1.00	0.60								<b>0.357</b>	<b>0.350</b>	0.000	0.424	-	<b>0.424</b>
42	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P14	10'337	3149.680	208.931	0.000	517.181	-	269.426
1	1.00	0.60								<b>0.386</b>	<b>0.388</b>	0.000	0.521	-	<b>0.521</b>
43	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P14	10'337	3151.280	234.993	0.000	517.181	-	191.853
1	1.00	0.60								<b>0.401</b>	<b>0.398</b>	0.000	0.371	-	<b>0.371</b>
44	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	3152.940	234.993	0.000	517.181	-	177.163
1	1.00	0.60								<b>0.401</b>	<b>0.398</b>	0.000	0.343	-	<b>0.343</b>
45	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	3139.000	225.783	0.000	517.181	-	238.792
1	1.00	0.60								<b>0.392</b>	<b>0.400</b>	0.000	0.462	-	<b>0.462</b>
46	100 x 60	100 x 60	30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	3120.250	188.713	0.000	517.181	-	284.843
1	1.00	0.60								<b>0.373</b>	<b>0.380</b>	0.000	0.551	-	<b>0.551</b>
47	100 x 60	100 x 60	30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	3098.590	131.480	0.000	517.181	-	314.982
1	1.00	0.60								<b>0.347</b>	<b>0.350</b>	0.000	0.609	-	<b>0.609</b>
48	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P14	10'337	34.464	91.312	0.000	517.181	-	329.101
1	1.00	0.60								<b>0.384</b>	<b>0.376</b>	0.000	0.636	-	<b>0.636</b>
49	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P14	10'337	27.219	103.625	0.000	517.181	-	327.320
1	1.00	0.60								<b>0.444</b>	<b>0.440</b>	0.000	0.633	-	<b>0.633</b>
50	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	10'337	21.722	114.116	0.000	517.181	-	309.984
1	1.00	0.60								<b>0.495</b>	<b>0.494</b>	0.000	0.599	-	<b>0.599</b>
51	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	10'337	18.185	119.429	0.000	517.181	-	277.652
1	1.00	0.60								<b>0.533</b>	<b>0.522</b>	0.000	0.537	-	<b>0.537</b>
52	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	10'337	16.661	122.199	0.000	517.181	-	231.089
1	1.00	0.60								<b>0.532</b>	<b>0.536</b>	0.000	0.447	-	<b>0.447</b>
53	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	10'337	16.662	122.199	0.000	517.181	-	232.338
1	1.00	0.60								<b>0.532</b>	<b>0.536</b>	0.000	0.449	-	<b>0.449</b>
54	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	10'337	18.190	119.415	0.000	517.181	-	278.885
1	1.00	0.60								<b>0.533</b>	<b>0.522</b>	0.000	0.539	-	<b>0.539</b>
55	100 x 60		30.00	450.00	OK	N2	N6	14-2-P14	10'337	21.729	114.092	0.000	517.181	-	311.185
1	1.00	0.60								<b>0.495</b>	<b>0.493</b>	0.000	0.602	-	<b>0.602</b>
56	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P14	10'337	27.230	103.584	0.000	517.181	-	328.472
1	1.00	0.60								<b>0.445</b>	<b>0.440</b>	0.000	0.635	-	<b>0.635</b>
57	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P14	10'337	34.476	91.265	0.000	517.181	-	330.190
1	1.00	0.60								<b>0.384</b>	<b>0.376</b>	0.000	0.638	-	<b>0.638</b>
58	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	3099.300	134.834	0.000	517.181	-	315.993
1	1.00	0.60								<b>0.348</b>	<b>0.351</b>	0.000	0.611	-	<b>0.611</b>
59	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	3121.070	192.512	0.000	517.181	-	285.764
1	1.00	0.60								<b>0.376</b>	<b>0.377</b>	0.000	0.553	-	<b>0.553</b>
60	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	3139.910	229.977	0.000	517.181	-	239.609
1	1.00	0.60								<b>0.396</b>	<b>0.398</b>	0.000	0.463	-	<b>0.463</b>

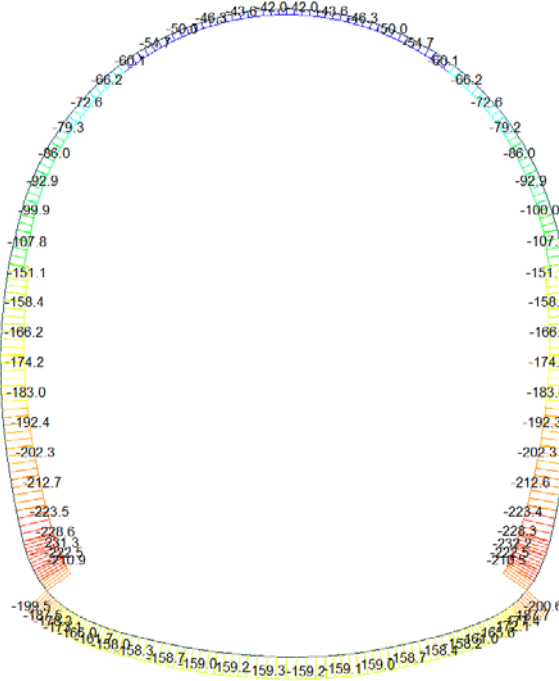
SECTION CHECKING															
MEMBER	SECTION PROPERTIES		fck	fyk	CHECK	LOAD CB	LOAD CB	Rebar	N_Rdmax	N_Ed	M_Edy	M_Edz	V_Rdc	V_Rds	V_Ed
SECTION	Bc (m)	Hc (m)	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]		M-N iteration	V			Ratio-N	Ratio-My	Ratio-Mz	Ratio-Vc	Ratio-Vs	Ratio-V
61	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N6	14-2-P14	10'337	3153.940	239.528	0.000	517.181	-	177.867
1	1.00	0.60								0.401	0.406	0.000	0.344	-	0.344
62	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P14	10'337	3152.350	239.528	0.000	517.181	-	191.272
1	1.00	0.60								0.401	0.406	0.000	0.370	-	0.370
63	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P14	10'337	3150.810	213.747	0.000	517.181	-	268.976
1	1.00	0.60								0.390	0.388	0.000	0.520	-	0.520
64	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P14	10'337	3141.620	145.612	0.000	517.181	-	339.052
1	1.00	0.60								0.356	0.363	0.000	0.656	-	0.656
65	100 x 60		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P14	10'337	3147.040	38.956	0.000	517.181	-	183.112
1	1.00	0.60								0.317	0.321	0.000	0.354	-	0.354
66	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P14	10'337	3207.820	53.939	0.000	517.181	-	217.485
1	1.00	0.60								0.329	0.324	0.000	0.421	-	0.421
67	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P14	10'337	3216.170	51.965	0.000	517.181	-	119.795
1	1.00	0.60								0.328	0.334	0.000	0.232	-	0.232
68	100 x 60		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P14	10'337	3217.610	51.965	0.000	517.181	-	142.879
1	1.00	0.60								0.328	0.334	0.000	0.276	-	0.276
69	100 x 65		30.00	450.00	OK	N6	N6	14-2-P16	11'370	3230.610	28.650	0.000	558.612	-	131.862
3	1.00	0.65								0.292	0.290	0.000	0.236	-	0.236
70	100 x 70		30.00	450.00	OK	N6	N5	14-2-P16	12'167	3256.690	49.826	0.000	599.865	-	182.554
4	1.00	0.70								0.279	0.280	0.000	0.304	-	0.304
71	100 x 75		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P16	12'964	3274.910	125.542	0.000	640.961	-	230.599
5	1.00	0.75								0.280	0.280	0.000	0.360	-	0.360
72	100 x 80		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P16	13'760	3296.260	225.364	0.000	681.916	-	272.164
6	1.00	0.80								0.287	0.282	0.000	0.399	-	0.399
73	100 x 85		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P18	14'824	3316.310	377.615	0.000	722.745	-	371.613
7	1.00	0.85								0.298	0.301	0.000	0.514	-	0.514
74	100 x 90		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P18	15'621	3344.630	545.755	0.000	763.458	-	397.439
8	1.00	0.90								0.324	0.318	0.000	0.521	-	0.521
75	100 x 95		30.00	450.00	OK	N5	N5	14-2-P18	16'418	3371.870	610.664	0.000	787.016	-	295.921
9	1.00	0.95								0.315	0.316	0.000	0.376	-	0.376
76	100 x 95		30.00	450.00	OK	N5	N11	14-2-P18	16'418	3386.050	610.664	0.000	333.379	-	50.663
9	1.00	0.95								0.314	0.319	0.000	0.152	-	0.152

A.4.5.12. Rebarred sections ratio 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
52(M+N) / 64(V)	100 x 60		30.00	360.00	OK	N22	N21	14-2-P14	12'418	2362.780	187.623	0.000	546.868	-	269.589
1	1.00	0.55								0.262	0.265	0.000	0.493	-	0.493
26(M+N) / 3(V)	100 x 66		30.00	360.00	OK	N21	N22	14-2-P16	13'916	2393.040	371.056	0.000	591.236	-	428.329
2	1.00	0.61								0.316	0.316	0.000	0.724	-	0.724
36(M+N) / 69(V)	100 x 65		30.00	360.00	OK	N21	N22	14-2-P16	13'703	2523.400	35.279	0.000	608.938	-	101.332
3	1.00	0.60								0.193	0.192	0.000	0.166	-	0.166
35(M+N) / 70(V)	100 x 70		30.00	360.00	OK	N21	N21	14-2-P16	14'766	2541.250	13.005	0.000	623.963	-	140.959
4	1.00	0.65								0.175	0.178	0.000	0.226	-	0.226
1(M+N) / 27(V)	100 x 75		30.00	360.00	OK	N21	N22	14-2-P16	15'828	2571.120	439.773	0.000	627.666	-	276.202
5	1.00	0.70								0.295	0.290	0.000	0.440	-	0.440
72(M+N) / 72(V)	100 x 80		30.00	360.00	OK	N21	N21	14-2-P16	16'891	2570.130	151.282	0.000	653.089	-	210.488
6	1.00	0.75								0.180	0.177	0.000	0.322	-	0.322
73(M+N) / 73(V)	100 x 85		30.00	360.00	OK	N21	N21	14-2-P18	18'205	2584.530	268.738	0.000	691.516	-	288.893
7	1.00	0.80								0.188	0.190	0.000	0.418	-	0.418
74(M+N) / 24(V)	100 x 90		30.00	360.00	OK	N21	N22	14-2-P18	19'267	2605.340	399.502	0.000	646.146	-	508.393
8	1.00	0.85								0.202	0.206	0.000	0.787	-	0.787
75(M+N) / 75(V)	100 x 95		30.00	360.00	OK	N21	N21	14-2-P18	20'330	2626.030	450.449	0.000	721.270	-	232.827
9	1.00	0.90								0.202	0.198	0.000	0.323	-	0.323

A.4.5.13. Load combination SLE 1

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 1



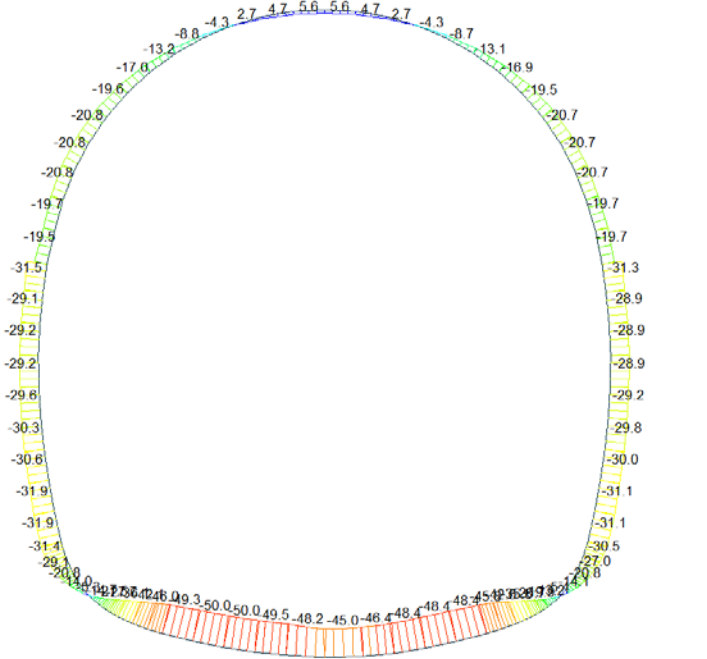
midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

Blue	-41.55
Cyan	-58.89
Green	-76.22
Light Green	-93.55
Yellow-Green	-110.88
Yellow	-128.21
Orange-Yellow	-145.54
Orange	-162.88
Red-Orange	-180.21
Red	-197.54
Dark Red	-214.87
Black	-232.20

ST: NSLE - 1  
MAX : 52  
MIN : 29  
FILE: GA\_15  
UNIT: kN  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 1



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

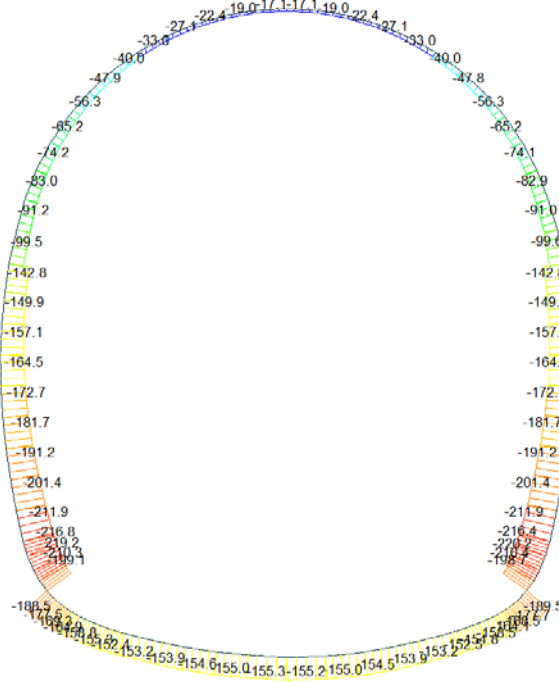
MOMENT-y

Blue	5.50
Cyan	0.00
Green	-4.53
Light Green	-9.59
Yellow-Green	-14.64
Yellow	-19.70
Orange-Yellow	-24.75
Orange	-29.81
Red-Orange	-34.86
Red	-39.92
Dark Red	-44.98
Black	-50.03

ST: NSLE - 1  
MAX : 52  
MIN : 11  
FILE: GA\_15  
UNIT: kNm  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

A.4.5.14. Load combination SLE 2

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 2



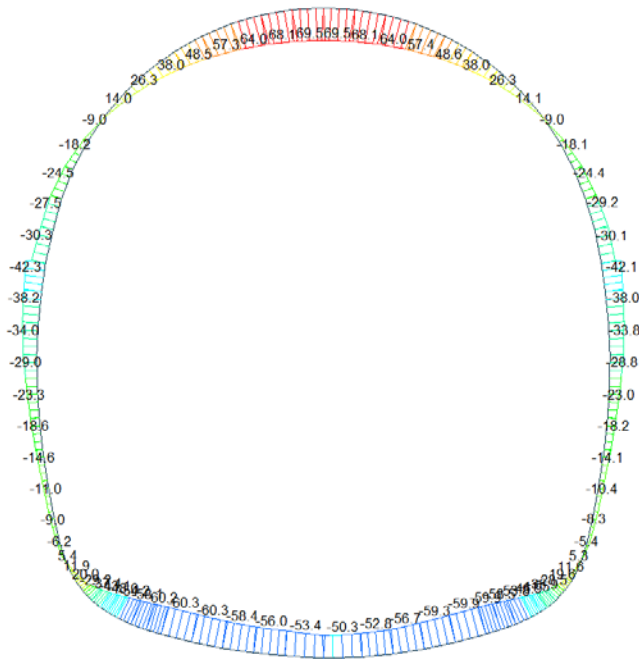
midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

-16.70
-35.20
-53.70
-72.20
-90.70
-109.20
-127.70
-146.20
-164.70
-183.20
-201.70
-220.20

ST: NSLE - 2  
MAX : 52  
MIN : 29  
FILE: GA\_15  
UNIT: kN  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 2



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

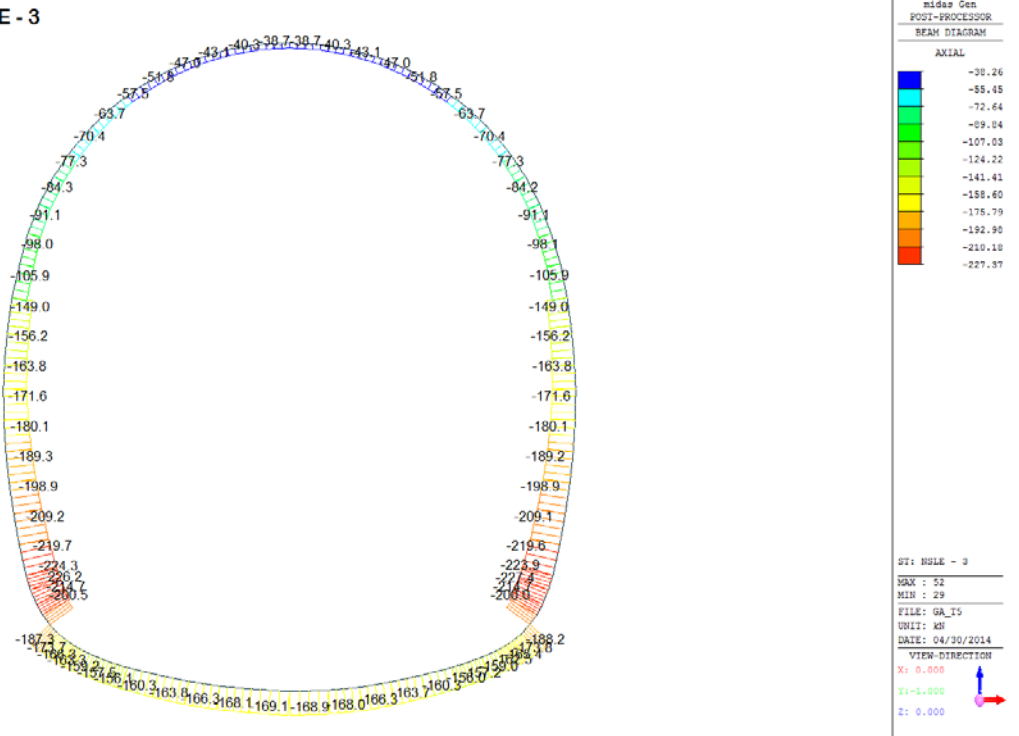
MOMENT-y

69.48
57.69
45.89
34.09
22.29
10.49
0.00
-13.11
-24.90
-36.70
-48.50
-60.30

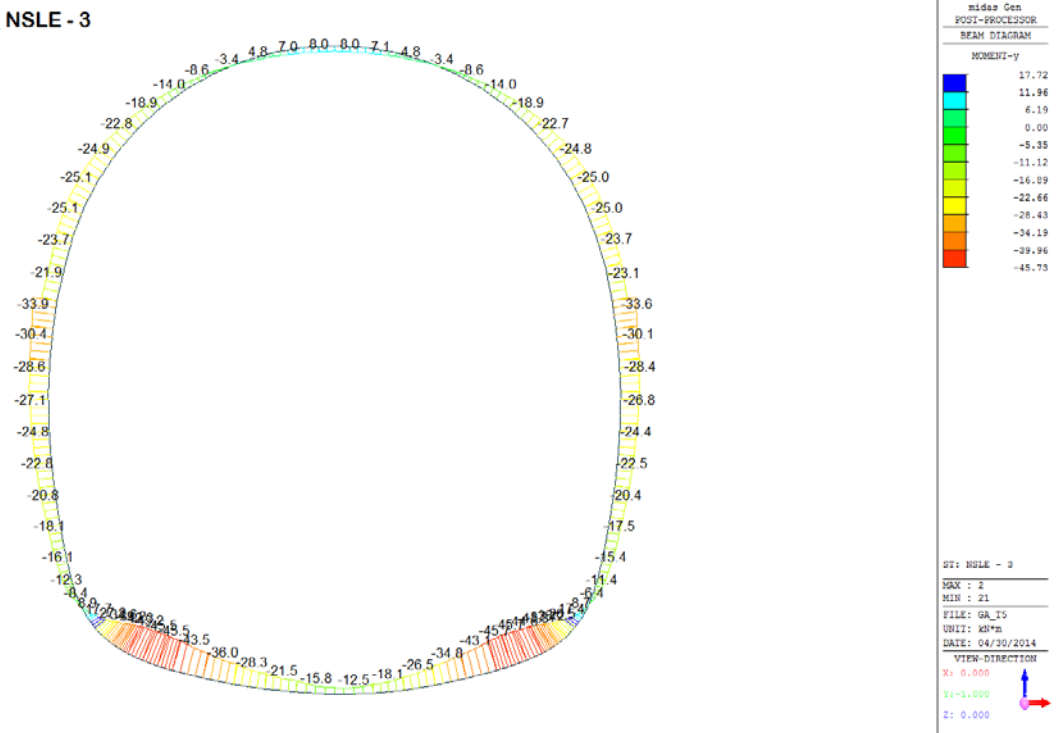
ST: NSLE - 2  
MAX : 52  
MIN : 10  
FILE: GA\_15  
UNIT: kNm  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: -1.000  
Z: 0.000

A.4.5.15. Load combination SLE 3

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 3

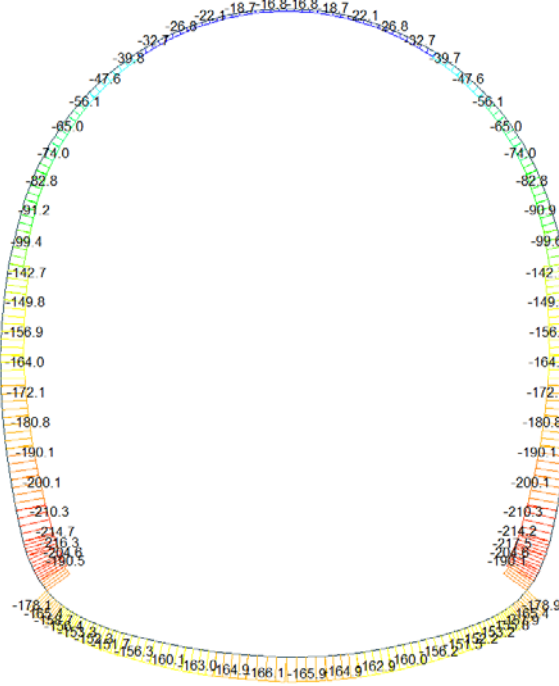


Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 3



A.4.5.16. Load combination SLE 4

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 4



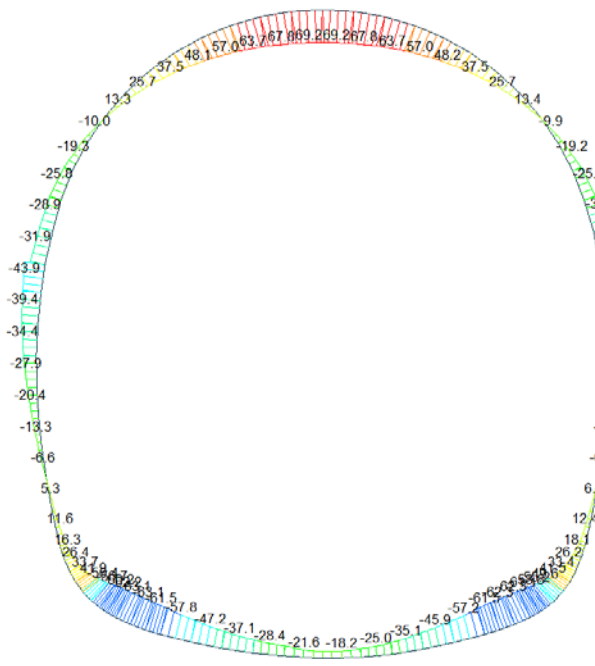
midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

Blue	-16.37
Light Blue	-34.66
Light Green	-52.94
Green	-71.23
Yellow-Green	-89.52
Yellow	-107.80
Orange	-126.09
Light Red	-144.38
Red	-162.66
Dark Red	-180.95
Very Dark Red	-199.23
Black	-217.52

ST: NSLE - 4  
MAX : 52  
MIN : 29  
FILE: GA\_15  
UNIT: kN  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 4



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

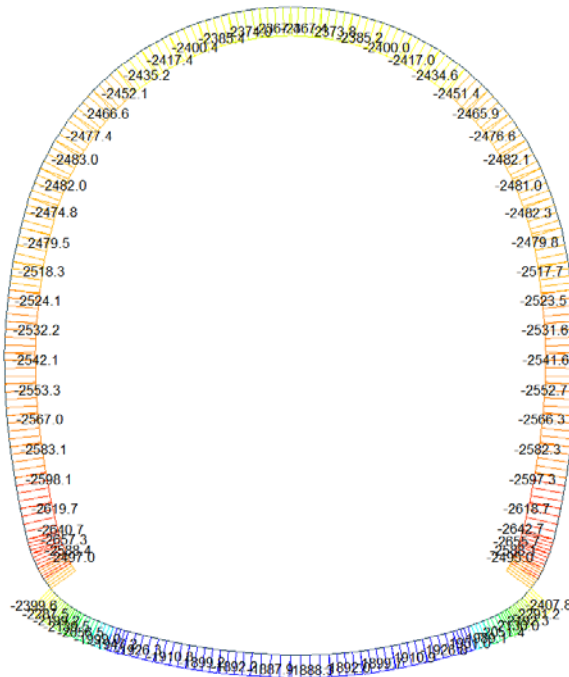
MOMENT-y

Red	69.22
Dark Red	57.20
Red-Orange	45.17
Orange	33.15
Yellow-Orange	21.12
Yellow	9.10
Light Green	0.00
Green	-14.95
Light Blue	-26.98
Blue	-39.01
Dark Blue	-51.03
Very Dark Blue	-63.06

ST: NSLE - 4  
MAX : 52  
MIN : 0  
FILE: GA\_15  
UNIT: kNm  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

A.4.5.17. Load combination SLE 5

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 5



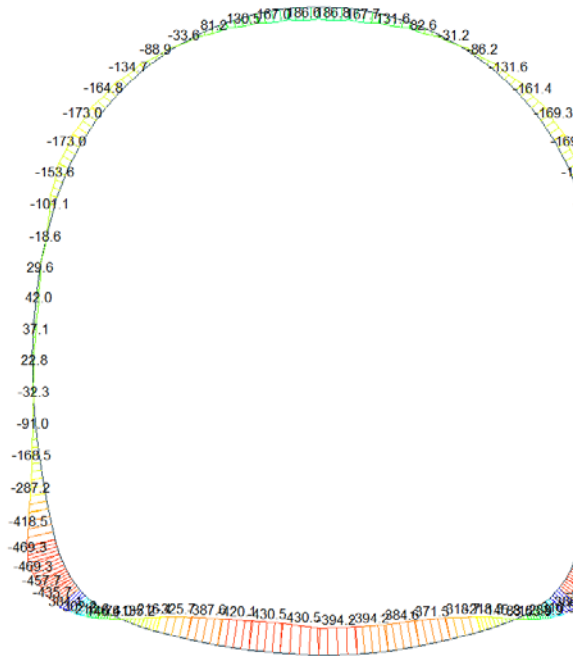
midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

Blue	-1096.13
Cyan	-1956.23
Green	-2026.33
Light Green	-2096.43
Yellow-Green	-2166.53
Yellow	-2236.64
Light Yellow	-2306.74
Orange	-2376.84
Red-Orange	-2446.94
Red	-2517.05
Dark Red	-2587.15
Black	-2657.25

ST: NSLE - 5  
MAX: 14  
MIN: 76  
FILE: GA\_15  
UNIT: kN  
DATE: 04/30/2014  
VIEW DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 5



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

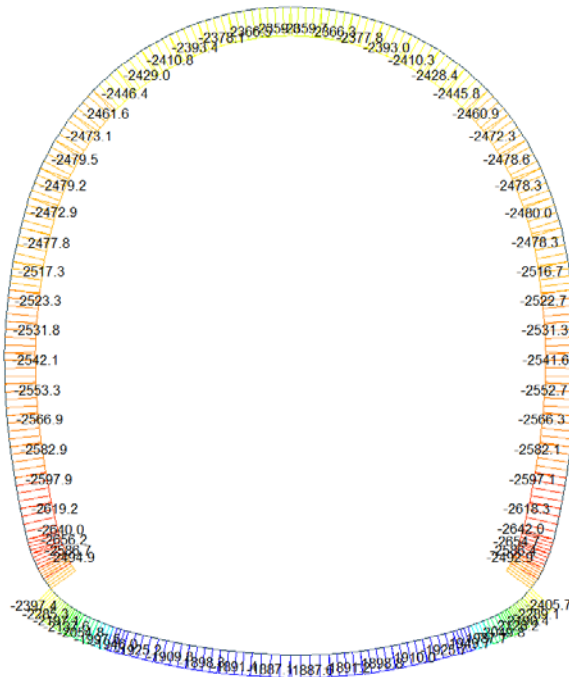
Blue	308.15
Cyan	308.38
Green	230.61
Light Green	152.84
Yellow-Green	75.07
Yellow	0.00
Light Yellow	-80.47
Orange	-158.25
Red-Orange	-236.02
Red	-313.79
Dark Red	-391.56
Black	-469.33

ST: NSLE - 5  
MAX: 26  
MIN: 76  
FILE: GA\_15  
UNIT: kNm  
DATE: 04/30/2014  
VIEW DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000



A.4.5.18. Load combination SLE 6

Beam Diagram\_Fx / ST\_NSLE - 6



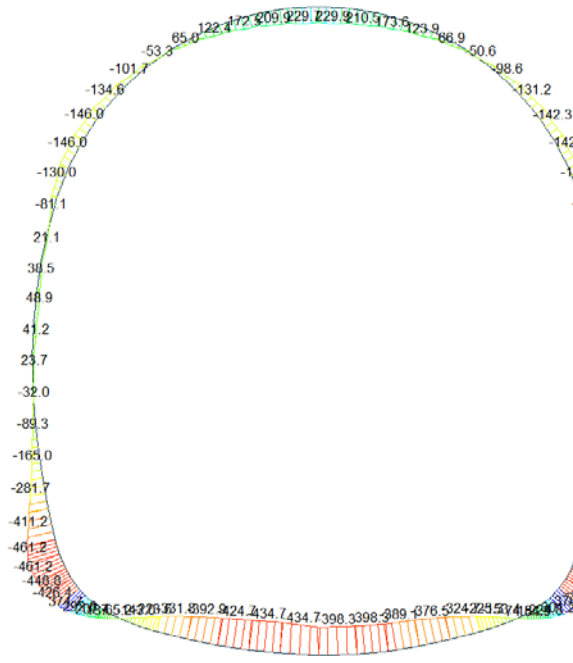
midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

AXIAL

Blue	-1000.37
Cyan	-1955.44
Green	-2025.51
Light Green	-2095.59
Yellow-Green	-2165.66
Yellow	-2235.73
Light Yellow	-2305.80
Orange	-2375.87
Light Orange	-2445.95
Red-Orange	-2516.02
Red	-2586.09
Dark Red	-2656.16

ST: NSLE - 6  
MAX: 14  
MIN: 76  
FILE: GA\_15  
UNIT: kN  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

Beam Diagram\_My / ST\_NSLE - 6



midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

MOMENT-y

Blue	376.07
Cyan	300.69
Green	224.50
Light Green	148.32
Yellow-Green	72.13
Yellow	0.00
Light Yellow	-80.24
Orange	-156.43
Light Orange	-232.61
Red-Orange	-300.00
Red	-384.99
Dark Red	-461.17

ST: NSLE - 6  
MAX: 26  
MIN: 75  
FILE: GA\_15  
UNIT: kNm  
DATE: 04/30/2014  
VIEW-DIRECTION  
X: 0.000  
Y: 1.000  
Z: 0.000

A.4.5.19. 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 75		SLE - N5	1.48	2.90	OK	-8.38	-18.00	OK	4.47	360.00	OK
5	1.00	0.75										
2	100 x 75		SLE - N5	1.37	2.90	OK	-8.02	-18.00	OK	4.00	360.00	OK
5	1.00	0.75										
3	100 x 66		SLE - N5	1.72	2.90	OK	-8.98	-18.00	OK	4.84	360.00	OK
2	1.00	0.66										
4	100 x 90		SLE - N5	0.29	2.90	OK	-4.81	-18.00	OK	1.42	360.00	OK
8	1.00	0.90										
5	100 x 90		SLE - N5	0.32	2.90	OK	-4.07	-18.00	OK	1.59	360.00	OK
8	1.00	0.90										
6	100 x 90		SLE - N5	0.34	2.90	OK	-3.49	-18.00	OK	1.68	360.00	OK
8	1.00	0.90										
7	100 x 90		SLE - N5	0.35	2.90	OK	-2.85	-18.00	OK	1.74	360.00	OK
8	1.00	0.90										
8	100 x 90		SLE - N6	0.35	2.90	OK	-3.30	-18.00	OK	1.75	360.00	OK
8	1.00	0.90										
9	100 x 90		SLE - N6	0.34	2.90	OK	-3.84	-18.00	OK	1.67	360.00	OK
8	1.00	0.90										
10	100 x 90		SLE - N6	0.34	2.90	OK	-4.61	-18.00	OK	1.59	360.00	OK
8	1.00	0.90										
11	100 x 90		SLE - N6	0.81	2.90	OK	-5.05	-18.00	OK	2.66	360.00	OK
8	1.00	0.90										
12	100 x 90		SLE - N6	1.05	2.90	OK	-5.27	-18.00	OK	3.98	360.00	OK
8	1.00	0.90										
13	100 x 90		SLE - N6	1.13	2.90	OK	-5.33	-18.00	OK	4.42	360.00	OK
8	1.00	0.90										
14	100 x 90		SLE - N6	1.14	2.90	OK	-5.33	-18.00	OK	4.46	360.00	OK
8	1.00	0.90										
15	100 x 90		SLE - N6	0.87	2.90	OK	-5.06	-18.00	OK	3.02	360.00	OK
8	1.00	0.90										
16	100 x 90		SLE - N6	0.87	2.90	OK	-5.06	-18.00	OK	2.99	360.00	OK
8	1.00	0.90										
17	100 x 90		SLE - N6	0.79	2.90	OK	-5.01	-18.00	OK	2.58	360.00	OK
8	1.00	0.90										
18	100 x 90		SLE - N6	0.69	2.90	OK	-4.93	-18.00	OK	2.01	360.00	OK
8	1.00	0.90										
19	100 x 90		SLE - N6	0.32	2.90	OK	-4.56	-18.00	OK	1.57	360.00	OK
8	1.00	0.90										
20	100 x 90		SLE - N6	0.34	2.90	OK	-3.86	-18.00	OK	1.67	360.00	OK
8	1.00	0.90										
21	100 x 90		SLE - N6	0.35	2.90	OK	-3.37	-18.00	OK	1.72	360.00	OK
8	1.00	0.90										
22	100 x 90		SLE - N5	0.34	2.90	OK	-2.92	-18.00	OK	1.69	360.00	OK
8	1.00	0.90										
23	100 x 90		SLE - N5	0.33	2.90	OK	-3.60	-18.00	OK	1.64	360.00	OK
8	1.00	0.90										
24	100 x 90		SLE - N5	0.31	2.90	OK	-4.19	-18.00	OK	1.54	360.00	OK
8	1.00	0.90										
25	100 x 90		SLE - N5	0.28	2.90	OK	-4.87	-18.00	OK	1.36	360.00	OK
8	1.00	0.90										
26	100 x 66		SLE - N5	1.73	2.90	OK	-9.02	-18.00	OK	4.91	360.00	OK
2	1.00	0.66										
27	100 x 75		SLE - N5	1.40	2.90	OK	-8.04	-18.00	OK	4.16	360.00	OK
5	1.00	0.75										
28	100 x 75		SLE - N5	1.49	2.90	OK	-8.39	-18.00	OK	4.53	360.00	OK
5	1.00	0.75										
29	100 x 95		SLE - N5	0.28	2.90	OK	-5.87	-18.00	OK	0.00	360.00	OK
9	1.00	0.95										
30	100 x 95		SLE - N5	0.22	2.90	OK	-5.78	-18.00	OK	0.00	360.00	OK
9	1.00	0.95										

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 90		SLE - N5	0.60	2.90	OK	-7.15	-18.00	OK	0.30	360.00	OK
8	1.00	0.90										
32	100 x 85		SLE - N5	0.07	2.90	OK	-5.41	-18.00	OK	0.14	360.00	OK
7	1.00	0.85										
33	100 x 80		SLE - N5	0.10	2.90	OK	-4.78	-18.00	OK	0.29	360.00	OK
6	1.00	0.80										
34	100 x 75		SLE - N5	0.14	2.90	OK	-4.37	-18.00	OK	0.43	360.00	OK
5	1.00	0.75										
35	100 x 70		SLE - N6	0.18	2.90	OK	-4.02	-18.00	OK	0.59	360.00	OK
4	1.00	0.70										
36	100 x 65		SLE - N6	0.24	2.90	OK	-4.22	-18.00	OK	0.95	360.00	OK
3	1.00	0.65										
37	100 x 60		SLE - N6	0.41	2.90	OK	-4.91	-18.00	OK	1.76	360.00	OK
1	1.00	0.60										
38	100 x 60		SLE - N6	0.49	2.90	OK	-4.93	-18.00	OK	2.17	360.00	OK
1	1.00	0.60										
39	100 x 60		SLE - N6	0.54	2.90	OK	-4.94	-18.00	OK	2.39	360.00	OK
1	1.00	0.60										
40	100 x 60		SLE - N5	0.40	2.90	OK	-5.28	-18.00	OK	1.78	360.00	OK
1	1.00	0.60										
41	100 x 60		SLE - N5	0.34	2.90	OK	-5.88	-18.00	OK	1.51	360.00	OK
1	1.00	0.60										
42	100 x 60		SLE - N5	0.24	2.90	OK	-6.78	-18.00	OK	0.95	360.00	OK
1	1.00	0.60										
43	100 x 60		SLE - N5	0.25	2.90	OK	-7.12	-18.00	OK	1.01	360.00	OK
1	1.00	0.60										
44	100 x 60		SLE - N5	0.25	2.90	OK	-7.12	-18.00	OK	1.02	360.00	OK
1	1.00	0.60										
45	100 x 60		SLE - N5	0.41	2.90	OK	-6.99	-18.00	OK	1.93	360.00	OK
1	1.00	0.60										
46	100 x 60		SLE - N5	0.66	2.90	OK	-6.48	-18.00	OK	3.20	360.00	OK
1	1.00	0.60										
47	100 x 60	100 x 60	SLE - N5	0.90	2.90	OK	-5.71	-18.00	OK	4.41	360.00	OK
1	1.00	0.60										
48	100 x 60		SLE - N6	1.12	2.90	OK	-5.42	-18.00	OK	5.48	360.00	OK
1	1.00	0.60										
49	100 x 60		SLE - N6	1.30	2.90	OK	-6.36	-18.00	OK	6.37	360.00	OK
1	1.00	0.60										
50	100 x 60		SLE - N5	1.43	2.90	OK	-7.14	-18.00	OK	7.03	360.00	OK
1	1.00	0.60										
51	100 x 60		SLE - N5	1.51	2.90	OK	-7.67	-18.00	OK	7.44	360.00	OK
1	1.00	0.60										
52	100 x 60		SLE - N5	1.54	2.90	OK	-7.86	-18.00	OK	7.58	360.00	OK
1	1.00	0.60										
53	100 x 60		SLE - N5	1.54	2.90	OK	-7.86	-18.00	OK	7.58	360.00	OK
1	1.00	0.60										
54	100 x 60		SLE - N5	1.51	2.90	OK	-7.66	-18.00	OK	7.44	360.00	OK
1	1.00	0.60										
55	100 x 60		SLE - N5	1.43	2.90	OK	-7.12	-18.00	OK	7.03	360.00	OK
1	1.00	0.60										
56	100 x 60		SLE - N6	1.30	2.90	OK	-6.33	-18.00	OK	6.36	360.00	OK
1	1.00	0.60										
57	100 x 60		SLE - N6	1.12	2.90	OK	-5.39	-18.00	OK	5.48	360.00	OK
1	1.00	0.60										
58	100 x 60		SLE - N5	0.90	2.90	OK	-5.75	-18.00	OK	4.40	360.00	OK
1	1.00	0.60										
59	100 x 60		SLE - N5	0.66	2.90	OK	-6.53	-18.00	OK	3.20	360.00	OK
1	1.00	0.60										
60	100 x 60		SLE - N5	0.41	2.90	OK	-7.04	-18.00	OK	1.92	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 - N5	0.25	2.90	OK	-7.19	-18.00	OK	1.03	360.00	OK
1	1.00	0.60										
62	100 x 60		SLE - N5	0.25	2.90	OK	-7.18	-18.00	OK	1.02	360.00	OK
1	1.00	0.60										
63	100 x 60		SLE - N5	0.24	2.90	OK	-6.84	-18.00	OK	0.96	360.00	OK
1	1.00	0.60										
64	100 x 60		SLE - N5	0.31	2.90	OK	-5.94	-18.00	OK	1.37	360.00	OK
1	1.00	0.60										
65	100 x 60		SLE - N5	0.40	2.90	OK	-4.55	-18.00	OK	1.80	360.00	OK
1	1.00	0.60										
66	100 x 60		SLE - N6	0.54	2.90	OK	-4.86	-18.00	OK	2.41	360.00	OK
1	1.00	0.60										
67	100 x 60		SLE - N6	0.50	2.90	OK	-4.86	-18.00	OK	2.19	360.00	OK
1	1.00	0.60										
68	100 x 60		SLE - N6	0.42	2.90	OK	-4.83	-18.00	OK	1.78	360.00	OK
1	1.00	0.60										
69	100 x 65		SLE - N6	0.24	2.90	OK	-4.15	-18.00	OK	0.97	360.00	OK
3	1.00	0.65										
70	100 x 70		SLE - N6	0.18	2.90	OK	-4.08	-18.00	OK	0.62	360.00	OK
4	1.00	0.70										
71	100 x 75		SLE - N5	0.15	2.90	OK	-4.43	-18.00	OK	0.46	360.00	OK
5	1.00	0.75										
72	100 x 80		SLE - N5	0.11	2.90	OK	-4.85	-18.00	OK	0.32	360.00	OK
6	1.00	0.80										
73	100 x 85		SLE - N5	0.08	2.90	OK	-5.48	-18.00	OK	0.17	360.00	OK
7	1.00	0.85										
74	100 x 90		SLE - N5	0.22	2.90	OK	-6.04	-18.00	OK	0.08	360.00	OK
8	1.00	0.90										
75	100 x 95		SLE - N5	0.37	2.90	OK	-5.93	-18.00	OK	0.00	360.00	OK
9	1.00	0.95										
76	100 x 95		SLE - N5	0.36	2.90	OK	-5.94	-18.00	OK	0.00	360.00	OK
9	1.00	0.95										

## **ANHANG 5 - ZWISCHENPLATTE**

Der Anhang 5 behandelt die Nachweise der GZT und GZG der Zwischenplatte.

## **APPENDICE 5 – SOLETTA INTERMEDIA**

L'appendice 5 contiene le verifiche sezionali allo SLU e SLE svolte sulle solette intermedie.

## 1 EINFÜHRUNG

Dieser Bericht behandelt die Dimensionierung der Zwischendecke des Zugangstunnels.

Die tragende Struktur hat eine Lichtweite von ca. 8.3 m und liegt auf der Innenschale des Tunnels auf, wie aus der folgenden Abbildung hervorgeht.

## 1 INTRODUZIONE

Il presente allegato tratta il dimensionamento della soletta intermedia prevista nella Galleria di Accesso.

La struttura ha una luce di circa 8.3 m ed è appoggiata agli estremi sul rivestimento definitivo della galleria, come illustrato nella seguente figura.

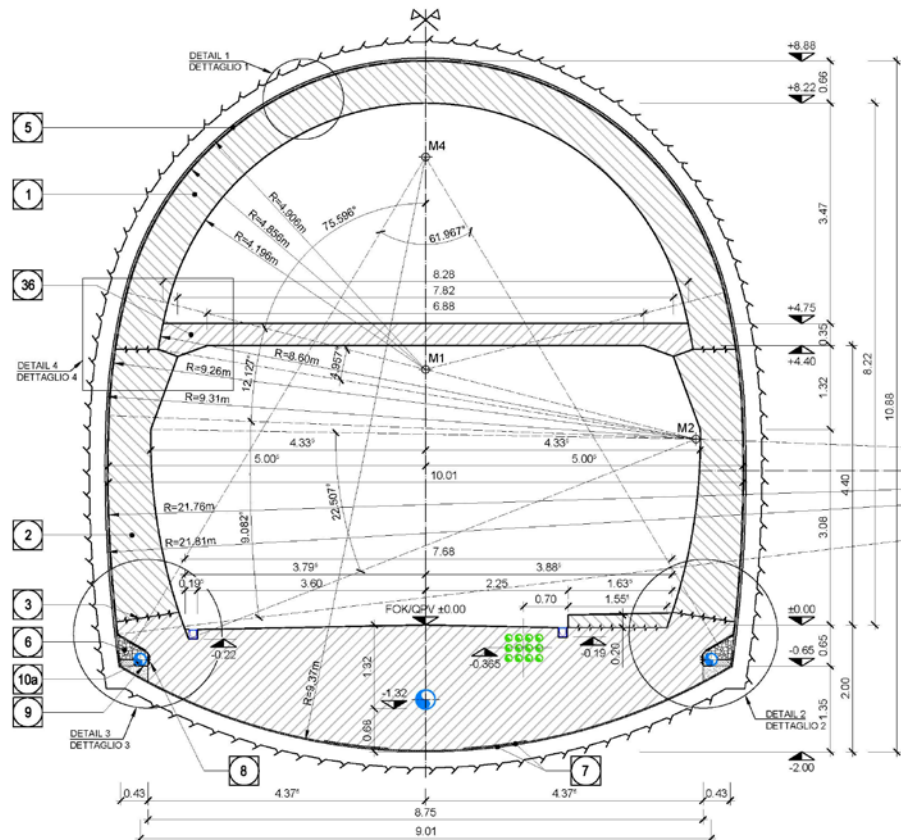


Abbildung 41: Darstellung der Zwischenplatte

Illustrazione 41: Rappresentazione della soletta intermedia

## 2 NORMEN UND RICHTLINIEN

- [1] D.M. Infr. e Trasp. 28 ottobre 2005, "Sicurezza nelle gallerie ferroviarie. Analisi dei rischi - Misure di prevenzione e protezione - Approvazione dei progetti".
- [2] NTC 2008 del 14 gennaio 2008, "Norme tecniche delle Costruzioni D. Min. Infrastrutture".
- [3] UNI EN 1992-1-1:2005 „Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“
- [4] UNI EN 1992-1-2:2005 „Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall“
- [5] UNI 11076 vom 1.Juli 2003, „Prüfmethoden zur

## 2 NORMATIVA

- [1] D.M. Infr. e Trasp. 28 ottobre 2005, "Sicurezza nelle gallerie ferroviarie. Analisi dei rischi - Misure di prevenzione e protezione - Approvazione dei progetti".
- [2] NTC 2008 del 14 gennaio 2008, "Norme tecniche delle Costruzioni D. Min. Infrastrutture".
- [3] UNI EN 1992-1-1:2005 "Progettazione delle strutture in calcestruzzo Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici"
- [4] UNI EN 1992-1-2:2005 "Progettazione delle strutture in calcestruzzo Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio"
- [5] UNI 11076 del 1 luglio 2003, "Modalità di prova per la

Bewertung der baulichen Brandschutz-Maßnahmen für Decken von Untertagebauwerken im Brandfall.“

valutazione del comportamento di protettivi applicati a soffitti di opere sotterranee, in condizioni di incendi“.

### 3 MATERIALIEN

#### 3.1 BETON

Für die Dimensionierung der Decke ist ein Beton der Festigkeitsklasse C30/37 mit folgenden Eigenschaften zu berücksichtigen:

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

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

Hierbei sind:

- $E_{cm}$  ist der Mittelwert des Sekantenmoduls
- $f_{ck}$  ist die charakteristische Druckfestigkeit des Betons nach 28 Tagen

#### 3.2 BEWEHRUNGSSTAHL

Für die Dimensionierung der Decke wird Baustahl des Typs B450C verwendet:

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

$$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$$

Hierbei ist:

- $E_s$  ist das Elastizitätsmodul
- $f_{yk}$  – charakteristischer Wert der Streckgrenze des Betonstahls

### 4 BERECHNUNGSMODELL

Das Berechnungsmodell der Innenschale ist der eines Trägers auf zwei Stützen mit 8.3m Stützweite.

#### 4.1 BELASTUNGSANALYSE

Anschließend werden die zur Dimensionierung der Innenschale anzuwendenden Belastungen festgelegt.

##### 4.1.1 Eigengewicht G1

Die für die Berechnung des Eigengewichts verwendete Querschnittsfläche pro Tunnelmeter basiert auf den Realmaßen der Konstruktion.

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

##### 4.1.2 Lüftung Q1

Für die Dimensionierung der Innenschale ist eine Sonderlast

### 3 MATERIALI

#### 3.1 CALCESTRUZZO

Per il dimensionamento della soletta si considera un calcestruzzo con classe di resistenza C30/37 con le seguenti caratteristiche:

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

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

Dove:

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

#### 3.2 ACCIAIO DA ARMATURA

Per il dimensionamento della soletta si utilizza l'acciaio tipo B450C:

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

$$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$$

dove:

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

### 4 MODELLO DI CALCOLO

Lo schema di calcolo della soletta intermedia è di trave su due appoggi con luce pari a 8.3m.

#### 4.1 ANALISI DEI CARICHI

In seguito si definiscono le azioni da utilizzare nel dimensionamento della soletta intermedia

##### 4.1.1 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  $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ .

##### 4.1.2 Ventilazione Q1

Per il dimensionamento delle solette intermedie si è adottato

von  $\pm 20 \text{ kN/m}^2$  (Szenario N), eine häufige Last von  $+9.27 \text{ kN/m}^2$  (Szenario SZ 21), eine seltene Last von  $-5.90 \text{ kN/m}^2$  (Szenario N) und eine Ermüdungslast von  $+6.56 \text{ kN/m}^2$  (Szenario SZ 14) angewendet worden. Per Konvention werden die nach oben wirkenden Lasten mit dem Zeichen +, und die nach unten wirkenden mit dem Zeichen - gekennzeichnet.

#### 4.1.3 Nutzung Q2

Für die Dimensionierung der Innenschale ist eine wechselnde Last von  $-4.0 \text{ kN/m}^2$  angewendet worden. Per Konvention werden die nach oben wirkenden Lasten mit dem Zeichen +, und die nach unten wirkenden mit dem Zeichen - gekennzeichnet.

#### 4.1.4 Brand A1

Gemäß den Vorschriften des MD 28/10/2005 Sicherheit von Eisenbahntunneln wird eine Standfestigkeit aller Bauwerke angesichts der Temperatur-Zeitkurve laut UNI 11076 gewährleistet.

##### 4.1.4.1 Temperatur-Zeitkurve im Tunnelbau [UNI 11076]

Die Feuerexposition wird mittels der Temperatur-Zeitkurve der Norm UNI 11076 beschrieben, die anschließend dargestellt, und im Rechnungsprogramm CPI win REI Calcolo verwendet wird.

un carico eccezionale pari a  $\pm 20 \text{ kN/m}^2$  (scenario N), un carico frequente pari a  $+9.27 \text{ kN/m}^2$  (scenario SZ 21), un carico raro pari a  $-5.90 \text{ kN/m}^2$  (scenario N) e un carico a fatica pari a  $+6.56 \text{ kN/m}^2$  (scenario SZ 14). Per convenzione si intendono agenti verso l'alto i carichi indicati con segno + e agenti verso il basso quelli con segno -.

#### 4.1.3 Utilizzazione Q2

Per il dimensionamento delle solette intermedie si è adottato un carico variabile pari a  $-4.0 \text{ kN/m}^2$ . Per convenzione si intendono agenti verso l'alto i carichi indicati con segno + e agenti verso il basso quelli con segno -.

#### 4.1.4 Incendio A1

In accordo con le prescrizioni del DM 28/10/2005 Sicurezza gallerie ferroviarie viene garantita la stabilità di tutte le opere in considerazione della curva temperatura-tempo secondo la UNI 11076.

##### 4.1.4.1 Curva della temperatura/tempo per tunnel [UNI 11076]

L'esposizione al fuoco viene descritta dalla curva della temperatura/tempo della normativa UNI 11076, di seguito riportata ed inserita nel programma di calcolo CPI win REI Calcolo.

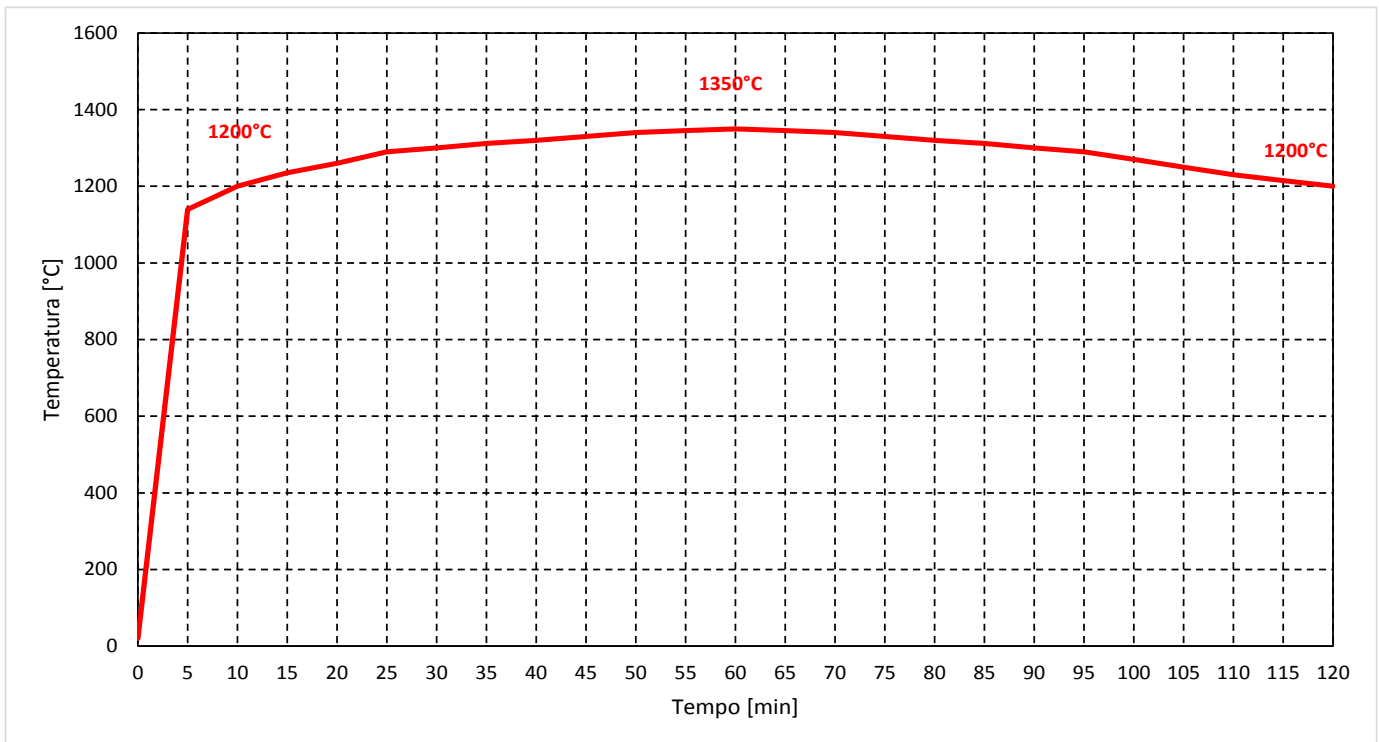


Abbildung 42: Temperatur-Zeitkurve

Illustrazione 42: Curva della temperatura/tempo



Tempo (min)	Temperatura (°C)
0	20
5	1140
10	1200
15	1235
20	1260
25	1290
30	1300
35	1312
40	1320
45	1330
50	1340
55	1345
60	1350
65	1345
70	1340
75	1330
80	1320
85	1312
90	1300
95	1290
100	1270
105	1250
110	1230
115	1215
120	1200

Abbildung 43: Temperaturwerte zu den verschiedenen Zeitpunkten

Illustrazione 43: Valori della temperatura nei diversi istanti temporali

4.1.4.2 Koeffizienten zur Bewertung der temperaturbedingten Festigkeitsminderung der Materialien

4.1.4.2 Coefficienti per la valutazione della diminuzione delle caratteristiche di resistenza dei materiali in funzione della temperatura

Laut der Norm UNI EN 1992-1-2 wird die Materialfestigkeit bei steigender Temperatur gemindert, wie in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt:

In conformità alla UNI EN 1992-1-2 la resistenza dei materiali si riduce con l'aumento della temperatura, come rappresentato nelle figure seguenti:

- 1 Curva 1: calcestruzzo ordinario con aggregati silicei
- 2 Curva 2: calcestruzzo ordinario con aggregati calcarei

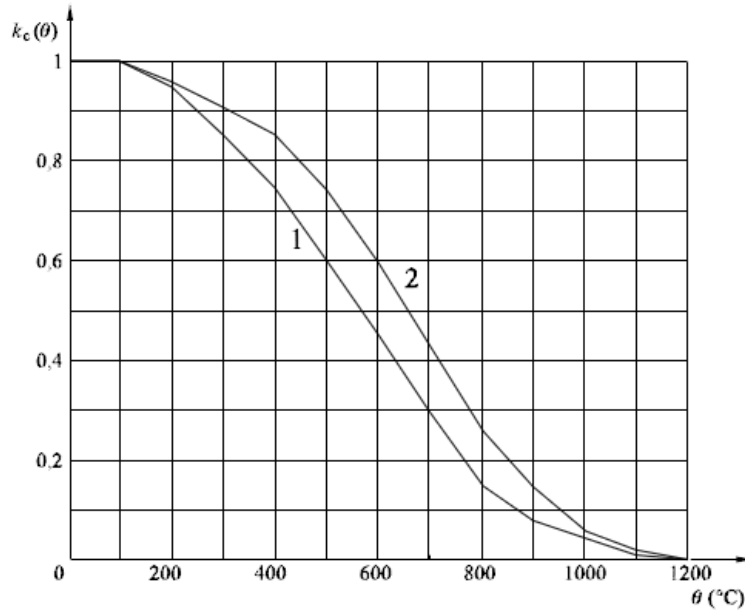


Abbildung 44: Koeffizient  $k_c(\theta)$  zur Bewertung der Abminderung der charakteristischen Betonfestigkeit ( $f_{ck}$ )

Illustrazione 44: Coefficiente  $k_c(\theta)$  per tener conto della diminuzione della resistenza caratteristica ( $f_{ck}$ ) del calcestruzzo

- Curva 1 Armatura tesa (laminata a caldo) per deformazioni  $\epsilon_{s,fi} \geq 2\%$
- Curva 2 Armatura tesa (trafilata a freddo) per deformazioni  $\epsilon_{s,fi} \geq 2\%$
- Curva 3 Armatura compressa e tesa per deformazioni  $\epsilon_{s,fi} < 2\%$

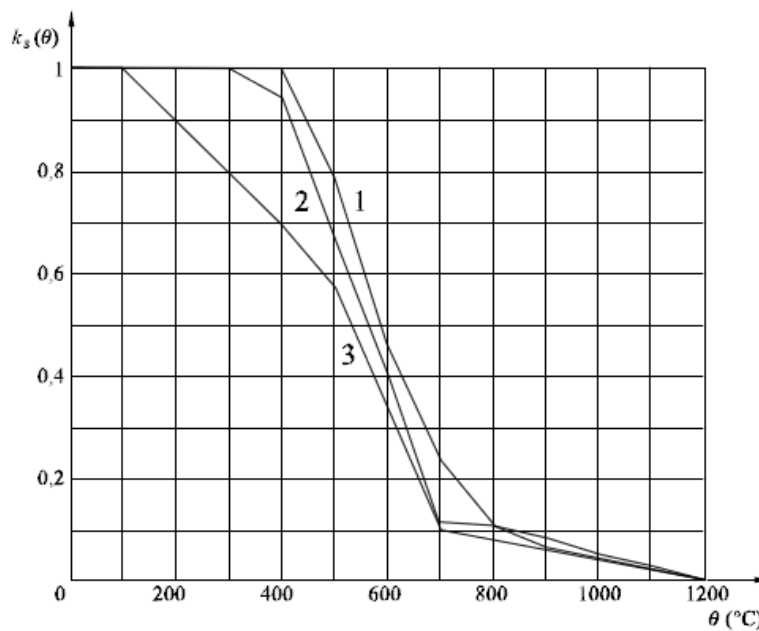


Abbildung 45: Koeffizient  $k_s(\theta)$  zur Bewertung der Minderung der charakteristischen Zug- und Druckfestigkeit ( $f_{yk}$ ) der Stahlbewehrung Klasse N

Illustrazione 45: Coefficiente  $k_s(\theta)$  per tener conto della diminuzione della resistenza caratteristica ( $f_{yk}$ ) a trazione e a compressione dell'armatura classe N.

## 4.2 NACHWEISVERFAHREN

Für den Nachweis des Grenzzustandes der Trag- und Gebrauchstauglichkeit der Innenschale sind die Wirkungskombinationen gemäß den Vorgaben im NTC2008, Abs. 2.5.3 berücksichtigt worden.

### 4.2.1 Traggrenzzustände (GZT) und Gebrauchsgrenzzustände (GZG)

#### 4.2.1.1 Kombinations- und Teilkoeffizienten der Sicherheit der Wirkungen

Die Kombinationen der zu analysierenden Wirkungen müssen, laut allen NTC 2008, mit den entsprechenden Kombinationskoeffizienten  $\psi$  rechnen. Im überprüften Fall werden folgende Werte angewendet:

## 4.2 VERIFICHE

Per la verifica allo stato limite ultimo ed allo stato limite di esercizio della soletta intermedia sono state considerate le combinazioni delle azioni in conformità delle prescrizioni del paragrafo 2.5.3 delle NTC2008.

### 4.2.1 Stati Limite Ultimi (SLU) e Stati Limite di Esercizio (SLE)

#### 4.2.1.1 Coefficienti di combinazione e parziali di sicurezza per le azioni

Le combinazioni delle azioni da analizzare devono essere considerate, in conformità alle NTC 2008, con i relativi coefficienti di combinazione  $\psi$ , nel caso in esame si adottano i seguenti valori:

Gefahren-Szenario / Scenario Di Pericolo	Nachweis-Verfahren / Verifica	Eigengewicht / Peso Proprio	Dauerlasten (Auslastung) / Carichi Permanenti (Utilizzazione)	Wechselast (Auslastung) / Carichi Variabili (Utilizzazione)	Lüftungs-Druck (Ausnahme) / Pressione Ventilazione (Eccezionale)	Lüftungs-Druck (Wechselnd) / Pressione Ventilazione (Variabile)
Lüftung / Ventilazione	GZT/SLU	$\gamma_g = 1.00$	-	-	$\gamma_a = 1.00$	-
	GZG (HÄUFIGER) /SLE (FREQUENTE)	$\gamma_g = 1.00$	-	-	-	$\gamma_0 = 0.00$
	GZG (SELTENER) /SLE (RARO)	$\gamma_g = 1.00$	-	-	-	$\gamma_1 = 1.00$
Brand/ Incendio	GZT/SLU	$\gamma_g = 1.00$	-	-	-	-
Ermüdung/ Fatica	GZT/SLU	$\gamma_g = 1.00$	-	-	-	$\gamma_q = 1.00$
Auslastung / Utilizzazione	GZT/SLU	$\gamma_g = 1.35$	-	$\gamma_q = 1.50$	-	-
	GZG (HÄUFIGER) /SLE (FREQUENTE)	$\gamma_g = 1.00$	-	$\gamma_q = 1.00$	-	-

Abbildung 46: Kombinations- und Teilkoeffizienten der Sicherheit der Wirkungen

Illustrazione 46: Coefficienti di combinazione e parziali di sicurezza per le azioni

#### 4.2.1.2 Teilsicherheitsbeiwerte der Festigkeiten

Die auf die Materialfestigkeit angewandten Sicherheitsbeiwerte zur Gewährleistung einer Lebensdauer von 200 Jahren, wie mit BBT SE vereinbart, sind folgende:

$\gamma_c=1.6$  e  $\gamma_s=1.2$  für Auslastungskombinationen

$\gamma_c=1.2$  e  $\gamma_s=1.0$  für Sonderkombinationen (Lüftung) und für den Brandlastfall

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

I coefficienti di sicurezza, concordati con BBT SE al fine di garantire una vita utile dell'opera di 200anni, applicati alle resistenze dei materiali sono i seguenti:

$\gamma_c=1.6$  e  $\gamma_s=1.2$  per le combinazioni di utilizzazione

$\gamma_c=1.2$  e  $\gamma_s=1.0$  per le combinazioni eccezionali (ventilazione) e per il carico da incendio

### 4.3 ERGEBNISSE

#### 4.3.1 Traggrenzzustände (GZT)



Abbildung 47:  $M_{GZT-Lüftung}$

### 4.3 RISULTATI

#### 4.3.1 Sollecitazioni Stati Limite Ultimi (SLU)

Illustrazione 47:  $M_{SLU-VENTILAZIONE}$



Abbildung 48:  $M_{GZT-Auslastung}$

Illustrazione 48:  $M_{SLU-UTILIZZAZIONE}$

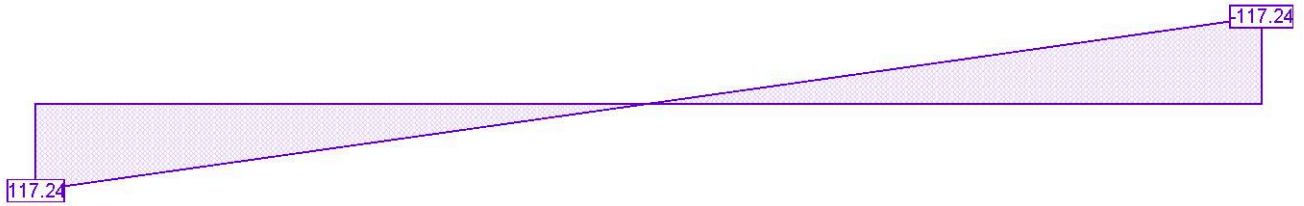


Abbildung 49:  $V_{GZT-Maximum}$

Illustrazione 49:  $V_{SLU-MASSIMO}$

#### 4.3.2 Gebrauchsgrenzzustände (GZG)

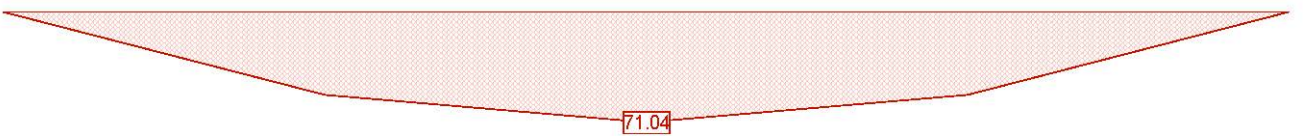


Abbildung 50:  $M_{GZG-häufige Lüftung}$

Illustrazione 50:  $M_{SLE-VENTILAZIONE-FREQUENTE}$

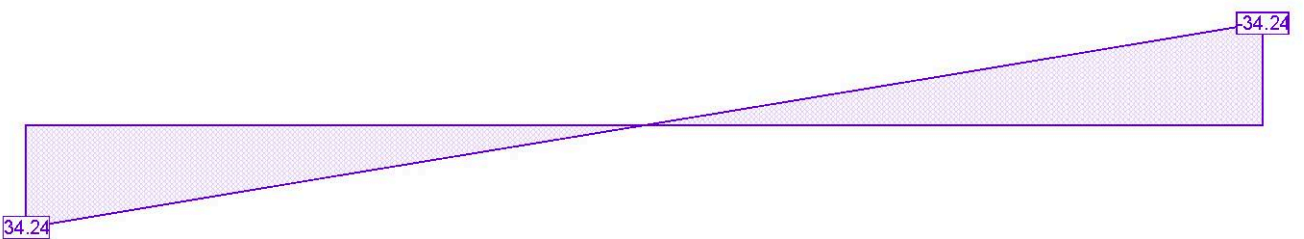


Abbildung 51:  $V_{GZG-Eigengewicht}$

Illustrazione 51:  $V_{SLE-PESO PROPRIO}$

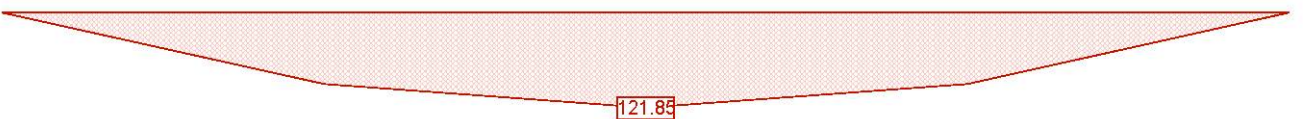


Abbildung 52:  $M_{GZG-seltene Lüftung}$

Illustrazione 52:  $M_{SLE-VENTILAZIONE-RARO}$

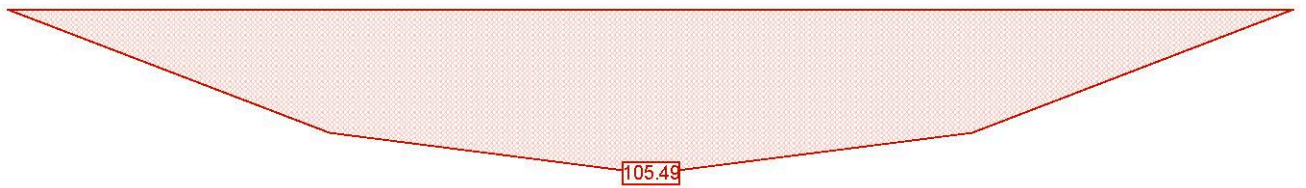


Abbildung 53:  $M_{GZG}$ - häufige Auslastung

Illustrazione 53:  $M_{SLE-UTILIZZAZIONE-FREQUENTE}$

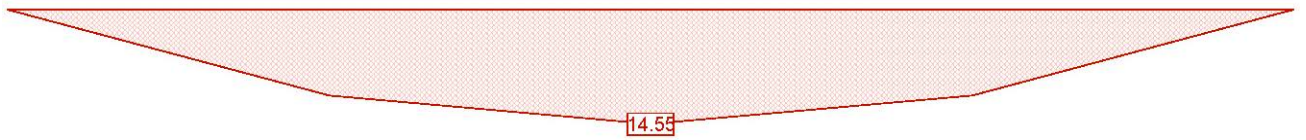


Abbildung 54:  $M_{GZG}$ -Ermüdung

Illustrazione 54:  $M_{SLE-FATICA}$

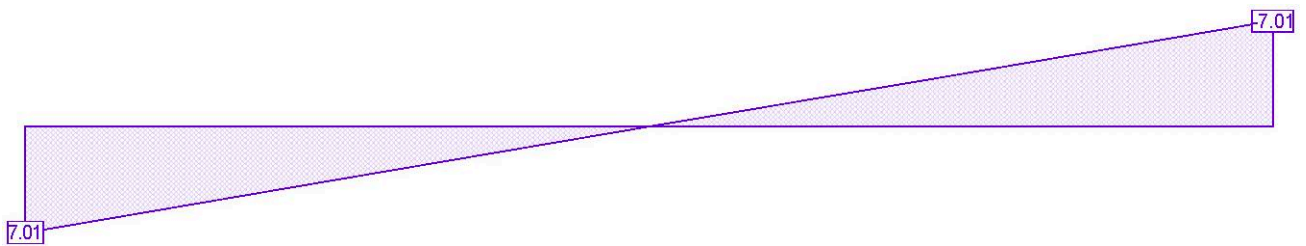


Abbildung 55:  $V_{GZG}$ -Ermüdung

Illustrazione 55:  $V_{SLE-FATICA}$

#### 4.3.3 Brandzustände (GZT)

#### 4.3.3 Sollecitazioni incendio (SLU)

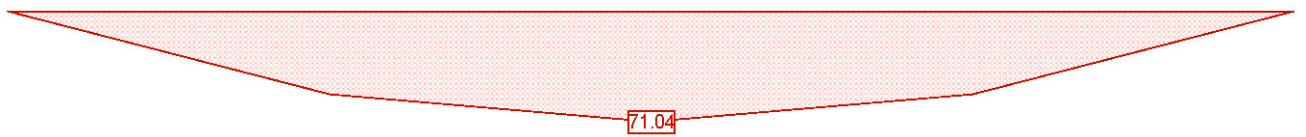


Abbildung 56:  $M_{GZT}$ -Brand

Illustrazione 56:  $M_{SLU-INCENDIO}$

### 4.4 NACHWEISVERFAHREN

### 4.4 VERIFICHE

#### 4.4.1 Nachweis Grenzzustand der Tragfähigkeit

#### 4.4.1 Verifiche Stati Limite Ultimi

##### 4.4.1.1 Prüfung auf Biegung

##### 4.4.1.1 Verifica a flessione

Die 2cm Abmaß miteinbeziehend hat man einen symmetrischen Bewehrungsquerschnitt von 100x33cm statt 100x35cm mit Bewehrungsseisen  $\phi 26/15$  und Abstandhalter  $\phi 12/15$ , netto Betondeckung 5cm.

Tenuti conto dei 2cm di tolleranza si verifica una sezione 100x33cm invece della sezione 100x35cm armata simmetricamente con ferri principali  $\phi 26/15$  e ripartitori  $\phi 12/15$ , copriferro netto 5cm.

Im Anlage 1 wird die Querschnittsprüfung auf Biegung der Traggrenzzustände aufgezeigt.

Nell'Allegato 1 si riporta la verifica della sezione a flessione agli Stati Limite Ultimi.

##### 4.4.1.2 Prüfung auf Querkraft

##### 4.4.1.2 Verifica a taglio

Im Anlage 2 wird die Querschnittsprüfung auf Querkraft der Traggrenzzustände des Querschnitts von 100x33 cm aufgezeigt.

Nell'Allegato 2 si riporta la verifica della sezione a taglio agli Stati Limite Ultimi della sezione pari a 100x33 cm.

#### 4.4.2 Nachweis Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

#### 4.4.2 Verifiche Stati Limite d'Esercizio

Nell'Allegato 3 si riporta la verifica della sezione a flessione

Im anlage 3 wird die Querschnittsprüfung auf Biegung der Gebrauchsgrenzzustände aufgezeigt.

agli Stati Limite di Esercizio

#### 4.4.3 Prüfungen auf Rissbildung

Im Anlage 4 wird die Prüfung auf Rissbildung aufgezeigt.

#### 4.4.3 Verifiche a fessurazione

Nell'allegato 4 si riporta la verifica a fessurazione.

#### 4.4.4 Prüfungen auf Verformung

Anschließend wird die Prüfung auf elastische sowie auf viskose Verformung gezeigt.

Wie im Absatz C.4.1.2.2.2 des Rundschreibens der NTC2008 ist der Grenzwert  $1/250 r$  Lichtweite.

$$8300\text{mm}/250 = 33.2 \text{ mm}$$

##### **Elastische Verformung:**

b =	1000	mm
h =	330	mm
q =	9.25	kN/m
L =	8300	mm
E =	33000	N/mm <sup>2</sup>
J =	2994750000	mm <sup>4</sup>
f =	8.08	mm

##### **Viskose Verformung:**

Im Falle von viskose Verformung wird das elastische Modul reduziert laut UNI EN 1992-1-1 Absatz 7.4.3 mit der Formel 7.20:

$$E_{c,eff} = E_{cm}/(1+\phi^\infty, t_0)$$

Wenn man ein  $t_0$  gleich 7 Tage und eine relative Feuchtigkeit von 75% berücksichtigt erhält man von der Tabelle 11.2.VI der NTC2008 ein  $\phi$  im Wert von 2.5.

b =	1000	mm
h =	330	mm
q =	9.25	kN/m
$\phi$ =	2.5	
L =	8300	mm
E =	9429.57	N/mm <sup>2</sup>
J =	2994750000	mm <sup>4</sup>
f =	30.97	mm

In beiden Fällen ist der Pfeil tiefer als der Grenzpfail.

#### 4.4.4 Verifica di deformabilità

Nel seguito si esegue la verifica di deformabilità sia in fase elastica che viscosa.

Come indicato nel paragrafo C.4.1.2.2.2 della circolare delle NTC2008 il limite è pari a  $1/250$  della luce.

$$8300\text{mm}/250 = 33.2 \text{ mm}$$

##### **Deformazione elastica:**

b =	1000	mm
h =	330	mm
q =	9.25	kN/m
L =	8300	mm
E =	33000	N/mm <sup>2</sup>
J =	2994750000	mm <sup>4</sup>
f =	8.08	mm

##### **Deformazione viscosa:**

Nel caso di deformazione viscosa il modulo elastico viene ridotto secondo UNI EN 1992-1-1 paragrafo 7.4.3 con la formula 7.20:

$$E_{c,eff} = E_{cm}/(1+\phi^\infty, t_0)$$

Considerando un  $t_0$  pari a 7 giorni ed un'umidità relativa pari a 75% si ottiene dalla tabella 11.2.VI delle NTC2008 un  $\phi$  del valore di 2.5.

b =	1000	mm
h =	330	mm
q =	9.25	kN/m
$\phi$ =	2.5	
L =	8300	mm
E =	9429.57	N/mm <sup>2</sup>
J =	2994750000	mm <sup>4</sup>
f =	30.97	mm

In entrambi i casi la freccia è inferiore alla freccia limite.

#### 4.4.5 Prüfung auf Ermüdung durch Biegung

Die Prüfungen auf Ermüdung durch Biegung werden laut UNI EN 1992-1-1, Absatz 6.8 durch getrennte Prüfungen des Beton und des Stahls ausgeführt. Ins besondere:

**Stahlprüfungen:** die Überprüfungen werden unter SLE-Zuständen ausgeführt, in dem man die zyklischen Wirkungen der widrigsten Grundkombination addiert (häufige Kombination bei Gebrauchsgrenzzustand). Danach wird die Ungleichheit (6.71) der Norm überprüft, wobei eine Zyklusanzahl von  $10^6$  (gerade Barren) und die Sicherheitskoeffizienten  $\gamma_{F,fat}$  und  $\gamma_{S,fat}$  entsprechend von 1.00 (Vermerk 1 von Absatz 6.8.4) und von 1.20 (Sicherheitskoeffizient des Bewehrungsstahls).

**Betonprüfungen:** die Überprüfungen werden unter SLE-Zuständen ausgeführt, in dem man die zyklischen Wirkungen der widrigsten Grundkombination addiert (häufige Kombination bei Gebrauchsgrenzzustand). Danach wird die Ungleichheit (6.77) der Norm überprüft. Bei der Berechnung der Planungsfestigkeit auf Ermüdung des Betons ( $f_{cd,fat}$ ) müssen der Typ des Betons und die Dauer in Tagen, bei der die Anwendung der zyklischen Last beginnt, festgelegt werden: wenn man sich auf Sicherheitsabstand stellt kann man annehme, dass  $t_0=28$  Tage und  $s=0.20$  (in dem man den Koeffizienten  $\beta_{cc}$ , in Absatz 3.1.2 festlegt, minimalisiert).

Im Anlage 5 wird die Prüfung Querschnittsprüfung auf Biegung der Ermüdungsgrenzzustände aufgezeigt.

#### 4.4.6 Prüfung auf Ermüdung auf Querkraft

Die Prüfungen auf Ermüdung auf Querkraft werden laut UNI EN 1992-1-1, Absatz 6.8.7 Punkt (4) ausgeführt. Ins besondere für Bauglieder bei denen die Berechnung der Bewehrungen auf Querkraft auf Traggrenzzustand nicht nötig ist, kann man glauben, dass Beton der Ermüdung auf Querkraft stand hält wenn folgende Bedingungen eintreten:

- per  $V_{Ed,min}/V_{Ed,max} \geq 0$ :

$$V_{Ed,max} / V_{Rd,c} \leq 0.5 + 0.45 \cdot (V_{Ed,min} / V_{Rd,c}) \leq 0.9$$

$$V_{Ed,min} / V_{Ed,max} = 7.01 / 34.24 = 0.20 \geq 0$$

$$34.24 / 187.5 \leq 0.5 + 0.45 \cdot (7.01 / 187.5) \leq 0.9$$

$$0.18 \leq 0.52 \leq 0.9$$

#### 4.4.7 Brandprüfung (GZT)

Im Anlage 6 werden die Nachweise für den Lastfall des Brandes dargestellt.

#### 4.4.5 Verifica a fatica a flessione

Le verifiche a fatica a flessione si effettuano secondo UNI EN 1992-1-1, paragrafo 6.8 eseguendo verifiche separate per il calcestruzzo e per l'acciaio. In particolare:

**Verifiche lato acciaio:** le verifiche sono eseguite in condizione SLE sommando le azioni cicliche alla combinazione di base più sfavorevole (Combinazione Frequente a Stato Limite di Esercizio). Si procede quindi verificando la disequaglianza (6.71) della Normativa, considerando un numero di cicli  $N^*$  pari a  $10^6$  (barre dritte) ed i coefficienti di sicurezza  $\gamma_{F,fat}$  e  $\gamma_{S,fat}$  pari rispettivamente a 1.00 (Nota 1 del paragrafo 6.8.4) e 1.20 (coefficiente di sicurezza sull'acciaio da armatura).

**Verifiche lato cls:** le verifiche sono eseguite in condizione SLE sommando le azioni cicliche alla combinazione di base più sfavorevole (Combinazione Frequente a Stato Limite di Esercizio). Si procede quindi verificando la disequaglianza (6.77) della Normativa. Nel calcolo della resistenza di progetto a fatica del cls ( $f_{cd,fat}$ ) occorre definire il tipo di cemento e il tempo in giorni in cui comincia l'applicazione del carico ciclico: ponendosi a favore di sicurezza si può assumere  $t_0=28$  gg e  $s=0.20$  (minimizzando il coefficiente  $\beta_{cc}$  definito nel paragrafo 3.1.2).

Nell'allegato 5 si riporta la verifica della sezione a flessione allo Stato Limite di Fatica

#### 4.4.6 Verifica a fatica a taglio

Le verifiche a fatica a taglio si effettuano secondo UNI EN 1992-1-1, paragrafo 6.8.7 punto (4). In particolare per membrane per le quali non è richiesto il calcolo di armature a taglio allo stato limite ultimo, si può ritenere che il calcestruzzo resista a fatica da taglio se si verificano le condizioni seguenti:

- per  $V_{Ed,min}/V_{Ed,max} \geq 0$ :

$$V_{Ed,max} / V_{Rd,c} \leq 0.5 + 0.45 \cdot (V_{Ed,min} / V_{Rd,c}) \leq 0.9$$

$$V_{Ed,min} / V_{Ed,max} = 7.01 / 34.24 = 0.20 \geq 0$$

$$34.24 / 187.5 \leq 0.5 + 0.45 \cdot (7.01 / 187.5) \leq 0.9$$

$$0.18 \leq 0.52 \leq 0.9$$

#### 4.4.7 Verifica incendio (SLU)

Nell'Allegato 6 si riportano le verifiche per la condizione di carico da incendio.

## 5 VERANKERUNGEN

Das Verankerungssystem, das zur Verhinderung der Wölbung der Innenschalungen gedacht worden ist, besteht aus Stahlstiften die auf Querkraft arbeiten und in der Kalotte auf Höhe der Seitenschalungen betoniert sind.

Diese Elemente ermöglichen alle Bewegungen innerhalb der Schalungsoberfläche (X,Y Richtungen), aber nicht die Bewegungen senkrecht zur eigenen Oberfläche (Z Richtung). Die Anwendung dieses Systems ermöglicht das Element isostatisch zu erhalten, und so die Auswirkungen von Temperatur und Schrumpfung zu übergehen.

Die Höchstreaktion zur Abstützung ist 137.47 kN, daher werden Stifte des Typs HSD-CRT134V eingesetzt, seitlich des Elements werden 3 $\phi$ 12 links und 3 $\phi$ 12 rechts verteilt, ins gesamt 6 $\phi$ 12.

Hinsichtlich der Brandfestigkeit werden die Querkraft-Stifte mit eine Hülse ausgestattet, außerdem da sie senkrecht zur Schalung angebracht sind ist die Temperatur die diese Elemente erreichen auf alle Fälle niedriger als die der statischen Bewehrung. Aus diesen Gründen betrachtet man die Stiftbemessung nicht für problematisch hinsichtlich der Brandwirkung.

## 5 ANCORAGGI

Il sistema di ritegno pensato per evitare il sollevamento delle solette intermedie è costituito da degli spinotti in acciaio inox lavoranti a taglio inseriti in getto nella calotta, in corrispondenza delle facce laterale delle solette.

Tali elementi permettono tutti gli spostamenti interni al piano della soletta (direzione X,Y) ma non quelli perpendicolari al proprio piano (direzione Z). L'adozione di tale sistema permette di mantenere l'isostaticità dell'elemento, consentendo di trascurare gli effetti di temperatura e ritiro.

La reazione massima all'appoggio è pari a 137.47 kN, quindi si adottano spinotti tipo HSD-CRT134V, ai lati dell'elemento si disporranno 3 $\phi$ 12 a sinistra e 3 $\phi$ 12 a destra per un totale di 6 $\phi$ 12.

Per quanto riguarda la resistenza antincendio, gli spinotti a taglio saranno provvisti di guaina intumescente, inoltre, essendo posizionati in asse allo spessore della soletta, le temperature raggiunte da tali elementi sono comunque inferiori a quelle dall'armatura statica. Per questi motivi non si reputa problematica l'azione incendio in ambito di dimensionamento degli spinotti.



Cross-section 330X1000 (C30/37;B450C): Efficiency  $M_y=243.3$ ;  $eff(M,N) = 0.83$  OK

Scale 1 :18.3

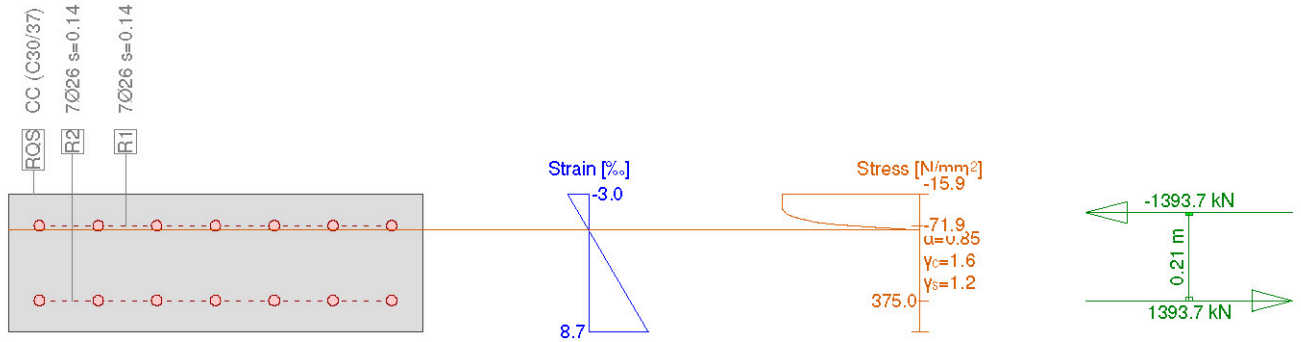


Abbildung 57: Nachweis Biegedruck für den außergewöhnlichen Lastfall Lüftung (GZT)

Illustrazione 57: Verifica a pressoflessione carico di ventilazione eccezionale (SLU)

Cross-section 330X1000 (C30/37;B450C): Efficiency  $M_y=122.7$ ;  $eff(M,N) = 0.42$  OK

Scale 1 :18.3

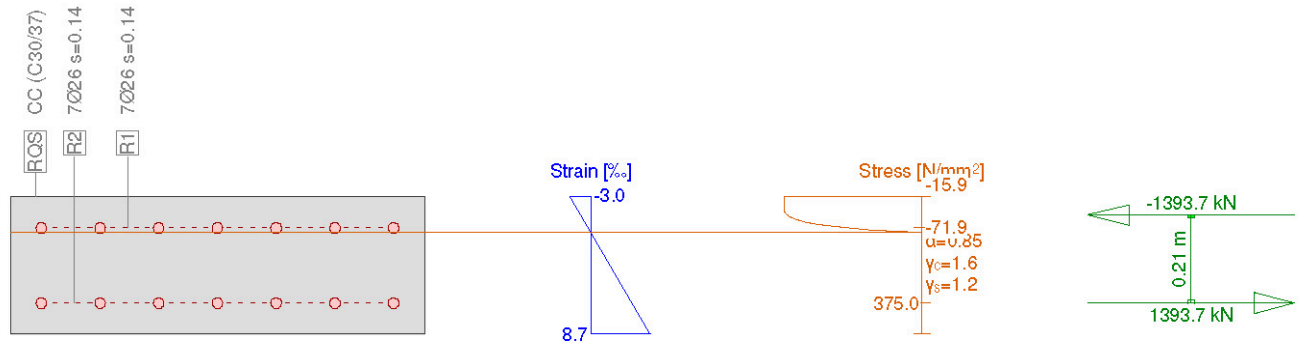


Abbildung 58: Nachweis Biegedruck für den Gebrauchsfall (GZT)

Illustrazione 58: Verifica a pressoflessione carico di utilizzazione (SLU)

**VERIFICA A TAGLIO SECONDO NTC2008 Art. 4.1.2.1.3.1**Verifica sezione senza armatura a taglio

$f_{ck} =$	30.00	MPa	Resistenza caratteristica a compressione cilindrica
$k =$	1.886		Coefficiente
$h =$	330	mm	Altezza geometrica della sezione
$d =$	255	mm	Altezza statica della sezione
$A_s =$	3'539	mm <sup>2</sup>	Area di armatura longitudinale
$\rho_1 =$	0.01388		Percentuale di armatura
$N_{Ed} =$	0	kN	Azione assiale di progetto
$A_c =$	255'000	mm <sup>2</sup>	Area della sezione di calcestruzzo
$\alpha_{cc} =$	0.85		Coefficiente per carichi di lunga durata
$\sigma_{cp} =$	0.00	MPa	Sforzo di compressione agente
$b_w =$	1'000	mm	Larghezza sezione collaborante
$V_{Rd1} =$	<b>187.49</b>	kN	
$V_{Rd2}(V_{min}) =$	<b>126.58</b>	kN	
$V_{Rd} =$	<b>187.49</b>	kN	$V_{Ed} =$ <b>137.47</b> kN $V_{Rd} > V_{Ed}$

Abbildung 59: Nachweis Querkraft

Illustrazione 59: Verifica a taglio

Cross-section 330X1000 (C30/37;B450C): Stress analysis with given forces  $M_y=71.0$ ;

Scale 1 :18.3

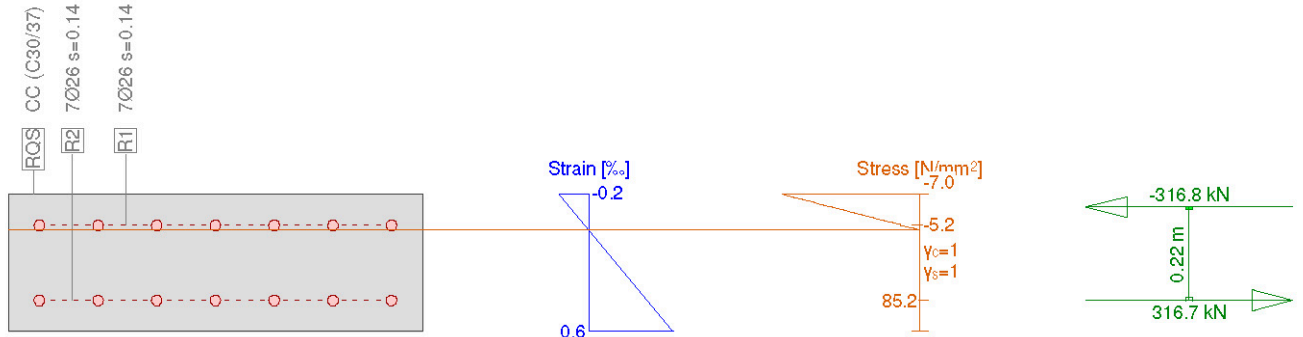


Abbildung 60: Nachweis Biegedruck für den häufigen Lastfall Lüftung (GZG)

Illustrazione 60: Verifica a pressoflessione carico di ventilazione frequente(SLE)

Cross-section 330X1000 (C30/37;B450C): Stress analysis with given forces  $M_y=121.8$ ;

Scale 1 :18.3

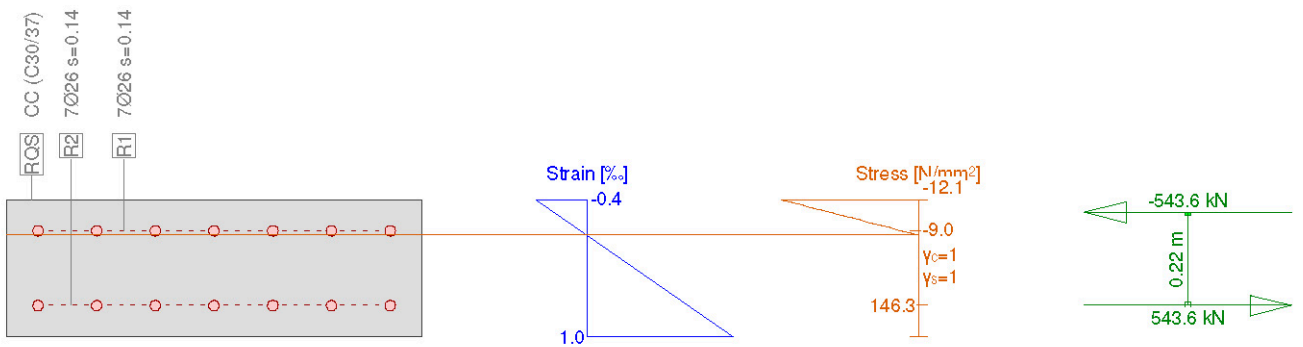


Abbildung 61: Nachweis Biegedruck für den seltenen Lastfall Lüftung (GZG)

Illustrazione 61: Verifica a pressoflessione carico di ventilazione raro (SLE)

Cross-section 330X1000 (C30/37;B450C): Stress analysis with given forces  $M_y=105.5$ ;

Scale 1 :18.3

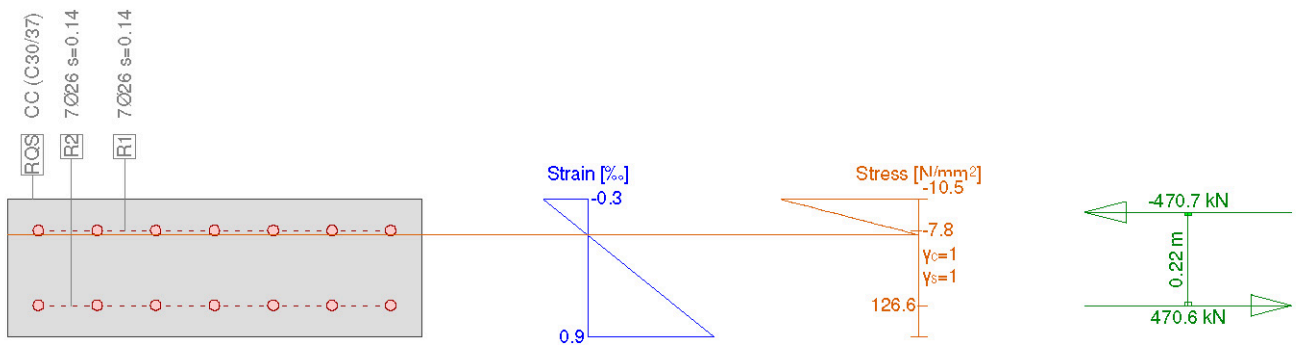


Abbildung 62: Nachweis Biegedruck für den häufigen Lastfall Lüftung (GZT)

Illustrazione 62: Verifica a pressoflessione carico di utilizzazione frequente (SLE)

**Crack verification**

Text	Value	Text	Value
<b>Basic principles</b>	<b>EN 1992-1-1 7.3</b>		
<b>Cross section</b>			
h	330.0 mm	Compression zone (uncracked)	165.0 mm
d	255.0 mm	h-d	50.0 mm
Cover c	37.0 mm	$h_{c,eff}$	55.0 mm
$A_{c,eff}$ Tension surface	55000 mm <sup>2</sup>	= Min[2.5 (h-d); (h-x)/3; h/2]	
<b>Concrete</b>		<b>Additional parameters</b>	
$E_c$	33000.0 N/mm <sup>2</sup>	Duration of load $k_t$	0.40
$\alpha_e$ ( $E_s/E_c$ )	6.10	Bond properties $k_1$	0.800
Creep coefficient $\phi$	0	Distribution of strain $k_2$	0.500
$f_{ctm}$	2.9 N/mm <sup>2</sup>	$k_3$	3.400
$f_{ct,eff}$	2.9 N/mm <sup>2</sup>	$k_4$	0.425
<b>Reinforcement</b>		<b>Results</b>	
$E_s$	205000.0 N/mm <sup>2</sup>	Moment	121.8 kNm
$A_s$ (in tension surface)	3717 mm <sup>2</sup>	Stress in reinforcement $\sigma_s$	146.3 N/mm <sup>2</sup>
Diameter $\varnothing_{eq}$	26.0 mm	$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ (7.9)	0.41 o/oo
$\rho_{eff}$	6.757 o/o	Crack spacing $s_{r,max}$ (7.11)	<b>0.19 m</b>
		Crack width $w_k$ (7.8)	<b>0.13 mm</b>

Abbildung 63: Nachweis der Rissbildung (GZG)

Illustrazione 63: Verifica a fessurazione (SLE)

**Stress analysis Cross section (Girder): 330X1000****Extreme stresses and strain**

Name	Class	$y_d$ [m]	$z_d$ [m]	$\epsilon$ [%]	$\sigma_d$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\gamma$ [-]
RQS	C30/37	0.50	0.33	-0.0	-1.4	1.00
RQS	C30/37	-0.50	0	0.1	0	1.00
R1	B450C	0.42	0.26	-0.0	-1.1	1.00
R2	B450C	-0.42	0.07	0.1	17.5	1.00

Abbildung 64: Nachweis Biegedruck durch Eigengewicht (GZG)

Illustrazione 64: Verifica a pressoflessione carico peso proprio (SLE)

**Stress analysis Cross section (Girder): 330X1000****Extreme stresses and strain**

Name	Class	$y_d$ [m]	$z_d$ [m]	$\epsilon$ [%]	$\sigma_d$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\gamma$ [-]
RQS	C30/37	0.50	0.33	-0.2	-7.0	1.00
RQS	C30/37	-0.50	0	0.6	0	1.00
R1	B450C	-0.42	0.26	-0.0	-5.2	1.00
R2	B450C	-0.42	0.07	0.4	85.2	1.00

Abbildung 65: Nachweis Biegedruck Lastfall Ermüdung (GZG)

Illustrazione 65: Verifica a pressoflessione carico a fatica (SLE)

$$\Delta \sigma_s = 85.2 \text{ N/mm}^2 - 17.51 \text{ N/mm}^2 = 67.69 \text{ N/mm}^2$$

$$67.69 \text{ N/mm}^2 < 162.5/1.2 = 135.42 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta \sigma_c = 7.0 \text{ N/mm}^2 - 1.4 \text{ N/mm}^2 = 5.6 \text{ N/mm}^2$$

$$5.6 \text{ N/mm}^2 < 0.85 \cdot 1 \cdot 15.43 \cdot (1 - (30/250)) = 11.54 \text{ N/mm}^2$$

Cross-section 330X1001 (C30/37;B450C): Efficiency  $M_y=71.0$ ;  $eff(M,N) = 0.24$  OK

Scale 1 :18.3

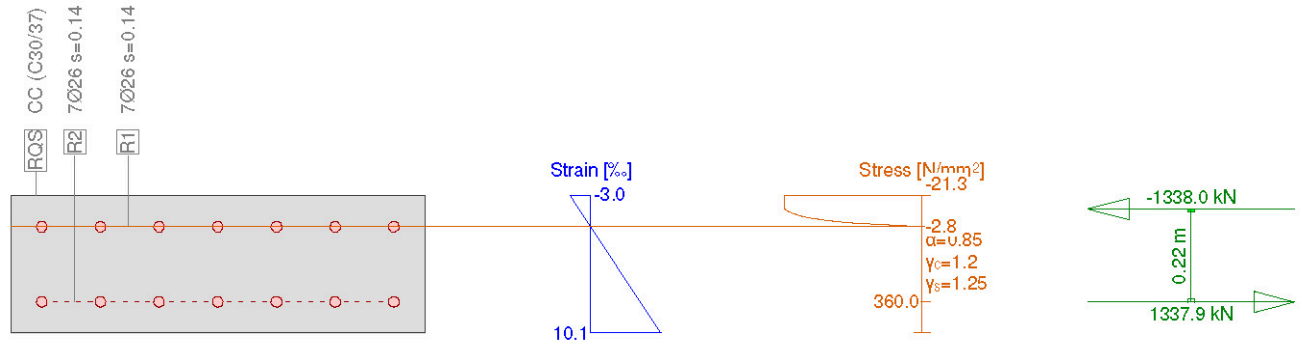


Abbildung 66: Nachweis Biegedruck Lastfall Brand (GZT)

Illustrazione 66: Verifica a pressoflessione carico da incendio (SLU)