



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

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



Ausbau Eisenbahnachse München-Verona
BRENNER BASISTUNNEL
Ausführungsplanung

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

D0700: Baulos Mauls 2-3	D0700: Lotto Mules 2-3
Projekteinheit	WBS
Haupttunnel	Gallerie principali
Dokumentenart	Tipo Documento
Statische Berechnung	Calcolo statico
Titel	Titolo
Statische Berechnung GL-MA4	Relazione di calcolo GL-MA4

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

Mandataria  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	Mandante 	Mandante 	Mandante 
Fachplaner / il progettista specialista Ing. Enrico Maria Pizzarotti Ord. Ingg. Milano N° A 29470	Fachplaner / il progettista specialista	Fachplaner / il progettista specialista	Fachplaner / il progettista specialista

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

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

Projekt-kilometer / Chilometro progetto	von / da 32.0+88 bis / a 54.0+15 bei / al	Projekt-kilometer / Chilometro opera	von / da 49.0+83 bis / a 52.6+22 bei / al	Status Dokument / Stato documento	Massstab / Scala	-
---	---	--------------------------------------	---	-----------------------------------	------------------	---

Staat Stato	Los Lotto	Einheit Unità	Nummer Numero	Dokumentenart Tipo Documento	Vertrag Contratto	Nummer Codice	Revision Revisione
02	H61	OP	250	KST	D0700	21023	21

Bearbeitungsstand Stato di elaborazione

Revision Revisione	Änderungen / Modifiche	Verantwortlicher Änderung Responsabile modifica	Datum Data
21	Abgabe für Ausschreibung / Emissione per appalto	Rivoltini	30.01.2015
20	Überarbeitung infolge Dienstanweisung Nr. 1 vom 17.10.2014 / Revisione a seguito ODS n°1 del 17.10.14	Rivoltini	04.12.2014
11	Projektvollständigung und Umsetzung der Verbesserungen aus dem Prüfverfahren / Completamento progetto e recepimento istruttoria	Rivoltini	09.10.2014
10	Endabgabe / Consegna definitiva	Rivoltini	31.07..2014
00	Consegna preliminare	Rivoltini	15.05.2014

1	EINFÜHRUNG	
1	INTRODUZIONE	6
2	MATERIALIEN	
2	MATERIALI	8
2.1	SPRITZBETON	
2.1	BETONCINO PROIETTATO	8
2.2	ANKER	
2.2	ANCORAGGI	8
2.3	LEHRGERÜSTE	
2.3	CENTINE.....	8
2.4	BETON	
2.4	CALCESTRUZZO.....	9
2.5	BEWEHRUNGSSTAHL	
2.5	ACCIAIO DA ARMATURA.....	9
3	GEOTECHNISCHES MODELL	
3	MODELLO GEOTECNICO	10
3.1	GEOLOGIE UND GEOMECHANIK	
3.1	GEOLOGIA E GEOMECCANICA.....	10
4	GEBIRGSVERHALTEN	
4	COMPORAMENTO DELLA ROCCIA	12
4.1	ABSCHÄTZUNG DES GEBIRGSVERHALTENS	
4.1	VALUTAZIONE DEL COMPORAMENTO DELLA ROCCIA.....	12
5	AUSSENSCHALE	
5	RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE	15
5.1	ANALYSE DER AUSBRUCHPHASEN	
5.1	ANALISI DELLE FASI DI SCAVO	15
5.1.1	Der Berechnungskodex	
5.1.1	Il codice di calcolo	15
5.1.2	Analysierte Ausbruchquerschnitte	
5.1.2	Sezioni analizzate	16
5.1.3	Bildendes Gebirgsmodell	
5.1.3	Modello costitutivo dell'ammasso	16
5.1.4	Modellgeometrie und Ausgangsspannungslage	
5.1.4	Geometria del modello e stato tensionale iniziale	16
5.1.5	Eigenschaften der Außenschale	
5.1.5	Caratteristiche dei rivestimenti di prima fase	17
5.1.6	Laststufe	
5.1.6	Step di carico.....	20
5.1.7	Nachweisverfahren	
5.1.7	Procedura di verifica.....	21
5.1.8	Ergebnisse	
5.1.9	Risultati	
5.2	ANALYSE DER ORTBRUSTSTABILITÄT	
5.2	ANALISI DELLA STABILITÀ DEL FRONTE	22
5.2.1	Nachweisverfahren	
5.2.1	Procedura di verifica.....	22

- 5.2.2 Ergebnisse
- 5.2.3 Risultati

6 INNENSCHALE

6 RIVESTIMENTO DEFINITIVO	23
6.1 STABWERKSMODELLE	
6.1 METODO DELLE REAZIONI IPERSTATICHE	23
6.2 MODELLIERUNG DER BETTUNG	
6.2 INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA	23
6.2.1 Modellierung der Bettung	
6.2.1 Rigidezza radiale	24
6.2.2 Federkonstanten Auflagerbereich/Sohle	
6.2.2 Costante della molla nelle zone di appoggio / fondo	24
6.3 LASTENANALYSE	
6.3 ANALISI DEI CARICHI	25
6.3.1 Eigengewicht G1	
6.3.1 Peso proprio G1	25
6.3.2 Oberleitung G2	
6.3.2 Catenaria G2	25
6.3.3 Betonauffüllung über dem Sohlgewölbe G3	
6.3.3 Riempimento in cls al di sopra dell'arco rovescio G3	26
6.3.4 Wasserdruck G4	
6.3.4 Pressione idraulica G4	26
6.3.5 Gebirgslast G5	
6.3.5 Carico dell'ammasso G5	26
6.3.6 Kriechen und Schwinden des Betons G6	
6.3.6 Viscosità e ritiro del calcestruzzo G6	26
6.3.7 Temperatur Q1	
6.3.7 Temperatura Q1	27
6.3.8 Erdbebeneinwirkung E1	
6.3.8 Azione sismica E1	27
6.3.9 Aerodynamischer Druck A1	
6.3.9 Pressione aerodinamica A1	27
6.3.10 Aufprall A2	
6.3.10 Urto A2	27
6.3.11 Brand A3	
6.3.11 Incendio A3	28
6.4 EINWIRKUNGSKOMBINATIONEN	
6.4 COMBINAZIONI DI CARICO	28
6.5 NACHWEISE	
6.5 VERIFICHE	29
6.5.1 Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)	
6.5.1 Stati Limite Ultimi (SLU)	29
6.5.1.1 Teilsicherheitsfaktoren der Einwirkungen	
6.5.1.1 Coefficienti parziali di sicurezza per le azioni	29
6.5.1.2 Kombinationsbeiwerte der Einwirkungen	
6.5.1.2 Coefficienti di combinazione delle azioni	29
6.5.1.3 Einwirkungskombinationen	
6.5.1.3 Combinazione delle azioni	29
6.5.1.4 Teilsicherheitsfaktoren der Widerstände	
6.5.1.4 Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze	29

6.5.1.5	Überprüfung auf Beulspannung	
6.5.1.5	Verifica a pressoflessione.....	30
6.5.1.6	Querkraftüberprüfung	
6.5.1.6	Verifica a taglio.....	31
6.5.2	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (GZG)	
6.5.2	Stati Limite Esercizio (SLE).....	32
6.5.2.1	Teilsicherheitsfaktoren der Einwirkungen	
6.5.2.1	Coefficienti parziali di sicurezza delle azioni.....	32
6.5.2.2	Kombinationsbeiwerte der Einwirkungen	
6.5.2.2	Coefficienti di combinazione delle azioni.....	32
6.5.2.3	Einwirkungskombinationen	
6.5.2.3	Combinazioni delle azioni.....	32
6.5.2.4	Teilsicherheitsfaktoren der Widerstände	
6.5.2.4	Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze.....	32
6.5.2.5	Berechnung der Verformungen	
6.5.2.5	Calcolo delle deformazioni.....	32
6.5.2.6	Begrenzung der Rissbreiten	
6.5.2.6	Limitazione dello spessore delle fessure.....	32
6.6	BAULICHE DURCHBILDUNG	
6.6	STRUTTURA COSTRUTTIVA.....	32
6.6.1	Expositionsklasse und Mindestbetondeckung	
6.6.1	Classe di esposizione e copriferro minimo.....	32
6.6.2	Mindestbewehrung	
6.6.2	Armatura minima.....	33
6.7	ERGEBNISSE	
6.7	RISULTATI.....	33
7	VERZEICHNISSE	
7	ELENCHI.....	35
7.1	TABELLENVERZEICHNIS	
7.1	ELENCO DELLE TABELLE.....	35
7.2	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	
7.2	ELENCO DELLE ILLUSTRAZIONI.....	35
7.3	ANLAGENVERZEICHNIS	
7.3	ELENCO APPENDICI.....	35
7.4	REFERENZDOKUMENTE	
7.4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	36
7.4.1	Eingangsdokumente	
7.4.1	Documenti in ingresso.....	36
7.4.2	Normen und Richtlinien	
7.4.2	Normative e linee guida.....	36
7.4.3	Bibliografie	
7.4.3	Bibliografia.....	37

ANHANG 1 -- KENNLINIENVERFAHREN

APPENDICE 1 - LINEE CARATTERISTICHE

ANHANG 2 - FDM-ANALYSE

APPENDICE 2 - ANALISI FDM

ANHANG 3 - FEM-ANALYSE DER INNENSCHALE

APPENDICE 3 - ANALISI FEM DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO

1 EINFÜHRUNG

Der vorliegende Bericht beinhaltet eine Erläuterung zur Bemessung der Außen- und Innenschalen der Haupttunnel, der Strecke zwischen Kilometrierung Km 49+117.867 und 52+622.466 (Oströhre) und zwischen Kilometrierung Km 49+241.000 und 52+844.554 (Weströhre) die mit offene TBM vorgetrieben wird.

Die Tunnel verlaufen gänzlich innerhalb des Brixener Granits mit Überdeckungen die von 860 m bis 1355 m reichen. Im vorliegenden Dokument wird der Ausbruchquerschnitt GL-MA4 bemessen, welcher vorgesehen ist um den meist gestörten Bereichen entgegenzuwirken.

Der schwierigster Ausbruchquerschnitt (GL-MA4), mit Durchmesser 4.96 m (inkl. 10 cm Extraaushub), sieht radiale Nietungen vor mit Stäbe SN28, 5.5 m lang, Querabstand 1.8 m und Längsabstand 1.5 m, und mit 2 Lehrgerüste IPN160, variabler Abstand von 0.5 bis 1.5 m. Alternativ zu den Stäben SN28 können 6 m lange Bohrschrauben R38N benützt werden.

Auf der Rückseite des Back-ups der Fräse ist eine Schicht von 20 cm (nominal) Spritzbeton, Festigkeitsklasse C30/37 vorgesehen.

Falls es beim Ausbruch nötig wäre, kann eine Verstärkung des Umrisses mit Bohrschrauben R51N, 9-12m lang, Querabstand 0.9 m und Längsabstand 3 m ausgeführt werden.

Die Innenschale besteht aus Beton der Festigkeitsklasse C30/37 mit unterschiedliche Stärke, die von 41 cm in Nähe der Kappe bis zu 60 cm an der Sohlplatte reichen. Diese Stärken sind als nominal zu verstehen, sie entsprechen also ohne Bau- und Trassierungstoleranz mindestens 40 und 53 cm, respektive an der Kappe und an der Sohlplatte.

Obwohl es nicht Gegenstand dieses Dokument ist, wird daran erinnert, dass der Abschnitt mit einem Radius von 4.86 m (inkl. 5 cm Extraausbruch), der zur Aushub in Klasse II (GL-MA2) vorgesehen ist, eine radiale Nietungen mit Superswellex Pm24, 4.5 m lang, mit Querabstand 1.8 m und Längsabstand 1.5 m vorsieht. Die Nietung ist auf 90° an der Kappe verteilt, und auf der Rückseite des Back-ups der Fräse ist eine Schicht von 10 cm (nominal) Spritzbeton, Festigkeitsklasse C30/37 vorgesehen. Die Innenschale besteht aus Beton der Festigkeitsklasse C30/37 mit Stärken die von 40 cm in Nähe der Kappe bis auf 53 cm an der Sohlplatte reichen.

Beim Streckenausbruch in Klasse III (Ausbruchquerschnitt GL-MA3) wird die Erstreckung der Nietung an der Kappe des Ausbruchquerschnitts GL-MA2 von 90° auf 120°, bei Erhaltung der restlichen Geometrien, vorgesehen.

Bei den Strecken in Klasse II, mit Überdeckungen über 1000m, ist ein verstärkter Ausbruchquerschnitt (GL-MARb) mit auf die

1 INTRODUZIONE

La seguente relazione riporta il dimensionamento dei rivestimenti di prima fase e definitivi delle gallerie di linea, nella tratta scavata con TBM aperta tra le progr. Km 49+117.867 e 52+622.466 (Canna Est) e tra le progr. Km 49+241.000 e 52+844.554 (Canna Ovest).

Le gallerie si sviluppano per la loro totalità all'interno del Granito di Bressanone con coperture variabili da 860 m a 1355 m. Nel presente documento si dimensiona la sezione di scavo GL-MA4 prevista per affrontare le zone maggiormente disturbate.

La sezione di scavo più pesante (GL-MA4), avente diametro (compreso 10 cm di extrascavo) di 4.96 m, prevede chiodature radiali costituite da barre SN28, lunghezza 5.5 m, con passo trasversale 1.8 m e longitudinale 1.5 m, e 2 centine IPN160 a passo variabile da 0.5 a 1.5 m. In alternativa alle barre SN28 potranno essere utilizzati autop perforanti R38N, lunghezza 6m.

A tergo del back-up della fresa è prevista la realizzazione di uno strato di 20 cm (nominali) di betoncino proiettato, classe di resistenza C30/37.

Qualora si rendesse necessario in fase di scavo, potrà essere realizzato un consolidamento del contorno del cavo mediante autop perforanti R51N, lunghezza 9-12m, a passo trasversale 0.9 m e longitudinale 3 m.

Il rivestimento definitivo è costituito da calcestruzzo C30/37 con spessore variabile da 41 cm in corrispondenza della calotta fino a 60 cm in platea. Tali spessori sono da intendersi come spessori nominali che, al netto delle tolleranze di costruzione e di tracciamento, si traducono in 35 e 53 cm minimi, rispettivamente in calotta e platea.

Seppur non oggetto del presente documento, si ricorda che la sezione prevista per affrontare lo scavo in classe II (GL-MA2), avente raggio (compreso 5 cm di extrascavo) di 4.86 m, prevede chiodature radiali costituite da Superswellex Pm24, lunghezza 4.5 m, con passo trasversale 1.8 m e longitudinale 1.5 m. La chiodatura è estesa su 90° in calotta e a tergo del back-up della fresa è prevista la realizzazione di uno strato di 10 cm (nominali) di betoncino proiettato, classe di resistenza C30/37. Il rivestimento definitivo di questa tratta, al netto delle tolleranze, presenta uno spessore variabile da 40 cm in corrispondenza della calotta fino a 53 cm in platea.

Nelle tratte di scavo in classe III (sezione GL-MA3) si prevede di estendere la chiodatura in calotta della sezione GL-MA2 da 90° a 120° mantenendo invariate tutte le altre geometrie.

Nelle tratte in classe II con coperture maggiori di 1000m è prevista una sezione di scavo (GL-MARb) rinforzata con chiodature tipo SN28 lunghe 5.5m ed estese sui piedritti. Tale sezione consente di limitare i possibili fenomeni di rockburst. Le

Widerlager erstreckten Nietungen des Typs SN28, 5.5m lang, vorgesehen. Dieser Abschnitt erlaubt es eventuelle Rockburst-Phänomene zu begrenzen. Die Schalen-Geometrie ändert sich nicht im Verhältnis zu GL-MA2 und GL-MA3.

Gegenstand dieses Berichts, wie bereits erwähnt, ist die Bemessung des bloßen Ausbruchquerschnitts GL-MA4.

Zur Schalenbemessung von GL-MA2, GL-MA3, sowie GL-MARb, wird auf den entsprechenden Bericht verwiesen.

geometrie dei rivestimenti non variano rispetto alla GL-MA2 e GL-MA3.

Come precedentemente accennato, oggetto della presente relazione è il dimensionamento della sola sezione GL-MA4.

Per il dimensionamento dei rivestimenti della GL-MA2, GL-MA3 e GL-MARb si rimanda alla relazione specifica.

2 MATERIALIEN

2.1 SPRITZBETON

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

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

$$f_{ck} = 30.71 \text{ MPa}$$

Hierbei sind:

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

2.2 ANKER

Es werden Felshaken des Typs GEWI SN28 vorgesehen oder Bohrschrauben des Typs R38N und R51N, mit folgenden Eigenschaften:

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

$$N_y = 413\text{-}200 \text{ kN (SN28)}$$

$$N_y = 400 \text{ kN (R38N)}$$

$$N_y = 630 \text{ kN (R51N)}$$

Hierbei ist:

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

2.3 LEHRGERÜSTE

Die Metallehrgerüste bestehen aus Stahl S355 mit folgenden Eigenschaften:

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

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

Hierbei ist:

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

2 MATERIALI

2.1 BETONCINO PROIETTATO

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

Dove:

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

2.2 ANCORAGGI

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

Dove:

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

2.3 CENTINE

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

Dove:

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

2.4 BETON

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

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

$$f_{ck} = 30.71 \text{ MPa}$$

Hierbei sind:

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

2.5 BEWEHRUNGSSTAHL

Für die Bemessung des Rings wird Stahl des Typs B450C benutzt:

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

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

Hierbei ist:

- E_s = Elastizitätsmodul
- f_{yk} = charakteristische Spannung der Stahlermüdung von Stahlbeton

2.4 CALCESTRUZZO

Per il dimensionamento del rivestimento definitivo si considera un calcestruzzo con classe di resistenza 30/37 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 ACCIAIO DA ARMATURA

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

dove:

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

3 GEOTECHNISCHES MODELL

3.1 GEOLOGIE UND GEOMECHANIK

Die Haupttunnel die mit offener TBM vorgetrieben werden verlaufen gänzlich im Brixener Granit.

Die Haupttunnel durchqueren, gemäß den geomechanischen und Detailplanungsprofilen [3] [4], zwischen den Kilometrierungen km 49+117 und 52+622 (Oströhre), 6 geomechanisch homogene Zonen, mit variablen Überdeckungen die von 860 m bis 1355 m reichen.

Zone number	Zone initial pk (approx.)	Zone final pk (approx.)	Zone length	Zone max overburden	Zone min overburden	Rock mass name
	[km]	[km]	[m]	[m]	[m]	
26	49.0	50.3	1255	1265	1090	GB-G-GA-1
27	50.3	50.4	72	1290	1265	GB-G-GA-2
28	50.4	51.5	1170	1355	1115	GB-G-GA-3
29	51.5	51.6	142	1150	1130	GB-G-GA-4
30	51.6	52.4	668	1145	970	GB-G-GA-5
31	52.4	52.6	233	970	860	GB-G-GA-6

Tabelle 1: Geomechanische homogene Zonen

3 MODELLO GEOTECNICO

3.1 GEOLOGIA E GEOMECCANICA

Le gallerie di linea scavate con la TBM aperta si sviluppano per la loro totalità all'interno del Granito di Bressanone.

In accordo con i profili geomeccanici e progettuali di dettaglio [3] [4] le gallerie di linee tra la progressive km 49+117 e 52+622 (canna est) attraversano 6 zone geomeccanicamente omogenee con coperture variabili da 860 m a 1355 m.

Tabella 1: Zone geomeccaniche omogenee

Folgende Tabellen zeigen die geomechanischen Grundparameter für die Definition jeder geomechanischen homogenen Zone und die Wahrscheinlichkeitsverteilung nach Bieniawskis der unterschiedlichen Klassen.

Le seguenti tabelle riportano i parametri geomeccanici di base che caratterizzano ciascuna zona geomeccanicamente omogenea e la distribuzione probabilistica delle diverse classi secondo la classificazione di Bieniawski.

Zone number	26	27	28	29	30	31
Rock mass name	GB-G-GA-1	GB-G-GA-2	GB-G-GA-3	GB-G-GA-4	GB-G-GA-5	GB-G-GA-6
γ (m) [kN/m ³]	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7
γ (σ) [kN/m ³]	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
σ_{ci} (m) [MPa]	115	89	131	90	122	122
σ_{ci} (σ) [MPa]	19	18	27	18	28	28
m_i (m)	24	22	24	22	24	24
m_i (σ)	4	4	4	4	4	4
E_i (m) [GPa]	34	28	29	29	30	30
E_i (σ) [GPa]	6.1	5	5.1	5	6	6
RMR(m)	73	52	72	59	66	60
RMR(σ)	11	14	13	8	11	10
GSI(m)	77	54	77	57	72	65
GSI(σ)	13	11	14	11	11	10

Tabelle 2: Charakterisierung des Gebirges jeder homogenen Zone und Wahrscheinlichkeitsverteilung der unterschiedlichen Klassen

Wobei:

- γ = spezifisches Gewicht des Gebirges
- σ_{ci} = einaxiale Druckfestigkeit der Gesteinsmatrix

Zone number	26	27	28	29	30	31
Rock mass name	GB-G-GA-1	GB-G-GA-2	GB-G-GA-3	GB-G-GA-4	GB-G-GA-5	GB-G-GA-6
p(class I)	25%	-	20%	-	10%	-
p(class II)	60%	25%	55%	45%	60%	50%
p(class III)	15%	55%	25%	55%	30%	50%
p(class IV)	-	20%	-	-	-	-
p(class V)	-	-	-	-	-	-

Tabella 2: Caratterizzazione degli ammassi di ciascuna zona omogenea e distribuzione probabilistica delle diverse classi

Dove:

- γ è il peso di volume naturale dell'ammasso roccioso.

- m_i = Krümmungsparameter aus triaxialem Druckversuch des Gesteinsmaterial
- E_i = Verformungsmodul der Gesteinsmatrix
- RMR = *Rock Mass Rating 1989*
- GSI = *Geological Strength Index*
- σ_{ci} è la resistenza a compressione monoassiale di matrice.
- m_i è un parametro di curvatura dell'involuppo di rottura triassiale del materiale roccia.
- E_i è il modulo di deformazione di matrice.

Die typischen Verformungs- und Festigkeitsparameter jeder Strecke wurden gemäß dem Bruchkriterium nach Hoek & Brown [22] berechnet, welches und im geomechanischem Hauptbericht [1] näher beschrieben wird.

- RMR è il *Rock Mass Rating 1989*.
- GSI è il *Geological Strength Index*.

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 [22] e esplicitato nella relazione geomeccanica generale [1].

Zone number	Rock mass name	Class	Zone max overburden	γ	ϕ_{picco}	ϕ_{res}	c_{picco}	c_{res}	E_{rm}	ψ
		[-]	[m]	[kN/m ³]	[°]	[°]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[°]
26	GB-G-GA-1	I	1265	26.7	51.0	34.8	9.3	3.2	28678	12.7
		II		26.7	46.0	34.8	5.9	3.2	19552	10.1
		III		26.7	40.3	33.9	4.3	3.0	6922	5.0
27	GB-G-GA-2	III	1290	26.7	39.7	31.4	4.4	2.8	9866	6.0
28	GB-G-GA-3	I	1355	26.7	51.4	35.0	10.5	3.4	24705	12.9
		II		26.7	46.5	35.1	6.6	3.4	17274	10.5
		III		26.7	40.9	34.3	4.8	3.3	6316	5.1
29	GB-G-GA-4	II	1150	26.7	42.2	32.5	4.5	2.6	13178	7.6
		III		26.7	36.3	31.3	3.3	2.4	3951	4.5
30	GB-G-GA-5	I	1145	26.7	52.2	35.7	9.6	3.0	25404	13.0
		II		26.7	47.4	35.7	5.9	3.0	18196	11.0
		III		26.7	41.8	35.0	4.2	2.9	6878	5.2
31	GB-G-GA-6	II	970	26.7	48.4	37.0	5.2	2.7	17633	10.9
		III		26.7	42.8	36.2	3.7	2.5	6447	5.4

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

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

Wobei:

- Φ_{picco} = Reibungswinkel am Peak
- Φ_{res} = Restreibungswinkel
- c_{picco} = Kohäsion am Peak
- c_{res} = Restkohäsion
- E_{rm} = Gebirgsmodul
- ψ = Dilatanz

Dove:

- Φ_{picco} è la resistenza al taglio di picco.
- Φ_{res} è la resistenza al taglio residua.
- c_{picco} è la coesione di picco.
- c_{res} è la coesione residua.
- E_{rm} è il modulo d'ammasso.
- ψ è la dilatanza.

4 GEBIRGSVERHALTEN

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

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

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

4.1 ABSCHÄTZUNG DES GEBIRGSVERHALTENS

Zur Abschätzung des Gebirgsverhalten ist das Kennlinienverfahren eingesetzt worden.

Beim Kennlinienverfahren wird das wechselseitige Verhältnis bestimmt, zwischen radialen Druck auf den Umriss des Hohlraums p und radiale Verschiebung u_r (späterhin Konvergenz) auf den Umriss selbst.

Diese Linien sind hier trassiert worden durch eine elastisch-plastisch bildendes Models, mit softening und nicht-assoziiertem Gebirgsmaterialfluss, nach Mohr-Coulomb, in ihrer von Ribacchi vorgeschlagenen Formulierung [18].

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

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

Die Kurve "Konvergenz-Ortsbrustabstand" ist durch eine vereinfachte analytische Prozedur ermittelt worden die folgende Relationen benutzt (siehe Nguyen, Minh et al. und [19]):

4 COMPORTAMENTO DELLA ROCCIA

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

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

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

4.1 VALUTAZIONE DEL COMPORTAMENTO DELLA ROCCIA

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

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

In questa sede tali linee sono state tracciate assumendo un modello costitutivo elasto-plastico con softening e flusso non associato del materiale roccia secondo Mohr-Coulomb, nella loro formulazione proposta da Ribacchi [18].

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

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

La curva "Convergenza – Distanza dal fronte" è stata ricavata attraverso un procedimento analitico semplificato che sfrutta le seguenti relazioni (si vedano Nguyen, Minh et al. e [19]):

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

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

wobei:

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

dove:

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

Die Kurven "Ortsbrustabstand - fiktive Aushebungskräfte" und "Ortsbrustabstand - plastischer Streifen" wurden per Herausarbeitung von den andren dreien entnommen.

In Tabella 4 ist ein Maßstab [20] [21] aufgezeigt zur Abschätzung der Ortsbrust abhängig von den Berechnungsergebnissen mit dem Kennlinienverfahren (Ortsbrustkonvergenz und Ausdehnung der plastischen Zone an der Ortsbrust).

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

In Tabella 4 si riporta un criterio [20] [21] per stimare il comportamento del fronte di scavo in funzione dei risultati delle analisi con le linee caratteristiche (convergenza al fronte e estensione della fascia plastica al fronte).

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

Tabelle 4: vorgeschlagene Stabilitätskriterien in [20] [21]; c_f = Ortsbrustkonvergenz; $F_{pl f}$ = Umfang des plastischen Streifens an der Ortsbrust; $R_{scavo} = r_{eq}$ = entsprechender Ausbruchradius.

Tabella 4: Criteri di stabilità proposti in [20] [21]; c_f = convergenza al fronte; $F_{pl f}$ = estensione della fascia plastica al fronte; $R_{scavo} = r_{eq}$ = raggio equivalente di scavo.

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

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

In Folge ist die Tabelle mit den Hauptergebnissen aufgezeigt:

Di seguito è riportata una tabella con i principali risultati:

Zone number	Rock mass name	Class	Zone max overburden	c_f	c_a	c_r	F_{plf}	F_{pla}	c_f/R	F_{plf}/R	c_r/R	F_{pla}/R
				[-]	[m]	[cm]	[cm]	[cm]	[m]	[m]	[%]	[%]
26	GB-G-GA-1	I	1265	0.31	1.03	0.72	0.00	0.61	0.06%	0.00	0.15%	0.13
		II		0.63	2.10	1.47	0.00	1.65	0.13%	0.00	0.30%	0.34
		III		2.03	6.77	4.74	0.00	2.59	0.42%	0.00	0.98%	0.53
27	GB-G-GA-2	III	1290	1.79	5.96	4.17	0.19	3.19	0.37%	0.04	0.86%	0.66
28	GB-G-GA-3	I	1355	0.36	1.19	0.83	0.00	0.46	0.07%	0.00	0.17%	0.09
		II		0.74	2.46	1.72	0.00	1.53	0.15%	0.00	0.35%	0.32
		III		2.30	7.67	5.37	0.00	2.44	0.47%	0.00	1.11%	0.50
29	GB-G-GA-4	II	1150	1.06	3.52	2.47	0.00	2.54	0.22%	0.00	0.51%	0.52
		III		4.22	14.05	9.84	0.50	3.82	0.87%	0.10	2.02%	0.79
30	GB-G-GA-5	I	1145	0.26	0.86	0.60	0.00	0.21	0.05%	0.00	0.12%	0.04
		II		0.56	1.86	1.30	0.00	1.34	0.11%	0.00	0.27%	0.28
		III		1.68	5.60	3.92	0.00	2.20	0.35%	0.00	0.81%	0.45
31	GB-G-GA-6	II	970	0.44	1.48	1.04	0.00	1.11	0.09%	0.00	0.21%	0.23
		III		1.40	4.65	3.26	0.00	1.90	0.29%	0.00	0.67%	0.39

Tabelle 5: Zusammenfassung der Ergebnisse der Charakteristischen Linien

Die durchgeführten Berechnungen heben keine Verformungs- und Stabilitätsproblematik hervor; das erwartete Verhalten des Ausbruchs ist substantiell des elastischen Typs, und die Ortsbrust erweist sich als stabil, bei substantieller Erhaltung der maximalen Festigkeitsmerkmale des durchdrungenen Materials.

Nur bei Zone 29 in Klasse III heben die durchgeführten Überprüfungen ein Zuwachs der plastischen Zone hervor, die jedenfalls unter dem Ausbruchradius liegt, und eine Erhöhung der Konvergenzen; die relative Konvergenz ist in Höhe von 10 cm.

Die Parameter dieser letzten Strecke wurden für die Prüfung des Ausbruchquerschnitts GL-MA4, während die Parameter der Zone 28 in Klasse III für die Berechnung des Ausbruchquerschnitts GL-MA3 angewandt wurden, welches nicht Gegenstand dieses Berichts ist.

Tabella 5: Sintesi dei risultati delle linee caratteristiche

Le analisi effettuate non evidenziano alcuna problematica deformativa e di stabilità; il comportamento del cavo atteso è di tipo sostanzialmente elastico, e il fronte si presenta stabile, conservando sostanzialmente le caratteristiche di massima resistenza del materiale attraversato.

Solo in corrispondenza della zona 29 in classe III le verifiche condotte evidenziano un incremento della fascia plastica, comunque inferiore del raggio di scavo, ed un incremento delle convergenze; la convergenza relativa è dell'ordine dei 10cm.

I parametri di quest'ultima tratta sono stati considerati rappresentativi per la verifica della sezione di scavo GL-MA4 mentre i parametri della zona 28 in classe III sono stati adottati per il calcolo della sezione GL-MA3, non oggetto della presente relazione.

5 AUSSENSCHALE

5.1 ANALYSE DER AUSBRUCHPHASEN

Aus der Analyse des Kennlinienverfahrens entnimmt man, dass Bereich 29 in Klasse III, welcher als Bemessungsbezug des Ausbruchquerschnitts GL-MA4 diente, relative Gebirgskonvergenzen in Extraausbruch-Größe (10 cm) aufweisen, sowie die Bildung einer plastischen Zone in unmittelbarer Nähe des Ausbruchradius.

Das Ausbruchverhalten sowie die Gebirgslastanalyse auf die Außen- und Innenschalen des Ausbruchquerschnitts in Klasse III (GL-MA3) wurden mit dem Finite-Differenzen-Programm FLAC durchgeführt. Dieses ermöglicht den Verlauf einer Last und das spannungs-verformende Verhalten des Gebirges durch alle Schritte der Baurealisierung zu verfolgen.

Modellierung im ebenen Verformungszustand, d.h.:

- Das geotechnische Bezugsmodell stellt einen Querschnitt orthogonal zur Tunnelachse dar;
- Die Definition des Spannungs-Verformungs-Verhaltens und der Festigkeit des Gebirges ist vom Ausbruch abhängig;
- Die Definition des Spannungszustands im Gebirge, vor dem Tunnelvortrieb ist erforderlich;
- Die einzelnen Ausbruchphasen sowie die entsprechende Ausbruchsicherung werden modelliert.

5.1.1 Der Berechnungskodex

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

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

5 RIVESTIMENTO DI PRIMA FASE

5.1 ANALISI DELLE FASI DI SCAVO

Dall'analisi delle linee caratteristiche, la zona 29 in classe III, presa di riferimento per il dimensionamento della sezione GL-MA4, mostra convergenze relative dell'ammasso dell'ordine dell'extrascavo (10cm), e la formazione di una fascia plastica prossima al raggio di scavo.

Il comportamento allo scavo e l'analisi del carico d'ammasso sui rivestimenti, anche definitivi, è stato condotto mediante il programma alle differenze finite FLAC. 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.

5.1.1 Il codice di calcolo

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

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

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

5.1.2 Analysierte Ausbruchquerschnitte

Zur Bemessung der Ausbruchquerschnitte GL-MA4 wurde der Ausbruchquerschnitt mit der höchsten Überdeckung ($H=1150$ m) in der homogenen Strecke 29 (GB-G-GA-3) worden, und die entsprechenden Gebirgsparameter (Tabelle 3) berücksichtigt.

5.1.3 Bildendes Gebirgsmodell

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

5.1.4 Modellgeometrie und Ausgangsspannungslage

Aufgrund der Symmetrie der zu untersuchenden Problemstellung, erstreckt sich das Berechnungsmodell über eine Breite von 100 m ab den Grenzen der Hohlräume und über eine Höhe von 200 m, von denen 100 m unter und 100 m über der Schienenoberkante liegen. Durch die gewählten Modellabmessungen kann davon ausgegangen werden, dass eventuelle Randeinflüsse vernachlässigbar werden. Das Gebirge wurde mittels zweidimensionaler, quadratischer Elemente mit Abmessungen von ca. 200x200 cm diskretisiert.

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

5.1.2 Sezioni analizzate

Per il dimensionamento della sezione GL-MA4 si è considerata la sezione con la massima copertura ($H=1150$ m) nella tratta omogenea 29 (GB-G-GA-4) e i relativi parametri d'ammasso (Tabella 3).

5.1.3 Modello costitutivo dell'ammasso

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

5.1.4 Geometria del modello e stato tensionale iniziale

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

In der Nähe des Tunnels wird die Mesh verdichtet und die Elemente erreichen Abmessungen von ca. 50x50 cm.

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

Der Tunnel hat einen Berechnungsradius, inkl. der Extraausbruchs, von 4.96 m.

Die Kraftlage vor Ort ist gemäß folgenden Verhältnissen ausgewertet worden:

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

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

Wobei:

- Z = Abstand des allgemeinen Elements von der Geländeoberkante
- K₀ = Beiwert des waagrechten Schubs das gleich 0.75 angenommen ist.

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.

La galleria ha un raggio di calcolo, considerando l'extrascavo, di 4.96 m.

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

Dove

- Z rappresenta la distanza del generico elemento dal piano campagna
- K₀ è il coefficiente di spinta orizzontale, assunto pari a 0.75.

5.1.5 Eigenschaften der Außenschale

Folgende Tabelle stellt die Eigenschaften der Außenschale des analysierten Ausbruchquerschnitts dar:

	Typo	Chiodature					Classe	Betoncino		Armatura I fase	
		N _y	L	Passo long.	Passo trasv.	n°		Sp. nominale	Sp. Minimo	Typo	Passo
		[kN]	[m]	[m]	[m]	[-]		[cm]	[cm]	[-]	[m]
GL-MA4	SN28	413	5.5	1.5	1.8	12+13	C30/37	20	17.5	2IPN160	1.5 - 0.5

Tabelle 6: Charakteristika der Außenschale GL-MA3

Es wird klargestellt, dass der Spritzbeton nicht im Modell schematisiert wird, da dieser auf der Rückseite des Back-ups der TBM aufgetragen wird, wo die TKA ingenieurtechnisch gleich null sind. Die ins Modell eingesteckten Niete werden mit einem entsprechenden Grenzwiderstand ihrer Ermüdungsfestigkeit um den mit BBT SE vereinbarten Widerstandsbeiwert faktorisiert (Y_R = 1.3 auf den Verbund Zementmörtel-Gebirge und Y_R = 1.15 auf Stahl). Die Nietungen werden als verformungsbegrenzend berücksichtigt und deshalb nicht geprüft, wobei die aus der FDM-Analyse entnommenen Belastungen verstärkt werden, aber, bei Zuordnung der Programmeingangsparameter, erweist sich deren Überprüfung implizit als zufriedenstellend.

Die Anker sind mit spezifischen eindimensionalen Elementen (Cables) reproduziert worden, mit perfekt plastischem elastischen Verhalten (Abbildung 1) und an den Rasterknoten

5.1.5 Caratteristiche dei rivestimenti di prima fase

La seguente tabella riporta le caratteristiche dei rivestimenti di prima fase della sezione analizzata:

Tabella 6: Caratteristiche rivestimenti di prima fase GL-MA3

Si precisa che il betoncino proiettato non viene schematizzato nel modello in quanto viene messo in opera a tergo del back-up della TBM, ove le FFS sono ingegneristicamente nulle. I chiodi vengono inseriti nel modello con una resistenza limite pari alla loro resistenza a snervamento fattorizzata per il coefficiente sulle resistenze concordato con BBT SE (Y_R = 1.3 sull'aderenza malta cementizia-ammasso e Y_R = 1.15 sull'acciaio). Le chiodature vengono considerate come limitatrici di deformabilità e pertanto non vengono verificate amplificando le sollecitazioni ricavate dall'analisi FDM, ma la loro verifica, una volta assegnati i parametri in ingresso al programma, risulta implicitamente soddisfatta.

Gli ancoraggi sono stati riprodotti con specifici elementi monodimensionali (Cables) aventi comportamento elastico perfettamente plastico (Figura 1) collegati ai nodi della griglia

über eine Schnittstelle verbunden. Fläche, Verformungsmodul und Zugfestigkeit sind die am Ausbruchquerschnitt eines jeden Elements zugeordneten Parameter. Hinsichtlich der Schnittstelle dagegen, wird grundsätzlich das Schubverhalten des Mörtelrings rundum der Niete als ein Feder- und Schiebersystem in den Knoten der Elemente dargestellt (Abbildung 2). Das Schubverhalten des Mörtels, während der relativen Verschiebung zwischen Schnittstellenverstärkung und Mörtel und zwischen Mörtel und Felsen, ist von der Schubsteifigkeit des Mörtels numerisch beschrieben (k_{bond} in Figura 3). Die maximale Schubkraft die im Mörtel per Längeneinheit entwickelt werden kann ist dagegen eine Funktion der Reibungskraft zwischen Mörtel und Anker und Mörtel und Erde (S_{bond}); in den Berechnungen wurde die Reibungsfestigkeit ($S_{friction}=0$) nicht berücksichtigt.

mediante un'interfaccia. I parametri assegnati alla sezione di ogni elemento sono l'area, il modulo di deformazione e la resistenza a trazione. Per quanto riguarda invece l'interfaccia, in linea di principio, il comportamento a taglio dell'anello di malta intorno al chiodo è rappresentato come un sistema di molle e slider situati nei nodi dell'elemento (Figura 2). Il comportamento al taglio della malta, durante lo spostamento relativo tra l'interfaccia del rinforzo e la malta e tra la malta e la roccia, è descritto numericamente dalla rigidità al taglio della malta (k_{bond} in Figura 3). La forza di taglio massima che si può sviluppare nella malta per unità di lunghezza è invece una funzione della forza di aderenza tra malta e ancoraggio e tra malta e terreno (S_{bond}); nelle analisi non si è tenuta in considerazione la resistenza per attrito ($S_{friction}=0$).

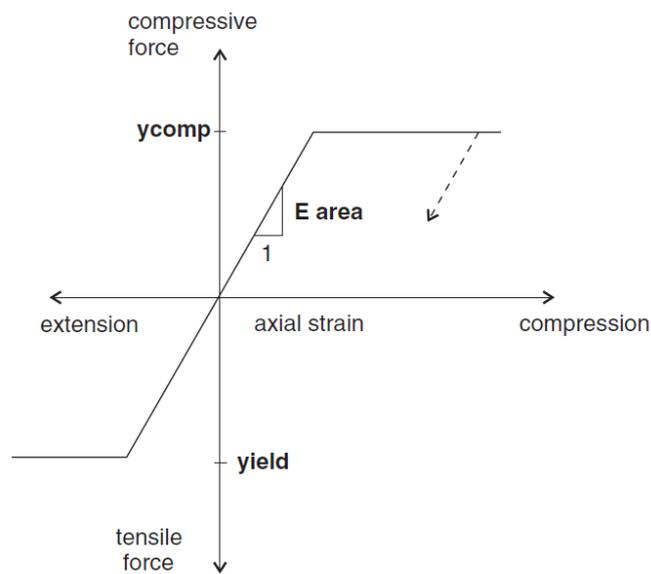


Abbildung 1: Kraft-Verformungsverhalten der Cable-Elemente

Figura 1: Comportamento sforzo-deformazione degli elementi cable

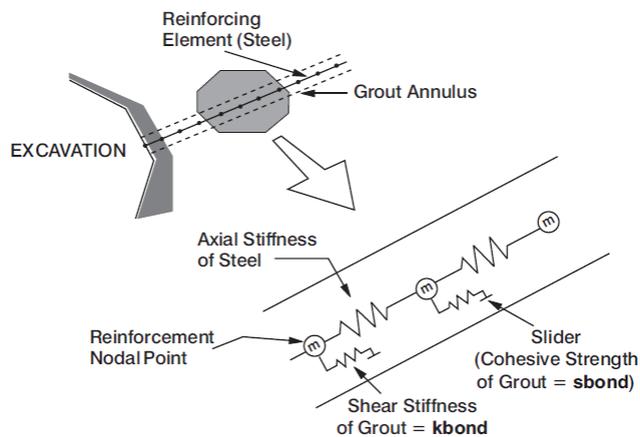
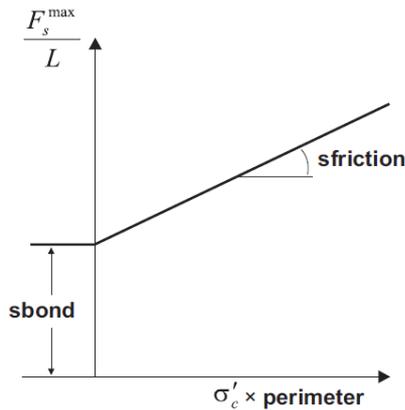
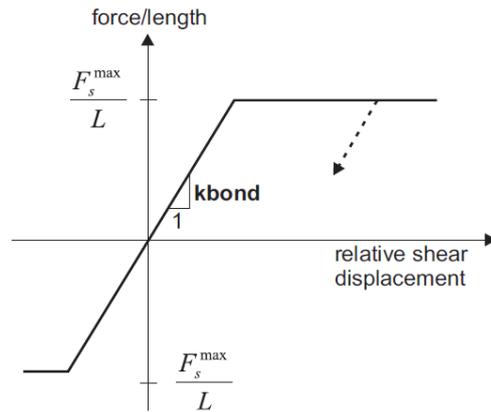


Abbildung 2: Konzeptdarstellung des Schubverhaltens des Mörtelrings rundum dem Anker

Figura 2: Rappresentazione concettuale del comportamento a taglio dell'anello malta intorno all'ancoraggio.



a) Grout shear strength criterion



b) Grout shear force versus displacement

Abbildung 3: Schnittstellenverhalten

Figura 3: Comportamento dell'interfaccia

Die in FLAC anzuwendende Schubsteifigkeit des Mörtels k_{bond} wird grundsätzlich mittels folgendem Verhältnis geschätzt:

La rigidezza al taglio della malta k_{bond} da utilizzare in FLAC, in linea di principio, è stimata mediante la seguente relazione:

$$k_{bond} = \frac{2 \cdot \pi \cdot G}{10 \cdot \ln(1 + 2 \cdot t/D)}$$

Wobei:

- G = Schubmodul des Zementmörtels
- t = Stärke des Mörtels rundum der Niete
- D = Nietendurchmesser

Dove:

- G è il modulo di taglio della malta cementizia
- t è lo spessore della malta attorno al chiodo
- D è il diametro del chiodo

Die Höchstreibungskraft zwischen Mörtel und Erde S_{bond} kann mit folgendem Verhältnis berechnet werden:

La massima forza di aderenza tra malta e terreno S_{bond} può essere calcolata mediante la seguente relazione:

$$S_{bond} = \pi \cdot (D + 2 \cdot t) \cdot \tau_{peak}$$

$$\tau_{bond} = \tau_1 \cdot Q_b$$

Wobei:

- T_1 = seitliche Reibung Mörtel Erde
- Q_b = Beiwert der die Zementierungsqualität berücksichtigt (0.7)

Dove:

- T_1 è l'aderenza laterale malta terreno
- Q_b è un coefficiente che tiene conto della qualità della cementazione (0.7)

Abschließend, sind die geplanten radial Nietungen mit folgenden Charakteristika modelliert worden:

Concludendo, le chiodature radiali in progetto sono state modellate con le seguenti caratteristiche:

	N_{yk}	E	A	D	t	D_{perf}	G	$\tau_{malta-chiodo}$	$\tau_{malta-roccia}$	Q_b	N_{yd}	$S_{bond,malta-chiodo}$	$S_{bond,malta-roccia}$	S_{bond}	K_{bond}
	[kN]	[MPa]	[mm ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[GPa]	[kPa]	[kPa]	[-]	[kN]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m/m]
Barre SN28	413	210000	616	32	9.5	51	10	2379	2154	0.7	359	167	242	170	2.0E+07

Tabelle 7: Nietungen-Input

Tabella 7: Input delle chiodature

Wobei:

Dove:

- N_{yk} = Ermüdungslast
- E = Elastizitätsmodul des Stahls
- A = Ausbruchquerschnittsfläche

- N_{yk} è il carico di snervamento
- E è il modulo elastico dell'acciaio
- A è l'area della sezione

- D = Nietendurchmesser
- t = Mörtelstärke um die Niete herum
- D_{perf} = Bohrungsdurchmesser
- G = Schubmodul des Zementmörtels
- $T_{malta-chiodo}$ = Reibung zwischen Mörtel und Niete
- $T_{chiodo-roccia}$ = Reibung zwischen Niete und Gebirge
- N_{yd} = Planungslast

- D è il diametro del chiodo
- t è lo spessore della malta attorno al chiodo
- D_{perf} è il diametro di perforazione
- G è il modulo di taglio della malta cementizia
- $T_{malta-chiodo}$ è l'aderenza tra la malta e il chiodo
- $T_{malta-roccia}$ è l'aderenza tra il chiodo e l'ammasso
- N_{yd} è il carico di progetto

5.1.6 Laststufe

Nach einer ersten Phase der Modellinitialisierung, zur Berechnung des Ausgangsgleichgewichts, wird die Tunnelaushebung mittels Trägheits-Kräften der Aushebung simuliert (späterhin TKA). Der Prozentsatz dieser Kräfte an der Ortsbrust (23%) und vor den Nietungen ist aufgrund der Ergebnisse des Kennlinienverfahrens bestimmt.

5.1.6 Step di carico

Dopo una prima fase di inizializzazione del modello, necessaria per calcolare l'equilibrio iniziale, lo scavo della galleria viene simulato mediante l'utilizzo delle Forze Fittizie di Scavo, di seguito denominate FFS. La percentuale di tali forze al fronte (23%) e prima dell'installazione dei rivestimenti è definita sulla base dei risultati delle Linee Caratteristiche.

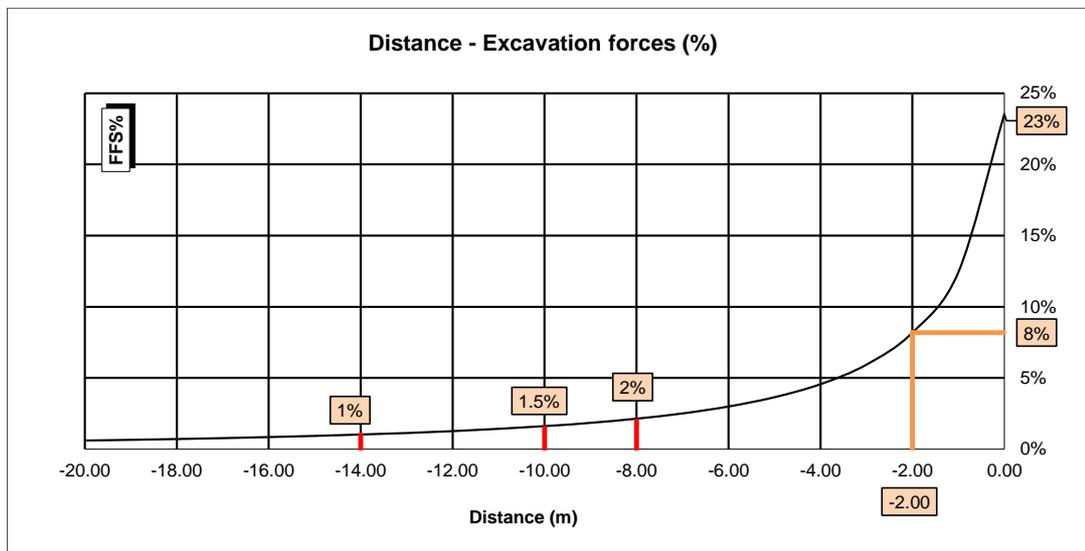


Abbildung 4: TKA an der Ortsbrust und bei Einsetzung der Nietungen

Figura 4: FFS al fronte, all'installazione delle chiodature e delle centine

Nachfolgend sind die Berechnungsstufen zusammengefasst:

- 1) Geostatische Ausgangslage mit Bestimmung der Geometrie, der Umgebungslagen, der Stratigraphie und der geostatischen Ausgangsspannungen;
- 2) Annullierung der Zonen innerhalb der Ausbruchs und Reduktion der TKA bis zum Wert den sie an der Ortsbrust einnehmen (TKA =23%);
- 3) Reduktion der TKA bis zum Wert den sie bei der Einsetzung der Außenschale einnehmen (auf 2 m von der Ortsbrust) (TKA =8%);
- 4) Einführung der Radialnietungen ins numerische Modell und Reduzierung der TKA bis zum

Di seguito sono riassunti gli step di calcolo:

- 1) Condizione geostatica iniziale con definizione della geometria, delle condizioni al contorno, della stratigrafia e delle tensioni geostatiche iniziali;
- 2) Annullamento delle zone all'interno dello scavo e riduzione delle forze FFS, fino al valore che assumono al fronte (FFS=23%);
- 3) Riduzione delle FFS fino al valore che assumono nel momento dell'installazione delle chiodature (2 m dal fronte) (FFS=8%);
- 4) Introduzione nel modello numerico delle chiodature radiali e riduzione delle FFS fino al momento

Einbaumoment der Lehrgerüste. Die Berechnungen unter nicht-gestützte Hohlraumbedingungen haben eine relative Konvergenz, die unter dem Extraausbruch liegt. Vorsichtshalber ist entschlossen worden der Außenschale eine variable TKA von 1 bis 2% der lithostatischen Ausgangslast zuzuweisen. Insbesondere sind 3 Modelle ausgeführt worden, einen mit TKA =1%, einen mit TKA=1.5% und einen mit TKA=2%.

- 5) Einführung der Lehrgerüste 2IPN160 mit Abstand 1.5-0.75-0.5m jeweils zu 1%, 1.5% sowie zu 2% der TKA ins numerische Modell und Annullierung der TKA.
- 6) Entfernung der Außenschale und Simulation der Langzeitkonfiguration mit der Einsetzung der Innenschale. Diese ist mit der Bewehrungsmatte verbunden mittels ein Schnittstellenelement, mit normaler dem Gebirge entsprechende Steifigkeit, und tangential Steifigkeit gleich Null. Dieses Schnittstellenelement ermöglicht die Wirkung der Abdichtungsschicht zwischen den zwei Schalen zu berücksichtigen, indem es die tangentialen Spannungen annulliert, darüber hinaus erlaubt es die Drucke, welche auf der Innenschale wirken, zu schätzen.

5.1.7 Nachweisverfahren

Gemäß den NTC 2000 wurden die aus dem FDM Modell entnommenen Wirkungen auf die Außenschale um $Y_G = 1,30$ erhöht und die Widerstände des strukturellen Querschnitts (Lehrgerüst) um $Y_s = 1,15$ reduziert.

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

$$E_d \leq R_d$$

Hierbei ist:

- R_d = Bemessungswert Widerstand
- E_d = Bemessungswert Einwirkung

5.1.8 Ergebnisse

Die im Anhang 3 aufgezeigten Analysen bestätigen tatsächlich die in Tabelle 5 dargestellten Ergebnisse des Kennlinienverfahrens. Unter dem Gesichtspunkt der Verformungen angesichts des Vorsichtsmodells, d.h. dem bei den die Lehrgerüste auf 1% der TKA appliziert wurden, wird die relative Konvergenz bei der Kappe, aufgrund der Wirkung von Nietungen und Lehrgerüste, von 9.8 cm auf 5.6 cm reduziert, während die absolute Konvergenz von 14.1 cm auf 10.2 cm sinkt.

dell'installazione delle centine. Le analisi in condizioni di cavità non sostenuta hanno confermato una convergenza relativa inferiore all'extrascavo.

Cautelativamente, si è deciso di assegnare al rivestimento di prima fase una percentuale delle FFS variabile dall'1 al 2% del carico litostatico iniziale. Nello specifico sono stati fatti 3 modelli, uno con FFS=1%, uno con FFS=1.5% e uno con FFS=2%.

- 5) Introduzione nel modello numerico delle centine 2IPN160 a passo 1.5-0.75-0.5m rispettivamente all'1%, 1.5% e al 2% delle FFS e annullamento delle FFS.
- 6) Rimozione del rivestimento di prima fase (chiodature e centine) 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.

5.1.7 Procedura di verifica

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

Le verifiche risultano soddisfatte se è verificata la seguente disuguaglianza:

Dove:

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

5.1.9 Risultati

Le analisi riportate nell'allegato 3 confermano di fatto i risultati delle Linee Caratteristiche esposti in Tabella 5. Considerando il modello più cautelativo dal punto di vista delle deformazioni, vale a dire quello in cui le centine sono applicate all'1% delle FFS, la convergenza relativa in calotta, grazie all'effetto delle chiodature e delle centine si riduce da 9.8 cm a 5.6 cm mentre la convergenza assoluta si riduce da 14.1 cm a 10.2 cm.

Le plasticizzazioni sono dell'ordine dei 4 m, in analogia con i risultati delle L.C.

Die Plastizität ist in Höhe von 4 m, wie bei den Ergebnissen des Kennlinienverfahrens.

Der vom Gebirge ausgeübter Druck auf die Innenschale, bei Verfall der Außenschale und unter dem Gesichtspunkt der Kräfte am bedeutungsvollsten Modell, d.h. dem bei den die Lehrgerüste auf 2% der TKA appliziert wurden, ist in Höhe von 400 kPa.

La pressione esercitata dall'ammasso sul rivestimento definitivo, al decadimento dei rivestimenti di prima fase e nel modello più significativo dal punto di vista degli sforzi, vale a dire quello in cui le centine sono applicate al 2% delle FFS, è dell'ordine dei 400 kPa.

5.2 ANALYSE DER ORTBRUSTSTABILITÄT

5.2.1 Nachweisverfahren

Zur Durchführung der Stabilitätsberechnungen der Ortsbrust werden die charakteristischen Werte der geotechnischen Parameter angewandt und um folgenden Faktoren reduziert:

5.2 ANALISI DELLA STABILITÀ DEL FRONTE

5.2.1 Procedura di verifica

Per l'esecuzione dei calcoli di stabilità del fronte vengono applicati i valori caratteristici dei parametri geotecnici ridotti con i seguenti fattori:

Parameter / Parametri	Symbol / Simbolo	Faktor / Fattore
Effektiver Reibungswinkel / Angolo di attrito effettivo ^a	$\gamma_{\varphi'}$	1.25
effektive Kohäsion / Coesione effettiva	$\gamma_{c'}$	1.25
undrainierte Scherfestigkeit / Resistenza a taglio non drenata	γ_{cu}	1.4
einaxiale Druckfestigkeit / Resistenza a compressione monoassiale	γ_{qu}	1.6
Wichte / Peso specifico	γ_{γ}	1
^a Dieser Faktor wird auf $\tan \varphi'$ angewendet / valore applicato alla tangente dell'angolo		

Tabelle 8: Teilsicherheitsfaktoren zur Stabilitätsüberprüfung der Ortsbrust

Tabella 8: Fattori parziali di sicurezza per la verifica di stabilità del fronte di scavo

5.2.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse des Kennlinienverfahrens schließen Instabilitätsphänomene der Ortsbrust für diese Gebirge aus.

5.2.3 Risultati

I risultati delle linee caratteristiche escludono fenomeni di instabilità del fronte di scavo per gli ammassi in oggetto.

6 INNENSCHALE

6.1 STABWERKSMODELLE

Die Beanspruchungen der Innenschale wurden durch den Kodex SAP2000© (basiert auf die Finite-Elemente-Methode) mit den Stabwerksmodellen berechnet.

Die FEM Analyse wird mit folgenden Kriterien durchgeführt.

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

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

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

wobei:

- E_c = Modul der Betonelastizität;
- ν = Poisson Verhältnis (0.2);

Zur Berechnung des unbewehrten Betons wird ein formendes Modell des elastisch-linearen Materials verwendet. Infolge des Verlusts an Querschnittssteifigkeit, welche durch die Öffnung von Spalten verursacht ist, dort wo die Betonzugfestigkeit überwunden wird (Ausformung von plastischen Scharnieren), wird, laut Kapitel 12.5 des EC2, die Neuverteilung der Belastungen berechnet. Die Modellierung der plastischen Scharniere erfolgt durch den Einsatz von Torsionsfedern dessen Steifigkeit mit der Pöttler-Methode [26][27] iterativ berechnet wird.

6.2 MODELLIERUNG DER BETTUNG

Die Zusammenwirkung Boden-Struktur wird mittels Einsatz von Link Elementen simuliert, die in Höhe der Modellknoten gesetzt werden und die, nur bei Komprimierung, in der Lage sind der Struktur eine Reaktion zu übertragen die dem Annäherungsdruck Boden-Struktur entspricht.

Die Steifigkeit der Pleuel wird angesichts des Reaktionsmoduls des Bodens k und der Schnittstelle bestimmt.

6 RIVESTIMENTO DEFINITIVO

6.1 METODO DELLE REAZIONI IPERSTATICHE

Le sollecitazioni nel rivestimento definitivo sono state calcolate tramite il codice SAP2000© (basato sul Metodo degli Elementi Finiti) con il metodo delle reazioni iperstatiche.

L'analisi FEM è svolta secondo i seguenti criteri.

Si considera un concio di galleria di 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 $E'_c \times I_g$. Il momento d'inerzia I_g 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;
- ν = rapporto di Poisson (0.2);

Per la modellazione del calcestruzzo non armato si utilizza un modello costitutivo del materiale elastico-lineare. Viene presa in considerazione la ridistribuzione delle sollecitazioni in seguito alla perdita di 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 [26][27].

6.2 INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA

L'interazione terreno-struttura viene simulata mediante l'utilizzo di elementi link, posti in corrispondenza dei nodi del modello, e in grado di trasmettere alla struttura, solo se compressi, una reazione pari alla pressione di contatto terreno-struttura.

La rigidità delle bielle è determinata tenendo conto del modulo di reazione del terreno k e dell'interfaccia.

Die erste wird gemäß den späterhin beschriebenen Verhältnissen bestimmt, respektive für gekrümmte und gradlinige Oberflächen. Die zweite ist, den Eigenschaften des Abdichtungsstreifens zufolge, mit $60'000\text{kN/m}^3$ angenommen worden. Letztere hat eine Verschiebungswertigkeit unter 0.5cm . Wenn diese Verschiebungen überwunden sind, wird die Schnittstellensteifigkeit die des Gebirges.

Die tangentielle Steifigkeit ist übergangen worden.

La prima è definita secondo le relazioni di seguito descritte, 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 di impermeabilizzazione. Quest'ultima ha valenza per spostamenti inferiori a 0.5cm . Superati tali spostamenti, la rigidità dell'interfaccia diventa quella dell'ammasso.

La rigidità tangenziale è stata trascurata.

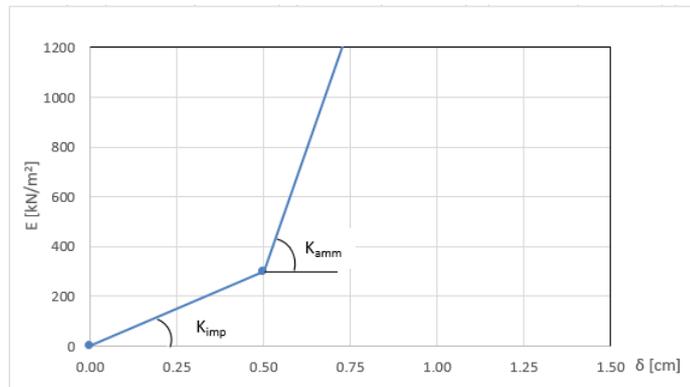


Abbildung 5: Schematisierung der Schnittstelle

Figura 5: Schematizzazione dell'interfaccia

6.2.1 Modellierung der Bettung

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

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

- Hierbei ist:
- K_R = Steifigkeit der radialen Bettung Innenschale – Gebirge [MN/m^3]
- E = Elastizitätsmodul des Gebirges
- E_s = Steifemodul des Gebirges
- ν = Poisson Beiwert des Gebirges
- R = Tunnelradius - Systemlinie

6.2.1 Rigidezza radiale

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

- Dove:
- K_R = rigidità del letto di molle radiali a contatto con l'anello interno [MN/m^3]
- E = modulo elastico dell'ammasso roccioso
- E_s = modulo edometrico dell'ammasso roccioso
- ν = coeff. di Poisson dell'ammasso roccioso
- R = raggio della galleria – linea di riferimento

6.2.2 Federkonstanten Auflagerbereich/Sohle

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

Federkonstante c_v – vertikal

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

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 rigidità relativa all'area di influenza della singola molla „b“. La costante della molla si calcola come segue:

Costante della molla c_v – verticale

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

Federkonstante c_h – horizontal

- $c_h = 0,5 \cdot c_v$

6.3 LASTENANALYSE

Folgende Kürzel werden für die Einwirkungen benutzt:

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

6.3.1 Eigengewicht G1

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

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

6.3.2 Oberleitung G2

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

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

Costante della molla c_h – orizzontale

- $c_h = 0,5 \cdot c_v$

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 seguente 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

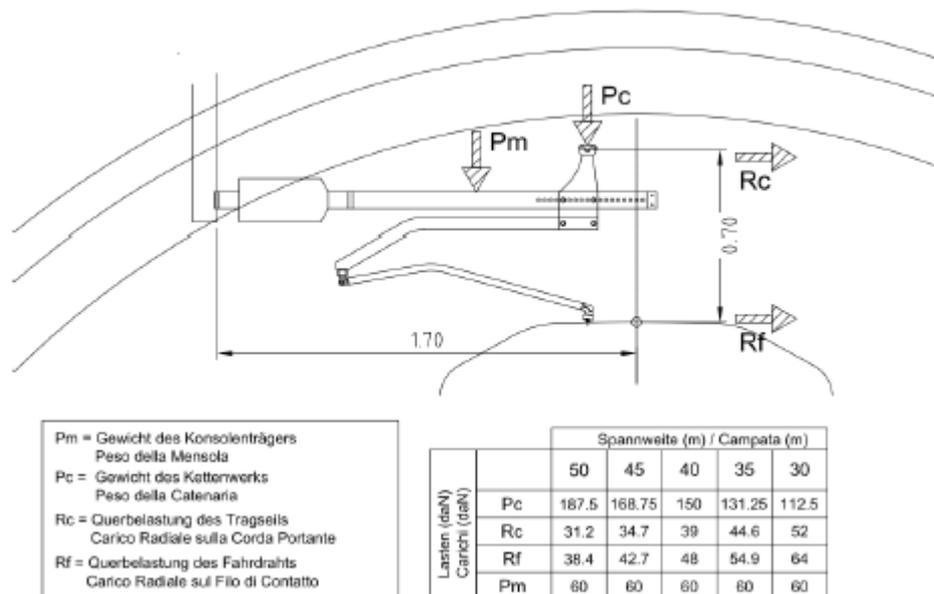


Abbildung 6: Lasten der Oberleitung

Figura 6: Carichi della catenaria

6.3.3 Betonauffüllung über dem Sohlgewölbe G3

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

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.

Im behandelten Ausbruchquerschnitt ist keine Betonauffüllung vorhanden.

6.3.4 Wasserdruck G4

Der Wasserdruck ist nicht berücksichtigt worden da der Abschnitt dräniert ist.

6.3.5 Gebirgslast G5

Die Gebirgslast entspricht der Last, welche auf die Innenschale wirkt, bei vollkommenen Verfall der TKA (letzte Stufe der FDM Analyse). Bei den Berechnungen mit Anwendung der Außenschale auf 2% der TKA, beträgt die Last der Innenschale ca. 400kPa.

6.3.6 Kriechen und Schwinden des Betons G6

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

Die Kriechzahl ϕ wird gemäß NTC 2008 Kap. 11.2.10.7 ermittelt.

Die Kriechzahl ϕ wird gemäß dem NTC 2008 Kap. 11.2.10.7 unter Berücksichtigung des Spannungszustandes aus einer Einwirkungskombination ständiger Lasten (G1 (Eigengewicht) + G2 (Kettenlinie) + G5 (Gebirge)) ermittelt.

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

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

Bei der Modellierung der Innenschale, insbesondere bezüglich NTC08 Kapitel 4.1.1.1, verfährt man mit einer gleichmäßigen

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 $Y_{c,ar} = 25 \text{ kN/m}^3$

Nella sezione in oggetto non è presente un riempimento in cls.

6.3.4 Pressione idraulica G4

Il carico idraulico non è stato considerato in quanto la sezione è drenata.

6.3.5 Carico dell'ammasso G5

Il carico d'ammasso è pari al carico che agisce sul rivestimento definitivo al completo decadimento delle FFS (ultimo step delle analisi FDM). Nelle analisi con l'applicazione del rivestimento di prima fase al 2% delle FFS di scavo il carico sul rivestimento definitivo è di circa 400kPa.

6.3.6 Viscosità e ritiro del calcestruzzo G6

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

Il valore di viscosità ϕ si calcola secondo le NTC 2008, capitolo 11.2.10.7.

Il coefficiente di viscosità ϕ 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) + G5 (Carico dell'ammasso)).

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

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

Nella modellazione del rivestimento definitivo, con particolare riferimento al paragrafo 4.1.1.1 dell'NTC08, si procede

Temperaturabkühlung von -6.7° C an den GZT und von -8.9°C an den GZG.

6.3.7 Temperatur Q1

Zur Dimensionierung der Innenschalen berücksichtigt man Temperatureinwirkungen, die sich aus den Linearisierungen der von der Regelplanung am Eingang und 3 km davon entfernten vorgeschlagenen Temperatureinwirkungen ergeben.

Abstand Portal / Distanza dall'imbocco [km]	< 3,0		3,0 - 10,0	
Temperaturgradient / gradiente della temperatura ΔT [°C]	5		2	
ΔT_{eff} [°C]	Winter / inverno	Sommer / estate	Winter / inverno	Sommer / estate
	-16	16	-10	10

Tabelle 9: Temperatureinwirkung Innenschale

In einer Entfernung von 2 km vom Eingang entnimmt man:

- eine gleichmäßige Veränderung der Temperatur von $\pm 12^\circ\text{C}$
- ein Gradient der Temperatur ΔT , Temperaturunterschied zwischen interne und externe Schalenoberfläche von 3°C .

Die aufgrund der Temperatur entstehenden Belastungen beim Bau der Innenschalen werden übergangen.

Die aufgrund der Temperatur ausgehenden Einwirkungen in Folge eines Brands sind Gegenstand des Kapitels 6.3.11.

6.3.8 Erdbebeneinwirkung E1

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

6.3.9 Aerodynamischer Druck A1

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

6.3.10 Aufprall A2

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

applicando un abbassamento uniforme della temperatura di -6.7° C agli SLU e di -8.9°C agli SLE.

6.3.7 Temperatura Q1

Per il dimensionamento dei rivestimenti definitivi si considerano azioni termiche ricavate dalle linearizzazione delle azioni termiche proposte dalla progettazioni di sistema all'imbocco e a 3 km da quest'ultimo.

Tabella 9: Variazione termica

A 2 km dall'imbocco si ricava:

- una variazione uniforme di temperatura di $\pm 12^\circ\text{C}$
- un gradiente della temperatura ΔT , differenza di temperatura tra la superficie interna ed esterna del rivestimento, pari a 3°C .

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 6.3.11.

6.3.8 Azione sismica E1

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

6.3.9 Pressione aerodinamica A1

I processi di carico e scarico tensionale a seguito del passaggio dei treni sono definiti nel documento D0118-00064 „Aerodinamica – clima – ventilazione“. Dal documento si deduce che in casi estremi (azioni eccezionali) si presentano in galleria azioni aerodinamiche di $\Delta p_{Druck} = + 11 \text{ kN/m}^2$ e $\Delta p_{Sog} = - 9 \text{ kN/m}^2$. Poiché si tratta di azioni rilevanti, anche in considerazione dei relativi coefficienti parziali di sicurezza adottati, le azioni aerodinamiche si considerano solo associate in combinazione con le azioni derivanti dalla situazione di dimensionamento eccezionale.

6.3.10 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.

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

Die bewehrten und unbewehrten Ausbruchquerschnitte wurden hinsichtlich eines Brandes gemäß den Kriterien des spezifischen Berichts [5] geprüft. Die Ergebnisse sind im Anhang 4 aufgezeigt. Hier begrenzt man sich mit der Beobachtung, dass, einvernehmlich mit der Tabelle D.6.3 des M.D. 16.02.2007 "Klassifizierung der Feuerbeständigkeit der Bauprodukte und -elemente für Bauwerke", ausreichende Bedingungen zur Gewährleistung der REI 120 Klasse sind:

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

Beide Voraussetzungen sind zufriedenstellend.

6.4 EINWIRKUNGSKOMBINATIONEN

Die zu untersuchenden Einwirkungskombinationen müssen gemäß NTC 2008 mit den entsprechenden Kombinationsbeiwerten ψ berücksichtigt werden.

Die maßgebenden Einwirkungskombinationen für die Dimensionierung der Innenschale sind nachfolgend aufgezeigt:

6.3.11 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 esplosioni di incendio".

Le sezioni, armate e non, sono state verificate nei confronti dell'incendio secondo i criteri esposti nella relazione specifica [5]. I risultati sono riportati nell'Appendice 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 COMBINAZIONI DI CARICO

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

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

Lastfall / Caso di carico	ständig / permanenti							vorübergehend / variabili			außergewöhnlich / eccezionali					
	Eigengewicht	Oberleitung	Sohibeton	Wasserdruck	Gebirgslast ohne Auftrieb	Kriechen und Schwinden	Quell-druck	Temperatur (Sommer)	Temperatur (Winter)	Verkehrslast (Zugfahrt)	Erdbeben	Anprall	Brand	Druck infolge Zugfahrt	Sog infolge Zugfahrt	
	Peso proprio	Catenaria	Carichi permanenti sull'arco rovescio	Carico idraulico	Carichi della roccia in condizioni asciutte	Ritiro e rilassamento	Swelling-Squeezing	Temperatura (Estate)	Temperatura (inverno)	Carico ferroviario	Sisma	Impatto	Fuoco	Carico aerodinamico (pressione)	Carico aerodinamico (aspirazione)	
Einwirkungskombination / Combinazioni	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	Q1	Q1	Q2	E1	A2	A3	A1	A1	
drucktlastet / 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			1.00			0.60	0.60					1.00	
13	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				0.60		1.00					
14	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			0.60	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 10: Einwirkungskombinationen (rosa für die GZT-Kombinationen und weiß für die GZG-Kombinationen)

Tabella 10: Combinazioni di carico (in rosa le combinazioni SLU e in bianco le combinazioni SLE)

6.5 NACHWEISE

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

6.5.1 Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)

6.5.1.1 Teilsicherheitsfaktoren der Einwirkungen

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

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

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

6.5.1.2 Kombinationsbeiwerte der Einwirkungen

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

Einwirkung /	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_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 11: Kombinationsbeiwerte

6.5.1.3 Einwirkungskombinationen

Die zu untersuchenden Einwirkungskombinationen müssen gemäß NTC 2008 mit den entsprechenden Kombinationsbeiwerten ψ zu berücksichtigt werden.

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

6.5.1.4 Teilsicherheitsfaktoren der Widerstände

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

Stahlbeton

6.5 VERIFICHE

Per la verifica allo stato limite ultimo ed allo stato limite di esercizio dell'anello 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 standard, temporanee ed eccezionali sono da considerarsi i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

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

6.5.1.2 Coefficienti di combinazione delle azioni

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

Tabella 11: Coefficienti di combinazione

6.5.1.3 Combinazione delle azioni

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

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

6.5.1.4 Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze

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

Calcestruzzo armato

- Teilsicherheitskoeffizient für den Betonwiderstand $Y_c = 1,60$
- Minderungsbeiwert zur Berücksichtigung der Langzeitwirkung der Betondruckfestigkeit: $\alpha_{cc} = 0,85$
- Teilsicherheitsbeiwert für Stahlwiderstand $Y_s = 1,20$

Unbewehrter Beton

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

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

6.5.1.5 Überprüfung auf Beulspannung

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

Bei den unbewehrten überwiegend komprimierten Ausbruchquerschnitten erfolgt die Überprüfung auf Beulspannung, gemäß dem N.T.C. 2008, durch Überprüfung folgender Ungleichung:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = f_{cd} \cdot b \cdot x$$

$$\text{Con } x = h - 2 \cdot e = h - 2 \cdot \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$$

Wobei:

- N_{Ed} , M_{Ed} = Planungsbelastungen;
- b = Breite des Bezugsausbruchquerschnitts (1m);
- h = Höhe des Ausbruchquerschnitts;
- x = Höhe des reagierenden Ausbruchquerschnitts.

Bei den unbewehrten Ausbruchquerschnitten mit hoher Exzentrizität, bei denen die oben ausgeführte Prüfung offenbar nicht befriedigt ist, berücksichtigt man, gemäß EC2 (§12.3.1), die Betonzugfestigkeit bis zum Planungswert f_{ctd} . Die Prüfung ergibt sich als zufriedenstellend wenn:

- Coefficiente parziale di sicurezza per la resistenza del calcestruzzo $Y_c = 1,60$
- Coefficiente riduttivo della resistenza a compressione del calcestruzzo di lunga durata: $\alpha_{cc} = 0,85$
- Coefficiente parziale di sicurezza Y_s per la resistenza dell'acciaio $Y_s = 1,20$

Calcestruzzo non armato

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

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

Nelle sezioni non armate prevalentemente compresse, la verifica a pressoflessione è condotta, in accordo con le N.T.C. 2008, verificando la seguente disuguaglianza:

Dove:

- N_{Ed} , M_{Ed} sono le sollecitazioni di progetto;
- b è la larghezza della sezione di riferimento (1m);
- h è l'altezza della sezione;
- x è l'altezza della sezione reagente.

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

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

Wobei:

- J = Trägheitsmoment des Ausbruchquerschnitts

Dove:

- J è il momento d'inerzia della sezione

6.5.1.6 Querkraftüberprüfung

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

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

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:

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

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

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

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

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

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

Nelle sezioni prevalentemente compresse, lo sforzo medio di compressione σ_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 Ausbruchquerschnitten mit hoher Exzentrizität, konsequenterweise zur Annahme die Betonzugfestigkeit bis auf den Wert f_{ctd} zu erfassen, wird der Querkraftwiderstand des Ausbruchquerschnitts ausgewertet, indem der ganze Ausbruchquerschnitt als reagierend ($x=h$) betrachtet wird, und die Spannung σ_c als Durchschnittsspannung des ganzen Querschnitts, sowohl komprimiert als auch gespannt, gewertet wird.

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 σ_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 der Einwirkungen

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

6.5.2.2 Kombinationsbeiwerte der Einwirkungen

In Tabelle 11 befinden sich die bei Einwirkungskombinationen zu berücksichtigenden Beiwerten. Die Kombinationsbeiwerte werden gemäß Tabelle 11 berücksichtigt.

6.5.2.3 Einwirkungskombinationen

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

6.5.2.4 Teilsicherheitsfaktoren der Widerstände

Für die Überprüfung des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit werden die charakteristischen Werte der Widerstände berücksichtigt.

6.5.2.5 Berechnung der Verformungen

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

6.5.2.6 Begrenzung der Rissbreiten

Unter Berücksichtigung der NTC2008, wird im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit die maximale Rissweite w_{kal} für die maßgebenden Einwirkungskombinationen, unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsfaktoren und Minderungsfaktoren ψ laut Tabelle 10 nachgewiesen. Die zulässige Rissbreite für Normalbeton ohne besondere Stärkeanforderung oder bei Abdichtungsvorkommen wird auf $w_{kal} \leq 0,3$ mm begrenzt.

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

6.6 BAULICHE DURCHBILDUNG

6.6.1 Expositionsklasse und Mindestbetondeckung

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

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 10 si trovano i coefficienti da considerare nelle combinazioni delle azioni. I coefficienti di combinazione sono da considerare come in Tabella 11.

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 ψ .

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 ψ secondo Tabella 10. La larghezza delle fessure ammessa per il cls normale senza particolari requisiti di spessore o in presenza di impermeabilizzazione è limitata a $w_{kal} \leq 0,3$ mm.

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

6.6 STRUTTURA COSTRUTTIVA

6.6.1 Classe di esposizione e copriferro minimo

In accordo alle UNI 11104 e alle UNI EN 206-1:2006, in classe di esposizione XC3/XA1 è previsto l'utilizzo di calcestruzzo C30/37 mentre in classe di esposizione XC4/XA2 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:

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

	XC3	XC4
Festigkeitsklasse	30/37	32/40
Umweltbedingungen	Normal	Aggressiv
C _{min} [mm]	20	30
Lebensdauer > 100 Jahre [mm]	+10	+10
Bauliche Toleranz [mm]	+10	+10

C _{nom} [mm]	40	50
-----------------------	----	----

Tabelle 12: Mindestbetondeckung

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

6.6.2 Mindestbewehrung

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

Die Querschnittsfläche der Längszugbewehrung darf nicht geringer sein als:

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

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

wobei:

- b = mittlere Breite der Zugzone;

d = Nutzhöhe des Querschnitts;

f_{ctm} = Mittelwert der Zugfestigkeit des Betons;

- f_{yk} = charakteristische Wert der Streckengrenze des Betonstahls.

6.7 ERGEBNISSE

Das Berechnungsmodell mit der Gebirgslast aus der FDM-Analyse konvergiert, bei der Kombination GZT02 und GZT04, an der Kappe mit Bildung eines plastischen Scharniers. Dieses plastische Scharnier ermöglicht auf jeden Fall die Gewährleistung der Strukturstatik und ihre langzeitliche Funktionsfähigkeit.

Die Berechnungen in Anhang 3 zeigen, dass die Schalen des Ausbruchquerschnitt GL-MA4 keine Bewehrung an der Kappe

	XC3	XC4
Classe di resistenza	30/37	32/40
Cond. ambientali	Normali	Aggressive
C _{min} [mm]	20	30
Vita utile > 100anni [mm]	+10	+10
Tolleranza costruttiva [mm]	+10	+10
C _{nom} [mm]	40	50

Tabella 12: 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 trazione dell'armatura ordinaria.

6.7 RISULTATI

Il modello con il carico dell'ammasso derivante dall'analisi FDM converge con la formazione di una cerniera plastica in calotta nella combinazione SLU02 e SLU04. Tale cerniera plastica consente comunque di garantire la statica della struttura e la sua funzionalità nel tempo.

Le analisi riportate in Appendice 3 mostrano che i rivestimenti della sezione GL-MA4 non necessitano di armata in calotta, ma richiedono armatura (combinazioni SLE05 e SLE06) in

benötigen, während sie Bewehrung (Kombinationen GZG05 und GZG06) bei den Widerlagern (Elemente von R05 bis R12), den Tunnelbogenaufsätzen, sowie der Sohlplatte erfordern.

Die Bewehrung der Tunnelbogenaufsätze und der Sohlplatte wird, sowohl an der Laibung als auch am Rücken, aus \varnothing 16mm, Abstand 15cm, mit \varnothing 10mm Verteilungsabstand 25cm bestehen. An den Widerlagern bis zur Zentren-Ebene ist nur Außenbewehrung aus 18mm Abstand 15cm, immer mit \varnothing 10mm Verteilungsabstand 20cm vorgesehen.

Der Tunnelbogenaufsatz wird auch mit 2 Platten (4-armig) \varnothing 14cm Längsabstand 15cm quer bewehrt.

Der Einfall der Sohlplatte und der Tunnelbogenaufsätze ist von 60kg/m^3 , während er bei den Widerlagern von 50kg/m^3 ist.

corrispondenza dei piedritti (elementi dall'R05 all'R12), delle murette e della platea di fondazione.

L'armatura delle murette e della platea di fondazione sarà costituita da \varnothing 16mm a passo 15cm, con \varnothing 10mm a passo 25cm di ripartizione sia in intradosso che in estradosso. Nei ritti, fino al piano dei centri, è prevista armatura solo in estradosso costituita da \varnothing 18mm a passo 15cm, sempre con con \varnothing 10mm a passo 20cm di ripartizione.

La muretta è armata anche a taglio con 2 staffe (4bracci) \varnothing 14cm a passo longitudinale 15cm.

L'incidenza della platea e delle murette è di 60kg/m^3 mentre nei ritti è di 50kg/m^3 .

7 VERZEICHNISSE

7.1 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Geomechanische homogene Zonen	10
Tabelle 2: Charakterisierung des Gebirges jeder homogenen Zone und Wahrscheinlichkeitsverteilung der unterschiedlichen Klassen	10
Tabelle 3: typische Parameter der Gebirges in den unterschiedlichen Zonen und Klassen	11
Tabelle 4: vorgeschlagene Stabilitätskriterien in [20] [21]; c_f = Ortsbrustkonvergenz; F_{pf} = Umfang des plastischen Streifens an der Ortsbrust; $R_{scavo} = r_{eq}$ = entsprechender Ausbruchsradius.	13
Tabelle 5: Zusammenfassung der Ergebnisse der Charakteristischen Linien.....	14
Tabelle 6: Charakteristika der Außenschale GL-MA3	17
Tabelle 7: Nietungen-Input.....	19
Tabelle 8: Teilsicherheitsfaktoren zur Stabilitätsüberprüfung der Ortsbrust	22
Tabelle 9: Temperatureinwirkung Innenschale	27
Tabelle 10: Einwirkungskombinationen (rosa für die GZT-Kombinationen und weiß für die GZG-Kombinationen).....	28
Tabelle 11: Kombinationsbeiwerte	29
Tabelle 12: Mindestbetondeckung	33

7.2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Kraft-Verformungsverhalten der Cable-Elemente	18
Abbildung 2: Konzeptdarstellung des Schubverhaltens des Mörtelrings rundum dem Anker	18
Abbildung 3: Schnittstellenverhalten	19
Abbildung 4: TKA an der Ortsbrust und bei Einsetzung der Nietungen	20
Abbildung 5: Schematisierung der Schnittstelle	24
Abbildung 6: Lasten der Oberleitung.....	25

7.3 ANLAGENVERZEICHNIS

- ANHANG 1 - KENNLINIENVERFAHREN
- ANHANG 2 - FDM-ANALYSE
- ANHANG 3 - FEM-ANALYSE DER INNENSCHALE

7 ELENCHI

7.1 ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1: Zone geomeccaniche omogenee	10
Tabella 2: Caratterizzazione degli ammassi di ciascuna zona omogenea e distribuzione probabilistica delle diverse classi	10
Tabella 3: Parametri caratteristici dell'ammasso nelle diverse zone e classi	11
Tabella 4: Criteri di stabilità proposti in[20] [21]; c_f = convergenza al fronte; F_{pf} = estensione della fascia plastica al fronte; $R_{scavo} = r_{eq}$ = raggio equivalente di scavo.	13
Tabella 5: Sintesi dei risultati delle linee caratteristiche	14
Tabella 6: Caratteristiche rivestimenti di prima fase GL-MA3	17
Tabella 7: Input delle chiodature	19
Tabella 8: Fattori parziali di sicurezza per la verifica di stabilità del fronte di scavo	22
Tabella 9: Variazione termica.....	27
Tabella 10: Combinazioni di carico (in rosa le combinazioni SLU e in bianco le combinazioni SLE)	28
Tabella 11: Coefficienti di combinazione	29
Tabella 12: Copriferro minimo.....	33

7.2 ELENCO DELLE ILLUSTRAZIONI

Figura 1: Comportamento sforzo-deformazione degli elementi cable	18
Figura 2: Rappresentazione concettuale del comportamento a taglio dell'anello malta intorno all'ancoraggio.	18
Figura 3: Comportamento dell'interfaccia.....	19
Figura 4: FFS al fronte, all'installazione delle chiodature e delle centine	20
Figura 5: Schematizzazione dell'interfaccia	24
Figura 6: Carichi della catenaria	25

7.3 ELENCO APPENDICI

- APPENDICE 1 - LINEE CARATTERISTICHE
- APPENDICE 2 - ANALISI FDM

- APPENDICE 3 - ANALSI FEM DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO

7.4 REFERENZDOKUMENTE

7.4.1 Eingangsdokumente

- [1] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13018 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 - Gesamtbauwerke - Technischer Bericht - Allgemeiner geomechanischer Bericht
- [2] 02_H61_GD_090_GTB_D0700_21001 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 1 - Geomechanischer Detailbericht
- [3] 02_H61_GD_090_GLS_D0700_21003 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 1 - Geomechanisches Prognoseprofil Oströhre (Blatt 2/7)
- [4] 02_H61_GD_090_GLS_D0700_21007 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 1 - Geomechanisches Prognoseprofil Weströhre (Blatt 2/7)
- [5] 02_H61_EG_995_KTB_D0700_15003 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Muls 2-3 - Gesamtbauwerke - Sicherheit gegen Feuereinwirkung

7.4.2 Normen und Richtlinien

- [6] Technische Konstruktionsnormen 2008 – NTC 2008;
- [7] Leitfaden N.617, Vorgehensweise zur Anwendung der "Neue technische Konstruktionsnormen", laut MD 14.Januar 2008
- [8] DM 28/10/2005 Sicherheit für Bahntunnel
- [9] UNI EN1990:2006 - Eurocodice 0 – Grundlage für Konstruktion und Dokumentation zur nationalen Umsetzung;
- [10] UNI EN 1991-1; Eurocode 1 – Actions on structures – 2010/2011
- [11] UNI EN 1992:2005 - Eurocodice 2 – Planung von für Stahlbetonbauwerke und Dokumente zur nationalen Umsetzung;
- [12] UNI EN 1997:2005 - Eurocodice 7 – Geotechnik und Dokumente zur nationalen Umsetzung

7.4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

7.4.1 Documenti in ingresso

- [1] 02_H61_GD_992_GTB_D0700_13018 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali - Relazione tecnica - Relazione geomeccanica generale
- [2] 02_H61_GD_090_GTB_D0700_21001 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali Parte 1 - Relazione geomeccanica di dettaglio
- [3] 02_H61_GD_090_GLS_D0700_21003 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali Parte 1 - Profilo geomeccanico e progettuale di previsione Galleria principale Est (Tav. 2/7)
- [4] 02_H61_GD_090_GLS_D0700_21007 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali Parte 1 - Profilo geomeccanico e progettuale di previsione Galleria principale Ovest (Tav. 2/7)
- [5] 02_H61_EG_995_KTB_D0700_15003 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Muls 2-3 - Opere generali - Sicurezza nei riguardi dell'esposizione al fuoco

7.4.2 Normative e linee guida

- [6] Norme Tecniche delle Costruzioni 2008 – NTC 2008;
- [7] Circolare n.617, Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008
- [8] DM 28/10/2005, Sicurezza nelle gallerie ferroviarie.
- [9] UNI EN1990:2006 - Eurocodice 0 – Basi per la progettazione strutturale e documento di applicazione nazionale3
- [10] UNI EN 1991-1; Eurocode 1 – Actions on structures – 2010/2011
- [11] UNI EN 1992:2005 - Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo e documento di applicazione nazionale
- [12] UNI EN 1997:2005 - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica e documento di applicazione nazionale

- [13] UNI EN 1992-1-2:2005 - "Planung von Stahlbetonbauwerke Teil 1-2: Allgemeinregelung – Brandschutz Strukturplanung"
- [14] UNI 11076: 2003, "Testmodalitäten zur Bewertung des Benehmens der an den Decken von Untertagebauten angebrachten Schutzmaßnahmen in Brandfall".
- [15] D.M. 16.02.2007 "Feuerwiderstandsklassifizierung von Erzeugnisse und Bauelemente für Bauwerke
- [16] UNI 11104:2004
- [17] UNI EN 206-1:2006

- [13] UNI EN 1992-1-2:2005 "Progettazione delle strutture in calcestruzzo Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio"
- [14] 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".
- [15] D.M. 16.02.2007 "Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione"
- [16] UNI 11104:2004
- [17] UNI EN 206-1:2006

7.4.3 Bibliografie

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

7.4.3 Bibliografia

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

ANHANG 1 -- KENNLINIENVERFAHREN

Aufgezeigt werden in Folge die Kurven:

- Radialer Druck – Konvergenz.
- Konvergenz – Ortsbrustabstand.
- Radialer Druck – Ausdehnung der plastischen Zone über den Ausbruchprofil hinaus.
- Ortsbrustabstand – Ausdehnung der plastischen Zone über den Ausbruchprofil hinaus.
- Ortsbrustabstand – Trägheitskräfte der Ausbruchs

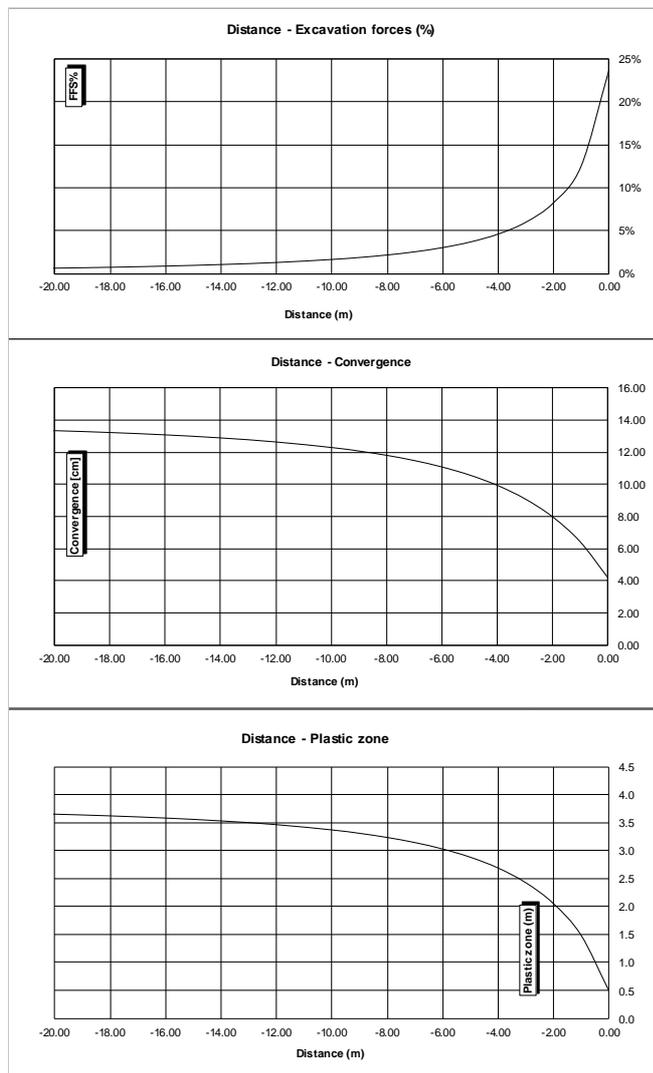
Für die gravierendste Strecke in Klasse III (Strecke 29).

APPENDICE 1 - LINEE CARATTERISTICHE

Di seguito sono riportate le curve:

- 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

Per la tratta più gravosa in classe III (tratta 29).



9 - LC GSI = 39, H = 1150m, C0 = 81MPa, mi = 20, Ei = 26500GPa

INPUT DATA		RESULTS	
Weight [N/mc]	26700	At final equilibrium	
Overburden [m]	1150	Total convergence [cm]	14.1
Excavation radius [m]	4.86	Convergence after excavation [cm]	9.8
		Plastic zone thickness [m]	3.8
Peak internal friction angle [°]	36.31	Equilibrium at excavation face	
Post peak internal friction angle [°]	31.32	Convergence [cm]	4.2
Peak cohesion [Pa]	3273652	1 - (deconfinement ratio) [%]	23.5%
Post peak cohesion [Pa]	2391679		
Deformation modulus [Pa]	3.95E+09		
Poisson's ratio [-]	0.3		
Dilation angle [°]	4.54		

c(face) / Radius	0.87 [%]
c(total) / Radius	2.89 [%]
c(after excav.) / Radius	2.02 [%]
Pl.thick. (face)/Radius	10.4 [%]
Pl.thick. (total)/Radius	78.7 [%]

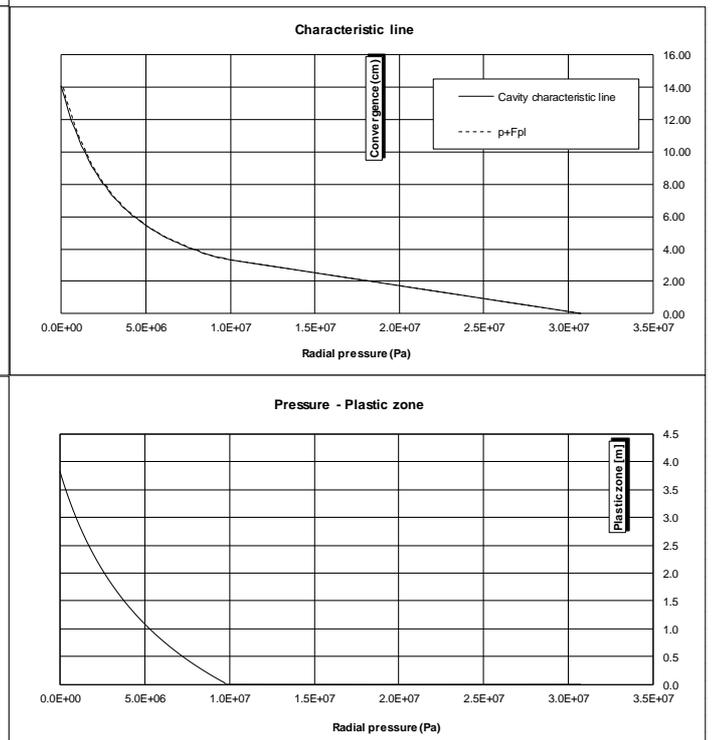


Abbildung 1: Zone 29 (GB-G-GA3) - Klasse IV

Illustrazione 1: Zona 29 (GB-G-GA4) - Classe IV

ANHANG 2 - FDM-ANALYSE

Im vorliegenden Anhang sind die wichtigsten Outputs der Finite-Differenzen-Analysen des Ausbruchquerschnitts GL-MA4 dargestellt, welche mit dem Berechnungsprogramm FLAC7.0 durchgeführt wurden.

Das Modell 1 bezieht sich auf die Berechnung mit 2 Lehrgerüste IPN160, Abstand 1.5m auf 1% der TKA, Modell 2 bezieht sich auf die Berechnung mit 2 Lehrgerüste IPN160, Abstand 0.75m auf 1,5% der TKA und schließlich bezieht sich Modell 3 auf die Berechnung mit 2 Lehrgerüste IPN160, Abstand 0.50m auf 2% der TKA. In folgenden Abbildungen sind die Belastungen der Lehrgerüste für jedes einzelne Lehrgerüst aufgezeigt.

APPENDICE 2 - ANALISI FDM

Nel presente appendice sono riportati i principali output delle analisi alle Differenze Finite della sezione GL-MA4 effettuate con il programma di calcolo FLAC7.0.

Il modello 1 si riferisce al modello con la messa in opera di 2 centine IPN160 a passo 1.5m all' 1% delle FFS; Il modello 2 si riferisce al modello con la messa in opera di 2 centine IPN160 a passo 0.75m all' 1.5% delle FFS e, infine, il modello 3 si riferisce al modello con la messa in opera di 2 centine IPN160 a passo 0.50m al 2% delle FFS. Nelle seguenti illustrazioni, le sollecitazioni nelle centine sono riportate per singola centina.

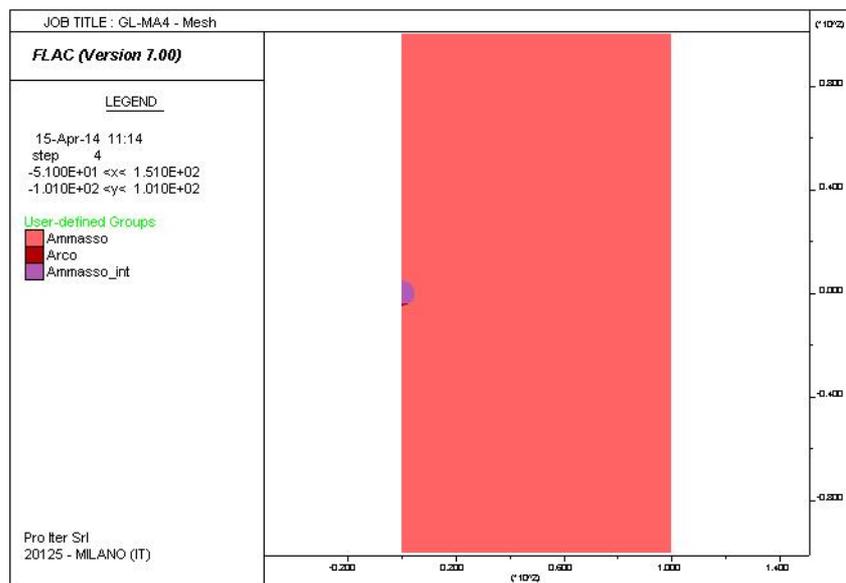


Abbildung 2: GL-MA4 - Modell

Illustrazione 2: GL-MA4 - Modello

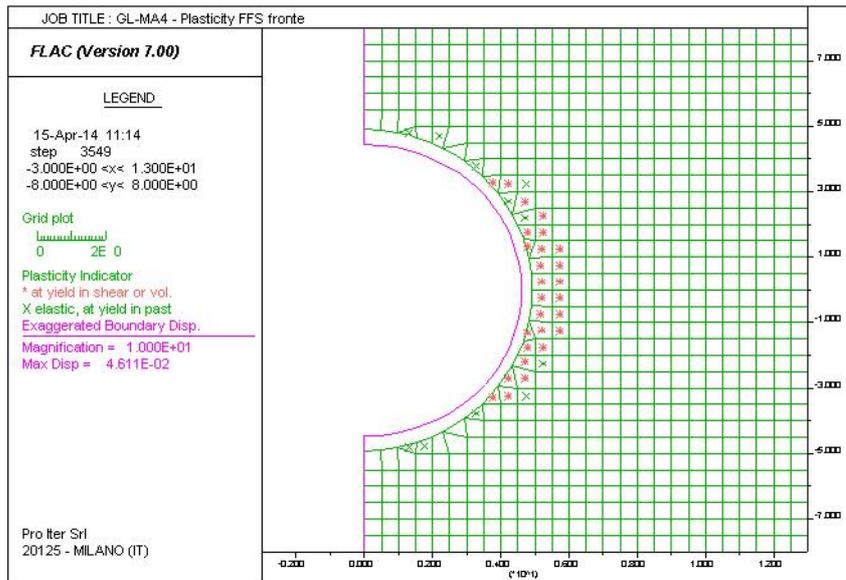


Abbildung 3: GL-MA4 - Ortsbrust Plastizität und Konvergenzen

Illustrazione 3: GL-MA4 - Plasticizzazioni e convergenze al fronte

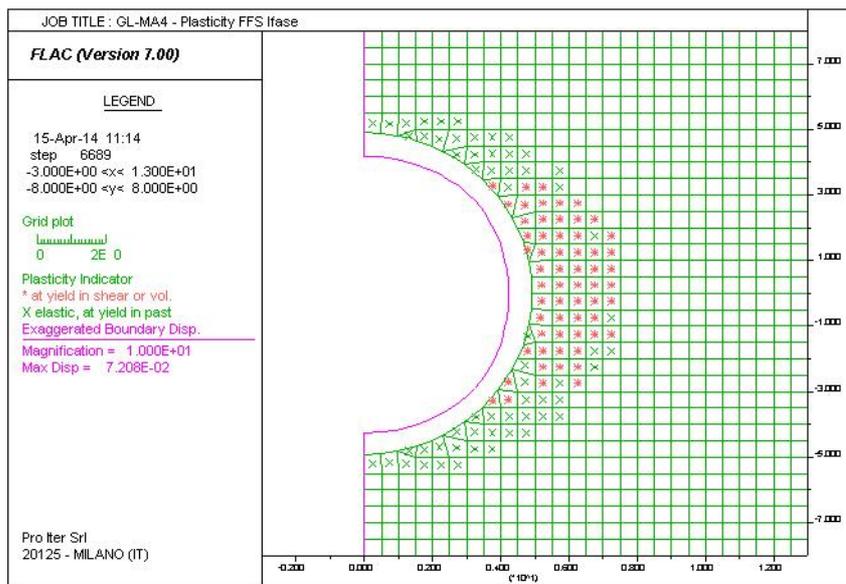


Abbildung 4: GL-MA4 - Plastizität und Konvergenzen in 2m Entfernung von der Ortsbrust (TKA=8%)

Illustrazione 4: GL-MA4 - Plasticizzazioni e convergenze a 2m dal fronte (FFS=8%)

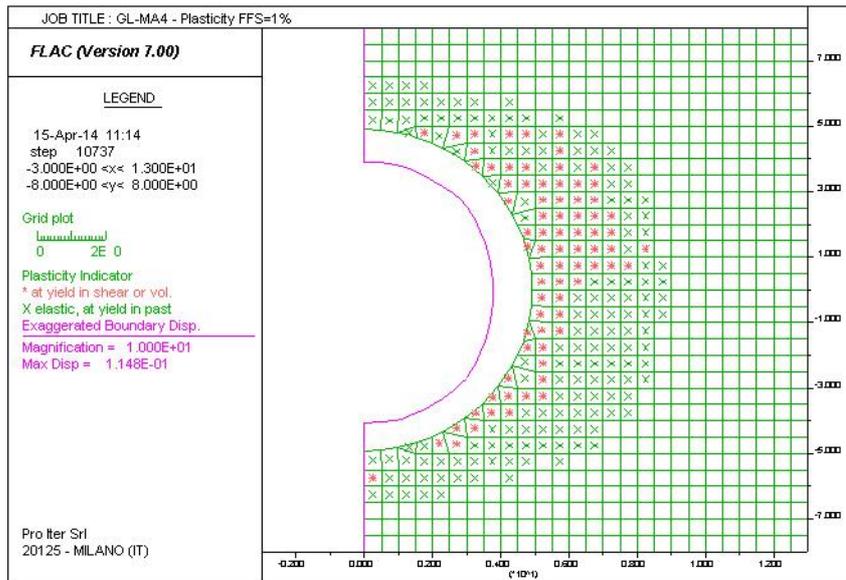


Abbildung 5 GL-MA4 - Modell 1 - Plastizität und Konvergenzen vor Aufbau der Lehrgerüste (TKA=1%)

Illustrazione 5: GL-MA4 - Modello 1 - Plasticizzazioni e convergenze prima dell'installazione delle centine (FFS=1%)

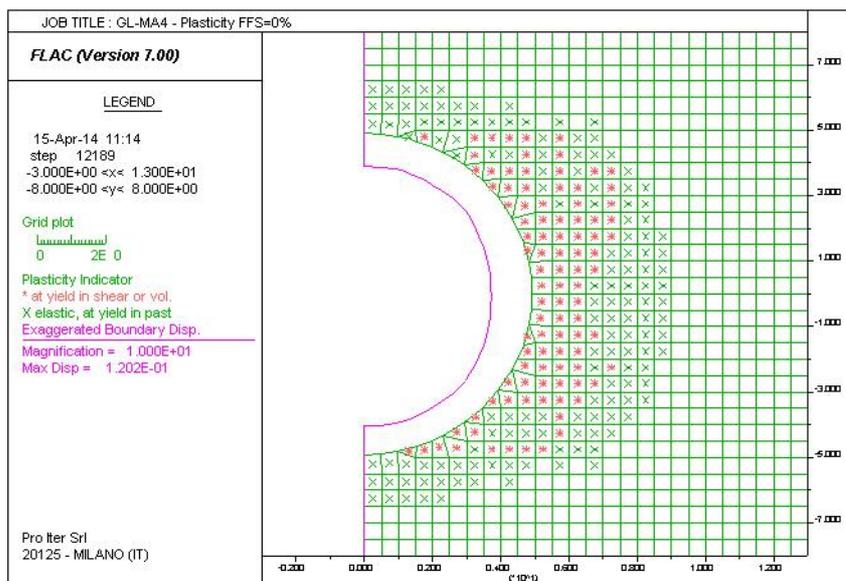


Abbildung 6: GL-MA4 - Modell 1 - Plastizität und Konvergenzen in Endphase (TKA=0%)

Illustrazione 6: GL-MA4 - Modello 1 - Plasticizzazioni e convergenze in fase definitiva (FFS=0%)

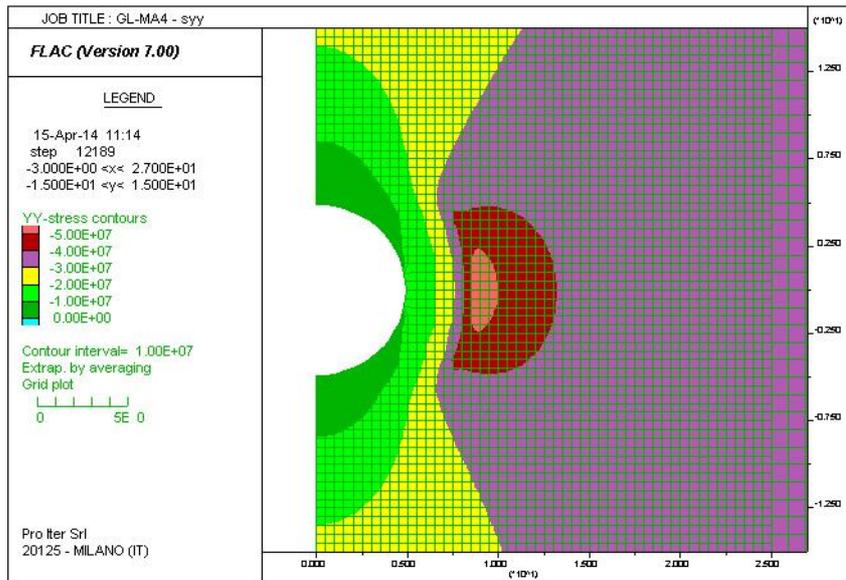


Abbildung 7: GL-MA4 - Modell 1 - Vertikale Kräfte (TKA=0%)

Illustrazione 7: GL-MA4 - Modello 1 - Sforzi verticali (FFS=0%)

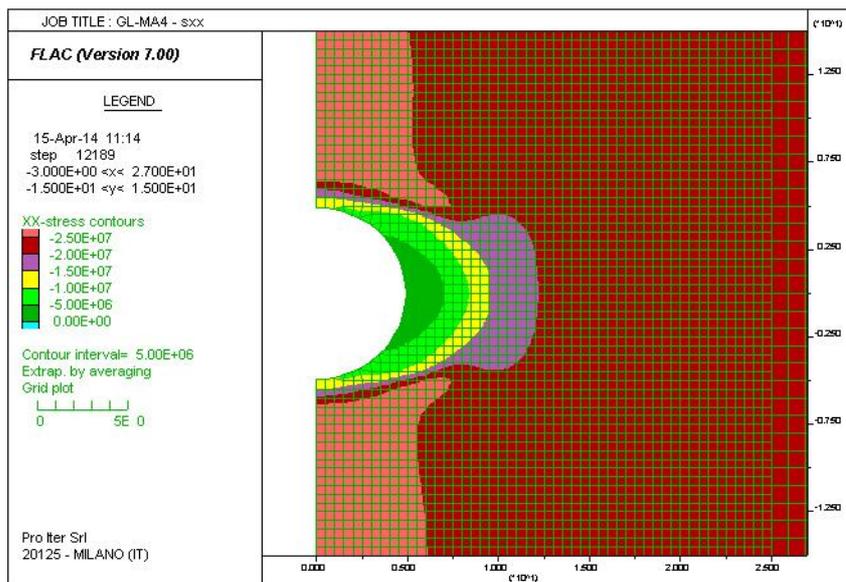


Abbildung 8: GL-MA4 - Modell 1 - Horizontale Kräfte (TKA=0%)

Illustrazione 8: GL-MA4 - Modello 1 - Sforzi orizzontali (FFS=0%)

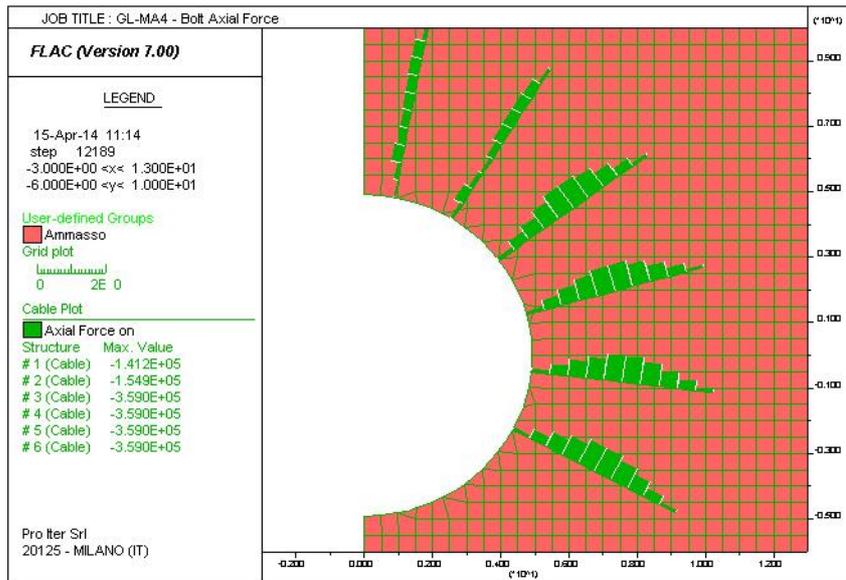


Abbildung 9: GL-MA4 - Modell 1 - Axialwirkung der Nieten (TKA=0%)

Illustrazione 9: GL-MA4 - Modello 1 - Azione assiale nei chiodi (FFS=0%)

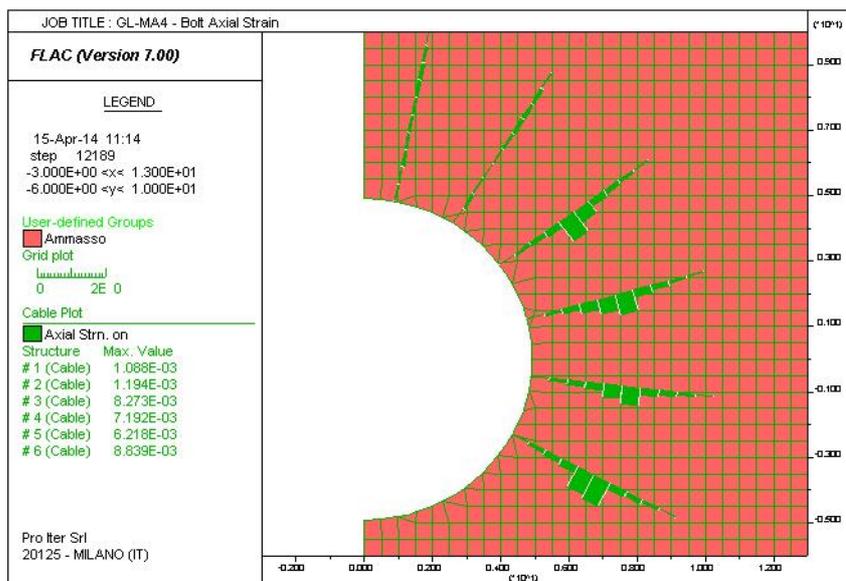


Abbildung 10: GL-MA4 - Modell 1 - Axialverformung der Nieten (TKA=0%)

Illustrazione 10: GL-MA4 - Modello 1 - Deformazione assiale nei chiodi (FFS=0%)

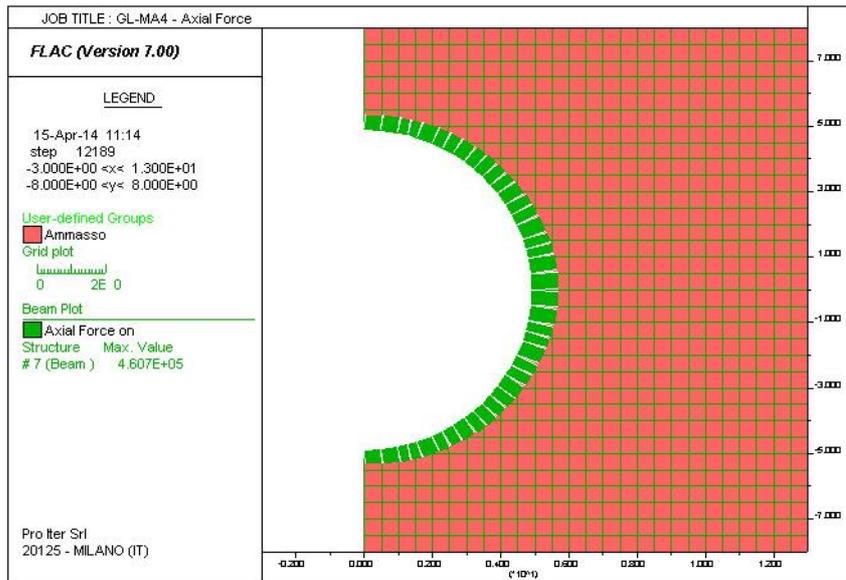


Abbildung 11: GL-MA4 - Modell 1 - Axialwirkung des Lehrgerüsts (TKA=0%)

Illustrazione 11: GL-MA4 - Modello 1 - Azione assiale nella centina (FFS=0%)

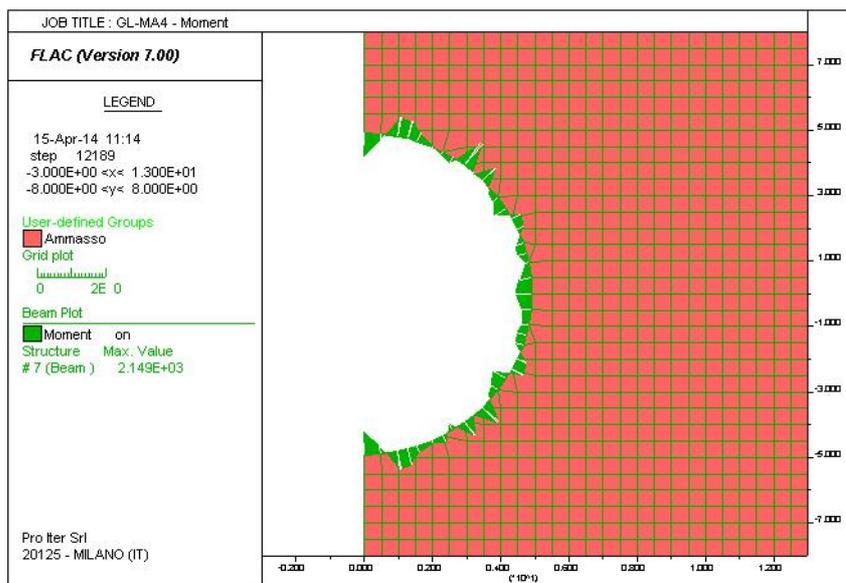


Abbildung 12: GL-MA4 - Modell 1 - Biegemoment des Lehrgerüsts (TKA=0%)

Illustrazione 12: GL-MA4 - Modello 1 - Momento flettente nella centina (FFS=0%)

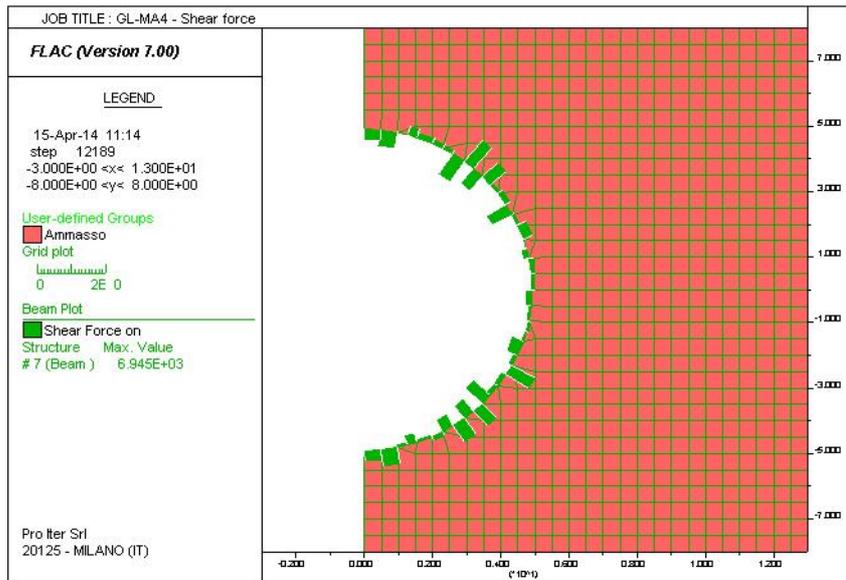


Abbildung 13: GL-MA4 - Modell 1 - Schub des Lehrgerüsts (TKA=0%)

Illustrazione 13: GL-MA4 - Modello 1 - Taglio nella centina (FFS=0%)

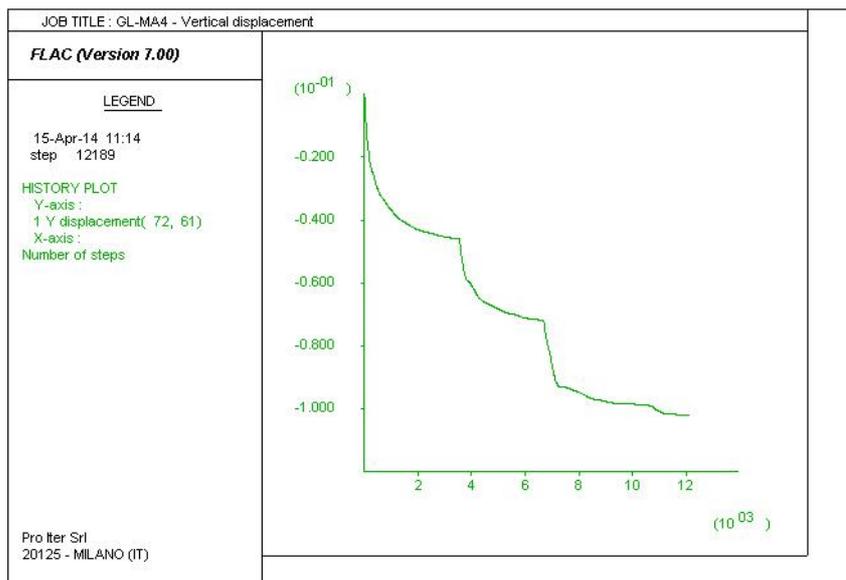


Abbildung 14: GL-MA4 - Modell 1 Vertikalverschiebung des Kontrollpunkts der Kappe (TKA=0%)

Illustrazione 14: GL-MA4 - Modello 1 - Spostamento verticale del punto di controllo in calotta (FFS=0%)

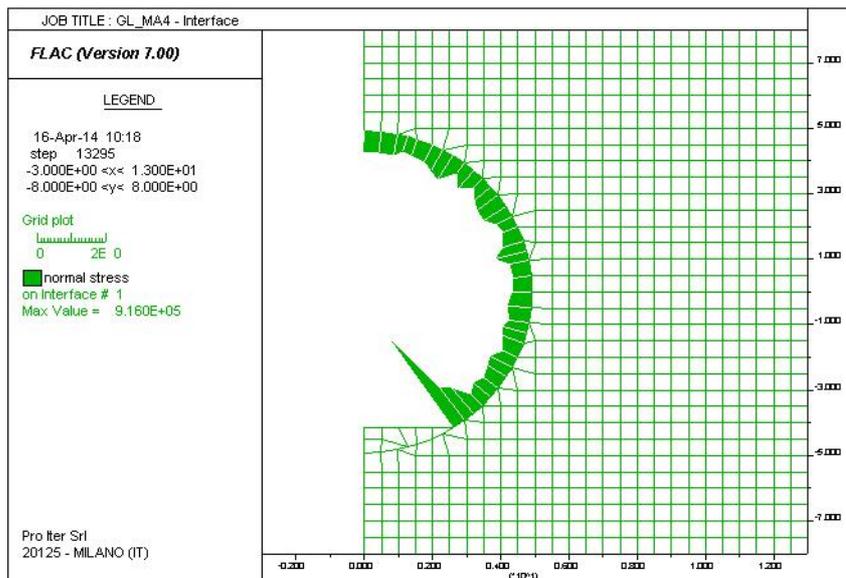


Abbildung 15 GL-MA4 -Modell 1 - Normaldrucke auf die Innenschale

Illustrazione 15: GL-MA4 - Modello 1 - Pressioni normali sul rivestimento definitivo

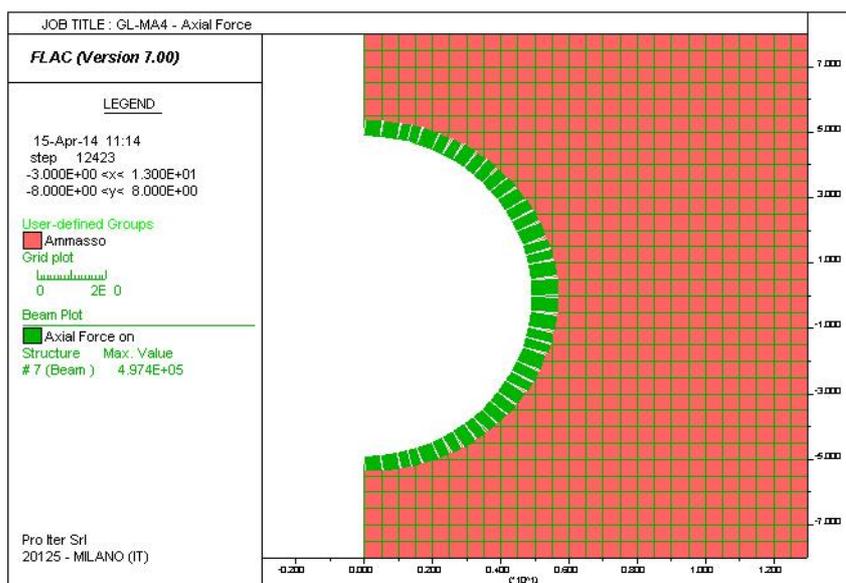


Abbildung 16 GL-MA4 - Modell 2 - Axialwirkung des Lehrgerüsts (TKA=0%)

Illustrazione 16: GL-MA4 - Modello 2 - Azione assiale nella centina (FFS=0%)

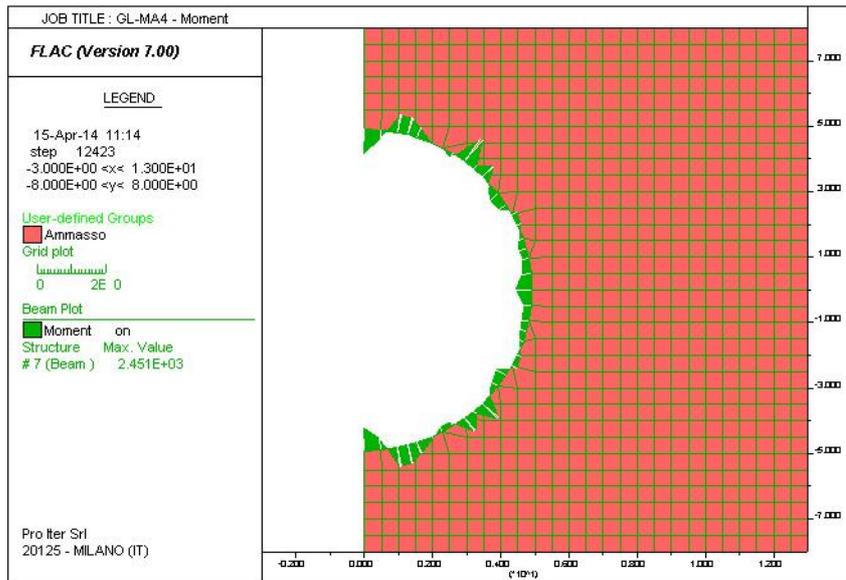


Abbildung 17: GL-MA4 - Modell 2 - Biegemoment des Lehrgerüsts (TKA=0%)

Illustrazione 17: GL-MA4 - Modello 2 - Momento flettente nella centina (FFS=0%)

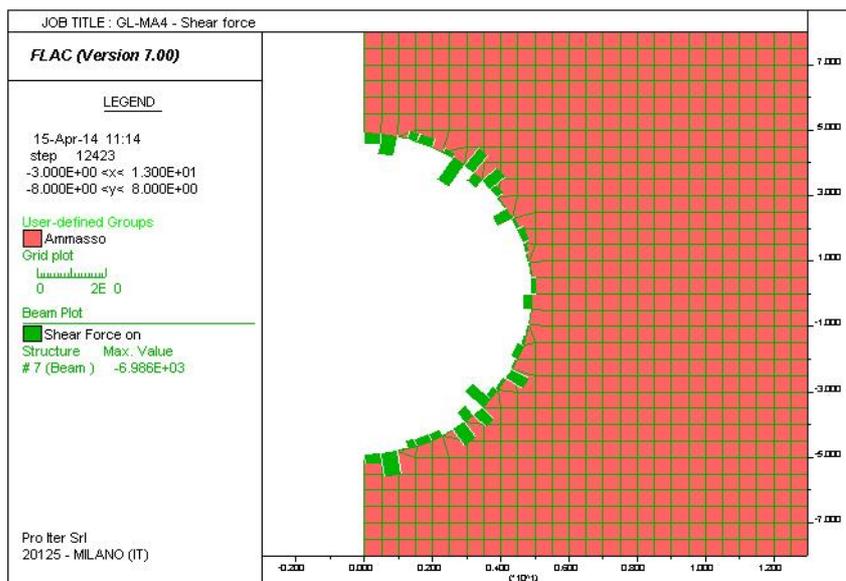


Abbildung 18: GL-MA4 - Modell 2- Schub des Lehrgerüsts (TKA=0%)

Illustrazione 18: GL-MA4 - Modello 2 - Taglio nella centina (FFS=0%)

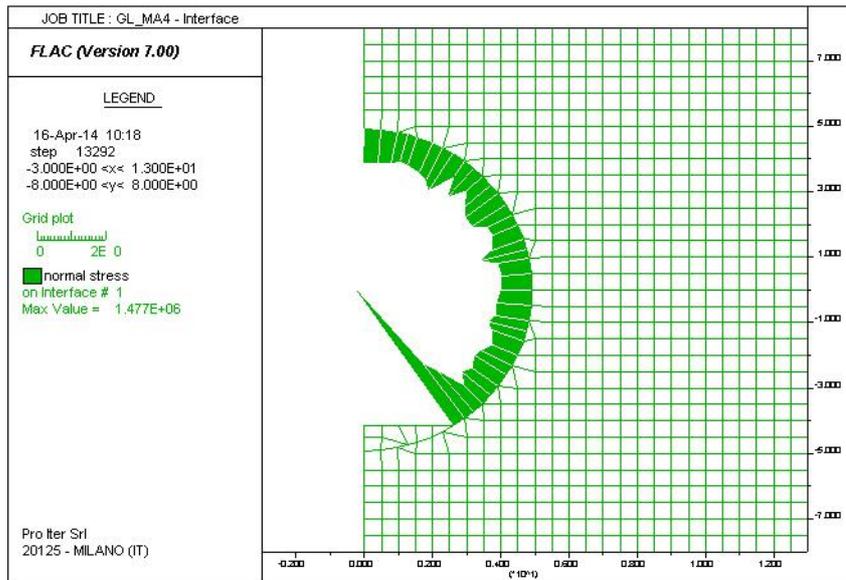


Abbildung 19: GL-MA4 - Modell 2 - Normaldrucke auf die Innenschale

Illustrazione 19: GL-MA4 - Modello 2 - Pressioni normali sul rivestimento definitivo

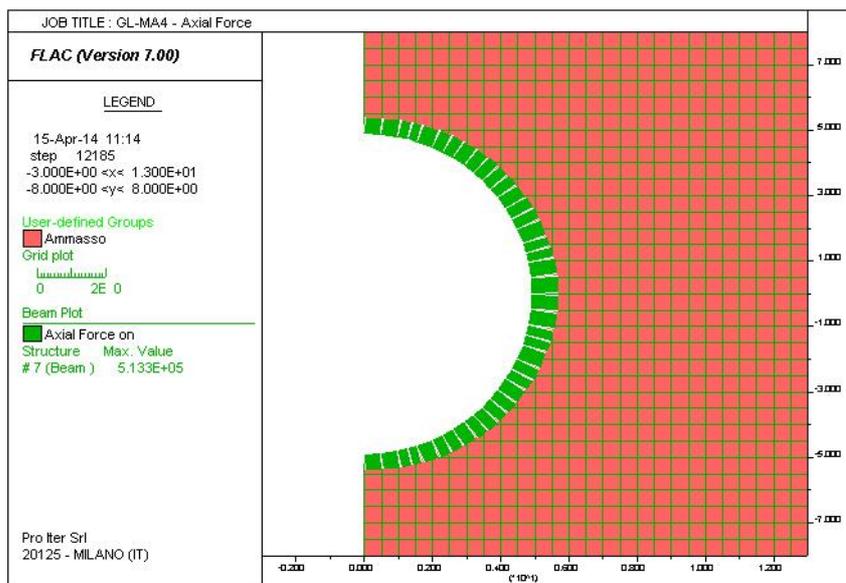


Abbildung 20: GL-MA4 - Modell 3 - Axialwirkung des Lehrgerüsts (TKA=0%)

Illustrazione 20: GL-MA4 - Modello 3 - Azione assiale nella centina (FFS=0%)

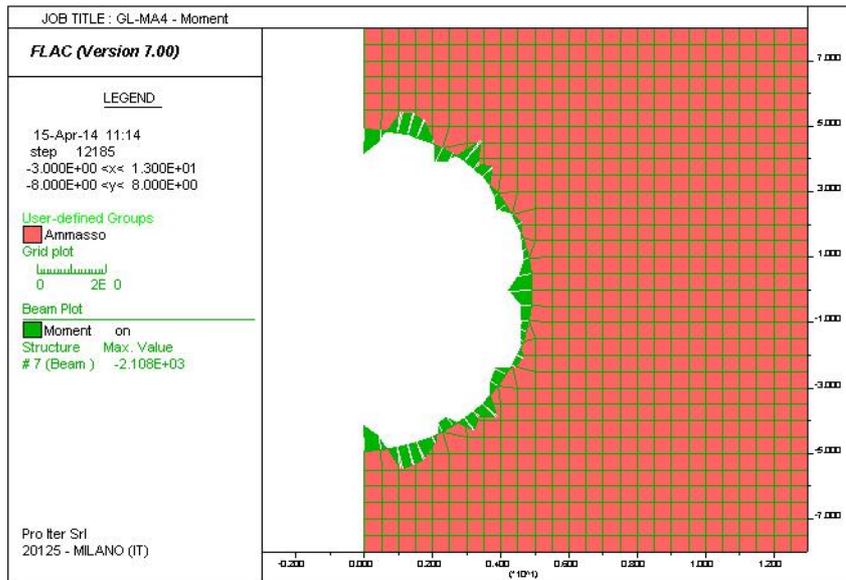


Abbildung 21: GL-MA4 - Modell 3 - Biegemoment des Lehrgerüsts (TKA=0%)

Illustrazione 21: GL-MA4 - Modello 3 - Momento flettente nella centina (FFS=0%)

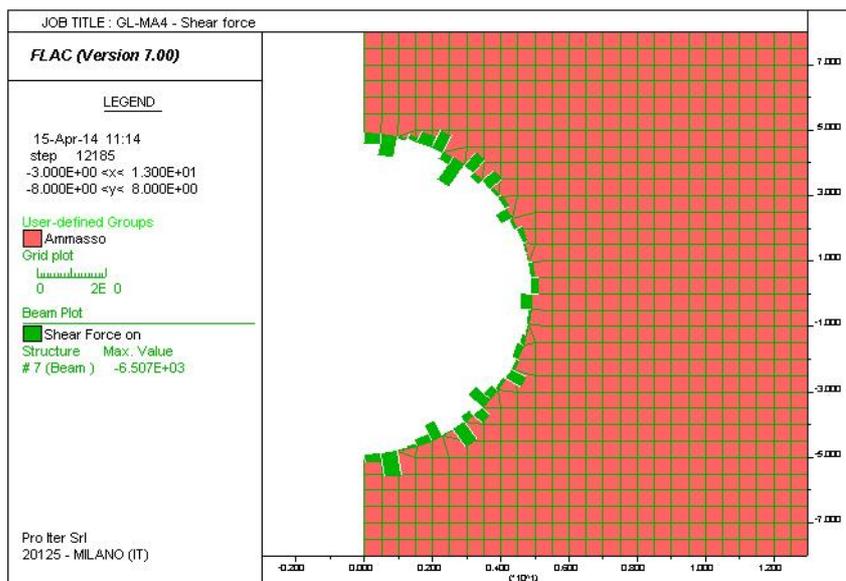


Abbildung 22: GL-MA4 - Modell 3 - Schub des Lehrgerüsts (TKA=0%)

Illustrazione 22: GL-MA4 - Modello 3 - Taglio nella centina (FFS=0%)

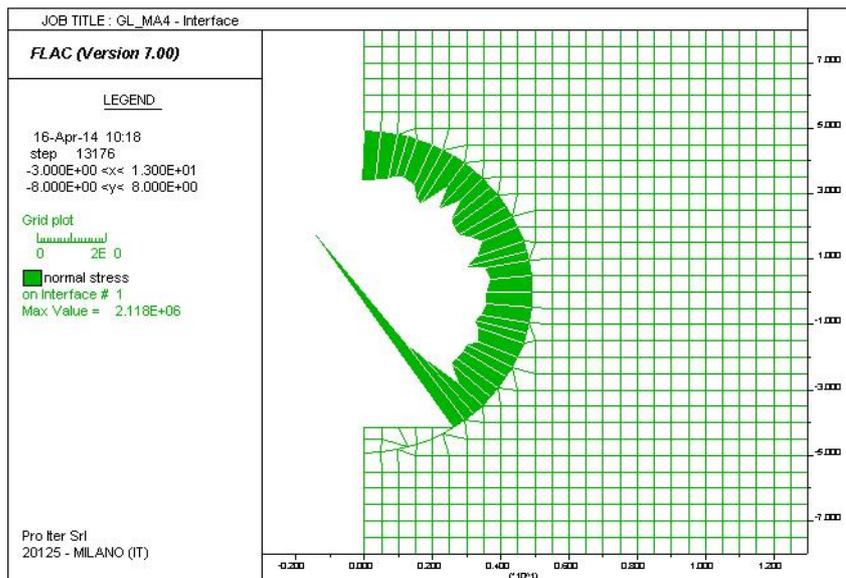


Abbildung 23: GL-MA4 - Modell 3 - Normaldrucke auf die Innenschale

Das folgende Diagramm zeigt die Überprüfung der Außenschalen auf. Der Bereich und die darstellenden Punkte des Spannungszustands beziehen sich auf 2 Lehrgerüste IPN160. Die aus dem FDM-Modell ermittelten Belastungen auf die Lehrgerüste wurden um den Beiwert auf die Wirkungen $Y_G = 1.3$ erhöht, während der Widerstand der Lehrgerüste mit dem Beiwert auf den Widerständen $Y_s = 1.05$ berechnet wurde.

Illustrazione 23: GL-MA4 - Modello 3 - Pressioni normali sul rivestimento definitivo

Nel seguente grafico è riportata la verifica dei rivestimenti di prima fase. Il dominio e i punti immagine dello stato tensionale si riferiscono a 2 centine IPN160. Le sollecitazioni sulle centine ricavate dal modello FDM sono amplificate per il coefficiente sulle azione $Y_G = 1.3$ mentre la resistenza delle centine è calcolata con un coefficiente sulle resistenze pari a $Y_s = 1.05$.

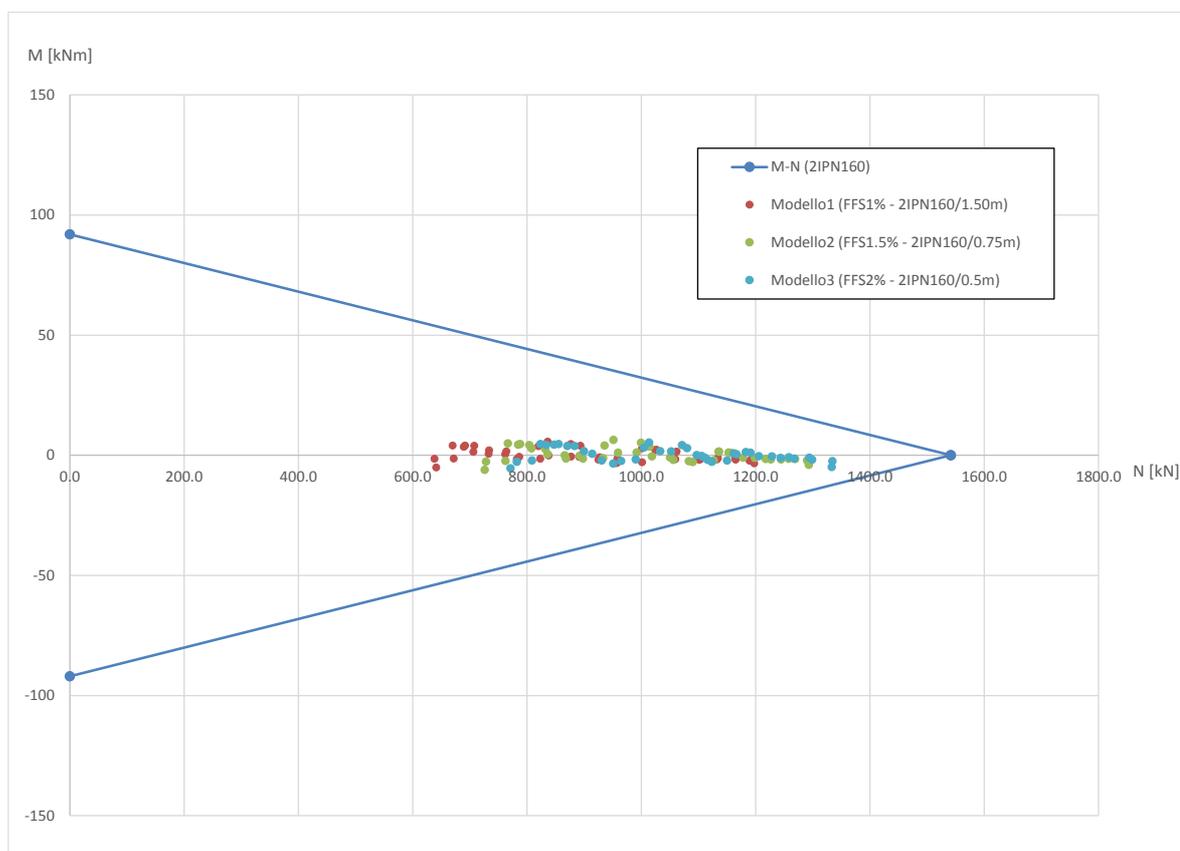


Abbildung 24: GL-MA4 - Überprüfung der Außenschale

ANHANG 3 - FEM-ANALYSE DER INNENSCHALE

Anhang 3 beinhaltet die graphischen Darstellungen der wichtigsten In- und Outputs der Innenschalenanalyse, die mit dem Programm SAP2000 durchgeführt wurde.

Illustrazione 24: GL-MA4 - Verifica rivestimenti di prima fase

APPENDICE 3 - ANALISI FEM DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO

L'appendice 3 contiene le rappresentazioni grafiche dei principali input e output dell'analisi del rivestimento definitivo condotte con il programma SAP2000.

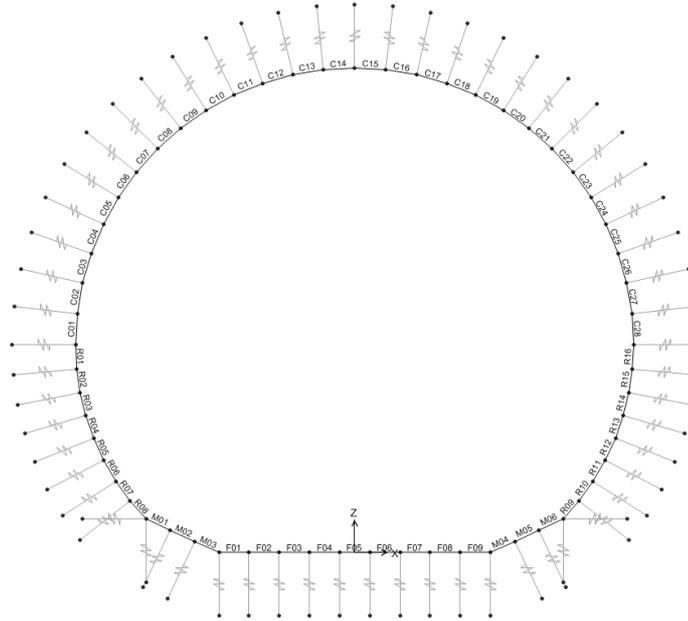


Abbildung 25: Modell GL-MA4

Illustrazione 25: Modello GL-MA4

SectionName	Material	Shape	t3
Text	Text	Text	m
C01	C30/37	Rectangular	0.35
C02	C30/37	Rectangular	0.35
C03	C30/37	Rectangular	0.35
C04	C30/37	Rectangular	0.35
C05	C30/37	Rectangular	0.35
C06	C30/37	Rectangular	0.35
C07	C30/37	Rectangular	0.35
C08	C30/37	Rectangular	0.35
C09	C30/37	Rectangular	0.35
C10	C30/37	Rectangular	0.35
C11	C30/37	Rectangular	0.35
C12	C30/37	Rectangular	0.35
C13	C30/37	Rectangular	0.35
C14	C30/37	Rectangular	0.35
C15	C30/37	Rectangular	0.35
C16	C30/37	Rectangular	0.35
C17	C30/37	Rectangular	0.35
C18	C30/37	Rectangular	0.35
C19	C30/37	Rectangular	0.35
C20	C30/37	Rectangular	0.35
C21	C30/37	Rectangular	0.35
C22	C30/37	Rectangular	0.35
C23	C30/37	Rectangular	0.35
C24	C30/37	Rectangular	0.35
C25	C30/37	Rectangular	0.35
C26	C30/37	Rectangular	0.35
C27	C30/37	Rectangular	0.35
C28	C30/37	Rectangular	0.35

SectionName	Material	Shape	t3
Text	Text	Text	m
F01	C30/37	Rectangular	0.53
F02	C30/37	Rectangular	0.53
F03	C30/37	Rectangular	0.53
F04	C30/37	Rectangular	0.53
F05	C30/37	Rectangular	0.53
F06	C30/37	Rectangular	0.53
F07	C30/37	Rectangular	0.53
F08	C30/37	Rectangular	0.53
F09	C30/37	Rectangular	0.53
M01	C30/37	Rectangular	0.53
M02	C30/37	Rectangular	0.53
M03	C30/37	Rectangular	0.53
M04	C30/37	Rectangular	0.53
M05	C30/37	Rectangular	0.53
M06	C30/37	Rectangular	0.53
R01	C30/37	Rectangular	0.35
R02	C30/37	Rectangular	0.36
R03	C30/37	Rectangular	0.38
R04	C30/37	Rectangular	0.4
R05	C30/37	Rectangular	0.43
R06	C30/37	Rectangular	0.47
R07	C30/37	Rectangular	0.51
R08	C30/37	Rectangular	0.56
R09	C30/37	Rectangular	0.56
R10	C30/37	Rectangular	0.51
R11	C30/37	Rectangular	0.47
R12	C30/37	Rectangular	0.43
R13	C30/37	Rectangular	0.4
R14	C30/37	Rectangular	0.38
R15	C30/37	Rectangular	0.36
R16	C30/37	Rectangular	0.35

Abbildung 26: Stärke der Ausbruchquerschnitte

Illustrazione 26: Spessore delle sezioni

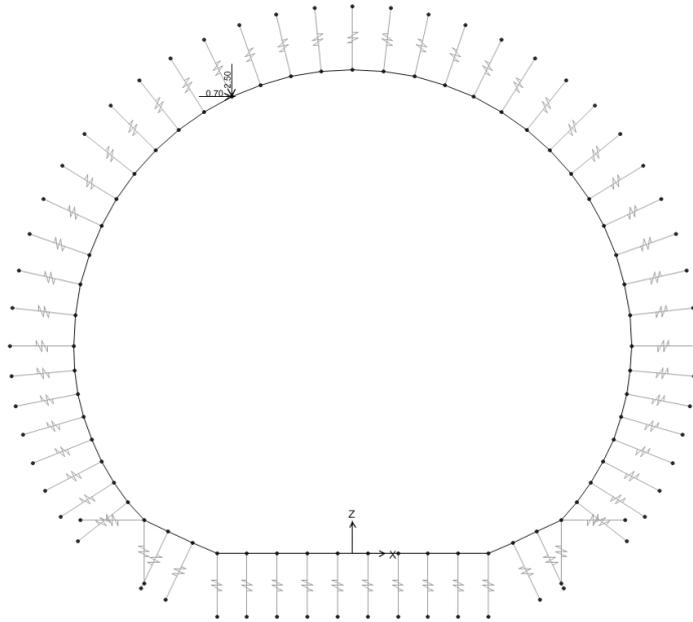


Abbildung 27: Last der Kettenlinie G2

Illustrazione 27: Carico della catenaria (G2)

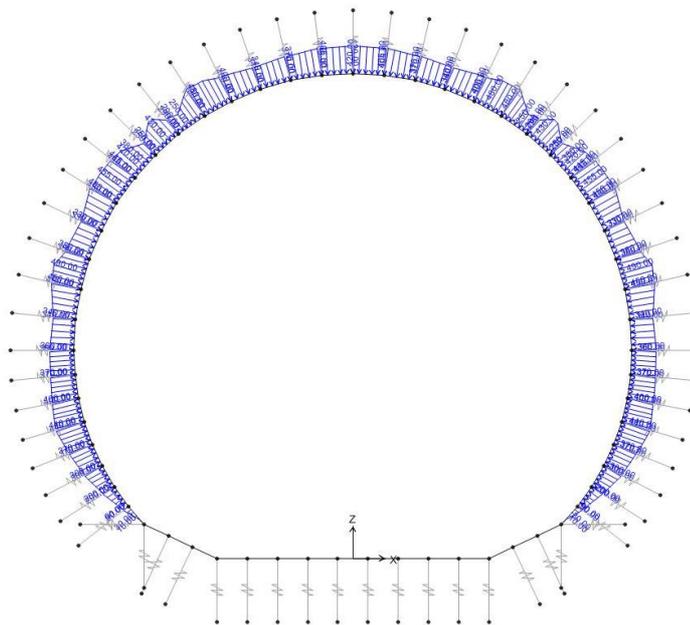


Abbildung 28: Gebirgslast (G5) aus FDM-Analyse - Modell 3

Illustrazione 28: Carico dell'ammasso (G5) da analisi FDM - Modello3

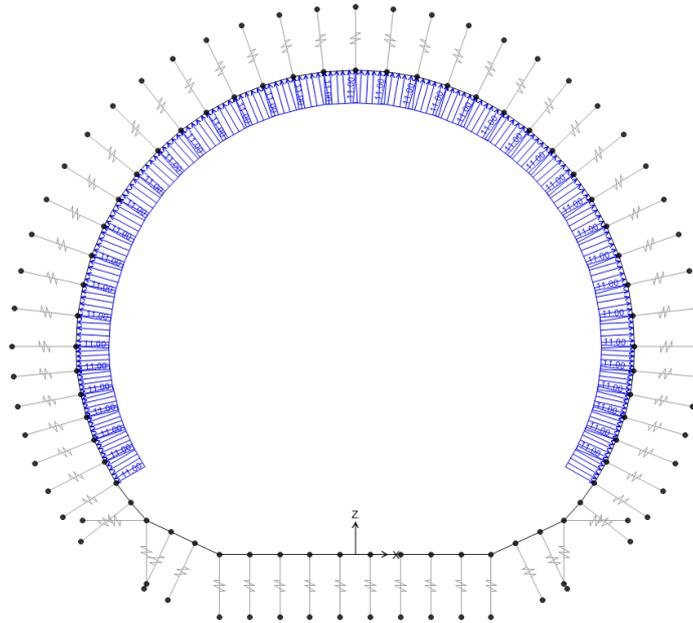


Abbildung 29: Aerodynamischer Druck (A1)

Illustrazione 29: Pressione aerodinamica (A1)

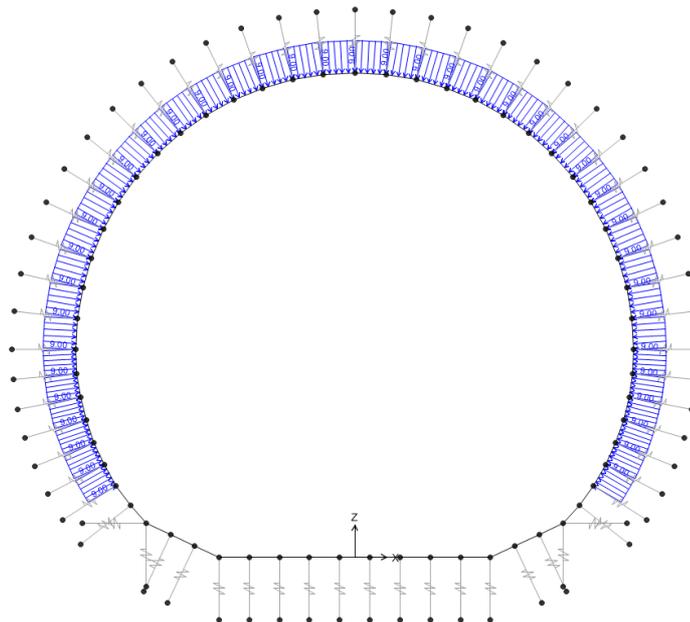


Abbildung 30: Sog (A1)

Im Folgenden wird der Belastungsverlauf im Abschnitt bei der gravierendsten Kombination aufgezeigt: GZT06 mit Last G5 aus der FDM-Analyse

Illustrazione 30: Aspirazione (A1)

Di seguito viene riportato l'andamento delle sollecitazioni nella sezione nella combinazione più gravosa: SLU06 con il carico G5 derivante dall'analisi FDM.

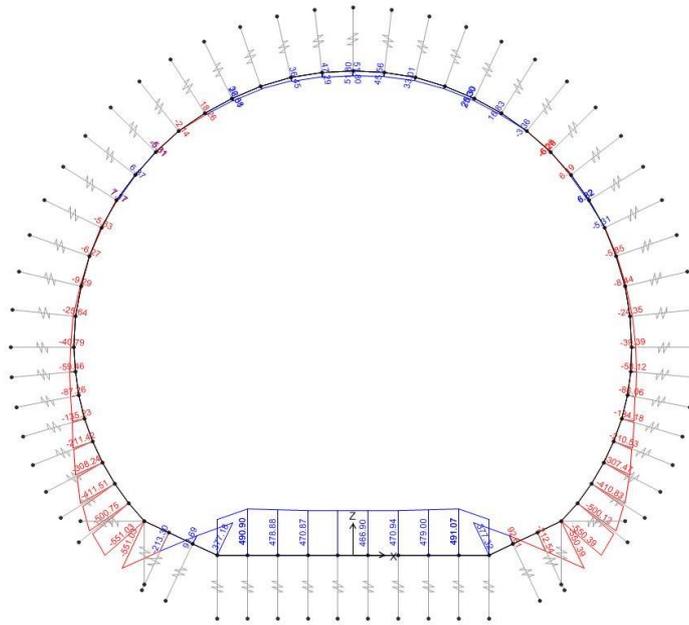


Abbildung 31: GZT06 - Biegemoment

Illustrazione 31: SLU06 - Momento flettente

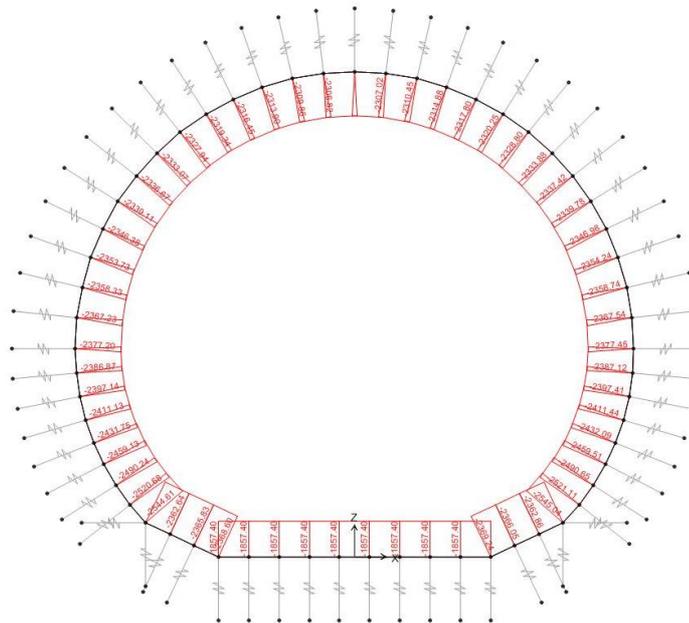


Abbildung 32: GZT06 - Axialwirkung

Illustrazione 32: SLU06 - Azione assiale

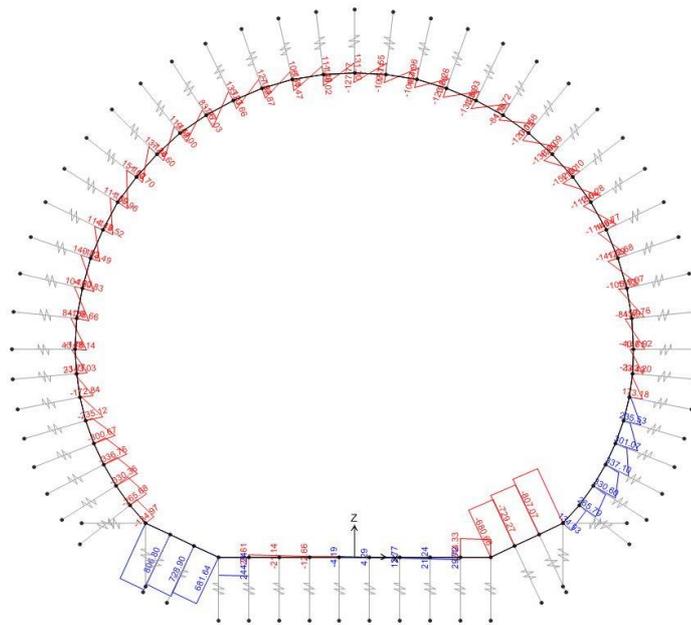


Abbildung 33: GZT06 - Schub

In den folgenden Tabellen sind Spannungsnachweise auf GZG und GZT der unbewehrten Ausbruchquerschnitte aufgezeigt, d.h. für sämtliche Kappenelemente und für die Widerlager R01-04 und R13-R16.

Insbesondere:

Illustrazione 34 - Spannungsüberprüfungen auf GZG.

Illustrazione 35 - GZT-Überprüfungen bei den Kombinationen, die ohne plastische Scharnierbildung geprüft wurden.

Illustrazione 36 - GZT-Spannungsüberprüfungen bei den Kombinationen die mit plastische Scharnierbildung an der Kappe geprüft wurden (GZT02-GZT04)

Illustrazione 33: SLU06 - Taglio

Nelle seguenti tabelle sono riportate le verifiche tensionali agli SLE e agli SLU delle sezioni non armate, vale a dire per tutti gli elementi di calotta e per i ritti R01-04 e R13-R16.

In particolare:

Illustrazione 34 - Verifiche tensionali agli SLE.

Illustrazione 35 - Verifiche agli SLU nelle combinazioni verificate senza la formazione di cerniere plastiche.

Illustrazione 36 - Verifiche tensionali agli SLU nelle combinazioni che sono state verificate con la formazione di una cerniera plastica in calotta (SLU02-SLU04)

TABLE: Element Forces - Frames											Positive le trazioni			VERIFICHE SLE	
Frame	OutputCase	StepType	P	V3	V2	T	M3	M2	h	σ_1	σ_2	$ \sigma_{max} < f_{tc}$	$\sigma_{min} < f_{td}$		
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	[m]	[MPa]	[MPa]	[]	[]		
C01	SLE01	Max	-82.25	0.00	-5.00	0.00	-11.34	0.00	0.35	0.321	0.00	-0.791	OK		
C01	SLE01	Max	-77.96	0.00	-4.76	0.00	-8.95	0.00	0.35	0.215	-0.661	OK	OK		
C02	SLE01	Max	-77.49	0.00	-3.65	0.00	-8.95	0.00	0.35	0.217	-0.660	OK	OK		
C02	SLE01	Max	-73.24	0.00	-2.93	0.00	-7.33	0.00	0.35	0.150	-0.568	OK	OK		
C03	SLE01	Max	-72.94	0.00	-2.55	0.00	-7.33	0.00	0.35	0.151	-0.568	OK	OK		
C03	SLE01	Max	-68.81	0.00	-1.36	0.00	-6.37	0.00	0.35	0.116	-0.508	OK	OK		
C04	SLE01	Max	-64.67	0.00	-0.11	0.00	-5.92	0.00	0.35	0.105	-0.475	OK	OK		
C05	SLE01	Max	-64.59	0.00	-1.27	0.00	-5.92	0.00	0.35	0.105	-0.474	OK	OK		
C05	SLE01	Max	-60.83	0.00	0.81	0.00	-5.80	0.00	0.35	0.110	-0.458	OK	OK		
C06	SLE01	Max	-60.82	0.00	-1.04	0.00	-5.80	0.00	0.35	0.111	-0.458	OK	OK		
C06	SLE01	Max	-57.31	0.00	1.45	0.00	-5.91	0.00	0.35	0.126	-0.453	OK	OK		
C07	SLE01	Max	-57.34	0.00	-1.00	0.00	-5.91	0.00	0.35	0.125	-0.453	OK	OK		
C07	SLE01	Max	-54.13	0.00	1.87	0.00	-6.12	0.00	0.35	0.145	-0.454	OK	OK		
C08	SLE01	Max	-54.18	0.00	-1.08	0.00	-6.12	0.00	0.35	0.145	-0.455	OK	OK		
C08	SLE01	Max	-51.31	0.00	2.12	0.00	-6.38	0.00	0.35	0.166	-0.459	OK	OK		
C09	SLE01	Max	-51.36	0.00	-1.25	0.00	-6.38	0.00	0.35	0.166	-0.459	OK	OK		
C09	SLE01	Max	-48.87	0.00	2.26	0.00	-6.62	0.00	0.35	0.185	-0.464	OK	OK		
C10	SLE01	Max	-48.92	0.00	-1.45	0.00	-6.62	0.00	0.35	0.185	-0.464	OK	OK		
C10	SLE01	Max	-46.84	0.00	2.32	0.00	-6.84	0.00	0.35	0.201	-0.469	OK	OK		
C11	SLE01	Max	-46.88	0.00	-1.64	0.00	-6.84	0.00	0.35	0.201	-0.469	OK	OK		
C11	SLE01	Max	-45.23	0.00	2.33	0.00	-7.00	0.00	0.35	0.214	-0.472	OK	OK		
C12	SLE01	Max	-45.26	0.00	-1.82	0.00	-7.00	0.00	0.35	0.214	-0.472	OK	OK		
C12	SLE01	Max	-44.07	0.00	2.31	0.00	-7.12	0.00	0.35	0.223	-0.475	OK	OK		
C13	SLE01	Max	-44.09	0.00	-1.98	0.00	-7.12	0.00	0.35	0.223	-0.475	OK	OK		
C13	SLE01	Max	-43.37	0.00	2.26	0.00	-7.19	0.00	0.35	0.228	-0.476	OK	OK		
C14	SLE01	Max	-43.38	0.00	-2.19	0.00	-7.19	0.00	0.35	0.228	-0.476	OK	OK		
C14	SLE01	Max	-43.14	0.00	2.19	0.00	-7.21	0.00	0.35	0.230	-0.477	OK	OK		
C15	SLE01	Max	-43.14	0.00	-2.19	0.00	-7.21	0.00	0.35	0.230	-0.477	OK	OK		
C15	SLE01	Max	-43.38	0.00	2.10	0.00	-7.19	0.00	0.35	0.228	-0.476	OK	OK		
C16	SLE01	Max	-43.37	0.00	-2.26	0.00	-7.19	0.00	0.35	0.228	-0.476	OK	OK		
C16	SLE01	Max	-44.09	0.00	1.98	0.00	-7.12	0.00	0.35	0.223	-0.475	OK	OK		
C17	SLE01	Max	-44.07	0.00	-2.31	0.00	-7.12	0.00	0.35	0.223	-0.475	OK	OK		
C17	SLE01	Max	-45.26	0.00	1.82	0.00	-7.00	0.00	0.35	0.214	-0.472	OK	OK		
C18	SLE01	Max	-45.23	0.00	-2.33	0.00	-7.00	0.00	0.35	0.214	-0.472	OK	OK		
C18	SLE01	Max	-46.88	0.00	1.64	0.00	-6.84	0.00	0.35	0.201	-0.469	OK	OK		
C19	SLE01	Max	-46.84	0.00	-2.31	0.00	-6.84	0.00	0.35	0.201	-0.469	OK	OK		
C19	SLE01	Max	-48.92	0.00	1.45	0.00	-6.62	0.00	0.35	0.185	-0.464	OK	OK		
C20	SLE01	Max	-48.87	0.00	-2.26	0.00	-6.62	0.00	0.35	0.185	-0.464	OK	OK		
C20	SLE01	Max	-51.36	0.00	1.25	0.00	-6.38	0.00	0.35	0.166	-0.459	OK	OK		
C21	SLE01	Max	-51.31	0.00	-2.12	0.00	-6.38	0.00	0.35	0.166	-0.459	OK	OK		
C21	SLE01	Max	-54.18	0.00	1.09	0.00	-6.12	0.00	0.35	0.145	-0.455	OK	OK		
C22	SLE01	Max	-54.13	0.00	-1.87	0.00	-6.12	0.00	0.35	0.145	-0.454	OK	OK		
C22	SLE01	Max	-57.34	0.00	1.00	0.00	-5.91	0.00	0.35	0.125	-0.453	OK	OK		
C23	SLE01	Max	-57.31	0.00	-1.45	0.00	-5.91	0.00	0.35	0.126	-0.453	OK	OK		
C23	SLE01	Max	-60.83	0.00	1.04	0.00	-5.80	0.00	0.35	0.110	-0.458	OK	OK		
C24	SLE01	Max	-60.83	0.00	-0.81	0.00	-5.80	0.00	0.35	0.110	-0.458	OK	OK		
C24	SLE01	Max	-64.59	0.00	1.27	0.00	-5.92	0.00	0.35	0.105	-0.474	OK	OK		
C25	SLE01	Max	-64.67	0.00	0.11	0.00	-5.92	0.00	0.35	0.105	-0.475	OK	OK		
C25	SLE01	Max	-68.64	0.00	1.76	0.00	-6.37	0.00	0.35	0.116	-0.508	OK	OK		
C26	SLE01	Max	-68.81	0.00	-1.36	0.00	-6.37	0.00	0.35	0.116	-0.508	OK	OK		
C26	SLE01	Max	-72.94	0.00	2.55	0.00	-7.33	0.00	0.35	0.151	-0.568	OK	OK		
C27	SLE01	Max	-73.25	0.00	2.93	0.00	-7.33	0.00	0.35	0.150	-0.568	OK	OK		
C27	SLE01	Max	-77.49	0.00	3.65	0.00	-8.95	0.00	0.35	0.217	-0.660	OK	OK		
C28	SLE01	Max	-77.96	0.00	-4.76	0.00	-8.95	0.00	0.35	0.215	-0.661	OK	OK		
C28	SLE01	Max	-82.25	0.00	5.00	0.00	-11.34	0.00	0.35	0.321	-0.791	OK	OK		
R01	SLE01	Max	-86.17	0.00	-7.22	0.00	-14.12	0.00	0.35	0.445	-0.938	OK	OK		
R01	SLE01	Max	-82.85	0.00	-7.38	0.00	-11.34	0.00	0.35	0.319	-0.792	OK	OK		
R02	SLE01	Max	-90.28	0.00	-7.54	0.00	-17.07	0.00	0.36	0.540	-1.041	OK	OK		
R02	SLE01	Max	-86.90	0.00	-8.14	0.00	-14.12	0.00	0.35	0.412	-0.895	OK	OK		
R03	SLE01	Max	-94.54	0.00	-7.47	0.00	-20.07	0.00	0.38	0.585	-1.083	OK	OK		
R03	SLE01	Max	-91.03	0.00	-8.32	0.00	-17.07	0.00	0.38	0.470	-0.949	OK	OK		
R04	SLE01	Max	-98.86	0.00	-6.71	0.00	-22.85	0.00	0.40	0.610	-1.104	OK	OK		
R04	SLE01	Max	-95.28	0.00	-7.96	0.00	-20.07	0.00	0.40	0.514	-0.991	OK	OK		
R13	SLE01	Max	-95.28	0.00	7.96	0.00	-20.07	0.00	0.40	0.514	-0.991	OK	OK		
R13	SLE01	Max	-98.86	0.00	6.71	0.00	-22.85	0.00	0.40	0.610	-1.104	OK	OK		
R14	SLE01	Max	-91.03	0.00	8.32	0.00	-17.07	0.00	0.38	0.470	-0.949	OK	OK		
R14	SLE01	Max	-94.54	0.00	7.47	0.00	-20.07	0.00	0.38	0.585	-1.083	OK	OK		
R15	SLE01	Max	-86.90	0.00	8.03	0.00	-14.12	0.00	0.36	0.412	-0.895	OK	OK		
R15	SLE01	Max	-90.28	0.00	7.54	0.00	-17.07	0.00	0.36	0.540	-1.041	OK	OK		
R16	SLE01	Max	-82.85	0.00	7.38	0.00	-11.34	0.00	0.35	0.319	-0.792	OK	OK		
R16	SLE01	Max	-86.17	0.00	7.22	0.00	-14.12	0.00	0.35	0.445	-0.938	OK	OK		
C01	SLE02	Max	-61.31	0.00	5.45	0.00	-5.41	0.00	0.35	0.090	-0.440	OK	OK		
C01	SLE02	Max	-57.02	0.00	5.69	0.00	-8.15	0.00	0.35	0.236	-0.564	OK	OK		
C02	SLE02	Max	-57.59	0.00	4.48	0.00	-8.15	0.00	0.35	0.235	-0.564	OK	OK		
C02	SLE02	Max	-53.35	0.00	5.20	0.00	-10.53	0.00	0.35	0.363	-0.668	OK	OK		
C03	SLE02	Max	-53.64	0.00	-0.11	0.00	-10.53	0.00	0.35	0.362	-0.669	OK	OK		
C03	SLE02	Max	-49.51	0.00	1.08	0.00	-10.77	0.00	0.35	0.386	-0.669	OK	OK		
C04	SLE02	Max	-49.32	0.00	-4.47	0.00	-10.77	0.00	0.35	0.386	-0.669	OK	OK		
C04	SLE02	Max	-45.35	0.00	-2.83	0.00	-8.98	0.00	0.35	0.310	-0.569	OK	OK		
C05	SLE02	Max	-44.75	0.00	-7.89	0.00	-8.98	0.00	0.35	0.312	-0.568	OK	OK		
C05	SLE02	Max	-40.99	0.00	-5.81	0.00	-5.61	0.00	0.35	0.158	-0.392	OK	OK		
C06	SLE02	Max	-40.08	0.00	-10.36	0.00	-5.61	0.00	0.35	0.160	-0.389	OK	OK		
C06	SLE02	Max	-36.57	0.00	7.87	0.00	-1.14	0.00	0.35	-0.049	-0.160	OK	OK		
C07	SLE02	Max	-35.46	0.00	-11.92	0.00	-1.14	0.00	0.35	-0.046	-0.157	OK	OK		
C07	SLE02	Max	-32.26	0.00	-9.05	0.00	4.01	0.00	0.35	-0.289	0.104	OK	OK		
C08	SLE02	Max	-31.04	0.00	-12.61	0.00	4.01	0.00	0.35	-0.285	0.108	OK	OK		
C08	SLE02	Max	-28.18	0.00	-9.40	0.00	9.42	0.00	0.35	-0.542	0.381	OK	OK		
C09	SLE02	Max	-26.95	0.00	-12.50	0.00	9.42	0.00	0.35	-0.538	0.384	OK	OK		
C09	SLE02	Max	-24.46	0.00	-8.99	0.00	14.70	0.00	0.35	-0.790	0.650	OK	OK		
C10	SLE02	Max	-23.30	0.00	-11.68	0.00	14.70	0.00	0.35	-0.786	0.653	OK	OK		
C10	SLE02	Max	-21.22	0.00	-7.91	0.00	19.51	0.00	0.35	-1.016	0.895	OK	OK		
C11	SLE02	Max	-20.20	0.00	-10.24	0.00	19.51	0.00	0.35	-1.013	0.898	OK	OK		
C11	SLE02	Max	-18.56	0.00	-6.27	0.00	23.56	0.00	0.35	-1.207	1.101	OK	OK		
C12	SLE02	Max	-17.74	0.00	-8.31	0.00	23.56	0.00	0.35	-1.205	1.103	OK	OK		
C12	SLE02	Max	-16.55	0.00	-4.18	0.00	26.63	0.00	0.35	-1.352	1.257	OK	OK		
C13	SLE02	Max	-15.98	0.00	-6.00	0.00	26.63	0.00	0.35	-1.350	1.259	OK	OK		
C13	SLE02	Max	-15.26	0.00	-1.77	0.00	28.54	0.00	0.35	-1.441	1.354	OK	OK		
C14	SLE02	Max	-14.96	0.00	-3.46	0.00	28.54	0.00	0.35	-1.441	1.355	OK	OK		
C14	SLE02	Max	-14.72	0.											

TABLE: Element Forces - Frames											Positive le trazioni			VERIFICHE SLE	
Frame	OutputCase	StepType	P	V3	V2	T	M3	M2	h	σ_1	σ_2	$ \sigma_{max} < f_{tc}$	$\sigma_{min} < f_{td}$		
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	[m]	[MPa]	[MPa]	[]	[]		
C01	SLE03	Max	-82.43	0.00	-4.96	0.00	-11.27	0.00	0.35	0.317	-0.788	OK	OK		
C01	SLE03	Max	-78.14	0.00	-4.72	0.00	-8.89	0.00	0.35	0.212	-0.659	OK	OK		
C02	SLE03	Max	-77.67	0.00	-3.57	0.00	-8.89	0.00	0.35	0.214	-0.657	OK	OK		
C02	SLE03	Max	-73.43	0.00	-2.85	0.00	-7.32	0.00	0.35	0.149	-0.568	OK	OK		
C03	SLE03	Max	-73.14	0.00	-2.42	0.00	-7.32	0.00	0.35	0.149	-0.567	OK	OK		
C03	SLE03	Max	-69.01	0.00	-1.23	0.00	-6.42	0.00	0.35	0.117	-0.512	OK	OK		
C04	SLE03	Max	-68.85	0.00	-1.57	0.00	-6.42	0.00	0.35	0.118	-0.511	OK	OK		
C04	SLE03	Max	-64.98	0.00	0.08	0.00	-6.05	0.00	0.35	0.111	-0.482	OK	OK		
C05	SLE03	Max	-64.83	0.00	-1.02	0.00	-6.05	0.00	0.35	0.111	-0.482	OK	OK		
C05	SLE03	Max	-61.06	0.00	1.06	0.00	-6.06	0.00	0.35	0.123	-0.471	OK	OK		
C06	SLE03	Max	-61.08	0.00	-0.72	0.00	-6.06	0.00	0.35	0.122	-0.472	OK	OK		
C06	SLE03	Max	-57.58	0.00	1.76	0.00	-6.32	0.00	0.35	0.145	-0.474	OK	OK		
C07	SLE03	Max	-57.64	0.00	-0.65	0.00	-6.32	0.00	0.35	0.145	-0.474	OK	OK		
C07	SLE03	Max	-54.44	0.00	2.22	0.00	-6.70	0.00	0.35	0.173	-0.484	OK	OK		
C08	SLE03	Max	-54.52	0.00	-0.75	0.00	-6.70	0.00	0.35	0.173	-0.484	OK	OK		
C08	SLE03	Max	-51.66	0.00	2.46	0.00	-7.12	0.00	0.35	0.201	-0.497	OK	OK		
C09	SLE03	Max	-51.74	0.00	-1.01	0.00	-7.12	0.00	0.35	0.201	-0.497	OK	OK		
C09	SLE03	Max	-49.25	0.00	2.50	0.00	-7.49	0.00	0.35	0.226	-0.508	OK	OK		
C10	SLE03	Max	-49.31	0.00	-1.42	0.00	-7.49	0.00	0.35	0.226	-0.508	OK	OK		
C10	SLE03	Max	-47.23	0.00	2.34	0.00	-7.72	0.00	0.35	0.243	-0.513	OK	OK		
C11	SLE03	Max	-46.94	0.00	0.57	0.00	-7.92	0.00	0.35	0.058	-0.326	OK	OK		
C11	SLE03	Max	-45.30	0.00	4.54	0.00	-5.17	0.00	0.35	0.214	-0.383	OK	OK		
C12	SLE03	Max	-45.54	0.00	-0.09	0.00	-5.17	0.00	0.35	0.123	-0.383	OK	OK		
C12	SLE03	Max	-44.35	0.00	4.04	0.00	-6.14	0.00	0.35	0.174	-0.427	OK	OK		
C13	SLE03	Max	-44.54	0.00	-0.74	0.00	-6.14	0.00	0.35	0.173	-0.428	OK	OK		
C13	SLE03	Max	-43.82	0.00	3.50	0.00	-6.81	0.00	0.35	0.209	-0.459	OK	OK		
C14	SLE03	Max	-43.94	0.00	-1.30	0.00	-6.81	0.00	0.35	0.208	-0.459	OK	OK		
C14	SLE03	Max	-43.70	0.00	2.99	0.00	-7.23	0.00	0.35	0.229	-0.479	OK	OK		
C15	SLE03	Max	-43.77	0.00	-1.75	0.00	-7.23	0.00	0.35	0.229	-0.479	OK	OK		
C15	SLE03	Max	-44.01	0.00	2.54	0.00	-7.42	0.00	0.35	0.238	-0.489	OK	OK		
C16	SLE03	Max	-44.04	0.00	-2.07	0.00	-7.42	0.00	0.35	0.238	-0.489	OK	OK		
C16	SLE03	Max	-44.76	0.00	2.16	0.00	-7.44	0.00	0.35	0.237	-0.493	OK	OK		
C17	SLE03	Max	-44.75	0.00	-2.29	0.00	-7.44	0.00	0.35	0.237	-0.492	OK	OK		
C17	SLE03	Max	-45.94	0.00	1.84	0.00	-7.33	0.00	0.35	0.228	-0.490	OK	OK		
C18	SLE03	Max	-45.91	0.00	-2.41	0.00	-7.33	0.00	0.35	0.228	-0.490	OK	OK		
C18	SLE03	Max	-47.55	0.00	3.16	0.00	-7.15	0.00	0.35	0.213	-0.485	OK	OK		
C19	SLE03	Max	-47.50	0.00	-2.44	0.00	-7.15	0.00	0.35	0.213	-0.485	OK	OK		
C19	SLE03	Max	-49.58	0.00	1.32	0.00	-6.85	0.00	0.35	0.194	-0.477	OK	OK		
C20	SLE03	Max	-49.52	0.00	-2.39	0.00	-6.85	0.00	0.35	0.194	-0.477	OK	OK		
C20	SLE03	Max	-52.01	0.00	1.11	0.00	-6.53	0.00	0.35	0.171	-0.469	OK	OK		
C21	SLE03	Max	-51.95	0.00	-2.24	0.00	-6.53	0.00	0.35	0.172	-0.468	OK	OK		
C21	SLE03	Max	-54.81	0.00	0.96	0.00	-6.22	0.00	0.35	0.148	-0.461	OK	OK		
C22	SLE03	Max	-54.75	0.00	-1.97	0.00	-6.22	0.00	0.35	0.148	-0.461	OK	OK		
C22	SLE03	Max	-57.96	0.00	0.89	0.00	-5.95	0.00	0.35	0.126	-0.457	OK	OK		
C23	SLE03	Max	-57.92	0.00	-1.52	0.00	-5.95	0.00	0.35	0.126	-0.457	OK	OK		
C23	SLE03	Max	-61.43	0.00	0.94	0.00	-5.82	0.00	0.35	0.109	-0.460	OK	OK		
C24	SLE03	Max	-61.43	0.00	-0.86	0.00	-5.82	0.00	0.35	0.109	-0.460	OK	OK		
C24	SLE03	Max	-65.20	0.00	1.22	0.00	-5.91	0.00	0.35	0.103	-0.476	OK	OK		
C25	SLE03	Max	-65.27	0.00	0.09	0.00	-5.91	0.00	0.35	0.103	-0.476	OK	OK		
C25	SLE03	Max	-69.24	0.00	1.73	0.00	-6.35	0.00	0.35	0.113	-0.509	OK	OK		
C26	SLE03	Max	-69.41	0.00	-1.35	0.00	-6.35	0.00	0.35	0.113	-0.510	OK	OK		
C26	SLE03	Max	-73.54	0.00	2.54	0.00	-7.31	0.00	0.35	0.148	-0.568	OK	OK		
C27	SLE03	Max	-73.85	0.00	2.94	0.00	-7.31	0.00	0.35	0.147	-0.569	OK	OK		
C27	SLE03	Max	-76.09	0.00	3.66	0.00	-6.93	0.00	0.35	0.124	-0.661	OK	OK		
C28	SLE03	Max	-76.50	0.00	-4.79	0.00	-6.93	0.00	0.35	0.123	-0.662	OK	OK		
C28	SLE03	Max	-82.85	0.00	5.03	0.00	-11.35	0.00	0.35	0.319	-0.792	OK	OK		
R01	SLE03	Max	-86.34	0.00	-7.22	0.00	-14.04	0.00	0.35	0.441	-0.934	OK	OK		
R01	SLE03	Max	-83.02	0.00	-7.37	0.00	-11.27	0.00	0.35	0.315	-0.789	OK	OK		
R02	SLE03	Max	-90.45	0.00	-7.55	0.00	-17.00	0.00	0.36	0.536	-1.038	OK	OK		
R02	SLE03	Max	-87.07	0.00	-7.98	0.00	-14.04	0.00	0.36	0.408	-0.934	OK	OK		
R03	SLE03	Max	-94.71	0.00	-7.49	0.00	-20.01	0.00	0.38	0.582	-1.081	OK	OK		
R03	SLE03	Max	-91.21	0.00	-8.35	0.00	-17.00	0.00	0.38	0.466	-0.946	OK	OK		
R04	SLE03	Max	-99.04	0.00	-6.76	0.00	-22.81	0.00	0.40	0.608	-1.103	OK	OK		
R04	SLE03	Max	-95.45	0.00	-8.00	0.00	-20.01	0.00	0.40	0.512	-0.989	OK	OK		
R13	SLE03	Max	-99.89	0.00	7.98	0.00	-20.11	0.00	0.40	0.514	-0.994	OK	OK		
R13	SLE03	Max	-99.48	0.00	6.73	0.00	-22.90	0.00	0.40	0.610	-1.107	OK	OK		
R14	SLE03	Max	-91.65	0.00	8.35	0.00	-17.10	0.00	0.38	0.469	-0.952	OK	OK		
R14	SLE03	Max	-95.15	0.00	7.50	0.00	-20.11	0.00	0.38	0.585	-1.086	OK	OK		
R15	SLE03	Max	-90.50	0.00	8.06	0.00	-14.13	0.00	0.36	0.411	-0.877	OK	OK		
R15	SLE03	Max	-99.80	0.00	7.58	0.00	-17.10	0.00	0.36	0.539	-1.044	OK	OK		
R16	SLE03	Max	-83.45	0.00	7.42	0.00	-11.35	0.00	0.35	0.317	-0.794	OK	OK		
R16	SLE03	Max	-86.77	0.00	7.26	0.00	-14.13	0.00	0.35	0.444	-0.940	OK	OK		
C01	SLE04	Max	-62.60	0.00	5.75	0.00	-5.64	0.00	0.35	0.097	-0.455	OK	OK		
C01	SLE04	Max	-58.31	0.00	5.99	0.00	-5.52	0.00	0.35	0.251	-0.584	OK	OK		
C02	SLE04	Max	-58.92	0.00	4.84	0.00	-8.52	0.00	0.35	0.249	-0.586	OK	OK		
C02	SLE04	Max	-54.68	0.00	5.56	0.00	-11.08	0.00	0.35	0.387	-0.699	OK	OK		
C03	SLE04	Max	-55.01	0.00	0.25	0.00	-11.08	0.00	0.35	0.386	-0.700	OK	OK		
C03	SLE04	Max	-50.88	0.00	1.44	0.00	-11.50	0.00	0.35	0.418	-0.709	OK	OK		
C04	SLE04	Max	-50.72	0.00	-4.25	0.00	-11.50	0.00	0.35	0.418	-0.708	OK	OK		
C04	SLE04	Max	-46.75	0.00	-2.62	0.00	-9.81	0.00	0.35	0.347	-0.614	OK	OK		
C05	SLE04	Max	-46.16	0.00	-7.83	0.00	-9.81	0.00	0.35	0.349	-0.612	OK	OK		
C05	SLE04	Max	-42.40	0.00	-5.76	0.00	-6.47	0.00	0.35	0.196	-0.438	OK	OK		
C06	SLE04	Max	-41.49	0.00	-10.47	0.00	-6.47	0.00	0.35	0.198	-0.436	OK	OK		
C06	SLE04	Max	-37.99	0.00	-7.98	0.00	-4.94	0.00	0.35	0.013	-0.230	OK	OK		
C07	SLE04	Max	-36.85	0.00	-12.18	0.00	-4.94	0.00	0.35	-0.010	-0.200	OK	OK		
C07	SLE04	Max	-33.65	0.00	-9.32	0.00	3.34	0.00	0.35	-0.260	0.067	OK	OK		
C08	SLE04	Max	-32.39	0.00	-13.03	0.00	3.34	0.00	0.35	-0.256	0.071	OK	OK		
C08	SLE04	Max	-29.53	0.00	-9.82	0.00	-0.95	0.00	0.35	-0.523	0.354	OK	OK		
C09	SLE04	Max	-28.24	0.00	-13.07	0.00	8.95	0.00	0.35	-0.519	0.358	OK	OK		
C09	SLE04	Max	-25.76	0.00	-9.56	0.00	14.51	0.00	0.35	-0.784	0.637	OK	OK		
C10	SLE04	Max	-24.53	0.00	-12.39	0.00	14.51	0.00	0.35	-0.781	0.641	OK	OK		
C10	SLE04	Max	-22.45	0.00	-8.62	0.00	16.67	0.00	0.35	-1.027	0.899	OK	OK		
C11	SLE04	Max	-21.03	0.00	-8.51	0.00	21.47	0.00	0.35	-1.210	1.089	OK	OK		
C11	SLE04	Max	-19.38	0.00	-4.54	0.00	26.67	0.00	0.35	-1.362	1.251	OK	OK		
C12	SLE04	Max	-18.75	0.00	-6.68	0.00	26.67	0.00	0.35	-1.360	1.253	OK	OK		
C12	SLE04	Max	-17.57	0.00	-2.55	0.00	28.94	0.00	0.35	-1.468	1.367	OK	OK		
C13	SLE04	Max	-17.17	0.00	-4.50	0.00	28.94	0.00	0.35	-1.466	1.368	OK	OK		
C13	SLE04	Max	-16.45	0.00	-0.26	0.00	30.11	0.00	0.35	-1.522	1.428	OK	OK		
C14	SLE04	Max	-16.32	0.00											

TABLE: Element Forces - Frames													Estradosso		Intradosso		VERIFICHE SLE		
Frame	OutputCase	StepType	P	V3	V2	T	M3	M2	h	σ_1	σ_2	$ \sigma_{max} < f_{ct}$	$ \sigma_{min} < f_{ct}$	$\sigma_{max} < f_{ct}$	$ \sigma_{min} < f_{ct}$				
Text1	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	[m]	[MPa]	[MPa]	[]	[]	[]	[]				
C01	SLE05	Max	-1761.82	0.00	-111.56	0.00	-32.41	0.00	0.35	-3.446	-6.621	OK	OK	OK	OK				
C01	SLE05	Max	-1757.53	0.00	60.60	0.00	-20.30	0.00	0.35	-4.027	-6.016	OK	OK	OK	OK				
C02	SLE05	Max	-1754.56	0.00	-113.48	0.00	-20.30	0.00	0.35	-4.019	-6.007	OK	OK	OK	OK				
C02	SLE05	Max	-1750.12	0.00	81.26	0.00	-10.15	0.00	0.35	-3.520	-5.499	OK	OK	OK	OK				
C03	SLE05	Max	-1748.50	0.00	-113.69	0.00	-10.18	0.00	0.35	-4.497	-5.494	OK	OK	OK	OK				
C03	SLE05	Max	-1744.37	0.00	109.75	0.00	-10.62	0.00	0.35	-4.464	-5.504	OK	OK	OK	OK				
C04	SLE05	Max	-1745.69	0.00	-86.25	0.00	-10.62	0.00	0.35	-4.468	-5.508	OK	OK	OK	OK				
C04	SLE05	Max	-1741.72	0.00	89.77	0.00	-12.49	0.00	0.35	-4.365	-5.588	OK	OK	OK	OK				
C05	SLE05	Max	-1740.82	0.00	-105.81	0.00	-12.49	0.00	0.35	-4.362	-5.585	OK	OK	OK	OK				
C05	SLE05	Max	-1737.06	0.00	87.83	0.00	-5.66	0.00	0.35	-4.686	-5.240	OK	OK	OK	OK				
C06	SLE05	Max	-1735.97	0.00	-107.21	0.00	-5.66	0.00	0.35	-4.683	-5.237	OK	OK	OK	OK				
C06	SLE05	Max	-1732.47	0.00	116.92	0.00	-8.14	0.00	0.35	-4.551	-5.349	OK	OK	OK	OK				
C07	SLE05	Max	-1734.66	0.00	-177.29	0.00	-19.23	0.00	0.35	-4.527	-5.345	OK	OK	OK	OK				
C07	SLE05	Max	-1731.46	0.00	105.99	0.00	-19.23	0.00	0.35	-4.005	-5.889	OK	OK	OK	OK				
C08	SLE05	Max	-1732.44	0.00	-88.54	0.00	-19.23	0.00	0.35	-4.008	-5.892	OK	OK	OK	OK				
C08	SLE05	Max	-1729.58	0.00	92.31	0.00	-18.73	0.00	0.35	-4.024	-5.859	OK	OK	OK	OK				
C09	SLE05	Max	-1729.04	0.00	-101.92	0.00	-18.73	0.00	0.35	-4.023	-5.857	OK	OK	OK	OK				
C09	SLE05	Max	-1726.55	0.00	65.31	0.00	-5.22	0.00	0.35	-4.677	-5.189	OK	OK	OK	OK				
C10	SLE05	Max	-1723.00	0.00	-128.41	0.00	-5.22	0.00	0.35	-4.667	-5.179	OK	OK	OK	OK				
C10	SLE05	Max	-1720.93	0.00	101.29	0.00	-6.17	0.00	0.35	-4.909	-4.925	OK	OK	OK	OK				
C11	SLE05	Max	-1721.14	0.00	-89.45	0.00	-3.63	0.00	0.35	-5.095	-4.740	OK	OK	OK	OK				
C11	SLE05	Max	-1719.49	0.00	96.25	0.00	0.75	0.00	0.35	-4.950	-4.876	OK	OK	OK	OK				
C12	SLE05	Max	-1719.46	0.00	-96.87	0.00	0.75	0.00	0.35	-4.950	-4.876	OK	OK	OK	OK				
C12	SLE05	Max	-1718.27	0.00	81.62	0.00	5.10	0.00	0.35	-5.159	-4.659	OK	OK	OK	OK				
C13	SLE05	Max	-1716.60	0.00	-111.28	0.00	5.10	0.00	0.35	-5.154	-4.655	OK	OK	OK	OK				
C13	SLE05	Max	-1715.88	0.00	83.29	0.00	-3.68	0.00	0.35	-5.523	-4.282	OK	OK	OK	OK				
C14	SLE05	Max	-1714.42	0.00	-109.35	0.00	12.68	0.00	0.35	-5.519	-4.277	OK	OK	OK	OK				
C14	SLE05	Max	-1714.18	0.00	97.55	0.00	15.88	0.00	0.35	-5.675	-4.120	OK	OK	OK	OK				
C15	SLE05	Max	-1714.32	0.00	-94.99	0.00	15.88	0.00	0.35	-5.676	-4.120	OK	OK	OK	OK				
C15	SLE05	Max	-1714.56	0.00	114.91	0.00	-11.42	0.00	0.35	-5.458	-4.340	OK	OK	OK	OK				
C16	SLE05	Max	-1716.31	0.00	-80.76	0.00	-11.42	0.00	0.35	-5.463	-4.345	OK	OK	OK	OK				
C16	SLE05	Max	-1717.03	0.00	113.81	0.00	2.60	0.00	0.35	-5.033	-4.779	OK	OK	OK	OK				
C17	SLE05	Max	-1718.98	0.00	-79.15	0.00	2.60	0.00	0.35	-5.039	-4.784	OK	OK	OK	OK				
C17	SLE05	Max	-1720.17	0.00	98.34	0.00	-2.97	0.00	0.35	-4.770	-5.060	OK	OK	OK	OK				
C18	SLE05	Max	-1720.47	0.00	-93.88	0.00	-2.97	0.00	0.35	-4.770	-5.061	OK	OK	OK	OK				
C18	SLE05	Max	-1722.12	0.00	91.83	0.00	-1.26	0.00	0.35	-4.859	-4.982	OK	OK	OK	OK				
C19	SLE05	Max	-1721.57	0.00	-101.57	0.00	-1.26	0.00	0.35	-4.857	-4.980	OK	OK	OK	OK				
C19	SLE05	Max	-1723.65	0.00	128.14	0.00	-6.17	0.00	0.35	-4.622	-5.227	OK	OK	OK	OK				
C20	SLE05	Max	-1721.16	0.00	-65.66	0.00	-3.63	0.00	0.35	-5.632	-4.217	OK	OK	OK	OK				
C20	SLE05	Max	-1729.65	0.00	101.58	0.00	-19.51	0.00	0.35	-3.986	-5.897	OK	OK	OK	OK				
C21	SLE05	Max	-1730.14	0.00	-92.72	0.00	-19.51	0.00	0.35	-3.988	-5.899	OK	OK	OK	OK				
C21	SLE05	Max	-1733.01	0.00	88.12	0.00	-19.81	0.00	0.35	-3.981	-5.922	OK	OK	OK	OK				
C22	SLE05	Max	-1731.98	0.00	-105.46	0.00	-19.81	0.00	0.35	-3.978	-5.919	OK	OK	OK	OK				
C22	SLE05	Max	-1735.18	0.00	77.32	0.00	-8.48	0.00	0.35	-4.542	-5.373	OK	OK	OK	OK				
C23	SLE05	Max	-1732.93	0.00	-117.45	0.00	-8.48	0.00	0.35	-4.536	-5.367	OK	OK	OK	OK				
C23	SLE05	Max	-1736.43	0.00	106.68	0.00	-5.74	0.00	0.35	-4.680	-5.242	OK	OK	OK	OK				
C24	SLE05	Max	-1737.46	0.00	-88.41	0.00	-5.74	0.00	0.35	-4.683	-5.245	OK	OK	OK	OK				
C24	SLE05	Max	-1742.22	0.00	105.23	0.00	-12.28	0.00	0.35	-3.373	-5.576	OK	OK	OK	OK				
C25	SLE05	Max	-1742.06	0.00	-96.39	0.00	-12.28	0.00	0.35	-4.376	-5.579	OK	OK	OK	OK				
C25	SLE05	Max	-1746.03	0.00	85.63	0.00	-10.11	0.00	0.35	-4.490	-5.484	OK	OK	OK	OK				
C26	SLE05	Max	-1744.63	0.00	-110.41	0.00	-10.11	0.00	0.35	-4.490	-5.480	OK	OK	OK	OK				
C26	SLE05	Max	-1748.76	0.00	113.04	0.00	-9.35	0.00	0.35	-4.539	-5.464	OK	OK	OK	OK				
C27	SLE05	Max	-1750.54	0.00	-81.42	0.00	-9.35	0.00	0.35	-4.544	-5.459	OK	OK	OK	OK				
C27	SLE05	Max	-1754.78	0.00	113.32	0.00	-19.39	0.00	0.35	-4.064	-5.964	OK	OK	OK	OK				
C28	SLE05	Max	-1757.75	0.00	-69.46	0.00	-19.39	0.00	0.35	-4.072	-5.972	OK	OK	OK	OK				
C28	SLE05	Max	-1762.04	0.00	111.70	0.00	-31.57	0.00	0.35	-3.468	-6.581	OK	OK	OK	OK				
R01	SLE05	Max	-1769.31	0.00	-110.58	0.00	-48.00	0.00	0.35	-2.704	-7.406	OK	OK	OK	OK				
R01	SLE05	Max	-1765.99	0.00	27.80	0.00	-32.41	0.00	0.35	-3.458	-6.633	OK	OK	OK	OK				
R02	SLE05	Max	-1777.39	0.00	-133.34	0.00	-70.61	0.00	0.36	-1.668	-8.206	OK	OK	OK	OK				
R02	SLE05	Max	-1774.01	0.00	12.30	0.00	-48.00	0.00	0.36	-2.705	-7.150	OK	OK	OK	OK				
R03	SLE05	Max	-1782.24	0.00	-179.05	0.00	-108.00	0.00	0.38	-0.218	-9.819	OK	OK	OK	OK				
R03	SLE05	Max	-1784.74	0.00	-20.49	0.00	-70.61	0.00	0.38	-1.763	-7.631	OK	OK	OK	OK				
R04	SLE05	Max	-1803.92	0.00	-226.43	0.00	-165.85	0.00	0.40	1.709	-10.729	OK	OK	OK	OK				
R04	SLE05	Max	-1800.34	0.00	-7.96	0.00	-108.00	0.00	0.40	-0.451	-8.551	OK	OK	OK	OK				
R13	SLE05	Max	-1803.66	0.00	74.22	0.00	-107.51	0.00	0.40	-6.470	-4.533	OK	OK	OK	OK				
R13	SLE05	Max	-1804.25	0.00	226.70	0.00	-165.46	0.00	0.40	1.694	-10.715	OK	OK	OK	OK				
R14	SLE05	Max	-1785.04	0.00	20.80	0.00	-70.00	0.00	0.38	-1.789	-7.606	OK	OK	OK	OK				
R14	SLE05	Max	-1788.54	0.00	179.36	0.00	-107.51	0.00	0.38	-6.240	-9.174	OK	OK	OK	OK				
R15	SLE05	Max	-1794.27	0.00	-11.98	0.00	-47.27	0.00	0.36	-2.740	-7.117	OK	OK	OK	OK				
R15	SLE05	Max	-1777.65	0.00	133.66	0.00	-70.00	0.00	0.36	-1.697	-8.179	OK	OK	OK	OK				
R16	SLE05	Max	-1766.23	0.00	-27.52	0.00	-31.57	0.00	0.35	-3.500	-6.593	OK	OK	OK	OK				
R16	SLE05	Max	-1769.55	0.00	110.86	0.00	-47.27	0.00	0.35	-2.741	-7.371	OK	OK	OK	OK				
C01	SLE06	Max	-1760.71	0.00	-109.47	0.00	-31.97	0.00	0.35	-3.465	-6.597	OK	OK	OK	OK				
C01	SLE06	Max	-1756.42	0.00	62.68	0.00	-20.88	0.00	0.35	-3.995	-6.032	OK	OK	OK	OK				
C02	SLE06	Max	-1749.02	0.00	-118.96	0.00	-20.88	0.00	0.35	-3.986	-6.032	OK	OK	OK	OK				
C02	SLE06	Max	-1748.02	0.00	75.78	0.00	-8.07	0.00	0.35	-4.602	-5.392	OK	OK	OK	OK				
C03	SLE06	Max	-1746.51	0.00	-120.53	0.00	-8.07	0.00	0.35	-4.595	-5.385	OK	OK	OK	OK				
C03	SLE06	Max	-1742.38	0.00	103.92	0.00	-15.15	0.00	0.35	-4.726	-5.231	OK	OK	OK	OK				
C04	SLE06	Max	-1742.95	0.00	-92.81	0.00	-15.15	0.00	0.35	-4.727	-5.232	OK	OK	OK	OK				
C04	SLE06	Max	-1738.98	0.00	83.20	0.00	-3.80	0.00	0.35	-4.782	-5.155	OK	OK	OK	OK				
C05	SLE06	Max	-1737.36	0.00	-112.02	0.00	-3.80	0.00	0.35	-4.778	-5.150	OK	OK	OK	OK				
C05	SLE06	Max	-1733.60	0.00	81.61	0.00	6.08	0.00	0.35	-5.251	-4.655	OK	OK	OK	OK				
C06	SLE06	Max	-1731.84	0.00	-113.00	0.00	6.08	0.00	0.35	-5.246	-4.650	OK	OK	OK	OK				
C06	SLE06	Max	-1728.33	0.00	111.13	0.00	6.44	0.00	0.35	-5.254	-4.623	OK	OK	OK	OK				
C07	SLE06	Max	-1729.91	0.00	-83.08	0.00	6.44	0.00	0.35	-5.258	-4.627	OK	OK	OK	OK				
C07	SLE06	Max	-1726.70	0.00	100.70	0.00	-2.05	0.00	0.35	-4.833	-5.034	OK	OK	OK	OK				
C08	SLE06	Max	-1727.12	0.00	-92.25	0.00	-2.05	0.00											

VERIFICA DELLA SEZIONE NON ARMATA CONSIDERANDO F _{td} = 0															VERIFICA DELLA SEZIONE NON ARMATA CONSIDERANDO IL CALCESTRUZZO REGIMANTE A TRAZIONE F _{td}															
Positive in compressione															Positive in trazione															
VERIFICA A PRESSIONE															VERIFICA A TAGLIO															
Frame	Outcrop/Case	SlipType	P	V3	V2	T	M3	M2	h	σ _{max}	σ _{min}	σ _{avg}	σ _{max}	σ _{min}	σ _{avg}	σ _{max}	σ _{min}	σ _{avg}	σ _{max}	σ _{min}	σ _{avg}	σ _{max}	σ _{min}	σ _{avg}	σ _{max}	σ _{min}	σ _{avg}			
Test #	Test	Test	KN	KN	KN	KN	KN	KN	mm	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]		
C01	SLU02	Man	85.61	0.00	6.09	0.00	0.17	0.00	0.35	0.002	0.35	5313	OK	0.25	734	6.89	1.15	268	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C02	SLU02	Man	79.85	0.00	6.42	0.00	0.290	0.00	0.35	0.036	0.28	4258	OK	0.29	734	6.85	1.16	272	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C03	SLU02	Man	80.66	0.00	6.20	0.00	0.290	0.00	0.35	0.036	0.28	4258	OK	0.29	734	6.85	1.17	272	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C04	SLU02	Man	74.94	0.00	6.88	0.00	0.742	0.00	0.35	0.009	0.15	2334	OK	0.49	734	6.65	1.25	292	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C05	SLU02	Man	81.99	0.00	6.09	0.00	0.17	0.00	0.35	0.002	0.35	5313	OK	0.25	734	6.89	1.15	268	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C06	SLU02	Man	70.41	0.00	10.50	0.00	0.12	0.00	0.35	0.173	0.00	41	ATTENZIONE	17.78	734	10.64	0.06	215	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C07	SLU02	Man	71.30	0.00	5.96	0.00	0.12	0.00	0.35	0.173	0.00	127	OK	0.61	734	5.47	0.06	91	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C08	SLU02	Man	65.94	0.00	4.47	0.00	0.33	0.00	0.35	0.027	0.00	61	ATTENZIONE	0.39	734	6.91	1.14	266	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C09	SLU02	Man	66.38	0.00	4.15	0.00	0.15	0.00	0.35	0.231	0.00	21	ATTENZIONE	0.39	734	6.91	1.14	266	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C10	SLU02	Man	61.30	0.00	2.96	0.00	0.1613	0.00	0.35	0.263	0.00	21	ATTENZIONE	0.39	734	6.91	1.14	266	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C11	SLU02	Man	61.30	0.00	3.02	0.00	0.1613	0.00	0.35	0.263	0.00	21	ATTENZIONE	0.39	734	6.91	1.14	266	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C12	SLU02	Man	56.51	0.00	0.57	0.00	0.1502	0.00	0.35	0.266	0.00	21	ATTENZIONE	0.39	734	6.91	1.14	266	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C13	SLU02	Man	56.09	0.00	0.32	0.00	0.1502	0.00	0.35	0.266	0.00	21	ATTENZIONE	0.39	734	6.91	1.14	266	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C14	SLU02	Man	51.77	0.00	0.32	0.00	0.1259	0.00	0.35	0.243	0.00	21	ATTENZIONE	0.39	734	6.91	1.14	266	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C15	SLU02	Man	51.30	0.00	0.80	0.00	0.1259	0.00	0.35	0.246	0.00	21	ATTENZIONE	0.39	734	6.91	1.14	266	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C16	SLU02	Man	47.24	0.00	0.47	0.00	0.33	0.00	0.35	0.027	0.00	61	ATTENZIONE	0.39	734	6.91	1.14	266	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C17	SLU02	Man	46.44	0.00	0.93	0.00	0.33	0.00	0.35	0.201	0.00	21	ATTENZIONE	0.39	734	6.91	1.14	266	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C18	SLU02	Man	43.08	0.00	5.00	0.00	0.571	0.00	0.35	0.133	0.08	1304	OK	0.51	734	6.63	1.26	294	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C19	SLU02	Man	42.25	0.00	0.79	0.00	0.571	0.00	0.35	0.135	0.08	1304	OK	0.51	734	6.61	1.27	296	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C20	SLU02	Man	39.44	0.00	4.72	0.00	0.215	0.00	0.35	0.054	0.04	3704	OK	0.16	734	6.98	1.11	258	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C21	SLU02	Man	38.67	0.00	9.10	0.00	0.215	0.00	0.35	0.054	0.04	3704	OK	0.16	734	6.98	1.11	258	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C22	SLU02	Man	38.45	0.00	3.74	0.00	1.01	0.00	0.35	0.008	0.29	4509	OK	0.12	734	7.02	1.09	254	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C23	SLU02	Man	35.80	0.00	0.80	0.00	1.01	0.00	0.35	0.028	0.29	4509	OK	0.12	734	7.02	1.09	254	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C24	SLU02	Man	34.19	0.00	2.23	0.00	3.47	0.00	0.35	0.102	0.15	2257	OK	0.23	734	6.91	1.14	266	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C25	SLU02	Man	33.73	0.00	6.04	0.00	3.47	0.00	0.35	0.103	0.14	2214	OK	0.23	734	6.91	1.14	266	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C26	SLU02	Man	32.76	0.00	0.32	0.00	5.03	0.00	0.35	0.154	0.04	456	OK	0.27	734	6.97	1.16	267	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C27	SLU02	Man	32.52	0.00	3.99	0.00	5.03	0.00	0.35	0.154	0.04	456	OK	0.27	734	6.97	1.16	267	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C28	SLU02	Man	32.19	0.00	1.81	0.00	5.57	0.00	0.35	0.173	0.00	42	OK	7.92	734	0.78	0.01	702	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C29	SLU02	Man	32.19	0.00	1.81	0.00	5.57	0.00	0.35	0.173	0.00	42	OK	7.92	734	0.78	0.01	702	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C30	SLU02	Man	32.19	0.00	1.81	0.00	5.57	0.00	0.35	0.173	0.00	42	OK	7.92	734	0.78	0.01	702	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C31	SLU02	Man	32.19	0.00	1.81	0.00	5.57	0.00	0.35	0.173	0.00	42	OK	7.92	734	0.78	0.01	702	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C32	SLU02	Man	32.19	0.00	1.81	0.00	5.57	0.00	0.35	0.173	0.00	42	OK	7.92	734	0.78	0.01	702	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C33	SLU02	Man	32.19	0.00	1.81	0.00	5.57	0.00	0.35	0.173	0.00	42	OK	7.92	734	0.78	0.01	702	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C34	SLU02	Man	32.19	0.00	1.81	0.00	5.57	0.00	0.35	0.173	0.00	42	OK	7.92	734	0.78	0.01	702	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C35	SLU02	Man	32.19	0.00	1.81	0.00	5.57	0.00	0.35	0.173	0.00	42	OK	7.92	734	0.78	0.01	702	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C36	SLU02	Man	32.19	0.00	1.81	0.00	5.57	0.00	0.35	0.173	0.00	42	OK	7.92	734	0.78	0.01	702	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C37	SLU02	Man	32.19	0.00	1.81	0.00	5.57	0.00	0.35	0.173	0.00	42	OK	7.92	734	0.78	0.01	702	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C38	SLU02	Man	32.19	0.00	1.81	0.00	5.57	0.00	0.35	0.173	0.00	42	OK	7.92	734	0.78	0.01	702	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C39	SLU02	Man	32.19	0.00	1.81	0.00	5.57	0.00	0.35	0.173	0.00	42	OK	7.92	734	0.78	0.01	702	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C40	SLU02	Man	32.19	0.00	1.81	0.00	5.57	0.00	0.35	0.173	0.00	42	OK	7.92	734	0.78	0.01	702	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C41	SLU02	Man	32.19	0.00	1.81	0.00	5.57	0.00	0.35	0.173	0.00	42	OK	7.92	734	0.78	0.01	702	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C42	SLU02	Man	32.19	0.00	1.81	0.00	5.57	0.00	0.35	0.173	0.00	42	OK	7.92	734	0.78	0.01	702	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C43	SLU02	Man	32.19	0.00	1.81	0.00	5.57	0.00	0.35	0.173	0.00	42	OK	7.92	734	0.78	0.01	702	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C44	SLU02	Man	32.19	0.00	1.81	0.00	5.57	0.00	0.35	0.173	0.00	42	OK	7.92	734	0.78	0.01	702	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C45	SLU02	Man	32.19	0.00	1.81	0.00	5.57	0.00	0.35	0.173	0.00	42	OK	7.92	734	0.78	0.01	702	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
C46	SLU02	Man	32.19																											

GZT05, aufgezeigt. Insbesondere in der Sohle ist der Höchstschub im Abschnitt F01 ($V=250\text{kN}$), im Tunnelbogenaufsatz im Abschnitt M06 ($V=812\text{kN}$) sowie bei den Widerlagern im Element R05 ($V=340\text{kN}$) erreicht.

Die Schubüberprüfung in den außergewöhnlichen Kombinationen, mit Widerstandsbeiwerten von 1.2 und 1.0 jeweils auf Beton und Stahl, erweisen sich als nicht bemessend.

Schließlich, in Abbildung 46 sind die GZG Rissnachweise von Tunnelbogenaufsätzen und Sohle aufgezeigt

($V=250\text{kN}$), nella muretta il taglio massimo è raggiunto nella sezione M06 ($V=812\text{kN}$) e nei ritti nell'elemento R05 ($V=340\text{kN}$).

Le verifiche a taglio nelle combinazioni eccezionali, con i coefficienti sulle resistenze di 1.2 e 1.0 rispettivamente sul cls e sull'acciaio, non risultano dimensionanti.

Infine, nell'illustrazione 46 sono riportate le verifiche SLE a fessurazione delle murette e della fondazione.

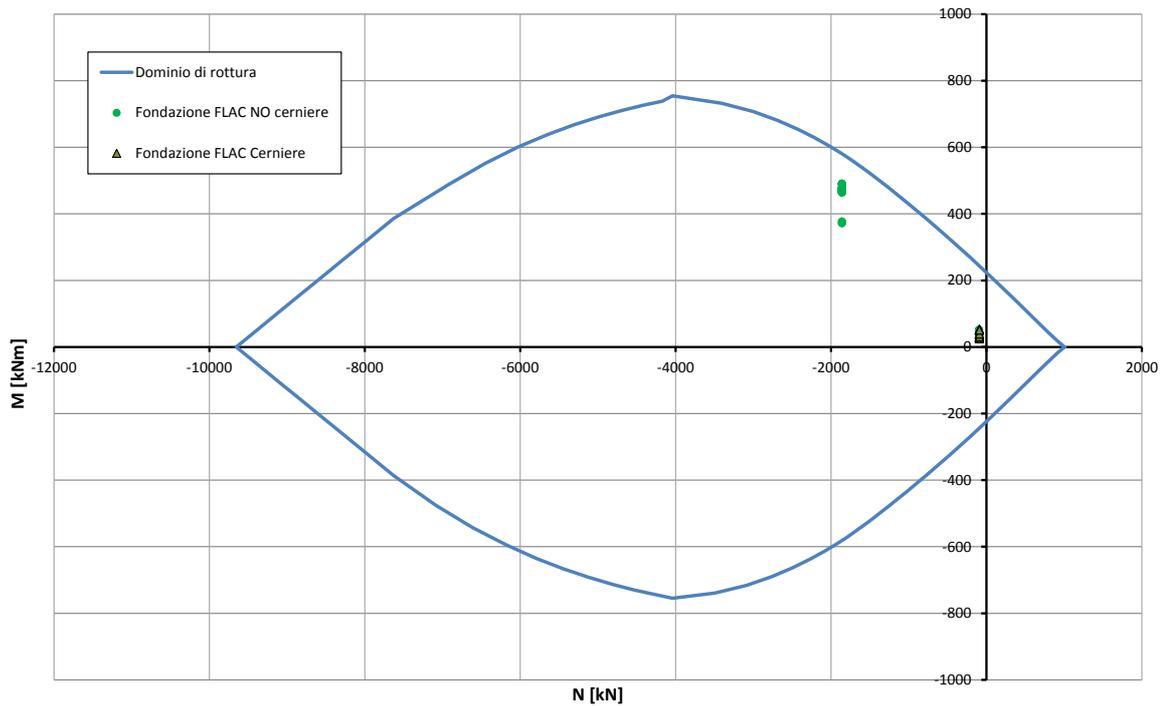


Abbildung 37: Überprüfung auf Beulspannung der Sohlplatte (GZT)

Illustrazione 37: Verifica a pressoflessione della platea di fondazione (SLU)

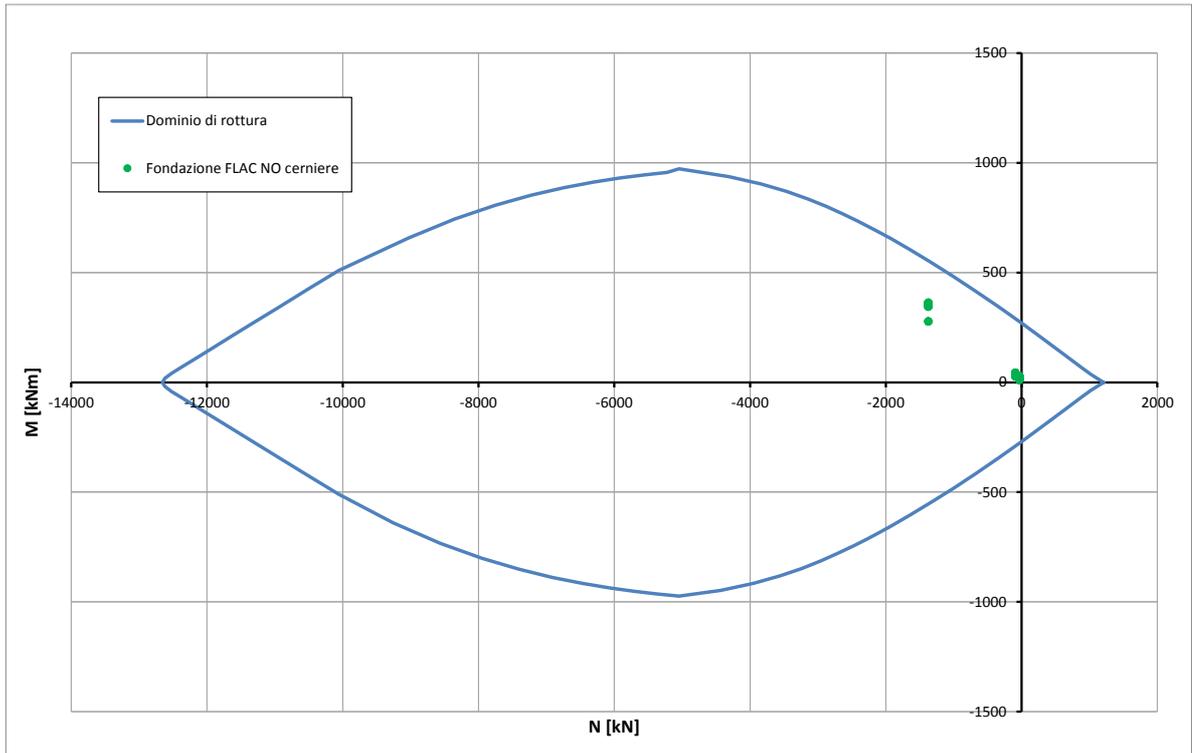


Abbildung 38: Überprüfung auf Beulspannung der Sohlplatte (außergewöhnliches GZT)

Illustrazione 38: Verifica a pressoflessione della platea di fondazione (SLU Eccezionale)

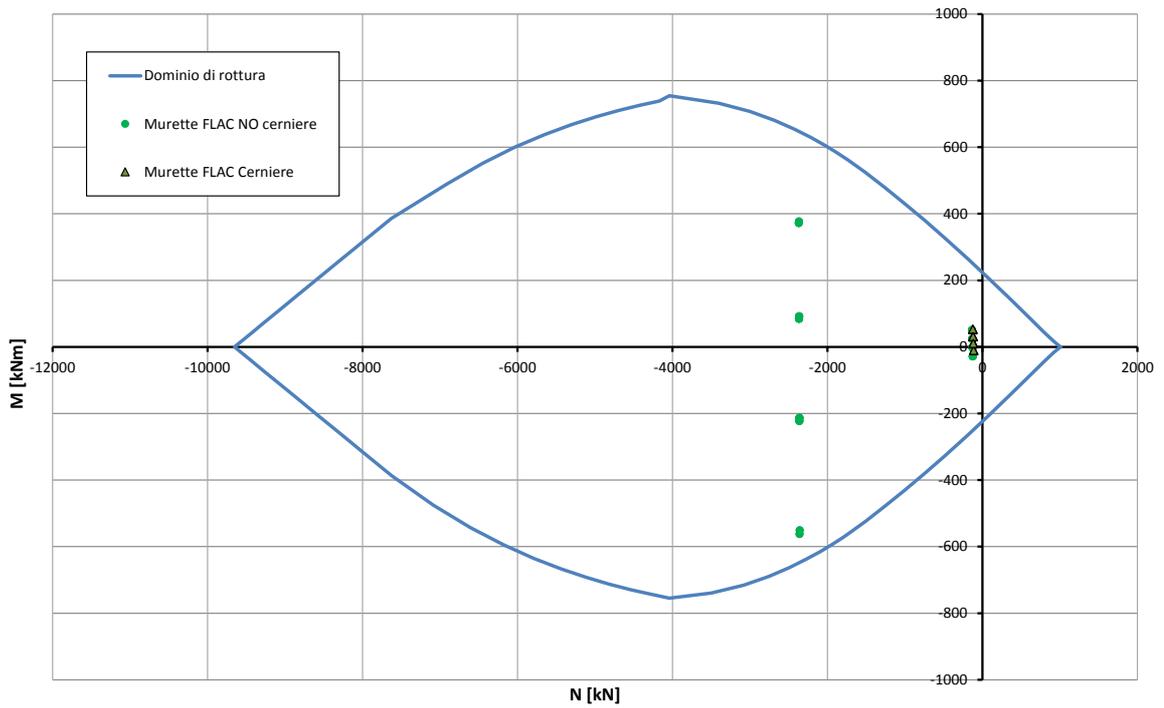


Abbildung 39: Überprüfung auf Beulspannung des Tunnelbogenaufsatzes (GZT)

Illustrazione 39: Verifica a pressoflessione della muretta (SLU)

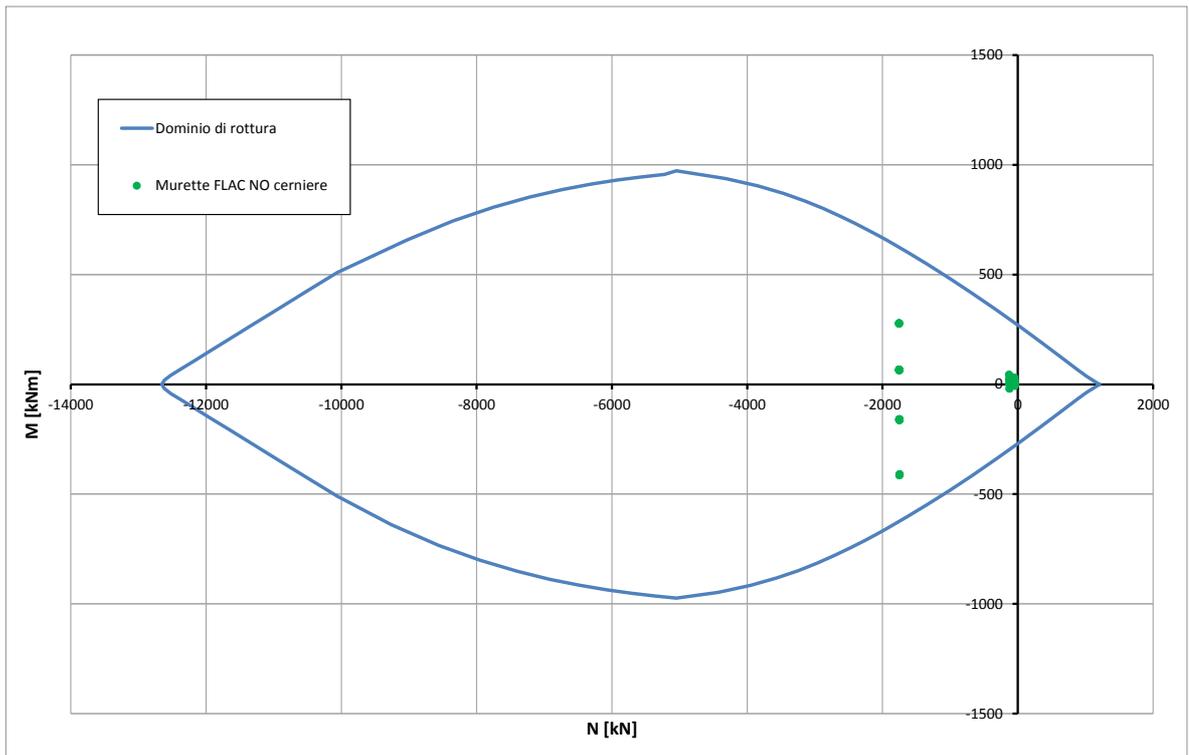


Abbildung 40: Überprüfung auf Beulspannung des Tunnelbogenaufsatzes (außergewöhnliches GZT)

Illustrazione 40: Verifica a pressoflessione della muretta (SLU Eccezionale)

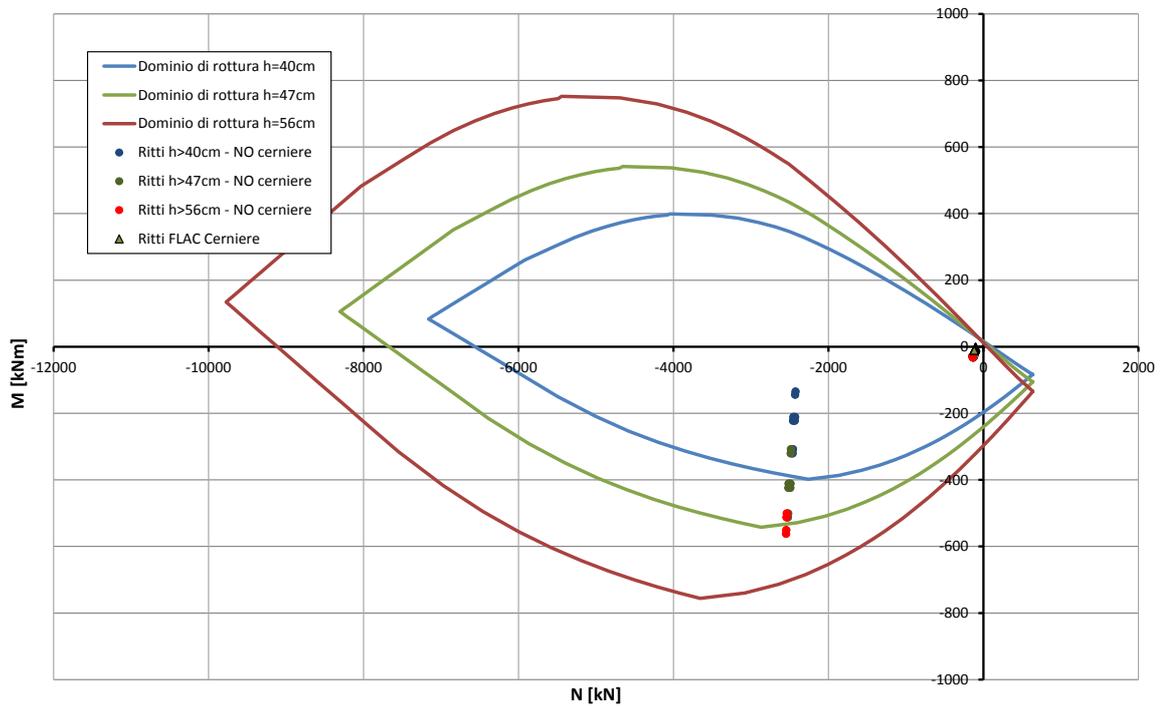


Abbildung 41: Überprüfung auf Beulspannung der Widerlager (GZT)

Illustrazione 41: Verifica a pressoflessione dei ritti (SLU)

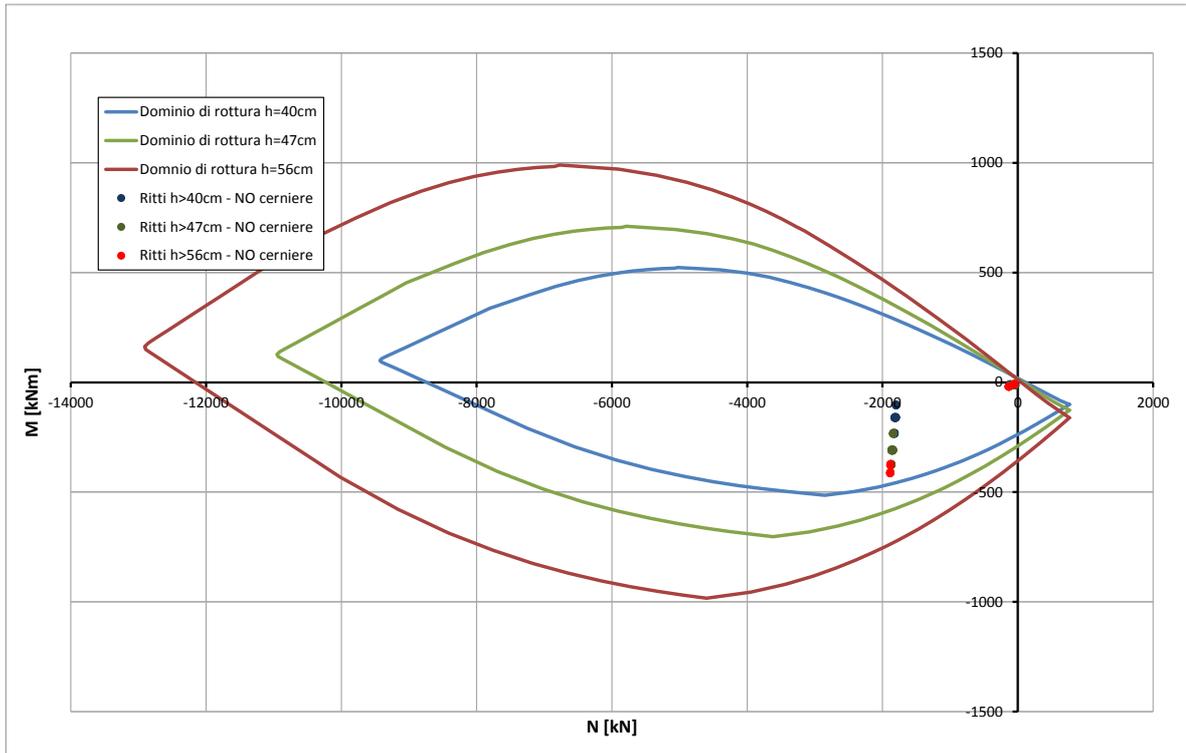


Abbildung 42: Überprüfung auf Beulspannung der Widerlager (außergewöhnliches GZT)

Illustrazione 42: Verifica a pressoflessione dei ritzi (SLU Eccezionale)

Caratteristiche dei materiali:

Resistenza caratteristica a compressione cubica cls
 Resistenza caratteristica a compressione cilindrica cls
 Resistenza di calcolo a compressione del cls
 Resistenza di calcolo a trazione dell'acciaio

R_{ck}	=	37	N/mm ²
f_{ck}	=	31	N/mm ²
f_{cd}	=	16.31	N/mm ²
f_{yd}	=	375.00	N/mm ²

Sollecitazioni di verifica (S.L.U.):

Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente
 Valore di calcolo della forza assiale associata a V_{Ed}
 Valore di calcolo del momento flettente associato a V_{Ed}

V_{Ed}	=	250.00	kN
$N(V_{Ed})$	=	1500.00	kN
$M(V_{Ed})$	=	0.00	kNm

Caratteristiche geometriche della sezione:

Altezza utile della sezione
 Larghezza minima della sezione

d	=	462	mm
b_w	=	1000	mm

Armatura della sezione in zona tesa:

Diametro ferri longitudinali
 Numero tondini longitudinali utilizzati
 Area totale di armatura longitudinale in zona tesa
 Rapporto geometrico dell'armatura longitudinale (≤ 0.02)

\emptyset	=	16	mm
n	=	6.7	--
A_{sl}	=	1340	mm ²
ρ_l	=	0.0029	--

VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO (§ 4.1.2.1.3.1)

Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione (≤ 2)
 Tensione dipendente dal fattore k e dalla resistenza del cls
 Tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0.2 \times f_{cd}$)
 Resistenza ultima a taglio minima

k	=	1.66	--
v_{min}	=	0.41	N/mm ²
σ_{cp}	=	3.25	N/mm ²
$V_{Rd,min}$	=	416.30	kN
V_{Rd}	=	416.30	kN

Resistenza ultima a taglio ($V_{Rd} \geq V_{Rd,min}$)

VERIFICA SODDISFATTA:

non occorre armatura trasversale resistente a taglio.

Abbildung 43: Querkraftüberprüfung der Sohlplatte (GZT)

Illustrazione 43: Verifica a taglio della platea di fondazione (SLU)

Caratteristiche dei materiali:

Resistenza caratteristica a compressione cubica cls	R_{ck}	=	37	N/mm ²
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica cls	f_{ck}	=	31	N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione del cls	f_{cd}	=	16.31	N/mm ²
Resistenza di calcolo a trazione dell'acciaio	f_{yd}	=	375.00	N/mm ²

Sollecitazioni di verifica (S.L.U.):

Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente	V_{Ed}	=	812.00	kN
Valore di calcolo della forza assiale associata a V_{Ed}	$N(V_{Ed})$	=	2300.00	kN
Valore di calcolo del momento flettente associato a V_{Ed}	$M(V_{Ed})$	=	0.00	kNm

Caratteristiche geometriche della sezione:

Altezza utile della sezione	d	=	462	mm
Larghezza minima della sezione	b_w	=	1000	mm

Armatura della sezione in zona tesa:

Diametro ferri longitudinali	\varnothing	=	16	mm
Numero tondini longitudinali utilizzati	n	=	6.7	--
Area totale di armatura longitudinale in zona tesa	A_{sl}	=	1340	mm ²
Rapporto geometrico dell'armatura longitudinale (≤ 0.02)	ρ_l	=	0.0029	--

VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO (§ 4.1.2.1.3.1)

Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione (≤ 2)	k	=	1.66	--
Tensione dipendente dal fattore k e dalla resistenza del cls	v_{min}	=	0.41	N/mm ²
Tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0.2 \times f_{cd}$)	σ_{cp}	=	3.26	N/mm ²
Resistenza ultima a taglio minima	$V_{Rd,min}$	=	417.42	kN
Resistenza ultima a taglio ($V_{Rd} \geq V_{Rd,min}$)	V_{Rd}	=	417.42	kN

VERIFICA NON SODDISFATTA:

occorre procedere al dimensionamento dell'armatura trasversale resistente a taglio.

VERIFICA CON ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO (§ 4.1.2.1.3.2)**Armatura aggiuntiva resistente a taglio:**

Angolo di inclinazione armatura trasv. su asse dell'elemento	α	=	90	°
Diametro ferri a taglio	\varnothing_{sw}	=	14	mm
Numero dei bracci in sezione trasversale	n_{sw}	=	6.7	--
Passo in direzione asse elemento	s	=	400	mm
Area totale di armatura a taglio	A_{sw}	=	1027	mm ²

Fattori di resistenza a compressione:

Controllo duttilità (SI = duttile)	0.96	<	10.20	SI
Angolo di inclinazione dei puntoni di cls	θ	=	22.00	°
Resistenza a compressione ridotta del cls d'anima	f'_{cd}	=	8.16	N/mm ²
Tensione media di compressione nella sezione	σ_{cp}	=	4.98	N/mm ²
Coefficiente maggiorativo per membrature compresse	α_c	=	1.25	--

Resistenza di calcolo a "taglio trazione" dell'armatura	V_{Rsd}	=	990.55	kN
Resistenza di calcolo a "taglio compressione" del cls	V_{Rcd}	=	1472.60	kN
Resistenza ultima a taglio	V_{Rd}	=	990.55	kN

VERIFICA SODDISFATTA.

Abbildung 44: Querkraftüberprüfung des Tunnelbogenaufsatzes (GZT) Illustrazione 44: Verifica a taglio della muretta (SLU)

Caratteristiche dei materiali:

Resistenza caratteristica a compressione cubica cls	R_{ck}	=	37	N/mm ²
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica cls	f_{ck}	=	31	N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione del cls	f_{cd}	=	16.31	N/mm ²
Resistenza di calcolo a trazione dell'acciaio	f_{yd}	=	375.00	N/mm ²

Sollecitazioni di verifica (S.L.U.):

Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente	V_{Ed}	=	340.00	kN
Valore di calcolo della forza assiale associata a V_{Ed}	$N(V_{Ed})$	=	2400.00	kN
Valore di calcolo del momento flettente associato a V_{Ed}	$M(V_{Ed})$	=	0.00	kNm

Caratteristiche geometriche della sezione:

Altezza utile della sezione	d	=	491	mm
Larghezza minima della sezione	b_w	=	1000	mm

Armatura della sezione in zona tesa:

Diametro ferri longitudinali	\varnothing	=	18	mm
Numero tondini longitudinali utilizzati	n	=	6.7	--
Area totale di armatura longitudinale in zona tesa	A_{sl}	=	1693	mm ²
Rapporto geometrico dell'armatura longitudinale (≤ 0.02)	ρ_l	=	0.0034	--

VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO (§ 4.1.2.1.3.1)

Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione (≤ 2)	k	=	1.64	--
Tensione dipendente dal fattore k e dalla resistenza del cls	v_{min}	=	0.41	N/mm ²
Tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0.2 \times f_{cd}$)	σ_{cp}	=	3.26	N/mm ²
Resistenza ultima a taglio minima	$V_{Rd,min}$	=	440.00	kN
Resistenza ultima a taglio ($V_{Rd} \geq V_{Rd,min}$)	V_{Rd}	=	452.29	kN

VERIFICA SODDISFATTA:

non occorre armatura trasversale resistente a taglio.

Abbildung 45: Querkraftüberprüfung des Widerlagere (GZT)

Illustrazione 45: Verifica a taglio nei ritzi (SLU)

			SLE05 - M01	SLE06 - M03	SLE06 - F09	SLE05 - R09	SLE05 - R07
STRESS CHARACTERISTICS SLS			GL-MA4	GL-MA4	GL-MA4	GL-MA4	GL-MA4
Design value of Axial Force	N_{sd}	[kN]	-1749	-1754	-1365	-1888	-1870
Design value of Bending Moment	M_{sd}	[kNm]	-417	280	364	-417	-381
Design value of Shear Force	T_{sd}	[kN]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
STRESS LIMITATION SERVICEABILITY LIMIT STATE			GL-MA4	GL-MA4	GL-MA4	GL-MA4	GL-MA4
Overall depth of the cross section	h	[mm]	530	530	530	560	510
Minimum width of the cross section in the tensile area	b_w	[mm]	1000	1000	1000	1000	1000
Effective depth of the cross section	d	[mm]	462.0	462.0	462.0	492.0	442.0
Neutral axis depth	x	[mm]	247.9	36.0	226.3	294.1	265.7
Maximum concrete stress (- = compression)	σ_c	[N/mm ²]	-14.43	-9.20	-12.84	-12.67	-13.90
Minimum concrete stress (- = compression)	σ_{c1}	[N/mm ²]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum steel stress (+ = tension)	σ_s	[N/mm ²]	186.90	39.07	200.00	128.00	138.30
Minimum steel stress (+ = tension)	σ_{s1}	[N/mm ²]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Concrete limit stress	$\sigma_{c,lim}$	[N/mm ²]	-18.43	-18.43	-18.43	-18.43	-18.43
Steel limit stress	$\sigma_{s,lim}$	[N/mm ²]	360.00	360.00	360.00	360.00	360.00
VERIFICATION RESULT			OK	OK	OK	OK	OK
STRESS LIMITATION SERVICEABILITY LIMIT STATE			GL-MA4	GL-MA4	GL-MA4	GL-MA4	GL-MA4
Characteristic compressive cylinder strength of concrete at 28 days	f_{ck}	[N/mm ²]	30.71	30.71	30.71	30.71	30.71
Mean value of axial tensile strength of concrete (=0.3 $f_{ck}^{2/3}$ per C50/60)	f_{ctm}	[N/mm ²]	2.942	2.942	2.942	2.942	2.942
Characteristic axial tensile strength of concrete (=0.7 f_{ctm})	f_{ctk}	[N/mm ²]	2.059	2.059	2.059	2.059	2.059
Partial factor of concrete	γ_c	[-]	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Design tensile resistance of concrete	f_{ctd}	[N/mm ²]	2.059	2.059	2.059	2.059	2.059
Main value of tensile strength of the concrete in the effective tension area ($f_{ct,eff}$)	$f_{ct,eff}$	[N/mm ²]	2.942	2.942	2.942	2.942	2.942
Elastic modulus of reinforcing steel	E_s	[N/mm ²]	210000	210000	210000	210000	210000
Secant elastic modulus of concrete	E_{cm}	[N/mm ²]	32000	32000	32000	32000	32000
= E_s/E_{cm}	α_e	[-]	6.56	6.56	6.56	6.56	6.56
Factor depending on the duration of the load (0.60: short term - 0.40: long term)	k_t	[-]	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Effective tension area of concrete	$A_{c,eff}$	[mm ²]	94033	164663	101233	88633	81433
Number of rebar in tension area	n_l	[-]	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7
Rebar main diameter	ϕ_l	[mm]	16	16	16	18	18
Cross section area of reinforcement in $A_{c,eff}$	A_{sl}	[mm ²]	1340	1340	1340	1696	1696
= $A_s/A_{c,eff}$	$\rho_{p,eff}$	[-]	0.0143	0.0081	0.0132	0.0191	0.0208
Main strain	$\epsilon_{sm} \cdot \epsilon_{cm}$	‰	0.534	0.112	0.571	0.366	0.395
Rebar cover	c	[mm]	60	60	60	60	60
Rebar spacing	s	[mm]	150	150	150	150	150
Bond factor (0.80: high bond bars - 1.60: plain bars)	k_1	[-]	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Factor which takes account of the distribution of strain (0.50 bending - 1.00 tension)	k_2	[-]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Coefficient for $S_{r,max}$	k_3	[-]	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40
Coefficient for $S_{r,max}$	k_4	[-]	0.425	0.425	0.425	0.425	0.425
Maximum crack spacing	$S_{r,max}$	[mm]	394.81	538.14	409.43	363.87	350.89
Crack width	w_k	[mm]	0.211	0.060	0.234	0.133	0.139
Crack width limit	w_{lim}	[mm]	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
VERIFICATION RESULT			OK	OK	OK	OK	OK

Abbildung 46: Überprüfung des Tunnelbogenaufsatzes und der Sohplatte (GZG)

Illustrazione 46: Verifica della muretta e della platea di fondazione (SLE)

In folgenden Abbildungen sind die strukturellen Überprüfungen der Ausbruchquerschnitte auf Feuerwiderstand aufgezeigt. In den unbewehrten Ausbruchquerschnitten wurden die Überprüfungen mit einer herabgesetzten Vorsichtsausbruchquerschnittsstärke von 7 cm durchgeführt. Die Überprüfungen an Stützen und Sohplatte wurden, durch Vergleichung der Belastungen mit dem Bereich der auf 5 cm reduzierten Ausbruchquerschnitten (Stampfbeton an der Laibung) oder mit dem Bereich der durch 20% herabgesetzten Bewehrungswiderstand erreicht wurde (Spannbeton an der Laibung), durchgeführt.

Nelle seguenti illustrazioni sono riportate le verifiche strutturali delle sezioni nei confronti dell'esposizione al fuoco. Nelle sezioni non armate le verifiche sono state condotte riducendo lo spessore della sezione, cautelativamente, di 7cm; Nei ritti e nella platea di fondazione le verifiche sono state condotte confrontando le sollecitazioni con il dominio delle sezioni ridotte di 5cm, nel caso di cls compresso in intradosso, o con il dominio ottenuto riducendo la resistenza dell'armatura del 20%, nel caso di cls teso in intradosso.

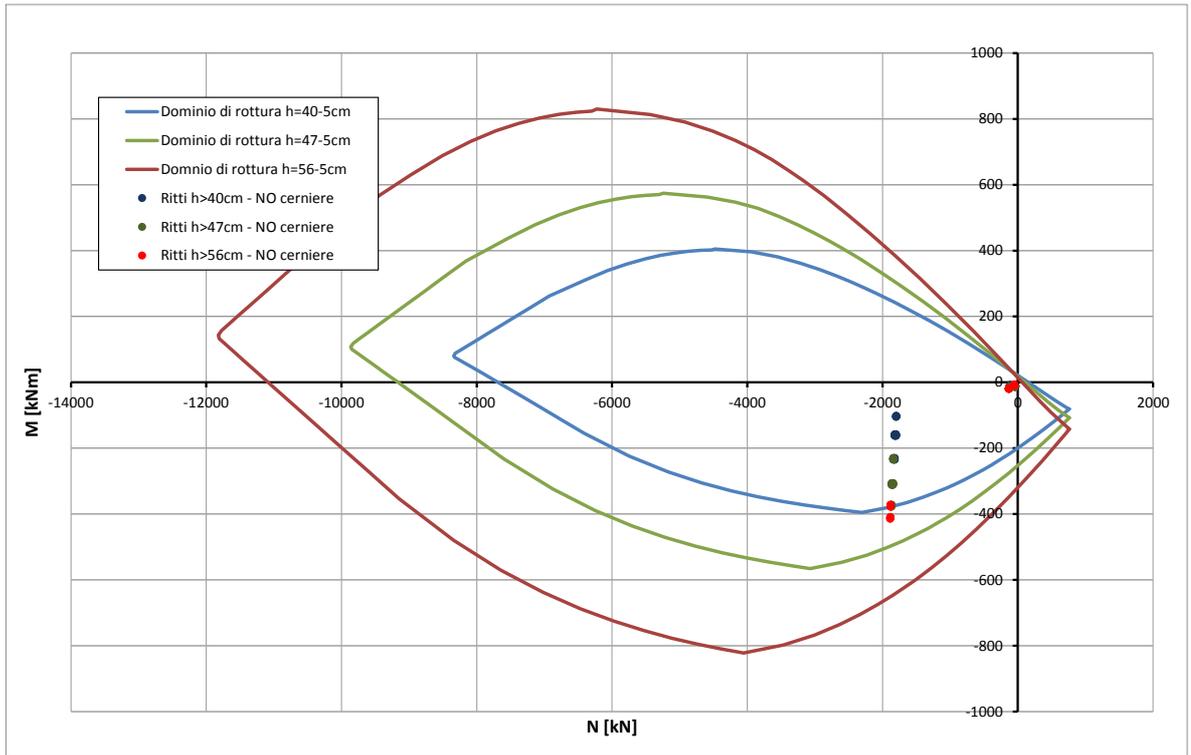


Abbildung 48: Überprüfung auf Beulspannung der Widerlager (GZT) bzgl. Brand

Illustrazione 48: Verifica a pressoflessione dei ritzi (SLU) nei confronti del fuoco

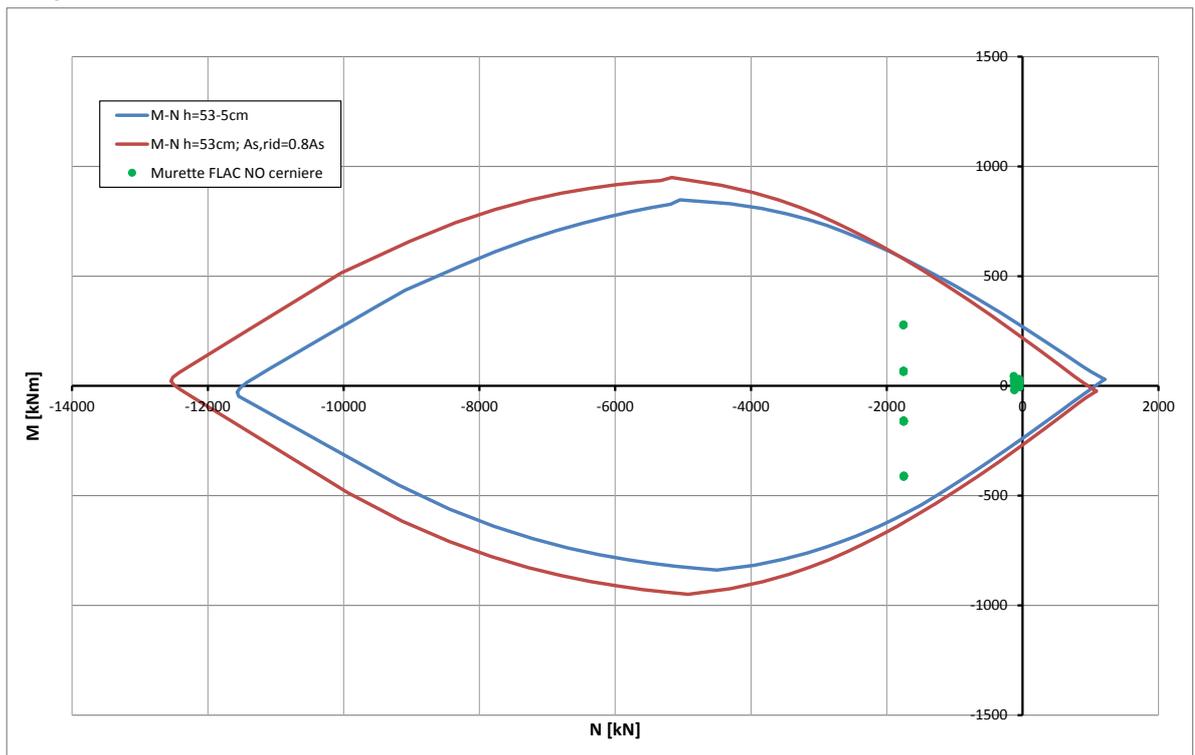


Abbildung 49: Überprüfung auf Beulspannung des Tunnelbogenaufsatzes (GZT) bzgl. Brand

Illustrazione 49: Verifica a pressoflessione delle murette (SLU) nei confronti del fuoco

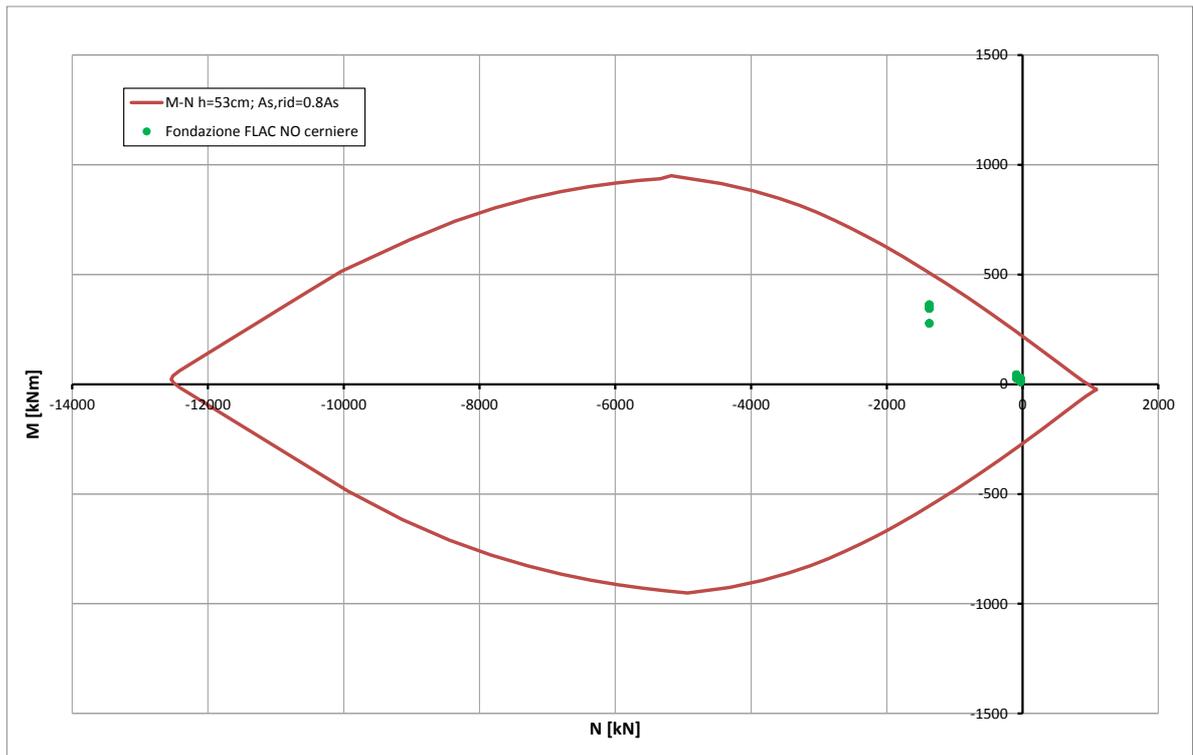


Abbildung 50: Überprüfung auf Beulspannung der Sohlplatte (GZT) bzgl. Brand

Illustrazione 50: Verifica a pressoflessione della fondazione (SLU) nei confronti del fuoco