



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

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



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

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

<b>D0700: Baulos Mauls 2-3</b>		<b>D0700: Lotto Mules 2-3</b>					
<b>Projekteinheit</b> Gesamtbauwerke Teil 1		<b>WBS</b> Opere generali Parte 1					
<b>Dokumentenart</b> Statische Berechnung		<b>Tipo Documento</b> Calcolo statico					
<b>Titel</b> Statische Berechnung C-E-IN-N, C-E-N und Schächte		<b>Titolo</b> Relazione di calcolo C-E-IN-N, C-E-N e pozzi					
 <b>RTI 4P</b> Raggruppamento Temporaneo di Imprese 4P <small>Via Pio Ilir S.r.l., Via G.B. Sannarini 5, 20125 Milano, Tel.: +39 026767911, Fax: +39 0287152612</small>		Generalplaner / Responsabile integrazioni prestazioni specialistiche Ing. Enrico Maria Pizzarotti Ord. Ingg. Milano N° A 29470					
<b>Mandataria</b>  <b>PRO ITER</b> Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	<b>Mandante</b>  <b>PÖYRY</b>	<b>Mandante</b>  <b>pini swiss engineers</b>	<b>Mandante</b>  <b>PASQUALI-RAUSA</b> ENGINEERING S.r.l./G.m.b.H.				
Fachplaner / il progettista specialista Ing. Enrico Maria Pizzarotti Ord. Ingg. Milano N° A 29470		Fachplaner / il progettista specialista					
	Datum / Data	Name / Nome	Gesellschaft / Società				
Bearbeitet / Elaborato	30.01.2015	Moja	Pro Iter				
Geprüft / Verificato	30.01.2015	Rivoltini	Pro Iter				
 <b>BBT</b> Galleria di Base del Brennero Brenner Basistunnel BBT SE		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 46.7+69 bis / a 54.0+15 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	090	KST	D0700	21079	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	Projektvervollständigung und Umsetzung der Verbesserungen aus dem Prüfverfahren / Completamento progetto e ricepimento istruttoria	Rivoltini	09.10.2014
10	Endabgabe / Consegna definitiva	Rivoltini	31.07.2014

<b>1</b>	<b>EINFÜHRUNG</b>	
<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>MATERIALIEN</b>	
<b>2</b>	<b>MATERIALI</b> .....	<b>9</b>
2.1	SPRITZBETON	
2.1	BETONCINO PROIETTATO .....	9
2.2	ANKER	
2.2	ANCORAGGI .....	9
2.3	BETON	
2.3	CALCESTRUZZO.....	9
2.4	BEWEHRUNGSSTAHL	
2.4	ACCIAIO DA ARMATURA.....	10
<b>3</b>	<b>GEOTECHNISCHES MODELL</b>	
<b>3</b>	<b>MODELLO GEOTECNICO</b> .....	<b>11</b>
3.1	GEOLOGIE UND GEOMECHANIK	
3.1	GEOLOGIA E GEOMECCANICA.....	11
<b>4</b>	<b>GEBIRGSVERHALTEN</b>	
<b>4</b>	<b>COMPORAMENTO DELLA ROCCIA</b> .....	<b>13</b>
4.1	ABSCHÄTZUNG DES GEBIRGSVERHALTEN	
4.1	VALUTAZIONE DEL COMPORAMENTO DELLA ROCCIA - LINEE CARATTERISTICHE .....	13
4.2	BEWERTUNG DES ROCKBURST-VERHALTEN DES GESTEINS	
4.2	VALUTAZIONE DEL COMPORAMENTO DELLA ROCCIA - ROCK BURST .....	15
<b>5</b>	<b>NACHWEISE</b>	
<b>5</b>	<b>VERIFICHE</b> .....	<b>18</b>
5.1	GRENZZUSTAND DER TRAGFÄHIGKEIT (GZT)	
5.1	STATI LIMITE ULTIMI (SLU).....	18
5.1.1	Teilsicherheitsfaktoren Einwirkungen	
5.1.1	Coefficienti parziali di sicurezza per le azioni .....	18
5.1.2	Teilsicherheitsfaktoren der Widerstände	
5.1.2	Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze .....	18
5.2	GRENZZUSTÄNDE DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT (GZG)	
5.2	STATI LIMITE ESERCIZIO (SLE) .....	19
5.2.1	Teilsicherheitsfaktoren Einwirkungen	
5.2.1	Coefficienti parziali di sicurezza delle azioni.....	19
5.2.2	Teilsicherheitsfaktoren der Widerstände	
5.2.2	Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze .....	19
5.2.3	Begrenzung der Rissbreiten	
5.2.3	Limitazione dello spessore delle fessure .....	19
<b>6</b>	<b>BAULICHE DURCHBILDUNG</b>	
<b>6</b>	<b>STRUTTURA COSTRUTTIVA</b> .....	<b>20</b>
6.1	BAULICHE DURCHBILDUNG	
6.2	CLASSE DI ESPOSIZIONE E COPRIFERRO MINIMO	
6.3	MINDESTBEWEHRUNG	
6.1	ARMATURA MINIMA .....	20
<b>7</b>	<b>SCHALENDIMENSIONIERUNG</b>	
<b>7</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DEI RIVESTIMENTI</b> .....	<b>21</b>

<b>8</b>	<b>AUSSENSCHALE UND ERGÄNZENDE EINGRIFFE ZUM NISCHENAUSBRUCH</b>	
<b>8</b>	<b>RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE E INTERVENTI INTEGRATIVI PER LO SCAVO DELLE NICCHIE .....</b>	<b>21</b>
8.1	BP 47/1	
8.1	BP 47/1.....	21
8.2	BP 49/2 E 51/2	
8.2	BP 49/2 E 51/2 .....	23
8.3	SCHACHT	
8.3	POZZO.....	24
<b>9</b>	<b>INNENSCHALEN</b>	
<b>9</b>	<b>RIVESTIMENTI DEFINITIVI .....</b>	<b>26</b>
9.1	TRÄGERDIMENSIONIERUNG	
9.1	DIMENSIONAMENTO DELL'ARCHITRAVE .....	26
9.2	ÜBERPRÜFUNGEN STOLLENSCHALEN	
9.2	VERIFICA DEI RIVESTIMENTI DEL CUNICOLO .....	28
9.3	NISCHENSCHALE	
9.3	RIVESTIMENTO DELLE NICCHIE.....	29
9.4	SCHACHTSCHALE	
9.4	RIVESTIMENTO DEL POZZO .....	31
<b>10</b>	<b>VERZEICHNISSE</b>	
<b>10</b>	<b>ELENCHI.....</b>	<b>32</b>
10.1	TABELLENVERZEICHNIS	
10.1	ELENCO DELLE TABELLE.....	32
10.2	ANLAGENVERZEICHNIS	
10.2	ELENCO APPENDICI .....	33
10.3	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	
10.3	ELENCO DELLE ILLUSTRAZIONI.....	33
10.4	REFERENZDOKUMENTE	
10.4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	33
10.4.1	Eingangsdokumente	
10.4.1	Documenti in ingresso .....	33
10.4.2	Normen und Richtlinien	
10.4.2	Normative e linee guida.....	34
10.4.3	Bibliografie	
10.4.3	Bibliografia.....	34
<b>ANHANG 1 - TRÄGERÜBERPRÜFUNG</b>		
<b>APPENDICE 1 - VERIFICA DELL'ARCHITRAVE .....</b>		<b>36</b>
<b>ANHANG 2 - INNENSCHALENÜBERPRÜFUNG DES BETONS AN DEN VERBINDUNGEN</b>		
<b>APPENDICE 2 - VERIFICA DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI DEL CE IN CORRISPONDENZA DEGLI</b>		
<b>INNESTI.....</b>		<b>49</b>
<b>ANHANG 3 - INNENSCHALENÜBERPRÜFUNGEN DER NISCHENWÄNDE</b>		
<b>APPENDICE 3 - VERIFICA DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI DELLE PARETI DELLE NICCHIE .....</b>		<b>56</b>
<b>ANHANG 4 - KENNLINIEN</b>		
<b>APPENDICE 4 - LINEE CARATTERISTICHE.....</b>		<b>59</b>

## 1 EINFÜHRUNG

Der vorliegende Bericht beinhaltet die Bemessung der im Inneren des Erkundungsstollens errichteten Nischen sowie der dazugehörigen Schächte, welche sie mit den Querstollen der darauf liegenden Haupttunnels verbinden.

Es sind vier Nischen auf Höhe der Kilometrierungen km 12+308, km 10+731, km 9+706 und km 7+954 des bestehenden Erkundungsstollens (C-E), und jeweils mit den Querstollen BP 47/1, BP 48/3, BP 49/2 und BP 51/2 verbunden, geplant. Die Schale des Erkundungsstollens besteht aus Tübbingringen auf Höhe der BP 49/2 und BP 51/2 und aus einer Außenschale in Spritzbeton, gefolgt von einer Endbetonierung in Stahlbeton in den Querstollen BP 47/1 und BP 48/3. Insbesondere im BP 47/1 wird der laufende C-E-Tc genannte Ausbruchquerschnitt angewandt, hingegen im BP 48/3 der breiteste Ausbruchquerschnitt des Stollens, genannt CL-E-T, angewandt.

Die Nutzwerte der Nischen an den Querstollen BP 49/2 und BP 51/2 sind von 1.9x1.5 m an der Basis und von einer maximalen Höhe an der Kappe von 2.75 m. An den Querstollen BP 47/1 und BP 48/3, sind die Nutzwerte an der Basis von 3.9x4.0 m.

Die Ausbruchquerschnitte der vier Nischen sind in den Abbildungen 1,2,3,4 aufgezeigt.

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione riporta il dimensionamento delle nicchie realizzate all'interno del Cunicolo Esplorativo e dei relativi pozzi che le collegano con i cunicoli trasversali delle Gallerie di Linea soprastanti.

Sono previste quattro nicchie collocate in corrispondenza delle progressive km 12+308, km 10+731, km 9+706 e km 7+954 del Cunicolo Esplorativo esistente (C-E) e collegate rispettivamente ai cunicoli trasversali BP 47/1, BP 48/3, BP 49/2 e BP 51/2.

Il rivestimento del Cunicolo Esplorativo è costituito da anelli in conci prefabbricati in corrispondenza del BP 49/2 e BP 51/2 e da un rivestimento di prima fase in betoncino proiettato seguito da un getto definitivo in c.a. nei BP 47/1 e BP 48/3. In particolare, nel BP 47/1 è applicata la sezione corrente denominata C-E-Tc mentre in corrispondenza del BP 48/3 è applicata la sezione più larga del Cunicolo, denominata CL-E-T.

Le dimensioni utili delle nicchie in corrispondenza dei cunicoli trasversali BP 49/2 e BP 51/2 sono pari a 1.9x1.5 m in pianta per un'altezza in calotta di 2.75 m. In corrispondenza dei cunicoli trasversali BP 47/1 e BP 48/3, le dimensioni utili della nicchia in pianta sono uguali a 3.9x4.0 m.

Le sezioni delle quattro nicchie sono riportate in Figura 1,2,3,4.

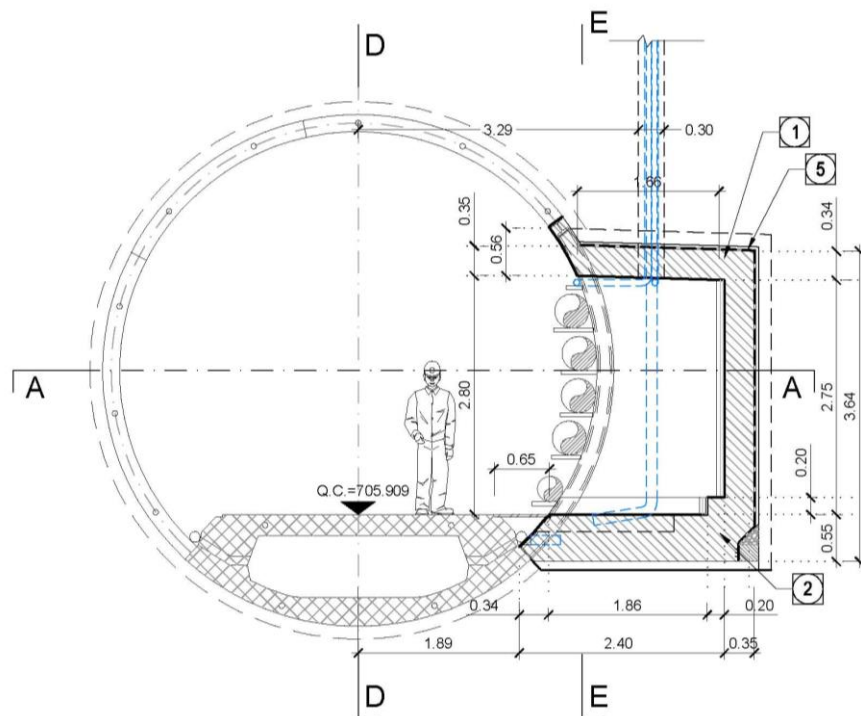


Abbildung 1: Stollenausbruchquerschnitt auf Höhe der Nische BP 51/2

Figura 1: Sezione del cunicolo in corrispondenza della nicchia BP 51/2

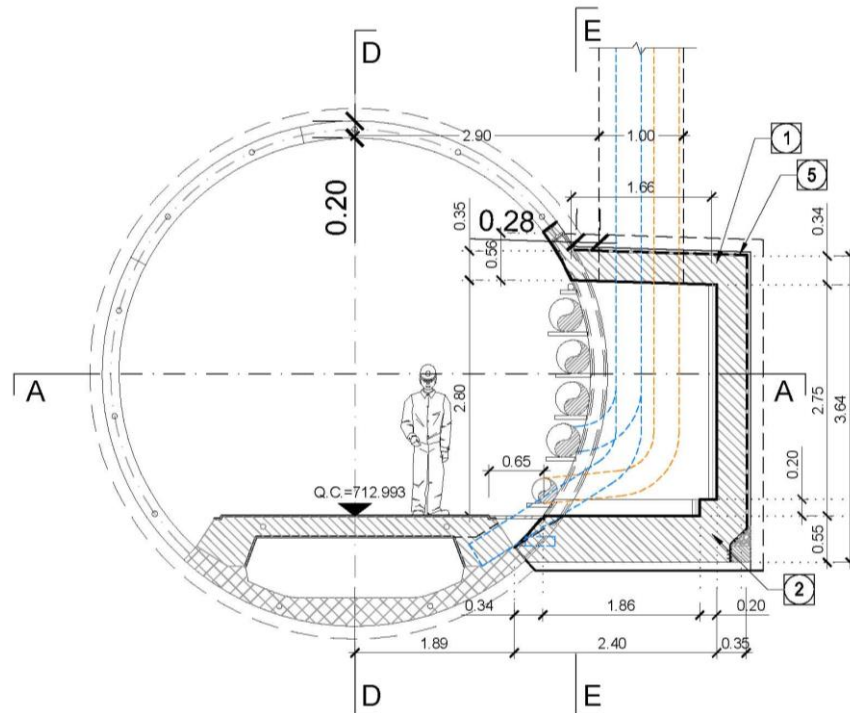


Abbildung 2: Stollenausbruchquerschnitt auf Höhe der Nische BP 49/2

Figura 2: Sezione del cunicolo in corrispondenza della nicchia BP 49/2

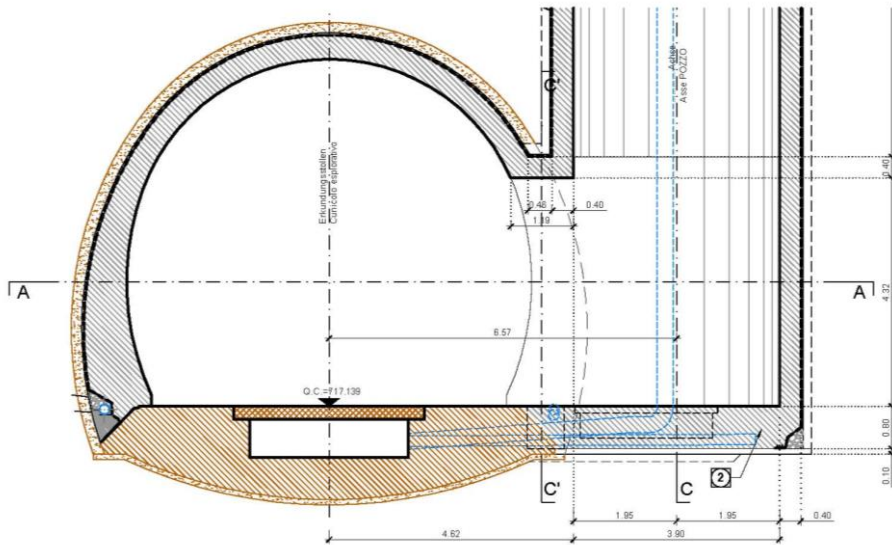


Abbildung 3: Stollenausbruchquerschnitt auf Höhe der Nische BP 48/3

Figura 3: Sezione del cunicolo in corrispondenza della nicchia BP 48/3

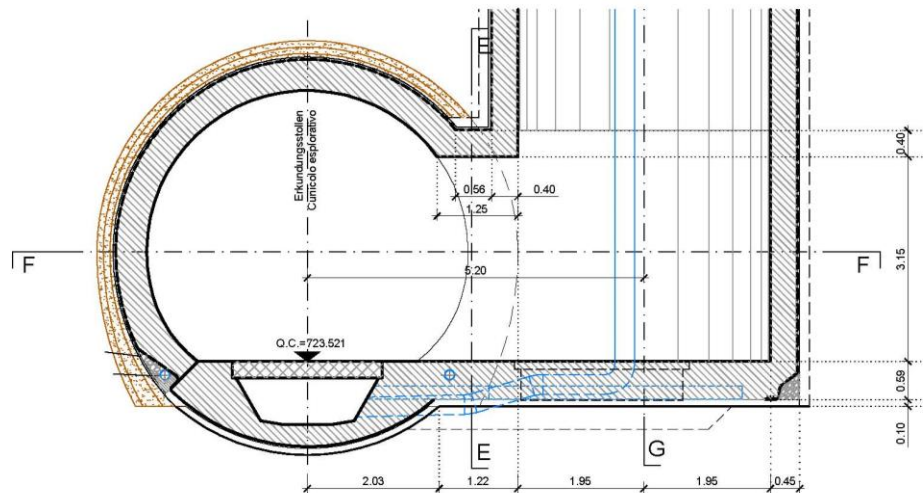


Abbildung 4: Stollenausbruchquerschnitt auf Höhe der Nische BP 47/1

Figura 4: Sezione del cunicolo in corrispondenza della nicchia BP 47/1

Folgende Tabelle zeigt eine Zusammenfassung der Nischen dieser Studie.

La seguente tabella riporta un riassunto delle nicchie oggetto del presente studio.

BP	Progr. del CT [km]	Progr. della nicchia [km]	Sez. tipo C-E
47/1 (CT2)	12+303	12+308	C-E-Tc-IN-N
48/3 (CT2)	10+724	10+731	CL-E-T-IN-N
49/2 (CT1)	9+703	9+706	C-E-IN-N
51/2 (CT3)	7+955	7+954	C-E-IN-N

Tabelle 1: Zusammenfassung der Kilometrierungen im Bezugssystem des CE und angewandte Ausbruchquerschnitte

Tabella 1: Riassunto progressive nel sistema di riferimento del CE e sezioni tipo applicate

Die Außenschale auf Höhe der Nische BP 47/1 besteht, wie in der Erweiterungsplanung [5] angegeben, aus nominalen 30 cm Spritzbeton der Festigkeitsklasse C30/37, aus Vortriebsnietungen Typ RN32 an der Kappe und aus Radialanker SN22 an den Widerlagern (Ausbruchquerschnitt C-T4bis P).

Il rivestimento di prima fase in corrispondenza della nicchia BP 47/1, come indicato nel progetto per l'estensione [5], è costituito da 30 cm nominali di betoncino proiettato C30/37, da chiodature in avanzamento tipo RN32 in calotta e da chiodi radiali SN22 sui ritti (sezione di scavo C-T4bis P).

Die Außenschale des BP 48/3, dagegen ist nicht Gegenstand dieses Dokuments, da der Verbindungsschacht bereits ausgeführt wurde.

Il rivestimento di prima fase del BP 48/3, viceversa, non è oggetto del presente elaborato in quanto il pozzo di collegamento è già stato realizzato.

Auf Höhe des Querstollen BP 49/2 und BP 51/2 wird die Stabilisierung des Tübbingrings durch Anker SuperSwellex Pm 24 vorgesehen, welche auf Höhe der vorhandenen Löcher in den Tübbing selbst eingebaut werden.

In corrispondenza dei BP 49/2 e BP 51/2 si prevede di stabilizzare l'anello in conci mediante chiodi SuperSwellex Pm 24 realizzati in corrispondenza dei fori presenti nei conci stessi.

Die Verfestigungsmaßnahmen des bestehenden Erkundungsstollens werden an der Nischenstrecke und auf einer Länge von 4.5m (3 Abschlätze) vor und hinter den Nischen selbst angewandt. In Tabella 2 werden die für den Erkundungsstollen und den Nischen geplanten Konsolidierungsmaßnahmen zusammengefasst.

Gli interventi di rinforzo del Cunicolo Esplorativo esistente si applicano nella tratta delle nicchie e per una lunghezza di 4.5m (3 sfondi) prima e dopo le nicchie stesse. In Tabella 2 sono riassunti gli interventi di consolidamento previsti per il Cunicolo Esplorativo e le nicchie.

BP	stato	Sostegno del CE				Sostegno alla nicchia		
		Chiodi		Passo		Chiodi	Passo	
		[-]		long.[m]	travv.[m]	[-]	long.[m]	travv.[m]
47/1	da scavare	calotta	RN32	1.5	0.8	Pm16	1.5	1.8
		ritti	SN22	1.5	0.9			
48/3	già scavata	-		-	-	-	-	-
49/2	da scavare	Pm24		1.5	variabile (<1.8)	Pm24	1.5	variabile
51/2	da scavare	Pm24		1.5	variabile (<1.8)	Pm24	1.5	variabile

Tabelle 2: Außenschalencharakterisierung auf Nischenhöhe

Der Schacht auf Höhe des BP 47/1, in Ausbruchklasse III, wird von einer Außenschale aus 15 cm Spritzbeton mit Radialnietungen Pm 16, L=3m mit Raster 1.3x1m, gestützt.

Infolge der Ausbruchergebnisse des Erkundungsstollens auf Höhe des BP 47/1, die ein sich Hinausziehen der geomechanischen Bedingungen, welche die Maulstaler Verwerfungszone charakterisieren (Gebirge FVM-S-PS und FVM-S-B), wobei sie die vorhergehende Grenze zwischen der tektonisierten Zone der oben genannten Verwerfung und den Paraschiefern (FVM-S-PS und FVM-S-B) nach Norden verschieben, wird in der Ausbruchklasse IV folgendes geplant:

- Die Außenschale des Erkundungsstollens durch Anker SuperSwellex Pm24, L=4.5 m, mit quadratischem Raster 1.5 m zu verstärken;
- Die Nischenschale durch Anker Pm16, mit Raster 0.9x0.75 m zu verstärken;
- Die Außenschale des Schachts auf 20 cm Spritzbeton mit Radialnietungen Pm16, L=3m mit Raster 0.65x1m zu erhöhen.

Was die Innenschale betrifft, erweist der Erkundungsstollen auf Höhe des BP 48/3 eine Nominalstärke an der Kappe von 45 cm, hingegen, auf Höhe des BP 47/1, ist die Innenschale an der Kappe 62 cm stark.

Folgende Tabelle fasst hingegen die Eigenschaften, Durchmesser D und Stärke t, der Schachtinnenschalen zusammen.

BP	D [m]	t [cm]
47/1	4.7	40
48/3	4.7	30
49/2	1	30
51/2	0.3	-

Tabelle 3: Zusammenfassung Schachteigenschaften

Schließlich besteht die Nischeninnenschale aus bewehrten Ortbeton von jeweils 35 cm und 40 cm Stärke für die Nischen auf Höhe der BP 49/2 und BP 51/3 und den Nischen auf Höhe der BP 48/3 und BP 47/1.

Die Innenschale, wie in diesem Dokument dargestellt, wird auf Höhe aller Nischen bewehrt.

Tabella 2: Caratterizzazione dei rivestimenti di prima fase in corrispondenza delle nicchie

Il pozzo in corrispondenza del BP 47/1, in classe di scavo III, è sostenuto da un rivestimento di prima fase costituito da 15 cm di betoncino proiettato più chiodature radiali Pm 16, L=3m a maglia 1.3x1m.

A seguito delle risultanze dello scavo del Cunicolo Esplorativo in corrispondenza del BP 47/1, che hanno messo in evidenza un protrarsi delle condizioni geomeccaniche caratterizzanti la zona della faglia della val di Mules (ammassi FVM-S-PS e FVM-S-B), spostando verso nord il precedente limite tra la zona tettonizzata della suddetta faglia e i FVM-S-PS e FVM-S-B), in classe di scavo IV è stato previsto di:

- Rinforzare il rivestimento di prima fase del Cunicolo Esplorativo mediante chiodi SuperSwellex Pm24, L=4.5 m, a maglia quadrata 1.5 m;
- Rinforzare il rivestimento della nicchia con chiodi Pm 16 a maglia 0.9x0.75 m;
- Incrementare il rivestimento di prima fase del pozzo a 20 cm di betoncino proiettato più chiodature radiali Pm 16, L=3m a maglia 0.65x1m.

Per quanto riguarda i rivestimenti definitivi, il Cunicolo Esplorativo in corrispondenza del BP 48/3 presenta uno spessore nominale in calotta di 45 cm mentre in corrispondenza del BP 47/1 il rivestimento definitivo in calotta ha uno spessore di 62 cm.

La seguente tabella, viceversa, riassume le caratteristiche, diametro D e spessore t, del rivestimento definitivo dei pozzi.

Tabella 3: Riassunto caratteristiche dei pozzi

Infine, il rivestimento definitivo delle nicchie è costituito da 35 cm e 40 cm di sezione in c.a. gettato in opera rispettivamente per le nicchie in corrispondenza dei BP 49/2 e BP 51/3 e delle nicchie in corrispondenza dei BP 48/3 e BP 47/1.

Il rivestimento definitivo, come verrà illustrato nel presente documento, verrà armato in corrispondenza di tutte le nicchie.



Gegenstand dieses Berichts ist die Bemessung aller Bauwerke, Nischen und Schächte, welche die Verbindungen der Querstollen zum Erkundungsstollen ermöglichen.

Oggetto della presente relazione è il dimensionamento di tutte le opere, nicchie e pozzi, che consentono il collegamento dei cunicoli trasversali al Cunicolo Esplorativo sottostante.

## 2 MATERIALIEN

### 2.1 SPRITZBETON

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

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

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

Wobei:

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

### 2.2 ANKER

Es wird der Einsatz von Anker des Typs Superswellex Pm16 und Pm24, Nieten Typ SN22 und Bohrschrauben Typ R32N mit folgenden Eigenschaften vorgesehen:

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

$$N_y = 140 \text{ kN (Pm16)}$$

$$N_y = 200 \text{ kN (Pm24)}$$

$$N_y = 300 \text{ kN (SN22)}$$

$$N_y = 230 \text{ kN (RN32)}$$

Wobei:

- $E_s$  = Elastizitätsmodul

$N_y$  = Ermüdungslast

### 2.3 BETON

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

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

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

Wobei:

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

## 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 ancoraggi tipo Superswellex Pm16 e Pm24, chiodi tipo SN22 e barre autopercoranti di tipo R32N aventi le seguenti caratteristiche:

Dove:

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

### 2.3 CALCESTRUZZO

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

Dove:

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

## 2.4 BEWEHRUNGSSTAHL

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

## 2.4 ACCIAIO DA ARMATURA

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

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

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

wobei:

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

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

Gemäß den geomechanischen und Detailplanungsprofilen [2][3][4] durchqueren die Haupttunnel 4 geomechanisch homogene Zonen, mit variablen Überdeckungen, die von 590 m bis 1270 m reichen.

BP	Progr. del CE	Rock mass name	H[m]
47/1	12+311	GA-BCA-GS-10g	590
48/3	10+717	GB-G-GA-10	880
49/2	9+706	GB-G-GA-1	1270
51/2	7+954	GB-G-GA 3	1250

Tabelle 4: Geomechanische homogene Zonen

Wie zuvor angedeutet, haben die Ergebnisse des Erkundungstollenausbruchs hervorgehoben, dass das Gebirge, benannt BCA-GS-10g, auf Höhe des BP47/1 nicht vorhanden ist, sondern dass weiterhin die Maultaler Verwerfung mit den FVM-S-PS und FVM-S-B benannten Gebirgen vorkommt, welche durch das Vorhandensein von Glimmerschiefer und Kataklasit charakterisiert sind.

Folgende Tabellen zeigen die geomechanischen Grundparameter, die jede geomechanisch homogene Zone bestimmt.

Zone number	Rock mass name	Class	GSI	$\sigma_{ci}$	$m_i$	$E_i$	$\gamma$
		[-]	[-]	[MPa]	[-]	[MPa]	[KN/m <sup>3</sup> ]
14	BCA-GS-10g	III	50	72.5	15.5	50550	27.3
24	GB-G-GA9	II	73	105.5	22	30950	26.7
26	GB-G-GA1	I	85	105.5	22	30950	26.7
		II	65	105.5	22	30950	26.7
		III	45	105.5	22	30950	26.7
28	GB-G-GA3	I	86	117.5	22	26450	26.7
		II	66	117.5	22	26450	26.7
		III	46	117.5	22	26450	26.7

Tabelle 5: Charakterisierung des Gebirges jeder homogenen Zone und probabilistische Verteilung der unterschiedlichen Klassen

### 3 MODELLO GEOTECNICO

#### 3.1 GEOLOGIA E GEOMECCANICA

In accordo con i profili geomeccanici e progettuali di dettaglio [2][3][4] i cunicoli trasversali sono ubicati in 4 zone geomeccanicamente omogenee con coperture variabili da 590 m a 1270 m.

Come precedentemente accennato, le risultanze dello scavo del Cunicolo Esplorativo hanno evidenziato che in corrispondenza del BP47/1 non è presente l'ammasso denominato BCA-GS-10g, ma permane la presenza della faglia della Val di Mules con gli ammassi denominati FVM-S-PS e FVM-S-B, caratterizzati dalla presenza di micascisti e cataclasite.

Le seguenti tabelle riportano i parametri geomeccanici caratteristici di base che caratterizzano ciascuna zona geomeccanicamente omogenea.

Zone number	Rock mass name	Class	GSI	$\sigma_{ci}$	$m_i$	$E_i$	$\gamma$
		[-]	[-]	[MPa]	[-]	[MPa]	[KN/m <sup>3</sup> ]
19bis	FVM-S-PS	IV	52	5	20	30000	27
	FVM-S-B	IV	42	25	23	25000	27

Tabelle 6: Charakterisierung der Gebirge auf Höhe des BP47/1

Tabella 5: Caratterizzazione degli ammassi di ciascuna zona omogenea e distribuzione probabilistica delle diverse classi

Tabella 6: Caratterizzazione degli ammassi in corrispondenza del BP47/1

Wobei:

- $\gamma$  = spezifisches Gewicht des Gebirges
- $\sigma_{ci}$  = einaxialen Druckfestigkeit der Gesteinsmatrix
- $m_i$  = Krümmungsparameter aus triaxialem Druckversuch des Gebirgsmaterial
- $E_i$  = Verformungsmodul der Gesteinsmatrix
- GSI = *Geological Strength Index*

Dove:

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

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

- 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 e esplicitato nella relazione geomeccanica generale.

Zone number	Rock mass name	Class	Zone max overburden	$\gamma$	$\phi_{picco}$	$\phi_{res}$	$c_{picco}$	$c_{res}$	$E_{rm}$	$\psi$
		[-]	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[°]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[°]
14	BCA-GS-10g	III	590	27.3	41.6	33.9	2.3	1.5	15528.2	5.2
24	GB-G-GA9	II	880	26.7	50.7	37.6	5.7	2.5	24304.2	12.7
26	GB-G-GA1	I	1270	26.7	50.9	34.7	9.3	3.2	28678.1	12.7
		II		26.7	45.9	34.7	5.9	3.2	19551.7	10.1
		III		26.7	40.2	33.9	4.3	3.0	6922.0	5.0
28	GB-G-GA3	I	1250	26.7	52.0	35.7	10.1	3.3	24704.6	13.0
		II		26.7	47.2	35.7	6.3	3.3	17274.0	10.6
		III		26.7	41.5	34.9	4.5	3.1	6316.0	5.2

Tabelle 7: Typische Parameter der Gebirges in den unterschiedlichen Zonen und Klassen

Tabella 7: Parametri caratteristici dell'ammasso nelle diverse zone e classi

Zone number	Rock mass name	Class	Zone max overburden	$\gamma$	$\phi_{picco}$	$\phi_{res}$	$c_{picco}$	$c_{res}$	$E_{rm}$	$\psi$
		[-]	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[°]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[°]
19bis	FVM-S-PS	IV	590	27.0	23.8	18.0	0.9	0.6	10374	3.3
	FVM-S-B	IV	590	27.0	34.3	29.0	1.5	1.1	4574	4.3

Tabelle 8: typische Parameter des Gebirges auf Höhe des BP47/1

Tabella 8: Parametri caratteristici dell'ammasso in corrispondenza del BP47/1

Wobei:

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

Dove:

- $\Phi_{picco}$  è la resistenza al taglio di picco.
- $\Phi_{res}$  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.
- $\psi$  è la dilatanza.

## 4 GEBIRGSVERHALTEN

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

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

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

### 4.1 ABSCHÄTZUNG DES GEBIRGSVERHALTEN

Zur Abschätzung des Gebirgsverhalten wurde das Kennlinienverfahren eingesetzt.

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

Diese Linien wurden hier durch ein elastisch-plastisch bildendes Modell, mit softening und nicht-assoziiertem Fluss des Gebirgsmaterials, laut Mohr-Coulomb, in ihrer von Ribacchi vorgeschlagenen Formulierung, trassiert.

Die analysierten Kurven, zur Ermittlung des Verhalten Gebirge-Ausgrabung, 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).

## 4 COMPORAMENTO 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 COMPORAMENTO DELLA ROCCIA - LINEE CARATTERISTICHE

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

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):

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

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

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

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" sind per Herausarbeitung von den andren dreien entnommen worden.

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 Tabelle 9 ist ein Annahmekriterium aufgezeigt, welches der Einschätzung des Verhaltens der Ortsbrust in Abhängigkeit der Berechnungsergebnisse aus dem Gebirgskennlinienverfahren dient (Konvergenz an der Ortsbrust und Ausdehnung der plastischen Zone an der Ortsbrust).

In Tabella 9 si riporta un criterio per stimare il comportamento del fronte di scavo in funzione dei risultati delle analisi con le linee caratteristiche (convergenza al fronte e estensione della fascia plastica al fronte).

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

Tabelle 9: vorgeschlagene Stabilitätskriterien in;  $C_f$  = Ortsbrustkonvergenz;  $F_{plf}$  = Umfang des plastischen Streifens an der Ortsbrust;  $R_{scavo} = r_{eq}$  = entsprechender Ausbruchradius.

Tabella 9: Criteri di stabilità proposti in;  $C_f$  = convergenza al fronte;  $F_{plf}$  = estensione della fascia plastica al fronte;  $R_{scavo} = r_{eq}$  = raggio equivalente di scavo.

Die ausgeführten Berechnungen mit dem Kennlinienverfahren berücksichtigen einen Ausbruchradius von 3.8-4.8 und 3.15 m, jeweils für die Nischen auf Höhe der BP 47/1 (BCA-GS-10G), 48/3 (GB-G-GA9) und 49/2-51/2 (GB-G-GA3).

Le analisi con le Linee Caratteristiche sono state eseguite considerando un raggio di scavo di 3.8-4.8 e 3.15 m, rispettivamente per le nicchie in corrispondenza del BP 47/1 (BCA-GS-10G), 48/3 (GB-G-GA9) e 49/2-51/2 (GB-G-GA3).

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]	[%]	[%]	[%]	[%]
14	BCA-GS-10g	III	590	0.32	1.08	0.75	0.00	1.82	0.09%	0.00	0.20%	0.48
24	GB-G-GA9	II	880	0.25	0.84	0.59	0.00	0.69	0.05%	0.00	0.12%	0.14
26	GB-G-GA1	I	1270	0.20	0.67	0.47	0.00	0.40	0.06%	0.00	0.15%	0.13
		II		0.41	1.37	0.96	0.00	1.08	0.13%	0.00	0.30%	0.34
		III		1.32	4.42	3.09	0.00	1.68	0.42%	0.00	0.98%	0.53
28	GB-G-GA3	I	1250	0.20	0.66	0.46	0.00	0.20	0.06%	0.00	0.15%	0.06
		II		0.42	1.40	0.98	0.00	0.90	0.13%	0.00	0.31%	0.29
		III		1.31	4.37	3.06	0.00	1.46	0.42%	0.00	0.97%	0.46

Tabelle 10: Zusammenfassung der Ergebnisse des Kennlinienverfahrens

Die durchgeführten Berechnungen (Anhang 4) 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.

In folgende Tabelle sind die Kennlinienergebnisse des Ausbruchquerschnitts auf Höhe des BP 47/1 in den Gebirgen FVM-S-PS und FVM-S-B aufgezeigt.

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]	[%]	[%]	[%]	[%]
19bis	FVM-S-PS	IV	590	8.79	29.30	20.51	11.48	22.91	2.31%	302.20%	5.40%	602.90%
	FVM-S-B	IV	590	1.91	6.37	4.46	0.95	3.96	0.50%	24.94%	1.17%	104.12%

Tabelle 11: Ergebnisse der Kennlinien auf Höhe des BP47/1

Die Parameter der neuen geomechanischen Charakterisierung auf Höhe des BP 47/1 erweisen, insbesondere im FVM-S-PS benannten Gebirge, höhere Konvergenzen und plastische Zonen als die, welche durch die Parameter der Zone 14 erhalten wurden.

#### 4.2 BEWERTUNG DES ROCKBURST-VERHALTEN DES GESTEINS

In Folge werden einige Bemerkungen bezgl. der Möglichkeit, dass sich die als "Bergschlag" (Rock Burst) bekannten Verformungsphänomene, die im allgemeinen an Ausbrüche in Gebirgen mit hohen Überdeckungen und auf Bruchverhalten widerständig, mit hohen Verformungsmodulwerten, wie diejenigen die Gegenstand dieser Studie sind, ereignen könnten

Figura 5 zeigt ein Diagramm (vertikale Spannung  $p_z$  / Matrixwiderstand  $\sigma_{ci}$ ) von realen Ausbrüchen die in Quarziten hoher geomechanische Qualität durchgeführt wurden. Insbesondere werden fünf Werte des Verhältnis  $p_z/\sigma_{ci}$

Tabella 10: Sintesi dei risultati delle linee caratteristiche

Le analisi effettuate (Appendice 4) 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.

Nella seguente tabella sono riportati i risultati delle linee caratteristiche della sezione in corrispondenza del BP 47/1 negli ammassi FVM-S-PS e FVM-S-B.

Tabella 11: Risultati delle linee caratteristiche in corrispondenza del BP47/1

I parametri della nuova caratterizzazione geomeccanica in corrispondenza del BP 47/1 mostrano convergenze e fasce plastiche superiori rispetto a quelle ottenute con i parametri della zona 14, in particolare nell'ammasso denominato FVM-S-PS.

#### 4.2 VALUTAZIONE DEL COMPORTAMENTO DELLA ROCCIA - ROCK BURST

Di seguito vengono riportate alcune considerazioni in merito alla possibilità che si verificano fenomeni deformativi noti come "colpo di montagna" (rockburst), la cui manifestazione è in genere collegata a scavi in condizioni di elevate coperture e ammassi rocciosi resistenti a comportamento fragile con elevati valori di modulo di deformazione, quali quelli oggetto del presente studio.

La Figura 5 riporta un grafico (tensione verticale  $p_z$  / resistenza di matrice  $\sigma_{ci}$ ) di casi reali di scavi realizzati in quarziti di elevata qualità geomeccanica. In particolare vengono individuati cinque



ermittelt, denen jedem einzelnen die Autoren folgenden Zustand beimessen:

- $p_z/\sigma_{ci} = 0.1$  Stabilität
- $p_z/\sigma_{ci} = 0.2$  Oberflächenausbrüche (spalling)
- $p_z/\sigma_{ci} = 0.3$  Vertiefung der Brüche (severe spalling - slabbing)
- $p_z/\sigma_{ci} = 0.4$  Notwendigkeit von starken Stabilisierungseingriffen
- $\sigma_{ci}/p_z > 0.5$  Hohlraumeinsturz (Rock Burst)

Wo Oberflächenausbrüche und Schälung (spalling und slabbing) Vorläufer der Verformungsphänomene des Bergschlags sind.

valori del rapporto  $p_z/\sigma_{ci}$  a ciascuno dei quali gli autori attribuiscono la seguente condizione:

- $p_z/\sigma_{ci} = 0.1$  stabilità
- $p_z/\sigma_{ci} = 0.2$  fratture superficiali (spalling)
- $p_z/\sigma_{ci} = 0.3$  approfondimento delle fratture (severe spalling - slabbing)
- $p_z/\sigma_{ci} = 0.4$  necessità di pesanti interventi di stabilizzazione
- $\sigma_{ci}/p_z > 0.5$  collasso della cavità (rockburst)

Ove lo spalling e lo slabbing sono fenomeni deformativi precursori del colpo di montagna.

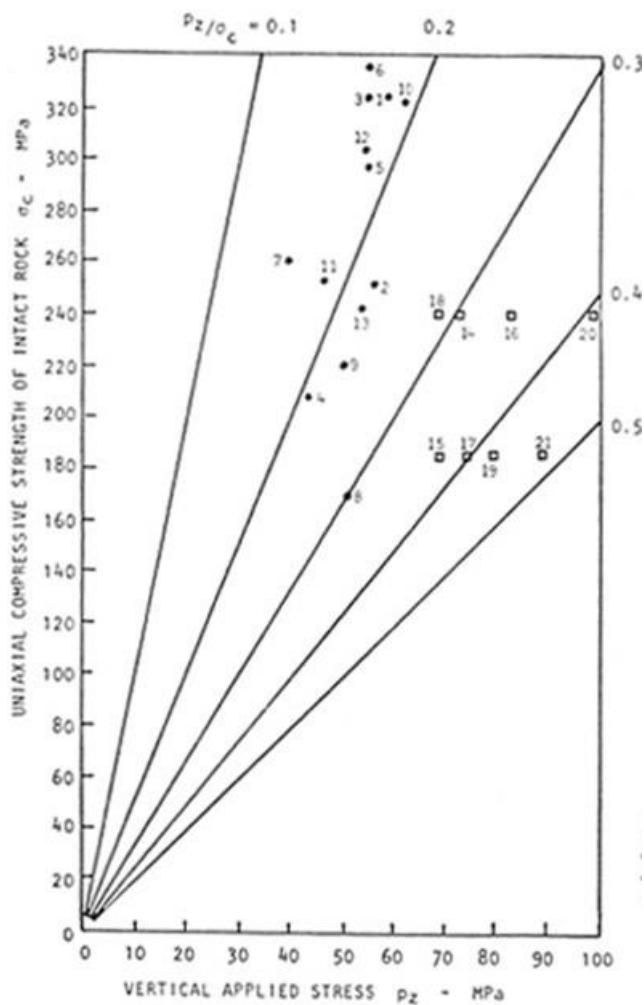


Abbildung 5: Diagramm  $p_z-\sigma_{ci}$

Figura 5: Grafico  $p_z-\sigma_{ci}$

In folgende Tabelle werden die Verhältnisse  $p_z / \sigma_{ci}$  an den Nischen aufgezeigt.

Nella seguente tabella si riportano i rapporti  $p_z / \sigma_{ci}$  in corrispondenza delle nicchie:

BP	Progr. del CE	Rock mass name	H[m]	$\sigma_{ci}$ [Mpa]	pz [Mpa]	pz/ $\sigma_{ci}$
47/1	12+311	GA-BCA-GS-10g	590	72	16.107	0.223708333
48/3	10+717	GB-G-GA-10	880	105.5	23.496	0.2227109
49/2	9+706	GB-G-GA-1	1270	105.5	33.909	0.321412322
51/2	7+954	GB-G-GA 3	1250	117.5	33.375	0.284042553

Abbildung 6: Berechnung des pz- $\sigma_{ci}$

Figura 6: Calcolo di pz /  $\sigma_{ci}$

Aus der Ergebnisanalyse geht hervor, dass nur zwei Nischen mit Überdeckungen über 1000 m den Vertiefungsphänomenen der Brüche unterliegen können.

Dall'analisi dei risultati emerge che solo le due nicchie con coperture maggiori di 1000 m possono essere soggette a fenomeni di approfondimento delle fratture.

Die Ergebnisse weitere Literaturstudien, welche das Bergschlagphänomen analysieren, sind in folgende Tabelle zusammenfassend aufgezeigt.

I risultati di ulteriori studi di letteratura che analizzano il fenomeno dei colpi di montagna sono sinteticamente riportati nella seguente Tabella.

Rockbursting Classes	R_c / $\sigma_1$	Description	Notes
1	> 13.5	No rockbursting	No noises
2	13.5÷5.5	Low rockbursting activity	Light noises
3	5.5÷2.5	Moderate rockbursting activity	Strong cracking noises
4	< 2.5	High rockbursting activity	Very strong cracki g noises

Abbildung 7: Tabelle pz- $\sigma_{ci}$  (RC= $\sigma_{ci}$  e  $\sigma_1$ =pz)

Figura 7: Tabella  $\sigma_{ci}$  /  $\sigma_1$  (RC= $\sigma_{ci}$  e  $\sigma_1$ =pz)

In Figura 8 ist die Berechnung des Verhältnis Rci/ $\sigma_1$  bzgl. der geomechanischen Gebirgseigenschaften sowie der einschließenden Überdeckung aufgezeigt. Die Ergebnisse bestätigen im Wesentlichen, dass die kritischsten Nischen, hinsichtlich des Bergschlagphänomens, die Nischen 49/2 und 51/2 sind. An diesen wurden daher, wie in den Plantafeln dargestellt, die Widerstände der Nietungen, im Vergleich zu denen welche für BP 47/1 und 48/3 vorgesehenen sind, erhöht.

In Figura 8 è riportato il calcolo del rapporto Rci/ $\sigma_1$  in funzione delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso e della copertura sottesa. I risultati confermano sostanzialmente che le nicchie più critiche dal punto di vista del fenomeno del rock-burst sono le nicchie 49/2 e 51/2. In corrispondenza di tali nicchie si è pertanto proceduto ad aumentare le resistenze delle chiodature rispetto a quelle previste per il BP 47/1 e 48/3, come illustrato nelle tavole di progetto.

BP	Progr. del CE	Rock mass name	H[m]	$\sigma_{ci}$ [Mpa]	pz [Mpa]	Rc/ $\sigma_1$
47/1	12+311	GA-BCA-GS-10g	590	72	16.107	4.470106
48/3	10+717	GB-G-GA-10	880	105.5	23.496	4.490126
49/2	9+706	GB-G-GA-1	1270	105.5	33.909	3.111268
51/2	7+954	GB-G-GA 3	1250	117.5	33.375	3.520599

Abbildung 8: Berechnung di Rci /  $\sigma_1$

Figura 8: Calcolo di Rci /  $\sigma_1$

## 5 NACHWEISE

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

### 5.1 GRENZZUSTAND DER TRAGFÄHIGKEIT (GZT)

#### 5.1.1 Teilsicherheitsfaktoren Einwirkungen

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

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

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  $Y_{SH} = 1,0$  berücksichtigt.

#### 5.1.2 Teilsicherheitsfaktoren der Widerstände

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

Stahlbeton

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

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

## 5 VERIFICHE

Per la verifica allo stato limite ultimo ed allo stato limite di esercizio riportate nei capitoli successivi sono state considerate le combinazioni delle azioni in conformità delle prescrizioni del paragrafo 2.5.3 delle NTC2008.

### 5.1 STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

#### 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  $Y_{SH} = 1,0$ .

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

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

Calcestruzzo armato

- Coefficiente parziale di sicurezza per la resistenza del calcestruzzo  $Y_c = 1,60$
- 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  $Y_s = 1,20$

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

## 5.2 GRENZZUSTÄNDE DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT (GZG)

### 5.2.1 Teilsicherheitsfaktoren Einwirkungen

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

### 5.2.2 Teilsicherheitsfaktoren der Widerstände

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

### 5.2.3 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  $\psi$  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.

## 5.2 STATI LIMITE ESERCIZIO (SLE)

### 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.

### 5.2.2 Coefficienti parziali di sicurezza per le resistenze

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

### 5.2.3 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. 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 BAULICHE DURCHBILDUNG

### 6.1 BAULICHE DURCHBILDUNG

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

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

	XC3	XC4
Festigkeitsklasse	30/37	32/40
Umweltbedingungen	Normal	Aggressiv
C <sub>min</sub> [mm]	20	30
Nutzbare Lebenszeit > 100 Jahre [mm]	+10	+10
Bauliche Toleranz [mm]	+10	+10
C <sub>nom</sub> [mm]	40	50

Tabelle 12: Mindestbetondeckung

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

### 6.3 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 × b × d,

wobei:

- b = mittlere Breite der Zugzone;
- d = Nutzhöhe des Querschnitts;
- f<sub>ctm</sub> = Mittelwert der Zugfestigkeit des Betons;
- f<sub>yk</sub> = charakteristische Wert der Streckengrenze des Betonstahls.

## 6 STRUTTURA COSTRUTTIVA

### 6.2 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:

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

Tabella 12: Copriferro minimo.

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

### 6.1 ARMATURA MINIMA

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 × b × d ,

dove:

- b rappresenta la larghezza media della zona tesa;
- d è l'altezza utile della sezione;
- f<sub>ctm</sub> è il valore medio della resistenza a trazione del calcestruzzo;
- f<sub>yk</sub> è il valore caratteristico della resistenza a trazione dell'armatura ordinaria.

## 7 SCHALENDIMENSIONIERUNG

Die Schalenbemessung der Ausbrüche an den vier BP, Gegenstand dieses Berichts, stützt, laut dem was in den spezifischen Berechnungsberichten aufgezeigt ist und aufgrund der geomechanischen Charakterisierung in Kapitel 3, auf den Abwägungen der kurz- und langfristig genutzten Lasten zur Bemessung des Erkundungsstollens und der darüber liegenden Querstollen.

In Bezug auf diese Lasten zeigt die Schalenbemessung zwei Überprüfungs Momente:

- 1) In erster Phase, die dem Nischen- und später der Schachtausbruch entspricht, muss, auch unter Mitwirkung der Außenschale der Strecken des C-E mit vollständigem Ausbruchquerschnitt, die kurzzeitige Erkundungsstollenstabilität gesichert werden;
- 2) In zweite Phase, die der Vervollständigung der Stahlbetonstruktur in den Nischen, den Schächten und dem Erkundungsstollen entspricht, muss die Gesamtheit der langzeitigen Lasten abgeglichen werden.

## 8 AUSSENSCHALE UND ERGÄNZENDE EINGRIFFE ZUM NISCHENAUSBRUCH

### 8.1 BP 47/1

Die Außenschalenbemessung des Ausbruchquerschnitts des C-E, welche unter dem BP 47/1, in dem die Nische vorgetrieben wird, liegen, wurde durch Überprüfung durchgeführt, dass der von den Schalen gelieferte Begrenzungsdruck 'P<sub>Rd</sub>' höher als die auf die Schale drückende Last 'P<sub>Ed</sub>' sei.

$$P_{Rd} > P_{Ed}$$

Die auf die Schale drückende Last entspricht der Bezugslast des laufenden Ausbruchquerschnitts 'P<sub>rif</sub>', welcher um den Beiwert R, Funktion der Geometrie der betroffenen Röhren, und um den Beiwert auf den Einwirkungen Y<sub>G</sub>=1.30 erhöht wurde.

$$P_{Ed} = P_{rif} \cdot R \cdot \gamma_G$$

$$R = 1 + \frac{b/2}{L_{zona-rinf}}$$

## 7 DIMENSIONAMENTO DEI RIVESTIMENTI

Il dimensionamento del rivestimento degli scavi in corrispondenza dei quattro BP oggetto della presente relazione si basa sulle considerazioni dei carichi utilizzati per il dimensionamento del Cunicolo Esplorativo e dei cunicoli trasversali sovrastanti, nel breve e nel lungo termine, secondo quanto riportato nelle relazioni di calcolo specifiche e sulla base della caratterizzazione geomeccanica richiamata al Capitolo 3.

Con riferimento a tali carichi, il dimensionamento dei rivestimenti presenta due momenti di verifica:

- 1) in prima fase, corrispondente allo scavo della nicchie e successivamente dei pozzi, è necessario garantire la stabilità del C-E nel breve termine, anche in collaborazione con il rivestimento di prima fase dei tratti di C-E a sezione integra;
- 2) in seconda fase, corrispondente al completamento della struttura in c.a. nelle nicchie, nei pozzi e nel C-E, si deve equilibrare la totalità dei carichi di lungo termine.

## 8 RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE E INTERVENTI INTEGRATIVI PER LO SCAVO DELLE NICCHIE

### 8.1 BP 47/1

Il dimensionamento del rivestimento di prima fase della sezione di C-E sottostante al BP 47/1 in cui verrà scavata la nicchia è condotto verificando che la pressione di confinamento 'P<sub>Rd</sub>' fornita dai rivestimenti sia maggiore del carico che insiste sul rivestimento 'P<sub>Ed</sub>'.

$$P_{Rd} > P_{Ed}$$

Il carico che insiste sul rivestimento è uguale al carico di riferimento della sezione corrente 'P<sub>rif</sub>' amplificato per un coefficiente R funzione della geometria delle canne interessate e per il coefficiente sulle azioni Y<sub>G</sub>=1.30.

$$P_{Ed} = P_{rif} \cdot R \cdot \gamma_G$$

$$R = 1 + \frac{b/2}{L_{zona-rinf}}$$

Considerando la larghezza 'b' della nicchia, pari a circa 5.1m, e la lunghezza della zona rinforzata su cui si trasferiscono le

Angesichts der Nischenbreite 'b' von ca. 5.1 m und der Länge der verstärkten Zone, auf der die Belastungen entlang des ES 'L<sub>zona-rinf</sub>'=4.5 m übertragen werden, erweist sich der Erhöhungsbeiwert der Lasten von:

$$R = 1.6$$

Hingegen entspricht der von der Außenschale gelieferte Begrenzungsdruck 'P<sub>Rd,lfase</sub>' der Summe des von den Nietungen 'P<sub>Rd,chiodi</sub>' und dem Spritzbeton 'P<sub>Rd,bet</sub>' gelieferten Drucks. Beide Beiträge werden mittels folgenden Verhältnissen bewertet:

$$P_{Rd,chiodi} = \frac{N_{yk}}{A_{inf} \cdot \gamma_s}$$

$$P_{Rd,bet} = \frac{1}{2} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot \left( 1 - \frac{(R_i - s_c)^2}{R_i^2} \right)$$

Wobei:

- Nyk = typischer Ermüdungswiderstand der Nieten;
- Ainf = Einflussbereich jeder Niete;
- fck = typischer Spritzbetonwiderstand;
- Ri = äquivalenter Ausbruchradius;
- sc = Schalenstärke;
- Yc = Teilsicherheitsbeiwert auf Beton (1.5)
- Ys = Teilsicherheitsbeiwert auf Stahl (1.15)

Dove:

- Nyk = Resistenza caratteristica a snervamento dei chiodi;
- Ainf = Area di influenza di ciascun chiodo;
- fck = resistenza caratteristica del cls proiettato;
- Ri = raggio equivalente di scavo;
- sc = spessore del rivestimento;
- Yc = Coefficiente parziale di sicurezza sul calcestruzzo (1.5)
- Ys = Coefficiente parziale di sicurezza sull'acciaio (1.15)

Der Ausbruchquerschnitt C-T4bis P, welches auf einer Länge von ca. 20 m an der Kreuzung mit der Nische angewandt ist, erweist eine Außenschale aus nominalen 30 cm Spritzbeton (25 cm Minimum) der Festigkeitsklasse C30/37 mit Bohrschrauben RN38 im Vortrieb an der Kappe und Radialbolzen SN22 an den Widerlagern vorgesehen.

Der Planungsfestigkeit der obengenannten Schale ist von:

La sezione di scavo C-T4bis P, applicata per circa 20 m a cavallo dell'interferenza con la nicchia, presenta un rivestimento di prima fase costituito da 30 cm nominali (25 cm minimi) di betoncino proiettato C30/37 più autoperforanti RN38 in avanzamento in calotta e bulloni radiali SN22 sui ritti.

La resistenza di progetto del suddetto rivestimento vale:

$$R32N : P_{Rd,chiodiCALOTTA} = \frac{N_{yk}}{A_{inf} \cdot \gamma_s} = \frac{230 \cdot \sin 30^\circ}{1.2 \cdot 1.15} = 83.3 \text{ KPa}$$

$$SN22 : P_{Rd, chiodiRITII} = \frac{N_{yk}}{A_{inf} \cdot \gamma_s} = \frac{300}{1.35 \cdot 1.15} = 193.2 \text{ KPa}$$

$$P_{Rd, bet} = \frac{1}{2} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot \left( 1 - \frac{(R_i - s_c)^2}{R_i^2} \right) = 0.5 \cdot \frac{30.7}{1.5} \cdot \left( 1 - \frac{(3.6 - 0.25)^2}{3.6^2} \right) = 1372 \text{ kPa}$$

In classe di scavo IV è prevista l'integrazione del rivestimento di prima fase già in opera mediante SuperSwellex Pm24, in grado di fornire un contributo di resistenza pari a:

$$Pm24 : P_{Rd} = \frac{N_{yk}}{A_{inf} \cdot \gamma_s} = \frac{200}{2.25 \cdot 1.15} = 77 \text{ KPa}$$

In Übereinstimmung mit den in der Bemessungsphase des BP 47/1 [7] in Klasse IV benutzten Lasten wurde vorsichtshalber ein Druck von 500 KN/m<sup>2</sup>.

In conformità coi carichi utilizzati in fase di dimensionamento del BP 47/1 [7] in classe IV si è considerata cautelativamente una pressione pari 500 KN/m<sup>2</sup>.

$$P_{Ed} = P_{rif} \cdot R \cdot \gamma_G = 500 \cdot 1.6 \cdot 1.30 = 1040 \text{ kPa} < P_{Rd}$$

Wie aus den Überprüfungsergebnissen ausgeht, ist der für die Erkundungsstollenstrecke an der Nische vorgesehener Ausbruchquerschnitt in der Lage auch in Klasse IV entschieden höhere Begrenzungsdrucke ( $P_{Rd} > 1300 \text{ MPa}$ ) als die erwarteten Drucke zu liefern.

Come si evince dai risultati delle verifiche, la sezione di scavo prevista per il tratto del C-E in corrispondenza della nicchia è in grado di fornire pressioni di confinamento decisamente superiori ( $P_{Rd} > 1300 \text{ MPa}$ ) rispetto alle pressioni attese, anche in classe IV.

## 8.2 BP 49/2 E 51/2

Der Nischenbau mit Tübbingen sieht folgende Schritte vor:

- Errichtung der ergänzende Stütze aus den Tübbinglöcher des C-E mittels radiale Nietungen.
- Abriss der Tübbinge auf Höhe des Nischenaushubs.
- Positionierung eines Stahlportals, welcher Sicherheit beim Nischenausbruch garantiert, an Stelle der abgerissenen Tübbingen.
- Ausbruch der Nische am C-E und der Nische am darüber liegenden CT
- Ausbruch des Verbindungsschachts

Die Bemessung der ergänzenden radialen Festigungseingriffe zur Tübbingstütze im C-E an den darunterliegenden Nischen, BP 49/2 und BP 51/2, wurde durch eine Berechnung am Grenzgleichgewicht der Nieten durchgeführt.

Der Ergänzungseingriff sieht die Anbringung von 4.5 m langen Nieten SuperSwellex Pm24 an den Tübbinglöchern des C-E.

## 8.2 BP 49/2 E 51/2

La realizzazione delle nicchie in presenza di conci prefabbricati, prevede i seguenti step:

- Realizzazione del consolidamento integrativo dai fori dei conci del C-E mediante chiodature radiali.
- Demolizione dei conci prefabbricati in corrispondenza dello scavo della nicchia.
- Posizionamento di un portale in acciaio, al posto dei conci demoliti, atto a garantire la sicurezza in fase di scavo della nicchia.
- Scavo della nicchia sul C-E e della nicchia sul CT soprastante
- Scavo del pozzo di collegamento

Il dimensionamento degli interventi integrativi di consolidamento radiale per il sostegno dei conci nel C-E in corrispondenza delle nicchie sottostanti i BP 49/2 e BP 51/2 è stato condotto tramite un'analisi all'equilibrio limite dei chiodi.



L'intervento integrativo prevede la realizzazione di chiodi SuperSwellex Pm24 di lunghezza 4.5 m in corrispondenza dei fori dei conci del C-E.

Der Nietennachweis wurde, durch Überprüfung durchgeführt, dass der Planwiderstand jeder Niete höher als die Planungslast sei: Planungslast welche als Summe des plastischen Zonengewichts, rund um den Haupthohlraum, plus das Gewicht der Schale selbst bewertet wurde. Daran erinnernd, dass die plastische Zone rund um den Haupthohlraum von max. 1.68m für die Ausbruchquerschnitte des C-E am BP 49/2 und 1.46m am BP 51/2 ist, und, dass die Nieten einen Einflussbereich von  $2.7 \text{ m}^2$  haben, ergibt sich auf jede Niete folgende Plankraft:

La verifica dei chiodi, è stata effettuata verificando che la resistenza di progetto di ciascun chiodo sia maggiore del carico di progetto, valutato come somma del peso della fascia plastica attorno alla cavità principale più il peso del rivestimento stesso. Ricordando che la fascia plastica attorno alla cavità principale è pari al massimo a 1.68m per le sezioni di C-E in corrispondenza del BP 49/2 e pari a 1.46 m in corrispondenza del BP 51/2 e che i chiodi hanno un'area di influenza di  $2.7 \text{ m}^2$ , si ricava la seguente forza di progetto in ciascun chiodo:

$$N_{Ed} = (\gamma_t \cdot h_{fp} \cdot \gamma_G + \gamma_{cls} \cdot h_{concio} \cdot \gamma_G) \cdot A_{inf} = (26.6 \cdot 1.68 \cdot 1.30 + 25 \cdot 0.2 \cdot 1.30) \cdot 2.7 = 174.3 \text{ kN}$$

Es ergibt sich also eine maximale belastende Wirkung auf den Nieten von 174.3 kN.

Risulta quindi un'azione sollecitante massima nei chiodi di 174.3 kN.

Die vorgesehenen Nieten haben einen Planwiderstand von:

I chiodi previsti hanno una resistenza di progetto pari a:

$$N_{Rd} = \frac{N_Y}{\gamma_R} = \frac{230}{1.15} = 199.9 \text{ kN}$$

Die Überprüfung ist völlig zufriedenstellend da  $N_{Ed} < N_{Rd}$  ist.

La verifica è pienamente soddisfatta in quanto  $N_{Ed} < N_{Rd}$ .

### 8.3 SCHACHT

Die Außenschalenbemessung des Schachts, welcher den Querstellen 47/1 mit der Nische im C-E verbindet, wurde durch die Überprüfung durchgeführt, dass der Widerstandsbeitrag der Schale, welcher aus Spritzbeton plus radialen Nietungen pm16 besteht, höher als der vom Gebirge ausgeübter Druck sei.

Dieser, welche in Radialrichtung des Schachts wirkt, wurde vorsichtshalber ausgehend von der Gebirgslast, welche in der Bemessungsphase des BP 47/1 [7] In Ausbruchklasse IV wurde vorsichtshalber ein Druck von  $500 \text{ KN/m}^2$  benutzt.

### 8.3 POZZO

Il dimensionamento del rivestimento di prima fase del pozzo che collega il cunicolo trasversale 47/1 con la nicchia nel C-E è stato effettuato verificando che il contributo resistente del rivestimento, costituito dal betoncino proiettato più le chiodature radiali Pm16, sia maggiore della pressione esercitata dall'ammasso.

Quest'ultima, che agisce nella direzione radiale del pozzo, è stata valutata cautelativamente a partire dal carico d'ammasso utilizzato in fase di dimensionamento del BP 47/1 [7]. In classe di scavo IV si è considerata cautelativamente una pressione pari  $500 \text{ KN/m}^2$ .

$$P_v = 500 \text{ kPa}$$

$$k_o = 0.75$$

$$N_{Ed} = P_v \cdot k_o \cdot \gamma_G = 500 \cdot 0.75 \cdot 1.3 = 488 \text{ kPa}$$

Hingegen entspricht der von der Außenschale gelieferte Begrenzungsdruck der Summe des Drucks, welcher von den

Viceversa, la pressione di confinamento fornita dal rivestimento di prima fase è uguale alla somma di quella fornita dai chiodi,

3 m langen Nieten Typ SuperSwellex Pm16, eine per 2.7m<sup>2</sup>, und der 15 cm Spritzbetons, geliefert wird. Beide Beiträge werden mittels folgenden Verhältnissen bewertet:

tipo SuperSwellex Pm16 di lunghezza 3 m, uno ogni 0.65 m<sup>2</sup>, e di quella fornita dai 15 cm minimi di betoncino proiettato. I due contributi sono calcolati mediante le seguenti relazioni:

$$P_{Rd,CHIODI} = \frac{N_Y}{\gamma_R} \cdot \frac{1}{A_{inf}} = \frac{140}{1.15} \cdot \frac{1}{0.65} = 187kPa$$

$$P_{Rd,BETONCINO} = \frac{1}{2} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot \left( 1 - \frac{(R_i - s_c)^2}{R_i^2} \right) = 0.5 \cdot \frac{30.7}{1.5} \cdot \left( 1 - \frac{(2.55 - 0.15)^2}{2.55^2} \right) = 1168kPa$$

Die Überprüfung ist völlig zufriedenstellend da  $P_{Ed} < P_{Rd}$ .

La verifica è pienamente soddisfatta in quanto  $P_{Ed} < P_{Rd}$ .

## 9 INNENSCHALEN

In zweiter Phase wird die Gesamtheit der Lasten der mit dem Einbau der Nischenschale vervollständigten Erkundungsstollenschale übertragen. Die genutzte Schematisierung zur Innenschalenstudie der C-E sieht einen auf Höhe des von der Nische geschnittenen Ausbruchquerschnitts des C-E und an den Enden eingespannter Träger vor, welcher von zwei sich seitlich der Nische befindenden und aus vollständigen ES-Teilen bestehenden Widerlagern gestützt wird. Dieses Modell trägt einen Biegebungsbelastungszustand im Träger, welcher aus der Last erfolgt die vom normalen Wirkungswert in der unversehrten Innenschale des C-E, auf Höhe der Trägerstelle, besteht.

Die Innenschalenbemessungen ist in drei Phase unterteilt:

- 3) Trägerbemessung;
- 4) Überprüfung der an der Nische angrenzenden C-E-Schalen mit unversehrten Ausbruchquerschnitt;
- 5) Schalenüberprüfung der Nische.

### 9.1 TRÄGERDIMENSIONIERUNG

In Tabella 13 ist eine Zusammenfassung der Axialbelastungen in den Innenschalen am Träger, in den unterschiedlichen Kombinationen (GZG, GZT) für die vom Aushub der vier Nischen, Gegenstand dieses Berichts, betroffenen Ausbruchquerschnitte des C-E, aufgezeigt.

## 9 RIVESTIMENTI DEFINITIVI

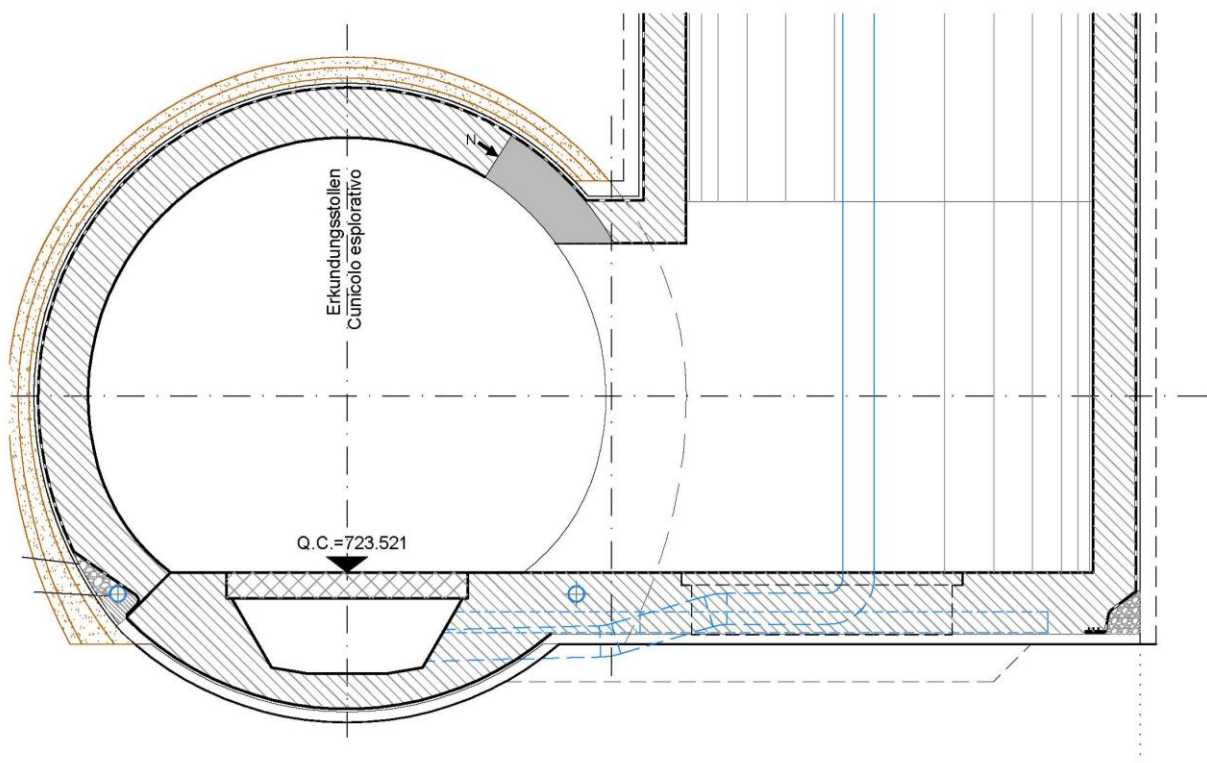
In seconda fase la totalità del carico viene trasferito al rivestimento del C-E completo del getto del rivestimento della nicchia. La schematizzazione utilizzata per lo studio dei rivestimenti definitivi del C-E prevede un'architrave incastrata alle estremità, in corrispondenza della sezione di C-E tagliata dalla nicchia, e sostenuta dai due ritti, posti lateralmente alla nicchia e costituiti dalle parti di C-E integro. Tale modello comporta uno stato di sollecitazione flessionale nell'architrave, conseguente al carico costituito dal valore dell'azione normale presente nel rivestimento definitivo integro del C-E, in corrispondenza della posizione dell'architrave.

Il dimensionamento dei rivestimenti definitivi si compone di tre fasi:

- 3) Dimensionamento dell'architrave;
- 4) Verifica dei rivestimenti del C-E a sezione integra adiacente alla nicchia;
- 5) Verifica dei rivestimenti della nicchia.

### 9.1 DIMENSIONAMENTO DELL'ARCHITRAVE

In Tabella 13 è riportato un riassunto delle sollecitazioni assiali nei rivestimenti definitivi in corrispondenza dell'architrave, nelle diverse combinazioni (SLE, SLU) per le sezioni di C-E interessate dallo scavo delle quattro nicchie oggetto della presente relazione.



		N <sub>Riv</sub>	
		SLE [kN]	SLU [kN]
<b>47/1</b>	<b>C-E-Tc</b>	377	508
<b>48/3</b>	<b>CL-E-T</b>	744	987
<b>49/2</b>	<b>C-E-N</b>	141	191
<b>51/2</b>	<b>C-E-N</b>	123	165.7

Tabelle 13: Axialwirkung in den Schalen am Träger

Tabella 13: Azione assiale nei rivestimenti in corrispondenza dell'architrave

Angesichts der Trägerspannweite, die der Nischenlänge entspricht, ergeben sich Belastungen an der Verbindung und an der Mittellinie von:

Considerando la luce dell'architrave, pari alla larghezza della nicchia, le sollecitazioni all'incastro e in mezzzeria risultano pari a:

$$\begin{cases} M_{inc} = \frac{N \cdot L^2}{12} \\ V_{inc} = \frac{N \cdot L}{2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_{mezz} = \frac{N \cdot L^2}{24} \\ V_{mezz} = 0 \end{cases}$$

Dies in Bezug auf die bemaßten Träger für die unter den BP 47/1 und BP 48/3 liegenden Nischen. Hingegen bzgl. der mit Tübbingen verkleideten Erkundungsstollenstrecken, wurde ein Träger berücksichtigt, der als Träger auf zwei Scharniere schematisiert ist. Die Belastungen im Verbund und in der Mittellinie ergeben sich von:

Questo per quanto riguarda le architravi dimensionate per le nicchie sottostanti ai BP 47/1 e BP 48/3. Per quanto riguarda invece le tratte di C-E rivestite in conci si è considerato un architrave schematizzato come una trave su due cerniere. Le sollecitazioni all'incastro e in mezzzeria risultano pari a:

$$\begin{cases} M_{inc} = 0 \\ V_{inc} = \frac{N \cdot L}{2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_{mezz} = \frac{N \cdot L^2}{8} \\ V_{mezz} = 0 \end{cases}$$

		N <sub>Riv</sub>		L [m]	SLE		SLU	
		SLE [kN]	SLU [kN]		M <sub>Ed</sub>	V <sub>Ed</sub>	M <sub>Ed</sub>	V <sub>Ed</sub>
					[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]
<b>47/1</b>	<b>C-E-Tc</b>	377	508	3.9	478	735	644	991
<b>48/3</b>	<b>CL-E-T</b>	744	987	3.9	943	1451	1251	1925
<b>49/2</b>	<b>C-E-N</b>	141	191	1.9	0	134	0	181
<b>51/2</b>	<b>C-E-N</b>	123	165.7	1.9	0	117	0	157

Tabelle 14: maximale Belastungen im Träger

Tabella 14: Sollecitazioni massime nell'architrave

		N <sub>Riv</sub>		L	SLE		SLU	
		SLE [kN]	SLU [kN]		M <sub>Ed</sub>	V <sub>Ed</sub>	M <sub>Ed</sub>	V <sub>Ed</sub>
		[m]	[kNm]		[kN]	[kNm]	[kN]	
47/1	C-E-Tc	377	508	3.9	239	0	322	0
48/3	CL-E-T	744	987	3.9	472	0	626	0
49/2	C-E-N	141	191	1.9	64	0	86	0
51/2	C-E-N	123	165.7	1.9	55	0	75	0

Tabelle 15: Belastungen an der Mittellinie des Trägers

Tabella 15: Sollecitazioni in mezzeria dell'architrave

Diese Belastungen sind angesichts folgender Trägermaße und -bewehrungen überprüft:

Tali sollecitazioni sono verificate considerando le seguenti dimensioni e armature dell'architrave:

		bxh	Armatura		
		[cm]	A <sub>sup</sub>	A <sub>inf</sub>	A <sub>taglio</sub>
47/1	C-E-Tc	57x200	4φ26	4φ26	2φ12/15cm
48/3	CL-E-T	40x150	5φ26	5φ26	2φ14/10cm
49/2	C-E-N	20x50	2φ20	3φ26	2φ10/30cm
51/2	C-E-N	20x50	2φ20	3φ26	2φ10/30cm

Tabelle 16: Zusammenfassung Trägermaße und -bewehrungen

Tabella 16: Sintesi dimensioni e armature dell'architrave

In Anhang 1 sind im Detail die Überprüfungen auf GZT und GZG aufgezeigt.

In Appendice 1 sono riportate nel dettaglio le verifiche agli SLU e agli SLE.

Die von der Stützreaktion des Trägers induzierten Belastungen in der Innenschale des C-E werden im folgenden Kapitel überprüft.

Le sollecitazioni indotte nel rivestimento definitivo del C-E dalla reazione di appoggio dell'architrave vengono verificate nel capitolo seguente.

## 9.2 ÜBERPRÜFUNGEN STOLLENSCHALEN

## 9.2 VERIFICA DEI RIVESTIMENTI DEL CUNICOLO

Die seitlichen Widerlager des C-E sind von einem Beulspannungszustand belastet, welcher sich sowohl aus der normalen Stützreaktion des Trägers, als auch aus dem Kraftzustand (N, M) in der vollständigen Schale ergibt.

I ritti laterali del C-E sono sollecitati da uno stato di pressoflessione, dovuto alla reazione normale d'appoggio dell'architrave oltre allo stato di sforzo (N, M) presente nel rivestimento integro.

Insbesondere für die konventionell verkleideten Strecken des C-E, sind die Wirkungen in den seitlichen Widerlagern durch Erhöhung der vorhandenen Wirkungen des laufenden Ausbruchquerschnitts um folgenden Beiwert berechnet.

In particolare, per le tratte di C-E rivestite in tradizionale, le azioni nei ritti laterali sono calcolate amplificando quelle presenti nella sezione corrente per il coefficiente:

$$R = 1 + \frac{b/2}{L_{\text{zona-rinf}}}$$

Angesichts der Aushubbreite 'b' der Nischen, von ca. 5.1m, und der Länge des verstärkten Bereichs entlang dieser Tunnels  $L'_{\text{zona-rinf}}=4.5\text{m}$ , ergibt sich ein Erhöhungsbeiwert der Lasten von:

Considerando la larghezza di scavo 'b' delle nicchie, pari a circa 5.1m, e la lunghezza della zona rinforzata lungo le gallerie correnti  $L'_{\text{zona-rinf}}=4.5\text{m}$ , il coefficiente di amplificazione dei carichi risulta uguale a:

$$R = 1.6$$

$$R = 1.6$$

In Anhang 2 sind die Überprüfungen der Innenschalen der Strecken des C-E an den Nischen, sowohl auf GZG als auch auf GZT, aufgezeigt.

In Appendice 2 sono riportate le verifiche dei rivestimenti definitivi delle tratte di C-E in corrispondenza delle nicchie, sia agli SLE che agli SLU.

Die Strecken des C-E sind im Verbreitungsbereich der aus der Stütze des Trägers sich ergebenden Belastungen ( $L'_{\text{zona-rinf}}=4.5\text{m}$ ) gegeben, durch Erhöhung der Belastungen aus der SAP [6][7] Modellierung um den Beiwert R. Hingegen ist, bzgl. der Schale der vom Nischenaushub betroffenen Strecken des C-E, die gleiche Bewehrung der anliegenden Strecken vorgesehen, welche so bemessen wurden, dass sie den Träger stützen. Außerdem ist die gleiche vorgesehene Bewehrung, welche an Kappe und Widerlagern geplant ist, auch an Gegengewölbe und Nischenplatte vorgesehen. Die Schließsohle des Gegengewölbes wird genauso wie der Basistübbing in allen anderen Erkundungsstollenstrecken bewehrt.

In Folge ist die zusammenfassende Tabelle der vorgesehenen Bewehrungen aufgezeigt.

	Calotta				Muretta				Arco rovescio gettato in opera				Fondazione nicchia			
	h [m]	A <sub>Intrad.</sub>	A <sub>Estrad.</sub>	A <sub>taglio</sub>	h [m]	A <sub>Intrad.</sub>	A <sub>Estrad.</sub>	A <sub>taglio</sub>	h [m]	A <sub>Intrad.</sub>	A <sub>Estrad.</sub>	A <sub>taglio</sub>	h [m]	A <sub>Intrad.</sub>	A <sub>Estrad.</sub>	A <sub>taglio</sub>
47/1	0.57	φ14/15cm	φ14/15cm	-	0.57	φ14/15cm	φ14/15cm	-	0.34	φ14/15cm	φ14/15cm	-	0.59	φ14/15cm	φ14/15cm	-
48/3	0.40	φ16/15cm	φ16/15cm	-	0.71	φ16/15cm	φ16/15cm	-	0.79	φ16/15cm	φ16/15cm	-	0.80	φ16/15cm	φ16/15cm	-

Tabella 17: Zusammenfassung der Erkundungsstollenmaße und -bewehrungen

### 9.3 NISCHENSCHALE

Die Wände der Nischen 49/2 und 51/2 sind so bemessen, dass sie den Gebirgsdruck, der als Druck der plastischen Zone bewertet wurde, aushalten können.

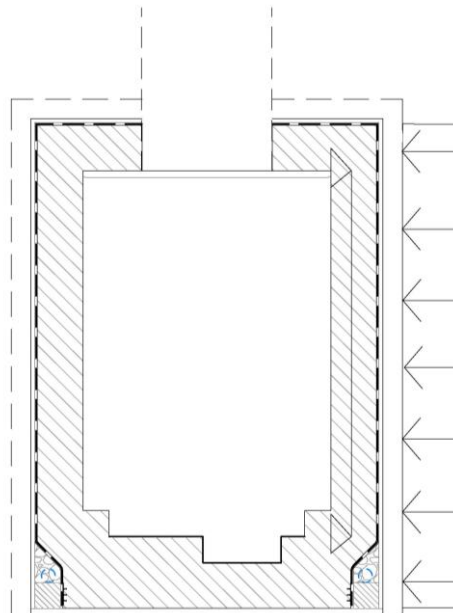
Si sono verificate le tratte di C-E nella zona di diffusione delle sollecitazioni ( $L'_{\text{zona-rinf}}=4.5\text{m}$ ) dovute all'appoggio dell'architrave amplificando le sollecitazioni da modellazione SAP [6][7] per il coefficiente R. Per quanto riguarda invece il rivestimento delle tratte di C-E interessate dallo scavo della nicchia, si prevede la stessa armatura della tratte vicine dimensionate in modo da fornire appoggio all'architrave, inoltre la stessa armatura che è prevista in calotta e nei ritti è prevista in arco rovescio e nella fondazione della nicchia. La soletta di chiusura dell'arco rovescio è da armarsi come previsto per il concio di base prefabbricato in tutte le altre tratte di C-E.

Di seguito è riportata una tabella riassuntiva delle armature previste.

Tabella 17: Sintesi dimensioni e armature del C-E

### 9.3 RIVESTIMENTO DELLE NICCHIE

Le pareti delle nicchie in corrispondenza del BP 49/2 e BP 51/2 sono dimensionate in modo da poter sostenere la pressione dell'ammasso roccioso valutata come pressione della fascia plastica.



BP	Pressione della Fpl [kPa]
49/2	45
51/2	39

Abbildung 9: Berechnungsschema der Nischen

Figura 9: Schema di calcolo delle nicchie

Die Nischenwand wird als gleichmäßig belasteter Träger auf zwei Stützen schematisiert. In Folge sind die Höchstbelastungen aufgezeigt.

Si schematizza la parete della nicchia come una trave su due appoggi caricata uniformemente. Di seguito sono riportate le sollecitazioni massime.

$$\begin{cases} M_{inc} = 0 \\ V_{inc} = \frac{P \cdot L}{2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_{mezz} = \frac{P \cdot L^2}{8} \\ V_{mezz} = 0 \end{cases}$$

			P		L	SLE		SLU	
			SLE [kN]	SLU [kN]	[m]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	V <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	V <sub>Ed</sub> [kN]
49/2	C-E-N	I	45	61	2.8	0	62	0	83
		II							
		III							
51/2	C-E-N	I	39	53	2.8	0	54	0	72
		II							
		III							

Tabelle 18: Belastungen auf die Trägerstützen, daher an der Nischenplatte und der -decke.

Tabella 18: Sollecitazioni agli appoggi della trave, quindi in corrispondenza della fondazione e del tetto della nicchia.

			P		L	SLE		SLU	
			SLE [kN]	SLU [kN]	[m]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	V <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	V <sub>Ed</sub> [kN]
49/2	C-E-N	I	45	61	2.8	42	0	57	0
		II							
		III							
51/2	C-E-N	I	39	53	2.8	37	0	50	0
		II							
		III							

Tabelle 19: Belastungen an der Mittellinie des Trägers, daher an der Mittellinie der Nischenwand.

Tabella 19: Sollecitazioni in mezzera della trave, quindi in corrispondenza della mezzera della parete della nicchia.

In Bezug auf die ersten zwei Nischen nach Norden, die Nische am Querstollen 47/1 und die Nische auf Höhe des 48/3, kann die obengenannte Schematisierung nicht gültig sein, da sich die Schale der Nischenwände, wie in den entsprechenden Abbildungen aufgezeigt ist, fortlaufend mit der Schachtschale verbindet. In dieser Strecke wird die für den C-E vorgesehene Bewehrung ausgedehnt.

Per quanto riguarda le prime due nicchie verso Nord, la nicchia in corrispondenza del cunicolo trasversale 47/1 e la nicchia in corrispondenza del 48/3, la suddetta schematizzazione non può essere valida dal momento che il rivestimento delle pareti della nicchia si collega in continuità con il rivestimento del pozzo, come mostrato nei disegni specifici. In tale tratto viene estesa l'armatura prevista per il C-E.

In Anhang 3 sind im Detail die GZT- und GZG-Überprüfungen der Nischenschalen aufgezeigt.

In Appendice 3 sono riportate nel dettaglio le verifiche agli SLU e agli SLE dei rivestimenti delle nicchie.

Es wurden die sich aus der Last der plastischen Zone ergebenden Belastungen berücksichtigt und es wurde die Wand der Nische 49/2 erfasst, welche den höchsten Lastenwert erweist. Vorsichtshalber wird die gleiche Bewehrung, wie die für die entsprechende Nische am BP 49/2 überprüfte, auch für die entsprechende Nische am BP 51/2 angewandt.

Si sono considerate le sollecitazioni dovute al carico della fascia plastica e si è considerata la parete della nicchia 49/2 che presenta il valore di carico più alto. Si adotta cautelativamente la stessa armatura verificata per la nicchia corrispondente al BP 49/2 anche per la nicchia corrispondente al BP 51/2.

In Folge ist eine zusammenfassende Tabelle der vorgesehenen Bewehrungen aufgezeigt.

Di seguito è riportata una tabella riassuntiva delle armature previste.

	pareti			
	h [m]	A <sub>Intrad.</sub>	A <sub>estrad.</sub>	A <sub>taglio</sub>
47/1*	0.40	φ14/15cm	φ14/15cm	-
48/3*	0.40	φ16/15cm	φ16/15cm	-
49/2	0.35	φ12/15cm	φ12/15cm	-
51/2	0.35	φ12/15cm	φ12/15cm	-

Tabelle 20: Zusammenfassung der Nischenwandmaße und -bewehrungen (\*für die Wandschale ist die für den C-E vorgesehene Bewehrung ausgedehnt worden (Tabella 19))

Tabella 20: Sintesi dimensioni e armature della parete della nicchia (\*per il rivestimento delle pareti si è estesa l'armatura prevista per il C-E (Tabella 19))

#### 9.4 SCHACHTSCHALE

In Bezug auf die Innenschalen der Verbindungsschächte zwischen den Tunnelquerstollen und den Erkundungsstollennischen wird der Schachtquerschnitt überprüft, welcher der höchsten Gebirgsdruck unterliegt. Auf Höhe der Querstollen BP 47/1 und BP 48/3 wird vorsichtshalber ein in Radialrichtung des Schachts wirkender Gebirgsdruck berücksichtigt, welcher ausgehend von der für die Bemessung des BP 47/1 [7] in Ausbruchklasse IV benutzten Last bestimmt.

dieser wird ausgehend von der, nach Bienawski, höheren der zur Innenschalenbemessung der Regelquerschnitte CL-E-T und C-E-Tc, benutzten Lasten, bestimmt (Regelquerschnitte die für den Erkundungsstollen, auf Höhe der unter den entsprechenden Schächten liegenden Nischen, vorgesehen sind).

Mit Bezug auf das Berechnungsverhältnis [6] kann man feststellen::

$$P_v = 500kPa$$

$$k_o = 0.75$$

$$P_h = P_v \cdot k_o = 500 \cdot 0.75 = 375kPa$$

In Folge sind die Überprüfungsergebnisse aufgezeigt.

Die vorgesehene axiale Wirkung in der Schachtschale, welche aus der vereinfachten Mariotte-Formulierung für dünne Rohre entnommen wurde, ergibt sich aus:

$$N_{Ed} = P_h \cdot r_{pozzo} \cdot \gamma_g = 375 \cdot 2.35 \cdot 1.3 = 1146kN$$

Der axiale Planwiderstand hingegen ist von:

$$N_{Rd} = f_{cd} \cdot A = 16.31 \cdot 0.35 = 5708kN$$

Die Überprüfung erweist sich daher als zufriedenstellend, da  $N_{Ed} < N_{Rd}$  ist.

#### 9.4 RIVESTIMENTO DEL POZZO

Per quanto riguarda il rivestimento definitivo dei pozzi di collegamento tra i cunicoli trasversali delle gallerie e le nicchie del CE si verifica la sezione del pozzo soggetta alla massima pressione d'ammasso. In corrispondenza dei BP 47/1 e BP 48/3 si considera cautelativamente una pressione di ammasso, agente nella direzione radiale al pozzo, determinata a partire dal carico utilizzato per il dimensionamento del BP 47/1 [7] in classe di scavo IV.

Di seguito sono riportati i risultati della verifica.

L'azione assiale prevista nel rivestimento del pozzo dedotta dalla formulazione semplificata per tubi sottili di Mariotte, è data da:

La resistenza assiale di progetto, viceversa, è pari a:

La verifica risulta dunque soddisfatta in quanto  $N_{Ed} < N_{Rd}$ .



## 10 VERZEICHNISSE

### 10.1 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Zusammenfassung der Kilometrierungen im Bezugssystem des CE und angewandte Ausbruchquerschnitte	6
Tabelle 2: Außenschalencharakterisierung auf Nischenhöhe	7
Tabelle 3: Zusammenfassung Schachteigenschaften	7
Tabelle 4: Geomechanische homogene Zonen	11
Tabelle 5: Charakterisierung des Gebirges jeder homogenen Zone und probabilistische Verteilung der unterschiedlichen Klassen	11
Tabelle 6: Charakterisierung der Gebirge auf Höhe des BP47/1	11
Tabelle 7: Typische Parameter der Gebirge in den unterschiedlichen Zonen und Klassen	12
Tabelle 8: typische Parameter des Gebirges auf Höhe des BP47/1	12
Tabelle 9: vorgeschlagene Stabilitätskriterien in; $c_f$ = Ortsbrustkonvergenz; $F_{pf}$ = Umfang des plastischen Streifens an der Ortsbrust; $R_{scavo} = r_{eq}$ = entsprechender Ausbruchsradius.	14
Tabelle 10: Zusammenfassung der Ergebnisse des Kennlinienverfahrens	15
Tabelle 11: Ergebnisse der Kennlinien auf Höhe des BP47/1	15
Tabelle 12: Mindestbetondeckung	20
Tabelle 13: Axialwirkung in den Schalen am Träger	27
Tabelle 14: maximale Belastungen im Träger	27
Tabelle 15: Belastungen an der Mittellinie des Trägers	28
Tabelle 16: Zusammenfassung Trägermaße und -bewehrungen	28
Tabelle 17: Zusammenfassung der Erkundungsstollenmaße und -bewehrungen	29
Tabelle 18: Belastungen auf die Trägerstützen, daher an der Nischenplatte und der -decke.	30
Tabelle 19: Belastungen an der Mittellinie des Trägers, daher an der Mittellinie der Nischenwand.	30
Tabelle 20: Zusammenfassung der Nischenwandmaße und -bewehrungen (*für die Wandschale ist die für den C-E vorgesehene Bewehrung ausgedehnt worden (Tabella 19))	31

## 10 ELENCHI

### 10.1 ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1: Riassunto progressive nel sistema di riferimento del CE e sezioni tipo applicate	6
Tabella 2: Caratterizzazione dei rivestimenti di prima fase in corrispondenza delle nicchie	7
Tabella 3: Riassunto caratteristiche dei pozzi	7
Tabella 4: Zone geomeccaniche omogenee	11
Tabella 5: Caratterizzazione degli ammassi di ciascuna zona omogenea e distribuzione probabilistica delle diverse classi	11
Tabella 6: Caratterizzazione degli ammassi in corrispondenza del BP47/1	11
Tabella 7: Parametri caratteristici dell'ammasso nelle diverse zone e classi	12
Tabella 8: Parametri caratteristici dell'ammasso in corrispondenza del BP47/1	12
Tabella 9: Criteri di stabilità proposti in; $c_f$ = convergenza al fronte; $F_{pf}$ = estensione della fascia plastica al fronte; $R_{scavo} = r_{eq}$ = raggio equivalente di scavo.	14
Tabella 10: Sintesi dei risultati delle linee caratteristiche	15
Tabella 11: Risultati delle linee caratteristiche in corrispondenza del BP47/1	15
Tabella 12: Copriferro minimo	20
Tabella 13: Azione assiale nei rivestimenti in corrispondenza dell'architrave	27
Tabella 14: Sollecitazioni massime nell'architrave	27
Tabella 15: Sollecitazioni in mezzeria dell'architrave	28
Tabella 16: Sintesi dimensioni e armature dell'architrave	28
Tabella 17: Sintesi dimensioni e armature del C-E	29
Tabella 18: Sollecitazioni agli appoggi della trave, quindi in corrispondenza della fondazione e del tetto della nicchia.	30
Tabella 19: Sollecitazioni in mezzeria della trave, quindi in corrispondenza della mezzeria della parete della nicchia.	30
Tabella 20: Sintesi dimensioni e armature della parete della nicchia (*per il rivestimento delle pareti si è estesa l'armatura prevista per il C-E (Tabella 19))	31

## 10.2 ANLAGENVERZEICHNIS

- ANHANG 1 - TRÄGERÜBERPRÜFUNG
- ANHANG 2 - INNENSCHALENÜBERPRÜFUNG DES BETONS AN DEN VERBINDUNGEN
- ANHANG 3 - INNENSCHALENÜBERPRÜFUNGEN DER NISCHENWÄNDE
- ANHANG 4 - KENNLINIEN

## 10.3 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Stollenausbruchquerschnitt auf Höhe der Nische BP 51/2 4

Abbildung 2: Stollenausbruchquerschnitt auf Höhe der Nische BP 49/2 5

Abbildung 3: Stollenausbruchquerschnitt auf Höhe der Nische BP 48/3 5

Abbildung 4: Stollenausbruchquerschnitt auf Höhe der Nische BP 47/1 6

Abbildung 5: Diagramm  $p_z-\sigma_{ci}$  ..... 16

Abbildung 6: Berechnung des  $p_z-\sigma_{ci}$  ..... 17

Abbildung 7: Tabelle  $p_z-\sigma_{ci}$  ( $RC=\sigma_{ci}$  e  $\sigma_1=p_z$ ) ..... 17

Abbildung 8: Berechnung di  $R_{ci} / \sigma_1$  ..... 17

Abbildung 9: Berechnungsschema der Nischen ..... 29

## 10.4 REFERENZDOKUMENTE

### 10.4.1 Eingangsdokumente

- [1] 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13018 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke - Technischer Bericht - Geomechanischer Gesamtbericht
- [2] 02\_H61\_GD\_090\_GLS\_D0700\_21008 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 1 - Geomechanisches Prognoseprofil Weströhre (Blatt 3/7)
- [3] 02\_H61\_GD\_090\_GLS\_D0700\_21004 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 1 - Geomechanisches Prognoseprofil Oströhre (Blatt 3/7)
- [4] 02\_H61\_GD\_090\_GTBS\_D0700\_21001 Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 1 - Geomechanischer Detailbericht

## 10.2 ELENCO APPENDICI

- APPENDICE 1 - VERIFICA DELL'ARCHITRAVE
- APPENDICE 2-VERIFICA DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI DEL CE IN CORRISPONDENZA DEGLI INNESTI
- APPENDICE 3 - VERIFICA DEL RIVESTIMENTI DEFINITIVI DELLE PARETI DELLE NICCHIE
- APPEDNICE 4 - LINEE CARATTERISTICHE

## 10.3 ELENCO DELLE ILLUSTRAZIONI

Figura 1: Sezione del cunicolo in corrispondenza della nicchia BP 51/2 4

Figura 2: Sezione del cunicolo in corrispondenza della nicchia BP 49/2 5

Figura 3: Sezione del cunicolo in corrispondenza della nicchia BP 48/3 5

Figura 4: Sezione del cunicolo in corrispondenza della nicchia BP 47/1 6

Figura 5: Grafico  $p_z-\sigma_{ci}$  ..... 16

Figura 6: Calcolo di  $p_z / \sigma_{ci}$  ..... 17

Figura 7: Tabella  $\sigma_{ci} / \sigma_1$  ( $RC=\sigma_{ci}$  e  $\sigma_1=p_z$ ) ..... 17

Figura 8: Calcolo di  $R_{ci} / \sigma_1$  ..... 17

Figura 9: Schema di calcolo delle nicchie ..... 29

## 10.4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 10.4.1 Documenti in ingresso

- [1] 02\_H61\_GD\_992\_GTB\_D0700\_13018 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Relazione tecnica - Relazione geomeccanica generale
- [2] 02\_H61\_GD\_090\_GLS\_D0700\_21008 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali Parte 1- Profilo geomeccanico e progettuale di previsione Galleria principale Ovest (Tav. 3/7)
- [3] 02\_H61\_GD\_090\_GLS\_D0700\_21004 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali Parte 1- Profilo geomeccanico e progettuale di previsione Galleria principale Est (Tav. 3/7)
- [4] 02\_H61\_GD\_090\_GTBS\_D0700\_21001 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva -

- [5] OP.EI 05.02 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - Erkundungsstollen Periadriatik und vorbereitende Bauwerke Bereich Mauls - Erkundungsstollen- Geologisch-geomechanisches Profil Anwendung Standardschnitte Erkundungsstollen - Rev. 01 (Marini, 21-02-2014)
- [6] 02\_H61\_OP\_010\_KST\_D0700\_21072 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke Teil 1 - Statische Berechnung C-E-Tc
- [7] 02\_H61\_OP\_010\_KST\_D0700\_21073 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke - Teil 1 - Statische Berechnung CL-E-T
- [8] 02\_H61\_OP\_090\_KST\_D0700\_21053 - Brenner Basistunnel - Ausführungsplanung - D0700: Baulos Mauls 2-3 - Gesamtbauwerke - Teil 1 - Statische Berechnung CT2-T4

D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali Parte 1 - Relazione geomeccanica di dettaglio.

- [5] OP.EI 05.02 - Galleria di Base del Brennero - Progetto Esecutivo - Cunicolo Esplorativo Periadriatica ed Opere propedeutiche ambito Mules - Cunicolo Esplorativo- profilo geologico-geomeccanico Applicazione sezioni tipo Cunicolo Esplorativo- Rev. 01 (Marini, 21-02-2014).
- [6] 02\_H61\_OP\_010\_KST\_D0700\_21072 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Parte 1 - Relazione di calcolo C-E-Tc.
- [7] 02\_H61\_OP\_010\_KST\_D0700\_21073 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Parte 1- Relazione di calcolo CL-E-T.
- [8] 02\_H61\_OP\_090\_KST\_D0700\_21053 - Galleria di Base del Brennero - Progettazione esecutiva - D0700: Lotto Mules 2-3 - Opere generali - Parte 1- Relazione di calcolo CT2-T4.

#### 10.4.2 Normen und Richtlinien

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

#### 10.4.2 Normative e linee guida

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

#### 10.4.3 Bibliografie

- [16] Ribacchi R., Riccioni R. – Stato di sforzo e di deformazione intorno ad una galleria circolare. Gallerie e grandi opere sotterranee, 1977.
- [17] Nguyen-Minh D., Guo C. – Recent progress in convergence confinement method", Eurock '96, pagg. 855-860.

#### 10.4.3 Bibliografia

- [16] Ribacchi R., Riccioni R. – Stato di sforzo e di deformazione intorno ad una galleria circolare. Gallerie e grandi opere sotterranee, 1977.
- [17] Nguyen-Minh D., Guo C. – Recent progress in convergence confinement method", Eurock '96, pagg. 855-860.

- [18] Gamble J.C. – Durability-plasticity classification of shales. Ph. D. Thesis, University of Illinois, 1971.
- [19] Sakurai – Lessons Learned from Field Measurements in Tunneling. Tunneling and Underground Space Technology, 1997.
- [20] HOEK E., CARRANZA TORRES C., CORKUM B. – Hoek-Brown failure criterion. 2002
- [21] UNWEDGE-roscience, Underground Wedge Stability Analysis Manual
- [22] Wang, J., 1993 - Seismic Design of Tunnels - A Simple State-of-the-Art Design
- [23] Hashash, Y., et al., 2001, - Seismic design and analysis of underground structures, Tunnelling and underground space technology 16, (247-293)
- [24] Pöttler, R. Die unbewehrte Innenschale im Felstunnelbau - Standsicherheit und Verformung im Reißbereich, Beton und Stahlbetonbau Heft 6, 1993
- [25] Pöttler, R. Standsicherheitsnachweis unbewehrter Innenschalen, Bautechnik 67, 1990

- [18] Gamble J.C. – Durability-plasticity classification of shales. Ph. D. Thesis, University of Illinois, 1971.
- [19] Sakurai – Lessons Learned from Field Measurements in Tunneling. Tunneling and Underground Space Technology, 1997.
- [20] HOEK E., CARRANZA TORRES C., CORKUM B. – Hoek-Brown failure criterion. 2002
- [21] UNWEDGE-roscience, Underground Wedge Stability Analysis Manual
- [22] Wang, J., 1993 - Seismic Design of Tunnels - A Simple State-of-the-Art Design
- [23] Hashash, Y., et al., 2001, - Seismic design and analysis of underground structures, Tunnelling and underground space technology 16, (247-293)
- [24] Pöttler, R. Die unbewehrte Innenschale im Felstunnelbau - Standsicherheit und Verformung im Reißbereich, Beton und Stahlbetonbau Heft 6, 1993
- [25] Pöttler, R. Standsicherheitsnachweis unbewehrter Innenschalen, Bautechnik 67, 1990

## ANAHNG 1 - TRÄGERÜBERPRÜFUNG

Anhang 1 enthält im Detail die Abbildungen in grafischer und tabellarischer Form der GZT- und GZG-Überprüfungen der Träger an den Nischen.

Insbesondere für jede vom Nischenausbruch betroffenen Erkundungsstollenstrecke, in Bezug auf den Träger werden gezeigt:

- Die Überprüfungen auf GZT-Beulspannung ;
- Die Schubüberprüfungen in der GZT-Kombination;
- Die Überprüfung der Betriebsspannungen und die Berechnung der Rissweite;
- Die in Folge aufgezeigten Diagramme wurden angesichts der hier wieder aufgerufenen Geometrien und Bewehrungen von Tabella 16 erhalten.

## APPENDICE 1 - VERIFICA DELL'ARCHITRAVE

L'appendice 1 contiene nel dettaglio le illustrazioni in forma grafica e tabellare delle verifiche agli SLU e agli SLE delle architravi in prossimità delle nicchie.

In particolare, per ciascuna tratta di CE interessata dallo scavo di una nicchia, con riferimento all'architrave:

- Le verifiche a pressoflessione agli SLU;
- Le verifiche a taglio nella combinazione SLU;
- La verifica delle tensioni in esercizio e il calcolo dell'ampiezza delle fessure;
- I grafici di seguito riportati sono stati ottenuti considerando le geometrie e armature riportate in Tabella 16, qui richiamate:

		<b>bxh</b>	<b>Armatura</b>		
		<b>[cm]</b>	<b>A<sub>sup</sub></b>	<b>A<sub>inf</sub></b>	<b>A<sub>taglio</sub></b>
<b>47/1</b>	<b>C-E-Tc</b>	57x200	4φ26	4φ26	2φ12/15cm
<b>48/3</b>	<b>CL-E-T</b>	40x150	5φ26	5φ26	2φ14/10cm
<b>49/2</b>	<b>C-E-N</b>	20x50	2φ20	3φ26	2φ10/30cm
<b>51/2</b>	<b>C-E-N</b>	20x50	2φ20	3φ26	2φ10/30cm

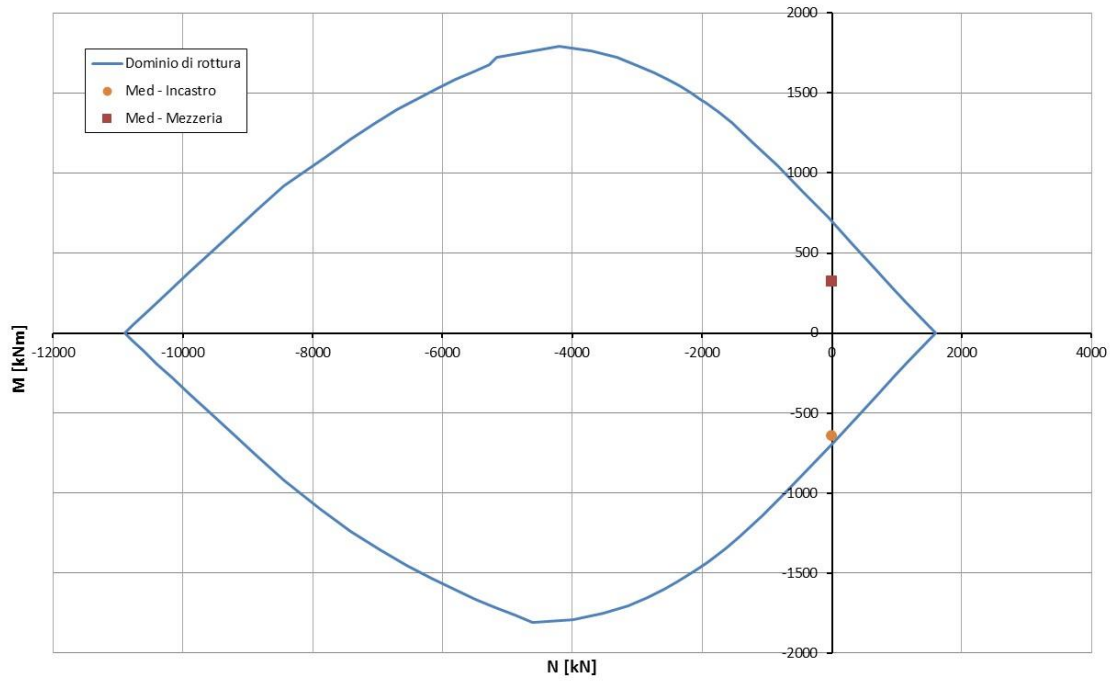


Abbildung 1: Träger C-E-Tc-IN-N (BP 47/1) - Überprüfung auf Beulspannung (GZT)

Illustrazione 1: Architrave C-E-Tc-IN-N (BP 47/1) - Verifica a pressoflessione (SLU)

### VERIFICHE A TAGLIO SECONDO D.M. 14/01/2008 (§ 4.1.2.1.3)

**Caratteristiche dei materiali:**

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

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

Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente	$V_{Ed}$	=	991.00	kN
Valore di calcolo della forza assiale associata a $V_{Ed}$	$N(V_{Ed})$	=	0.00	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	$d$	=	925	mm
Larghezza minima della sezione	$b_w$	=	570	mm

**Armatura della sezione in zona tesa:**

Diametro ferri longitudinali	$\varnothing$	=	26	mm
Numero tendini longitudinali utilizzati	$n$	=	4.0	--
Area totale di armatura longitudinale in zona tesa	$A_{st}$	=	2124	mm <sup>2</sup>
Rapporto geometrico dell'armatura longitudinale ( $\leq 0.02$ )	$\rho_l$	=	0.0040	--

### VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO (§ 4.1.2.1.3.1)

Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione ( $\leq 2$ )	$k$	=	1.46	--
Tensione dipendente dal fattore k e dalla resistenza del cls	$v_{min}$	=	0.34	N/mm <sup>2</sup>
Tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0.2 \times f_{cd}$ )	$\sigma_{cp}$	=	0.00	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza ultima a taglio minima	$V_{Rd,min}$	=	181.33	kN
<b>Resistenza ultima a taglio (<math>V_{Rd} \geq V_{Rd,min}</math>)</b>	$V_{Rd}$	=	214.37	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	$\alpha$	=	90	°
Diametro ferri a taglio	$\varnothing_{sw}$	=	12	mm
Numero dei bracci in sezione trasversale	$n_{sw}$	=	2.0	--
Passo in direzione asse elemento	$s$	=	150	mm
Area totale di armatura a taglio	$A_{sw}$	=	226	mm <sup>2</sup>

**Fattori di resistenza a compressione:**

Controllo duttilità (SI = duttile)	0.99	<	8.16	SI
Angolo di inclinazione dei puntoni di cls	$\theta$	=	22.00	°
Resistenza a compressione ridotta del cls d'anima	$f'_{cd}$	=	8.16	N/mm <sup>2</sup>
Tensione media di compressione nella sezione	$\sigma_{cp}$	=	0.00	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente maggiorativo per membrature compresse	$\alpha_c$	=	1.00	--

Resistenza di calcolo a "taglio trazione" dell'armatura	$V_{Rsd}$	=	1164.19	kN
Resistenza di calcolo a "taglio compressione" del cls	$V_{Rcd}$	=	1344.46	kN
<b>Resistenza ultima a taglio</b>	$V_{Rd}$	=	1164.19	kN

**VERIFICA SODDISFATTA**

Abbildung 2: Träger C-E-Tc-IN-N (BP 47/1) - Schubüberprüfung

Illustrazione 2: Architrave C-E-Tc-IN-N (BP 47/1) - Verifica a taglio

STRESS CHARACTERISTICS SLS			C-E-T (BP47/1)	C-E-T (BP47/1)
Design value of Axial Force	$N_{Sd}$	[kN]	0	0
Design value of Bending Moment	$M_{Sd}$	[kNm]	-478	239
Design value of Shear Force	$T_{Sd}$	[kN]	0.00	0.00
STRESS LIMITATION SERVICEABILITY LIMIT STATE			C-E-T (BP47/1)	C-E-T (BP47/1)
Overall depth of the cross section	$h$	[mm]	1000	1000
Minimum width of the cross section in the tensile area	$b_w$	[mm]	570	570
Effective depth of the cross section	$d$	[mm]	925.0	925.0
Neutral axis depth	$x$	[mm]	234.1	234.1
Maximum concrete stress (- = compression)	$\sigma_c$	[N/mm <sup>2</sup> ]	-6.50	-3.25
Minimum concrete stress (- = compression)	$\sigma_{c1}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	0.00	0.00
Maximum steel stress (+ = tension)	$\sigma_s$	[N/mm <sup>2</sup> ]	265.50	132.70
Minimum steel stress (+ = tension)	$\sigma_{s1}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	0.00	0.00
Concrete limit stress	$\sigma_{c,lim}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	-18.43	-18.43
Steel limit stress	$\sigma_{s,lim}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	360.00	360.00
<b>VERIFICATION RESULT</b>			<b>OK</b>	<b>OK</b>
STRESS LIMITATION SERVICEABILITY LIMIT STATE			C-E-T (BP47/1)	C-E-T (BP47/1)
Characteristic compressive cylinder strength of concrete at 28 days	$f_{ck}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	-	30.71
Mean value of axial tensile strength of concrete ( $=0.3f_{ck}^{2/3}$ per C≤C50/60)	$f_{ctm}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	-	2.942
Characteristic axial tensile strength of concrete ( $=0.7f_{ctm}$ )	$f_{ctk}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	-	2.059
Partial factor of concrete	$\gamma_c$	[-]	-	1.000
Design tensile resistance of concrete	$f_{ctd}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	-	2.059
Main value of tensile strength of the concrete in the effective tension area ( $f_{ct,eff}$ )	$f_{ct,eff}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	-	2.942
Elastic modulus of reinforcing steel	$E_s$	[N/mm <sup>2</sup> ]	-	210000
Secant elastic modulus of concrete	$E_{cm}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	-	32000
= $E_s/E_{cm}$	$\alpha_e$	[-]	-	6.56
Factor depending on the duration of the load (0.60: short term - 0.40: long term)	$k_t$	[-]	-	0.40
Effective tension area of concrete	$A_{c,eff}$	[mm <sup>2</sup> ]	-	106875
Number of rebar in tension area	$n_l$	[-]	-	4.0
Rebar main diameter	$\phi_l$	[mm]	-	26
Cross section area of reinforcement in $A_{c,eff}$	$A_{sl}$	[mm <sup>2</sup> ]	-	2124
= $A_s/A_{c,eff}$	$\rho_{p,eff}$	[-]	-	0.0199
Main strain	$\epsilon_{sm} \cdot \epsilon_{cm}$	‰	-	0.379
Rebar cover	$c$	[mm]	-	62
Rebar spacing	$s$	[mm]	-	143
Bond factor (0.80: high bond bars - 1.60: plain bars)	$k_1$	[-]	-	0.80
Factor which takes account of the distribution of strain (0.50 bending - 1.00 tension)	$k_2$	[-]	-	0.50
Coefficient for $S_{r,max}$	$k_3$	[-]	-	3.40
Coefficient for $S_{r,max}$	$k_4$	[-]	-	0.425
Maximum crack spacing	$S_{r,max}$	[mm]	-	433.23
Crack width	$w_k$	[mm]	-	0.164
Crack width limit	$w_{lim}$	[mm]	-	0.300
<b>VERIFICATION RESULT</b>			-	<b>OK</b>

Abbildung 3: Träger C-E-Tc-IN-N (BP 47/1) - Spannungsüberprüfung (GZG)

Illustrazione 3: Architrave C-E-Tc-IN-N (BP 47/1) - Verifica tensionali (SLE)



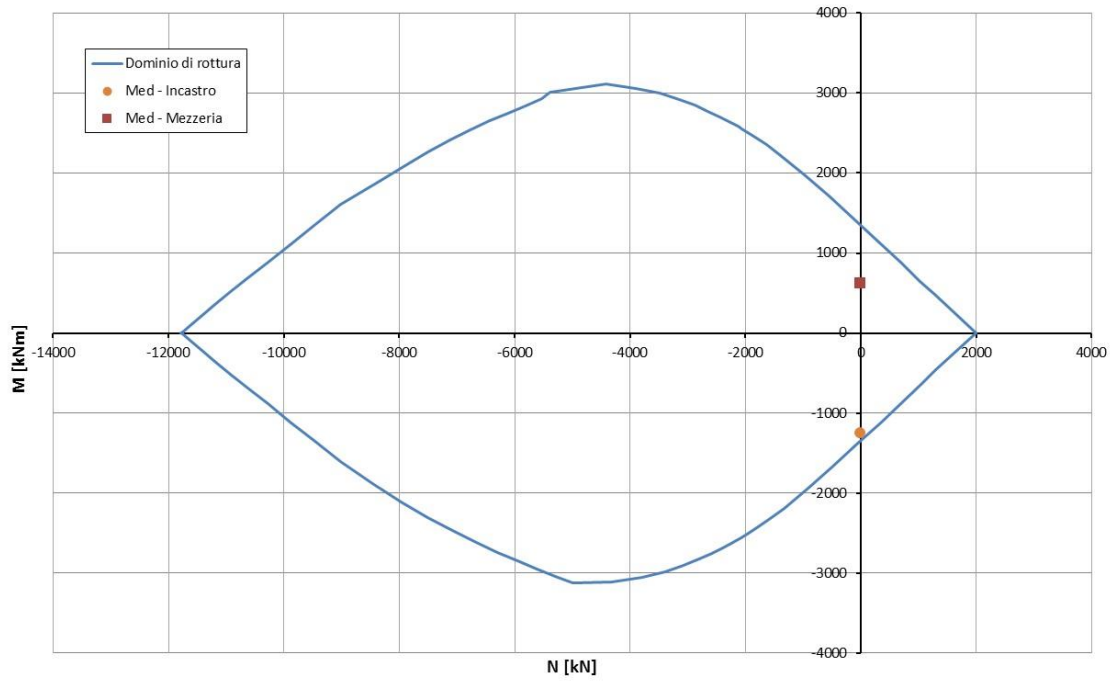


Abbildung 4: Träger CL-E-T-IN-N (BP 48/3) - Überprüfung auf Beulspannung (GZT)

Illustrazione 4: Architrave CL-E-T-IN-N (BP 48/3) - Verifica a pressoflessione (SLU)

### VERIFICHE A TAGLIO SECONDO D.M. 14/01/2008 (§ 4.1.2.1.3)

**Caratteristiche dei materiali:**

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

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

Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente	$V_{Ed}$	=	1925.00	kN
Valore di calcolo della forza assiale associata a $V_{Ed}$	$N(V_{Ed})$	=	0.00	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	$d$	=	1425	mm
Larghezza minima della sezione	$b_w$	=	400	mm

**Armatura della sezione in zona tesa:**

Diametro ferri longitudinali	$\varnothing$	=	26	mm
Numero tondini longitudinali utilizzati	$n$	=	5.0	--
Area totale di armatura longitudinale in zona tesa	$A_{sl}$	=	2655	mm <sup>2</sup>
Rapporto geometrico dell'armatura longitudinale ( $\leq 0.02$ )	$\rho_l$	=	0.0047	--

### VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO (§ 4.1.2.1.3.1)

Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione ( $\leq 2$ )	$k$	=	1.37	--
Tensione dipendente dal fattore $k$ e dalla resistenza del cls	$v_{min}$	=	0.31	N/mm <sup>2</sup>
Tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0.2 \times f_{cd}$ )	$\sigma_{cp}$	=	0.00	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza ultima a taglio minima	$V_{Rd,min}$	=	178.18	kN
<b>Resistenza ultima a taglio (<math>V_{Rd} \geq V_{Rd,min}</math>)</b>	$V_{Rd}$	=	228.24	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	$\alpha$	=	90	°
Diametro ferri a taglio	$\varnothing_{sw}$	=	14	mm
Numero dei bracci in sezione trasversale	$n_{sw}$	=	2.0	--
Passo in direzione asse elemento	$s$	=	100	mm
Area totale di armatura a taglio	$A_{sw}$	=	308	mm <sup>2</sup>

**Fattori di resistenza a compressione:**

Controllo duttilità (SI = duttile)	2.89	<	8.16	SI
Angolo di inclinazione dei puntoni di cls	$\theta$	=	36.51	°
Resistenza a compressione ridotta del cls d'anima	$f'_{cd}$	=	8.16	N/mm <sup>2</sup>
Tensione media di compressione nella sezione	$\sigma_{cp}$	=	0.00	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente maggiorativo per membrature compresse	$\alpha_c$	=	1.00	--

Resistenza di calcolo a "taglio trazione" dell'armatura	$V_{Rsd}$	=	2001.14	kN
Resistenza di calcolo a "taglio compressione" del cls	$V_{Rcd}$	=	2001.14	kN
<b>Resistenza ultima a taglio</b>	$V_{Rd}$	=	2001.14	kN

**VERIFICA SODDISFATTA.**

Abbildung 5: Träger CL-E-T-IN-N (BP 48/3) - Schubüberprüfung

Illustrazione 5: Architrave CL-E-T-IN-N (BP 48/3) - Verifica a taglio

<b>STRESS CHARACTERISTICS SLS</b>			<b>48_3</b>	<b>48_3</b>
Design value of Axial Force	$N_{Sd}$	[kN]	0	0
Design value of Bending Moment	$M_{Sd}$	[kNm]	-943	472
Design value of Shear Force	$T_{Sd}$	[kN]	0.00	0.00
<b>STRESS LIMITATION SERVICEABILITY LIMIT STATE</b>			<b>48_3</b>	<b>48_3</b>
Overall depth of the cross section	$h$	[mm]	1500	1500
Minimum width of the cross section in the tensile area	$b_w$	[mm]	400	400
Effective depth of the cross section	$d$	[mm]	1425.0	1425.0
Neutral axis depth	$x$	[mm]	372.3	372.3
Maximum concrete stress (- = compression)	$\sigma_c$	[N/mm <sup>2</sup> ]	-6.90	-3.46
Minimum concrete stress (- = compression)	$\sigma_{c1}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	0.00	0.00
Maximum steel stress (+ = tension)	$\sigma_s$	[N/mm <sup>2</sup> ]	270.00	135.20
Minimum steel stress (+ = tension)	$\sigma_{s1}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	0.00	0.00
Concrete limit stress	$\sigma_{c,lim}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	-18.43	-18.43
Steel limit stress	$\sigma_{s,lim}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	360.00	360.00
<b>VERIFICATION RESULT</b>			<b>OK</b>	<b>OK</b>
<b>STRESS LIMITATION SERVICEABILITY LIMIT STATE</b>			<b>48_3</b>	<b>48_3</b>
Characteristic compressive cylinder strength of concrete at 28 days	$f_{ck}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	-	30.71
Mean value of axial tensile strength of concrete ( $=0.3f_{ck}^{2/3}$ per C≤C50/60)	$f_{ctm}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	-	2.942
Characteristic axial tensile strength of concrete ( $=0.7f_{ctm}$ )	$f_{ctk}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	-	2.059
Partial factor of concrete	$\gamma_c$	[-]	-	1.000
Design tensile resistance of concrete	$f_{ctd}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	-	2.059
Main value of tensile strength of the concrete in the effective tension area ( $f_{ct,eff}$ )	$f_{ct,eff}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	-	2.942
Elastic modulus of reinforcing steel	$E_s$	[N/mm <sup>2</sup> ]	-	210000
Secant elastic modulus of concrete	$E_{cm}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	-	32000
= $E_s/E_{cm}$	$\alpha_e$	[-]	-	6.56
Factor depending on the duration of the load (0.60: short term - 0.40: long term)	$k_t$	[-]	-	0.40
Effective tension area of concrete	$A_{c,eff}$	[mm <sup>2</sup> ]	-	75000
Number of rebar in tension area	$n_l$	[-]	-	5.0
Rebar main diameter	$\phi_l$	[mm]	-	26
Cross section area of reinforcement in $A_{c,eff}$	$A_{sl}$	[mm <sup>2</sup> ]	-	2655
= $A_s/A_{c,eff}$	$\rho_{p,eff}$	[-]	-	0.0354
Main strain	$\epsilon_{sm} \cdot \epsilon_{cm}$	‰	-	0.449
Rebar cover	$c$	[mm]	-	62
Rebar spacing	$s$	[mm]	-	80
Bond factor (0.80: high bond bars - 1.60: plain bars)	$k_1$	[-]	-	0.80
Factor which takes account of the distribution of strain (0.50 bending - 1.00 tension)	$k_2$	[-]	-	0.50
Coefficient for $S_{r,max}$	$k_3$	[-]	-	3.40
Coefficient for $S_{r,max}$	$k_4$	[-]	-	0.425
Maximum crack spacing	$S_{r,max}$	[mm]	-	335.68
Crack width	$w_k$	[mm]	-	0.151
Crack width limit	$w_{lim}$	[mm]	-	0.300
<b>VERIFICATION RESULT</b>			-	<b>OK</b>

Abbildung 6: Träger CL-E-T-IN-N (BP 48/3) - Spannungsüberprüfung (GZG)

Illustrazione 6: Architrave CL-E-T-IN-N (BP 48/3) - Verifica tensionali (SLE)

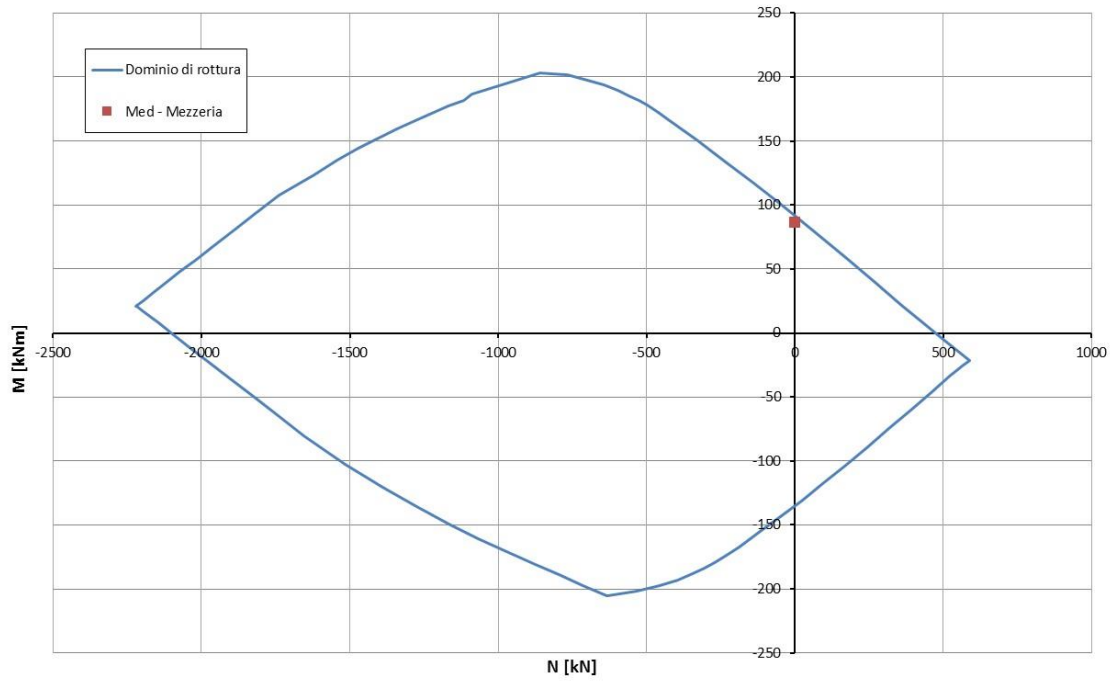


Abbildung 7: Träger C-E-IN-N (BP 49/2) - Überprüfung auf Beulspannung (GZT)

Illustrazione 7: Architrave C-E-IN-N (BP 49/2) - Verifica a pressoflessione (SLU)

### VERIFICHE A TAGLIO SECONDO D.M. 14/01/2008 (§ 4.1.2.1.3)

**Caratteristiche dei materiali:**

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

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

Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente	$V_{Ed}$	=	181.00	kN
Valore di calcolo della forza assiale associata a $V_{Ed}$	$N(V_{Ed})$	=	0.00	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	$d$	=	430	mm
Larghezza minima della sezione	$b_w$	=	200	mm

**Armatura della sezione in zona tesa:**

Diametro ferri longitudinali	$\varnothing$	=	20	mm
Numero tondini longitudinali utilizzati	$n$	=	3.0	--
Area totale di armatura longitudinale in zona tesa	$A_{sl}$	=	942	mm <sup>2</sup>
Rapporto geometrico dell'armatura longitudinale ( $\leq 0.02$ )	$\rho_l$	=	0.0110	--

### VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO (§ 4.1.2.1.3.1)

Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione ( $\leq 2$ )	$k$	=	1.68	--
Tensione dipendente dal fattore $k$ e dalla resistenza del cls	$v_{min}$	=	0.42	N/mm <sup>2</sup>
Tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0.2 \times f_{cd}$ )	$\sigma_{cp}$	=	0.00	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza ultima a taglio minima	$V_{Rd,min}$	=	36.39	kN
<b>Resistenza ultima a taglio (<math>V_{Rd} \geq V_{Rd,min}</math>)</b>	$V_{Rd}$	=	56.03	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	$\alpha$	=	90	°
Diametro ferri a taglio	$\varnothing_{sw}$	=	10	mm
Numero dei bracci in sezione trasversale	$n_{sw}$	=	2.0	--
Passo in direzione asse elemento	$s$	=	300	mm
Area totale di armatura a taglio	$A_{sw}$	=	158	mm <sup>2</sup>

**Fattori di resistenza a compressione:**

Controllo duttilità (SI = duttile)	0.99	<	8.16	SI
Angolo di inclinazione dei puntoni di cls	$\theta$	=	22.00	°
Resistenza a compressione ridotta del cls d'anima	$f'_{cd}$	=	8.16	N/mm <sup>2</sup>
Tensione media di compressione nella sezione	$\sigma_{cp}$	=	0.00	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente maggiorativo per membrature compresse	$\alpha_c$	=	1.00	--

Resistenza di calcolo a "taglio trazione" dell'armatura	$V_{Rsd}$	=	189.18	kN
Resistenza di calcolo a "taglio compressione" del cls	$V_{Rcd}$	=	219.30	kN
<b>Resistenza ultima a taglio</b>	$V_{Rd}$	=	189.18	kN

**VERIFICA SODDISFATTA.**

Abbildung 8: Träger C-E-IN-N (BP 49/2) - Schubüberprüfung

Illustrazione 8: Architrave C-E-IN-N (BP 49/2) - Verifica a taglio

<b>STRESS CHARACTERISTICS SLS</b>			<b>C-E-N (BP49/2)</b>
Design value of Axial Force	<b>N<sub>Sd</sub></b>	[kN]	0
Design value of Bending Moment	<b>M<sub>Sd</sub></b>	[kNm]	64
Design value of Shear Force	<b>T<sub>Sd</sub></b>	[kN]	0.00
<b>STRESS LIMITATION SERVICEABILITY LIMIT STATE</b>			<b>C-E-N (BP49/2)</b>
Overall depth of the cross section	<b>h</b>	[mm]	500
Minimum width of the cross section in the tensile area	<b>b<sub>w</sub></b>	[mm]	200
Effective depth of the cross section	<b>d</b>	[mm]	430.0
Neutral axis depth	<b>x</b>	[mm]	163.2
Maximum concrete stress (- = compression)	<b>σ<sub>c</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	-8.09
Minimum concrete stress (- = compression)	<b>σ<sub>c1</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	0.00
Maximum steel stress (+ = tension)	<b>σ<sub>s</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	182.70
Minimum steel stress (+ = tension)	<b>σ<sub>s1</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	0.00
Concrete limit stress	<b>σ<sub>c,lim</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	-18.43
Steel limit stress	<b>σ<sub>s,lim</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	360.00
<b>VERIFICATION RESULT</b>			<b>OK</b>
<b>STRESS LIMITATION SERVICEABILITY LIMIT STATE</b>			<b>C-E-N (BP49/2)</b>
Characteristic compressive cylinder strength of concrete at 28 days	<b>f<sub>ck</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	30.71
Mean value of axial tensile strength of concrete (=0.3f <sub>ck</sub> <sup>2/3</sup> per C≤C50/60)	<b>f<sub>ctm</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	2.942
Characteristic axial tensile strength of concrete (=0.7f <sub>ctm</sub> )	<b>f<sub>ctk</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	2.059
Partial factor of concrete	<b>γ<sub>c</sub></b>	[-]	1.000
Design tensile resistance of concrete	<b>f<sub>ctd</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	2.059
Main value of tensile strength of the concrete in the effective tension area (f <sub>ctm</sub> )	<b>f<sub>ct,eff</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	2.942
Elastic modulus of reinforcing steel	<b>E<sub>s</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	210000
Secant elastic modulus of concrete = E <sub>s</sub> /E <sub>cm</sub>	<b>E<sub>cm</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	32000
Factor depending on the duration of the load (0.60: short term - 0.40: long term)	<b>α<sub>e</sub></b>	[-]	6.56
Effective tension area of concrete	<b>k<sub>t</sub></b>	[-]	0.40
Number of rebar in tension area	<b>A<sub>c,eff</sub></b>	[mm <sup>2</sup> ]	22453
Rebar main diameter	<b>n<sub>l</sub></b>	[-]	3.0
Cross section area of reinforcement in A <sub>c,eff</sub> = A <sub>s</sub> /A <sub>c,eff</sub>	<b>φ<sub>l</sub></b>	[mm]	20
Main strain	<b>A<sub>sl</sub></b>	[mm <sup>2</sup> ]	942
Rebar cover	<b>ρ<sub>p,eff</sub></b>	[-]	0.0420
Rebar spacing	<b>ε<sub>sm</sub>-ε<sub>cm</sub></b>	‰	0.700
Bond factor (0.80: high bond bars - 1.60: plain bars)	<b>c</b>	[mm]	51
Factor which takes account of the distribution of strain (0.50 bending - 1.00 tension)	<b>s</b>	[mm]	67
Coefficient for S <sub>r,max</sub>	<b>k<sub>1</sub></b>	[-]	0.80
Coefficient for S <sub>r,max</sub>	<b>k<sub>2</sub></b>	[-]	0.50
Maximum crack spacing	<b>k<sub>3</sub></b>	[-]	3.40
Crack width	<b>k<sub>4</sub></b>	[-]	0.425
Crack width limit	<b>S<sub>r,max</sub></b>	[mm]	254.40
	<b>w<sub>k</sub></b>	[mm]	0.178
	<b>w<sub>lim</sub></b>	[mm]	0.300
<b>VERIFICATION RESULT</b>			<b>OK</b>

Abbildung 9: Träger C-E-IN-N (BP 49/2) - Spannungsüberprüfung (GZG)

Illustrazione 9: Architrave C-E-IN-N (BP 49/2)-- Verifica tensionali (SLE)

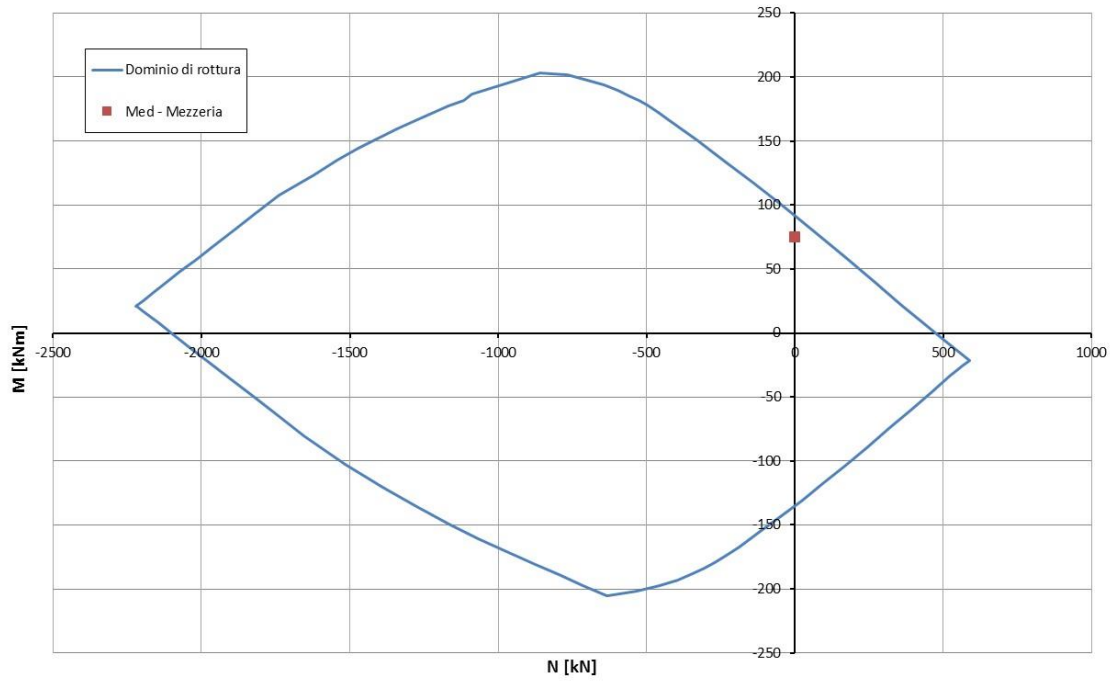


Abbildung 10: Träger C-E--IN-N (BP 51/2) - Überprüfung auf Beulspannung (GZT)

Illustrazione 10: Architrave C-E-IN-N (BP 51/2) - Verifica a pressoflessione (SLU)

### VERIFICHE A TAGLIO SECONDO D.M. 14/01/2008 (§ 4.1.2.1.3)

**Caratteristiche dei materiali:**

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

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

Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente	$V_{Ed}$	=	157.00	kN
Valore di calcolo della forza assiale associata a $V_{Ed}$	$N(V_{Ed})$	=	0.00	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	$d$	=	430	mm
Larghezza minima della sezione	$b_w$	=	200	mm

**Armatura della sezione in zona tesa:**

Diametro ferri longitudinali	$\varnothing$	=	20	mm
Numero tendini longitudinali utilizzati	$n$	=	3.0	--
Area totale di armatura longitudinale in zona tesa	$A_{sl}$	=	942	mm <sup>2</sup>
Rapporto geometrico dell'armatura longitudinale ( $\leq 0.02$ )	$\rho_l$	=	0.0110	--

### VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO (§ 4.1.2.1.3.1)

Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione ( $\leq 2$ )	$k$	=	1.68	--
Tensione dipendente dal fattore $k$ e dalla resistenza del cls	$v_{min}$	=	0.42	N/mm <sup>2</sup>
Tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0.2 \times f_{cd}$ )	$\sigma_{cp}$	=	0.00	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza ultima a taglio minima	$V_{Rd,min}$	=	36.39	kN
<b>Resistenza ultima a taglio (<math>V_{Rd} \geq V_{Rd,min}</math>)</b>	$V_{Rd}$	=	56.03	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	$\alpha$	=	90	°
Diametro ferri a taglio	$\varnothing_{sw}$	=	10	mm
Numero dei bracci in sezione trasversale	$n_{sw}$	=	2.0	--
Passo in direzione asse elemento	$s$	=	300	mm
Area totale di armatura a taglio	$A_{sw}$	=	158	mm <sup>2</sup>

**Fattori di resistenza a compressione:**

Controllo duttilità (SI = duttile)	0.99	<	8.16	SI
Angolo di inclinazione dei puntoni di cls	$\theta$	=	22.00	°
Resistenza a compressione ridotta del cls d'anima	$f'_{cd}$	=	8.16	N/mm <sup>2</sup>
Tensione media di compressione nella sezione	$\sigma_{cp}$	=	0.00	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente maggiorativo per membrature compresse	$\alpha_c$	=	1.00	--

Resistenza di calcolo a "taglio trazione" dell'armatura	$V_{Rsd}$	=	189.18	kN
Resistenza di calcolo a "taglio compressione" del cls	$V_{Rcd}$	=	219.30	kN
<b>Resistenza ultima a taglio</b>	$V_{Rd}$	=	189.18	kN

**VERIFICA SODDISFATTA.**

Abbildung 11: Träger C-E-IN-N (BP 51/2) - Schubüberprüfung

Illustrazione 11: Architrave C-E-IN-N (BP 51/2) - Verifica a taglio



STRESS CHARACTERISTICS SLS			C-E-N (BP41/2)
Design value of Axial Force	$N_{Sd}$	[kN]	0
Design value of Bending Moment	$M_{Sd}$	[kNm]	55
Design value of Shear Force	$T_{Sd}$	[kN]	0.00
STRESS LIMITATION SERVICEABILITY LIMIT STATE			C-E-N (BP41/2)
Overall depth of the cross section	$h$	[mm]	500
Minimum width of the cross section in the tensile area	$b_w$	[mm]	200
Effective depth of the cross section	$d$	[mm]	430.0
Neutral axis depth	$x$	[mm]	163.2
Maximum concrete stress (- = compression)	$\sigma_c$	[N/mm <sup>2</sup> ]	-6.95
Minimum concrete stress (- = compression)	$\sigma_{c1}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	0.00
Maximum steel stress (+ = tension)	$\sigma_s$	[N/mm <sup>2</sup> ]	157.00
Minimum steel stress (+ = tension)	$\sigma_{s1}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	0.00
Concrete limit stress	$\sigma_{c,lim}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	-18.43
Steel limit stress	$\sigma_{s,lim}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	360.00
<b>VERIFICATION RESULT</b>			<b>OK</b>
STRESS LIMITATION SERVICEABILITY LIMIT STATE			C-E-N (BP41/2)
Characteristic compressive cylinder strength of concrete at 28 days	$f_{ck}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	30.71
Mean value of axial tensile strength of concrete ( $=0.3f_{ck}^{2/3}$ per C≤C50/60)	$f_{ctm}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	2.942
Characteristic axial tensile strength of concrete ( $=0.7f_{ctm}$ )	$f_{ctk}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	2.059
Partial factor of concrete	$\gamma_c$	[-]	1.000
Design tensile resistance of concrete	$f_{ctd}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	2.059
Main value of tensile strength of the concrete in the effective tension area ( $f_{ctm}$ )	$f_{ct,eff}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	2.942
Elastic modulus of reinforcing steel	$E_s$	[N/mm <sup>2</sup> ]	210000
Secant elastic modulus of concrete $= E_s/E_{cm}$	$E_{cm}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	32000
Factor depending on the duration of the load (0.60: short term - 0.40: long term)	$\alpha_e$	[-]	6.56
Effective tension area of concrete	$k_t$	[-]	0.40
Number of rebar in tension area	$A_{c,eff}$	[mm <sup>2</sup> ]	22453
Rebar main diameter	$n_l$	[-]	3.0
Cross section area of reinforcement in $A_{c,eff}$ $= A_s/A_{c,eff}$	$\phi_l$	[mm]	20
Main strain	$A_{sl}$	[mm <sup>2</sup> ]	942
Rebar cover	$\rho_{p,eff}$	[-]	0.0420
Rebar spacing	$\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$	‰	0.577
Bond factor (0.80: high bond bars - 1.60: plain bars)	$c$	[mm]	60
Factor which takes account of the distribution of strain (0.50 bending - 1.00 tension)	$s$	[mm]	67
Coefficient for $S_{r,max}$	$k_1$	[-]	0.80
Coefficient for $S_{r,max}$	$k_2$	[-]	0.50
Maximum crack spacing	$k_3$	[-]	3.40
Crack width	$k_4$	[-]	0.425
Crack width limit	$S_{r,max}$	[mm]	285.00
	$w_k$	[mm]	0.165
	$w_{lim}$	[mm]	0.300
<b>VERIFICATION RESULT</b>			<b>OK</b>

Abbildung 12: Träger C-E-IN-N (BP 51/2) - Spannungsüberprüfung (GZG)

Illustrazione 12: Architrave C-E-IN-N (BP 51/2) - Verifica tensionali (SLE)

## ANHANG 2 - INNENSCHALENÜBERPRÜFUNG DES BETONS AN DEN VERBINDUNGEN

In Anhang 2 sind die strukturellen Überprüfungen der unversehrten Haupttunnels zwischen den Verbindungen aufgezeigt. Die Belastungen sind die der spezifischen Berechnungsverhältnisse jedes Ausbruchquerschnitts, der um den Beiwert  $R=1.6$  erhöht wurde.

Insbesondere für jeden Ausbruchquerschnitt an der Kappe, den Tunnelbogenaufsätzen und der Sohlplatte, werden aufgezeigt:

- Die Überprüfungen auf GZT-Beulspannung ;
- Die Schubüberprüfungen in der GZT-Kombination;
- Die Überprüfung der Betriebsspannungen und der Berechnung der Rissweite;
- Die in Folge aufgezeigten Diagramme wurden angesichts der hier wiederholten Geometrien und Bewehrungen der Abbildung erhalten.

## APPENDICE 2 - VERIFICA DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI DEL CE IN CORRISPONDENZA DEGLI INNESTI

Nell'Appendice 2 sono riportate le verifiche strutturali delle Gallerie di Linea integra a cavallo degli innesti. Le sollecitazioni sono quelle riportate nelle relazioni di calcolo specifiche di ciascuna sezione amplificate per il coefficiente amplificativo  $R=1.6$ .

Nello specifico, per ciascuno sezione, in corrispondenza della calotta, delle murette e della platea, sono riportate:

- Le verifiche a pressoflessione agli SLU;
- Le verifiche a taglio nella combinazione SLU;
- La verifica delle tensioni in esercizio e il calcolo dell'ampiezza delle fessure;
- I grafici di seguito riportati sono stati ottenuti considerando le geometrie e armature riportate in figura, e qui richiamate:

	Calotta				Muretta				Arco rovescio gettato in opera				Fondazione nicchia			
	h [m]	A <sub>intrad.</sub>	A <sub>estrad.</sub>	A <sub>taglio</sub>	h [m]	A <sub>intrad.</sub>	A <sub>estrad.</sub>	A <sub>taglio</sub>	h [m]	A <sub>intrad.</sub>	A <sub>estrad.</sub>	A <sub>taglio</sub>	h [m]	A <sub>intrad.</sub>	A <sub>estrad.</sub>	A <sub>taglio</sub>
47/1	0.57	φ14/15cm	φ14/15cm	-	0.57	φ14/15cm	φ14/15cm	-	0.34	φ14/15cm	φ14/15cm	-	0.59	φ14/15cm	φ14/15cm	-
48/3	0.40	φ16/15cm	φ16/15cm	-	0.71	φ16/15cm	φ16/15cm	-	0.79	φ16/15cm	φ16/15cm	-	0.80	φ16/15cm	φ16/15cm	-

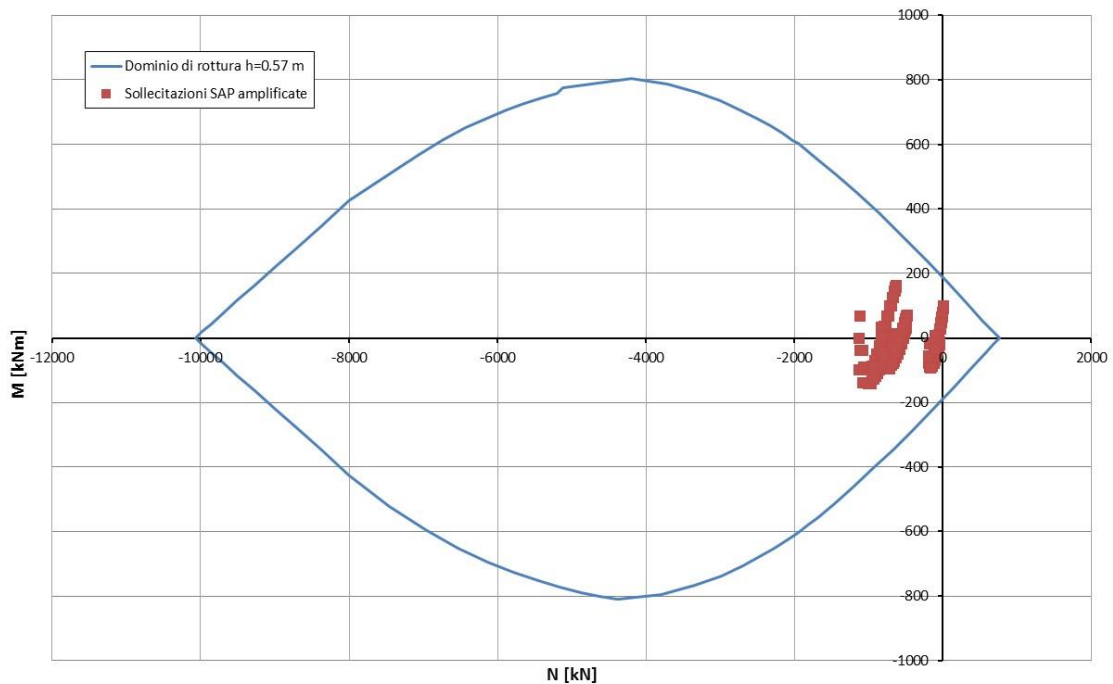


Abbildung 13: C-E-Tc-IN-N (BP 47/1) - Überprüfung auf Beulspannung (GZT)

Illustrazione 13: C-E-Tc-IN-N (BP 47/1) - Verifica a pressoflessione (SLU)

## VERIFICHE A TAGLIO SECONDO D.M. 14/01/2008 (§ 4.1.2.1.3)

### **Caratteristiche dei materiali:**

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

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

Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente		$V_{Ed}$	=	263.00 kN
Valore di calcolo della forza assiale associata a $V_{Ed}$		$N(V_{Ed})$	=	1112.00 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		$d$	=	353 mm
Larghezza minima della sezione		$b_w$	=	1000 mm

### **Armatura della sezione in zona tesa:**

Diametro ferri longitudinali		$\emptyset$	=	14 mm
Numero tondini longitudinali utilizzati		$n$	=	7.0 --
Area totale di armatura longitudinale in zona tesa		$A_{st}$	=	1078 mm <sup>2</sup>
Rapporto geometrico dell'armatura longitudinale ( $\leq 0.02$ )		$\rho_l$	=	0.0031 --

## VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO (§ 4.1.2.1.3.1)

Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione ( $\leq 2$ )		$k$	=	1.75 --
Tensione dipendente dal fattore k e dalla resistenza del cls		$v_{min}$	=	0.45 N/mm <sup>2</sup>
Tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0.2 \times f_{cd}$ )		$\sigma_{cp}$	=	3.15 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza ultima a taglio minima		$V_{Rd,min}$	=	325.67 kN
<b>Resistenza ultima a taglio (<math>V_{Rd} \geq V_{Rd,min}</math>)</b>		$V_{Rd}$	=	<b>325.67 kN</b>

### **VERIFICA SODDISFATTA:**

*non occorre armatura trasversale resistente a taglio.*

## VERIFICHE A TAGLIO SECONDO D.M. 14/01/2008 (§ 4.1.2.1.3)

### **Caratteristiche dei materiali:**

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

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

Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente		$V_{Ed}$	=	<b>127.00</b> kN
Valore di calcolo della forza assiale associata a $V_{Ed}$		$N(V_{Ed})$	=	<b>1073.00</b> kN
Valore di calcolo del momento flettente associato a $V_{Ed}$		$M(V_{Ed})$	=	<b>0.00</b> kNm

### **Caratteristiche geometriche della sezione:**

Altezza utile della sezione		$d$	=	<b>563</b> mm
Larghezza minima della sezione		$b_w$	=	<b>1000</b> mm

### **Armatura della sezione in zona tesa:**

Diametro ferri longitudinali		$\varnothing$	=	<b>14</b> mm
Numero tondini longitudinali utilizzati		$n$	=	<b>7.0</b> --
Area totale di armatura longitudinale in zona tesa		$A_{sl}$	=	1078 mm <sup>2</sup>
Rapporto geometrico dell'armatura longitudinale ( $\leq 0.02$ )		$\rho_l$	=	0.0019 --

## VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO (§ 4.1.2.1.3.1)

Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione ( $\leq 2$ )		$k$	=	1.60 --
Tensione dipendente dal fattore k e dalla resistenza del cls		$v_{min}$	=	0.39 N/mm <sup>2</sup>
Tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0.2 \times f_{cd}$ )		$\sigma_{cp}$	=	1.91 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza ultima a taglio minima		$V_{Rd,min}$	=	381.13 kN
<b>Resistenza ultima a taglio (<math>V_{Rd} \geq V_{Rd,min}</math>)</b>		$V_{Rd}$	=	<b>381.13 kN</b>

### **VERIFICA SODDISFATTA:**

**non occorre armatura trasversale resistente a taglio.**

STRESS CHARACTERISTICS SLS			C-E-T (BP47/1)
Design value of Axial Force	$N_{Sd}$	[kN]	459
Design value of Bending Moment	$M_{Sd}$	[kNm]	136
Design value of Shear Force	$T_{Sd}$	[kN]	0.00
STRESS LIMITATION SERVICEABILITY LIMIT STATE			C-E-T (BP47/1)
Overall depth of the cross section	$h$	[mm]	570
Minimum width of the cross section in the tensile area	$b_w$	[mm]	1000
Effective depth of the cross section	$d$	[mm]	498.0
Neutral axis depth	$x$	[mm]	216.5
Maximum concrete stress (- = compression)	$\sigma_c$	[N/mm <sup>2</sup> ]	-4.64
Minimum concrete stress (- = compression)	$\sigma_{c1}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	0.00
Maximum steel stress (+ = tension)	$\sigma_s$	[N/mm <sup>2</sup> ]	83.40
Minimum steel stress (+ = tension)	$\sigma_{s1}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	0.00
Concrete limit stress	$\sigma_{c,lim}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	-18.43
Steel limit stress	$\sigma_{s,lim}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	360.00
<b>VERIFICATION RESULT</b>			<b>OK</b>
STRESS LIMITATION SERVICEABILITY LIMIT STATE			C-E-T (BP47/1)
Characteristic compressive cylinder strength of concrete at 28 days	$f_{ck}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	30.71
Mean value of axial tensile strength of concrete ( $=0.3f_{ck}^{2/3}$ per C≤C50/60)	$f_{ctm}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	2.942
Characteristic axial tensile strength of concrete ( $=0.7f_{ctm}$ )	$f_{ctk}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	2.059
Partial factor of concrete	$\gamma_c$	[-]	1.000
Design tensile resistance of concrete	$f_{ctd}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	2.059
Main value of tensile strength of the concrete in the effective tension area ( $f_{ctm}$ )	$f_{ct,eff}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	2.942
Elastic modulus of reinforcing steel	$E_s$	[N/mm <sup>2</sup> ]	210000
Secant elastic modulus of concrete	$E_{cm}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	32000
= $E_s/E_{cm}$	$\alpha_e$	[-]	6.56
Factor depending on the duration of the load (0.60: short term - 0.40: long term)	$k_t$	[-]	0.40
Effective tension area of concrete	$A_{c,eff}$	[mm <sup>2</sup> ]	117833
Number of rebar in tension area	$n_l$	[-]	6.7
Rebar main diameter	$\phi_l$	[mm]	14
Cross section area of reinforcement in $A_{c,eff}$	$A_{sl}$	[mm <sup>2</sup> ]	1026
= $A_s/A_{c,eff}$	$\rho_{p,eff}$	[-]	0.0087
Main strain	$\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$	‰	0.238
Rebar cover	$c$	[mm]	62
Rebar spacing	$s$	[mm]	150
Bond factor (0.80: high bond bars - 1.60: plain bars)	$k_1$	[-]	0.80
Factor which takes account of the distribution of strain (0.50 bending - 1.00 tension)	$k_2$	[-]	0.50
Coefficient for $S_{r,max}$	$k_3$	[-]	3.40
Coefficient for $S_{r,max}$	$k_4$	[-]	0.425
Maximum crack spacing	$S_{r,max}$	[mm]	484.07
Crack width	$w_k$	[mm]	0.115
Crack width limit	$w_{lim}$	[mm]	0.300
<b>VERIFICATION RESULT</b>			<b>OK</b>

Abbildung 16: C-E-Tc-IN-N (BP 47/1) - Spannungsüberprüfung (GZG)

Illustrazione 16: C-E-Tc-IN-N (BP 47/1) - Verifica tensionali (SLE)

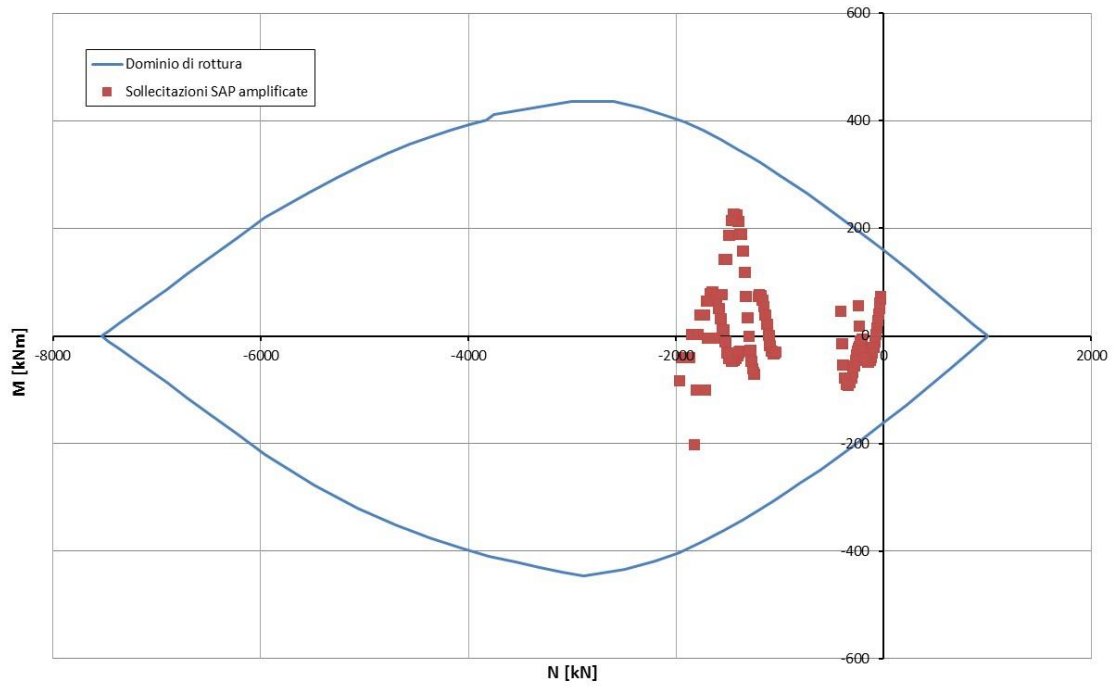


Abbildung 17: CL-E-T-IN-N (BP 48/3) - Überprüfung auf Beulspannung (GZT)

Illustrazione 17: CL-E-T-IN-N (BP 48/3) - Verifica a pressoflessione (SLU)

STRESS CHARACTERISTICS SLS			C-E-T (BP48/1)
Design value of Axial Force	$N_{Sd}$	[kN]	1034
Design value of Bending Moment	$M_{Sd}$	[kNm]	181
Design value of Shear Force	$T_{Sd}$	[kN]	0.00
STRESS LIMITATION SERVICEABILITY LIMIT STATE			C-E-T (BP48/1)
Overall depth of the cross section	$h$	[mm]	400
Minimum width of the cross section in the tensile area	$b_w$	[mm]	1000
Effective depth of the cross section	$d$	[mm]	330.0
Neutral axis depth	$x$	[mm]	191.6
Maximum concrete stress (- = compression)	$\sigma_c$	[N/mm <sup>2</sup> ]	-10.90
Minimum concrete stress (- = compression)	$\sigma_{c1}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	0.00
Maximum steel stress (+ = tension)	$\sigma_s$	[N/mm <sup>2</sup> ]	109.70
Minimum steel stress (+ = tension)	$\sigma_{s1}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	0.00
Concrete limit stress	$\sigma_{c,lim}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	-18.43
Steel limit stress	$\sigma_{s,lim}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	360.00
<b>VERIFICATION RESULT</b>			<b>OK</b>
STRESS LIMITATION SERVICEABILITY LIMIT STATE			C-E-T (BP48/1)
Characteristic compressive cylinder strength of concrete at 28 days	$f_{ck}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	30.71
Mean value of axial tensile strength of concrete ( $=0.3f_{ck}^{2/3}$ per C≤C50/60)	$f_{ctm}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	2.942
Characteristic axial tensile strength of concrete ( $=0.7f_{ctm}$ )	$f_{ctk}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	2.059
Partial factor of concrete	$\gamma_c$	[-]	1.000
Design tensile resistance of concrete	$f_{ctd}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	2.059
Main value of tensile strength of the concrete in the effective tension area ( $f_{ctm}$ )	$f_{ct,eff}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	2.942
Elastic modulus of reinforcing steel	$E_s$	[N/mm <sup>2</sup> ]	210000
Secant elastic modulus of concrete	$E_{cm}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	32000
= $E_s/E_{cm}$	$\alpha_e$	[-]	6.56
Factor depending on the duration of the load (0.60: short term - 0.40: long term)	$k_t$	[-]	0.40
Effective tension area of concrete	$A_{c,eff}$	[mm <sup>2</sup> ]	69467
Number of rebar in tension area	$n_l$	[-]	6.7
Rebar main diameter	$\phi_l$	[mm]	16
Cross section area of reinforcement in $A_{c,eff}$	$A_{sl}$	[mm <sup>2</sup> ]	1340
= $A_s/A_{c,eff}$	$\rho_{p,eff}$	[-]	0.0193
Main strain	$\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}$	‰	0.313
Rebar cover	$c$	[mm]	62
Rebar spacing	$s$	[mm]	150
Bond factor (0.80: high bond bars - 1.60: plain bars)	$k_1$	[-]	0.80
Factor which takes account of the distribution of strain (0.50 bending - 1.00 tension)	$k_2$	[-]	0.50
Coefficient for $S_{r,max}$	$k_3$	[-]	3.40
Coefficient for $S_{r,max}$	$k_4$	[-]	0.425
Maximum crack spacing	$S_{r,max}$	[mm]	351.76
Crack width	$w_k$	[mm]	0.110
Crack width limit	$w_{lim}$	[mm]	0.300
<b>VERIFICATION RESULT</b>			<b>OK</b>

Abbildung 18: CL-E-T-IN-N (BP 48/3) - Spannungsüberprüfung (GZG)

Illustrazione 18: CL-E-T-IN-N (BP 48/3) - Verifica tensionali (SLE)

## VERIFICHE A TAGLIO SECONDO D.M. 14/01/2008 (§ 4.1.2.1.3)

### **Caratteristiche dei materiali:**

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

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

Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente	$V_{Ed}$	=	<b>229.60</b>	kN
Valore di calcolo della forza assiale associata a $V_{Ed}$	$N(V_{Ed})$	=	<b>1804.00</b>	kN
Valore di calcolo del momento flettente associato a $V_{Ed}$	$M(V_{Ed})$	=	<b>0.00</b>	kNm

### **Caratteristiche geometriche della sezione:**

Altezza utile della sezione	$d$	=	<b>393</b>	mm
Larghezza minima della sezione	$b_w$	=	<b>1000</b>	mm

### **Armatura della sezione in zona tesa:**

Diametro ferri longitudinali	$\varnothing$	=	<b>16</b>	mm
Numero tondini longitudinali utilizzati	$n$	=	<b>7.0</b>	--
Area totale di armatura longitudinale in zona tesa	$A_{sI}$	=	1407	mm <sup>2</sup>
Rapporto geometrico dell'armatura longitudinale ( $\leq 0.02$ )	$\rho_I$	=	0.0036	--

## VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO (§ 4.1.2.1.3.1)

Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione ( $\leq 2$ )	$k$	=	1.71	--
Tensione dipendente dal fattore k e dalla resistenza del cls	$v_{min}$	=	0.43	N/mm <sup>2</sup>
Tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0.2 \times f_{cd}$ )	$\sigma_{cp}$	=	3.26	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza ultima a taglio minima	$V_{Rd,min}$	=	363.30	kN
<b>Resistenza ultima a taglio (<math>V_{Rd} \geq V_{Rd,min}</math>)</b>	$V_{Rd}$	=	<b>372.02</b>	<b>kN</b>

### **VERIFICA SODDISFATTA:**

**non occorre armatura trasversale resistente a taglio.**



### ANHANG 3 - INNENSCHALENÜBERPRÜFUNGEN DER NISCHENWÄNDE

In Anhang 3 sind die strukturellen Überprüfungen der Nischenwände aufgezeigt. Die Belastungen sind die des entsprechenden Kapitels dieses Berichts. Kapitel 99.3.

Insbesondere, für einen laufenden Ausbruchquerschnitt der Nische, welche als Träger auf zwei Stützen mit Spannweite 2.75 m schematisiert ist, wird folgendes aufgezeigt:

- Die Überprüfungen auf GZT-Beulspannung ;
- Die Schubüberprüfungen in der GZT-Kombination;
- Die Überprüfung der Betriebsspannungen und die Berechnung der Rissweite;

Die in Folge aufgezeigten Diagramme wurden angesichts folgender Geometrien erhalten:

### APPENDICE 3 - VERIFICA DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI DELLE PARETI DELLE NICCHIE

Nell'Appendice 3 sono riportate le verifiche strutturali delle pareti delle nicchie. Le sollecitazioni sono quelle riportate nel corrispondente paragrafo della presente relazione. Paragrafo 99.3

Nello specifico, per una sezione corrente della nicchia schematizzata come una trave su due appoggi di luce 2.75 m.

- Le verifiche a pressoflessione agli SLU;
- Le verifiche a taglio nella combinazione SLU;
- La verifica delle tensioni in esercizio e il calcolo dell'ampiezza delle fessure;

I grafici di seguito riportati sono stati ottenuti considerando le seguenti geometrie:

	pareti			
	h [m]	A <sub>Intrad.</sub>	A <sub>estrad.</sub>	A <sub>taglio</sub>
<b>49/2</b>	0.35	φ12/15cm	φ12/15cm	-
<b>51/2</b>	0.35	φ12/15cm	φ12/15cm	-

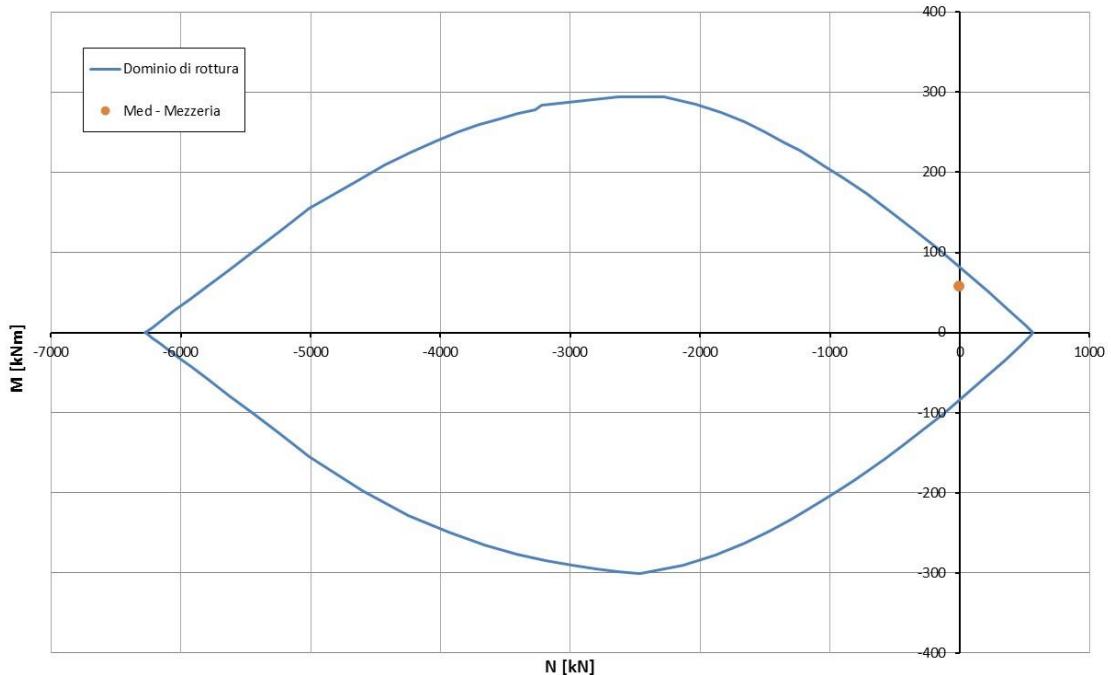


Abbildung 20: C-E-N- (BP 49/2) - Überprüfung auf Beulspannung (GZT)

Illustrazione 20: C-E-N- (BP 49/2) - Verifica a pressoflessione (SLU)

<b>STRESS CHARACTERISTICS SLS</b>			<b>parete nicchia</b>
Design value of Axial Force	<b>N<sub>Sd</sub></b>	[kN]	0
Design value of Bending Moment	<b>M<sub>Sd</sub></b>	[kNm]	42
Design value of Shear Force	<b>T<sub>Sd</sub></b>	[kN]	0.00
<b>STRESS LIMITATION SERVICEABILITY LIMIT STATE</b>			<b>parete nicchia</b>
Overall depth of the cross section	<b>h</b>	[mm]	350
Minimum width of the cross section in the tensile area	<b>b<sub>w</sub></b>	[mm]	1000
Effective depth of the cross section	<b>d</b>	[mm]	281.0
Neutral axis depth	<b>x</b>	[mm]	68.3
Maximum concrete stress (- = compression)	<b>σ<sub>c</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	-4.77
Minimum concrete stress (- = compression)	<b>σ<sub>c1</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	0.00
Maximum steel stress (+ = tension)	<b>σ<sub>s</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	205.30
Minimum steel stress (+ = tension)	<b>σ<sub>s1</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	0.00
Concrete limit stress	<b>σ<sub>c,lim</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	-18.43
Steel limit stress	<b>σ<sub>s,lim</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	360.00
<b>VERIFICATION RESULT</b>			<b>OK</b>
<b>STRESS LIMITATION SERVICEABILITY LIMIT STATE</b>			<b>parete nicchia</b>
Characteristic compressive cylinder strength of concrete at 28 days	<b>f<sub>ck</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	30.71
Mean value of axial tensile strength of concrete (=0.3f <sub>ck</sub> <sup>2/3</sup> per C≤C50/60)	<b>f<sub>ctm</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	2.942
Characteristic axial tensile strength of concrete (=0.7f <sub>ctm</sub> )	<b>f<sub>ctk</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	2.059
Partial factor of concrete	<b>γ<sub>c</sub></b>	[-]	1.000
Design tensile resistance of concrete	<b>f<sub>ctd</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	2.059
Main value of tensile strength of the concrete in the effective tension area (f <sub>ctm</sub> )	<b>f<sub>ct,eff</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	2.942
Elastic modulus of reinforcing steel	<b>E<sub>s</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	210000
Secant elastic modulus of concrete	<b>E<sub>cm</sub></b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	32000
= E <sub>s</sub> /E <sub>cm</sub>	<b>α<sub>e</sub></b>	[-]	6.56
Factor depending on the duration of the load (0.60: short term - 0.40: long term)	<b>k<sub>t</sub></b>	[-]	0.40
Effective tension area of concrete	<b>A<sub>c,eff</sub></b>	[mm <sup>2</sup> ]	93900
Number of rebar in tension area	<b>n<sub>l</sub></b>	[-]	6.7
Rebar main diameter	<b>φ<sub>l</sub></b>	[mm]	12
Cross section area of reinforcement in A <sub>c,eff</sub>	<b>A<sub>s1</sub></b>	[mm <sup>2</sup> ]	754
= A <sub>s</sub> /A <sub>c,eff</sub>	<b>ρ<sub>p,eff</sub></b>	[-]	0.0080
Main strain	<b>ε<sub>sm</sub>-ε<sub>cm</sub></b>	‰	0.587
Rebar cover	<b>c</b>	[mm]	60
Rebar spacing	<b>s</b>	[mm]	150
Bond factor (0.80: high bond bars - 1.60: plain bars)	<b>k<sub>1</sub></b>	[-]	0.80
Factor which takes account of the distribution of strain (0.50 bending - 1.00 tension)	<b>k<sub>2</sub></b>	[-]	0.50
Coefficient for S <sub>r,max</sub>	<b>k<sub>3</sub></b>	[-]	3.40
Coefficient for S <sub>r,max</sub>	<b>k<sub>4</sub></b>	[-]	0.425
Maximum crack spacing	<b>S<sub>r,max</sub></b>	[mm]	458.06
Crack width	<b>w<sub>k</sub></b>	[mm]	0.269
Crack width limit	<b>w<sub>lim</sub></b>	[mm]	0.300
<b>VERIFICATION RESULT</b>			<b>OK</b>

Abbildung 21: C-E-N- (BP 49/2) - Spannungsüberprüfung (GZG)

Illustrazione 21: C-E-N (BP 49/2) - Verifica tensionali (SLE)

## VERIFICHE A TAGLIO SECONDO D.M. 14/01/2008 (§ 4.1.2.1.3)

### **Caratteristiche dei materiali:**

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

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

Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente		$V_{Ed}$	=	<b>76.20</b> kN
Valore di calcolo della forza assiale associata a $V_{Ed}$		$N(V_{Ed})$	=	<b>0.00</b> kN
Valore di calcolo del momento flettente associato a $V_{Ed}$		$M(V_{Ed})$	=	<b>0.00</b> kNm

### **Caratteristiche geometriche della sezione:**

Altezza utile della sezione		$d$	=	<b>350</b> mm
Larghezza minima della sezione		$b_w$	=	<b>1000</b> mm

### **Armatura della sezione in zona tesa:**

Diametro ferri longitudinali		$\varnothing$	=	<b>12</b> mm
Numero tondini longitudinali utilizzati		$n$	=	<b>6.7</b> --
Area totale di armatura longitudinale in zona tesa		$A_{sl}$	=	757 mm <sup>2</sup>
Rapporto geometrico dell'armatura longitudinale ( $\leq 0.02$ )		$\rho_l$	=	0.0022 --

## VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO (§ 4.1.2.1.3.1)

Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione ( $\leq 2$ )		$k$	=	1.76 --
Tensione dipendente dal fattore k e dalla resistenza del cls		$v_{min}$	=	0.45 N/mm <sup>2</sup>
Tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0.2 \times f_{cd}$ )		$\sigma_{cp}$	=	0.00 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza ultima a taglio minima		$V_{Rd,min}$	=	157.96 kN
<b>Resistenza ultima a taglio (<math>V_{Rd} \geq V_{Rd,min}</math>)</b>		$V_{Rd}$	=	<b>157.96 kN</b>

### **VERIFICA SODDISFATTA:**

**non occorre armatura trasversale resistente a taglio.**

## ANHANG 4 - KENNLINIEN

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

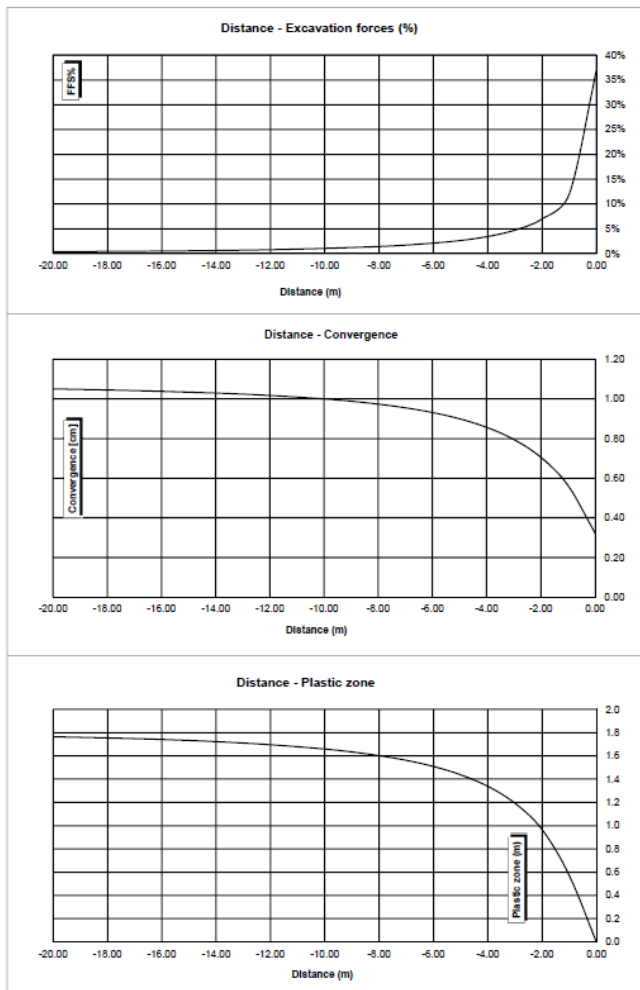


Abbildung 23: BP 47/1 - Zone 14 (BCA-GS-10g) - Klasse III

## APPENDICE 4 - 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

1 - LC GSI = 50, H = 590m, C0 = 72.5MPa, mi = 15.5, Ei = 50550GPa

INPUT DATA		RESULTS	
Weight [N/m <sup>3</sup> ]	27300	<b>At final equilibrium</b>	
Overburden [m]	590	Total convergence [cm]	1.1
Excavation radius [m]	3.80	Convergence after excavation [cm]	0.8
Peak internal friction angle [°]	41.63	Plastic zone thickness [m]	1.8
Post peak internal friction angle [°]	33.90	<b>Equilibrium at excavation face</b>	
Peak cohesion [Pa]	2314935	Convergence [cm]	0.3
Post peak cohesion [Pa]	1465131	1 - (deconfinement ratio) [%]	36.9%
Deformation modulus [Pa]	1.55E+10		
Poisson's ratio [-]	0.3		
Dilation angle [°]	5.20		

c(face) / Radius	0.09 [%]
c(total) / Radius	0.28 [%]
c(after excav.) / Radius	0.20 [%]
Pl.thick. (face)/Radius	0.0 [%]
Pl.thick. (total)/Radius	48.0 [%]

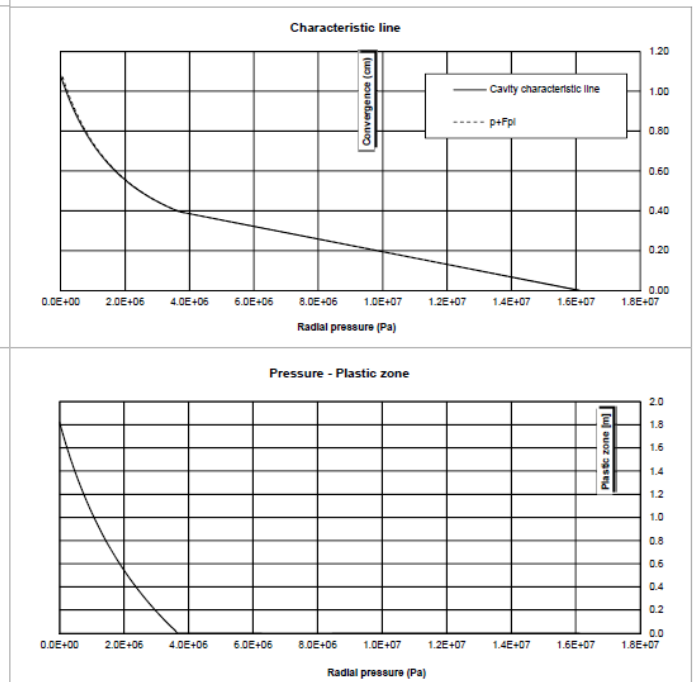
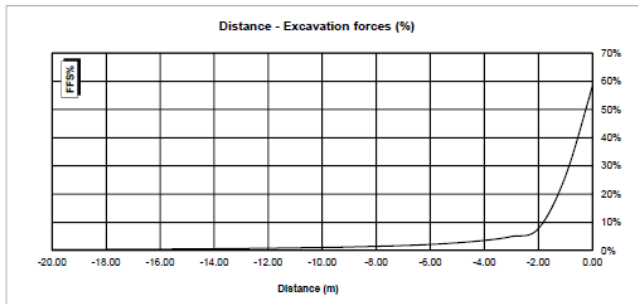


Illustrazione 23: BP 47/1 - Zona 14 (BCA-GS-10g) - Classe III



2 - LC GSI = 73, H = 880m, C0 = 105.5MPa, mi = 22, Ei = 30950GPa

INPUT DATA		RESULTS	
Weight [N/m <sup>3</sup> ]	26700	At final equilibrium	
Overburden [m]	880	Total convergence [cm]	0.8
Excavation radius [m]	4.80	Convergence after excavation [cm]	0.6
Peak internal friction angle [°]	50.72	Plastic zone thickness [m]	0.7
Post peak internal friction angle [°]	37.61	Equilibrium at excavation face	
Peak cohesion [Pa]	5671985	Convergence [cm]	0.3
Post peak cohesion [Pa]	2515007	1 - (deconfinement ratio) [%]	58.0%
Deformation modulus [Pa]	2.43E+10		
Poisson's ratio [-]	0.3		
Dilation angle [°]	12.68		

c(face) / Radius	0.05 [%]
c(total) / Radius	0.18 [%]
c(after excav.) / Radius	0.12 [%]
Pl.thick. (face)/Radius	0.0 [%]
Pl.thick. (total)/Radius	14.5 [%]

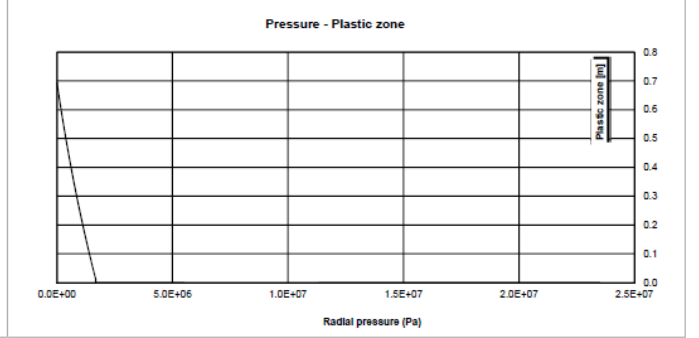
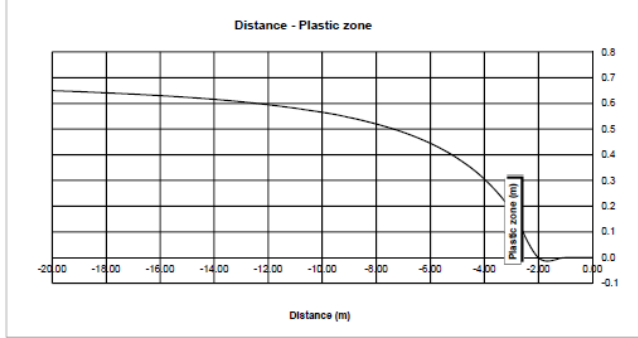
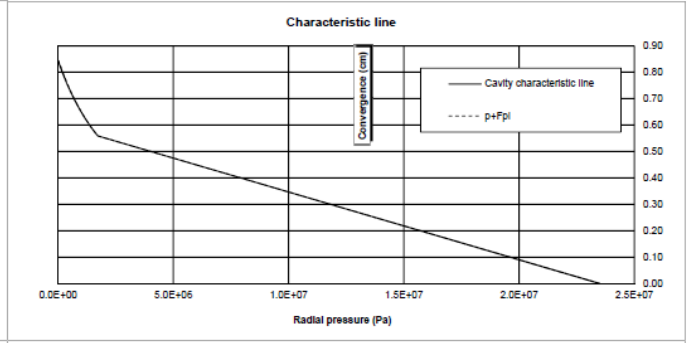
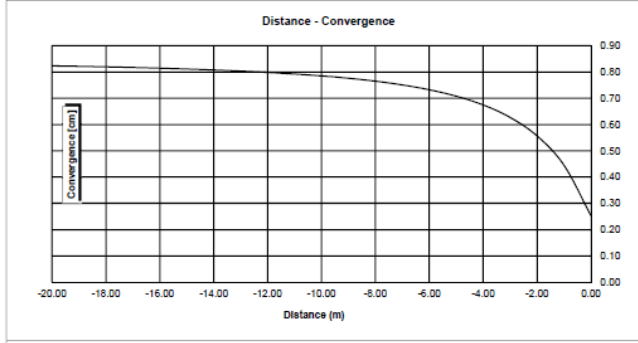
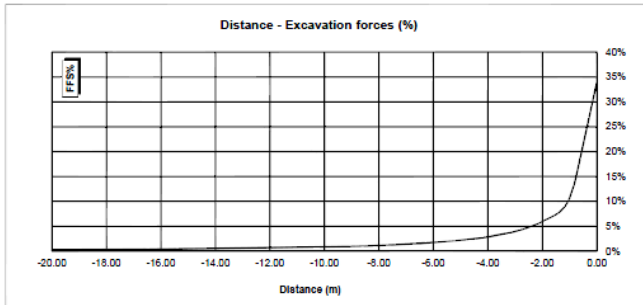


Abbildung 24: BP48/3 - Zone 24 (GB-G-GA9) - Klasse II

Illustrazione 24: BP 48/3 - Zona 24 (GB-G-GA9) - Classe III



5 - LC GSI = 45, H = 1270m, C0 = 105.5MPa, mi = 22, Ei = 30950GPa

INPUT DATA		RESULTS	
Weight [N/mc]	26700	At final equilibrium	
Overburden [m]	1270	Total convergence [cm]	4.4
Excavation radius [m]	3.15	Convergence after excavation [cm]	3.1
		Plastic zone thickness [m]	1.7
Peak internal friction angle [°]	40.23	Equilibrium at excavation face	
Post peak internal friction angle [°]	33.88	Convergence [cm]	1.3
Peak cohesion [Pa]	4349676	1 - (deconfinement ratio) [%]	34.0%
Post peak cohesion [Pa]	3002626		
Deformation modulus [Pa]	6.92E+09		
Poisson's ratio [-]	0.3		
Dilation angle [°]	5.03		

c(face) / Radius	0.42 [%]
c(total) / Radius	1.40 [%]
c(after excav.) / Radius	0.98 [%]
Pl.thick. (face)/Radius	0.0 [%]
Pl.thick. (total)/Radius	53.5 [%]

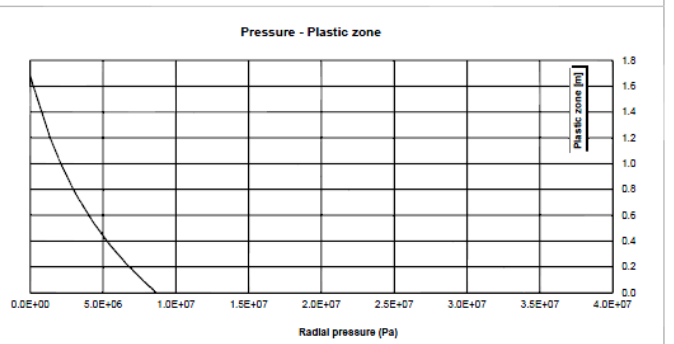
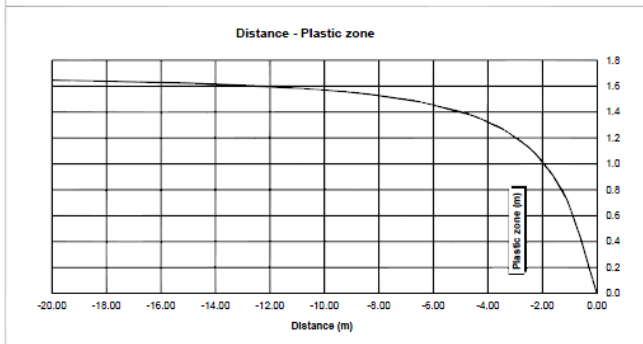
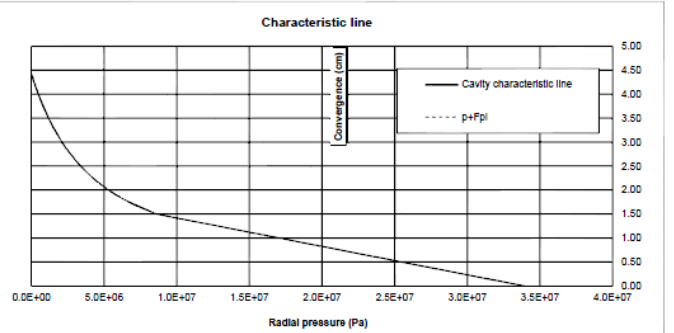
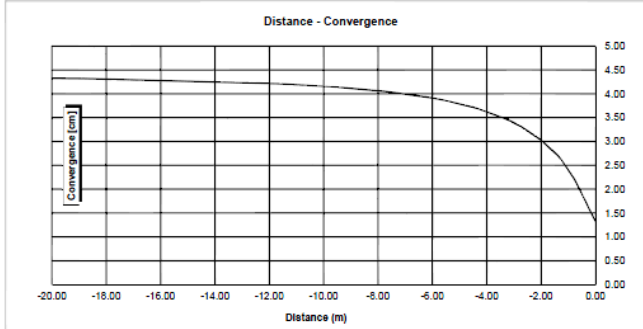
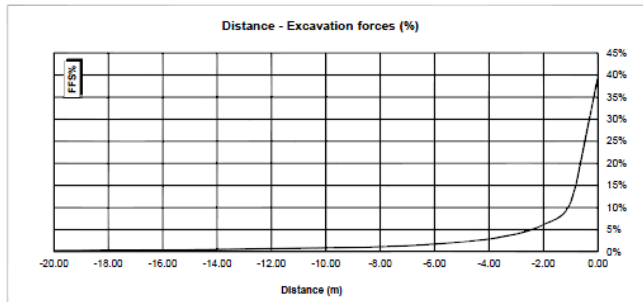


Abbildung 25: BP 49/2 - Zone 26 (GB-G-GA1) - Klasse III

Illustrazione 25: BP 49/2 - Zona 26 (GB-G-GA9) - Classe III



8 - LC GSI = 46, H = 1250m, C0 = 117.5MPa, mi = 22, Ei = 26450GPa

INPUT DATA		RESULTS	
Weight [N/m <sup>3</sup> ]	26700	At final equilibrium	
Overburden [m]	1250	Total convergence [cm]	4.4
Excavation radius [m]	3.15	Convergence after excavation [cm]	3.1
		Plastic zone thickness [m]	1.5
Peak internal friction angle [°]	41.50	Equilibrium at excavation face	
Post peak internal friction angle [°]	34.88	Convergence [cm]	1.3
Peak cohesion [Pa]	4544433	1 - (deconfinement ratio) [%]	39.4%
Post peak cohesion [Pa]	3099596		
Deformation modulus [Pa]	6.32E+09		
Poisson's ratio [-]	0.3		
Dilation angle [°]	5.19		

c(face) / Radius	0.42 [%]
c(total) / Radius	1.39 [%]
c(after excav.) / Radius	0.97 [%]
Pl.thick. (face) / Radius	0.0 [%]
Pl.thick. (total) / Radius	46.4 [%]

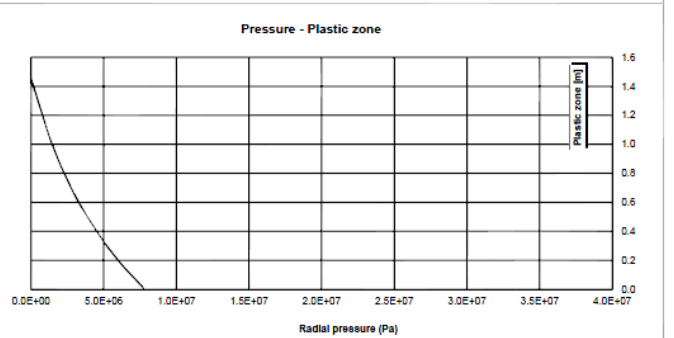
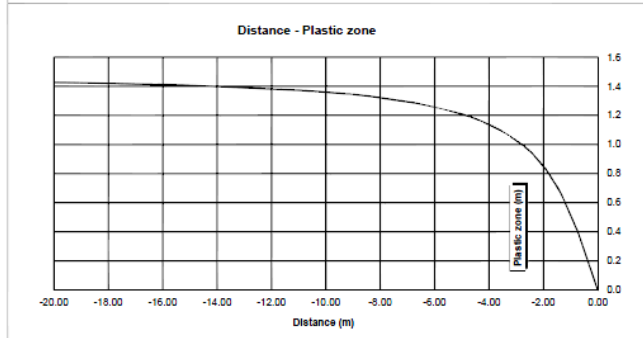
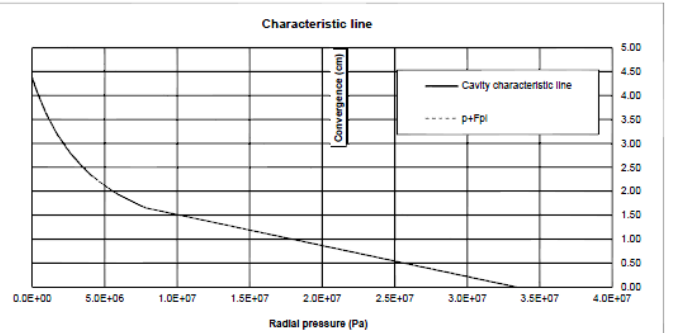
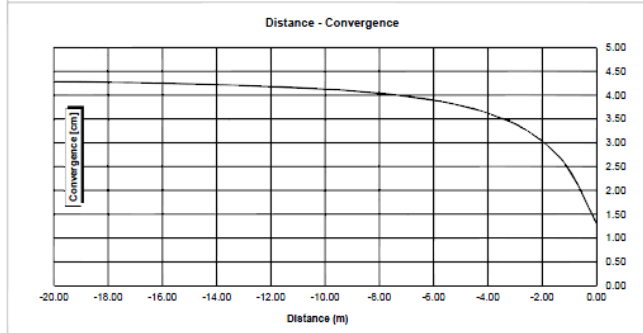


Abbildung 26: BP 51/2 - Zone 26 (GB-G-GA3) - Klasse III

Illustrazione 26: BP 51/2 - Zona 26 (GB-G-GA3) - Classe III