






S.S. 38 - LOTTO 4: VARIANTE DI TIRANO DALLO SVINCOLO DI STAZZONA (COMPRESO) ALLO SVINCOLO DI LORETO (CON COLLEGAMENTO ALLA DOGANA DI POSCHIAVO)

**S.S. 38 - LOTTO 4: NODO DI TIRANO -
TRATTA "A" (SVINCOLO DI BIANZONE - SVINCOLO LA GANDA)
E TRATTA "B" (SVINCOLO LA GANDA - CAMPONE IN TIRANO),
AI SENSI DEL PROTOCOLLO D'INTESA DEL 05/11/2007**

PROGETTO ESECUTIVO

 <p>STUDIO CORONA</p>	 <p>ING. RENATO DEL PRETE</p>	<p>ING. RENATO DEL PRETE</p>	 <p>Arch. Nicoletta Frattini</p>	 <p>Ing. Gabriele Incecchi</p>
	<p>Ing. Renato Vaira (Ordine degli Ingg. di Torino e Provincia n° 4663 W)</p>	 <p>Prof. Ing. Matteo Ranieri</p>	<p>SETAC Srl Servizi & Engineering Trasporti Ambiente Costruzioni</p> <p>Prof. Ing. Luigi Monterisi</p>	<p>ARKE' INGENGERIA s.r.l.</p> <p>Ing. Gioacchino Angarano</p>

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE	GEOLOGO	IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE
Dott. Ing. Giancarlo LUONGO	 <p>Ing. Valerio BAJETTI</p>	 <p>Dott. Geol. Francesco AMANTIA SCUDERI</p>	 <p>Ing. Gaetano RANIERI</p>

HC05	OPERE D'ARTE MAGGIORI - GALLERIE NATURALI		
	GN01 - GALLERIA NATURALE IL DOSSO Sezioni tipo GD - PS - Relazione di calcolo		

CODICE PROGETTO	NOME FILE	REVISIONE	SCALA:																											
PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.	HC05_P01GN01OSTRE05_A.dwg																													
<table border="1"> <tr> <td>M</td><td>I</td><td>3</td><td>2</td><td>4</td> </tr> </table>	M	I	3	2	4	<table border="1"> <tr> <td>E</td> </tr> </table>	E	<table border="1"> <tr> <td>1</td><td>8</td><td>0</td><td>1</td> </tr> </table>	1	8	0	1	<table border="1"> <tr> <td>P</td><td>0</td><td>1</td><td>G</td><td>N</td><td>0</td><td>1</td><td>O</td><td>S</td><td>T</td><td>R</td><td>E</td><td>0</td><td>5</td> </tr> </table>	P	0	1	G	N	0	1	O	S	T	R	E	0	5	<table border="1"> <tr> <td>A</td> </tr> </table>	A	
M	I	3	2	4																										
E																														
1	8	0	1																											
P	0	1	G	N	0	1	O	S	T	R	E	0	5																	
A																														

C					
B					
A	EMISSIONE	FEBBRAIO 2019	ING. G. SODERO	PROF. ING. VITTORIO RANIERI	ING. VALERIO BAJETTI
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

SOMMARIO

1	PREMESSA	3
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1	Normative raccomandazioni linee guida	5
2.2	Bibliografia	5
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	7
3.1	Caratteristiche del calcestruzzo al fine della durabilita'	9
3.2	Verifiche allo stato limite di apertura delle fessure.....	10
3.3	Copriferro	10
4	FASE CONOSCITIVA.....	11
4.1	Inquadramento geologico e idrologico	11
4.2	Parametri geotecnici di progetto	11
4.2.1	Caratterizzazione dell'ammasso roccioso	11
5	ANALISI DEL COMPORTAMENTO DEFORMATIVO ALLO SCAVO (FASE DI DIAGNOSI). 13	
5.1	Classi di comportamento del fronte di scavo	13
5.2	Metodi per la determinazione delle classi di comportamento	14
5.2.1	Metodo delle linee caratteristiche.....	14
5.2.2	Metodi semi-empirici-Criterio di Panet	15
5.2.3	Metodi semiempirici-Criterio di Tamez	17
5.3	Determinazione delle categorie di comportamento dello scavo.....	18
5.3.1	Analisi con il metodo delle linee caratteristiche.....	19
5.3.2	Analisi della stabilit� del cavo con il Criterio di Panet	21
5.3.3	Analisi della stabilit� del fronte con il Criterio di Tamez senza interventi di stabilizzazione del fronte.....	22
5.3.4	Commento alle analisi	22
6	DEFINIZIONE DELLE SEZIONI DI AVANZAMENTO (FASE DI TERAPIA).....	23
6.1	Sezione tipo GD-PS-A1 PIAZZOLA DI SOSTA	23
6.2	Sezione tipo GD-PS-B PIAZZOLA DI SOSTA	24
7	MODELLAZIONE STRUTTURALE.....	26
7.1	Modello di calcolo per le analisi al continuo equivalente	26
7.2	Valutazione del deconfinamento.....	29
7.3	Valutazione degli interventi di consolidamento al contorno	29
7.4	Verifica del priverstimento.....	29
7.5	Verifica dei rivestimenti definitivi	31
8	VERIFICA DELLA SEZIONE DI SCAVO GD-PS A1	33
8.1	Fase 3 – Verifiche tensionali sullo spritz beton.....	34
8.2	Fase 4 – Verifiche tensionali sullo spritz beton e sui bulloni.....	35
8.3	Fase 5 – Verifiche tensionali sullo spritz beton, sui bulloni e sull'arco rovescio	39
8.4	Fase 6 – Verifiche tensionali arco rovescio e calotta.....	47
8.5	Fase 7 – Verifiche tensionali arco rovescio e calotta.....	53
8.6	Fase 8 a lungo termine - Metodo delle reazioni iperstatiche - Verifiche tensionali arco rovescio e calotta	59
9	VERIFICA DELLA SEZIONE DI SCAVO GD-PS B	73
9.1	Fase 3 – Veriche tensionali sulle centine.....	74

9.2	Fase 4 – Verifiche tensionali sul pririvestimento.....	76
9.3	Fase 5 – Verifiche tensionali sul pririvestimento e arco rovescio	78
9.4	Fase 6 – Verifiche tensionali arco rovescio e calotta.....	83
9.5	Fase 7 – Verifiche tensionali arco rovescio e calotta.....	89
9.6	Fase 8 a lungo termine – Metodo delle reazioni iperstatiche – Verifiche tensionali arco rovescio e calotta	96
10	SEZIONE TIPO GD-PS-A1 – TENSIONI E DEFORMATE SUI RIVESTIMENTI PROVVISORI E DEFINITIVI	113
11	SEZIONE TIPO GD-PS-B – TENSIONI E DEFORMATE SUI RIVESTIMENTI PROVVISORI E DEFINITIVI.....	125

1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del Progetto esecutivo della S.S. 38 Lotto 4 Nodo di Tirano Tratta A (Svincolo di Bianzone-Svincolo La Ganda) e Tratta B (Svincolo La Ganda-Campone in Tirano).

La Galleria stradale Il Dosso è ubicata a SE del Comune di Tirano al piede del versante orografico sinistro del Fiume Adda ed è compresa fra le progressive km 5+055.00 (inizio portale lato Sondrio) e km 6+170.26 (inizio portale lato Bormio).

Lo sviluppo longitudinale dell'opera (SW-NE), parallelo alla direzione della valle, è complessivamente di circa 1115.26 m (comprensivo delle tratte in artificiale).

Il tracciato in galleria presenta coperture massime, riferite in chiave di calotta, pari a circa 91.50 m. La sezione stradale prevista è ad un'unica carreggiata (due corsie di marcia) e corrisponde ad una sezione tipo C1 secondo il D.M. del 05/11/2001.

La larghezza della piattaforma pavimentata è pari a 10.50 m complessivi ed è costituita da due corsie da 3.75 m, da due banchine di 1.50 m, per entrambi i lati è presente un ridirettivo distanziato dalla struttura con funzione di passacavi.

Come richiesto dalla normativa vigente, in presenza della massima pendenza trasversale sono confermati i franchi minimi pari a 4.80 m a margine banchina e 5.00 m a margine carreggiata.

La carpenteria della sagoma interna della galleria presenta un raggio interno in calotta pari a 6.45 m, mentre è stato introdotto un raggio interno dell'arco rovescio pari a 9.46 m molto ridotto tale da portare inserire al di sopra dell'arco rovescio un cunicolo pedonale di emergenza.

La galleria risulta composta da un tratto in naturale, da due tratti in artificiale e da portali di imbocco a becco di flauto.

La galleria naturale viene realizzata fra le progressive km 5+140.00 e km 6+118.26 per una lunghezza complessiva di scavo pari a 978.26 m.

La galleria Il Dosso, tenuto conto delle tratte in artificiale e naturale, consta pertanto di uno sviluppo complessivo di 1115.26 m.

Il suo tracciato si trova, prevalentemente, all'interno di formazioni metamorfiche costituite da gneiss e micascisti, a tetto delle quali si trova un esteso terrazzo morfologico ricoperto da depositi morenici. In corrispondenza dei due tratti iniziali dopo entrambi gli imbocchi è previsto lo scavo all'interno dei depositi morenici, prima di raggiungere il substrato roccioso metamorfico.

La galleria presenta al di sotto del piano stradale un cunicolo pedonale di fuga finalizzato alla sicurezza in casi di emergenza.

Sono previste tre piazzole di emergenza alle seguenti progressive:

- Piazzola di emergenza 1 in sinistra tra Pk 5286.17 e Pk 5338.54 (Sezione tipo GD-PS B);
- Piazzola di emergenza 2 in destra tra Pk 5586.60 e Pk 5638.33 (Sezione tipo GD-PS A1);
- Piazzola di emergenza 3 in sinistra tra Pk 5891.20 e Pk 5943.58 (Sezione tipo GD-PS A1).

All'interno della piazzola di emergenza sono inserite le scale che permettono di raggiungere il cunicolo pedonale posizionato al di sopra dell'arco rovescio.

Facendo riferimento alle problematiche evidenziate nella relazione geomeccanica e nella relazione di predimensionamento e applicazione delle linee guida delle sezioni tipo, vengono di seguito presentate le verifiche strutturali delle seguenti singole tipologie di classi di scavo:

- Sezione di scavo tipo GD-PS A1;
- Sezione di scavo tipo GD-PS B.

La metodologia di lavoro si è sviluppata secondo l'approccio del metodo ADECO-RS, con i seguenti steps progettuali:

- a) **Fase conoscitiva:** in tale fase si sono raccolte le informazioni geologiche e geotecniche sull'area in esame e sono stati definiti i parametri geotecnici di progetto;
- b) **Fase di diagnosi:** è stato valutato il comportamento allo scavo nei terreni attraversati;
- c) **Fase di terapia:** si sono individuati gli interventi idonei per realizzare l'opera in condizioni di sicurezza.

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 NORMATIVE RACCOMANDAZIONI LINEE GUIDA

1. DM 17/01/2018. Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni
2. Circolare 21/01/2019 n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'“Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al DM 17/01/2018
3. Decreto Ministeriale LL.PP. 09/01/1996 – Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche.
4. Decreto Ministeriale LL.PP. 16/01/1996 – Criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi.
5. Circolare 15/10/1996 Ministero LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche di cui al decreto ministeriale 09/01/1996.
6. Circolare 04/07/1996 Ministero LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche di cui al decreto ministeriale 16/01/1996.
7. Decreto Ministeriale LL.PP. 11/03/1988 – Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
8. Circolare LL.PP. 24/09/1988 n.30483 – L.2.2.1974, n.64 - art.1 – Istruzioni per l'applicazione del D.M. 11/03/1988.
9. Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003: “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e successive modifiche e integrazioni.
10. A.F.T.E.S. Groupe de Travail n. 7 – Tunnel support and lining. – “Recommendations for use of convergence – confinement method”.
11. Raccomandazioni AICAP 1993 “Ancoraggi nei terreni e nelle rocce”.

2.2 BIBLIOGRAFIA

12. LOMBARDI G., AMBERG W.A. (1974): “Une méthode de calcul élasto-plastique de l'état de tension et de déformation autour d'une cavité souterraine”. Congresso Internazionale ISRM, Denver, 1974.
13. BIENIAWSKI Z.T. (1989): “Engineering rock mass classifications”. J. Wiley & Sons.
14. PANET M., GUENOT A. (1982): “Analysis of convergence behind the face of a tunnel”. Tunnel-ing '82, Brighton, 197-204.
15. PANET M. (1995): “Calcul des tunnels par la methode convergence-confinement”. Presses de l'ecole national des Ponts et Chaussees, Paris.
16. A.F.T.E.S. (1993): Tunnel et ouvrages souterrains – Supplement n°117.
17. HOEK E., BROWN E.T. (1982): “Underground excavation in rock”. Institution of Mining and Metallurgy, London.
18. HOEK E., CARRANZA-TORRES C., CORKUM B. (2002): “Hoek-Brown failure criterion” – 2002 Edition.
19. HOEK E. (2004): “Numerical Modelling for Shallow Tunnels in Weak Rock”. Rocscience, April 2004.

20. LUNARDI P. (2000): "The design and construction of tunnels using the approach based on the analysis of controlled deformation in rocks and soils". Tunnels & Tunnelling International, May.
21. PECK R.B. (1969): "Deep excavations and tunnelling in soft ground". Proc. 7th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Mexico city, 225-290.
22. MAIR R.J., TAYLOR R.N., BURLAND J.B. (1996): "Prediction of Ground Movements and Assessment of Risk of Building Damage due to Bored Tunnelling". Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, London.
23. CORNEJO L. (1989): "Instability at the face: its repercussion for tunnelling technology". Tunnels & Tunnelling, April.
24. ORESTE P.P. (1999) "Aspetti notevoli dell'analisi e dimensionamento dei sostegni di gallerie at-traverso i metodi di calcolo numerici". Gallerie e Grandi Opere Sotterranee, Nr. 57, 1999, 39-50.
25. LANCELLOTTA R. (1991): "Geotecnica" – Edizioni Zanichelli.

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Le verifiche strutturali vengono svolte secondo il metodo degli stati limite facendo riferimento alle tensioni di progetto di seguito riportate.

Calcestruzzo rivestimento definitivo e arco rovescio:

- Calcestruzzo:	C25/30
- resistenza caratteristica cubica di calcolo:	$R_{ck} > 30 \text{ MPa}$
- resistenza caratteristica cilindrica a 28gg:	$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$
- modulo di elasticità:	$E_{ck} = 31475.8 \text{ MPa}$
- coefficiente di Poisson:	$\nu = 0.20$
- rapporto E_s/E_c per calcolo tensioni in esercizio:	$E_a/E_c = 15$
- rapporto E_s/E_c per calcolo ampiezza fessure:	$E_a/E_c = 7$
- Resistenza di calcolo a compressione calcestruzzo	$f_{cd} = \alpha_{acc} \times f_{ck}/\gamma_c$
con:	$\gamma_c = 1.5 \text{ per SLU}$
	$\gamma_c = 1.0 \text{ per SLE}$
	$\alpha_{acc} = 0.85$

Stati limite:

- resistenza caratteristica di calcolo SLU:	$f_{cd} = \alpha_{acc} \times f_{ck}/\gamma_c = 14.17 \text{ MPa}$
- resistenza caratteristica di calcolo SLE:	$f_{cd} = \alpha_{acc} \times f_{ck}/\gamma_c = 21.25 \text{ MPa}$
con limiti di compressione nel cls pari a:	$\sigma_c \leq 0.60 \times f_{ck} = 15.00 \text{ MPa}$
	per comb. Rara
	$\sigma_c \leq 0.45 \times f_{ck} = 11.25 \text{ MPa}$
	per comb. Quasi Perm.
- resistenza a trazione di calcolo allo SLU:	$f_{ctd} = 1.20 \text{ MPa}$
- resistenza a trazione di calcolo allo SLE:	$f_{ctd} = 1.79 \text{ MPa}$
- resistenza a trazione per flessione di calcolo allo SLU:	$f_{ctfd} = 1.44 \text{ MPa}$
- resistenza a trazione per flessione di calcolo allo SLE:	$f_{ctfd} = 2.15 \text{ MPa}$

Acciaio per armature:

- Barre in acciaio tipo B450C ad aderenza migliorata, controllato in stabilimento:	
- tensione caratteristica di rottura:	$f_{tk} = 540 \text{ MPa}$
- tensione caratteristica di snervamento:	$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$
- rapporto tensione di rottura/ tensione di snervamento:	$1.15 < f_{tk}/f_{yk} < 1.35$
- modulo di elasticità:	$E = 210000 \text{ MPa}$
- coefficiente di Poisson	$\nu = 0.30$
- Resistenza di calcolo acciaio	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$
con:	$\gamma_s = 1.15 \text{ per SLU}$
	$\gamma_s = 1.0 \text{ per SLE}$

Stati limite:

- resistenza caratteristica di calcolo SLU:	$f_{yd} = 391.30 \text{ MPa}$
- resistenza caratteristica di calcolo SLE:	$f_{yd} = 450.00 \text{ MPa}$
con limiti di compressione pari a:	$\sigma_s \leq 0.80 \times f_{yk} = 360.00 \text{ MPa}$

Spritz-beton fibrorinforzato:

- Calcestruzzo:	C28/35
- resistenza caratteristica cubica di calcolo:	$R_{ck} > 35 \text{ MPa}$
- resistenza caratteristica cilindrica a 28gg:	$f_{ck} = 28 \text{ MPa}$
- modulo di elasticità (a 28gg):	$E_{ck} = 32308.3 \text{ MPa}$
- coefficiente di Poisson:	$\nu = 0.20$
- quantità fibre di acciaio:	30 kg/m^3
- fibre metalliche a basso tenore di carbonio:	$f_{tk} > 700 \text{ MPa}$
- Resistenza di calcolo a compressione calcestruzzo	$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c$
con:	$\gamma_c = 1.5 \text{ per SLU}$
Stati limite:	
- resistenza caratteristica di calcolo SLU:	$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 18.67 \text{ MPa}$
- resistenza a trazione di calcolo allo SLU:	$f_{ctd} = 0$

Acciaio da carpenteria per centine metalliche:

- Profilati in acciaio S 275 (Fe430):	
- tensione caratteristica di rottura:	$f_{tk} = 430 \text{ MPa}$
- tensione caratteristica di snervamento:	$f_{yk} = 275 \text{ MPa}$
- modulo elastico	$E = 210000 \text{ MPa}$
- coefficiente di Poisson	$\nu = 0.30$
- Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$
con:	$\gamma_s = 1.05 \text{ per SLU}$
Stati limite:	
- resistenza caratteristica di calcolo SLU:	$f_{yd} = 261.90 \text{ MPa}$

Acciaio da carpenteria per infilaggi metallici:

- Profilati in acciaio S 355 H (Fe510):	
- tensione caratteristica di rottura:	$f_{tk} = 510 \text{ MPa}$
- tensione caratteristica di snervamento:	$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$
- modulo elastico	$E = 210000 \text{ MPa}$
- coefficiente di Poisson	$\nu = 0.30$
- Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$
con:	$\gamma_s = 1.05 \text{ per SLU}$
Stati limite:	
- resistenza caratteristica di calcolo SLU:	$f_{yd} = 338.10 \text{ MPa}$

Bulloni ad aderenza continua per espansione meccanica del profilato tipo Swellex Mn24:

- Tipo di acciaio:	EN10 025-S355JR
- Modulo di elasticità:	$E = 210000 \text{ MPa}$
- Diametro profilo:	$D_p = 36 \text{ mm}$
- Diametro profilo espanso:	$D_e = 54 \text{ mm}$
- Diametro perforazione raccomandato:	$D_{pr} = 43-52 \text{ mm}$
- Diametro perforazione ottimale:	$D_{po} = 45-51 \text{ mm}$
- Sezione resistente:	$A_s = 480.66 \text{ mm}^2$
- Pressione di iniezione:	$p = 30 \text{ MPa}$
- Carico di rottura tipico (profilo espanso):	$F_t = 240 \text{ kN}$
- Carico di rottura minimo (profilo espanso):	$F_t = 200 \text{ kN}$

- Carico di snervamento minimo (profilo espanso): $F_y = 190 \text{ kN}$
- Allungamento minimo (profilo espanso): $A_l = 20\%$
- Resistenza di calcolo $F_{yd} = F_y/\gamma_s$
- con: $\gamma_s = 1.05 \text{ per SLU}$
- Stati limite:
- resistenza caratteristica di calcolo SLU: **$F_{yd} = 180.95 \text{ kN}$**

Tubi in vetroresina 60/40:

- Tubi 60/40 (diametro esterno 60 mm/diametro interno 40 mm)
- Peso specifico $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
- Modulo di elasticità: $E = 30000 \text{ MPa}$
- Resistenza a trazione: $f_{fk} = 750 \text{ MPa}$
- Resistenza al taglio: $f_{tk} = 150 \text{ MPa}$
- Resistenza di calcolo $\eta_{ffd} = \eta_x f_{fk} / \gamma_m$
- con: $\gamma_m = 1.5 \text{ per SLU}$
- $\eta = \eta_x \eta_l$
- $\eta_x = 1.0 \text{ (opera provvisoria)}$
- $\eta_l = 1.0 \text{ per SLU}$
- Stati limite:
- resistenza caratteristica a trazione di calcolo SLU: **$f_{fd} = 500.00 \text{ MPa}$**
- resistenza caratteristica a taglio di calcolo SLU: **$f_{td} = 100.00 \text{ MPa}$**

Tiranti-ancoraggi autoperforanti tipo R38N:

- Tiranti-ancoraggi autoperforanti in acciaio tipo R38N:
- Diametro esterno: $D_e = 38 \text{ mm}$
- Diametro interno: $D_i = 19 \text{ mm}$
- Sezione resistente: $A_s = 800 \text{ mm}^2$
- Carico di rottura: $F_t = 500 \text{ kN}$
- Carico di snervamento: $F_y = 400 \text{ kN}$
- Resistenza di calcolo $F_{yd} = F_y/\gamma_s$
- con: $\gamma_s = 1.05 \text{ per SLU}$
- Stati limite:
- resistenza caratteristica di calcolo SLU: **$F_{yd} = 380.95 \text{ kN}$**

3.1 CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO AL FINE DELLA DURABILITA'

Al fine di valutare le caratteristiche vincolanti delle miscele di calcestruzzo nei confronti della durabilità viene fatto riferimento alla norma EN 206-1 ed alla norma UNI 11104.

Di seguito viene riportata la classe di esposizione che risulta vincolante ai fini delle caratteristiche della miscela. Inoltre, sono riportati la classe di resistenza, la dimensione massima degli aggregati, la classe di consistenza ed il copriferro minimo delle armature, tenuto anche conto della Vita Nominale dell'opera $V_N = 100 \text{ anni}$:

Calcestruzzo fondazioni e elevazioni:

Classe di esposizione XC2 per le parti a contatto con il terreno e XC3 per le restanti parti

Classe di resistenza caratteristica a compressione: C25/30

Dimensione max aggregati: 32 - 25 mm

Classe minima di consistenza: S4

Copriferro minimo: 50 mm

3.2 VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE

Le condizioni ambientali, ai fini della protezione contro la corrosione delle armature, sono suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato dalla Tab. 4.1.III delle NTC2018:

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Per le opere della presente relazione si adotta quanto segue:

Parti di elementi a contatto con il terreno CLASSE DI ESPOSIZIONE XC2

Parti di elementi non a contatto con il terreno CLASSE DI ESPOSIZIONE XC3

Pertanto, nel caso in esame si ha:

Verifiche a fessurazione – condizioni ambientali ordinarie – armatura poco sensibile:

Combinazione di azioni frequente: $w_k \leq w_3 = 0.4 \text{ mm}$

Combinazione di azioni quasi permanente: $w_k \leq w_2 = 0.3 \text{ mm}$

3.3 COPRIFERRO

Ai fini di preservare le armature dai fenomeni di aggressione ambientale, dovrà essere previsto un idoneo copriferro; il suo valore, misurato tra la parete interna del cassero e la generatrice dell'armatura metallica più vicina, individua il cosiddetto "copriferro nominale".

Il copriferro nominale è somma di due contributi, il copriferro minimo e la tolleranza di posizionamento.

Nel caso in oggetto le strutture si trovano tutte in condizioni ordinarie e si hanno i seguenti parametri:

- Classe di esposizione XC2-XC3
- Classe di resistenza caratteristica a compressione: C25/30
- Dimensione max aggregati: 25 mm
- Classe minima di consistenza: S4

Il valore del copriferro minimo è valutato secondo quanto riportato al punto C4.1.6.1.3 della Circolare n.7. Nel caso in esame la classe di esposizione ambientale è ordinaria e si pone, come da tabella C4.1.IV un copriferro minimo pari a 20 mm. La tolleranza di posizionamento è pari a 10 mm. Inoltre, data la vita nominale della struttura pari a 100 anni, come da normativa, deve aggiungersi un copriferro aggiuntivo pari a 10 mm. Si ottiene pertanto un copriferro nominale minimo pari a 40 mm. A favore di sicurezza si assume un copriferro pari a 50 mm.

4 FASE CONOSCITIVA

Nella fase conoscitiva si sono acquisiti gli elementi geologici e geotecnici necessari alla ricostruzione di un profilo geologico di previsione ed alla caratterizzazione dei terreni interessati dagli scavi, in termini di parametri di resistenza e di deformabilità. Tali dati appaiono indispensabili al fine di analizzare gli equilibri naturali preesistenti e la loro evoluzione a seguito dello scavo, operando correttamente nella successiva fase di diagnosi.

Per una descrizione dettagliata delle indagini geotecniche eseguite e delle interpretazioni condotte si rimanda alla Relazione geologica e idrogeologica, alla Relazione di caratterizzazione geotecnica e al Profilo geomeccanico. Nel seguito si riporta un breve inquadramento geologico e, per ciascuna litologia, una sintesi della caratterizzazione geotecnica.

4.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROLOGICO

Il tracciato della galleria naturale interesserà, prevalentemente, le litologie gneissiche appartenenti alla formazione degli Gneiss del Monte Tonale. A partire dall'imbocco naturale lato Sondrio per un tratto di circa 130 m ed a partire dall'imbocco naturale lato Bormio per un tratto di circa 70 m, il tracciato si svilupperà all'interno della formazione delle Morene.

Per quanto riguarda la situazione idrogeologica la copertura della galleria è interessata da due sistemi di circolazione delle acque, il primo acquifero, più superficiale, interessa solo i depositi morenici di copertura, mentre il secondo, più profondo e presente all'interno dell'ammasso roccioso, si manifesta in prossimità di zone altamente fratturate o in presenza di piani di faglia. All'interno della galleria regnerà pertanto una situazione limitata localmente di stillicidi.

Per una ricostruzione dettagliata della litologia lungo il tracciato della galleria si rimanda al Profilo geomeccanico.

4.2 PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

I dati delle prove in situ e di laboratorio, congiuntamente ai rilievi effettuati nel corso delle perforazioni, permettono di distinguere, dal punto di vista applicativo, le seguenti unità geotecniche:

- **Gneiss del Monte Tonale:** formazione costituita da gneiss a grana media a biotite e sillimanite e localmente granatiferi; presentano una scistosità mediamente pervasiva e, al di fuori dalla zone di faglia, sono generalmente compatti con sistemi di giunti prevalentemente chiusi e con superfici poco alterate.
- **Morene:** depositi caotici misti a detrito di versante costituiti da un accumulo caotico di diverse facies granulometriche rappresentate da sabbie, ghiaie e trovanti di dimensioni variabili in matrice limo-sabbiosa.

Si rimanda alla Relazione di caratterizzazione geotecnica per l'esame dettagliato delle proprietà indice e delle caratteristiche meccaniche dei terreni interessati.

4.2.1 Caratterizzazione dell'ammasso roccioso

Da un punto di vista geomeccanico, la qualità degli ammassi rocciosi presenti nell'area interessata dallo scavo in sotterraneo è variabile da una classe III ad una classe V; in particolare la classe V si riferisce ad ammassi intensamente fratturati presenti verosimilmente in corrispondenza dell'attraversamento della faglia.

L'ammasso roccioso gneissico è stato modellato con un modello di "continuo equivalente" descritto da un comportamento elastico-lineare perfettamente plastico con criterio di rottura alla Mohr-Coulomb e legge di flusso non associata.

I parametri dell'inviluppo di rottura equivalente di Mohr-Coulomb sono stati determinati da quelli dell'inviluppo di rottura curvilineo di Hoek-Brown.

I parametri geotecnici ricavati per l'ammasso roccioso sono relativi alle tre classi geomeccaniche (classi III, IV e V) secondo cui è stato classificato l'ammasso stesso.

I depositi morenici sono stati modellati come un materiale a comportamento elastico-lineare perfettamente plastico con criterio di rottura alla Mohr-Coulomb.

Nel seguito si riportano i parametri geotecnici utilizzati nelle successive analisi di calcolo.

PK	Classe	H (m)	GSI	C (MPa)	Φ (°)	σ_c (MPa)	σ_{cm} (MPa)	Ed (MPa)
5270 - 5420	IV	37.50	58	0.453	61	3.045	13.283	6491
5420 - 5480	III	41.50	70	1.129	65	11.182	29.685	19077
5480-5490	IV	42.50	58	0.571	62	4.179	18.232	8909
5490 - 5510	V	42.50	40	0.191	45	0.287	3.371	803
5510 - 5520	IV	42.50	58	0.571	62	4.179	18.232	8909
5520 - 6010	III	91.50	70	1.700	63	14.806	39.308	22176
6010 – 6048.26	IV	30.50	58	0.371	61	2.508	10.939	5343

Tabella 4.1 – Parametri di progetto dell'ammasso ricavati da inviluppi di rottura di HOEK-BROWN.

Per le differenti classi di scavo si considera:

PK	Classe	GSI	C (MPa)	Φ (°)	Ed (MPa)	ν	α (°)
5270 - 5420	IV	58	0.453	61	6491	0.25	7
5420 - 5480	III	70	1.129	65	19077	0.25	8
5480-5490	IV	58	0.571	62	8909	0.25	7
5490 - 5510	V	40	0.191	45	803	0.25	6
5510 - 5520	IV	58	0.571	62	8909	0.25	7
5520 - 6010	III	70	1.700	63	22176	0.25	8
6010 – 6048.26	IV	58	0.371	61	5343	0.25	7

Tabella 4.2 – Parametri di progetto - Coefficiente di Poisson e Dilatanza.

Per i depositi morenici si assumono i seguenti parametri geotecnici:

Peso di volume:	21 kN/mc
Angolo di attrito caratteristico:	34°
Coesione efficace:	10 kPa
Modulo Elastico (Young):	30.0 MPa
Modulo Edometrico:	12.5 MPa
Coefficiente di Poisson:	0.3.

5 ANALISI DEL COMPORTAMENTO DEFORMATIVO ALLO SCAVO (FASE DI DIAGNOSI)

Nella fase di diagnosi, sulla base degli elementi raccolti in fase conoscitiva, si è proceduto a suddividere il tracciato in tratte a comportamento deformativo omogeneo, nell'ambito delle tre categorie di comportamento del metodo ADECO-RS [20] descritte nel seguito.

Le previsioni di comportamento lungo il tracciato della galleria sono illustrate in forma sintetica nel Profilo geomeccanico.

5.1 CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO

La valutazione dell'evoluzione dello stato tensionale nel terreno a seguito della realizzazione di una galleria viene condotta attraverso l'analisi dei fenomeni deformativi del mezzo attraversato, che forniscono informazioni sul comportamento della cavità nei riguardi della stabilità a breve ed a lungo termine.

Il comportamento del cavo e del fronte è infatti funzione, oltre che delle caratteristiche geometriche della cavità stessa e dei carichi litostatici cui è soggetta, delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità del nucleo d'avanzamento, inteso come il prisma di terreno individuato a monte del fronte dallo stesso profilo di scavo per una profondità di circa un diametro.

Se il nucleo non è costituito da materiale sufficientemente rigido e resistente da mantenere in campo elastico il proprio comportamento tensio-deformativo, si sviluppano fenomeni deformativi e plasticizzazioni rilevanti in avanzamento sul fronte, cui conseguono il detensionamento e il decadimento delle caratteristiche meccaniche del terreno al contorno del cavo.

Se, viceversa, il comportamento del nucleo d'avanzamento si mantiene in campo elastico, esso svolge un'azione di precontenimento del cavo, che si mantiene a sua volta in condizioni elastiche, conservando le caratteristiche di massima resistenza del materiale attraversato.

Il comportamento del fronte di scavo, al quale è legato quello della cavità, può essere sostanzialmente ricondotto alle seguenti tre categorie di comportamento [20]:

Categoria A: Galleria a fronte stabile.

Se il fronte di scavo è stabile, lo stato tensionale al contorno della cavità in prossimità del fronte si mantiene in campo prevalentemente elastico, e i fenomeni deformativi osservabili sono di piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente. In questo caso anche il comportamento del cavo sarà stabile, mantenendosi prevalentemente in campo elastico, e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di consolidamento, se non localizzati e in misura molto ridotta. Il rivestimento definitivo costituirà allora il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

Categoria B: Galleria a fronte stabile a breve termine.

Questa condizione si verifica quando lo stato tensionale indotto dall'apertura della cavità supera la resistenza geomeccanica del materiale al fronte, che si allontana progressivamente da un comportamento di tipo elastico, per passare ad un comportamento di tipo elasto-plastico. I fenomeni deformativi connessi con la redistribuzione delle tensioni risultano più accentuati che nel caso precedente, e producono nell'ammasso al fronte una riduzione delle caratteristiche di resistenza con decadimento verso i parametri plastici residui. La decompressione indotta dallo scavo può essere opportunamente controllata e regimata con adeguati interventi di preconsolidamento del fronte e/o di consolidamento al contorno del cavo. In tal modo si fornisce l'opportuno contenimento all'ammasso, che manterrà un comportamento stabile.

Nel caso non si prevedano opportuni interventi, lo stato tensio-deformativo potrà evolvere verso situazioni di instabilità del cavo in via di realizzazione. Il rivestimento definitivo costituirà il margine di sicurezza a lungo termine.

Categoria C: Galleria a fronte instabile.

L'instabilità progressiva del fronte di scavo è attribuibile ad una accentuazione dei fenomeni deformativi in campo plastico, che risultano immediati e più rilevanti, manifestandosi prima ancora che avvenga lo scavo, oltre il fronte stesso. Tali deformazioni producono un incremento dell'estensione della zona dell'ammasso decompressa in corrispondenza del fronte, dove si sviluppa un progressivo e rapido decadimento delle caratteristiche geomeccaniche del materiale. L'espansione della fascia di materiale decompresso al contorno del cavo deve essere contenuta prima dell'arrivo del fronte di scavo, e richiede pertanto interventi di preconsolidamento sistematici in avanzamento, che consentano di creare artificialmente l'effetto arco capace di far evolvere la situazione verso configurazioni di equilibrio stabile.

5.2 METODI PER LA DETERMINAZIONE DELLE CLASSI DI COMPORTAMENTO

L'individuazione delle classi di comportamento del fronte è stata condotta utilizzando il metodo delle linee caratteristiche e i metodi di analisi della stabilità del fronte.

Il metodo delle linee caratteristiche consente di valutare la risposta deformativa del fronte e della cavità nelle ipotesi di stato di sforzo costante ed isotropo e galleria a sezione circolare; è pertanto applicabile nel caso di galleria profonda (indicativamente con copertura in chiave di calotta $> 2.5\div 3$ volte il diametro della galleria).

Per coperture inferiori a $2.5\div 3$ volte il diametro della galleria (condizione di galleria superficiale) occorre portare in conto la natura tridimensionale del problema e valutare i possibili meccanismi di rottura del terreno che possono propagarsi fino al piano campagna.

Le soluzioni presentate in letteratura che consentono di valutare la stabilità del fronte fanno riferimento ad una galleria realizzata in un terreno omogeneo.

Le due metodologie di analisi sono state applicate in relazione alle coperture di progetto, individuando, anche in funzione delle caratteristiche geotecniche, il comportamento del fronte fra i tre precedentemente illustrati:

- Categoria A – “Fronte stabile”
- Categoria B – “Fronte stabile a breve termine”
- Categoria C – “Fronte instabile”.

5.2.1 Metodo delle linee caratteristiche

Il metodo delle linee caratteristiche permette di valutare l'andamento delle deformazioni radiali dei diversi elementi della galleria (fronte, cavità, nucleo di terreno al fronte) al variare delle pressioni di contenimento sul contorno del cavo, le quali, per effetto dello scavo, dal valore di tensione naturale all'interno dell'ammasso diminuiscono fino ad annullarsi oltre il raggio di azione del fronte di scavo. È stata adottato il metodo proposto da Amberg-Lombardi [12], in base al quale si sono determinate:

1. **la linea caratteristica del fronte**, che consente di rappresentare il comportamento del cavo in corrispondenza del fronte;

2. **la linea caratteristica della cavità**, che consente di rappresentare il comportamento del cavo in lontananza dal raggio di influenza del fronte;
3. **la resistenza del nucleo di terreno situato davanti al fronte** ($R_{1/2nucleo}$), definita a partire dal valore di coesione c del terreno e dal suo angolo di attrito φ secondo le seguenti relazioni:

$$R_{1/2nucleo} = c \cdot k_p^{0.5}$$

con

$$k_p = \tan^2 (45^\circ + \varphi / 2)$$

Il terreno è considerato omogeneo ed isotropo, con comportamento elasto-plastico con criterio di resistenza alla Mohr-Coulomb e con leggi di flusso non associato.

L'intersezione tra la linea caratteristica del fronte e la linea caratteristica del nucleo individua la condizione di equilibrio del fronte e permette di valutare lo spostamento radiale del cavo nella sezione in corrispondenza del fronte di scavo (u_f).

Altre due curve ricavate dal metodo e che contribuiscono ad analizzare il comportamento dell'ammasso allo scavo sono:

4. la curva che rappresenta l'andamento del **raggio plastico al fronte** in funzione della pressione interna di contenimento;
5. la curva che esprime l'andamento del **raggio plastico della cavità** in funzione della pressione interna di contenimento.

Nel modello adottato per le linee caratteristiche, **i parametri di resistenza del terreno non vengono abbattuti (cioè si applicano i parametri caratteristici del terreno)** in quanto le analisi in oggetto sono mirate alla conoscenza della risposta tensio-deformativa della cavità in assenza di strutture di confinamento.

L'attribuzione delle classi di comportamento viene effettuata secondo le seguenti modalità:

- Se il rapporto percentuale tra lo spostamento radiale al fronte e il raggio equivalente di scavo è minore di 0.3 il comportamento è di tipo A, così come quando il rapporto tra il raggio plastico al fronte e il raggio equivalente è inferiore a 1.2;
- Se il rapporto percentuale tra lo spostamento radiale al fronte e il raggio equivalente di scavo è compreso tra 0.3 e 0.5 il comportamento è di tipo B, così come quando il rapporto tra il raggio plastico al fronte e il raggio equivalente è compreso tra 1.2 e 1.5;
- Se il rapporto percentuale tra lo spostamento radiale al fronte e il raggio equivalente di scavo è maggiore di 0.5 il comportamento è di tipo C, così come quando il rapporto tra il raggio plastico al fronte e il raggio equivalente è maggiore a 1.5.

5.2.2 Metodi semi-empirici-Criterio di Panet

Criterio di Panet in relazione al tasso di deconfinamento critico λ_e

Questo criterio [15] consente di verificare le condizioni di stabilità del cavo in funzione del valore critico del tasso di deconfinamento (λ_e) del materiale interessato dalla cavità (valore cui si hanno le prime plasticizzazioni).

Tale parametro, in relazione al criterio di rottura adottato (Mohr-Coulomb) è funzione dei parametri di resistenza dell'ammasso c e φ e del fattore di stabilità N_s secondo la seguente relazione:

$$\lambda_e = \frac{1}{K_p + 1} \cdot \left[K_p - 1 + \frac{2}{N_s} \right]$$

$$N_s = \frac{2\sigma_z}{\sigma_{cm}}$$

dove σ_z rappresenta la tensione litostatica agente in calotta, σ_{cm} la resistenza a compressione dell'ammasso e K_p il coefficiente di spinta passiva.

Per l'interpretazione dei risultati, l'Autore suggerisce i seguenti valori limite del tasso di deconfinamento, ai quali corrispondono determinate condizioni di stabilità del fronte di scavo:

- **$\lambda_e > 0.6$** **fronte di scavo stabile**, le pressioni raggiungono il valore massimo di resistenza dell'ammasso a tergo del fronte;
- **$0.3 < \lambda_e < 0.6$** **fronte di scavo stabile a breve termine**, al fronte di scavo le pressioni raggiungono il valore di resistenza massima prima in vicinanza del bordo poi verso il nucleo;
- **$\lambda_e < 0.3$** **fronte di scavo instabile**, il fronte di scavo è in condizioni di instabilità per cui necessita di interventi preventivi di consolidamento.

Questo criterio è stato ricavato in contesti di galleria profonda.

Il calcolo della stabilità del cavo con il criterio di Panet è stato eseguito **allo SLU secondo la Combinazione A2+M2+R2**, in cui i parametri di resistenza dell'ammasso sono abbattuti applicando i coefficienti parziali del gruppo M2 ai parametri caratteristici utilizzando le seguenti tabelle del NTC.

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_R)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{c1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{c2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{o1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano completamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

5.2.3 Metodi semiempirici-Criterio di Tamez

Criterio di Tamez in relazione al fattore di sicurezza FSF

Nel caso delle gallerie superficiali il problema della stabilità del fronte viene affrontato ricorrendo ad un metodo all'equilibrio limite che simuli i reali meccanismi di rottura del terreno a seguito di operazioni di scavo.

Il metodo di Tamez [23] consente di valutare le condizioni di stabilità del fronte di scavo adottando un approccio all'equilibrio limite del solido prismatico gravante davanti al fronte, attraverso il calcolo di un fattore di sicurezza globale denominato FSF.

L'espressione del fattore di sicurezza si basa sulla definizione del paraboloide di Protodyakonov che delimita l'area del materiale potenzialmente instabile.

Per semplificare il calcolo, il paraboloide viene schematizzato con un solido composto da tre elementi prismatici, secondo quanto rappresentato nella Figura seguente, del quale se ne valutano le condizioni di equilibrio.

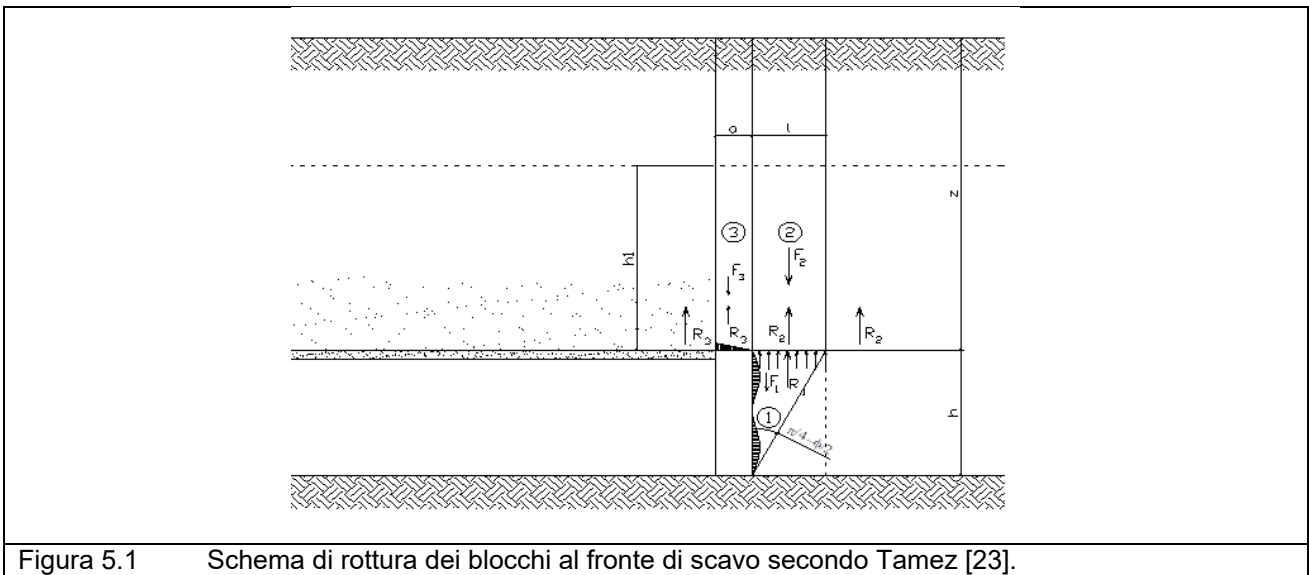


Figura 5.1 Schema di rottura dei blocchi al fronte di scavo secondo Tamez [23].

Il metodo determina le massime tensioni tangenziali che le facce di ogni prisma possono sopportare senza scorrimenti (forze resistenti) e le forze di massa di ogni prisma (forze agenti).

Il rapporto del momento delle forze resistenti su quello delle forze agenti fornisce un coefficiente di sicurezza, denominato FSF (face security factor), secondo la relazione seguente.

$$FSF = \frac{\left[\frac{2 \cdot (\tau_{m2} - \tau_{m3})}{\left(1 + \frac{a}{l}\right)^2} + 2 \cdot \tau_{m3} \right] \cdot \frac{h_1}{b} + \frac{2 \cdot \tau_{m3}}{\left(1 + \frac{a}{l}\right) \cdot \sqrt{k_a}} \cdot \frac{h_1}{h} + \frac{3,4 \cdot c}{\left(1 + \frac{a}{l}\right)^2 \cdot \sqrt{k_a}}}{\left[1 + \frac{2h}{3z \left(1 + \frac{a}{l}\right)^2} \right] \cdot [\gamma \cdot z - P_i]}$$

Nella relazione precedente, i coefficienti τ_{m2} e τ_{m3} dipendono dalla profondità della galleria; più precisamente, se la galleria è profonda (cioè per un rapporto tra copertura e diametro di scavo superiore a 3), valgono le seguenti uguaglianze.

$$\tau_{m2} = c + \frac{k_0}{2} \cdot \left\{ w\gamma + (z - h_1 - w) \cdot (\gamma - \gamma_w) + 3,4 \cdot \frac{c}{k_a} - \frac{(\gamma - \gamma_w) \cdot h}{2} \right\}$$

$$\tau_{m3} = c + \{0,25 \cdot [w\gamma + (z - h_1 - w) \cdot (\gamma - \gamma_w) - u]\} \operatorname{tg} \varphi$$

Nel caso, invece, di galleria superficiale (e quindi per $z/D \leq 3$), τ_{m2} e τ_{m3} vengono calcolati con le relazioni seguenti.

$$\tau_{m2} = c + \frac{k_0}{2} \cdot \left\{ 3,4 \cdot \frac{c}{\sqrt{k_a}} - \frac{(\gamma - \gamma_w) \cdot h}{2} \right\}$$

$$\tau_{m3} = c$$

Per valutare la stabilità è altresì necessario calcolare il fattore di sicurezza del prisma 3 (Figura 1) secondo la formula seguente.

$$FS3 = \frac{2 \cdot \tau_{m3}}{\gamma \cdot z - P_i} \left(\frac{h_1}{b} \right) \cdot \left(1 + \frac{b}{a} \right)$$

Perché sia garantita la stabilità, si deve considerare il minore tra FSF e FS3.

Dato che i meccanismi di rottura considerati nel metodo si riferiscono a situazioni potenzialmente valide per terreni o rocce tenere, l'analisi di stabilità del fronte di scavo con il metodo di Tamez è stata applicata negli attraversamenti nella zona in faglia, in cui il materiale di scavo risulta intensamente fratturato e detensionato, oltre che alle situazioni di galleria nelle Morene.

Il calcolo della stabilità del fronte di scavo con il criterio di Tamez è stato eseguito **allo SLU secondo la Combinazione A2+M2+R2**, in cui i parametri di resistenza dell'ammasso sono abbattuti applicando i coefficienti parziali del gruppo M2 ai parametri caratteristici.

La stabilità del fronte di scavo è garantita da un valore del coefficiente di sicurezza = min (FSF; FS3) > 1.1, ovvero utilizzando $\gamma_R = 1.1$ come coefficiente R2 secondo la tabella 6.8.1 del NTC "Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere in materiali sciolti e di fronti di scavo".

5.3 DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO DELLO SCAVO

Le categorie di comportamento sono state individuate sulla base dei risultati delle analisi condotte con i metodi descritti nel paragrafo precedente.

Le analisi con il metodo delle linee caratteristiche sono state eseguite nelle sezioni di copertura massima per le diverse classi in cui è stato classificato l'ammasso roccioso e nella sezione di copertura massima in corrispondenza della piazzola di sosta.

A scopo prudenziale l'analisi con le curve caratteristiche è stata eseguita anche per la sezione nelle Morene, pur trattandosi di un contesto di galleria superficiale.

La seguente Tabella riepiloga le sezioni di studio analizzate con le linee caratteristiche.

Sezione di studio	PK	H (m)	Formazione	Classe di scavo
1-SEZIONE B1	5270 - 5420	37.50	Gneiss	IV
2-SEZIONE PS-B	PIAZZOLA 1	30.00	Gneiss	IV
3-SEZIONE TIPO A1	5420 - 5480	41.50	Gneiss	III
4-SEZIONE TIPO A2	5480-5490	42.50	Gneiss	IV
5-SEZIONE TIPO B1	5490 - 5510	42.50	Gneiss Faglia	V
6-SEZIONE TIPO A2	5520 - 6010	91.50	Gneiss	III
7-SEZIONE TIPO PS-A1	PIAZZOLA 2-3	77.00	Gneiss	III
8-SEZIONE TIPO B1	6010 – 6048.26	30.50	Gneiss	IV
9-SEZIONE TIPO C1-C2-C3-C4	6048.26 – 6118.26	25.00	Morena	V

Tabella 5.1 – Sezioni analizzate con le linee caratteristiche

Le analisi di stabilità del fronte con il criterio di Panet sono state effettuate per le sezioni ad alta copertura.

Le analisi di stabilità del fronte con il criterio di Tamez sono state effettuate solo nella zona in faglia (classe V) e nella sezione nelle Morene.

Tutte le analisi svolte si riferiscono al cavo libero, senza alcun intervento di preconsolidamento, precontenimento e contenimento.

5.3.1 Analisi con il metodo delle linee caratteristiche

I risultati ottenuti sono riportati nella seguente Tabella, in cui R_o è il raggio equivalente di scavo, u_f rappresenta lo spostamento radiale del cavo in corrispondenza del fronte di scavo, $R_{pl,f}$ è il raggio plastico della fascia plasticizzata al fronte, u_{inf} lo spostamento radiale del cavo a grande distanza dal fronte e $R_{pl,inf}$ il raggio plastico della fascia plasticizzata lontano dal fronte:

Sezione di studio	Formazione	H (m)	R_o (m)	u_f (cm)	$R_{pl,f}/R_o$	u_{inf} (cm)	$R_{pl,inf}/R_o$	Categoria
2	Gneiss IV	30.00	8.25	0.024	1	0.128	1	A
7	Gneiss III	77.00	8.25	0.051	1	0.096	1	A

Tabella 5.2 – Risultati delle analisi con le linee caratteristiche

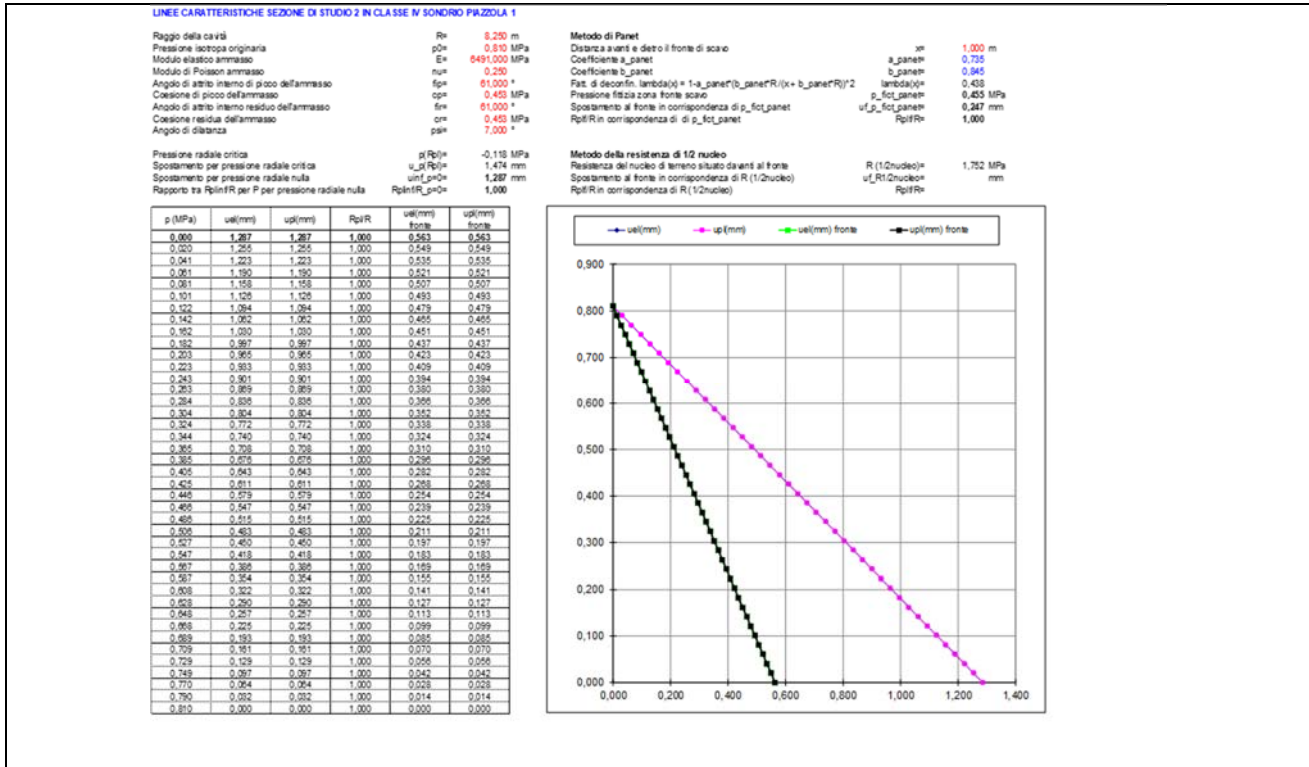


Figura 5.2 – Sezione di studio 2 in Classe IV lato Sondrio-Sezione tipo GD-PS B

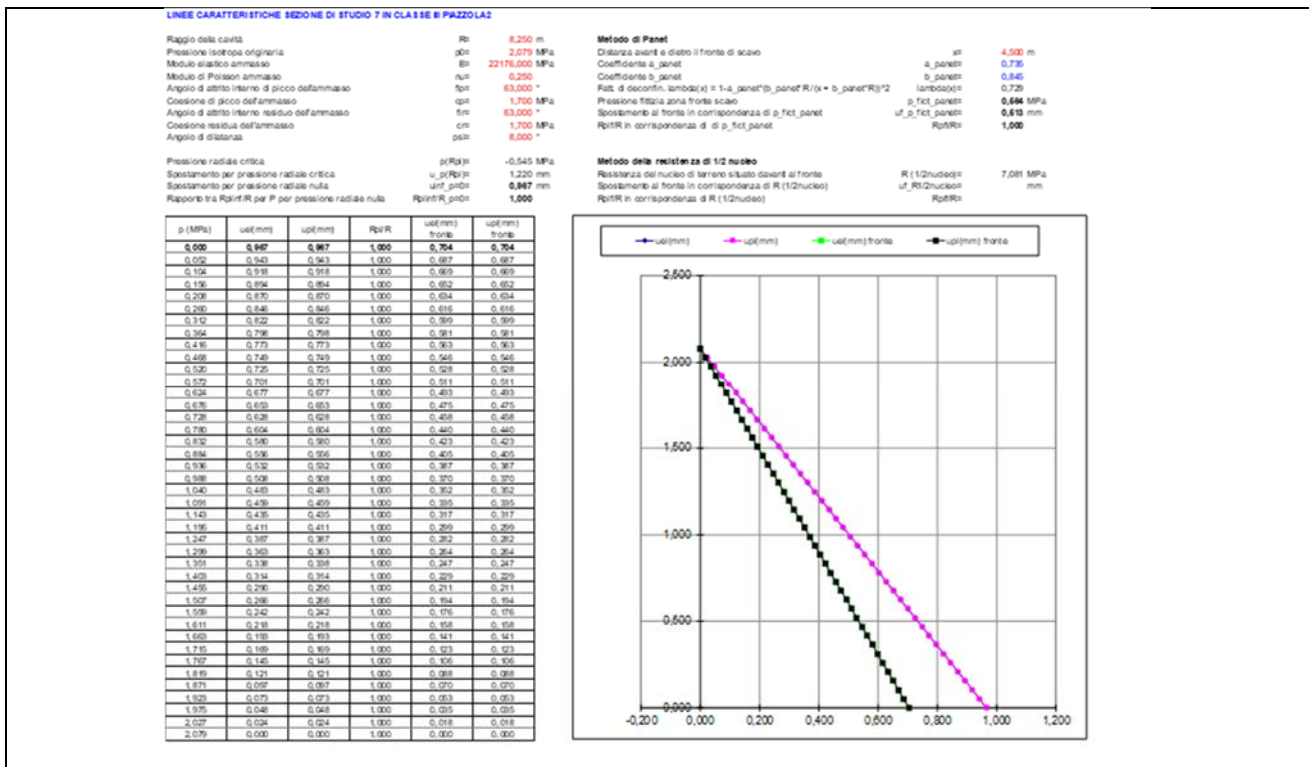


Figura 5.3 – Sezione di studio 7 in Classe III-Sezione tipo GD-PS A1

5.3.2 Analisi della stabilità del cavo con il Criterio di Panet

Questo criterio consente di verificare le condizioni di stabilità del cavo in funzione del valore critico del tasso di deconfinamento (λ_e) del materiale interessato dalla cavità. Tale parametro, in relazione al criterio di rottura adottato (Mohr-Coulomb), è funzione dei parametri di resistenza dell'ammasso c e φ e del fattore di stabilità N_s secondo la seguente relazione:

$$\lambda_e = \frac{1}{K_p + 1} \cdot \left[K_p - 1 + \frac{2}{N_s} \right]$$

$$N_s = \frac{2\sigma_z}{\sigma_{cm}}$$

dove σ_z rappresenta la tensione litostatica agente in calotta, σ_{cm} la resistenza a compressione dell'ammasso e K_p il coefficiente di spinta passiva.

Il calcolo della stabilità del cavo con il criterio di Panet è stato eseguito **allo SLU secondo la Combinazione A2+M2+R2**, in cui i parametri di resistenza dell'ammasso sono abbattuti applicando i coefficienti parziali del gruppo M2 ai parametri caratteristici utilizzando le seguenti tabelle del NTC.

Nella Tabella seguente viene riportato il calcolo del tasso di deconfinamento critico λ_e calcolato con il criterio di Panet con riferimento alle sezioni di studio ad alta copertura.

Sezione di studio	Formazione	H (m)	σ_z (MPa)	σ_{cm} (MPa)	N_s	φ_k (°)	φ_d (°)	λ_e
2	Gneiss IV Piazzola1	30.00	0.810	13.283	0.121	61	55	2.313
7	Gneiss III Piazzola 2/3	77.00	2.079	39.308	0.105	63	57	2.137

Tabella 5.3 – Risultati delle analisi della stabilità del cavo con Criterio di Panet.

Per l'interpretazione dei risultati, l'Autore suggerisce i seguenti valori limite del tasso di deconfinamento, ai quali corrispondono determinate condizioni di stabilità del fronte di scavo:

- $\lambda_e > 0.6$ **fronte di scavo stabile**, le pressioni raggiungono il valore massimo di resistenza dell'ammasso a tergo del fronte;
- $0.3 < \lambda_e < 0.6$ **fronte di scavo stabile a breve termine**, al fronte di scavo le pressioni raggiungono il valore di resistenza massima prima in vicinanza del bordo poi verso il nucleo;
- $\lambda_e < 0.3$ **fronte di scavo instabile**, il fronte di scavo è in condizioni di instabilità per cui necessita di interventi preventivi di consolidamento.

Per la sezione di studio 5 per Gneiss in Classe V in corrispondenza della faglia si ottengono dei valori molto prossimi al valore di soglia tra fronte di scavo stabile e fronte di scavo stabile a breve termine, mentre per le altre sezioni di studio i valori risultano ampiamente inseriti in comportamento di fronte di scavo stabile.

5.3.3 Analisi della stabilità del fronte con il Criterio di Tamez senza interventi di stabilizzazione del fronte.

L'analisi di stabilità del fronte con il metodo di Tamez non è stata applicata nelle sezioni tipologiche in corrispondenza delle Piazzole di emergenza essendo in presenza di un ammasso con caratteristiche geomeccaniche tali da comportare dei fronti di scavo stabili.

Degli interventi di consolidamento del fronte con barre in VTR saranno però inseriti sino al piano dei centri nella sezione di Scavo tipo GD-PS B allo scopo di controllare la risposta deformativa del fronte e il detensionamento dell'ammasso in presenza della Fascia di alterazione dello Gneiss presente sul contatto con la sovrastante Formazione Morenica.

5.3.4 Commento alle analisi

Le analisi effettuate in **Classe III e in Classe IV**, sia per sezione corrente e sia per sezione in piazzola di sosta, mostrano chiaramente un comportamento assimilabile alla **categoria A**.

Dato che lo scavo intercetterà un ammasso fratturato ed alterato in corrispondenza del contatto con la Formazione Morenica, al fine di evitare il detensionamento del fronte di scavo e conseguentemente eccessivi fenomeni di decompressione del cavo, si classifica tale sezione con un comportamento assimilabile alla **categoria B** e si prevedono quindi interventi di consolidamento del fronte di scavo.

Sezione di studio	PK	H (m)	Formazione	Classe di scavo	Categoria
2	PIAZZOLA 1	30.00	Gneiss	IV	B/A
7	PIAZZOLA 2-3	77.00	Gneiss	III	A

Tabella 5.4 – Categoria di comportamento per le sezioni di studio

Si ritiene pertanto necessario solo adottare nelle zone in cui il comportamento allo scavo è di tipo B o C interventi di consolidamento del fronte allo scopo di controllare la risposta deformativa del fronte e il detensionamento dell'ammasso.

6 DEFINIZIONE DELLE SEZIONI DI AVANZAMENTO (FASE DI TERAPIA)

Nel presente capitolo verranno definiti gli interventi da adottare durante la realizzazione della galleria, necessari a garantire la stabilità del cavo a breve e a lungo termine, in accordo con le indicazioni provenienti dall'analisi del comportamento deformativo allo scavo (fase di diagnosi). Sono descritte le sezioni tipo di avanzamento e la successione delle fasi esecutive ed i campi di applicazione.

6.1 SEZIONE TIPO GD-PS-A1 PIAZZOLA DI SOSTA

La seguente sezione tipo presenta un campo di applicazione: in presenza di un ammasso roccioso al contorno della cavità con comportamento sostanzialmente elastico o pseudo-elastico (Ammasso in Gneiss in Classe III).

Sono previsti i seguenti principali interventi:

- (eventuali) 2+2 drenaggi in avanzamento L=30.00 m con sovrapposizione 10.00 m;
- scavo a piena sezione con esplosivo con sfondi di profondità massima di 4.50 m;
- spritz-beton fibrorinforzato sp=5+10 cm da eseguirsi a ridosso del fronte di scavo;
- bullonatura radiale con 19+20 bulloni tipo Swellex Mn24 di L=9.0 m di lunghezza eseguiti con passo trasversale di 1.50 m e longitudinale di 1.00 m e disposti in raggiera alternate messe in opera a una distanza massima dal fronte di scavo di 9.0 m;
- getto dell'arco rovescio di 70 cm di spessore da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 45.0 m;
- impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- rivestimento interno costituito da un getto in calcestruzzo, di spessore variabile trasversalmente a partire da un valore minimo in chiave di calotta di 0.60 m da eseguirsi a una distanza non vincolata rispetto al fronte di scavo.

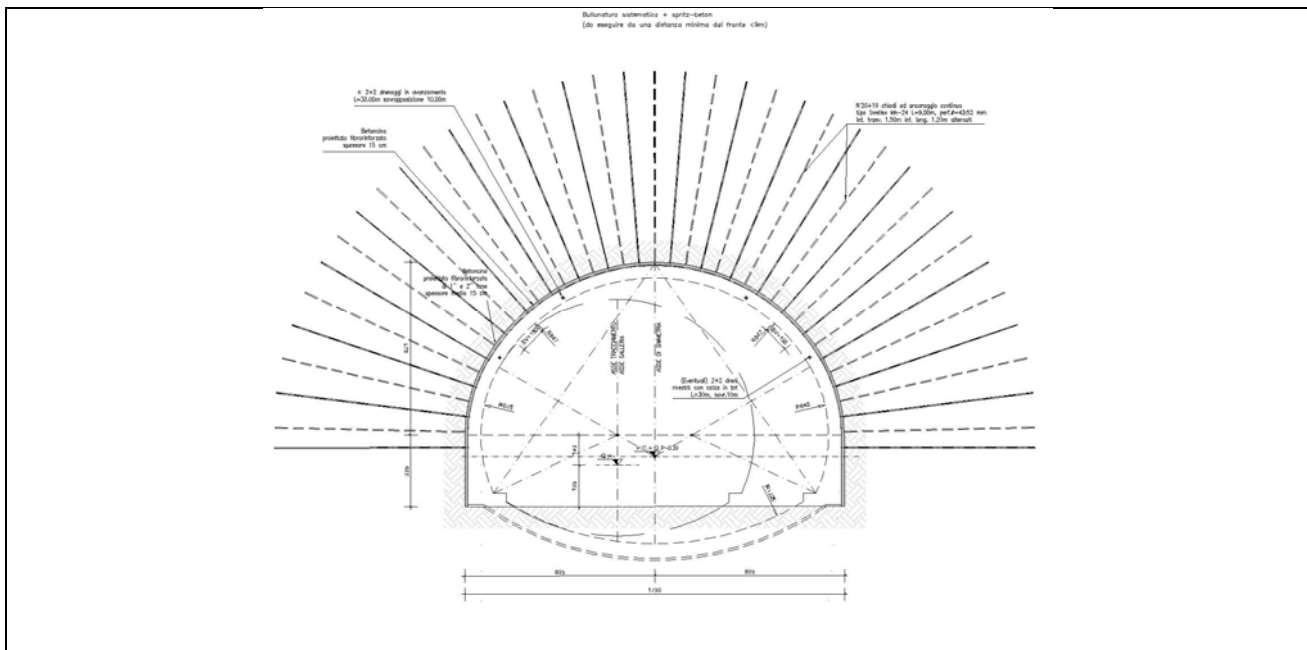


Figura 6.1 – Sezione di scavo tipo GD-PS-A1 – PIAZZOLA DI SOSTA - Sezione trasversale

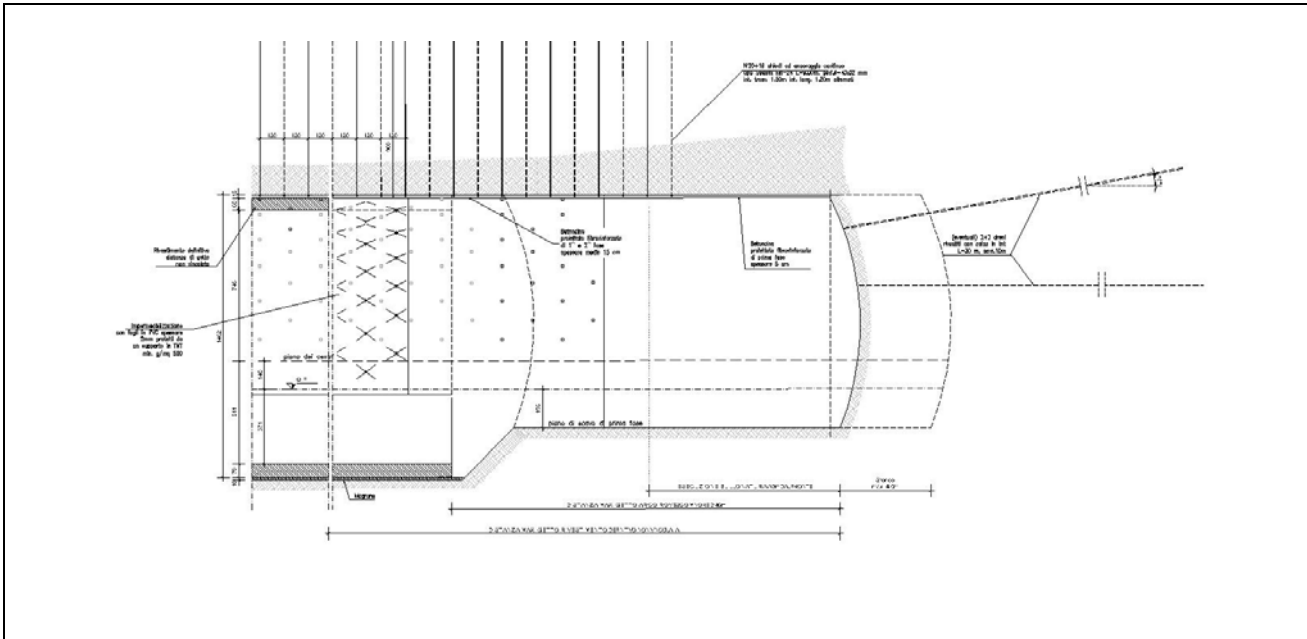


Figura 6.2 – Sezione di scavo tipo GD-PS-A1 – PIAZZOLA DI SOSTA - Sezione longitudinale

6.2 SEZIONE TIPO GD-PS-B PIAZZOLA DI SOSTA

La sequente sezione tipo presenta un campo di applicazione: in presenza di ammasso roccioso al contorno della cavità con comportamento elasto-plastico, con fronte stabile e stato di incipiente tendenza all'instabilità della cavità non rivestita (Ammasso in Fascia di alterazione dello Gneiss sul fronte in Classe IV e Formazione morenica sopra calotta).

Sono previsti i seguenti principali interventi:

- (eventuali) 2+2 drenaggi in avanzamento L=30.00 m, sovrapposizione 10.00 m;
- preconsolidamento dell'ammasso al contorno mediante n. 25+26 tubi in VTR Φ 60/40, valvolati (1valv\m) e cementati in foro con miscele cementizie perforazione 130 mm, lunghezza L=18.00 m, campo utile 10.0 m e sovrapposizione 8.00 m;
- preconsolidamento del fronte di scavo con n. 50 tubi in VTR Φ 60/40, valvolati (1valv\m) e cementati in foro con miscele cementizie perforazione 130 mm, lunghezza L=18.00 m, campo utile 10 m e sovrapposizione 8.00 m;
- scavo a piena sezione con mezzi meccanici con sfondi di profondità massima di 1.00 m;
- rivestimento di prima fase costituito da spritz-beton fibrorinforzato $sp=5+25$ cm e da centine metalliche 2IPE200 con passo 1.00 m;
- bullonatura in avanzamento di L=9.00 m di lunghezza, eseguita con passo trasversale di 1.20 m e passo longitudinale di 1.00 m, con 15+16 bulloni autoperforanti tipo R38N aventi resistenza allo snervamento > 400 kN eseguiti con inclinazione longitudinale di 45° a una distanza massima di 1.0 m dal fronte di scavo;
- getto dell'arco rovescio di 100 cm di spessore da eseguirsi entro la distanza massima dal fronte di 45.0 m;
- impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- rivestimento interno costituito da un getto in calcestruzzo, di spessore variabile trasversalmente a partire da un valore minimo in chiave di calotta di 0.90 m da eseguirsi a una distanza non vincolata rispetto al fronte di scavo.

7 MODELLAZIONE STRUTTURALE

La successione delle fasi esecutive, lo stato tensionale e deformativo indotto nell'ammasso dallo scavo della galleria e le sollecitazioni risultanti sui rivestimenti di prima fase e sui rivestimenti definitivi per le differenti fasi di maturazione sono state analizzate con il metodo delle differenze finite, utilizzando il codice di calcolo **FLAC**.

Il programma consente di studiare problemi di ingegneria geotecnica in condizioni di deformazione piana o assialsimmetrica, riproducendo la storia di carico del terreno e dei sostegni, e fornendo al termine di ogni fase di carico il quadro tensio-deformativo nell'ammasso e negli elementi di sostegno.

Le analisi sono state condotte in condizioni di deformazione piana modellando l'effetto della distanza dal fronte con le curve di deconfinamento.

Per il terreno è stato assunto un modello costitutivo elasto-plastico perfetto con **criterio di resistenza di Mohr-Coulomb** e legge di flusso non associata.

Dato che la galleria verrà realizzata al disotto di un pendio, si è cercato di ricostruire lo stato di sforzo preesistente allo scavo che è condizionato dalla presenza del pendio stesso, utilizzando la metodologia di analisi proposta da Hoek [19].

Nei modelli di calcolo più superficiali si è generato in una prima fase lo stato di sforzo con il piano di campagna orizzontale e quindi si è scavato il pendio per ottenere la distribuzione delle tensioni preesistenti alla realizzazione della galleria. Gli spostamenti vengono contestualmente azzerati da questa fase di calcolo in poi.

Gli elementi di sostegno possono essere introdotti nel modello di calcolo come di seguito indicato:

- **Bulloni:** sono stati simulati per mezzo di elementi Bolts di lunghezza e disposizione prescelta ai quali viene assegnata la tipologia di barra utilizzata, lo spessore e le caratteristiche di resistenza desiderate;
- **Spritz-beton:** è stato simulato per mezzo di elementi Beam (assegnati legge costitutiva e parametri caratteristici del materiale);
- **Spritz-beton e centine:** è stato simulato per mezzo di elementi Beam considerando uno spessore ed un modulo elastico equivalente in modo da simulare l'effetto stabilizzante di un rivestimento integrato.

Lo spritz-beton e le centine sono stati simulati come materiali a comportamento elastico-lineare, mentre per la valutazione dello spessore equivalente e del modulo elastico equivalente del sostegno integrato spritz-beton+centine si è utilizzato il metodo proposto da Oreste [24].

Le verifiche dei rivestimenti di prima fase sono state eseguite allo SLU secondo la Combinazione A1+M1+R1, in cui i parametri di resistenza dell'ammasso sono quelli caratteristici (coefficienti parziali del gruppo M1), mentre i coefficienti parziali amplificativi delle azioni (A1) sono applicati direttamente alle sollecitazioni in output al modello di calcolo.

La verifica strutturale del rivestimento definitivo è stata anche condotta utilizzando "il metodo delle reazioni iperstatiche", perché maggiormente cautelativo in termini di sollecitazioni.

7.1 MODELLO DI CALCOLO PER LE ANALISI AL CONTINUO EQUIVALENTE

Al fine di individuare il comportamento statico e deformativo sono state effettuate una serie di verifiche condotte con il codice di calcolo FLAC, messe a punto per lo studio delle fasi di scavo della galleria e per la determinazione delle sollecitazioni sui rivestimenti.

Nelle analisi numeriche condotte, lo scavo viene simulato grazie all'impiego delle “**forze di scavo**”, ovvero riducendo progressivamente un sistema di forze applicate in direzione radiale al profilo di scavo, atte a simulare il concetto di “effetto fronte”. In tal modo è possibile simulare il progressivo incremento dei carichi sulle strutture di rivestimento di prima e seconda fase con il progredire degli avanzamenti.

La riduzione è svolta sulla base delle raccomandazioni dell'AFTES (cfr. Recommendation for use of convergence confinement method) che consente di valutare la variazione del tasso di confinamento $1-\lambda = \sigma_r/\sigma_o$ in funzione della distanza della sezione in esame dal fronte di scavo.

Le analisi tenso-deformative presentate nel seguito, sono state condotte impiegando il codice di calcolo **FLAC 8.0 (Fast Lagrangian Analysis of Continua)**, sviluppato da ITASCA Consulting, il quale consente di affrontare problemi di meccanica del continuo, determinando gli stati tensionali e deformativi in un dominio bidimensionale, le cui caratteristiche sono definite da leggi di comportamento, di tipo elastico o plastico, e da imposte condizioni al contorno, implementando il metodo delle differenze finite.

Tale metodo si basa sulla discretizzazione delle equazioni differenziali che governano il problema fisico in esame (equazioni derivanti dal teorema della divergenza di Gauss), attraverso la sostituzione delle derivate con quozienti di differenze finite. In questo modo, le equazioni differenziali vengono trasformate in equazioni algebriche, da risolversi in successivi passi di calcolo.

L'algoritmo di calcolo segue uno schema lagrangiano denominato “esplicito per integrazione diretta nel tempo” (explicit time marking), il quale è in grado di lavorare agevolmente e molto velocemente per sistemi con grandi deformazioni, con stati di collasso molto avanzati e in condizioni di instabilità (la possibilità di giungere al collasso non è infatti limitata da problemi di stabilità numerica, quale l'invertibilità di matrici). L'adattamento del metodo alle differenze finite a casi di griglia di forma qualunque segue l'approccio di Wilkins M.L.

La discretizzazione viene operata sovrapponendo alla porzione di continuo considerata un reticolo, in genere di maglie quadrilatera (elementi quadrilateri e/o triangolari), in corrispondenza dei cui nodi (gridpoints) sono definite le grandezze in gioco.

E' allora possibile approssimare la derivata prima di una funzione rispetto a una variabile indipendente, con il rapporto tra la variazione subita dalla funzione stessa nel passare da un nodo ad uno contiguo, e la corrispondente variazione della variabile indipendente.

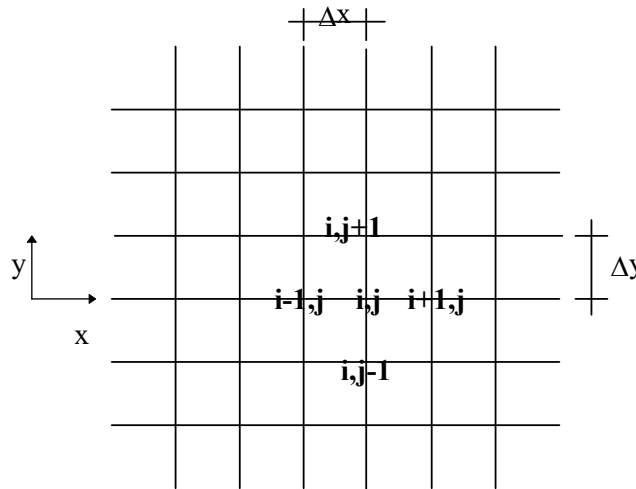
Con riferimento alla figura seguente, può assumersi ad un certo istante t una delle seguenti equivalenze:

$$\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_{i,j} \approx \frac{u_{i+1,j}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x},$$

$$\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_{i,j} \approx \frac{u_{i+1,j}^t - u_{i-1,j}^t}{2\Delta x},$$

$$\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_{i,j} \approx \frac{u_{i,j}^t - u_{i-1,j}^t}{\Delta x}.$$

In modo analogo si opera per le derivate rispetto ad y, e per le derivate di ordine superiore.



La legge costitutiva del materiale viene espressa nella seguente forma:

$$\sigma = E \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \Rightarrow \sigma_{i,j}^t = E \cdot \frac{u_{i+1,j}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x}$$

Il codice di calcolo FLAC usa uno schema di soluzione “esplicito condizionatamente stabile”, la cui sequenza di calcolo iterativo, illustrata schematicamente nella figura seguente, comprende i seguenti passi:

- per ogni nodo della griglia si valuta la massa m, la risultante delle forze esterne F_e (gravità, carichi esterni ...), la risultante delle forze interne F_i , calcolata per integrazione degli sforzi nelle zone collegate al nodo stesso, così che è possibile determinare la forza squilibrata agente sul nodo F_u (unbalanced force $F_u = F_e - F_i$); affinché il sistema sia in equilibrio, tale forza deve essere nulla;
- per ogni gridpoint si scrive l'equazione di Newton $F_u = m \cdot a$, tramite la quale è possibile determinare l'accelerazione del nodo in esame; integrando due volte l'accelerazione si ottiene la velocità e lo spostamento incrementale di ogni nodo;
- dal campo di spostamenti incrementali, è possibile risalire al campo di deformazioni incrementali e quindi, attraverso il legame costitutivo dei materiali, al campo di variazioni degli sforzi nel reticolo;
- la variazione degli sforzi comporta la modifica, per ogni nodo della griglia, della risultante delle forze interne e conseguentemente la necessità di rideterminare la F_u , dando inizio ad un nuovo passo di calcolo. Il processo iterativo ha termine qualora si ottenga una forza squilibrata che abbia un valore minore di una tolleranza prestabilita. In generale, l'analisi può essere terminata quando la “unbalanced force” è pari allo 0.1% o all'1% della forza iniziale agente sul nodo.

7.2 VALUTAZIONE DEL DECONFINAMENTO

Il deconfinamento è stato valutato adottando la tecnica del “softening”, ovvero considerando il materiale all’interno del cavo come mezzo elastico a rigidezza nulla e riducendo progressivamente lo stato di sforzo interno così da simulare lo scarico tensionale secondo la curva di deconfinamento.

La curva di deconfinamento, esprimendo l’influenza della distanza della sezione piana di analisi dal fronte mediante una pressione fittizia, permette di modellare in analisi piane il comportamento del rivestimento nelle sue varie fasi di messa in opera rispetto alla posizione del fronte di scavo.

Nelle analisi delle sezioni ad alta copertura è stata considerata la curva di deconfinamento di Panet [15] per mezzo elastico-lineare, in quanto la risposta del mezzo allo scavo in queste condizioni di copertura e di ammasso è di tipo elastico.

Anche nelle analisi delle sezioni a bassa copertura è stata assunta la curva di deconfinamento di Panet [15] per mezzo elastico-lineare, poiché ritenuta cautelativa ai fini della determinazione delle sollecitazioni agenti sul rivestimento.

7.3 VALUTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO AL CONTORNO

Nelle sezioni tipo GD-PS B vengono impiegati interventi di preconsolidamento al contorno di scavo, mediante elementi in VTR.

Il materiale consolidato è caratterizzato dallo stesso modello costitutivo assunto per l’ammasso originario. L’effetto dell’intervento di consolidamento del cavo viene considerato attraverso l’incremento della resistenza al taglio del materiale interessato dal trattamento mentre a favore di sicurezza si trascura l’incremento della rigidezza.

L’incremento della resistenza al taglio viene valutato come incremento di coesione, in analogia a quanto proposto da Hoek [19].

Per il calcolo della coesione equivalente si considera una porzione di zona consolidata, avente dimensione longitudinale di 1.0 m e si imposta un processo di medie pesate con riferimento all’area ed alla resistenza di ogni singolo componente in questione (ammasso, VTR), ottenendo:

$$- C_{\text{equivalente}} = (C_{\text{terreno}} A_{\text{terreno}} + T_{\text{VTR}} A_{\text{VTR}}) / A_{\text{terreno}} \quad \text{dove:}$$

- C_{terreno} = coesione dell’ammasso roccioso;
- A_{terreno} = porzione di terreno trattato;
- T_{VTR} = resistenza a taglio del VTR;
- A_{VTR} = sezione resistente del VTR all’interno del terreno trattato.
- $C_{\text{equivalente}}$ = incremento di coesione nell’ammasso trattato.

7.4 VERIFICA DEL PRERIVESTIMENTO

Le caratteristiche geometriche delle sezioni resistenti sono assegnate attribuendo agli elementi trave valori di spessore e di modulo elastico ricavati uguagliando rigidezza normale e tangenziale del sistema reale, composto da centine e spritz, con rigidezza normale e tangenziale di un sostegno equivalente (Oreste, “Aspetti notevoli dell’analisi e dimensionamento dei sostegni di gallerie attraverso i metodi di calcolo numerici”, 2001).

$$\bar{E} \cdot s = E_{cls} \cdot s + \left| \frac{E_{acc}}{E_{cls}} - 1 \right| \cdot E_{cls} \cdot \frac{Acen}{d}$$

$$\left| \bar{E} \cdot \frac{s^3}{12} \right| = E_{cls} \cdot \frac{s^3}{12} + \left| \frac{E_{acc}}{E_{cls}} - 1 \right| \cdot E_{cls} \cdot \frac{J_{cen}}{d}$$

dove:

- E_{cls}, E_{acc} = modulo elastico del calcestruzzo e dell'acciaio;
- s = spessore del calcestruzzo proiettato;
- \bar{s} = spessore equivalente;
- \bar{E} = modulo equivalente.

Invertendo le precedenti relazioni si ottiene:

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{\left| E_{cls} \cdot s^3 + 12 \cdot \left| \frac{E_{acc}}{E_{cls}} - 1 \right| \cdot E_{cls} \cdot \frac{J_{cen}}{d} \right|}{\left| E_{cls} \cdot s + \left| \frac{E_{acc}}{E_{cls}} - 1 \right| \cdot E_{cls} \cdot \frac{A_{cen}}{d} \right|}}$$

$$\bar{E} = \frac{\left(\left| E_{cls} \cdot s + \left| \frac{E_{acc}}{E_{cls}} - 1 \right| \cdot E_{cls} \cdot \frac{A_{cen}}{d} \right| \right)^2}{\sqrt{\left| E_{cls} \cdot s^3 + 12 \cdot \left| \frac{E_{acc}}{E_{cls}} - 1 \right| \cdot E_{cls} \cdot \frac{J_{cen}}{d} \right|}}$$

L'area e l'inerzia equivalenti sono state ricavate con riferimento allo spessore equivalente secondo le precedenti formulazioni, ed avendo assunto per lo spritz un modulo elastico pari a 5000 MPa (Ribacchi, lembo-Fazio, "Il calcestruzzo proiettato come elemento strutturale nell'esecuzione degli scavi in sotterraneo" Milano 1994).

Ottenuto lo stato di sollecitazione nel sostegno equivalente (N_{tot} , M_{tot} , e T_{tot}), le sollecitazioni nelle centine e nel calcestruzzo proiettato sono ricavate nell'ipotesi che il momento flettente ed il taglio siano interamente assorbiti dalle centine metalliche, mentre lo sforzo normale N venga ripartito tra centine e spritz sulla base alle rigidezze normali:

$$N_{cen} = M_{tot} \cdot d \qquad T_{cen} = T_{tot} \cdot d$$

$$N_{cen} = \frac{E_{acc}}{\bar{E}} \cdot \frac{A_{cen}}{s} \cdot N_{tot} \qquad N_{spritz} = N_{tot} - \frac{N_{cen}}{d} \qquad \text{essendo } d \text{ il passo tra le centine.}$$

Le verifiche statiche del rivestimento vengono condotte per le coppie ordinate (M_{sdu} , N_{sdu}) rappresentanti lo stato di sollecitazione.

La verifica viene eseguita allo SLU, verificando che le sollecitazioni di calcolo siano interne al dominio di resistenza di progetto delle sezioni strutturali e cioè che risulti un coefficiente di sicurezza $F_s \geq 1$.

Le sollecitazioni di calcolo si ottengono amplificando quelle in output al programma con i coefficienti amplificativi A1, ovvero per 1.3 con riferimento alle azioni permanenti.

Si sottolinea che per lo spritz-beton, pur essendo fibrorinforzato, si è trascurata cautelativamente la resistenza alla trazione.

7.5 VERIFICA DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI

Per il calcolo a lungo termine del sistema di carichi verticali ed orizzontali gravanti sui rivestimenti definitivi, si impiega il metodo delle reazioni iperstatiche perché maggiormente cautelativo, in termini di sollecitazioni massime sul rivestimento definitivo, rispetto alle analisi FEM.

Carichi verticali

I criteri impiegati per la determinazione dei carichi verticali agenti sul rivestimento della galleria sono i seguenti:

- **formazioni rocciose:** correlazione di Bieniawski, in funzione dell'indice RMR;
- **rocce tenere e terreni:** correlazione di Terzaghi, in funzione di c e Φ .

Correlazione di Bieniawski per formazioni rocciose

- Per $H \leq D$ (H = copertura e D = diametro equivalente della galleria)
 $P_v = \gamma H$
- Per $H > D$ (H = copertura e D = diametro equivalente della galleria)
 $P_v = \gamma b (100 - RMR)/100$

Con:

γ = peso di volume dell'ammasso;

b = larghezza della galleria;

RMR = Rock Mass Rating di Bieniawski.

Correlazione di Terzaghi per rocce tenere e terreni

- Per $H \leq B$ (H = copertura e B = dimensione caratteristica della galleria)
 $P_v = \gamma H$
- Per $B < H \leq 2.5 B$ (H = copertura e B = dimensione caratteristica della galleria)

$$P_v = \frac{B \cdot \left(\gamma - \frac{2c}{B} \right)}{2tg\phi} \left(1 - e^{\left(\frac{-2Htg\phi}{B} \right)} \right)$$

assumendo come valore minimo $P_v = \gamma B$.

- Per $H > 2.5 B$ (H = copertura e B = dimensione caratteristica della galleria)

$$P_v = \frac{B \cdot \left(\gamma - \frac{2c}{B} \right)}{2tg\phi} \left(1 - e^{\left(\frac{-2Htg\phi}{B} \right)} \right)$$

Con:

$$B = b + 2 \cdot h \cdot tg \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right)$$

γ = peso di volume del terreno;

h = altezza della galleria;

b = larghezza della galleria;

c = coesione;

Φ = angolo di attrito del terreno.

Carichi orizzontali

Le spinte orizzontali P_h , presenti a lungo termine e variabili con la profondità, sono state calcolate secondo la formula:

$$P_h = K_o \cdot P_v + K_o \cdot \gamma \cdot z$$

Con:

γ = peso di volume del terreno;

K_o = coefficiente di spinta a riposo;

z = altezza di terreno dalla corona della calotta al punto più basso dell'arco rovescio.

Modello di calcolo

Per il calcolo delle azioni interne è stato utilizzato il metodo delle reazioni iperstatiche, attraverso una modellazione numerica ad elementi finiti monodimensionali.

Il modello è stato impostato su una sezione di galleria di profondità unitaria (1m) e sulla schematizzazione in conci monodimensionali (elementi beam) dell'intero rivestimento.

Gli spessori delle varie aste, costituenti la struttura resistente, sono variabili in dipendenza dell'elemento strutturale (calotta, piedritto, arco rovescio) considerato.

Il peso proprio della struttura è calcolato assegnando al calcestruzzo non armato un peso di volume di 24 kN/m³ ed a quello armato di 25 kN/m³.

Allo scopo di simulare l'interazione terreno-struttura vengono posti, in corrispondenza dei nodi del modello, delle aste radiali (bielle) la cui rigidità è determinata tenendo conto del modulo di reazione del terreno K .

Quest'ultimo è stato ottenuto, per le superfici curvilinee, tramite la formula di Galerkin:

$$K = E / [Req \cdot (1+\nu)] \quad [F/L^3]$$

essendo:

E = modulo di deformabilità dell'ammasso;

ν = coefficiente di Poisson dell'ammasso;

Req = raggio di curvatura equivalente della galleria.

Le analisi sono state svolte ipotizzando che su ciascuna asta del modello agiscano i carichi distribuiti indicati nel capitolo relativo alle ipotesi di carico. Per mezzo delle analisi così impostate sono state calcolate le caratteristiche di sollecitazione agenti su ciascun elemento monodimensionale che schematizza la struttura di rivestimento.

8 VERIFICA DELLA SEZIONE DI SCAVO GD-PS A1

Nelle analisi numeriche condotte, lo scavo viene simulato grazie all'impiego delle "forze di scavo", ovvero riducendo progressivamente un sistema di forze applicate in direzione radiale al profilo di scavo, atte a simulare il concetto di "effetto fronte".

In tal modo è possibile simulare il progressivo incremento dei carichi sulle strutture di rivestimento di prima e seconda fase con il progredire degli avanzamenti.

La riduzione è svolta sulla base delle raccomandazioni dell'AFTES (cfr. Recommendation for use of convergence confinement method) che consente di valutare la variazione del tasso di confinamento $1-\lambda = \sigma_r/\sigma_o$ in funzione della distanza della sezione in esame dal fronte di scavo.

Le analisi sono state svolte secondo le seguenti principali fasi di costruzione:

- FASE1 – Geostatico

Si applicano le caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso riferite a una Classe III di scavo per ricreare la situazione gravitativa iniziale con un ricoprimento tra il piano campagna e il piano dei centri della galleria di circa 80.0 m.

I parametri geotecnici presentano i seguenti valori:

angolo di attrito	$\phi = 63^\circ$
coesione drenata	$c = 1700 \text{ kPa}$
modulo di deformazione	$E = 22176 \text{ MPa}$
coefficiente di Poisson	$\nu = 0.25$

- FASE 2 – Apertura fronte di scavo.

Si effettua l'apertura del fronte a cavo non sostenuto e riducendo le forze di scavo con rilassamento pari al 26.5% della pressione litostatica.

- FASE 3 – Posa spritz beton a 4.50 m.

I calcoli sono svolti considerando una fase di scavo a piena sezione con sfondo massimo di 4.50 m e la posa del prerinvestimento formato da spritz-beton di 15 cm di spessore ($E=20 \text{ GPa}$).

Spritz beton:	$A=0.15 \text{ m}^2$	$J=2.81e-4 \text{ m}^4$	$E=20 \text{ GPa}$
---------------	----------------------	-------------------------	--------------------

In questa fase si considera un rilassamento pari al 75.5% del carico litostatico.

- FASE 4 – Maturazione spritz beton e chiodatura a 9.0 m.

Si considera la maturazione dello spritz beton ($E=31 \text{ GPa}$) e la messa in opera della bullonatura radiale di 6.0 m di lunghezza formata da 19+20 bulloni ad aderenza continua tipo Swellex ad interasse di 1.0 m con carico di snervamento pari a 190 kN.

Spritz beton:	$A=0.15 \text{ m}^2$	$J=2.81e-4 \text{ m}^4$	$E=31 \text{ GPa}$
Bulloni.	$F_y = 190 \text{ kN}$	$s_{ad} = 149 \text{ kPa}$	$E=200 \text{ GPa}$

In questa fase si considera un rilassamento pari al 84.5% del carico litostatico.

- FASE 5 – Getto dell'arco rovescio a 45 m.

Si procede con lo scavo e a 45 m dal fronte si prevede il getto dell'arco rovescio ($E=20 \text{ GPa}$) di 70 cm di spessore.

Arco rovescio:	$A=0.70 \text{ m}^2$	$J=0.028 \text{ m}^4$	$E=20 \text{ GPa}$
----------------	----------------------	-----------------------	--------------------

In questa fase si considera un rilassamento pari al 98% del carico litostatico.

- FASE 6 – Getto della calotta e maturazione dell'arco rovescio.

E' simulato il getto della calotta (E=15 GPa) e la completa maturazione dell'arco rovescio (E=31 GPa).

Arco rovescio:	A=0.70 m ²	J=0.028 m ⁴	E=31 GPa
Calotta.	A=0.60 m ²	J=0.018 m ⁴	E=15 GPa

Si considera un rilassamento pari al 99% del carico litostatico.

- FASE 7 – Maturazione della calotta.

Si considera la completa maturazione della calotta (E=31 GPa).

Calotta.	A=0.60 m ²	J=0.018 m ⁴	E=31 GPa
----------	-----------------------	------------------------	----------

Si considera un rilassamento pari al 100% del carico litostatico.

8.1 FASE 3 – VERIFICHE TENSIONALI SULLO SPRITZ BETON

In questa fase di calcolo sono presenti i seguenti elementi strutturali:

elementi beam da 1 a 66 rappresentanti lo spritz beton.

Le sollecitazioni massime sullo spritz beton risultano:

elemento 66: N_k = 49.88 kN M_k = 0.08 kN m

La tensione massima sullo spritz beton allo SLU risulta:

$$\sigma_{SB} = \frac{49.88 \times 1.3}{0.15} = 432 \text{ kPa} < f_{cd}$$

* FLAC log-file opened 17-Apr-19 17:21

FASE 3-GALLERIA DOSSO-SEZIONE GD-PS Al-Posa spritz-beton a 4.5m

From File :dosa3.sav

Structural element data ...

Elem	ID	Nod1	Nod2	Prop		F-shear	F-axial	Mom-1	Mom-2	
66	1	66	67	1	beam	-1.644E-01	4.988E+01	-8.012E-02	8.632E-06	-1
65	1	65	66	1	beam	1.593E-01	3.497E+01	4.813E-04	8.013E-02	-1
64	1	64	65	1	beam	-2.210E-02	2.804E+01	-1.100E-02	-4.847E-04	-9
63	1	63	64	1	beam	1.374E-02	2.465E+01	-3.764E-03	1.100E-02	-8
62	1	62	63	1	beam	1.472E-03	2.278E+01	-3.005E-03	3.780E-03	-7
61	1	61	62	1	beam	2.979E-03	2.155E+01	-1.450E-03	2.999E-03	-7
60	1	60	61	1	beam	-1.155E-06	2.055E+01	-1.454E-03	1.453E-03	-6
59	1	59	60	1	beam	2.580E-03	1.960E+01	-2.140E-04	1.473E-03	-6
58	1	58	59	1	beam	-1.299E-02	1.865E+01	-6.231E-03	1.876E-04	-6
57	1	57	58	1	beam	6.200E-02	1.791E+01	1.700E-02	6.220E-03	-5
56	1	56	57	1	beam	-7.634E-02	1.832E+01	-1.161E-02	-1.697E-02	-6
55	1	55	56	1	beam	1.457E-02	1.613E+01	-5.249E-03	1.163E-02	-5
54	1	54	55	1	beam	3.716E-02	1.562E+01	9.077E-03	5.237E-03	-5
53	1	53	54	1	beam	-6.821E-02	1.569E+01	-1.718E-02	-9.088E-03	-5
52	1	52	53	1	beam	7.476E-02	1.460E+01	1.219E-02	1.720E-02	-4
51	1	51	52	1	beam	-7.523E-02	1.501E+01	-1.567E-02	-1.219E-02	-5
50	1	50	51	1	beam	7.399E-02	1.428E+01	1.173E-02	1.566E-02	-4
49	1	49	50	1	beam	-7.282E-02	1.434E+01	-1.511E-02	-1.174E-02	-4
48	1	48	49	1	beam	7.281E-02	1.404E+01	1.174E-02	1.510E-02	-4
47	1	47	48	1	beam	-6.824E-02	1.380E+01	-1.508E-02	-1.174E-02	-4
46	1	46	47	1	beam	5.976E-02	1.366E+01	7.859E-03	1.508E-02	-4
45	1	45	46	1	beam	-2.194E-02	1.374E+01	-5.638E-04	-7.858E-03	-4
44	1	44	45	1	beam	-2.132E-02	1.352E+01	-9.866E-03	5.559E-04	-4
43	1	43	44	1	beam	4.851E-02	1.331E+01	8.404E-03	9.867E-03	-4
42	1	42	43	1	beam	-2.132E-02	1.373E+01	3.730E-04	-8.404E-03	-4
41	1	41	42	1	beam	-1.084E-02	1.234E+01	-4.622E-03	-3.718E-04	-4
40	1	40	41	1	beam	1.460E-03	1.041E+01	-3.926E-03	4.628E-03	-3
39	1	39	40	1	beam	-4.695E-03	1.049E+01	-5.504E-03	3.922E-03	-3

38	1	38	39	1	beam	3.869E-02	1.057E+01	7.533E-03	5.503E-03	-3
37	1	37	38	1	beam	-3.380E-02	1.005E+01	-8.467E-03	-7.537E-03	-3
36	1	36	37	1	beam	1.787E-02	1.003E+01	1.755E-04	8.458E-03	-3
35	1	35	36	1	beam	-2.501E-03	1.091E+01	-1.040E-03	-1.845E-04	-3
34	1	34	35	1	beam	-3.069E-03	9.649E+00	-2.562E-03	1.049E-03	-3
33	1	33	34	1	beam	3.819E-03	1.022E+01	-6.951E-04	2.577E-03	-3
32	1	32	33	1	beam	-8.082E-07	1.036E+01	-6.800E-04	6.796E-04	-3
31	1	31	32	1	beam	-1.499E-02	9.977E+00	-7.911E-03	6.688E-04	-3
30	1	30	31	1	beam	3.212E-02	1.005E+01	7.291E-03	7.917E-03	-3
29	1	29	30	1	beam	-3.757E-02	1.053E+01	-5.355E-03	-7.305E-03	-3
28	1	28	29	1	beam	4.312E-03	1.062E+01	-3.891E-03	5.344E-03	-3
27	1	27	28	1	beam	-1.333E-03	1.043E+01	-4.537E-03	3.896E-03	-3
26	1	26	27	1	beam	1.029E-02	1.235E+01	1.956E-04	4.545E-03	-4
25	1	25	26	1	beam	2.201E-02	1.373E+01	8.497E-03	-2.052E-04	-4
24	1	24	25	1	beam	-4.891E-02	1.332E+01	-9.923E-03	-8.500E-03	-4
23	1	23	24	1	beam	2.152E-02	1.352E+01	-5.276E-04	9.924E-03	-4
22	1	22	23	1	beam	2.163E-02	1.375E+01	7.791E-03	5.141E-04	-4
21	1	21	22	1	beam	-5.939E-02	1.366E+01	-1.504E-02	-7.765E-03	-4
20	1	20	21	1	beam	6.800E-02	1.381E+01	1.168E-02	1.505E-02	-4
19	1	19	20	1	beam	-7.274E-02	1.406E+01	-1.513E-02	-1.169E-02	-4
18	1	18	19	1	beam	7.296E-02	1.437E+01	1.178E-02	1.512E-02	-4
17	1	17	18	1	beam	-7.484E-02	1.431E+01	-1.588E-02	-1.182E-02	-4
16	1	16	17	1	beam	7.656E-02	1.507E+01	1.245E-02	1.588E-02	-5
15	1	15	16	1	beam	-7.582E-02	1.464E+01	-1.737E-02	-1.243E-02	-4
14	1	14	15	1	beam	6.768E-02	1.580E+01	8.688E-03	1.737E-02	-5
13	1	13	14	1	beam	-2.704E-02	1.576E+01	-1.696E-03	-8.715E-03	-5
12	1	12	13	1	beam	-3.054E-02	1.622E+01	-1.506E-02	1.701E-03	-5
11	1	11	12	1	beam	8.672E-02	1.812E+01	1.736E-02	1.508E-02	-6
10	1	10	11	1	beam	-6.344E-02	1.784E+01	-6.341E-03	-1.740E-02	-5
9	1	9	10	1	beam	1.329E-02	1.860E+01	-1.405E-04	6.320E-03	-6
8	1	8	9	1	beam	-2.688E-03	1.958E+01	-1.467E-03	1.558E-04	-6
7	1	7	8	1	beam	1.190E-05	2.053E+01	-1.463E-03	1.469E-03	-6
6	1	6	7	1	beam	-2.892E-03	2.154E+01	-2.963E-03	1.459E-03	-7
5	1	5	6	1	beam	-1.514E-03	2.278E+01	-3.771E-03	2.973E-03	-7
4	1	4	5	1	beam	-1.375E-02	2.465E+01	-1.100E-02	3.763E-03	-8
3	1	3	4	1	beam	2.191E-02	2.804E+01	3.868E-04	1.099E-02	-9
2	1	2	3	1	beam	-1.587E-01	3.496E+01	-7.995E-02	-3.574E-04	-1
1	1	1	2	1	beam	1.641E-01	4.982E+01	-2.388E-05	7.996E-02	-1

* FLAC log-file closed 17-Apr-1

8.2 FASE 4 – VERIFICHE TENSIONALI SULLO SPRITZ BETON E SUI BULLONI

In questa fase di calcolo sono presenti i seguenti elementi strutturali:

elementi beam da 1 a 66 rappresentanti lo spritz beton.
 elementi cable da 67 a 237 rappresentanti la bullonatura

Le sollecitazioni massime sullo spritz beton risultano:

elemento 64: $N_k = 63.89 \text{ kN}$ $M_k = 0.10 \text{ kNm}$

La tensione massima sullo spritz beton allo SLU risulta:

$$\sigma_{SB} = \frac{63.89 \times 1.3}{0.15} = 553 \text{ kPa} < f_{cd}$$

Le sollecitazioni massime sui bulloni risultano:

elemento 85: $N_k = 0.80 \text{ kN}$

Il tiro massimo sui bulloni allo SLU risulta:

$N_{sdu} = 1.04 \text{ kN} < F_{yd} = 180.95 \text{ kN}$

* FLAC log-file opened 17-Apr-19 17:28

FASE 4-GALLERIA DOSSO-SEZIONE GD-PS Al-Maturazione s.b. e chiodatura a 9.0m
 From File :dosa4.sav

Structural element data ...

Elem	ID	Nod1	Nod2	Prop		F-shear	F-axial	Mom-1	Mom-2	
66	1	66	67	1	beam	-2.100E-01	6.389E+01	-1.023E-01	1.059E-06	-1
65	1	65	66	1	beam	2.041E-01	4.489E+01	9.559E-04	1.023E-01	-1
64	1	64	65	1	beam	-2.917E-02	3.604E+01	-1.420E-02	-9.567E-04	-1
63	1	63	64	1	beam	1.741E-02	3.168E+01	-5.035E-03	1.420E-02	-9
62	1	62	63	1	beam	3.090E-03	2.928E+01	-3.407E-03	5.035E-03	-8
61	1	61	62	1	beam	2.552E-03	2.769E+01	-2.080E-03	3.407E-03	-8
60	1	60	61	1	beam	2.703E-05	2.639E+01	-2.065E-03	2.079E-03	-8
59	1	59	60	1	beam	4.609E-03	2.517E+01	1.850E-04	2.065E-03	-7
58	1	58	59	1	beam	-1.852E-02	2.394E+01	-8.428E-03	-1.860E-04	-7
57	1	57	58	1	beam	8.205E-02	2.297E+01	2.230E-02	8.428E-03	-7
56	1	56	57	1	beam	-9.996E-02	2.351E+01	-1.513E-02	-2.230E-02	-7
55	1	55	56	1	beam	1.926E-02	2.067E+01	-6.703E-03	1.513E-02	-6
54	1	54	55	1	beam	4.676E-02	2.000E+01	1.131E-02	6.705E-03	-6
53	1	53	54	1	beam	-8.504E-02	2.009E+01	-2.145E-02	-1.131E-02	-6
52	1	52	53	1	beam	9.340E-02	1.867E+01	1.526E-02	2.144E-02	-5
51	1	51	52	1	beam	-9.506E-02	1.919E+01	-1.994E-02	-1.526E-02	-5
50	1	50	51	1	beam	9.301E-02	1.822E+01	1.450E-02	1.994E-02	-5
49	1	49	50	1	beam	-8.954E-02	1.829E+01	-1.851E-02	-1.450E-02	-5
48	1	48	49	1	beam	8.905E-02	1.786E+01	1.432E-02	1.851E-02	-5
47	1	47	48	1	beam	-8.431E-02	1.756E+01	-1.882E-02	-1.432E-02	-5
46	1	46	47	1	beam	7.277E-02	1.730E+01	9.117E-03	1.882E-02	-5
45	1	45	46	1	beam	-2.396E-02	1.738E+01	-8.214E-05	-9.118E-03	-5
44	1	44	45	1	beam	-2.954E-02	1.712E+01	-1.298E-02	8.257E-05	-5
43	1	43	44	1	beam	6.168E-02	1.678E+01	1.025E-02	1.298E-02	-5
42	1	42	43	1	beam	-2.964E-02	1.722E+01	-9.137E-04	-1.025E-02	-5
41	1	41	42	1	beam	-8.421E-03	1.579E+01	-4.791E-03	9.136E-04	-4
40	1	40	41	1	beam	1.546E-03	1.384E+01	-4.049E-03	4.792E-03	-4
39	1	39	40	1	beam	-1.237E-02	1.391E+01	-8.217E-03	4.048E-03	-4
38	1	38	39	1	beam	5.140E-02	1.393E+01	9.103E-03	8.216E-03	-4
37	1	37	38	1	beam	-3.898E-02	1.335E+01	-9.360E-03	-9.101E-03	-4
36	1	36	37	1	beam	1.875E-02	1.334E+01	-3.014E-04	9.360E-03	-4
35	1	35	36	1	beam	-2.940E-03	1.422E+01	-1.739E-03	2.992E-04	-4
34	1	34	35	1	beam	-1.869E-03	1.296E+01	-2.660E-03	1.739E-03	-3
33	1	33	34	1	beam	2.572E-03	1.353E+01	-1.394E-03	2.662E-03	-4
32	1	32	33	1	beam	5.040E-04	1.367E+01	-1.146E-03	1.393E-03	-4
31	1	31	32	1	beam	-1.588E-02	1.329E+01	-8.814E-03	1.146E-03	-4
30	1	30	31	1	beam	3.734E-02	1.336E+01	8.867E-03	8.815E-03	-4
29	1	29	30	1	beam	-5.027E-02	1.389E+01	-8.072E-03	-8.866E-03	-4
28	1	28	29	1	beam	1.203E-02	1.404E+01	-4.019E-03	8.071E-03	-4
27	1	27	28	1	beam	-1.413E-03	1.387E+01	-4.696E-03	4.017E-03	-4
26	1	26	27	1	beam	7.819E-03	1.580E+01	-1.096E-03	4.696E-03	-4
25	1	25	26	1	beam	3.038E-02	1.722E+01	1.035E-02	1.097E-03	-5
24	1	24	25	1	beam	-6.213E-02	1.679E+01	-1.305E-02	-1.035E-02	-5
23	1	23	24	1	beam	2.985E-02	1.713E+01	-1.992E-05	1.305E-02	-5
22	1	22	23	1	beam	2.359E-02	1.738E+01	9.036E-03	2.072E-05	-5
21	1	21	22	1	beam	-7.250E-02	1.730E+01	-1.880E-02	-9.036E-03	-5
20	1	20	21	1	beam	8.412E-02	1.758E+01	1.427E-02	1.880E-02	-5
19	1	19	20	1	beam	-8.892E-02	1.788E+01	-1.852E-02	-1.427E-02	-5
18	1	18	19	1	beam	8.976E-02	1.833E+01	1.458E-02	1.852E-02	-5
17	1	17	18	1	beam	-9.390E-02	1.826E+01	-2.017E-02	-1.458E-02	-5
16	1	16	17	1	beam	9.649E-02	1.926E+01	1.553E-02	2.017E-02	-5
15	1	15	16	1	beam	-9.459E-02	1.872E+01	-2.164E-02	-1.553E-02	-5
14	1	14	15	1	beam	8.421E-02	2.023E+01	1.078E-02	2.164E-02	-6
13	1	13	14	1	beam	-3.350E-02	2.018E+01	-2.118E-03	-1.078E-02	-6
12	1	12	13	1	beam	-3.998E-02	2.079E+01	-1.961E-02	2.118E-03	-6
11	1	11	12	1	beam	1.135E-01	2.326E+01	2.285E-02	1.961E-02	-7
10	1	10	11	1	beam	-8.399E-02	2.288E+01	-8.570E-03	-2.285E-02	-7
9	1	9	10	1	beam	1.899E-02	2.387E+01	2.597E-04	8.571E-03	-7
8	1	8	9	1	beam	-4.788E-03	2.514E+01	-2.076E-03	-2.601E-04	-7
7	1	7	8	1	beam	-6.292E-06	2.637E+01	-2.079E-03	2.076E-03	-8
6	1	6	7	1	beam	-2.482E-03	2.768E+01	-3.370E-03	2.079E-03	-8
5	1	5	6	1	beam	-3.163E-03	2.928E+01	-5.035E-03	3.369E-03	-8

4	1	4	5	1	beam	-1.735E-02	3.169E+01	-1.417E-02	5.035E-03	-9
3	1	3	4	1	beam	2.887E-02	3.605E+01	8.262E-04	1.417E-02	-1
2	1	2	3	1	beam	-2.035E-01	4.489E+01	-1.021E-01	-8.268E-04	-1
1	1	1	2	1	beam	2.097E-01	6.383E+01	6.286E-07	1.021E-01	-1

Structural element data ...

Elem	ID	Nod1	Nod2	Prop	F-shear	F-axial	Mom-1	Mom-2	
237	20	237	238	2 cable	0.000E+00	-6.282E-02	0.000E+00	0.000E+00	6
236	20	236	237	2 cable	0.000E+00	-6.855E-02	0.000E+00	0.000E+00	7
235	20	235	236	2 cable	0.000E+00	-7.706E-02	0.000E+00	0.000E+00	8
234	20	234	235	2 cable	0.000E+00	-9.634E-02	0.000E+00	0.000E+00	1
233	20	233	234	2 cable	0.000E+00	-1.158E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
232	20	232	233	2 cable	0.000E+00	-1.481E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
231	20	231	232	2 cable	0.000E+00	-2.107E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
230	20	230	231	2 cable	0.000E+00	-3.605E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
229	20	65	230	2 cable	0.000E+00	-7.001E-01	0.000E+00	0.000E+00	7
228	19	228	229	2 cable	0.000E+00	-1.064E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
227	19	227	228	2 cable	0.000E+00	-1.150E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
226	19	226	227	2 cable	0.000E+00	-1.286E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
225	19	225	226	2 cable	0.000E+00	-1.757E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
224	19	224	225	2 cable	0.000E+00	-2.091E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
223	19	223	224	2 cable	0.000E+00	-2.677E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
222	19	222	223	2 cable	0.000E+00	-3.654E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
221	19	221	222	2 cable	0.000E+00	-5.115E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
220	19	62	221	2 cable	0.000E+00	-7.414E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
219	18	219	220	2 cable	0.000E+00	-1.636E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
218	18	218	219	2 cable	0.000E+00	-1.746E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
217	18	217	218	2 cable	0.000E+00	-2.075E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
216	18	216	217	2 cable	0.000E+00	-2.568E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
215	18	215	216	2 cable	0.000E+00	-2.971E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
214	18	214	215	2 cable	0.000E+00	-3.610E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
213	18	213	214	2 cable	0.000E+00	-4.612E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
212	18	212	213	2 cable	0.000E+00	-6.005E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
211	18	59	212	2 cable	0.000E+00	-7.980E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
210	17	210	211	2 cable	0.000E+00	-1.847E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
209	17	209	210	2 cable	0.000E+00	-1.965E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
208	17	208	209	2 cable	0.000E+00	-2.366E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
207	17	207	208	2 cable	0.000E+00	-2.753E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
206	17	206	207	2 cable	0.000E+00	-3.124E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
205	17	205	206	2 cable	0.000E+00	-3.829E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
204	17	204	205	2 cable	0.000E+00	-4.671E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
203	17	203	204	2 cable	0.000E+00	-5.805E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
202	17	57	203	2 cable	0.000E+00	-7.008E-01	0.000E+00	0.000E+00	7
201	16	201	202	2 cable	0.000E+00	-1.976E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
200	16	200	201	2 cable	0.000E+00	-2.204E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
199	16	199	200	2 cable	0.000E+00	-2.554E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
198	16	198	199	2 cable	0.000E+00	-3.024E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
197	16	197	198	2 cable	0.000E+00	-3.468E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
196	16	196	197	2 cable	0.000E+00	-4.125E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
195	16	195	196	2 cable	0.000E+00	-4.951E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
194	16	194	195	2 cable	0.000E+00	-6.047E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
193	16	53	194	2 cable	0.000E+00	-7.539E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
192	15	192	193	2 cable	0.000E+00	-2.103E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
191	15	191	192	2 cable	0.000E+00	-2.381E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
190	15	190	191	2 cable	0.000E+00	-2.707E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
189	15	189	190	2 cable	0.000E+00	-3.165E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
188	15	188	189	2 cable	0.000E+00	-3.615E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
187	15	187	188	2 cable	0.000E+00	-4.312E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
186	15	186	187	2 cable	0.000E+00	-5.033E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
185	15	185	186	2 cable	0.000E+00	-6.016E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
184	15	49	185	2 cable	0.000E+00	-7.370E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
183	14	183	184	2 cable	0.000E+00	-2.345E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
182	14	182	183	2 cable	0.000E+00	-2.638E-01	0.000E+00	0.000E+00	2

181	14	181	182	2 cable	0.000E+00	-2.952E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
180	14	180	181	2 cable	0.000E+00	-3.397E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
179	14	179	180	2 cable	0.000E+00	-3.925E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
178	14	178	179	2 cable	0.000E+00	-4.521E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
177	14	177	178	2 cable	0.000E+00	-5.248E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
176	14	176	177	2 cable	0.000E+00	-6.171E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
175	14	45	176	2 cable	0.000E+00	-7.383E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
174	13	174	175	2 cable	0.000E+00	-2.405E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
173	13	173	174	2 cable	0.000E+00	-2.669E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
172	13	172	173	2 cable	0.000E+00	-2.965E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
171	13	171	172	2 cable	0.000E+00	-3.454E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
170	13	170	171	2 cable	0.000E+00	-3.991E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
169	13	169	170	2 cable	0.000E+00	-4.549E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
168	13	168	169	2 cable	0.000E+00	-5.358E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
167	13	167	168	2 cable	0.000E+00	-6.234E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
166	13	41	167	2 cable	0.000E+00	-7.474E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
165	12	165	166	2 cable	0.000E+00	-2.677E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
164	12	164	165	2 cable	0.000E+00	-2.903E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
163	12	163	164	2 cable	0.000E+00	-3.267E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
162	12	162	163	2 cable	0.000E+00	-3.739E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
161	12	161	162	2 cable	0.000E+00	-4.227E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
160	12	160	161	2 cable	0.000E+00	-4.828E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
159	12	159	160	2 cable	0.000E+00	-5.500E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
158	12	158	159	2 cable	0.000E+00	-6.473E-01	0.000E+00	0.000E+00	7
157	12	37	158	2 cable	0.000E+00	-7.492E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
156	11	156	157	2 cable	0.000E+00	-2.346E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
155	11	155	156	2 cable	0.000E+00	-2.568E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
154	11	154	155	2 cable	0.000E+00	-2.866E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
153	11	153	154	2 cable	0.000E+00	-3.344E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
152	11	152	153	2 cable	0.000E+00	-3.877E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
151	11	151	152	2 cable	0.000E+00	-4.479E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
150	11	150	151	2 cable	0.000E+00	-5.237E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
149	11	149	150	2 cable	0.000E+00	-6.177E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
148	11	34	149	2 cable	0.000E+00	-7.404E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
147	10	147	148	2 cable	0.000E+00	-2.676E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
146	10	146	147	2 cable	0.000E+00	-2.903E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
145	10	145	146	2 cable	0.000E+00	-3.266E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
144	10	144	145	2 cable	0.000E+00	-3.740E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
143	10	143	144	2 cable	0.000E+00	-4.228E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
142	10	142	143	2 cable	0.000E+00	-4.829E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
141	10	141	142	2 cable	0.000E+00	-5.501E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
140	10	140	141	2 cable	0.000E+00	-6.475E-01	0.000E+00	0.000E+00	7
139	10	31	140	2 cable	0.000E+00	-7.493E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
138	9	138	139	2 cable	0.000E+00	-2.329E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
137	9	137	138	2 cable	0.000E+00	-2.585E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
136	9	136	137	2 cable	0.000E+00	-2.926E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
135	9	135	136	2 cable	0.000E+00	-3.409E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
134	9	134	135	2 cable	0.000E+00	-3.924E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
133	9	133	134	2 cable	0.000E+00	-4.537E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
132	9	132	133	2 cable	0.000E+00	-5.303E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
131	9	131	132	2 cable	0.000E+00	-6.304E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
130	9	27	131	2 cable	0.000E+00	-7.516E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
129	8	129	130	2 cable	0.000E+00	-2.283E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
128	8	128	129	2 cable	0.000E+00	-2.574E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
127	8	127	128	2 cable	0.000E+00	-2.905E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
126	8	126	127	2 cable	0.000E+00	-3.378E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
125	8	125	126	2 cable	0.000E+00	-3.871E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
124	8	124	125	2 cable	0.000E+00	-4.529E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
123	8	123	124	2 cable	0.000E+00	-5.331E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
122	8	122	123	2 cable	0.000E+00	-6.332E-01	0.000E+00	0.000E+00	7
121	8	23	122	2 cable	0.000E+00	-7.563E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
120	7	120	121	2 cable	0.000E+00	-1.996E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
119	7	119	120	2 cable	0.000E+00	-2.268E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
118	7	118	119	2 cable	0.000E+00	-2.617E-01	0.000E+00	0.000E+00	2

117	7	117	118	2 cable	0.000E+00	-3.073E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
116	7	116	117	2 cable	0.000E+00	-3.579E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
115	7	115	116	2 cable	0.000E+00	-4.245E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
114	7	114	115	2 cable	0.000E+00	-5.115E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
113	7	113	114	2 cable	0.000E+00	-6.202E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
112	7	19	113	2 cable	0.000E+00	-7.646E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
111	6	111	112	2 cable	0.000E+00	-1.801E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
110	6	110	111	2 cable	0.000E+00	-2.032E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
109	6	109	110	2 cable	0.000E+00	-2.354E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
108	6	108	109	2 cable	0.000E+00	-2.850E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
107	6	107	108	2 cable	0.000E+00	-3.364E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
106	6	106	107	2 cable	0.000E+00	-4.041E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
105	6	105	106	2 cable	0.000E+00	-4.943E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
104	6	104	105	2 cable	0.000E+00	-6.141E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
103	6	15	104	2 cable	0.000E+00	-7.830E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
102	5	102	103	2 cable	0.000E+00	-1.615E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
101	5	101	102	2 cable	0.000E+00	-1.775E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
100	5	100	101	2 cable	0.000E+00	-2.060E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
99	5	99	100	2 cable	0.000E+00	-2.562E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
98	5	98	99	2 cable	0.000E+00	-3.030E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
97	5	97	98	2 cable	0.000E+00	-3.681E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
96	5	96	97	2 cable	0.000E+00	-4.606E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
95	5	95	96	2 cable	0.000E+00	-5.929E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
94	5	11	95	2 cable	0.000E+00	-7.518E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
93	4	93	94	2 cable	0.000E+00	-1.337E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
92	4	92	93	2 cable	0.000E+00	-1.490E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
91	4	91	92	2 cable	0.000E+00	-1.705E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
90	4	90	91	2 cable	0.000E+00	-2.201E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
89	4	89	90	2 cable	0.000E+00	-2.699E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
88	4	88	89	2 cable	0.000E+00	-3.388E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
87	4	87	88	2 cable	0.000E+00	-4.386E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
86	4	86	87	2 cable	0.000E+00	-5.835E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
85	4	9	86	2 cable	0.000E+00	-8.022E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
84	3	84	85	2 cable	0.000E+00	-8.457E-02	0.000E+00	0.000E+00	9
83	3	83	84	2 cable	0.000E+00	-9.500E-02	0.000E+00	0.000E+00	1
82	3	82	83	2 cable	0.000E+00	-1.096E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
81	3	81	82	2 cable	0.000E+00	-1.324E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
80	3	80	81	2 cable	0.000E+00	-1.764E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
79	3	79	80	2 cable	0.000E+00	-2.328E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
78	3	78	79	2 cable	0.000E+00	-3.192E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
77	3	77	78	2 cable	0.000E+00	-4.931E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
76	3	6	77	2 cable	0.000E+00	-7.596E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
75	2	75	76	2 cable	0.000E+00	-5.234E-02	0.000E+00	0.000E+00	5
74	2	74	75	2 cable	0.000E+00	-5.807E-02	0.000E+00	0.000E+00	6
73	2	73	74	2 cable	0.000E+00	-6.593E-02	0.000E+00	0.000E+00	7
72	2	72	73	2 cable	0.000E+00	-7.740E-02	0.000E+00	0.000E+00	8
71	2	71	72	2 cable	0.000E+00	-9.751E-02	0.000E+00	0.000E+00	1
70	2	70	71	2 cable	0.000E+00	-1.237E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
69	2	69	70	2 cable	0.000E+00	-1.692E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
68	2	68	69	2 cable	0.000E+00	-3.061E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
67	2	3	68	2 cable	0.000E+00	-6.703E-01	0.000E+00	0.000E+00	7

* FLAC log-file closed

17-Apr-1

8.3 FASE 5 – VERIFICHE TENSIONALI SULLO SPRITZ BETON, SUI BULLONI E SULL'ARCO ROVESCIO

In questa fase di calcolo sono presenti i seguenti elementi strutturali:

elementi beam da 1 a 66	rappresentanti lo spritz beton
elementi cable da 67 a 238	rappresentanti la bullonatura
elementi beam da 239 a 279	rappresentanti l'arco rovescio

Le sollecitazioni massime sullo spritz beton risultano:

elemento 66: $N_k = 62.44 \text{ kN}$ $M_k = 0.79 \text{ kN m}$

La tensione massima sullo spritz beton allo SLU risulta:

$$\sigma_{SB} = \frac{62.44 \times 1.3}{0.15} = 541 \text{ kPa} < f_{cd}$$

Le sollecitazioni massime sui bulloni risultano:

elemento 229: $N_k = 2.16 \text{ kN}$

Il tiro massimo sui bulloni allo SLU risulta:

$N_{sdu} = 2.80 \text{ kN} < F_{yd} = 180.95 \text{ kN}$

Le sollecitazioni massime sull'arco rovescio risultano:

incastro elemento 239: $N_k = 1049 \text{ kN}$ $M_k = 135.9 \text{ kN m}$ $T_k = 302.1 \text{ kN}$

mezzeria elemento 165: $N_k = 41 \text{ kN}$ $M_k = 7.44 \text{ kN m}$ $T_k = 5.92 \text{ kN}$

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	N _{SDU} (kN)	M _{SDU} (kN m)	N _{RD} (kN)	M _{RD} (kNm)	FS
INCASTRO	70	1 Φ 20/20	1363	176.67	1363	733	4.15
MEZZERIA	70	-	53	9.67	4728	-	89.20

Tabella 8.1 – Fase 5 - Verifica a flessione dell'arco rovescio

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	V _{SDU} (kN)	V _{RD} (kN)	FS
INCASTRO	70	1 Φ 24/20/40	392.73	1541	3.92
MEZZERIA	70	-	7.69	244	31.72

Tabella 8.2 – Fase 5 - Verifica a taglio dell'arco rovescio

* FLAC log-file opened 17-Apr-19 17:25

FASE 5-GALLERIA DOSSO-SEZIONE GD-PS Al-Scavo-getto dell'arco rovescio a 45m
 From File :dosa5.sav

Structural element data ...

Elem	ID	Nod1	Nod2	Prop		F-shear	F-axial	Mom-1	Mom-2	
279	21	279	1	3	beam	1.052E+02	8.297E+02	4.802E+01	8.016E-01	-5
278	21	278	279	3	beam	3.468E+02	1.047E+03	1.493E+02	-4.802E+01	-7
277	21	277	278	3	beam	-3.326E+02	9.968E+02	3.402E+01	-1.493E+02	-7
276	21	276	277	3	beam	-8.318E+01	8.209E+02	-7.032E+00	-3.402E+01	-5
275	21	275	276	3	beam	-9.340E-01	5.099E+02	-7.451E+00	7.032E+00	-3
274	21	274	275	3	beam	1.312E+01	4.611E+02	-9.978E-01	7.450E+00	-3
273	21	273	274	3	beam	-4.569E+00	2.948E+02	-2.527E+00	9.978E-01	-2
272	21	272	273	3	beam	6.432E+00	2.888E+02	-3.741E-01	2.527E+00	-2
271	21	271	272	3	beam	2.656E+00	2.168E+02	8.459E-01	3.740E-01	-1
270	21	270	271	3	beam	-1.894E+00	1.602E+02	2.358E-01	-8.460E-01	-1
269	21	269	270	3	beam	-1.116E+01	1.009E+02	-3.359E+00	-2.358E-01	-7
268	21	268	269	3	beam	6.565E-01	6.523E+01	-3.050E+00	3.359E+00	-4
267	21	267	268	3	beam	-3.436E+00	8.535E+00	-4.704E+00	3.050E+00	-6
266	21	266	267	3	beam	-3.128E+00	-1.595E+01	-5.649E+00	4.704E+00	1
265	21	265	266	3	beam	-5.929E+00	-4.118E+01	-7.442E+00	5.649E+00	2
264	21	264	265	3	beam	7.389E+00	-6.928E+01	-3.876E+00	7.442E+00	4
263	21	263	264	3	beam	2.412E+00	-9.348E+01	-2.695E+00	3.876E+00	6
262	21	262	263	3	beam	1.190E-01	-1.143E+02	-2.636E+00	2.695E+00	8
261	21	261	262	3	beam	6.875E-01	-1.315E+02	-2.293E+00	2.636E+00	9

260	21	260	261	3	beam	9.709E-02	-1.419E+02	-2.244E+00	2.293E+00	1
259	21	259	260	3	beam	-4.863E-01	-1.498E+02	-2.489E+00	2.244E+00	1
258	21	258	259	3	beam	7.881E-01	-1.501E+02	-2.093E+00	2.489E+00	1
257	21	257	258	3	beam	-3.645E-01	-1.413E+02	-2.276E+00	2.093E+00	1
256	21	256	257	3	beam	-5.492E-01	-1.306E+02	-2.550E+00	2.276E+00	9
255	21	255	256	3	beam	-2.716E-01	-1.139E+02	-2.684E+00	2.550E+00	8
254	21	254	255	3	beam	-2.824E+00	-9.346E+01	-4.066E+00	2.684E+00	6
253	21	253	254	3	beam	-7.547E+00	-7.004E+01	-7.709E+00	4.066E+00	5
252	21	252	253	3	beam	6.175E+00	-4.217E+01	-5.842E+00	7.709E+00	3
251	21	251	252	3	beam	3.771E+00	-1.688E+01	-4.702E+00	5.842E+00	1
250	21	250	251	3	beam	4.541E+00	7.126E+00	-2.516E+00	4.702E+00	-5
249	21	249	250	3	beam	-1.370E+00	6.438E+01	-3.161E+00	2.516E+00	-4
248	21	248	249	3	beam	1.108E+01	1.002E+02	4.099E-01	3.161E+00	-7
247	21	247	248	3	beam	-9.626E-01	1.604E+02	9.973E-02	-4.099E-01	-1
246	21	246	247	3	beam	-1.875E+00	2.141E+02	-7.614E-01	-9.975E-02	-1
245	21	245	246	3	beam	-6.650E+00	2.850E+02	-2.987E+00	7.614E-01	-2
244	21	244	245	3	beam	2.645E+00	2.898E+02	-2.102E+00	2.987E+00	-2
243	21	243	244	3	beam	-1.076E+01	4.573E+02	-7.399E+00	2.102E+00	-3
242	21	242	243	3	beam	2.186E+00	5.037E+02	-6.546E+00	7.399E+00	-3
241	21	241	242	3	beam	5.845E+01	7.691E+02	1.627E+01	6.546E+00	-5
240	21	240	241	3	beam	2.357E+02	9.510E+02	1.359E+02	-1.627E+01	-6
239	21	239	240	3	beam	-3.021E+02	1.049E+03	4.739E+01	-1.359E+02	-7
238	21	67	239	3	beam	-1.038E+02	8.307E+02	-7.975E-01	-4.739E+01	-5
66	1	66	67	1	beam	1.973E+00	6.244E+01	1.636E-01	7.975E-01	-1
65	1	65	66	1	beam	-4.400E-01	5.030E+01	-5.911E-02	-1.636E-01	-1
64	1	64	65	1	beam	1.253E-01	4.390E+01	6.016E-03	5.911E-02	-1
63	1	63	64	1	beam	-2.568E-02	4.029E+01	-7.513E-03	-6.016E-03	-1
62	1	62	63	1	beam	1.199E-02	3.807E+01	-1.195E-03	7.513E-03	-1
61	1	61	62	1	beam	-1.428E-03	3.647E+01	-1.938E-03	1.195E-03	-1
60	1	60	61	1	beam	2.008E-03	3.503E+01	-9.202E-04	1.938E-03	-9
59	1	59	60	1	beam	6.861E-03	3.355E+01	2.428E-03	9.205E-04	-9
58	1	58	59	1	beam	-3.529E-02	3.201E+01	-1.399E-02	-2.428E-03	-9
57	1	57	58	1	beam	1.555E-01	3.079E+01	4.426E-02	1.399E-02	-8
56	1	56	57	1	beam	-2.158E-01	3.221E+01	-3.655E-02	-4.426E-02	-9
55	1	55	56	1	beam	7.875E-02	2.707E+01	-2.078E-03	3.655E-02	-7
54	1	54	55	1	beam	5.330E-02	2.702E+01	1.845E-02	2.077E-03	-7
53	1	53	54	1	beam	-1.378E-01	2.717E+01	-3.460E-02	-1.845E-02	-7
52	1	52	53	1	beam	1.723E-01	2.489E+01	3.313E-02	3.460E-02	-7
51	1	51	52	1	beam	-2.092E-01	2.637E+01	-4.433E-02	-3.313E-02	-7
50	1	50	51	1	beam	2.273E-01	2.391E+01	3.983E-02	4.433E-02	-6
49	1	49	50	1	beam	-2.239E-01	2.536E+01	-4.270E-02	-3.983E-02	-7
48	1	48	49	1	beam	1.957E-01	2.325E+01	2.944E-02	4.270E-02	-6
47	1	47	48	1	beam	-1.551E-01	2.380E+01	-3.153E-02	-2.944E-02	-6
46	1	46	47	1	beam	1.220E-01	2.288E+01	1.531E-02	3.153E-02	-6
45	1	45	46	1	beam	-3.761E-02	2.320E+01	8.676E-04	-1.531E-02	-6
44	1	44	45	1	beam	-4.436E-02	2.294E+01	-1.850E-02	-8.674E-04	-6
43	1	43	44	1	beam	8.645E-02	2.228E+01	1.406E-02	1.850E-02	-6
42	1	42	43	1	beam	-4.452E-02	2.280E+01	-2.710E-03	-1.406E-02	-6
41	1	41	42	1	beam	-5.948E-03	2.130E+01	-5.449E-03	2.710E-03	-6
40	1	40	41	1	beam	9.511E-03	1.935E+01	-8.787E-04	5.449E-03	-5
39	1	39	40	1	beam	-5.350E-02	1.966E+01	-1.890E-02	8.790E-04	-5
38	1	38	39	1	beam	1.008E-01	1.898E+01	1.505E-02	1.890E-02	-5
37	1	37	38	1	beam	-5.596E-02	1.865E+01	-1.145E-02	-1.505E-02	-5
36	1	36	37	1	beam	2.215E-02	1.864E+01	-7.491E-04	1.145E-02	-5
35	1	35	36	1	beam	-2.664E-03	1.949E+01	-2.053E-03	7.483E-04	-5
34	1	34	35	1	beam	-3.968E-03	1.826E+01	-4.009E-03	2.054E-03	-5
33	1	33	34	1	beam	4.770E-03	1.883E+01	-1.660E-03	4.010E-03	-5
32	1	32	33	1	beam	6.828E-05	1.895E+01	-1.626E-03	1.659E-03	-5
31	1	31	32	1	beam	-1.943E-02	1.860E+01	-1.101E-02	1.625E-03	-5
30	1	30	31	1	beam	5.541E-02	1.865E+01	1.523E-02	1.101E-02	-5
29	1	29	30	1	beam	-1.041E-01	1.890E+01	-1.985E-02	-1.523E-02	-5
28	1	28	29	1	beam	5.916E-02	1.984E+01	8.198E-05	1.985E-02	-5
27	1	27	28	1	beam	-1.187E-02	1.937E+01	-5.620E-03	-8.255E-05	-5
26	1	26	27	1	beam	5.811E-03	2.132E+01	-2.944E-03	5.620E-03	-6

25	1	25	26	1	beam	4.694E-02	2.280E+01	1.474E-02	2.944E-03	-6
24	1	24	25	1	beam	-9.155E-02	2.224E+01	-1.975E-02	-1.474E-02	-6
23	1	23	24	1	beam	4.867E-02	2.300E+01	1.502E-03	1.975E-02	-6
22	1	22	23	1	beam	3.723E-02	2.323E+01	1.579E-02	-1.503E-03	-6
21	1	21	22	1	beam	-1.275E-01	2.295E+01	-3.315E-02	-1.580E-02	-6
20	1	20	21	1	beam	1.787E-01	2.385E+01	3.710E-02	3.315E-02	-6
19	1	19	20	1	beam	-2.549E-01	2.277E+01	-5.688E-02	-3.710E-02	-6
18	1	18	19	1	beam	2.890E-01	2.590E+01	4.968E-02	5.688E-02	-7
17	1	17	18	1	beam	-2.641E-01	2.387E+01	-4.805E-02	-4.968E-02	-6
16	1	16	17	1	beam	2.236E-01	2.649E+01	3.472E-02	4.805E-02	-7
15	1	15	16	1	beam	-1.783E-01	2.493E+01	-3.536E-02	-3.472E-02	-7
14	1	14	15	1	beam	1.391E-01	2.736E+01	1.819E-02	3.536E-02	-7
13	1	13	14	1	beam	-4.382E-02	2.721E+01	1.314E-03	-1.819E-02	-7
12	1	12	13	1	beam	-8.629E-02	2.748E+01	-3.644E-02	-1.314E-03	-7
11	1	11	12	1	beam	2.050E-01	3.160E+01	4.028E-02	3.644E-02	-8
10	1	10	11	1	beam	-1.425E-01	3.068E+01	-1.305E-02	-4.028E-02	-8
9	1	9	10	1	beam	3.292E-02	3.193E+01	2.258E-03	1.305E-02	-9
8	1	8	9	1	beam	-6.710E-03	3.351E+01	-1.016E-03	-2.257E-03	-9
7	1	7	8	1	beam	-1.810E-03	3.499E+01	-1.933E-03	1.016E-03	-9
6	1	6	7	1	beam	2.343E-03	3.644E+01	-7.146E-04	1.933E-03	-1
5	1	5	6	1	beam	-1.362E-02	3.806E+01	-7.888E-03	7.148E-04	-1
4	1	4	5	1	beam	2.648E-02	4.028E+01	6.053E-03	7.888E-03	-1
3	1	3	4	1	beam	-1.258E-01	4.387E+01	-5.931E-02	-6.052E-03	-1
2	1	2	3	1	beam	4.431E-01	5.025E+01	1.649E-01	5.931E-02	-1
1	1	1	2	1	beam	-1.984E+00	6.231E+01	-8.016E-01	-1.649E-01	-1

Structural element data ...

Elem	ID	Nod1	Nod2	Prop	F-shear	F-axial	Mom-1	Mom-2	
237	20	237	238	2 cable	0.000E+00	-2.529E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
236	20	236	237	2 cable	0.000E+00	-2.856E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
235	20	235	236	2 cable	0.000E+00	-3.328E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
234	20	234	235	2 cable	0.000E+00	-4.479E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
233	20	233	234	2 cable	0.000E+00	-5.689E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
232	20	232	233	2 cable	0.000E+00	-7.601E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
231	20	231	232	2 cable	0.000E+00	-1.074E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
230	20	230	231	2 cable	0.000E+00	-1.493E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
229	20	65	230	2 cable	0.000E+00	-2.163E+00	0.000E+00	0.000E+00	2
228	19	228	229	2 cable	0.000E+00	-3.419E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
227	19	227	228	2 cable	0.000E+00	-3.761E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
226	19	226	227	2 cable	0.000E+00	-4.265E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
225	19	225	226	2 cable	0.000E+00	-5.652E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
224	19	224	225	2 cable	0.000E+00	-6.724E-01	0.000E+00	0.000E+00	7
223	19	223	224	2 cable	0.000E+00	-8.378E-01	0.000E+00	0.000E+00	9
222	19	222	223	2 cable	0.000E+00	-1.083E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
221	19	221	222	2 cable	0.000E+00	-1.393E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
220	19	62	221	2 cable	0.000E+00	-1.945E+00	0.000E+00	0.000E+00	2
219	18	219	220	2 cable	0.000E+00	-4.591E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
218	18	218	219	2 cable	0.000E+00	-4.940E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
217	18	217	218	2 cable	0.000E+00	-5.817E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
216	18	216	217	2 cable	0.000E+00	-7.071E-01	0.000E+00	0.000E+00	7
215	18	215	216	2 cable	0.000E+00	-8.115E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
214	18	214	215	2 cable	0.000E+00	-9.704E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
213	18	213	214	2 cable	0.000E+00	-1.206E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
212	18	212	213	2 cable	0.000E+00	-1.524E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
211	18	59	212	2 cable	0.000E+00	-2.007E+00	0.000E+00	0.000E+00	2
210	17	210	211	2 cable	0.000E+00	-4.911E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
209	17	209	210	2 cable	0.000E+00	-5.263E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
208	17	208	209	2 cable	0.000E+00	-6.262E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
207	17	207	208	2 cable	0.000E+00	-7.254E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
206	17	206	207	2 cable	0.000E+00	-8.196E-01	0.000E+00	0.000E+00	9
205	17	205	206	2 cable	0.000E+00	-9.902E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
204	17	204	205	2 cable	0.000E+00	-1.195E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
203	17	203	204	2 cable	0.000E+00	-1.450E+00	0.000E+00	0.000E+00	1

202	17	57	203	2 cable	0.000E+00	-1.779E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
201	16	201	202	2 cable	0.000E+00	-5.045E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
200	16	200	201	2 cable	0.000E+00	-5.632E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
199	16	199	200	2 cable	0.000E+00	-6.503E-01	0.000E+00	0.000E+00	7
198	16	198	199	2 cable	0.000E+00	-7.673E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
197	16	197	198	2 cable	0.000E+00	-8.781E-01	0.000E+00	0.000E+00	9
196	16	196	197	2 cable	0.000E+00	-1.040E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
195	16	195	196	2 cable	0.000E+00	-1.245E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
194	16	194	195	2 cable	0.000E+00	-1.508E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
193	16	53	194	2 cable	0.000E+00	-1.931E+00	0.000E+00	0.000E+00	2
192	15	192	193	2 cable	0.000E+00	-5.252E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
191	15	191	192	2 cable	0.000E+00	-5.948E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
190	15	190	191	2 cable	0.000E+00	-6.762E-01	0.000E+00	0.000E+00	7
189	15	189	190	2 cable	0.000E+00	-7.907E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
188	15	188	189	2 cable	0.000E+00	-9.036E-01	0.000E+00	0.000E+00	9
187	15	187	188	2 cable	0.000E+00	-1.077E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
186	15	186	187	2 cable	0.000E+00	-1.258E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
185	15	185	186	2 cable	0.000E+00	-1.506E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
184	15	49	185	2 cable	0.000E+00	-1.946E+00	0.000E+00	0.000E+00	2
183	14	183	184	2 cable	0.000E+00	-5.796E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
182	14	182	183	2 cable	0.000E+00	-6.524E-01	0.000E+00	0.000E+00	7
181	14	181	182	2 cable	0.000E+00	-7.313E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
180	14	180	181	2 cable	0.000E+00	-8.436E-01	0.000E+00	0.000E+00	9
179	14	179	180	2 cable	0.000E+00	-9.761E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
178	14	178	179	2 cable	0.000E+00	-1.127E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
177	14	177	178	2 cable	0.000E+00	-1.311E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
176	14	176	177	2 cable	0.000E+00	-1.543E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
175	14	45	176	2 cable	0.000E+00	-1.863E+00	0.000E+00	0.000E+00	2
174	13	174	175	2 cable	0.000E+00	-5.905E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
173	13	173	174	2 cable	0.000E+00	-6.568E-01	0.000E+00	0.000E+00	7
172	13	172	173	2 cable	0.000E+00	-7.314E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
171	13	171	172	2 cable	0.000E+00	-8.549E-01	0.000E+00	0.000E+00	9
170	13	170	171	2 cable	0.000E+00	-9.899E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
169	13	169	170	2 cable	0.000E+00	-1.131E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
168	13	168	169	2 cable	0.000E+00	-1.336E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
167	13	167	168	2 cable	0.000E+00	-1.545E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
166	13	41	167	2 cable	0.000E+00	-1.898E+00	0.000E+00	0.000E+00	2
165	12	165	166	2 cable	0.000E+00	-6.572E-01	0.000E+00	0.000E+00	7
164	12	164	165	2 cable	0.000E+00	-7.142E-01	0.000E+00	0.000E+00	7
163	12	163	164	2 cable	0.000E+00	-8.052E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
162	12	162	163	2 cable	0.000E+00	-9.256E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
161	12	161	162	2 cable	0.000E+00	-1.049E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
160	12	160	161	2 cable	0.000E+00	-1.201E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
159	12	159	160	2 cable	0.000E+00	-1.373E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
158	12	158	159	2 cable	0.000E+00	-1.624E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
157	12	37	158	2 cable	0.000E+00	-1.892E+00	0.000E+00	0.000E+00	2
156	11	156	157	2 cable	0.000E+00	-5.735E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
155	11	155	156	2 cable	0.000E+00	-6.298E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
154	11	154	155	2 cable	0.000E+00	-7.045E-01	0.000E+00	0.000E+00	7
153	11	153	154	2 cable	0.000E+00	-8.254E-01	0.000E+00	0.000E+00	9
152	11	152	153	2 cable	0.000E+00	-9.599E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
151	11	151	152	2 cable	0.000E+00	-1.113E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
150	11	150	151	2 cable	0.000E+00	-1.305E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
149	11	149	150	2 cable	0.000E+00	-1.544E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
148	11	34	149	2 cable	0.000E+00	-1.882E+00	0.000E+00	0.000E+00	2
147	10	147	148	2 cable	0.000E+00	-6.570E-01	0.000E+00	0.000E+00	7
146	10	146	147	2 cable	0.000E+00	-7.141E-01	0.000E+00	0.000E+00	7
145	10	145	146	2 cable	0.000E+00	-8.051E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
144	10	144	145	2 cable	0.000E+00	-9.256E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
143	10	143	144	2 cable	0.000E+00	-1.049E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
142	10	142	143	2 cable	0.000E+00	-1.201E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
141	10	141	142	2 cable	0.000E+00	-1.373E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
140	10	140	141	2 cable	0.000E+00	-1.624E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
139	10	31	140	2 cable	0.000E+00	-1.893E+00	0.000E+00	0.000E+00	2

138	9	138	139	2 cable	0.000E+00	-5.722E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
137	9	137	138	2 cable	0.000E+00	-6.364E-01	0.000E+00	0.000E+00	7
136	9	136	137	2 cable	0.000E+00	-7.212E-01	0.000E+00	0.000E+00	7
135	9	135	136	2 cable	0.000E+00	-8.432E-01	0.000E+00	0.000E+00	9
134	9	134	135	2 cable	0.000E+00	-9.727E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
133	9	133	134	2 cable	0.000E+00	-1.128E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
132	9	132	133	2 cable	0.000E+00	-1.322E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
131	9	131	132	2 cable	0.000E+00	-1.578E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
130	9	27	131	2 cable	0.000E+00	-1.892E+00	0.000E+00	0.000E+00	2
129	8	129	130	2 cable	0.000E+00	-5.649E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
128	8	128	129	2 cable	0.000E+00	-6.373E-01	0.000E+00	0.000E+00	7
127	8	127	128	2 cable	0.000E+00	-7.197E-01	0.000E+00	0.000E+00	7
126	8	126	127	2 cable	0.000E+00	-8.388E-01	0.000E+00	0.000E+00	9
125	8	125	126	2 cable	0.000E+00	-9.626E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
124	8	124	125	2 cable	0.000E+00	-1.128E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
123	8	123	124	2 cable	0.000E+00	-1.332E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
122	8	122	123	2 cable	0.000E+00	-1.586E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
121	8	23	122	2 cable	0.000E+00	-1.905E+00	0.000E+00	0.000E+00	2
120	7	120	121	2 cable	0.000E+00	-5.000E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
119	7	119	120	2 cable	0.000E+00	-5.681E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
118	7	118	119	2 cable	0.000E+00	-6.547E-01	0.000E+00	0.000E+00	7
117	7	117	118	2 cable	0.000E+00	-7.682E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
116	7	116	117	2 cable	0.000E+00	-8.949E-01	0.000E+00	0.000E+00	9
115	7	115	116	2 cable	0.000E+00	-1.061E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
114	7	114	115	2 cable	0.000E+00	-1.278E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
113	7	113	114	2 cable	0.000E+00	-1.551E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
112	7	19	113	2 cable	0.000E+00	-2.060E+00	0.000E+00	0.000E+00	2
111	6	111	112	2 cable	0.000E+00	-4.629E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
110	6	110	111	2 cable	0.000E+00	-5.223E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
109	6	109	110	2 cable	0.000E+00	-6.034E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
108	6	108	109	2 cable	0.000E+00	-7.253E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
107	6	107	108	2 cable	0.000E+00	-8.533E-01	0.000E+00	0.000E+00	9
106	6	106	107	2 cable	0.000E+00	-1.020E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
105	6	105	106	2 cable	0.000E+00	-1.243E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
104	6	104	105	2 cable	0.000E+00	-1.537E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
103	6	15	104	2 cable	0.000E+00	-1.994E+00	0.000E+00	0.000E+00	2
102	5	102	103	2 cable	0.000E+00	-4.349E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
101	5	101	102	2 cable	0.000E+00	-4.796E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
100	5	100	101	2 cable	0.000E+00	-5.547E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
99	5	99	100	2 cable	0.000E+00	-6.795E-01	0.000E+00	0.000E+00	7
98	5	98	99	2 cable	0.000E+00	-7.985E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
97	5	97	98	2 cable	0.000E+00	-9.588E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
96	5	96	97	2 cable	0.000E+00	-1.181E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
95	5	95	96	2 cable	0.000E+00	-1.499E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
94	5	11	95	2 cable	0.000E+00	-1.887E+00	0.000E+00	0.000E+00	2
93	4	93	94	2 cable	0.000E+00	-3.822E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
92	4	92	93	2 cable	0.000E+00	-4.269E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
91	4	91	92	2 cable	0.000E+00	-4.896E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
90	4	90	91	2 cable	0.000E+00	-6.174E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
89	4	89	90	2 cable	0.000E+00	-7.465E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
88	4	88	89	2 cable	0.000E+00	-9.169E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
87	4	87	88	2 cable	0.000E+00	-1.154E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
86	4	86	87	2 cable	0.000E+00	-1.492E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
85	4	9	86	2 cable	0.000E+00	-2.010E+00	0.000E+00	0.000E+00	2
84	3	84	85	2 cable	0.000E+00	-2.728E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
83	3	83	84	2 cable	0.000E+00	-3.107E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
82	3	82	83	2 cable	0.000E+00	-3.617E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
81	3	81	82	2 cable	0.000E+00	-4.418E-01	0.000E+00	0.000E+00	4
80	3	80	81	2 cable	0.000E+00	-5.795E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
79	3	79	80	2 cable	0.000E+00	-7.447E-01	0.000E+00	0.000E+00	8
78	3	78	79	2 cable	0.000E+00	-9.823E-01	0.000E+00	0.000E+00	1
77	3	77	78	2 cable	0.000E+00	-1.379E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
76	3	6	77	2 cable	0.000E+00	-1.953E+00	0.000E+00	0.000E+00	2
75	2	75	76	2 cable	0.000E+00	-1.979E-01	0.000E+00	0.000E+00	2

74	2	74	75	2	cable	0.000E+00	-2.278E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
73	2	73	74	2	cable	0.000E+00	-2.700E-01	0.000E+00	0.000E+00	2
72	2	72	73	2	cable	0.000E+00	-3.344E-01	0.000E+00	0.000E+00	3
71	2	71	72	2	cable	0.000E+00	-4.525E-01	0.000E+00	0.000E+00	5
70	2	70	71	2	cable	0.000E+00	-6.148E-01	0.000E+00	0.000E+00	6
69	2	69	70	2	cable	0.000E+00	-8.859E-01	0.000E+00	0.000E+00	9
68	2	68	69	2	cable	0.000E+00	-1.426E+00	0.000E+00	0.000E+00	1
67	2	3	68	2	cable	0.000E+00	-2.067E+00	0.000E+00	0.000E+00	2

* FLAC log-file closed 17-Apr-1

**VERIFICA A STATO LIMITE ULTIMO PER TENSIONI NORMALI
GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSA1-FASE5 VERIFICA LIMITE INCASTRO ARCO ROVESCIO**

Profondità relativa dell'asse neutro (x/d)	$\xi =$	0,266	
Altezza totale della sezione	h =	70,00 [cm]	RISOLVI
Coprifero armatura tesa	c =	5,00 [cm]	
Altezza utile (h-c)	d =	65,00 [cm]	
Profondità dell'asse neutro	x =	17,31 [cm]	
Rapporto tra coprifero armatura tesa ed altezza utile (c/d)	$\delta =$	0,077	
Deformazione massima nel calcestruzzo	$\epsilon_{cls} =$	-0,00350	in y = 70,00 [cm]
Deformazione massima nell'acciaio teso	$\epsilon_{acc} =$	0,00964	in y = 5,00 [cm]
Parametro di deformazione λ ($\epsilon = \lambda + \mu y$)	$\lambda =$	0,01065	
Parametro di deformazione μ ($\epsilon = \lambda + \mu y$)	$\mu =$	-0,00020 [1/cm]	
Sforzo normale interno (rispetto alla base - y=0)	Nrd(y=0) =	-1363,00 [kN]	
Momento interno (rispetto alla base - y=0)	Mrd(y=0) =	1211,04 [kNm]	
Ordinata rispetto a cui vengono calcolate le sollecitazioni	y soll =	35,00 [cm]	
Sforzo normale interno (rispetto a y=y soll)	Nrd(y=y soll) =	-1363,00 [kN]	
Momento interno (rispetto a y=y soll)	Mrd(y=y soll) =	733,99 [kNm]	
Sforzo normale agente di calcolo (rispetto a y=y soll)	Nsd(y=y soll) =	-1363,00 [kN]	
Momento agente di calcolo (rispetto a y=y soll)	Msd(y=y soll) =	176,67 [kNm]	
Differenza tra sforzo normale agente ed interno (rispetto a y=y soll)	Nsd(y=y soll)-Nrd(y=y soll) =	0,00 [kN]	
Coefficiente di sicurezza di stato limite ultimo	Mrd(y=y soll)/Msd(y=y soll) =	4,15	

CALCESTRUZZO		Trave											
Elementi	Rck	fcd	b inf	h	b sup	y inf	y sup	ϵ inf	ϵ sup	σ inf	σ sup	Nrd(y=0)	Mrd(y=0)
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]			[N/mm ²]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]
1	30,00	16,60	100,00	70,00	100,00	0,00	70,00	0,01065	-0,00350	0,00	-14,11	-1977,34	1241,75
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,00	70,00	-0,00350	-0,00350	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,00	70,00	-0,00350	-0,00350	0,00	0,00	0,00	0,00
totali				70,00		0,00	70,00					-1977,34	1241,75

ACCIAIO		Armatura lenta											
Armature	Es	fyd	area	livello	ϵ acc	σ acc	Nrd(y=0)	Mrd(y=0)					
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[cm ²]	[cm]		[N/mm ²]	[kN]	[kNm]					
1	210000	391,30	15,70	5,00	0,00964	391,30	614,34	-30,72					
2	0	0,00	0,00	0,00	0,01065	0,00	0,00	0,00					
3	0	0,00	0,00	0,00	0,01065	0,00	0,00	0,00					
totali				5,00			614,34	-30,72					

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSA1-FASE5 VERIFICA MOMENTO MOMENTO POSITIVO ARCO ROVESCIO

fcd **141,10** daN/cm2
 b **100,00** cm
 a **70,00** cm
 Ned **53,00** kN
 Med **9,67** kNm
 e= **18,25** cm
 x= **33,51** cm
 Nrd **4728,18** kN
 ver **Ok**

4.1.11. CALCESTRUZZO A BASSA PERCENTUALE DI ARMATURA O NON ARMATO

Il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura è quello per il quale la percentuale di armatura messa in opera è minore di quella minima necessaria per il calcestruzzo armato o la quantità media in peso di acciaio per metro cubo di calcestruzzo è inferiore a 0,3 kN.

Sia il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura, sia quello non armato possono essere impiegati solo per elementi secondari o per strutture massicce o estese.

4.1.11.1 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA – NORME DI CALCOLO

Per le verifiche di resistenza delle sezioni sotto sforzi normali si adottano le competenti ipotesi tratte dal § 4.1.2.3.4.1. Per una sezione rettangolare di lati a e b soggetta ad una forza normale Ned con una eccentricità e nella direzione del lato a la verifica di resistenza allo SLU, con il modello (c) di § 4.1.2.1.2.1, si pone con

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = f_{cd} \cdot b \cdot x \quad [4.1.50]$$

con $x = a - 2e$.

La verifica di resistenza della stessa sezione rettangolare di lati a e b soggetta anche ad un sforzo di taglio Ved nella direzione del lato a si pone con

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = f_{cvd} \cdot b \cdot x / 1,5$$

con
 $f_{cvd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d})}$ per $\sigma_c \leq \sigma_{dim}$
 $f_{cvd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d} - \delta^2/4)}$ per $\sigma_c > \sigma_{dim}$

dove
 $\sigma_c = N_{Ed} / (b \cdot x)$
 $\delta = \sigma_c - \sigma_{dim}$
 $\sigma_{dim} = f_{cd} - 2 \sqrt{(f_{ct1d} + f_{cd} f_{ct1d})}$
 dove

$$f_{ct1d} = 0,85 f_{ctd}$$

è la resistenza a trazione di progetto per calcestruzzo non armato o debolmente armato.

fctd **11,97** daN/cm2
 fct1d **10,17** daN/cm2
 sigmac **1,58** daN/cm2
 sigmaclim **62,64** daN/cm2
 delta **-61,06** daN/cm2
 fcvd_1 **10,94** daN/cm2
 fcvd_2 **#NUM!** daN/cm2
 fcvd **10,94** daN/cm2
 Ved **7,69** kN
 Vrd **244,32** kN
 ver **Ok**

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSA1-FASE5 VERIFICA LIMITE INCASTRO ARCO ROVESCIO

VERIFICA A TAGLIO A SLU PER SEZIONE RETTANGOLARE

Verifica

Caratteristiche dei materiali

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo
 Coefficiente di sicurezza calcestruzzo
 Coefficiente di trasformazione resistenza cubica -> cilindrica
 Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo
 Coefficiente carichi lunga durata
 Resistenza di calcolo cilindrica calcestruzzo
 Tensione caratteristica di snervamento acciaio
 Coefficiente di sicurezza acciaio
 Tensione di calcolo di snervamento acciaio

Rck= **30** MPa
 gamma_c= **1,500**
 alfa1= **0,833**
 fck= **25** MPa
 alfa_cc= **0,850**
 fcd= **14,167** MPa
 fyk= **450** MPa
 gamma_s= **1,150**
 fyd= **391,3** MPa

Caratteristiche della sezione

Larghezza della membratura resistente a taglio
 Altezza della sezione
 Altezza utile sezione: d = h - c
 Area armature longitudinali tese
 Numero bracci
 Diametro dell'armatura trasversale posta all'interasse s
 Interasse armatura trasversale
 Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave
 Area di armatura trasversale posta all'interasse s
 Area di armatura trasversale a metro lineare

bw= **1000** mm
 h= **700** mm
 d= **650** mm
 Asl= **1005,31** mm2
 n= **2,5**
 fi= **24** mm
 s= **200** mm
 alfa= **90,000** °
 Asw= **1131** mm2
 asw= **5,655** mm2/mm

Sollecitazioni

Sforzo normale di compressione di calcolo (compressione = positivo)
 Taglio di calcolo agente sulla sezione allo s.l.u.
 Tensione media di compressione nella sezione: scp= min(Nsd/(bw*d) ; 0.2 * fcd)
 Tensione tangenziale baricentrica
 Tensione principale massima baricentrica
 Inclinazione minima dei "puntoni" di calcestruzzo rispetto all'asse della trave
 Coefficiente alfa
 Cotangente alfa
 Limite inferiore per inclinazione puntoni calcestruzzo (cot(teta1) = max(1,00; cot(tetai))
 Limite superiore per inclinazione puntoni calcestruzzo (cot(teta2), normalmente 2,50)
 Resistenza di calcolo a taglio-compressione massima possibile (cot(teta)=cot(teta1))
 Resistenza di calcolo a taglio-compressione minima (cot(teta)=cot(teta2))

Ned= **1363,00** kN
 Vsd= **392,73** kN
 scp= **1,947** N/mm2
 tau_b= **0,842** N/mm2
 sigma1= **0,313** N/mm2
 cot(teta1)= **2,686**
 alfa= **1,137**
 cot(alfa)= **0,00**
 cot(teta1)= **2,69**
 cot(teta2)= **2,50**
 Vrd,max= **1541** kN
 Vrd,min= **1625** kN

Verifica elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

Rapporto geometrico armatura longitudinale: ro(l)= min(Asl / (bw * d) ; 0.02)
 Coefficiente k=min(1+(200/d)^0.5 ; 2)
 Coefficiente vmin=0.035 * (k^1.5) * (fck^0.5)
 Tensione tangenziale resistente di calcolo (Vrcd = 0.90 * d * bw * alfa_c * fcd * (cot(alfa)+cot(teta)) / (1+cot(teta)^2)
 Tensione tangenziale resistente minima (vmin + 0,15 * scp)

ro(l)= **0,00155**
 k= **1,555**
 vmin= **0,339** N/mm2
 tau_1,calc= **0,585** N/mm2
 tau_2,min= **0,631** N/mm2
 Vrd= **410,35** kN
 tau(Vrd)= **0,70** N/mm2
 Vrd/Vsd= **1,045**

Sforzo di taglio resistente

Tensione tangenziale corrispondente allo Sforzo di taglio resistente
 Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (>= 1; solo calcestruzzo)

Verifica elementi con armature trasversali resistenti a taglio

Cotangente teta ottimale (cot(teta1)<cot(teta)<cot(teta2))
 Inclinazione puntoni calcestruzzo ottimale (cot(teta1)<cot(teta)<cot(teta2))
 Resistenza di calcolo a taglio-compressione (Vrcd = 0.90 * d * bw * alfa_c * fcd * (cot(alfa)+cot(teta)) / (1+cot(teta)^2))
 Resistenza di calcolo a taglio-trazione (Vrsd = 0.9 d Asw / s * fyd * (cot(alfa) + cot(teta)) * sen(alfa))
 Resistenza di calcolo Vrd = min (Vrcd ; Vrsd)
 Tensione tangenziale corrispondente alla Resistenza di calcolo Vrd
 Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (>= 1; solo calcestruzzo)

cot(teta)= **2,69**
 teta= **20,420** °
 Vrcd= **1541** kN
 Vrsd= **3477** kN
 Vrd = **1541** kN
 tau(Vrd)= **2,63** N/mm2
 Vrd/Vsd= **3,924**

8.4 FASE 6 – VERIFICHE TENSIONALI ARCO ROVESCIO E CALOTTA

In questa fase di calcolo sono presenti i seguenti elementi strutturali:

elementi beam da 1 a 66 rappresentanti la calotta
 elementi beam da 239 a 279 rappresentanti l'arco rovescio

Le sollecitazioni massime sull'arco rovescio risultano:

incastro elemento 279: $N_k = 855 \text{ kN}$ $M_k = 49.26 \text{ kN m}$ $T_k = 107.6 \text{ kN}$
 mezzeria elemento 253: $N_k = 59 \text{ kN}$ $M_k = 6.97 \text{ kN m}$ $T_k = 5.55 \text{ kN}$

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	N_{SDU} (kN)	M_{SDU} (kN m)	N_{RD} (kN)	M_{RD} (kNm)	FS
INCASTRO	70	1 Φ 20/20	1111	64.03	1111	678	10.60
MEZZERIA	70	-	76	9.06	6512	-	85.68

Tabella 8.3 – Fase 6 - Verifica a flessione dell'arco rovescio

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	V_{SDU} (kN)	V_{RD} (kN)	FS
INCASTRO	70	1 Φ 24/20/40	139.88	814	5.82
MEZZERIA	70	-	7.21	337	46.74

Tabella 8.4 – Fase 6 - Verifica a taglio dell'arco rovescio

Le sollecitazioni massime in calotta risultano:

incastro elemento 65: $N_k = 66 \text{ kN}$ $M_k = 0.21 \text{ kN m}$ $T_k = 0.68 \text{ kN}$
 max neg. elemento 56: $N_k = 43 \text{ kN}$ $M_k = 0.42 \text{ kN m}$ $T_k = 0.17 \text{ kN}$
 max pos. elemento 31: $N_k = 26 \text{ kN}$ $M_k = 0.12 \text{ kN m}$ $T_k = 0.32 \text{ kN}$

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	N_{SDU} (kN)	M_{SDU} (kN m)	N_{RD} (kN)	M_{RD} (kNm)	FS
INCASTRO	120	1 Φ 20/20	85	0.27	85	729	2703
MAX NEG	60	-	55	0.54	8188	-	15162
MAX POS	60		33	0.15	8337	-	55580

Tabella 8.5 – Fase 6 - Verifica a flessione della calotta

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	V _{SDU} (kN)	V _{RD} (kN)	FS
INCASTRO	120	1 Φ 20/20/20	0.88	114	129
CALOTTA	60	-	0.41	411	1002

Tabella 8.6 – Fase 6 - Verifica a taglio della calotta

* FLAC log-file opened 17-Apr-19 17:29

FASE 6-GALLERIA DOSSO-SEZIONE GD-PS Al-Getto calotta e maturazione a.r.

From File : dosa6.sav

Structural element data ...

Elem	ID	Nod1	Nod2	Prop		F-shear	F-axial	Mom-1	Mom-2	
279	21	279	1	3	beam	1.076E+02	8.557E+02	4.926E+01	6.685E-01	-6
278	21	278	279	3	beam	3.548E+02	1.075E+03	1.529E+02	-4.926E+01	-7
277	21	277	278	3	beam	-3.409E+02	1.024E+03	3.471E+01	-1.529E+02	-7
276	21	276	277	3	beam	-8.529E+01	8.458E+02	-7.383E+00	-3.471E+01	-5
275	21	275	276	3	beam	-1.425E+00	5.309E+02	-8.023E+00	7.384E+00	-3
274	21	274	275	3	beam	1.372E+01	4.806E+02	-1.279E+00	8.023E+00	-3
273	21	273	274	3	beam	-4.998E+00	3.122E+02	-2.952E+00	1.279E+00	-2
272	21	272	273	3	beam	6.593E+00	3.060E+02	-7.454E-01	2.952E+00	-2
271	21	271	272	3	beam	3.002E+00	2.329E+02	6.336E-01	7.454E-01	-1
270	21	270	271	3	beam	-1.687E+00	1.754E+02	9.005E-02	-6.335E-01	-1
269	21	269	270	3	beam	-1.149E+01	1.156E+02	-3.612E+00	-8.990E-02	-7
268	21	268	269	3	beam	1.303E+00	7.958E+01	-2.999E+00	3.612E+00	-5
267	21	267	268	3	beam	-2.857E+00	2.236E+01	-4.374E+00	2.999E+00	-1
266	21	266	267	3	beam	-2.569E+00	-2.634E+00	-5.151E+00	4.375E+00	5
265	21	265	266	3	beam	-5.172E+00	-2.880E+01	-6.715E+00	5.152E+00	2
264	21	264	265	3	beam	4.967E+00	-5.948E+01	-4.318E+00	6.716E+00	4
263	21	263	264	3	beam	1.236E+00	-8.497E+01	-3.713E+00	4.318E+00	6
262	21	262	263	3	beam	3.752E-01	-1.046E+02	-3.528E+00	3.713E+00	7
261	21	261	262	3	beam	1.536E+00	-1.197E+02	-2.761E+00	3.527E+00	8
260	21	260	261	3	beam	1.705E+00	-1.279E+02	-1.905E+00	2.761E+00	9
259	21	259	260	3	beam	5.653E-01	-1.329E+02	-1.620E+00	1.905E+00	9
258	21	258	259	3	beam	-4.385E-01	-1.333E+02	-1.841E+00	1.620E+00	9
257	21	257	258	3	beam	-1.801E+00	-1.276E+02	-2.745E+00	1.841E+00	9
256	21	256	257	3	beam	-1.367E+00	-1.190E+02	-3.428E+00	2.745E+00	8
255	21	255	256	3	beam	-4.011E-01	-1.043E+02	-3.626E+00	3.428E+00	7
254	21	254	255	3	beam	-1.368E+00	-8.467E+01	-4.296E+00	3.626E+00	6
253	21	253	254	3	beam	-5.558E+00	-5.964E+01	-6.978E+00	4.296E+00	4
252	21	252	253	3	beam	5.417E+00	-2.944E+01	-5.340E+00	6.978E+00	2
251	21	251	252	3	beam	3.242E+00	-3.300E+00	-4.360E+00	5.340E+00	5
250	21	250	251	3	beam	3.744E+00	2.122E+01	-2.558E+00	4.360E+00	-1
249	21	249	250	3	beam	-1.984E+00	7.860E+01	-3.491E+00	2.558E+00	-5
248	21	248	249	3	beam	1.122E+01	1.145E+02	1.233E-01	3.491E+00	-7
247	21	247	248	3	beam	-1.062E+00	1.750E+02	-2.191E-01	-1.232E-01	-1
246	21	246	247	3	beam	-2.173E+00	2.292E+02	-1.218E+00	2.194E-01	-1
245	21	245	246	3	beam	-6.715E+00	3.018E+02	-3.465E+00	1.218E+00	-2
244	21	244	245	3	beam	3.423E+00	3.071E+02	-2.319E+00	3.465E+00	-2
243	21	243	244	3	beam	-1.130E+01	4.768E+02	-7.884E+00	2.320E+00	-3
242	21	242	243	3	beam	2.344E+00	5.245E+02	-6.969E+00	7.884E+00	-3
241	21	241	242	3	beam	6.012E+01	7.933E+02	1.650E+01	6.969E+00	-5
240	21	240	241	3	beam	2.419E+02	9.777E+02	1.393E+02	-1.650E+01	-6
239	21	239	240	3	beam	-3.094E+02	1.077E+03	4.863E+01	-1.393E+02	-7
238	21	67	239	3	beam	-1.062E+02	8.568E+02	-6.687E-01	-4.863E+01	-6
66	1	66	67	1	beam	1.633E+00	7.986E+01	1.271E-01	6.686E-01	-1
65	1	65	66	1	beam	-6.823E-01	6.602E+01	-2.183E-01	-1.270E-01	-1

64	1	64	65	1	beam	5.530E-01	5.824E+01	6.905E-02	2.183E-01	-1
63	1	63	64	1	beam	-3.028E-02	5.386E+01	5.301E-02	-6.896E-02	-1
62	1	62	63	1	beam	-3.276E-01	5.109E+01	-1.196E-01	-5.296E-02	-1
61	1	61	62	1	beam	3.791E-01	4.888E+01	7.749E-02	1.196E-01	-1
60	1	60	61	1	beam	-2.696E-02	4.708E+01	6.387E-02	-7.753E-02	-1
59	1	59	60	1	beam	-3.249E-01	4.522E+01	-9.468E-02	-6.392E-02	-9
58	1	58	59	1	beam	4.305E-01	4.323E+01	1.056E-01	9.465E-02	-9
57	1	57	58	1	beam	2.933E-01	4.156E+01	2.155E-01	-1.057E-01	-8
56	1	56	57	1	beam	-1.710E+00	4.374E+01	-4.250E-01	-2.155E-01	-9
55	1	55	56	1	beam	1.201E+00	3.589E+01	1.006E-01	4.249E-01	-7
54	1	54	55	1	beam	6.194E-02	3.697E+01	1.244E-01	-1.005E-01	-7
53	1	53	54	1	beam	-7.159E-01	3.685E+01	-1.513E-01	-1.244E-01	-7
52	1	52	53	1	beam	8.896E-01	3.395E+01	1.984E-01	1.512E-01	-7
51	1	51	52	1	beam	-1.372E+00	3.618E+01	-3.095E-01	-1.984E-01	-7
50	1	50	51	1	beam	1.355E+00	3.187E+01	1.923E-01	3.094E-01	-6
49	1	49	50	1	beam	-1.090E+00	3.445E+01	-2.095E-01	-1.923E-01	-7
48	1	48	49	1	beam	1.134E+00	3.152E+01	2.087E-01	2.095E-01	-6
47	1	47	48	1	beam	-9.636E-01	3.267E+01	-1.700E-01	-2.088E-01	-6
46	1	46	47	1	beam	3.936E-01	3.044E+01	-1.886E-02	1.700E-01	-6
45	1	45	46	1	beam	-1.881E-01	3.134E+01	-9.101E-02	1.880E-02	-6
44	1	44	45	1	beam	2.601E-01	3.081E+01	2.263E-02	9.093E-02	-6
43	1	43	44	1	beam	1.533E-01	3.021E+01	8.042E-02	-2.267E-02	-6
42	1	42	43	1	beam	-1.107E-01	3.061E+01	3.875E-02	-8.045E-02	-6
41	1	41	42	1	beam	-3.872E-01	2.910E+01	-1.395E-01	-3.875E-02	-6
40	1	40	41	1	beam	3.438E-01	2.696E+01	2.569E-02	1.395E-01	-5
39	1	39	40	1	beam	-9.066E-02	2.722E+01	-4.952E-03	-2.560E-02	-5
38	1	38	39	1	beam	2.396E-01	2.646E+01	7.566E-02	5.076E-03	-5
37	1	37	38	1	beam	-4.321E-01	2.609E+01	-1.291E-01	-7.548E-02	-5
36	1	36	37	1	beam	3.284E-01	2.607E+01	2.931E-02	1.293E-01	-5
35	1	35	36	1	beam	1.188E-02	2.689E+01	3.500E-02	-2.918E-02	-5
34	1	34	35	1	beam	-3.182E-01	2.569E+01	-1.219E-01	-3.491E-02	-5
33	1	33	34	1	beam	3.196E-01	2.627E+01	3.557E-02	1.220E-01	-5
32	1	32	33	1	beam	-1.369E-02	2.635E+01	2.881E-02	-3.551E-02	-5
31	1	31	32	1	beam	-3.253E-01	2.603E+01	-1.284E-01	-2.877E-02	-5
30	1	30	31	1	beam	4.334E-01	2.611E+01	7.679E-02	1.285E-01	-5
29	1	29	30	1	beam	-2.502E-01	2.640E+01	-7.569E-03	-7.672E-02	-5
28	1	28	29	1	beam	9.013E-02	2.743E+01	2.283E-02	7.535E-03	-5
27	1	27	28	1	beam	-3.381E-01	2.702E+01	-1.396E-01	-2.284E-02	-5
26	1	26	27	1	beam	3.984E-01	2.911E+01	4.381E-02	1.397E-01	-6
25	1	25	26	1	beam	1.113E-01	3.063E+01	8.575E-02	-4.383E-02	-6
24	1	24	25	1	beam	-1.563E-01	3.020E+01	2.684E-02	-8.573E-02	-6
23	1	23	24	1	beam	-2.476E-01	3.090E+01	-8.127E-02	-2.683E-02	-6
22	1	22	23	1	beam	1.572E-01	3.134E+01	-2.089E-02	8.125E-02	-6
21	1	21	22	1	beam	-5.076E-01	3.031E+01	-2.158E-01	2.091E-02	-6
20	1	20	21	1	beam	9.459E-01	3.282E+01	1.560E-01	2.158E-01	-6
19	1	19	20	1	beam	-7.712E-01	3.134E+01	-1.284E-01	-1.560E-01	-6
18	1	18	19	1	beam	8.516E-01	3.483E+01	1.856E-01	1.284E-01	-7
17	1	17	18	1	beam	-1.243E+00	3.200E+01	-2.744E-01	-1.856E-01	-6
16	1	16	17	1	beam	1.241E+00	3.624E+01	1.848E-01	2.745E-01	-7
15	1	15	16	1	beam	-9.204E-01	3.404E+01	-1.771E-01	-1.847E-01	-7
14	1	14	15	1	beam	7.939E-01	3.704E+01	1.285E-01	1.771E-01	-7
13	1	13	14	1	beam	-1.965E-02	3.719E+01	1.210E-01	-1.285E-01	-7
12	1	12	13	1	beam	-1.215E+00	3.643E+01	-4.105E-01	-1.210E-01	-7
11	1	11	12	1	beam	1.589E+00	4.301E+01	1.838E-01	4.106E-01	-9
10	1	10	11	1	beam	-2.067E-01	4.144E+01	1.064E-01	-1.838E-01	-8
9	1	9	10	1	beam	-4.372E-01	4.314E+01	-9.683E-02	-1.064E-01	-9
8	1	8	9	1	beam	3.367E-01	4.513E+01	6.745E-02	9.683E-02	-9
7	1	7	8	1	beam	1.983E-02	4.704E+01	7.750E-02	-6.746E-02	-1
6	1	6	7	1	beam	-3.879E-01	4.886E+01	-1.242E-01	-7.750E-02	-1
5	1	5	6	1	beam	3.445E-01	5.107E+01	5.732E-02	1.241E-01	-1
4	1	4	5	1	beam	2.162E-02	5.386E+01	6.873E-02	-5.735E-02	-1
3	1	3	4	1	beam	-5.583E-01	5.821E+01	-2.213E-01	-6.875E-02	-1
2	1	2	3	1	beam	6.924E-01	6.597E+01	1.290E-01	2.213E-01	-1
1	1	1	2	1	beam	-1.638E+00	7.974E+01	-6.685E-01	-1.290E-01	-1

* FLAC log-file closed 17-Apr-1

VERIFICA A STATO LIMITE ULTIMO PER TENSIONI NORMALI
GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSA1-FASE6 VERIFICA LIMITE INCASTRO ARCO ROVESCIO

Profondità relativa dell'asse neutro (x/d)	ξ=	0,239	
Altezza totale della sezione	h=	70,00 [cm]	RISOLVI
Copriferro armatura tesa	c=	5,00 [cm]	
Altezza utile (h-c)	d=	65,00 [cm]	
Profondità dell'asse neutro	x=	15,53 [cm]	
Rapporto tra copriferro armatura tesa ed altezza utile (c/d)	δ=	0,077	
Deformazione massima nel calcestruzzo	ε _{cls} =	-0,00314	in y= 70,00 [cm]
Deformazione massima nell'acciaio teso	ε _{acc} =	0,01000	in y= 5,00 [cm]
Parametro di deformazione λ (ε=λ+μ y)	λ=	0,01101	
Parametro di deformazione μ (ε=λ+μ y)	μ=	-0,00020 [1/cm]	
Sforzo normale interno (rispetto alla base - y=0)	Nrd(y=0)=	-1111,00 [kN]	
Momento interno (rispetto alla base - y=0)	Mrd(y=0)=	1067,70 [kNm]	
Ordinata rispetto a cui vengono calcolate le sollecitazioni	ysoll=	35,00 [cm]	
Sforzo normale interno (rispetto a y=ysoll)	Nrd(y=ysoll)=	-1111,00 [kN]	
Momento interno (rispetto a y=ysoll)	Mrd(y=ysoll)=	678,85 [kNm]	
Sforzo normale agente di calcolo (rispetto a y=ysoll)	Nsd(y=ysoll)=	-1111,00 [kN]	
Momento agente di calcolo (rispetto a y=ysoll)	Msd(y=ysoll)=	64,03 [kNm]	
Differenza tra sforzo normale agente ed interno (rispetto a y=ysoll)	Nsd(y=ysoll)-Nrd(y=ysoll)=	0,00 [kN]	
Coefficiente di sicurezza di stato limite ultimo	Mrd(y=ysoll)/Msd(y=ysoll)=	10,60	

CALCESTRUZZO			Trave										
Elementi	Rck	fcid	b inf	h	b sup	y inf	y sup	ε inf	ε sup	σ inf	σ sup	Nrd(y=0)	Mrd(y=0)
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]			[N/mm ²]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]
1	30,00	16,60	100,00	70,00	100,00	0,00	70,00	0,01101	-0,00314	0,00	-14,11	-1725,34	1098,42
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,00	70,00	-0,00314	-0,00314	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,00	70,00	-0,00314	-0,00314	0,00	0,00	0,00	0,00
totali				70,00		0,00	70,00					-1725,34	1098,42

ACCIAIO		Armatura lenta										
Armature	Es	fyd	area	livello	ε acc	σ acc	Nrd(y=0)	Mrd(y=0)				
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[cm ²]	[cm]		[N/mm ²]	[kN]	[kNm]				
1	210000	391,30	15,70	5,00	0,01000	391,30	614,34	-30,72				
2	0	0,00	0,00	0,00	0,01101	0,00	0,00	0,00				
3	0	0,00	0,00	0,00	0,01101	0,00	0,00	0,00				
totali				5,00			614,34	-30,72				

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSA1-FASE6 VERIFICA MOMENTO MOMENTO POSITIVO ARCO ROVESCIO

fcid	141,10 daN/cm2
b	100,00 cm
a	70,00 cm
Ned	76,00 kN
Med	9,06 kNm
e=	11,92 cm
x=	46,16 cm
Nrd	6512,88 kN
ver	Ok
ftcd	11,97 daN/cm2
ftc1d	10,17 daN/cm2
sigmac	1,65 daN/cm2
sigmaclim	62,64 daN/cm2
delta	-60,99 daN/cm2
fcvd_1	10,97 daN/cm2
fcvd_2	#NUM! daN/cm2
fcvd	10,97 daN/cm2
Ved	7,21 kN
Vrd	337,47 kN
ver	Ok

4.1.11. CALCESTRUZZO A BASSA PERCENTUALE DI ARMATURA O NON ARMATO

Il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura è quello per il quale la percentuale di armatura messa in opera è minore di quella minima necessaria per il calcestruzzo armato o la quantità media in peso di acciaio per metro cubo di calcestruzzo è inferiore a 0,3 kN.

Sia il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura, sia quello non armato possono essere impiegati solo per elementi secondari o per strutture massicce o estese.

4.1.11.1 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA - NORME DI CALCOLO

Per le verifiche di resistenza delle sezioni sotto sforzi normali si adottano le competenti ipotesi tratte dal § 4.1.2.3.4.1. Per una sezione rettangolare di lati a e b soggetta ad una forza normale N_{Ed} con una eccentricità e nella direzione del lato a la verifica di resistenza allo SLU, con il modello (c) di § 4.1.2.1.2.1, si pone con

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = f_{ot} b x \quad [4.1.50]$$

con $x = a - 2e$.

La verifica di resistenza della stessa sezione rettangolare di lati a e b soggetta anche ad un sforzo di taglio V_{Ed} nella direzione del lato a si pone con

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = f_{cvd} b x / 1,5$$

con
 $f_{cvd} = \sqrt{(f_{ctid} + \sigma_{ctid})}$ per $\sigma_{ctid} \leq \sigma_{clim}$
 $f_{cvd} = \sqrt{(f_{ctid} + \sigma_{ctid} - \delta^2/4)}$ per $\sigma_{ctid} > \sigma_{clim}$
 dove
 $\sigma_{ctid} = N_{Ed} / (b x)$
 $\delta = \sigma_{ctid} - \sigma_{clim}$
 $\sigma_{clim} = f_{ot} - 2 \sqrt{(f_{ctid} + f_{ctid})}$
 dove

$$f_{ctid} = 0,85 f_{ctd}$$

è la resistenza a trazione di progetto per calcestruzzo non armato o debolmente armato.

**VERIFICA A STATO LIMITE ULTIMO PER TENSIONI NORMALI
GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSA1-FASE6 VERIFICA INCASTRO CALOTTA**

Profondità relativa dell'asse neutro (x/d)	$\xi =$	0,097	
Altezza totale della sezione	$h =$	120,00 [cm]	
Copriferro armatura tesa	$c =$	5,00 [cm]	
Altezza utile (h-c)	$d =$	115,00 [cm]	
Profondità dell'asse neutro	$x =$	11,20 [cm]	
Rapporto tra copriferro armatura tesa ed altezza utile (c/d)	$\delta =$	0,043	

RISOLVI

Deformazione massima nel calcestruzzo	$\epsilon_{cls} =$	-0,00108	in y = 120,00 [cm]
Deformazione massima nell'acciaio teso	$\epsilon_{acc} =$	0,01000	in y = 5,00 [cm]
Parametro di deformazione λ ($\epsilon = \lambda + \mu y$)	$\lambda =$	0,01048	
Parametro di deformazione μ ($\epsilon = \lambda + \mu y$)	$\mu =$	-0,00010 [1/cm]	
Sforzo normale interno (rispetto alla base - y=0)	$Nrd(y=0) =$	-85,00 [kN]	
Momento interno (rispetto alla base - y=0)	$Mrd(y=0) =$	780,95 [kNm]	

Ordinata rispetto a cui vengono calcolate le sollecitazioni	$y_{soll} =$	60,00 [cm]	
Sforzo normale interno (rispetto a y=y _{soll})	$Nrd(y=y_{soll}) =$	-85,00 [kN]	
Momento interno (rispetto a y=y _{soll})	$Mrd(y=y_{soll}) =$	729,95 [kNm]	
Sforzo normale agente di calcolo (rispetto a y=y _{soll})	$Nsd(y=y_{soll}) =$	-85,00 [kN]	
Momento agente di calcolo (rispetto a y=y _{soll})	$Msd(y=y_{soll}) =$	0,27 [kNm]	
Differenza tra sforzo normale agente ed interno (rispetto a y=y _{soll})	$Nsd(y=y_{soll}) - Nrd(y=y_{soll}) =$	0,00 [kN]	
Coefficiente di sicurezza di stato limite ultimo	$Mrd(y=y_{soll})/Msd(y=y_{soll}) =$	2703,52	

CALCESTRUZZO		Trave											
Elementi	Rck	fcd	b inf	h	b sup	y inf	y sup	ϵ inf	ϵ sup	σ inf	σ sup	Nrd(y=0)	Mrd(y=0)
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]			[N/mm ²]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]
1	30,00	16,60	100,00	120,00	100,00	0,00	120,00	0,01048	-0,00108	0,00	-11,12	-699,34	811,67
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	120,00	120,00	-0,00108	-0,00108	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	120,00	120,00	-0,00108	-0,00108	0,00	0,00	0,00	0,00
totali				120,00		0,00	120,00					-699,34	811,67

ACCIAIO		Armatura lenta											
Armature	Es	f _{yd}			area	livello		ϵ acc	σ acc			Nrd(y=0)	Mrd(y=0)
	[N/mm ²]	[N/mm ²]			[cm ²]	[cm]			[N/mm ²]			[kN]	[kNm]
1	210000	391,30			15,70	5,00		0,01000	391,30			614,34	-30,72
2	0	0,00			0,00	0,00		0,01048	0,00			0,00	0,00
3	0	0,00			0,00	0,00		0,01048	0,00			0,00	0,00
totali						5,00						614,34	-30,72

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSA1-FASE6 VERIFICA MOMENTO MASSIMO NEGATIVO IN CALOTTA

fcd	141,10 daN/cm ²
b	100,00 cm
a	60,00 cm
Ned	55,00 kN
Med	0,54 kNm
e=	0,98 cm
x=	58,04 cm
Nrd	8188,93 kN
ver	Ok
fctd	11,97 daN/cm ²
fct1d	10,17 daN/cm ²
sigmac	0,95 daN/cm ²
sigmaclim	62,64 daN/cm ²
delta	-61,69 daN/cm ²
fcdv_1	10,64 daN/cm ²
fcdv_2	#NUM! daN/cm ²
fcdv	10,64 daN/cm ²
Ved	0,22 kN
Vrd	411,58 kN
ver	Ok

4.1.11. CALCESTRUZZO A BASSA PERCENTUALE DI ARMATURA O NON ARMATO

Il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura è quello per il quale la percentuale di armatura messa in opera è minore di quella minima necessaria per il calcestruzzo armato o la quantità media in peso di acciaio per metro cubo di calcestruzzo è inferiore a 0,3 kN.

Sia il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura, sia quello non armato possono essere impiegati solo per elementi secondari o per strutture massicce o estese.

4.1.11.1 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA - NORME DI CALCOLO

Per le verifiche di resistenza delle sezioni sotto sforzi normali si adottano le competenti ipotesi tratte dal § 4.1.2.3.4.1. Per una sezione rettangolare di lati a e b soggetta ad una forza normale N_{Ed} con una eccentricità e nella direzione del lato a la verifica di resistenza allo SLU, con il modello (c) di § 4.1.2.1.2.1, si pone con

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = f_{ctd} b x \quad [4.1.50]$$

con $x = a - 2e$.

La verifica di resistenza della stessa sezione rettangolare di lati a e b soggetta anche ad un sforzo di taglio V_{Ed} nella direzione del lato a si pone con

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = f_{ctd} b x / 1,5$$

$$f_{ctd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d})} \quad \text{per } \sigma_c \leq \sigma_{dim}$$

$$f_{ctd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d} - \delta^2/4)} \quad \text{per } \sigma_c > \sigma_{dim}$$

dove

$$\sigma_c = N_{Ed} / (b x)$$

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

$$\sigma_{dim} = f_{ctd} - 2 \sqrt{(f_{ct1d} + f_{ct1d})}$$

dove

$$f_{ct1d} = 0,85 f_{ctd}$$

è la resistenza a trazione di progetto per calcestruzzo non armato o debolmente armato.

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSA1-FASE6 VERIFICA MOMENTO MOMENTO POSITIVO IN CALOTTA

fcd	141,10 daN/cm2
b	100,00 cm
a	60,00 cm
Ned	33,00 kN
Med	0,15 kNm
e=	0,45 cm
x=	59,09 cm
Nrd	8337,73 kN
ver	Ok
fctd	11,97 daN/cm2
fct1d	10,17 daN/cm2
sigmac	0,56 daN/cm2
sigmaclim	62,64 daN/cm2
delta	-62,08 daN/cm2
fcvd_1	10,45 daN/cm2
fcvd_2	#NUM! daN/cm2
fcvd	10,45 daN/cm2
Ved	0,41 kN
Vrd	411,66 kN
ver	Ok

4.1.11. CALCESTRUZZO A BASSA PERCENTUALE DI ARMATURA O NON ARMATO

Il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura è quello per il quale la percentuale di armatura messa in opera è minore di quella minima necessaria per il calcestruzzo armato o la quantità media in peso di acciaio per metro cubo di calcestruzzo è inferiore a 0,3 kN.

Sia il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura, sia quello non armato possono essere impiegati solo per elementi secondari o per strutture massicce o estese.

4.1.11.1 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA – NORME DI CALCOLO

Per le verifiche di resistenza delle sezioni sotto sforzi normali si adottano le competenti ipotesi tratte dal § 4.1.2.3.4.1. Per una sezione rettangolare di lati a e b soggetta ad una forza normale Ned con una eccentricità e nella direzione del lato a la verifica di resistenza allo SLU, con il modello (c) di § 4.1.2.1.2.1, si pone con

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = f_{cd} \cdot b \cdot x \quad [4.1.50]$$

con $x = a - 2e$.

La verifica di resistenza della stessa sezione rettangolare di lati a e b soggetta anche ad un sforzo di taglio Ved nella direzione del lato a si pone con

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = f_{cvd} \cdot b \cdot x / 1,5$$

con

$$f_{cvd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d})} \quad \text{per } \sigma_c \leq \sigma_{dim}$$

$$f_{cvd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d} - \delta^2/4)} \quad \text{per } \sigma_c > \sigma_{dim}$$

dove

$$\sigma_c = N_{Ed} / (b \cdot x)$$

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

$$\sigma_{dim} = f_{cd} - 2 \sqrt{(f_{ct1d} + f_{cd} f_{ct1d})}$$

dove

$$f_{ct1d} = 0,85 f_{ctd}$$

è la resistenza a trazione di progetto per calcestruzzo non armato o debolmente armato.

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSA1-FASE6 VERIFICA INCASTRO CALOTTA

VERIFICA A TAGLIO A SLU PER SEZIONE RETTANGOLARE

Verifica

Caratteristiche dei materiali

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	Rck=	30 MPa
Coefficiente di sicurezza calcestruzzo	gammac=	1,500
Coefficiente di trasformazione resistenza cubica -> cilindrica	alfa1=	0,833
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	fck=	25 MPa
Coefficiente carichi lunga durata	alfacc=	0,850
Resistenza di calcolo cilindrica calcestruzzo	fcd=	14,167 MPa
Tensione caratteristica di snervamento acciaio	fyk=	450 MPa
Coefficiente di sicurezza acciaio	gammass=	1,150
Tensione di calcolo di snervamento acciaio	fyd=	391,3 MPa

Caratteristiche della sezione

Larghezza della membratura resistente a taglio	bw=	1000 mm
Altezza della sezione	h=	1200 mm
Altezza utile sezione: d = h - c	d=	1150 mm
Area armature longitudinali tese	Asl=	1005,31 mm2
Numero bracci	n=	5,0
Diametro dell'armatura trasversale posta all'interasse s	fi=	20 mm
Interasse armatura trasversale	s=	200 mm
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	alfa=	90,000 °
Area di armatura trasversale posta all'interasse s	Asw=	1571 mm2
Area di armatura trasversale a metro lineare	asw=	7,854 mm2/mm

Sollecitazioni

Sforzo normale di compressione di calcolo (compressione = positivo)	Ned=	85,00 kN
Taglio di calcolo agente sulla sezione allo s.l.u.	Vsdu=	0,88 kN
Tensione media di compressione nella sezione: scp= min(Nsd/(bw*x)) ; 0.2 * fcd	scp=	0,071 N/mm2
Tensione tangenziale baricentrica	tau_b=	0,001 N/mm2
Tensione principale massima baricentrica	sigmai=	0,000 N/mm2
Inclinazione minima dei "puntoni" di calcestruzzo rispetto all'asse della trave	cot(teta1)=	64,409
Coefficiente alfa	alfac=	1,005
Cotangente alfa	cot(alfa)=	0,00
Limite inferiore per inclinazione puntoni calcestruzzo (cot(teta1) = max(1,00; cot(teta1))	cot(teta1)=	64,41
Limite superiore per inclinazione puntoni calcestruzzo (cot(teta2), normalmente 2,50)	cot(teta2)=	2,50
Resistenza di calcolo a taglio-compressione massima possibile (cot(teta)=cot(teta1))	Vrdd,max=	114 kN
Resistenza di calcolo a taglio-compressione minima (cot(teta)=cot(teta2))	Vrdd,min=	2541 kN

Verifica elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

Rapporto geometrico armatura longitudinale: ro(l)= min(Asl / (bw * d) ; 0.02)	ro(l)=	0,00087
Coefficiente k=min(1+(200/d)^0.5 ; 2)	k=	1,417
Coefficiente vmin=0.035 * (k^1.5) * (fck^0.5)	vmin=	0,295 N/mm2
Tensione tangenziale resistente di calcolo (Vrdd = 0.90 * d * bw * alfac * fcd * (cot(alfa)+cot(teta)) / (1+cot(teta)^2))	tau_1,calc=	0,231 N/mm2
Tensione tangenziale resistente minima (vmin + 0,15 * scp)	tau_2,min=	0,306 N/mm2
Sforzo di taglio resistente	Vrd=	351,69 kN
Tensione tangenziale corrispondente allo Sforzo di taglio resistente	tau(Vrd)=	0,34 N/mm2
Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (>= 1; solo calcestruzzo)	Vrd/Vsd=	399,649

Verifica elementi con armature trasversali resistenti a taglio

Cotangente teta ottimale (cot(teta1)<cot(teta)<cot(teta2))	cot(teta)=	64,41
Inclinazione puntoni calcestruzzo ottimale (cot(teta1)<cot(teta)<cot(teta2))	teta=	0,889 °
Resistenza di calcolo a taglio-compressione (Vrdd = 0.90 * d * bw * alfac * fcd * (cot(alfa)+cot(teta)) / (1+cot(teta)^2))	Vrdd=	114 kN
Resistenza di calcolo a taglio-trazione (Vrdd = 0.9 d Asw/ s * fyd * (cot(alfa) + cot(teta)) * sen(alfa))	Vrdsd=	204878 kN
Resistenza di calcolo Vrd = min (Vrdd ; Vrdsd)	Vrd =	114 kN
Tensione tangenziale corrispondente alla Resistenza di calcolo Vrd	tau(Vrd)=	0,11 N/mm2
Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (>= 1; solo calcestruzzo)	Vrd/Vsd=	129,959

8.5 FASE 7 – VERIFICHE TENSIONALI ARCO ROVESCIO E CALOTTA

In questa fase di calcolo sono presenti i seguenti elementi strutturali:

elementi beam da 1 a 66 rappresentanti la calotta
 elementi beam da 238 a 279 rappresentanti l'arco rovescio

Le sollecitazioni massime sull'arco rovescio risultano:

incastro elemento 278: $N_k = 1107 \text{ kN}$ $M_k = 50.77 \text{ kN m}$ $T_k = 364 \text{ kN}$
 mezzeria elemento 253: $N_k = 47 \text{ kN}$ $M_k = 6.95 \text{ kN m}$ $T_k = 3.89 \text{ kN}$

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	N_{SDU} (kN)	M_{SDU} (kN m)	N_{RD} (kN)	M_{RD} (kNm)	FS
INCASTRO	70	1 Φ 20/20	1439	66.00	1439	749	11.36
MEZZERIA	70	-	61	9.03	1666	-	27.31

Tabella 8.7 – Fase 7 - Verifica a flessione dell'arco rovescio

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	V_{SDU} (kN)	V_{RD} (kN)	FS
INCASTRO	70	1 Φ 24/20/40	473	1666	3.52
MEZZERIA	70	-	5.05	293	58

Tabella 8.8 – Fase 7 - Verifica a taglio dell'arco rovescio

Le sollecitazioni massime in calotta risultano:

incastro elemento 63: $N_k = 107 \text{ kN}$ $M_k = 0.60 \text{ kN m}$ $T_k = 1.16 \text{ kN}$
 max neg. elemento 51: $N_k = 55 \text{ kN}$ $M_k = 0.66 \text{ kN m}$ $T_k = 3.40 \text{ kN}$
 max pos. elemento 31: $N_k = 40 \text{ kN}$ $M_k = 0.19 \text{ kN m}$ $T_k = 0.44 \text{ kN}$

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	N_{SDU} (kN)	M_{SDU} (kN m)	N_{RD} (kN)	M_{RD} (kNm)	FS
INCASTRO	120	1 Φ 20/20	139	0.78	139	754	9.66
MAX NEG	60	-	71	0.85	8128	-	114
MAX POS	60		52	0.24	8335	-	160

Tabella 8.9 – Fase 7 - Verifica a flessione della calotta

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	V _{SDU} (kN)	V _{RD} (kN)	FS
INCASTRO	120	1 Φ 20/20/20	1.50	358	238
CALOTTA	60	-	4.42	413	93

Tabella 8.10 – Fase 7 - Verifica a taglio della calotta

* FLAC log-file opened 17-Apr-19 17:30
 FASE 7-GALLERIA DOSSO-SEZIONE DG-PS Al-Maturazione calotta
 From File :dosa7.sav

Structural element data ...

Elem	ID	Nod1	Nod2	Prop		F-shear	F-axial	Mom-1	Mom-2	
279	21	279	1	3	beam	1.107E+02	8.862E+02	5.077E+01	5.981E-01	-6
278	21	278	279	3	beam	3.640E+02	1.107E+03	1.571E+02	-5.077E+01	-7
277	21	277	278	3	beam	-3.487E+02	1.054E+03	3.620E+01	-1.571E+02	-7
276	21	276	277	3	beam	-8.608E+01	8.732E+02	-6.273E+00	-3.620E+01	-6
275	21	275	276	3	beam	-2.762E+00	5.512E+02	-7.512E+00	6.273E+00	-3
274	21	274	275	3	beam	1.131E+01	5.030E+02	-1.954E+00	7.512E+00	-3
273	21	273	274	3	beam	-4.774E+00	3.196E+02	-3.552E+00	1.953E+00	-2
272	21	272	273	3	beam	7.070E+00	3.209E+02	-1.185E+00	3.551E+00	-2
271	21	271	272	3	beam	1.814E+00	2.467E+02	-3.516E-01	1.185E+00	-1
270	21	270	271	3	beam	-1.610E+00	1.910E+02	-8.705E-01	3.516E-01	-1
269	21	269	270	3	beam	-9.871E+00	1.277E+02	-4.051E+00	8.705E-01	-8
268	21	268	269	3	beam	4.297E-01	8.908E+01	-3.849E+00	4.051E+00	-5
267	21	267	268	3	beam	-1.718E+00	3.580E+01	-4.676E+00	3.849E+00	-1
266	21	266	267	3	beam	-2.898E+00	1.347E+01	-5.552E+00	4.676E+00	-2
265	21	265	266	3	beam	-4.789E+00	-1.380E+01	-6.999E+00	5.552E+00	1
264	21	264	265	3	beam	3.920E+00	-4.691E+01	-5.107E+00	6.999E+00	3
263	21	263	264	3	beam	2.093E+00	-6.783E+01	-4.083E+00	5.107E+00	5
262	21	262	263	3	beam	1.917E+00	-8.277E+01	-3.134E+00	4.083E+00	6
261	21	261	262	3	beam	1.711E+00	-9.265E+01	-2.280E+00	3.134E+00	7
260	21	260	261	3	beam	9.214E-02	-9.568E+01	-2.234E+00	2.280E+00	8
259	21	259	260	3	beam	-4.229E-01	-9.523E+01	-2.447E+00	2.234E+00	8
258	21	258	259	3	beam	3.759E-01	-9.554E+01	-2.257E+00	2.447E+00	8
257	21	257	258	3	beam	-1.021E-01	-9.565E+01	-2.309E+00	2.257E+00	7
256	21	256	257	3	beam	-1.696E+00	-9.259E+01	-3.155E+00	2.309E+00	7
255	21	255	256	3	beam	-1.915E+00	-8.309E+01	-4.103E+00	3.155E+00	6
254	21	254	255	3	beam	-1.978E+00	-6.821E+01	-5.072E+00	4.103E+00	5
253	21	253	254	3	beam	-3.893E+00	-4.739E+01	-6.951E+00	5.072E+00	3
252	21	252	253	3	beam	4.677E+00	-1.460E+01	-5.537E+00	6.951E+00	1
251	21	251	252	3	beam	2.943E+00	1.242E+01	-4.647E+00	5.537E+00	-1
250	21	250	251	3	beam	1.595E+00	3.447E+01	-3.879E+00	4.647E+00	-1
249	21	249	250	3	beam	-4.859E-01	8.763E+01	-4.108E+00	3.879E+00	-5
248	21	248	249	3	beam	1.013E+01	1.259E+02	-8.432E-01	4.108E+00	-8
247	21	247	248	3	beam	1.273E+00	1.887E+02	-4.331E-01	8.432E-01	-1
246	21	246	247	3	beam	-1.943E+00	2.440E+02	-1.326E+00	4.331E-01	-1
245	21	245	246	3	beam	-7.693E+00	3.178E+02	-3.901E+00	1.326E+00	-2
244	21	244	245	3	beam	3.986E+00	3.177E+02	-2.567E+00	3.901E+00	-2
243	21	243	244	3	beam	-1.041E+01	4.982E+02	-7.690E+00	2.566E+00	-3
242	21	242	243	3	beam	3.315E+00	5.451E+02	-6.395E+00	7.690E+00	-3
241	21	241	242	3	beam	6.124E+01	8.196E+02	1.751E+01	6.395E+00	-5
240	21	240	241	3	beam	2.477E+02	1.007E+03	1.432E+02	-1.751E+01	-7
239	21	239	240	3	beam	-3.178E+02	1.109E+03	5.010E+01	-1.432E+02	-7
238	21	67	239	3	beam	-1.093E+02	8.873E+02	-6.034E-01	-5.010E+01	-6
66	1	66	67	1	beam	1.160E+00	1.075E+02	-3.838E-02	6.035E-01	-1
65	1	65	66	1	beam	-5.445E-01	9.220E+01	-3.140E-01	3.840E-02	-1

64	1	64	65	1	beam	6.802E-01	8.328E+01	3.951E-02	3.140E-01	-1
63	1	63	64	1	beam	2.578E-02	7.805E+01	5.299E-02	-3.941E-02	-1
62	1	62	63	1	beam	-3.043E-01	7.459E+01	-1.074E-01	-5.293E-02	-1
61	1	61	62	1	beam	3.888E-01	7.176E+01	9.476E-02	1.074E-01	-1
60	1	60	61	1	beam	-1.399E-02	6.936E+01	8.763E-02	-9.472E-02	-1
59	1	59	60	1	beam	-2.676E-01	6.690E+01	-4.298E-02	-8.764E-02	-9
58	1	58	59	1	beam	6.467E-01	6.425E+01	2.579E-01	4.296E-02	-9
57	1	57	58	1	beam	8.669E-01	6.191E+01	5.824E-01	-2.577E-01	-8
56	1	56	57	1	beam	-4.415E+00	6.538E+01	-1.071E+00	-5.823E-01	-9
55	1	55	56	1	beam	2.999E+00	5.329E+01	2.416E-01	1.071E+00	-7
54	1	54	55	1	beam	6.027E-01	5.604E+01	4.738E-01	-2.417E-01	-7
53	1	53	54	1	beam	-2.913E+00	5.667E+01	-6.482E-01	-4.739E-01	-7
52	1	52	53	1	beam	3.170E+00	4.975E+01	5.977E-01	6.483E-01	-7
51	1	51	52	1	beam	-3.408E+00	5.580E+01	-6.643E-01	-5.977E-01	-7
50	1	50	51	1	beam	2.951E+00	4.766E+01	4.285E-01	6.643E-01	-7
49	1	49	50	1	beam	-2.824E+00	5.329E+01	-6.126E-01	-4.286E-01	-7
48	1	48	49	1	beam	2.762E+00	4.650E+01	4.058E-01	6.126E-01	-6
47	1	47	48	1	beam	-3.079E+00	5.090E+01	-8.044E-01	-4.058E-01	-6
46	1	46	47	1	beam	1.697E+00	4.443E+01	-1.529E-01	8.042E-01	-6
45	1	45	46	1	beam	5.852E-01	4.722E+01	7.176E-02	1.529E-01	-6
44	1	44	45	1	beam	1.579E-01	4.668E+01	1.407E-01	-7.176E-02	-6
43	1	43	44	1	beam	9.791E-02	4.609E+01	1.776E-01	-1.407E-01	-6
42	1	42	43	1	beam	-3.271E-01	4.618E+01	5.435E-02	-1.776E-01	-6
41	1	41	42	1	beam	-4.476E-01	4.450E+01	-1.518E-01	-5.430E-02	-6
40	1	40	41	1	beam	3.333E-01	4.219E+01	8.336E-03	1.518E-01	-5
39	1	39	40	1	beam	-1.592E-01	4.229E+01	-4.533E-02	-8.310E-03	-5
38	1	38	39	1	beam	2.582E-01	4.131E+01	4.174E-02	4.525E-02	-5
37	1	37	38	1	beam	-5.150E-01	4.104E+01	-2.020E-01	-4.186E-02	-5
36	1	36	37	1	beam	4.516E-01	4.073E+01	1.634E-02	2.018E-01	-5
35	1	35	36	1	beam	6.265E-03	4.152E+01	1.942E-02	-1.635E-02	-5
34	1	34	35	1	beam	-3.233E-01	4.032E+01	-1.400E-01	-1.927E-02	-5
33	1	33	34	1	beam	3.273E-01	4.090E+01	2.133E-02	1.400E-01	-5
32	1	32	33	1	beam	-3.722E-03	4.098E+01	1.967E-02	-2.150E-02	-5
31	1	31	32	1	beam	-4.493E-01	4.069E+01	-1.972E-01	-1.977E-02	-5
30	1	30	31	1	beam	5.400E-01	4.106E+01	5.840E-02	1.973E-01	-5
29	1	29	30	1	beam	-2.296E-01	4.128E+01	-1.897E-02	-5.838E-02	-5
28	1	28	29	1	beam	-1.799E-01	4.242E+01	-7.961E-02	1.898E-02	-5
27	1	27	28	1	beam	-1.618E-01	4.237E+01	-1.573E-01	7.960E-02	-5
26	1	26	27	1	beam	5.169E-01	4.454E+01	8.064E-02	1.574E-01	-6
25	1	25	26	1	beam	2.991E-01	4.617E+01	1.933E-01	-8.061E-02	-6
24	1	24	25	1	beam	-1.114E-01	4.605E+01	1.514E-01	-1.933E-01	-6
23	1	23	24	1	beam	-1.749E-01	4.672E+01	7.504E-02	-1.514E-01	-6
22	1	22	23	1	beam	-7.043E-01	4.716E+01	-1.953E-01	-7.505E-02	-6
21	1	21	22	1	beam	-1.878E+00	4.418E+01	-9.165E-01	1.953E-01	-6
20	1	20	21	1	beam	2.746E+00	5.091E+01	1.628E-01	9.165E-01	-6
19	1	19	20	1	beam	-4.738E-01	4.768E+01	-1.192E-02	-1.628E-01	-6
18	1	18	19	1	beam	1.052E+00	5.276E+01	3.760E-01	1.192E-02	-7
17	1	17	18	1	beam	-2.859E+00	4.796E+01	-6.822E-01	-3.760E-01	-7
16	1	16	17	1	beam	3.251E+00	5.573E+01	5.211E-01	6.822E-01	-7
15	1	15	16	1	beam	-3.149E+00	4.982E+01	-7.166E-01	-5.211E-01	-7
14	1	14	15	1	beam	3.121E+00	5.692E+01	4.852E-01	7.166E-01	-7
13	1	13	14	1	beam	-4.824E-01	5.630E+01	2.995E-01	-4.852E-01	-7
12	1	12	13	1	beam	-3.164E+00	5.383E+01	-1.085E+00	-2.995E-01	-8
11	1	11	12	1	beam	4.341E+00	6.456E+01	5.393E-01	1.085E+00	-9
10	1	10	11	1	beam	-7.555E-01	6.174E+01	2.566E-01	-5.393E-01	-8
9	1	9	10	1	beam	-6.478E-01	6.412E+01	-4.445E-02	-2.567E-01	-9
8	1	8	9	1	beam	2.797E-01	6.678E+01	9.195E-02	4.450E-02	-9
7	1	7	8	1	beam	6.359E-03	6.930E+01	9.516E-02	-9.194E-02	-1
6	1	6	7	1	beam	-3.981E-01	7.172E+01	-1.118E-01	-9.518E-02	-1
5	1	5	6	1	beam	3.217E-01	7.455E+01	5.766E-02	1.117E-01	-1
4	1	4	5	1	beam	-3.578E-02	7.803E+01	3.890E-02	-5.773E-02	-1
3	1	3	4	1	beam	-6.873E-01	8.323E+01	-3.182E-01	-3.883E-02	-1
2	1	2	3	1	beam	5.553E-01	9.211E+01	-3.726E-02	3.182E-01	-1
1	1	1	2	1	beam	-1.151E+00	1.074E+02	-5.980E-01	3.726E-02	-1

* FLAC log-file closed 17-Apr-1

VERIFICA A STATO LIMITE ULTIMO PER TENSIONI NORMALI
GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSA1-FASE7 VERIFICA LIMITE INCASTRO ARCO ROVESCIO

Profondità relativa dell'asse neutro (x/d)	$\xi_s =$	0,277		
Altezza totale della sezione	h =	70,00 [cm]		
Copriferro armatura tesa	c =	5,00 [cm]		
Altezza utile (h-c)	d =	65,00 [cm]		
Profondità dell'asse neutro	x =	17,98 [cm]		
Rapporto tra copriferro armatura tesa ed altezza utile (c/d)	$\delta =$	0,077		

RISOLVI

Deformazione massima nel calcestruzzo	$\epsilon_{cls} =$	-0,00350	in y =	70,00 [cm]
Deformazione massima nell'acciaio teso	$\epsilon_{acc} =$	0,00916	in y =	5,00 [cm]
Parametro di deformazione λ ($\epsilon = \lambda + \mu y$)	$\lambda =$	0,01013		
Parametro di deformazione μ ($\epsilon = \lambda + \mu y$)	$\mu =$	-0,00019 [1/cm]		
Sforzo normale interno (rispetto alla base - y=0)	Nrd(y=0) =	-1439,00 [kN]		
Momento interno (rispetto alla base - y=0)	Mrd(y=0) =	1253,08 [kNm]		

Ordinata rispetto a cui vengono calcolate le sollecitazioni	y soll =	35,00 [cm]		
Sforzo normale interno (rispetto a y=y soll)	Nrd(y=y soll) =	-1439,00 [kN]		
Momento interno (rispetto a y=y soll)	Mrd(y=y soll) =	749,43 [kNm]		
Sforzo normale agente di calcolo (rispetto a y=y soll)	Nsd(y=y soll) =	-1439,00 [kN]		
Momento agente di calcolo (rispetto a y=y soll)	Msd(y=y soll) =	66,00 [kNm]		
Differenza tra sforzo normale agente ed interno (rispetto a y=y soll)	Nsd(y=y soll)-Nrd(y=y soll) =	0,00 [kN]		
Coefficiente di sicurezza di stato limite ultimo	Mrd(y=y soll)/Msd(y=y soll) =	11,36		

CALCESTRUZZO		Trave											
Elementi	Rck [N/mm ²]	fcd [N/mm ²]	b inf [cm]	h [cm]	b sup [cm]	y inf [cm]	y sup [cm]	ϵ inf	ϵ sup	σ inf [N/mm ²]	σ sup [N/mm ²]	Nrd(y=0) [kN]	Mrd(y=0) [kNm]
1	30,00	16,60	100,00	70,00	100,00	0,00	70,00	0,01013	-0,00350	0,00	-14,11	-2053,34	1283,80
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,00	70,00	-0,00350	-0,00350	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,00	70,00	-0,00350	-0,00350	0,00	0,00	0,00	0,00
totali				70,00		0,00	70,00					-2053,34	1283,80

ACCIAIO		Armatura lenta									
Armature	Es [N/mm ²]	fyd [N/mm ²]	area [cm ²]	livello [cm]	ϵ acc	σ acc [N/mm ²]	Nrd(y=0) [kN]	Mrd(y=0) [kNm]			
1	210000	391,30	15,70	5,00	0,00916	391,30	614,34	-30,72			
2	0	0,00	0,00	0,00	0,01013	0,00	0,00	0,00			
3	0	0,00	0,00	0,00	0,01013	0,00	0,00	0,00			
totali				5,00			614,34	-30,72			

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSA1-FASE7 VERIFICA MOMENTO MOMENTO POSITIVO ARCO ROVESCIO

fcd	141,10 daN/cm ²
b	100,00 cm
a	70,00 cm
Ned	61,00 kN
Med	9,03 kNm
e =	14,80 cm
x =	40,39 cm
Nrd ver	5699,51 kN Ok
fctd	11,97 daN/cm ²
fct1d	10,17 daN/cm ²
sigmac	1,51 daN/cm ²
sigmaclim	62,64 daN/cm ²
delta	-61,13 daN/cm ²
fcvd_1	10,90 daN/cm ²
fcvd_2	#NUM! daN/cm ²
fcvd	10,90 daN/cm ²
Ved	5,05 kN
Vrd ver	293,61 kN Ok

4.1.11. CALCESTRUZZO A BASSA PERCENTUALE DI ARMATURA O NON ARMATO

Il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura è quello per il quale la percentuale di armatura messa in opera è minore di quella minima necessaria per il calcestruzzo armato o la quantità media in peso di acciaio per metro cubo di calcestruzzo è inferiore a 0,3 kN.

Sia il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura, sia quello non armato possono essere impiegati solo per elementi secondari o per strutture massicce o estese.

4.1.11.1 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA - NORME DI CALCOLO

Per le verifiche di resistenza delle sezioni sotto sforzi normali si adottano le competenti ipotesi tratte dal § 4.1.2.3.4.1. Per una sezione rettangolare di lati a e b soggetta ad una forza normale N_{Ed} con una eccentricità e nella direzione del lato a la verifica di resistenza allo SLU, con il modello (c) di § 4.1.2.1.2.1, si pone con

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = f_{ctd} b x \quad [4.1.50]$$

con $x = a - 2e$.

La verifica di resistenza della stessa sezione rettangolare di lati a e b soggetta anche ad un sforzo di taglio V_{Ed} nella direzione del lato a si pone con

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = f_{ctd} b x / 1,5$$

con

$$f_{ctd} = \sqrt{f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d}} \quad \text{per } \sigma_c \leq \sigma_{dim}$$

$$f_{ctd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d} - \delta^2) / 4} \quad \text{per } \sigma_c > \sigma_{dim}$$

dove

$$\sigma_c = N_{Ed} / (b x)$$

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

$$\sigma_{dim} = f_{ctd} - 2 \sqrt{f_{ct1d} + f_{ct1d}}$$

dove

$$f_{ct1d} = 0,85 f_{ctd}$$

è la resistenza a trazione di progetto per calcestruzzo non armato o debolmente armato.

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSA1-FASE7 VERIFICA LIMITE INCASTRO ARCO ROVESCIO

VERIFICA A TAGLIO A SLU PER SEZIONE RETTANGOLARE		Verifica
Caratteristiche dei materiali		
Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	Rck=	30 MPa
Coefficiente di sicurezza calcestruzzo	gamma _{mac} =	1,500
Coefficiente di trasformazione resistenza cubica -> cilindrica	alfa1=	0,833
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	f _{cd} =	25 MPa
Coefficiente carichi lunga durata	alfacc=	0,850
Resistenza di calcolo cilindrica calcestruzzo	f _{cd} =	14,167 MPa
Tensione caratteristica di snervamento acciaio	f _{yk} =	450 MPa
Coefficiente di sicurezza acciaio	gamma _{mas} =	1,150
Tensione di calcolo di snervamento acciaio	f _{yd} =	391,3 MPa
Caratteristiche della sezione		
Larghezza della membratura resistente a taglio	b _w =	1000 mm
Altezza della sezione	h=	700 mm
Altezza utile sezione: d = h - c	d=	650 mm
Area armature longitudinali tese	A _{sl} =	1005,31 mm ²
Numero bracci	n=	2,5
Diametro dell'armatura trasversale posta all'interasse s	f _i =	24 mm
Interasse armatura trasversale	s=	200 mm
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	alfa=	90,000 °
Area di armatura trasversale posta all'interasse s	A _{sw} =	1131 mm ²
Area di armatura trasversale a metro lineare	asw=	5,655 mm ² /mm
Sollecitazioni		
Sforzo normale di compressione di calcolo (compressione = positivo)	N _{ed} =	1439,00 kN
Taglio di calcolo agente sulla sezione allo s.l.u.	V _{sd} =	473,00 kN
Tensione media di compressione nella sezione: scp= min(N _{ed} /(b _w h) ; 0.2 * f _{cd})	scp=	2,056 N/mm ²
Tensione tangenziale baricentrica	tau _b =	1,014 N/mm ²
Tensione principale massima baricentrica	sigmai=	0,416 N/mm ²
Inclinazione minima dei "puntoni" di calcestruzzo rispetto all'asse della trave	cot(teta1)=	2,438
Coefficiente alfac	alfac=	1,145
Cotangente alfa	cot(alfa)=	0,00
Limite inferiore per inclinazione puntoni calcestruzzo (cot(teta1) = max(1,00; cot(teta1)))	cot(teta1)=	2,44
Limite superiore per inclinazione puntoni calcestruzzo (cot(teta2), normalmente 2,50)	cot(teta2)=	2,50
Resistenza di calcolo a taglio-comprensione massima possibile (cot(teta)=cot(teta1))	V _{rcd,max} =	1666 kN
Resistenza di calcolo a taglio-comprensione minima (cot(teta)=cot(teta2))	V _{rcd,min} =	1636 kN
Verifica elementi senza armature trasversali resistenti a taglio		
Rapporto geometrico armatura longitudinale: ro(l)= min(A _{sl} / (b _w * d) ; 0,02)	ro(l)=	0,00155
Coefficiente k=min(1+(200/d) ^{0.5} ; 2)	k=	1,555
Coefficiente v _{min} =0,035 * (k ^{1.5}) * (f _{ck} / ^{0.5})	v _{min} =	0,339 N/mm ²
Tensione tangenziale resistente di calcolo (0,18 * k * (100 * ro(l) * f _{ck}) / gamma _{mac} + 0,15 * scp)	tau _{1,calc} =	0,601 N/mm ²
Tensione tangenziale resistente minima (v _{min} + 0,15 * scp)	tau _{2,min} =	0,648 N/mm ²
Sforzo di taglio resistente	V _{rd} =	420,34 kN
Tensione tangenziale corrispondente allo Sforzo di taglio resistente	tau(V _{rd})=	0,72 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (>= 1; solo calcestruzzo)	V _{rd} /V _{sd} =	0,890
Verifica elementi con armature trasversali resistenti a taglio		
Cotangente teta ottimale (cot(teta1)<cot(teta)<cot(teta2))	cot(teta)=	2,44
Inclinazione puntoni calcestruzzo ottimale (cot(teta1)<cot(teta)<cot(teta2))	teta=	22,300 °
Resistenza di calcolo a taglio-comprensione (V _{rcd} = 0,90 * d * b _w * alfac * f _{cd} * (cot(alfa)+cot(teta)) / ((1+cot(teta) ²))	V _{rcd} =	1666 kN
Resistenza di calcolo a taglio-trazione (V _{rsd} = 0,9 d A _{sw} s * f _{yd} * (cot(alfa) + cot(teta)) * sen(alfa))	V _{rsd} =	3156 kN
Resistenza di calcolo V_{rd} = min (V_{rcd} ; V_{rsd})	V _{rd} =	1666 kN
Tensione tangenziale corrispondente alla Resistenza di calcolo V _{rd}	tau(V _{rd})=	2,85 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (>= 1; solo calcestruzzo)	V _{rd} /V _{sd} =	3,522

VERIFICA A STATO LIMITE ULTIMO PER TENSIONI NORMALI

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSA1-FASE7 VERIFICA INCASTRO CALOTTA

Profondità relativa dell'asse neutro (x/d)	ξ=	0,101	RISOLVI	
Altezza totale della sezione	h=	120,00 [cm]		
Copriferro armatura tesa	c=	5,00 [cm]		
Altezza utile (h-c)	d=	115,00 [cm]		
Profondità dell'asse neutro	x=	11,58 [cm]		
Rapporto tra copriferro armatura tesa ed altezza utile (c/d)	δ=	0,043		
Deformazione massima nel calcestruzzo	ε _{cls} =	-0,00112		in y= 120,00 [cm]
Deformazione massima nell'acciaio teso	ε _{acc} =	0,01000		in y= 5,00 [cm]
Parametro di deformazione λ (ε = λ + μ y)	λ=	0,01048		
Parametro di deformazione μ (ε = λ + μ y)	μ=	-0,00010 [1/cm]		
Sforzo normale interno (rispetto alla base - y=0)	N _{rd} (y=0)=	-130,00 [kN]		
Momento interno (rispetto alla base - y=0)	M _{rd} (y=0)=	832,11 [kNm]		
Ordinata rispetto a cui vengono calcolate le sollecitazioni	y _{soll} =	60,00 [cm]		
Sforzo normale interno (rispetto a y=y _{soll})	N _{rd} (y=y _{soll})=	-130,00 [kN]		
Momento interno (rispetto a y=y _{soll})	M _{rd} (y=y _{soll})=	754,11 [kNm]		
Sforzo normale agente di calcolo (rispetto a y=y _{soll})	N _{sd} (y=y _{soll})=	-130,00 [kN]		
Momento agente di calcolo (rispetto a y=y _{soll})	M _{sd} (y=y _{soll})=	0,78 [kNm]		
Differenza tra sforzo normale agente ed interno (rispetto a y=y _{soll})	N _{sd} (y=y _{soll})-N _{rd} (y=y _{soll})=	0,00 [kN]		
Coefficiente di sicurezza di stato limite ultimo	M_{rd}(y=y_{soll})/M_{sd}(y=y_{soll})=	966,80		

CALCESTRUZZO		Trave											
Elementi	Rck	f _{cd}	b inf	h	b sup	y inf	y sup	ε inf	ε sup	σ inf	σ sup	N _{rd} (y=0)	M _{rd} (y=0)
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]			[N/mm ²]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]
1	30,00	16,60	100,00	120,00	100,00	0,00	120,00	0,01048	-0,00112	0,00	-11,38	-744,34	862,82
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	120,00	120,00	-0,00112	-0,00112	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	120,00	120,00	-0,00112	-0,00112	0,00	0,00	0,00	0,00
totali				120,00		0,00	120,00					-744,34	862,82

ACCIAIO		Armatura lenta									
Armature	Es	f _{yd}	area	livello	ε acc	σ acc	N _{rd} (y=0)	M _{rd} (y=0)			
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[cm ²]	[cm]		[N/mm ²]	[kN]	[kNm]			
1	210000	391,30	15,70	5,00	0,01000	391,30	614,34	-30,72			
2	0	0,00	0,00	0,00	0,01048	0,00	0,00	0,00			
3	0	0,00	0,00	0,00	0,01048	0,00	0,00	0,00			
totali				5,00			614,34	-30,72			

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSA1-FASE7 VERIFICA MOMENTO MASSIMO NEGATIVO IN CALOTTA

fcd	141,10 daN/cm ²
b	100,00 cm
a	60,00 cm
Ned	71,00 kN
Med	0,85 kNm
e=	1,20 cm
x=	57,61 cm
Nrd	8128,15 kN
ver	Ok
fctd	11,97 daN/cm ²
fct1d	10,17 daN/cm ²
sigmac	1,23 daN/cm ²
sigmaclim	62,64 daN/cm ²
delta	-61,40 daN/cm ²
fcdv_1	10,77 daN/cm ²
fcdv_2	#NUM! daN/cm ²
fcdv	10,77 daN/cm ²
Ved	4,42 kN
Vrd	413,72 kN
ver	Ok

4.1.11. CALCESTRUZZO A BASSA PERCENTUALE DI ARMATURA O NON ARMATO

Il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura è quello per il quale la percentuale di armatura messa in opera è minore di quella minima necessaria per il calcestruzzo armato o la quantità media in peso di acciaio per metro cubo di calcestruzzo è inferiore a 0,3 kN.

Sia il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura, sia quello non armato possono essere impiegati solo per elementi secondari o per strutture massicce o estese.

4.1.11.1 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA – NORME DI CALCOLO

Per le verifiche di resistenza delle sezioni sotto sforzi normali si adottano le competenti ipotesi tratte dal § 4.1.2.3.4.1. Per una sezione rettangolare di lati a e b soggetta ad una forza normale N_{Ed} con una eccentricità e nella direzione del lato a la verifica di resistenza allo SLU, con il modello (c) di § 4.1.2.1.2.1, si pone con

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = f_{cd} b x \quad [4.1.50]$$

con $x = a - 2e$.

La verifica di resistenza della stessa sezione rettangolare di lati a e b soggetta anche ad un sforzo di taglio V_{Ed} nella direzione del lato a si pone con

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = f_{cd} b x / 1,5$$

con

$$f_{cd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d})} \quad \text{per } \sigma_c \leq \sigma_{dim}$$

$$f_{cd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d} - \delta^2/4)} \quad \text{per } \sigma_c > \sigma_{dim}$$

dove

$$\sigma_c = N_{Ed} / (b x)$$

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

$$\sigma_{dim} = f_{cd} - 2 \sqrt{(f_{ct1d} + f_{cd} f_{ct1d})}$$

dove

$$f_{ct1d} = 0,85 f_{ctd}$$

è la resistenza a trazione di progetto per calcestruzzo non armato o debolmente armato.

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSA1-FASE7 VERIFICA MOMENTO MOMENTO POSITIVO IN CALOTTA

fcd	141,10 daN/cm ²
b	100,00 cm
a	60,00 cm
Ned	52,00 kN
Med	0,24 kNm
e=	0,46 cm
x=	59,08 cm
Nrd	8335,75 kN
ver	Ok
fctd	11,97 daN/cm ²
fct1d	10,17 daN/cm ²
sigmac	0,88 daN/cm ²
sigmaclim	62,64 daN/cm ²
delta	-61,76 daN/cm ²
fcdv_1	10,61 daN/cm ²
fcdv_2	#NUM! daN/cm ²
fcdv	10,61 daN/cm ²
Ved	0,57 kN
Vrd	417,69 kN
ver	Ok

4.1.11. CALCESTRUZZO A BASSA PERCENTUALE DI ARMATURA O NON ARMATO

Il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura è quello per il quale la percentuale di armatura messa in opera è minore di quella minima necessaria per il calcestruzzo armato o la quantità media in peso di acciaio per metro cubo di calcestruzzo è inferiore a 0,3 kN.

Sia il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura, sia quello non armato possono essere impiegati solo per elementi secondari o per strutture massicce o estese.

4.1.11.1 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA – NORME DI CALCOLO

Per le verifiche di resistenza delle sezioni sotto sforzi normali si adottano le competenti ipotesi tratte dal § 4.1.2.3.4.1. Per una sezione rettangolare di lati a e b soggetta ad una forza normale N_{Ed} con una eccentricità e nella direzione del lato a la verifica di resistenza allo SLU, con il modello (c) di § 4.1.2.1.2.1, si pone con

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = f_{cd} b x \quad [4.1.50]$$

con $x = a - 2e$.

La verifica di resistenza della stessa sezione rettangolare di lati a e b soggetta anche ad un sforzo di taglio V_{Ed} nella direzione del lato a si pone con

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = f_{cd} b x / 1,5$$

con

$$f_{cd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d})} \quad \text{per } \sigma_c \leq \sigma_{dim}$$

$$f_{cd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d} - \delta^2/4)} \quad \text{per } \sigma_c > \sigma_{dim}$$

dove

$$\sigma_c = N_{Ed} / (b x)$$

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

$$\sigma_{dim} = f_{cd} - 2 \sqrt{(f_{ct1d} + f_{cd} f_{ct1d})}$$

dove

$$f_{ct1d} = 0,85 f_{ctd}$$

è la resistenza a trazione di progetto per calcestruzzo non armato o debolmente armato.

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSA1-FASE7 VERIFICA INCASTRO CALOTTA

VERIFICA A TAGLIO A SLU PER SEZIONE RETTANGOLARE

Verifica

Caratteristiche dei materiali

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	Rck=	30 MPa
Coefficiente di sicurezza calcestruzzo	gammac=	1,500
Coefficiente di trasformazione resistenza cubica -> cilindrica	alfa1=	0,833
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	fck=	25 MPa
Coefficiente carichi lunga durata	alfacc=	0,850
Resistenza di calcolo cilindrica calcestruzzo	fcd=	14,167 MPa
Tensione caratteristica di snervamento acciaio	fyk=	450 MPa
Coefficiente di sicurezza acciaio	gammass=	1,150
Tensione di calcolo di snervamento acciaio	fyd=	391,3 MPa

Caratteristiche della sezione

Larghezza della membratura resistente a taglio	bw=	1000 mm
Altezza della sezione	h=	1200 mm
Altezza utile sezione: d = h - c	d=	1150 mm
Area armature longitudinali tese	Asl=	1005,31 mm ²
Numero bracci	n=	5,0
Diametro dell'armatura trasversale posta all'interasse s	fi=	20 mm
Interasse armatura trasversale	s=	200 mm
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	alfa=	90,000 °
Area di armatura trasversale posta all'interasse s	Asw=	1571 mm ²
Area di armatura trasversale a metro lineare	asw=	7,854 mm ² /mm

Sollecitazioni

Sforzo normale di compressione di calcolo (compressione = positivo)	Ned=	130,00 kN
Taglio di calcolo agente sulla sezione allo s.l.u.	Vsdu=	1,50 kN
Tensione media di compressione nella sezione: scp= min(Nsd/(bwd) ; 0,2 * fcd)	scp=	0,108 N/mm ²
Tensione tangenziale baricentrica	tau_b=	0,002 N/mm ²
Tensione principale massima baricentrica	sigma1=	0,000 N/mm ²
Inclinazione minima dei "puntoni" di calcestruzzo rispetto all'asse della trave	cot(teta1)=	57,795
Coefficiente alfa	alfac=	1,008
Cotangente alfa	cot(alfa)=	0,00
Limite inferiore per inclinazione puntoni calcestruzzo (cot(teta1) = max(1,00; cot(tetai))	cot(teta1)=	57,80
Limite superiore per inclinazione puntoni calcestruzzo (cot(teta2), normalmente 2,50)	cot(teta2)=	2,50
Resistenza di calcolo a taglio-compressione massima possibile (cot(teta)=cot(teta1))	Vrcd,max=	128 kN
Resistenza di calcolo a taglio-compressione minima (cot(teta)=cot(teta2))	Vrcd,min=	2547 kN

Verifica elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

Rapporto geometrico armatura longitudinale: ro(l)= min(Asl / (bw * d) ; 0,02)	ro(l)=	0,00087
Coefficiente k=min(1+(200/d)^0,5 ; 2)	k=	1,417
Coefficiente vmin=0,035 * (k^1,5) * (fck^0,5)	vmin=	0,295 N/mm ²
Tensione tangenziale resistente di calcolo (0,18 * k * (100 * ro(l) * fck) / gammac + 0,15 * scp)	tau_1,calc=	0,237 N/mm ²
Tensione tangenziale resistente minima (vmin + 0,15 * scp)	tau_2,min=	0,311 N/mm ²
Sforzo di taglio resistente	Vrd=	358,16 kN
Tensione tangenziale corrispondente allo Sforzo di taglio resistente	tau(Vrd)=	0,35 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (>= 1; solo calcestruzzo)	Vrd/Vsd=	238,773

Verifica elementi con armature trasversali resistenti a taglio

Cotangente teta ottimale (cot(teta1)<cot(teta)<cot(teta2))	cot(teta)=	57,80
Inclinazione puntoni calcestruzzo ottimale (cot(teta1)<cot(teta)<cot(teta2))	teta=	0,991 °
Resistenza di calcolo a taglio-compressione (Vrcd = 0,90 * d * bw * alfac * fcd * (cot(alfa)+cot(teta)) / (1+cot(teta)^2))	Vrcd=	128 kN
Resistenza di calcolo a taglio-trazione (Vrsd = 0,9 d Asw s * fyd * (cot(alfa) + cot(teta)) * sen(alfa))	Vrsd=	163838 kN
Resistenza di calcolo Vrd = min (Vrcd ; Vrsd)	Vrd =	128 kN
Tensione tangenziale corrispondente alla Resistenza di calcolo Vrd	tau(Vrd)=	0,12 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (>= 1; solo calcestruzzo)	Vrd/Vsd=	85,187

8.6 FASE 8 A LUNGO TERMINE - METODO DELLE REAZIONI IPERSTATICHE - VERIFICHE TENSIONALI ARCO ROVESCIO E CALOTTA

Modellazione strutturale.

Per il calcolo delle azioni interne è stato utilizzato il metodo delle reazioni iperstatiche, attraverso una modellazione numerica ad elementi finiti monodimensionali.

Il modello è stato impostato su una sezione di galleria di profondità unitaria (1m) e sulla schematizzazione in conci monodimensionali (elementi beam) dell'intero rivestimento.

Gli spessori delle varie aste, costituenti la struttura resistente, sono variabili in dipendenza dell'elemento strutturale (calotta, piedritto, arco rovescio) considerato.

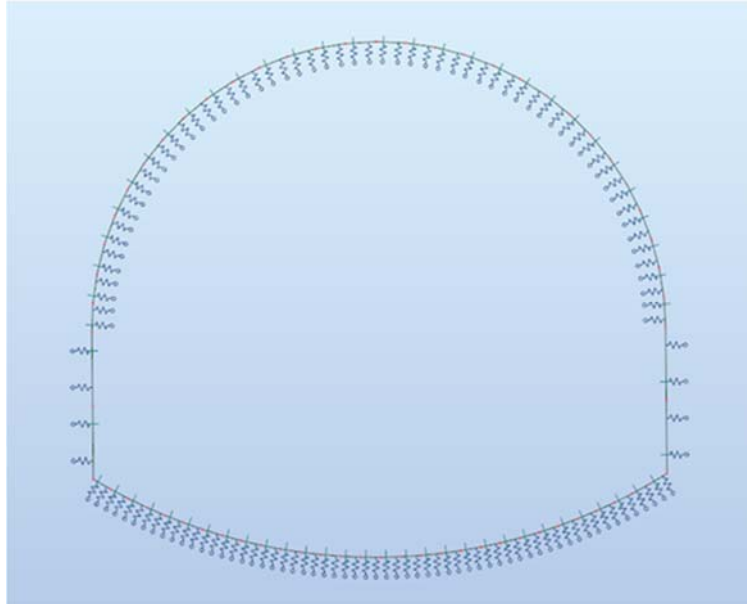
La schematizzazione della struttura e dei vincoli è stata svolta utilizzando il software Robot Structural Analysis Professional prodotto e distribuito da Autodesk Ltd.

Autodesk® Robot™ Structural Analysis Professional è uno strumento di analisi strutturale avanzato che consente di effettuare analisi lineari e non lineari di modelli di edifici, ponti e altri tipi di strutture industriali. Consente di definire una vasta gamma di tipi di analisi avanzata, quali analisi statica, analisi modale, analisi sismica, analisi dello spettro, analisi armonica e analisi cronologica.

I modelli matematici delle strutture analizzate sono assemblati su uno schema piano di larghezza unitaria e sono stati realizzati utilizzando elementi monodimensionali secondo i criteri che seguono:

- elementi monodimensionali tipo trave su suolo elastico per tutti gli elementi che compongono la sezione.

Per la modellazione dei materiali costituenti il telaio di calcolo si considera un comportamento elastico lineare durante tutte le fasi di calcolo delle sollecitazioni.



Per la modellazione dei vincoli esterni, allo scopo di simulare l'interazione terreno-struttura vengono posti, in corrispondenza dei nodi del modello, delle aste radiali (bielle) la cui rigidezza è determinata tenendo conto del modulo di reazione del terreno K.

Quest'ultimo è stato ottenuto, per le superfici curvilinee, tramite la formula di Galerkin:

$$K = E / [\text{Req} \cdot (1 + \nu)] = 22176 \times 1000 / (8.25 \times (1 + 0.25)) = 2150400 \text{ kN/m}$$

essendo:

E = modulo di deformabilità dell'ammasso = 22176 MPa;

ν = coefficiente di Poisson dell'ammasso = 0.25;

Req = raggio di curvatura equivalente della galleria = 6.85 m .

Analisi dei carichi

Peso proprio: Il peso proprio è calcolato in automatico dal software in funzione dei pesi di volume inseriti nel database e alla reale geometria degli elementi.

Peso permanente non strutturale: Il carico verticale del sovrastante ammasso roccioso sono state calcolate le correlazioni di Bieniawski per formazioni rocciose attraverso la seguente formulazione valida per $H > D$ (H = copertura e D = diametro equivalente della galleria) :

$$P_v = \gamma b (100 - \text{RMR}) / 100$$

Con:

γ = peso di volume dell'ammasso = 27 kN/mc;

b = larghezza della galleria = 17.60 m;

RMR = Rock Mass Rating di Bieniawski = 52.

Le spinte orizzontali P_h , presenti a lungo termine e variabili con la profondità, sono state calcolate secondo la formula:

$$P_h = K_o \cdot P_v + K_o \cdot \gamma \cdot z$$

Con:

γ = peso di volume del terreno;

K_0 = coefficiente di spinta a riposo = $\nu / (1-\nu) = 0.333$;

z = altezza di terreno dalla corona della calotta al punto più basso dell'arco rovescio.

Sezione	Peso specifico γ [kN/m ³]	P_v [kN/m ²]	P_{h1} [kN/m ²]	P_{h2} [kN/m ²]
GD-PS A1	27	228.09	75.95	200.74

Tabella 8.11 – Fase 8 – Peso permanente non strutturale

Condizioni e combinazioni di carico

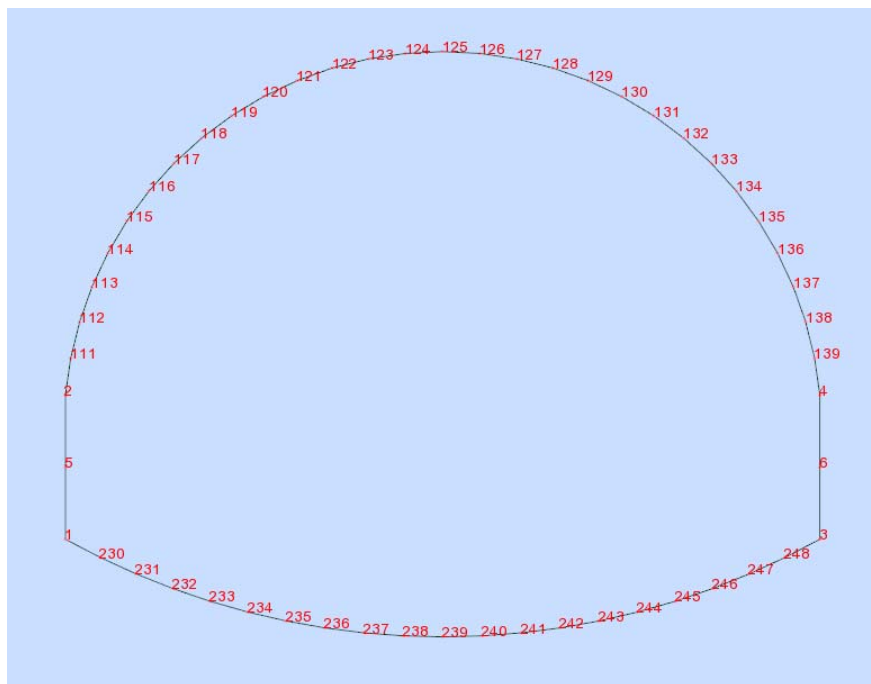
Condizioni di carico

DL1 DL1 Permanenti Nonlinear Static

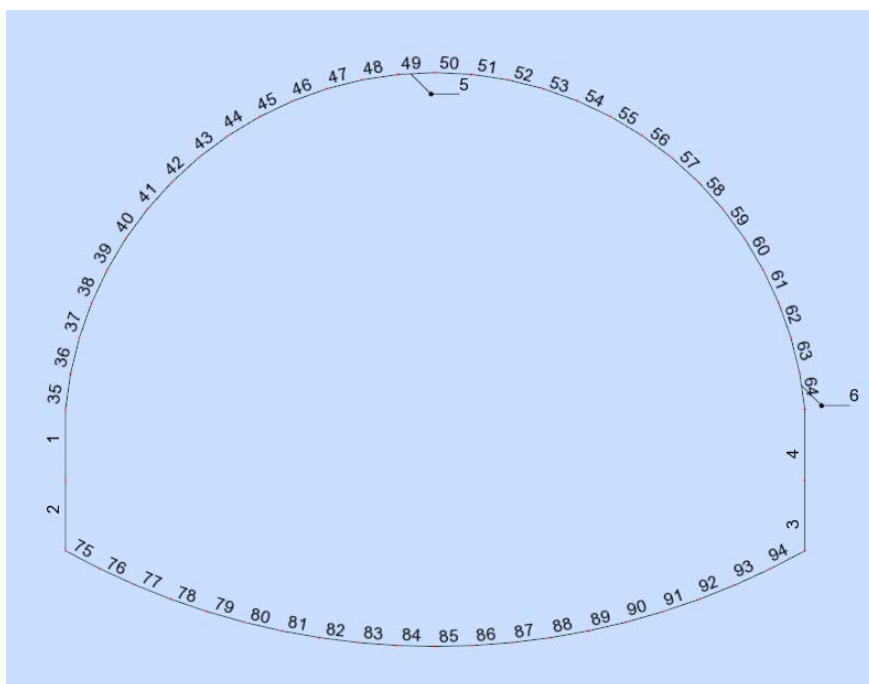
DL2 DL2 Perm.Non-str. Nonlinear Static

Combinazioni di carico

SLU Nonlin. Combination SLU Permanenti 1*1.30+2*1.50



Numerazione nodi



Numerazione elementi

Verifiche strutturali allo SLU

Le verifiche flessionali sull'arco rovescio risultano:

Tipo	Elemento	Spessore (cm)	Armatura	N _{SDU} (kN)	M _{SDU} (kN m)	N _{RD} (kN)	M _{RD} (kNm)	FS
INCASTRO	75	70	1 Φ 20/20	3012	608	3012	971	1.60
MAX NEG	77	70	-	2997	290	7146	-	2.38
MAX POS	80	70		3040	29	9607	-	3.16

Tabella 8.12 – Fase 8 - Verifica a flessione dell'arco rovescio

Le verifiche a taglio sull'arco rovescio risultano:

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	V _{SDU} (kN)	V _{RD} (kN)	FS
INCASTRO	70	1 Φ 24/20/40	2097	2182	1.04
MAX NEG	70	-	393	896	2.27
MAX POS	70		64	1072	16.75

Tabella 8.13 – Fase 8 - Verifica a taglio dell'arco rovescio

Le verifiche flessionali sulla calotta risultano:

Tipo	Elemento	Spessore (cm)	Armatura	N _{SDU} (kN)	M _{SDU} (kN m)	N _{RD} (kN)	M _{RD} (kNm)	FS
INCASTRO	2	120	1 Φ 20/20	4824	1565	4824	2523	1.61
MAX NEG	38	60	-	3788	200	6976	-	1.84
MAX POS	46	60		3146	115	7434	-	64

Tabella 8.14 – Fase 8 - Verifica a flessione della calotta

Le verifiche a taglio sulla calotta risultano:

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	V _{SDU} (kN)	V _{RD} (kN)	FS
INCASTRO	120	1 Φ 20/20/20	874	2686	3.07
MAX NEG	60	-	203	951	4.68
MAX POS	60	-	0.35	936	2674

Tabella 8.15 – Fase 8 - Verifica a taglio della calotta

Verifiche a fessurazione allo SLE

Le verifiche a fessurazione per l'arco rovescio risultano:

Tipo	Elemento	Spessore (cm)	Armatura	N _k (kN)	M _k (kN m)	σ_c (MPa)	σ_f (MPa)	W _m
INCASTRO	75	70	1 Φ 20/20	2288	467	-9.71	48.87	0.024

Tabella 8.16 – Fase 8 - Verifica a fessurazione dell'arco rovescio

Le verifiche a fessurazione per la calotta risultano:

Tipo	Elemento	Spessore (cm)	Armatura	N _k (kN)	M _k (kN m)	σ_c (MPa)	σ_f (MPa)	W _m
INCASTRO	2	120	1 Φ 20/20	3710	1203	-8.65	41.32	0.022

Tabella 8.17 – Fase 8 - Verifica a fessurazione della calotta

Diagrammi di sollecitazione

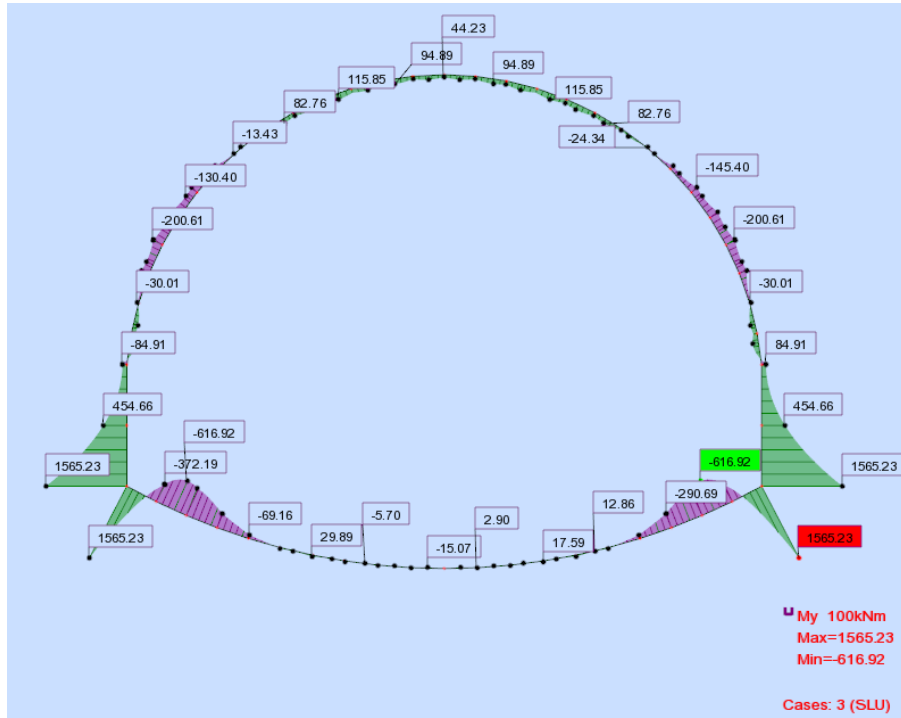


Diagramma momento flettente

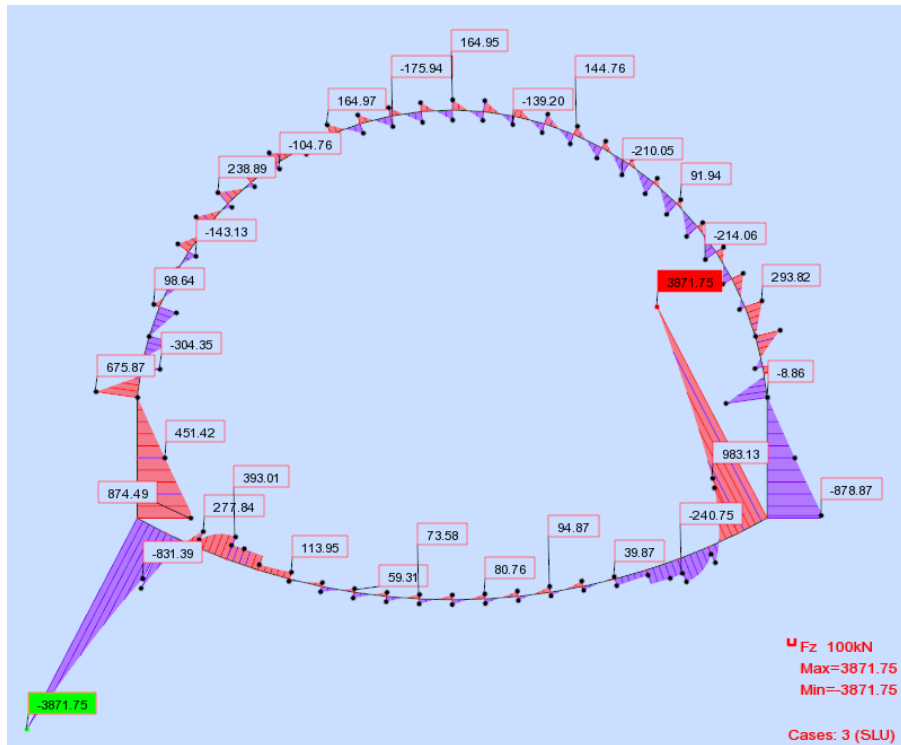


Diagramma taglio

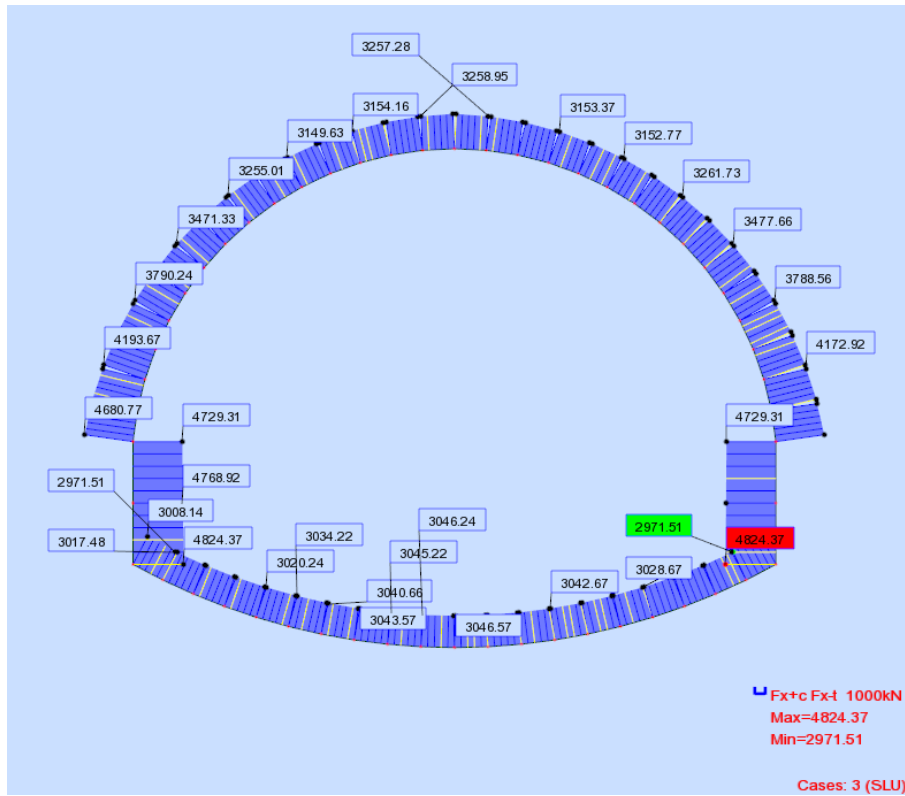


Diagramma sforzo normale

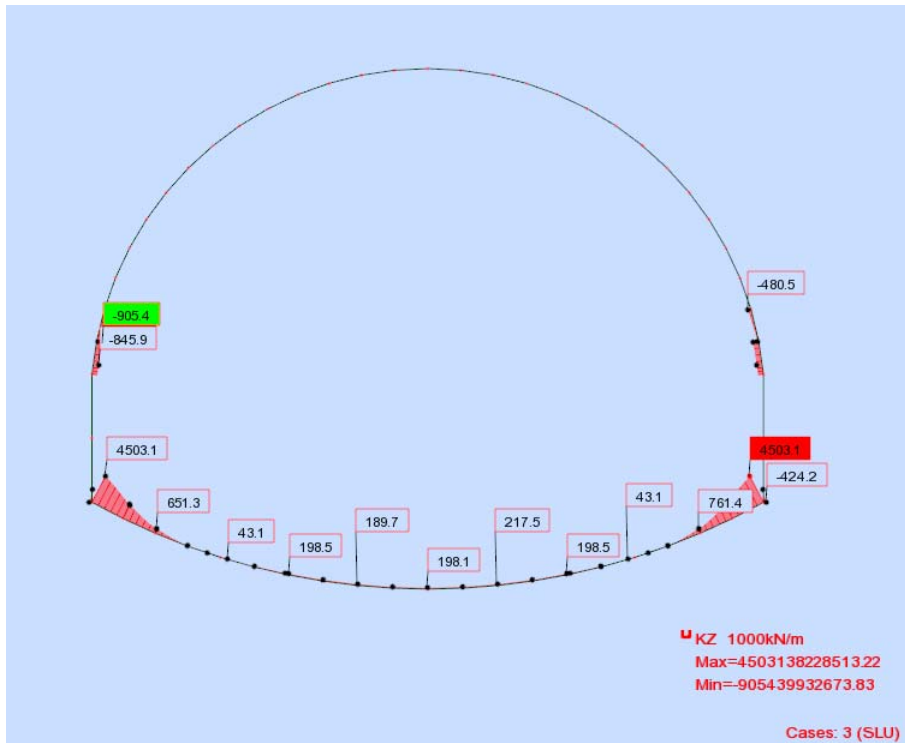
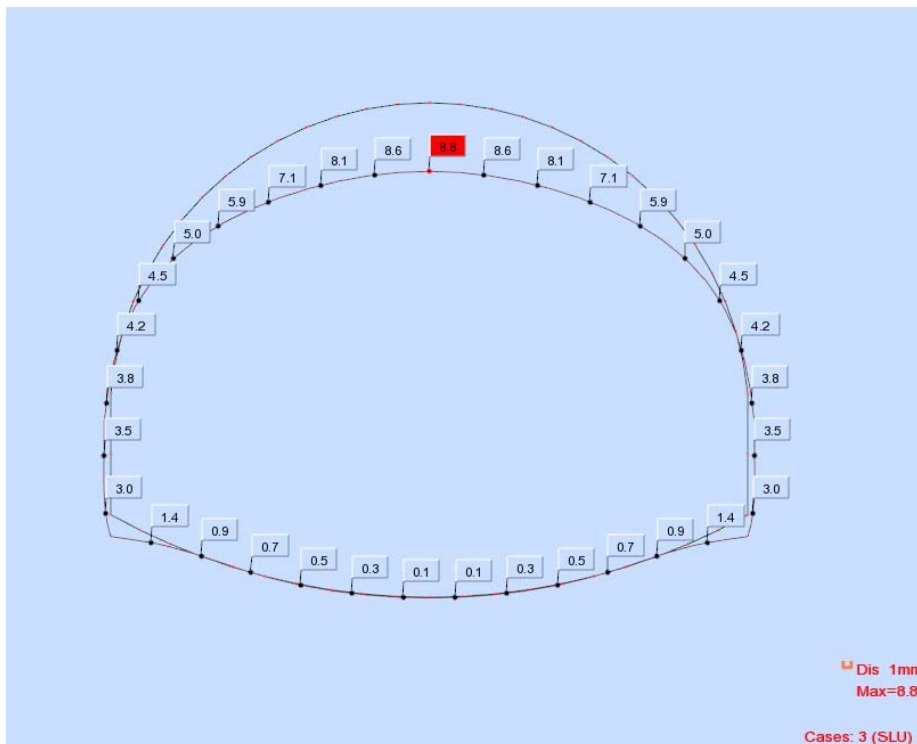


Diagramma reazioni mole



Deformata

Tabulati di verifica

Bar/Node/Case	FX (kN)	FZ (kN)	MY (kNm)
1/2/3	4729.31	8.86	84.91
1/2/3/3	4749.11	226.25	179.89
1/5/3	4768.92	451.42	454.66
2/5/3	4768.92	451.42	454.66
2/2/3/3	4796.65	684.39	915.55
2/1/3	4824.37	874.49	1565.23
3/3/3	4824.37	-874.49	1565.23
3/2/3/3	4796.65	-684.39	915.55
3/6/3	4768.92	-451.42	454.66
4/6/3	4768.92	-451.42	454.66
4/2/3/3	4749.11	-226.24	179.89
4/4/3	4729.31	-8.86	84.91
35/2/3	4680.77	675.87	-84.91
35/2/3/3	4545.65	189.9	97.07
35/111/3	4410.24	-304.35	73.76
36/111/3	4418.78	131.14	73.76
36/2/3/3	4296.1	-113.58	79.11
36/112/3	4172.92	-416.65	-30.01
37/112/3	4193.67	-4	-30.01
37/2/3/3	4083.81	-149.89	-62.44

37/113/3	3973.27	-293.82	-155.81
38/113/3	3982.9	98.64	-155.81
38/2/3/3	3886.17	-53.58	-146.4
38/114/3	3788.56	-203.91	-200.61
39/114/3	3790.24	169.9	-200.61
39/2/3/3	3706.83	12.49	-162.32
39/115/3	3622.36	-143.13	-189.85
40/115/3	3618.86	214.06	-189.85
40/2/3/3	3548.88	52.57	-133.85
40/116/3	3477.66	-107.25	-145.4
41/116/3	3471.33	235.5	-145.4
41/2/3/3	3414.79	71.01	-81.01
41/117/3	3356.85	-91.94	-85.46
42/117/3	3349.6	238.89	-85.46
42/2/3/3	3306.43	72.44	-20.05
42/118/3	3261.73	-92.61	-24.34
43/118/3	3255.01	228.79	-24.34
43/2/3/3	3225.09	61.39	36.63
43/119/3	3193.5	-104.76	27.47
44/119/3	3188.31	210.05	27.47
44/2/3/3	3171.43	42.67	80.57
44/120/3	3152.77	-123.62	63.51
45/120/3	3149.63	187.21	63.51
45/2/3/3	3145.54	20.78	107.22
45/121/3	3139.56	-144.76	81.11
46/121/3	3138.57	164.97	81.11
46/2/3/3	3146.95	0.35	115.85
46/122/3	3153.37	-163.56	81.51
47/122/3	3154.16	147.5	81.51
47/2/3/3	3174.65	-14.48	109.46
47/123/3	3193.12	-175.94	69.4
48/123/3	3194.93	139.2	69.4
48/2/3/3	3227.14	-19.35	94.59
48/124/3	3257.28	-177.6	53.17
49/124/3	3258.95	143.77	53.17
49/2/3/3	3302.44	-10.64	81.16
49/125/3	3343.84	-164.95	44.23
50/125/3	3343.84	164.95	44.23
50/2/3/3	3302.44	10.64	81.16
50/126/3	3258.95	-143.77	53.17
51/126/3	3257.28	177.6	53.17
51/2/3/3	3227.14	19.35	94.59
51/127/3	3194.93	-139.2	69.4
52/127/3	3193.12	175.94	69.4
52/2/3/3	3174.65	14.48	109.46

52/128/3	3154.16	-147.5	81.51
53/128/3	3153.37	163.56	81.51
53/2/3/3	3146.95	-0.35	115.85
53/129/3	3138.57	-164.97	81.11
54/129/3	3139.56	144.76	81.11
54/2/3/3	3145.54	-20.78	107.22
54/130/3	3149.63	-187.21	63.51
55/130/3	3152.77	123.62	63.51
55/2/3/3	3171.43	-42.67	80.57
55/131/3	3188.31	-210.05	27.47
56/131/3	3193.5	104.76	27.47
56/2/3/3	3225.09	-61.39	36.63
56/132/3	3255.01	-228.79	-24.34
57/132/3	3261.73	92.61	-24.34
57/2/3/3	3306.43	-72.44	-20.05
57/133/3	3349.6	-238.89	-85.46
58/133/3	3356.85	91.94	-85.46
58/2/3/3	3414.79	-71.01	-81.01
58/134/3	3471.33	-235.51	-145.4
59/134/3	3477.66	107.25	-145.4
59/2/3/3	3548.88	-52.57	-133.85
59/135/3	3618.86	-214.06	-189.85
60/135/3	3622.36	143.13	-189.85
60/2/3/3	3706.83	-12.49	-162.32
60/136/3	3790.24	-169.9	-200.61
61/136/3	3788.56	203.91	-200.61
61/2/3/3	3886.17	53.58	-146.4
61/137/3	3982.9	-98.64	-155.81
62/137/3	3973.27	293.82	-155.81
62/2/3/3	4083.81	149.89	-62.44
62/138/3	4193.67	4	-30.01
63/138/3	4172.92	416.65	-30.01
63/2/3/3	4296.1	113.58	79.11
63/139/3	4418.78	-131.14	73.76
64/139/3	4410.24	304.35	73.76
64/2/3/3	4545.65	-189.9	97.07
64/4/3	4680.77	-675.87	-84.91
75/1/3	3008.14	-3871.75	1565.23
75/2/3/3	3012.81	-2097.55	258.11
75/230/3	3017.48	-831.39	-372.19
76/230/3	2971.51	-983.13	-372.19
76/2/3/3	2975.72	-156.37	-608.22
76/231/3	2979.93	277.84	-569.08
77/231/3	2990.18	126.63	-569.08
77/2/3/3	2993.92	340.42	-457.68

77/232/3	2997.66	393.01	-290.69
78/232/3	3013.72	240.75	-290.69
78/2/3/3	3016.98	253.25	-179.14
78/233/3	3020.24	243.01	-69.16
79/233/3	3028.67	89.77	-69.16
79/2/3/3	3031.45	99.67	-27.17
79/234/3	3034.22	113.95	19.98
80/234/3	3036.1	-39.87	19.98
80/2/3/3	3038.38	10.69	13.35
80/235/3	3040.66	64.07	29.89
81/235/3	3040.01	-89.92	29.89
81/2/3/3	3041.79	-13.12	7.15
81/236/3	3043.57	59.31	17.59
82/236/3	3042.67	-94.87	17.59
82/2/3/3	3043.94	-10.39	-5.49
82/237/3	3045.22	67.07	7.32
83/237/3	3044.71	-87.19	7.32
83/2/3/3	3045.47	-4.07	-12.68
83/238/3	3046.24	73.58	2.9
84/238/3	3046.06	-80.76	2.9
84/2/3/3	3046.31	-0.81	-15.07
84/239/3	3046.57	77.17	1.89
85/239/3	3046.57	-77.17	1.89
85/2/3/3	3046.31	0.81	-15.07
85/240/3	3046.06	80.76	2.9
86/240/3	3046.24	-73.58	2.9
86/2/3/3	3045.47	4.07	-12.68
86/241/3	3044.71	87.19	7.32
87/241/3	3045.22	-67.07	7.32
87/2/3/3	3043.94	10.39	-5.49
87/242/3	3042.67	94.87	17.59
88/242/3	3043.57	-59.31	17.59
88/2/3/3	3041.79	13.12	7.15
88/243/3	3040.01	89.92	29.89
89/243/3	3040.66	-64.07	29.89
89/2/3/3	3038.38	-10.69	13.35
89/244/3	3036.1	39.87	19.98
90/244/3	3034.22	-113.95	19.98
90/2/3/3	3031.45	-99.67	-27.17
90/245/3	3028.67	-89.77	-69.16
91/245/3	3020.24	-243.01	-69.16
91/2/3/3	3016.98	-253.25	-179.14
91/246/3	3013.72	-240.75	-290.69
92/246/3	2997.66	-393.01	-290.69
92/2/3/3	2993.92	-340.42	-457.68

92/247/3	2990.18	-126.63	-569.08
93/247/3	2979.93	-277.84	-569.08
93/2/3/3	2975.72	156.37	-608.22
93/248/3	2971.51	983.13	-372.19
94/248/3	3017.48	831.39	-372.19
94/2/3/3	3012.81	2097.55	258.11
94/3/3	3008.14	3871.75	1565.23

VERIFICA A STATO LIMITE ULTIMO PER TENSIONI NORMALI

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSA1-VERIFICA LIMITE INCASTRO ARCO ROVESCIO

Profondità relativa dell'asse neutro (x/d)	$\xi =$	0,483	RISOLVI
Altezza totale della sezione	h =	70,00 [cm]	
Copri ferro armatura tesa	c =	5,00 [cm]	
Altezza utile (h-c)	d =	65,00 [cm]	
Profondità dell'asse neutro	x =	31,42 [cm]	
Rapporto tra copri ferro armatura tesa ed altezza utile (c/d)	$\delta =$	0,077	
Deformazione massima nel calcestruzzo	$\epsilon_{cls} =$	-0,00350	
Deformazione massima nell'acciaio teso	$\epsilon_{acc} =$	0,00374	in y = 5,00 [cm]
Parametro di deformazione λ ($\epsilon = \lambda + \mu$)	$\lambda =$	0,00430	
Parametro di deformazione μ ($\epsilon = \lambda + \mu$)	$\mu =$	-0,00011 [1/cm]	
Sforzo normale interno (rispetto alla base - y=0)	Nrd(y=0) =	-2975,00 [kN]	
Momento interno (rispetto alla base - y=0)	Mrd(y=0) =	2012,65 [kNm]	
Ordinata rispetto a cui vengono calcolate le sollecitazioni	ysoll =	35,00 [cm]	
Sforzo normale interno (rispetto a y=ysoll)	Nrd(y=ysoll) =	-2975,00 [kN]	
Momento interno (rispetto a y=ysoll)	Mrd(y=ysoll) =	971,40 [kNm]	
Sforzo normale agente di calcolo (rispetto a y=ysoll)	Nsd(y=ysoll) =	-2975,00 [kN]	
Momento agente di calcolo (rispetto a y=ysoll)	Msd(y=ysoll) =	608,00 [kNm]	
Differenza tra sforzo normale agente ed interno (rispetto a y=ysoll)	Nsd(y=ysoll)-Nrd(y=ysoll) =	0,00 [kN]	
Coefficiente di sicurezza di stato limite ultimo	Mrd(y=ysoll)/Msd(y=ysoll) =	1,60	

CALCESTRUZZO		Trave											
Elementi	Rck [N/mm ²]	fc d [N/mm ²]	b inf [cm]	h [cm]	b sup [cm]	y inf [cm]	y sup [cm]	ϵ inf	ϵ sup	σ inf [N/mm ²]	σ sup [N/mm ²]	Nrd(y=0) [kN]	Mrd(y=0) [kNm]
1	30,00	16,60	100,00	70,00	100,00	0,00	70,00	0,00430	-0,00350	0,00	-14,11	-3589,34	2043,37
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,00	70,00	-0,00350	-0,00350	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,00	70,00	-0,00350	-0,00350	0,00	0,00	0,00	0,00
totali				70,00		0,00	70,00					-3589,34	2043,37

ACCIAIO		Armatura lenta									
Armature	Es [N/mm ²]	fyd [N/mm ²]	area [cm ²]	livello [cm]	ϵ acc	σ acc [N/mm ²]	Nrd(y=0) [kN]	Mrd(y=0) [kNm]			
1	210000	391,30	15,70	5,00	0,00374	391,30	614,34	-30,72			
2	0	0,00	0,00	0,00	0,00430	0,00	0,00	0,00			
3	0	0,00	0,00	0,00	0,00430	0,00	0,00	0,00			
totali				5,00			614,34	-30,72			

VERIFICA A STATO LIMITE ULTIMO PER TENSIONI NORMALI

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSA1-VERIFICA INCASTRO CALOTTA

Profondità relativa dell'asse neutro (x/d)	ξ=	0,414	
Altezza totale della sezione	h=	120,00 [cm]	
Copriferro armatura tesa	c=	5,00 [cm]	
Altezza utile (h-c)	d=	115,00 [cm]	
Profondità dell'asse neutro	x=	47,61 [cm]	
Rapporto tra copriferro armatura tesa ed altezza utile (c/d)	δ=	0,043	

RISOLVI

Deformazione massima nel calcestruzzo	ε cl s=	-0,00350	in y= 120,00 [cm]
Deformazione massima nell'acciaio teso	ε acc=	0,00495	in y= 5,00 [cm]
Parametro di deformazione λ (ε=λ+μ y)	λ=	0,00532	
Parametro di deformazione μ (ε=λ+μ y)	μ=	-0,00007 [1/cm]	
Sforzo normale interno (rispetto alla base - y=0)	Nrd(y=0)=	-4824,00 [kN]	
Momento interno (rispetto alla base - y=0)	Mrd(y=0)=	5418,25 [kNm]	

Ordinata rispetto a cui vengono calcolate le sollecitazioni	ysoll=	60,00 [cm]
Sforzo normale interno (rispetto a y=ysoll)	Nrd(y=ysoll)=	-4824,00 [kN]
Momento interno (rispetto a y=ysoll)	Mrd(y=ysoll)=	2523,85 [kNm]
Sforzo normale agente di calcolo (rispetto a y=ysoll)	Nsd(y=ysoll)=	-4824,00 [kN]
Momento agente di calcolo (rispetto a y=ysoll)	Msd(y=ysoll)=	1565,00 [kNm]
Differenza tra sforzo normale agente ed interno (rispetto a y=ysoll)	Nsd(y=ysoll)-Nrd(y=ysoll)=	0,00 [kN]
Coefficiente di sicurezza di stato limite ultimo	Mrd(y=ysoll)/Msd(y=ysoll)=	1,61

CALCESTRUZZO		Trave											
Elementi	Rck	fc d	b inf	h	b sup	y inf	y sup	ε inf	ε sup	σ inf	σ sup	Nrd(y=0)	Mrd(y=0)
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]			[N/mm ²]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]
1	30,00	16,60	100,00	120,00	100,00	0,00	120,00	0,00532	-0,00350	0,00	0,00	-5438,34	5448,96
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	120,00	120,00	-0,00350	-0,00350	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	120,00	120,00	-0,00350	-0,00350	0,00	0,00	0,00	0,00
totali				120,00		0,00	120,00					-5438,34	5448,96

ACCIAIO		Armatura lenta									
Armature	Es	fyd	area	livello	ε acc	σ acc	Nrd(y=0)	Mrd(y=0)			
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[cm ²]	[cm]		[N/mm ²]	[kN]	[kNm]			
1	210000	391,30	15,70	5,00	0,00495	391,30	614,34	-30,72			
2	0	0,00	0,00	0,00	0,00532	0,00	0,00	0,00			
3	0	0,00	0,00	0,00	0,00532	0,00	0,00	0,00			
totali				5,00			614,34	-30,72			

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSA1-VERIFICA LIMITE INCASTRO ARCO ROVESCIO

VERIFICA A TAGLIO A SLU PER SEZIONE RETTANGOLARE		Verifica
Caratteristiche dei materiali		
Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	Rck=	30 MPa
Coefficiente di sicurezza calcestruzzo	γ _{acc} =	1,500
Coefficiente di trasformazione resistenza cubica -> cilindrica	α _{ft1} =	0,833
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	f _{ck} =	25 MPa
Coefficiente carichi lunga durata	α _{fcc} =	0,850
Resistenza di calcolo cilindrica calcestruzzo	f _{cd} =	14,167 MPa
Tensione caratteristica di snervamento acciaio	f _{yk} =	450 MPa
Coefficiente di sicurezza acciaio	γ _{acc} =	1,150
Tensione di calcolo di snervamento acciaio	f _{yd} =	391,3 MPa
Caratteristiche della sezione		
Larghezza della membratura resistente a taglio	b _w =	1000 mm
Altezza della sezione	h=	700 mm
Altezza utile sezione: d = h - c	d=	650 mm
Area armature longitudinali tese	A _{st} =	1005,31 mm ²
Numero bracci	n=	2,5
Diametro dell'armatura trasversale posta all'interasse s	f _t =	24 mm
Interasse armatura trasversale	s=	200 mm
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	α _{fa} =	90,000 °
Area di armatura trasversale posta all'interasse s	A _{sw} =	1131 mm ²
Area di armatura trasversale a metro lineare	a _{sw} =	5,655 mm ² /mm
Sollecitazioni		
Sforzo normale di compressione di calcolo (compressione = positivo)	N _{ed} =	3012,00 kN
Taglio di calcolo agente sulla sezione allo s.l.u.	V _{sd} =	2097,00 kN
Tensione media di compressione nella sezione: s _{cp} = min(N _{ed} /(b*w*h)) * 0,2 * f _{cd}	s _{cp} =	2,833 N/mm ²
Tensione tangenziale baricentrica	τ _{u,b} =	4,494 N/mm ²
Tensione principale massima baricentrica	σ _{max} =	3,295 N/mm ²
Inclinazione minima dei "puntori" di calcestruzzo rispetto all'asse della trave	cot(teta1)=	1,364
Coefficiente α _{fac}	α _{fac} =	1,200
Cotangente alfa	cot(α _{fa})=	0,00
Limite inferiore per inclinazione puntori calcestruzzo (cot(teta1) = max(1,00; cot(teta1)))	cot(teta1)=	1,36
Limite superiore per inclinazione puntori calcestruzzo (cot(teta2), normalmente 2,50)	cot(teta2)=	2,50
Resistenza di calcolo a taglio-compressione massima possibile (cot(teta)=cot(teta1))	V _{rd,max} =	2371 kN
Resistenza di calcolo a taglio-compressione minima (cot(teta)=cot(teta2))	V _{rd,min} =	1715 kN
Verifica elementi senza armature trasversali resistenti a taglio		
Rapporto geometrico armatura longitudinale: ρ _l (l) = min(A _{st} / (b _w * d)) ; 0,02)	ρ _l (l)=	0,00155
Coefficiente k=min(1+(200/d) ^{0,5} ; 2)	k=	1,555
Coefficiente v _{min} =0,035 * (k ^{1,5}) * (f _{ck} ^{0,5})	v _{min} =	0,339 N/mm ²
Tensione tangenziale resistente di calcolo (0,18 * k * (100 * ρ _l (l) * f _{ck}) / γ _{acc} + 0,15 * s _{cp})	τ _{u,1,calc} =	0,718 N/mm ²
Tensione tangenziale resistente minima (v _{min} + 0,15 * s _{cp})	τ _{u,2,min} =	0,764 N/mm ²
Sforzo di taglio resistente	V _{rd} =	496,76 kN
Tensione tangenziale corrispondente allo Sforzo di taglio resistente	τ _{u(Vrd)} =	0,85 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (≥ 1; solo calcestruzzo)	V _{rd} /V _{sd} =	0,237
Verifica elementi con armature trasversali resistenti a taglio		
Cotangente teta ottimale (cot(teta1) < cot(teta) < cot(teta2))	cot(teta)=	1,69
Inclinazione puntori calcestruzzo ottimale (cot(teta1) < cot(teta) < cot(teta2))	teta=	30,679 °
Resistenza di calcolo a taglio-compressione (V _{rd} = 0,90 * d * b _w * α _{fac} * f _{cd} * (cot(α _{fa}) + cot(teta)) / (1 + cot(teta) ²))	V _{rd} =	2182 kN
Resistenza di calcolo a taglio-trazione (V _{rd} = 0,9 d A _{sw} s * f _{yd} * (cot(α _{fa}) + cot(teta)) * sen(α _{fa}))	V _{rd} =	2182 kN
Resistenza di calcolo V_{rd} = min (V_{rd} ; V_{rd})	V _{rd} =	2182 kN
Tensione tangenziale corrispondente alla Resistenza di calcolo V _{rd}	τ _{u(Vrd)} =	3,73 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (≥ 1; solo calcestruzzo)	V _{rd} /V _{sd} =	1,041

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSA1-VERIFICA INCASTRO CALOTTA

VERIFICA A TAGLIO A SLU PER SEZIONE RETTANGOLARE		Verifica
Caratteristiche dei materiali		
Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	Rck=	30 MPa
Coefficiente di sicurezza calcestruzzo	gamma _{cc} =	1,500
Coefficiente di trasformazione resistenza cubica -> cilindrica	alfa1=	0,833
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	fck=	25 MPa
Coefficiente carichi lunga durata	alfacc=	0,850
Resistenza di calcolo cilindrica calcestruzzo	fcid=	14,167 MPa
Tensione caratteristica di snervamento acciaio	fyk=	450 MPa
Coefficiente di sicurezza acciaio	gamma _{as} =	1,150
Tensione di calcolo di snervamento acciaio	fyd=	391,3 MPa
Caratteristiche della sezione		
Larghezza della membratura resistente a taglio	bw=	1000 mm
Altezza della sezione	h=	1200 mm
Altezza utile sezione: d = h - c	d=	1150 mm
Area armature longitudinali tese	Asl=	1005,31 mm ²
Numero bracci	n=	5,0
Diametro dell'armatura trasversale posta all'interasse s	fi=	20 mm
Interasse armatura trasversale	sp=	200 mm
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	alfa=	90,000 °
Area di armatura trasversale posta all'interasse s	Asw=	1571 mm ²
Area di armatura trasversale a metro lineare	asw=	7,854 mm ² /mm
Sollecitazioni		
Sforzo normale di compressione di calcolo (compressione = positivo)	Ned=	4824,00 kN
Taglio di calcolo agente sulla sezione allo s.l.u.	Vsdu=	874,00 kN
Tensione media di compressione nella sezione: $scp = min(Nsd / (bw * d) ; 0,2 * fcd)$	scp=	2,833 N/mm ²
Tensione tangenziale baricentrica	tau _b =	1,093 N/mm ²
Tensione principale massima baricentrica	sigma ₁ =	0,372 N/mm ²
Inclinazione minima dei "puntoni" di calcestruzzo rispetto all'asse della trave	cot(teta1)=	2,934
Coefficiente alfac	alfac=	1,200
Cotangente alfa	cot(alfa)=	0,00
Limite inferiore per inclinazione puntoni calcestruzzo ($cot(teta1) = max(1,00; cot(teta1))$)	cot(teta1)=	2,93
Limite superiore per inclinazione puntoni calcestruzzo ($cot(teta2)$, normalmente 2,50)	cot(teta2)=	2,50
Resistenza di calcolo a taglio-compressione massima possibile ($cot(teta)=cot(teta1)$)	Vr _{cd,max} =	2686 kN
Resistenza di calcolo a taglio-compressione minima ($cot(teta)=cot(teta2)$)	Vr _{cd,min} =	3034 kN
Verifica elementi senza armature trasversali resistenti a taglio		
Rapporto geometrico armatura longitudinale: $ro(l) = min(Asl / (bw * d) ; 0,02)$	ro(l)=	0,00087
Coefficiente $k = min(1 + (200/d)^{0,5} ; 2)$	k=	1,417
Coefficiente $v_{min} = 0,035 * (k^1,5) * (fck/0,5)$	v _{min} =	0,295 N/mm ²
Tensione tangenziale resistente di calcolo ($0,18 * k * (100 * ro(l) * fck) / gamma_{cc} + 0,15 * scp$)	tau _{1,calc} =	0,646 N/mm ²
Tensione tangenziale resistente minima ($v_{min} + 0,15 * scp$)	tau _{2,min} =	0,720 N/mm ²
Sforzo di taglio resistente	Vr _d =	828,22 kN
Tensione tangenziale corrispondente allo Sforzo di taglio resistente	tau(Vr _d)=	0,80 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (>= 1; solo calcestruzzo)	Vr _d /Vs _d =	0,948
Verifica elementi con armature trasversali resistenti a taglio		
Cotangente teta ottimale ($cot(teta1) < cot(teta) < cot(teta2)$)	cot(teta)=	2,93
Inclinazione puntoni calcestruzzo ottimale ($cot(teta1) < cot(teta) < cot(teta2)$)	teta=	18,819 °
Resistenza di calcolo a taglio-compressione ($Vr_{cd} = 0,90 * d * bw * alfac * fcd * (cot(alfa) + cot(teta)) / (1 + cot(teta)^2)$)	Vr _{cd} =	2686 kN
Resistenza di calcolo a taglio-trazione ($Vr_{sd} = 0,9 * d * Asw * s * fyd * (cot(alfa) + cot(teta)) * sen(alfa)$)	Vr _{sd} =	9333 kN
Resistenza di calcolo Vr_d = min (Vr_{cd} ; Vr_{sd})	Vr _d =	2686 kN
Tensione tangenziale corrispondente alla Resistenza di calcolo Vr_d	tau(Vr _d)=	2,60 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (>= 1; solo calcestruzzo)	Vr _d /Vs _d =	3,073

VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI FESSURAZIONE

TITOLO: GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSA1 VERIFICA LIMITE INCASTRO ARCO ROVESCIO
 Riferimento: Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018: "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».
 Circolare 21 gennaio 2019, n° 7: Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento» delle «Norme tecniche per le costruzioni» di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018.

DATI GENERALI

Tipi impronte acciaio	Aderenza migliorata
Sensibilità armatura	Poco sensibile
Condizioni ambientali	Ordinarie
Combinazione di azioni	Frequenti

VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI FORMAZIONE DELLE FESSURE

Resistenza caratteristica cilindrica del conglomerato cementizio	fck=	25,0 N/mm ²
Resistenza a trazione media del conglomerato cementizio ($f_{ctm} = 0,30 (fck)^{2/3}$)	fctm=	2,565 N/mm ²
Resistenza a trazione allo stato di formazione delle fessure ($f_{ctk} = fctm * 1,2$)	fctk=	2,137 N/mm ²
Per la combinazione di azioni prescelta si ha (sezione interamente reagente - sollecitazioni effettive): Tensione di trazione massima nel calcestruzzo	sc _{max} =	2,273 N/mm ²

La sezione NON è verificata allo stato limite di formazione delle fessure

VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE

a) Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura e_{psm}

Modulo elastico del calcestruzzo	Ec=	31476 N/mm ²
Modulo elastico delle armature	Es=	206000 N/mm ²
Tensione nell'armatura tesa in sezione fessurata	sigma _{as} =	48,872 N/mm ²
Base della zona di calcestruzzo efficace entro cui le barre influenzano l'apertura delle fessure	b _{eff} =	20,000 cm
Altezza della zona di calcestruzzo efficace [$min(2,5(h-d); (h-x)/3; h/2)$]	h _{eff} =	7,108 cm
Area della zona di calcestruzzo efficace entro cui le barre influenzano l'apertura delle fessure	Ac _{eff} = b _{eff} * h _{eff} =	142,153 cm ²
Area della sezione di acciaio posta nell'area efficace Ac _{eff}	As _{eff} =	15,708 cm ²
Rapporto tra l'area della sezione di acciaio As e l'area di calcestruzzo efficace Ac _{eff}	ro _{eff} = As _{eff} / Ac _{eff} =	0,110500
Coefficiente per le condizioni di sollecitazione (0,6 azioni di breve durata, 0,4 azioni di lunga durata)	kt=	0,6
Deformazione unitaria media dell'armatura	eps _{sm} =	0,000121
Deformazione unitaria media dell'armatura (limite inferiore) ($eps_{sm,lim} = 0,6 * sigma_{as} / Es$)	eps _{sm,lim} =	0,000142

b) Calcolo della distanza media tra le fessure D_{sm}

Distanza tra le barre (int - fi)	s1=	20,000 cm
Diametro equivalente delle barre tesse	fi=	20 mm
Ricoprimento netto dell'armatura (Vf-f/2)	c=	4,000 cm
Distanza limite tra le barre da utilizzare nel calcolo ($s = 5 * (c + fi/2)$)	b=	25,000 cm
Rapporto tra l'area della sezione di acciaio As e l'area di calcestruzzo efficace Ac _{eff}	ro _{eff} = As / Ac _{eff} =	0,110500
Deformazione di trazione massima in sezione fessurata	eps ₁ =	0,001552
Deformazione di trazione minima in sezione fessurata	eps ₂ =	0,000000
Coefficiente di aderenza calcestruzzo alla barra (0,8 per barre ad aderenza migliorata, 1,6 per barre lisce)	kt1=	0,800
Coefficiente di forma del diagramma delle deformazioni di trazione nella sezione fessurata	kd2=	0,500
Coefficiente	ks=	3,400
Coefficiente	kd4=	0,425
Distanza media tra le fessure	D _{sm} =	9,810 cm

c) Calcolo del valore caratteristico dell'apertura delle fessure w_k

Deformazione unitaria media dell'armatura	eps _{sm} =	0,000142
Distanza media tra le fessure	D _{sm} =	9,810 cm
Valore caratteristico dell'apertura delle fessure ($w_k = 1,7 * eps_{sm} * D_{sm}$)	w _k =	0,024 mm

e) Verifica

Considerando secondo Normativa:		
Condizioni ambientali:	Ordinarie	
Combinazioni di azioni:	Frequenti	
Tipi di armatura:	Poco sensibile	
Valore nominale caratteristico dell'apertura delle fessure per la combinazione d'azioni considerata	w _k =	0,400 mm

La sezione è verificata allo stato limite di apertura delle fessure

VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI FESSURAZIONE

TITOLO: GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSA1_VERIFICA INCASTRO CALOTTA

Riferimento :
Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018: "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»
Circolare 21 gennaio 2019, n° 7: Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento» delle «Norme tecniche per le costruzioni» di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018.

DATI GENERALI

Tipo impronte acciaio
Sensibilità armatura
Condizioni ambientali
Combinazione di azioni

Aderenza migliorata
Poco sensibile
Ordinarie
Frequenti

VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI FORMAZIONE DELLE FESSURE

Resistenza caratteristica cilindrica del conglomerato cementizio	f_{ck} =	25,0 N/mm ²
Resistenza a trazione media del conglomerato cementizio ($f_{ctm} = 0.30 (f_{ck})^{2/3}$)	f_{ctm} =	2,565 N/mm ²
Resistenza a trazione allo stato di formazione delle fessure ($f_{ctk} = f_{ctm} \cdot 1,2$)	f_{ctk} =	2,137 N/mm ²
Per la combinazione di azioni prescelta si ha (sezione interamente reagente - sollecitazioni effettive): Tensione di trazione massima nel calcestruzzo	$\sigma_{cm,ax}$ =	1,817 N/mm ²

La sezione è verificata allo stato limite di formazione delle fessure

VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE

a) Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura $\epsilon_{ps,m}$

Modulo elastico del calcestruzzo	E_c =	31476 N/mm ²
Modulo elastico delle armature	E_s =	206000 N/mm ²
Tensione nell'armatura tesa in sezione fessurata	$\sigma_{s,eff}$ =	41,325 N/mm ²
Base della zona di calcestruzzo efficace entro cui le barre influenzano l'apertura delle fessure	$b_{,eff}$ =	20,000 cm
Altezza della zona di calcestruzzo efficace [$\min(2,5(h-d), (h-x)/3, h/2)$]	$h_{,eff}$ =	10,923 cm
Area della zona di calcestruzzo efficace entro cui le barre influenzano l'apertura delle fessure	$A_{c,eff} = b_{,eff} \cdot h_{,eff}$ =	218,450 cm ²
Area della sezione di acciaio posta nell'area efficace A_s , $\epsilon_{s,eff}$	A_s =	15,708 cm ²
Rapporto tra l'area della sezione di acciaio A_s e l'area di calcestruzzo efficace $A_{c,eff}$	$\rho_{s,eff} = A_s / A_{c,eff}$ =	0,071906
Coefficiente per le condizioni di sollecitazione (0,6 azioni di breve durata, 0,4 azioni di lunga durata)	k_{tr} =	0,6
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{ps,m}$ =	0,000048
Deformazione unitaria media dell'armatura (limite inferiore) ($\epsilon_{ps,m,lim} = 0,6 \sigma_{s,eff} / E_s$)	$\epsilon_{ps,m,lim}$ =	0,000120

b) Calcolo della distanza media tra le fessure D_{fm}

Distanza tra le barre ($l_{tr} - l_f$)	s_{tr} =	20,000 cm
Diámetro equivalente delle barre tese	f_{tr} =	20 mm
Ricoprimento netto dell'armatura ($Y_f - f_{tr}/2$)	c_{tr} =	4,000 cm
Distanza limite tra le barre da utilizzare nel calcolo ($s = 5 \cdot (c_{tr} + f_{tr}/2)$)	b_{tr} =	25,000 cm
Rapporto tra l'area della sezione di acciaio A_s e l'area di calcestruzzo efficace $A_{c,eff}$	$\rho_{s,eff} = A_s / A_{c,eff}$ =	0,071906
Deformazione di trazione massima in sezione fessurata	$\epsilon_{ps,1}$ =	0,001033
Deformazione di trazione minima in sezione fessurata	$\epsilon_{ps,2}$ =	0,000000
Coefficiente di aderenza calcestruzzo alla barra (0,8 per barre ad aderenza migliorata, 1,6 per barre lisce)	k_1 =	0,800
Coefficiente di forma del diagramma delle deformazioni di trazione nella sezione fessurata	k_2 =	0,500
Coefficiente	k_3 =	3,400
Coefficiente	k_4 =	0,425
Distanza media tra le fessure	D_{fm} =	10,781 cm

c) Calcolo del valore caratteristico dell'apertura delle fessure w_k

Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{ps,m}$ =	0,000120
Distanza media tra le fessure	D_{fm} =	10,781 cm
Valore caratteristico dell'apertura delle fessure ($w_k = 1,7 \epsilon_{ps,m} D_{fm}$)	w_k =	0,022 mm

e) Verifica

Considerando secondo Normativa :

Condizioni ambientali: Ordinarie
Combinazioni di azioni: Frequenti
Tipo di armatura: Poco sensibile

Valore nominale caratteristico dell'apertura delle fessure per la combinazione d'azioni considerata $w_k = 0,300$ mm

La sezione è verificata allo stato limite di apertura delle fessure

9 VERIFICA DELLA SEZIONE DI SCAVO GD-PS B

Le analisi sono state svolte secondo le seguenti principali fasi di costruzione:

- FASE1 – Geostatico

Si applicano le caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso riferite a una Classe IV di scavo per ricreare la situazione gravitativa iniziale con un ricoprimento tra il piano campagna e il piano dei centri della galleria di circa 38 m, considerando un contatto tra lo Gneiss alterato e la formazione morenica appena al di sopra della calotta.

I parametri geotecnici dello Gneiss presentano i seguenti valori:

angolo di attrito	$\phi = 61^\circ$
coesione drenata	$c = 453$ kPa
modulo di deformazione	$E = 6491$ MPa
coefficiente di Poisson	$\nu = 0.25$

I parametri geotecnici della Formazione Morenica presentano i seguenti valori:

angolo di attrito	$\phi = 34^\circ$
coesione drenata	$c = 10$ kPa
modulo di deformazione	$E = 30$ MPa
coefficiente di Poisson	$\nu = 0.30$

- FASE 2 – Apertura fronte di scavo.

Si inserisce il consolidamento al contorno dello scavo attribuendo all'ammasso una coesione pari a 647 kPa e si effettua l'apertura del fronte a cavo non sostenuto e riducendo le forze di scavo con rilassamento pari al 26.5% della pressione litostatica.

- FASE 3 – Posa centine a 1.0 m

Si prevede l'inserimento della centina isolata formate da 2IPE200 ad interasse di 1.0 m con le seguenti caratteristiche:

Centine: $A=57e-4 \text{ m}^2$ $J=3886e-8 \text{ m}^4$ $E=200 \text{ GPa}$

In questa fase si considera un rilassamento pari al 44% del carico litostatico.

- FASE 4 – Posa spritz beton a 2.0 m.

I calcoli sono svolti considerando una fase di scavo a piena sezione con la posa del priverivestimento formato da spritz-beton di 30 cm di spessore ($E=20 \text{ GPa}$) e centine.

Priverivestimento: $A=0.30 \text{ m}^2$ $J=2.25e-3 \text{ m}^4$ $E=20 \text{ GPa}$

In questa fase si considera un rilassamento pari al 59% del carico litostatico.

- FASE 5 – Maturazione spritz beton e getto dell'arco rovescio a 45 m.

Si considera la maturazione dello spritz beton ($E=31 \text{ GPa}$) e con lo scavo a 10 m dal fronte si prevede il getto dell'arco rovescio ($E=20 \text{ GPa}$) di 100 cm di spessore.

Priverivestimento: $A=0.25 \text{ m}^2$ $J=1.30e-3 \text{ m}^4$ $E=31 \text{ GPa}$

Arco rovescio: $A=1.00 \text{ m}^2$ $J=0.083 \text{ m}^4$ $E=20 \text{ GPa}$

In questa fase si considera un rilassamento pari al 98% del carico litostatico.

- FASE 6 – Getto della calotta e maturazione dell'arco rovescio.

E' simulato il getto della calotta ($E=15 \text{ GPa}$) e la completa maturazione dell'arco rovescio ($E=31 \text{ GPa}$).

Arco rovescio: $A=1.00 \text{ m}^2$ $J=0.083 \text{ m}^4$ $E=31 \text{ GPa}$

Calotta. $A=0.90 \text{ m}^2$ $J=0.060 \text{ m}^4$ $E=15 \text{ GPa}$

Si considera un rilassamento pari al 99% del carico litostatico.

- FASE 7 – Maturazione della calotta.

Si considera la completa maturazione della calotta ($E=31 \text{ GPa}$).

Calotta. $A=0.90 \text{ m}^2$ $J=0.060 \text{ m}^4$ $E=31 \text{ GPa}$

Si considera un rilassamento pari al 100% del carico litostatico.

9.1 FASE 3 – VERICHE TENSIONALI SULLE CENTINE

In questa fase di calcolo sono presenti i seguenti elementi strutturali:

elementi beam da 1 a 66 rappresentanti le centine.

Le sollecitazioni massime sulle centine risultano:

elemento 66: $N_k = 90 \text{ kN}$ $M_k = 0.49 \text{ kNm}$ $T_k = 1.01 \text{ kN}$

La tensione massima sulle centine allo SLU risulta:

$\sigma_{id} = 22.69 \text{ MPa} < 261.90 \text{ MPa}$

* FLAC log-file opened 19-Apr-19 11:04
 FASE 3-GALLERIA DOSSO-SEZIONE GD-PS B-Posa centine a 1.0m
 From File :dosb3,sav

Structural element data ...

Elem	ID	Nod1	Nod2	Prop		F-shear	F-axial	Mom-1	Mom-2	
66	1	66	67	1	beam	-1.011E+00	9.027E+01	-4.928E-01	-6.496E-05	-7
65	1	65	66	1	beam	9.281E-01	7.505E+01	-2.274E-02	4.925E-01	-6
64	1	64	65	1	beam	-1.592E-02	6.825E+01	-3.108E-02	2.281E-02	-5
63	1	63	64	1	beam	4.710E-02	6.552E+01	-6.345E-03	3.115E-02	-5
62	1	62	63	1	beam	5.954E-02	6.461E+01	2.546E-02	5.909E-03	-5
61	1	61	62	1	beam	1.729E-02	6.457E+01	3.436E-02	-2.537E-02	-5
60	1	60	61	1	beam	-6.763E-03	6.476E+01	3.087E-02	-3.430E-02	-5
59	1	59	60	1	beam	1.682E-02	6.493E+01	3.950E-02	-3.129E-02	-5
58	1	58	59	1	beam	-1.087E-01	6.475E+01	-1.125E-02	-3.930E-02	-5
57	1	57	58	1	beam	8.092E-01	6.457E+01	2.915E-01	1.156E-02	-5
56	1	56	57	1	beam	-9.851E-01	6.433E+01	-7.747E-02	-2.914E-01	-5
55	1	55	56	1	beam	9.291E-02	6.215E+01	-3.596E-02	7.662E-02	-5
54	1	54	55	1	beam	6.193E-01	6.125E+01	2.031E-01	3.548E-02	-5
53	1	53	54	1	beam	-9.559E-01	6.108E+01	-1.657E-01	-2.025E-01	-5
52	1	52	53	1	beam	9.885E-01	5.907E+01	2.231E-01	1.654E-01	-5
51	1	51	52	1	beam	-9.444E-01	5.966E+01	-1.259E-01	-2.239E-01	-5
50	1	50	51	1	beam	8.746E-01	5.738E+01	1.979E-01	1.260E-01	-5
49	1	49	50	1	beam	-8.219E-01	5.669E+01	-1.071E-01	-1.973E-01	-4
48	1	48	49	1	beam	7.429E-01	5.427E+01	1.677E-01	1.074E-01	-4
47	1	47	48	1	beam	-6.982E-01	5.266E+01	-1.066E-01	-1.679E-01	-4
46	1	46	47	1	beam	5.311E-01	4.903E+01	9.851E-02	1.061E-01	-4
45	1	45	46	1	beam	-2.296E-01	4.788E+01	1.043E-02	-9.887E-02	-4
44	1	44	45	1	beam	-1.906E-01	4.502E+01	-7.251E-02	-1.064E-02	-3
43	1	43	44	1	beam	3.345E-01	3.954E+01	5.400E-02	7.222E-02	-3
42	1	42	43	1	beam	-2.514E-01	3.918E+01	-4.126E-02	-5.363E-02	-3
41	1	41	42	1	beam	-2.286E-02	3.540E+01	-5.186E-02	4.135E-02	-3
40	1	40	41	1	beam	-1.066E-01	3.065E+01	-1.026E-01	5.142E-02	-2
39	1	39	40	1	beam	1.530E-01	2.645E+01	-2.635E-02	1.025E-01	-2
38	1	38	39	1	beam	-3.608E-01	2.180E+01	-1.436E-01	2.663E-02	-1
37	1	37	38	1	beam	1.265E-01	2.068E+01	-1.026E-01	1.436E-01	-1
36	1	36	37	1	beam	-9.248E-03	1.737E+01	-1.072E-01	1.027E-01	-1
35	1	35	36	1	beam	-8.843E-02	1.225E+01	-1.502E-01	1.070E-01	-1
34	1	34	35	1	beam	-7.586E-02	7.210E+00	-1.874E-01	1.501E-01	-6
33	1	33	34	1	beam	6.854E-02	7.328E+00	-1.538E-01	1.875E-01	-6
32	1	32	33	1	beam	9.753E-02	1.190E+01	-1.063E-01	1.539E-01	-1
31	1	31	32	1	beam	1.312E-02	1.749E+01	-1.004E-01	1.067E-01	-1
30	1	30	31	1	beam	-1.332E-01	2.084E+01	-1.436E-01	1.005E-01	-1
29	1	29	30	1	beam	3.612E-01	2.187E+01	-2.621E-02	1.433E-01	-1
28	1	28	29	1	beam	-1.520E-01	2.653E+01	-1.020E-01	2.632E-02	-2
27	1	27	28	1	beam	1.063E-01	3.073E+01	-5.138E-02	1.024E-01	-2
26	1	26	27	1	beam	2.326E-02	3.549E+01	-4.074E-02	5.144E-02	-3
25	1	25	26	1	beam	2.515E-01	3.926E+01	5.397E-02	4.092E-02	-3
24	1	24	25	1	beam	-3.374E-01	3.962E+01	-7.324E-02	-5.407E-02	-3
23	1	23	24	1	beam	1.924E-01	4.511E+01	1.108E-02	7.289E-02	-3
22	1	22	23	1	beam	2.301E-01	4.795E+01	9.957E-02	-1.095E-02	-4
21	1	21	22	1	beam	-5.339E-01	4.912E+01	-1.064E-01	-9.919E-02	-4
20	1	20	21	1	beam	7.005E-01	5.273E+01	1.686E-01	1.067E-01	-4
19	1	19	20	1	beam	-7.454E-01	5.436E+01	-1.079E-01	-1.682E-01	-4
18	1	18	19	1	beam	8.256E-01	5.678E+01	1.977E-01	1.080E-01	-4
17	1	17	18	1	beam	-8.765E-01	5.749E+01	-1.266E-01	-1.977E-01	-5
16	1	16	17	1	beam	9.495E-01	5.980E+01	2.248E-01	1.265E-01	-5
15	1	15	16	1	beam	-9.976E-01	5.922E+01	-1.674E-01	-2.247E-01	-5
14	1	14	15	1	beam	9.430E-01	6.132E+01	1.959E-01	1.672E-01	-5
13	1	13	14	1	beam	-4.736E-01	6.158E+01	1.393E-02	-1.963E-01	-5
12	1	12	13	1	beam	-3.197E-01	6.229E+01	-1.265E-01	-1.340E-02	-5
11	1	11	12	1	beam	1.139E+00	6.392E+01	2.993E-01	1.268E-01	-5
10	1	10	11	1	beam	-8.323E-01	6.436E+01	-1.196E-02	-2.994E-01	-5
9	1	9	10	1	beam	1.108E-01	6.460E+01	3.962E-02	1.189E-02	-5
8	1	8	9	1	beam	-1.554E-02	6.484E+01	3.194E-02	-3.952E-02	-5
7	1	7	8	1	beam	5.298E-03	6.471E+01	3.429E-02	-3.161E-02	-5
6	1	6	7	1	beam	-1.859E-02	6.453E+01	2.462E-02	-3.429E-02	-5
5	1	5	6	1	beam	-5.842E-02	6.459E+01	-5.984E-03	-2.478E-02	-5

4	1	4	5	1	beam	-4.606E-02	6.552E+01	-2.995E-02	5.698E-03	-5
3	1	3	4	1	beam	1.288E-02	6.824E+01	-2.324E-02	2.993E-02	-5
2	1	2	3	1	beam	-9.257E-01	7.498E+01	-4.918E-01	2.344E-02	-6
1	1	1	2	1	beam	1.010E+00	9.013E+01	-8.990E-05	4.917E-01	-7

* FLAC log-file closed 19-Apr-1

TITOLO: GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE TIPO GD-PS B-FASE3
TITOLO1: VERIFICA DEL PRERIVESTIMENTO

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E MECCANICHE:

Modulo elastico del calcestruzzo proiettato	E_{cls}	5.000.000 kPa
Modulo elastico dell'acciaio	E_{acc}	210.000.000 kPa
n° profili		2
Tipo profilo		IPE200
Altezza del profilo	h_{prof}	0,200 m
Spessore anima del profilo	a_{prof}	0,0056 m
Area del profilo	A_{prof}	2,85E-03 m ²
Inerzia del profilo	J_{prof}	1,94E-05 m ⁴
Modulo resistente del profilo	W_{prof}	1,94E-04 m ³
Area a taglio del profilo	A_{tprof}	1,12E-03 m ²
Spessore del calcestruzzo proiettato	s	0,00 m
Passo delle centine	d	1,00 m

SOLLECITAZIONI MODELLO DI CALCOLO:

Momento	M_{tot}	0,63 kNm/m
Sforzo normale	N_{tot}	117,00 kN/m
Taglio	T_{tot}	1,31 kN/m

RISULTATI:

Spessore equivalente della galleria	S_{eq}	0,286 m
Modulo elastico equivante della galleria	E_{eq}	4.081.002 kPa
Area equivalente	A_{eq}	2,86E-01 m ² /m
Inerzia equivalente	J_{eq}	1,95E-03 m ⁴ /m

SOLLECITAZIONI E TENSIONI SUL PRERIVESTIMENTO:

Momento sulla centina	M_{cen}	0,63 kNm
Sforzo normale sulla centina	N_{cen}	119,85 kN
Taglio sulla centina	T_{cen}	1,31 kN
Sigma sulla centina	S_{cen}	22,66 Mpa
Tau sulla centina	T_{cen}	0,58 Mpa
Sigma ideale sulla centina	Sid_{cen}	22,69 Mpa

9.2 FASE 4 – VERIFICHE TENSIONALI SUL PRERIVESTIMENTO

In questa fase di calcolo sono presenti i seguenti elementi strutturali:

elementi beam da 1 a 66 rappresentanti il prerivestimento

Le sollecitazioni massime sul prerivestimento risultano:

elemento 66: $N_k = 135$ kN $M_k = 074$ kNm $T_K = 1.53$ kN

La tensione massima sulle centine allo SLU risulta:

$\sigma_{id} = 16.32$ MPa < 261.90 MPa

La tensione massima sullo spritz beton allo SLU risulta:

$\sigma_{sb} = 0.32$ MPa < f_{cd}

* FLAC log-file opened 19-Apr-19 11:06

FASE 4-GALLERIA DOSSO-SEZIONE GD-PS B-Posa spritz-beton a 2.0m

From File :dosb4.sav

Structural element data ...

Elem	ID	Nod1	Nod2	Prop		F-shear	F-axial	Mom-1	Mom-2
66	1	66	67	1	beam	-1.531E+00	1.354E+02	-7.455E-01	-4.744E-04
65	1	65	66	1	beam	1.423E+00	1.110E+02	-2.533E-02	7.455E-01
64	1	64	65	1	beam	-4.790E-02	1.002E+02	-5.067E-02	2.579E-02
63	1	63	64	1	beam	7.731E-02	9.593E+01	-1.017E-02	5.089E-02
62	1	62	63	1	beam	9.073E-02	9.451E+01	3.763E-02	1.018E-02
61	1	61	62	1	beam	2.429E-02	9.444E+01	5.073E-02	-3.810E-02

60	1	60	61	1	beam	-1.011E-02	9.474E+01	4.568E-02	-5.080E-02	-1
59	1	59	60	1	beam	3.043E-02	9.502E+01	6.093E-02	-4.607E-02	-1
58	1	58	59	1	beam	-1.824E-01	9.477E+01	-2.389E-02	-6.096E-02	-1
57	1	57	58	1	beam	1.277E+00	9.455E+01	4.535E-01	2.448E-02	-1
56	1	56	57	1	beam	-1.555E+00	9.427E+01	-1.290E-01	-4.533E-01	-1
55	1	55	56	1	beam	1.803E-01	9.092E+01	-4.984E-02	1.287E-01	-1
54	1	54	55	1	beam	9.570E-01	8.962E+01	3.185E-01	5.016E-02	-1
53	1	53	54	1	beam	-1.515E+00	8.948E+01	-2.656E-01	-3.179E-01	-1
52	1	52	53	1	beam	1.582E+00	8.634E+01	3.565E-01	2.653E-01	-9
51	1	51	52	1	beam	-1.522E+00	8.744E+01	-2.067E-01	-3.570E-01	-9
50	1	50	51	1	beam	1.410E+00	8.381E+01	3.155E-01	2.067E-01	-9
49	1	49	50	1	beam	-1.327E+00	8.294E+01	-1.764E-01	-3.151E-01	-9
48	1	48	49	1	beam	1.194E+00	7.915E+01	2.658E-01	1.765E-01	-8
47	1	47	48	1	beam	-1.109E+00	7.687E+01	-1.697E-01	-2.661E-01	-8
46	1	46	47	1	beam	8.336E-01	7.115E+01	1.518E-01	1.693E-01	-7
45	1	45	46	1	beam	-3.553E-01	6.959E+01	1.495E-02	-1.518E-01	-7
44	1	44	45	1	beam	-2.873E-01	6.540E+01	-1.102E-01	-1.514E-02	-7
43	1	43	44	1	beam	4.994E-01	5.680E+01	7.814E-02	1.103E-01	-6
42	1	42	43	1	beam	-3.775E-01	5.659E+01	-6.448E-02	-7.798E-02	-6
41	1	41	42	1	beam	-3.199E-02	5.092E+01	-7.905E-02	6.434E-02	-5
40	1	40	41	1	beam	-1.655E-01	4.381E+01	-1.582E-01	7.886E-02	-4
39	1	39	40	1	beam	2.457E-01	3.764E+01	-3.573E-02	1.580E-01	-4
38	1	38	39	1	beam	-5.675E-01	3.068E+01	-2.203E-01	3.627E-02	-3
37	1	37	38	1	beam	1.819E-01	2.977E+01	-1.620E-01	2.209E-01	-3
36	1	36	37	1	beam	-1.765E-02	2.536E+01	-1.704E-01	1.619E-01	-2
35	1	35	36	1	beam	-1.020E-01	1.917E+01	-2.200E-01	1.702E-01	-2
34	1	34	35	1	beam	-8.650E-02	1.342E+01	-2.625E-01	2.200E-01	-1
33	1	33	34	1	beam	7.850E-02	1.354E+01	-2.237E-01	2.623E-01	-1
32	1	32	33	1	beam	1.118E-01	1.884E+01	-1.693E-01	2.238E-01	-2
31	1	31	32	1	beam	2.064E-02	2.549E+01	-1.597E-01	1.697E-01	-2
30	1	30	31	1	beam	-1.889E-01	2.993E+01	-2.208E-01	1.595E-01	-3
29	1	29	30	1	beam	5.705E-01	3.076E+01	-3.559E-02	2.206E-01	-3
28	1	28	29	1	beam	-2.462E-01	3.773E+01	-1.579E-01	3.538E-02	-4
27	1	27	28	1	beam	1.652E-01	4.389E+01	-7.867E-02	1.579E-01	-4
26	1	26	27	1	beam	3.277E-02	5.103E+01	-6.371E-02	7.878E-02	-5
25	1	25	26	1	beam	3.767E-01	5.669E+01	7.830E-02	6.384E-02	-6
24	1	24	25	1	beam	-5.009E-01	5.689E+01	-1.110E-01	-7.806E-02	-6
23	1	23	24	1	beam	2.883E-01	6.552E+01	1.514E-02	1.107E-01	-7
22	1	22	23	1	beam	3.552E-01	6.969E+01	1.526E-01	-1.582E-02	-7
21	1	21	22	1	beam	-8.368E-01	7.127E+01	-1.697E-01	-1.526E-01	-8
20	1	20	21	1	beam	1.109E+00	7.697E+01	2.664E-01	1.693E-01	-8
19	1	19	20	1	beam	-1.197E+00	7.925E+01	-1.769E-01	-2.662E-01	-8
18	1	18	19	1	beam	1.333E+00	8.307E+01	3.160E-01	1.777E-01	-9
17	1	17	18	1	beam	-1.417E+00	8.398E+01	-2.083E-01	-3.163E-01	-9
16	1	16	17	1	beam	1.532E+00	8.764E+01	3.590E-01	2.078E-01	-9
15	1	15	16	1	beam	-1.594E+00	8.655E+01	-2.679E-01	-3.588E-01	-9
14	1	14	15	1	beam	1.500E+00	8.985E+01	3.092E-01	2.682E-01	-1
13	1	13	14	1	beam	-7.445E-01	9.012E+01	2.218E-02	-3.088E-01	-1
12	1	12	13	1	beam	-5.111E-01	9.113E+01	-2.016E-01	-2.206E-02	-1
11	1	11	12	1	beam	1.778E+00	9.362E+01	4.641E-01	2.013E-01	-1
10	1	10	11	1	beam	-1.307E+00	9.425E+01	-2.494E-02	-4.640E-01	-1
9	1	9	10	1	beam	1.863E-01	9.456E+01	6.153E-02	2.507E-02	-1
8	1	8	9	1	beam	-3.102E-02	9.488E+01	4.640E-02	-6.154E-02	-1
7	1	7	8	1	beam	8.847E-03	9.466E+01	5.109E-02	-4.661E-02	-1
6	1	6	7	1	beam	-2.761E-02	9.439E+01	3.673E-02	-5.108E-02	-1
5	1	5	6	1	beam	-8.836E-02	9.448E+01	-9.855E-03	-3.668E-02	-1
4	1	4	5	1	beam	-7.494E-02	9.593E+01	-4.915E-02	9.698E-03	-1
3	1	3	4	1	beam	4.385E-02	1.002E+02	-2.630E-02	4.907E-02	-1
2	1	2	3	1	beam	-1.420E+00	1.110E+02	-7.447E-01	2.643E-02	-1
1	1	1	2	1	beam	1.529E+00	1.352E+02	-1.061E-04	7.447E-01	-1

* FLAC log-file closed

19-Apr-1

TITOLO: GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE TIPO GD-PS B-FASE4
TITOLO1: VERIFICA DEL PRERIVESTIMENTO
CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E MECCANICHE:

Modulo elastico del calcestruzzo proiettato	E_{cls}	5.000.000 kPa
Modulo elastico dell'acciaio	E_{acc}	210.000.000 kPa
n° profili		2
Tipo profilo		IPE200
Altezza del profilo	h_{prof}	0,200 m
Spessore anima del profilo	a_{prof}	0,0056 m
Area del profilo	A_{prof}	2,85E-03 m ²
Inerzia del profilo	J_{prof}	1,94E-05 m ⁴
Modulo resistente del profilo	W_{prof}	1,94E-04 m ³
Area a taglio del profilo	A_{tprof}	1,12E-03 m ²
Spessore del calcestruzzo proiettato	s	0,30 m
Passo delle centine	d	1,00 m

SOLLECITAZIONI MODELLO DI CALCOLO:

Momento	M_{tot}	0,96 kNm/m
Sforzo normale	N_{tot}	175,00 kN/m
Taglio	T_{tot}	2,04 kN/m

RISULTATI:

Spessore equivalente della galleria	S_{eq}	0,294 m
Modulo elastico equivalente della galleria	E_{eq}	9.073.505 kPa
Area equivalente	A_{eq}	2,94E-01 m ² /m
Inerzia equivalente	J_{eq}	2,12E-03 m ⁴ /m

SOLLECITAZIONI E TENSIONI SUL PRERIVESTIMENTO:

Momento sulla centina	M_{cen}	0,96 kNm
Sforzo normale sulla centina	N_{cen}	78,47 kN
Taglio sulla centina	T_{cen}	2,04 kN
Sigma sulla centina	S_{cen}	16,25 Mpa
Tau sulla centina	T_{cen}	0,91 Mpa
Sigma ideale sulla centina	S_{idcen}	16,32 Mpa

Sforzo normale sul calcestruzzo proiettato	N_{spritz}	96,53 kN
Sigma sul calcestruzzo proiettato	S_{spritz}	0,32 Mpa

9.3 FASE 5 – VERIFICHE TENSIONALI SUL PRERIVESTIMENTO E ARCO ROVESCIO

In questa fase di calcolo sono presenti i seguenti elementi strutturali:

- elementi beam da 1 a 66 rappresentanti il prerivestimento
- elementi beam da 67 a 108 rappresentanti l'arco rovescio

Le sollecitazioni massime sul prerivestimento risultano:

$$\text{elemento 66:} \quad N_k = 286 \text{ kN} \quad M_k = 3.14 \text{ kNm} \quad T_k = 10.56 \text{ kN}$$

La tensione massima sulle centine allo SLU risulta:

$$\sigma_{id} = 41.10 \text{ MPa} < 261.90 \text{ MPa}$$

La tensione massima sullo spritz beton allo SLU risulta:

$$\sigma_{sb} = 0.68 \text{ MPa} < f_{cd}$$

Le sollecitazioni massime sull'arco rovescio risultano:

$$\begin{array}{llll} \text{incastro elemento 107:} & N_k = 868 \text{ kN} & M_k = 188.8 \text{ kN m} & T_k = 284 \text{ kN} \\ \text{mezzeria elemento 88:} & N_k = 157 \text{ kN} & M_k = 25.44 \text{ kN m} & T_k = 0.41 \text{ kN} \end{array}$$

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	N_{SDU} (kN)	M_{SDU} (kN m)	N_{RD} (kN)	M_{RD} (kNm)	FS
INCASTRO	100	1+1 Φ 24/20	1128	245.44	1128	1251	4.92
MEZZERIA	100	-	204	33.07	9535	-	46

Tabella 9.1 – Fase 5 - Verifica a flessione dell'arco rovescio

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	V _{SDU} (kN)	V _{RD} (kN)	FS
INCASTRO	100	1 Φ 24/20/20	369	2290	6.20
MEZZERIA	100	-	0.53	521	983

Tabella 9.2 – Fase 5 - Verifica a taglio dell'arco rovescio

* FLAC log-file opened 19-Apr-19 11:09

FASE 5-GALLERIA DOSSO-SEZIONE GD-PS B-Maturazione s.b.-Scavo e getto a.r. a 10.
 From File :dosb5.sav

Structural element data ...

Elem	ID	Nod1	Nod2	Prop		F-shear	F-axial	Mom-1	Mom-2
108	2	108	1	2	beam	2.213E+02	7.790E+02	1.058E+02	-3.093E+00
107	2	107	108	2	beam	2.842E+02	8.684E+02	1.888E+02	-1.058E+02
106	2	106	107	2	beam	-2.364E+02	9.017E+02	1.068E+02	-1.888E+02
105	2	105	106	2	beam	-1.362E+02	7.795E+02	3.961E+01	-1.068E+02
104	2	104	105	2	beam	-8.444E+01	6.259E+02	1.746E+00	-3.962E+01
103	2	103	104	2	beam	-3.578E+01	5.291E+02	-1.584E+01	-1.747E+00
102	2	102	103	2	beam	-1.816E+01	4.184E+02	-2.191E+01	1.583E+01
101	2	101	102	2	beam	-5.557E+00	3.690E+02	-2.377E+01	2.191E+01
100	2	100	101	2	beam	-1.384E+00	2.947E+02	-2.440E+01	2.377E+01
99	2	99	100	2	beam	-6.592E-01	2.286E+02	-2.462E+01	2.441E+01
98	2	98	99	2	beam	-2.449E+00	1.774E+02	-2.543E+01	2.464E+01
97	2	97	98	2	beam	3.699E+00	1.271E+02	-2.369E+01	2.543E+01
96	2	96	97	2	beam	1.706E+00	6.520E+01	-2.286E+01	2.369E+01
95	2	95	96	2	beam	-9.058E-01	2.115E+01	-2.315E+01	2.287E+01
94	2	94	95	2	beam	-6.087E+00	-6.969E+00	-2.501E+01	2.317E+01
93	2	93	94	2	beam	2.638E+00	-4.037E+01	-2.373E+01	2.501E+01
92	2	92	93	2	beam	1.758E-01	-7.898E+01	-2.369E+01	2.377E+01
91	2	91	92	2	beam	-9.085E-01	-1.097E+02	-2.414E+01	2.369E+01
90	2	90	91	2	beam	-1.193E+00	-1.332E+02	-2.474E+01	2.414E+01
89	2	89	90	2	beam	-9.877E-01	-1.490E+02	-2.523E+01	2.473E+01
88	2	88	89	2	beam	-4.106E-01	-1.571E+02	-2.544E+01	2.523E+01
87	2	87	88	2	beam	3.885E-01	-1.570E+02	-2.523E+01	2.543E+01
86	2	86	87	2	beam	1.047E+00	-1.489E+02	-2.470E+01	2.522E+01
85	2	85	86	2	beam	1.216E+00	-1.330E+02	-2.409E+01	2.470E+01
84	2	84	85	2	beam	1.070E+00	-1.094E+02	-2.355E+01	2.408E+01
83	2	83	84	2	beam	-6.152E-02	-7.870E+01	-2.359E+01	2.356E+01
82	2	82	83	2	beam	-2.649E+00	-4.012E+01	-2.486E+01	2.358E+01
81	2	81	82	2	beam	6.116E+00	-6.694E+00	-2.300E+01	2.484E+01
80	2	80	81	2	beam	6.698E-01	2.140E+01	-2.278E+01	2.298E+01
79	2	79	80	2	beam	-1.599E+00	6.508E+01	-2.355E+01	2.278E+01
78	2	78	79	2	beam	-3.896E+00	1.270E+02	-2.538E+01	2.355E+01
77	2	77	78	2	beam	2.305E+00	1.771E+02	-2.465E+01	2.539E+01
76	2	76	77	2	beam	6.475E-01	2.280E+02	-2.446E+01	2.467E+01
75	2	75	76	2	beam	1.342E+00	2.935E+02	-2.387E+01	2.449E+01
74	2	74	75	2	beam	5.402E+00	3.674E+02	-2.207E+01	2.387E+01
73	2	73	74	2	beam	1.781E+01	4.169E+02	-1.611E+01	2.207E+01
72	2	72	73	2	beam	3.530E+01	5.268E+02	1.277E+00	1.610E+01
71	2	71	72	2	beam	7.868E+01	6.164E+02	3.199E+01	-1.279E+00
70	2	70	71	2	beam	1.265E+02	7.423E+02	8.139E+01	-3.199E+01
69	2	69	70	2	beam	2.020E+02	8.739E+02	1.839E+02	-8.139E+01
68	2	68	69	2	beam	-2.651E+02	8.710E+02	1.062E+02	-1.839E+02
67	2	67	68	2	beam	-2.221E+02	7.787E+02	3.152E+00	-1.062E+02
66	1	66	67	1	beam	-1.056E+01	2.866E+02	-1.999E+00	-3.146E+00
65	1	65	66	1	beam	4.124E+00	2.300E+02	8.742E-02	2.000E+00

GN01 – SEZIONI TIPO GD-PS – RELAZIONE DI CALCOLO

64	1	64	65	1	beam	-4.045E-01	2.015E+02	-1.228E-01	-8.746E-02	-2
63	1	63	64	1	beam	1.760E-01	1.885E+02	-2.990E-02	1.226E-01	-2
62	1	62	63	1	beam	1.765E-01	1.828E+02	6.279E-02	3.023E-02	-2
61	1	61	62	1	beam	5.109E-02	1.808E+02	8.930E-02	-6.273E-02	-1
60	1	60	61	1	beam	-1.644E-02	1.801E+02	8.130E-02	-8.963E-02	-1
59	1	59	60	1	beam	6.514E-02	1.798E+02	1.132E-01	-8.141E-02	-1
58	1	58	59	1	beam	-3.516E-01	1.788E+02	-5.046E-02	-1.131E-01	-1
57	1	57	58	1	beam	2.484E+00	1.779E+02	8.795E-01	5.082E-02	-1
56	1	56	57	1	beam	-3.014E+00	1.775E+02	-2.492E-01	-8.793E-01	-1
55	1	55	56	1	beam	3.506E-01	1.707E+02	-9.543E-02	2.489E-01	-1
54	1	54	55	1	beam	1.856E+00	1.679E+02	6.194E-01	9.543E-02	-1
53	1	53	54	1	beam	-2.923E+00	1.676E+02	-5.066E-01	-6.193E-01	-1
52	1	52	53	1	beam	3.040E+00	1.611E+02	6.884E-01	5.064E-01	-1
51	1	51	52	1	beam	-2.910E+00	1.630E+02	-3.892E-01	-6.885E-01	-1
50	1	50	51	1	beam	2.671E+00	1.556E+02	6.002E-01	3.887E-01	-1
49	1	49	50	1	beam	-2.508E+00	1.537E+02	-3.284E-01	-6.004E-01	-1
48	1	48	49	1	beam	2.223E+00	1.459E+02	4.945E-01	3.285E-01	-1
47	1	47	48	1	beam	-2.057E+00	1.415E+02	-3.136E-01	-4.948E-01	-1
46	1	46	47	1	beam	1.520E+00	1.299E+02	2.716E-01	3.140E-01	-1
45	1	45	46	1	beam	-6.464E-01	1.269E+02	2.299E-02	-2.719E-01	-1
44	1	44	45	1	beam	-5.255E-01	1.186E+02	-2.061E-01	-2.316E-02	-1
43	1	43	44	1	beam	8.619E-01	1.019E+02	1.188E-01	2.065E-01	-1
42	1	42	43	1	beam	-6.577E-01	1.015E+02	-1.293E-01	-1.189E-01	-1
41	1	41	42	1	beam	-7.569E-02	9.058E+01	-1.639E-01	1.291E-01	-9
40	1	40	41	1	beam	-3.174E-01	7.703E+01	-3.162E-01	1.640E-01	-8
39	1	39	40	1	beam	4.948E-01	6.547E+01	-6.952E-02	3.158E-01	-7
38	1	38	39	1	beam	-1.149E+00	5.266E+01	-4.419E-01	6.932E-02	-5
37	1	37	38	1	beam	3.349E-01	5.188E+01	-3.335E-01	4.421E-01	-5
36	1	36	37	1	beam	-2.786E-02	4.453E+01	-3.470E-01	3.335E-01	-4
35	1	35	36	1	beam	-1.514E-01	3.543E+01	-4.209E-01	3.469E-01	-3
34	1	34	35	1	beam	-1.369E-01	2.732E+01	-4.881E-01	4.208E-01	-3
33	1	33	34	1	beam	1.311E-01	2.745E+01	-4.239E-01	4.883E-01	-3
32	1	32	33	1	beam	1.599E-01	3.514E+01	-3.459E-01	4.240E-01	-3
31	1	31	32	1	beam	2.965E-02	4.467E+01	-3.317E-01	3.459E-01	-4
30	1	30	31	1	beam	-3.382E-01	5.207E+01	-4.416E-01	3.320E-01	-5
29	1	29	30	1	beam	1.149E+00	5.277E+01	-6.914E-02	4.417E-01	-5
28	1	28	29	1	beam	-4.956E-01	6.559E+01	-3.157E-01	6.907E-02	-7
27	1	27	28	1	beam	3.168E-01	7.716E+01	-1.638E-01	3.158E-01	-8
26	1	26	27	1	beam	7.619E-02	9.072E+01	-1.286E-01	1.636E-01	-9
25	1	25	26	1	beam	6.573E-01	1.016E+02	1.197E-01	1.283E-01	-1
24	1	24	25	1	beam	-8.653E-01	1.020E+02	-2.072E-01	-1.193E-01	-1
23	1	23	24	1	beam	5.303E-01	1.188E+02	2.386E-02	2.075E-01	-1
22	1	22	23	1	beam	6.468E-01	1.270E+02	2.731E-01	-2.401E-02	-1
21	1	21	22	1	beam	-1.524E+00	1.301E+02	-3.142E-01	-2.728E-01	-1
20	1	20	21	1	beam	2.062E+00	1.417E+02	4.962E-01	3.144E-01	-1
19	1	19	20	1	beam	-2.231E+00	1.461E+02	-3.300E-01	-4.963E-01	-1
18	1	18	19	1	beam	2.517E+00	1.540E+02	6.018E-01	3.304E-01	-1
17	1	17	18	1	beam	-2.682E+00	1.559E+02	-3.912E-01	-6.016E-01	-1
16	1	16	17	1	beam	2.925E+00	1.634E+02	6.916E-01	3.910E-01	-1
15	1	15	16	1	beam	-3.060E+00	1.615E+02	-5.111E-01	-6.915E-01	-1
14	1	14	15	1	beam	2.895E+00	1.683E+02	6.030E-01	5.116E-01	-1
13	1	13	14	1	beam	-1.456E+00	1.689E+02	4.240E-02	-6.031E-01	-1
12	1	12	13	1	beam	-9.820E-01	1.711E+02	-3.869E-01	-4.270E-02	-1
11	1	11	12	1	beam	3.437E+00	1.763E+02	8.986E-01	3.873E-01	-1
10	1	10	11	1	beam	-2.542E+00	1.774E+02	-5.234E-02	-8.988E-01	-1
9	1	9	10	1	beam	3.575E-01	1.784E+02	1.142E-01	5.204E-02	-1
8	1	8	9	1	beam	-6.429E-02	1.796E+02	8.255E-02	-1.139E-01	-1
7	1	7	8	1	beam	1.729E-02	1.800E+02	9.101E-02	-8.225E-02	-1
6	1	6	7	1	beam	-6.159E-02	1.807E+02	5.916E-02	-9.117E-02	-1
5	1	5	6	1	beam	-1.654E-01	1.828E+02	-2.783E-02	-5.929E-02	-2
4	1	4	5	1	beam	-1.736E-01	1.886E+02	-1.192E-01	2.784E-02	-2
3	1	3	4	1	beam	3.923E-01	2.015E+02	8.437E-02	1.194E-01	-2
2	1	2	3	1	beam	-4.084E+00	2.298E+02	-1.982E+00	-8.396E-02	-2
1	1	1	2	1	beam	1.042E+01	2.861E+02	3.094E+00	1.982E+00	-3

* FLAC log-file closed 19-Apr-1

TITOLO: GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE TIPO GD- PS B-FASE5
TITOLO1: VERIFICA DEL PRERIVESTIMENTO

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E MECCANICHE:

Modulo elastico del calcestruzzo proiettato	E_{cls}	5.000.000 kPa
Modulo elastico dell'acciaio	E_{acc}	210.000.000 kPa
n° profili		2
Tipo profilo		IPE200
Altezza del profilo	h_{prof}	0,200 m
Spessore anima del profilo	a_{prof}	0,0056 m
Area del profilo	A_{prof}	2,85E-03 m ²
Inerzia del profilo	J_{prof}	1,94E-05 m ⁴
Modulo resistente del profilo	W_{prof}	1,94E-04 m ³
Area a taglio del profilo	A_{tprof}	1,12E-03 m ²
Spessore del calcestruzzo proiettato	s	0,30 m
Passo delle centine	d	1,00 m

SOLLECITAZIONI MODELLO DI CALCOLO:

Momento	M_{tot}	4,08 kNm/m
Sforzo normale	N_{tot}	371,00 kN/m
Taglio	T_{tot}	13,72 kN/m

RISULTATI:

Spessore equivalente della galleria	S_{eq}	0,294 m
Modulo elastico equivalente della galleria	E_{eq}	9.073.505 kPa
Area equivalente	A_{eq}	2,94E-01 m ² /m
Inerzia equivalente	J_{eq}	2,12E-03 m ⁴ /m

SOLLECITAZIONI E TENSIONI SUL PRERIVESTIMENTO:

Momento sulla centina	M_{cen}	4,08 kNm
Sforzo normale sulla centina	N_{cen}	166,35 kN
Taglio sulla centina	T_{cen}	13,72 kN
Sigma sulla centina	S_{cen}	39,70 Mpa
Tau sulla centina	T_{cen}	6,13 Mpa
Sigma ideale sulla centina	S_{idcen}	41,10 Mpa
Sforzo normale sul calcestruzzo proiettato	N_{spritz}	204,65 kN
Sigma sul calcestruzzo proiettato	S_{spritz}	0,68 Mpa

VERIFICA A STATO LIMITE ULTIMO PER TENSIONI NORMALI
GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB-FASE5 VERIFICA LIMITE INCASTRO ARCO ROVESCOIO

Profondità relativa dell'asse neutro (x/d)	$\xi =$	0,203	RISOLVI
Altezza totale della sezione	h=	100,00 [cm]	
Copriferro armatura tesa	c=	5,00 [cm]	
Altezza utile (h-c)	d=	95,00 [cm]	
Profondità dell'asse neutro	x=	19,31 [cm]	
Rapporto tra copriferro armatura tesa ed altezza utile (c/d)	$\delta =$	0,053	
Deformazione massima nel calcestruzzo	$\epsilon_{cls} =$	-0,00255	in y= 100,00 [cm]
Deformazione massima nell'acciaio teso	$\epsilon_{acc} =$	0,01000	in y= 5,00 [cm]
Parametro di deformazione λ ($\epsilon = \lambda + \mu$ y)	$\lambda =$	0,01066	
Parametro di deformazione μ ($\epsilon = \lambda + \mu$ y)	$\mu =$	-0,00013 [1/cm]	
Sforzo normale interno (rispetto alla base - y=0)	$N_{rd}(y=0) =$	-1128,00 [kN]	
Momento interno (rispetto alla base - y=0)	$M_{rd}(y=0) =$	1815,64 [kNm]	
Ordinata rispetto a cui vengono calcolate le sollecitazioni	ysoll=	50,00 [cm]	
Sforzo normale interno (rispetto a y=ysoll)	$N_{rd}(y=ysoll) =$	-1128,00 [kN]	
Momento interno (rispetto a y=ysoll)	$M_{rd}(y=ysoll) =$	1251,64 [kNm]	
Sforzo normale agente di calcolo (rispetto a y=ysoll)	$N_{sd}(y=ysoll) =$	-1128,00 [kN]	
Momento agente di calcolo (rispetto a y=ysoll)	$M_{sd}(y=ysoll) =$	254,44 [kNm]	
Differenza tra sforzo normale agente ed interno (rispetto a y=ysoll)	$N_{sd}(y=ysoll) - N_{rd}(y=ysoll) =$	0,00 [kN]	
Coefficiente di sicurezza di stato limite ultimo	$M_{rd}(y=ysoll) / M_{sd}(y=ysoll) =$	4,92	

CALCESTRUZZO		Trave											
Elementi	Rck [N/mm ²]	fc d [N/mm ²]	b inf [cm]	h [cm]	b sup [cm]	y inf [cm]	y sup [cm]	ϵ inf	ϵ sup	σ inf [N/mm ²]	σ sup [N/mm ²]	Nrd(y=0) [kN]	Mrd(y=0) [kNm]
1	30,00	16,60	100,00	100,00	100,00	0,00	100,00	0,01066	-0,00255	0,00	-14,11	-2012,34	1859,86
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	-0,00255	-0,00255	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	-0,00255	-0,00255	0,00	0,00	0,00	0,00
totali				100,00		0,00	100,00					-2012,34	1859,86

ACCIAIO		Armatura lenta										
Armature	Es [N/mm ²]	fyd [N/mm ²]	area [cm ²]	livello [cm]	ϵ acc	σ acc [N/mm ²]	Nrd(y=0) [kN]	Mrd(y=0) [kNm]				
1	210000	391,30	22,60	5,00	0,01000	391,30	884,34	-44,22				
2	0	0,00	0,00	0,00	0,01066	0,00	0,00	0,00				
3	0	0,00	0,00	0,00	0,01066	0,00	0,00	0,00				
totali				5,00			884,34	-44,22				

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB-FASE5 VERIFICA MOMENTO MOMENTO POSITIVO ARCO ROVESCIO

fcd	141,10 daN/cm2
b	100,00 cm
a	100,00 cm
Ned	204,00 kN
Med	33,07 kNm
e=	16,21 cm
x=	67,58 cm
Nrd	9535,32 kN
ver	Ok
fctd	11,97 daN/cm2
fct1d	10,17 daN/cm2
sigmac	3,02 daN/cm2
sigmaclim	62,64 daN/cm2
delta	-59,62 daN/cm2
fcvd_1	11,59 daN/cm2
fcvd_2	#NUM! daN/cm2
fcvd	11,59 daN/cm2
Ved	0,53 kN
Vrd	521,97 kN
ver	Ok

4.1.11. CALCESTRUZZO A BASSA PERCENTUALE DI ARMATURA O NON ARMATO

Il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura è quello per il quale la percentuale di armatura messa in opera è minore di quella minima necessaria per il calcestruzzo armato o la quantità media in peso di acciaio per metro cubo di calcestruzzo è inferiore a 0,3 kN.

Sia il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura, sia quello non armato possono essere impiegati solo per elementi secondari o per strutture massicce o estese.

4.1.11.1 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA – NORME DI CALCOLO

Per le verifiche di resistenza delle sezioni sotto sforzi normali si adottano le competenti ipotesi tratte dal § 4.1.2.3.4.1. Per una sezione rettangolare di lati a e b soggetta ad una forza normale N_{Ed} con una eccentricità e nella direzione del lato a la verifica di resistenza allo SLU, con il modello (c) di § 4.1.2.1.2.1, si pone con

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = f_{ctd} b x \quad [4.1.50]$$

con $x = a - 2e$.

La verifica di resistenza della stessa sezione rettangolare di lati a e b soggetta anche ad un sforzo di taglio V_{Ed} nella direzione del lato a si pone con

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = f_{ctd} b x / 1,5$$

con

$$f_{ctd} = \sqrt{f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d}} \quad \text{per } \sigma_c \leq \sigma_{dim}$$

$$f_{ctd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d} - \delta^2) / 4} \quad \text{per } \sigma_c > \sigma_{dim}$$

dove

$$\sigma_c = N_{Ed} / (b x)$$

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

$$\sigma_{dim} = f_{ctd} - 2 \sqrt{f_{ct1d} + f_{ct1d}}$$

dove

$$f_{ct1d} = 0,85 f_{ctd}$$

è la resistenza a trazione di progetto per calcestruzzo non armato o debolmente armato.

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB-FASE5 VERIFICA LIMITE INCASTRO ARCO ROVESCIO

VERIFICA A TAGLIO A SLU PER SEZIONE RETTANGOLARE	Verifica
Caratteristiche dei materiali	
Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	Rck= 30 MPa
Coefficiente di sicurezza calcestruzzo	gamma_c= 1,500
Coefficiente di trasformazione resistenza cubica -> cilindrica	alfa1= 0,833
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	fck= 25 MPa
Coefficiente carichi lunga durata	alfacc= 0,850
Resistenza di calcolo cilindrica calcestruzzo	fcd= 14,167 MPa
Tensione caratteristica di snervamento acciaio	fyk= 450 MPa
Coefficiente di sicurezza acciaio	gamma_s= 1,150
Tensione di calcolo di snervamento acciaio	fyd= 391,3 MPa
Caratteristiche della sezione	
Larghezza della membratura resistente a taglio	bw= 1000 mm
Altezza della sezione	h= 1000 mm
Altezza utile sezione: d = h - c	d= 950 mm
Area armature longitudinali tese	Asl= 1005,31 mm2
Numero bracci	n= 5,0
Diametro dell'armatura trasversale posta all'interasse s	fi= 24 mm
Interasse armatura trasversale	si= 200 mm
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	alfa= 90,000 °
Area di armatura trasversale posta all'interasse s	Asw= 2262 mm2
Area di armatura trasversale a metro lineare	asw= 11,310 mm2/mm
Sollecitazioni	
Sforzo normale di compressione di calcolo (compressione = positivo)	Ned= 1128,00 kN
Taglio di calcolo agente sulla sezione allo s.l.u.	Vsdu= 369,00 kN
Tensione media di compressione nella sezione: scp= min(Nsd/(b*wh) ; 0,2 * fcd)	scp= 1,128 N/mm2
Tensione tangenziale baricentrica	tau_b= 0,554 N/mm2
Tensione principale massima baricentrica	sigmal= 0,226 N/mm2
Inclinazione minima dei "puntoni" di calcestruzzo rispetto all'asse della trave	cot(teta)= 2,447
Coefficiente affac	alfac= 1,080
Cotangente alfa	cot(alfa)= 0,000
Limite inferiore per inclinazione puntoni calcestruzzo (cot(teta1) = max(1,00; cot(tetai))	cot(teta1)= 2,45
Limite superiore per inclinazione puntoni calcestruzzo (cot(teta2), normalmente 2,50)	cot(teta2)= 2,50
Resistenza di calcolo a taglio-compressione massima possibile (cot(teta)=cot(teta1))	Vrcd,max= 2290 kN
Resistenza di calcolo a taglio-compressione minima (cot(teta)=cot(teta2))	Vrcd,min= 2255 kN
Verifica elementi senza armature trasversali resistenti a taglio	
Rapporto geometrico armatura longitudinale: ro(l)= min(Asl / (bw * d) ; 0,02)	ro(l)= 0,00106
Coefficiente k=min(1+(200/d)^0,5 ; 2)	k= 1,459
Coefficiente v_min=0,035 * (k^1,5) * (fck^0,5)	v_min= 0,308 N/mm2
Tensione tangenziale resistente di calcolo (Vrcd = 0,90 * d * bw * affac * fcd * (cot(alfa)+cot(teta)) / (1+cot(teta)^2))	tau_1,calc= 0,411 N/mm2
Tensione tangenziale resistente minima (v_min + 0,15 * scp)	tau_2,min= 0,478 N/mm2
Sforzo di taglio resistente	Vrd= 453,67 kN
Tensione tangenziale corrispondente allo Sforzo di taglio resistente	tau(Vrd)= 0,53 N/mm2
Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (>= 1; solo calcestruzzo)	Vrd/Vsd= 1,229
Verifica elementi con armature trasversali resistenti a taglio	
Cotangente teta ottimale (cot(teta1)<cot(teta)<cot(teta2))	cot(teta)= 2,45
Inclinazione puntoni calcestruzzo ottimale (cot(teta1)<cot(teta)<cot(teta2))	teta= 22,231 °
Resistenza di calcolo a taglio-compressione (Vrcd = 0,90 * d * bw * affac * fcd * (cot(alfa)+cot(teta)) / (1+cot(teta)^2))	Vrcd= 2290 kN
Resistenza di calcolo a taglio-trazione (Vrsd = 0,9 d Asw s * fyd * (cot(alfa) + cot(teta)) * sen(alfa))	Vrsd= 9258 kN
Resistenza di calcolo Vrd = min (Vrcd ; Vrsd)	Vrd= 2290 kN
Tensione tangenziale corrispondente alla Resistenza di calcolo Vrd	tau(Vrd)= 2,68 N/mm2
Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (>= 1; solo calcestruzzo)	Vrd/Vsd= 6,206

9.4 FASE 6 – VERIFICHE TENSIONALI ARCO ROVESCIO E CALOTTA

In questa fase di calcolo sono presenti i seguenti elementi strutturali:

elementi beam da 1 a 66 rappresentanti la calotta
 elementi beam da 67 a 108 rappresentanti l'arco rovescio

Le sollecitazioni massime sull'arco rovescio risultano:

incastro elemento 66: $N_k = 1183 \text{ kN}$ $M_k = 244.5 \text{ kN m}$ $T_k = 333 \text{ kN}$
 mezzeria elemento 99: $N_k = 423 \text{ kN}$ $M_k = 40.46 \text{ kN m}$ $T_k = 91.96 \text{ kN}$

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	N_{SDU} (kN)	M_{SDU} (kN m)	N_{RD} (kN)	M_{RD} (kNm)	FS
INCASTRO	100	1+1 Φ 24/20	1537	317.85	1537	1392	4.38
MEZZERIA	100	-	549	52.59	11406	-	20.77

Tabella 9.3 – Fase 6 - Verifica a flessione dell'arco rovescio

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	V_{SDU} (kN)	V_{RD} (kN)	FS
INCASTRO	100	1 Φ 24/20/40	432.90	2166	5.00
MEZZERIA	100	-	119.54	708	5.92

Tabella 9.4 – Fase 6 - Verifica a taglio dell'arco rovescio

Le sollecitazioni massime in calotta risultano:

incastro elemento 66: $N_k = 566 \text{ kN}$ $M_k = 22.09 \text{ kN m}$ $T_k = 36.98 \text{ kN}$
 max neg. elemento 57: $N_k = 438 \text{ kN}$ $M_k = 4.98 \text{ kN m}$ $T_k = 3.73 \text{ kN}$
 max pos. elemento 34: $N_k = 164 \text{ kN}$ $M_k = 6.40 \text{ kN m}$ $T_k = 0.34 \text{ kN}$

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	N_{SDU} (kN)	M_{SDU} (kN m)	N_{RD} (kN)	M_{RD} (kNm)	FS
INCASTRO	150	1 Φ 20/20	735	28.71	735	1717	59
MAX NEG	90	-	569	6.47	12378	-	1913
MAX POS	90		213	8.32	11596	-	1393

Tabella 9.5 – Fase 6 - Verifica a flessione della calotta

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	V _{SDU} (kN)	V _{RD} (kN)	FS25
INCASTRO	150	1 Φ 20/20/20	48.07	727	15.12
CALOTTA	90	-	4.84	761	157

Tabella 9.6 – Fase 6 - Verifica a taglio della calotta

* FLAC log-file opened 19-Apr-19 11:14

FASE 6-GALLERIA DOSSO-SEZIONE GD-PS B-Getto calotta a 30m e maturazione a.r.
From File :dosb6.sav

Structural element data ...

Elem	ID	Nod1	Nod2	Prop	F-shear	F-axial	Mom-1	Mom-2
108	2	108	1	2 beam	2.680E+02	1.086E+03	1.463E+02	-2.192E+01 -4
107	2	107	108	2 beam	3.573E+02	1.179E+03	2.506E+02	-1.462E+02 -5
106	2	106	107	2 beam	-3.261E+02	1.191E+03	1.375E+02	-2.506E+02 -5
105	2	105	106	2 beam	-1.847E+02	1.054E+03	4.640E+01	-1.376E+02 -4
104	2	104	105	2 beam	-1.097E+02	8.775E+02	-2.724E+00	-4.647E+01 -3
103	2	103	104	2 beam	-5.002E+01	7.650E+02	-2.733E+01	2.737E+00 -3
102	2	102	103	2 beam	-2.021E+01	6.352E+02	-3.410E+01	2.733E+01 -2
101	2	101	102	2 beam	-1.205E+01	5.786E+02	-3.812E+01	3.409E+01 -2
100	2	100	101	2 beam	-4.514E+00	4.927E+02	-4.017E+01	3.810E+01 -2
99	2	99	100	2 beam	-9.196E-01	4.239E+02	-4.046E+01	4.017E+01 -1
98	2	98	99	2 beam	2.256E+00	3.652E+02	-3.972E+01	4.045E+01 -1
97	2	97	98	2 beam	4.431E+00	3.071E+02	-3.763E+01	3.972E+01 -1
96	2	96	97	2 beam	4.928E+00	2.425E+02	-3.527E+01	3.764E+01 -8
95	2	95	96	2 beam	3.521E+00	2.026E+02	-3.422E+01	3.528E+01 -6
94	2	94	95	2 beam	1.781E+00	1.707E+02	-3.368E+01	3.422E+01 -5
93	2	93	94	2 beam	5.514E+00	1.317E+02	-3.102E+01	3.368E+01 -3
92	2	92	93	2 beam	3.235E+00	9.283E+01	-2.943E+01	3.101E+01 -1
91	2	91	92	2 beam	1.618E+00	6.159E+01	-2.861E+01	2.941E+01 -4
90	2	90	91	2 beam	4.766E-01	3.725E+01	-2.837E+01	2.861E+01 1
89	2	89	90	2 beam	2.248E-02	2.093E+01	-2.834E+01	2.835E+01 1
88	2	88	89	2 beam	-1.738E-01	1.188E+01	-2.844E+01	2.835E+01 2
87	2	87	88	2 beam	1.768E-01	1.191E+01	-2.834E+01	2.843E+01 2
86	2	86	87	2 beam	7.710E-02	2.100E+01	-2.831E+01	2.835E+01 1
85	2	85	86	2 beam	-5.639E-01	3.760E+01	-2.860E+01	2.831E+01 1
84	2	84	85	2 beam	-1.622E+00	6.182E+01	-2.941E+01	2.860E+01 -5
83	2	83	84	2 beam	-3.080E+00	9.301E+01	-3.093E+01	2.942E+01 -1
82	2	82	83	2 beam	-5.440E+00	1.317E+02	-3.357E+01	3.094E+01 -3
81	2	81	82	2 beam	-1.765E+00	1.707E+02	-3.410E+01	3.356E+01 -5
80	2	80	81	2 beam	-3.522E+00	2.024E+02	-3.515E+01	3.408E+01 -6
79	2	79	80	2 beam	-4.858E+00	2.423E+02	-3.748E+01	3.514E+01 -8
78	2	78	79	2 beam	-4.318E+00	3.067E+02	-3.951E+01	3.748E+01 -1
77	2	77	78	2 beam	-2.169E+00	3.649E+02	-4.020E+01	3.950E+01 -1
76	2	76	77	2 beam	6.744E-01	4.234E+02	-3.998E+01	4.020E+01 -1
75	2	75	76	2 beam	3.997E+00	4.920E+02	-3.814E+01	3.998E+01 -2
74	2	74	75	2 beam	1.129E+01	5.772E+02	-3.437E+01	3.815E+01 -2
73	2	73	74	2 beam	1.967E+01	6.339E+02	-2.778E+01	3.436E+01 -2
72	2	72	73	2 beam	4.924E+01	7.627E+02	-3.564E+00	2.780E+01 -3
71	2	71	72	2 beam	1.017E+02	8.665E+02	3.614E+01	3.558E+00 -3
70	2	70	71	2 beam	1.717E+02	1.012E+03	1.031E+02	-3.606E+01 -4
69	2	69	70	2 beam	2.787E+02	1.161E+03	2.445E+02	-1.030E+02 -5
68	2	68	69	2 beam	-3.330E+02	1.183E+03	1.469E+02	-2.445E+02 -5
67	2	67	68	2 beam	-2.690E+02	1.086E+03	2.210E+01	-1.470E+02 -4
66	1	66	67	1 beam	-3.698E+01	5.660E+02	4.073E+00	-2.209E+01 -3
65	1	65	66	1 beam	-6.229E+00	5.034E+02	9.176E-01	-4.070E+00 -2

64	1	64	65	1	beam	-2.727E+00	4.702E+02	-4.924E-01	-9.247E-01	-2
63	1	63	64	1	beam	1.081E+00	4.545E+02	7.493E-02	4.944E-01	-2
62	1	62	63	1	beam	1.971E+00	4.476E+02	1.104E+00	-6.589E-02	-2
61	1	61	62	1	beam	1.635E+00	4.453E+02	1.954E+00	-1.104E+00	-2
60	1	60	61	1	beam	1.238E+00	4.444E+02	2.584E+00	-1.957E+00	-2
59	1	59	60	1	beam	1.197E+00	4.435E+02	3.170E+00	-2.585E+00	-2
58	1	58	59	1	beam	8.588E-01	4.409E+02	3.576E+00	-3.176E+00	-2
57	1	57	58	1	beam	3.733E+00	4.380E+02	4.985E+00	-3.587E+00	-2
56	1	56	57	1	beam	-5.830E+00	4.353E+02	2.812E+00	-4.995E+00	-2
55	1	55	56	1	beam	-4.084E+00	4.241E+02	1.025E+00	-2.813E+00	-2
54	1	54	55	1	beam	2.469E+00	4.171E+02	1.984E+00	-1.033E+00	-2
53	1	53	54	1	beam	-3.880E+00	4.135E+02	4.899E-01	-1.984E+00	-2
52	1	52	53	1	beam	4.070E+00	4.019E+02	2.089E+00	-4.896E-01	-1
51	1	51	52	1	beam	-3.548E+00	4.004E+02	7.730E-01	-2.087E+00	-1
50	1	50	51	1	beam	3.077E+00	3.875E+02	1.921E+00	-7.816E-01	-1
49	1	49	50	1	beam	-3.598E+00	3.808E+02	5.879E-01	-1.920E+00	-1
48	1	48	49	1	beam	2.003E+00	3.670E+02	1.331E+00	-5.892E-01	-1
47	1	47	48	1	beam	-3.565E+00	3.564E+02	-6.274E-02	-1.338E+00	-1
46	1	46	47	1	beam	1.129E+00	3.377E+02	3.712E-01	6.370E-02	-1
45	1	45	46	1	beam	-1.929E+00	3.286E+02	-3.749E-01	-3.681E-01	-1
44	1	44	45	1	beam	-2.132E+00	3.127E+02	-1.301E+00	3.705E-01	-1
43	1	43	44	1	beam	3.534E-01	2.875E+02	-1.171E+00	1.304E+00	-1
42	1	42	43	1	beam	-2.541E+00	2.812E+02	-2.124E+00	1.165E+00	-1
41	1	41	42	1	beam	-1.864E+00	2.628E+02	-2.977E+00	2.120E+00	-1
40	1	40	41	1	beam	-1.847E+00	2.409E+02	-3.860E+00	2.973E+00	-9
39	1	39	40	1	beam	-4.006E-01	2.214E+02	-4.064E+00	3.864E+00	-8
38	1	38	39	1	beam	-1.922E+00	2.020E+02	-4.692E+00	4.069E+00	-6
37	1	37	38	1	beam	-1.395E+00	1.974E+02	-5.145E+00	4.693E+00	-6
36	1	36	37	1	beam	-1.342E+00	1.865E+02	-5.811E+00	5.164E+00	-5
35	1	35	36	1	beam	-8.413E-01	1.740E+02	-6.227E+00	5.816E+00	-5
34	1	34	35	1	beam	-3.448E-01	1.640E+02	-6.400E+00	6.231E+00	-4
33	1	33	34	1	beam	3.622E-01	1.641E+02	-6.227E+00	6.405E+00	-4
32	1	32	33	1	beam	8.893E-01	1.737E+02	-5.794E+00	6.228E+00	-4
31	1	31	32	1	beam	1.352E+00	1.867E+02	-5.149E+00	5.801E+00	-5
30	1	30	31	1	beam	1.389E+00	1.977E+02	-4.697E+00	5.147E+00	-6
29	1	29	30	1	beam	1.914E+00	2.022E+02	-4.087E+00	4.708E+00	-6
28	1	28	29	1	beam	4.806E-01	2.216E+02	-3.864E+00	4.103E+00	-8
27	1	27	28	1	beam	1.893E+00	2.412E+02	-2.967E+00	3.876E+00	-9
26	1	26	27	1	beam	1.913E+00	2.632E+02	-2.115E+00	2.994E+00	-1
25	1	25	26	1	beam	2.577E+00	2.816E+02	-1.160E+00	2.133E+00	-1
24	1	24	25	1	beam	-3.489E-01	2.879E+02	-1.296E+00	1.164E+00	-1
23	1	23	24	1	beam	2.139E+00	3.131E+02	-3.630E-01	1.296E+00	-1
22	1	22	23	1	beam	1.937E+00	3.290E+02	3.850E-01	3.610E-01	-1
21	1	21	22	1	beam	-1.158E+00	3.382E+02	-6.892E-02	-3.772E-01	-1
20	1	20	21	1	beam	3.550E+00	3.569E+02	1.324E+00	7.066E-02	-1
19	1	19	20	1	beam	-2.043E+00	3.675E+02	5.755E-01	-1.332E+00	-1
18	1	18	19	1	beam	3.607E+00	3.814E+02	1.909E+00	-5.734E-01	-1
17	1	17	18	1	beam	-3.038E+00	3.882E+02	7.852E-01	-1.910E+00	-1
16	1	16	17	1	beam	3.745E+00	4.012E+02	2.162E+00	-7.763E-01	-1
15	1	15	16	1	beam	-3.874E+00	4.028E+02	6.322E-01	-2.155E+00	-1
14	1	14	15	1	beam	4.238E+00	4.148E+02	2.260E+00	-6.280E-01	-2
13	1	13	14	1	beam	-1.450E+00	4.187E+02	1.700E+00	-2.258E+00	-2
12	1	12	13	1	beam	9.849E-01	4.248E+02	2.132E+00	-1.701E+00	-2
11	1	11	12	1	beam	6.894E+00	4.339E+02	4.712E+00	-2.133E+00	-2
10	1	10	11	1	beam	-3.391E+00	4.374E+02	3.430E+00	-4.699E+00	-2
9	1	9	10	1	beam	-6.437E-01	4.404E+02	3.132E+00	-3.431E+00	-2
8	1	8	9	1	beam	-1.087E+00	4.432E+02	2.597E+00	-3.127E+00	-2
7	1	7	8	1	beam	-1.186E+00	4.443E+02	1.990E+00	-2.591E+00	-2
6	1	6	7	1	beam	-1.641E+00	4.452E+02	1.135E+00	-1.988E+00	-2
5	1	5	6	1	beam	-1.971E+00	4.476E+02	1.019E-01	-1.140E+00	-2
4	1	4	5	1	beam	-1.079E+00	4.546E+02	-4.645E-01	-1.037E-01	-2
3	1	3	4	1	beam	2.697E+00	4.702E+02	9.363E-01	4.643E-01	-2
2	1	2	3	1	beam	6.176E+00	5.032E+02	4.058E+00	-9.328E-01	-2
1	1	1	2	1	beam	3.667E+01	5.655E+02	2.192E+01	-4.062E+00	-3

* FLAC log-file closed 19-Apr-1

**VERIFICA A STATO LIMITE ULTIMO PER TENSIONI NORMALI
GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB-FASE6 VERIFICA LIMITE INCASTRO ARCO ROVESCIO**

Profondità relativa dell'asse neutro (x/d)	ξ=	0,232	
Altezza totale della sezione	h=	100,00 [cm]	RISOLVI
Copriferro armatura tesa	c=	5,00 [cm]	
Altezza utile (h-c)	d=	95,00 [cm]	
Profondità dell'asse neutro	x=	22,03 [cm]	
Rapporto tra copriferro armatura tesa ed altezza utile (c/d)	δ=	0,053	
Deformazione massima nel calcestruzzo	ε _{cls} =	-0,00302	in y= 100,00 [cm]
Deformazione massima nell'acciaio teso	ε _{acc} =	0,01000	in y= 5,00 [cm]
Parametro di deformazione λ (ε=λ+μ y)	λ=	0,01069	
Parametro di deformazione μ (ε=λ+μ y)	μ=	-0,00014 [1/cm]	
Sforzo normale interno (rispetto alla base - y=0)	Nrd(y=0)=	-1537,00 [kN]	
Momento interno (rispetto alla base - y=0)	Mrd(y=0)=	2161,02 [kNm]	
Ordinata rispetto a cui vengono calcolate le sollecitazioni	ysoll=	50,00 [cm]	
Sforzo normale interno (rispetto a y=ysoll)	Nrd(y=ysoll)=	-1537,00 [kN]	
Momento interno (rispetto a y=ysoll)	Mrd(y=ysoll)=	1392,52 [kNm]	
Sforzo normale agente di calcolo (rispetto a y=ysoll)	Nsd(y=ysoll)=	-1537,00 [kN]	
Momento agente di calcolo (rispetto a y=ysoll)	Msd(y=ysoll)=	317,85 [kNm]	
Differenza tra sforzo normale agente ed interno (rispetto a y=ysoll)	Nsd(y=ysoll)-Nrd(y=ysoll)=	0,00 [kN]	
Coefficiente di sicurezza di stato limite ultimo	Mrd(y=ysoll)/Msd(y=ysoll)=	4,38	

CALCESTRUZZO			Trave										
Elementi	Rck	fcd	b inf	h	b sup	y inf	y sup	ε inf	ε sup	σ inf	σ sup	Nrd(y=0)	Mrd(y=0)
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]			[N/mm ²]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]
1	30,00	16,60	100,00	100,00	100,00	0,00	100,00	0,01069	-0,00302	0,00	-14,11	-2421,34	2205,23
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	-0,00302	-0,00302	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	-0,00302	-0,00302	0,00	0,00	0,00	0,00
totali				100,00		0,00	100,00					-2421,34	2205,23

ACCIAIO		Armatura lenta										
Armature	Es	f _{yd}	area	livello	ε _{acc}	σ _{acc}	Nrd(y=0)	Mrd(y=0)				
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[cm ²]	[cm]		[N/mm ²]	[kN]	[kNm]				
1	210000	391,30	22,60	5,00	0,01000	391,30	884,34	-44,22				
2	0	0,00	0,00	0,00	0,01069	0,00	0,00	0,00				
3	0	0,00	0,00	0,00	0,01069	0,00	0,00	0,00				
totali				5,00			884,34	-44,22				

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB-FASE6 VERIFICA MOMENTO MOMENTO POSITIVO ARCO ROVESCIO

fcd	141,10 daN/cm ²
b	100,00 cm
a	100,00 cm
Ned	549,00 kN
Med	52,59 kNm
e=	9,58 cm
x=	80,84 cm
Nrd	11406,74 kN
ver	Ok
fctd	11,97 daN/cm ²
fct1d	10,17 daN/cm ²
sigmac	6,79 daN/cm ²
sigmaclim	62,64 daN/cm ²
delta	-55,85 daN/cm ²
fcvd_1	13,14 daN/cm ²
fcvd_2	#NUM! daN/cm ²
fcvd	13,14 daN/cm ²
Ved	119,54 kN
Vrd	708,07 kN
ver	Ok

4.1.11. CALCESTRUZZO A BASSA PERCENTUALE DI ARMATURA O NON ARMATO

Il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura è quello per il quale la percentuale di armatura messa in opera è minore di quella minima necessaria per il calcestruzzo armato o la quantità media in peso di acciaio per metro cubo di calcestruzzo è inferiore a 0,3 kN.

Sia il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura, sia quello non armato possono essere impiegati solo per elementi secondari o per strutture massicce o estese.

4.1.11.1 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA - NORME DI CALCOLO

Per le verifiche di resistenza delle sezioni sotto sforzi normali si adottano le competenti ipotesi tratte dal § 4.1.2.3.4.1. Per una sezione rettangolare di lati a e b soggetta ad una forza normale N_{Ed} con una eccentricità e nella direzione del lato a la verifica di resistenza allo SLU, con il modello (c) di § 4.1.2.1.2.1, si pone con

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = f_{ot} b x \quad [4.1.50]$$

con $x = a - 2e$.

La verifica di resistenza della stessa sezione rettangolare di lati a e b soggetta anche ad un sforzo di taglio V_{Ed} nella direzione del lato a si pone con

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = f_{cvd} b x / 1,5$$

con
 $f_{cvd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_{ct1d})}$ per $\sigma \leq \sigma_{clim}$
 $f_{cvd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_{ct1d} - \delta^2/4)}$ per $\sigma > \sigma_{clim}$
 dove
 $\sigma = N_{Ed} / (b x)$
 $\delta = \sigma - \sigma_{clim}$
 $\sigma_{clim} = f_{ot} - 2 \sqrt{(f_{ct1d} + f_{ot} f_{ct1d})}$
 dove

$$f_{ct1d} = 0,85 f_{ctd}$$

è la resistenza a trazione di progetto per calcestruzzo non armato o debolmente armato.

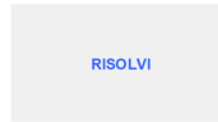
GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB-FASE6 VERIFICA LIMITE INCASTRO ARCO ROVESCIO

VERIFICA A TAGLIO A SLU PER SEZIONE RETTANGOLARE		Verifica
Caratteristiche dei materiali		
Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	Rck=	30 MPa
Coefficiente di sicurezza calcestruzzo	gamma _{cc} =	1,500
Coefficiente di trasformazione resistenza cubica -> cilindrica	alfa1=	0,833
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	f _{ck} =	25 MPa
Coefficiente carichi lunga durata	alfacc=	0,850
Resistenza di calcolo cilindrica calcestruzzo	f _{cd} =	14,167 MPa
Tensione caratteristica di snervamento acciaio	f _{yk} =	450 MPa
Coefficiente di sicurezza acciaio	gamma _{as} =	1,150
Tensione di calcolo di snervamento acciaio	f _{yd} =	391,3 MPa
Caratteristiche della sezione		
Larghezza della membratura resistente a taglio	b _w =	1000 mm
Altezza della sezione	h=	1000 mm
Altezza utile sezione: d = h - c	d=	950 mm
Area armature longitudinali tese	A _{sl} =	1005,31 mm ²
Numero bracci	n=	5,0
Diametro dell'armatura trasversale posta all'interasse s	f _i =	24 mm
Interasse armatura trasversale	s=	200 mm
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	alfa=	90,000 °
Area di armatura trasversale posta all'interasse s	A _{sw} =	2262 mm ²
Area di armatura trasversale a metro lineare	as _w =	11,310 mm ² /mm
Sollecitazioni		
Sforzo normale di compressione di calcolo (compressione = positivo)	N _{ed} =	1537,00 kN
Taglio di calcolo agente sulla sezione allo s.l.u.	V _{sdu} =	432,90 kN
Tensione media di compressione nella sezione: scp= min(N _{sdu} /b _w h) · 0,2 * f _{cd}	scp=	1,537 N/mm ²
Tensione tangenziale baricentrica	tau _b =	0,549 N/mm ²
Tensione principale massima baricentrica	sigma ₁ =	0,238 N/mm ²
Inclinazione minima dei "puntoni" di calcestruzzo rispetto all'asse della trave	cot(teta1)=	2,733
Coefficiente alfa	alfac=	1,108
Cotangente alfa	cot(alfa)=	0,00
Limite inferiore per inclinazione puntoni calcestruzzo (cot(teta1) = max(1,00; cot(teta1)))	cot(teta1)=	2,73
Limite superiore per inclinazione puntoni calcestruzzo (cot(teta2), normalmente 2,50)	cot(teta2)=	2,50
Resistenza di calcolo a taglio-compressione massima possibile (cot(teta)=cot(teta1))	V _{rcd,max} =	2166 kN
Resistenza di calcolo a taglio-compressione minima (cot(teta)=cot(teta2))	V _{rcd,min} =	2315 kN
Verifica elementi senza armature trasversali resistenti a taglio		
Rapporto geometrico armatura longitudinale: rho(l)= min(A _{sl} / (b _w * d) ; 0,02)	rho(l)=	0,00106
Coefficiente k=min(1+(200/d)^0,5 ; 2)	k=	1,459
Coefficiente v _{min} =0,035 * (k^1,5) * (f _{ck} /0,5)	v _{min} =	0,308 N/mm ²
Tensione tangenziale resistente di calcolo (V _{rd} = 0,9 * d * A _{sw} * s * f _{yd} * (cot(alfa) + cot(teta)) / gamma _{cc} + 0,15 * scp)	tau _{1,calc} =	0,473 N/mm ²
Tensione tangenziale resistente minima (v _{min} + 0,15 * scp)	tau _{2,min} =	0,539 N/mm ²
Sforzo di taglio resistente	V _{rd} =	511,96 kN
Tensione tangenziale corrispondente allo Sforzo di taglio resistente	tau(V _{rd})=	0,60 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (>= 1; solo calcestruzzo)	V _{rd} /V _{sdu} =	1,183
Verifica elementi con armature trasversali resistenti a taglio		
Cotangente teta ottimale (cot(teta1)<cot(teta)<cot(teta2))	cot(teta)=	2,73
Inclinazione puntoni calcestruzzo ottimale (cot(teta1)<cot(teta)<cot(teta2))	teta=	20,098 °
Resistenza di calcolo a taglio-compressione (V _{rd} = 0,9 * d * b _w * alfacc * f _{cd} * (cot(alfa)+cot(teta)) / (1+cot(teta)^2))	V _{rcd} =	2166 kN
Resistenza di calcolo a taglio-trazione (V _{rd} = 0,9 * d * A _{sw} * s * f _{yd} * (cot(alfa) + cot(teta)) * sen(alfa))	V _{rsd} =	10341 kN
Resistenza di calcolo V_{rd} = min (V_{rcd} ; V_{rsd})	V _{rd} =	2166 kN
Tensione tangenziale corrispondente alla Resistenza di calcolo V_{rd}	tau(V _{rd})=	2,53 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (>= 1; solo calcestruzzo)	V _{rd} /V _{sdu} =	5,004

VERIFICA A STATO LIMITE ULTIMO PER TENSIONI NORMALI

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB-FASE6 VERIFICA INCASTRO CALOTTA

Profondità relativa dell'asse neutro (x/d)	xi =	0,136	
Altezza totale della sezione	h=	150,00 [cm]	
Copriferro armatura tesa	c=	5,00 [cm]	
Altezza utile (h-c)	d=	145,00 [cm]	
Profondità dell'asse neutro	x=	19,75 [cm]	
Rapporto tra copriferro armatura tesa ed altezza utile (c/d)	delta =	0,034	
Deformazione massima nel calcestruzzo	epsilon _{cls} =	-0,00158	in y = 150,00 [cm]
Deformazione massima nell'acciaio teso	epsilon _{acc} =	0,01000	in y = 5,00 [cm]
Parametro di deformazione lambda (epsilon = lambda + mu y)	lambda =	0,01040	
Parametro di deformazione mu (epsilon = lambda + mu y)	mu =	-0,00008 [1/cm]	
Sforzo normale interno (rispetto alla base - y=0)	N _{rd} (y=0)=	-735,00 [kN]	
Momento interno (rispetto alla base - y=0)	M _{rd} (y=0)=	2268,70 [kNm]	
Ordinata rispetto a cui vengono calcolate le sollecitazioni	ysoll=	75,00 [cm]	
Sforzo normale interno (rispetto a y=ysoll)	N _{rd} (y=ysoll)=	-735,00 [kN]	
Momento interno (rispetto a y=ysoll)	M _{rd} (y=ysoll)=	1717,45 [kNm]	
Sforzo normale agente di calcolo (rispetto a y=ysoll)	N _{sd} (y=ysoll)=	-735,00 [kN]	
Momento agente di calcolo (rispetto a y=ysoll)	M _{sd} (y=ysoll)=	28,71 [kNm]	
Differenza tra sforzo normale agente ed interno (rispetto a y=ysoll)	N _{sd} (y=ysoll)-N _{rd} (y=ysoll)=	0,00 [kN]	
Coefficiente di sicurezza di stato limite ultimo	M_{rd}(y=ysoll)/M_{sd}(y=ysoll)=	59,82	



CALCESTRUZZO		Trave											
Elementi	Rck	f _{cd}	b inf	h	b sup	y inf	y sup	epsilon inf	epsilon sup	sigma inf	sigma sup	N _{rd} (y=0)	M _{rd} (y=0)
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]			[N/mm ²]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]
1	30,00	16,60	100,00	150,00	100,00	0,00	150,00	0,01040	-0,00158	0,00	-13,48	-1619,34	2312,92
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	150,00	150,00	-0,00158	-0,00158	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	150,00	150,00	-0,00158	-0,00158	0,00	0,00	0,00	0,00
totali				150,00		0,00	150,00					-1619,34	2312,92

ACCIAIO		Armatura lenta									
Armature	Es	f _{yd}	area	livello	epsilon acc	sigma acc	N _{rd} (y=0)	M _{rd} (y=0)			
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[cm ²]	[cm]		[N/mm ²]	[kN]	[kNm]			
1	210000	391,30	22,60	5,00	0,01000	391,30	884,34	-44,22			
2	0	0,00	0,00	0,00	0,01040	0,00	0,00	0,00			
3	0	0,00	0,00	0,00	0,01040	0,00	0,00	0,00			
totali				5,00			884,34	-44,22			

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB-FASE6 VERIFICA MOMENTO MASSIMO NEGATIVO IN CALOTTA

fcd	141,10 daN/cm ²
b	100,00 cm
a	90,00 cm
Ned	569,00 kN
Med	6,47 kNm
e=	1,14 cm
x=	87,73 cm
Nrd	12378,12 kN
ver	Ok
fctd	11,97 daN/cm ²
fct1d	10,17 daN/cm ²
sigmac	6,49 daN/cm ²
sigmaclim	62,64 daN/cm ²
delta	-56,15 daN/cm ²
fcdv_1	13,02 daN/cm ²
fcdv_2	#NUM! daN/cm ²
fcdv	13,02 daN/cm ²
Ved	4,84 kN
Vrd	761,44 kN
ver	Ok

4.1.11. CALCESTRUZZO A BASSA PERCENTUALE DI ARMATURA O NON ARMATO

Il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura è quello per il quale la percentuale di armatura messa in opera è minore di quella minima necessaria per il calcestruzzo armato o la quantità media in peso di acciaio per metro cubo di calcestruzzo è inferiore a 0,3 kN.

Sia il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura, sia quello non armato possono essere impiegati solo per elementi secondari o per strutture massicce o estese.

4.1.11.1 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA – NORME DI CALCOLO

Per le verifiche di resistenza delle sezioni sotto sforzi normali si adottano le competenti ipotesi tratte dal § 4.1.2.3.4.1. Per una sezione rettangolare di lati a e b soggetta ad una forza normale N_{Ed} con una eccentricità e nella direzione del lato a la verifica di resistenza allo SLU, con il modello (c) di § 4.1.2.1.2.1, si pone con

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = f_{cd} b x \quad [4.1.50]$$

con $x = a - 2e$.

La verifica di resistenza della stessa sezione rettangolare di lati a e b soggetta anche ad un sforzo di taglio V_{Ed} nella direzione del lato a si pone con

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = f_{cd} b x / 1,5$$

con

$$f_{cd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d})} \quad \text{per } \sigma_c \leq \sigma_{dim}$$

$$f_{cd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d} - \delta^2/4)} \quad \text{per } \sigma_c > \sigma_{dim}$$

dove

$$\sigma_c = N_{Ed} / (b x)$$

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

$$\sigma_{dim} = f_{cd} - 2 \sqrt{(f_{ct1d} + f_{cd} f_{ct1d})}$$

dove

$$f_{ct1d} = 0,85 f_{ctd}$$

è la resistenza a trazione di progetto per calcestruzzo non armato o debolmente armato.

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB-FASE6 VERIFICA MOMENTO MOMENTO POSITIVO IN CALOTTA

fcd	141,10 daN/cm ²
b	100,00 cm
a	90,00 cm
Ned	213,00 kN
Med	8,32 kNm
e=	3,91 cm
x=	82,19 cm
Nrd	11596,70 kN
ver	Ok
fctd	11,97 daN/cm ²
fct1d	10,17 daN/cm ²
sigmac	2,59 daN/cm ²
sigmaclim	62,64 daN/cm ²
delta	-60,05 daN/cm ²
fcdv_1	11,40 daN/cm ²
fcdv_2	#NUM! daN/cm ²
fcdv	11,40 daN/cm ²
Ved	0,44 kN
Vrd	624,45 kN
ver	Ok

4.1.11. CALCESTRUZZO A BASSA PERCENTUALE DI ARMATURA O NON ARMATO

Il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura è quello per il quale la percentuale di armatura messa in opera è minore di quella minima necessaria per il calcestruzzo armato o la quantità media in peso di acciaio per metro cubo di calcestruzzo è inferiore a 0,3 kN.

Sia il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura, sia quello non armato possono essere impiegati solo per elementi secondari o per strutture massicce o estese.

4.1.11.1 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA – NORME DI CALCOLO

Per le verifiche di resistenza delle sezioni sotto sforzi normali si adottano le competenti ipotesi tratte dal § 4.1.2.3.4.1. Per una sezione rettangolare di lati a e b soggetta ad una forza normale N_{Ed} con una eccentricità e nella direzione del lato a la verifica di resistenza allo SLU, con il modello (c) di § 4.1.2.1.2.1, si pone con

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = f_{cd} b x \quad [4.1.50]$$

con $x = a - 2e$.

La verifica di resistenza della stessa sezione rettangolare di lati a e b soggetta anche ad un sforzo di taglio V_{Ed} nella direzione del lato a si pone con

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = f_{cd} b x / 1,5$$

con

$$f_{cd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d})} \quad \text{per } \sigma_c \leq \sigma_{dim}$$

$$f_{cd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d} - \delta^2/4)} \quad \text{per } \sigma_c > \sigma_{dim}$$

dove

$$\sigma_c = N_{Ed} / (b x)$$

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

$$\sigma_{dim} = f_{cd} - 2 \sqrt{(f_{ct1d} + f_{cd} f_{ct1d})}$$

dove

$$f_{ct1d} = 0,85 f_{ctd}$$

è la resistenza a trazione di progetto per calcestruzzo non armato o debolmente armato.

GALLERIA NATURALE DOSSO-FASE6 SEZIONE PSB-VERIFICA INCASTRO CALOTTA

Caratteristiche dei materiali		Verifica
Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	Rck=	30 MPa
Coefficiente di sicurezza calcestruzzo	gamma_c=	1,500
Coefficiente di trasformazione resistenza cubica -> cilindrica	alfa1=	0,833
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	fck=	25 MPa
Coefficiente carichi lunga durata	alfacc=	0,850
Resistenza di calcolo cilindrica calcestruzzo	fcid=	14,167 MPa
Tensione caratteristica di snervamento acciaio	fyk=	450 MPa
Coefficiente di sicurezza acciaio	gamma_s=	1,150
Tensione di calcolo di snervamento acciaio	fyd=	391,3 MPa
Caratteristiche della sezione		
Larghezza della membratura resistente a taglio	bw=	1000 mm
Altezza della sezione	h=	1500 mm
Altezza utile sezione: d = h - c	d=	1145 mm
Area armature longitudinali tese	Asl=	1005,31 mm ²
Numero bracci	n=	5,0
Diametro dell'armatura trasversale posta all'interasse s	fi=	20 mm
Interasse armatura trasversale	s=	200 mm
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	alfa=	90,000 °
Area di armatura trasversale posta all'interasse s	Asw=	1571 mm ²
Area di armatura trasversale a metro lineare	asw=	7,854 mm ² /mm
Sollecitazioni		
Sforzo normale di compressione di calcolo (compressione = positivo)	Ned=	735,00 kN
Taglio di calcolo agente sulla sezione allo s.l.u.	Vsdu=	48,07 kN
Tensione media di compressione nella sezione: scp= min(Nsd/(bwh)) ; 0,2 * fcd	scp=	0,490 N/mm ²
Tensione tangenziale baricentrica	tau_b=	0,049 N/mm ²
Tensione principale massima baricentrica	sigma1=	0,005 N/mm ²
Inclinazione minima dei "puntoni" di calcestruzzo rispetto all'asse della trave	cot(teta1)=	10,291
Coefficiente alfac	alfac=	1,035
Cotangente alfa	cot(alfa)=	0,00
Limite inferiore per inclinazione puntoni calcestruzzo (cot(teta1) = max(1,00; cot(teta1)))	cot(teta1)=	10,29
Limite superiore per inclinazione puntoni calcestruzzo (cot(teta2), normalmente 2,50)	cot(teta2)=	2,50
Resistenza di calcolo a taglio-compressione massima possibile (cot(teta)=cot(teta1))	Vrcd,max=	727 kN
Resistenza di calcolo a taglio-compressione minima (cot(teta)=cot(teta2))	Vrcd,min=	2604 kN
Verifica elementi senza armature trasversali resistenti a taglio		
Rapporto geometrico armatura longitudinale: rho(l)= min(Asl / (bw * d) ; 0,02)	rho(l)=	0,00088
Coefficiente k=min(1+(200/d)^0,5 ; 2)	k=	1,418
Coefficiente v_min=0,035 * (k^1,5) * (fck^0,5)	v_min=	0,295 N/mm ²
Tensione tangenziale resistente di calcolo (0,18 * k * (100 * rho(l) * fck) / gamma_c + 0,15 * scp)	tau_1,calc=	0,295 N/mm ²
Tensione tangenziale resistente minima (v_min + 0,15 * scp)	tau_2,min=	0,369 N/mm ²
Sforzo di taglio resistente	Vrd=	422,48 kN
Tensione tangenziale corrispondente allo Sforzo di taglio resistente	tau(Vrd)=	0,41 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (>= 1; solo calcestruzzo)	Vrd/Vsd=	8,789
Verifica elementi con armature trasversali resistenti a taglio		
Cotangente teta ottimale (cot(teta1)<cot(teta)<cot(teta2))	cot(teta)=	10,29
Inclinazione puntoni calcestruzzo ottimale (cot(teta1)<cot(teta)<cot(teta2))	teta=	5,550 °
Resistenza di calcolo a taglio-compressione (Vrcd = 0,90 * d * bw * alfac * fcd * (cot(alfa)+cot(teta)) / (1+cot(teta)^2))	Vrcd=	727 kN
Resistenza di calcolo a taglio-trazione (Vrsd = 0,9 d Asw s * fyd * (cot(alfa) + cot(teta)) * sen(alfa))	Vrsd=	32591 kN
Resistenza di calcolo Vrd = min (Vrcd ; Vrsd)	Vrd=	727 kN
Tensione tangenziale corrispondente alla Resistenza di calcolo Vrd	tau(Vrd)=	0,71 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (>= 1; solo calcestruzzo)	Vrd/Vsd=	15,124

9.5 FASE 7 – VERIFICHE TENSIONALI ARCO ROVESCIO E CALOTTA

In questa fase di calcolo sono presenti i seguenti elementi strutturali:

- elementi beam da 1 a 66 rappresentanti la calotta
- elementi beam da 67 a 108 rappresentanti l'arco rovescio

Le sollecitazioni massime sull'arco rovescio risultano:

incastro elemento 68:	N _k = 1367 kN	M _k = 285 kN m	T _k = 374 kN
mezzeria elemento 99:	N _k = 516 kN	M _k = 57.20 kN m	T _k = 7.63 kN

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	N _{SDU} (kN)	M _{SDU} (kN m)	N _{RD} (kN)	M _{RD} (kNm)	FS
INCASTRO	100	1+1 Φ 24/20	1777	370.5	1777	1469	3.97
MEZZERIA	100	-	670	74.36	10978	-	147

Tabella 9.7 – Fase 7 - Verifica a flessione dell'arco rovescio

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	V _{SDU} (kN)	V _{RD} (kN)	FS
INCASTRO	100	1 Φ 24/20/20	486	1807	4.87
MEZZERIA	100	-	9.91	717	72

Tabella 9.8 – Fase 7 - Verifica a taglio dell'arco rovescio

Le sollecitazioni massime in calotta risultano:

incastro elemento 66:	$N_k = 753$ kN	$M_k = 36.68$ kN m	$T_k = 54.62$ kN
max neg. elemento 57:	$N_k = 632$ kN	$M_k = 8.41$ kN m	$T_k = 3.85$ kN
max pos. elemento 34:	$N_k = 292$ kN	$M_k = 11.26$ kN m	$T_k = 0.57$ kN

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	N _{SDU} (kN)	M _{SDU} (kN m)	N _{RD} (kN)	M _{RD} (kNm)	FS
INCASTRO	150	1 Φ 20/20	978	47.68	978	1869	39.21
MAX NEG	90	-	821	10.93	12323	-	15.00
MAX POS	90	-	379	14.63	11609	-	30.63

Tabella 9.9 – Fase 7 - Verifica a flessione della calotta

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	V _{SDU} (kN)	V _{RD} (kN)	FS
INCASTRO	150	1 Φ 20/20/20	71	812	11.44
CALOTTA	90	-	5	821	164

Tabella 9.10 – Fase 7 - Verifica a taglio della calotta

* FLAC log-file opened 19-Apr-19 11:16
 FASE 7-GALLERIA DOSSO-SEZIONE GD-PS B-Maturazione calotta
 From File :dosb7.sav

Structural element data ...

Elem ID	Nod1	Nod2	Prop	F-shear	F-axial	Mom-1	Mom-2
108	2	108	1	2 beam 2.976E+02	1.274E+03	1.745E+02	-3.648E+01 -5
107	2	107	108	2 beam 4.012E+02	1.364E+03	2.917E+02	-1.745E+02 -5
106	2	106	107	2 beam -3.752E+02	1.355E+03	1.617E+02	-2.917E+02 -5
105	2	105	106	2 beam -2.090E+02	1.208E+03	5.839E+01	-1.615E+02 -5
104	2	104	105	2 beam -1.233E+02	1.012E+03	3.000E+00	-5.831E+01 -4
103	2	103	104	2 beam -6.938E+01	8.871E+02	-3.122E+01	-2.888E+00 -3
102	2	102	103	2 beam -2.364E+01	7.336E+02	-3.918E+01	3.127E+01 -3
101	2	101	102	2 beam -2.550E+01	6.746E+02	-4.771E+01	3.918E+01 -2
100	2	100	101	2 beam -1.513E+01	5.846E+02	-5.469E+01	4.774E+01 -2
99	2	99	100	2 beam -7.630E+00	5.162E+02	-5.720E+01	5.474E+01 -2
98	2	98	99	2 beam 6.804E-01	4.594E+02	-5.700E+01	5.722E+01 -1

97	2	97	98	2	beam	4.209E+00	4.003E+02	-5.501E+01	5.699E+01	-1
96	2	96	97	2	beam	7.272E+00	3.419E+02	-5.152E+01	5.502E+01	-1
95	2	95	96	2	beam	8.197E+00	3.073E+02	-4.903E+01	5.151E+01	-1
94	2	94	95	2	beam	8.761E+00	2.803E+02	-4.639E+01	4.903E+01	-8
93	2	93	94	2	beam	1.250E+01	2.430E+02	-4.034E+01	4.637E+01	-7
92	2	92	93	2	beam	1.155E+01	2.117E+02	-3.468E+01	4.033E+01	-5
91	2	91	92	2	beam	1.059E+01	1.867E+02	-2.943E+01	3.467E+01	-4
90	2	90	91	2	beam	9.370E+00	1.671E+02	-2.474E+01	2.942E+01	-3
89	2	89	90	2	beam	6.503E+00	1.531E+02	-2.146E+01	2.473E+01	-2
88	2	88	89	2	beam	2.684E+00	1.466E+02	-2.009E+01	2.145E+01	-1
87	2	87	88	2	beam	-2.627E+00	1.466E+02	-2.143E+01	2.010E+01	-1
86	2	86	87	2	beam	-6.565E+00	1.531E+02	-2.472E+01	2.143E+01	-2
85	2	85	86	2	beam	-9.371E+00	1.671E+02	-2.939E+01	2.471E+01	-3
84	2	84	85	2	beam	-1.055E+01	1.866E+02	-3.461E+01	2.939E+01	-4
83	2	83	84	2	beam	-1.157E+01	2.115E+02	-4.032E+01	3.466E+01	-5
82	2	82	83	2	beam	-1.262E+01	2.426E+02	-4.645E+01	4.035E+01	-7
81	2	81	82	2	beam	-8.988E+00	2.799E+02	-4.917E+01	4.646E+01	-8
80	2	80	81	2	beam	-8.165E+00	3.070E+02	-5.162E+01	4.916E+01	-1
79	2	79	80	2	beam	-6.885E+00	3.415E+02	-5.498E+01	5.166E+01	-1
78	2	78	79	2	beam	-3.892E+00	3.998E+02	-5.687E+01	5.504E+01	-1
77	2	77	78	2	beam	-5.208E-01	4.589E+02	-5.699E+01	5.683E+01	-1
76	2	76	77	2	beam	7.818E+00	5.153E+02	-5.449E+01	5.701E+01	-2
75	2	75	76	2	beam	1.479E+01	5.833E+02	-4.762E+01	5.441E+01	-2
74	2	74	75	2	beam	2.497E+01	6.727E+02	-3.928E+01	4.764E+01	-2
73	2	73	74	2	beam	2.269E+01	7.319E+02	-3.165E+01	3.925E+01	-3
72	2	72	73	2	beam	6.778E+01	8.845E+02	1.744E+00	3.162E+01	-3
71	2	71	72	2	beam	1.140E+02	9.990E+02	4.633E+01	-1.819E+00	-4
70	2	70	71	2	beam	1.946E+02	1.161E+03	1.224E+02	-4.643E+01	-5
69	2	69	70	2	beam	3.201E+02	1.324E+03	2.849E+02	-1.225E+02	-5
68	2	68	69	2	beam	-3.740E+02	1.367E+03	1.754E+02	-2.850E+02	-5
67	2	67	68	2	beam	-2.989E+02	1.273E+03	3.668E+01	-1.754E+02	-5
66	1	66	67	1	beam	-5.462E+01	7.539E+02	1.007E+01	-3.668E+01	-3
65	1	65	66	1	beam	-1.462E+01	6.927E+02	2.667E+00	-1.007E+01	-2
64	1	64	65	1	beam	-5.607E+00	6.605E+02	-2.807E-01	-2.633E+00	-2
63	1	63	64	1	beam	1.105E+00	6.460E+02	2.757E-01	3.061E-01	-2
62	1	62	63	1	beam	3.316E+00	6.405E+02	2.005E+00	-2.576E-01	-2
61	1	61	62	1	beam	3.114E+00	6.396E+02	3.621E+00	-2.002E+00	-2
60	1	60	61	1	beam	2.663E+00	6.397E+02	4.961E+00	-3.611E+00	-2
59	1	59	60	1	beam	2.313E+00	6.391E+02	6.103E+00	-4.974E+00	-2
58	1	58	59	1	beam	1.780E+00	6.361E+02	6.963E+00	-6.135E+00	-2
57	1	57	58	1	beam	3.853E+00	6.323E+02	8.417E+00	-6.974E+00	-2
56	1	56	57	1	beam	-7.679E+00	6.283E+02	5.539E+00	-8.414E+00	-2
55	1	55	56	1	beam	-8.134E+00	6.146E+02	1.968E+00	-5.528E+00	-2
54	1	54	55	1	beam	2.027E+00	6.053E+02	2.739E+00	-1.958E+00	-2
53	1	53	54	1	beam	-4.361E+00	5.997E+02	9.764E-01	-2.656E+00	-2
52	1	52	53	1	beam	4.535E+00	5.854E+02	2.777E+00	-9.947E-01	-2
51	1	51	52	1	beam	-3.418E+00	5.819E+02	1.496E+00	-2.762E+00	-2
50	1	50	51	1	beam	3.242E+00	5.661E+02	2.657E+00	-1.457E+00	-1
49	1	49	50	1	beam	-4.038E+00	5.567E+02	1.179E+00	-2.674E+00	-1
48	1	48	49	1	beam	1.952E+00	5.399E+02	1.815E+00	-1.092E+00	-1
47	1	47	48	1	beam	-4.108E+00	5.259E+02	1.622E-01	-1.777E+00	-1
46	1	46	47	1	beam	7.330E-01	5.035E+02	4.358E-01	-1.535E-01	-1
45	1	45	46	1	beam	-2.860E+00	4.912E+02	-6.960E-01	-4.054E-01	-1
44	1	44	45	1	beam	-3.986E+00	4.716E+02	-2.440E+00	7.008E-01	-1
43	1	43	44	1	beam	-2.087E+00	4.422E+02	-3.196E+00	2.408E+00	-1
42	1	42	43	1	beam	-2.817E+00	4.319E+02	-4.190E+00	3.127E+00	-1
41	1	41	42	1	beam	-2.660E+00	4.097E+02	-5.432E+00	4.209E+00	-1
40	1	40	41	1	beam	-2.956E+00	3.837E+02	-6.824E+00	5.406E+00	-1
39	1	39	40	1	beam	-1.459E+00	3.601E+02	-7.456E+00	6.730E+00	-8
38	1	38	39	1	beam	-2.648E+00	3.376E+02	-8.337E+00	7.479E+00	-7
37	1	37	38	1	beam	-2.776E+00	3.306E+02	-9.232E+00	8.332E+00	-7
36	1	36	37	1	beam	-2.367E+00	3.180E+02	-1.031E+01	9.169E+00	-6
35	1	35	36	1	beam	-1.392E+00	3.036E+02	-1.098E+01	1.030E+01	-5
34	1	34	35	1	beam	-5.798E-01	2.928E+02	-1.126E+01	1.098E+01	-4

33	1	33	34	1	beam	6.147E-01	2.931E+02	-1.096E+01	1.127E+01	-4
32	1	32	33	1	beam	1.431E+00	3.036E+02	-1.027E+01	1.097E+01	-5
31	1	31	32	1	beam	2.384E+00	3.184E+02	-9.121E+00	1.027E+01	-6
30	1	30	31	1	beam	2.639E+00	3.312E+02	-8.313E+00	9.168E+00	-7
29	1	29	30	1	beam	2.607E+00	3.380E+02	-7.497E+00	8.342E+00	-7
28	1	28	29	1	beam	1.471E+00	3.606E+02	-6.719E+00	7.451E+00	-8
27	1	27	28	1	beam	2.907E+00	3.845E+02	-5.332E+00	6.727E+00	-1
26	1	26	27	1	beam	2.650E+00	4.106E+02	-4.111E+00	5.329E+00	-1
25	1	25	26	1	beam	2.697E+00	4.326E+02	-3.148E+00	4.166E+00	-1
24	1	24	25	1	beam	2.124E+00	4.430E+02	-2.375E+00	3.177E+00	-1
23	1	23	24	1	beam	4.043E+00	4.724E+02	-6.324E-01	2.396E+00	-1
22	1	22	23	1	beam	2.873E+00	4.921E+02	4.694E-01	6.370E-01	-1
21	1	21	22	1	beam	-7.799E-01	5.045E+02	1.610E-01	-4.614E-01	-1
20	1	20	21	1	beam	4.210E+00	5.267E+02	1.797E+00	-1.422E-01	-1
19	1	19	20	1	beam	-1.934E+00	5.406E+02	1.147E+00	-1.864E+00	-1
18	1	18	19	1	beam	3.965E+00	5.575E+02	2.613E+00	-1.145E+00	-1
17	1	17	18	1	beam	-3.094E+00	5.668E+02	1.454E+00	-2.598E+00	-1
16	1	16	17	1	beam	3.878E+00	5.826E+02	2.897E+00	-1.462E+00	-2
15	1	15	16	1	beam	-4.095E+00	5.861E+02	1.299E+00	-2.909E+00	-2
14	1	14	15	1	beam	4.901E+00	6.009E+02	3.189E+00	-1.302E+00	-2
13	1	13	14	1	beam	-7.540E-01	6.068E+02	2.952E+00	-3.242E+00	-2
12	1	12	13	1	beam	3.075E+00	6.152E+02	4.432E+00	-3.087E+00	-2
11	1	11	12	1	beam	9.026E+00	6.263E+02	7.833E+00	-4.456E+00	-2
10	1	10	11	1	beam	-3.369E+00	6.310E+02	6.577E+00	-7.838E+00	-2
9	1	9	10	1	beam	-1.290E+00	6.350E+02	5.955E+00	-6.555E+00	-2
8	1	8	9	1	beam	-2.068E+00	6.382E+02	4.938E+00	-5.947E+00	-2
7	1	7	8	1	beam	-2.541E+00	6.390E+02	3.640E+00	-4.928E+00	-2
6	1	6	7	1	beam	-3.139E+00	6.390E+02	2.027E+00	-3.658E+00	-2
5	1	5	6	1	beam	-3.222E+00	6.402E+02	3.172E-01	-2.014E+00	-2
4	1	4	5	1	beam	-1.055E+00	6.459E+02	-2.471E-01	-3.082E-01	-2
3	1	3	4	1	beam	5.584E+00	6.604E+02	2.652E+00	2.484E-01	-2
2	1	2	3	1	beam	1.458E+01	6.923E+02	1.006E+01	-2.677E+00	-2
1	1	1	2	1	beam	5.422E+01	7.535E+02	3.645E+01	-1.005E+01	-3

* FLAC log-file closed

19-Apr-1

VERIFICA A STATO LIMITE ULTIMO PER TENSIONI NORMALI

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB-FASE7 VERIFICA LIMITE INCASTRO ARCO ROVESCIO

Profondità relativa dell'asse neutro (x/d)	$\xi =$	0,249	
Altezza totale della sezione	h =	100,00 [cm]	RISOLVI
Copriferro armatura tesa	c =	5,00 [cm]	
Altezza utile (h-c)	d =	95,00 [cm]	
Profondità dell'asse neutro	x =	23,62 [cm]	
Rapporto tra copriferro armatura tesa ed altezza utile (c/d)	$\delta =$	0,053	
Deformazione massima nel calcestruzzo	$\epsilon_{cls} =$	-0,00331	in y = 100,00 [cm]
Deformazione massima nell'acciaio teso	$\epsilon_{acc} =$	0,01000	in y = 5,00 [cm]
Parametro di deformazione λ ($\epsilon = \lambda + \mu$)	$\lambda =$	0,01070	
Parametro di deformazione μ ($\epsilon = \lambda + \mu$)	$\mu =$	-0,00014 [1/cm]	
Sforzo normale interno (rispetto alla base - y=0)	Nrd(y=0) =	-1777,00 [kN]	
Momento interno (rispetto alla base - y=0)	Mrd(y=0) =	2358,15 [kNm]	
Ordinata rispetto a cui vengono calcolate le sollecitazioni	ysoll =	50,00 [cm]	
Sforzo normale interno (rispetto a y=ysoll)	Nrd(y=ysoll) =	-1777,00 [kN]	
Momento interno (rispetto a y=ysoll)	Mrd(y=ysoll) =	1469,65 [kNm]	
Sforzo normale agente di calcolo (rispetto a y=ysoll)	Nsd(y=ysoll) =	-1777,00 [kN]	
Momento agente di calcolo (rispetto a y=ysoll)	Msd(y=ysoll) =	370,50 [kNm]	
Differenza tra sforzo normale agente ed interno (rispetto a y=ysoll)	Nsd(y=ysoll)-Nrd(y=ysoll) =	0,00 [kN]	
Coefficiente di sicurezza di stato limite ultimo	Mrd(y=ysoll)/Msd(y=ysoll) =	3,97	

CALCESTRUZZO			Trave										
Elementi	Rck	fc d	b inf	h	b sup	y inf	y sup	ϵ inf	ϵ sup	σ inf	σ sup	Nrd(y=0)	Mrd(y=0)
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]			[N/mm ²]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]
1	30,00	16,60	100,00	100,00	100,00	0,00	100,00	0,01070	-0,00331	0,00	-14,11	-2661,34	2402,37
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	-0,00331	-0,00331	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	-0,00331	-0,00331	0,00	0,00	0,00	0,00
totali				100,00		0,00	100,00					-2661,34	2402,37

ACCIAIO			Armatura lenta										
Armature	Es	fyd	area	livello	ϵ acc	σ acc	Nrd(y=0)	Mrd(y=0)					
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[cm ²]	[cm]		[N/mm ²]	[kN]	[kNm]					
1	210000	391,30	22,60	5,00	0,01000	391,30	884,34	-44,22					
2	0	0,00	0,00	0,00	0,01070	0,00	0,00	0,00					
3	0	0,00	0,00	0,00	0,01070	0,00	0,00	0,00					
totali				5,00			884,34	-44,22					

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB-FASE7 VERIFICA MOMENTO MOMENTO POSITIVO ARCO ROVESCIO

fc d	141,10 daN/cm ²
b	100,00 cm
a	100,00 cm
Ned	670,00 kN
Med	74,36 kNm
e =	11,10 cm
x =	77,80 cm
Nrd ver	10978,00 kN Ok
fct d	11,97 daN/cm ²
fct 1 d	10,17 daN/cm ²
sigmac	8,61 daN/cm ²
sigmac lim	62,64 daN/cm ²
delta	-54,03 daN/cm ²
fcvd_1	13,83 daN/cm ²
fcvd_2	#NUM! daN/cm ²
fcvd	13,83 daN/cm ²
Ved ver	9,91 kN Ok
Vrd ver	717,09 kN Ok

4.1.11. CALCESTRUZZO A BASSA PERCENTUALE DI ARMATURA O NON ARMATO

Il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura è quello per il quale la percentuale di armatura messa in opera è minore di quella minima necessaria per il calcestruzzo armato o la quantità media in peso di acciaio per metro cubo di calcestruzzo è inferiore a 0,3 kN.

Sia il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura, sia quello non armato possono essere impiegati solo per elementi secondari o per strutture massicce o estese.

4.1.11.1 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA – NORME DI CALCOLO

Per le verifiche di resistenza delle sezioni sotto sforzi normali si adottano le competenti ipotesi tratte dal § 4.1.2.3.4.1. Per una sezione rettangolare di lati a e b soggetta ad una forza normale Ned con una eccentricità e nella direzione del lato a la verifica di resistenza allo SLU, con il modello (c) di § 4.1.2.1.2.1, si pone con

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = f_{cd} b x \quad [4.1.50]$$

con $x = a - 2e$.

La verifica di resistenza della stessa sezione rettangolare di lati a e b soggetta anche ad un sforzo di taglio Ved nella direzione del lato a si pone con

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = f_{ctd} b x / 1,5$$

con

$$f_{ctd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_{ct1d})} \quad \text{per } \sigma_{ct} \leq \sigma_{ctlim}$$

$$f_{ctd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_{ct1d} - \delta^2/4)} \quad \text{per } \sigma_{ct} > \sigma_{ctlim}$$

dove

$$\sigma_{ct} = N_{Ed} / (b x)$$

$$\delta = \sigma_{ct} - \sigma_{ctlim}$$

$$\sigma_{ctlim} = f_{ctd} - 2 \sqrt{(f_{ct1d} + f_{ct1d})}$$

dove

$$f_{ct1d} = 0,85 f_{ctd}$$

è la resistenza a trazione di progetto per calcestruzzo non armato o debolmente armato.

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB-FASE7 VERIFICA LIMITE INCASTRO ARCO ROVESCIO

VERIFICA A TAGLIO A SLU PER SEZIONE RETTANGOLARE		Verifica
Caratteristiche dei materiali		
Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	Rck=	30 MPa
Coefficiente di sicurezza calcestruzzo	gammac=	1,500
Coefficiente di trasformazione resistenza cubica -> cilindrica	alfa1=	0,833
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	fck=	25 MPa
Coefficiente carichi lunga durata	alfacc=	0,850
Resistenza di calcolo cilindrica calcestruzzo	fcdd=	14,167 MPa
Tensione caratteristica di snervamento acciaio	fyk=	450 MPa
Coefficiente di sicurezza acciaio	gammas=	1,150
Tensione di calcolo di snervamento acciaio	fyd=	391,3 MPa
Caratteristiche della sezione		
Larghezza della membratura resistente a taglio	bw=	1000 mm
Altezza della sezione	h=	1000 mm
Altezza utile sezione: d = h - c	d=	950 mm
Area armature longitudinali tese	Asl=	1005,31 mm ²
Numero bracci	n=	5,0
Diametro dell'armatura trasversale posta all'interasse s	fi=	24 mm
Interasse armatura trasversale	s=	200 mm
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	alfa=	90,000 °
Area di armatura trasversale posta all'interasse s	Asw=	2262 mm ²
Area di armatura trasversale a metro lineare	asw=	11,310 mm ² /mm
Sollecitazioni		
Sforzo normale di compressione di calcolo (compressione = positivo)	Ned=	1777,00 kN
Taglio di calcolo agente sulla sezione allo s.l.u.	Vsdu=	370,50 kN
Tensione media di compressione nella sezione: scp= min(Ned/(bwh) ; 0.2 * fcd)	scp=	1,777 N/mm ²
Tensione tangenziale baricentrica	tau_b=	0,556 N/mm ²
Tensione principale massima baricentrica	sigmai=	0,159 N/mm ²
Inclinazione minima dei "puntoni" di calcestruzzo rispetto all'asse della trave	cot(teta)=	3,484
Coefficiente alfac	alfac=	1,125
Cotangente alfa	cot(alfa)=	0,00
Limite inferiore per inclinazione puntoni calcestruzzo (cot(teta1) = max(1,00; cot(tetai))	cot(teta1)=	3,48
Limite superiore per inclinazione puntoni calcestruzzo (cot(teta2), normalmente 2,50)	cot(teta2)=	2,50
Resistenza di calcolo a taglio-comprensione massima possibile (cot(teta)=cot(teta1))	Vrcd,max=	1807 kN
Resistenza di calcolo a taglio-comprensione minima (cot(teta)=cot(teta2))	Vrcd,min=	2350 kN
Verifica elementi senza armature trasversali resistenti a taglio		
Rapporto geometrico armatura longitudinale: ro(l)= min(Asl / (bw * d) ; 0,02)	ro(l)=	0,00106
Coefficiente k= min(1+(200/d)^0.5 ; 2)	k=	1,459
Coefficiente v= min(0,035 * (k^1.5) * (fck^0.5)	v=	0,308 N/mm ²
Tensione tangenziale resistente di calcolo (0,18 * k * (100 * ro(l) * fck) / gammac + 0,15 * scp)	tau_1,calc=	0,509 N/mm ²
Tensione tangenziale resistente minima (vmin + 0,15 * scp)	tau_2,min=	0,575 N/mm ²
Sforzo di taglio resistente	Vrd=	546,16 kN
Tensione tangenziale corrispondente allo Sforzo di taglio resistente	tau(Vrd)=	0,64 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (>= 1; solo calcestruzzo)	Vrd/Vsd=	1,474
Verifica elementi con armature trasversali resistenti a taglio		
Cotangente teta ottimale (cot(teta1)<cot(teta)<cot(teta2))	cot(teta)=	3,48
Inclinazione puntoni calcestruzzo ottimale (cot(teta1)<cot(teta)<cot(teta2))	teta=	16,013 °
Resistenza di calcolo a taglio-comprensione (Vrcd = 0.90 * d * bw * alfac * fcd * (cot(alfa)+cot(teta)) / ((1+cot(teta)^2))	Vrcd=	1807 kN
Resistenza di calcolo a taglio-trazione (Vrsd = 0.9 d Asw s * fyd * (cot(alfa) + cot(teta)) * sen(alfa))	Vrsd=	13185 kN
Resistenza di calcolo Vrd = min (Vrcd ; Vrsd)	Vrd =	1807 kN
Tensione tangenziale corrispondente alla Resistenza di calcolo Vrd	tau(Vrd)=	2,11 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (>= 1; solo calcestruzzo)	Vrd/Vsd=	4,878

VERIFICA A STATO LIMITE ULTIMO PER TENSIONI NORMALI

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB-FASE7 VERIFICA INCASTRO CALOTTA

Profondità relativa dell'asse neutro (x/d)	xi=	0,148	RISOLVI
Altezza totale della sezione	h=	150,00 [cm]	
Copriferro armatura tesa	c=	5,00 [cm]	
Altezza utile (h-c)	d=	145,00 [cm]	
Profondità dell'asse neutro	x=	21,42 [cm]	
Rapporto tra copriferro armatura tesa ed altezza utile (c/d)	delta=	0,034	
Deformazione massima nel calcestruzzo			
Deformazione massima nell'acciaio teso	epsilon_csls=	-0,00173	in y= 150,00 [cm]
Parametro di deformazione lambda (epsilon = lambda + mu y)	epsilon_acc=	0,01000	in y= 5,00 [cm]
Parametro di deformazione mu (epsilon = lambda + mu y)	lambda=	0,01040	
Sforzo normale interno (rispetto alla base - y=0)	mu=	-0,00008 [1/cm]	
Momento interno (rispetto alla base - y=0)	Nrd(y=0)=	-978,00 [kN]	
	Mrd(y=0)=	2602,83 [kNm]	
Ordinata rispetto a cui vengono calcolate le sollecitazioni			
Sforzo normale interno (rispetto a y=ysoll)	ysoll=	75,00 [cm]	
Momento interno (rispetto a y=ysoll)	Nrd(y=ysoll)=	-978,00 [kN]	
Sforzo normale agente di calcolo (rispetto a y=ysoll)	Mrd(y=ysoll)=	1869,33 [kNm]	
Momento agente di calcolo (rispetto a y=ysoll)	Nsd(y=ysoll)=	-978,00 [kN]	
Differenza tra sforzo normale agente ed interno (rispetto a y=ysoll)	Msd(y=ysoll)=	47,68 [kNm]	
	Nsd(y=ysoll)-Nrd(y=ysoll)=	0,00 [kN]	
Coefficiente di sicurezza di stato limite ultimo	Mrd(y=ysoll)/Msd(y=ysoll)=	39,21	

CALCESTRUZZO		Trave											
Elementi	Rck	fcd	b inf	h	b sup	y inf	y sup	epsilon inf	epsilon sup	sigma inf	sigma sup	Nrd(y=0)	Mrd(y=0)
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]			[N/mm ²]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]
1	30,00	16,60	100,00	150,00	100,00	0,00	150,00	0,01040	-0,00173	0,00	-13,86	-1862,34	2647,05
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	150,00	150,00	-0,00173	-0,00173	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	150,00	150,00	-0,00173	-0,00173	0,00	0,00	0,00	0,00
totali				150,00		0,00	150,00					-1862,34	2647,05

ACCIAIO		Armatura lenta									
Armature	Es	fyd	area	livello	epsilon acc	sigma acc	Nrd(y=0)	Mrd(y=0)			
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[cm ²]	[cm]		[N/mm ²]	[kN]	[kNm]			
1	210000	391,30	22,60	5,00	0,01000	391,30	884,34	-44,22			
2	0	0,00	0,00	0,00	0,01040	0,00	0,00	0,00			
3	0	0,00	0,00	0,00	0,01040	0,00	0,00	0,00			
totali				5,00			884,34	-44,22			

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB-FASE7 VERIFICA MOMENTO MASSIMO NEGATIVO IN CALOTTA

fcd	141,10 daN/cm ²
b	100,00 cm
a	90,00 cm
Ned	821,00 kN
Med	10,93 kNm
e=	1,33 cm
x=	87,34 cm
Nrd	12323,31 kN
ver	Ok
fctd	11,97 daN/cm ²
fct1d	10,17 daN/cm ²
sigmac	9,40 daN/cm ²
sigmaclim	62,64 daN/cm ²
delta	-53,24 daN/cm ²
fcdv_1	14,11 daN/cm ²
fcdv_2	#NUM! daN/cm ²
fcdv	14,11 daN/cm ²
Ved	5,00 kN
Vrd	821,69 kN
ver	Ok

4.1.11. CALCESTRUZZO A BASSA PERCENTUALE DI ARMATURA O NON ARMATO

Il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura è quello per il quale la percentuale di armatura messa in opera è minore di quella minima necessaria per il calcestruzzo armato o la quantità media in peso di acciaio per metro cubo di calcestruzzo è inferiore a 0,3 kN.

Sia il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura, sia quello non armato possono essere impiegati solo per elementi secondari o per strutture massicce o estese.

4.1.11.1 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA – NORME DI CALCOLO

Per le verifiche di resistenza delle sezioni sotto sforzi normali si adottano le competenti ipotesi tratte dal § 4.1.2.3.4.1. Per una sezione rettangolare di lati a e b soggetta ad una forza normale N_{Ed} con una eccentricità e nella direzione del lato a la verifica di resistenza allo SLU, con il modello (c) di § 4.1.2.1.2.1, si pone con

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = f_{cd} b x \quad [4.1.50]$$

con $x = a - 2e$.

La verifica di resistenza della stessa sezione rettangolare di lati a e b soggetta anche ad un sforzo di taglio V_{Ed} nella direzione del lato a si pone con

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = f_{cd} b x / 1,5$$

con

$$f_{cd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d})} \quad \text{per } \sigma_c \leq \sigma_{dim}$$

$$f_{cd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d} - \delta^2/4)} \quad \text{per } \sigma_c > \sigma_{dim}$$

dove

$$\sigma_c = N_{Ed} / (b x)$$

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

$$\sigma_{dim} = f_{cd} - 2 \sqrt{(f_{ct1d} + f_{cd} f_{ct1d})}$$

dove

$$f_{ct1d} = 0,85 f_{ctd}$$

è la resistenza a trazione di progetto per calcestruzzo non armato o debolmente armato.

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB-FASE7 VERIFICA MOMENTO MOMENTO POSITIVO IN CALOTTA

fcd	141,10 daN/cm ²
b	100,00 cm
a	90,00 cm
Ned	379,00 kN
Med	14,63 kNm
e=	3,86 cm
x=	82,28 cm
Nrd	11609,66 kN
ver	Ok
fctd	11,97 daN/cm ²
fct1d	10,17 daN/cm ²
sigmac	4,61 daN/cm ²
sigmaclim	62,64 daN/cm ²
delta	-58,03 daN/cm ²
fcdv_1	12,26 daN/cm ²
fcdv_2	#NUM! daN/cm ²
fcdv	12,26 daN/cm ²
Ved	0,74 kN
Vrd	672,67 kN
ver	Ok

4.1.11. CALCESTRUZZO A BASSA PERCENTUALE DI ARMATURA O NON ARMATO

Il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura è quello per il quale la percentuale di armatura messa in opera è minore di quella minima necessaria per il calcestruzzo armato o la quantità media in peso di acciaio per metro cubo di calcestruzzo è inferiore a 0,3 kN.

Sia il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura, sia quello non armato possono essere impiegati solo per elementi secondari o per strutture massicce o estese.

4.1.11.1 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA – NORME DI CALCOLO

Per le verifiche di resistenza delle sezioni sotto sforzi normali si adottano le competenti ipotesi tratte dal § 4.1.2.3.4.1. Per una sezione rettangolare di lati a e b soggetta ad una forza normale N_{Ed} con una eccentricità e nella direzione del lato a la verifica di resistenza allo SLU, con il modello (c) di § 4.1.2.1.2.1, si pone con

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = f_{cd} b x \quad [4.1.50]$$

con $x = a - 2e$.

La verifica di resistenza della stessa sezione rettangolare di lati a e b soggetta anche ad un sforzo di taglio V_{Ed} nella direzione del lato a si pone con

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = f_{cd} b x / 1,5$$

con

$$f_{cd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d})} \quad \text{per } \sigma_c \leq \sigma_{dim}$$

$$f_{cd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d} - \delta^2/4)} \quad \text{per } \sigma_c > \sigma_{dim}$$

dove

$$\sigma_c = N_{Ed} / (b x)$$

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

$$\sigma_{dim} = f_{cd} - 2 \sqrt{(f_{ct1d} + f_{cd} f_{ct1d})}$$

dove

$$f_{ct1d} = 0,85 f_{ctd}$$

è la resistenza a trazione di progetto per calcestruzzo non armato o debolmente armato.

GALLERIA NATURALE DOSSO-FASE7 SEZIONE PSB-VERIFICA INCASTRO CALOTTA

VERIFICA A TAGLIO A SLU PER SEZIONE RETTANGOLARE	Verifica	
Caratteristiche dei materiali		
Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	Rck=	30 MPa
Coefficiente di sicurezza calcestruzzo	gamma_c=	1,500
Coefficiente di trasformazione resistenza cubica -> cilindrica	alfa1=	0,833
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	fck=	25 MPa
Coefficiente carichi lunga durata	alfacc=	0,850
Resistenza di calcolo cilindrica calcestruzzo	fcid=	14,167 MPa
Tensione caratteristica di snervamento acciaio	fyk=	450 MPa
Coefficiente di sicurezza acciaio	gamma_s=	1,150
Tensione di calcolo di snervamento acciaio	fyd=	391,3 MPa
Caratteristiche della sezione		
Larghezza della membratura resistente a taglio	bw=	1000 mm
Altezza della sezione	h=	1500 mm
Altezza utile sezione: d = h - c	d=	1145 mm
Area armature longitudinali tese	Asl=	1005,31 mm2
Numero bracci	n=	5,0
Diametro dell'armatura trasversale posta all'interasse s	fi=	20 mm
Interasse armatura trasversale	s=	200 mm
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	alfa=	90,000 °
Area di armatura trasversale posta all'interasse s	Asw=	1571 mm2
Area di armatura trasversale a metro lineare	asw=	7,854 mm2/mm
Sollecitazioni		
Sforzo normale di compressione di calcolo (compressione = positivo)	Ned=	978,00 kN
Taglio di calcolo agente sulla sezione allo s.l.u.	Vsdu=	71,00 kN
Tensione media di compressione nella sezione: $scp = \min(Nsd/(bwh), 0,2 * fcd)$	scp=	0,652 N/mm2
Tensione tangenziale baricentrica	tau_b=	0,071 N/mm2
Tensione principale massima baricentrica	sigma1=	0,008 N/mm2
Inclinazione minima dei "puntoni" di calcestruzzo rispetto all'asse della trave	cot(teta1)=	9,291
Coefficiente alfac	alfac=	1,046
Cotangente alfa	cot(alfa)=	0,00
Limite inferiore per inclinazione puntoni calcestruzzo ($cot(teta1) = \max(1,00; cot(teta1))$)	cot(teta1)=	9,29
Limite superiore per inclinazione puntoni calcestruzzo ($cot(teta2)$, normalmente 2,50)	cot(teta2)=	2,50
Resistenza di calcolo a taglio-compresione massima possibile ($cot(teta)=cot(teta1)$)	Vrcd,max=	812 kN
Resistenza di calcolo a taglio-compresione minima ($cot(teta)=cot(teta2)$)	Vrcd,min=	2633 kN
Verifica elementi senza armature trasversali resistenti a taglio		
Rapporto geometrico armatura longitudinale: $ro(l) = \min(Asl / (bw * d) ; 0,02)$	ro(l)=	0,00088
Coefficiente $k = \min(1 + (200/d)^{0,5} ; 2)$	k=	1,418
Coefficiente $v_{min} = 0,035 * (k^1,5) * (fck^0,5)$	vmin=	0,295 N/mm2
Tensione tangenziale resistente di calcolo ($0,18 * k * (100 * ro(l) * fck) / gamma_c + 0,15 * scp$)	tau_1,calc=	0,319 N/mm2
Tensione tangenziale resistente minima ($v_{min} + 0,15 * scp$)	tau_2,min=	0,393 N/mm2
Sforzo di taglio resistente	Vrd=	450,30 kN
Tensione tangenziale corrispondente allo Sforzo di taglio resistente	tau(Vrd)=	0,44 N/mm2
Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (≥ 1; solo calcestruzzo)	Vrd/Vsd=	6,342
Verifica elementi con armature trasversali resistenti a taglio		
Cotangente teta ottimale ($cot(teta1) < cot(teta) < cot(teta2)$)	cot(teta)=	9,29
Inclinazione puntoni calcestruzzo ottimale ($cot(teta1) < cot(teta) < cot(teta2)$)	teta=	6,143 °
Resistenza di calcolo a taglio-compresione ($Vrcd = 0,90 * d * bw * alfacc * fcd * ((cot(alfa) + cot(teta)) / (1 + cot(teta)^2))$)	Vrcd=	812 kN
Resistenza di calcolo a taglio-trazione ($Vrsd = 0,9 * d * Asw * s * fyd * ((cot(alfa) + cot(teta)) * sen(alfa))$)	Vrsd=	29424 kN
Resistenza di calcolo Vrd = min (Vrcd ; Vrsd)	Vrd =	812 kN
Tensione tangenziale corrispondente alla Resistenza di calcolo Vrd	tau(Vrd)=	0,79 N/mm2
Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (≥ 1; solo calcestruzzo)	Vrd/Vsd=	11,442

9.6 FASE 8 A LUNGO TERMINE – METODO DELLE REAZIONI IPERSTATICHE – VERIFICHE TENSIONALI ARCO ROVESCIO E CALOTTA

Per il calcolo delle azioni interne è stato utilizzato il metodo delle reazioni iperstatiche, attraverso una modellazione numerica ad elementi finiti monodimensionali.

Il modello è stato impostato su una sezione di galleria di profondità unitaria (1m) e sulla schematizzazione in conci monodimensionali (elementi beam) dell'intero rivestimento.

Gli spessori delle varie aste, costituenti la struttura resistente, sono variabili in dipendenza dell'elemento strutturale (calotta, piedritto, arco rovescio) considerato.

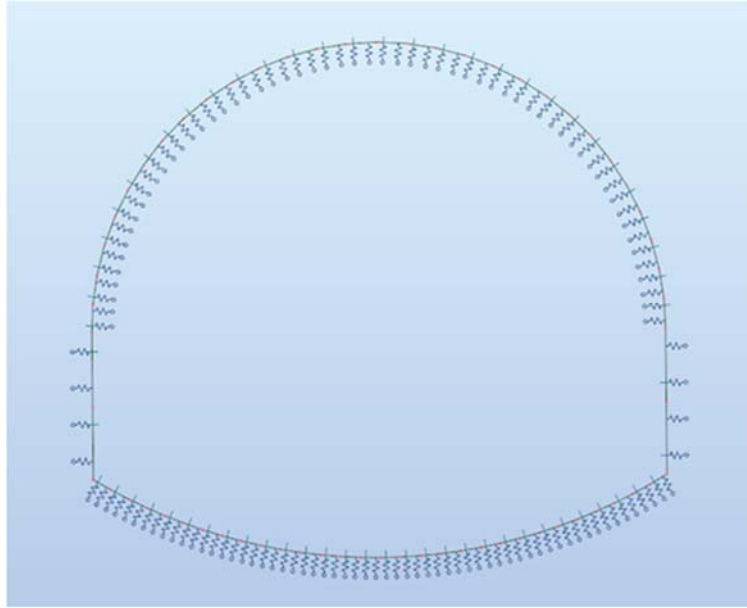
La schematizzazione della struttura e dei vincoli è stata svolta utilizzando il software Robot Structural Analysis Professional prodotto e distribuito da Autodesk Ltd.

Autodesk® Robot™ Structural Analysis Professional è uno strumento di analisi strutturale avanzato che consente di effettuare analisi lineari e non lineari di modelli di edifici, ponti e altri tipi di strutture industriali. Consente di definire una vasta gamma di tipi di analisi avanzata, quali analisi statica, analisi modale, analisi sismica, analisi dello spettro, analisi armonica e analisi cronologica.

I modelli matematici delle strutture analizzate sono assemblati su uno schema piano di larghezza unitaria e sono stati realizzati utilizzando elementi monodimensionali secondo i criteri che seguono:

- elementi monodimensionali tipo trave su suolo elastico per tutti gli elementi che compongono la sezione.

Per la modellazione dei materiali costituenti il telaio di calcolo si considera un comportamento elastico lineare durante tutte le fasi di calcolo delle sollecitazioni.



Per la modellazione dei vincoli esterni, allo scopo di simulare l'interazione terreno-struttura vengono posti, in corrispondenza dei nodi del modello, delle aste radiali (bielle) la cui rigidità è determinata tenendo conto del modulo di reazione del terreno K.

Quest'ultimo è stato ottenuto, per le superfici curvilinee, tramite la formula di Galerkin:

$$K = E / [Req \cdot (1+\nu)] = 6491 \times 1000 / (8.25 \times (1+0.25)) = 629430 \text{ kN/m}$$

essendo:

E = modulo di deformabilità dell'ammasso = 6491 MPa;

ν = coefficiente di Poisson dell'ammasso = 0.25;

Req = raggio di curvatura equivalente della galleria = 8.25 m .

Analisi dei carichi

Peso proprio: Il peso proprio è calcolato in automatico dal software in funzione dei pesi di volume inseriti nel database e alla reale geometria degli elementi.

Peso permanente non strutturale: Il carico verticale del sovrastante ammasso roccioso sono state calcolate le correlazioni di Terzaghi in presenza della Formazione Morenica per rocce tenere e terreni attraverso la seguente formulazione valida per $B < H \leq 2.5 B$ (H = copertura e B = dimensione caratteristica della galleria):

$$P_v = \frac{B \cdot \left(\gamma - \frac{2c}{B} \right)}{2 \operatorname{tg} \phi} \left(1 - e^{\left(\frac{-2H \operatorname{tg} \phi}{B} \right)} \right)$$

Con :

H = ricoprimento terreno = 30 m

γ = peso di volume del terreno = 21 kN/m³;

h = altezza della galleria = 11.61 m;

b = larghezza della galleria = 18.40 m;

c = coesione = 10 kPa;

Φ = angolo di attrito del terreno = 34°.

Le spinte orizzontali P_h , presenti a lungo termine e variabili con la profondità, sono state calcolate secondo la formula:

$$P_h = K_o \cdot P_v + K_o \cdot \gamma \cdot z$$

Con:

γ = peso di volume del terreno = 27 kN/m³;

K_o = coefficiente di spinta a riposo = $v / (1-v) = 0.333$;

z = altezza di terreno dalla corona della calotta al punto più basso dell'arco rovescio.

Sezione	Peso specifico γ [kN/m ³]	P_v [kN/m ²]	P_{h1} [kN/m ²]	P_{h2} [kN/m ²]
GD- PS B	27	339.44	113.03	243.13

Tabella 9.11 – Fase 8 – Peso permanente non strutturale

Condizioni e combinazioni di carico

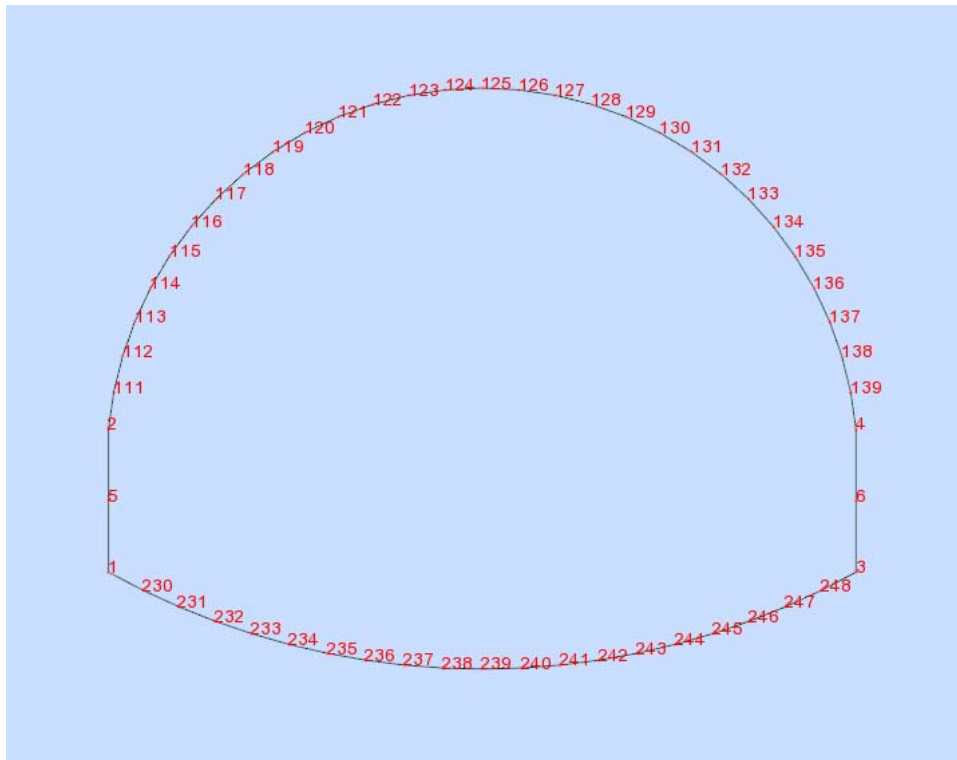
Condizioni di carico

DL1 DL1 Permanenti Nonlinear Static

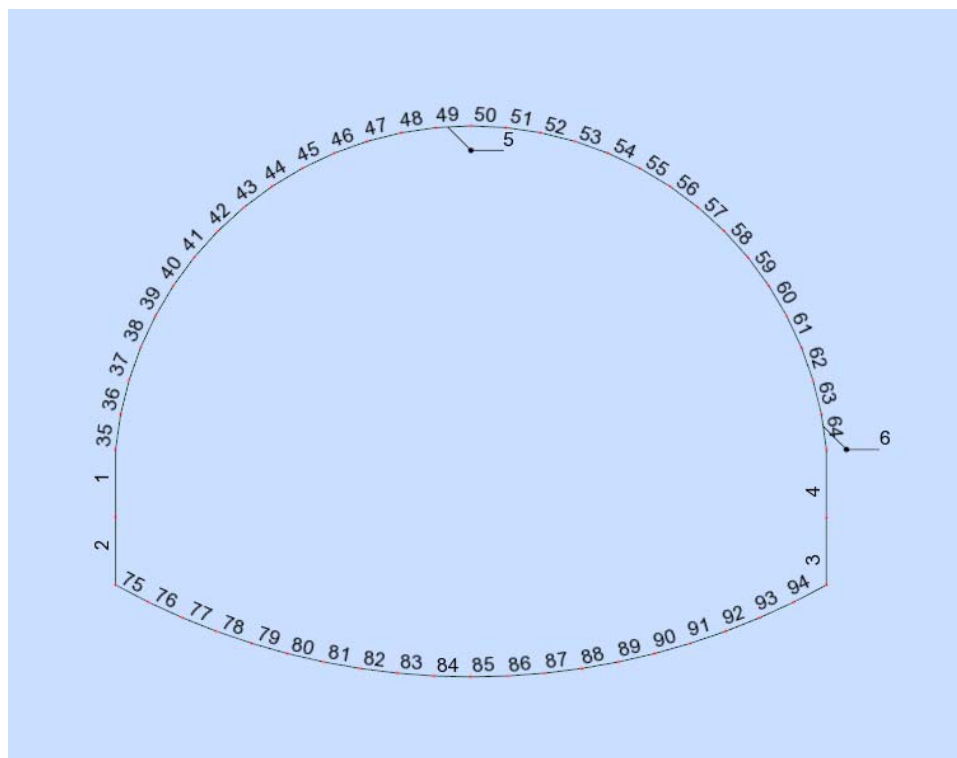
DL2 DL2 Perm.Non-str. Nonlinear Static

Combinazioni di carico

SLU Nonlin. Combination SLU Permanenti 1*1.30+2*1.50



Numerazione nodi



Numerazione elementi

Verifiche strutturali allo SLU

Le verifiche flessionali sull'arco rovescio risultano:

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	N _{SDU} (kN)	M _{SDU} (kN m)	N _{RD} (kN)	M _{RD} (kNm)	FS
INCASTRO	100	1+1 Φ 24/20	4770	1785	4770	2060	1.15
MEZZERIA	100	-	4738	139	13282	-	2.80

Tabella 9.12 – Fase 8 - Verifica a flessione dell'arco rovescio

Le verifiche al taglio sull'arco rovescio risultano:

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	V _{SDU} (kN)	V _{RD} (kN)	FS
INCASTRO	100	1 Φ 24/20/20	2718	3432	1.26
MEZZERIA	100	-	120	1557	12.97

Tabella 9.13 – Fase 8 - Verifica a taglio dell'arco rovescio

Le verifiche flessionali sulla calotta risultano:

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	N _{SDU} (kN)	M _{SDU} (kN m)	N _{RD} (kN)	M _{RD} (kNm)	FS
INCASTRO	150	1 Φ 20/20	7319	3974	7319	4320	1.09
MAX NEG	90	-	7060	367	11232	-	1.59
MAX POS	90		4578	487	9697	-	2.11

Tabella 9.14 – Fase 8 - Verifica a flessione della calotta

Le verifiche al taglio sulla calotta risultano:

Tipo	Spessore (cm)	Armatura	V _{SDU} (kN)	V _{RD} (kN)	FS
INCASTRO	150	1 Φ 20/20/20	1545	3228	2.08
CALOTTA	90	-	660	1534	2.32

Tabella 9.15 – Fase 8 - Verifica a taglio della calotta

Verifiche a fessurazione allo SLE

Le verifiche a fessurazione per l'arco rovescio risultano:

Tipo	Elemento	Spessore (cm)	Armatura	N _k (kN)	M _k (kN m)	σ _c (MPa)	σ _f (MPa)	W _m
INCASTRO	75	100	1+1 Φ 24/20	3669	1373	-12.67	121.56	0.081

Tabella 9.16 – Fase 8 - Verifica a fessurazione dell'arco rovescio

Le verifiche a fessurazione per la calotta risultano:

Tipo	Elemento	Spessore (cm)	Armatura	N _k (kN)	M _k (kN m)	σ _c (MPa)	σ _f (MPa)	W _m
INCASTRO	2	150	1 Φ 20/20	5630	3056	-13.24	138.87	0.096

Tabella 9.17 – Fase 8 - Verifica a fessurazione della calotta

Diagrammi di sollecitazione

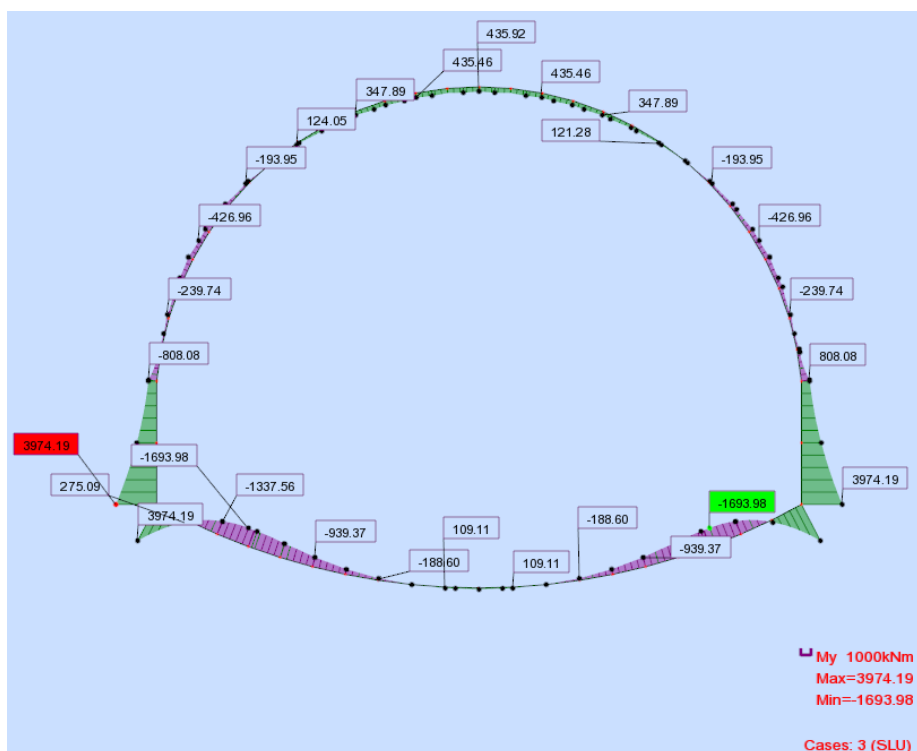


Diagramma momento flettente

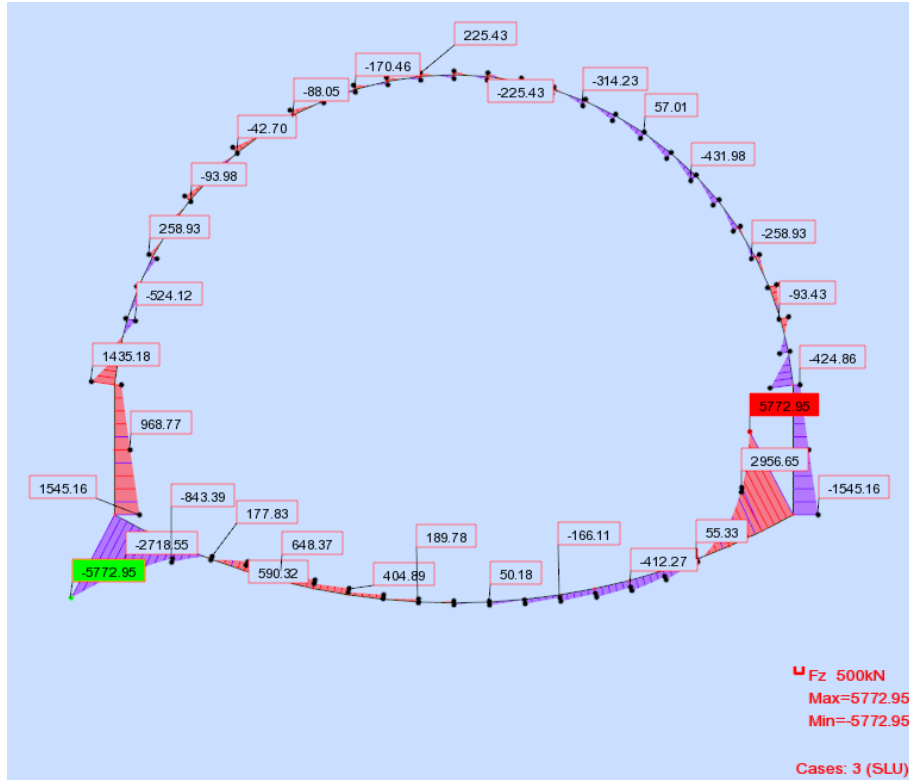


Diagramma taglio

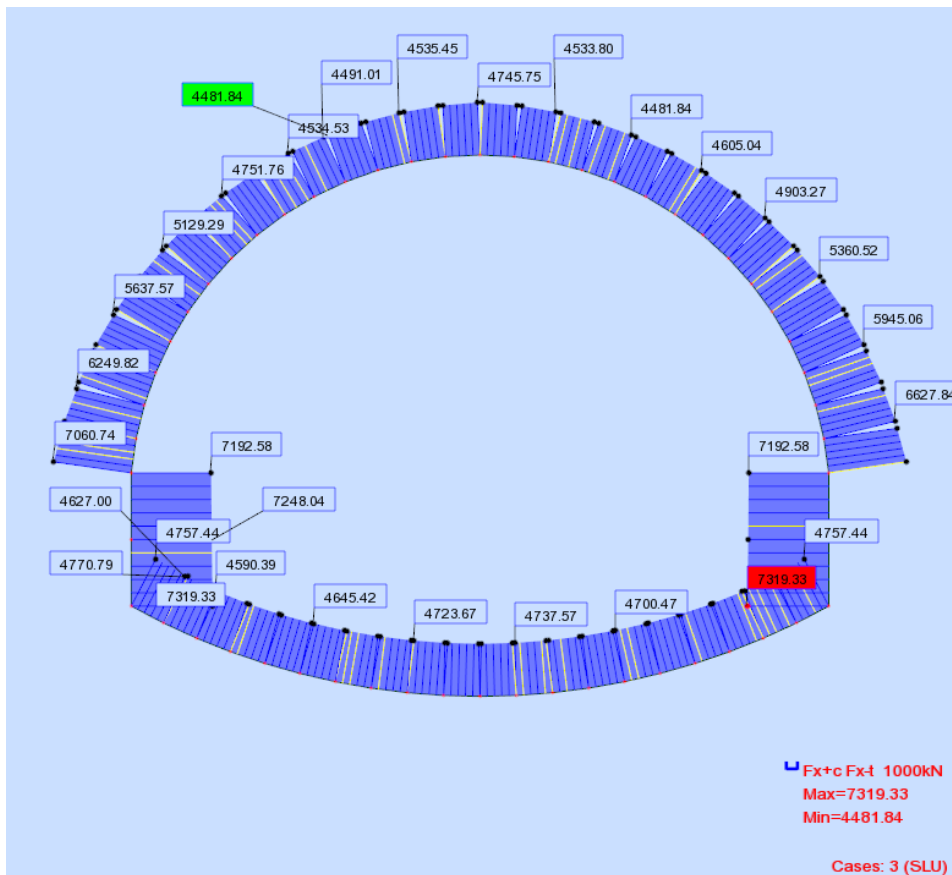


Diagramma sforzo normale

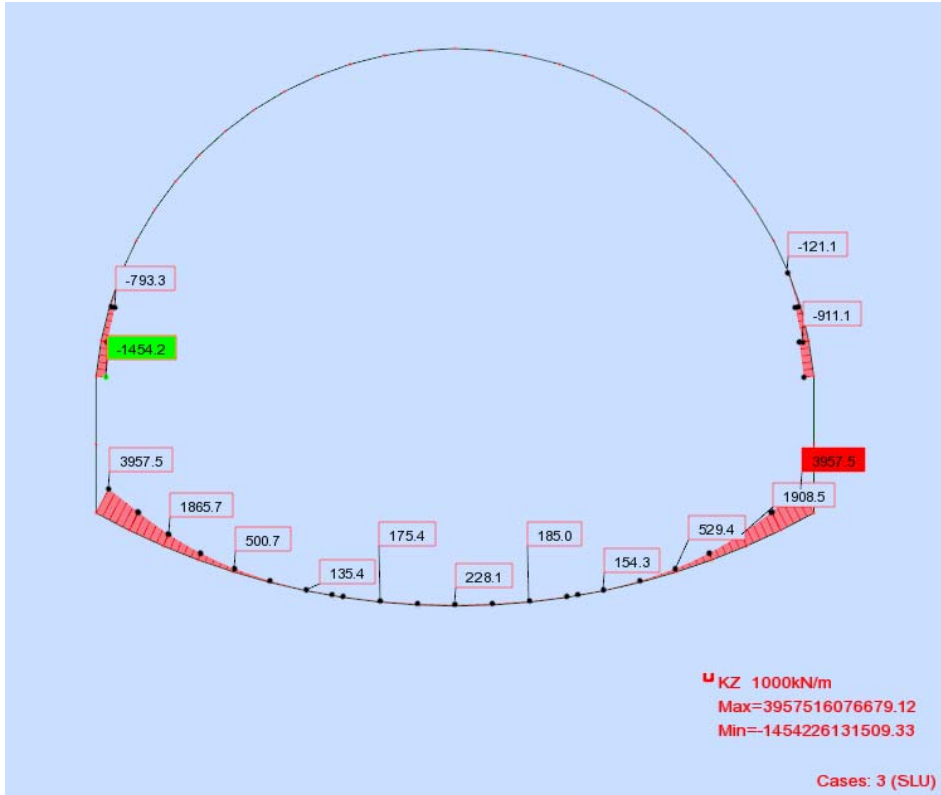
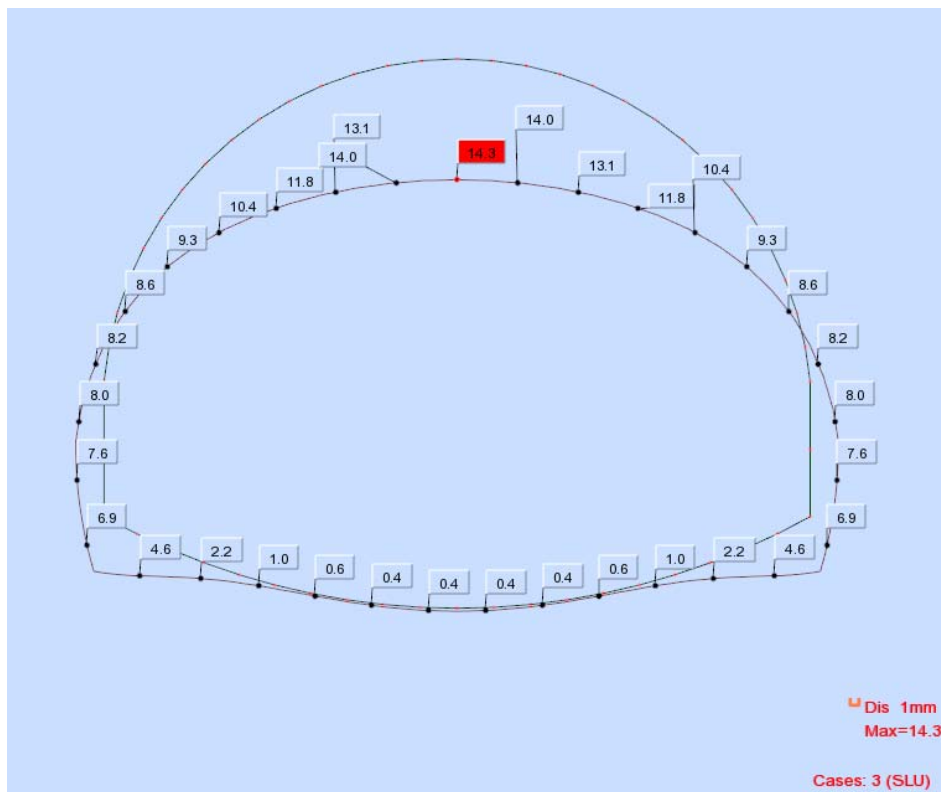


Diagramma reazioni mole



Deformata

Tabulati di verifica

Bar/Node/Case	FX (kN)	FZ (kN)	MY (kNm)
1/2/3	7192.58	424.86	808.08
1/2/3/3	7220.31	692.76	1261.56
1/5/3	7248.04	968.77	1936.01
2/5/3	7248.04	968.77	1936.01
2/2/3/3	7283.68	1252.91	2838.02
2/1/3	7319.33	1545.16	3974.19
3/3/3	7319.33	-1545.16	3974.19
3/2/3/3	7283.68	-1252.91	2838.02
3/6/3	7248.04	-968.77	1936.01
4/6/3	7248.04	-968.77	1936.01
4/2/3/3	7220.31	-692.76	1261.56
4/4/3	7192.58	-424.86	808.08
35/2/3	7060.74	1435.18	-808.08
35/2/3/3	6855.69	660.25	-367.82
35/111/3	6650.33	-99.47	-250.59
36/111/3	6627.84	555.48	-250.59
36/2/3/3	6439.09	2.23	-134.2
36/112/3	6249.82	-524.12	-244.94
37/112/3	6271.06	93.43	-244.94
37/2/3/3	6099.62	-207.59	-270.14
37/113/3	5927.45	-471.35	-414.33
38/113/3	5945.06	114.31	-414.33
38/2/3/3	5791.77	-92.47	-409.8
38/114/3	5637.57	-297.28	-491.83
39/114/3	5639.46	258.93	-491.83
39/2/3/3	5505.05	41.81	-428.66
39/115/3	5369.52	-173.44	-456.4
40/115/3	5360.52	355.84	-456.4
40/2/3/3	5245.55	130.05	-354.29
40/116/3	5129.29	-93.98	-346.77
41/116/3	5113.64	411.24	-346.77
41/2/3/3	5018.54	178.46	-222.83
41/117/3	4921.98	-52.69	-196.44
42/117/3	4903.27	431.98	-196.44
42/2/3/3	4828.32	193.91	-64.88
42/118/3	4751.76	-42.7	-33.14
43/118/3	4732.9	425.07	-33.14
43/2/3/3	4678.26	183.38	94.75
43/119/3	4621.86	-57.01	121.28
44/119/3	4605.04	398.14	121.28
44/2/3/3	4570.72	154.48	237.44

44/120/3	4534.53	-88.05	251.37
45/120/3	4521.19	358.58	251.37
45/2/3/3	4507.08	114.6	350.83
45/121/3	4491.01	-128.45	347.89
46/121/3	4481.84	314.23	347.89
46/2/3/3	4487.72	71.51	428.97
46/122/3	4491.55	-170.46	408.14
47/122/3	4486.53	272.29	408.14
47/2/3/3	4512.05	32.39	472.19
47/123/3	4535.45	-206.97	435.46
48/123/3	4533.8	240.45	435.46
48/2/3/3	4578.5	4.87	487.03
48/124/3	4621.05	-230.39	439.6
49/124/3	4621.29	225.43	439.6
49/2/3/3	4684.61	-4.39	486.07
49/125/3	4745.75	-234.11	435.92
50/125/3	4745.75	234.11	435.92
50/2/3/3	4684.61	4.39	486.07
50/126/3	4621.29	-225.43	439.6
51/126/3	4621.05	230.39	439.6
51/2/3/3	4578.5	-4.87	487.03
51/127/3	4533.8	-240.45	435.46
52/127/3	4535.45	206.97	435.46
52/2/3/3	4512.05	-32.39	472.19
52/128/3	4486.53	-272.29	408.14
53/128/3	4491.55	170.46	408.14
53/2/3/3	4487.72	-71.51	428.97
53/129/3	4481.84	-314.23	347.89
54/129/3	4491.01	128.45	347.89
54/2/3/3	4507.08	-114.6	350.83
54/130/3	4521.19	-358.58	251.37
55/130/3	4534.53	88.05	251.37
55/2/3/3	4570.72	-154.48	237.44
55/131/3	4605.04	-398.14	121.28
56/131/3	4621.86	57.01	121.28
56/2/3/3	4678.26	-183.38	94.75
56/132/3	4732.9	-425.07	-33.14
57/132/3	4751.76	42.7	-33.14
57/2/3/3	4828.32	-193.91	-64.88
57/133/3	4903.27	-431.98	-196.44
58/133/3	4921.98	52.69	-196.44
58/2/3/3	5018.54	-178.46	-222.83
58/134/3	5113.64	-411.24	-346.77
59/134/3	5129.29	93.98	-346.77
59/2/3/3	5245.55	-130.05	-354.29

59/135/3	5360.52	-355.84	-456.4
60/135/3	5369.52	173.44	-456.4
60/2/3/3	5505.05	-41.81	-428.66
60/136/3	5639.46	-258.93	-491.83
61/136/3	5637.57	297.28	-491.83
61/2/3/3	5791.77	92.47	-409.8
61/137/3	5945.06	-114.31	-414.33
62/137/3	5927.45	471.35	-414.33
62/2/3/3	6099.62	207.59	-270.14
62/138/3	6271.06	-93.43	-244.94
63/138/3	6249.82	524.12	-244.94
63/2/3/3	6439.09	-2.23	-134.2
63/139/3	6627.84	-555.48	-250.59
64/139/3	6650.33	99.47	-250.59
64/2/3/3	6855.69	-660.25	-367.82
64/4/3	7060.74	-1435.18	-808.08
75/1/3	4757.44	-5772.95	3974.19
75/2/3/3	4764.11	-4129.7	1785.13
75/230/3	4770.79	-2718.55	275.09
76/230/3	4627	-2956.65	275.09
76/2/3/3	4633.02	-1775.83	-765.36
76/231/3	4639.04	-843.39	-1337.56
77/231/3	4590.39	-1077.16	-1337.56
77/2/3/3	4595.74	-352.25	-1646.83
77/232/3	4601.09	177.83	-1678.96
78/232/3	4604.19	-55.33	-1678.96
78/2/3/3	4608.85	330.12	-1612.74
78/233/3	4613.51	590.32	-1404.53
79/233/3	4637.49	355.96	-1404.53
79/2/3/3	4641.45	535.19	-1203.92
79/234/3	4645.42	648.37	-939.37
80/234/3	4672.29	412.27	-939.37
80/2/3/3	4675.55	492.25	-737.46
80/235/3	4678.81	546.43	-506.35
81/235/3	4700.47	308.9	-506.35
81/2/3/3	4703.01	358.65	-357.98
81/236/3	4705.56	404.89	-188.6
82/236/3	4720.02	166.11	-188.6
82/2/3/3	4721.84	220.9	-102.9
82/237/3	4723.67	281.16	8.24
83/237/3	4731.84	41.64	8.24
83/2/3/3	4732.94	112.65	42.23
83/238/3	4734.03	189.78	109.11
84/238/3	4737.57	-50.18	109.11
84/2/3/3	4737.93	33.68	105.32

84/239/3	4738.3	120.02	139.37
85/239/3	4738.3	-120.02	139.37
85/2/3/3	4737.93	-33.68	105.32
85/240/3	4737.57	50.18	109.11
86/240/3	4734.03	-189.78	109.11
86/2/3/3	4732.94	-112.65	42.23
86/241/3	4731.84	-41.64	8.24
87/241/3	4723.67	-281.16	8.24
87/2/3/3	4721.84	-220.9	-102.9
87/242/3	4720.02	-166.11	-188.6
88/242/3	4705.56	-404.89	-188.6
88/2/3/3	4703.01	-358.65	-357.98
88/243/3	4700.47	-308.9	-506.35
89/243/3	4678.81	-546.43	-506.35
89/2/3/3	4675.55	-492.25	-737.46
89/244/3	4672.29	-412.27	-939.37
90/244/3	4645.42	-648.37	-939.37
90/2/3/3	4641.45	-535.19	-1203.92
90/245/3	4637.49	-355.96	-1404.53
91/245/3	4613.51	-590.32	-1404.53
91/2/3/3	4608.85	-330.12	-1612.74
91/246/3	4604.19	55.33	-1678.96
92/246/3	4601.09	-177.83	-1678.96
92/2/3/3	4595.74	352.25	-1646.83
92/247/3	4590.39	1077.16	-1337.56
93/247/3	4639.04	843.39	-1337.56
93/2/3/3	4633.02	1775.83	-765.36
93/248/3	4627	2956.65	275.09
94/248/3	4770.79	2718.55	275.09
94/2/3/3	4764.11	4129.7	1785.13
94/3/3	4757.44	5772.95	3974.19

VERIFICA A STATO LIMITE ULTIMO PER TENSIONI NORMALI

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB-VERIFICA LIMITE INCASTRO ARCO ROVESCIO

Profondità relativa dell'asse neutro (x/d)	$\xi =$	0,521		
Altezza totale della sezione	h =	100,00 [cm]		
Copriferro armatura tesa	c =	5,00 [cm]		
Altezza utile (h-c)	d =	95,00 [cm]		
Profondità dell'asse neutro	x =	49,50 [cm]		
Rapporto tra copriferro armatura tesa ed altezza utile (c/d)	$\delta =$	0,053		

RISOLVI

Deformazione massima nel calcestruzzo	$\epsilon_{cls} =$	-0,00350	in y =	100,00 [cm]
Deformazione massima nell'acciaio teso	$\epsilon_{acc} =$	0,00322	in y =	5,00 [cm]
Parametro di deformazione λ ($\epsilon = \lambda + \mu$)	$\lambda =$	0,00357		
Parametro di deformazione μ ($\epsilon = \lambda + \mu$)	$\mu =$	-0,00007 [1/cm]		
Sforzo normale interno (rispetto alla base - y=0)	Nrd(y=0) =	-4770,00 [kN]		
Momento interno (rispetto alla base - y=0)	Mrd(y=0) =	4445,82 [kNm]		

Ordinata rispetto a cui vengono calcolate le sollecitazioni	y_soll =	50,00 [cm]		
Sforzo normale interno (rispetto a y=y_soll)	Nrd(y=y_soll) =	-4770,00 [kN]		
Momento interno (rispetto a y=y_soll)	Mrd(y=y_soll) =	2060,82 [kNm]		
Sforzo normale agente di calcolo (rispetto a y=y_soll)	Nsd(y=y_soll) =	-4770,00 [kN]		
Momento agente di calcolo (rispetto a y=y_soll)	Msd(y=y_soll) =	1785,00 [kNm]		
Differenza tra sforzo normale agente ed interno (rispetto a y=y_soll)	Nsd(y=y_soll) - Nrd(y=y_soll) =	0,00 [kN]		
Coefficiente di sicurezza di stato limite ultimo	Mrd(y=y_soll)/Msd(y=y_soll) =	1,15		

CALCESTRUZZO			Trave										
Elementi	Rck	fc d	b inf	h	b sup	y inf	y sup	ϵ inf	ϵ sup	σ inf	σ sup	Nrd(y=0)	Mrd(y=0)
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]			[N/mm ²]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]
1	30,00	16,60	100,00	100,00	100,00	0,00	100,00	0,00357	-0,00350	0,00	0,00	-5654,34	4490,04
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	-0,00350	-0,00350	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	-0,00350	-0,00350	0,00	0,00	0,00	0,00
totali				100,00		0,00	100,00					-5654,34	4490,04

ACCIAIO			Armatura lenta										
Armature	Es	fyd	area	livello	ϵ acc	σ acc	Nrd(y=0)	Mrd(y=0)					
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[cm ²]	[cm]		[N/mm ²]	[kN]	[kNm]					
1	210000	391,30	22,60	5,00	0,00322	391,30	884,34	-44,22					
2	0	0,00	0,00	0,00	0,00357	0,00	0,00	0,00					
3	0	0,00	0,00	0,00	0,00357	0,00	0,00	0,00					
totali				5,00			884,34	-44,22					

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB-VERIFICA MOMENTO MOMENTO NEGATIVO ARCO ROVESCIO

fc d	141,10 daN/cm ²
b	100,00 cm
a	100,00 cm
Ned	4675,00 kN
Med	737,00 kNm
e =	15,76 cm
x =	68,47 cm
Nrd ver	9661,20 kN Ok
fct d	11,97 daN/cm ²
fct 1 d	10,17 daN/cm ²
sigmac	68,28 daN/cm ²
sigmac lim	62,64 daN/cm ²
delta	5,64 daN/cm ²
fcvd_1	28,25 daN/cm ²
fcvd_2	28,11 daN/cm ²
fcvd	28,11 daN/cm ²
Ved	492,00 kN
Vrd ver	1283,20 kN Ok

4.1.11. CALCESTRUZZO A BASSA PERCENTUALE DI ARMATURA O NON ARMATO

Il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura è quello per il quale la percentuale di armatura messa in opera è minore di quella minima necessaria per il calcestruzzo armato o la quantità media in peso di acciaio per metro cubo di calcestruzzo è inferiore a 0,3 kN.

Sia il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura, sia quello non armato possono essere impiegati solo per elementi secondari o per strutture massicce o estese.

4.1.11.1 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA - NORME DI CALCOLO

Per le verifiche di resistenza delle sezioni sotto sforzi normali si adottano le competenti ipotesi tratte dal § 4.1.2.3.4.1. Per una sezione rettangolare di lati a e b soggetta ad una forza normale Ned con una eccentricità e nella direzione del lato a la verifica di resistenza allo SLU, con il modello (c) di § 4.1.2.1.2.1, si pone con

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = f_{cd} \cdot b \cdot x \quad [4.1.50]$$

con $x = a - 2e$.

La verifica di resistenza della stessa sezione rettangolare di lati a e b soggetta anche ad un sforzo di taglio Ved nella direzione del lato a si pone con

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = f_{ctd} \cdot b \cdot x / 1,5$$

con

$$f_{ctd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_{ct1d})} \quad \text{per } \sigma_{ct} \leq \sigma_{ctlim}$$

$$f_{ctd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_{ct1d} - \delta^2/4)} \quad \text{per } \sigma_{ct} > \sigma_{ctlim}$$

dove

$$\sigma_{ct} = N_{Ed} / (b \cdot x)$$

$$\delta = \sigma_{ct} - \sigma_{ctlim}$$

$$\sigma_{ctlim} = f_{ctd} - 2 \cdot \sqrt{(f_{ct1d} + f_{ct1d})}$$

dove

$$f_{ct1d} = 0,85 \cdot f_{ctd}$$

è la resistenza a trazione di progetto per calcestruzzo non armato o debolmente armato.

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB-VERIFICA MOMENTO MOMENTO POSITIVO ARCO ROVESCIO

fcd	141,10 daN/cm2
b	100,00 cm
a	100,00 cm
Ned	4738,00 kN
Med	139,00 kNm
e=	2,93 cm
x=	94,13 cm
Nrd	13282,10 kN
ver	Ok
fctd	11,97 daN/cm2
fct1d	10,17 daN/cm2
sigmac	50,33 daN/cm2
sigmaclim	62,64 daN/cm2
delta	-12,30 daN/cm2
fcvd_1	24,81 daN/cm2
fcvd_2	24,04 daN/cm2
fcvd	24,81 daN/cm2
Ved	120,00 kN
Vrd	1557,07 kN
ver	Ok

4.1.11. CALCESTRUZZO A BASSA PERCENTUALE DI ARMATURA O NON ARMATO

Il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura è quello per il quale la percentuale di armatura messa in opera è minore minima necessaria per il calcestruzzo armato o la quantità media in peso di acciaio per metro cubo di calcestruzzo è inferiore a 0,3 kN.

Sia il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura, sia quello non armato possono essere impiegati solo per elementi se per strutture massicce o estese.

4.1.11.1 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA – NORME DI CALCOLO

Per le verifiche di resistenza delle sezioni sotto sforzi normali si adottano le competenti ipotesi tratte dal § 4.1.2.3.4.1. Per la verifica di resistenza delle sezioni rettangolari di lati a e b soggetta ad una forza normale N_{Ed} con una eccentricità e nella direzione del lato a la verifica si pone allo SLU, con il modello (c) di § 4.1.2.1.2.1, si pone con

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = f_{ctd} b x \quad [4.1.50]$$

con $x = a - 2e$.

La verifica di resistenza della stessa sezione rettangolare di lati a e b soggetta anche ad un sforzo di taglio V_{Ed} nella direzione del lato a si pone con

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = f_{ctd} b x / 1,5$$

con

$$f_{ctd} = \sqrt{f_{ctid} + \sigma_{ctid}} \quad \text{per } \sigma_c \leq \sigma_{ctid}$$

$$f_{ctd} = \sqrt{(f_{ctid} + \sigma_{ctid} - \delta^2) / 4} \quad \text{per } \sigma_c > \sigma_{ctid}$$

dove

$$\sigma_c = N_{Ed} / (b x)$$

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

$$\sigma_{ctid} = f_{ctd} - 2 \sqrt{(f_{ctid} + f_{ctid})}$$

dove

$$f_{ctid} = 0,85 f_{ctd}$$

è la resistenza a trazione di progetto per calcestruzzo non armato o debolmente armato.

VERIFICA A STATO LIMITE ULTIMO PER TENSIONI NORMALI

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB-VERIFICA INCASTRO CALOTTA

Profondità relativa dell'asse neutro (x/d)	$\xi =$	0,495	
Altezza totale della sezione	h=	150,00 [cm]	
Copriferro armatura tesa	c=	5,00 [cm]	
Altezza utile (h-c)	d=	145,00 [cm]	
Profondità dell'asse neutro	x=	71,82 [cm]	
Rapporto tra copriferro armatura tesa ed altezza utile (c/d)	$\delta =$	0,034	
Deformazione massima nel calcestruzzo	$\epsilon_{cls} =$	-0,00350	in y= 150,00 [cm]
Deformazione massima nell'acciaio teso	$\epsilon_{acc} =$	0,00357	in y= 5,00 [cm]
Parametro di deformazione λ ($\epsilon = \lambda + \mu$)	$\lambda =$	0,00381	
Parametro di deformazione μ ($\epsilon = \lambda + \mu$)	$\mu =$	-0,00005 [1/cm]	
Sforzo normale interno (rispetto alla base - y=0)	Nrd(y=0)=	-7319,00 [kN]	
Momento interno (rispetto alla base - y=0)	Mrd(y=0)=	9810,13 [kNm]	
Ordinata rispetto a cui vengono calcolate le sollecitazioni	ysoll=	75,00 [cm]	
Sforzo normale interno (rispetto a y=ysoll)	Nrd(y=ysoll)=	-7319,00 [kN]	
Momento interno (rispetto a y=ysoll)	Mrd(y=ysoll)=	4320,88 [kNm]	
Sforzo normale agente di calcolo (rispetto a y=ysoll)	Nsd(y=ysoll)=	-7319,00 [kN]	
Momento agente di calcolo (rispetto a y=ysoll)	Msd(y=ysoll)=	3974,00 [kNm]	
Differenza tra sforzo normale agente ed interno (rispetto a y=ysoll)	Nsd(y=ysoll)-Nrd(y=ysoll)=	0,00 [kN]	
Coefficiente di sicurezza di stato limite ultimo	Mrd(y=ysoll)/Msd(y=ysoll)=	1,09	



CALCESTRUZZO			Trave										
Elementi	Rck	fcd	b inf	h	b sup	y inf	y sup	ϵ inf	ϵ sup	σ inf	σ sup	Nrd(y=0)	Mrd(y=0)
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]			[N/mm ²]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]
1	30,00	16,60	100,00	150,00	100,00	0,00	150,00	0,00381	-0,00350	0,00	0,00	-8203,34	9854,35
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	150,00	150,00	-0,00350	-0,00350	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	150,00	150,00	-0,00350	-0,00350	0,00	0,00	0,00	0,00
totali				150,00		0,00	150,00					-8203,34	9854,35

ACCIAIO		Armatura lenta									
Armature	Es	fyd	area	livello	ϵ acc	σ acc	Nrd(y=0)	Mrd(y=0)			
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[cm ²]	[cm]		[N/mm ²]	[kN]	[kNm]			
1	210000	391,30	22,60	5,00	0,00357	391,30	884,34	-44,22			
2	0	0,00	0,00	0,00	0,00381	0,00	0,00	0,00			
3	0	0,00	0,00	0,00	0,00381	0,00	0,00	0,00			
totali				5,00			884,34	-44,22			

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB-VERIFICA MOMENTO MASSIMO NEGATIVO IN CALOTTA

fcd	141,10 daN/cm ²
b	100,00 cm
a	90,00 cm
Ned	7060,00 kN
Med	367,00 kNm
e=	5,20 cm
x=	79,60 cm
Nrd	11232,04 kN
ver	Ok
fctd	11,97 daN/cm ²
fct1d	10,17 daN/cm ²
sigmac	88,69 daN/cm ²
sigmaclim	62,64 daN/cm ²
delta	26,05 daN/cm ²
fcvd_1	31,72 daN/cm ²
fcvd_2	28,92 daN/cm ²
fcvd	28,92 daN/cm ²
Ved	660,00 kN
Vrd	1534,59 kN
ver	Ok

4.1.11. CALCESTRUZZO A BASSA PERCENTUALE DI ARMATURA O NON ARMATO

Il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura è quello per il quale la percentuale di armatura messa in opera è minore di quella minima necessaria per il calcestruzzo armato o la quantità media in peso di acciaio per metro cubo di calcestruzzo è inferiore a 0,3 kN.

Sia il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura, sia quello non armato possono essere impiegati solo per elementi secondari o per strutture massicce o estese.

4.1.11.1 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA – NORME DI CALCOLO

Per le verifiche di resistenza delle sezioni sotto sforzi normali si adottano le competenti ipotesi tratte dal § 4.1.2.3.4.1. Per una sezione rettangolare di lati a e b soggetta ad una forza normale N_{Ed} con una eccentricità e nella direzione del lato a la verifica di resistenza allo SLU, con il modello (c) di § 4.1.2.1.2.1, si pone con

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = f_{cd} b x \quad [4.1.50]$$

con $x = a - 2e$.

La verifica di resistenza della stessa sezione rettangolare di lati a e b soggetta anche ad un sforzo di taglio V_{Ed} nella direzione del lato a si pone con

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = f_{cvd} b x / 1,5$$

con

$$f_{cvd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d})} \quad \text{per } \sigma_c \leq \sigma_{dim}$$

$$f_{cvd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d} - \delta^2/4)} \quad \text{per } \sigma_c > \sigma_{dim}$$

dove

$$\sigma_c = N_{Ed} / (b x)$$

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

$$\sigma_{dim} = f_{cd} - 2 \sqrt{(f_{ct1d} + f_{cd} f_{ct1d})}$$

dove

$$f_{ct1d} = 0,85 f_{ctd}$$

è la resistenza a trazione di progetto per calcestruzzo non armato o debolmente armato.

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB-VERIFICA MOMENTO MOMENTO POSITIVO IN CALOTTA

fcd	141,10 daN/cm ²
b	100,00 cm
a	90,00 cm
Ned	4578,00 kN
Med	487,00 kNm
e=	10,64 cm
x=	68,72 cm
Nrd	9697,00 kN
ver	Ok
fctd	11,97 daN/cm ²
fct1d	10,17 daN/cm ²
sigmac	66,61 daN/cm ²
sigmaclim	62,64 daN/cm ²
delta	3,98 daN/cm ²
fcvd_1	27,95 daN/cm ²
fcvd_2	27,88 daN/cm ²
fcvd	27,88 daN/cm ²
Ved	4,00 kN
Vrd	1277,38 kN
ver	Ok

4.1.11. CALCESTRUZZO A BASSA PERCENTUALE DI ARMATURA O NON ARMATO

Il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura è quello per il quale la percentuale di armatura messa in opera è minore di quella minima necessaria per il calcestruzzo armato o la quantità media in peso di acciaio per metro cubo di calcestruzzo è inferiore a 0,3 kN.

Sia il calcestruzzo a bassa percentuale di armatura, sia quello non armato possono essere impiegati solo per elementi secondari o per strutture massicce o estese.

4.1.11.1 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA – NORME DI CALCOLO

Per le verifiche di resistenza delle sezioni sotto sforzi normali si adottano le competenti ipotesi tratte dal § 4.1.2.3.4.1. Per una sezione rettangolare di lati a e b soggetta ad una forza normale N_{Ed} con una eccentricità e nella direzione del lato a la verifica di resistenza allo SLU, con il modello (c) di § 4.1.2.1.2.1, si pone con

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = f_{cd} b x \quad [4.1.50]$$

con $x = a - 2e$.

La verifica di resistenza della stessa sezione rettangolare di lati a e b soggetta anche ad un sforzo di taglio V_{Ed} nella direzione del lato a si pone con

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = f_{cvd} b x / 1,5$$

con

$$f_{cvd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d})} \quad \text{per } \sigma_c \leq \sigma_{dim}$$

$$f_{cvd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d} - \delta^2/4)} \quad \text{per } \sigma_c > \sigma_{dim}$$

dove

$$\sigma_c = N_{Ed} / (b x)$$

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

$$\sigma_{dim} = f_{cd} - 2 \sqrt{(f_{ct1d} + f_{cd} f_{ct1d})}$$

dove

$$f_{ct1d} = 0,85 f_{ctd}$$

è la resistenza a trazione di progetto per calcestruzzo non armato o debolmente armato.

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB-VERIFICA LIMITE INCASTRO ARCO ROVESCIO

VERIFICA A TAGLIO A SLU PER SEZIONE RETTANGOLARE

	Verifica
Caratteristiche dei materiali	
Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	Rck= 30 MPa
Coefficiente di sicurezza calcestruzzo	gamma _{cc} = 1,500
Coefficiente di trasformazione resistenza cubica -> cilindrica	alfa1= 0,833
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	fck= 25 MPa
Coefficiente carichi lunga durata	alfacc= 0,850
Resistenza di calcolo cilindrica calcestruzzo	fcd= 14,167 MPa
Tensione caratteristica di snervamento acciaio	fyk= 450 MPa
Coefficiente di sicurezza acciaio	gamma _{as} = 1,150
Tensione di calcolo di snervamento acciaio	fyd= 391,3 MPa
Caratteristiche della sezione	
Larghezza della membratura resistente a taglio	bw= 1000 mm
Altezza della sezione	h= 1000 mm
Altezza utile sezione: d = h - c	d= 950 mm
Area armature longitudinali tese	Asl= 1570,80 mm ²
Numero bracci	n= 5,0
Diametro dell'armatura trasversale posta all'interasse s	fi= 24 mm
Interasse armatura trasversale	s= 200 mm
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	alfa= 90,000 °
Area di armatura trasversale posta all'interasse s	Asw= 2262 mm ²
Area di armatura trasversale a metro lineare	asw= 11,310 mm ² /mm
Sollecitazioni	
Sforzo normale di compressione di calcolo (compressione = positivo)	Ned= 4770,00 kN
Taglio di calcolo agente sulla sezione allo s.l.u.	Vsdu= 2718,00 kN
Tensione media di compressione nella sezione: scp= min(Nsd/(bwh) ; 0.2 * fcd)	scp= 2,833 N/mm ²
Tensione tangenziale baricentrica	tau _b = 4,077 N/mm ²
Tensione principale massima baricentrica	sigma ₁ = 2,899 N/mm ²
Inclinazione minima dei "puntoni" di calcestruzzo rispetto all'asse della trave	cot(teta)= 1,406
Coefficiente alfac	alfac= 1,200
Cotangente alfa	cot(alfa)= 0,000
Limite inferiore per inclinazione puntoni calcestruzzo (cot(teta1) = max(1,00; cot(teta1)))	cot(teta1)= 1,41
Limite superiore per inclinazione puntoni calcestruzzo (cot(teta2), normalmente 2,50)	cot(teta2)= 2,50
Resistenza di calcolo a taglio-comprensione massima possibile (cot(teta)=cot(teta1))	Vrcd,max= 3432 kN
Resistenza di calcolo a taglio-comprensione minima (cot(teta)=cot(teta2))	Vrcd,min= 2506 kN
Verifica elementi senza armature trasversali resistenti a taglio	
Rapporto geometrico armatura longitudinale: ro(l)= min(Asl / (bw * d) ; 0.02)	ro(l)= 0,00165
Coefficiente k=min(1+(200/d) ^{0.5} ; 2)	k= 1,459
Coefficiente v _{min} =0.035 * (k ^{1.5}) * (fck ^{0.5})	v _{min} = 0,308 N/mm ²
Tensione tangenziale resistente di calcolo (0,18 * k * (100 * ro(l) * fck) / gamma _{cc} + 0,15 * scp)	tau _{1,calc} = 0,706 N/mm ²
Tensione tangenziale resistente minima (v _{min} + 0,15 * scp)	tau _{2,min} = 0,733 N/mm ²
Sforzo di taglio resistente	Vrd= 696,68 kN
Tensione tangenziale corrispondente allo Sforzo di taglio resistente	tau(Vrd)= 0,81 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (>= 1; solo calcestruzzo)	Vrd/Vsd= 0,256
Verifica elementi con armature trasversali resistenti a taglio	
Cotangente teta ottimale (cot(teta1)<cot(teta)<cot(teta2))	cot(teta)= 1,41
Inclinazione puntoni calcestruzzo ottimale (cot(teta1)<cot(teta)<cot(teta2))	teta= 35,419 °
Resistenza di calcolo a taglio-comprensione (Vrcd = 0.90 * d * bw * alfac * fcd * (cot(alfa)+cot(teta)) / (1+cot(teta) ²))	Vrcd= 3432 kN
Resistenza di calcolo a taglio-trazione (Vrsd = 0.9 d Asw s * fyd * (cot(alfa) + cot(teta)) * sen(alfa))	Vrsd= 5321 kN
Resistenza di calcolo Vrd = min (Vrcd ; Vrsd)	Vrd = 3432 kN
Tensione tangenziale corrispondente alla Resistenza di calcolo Vrd	tau(Vrd)= 4,01 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (>= 1; solo calcestruzzo)	Vrd/Vsd= 1,263

GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB-VERIFICA INCASTRO CALOTTA

VERIFICA A TAGLIO A SLU PER SEZIONE RETTANGOLARE

	Verifica
Caratteristiche dei materiali	
Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	Rck= 30 MPa
Coefficiente di sicurezza calcestruzzo	gamma _{cc} = 1,500
Coefficiente di trasformazione resistenza cubica -> cilindrica	alfa1= 0,833
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	fck= 25 MPa
Coefficiente carichi lunga durata	alfacc= 0,850
Resistenza di calcolo cilindrica calcestruzzo	fcd= 14,167 MPa
Tensione caratteristica di snervamento acciaio	fyk= 450 MPa
Coefficiente di sicurezza acciaio	gamma _{as} = 1,150
Tensione di calcolo di snervamento acciaio	fyd= 391,3 MPa
Caratteristiche della sezione	
Larghezza della membratura resistente a taglio	bw= 1000 mm
Altezza della sezione	h= 1500 mm
Altezza utile sezione: d = h - c	d= 1145 mm
Area armature longitudinali tese	Asl= 1005,31 mm ²
Numero bracci	n= 5,0
Diametro dell'armatura trasversale posta all'interasse s	fi= 20 mm
Interasse armatura trasversale	s= 200 mm
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	alfa= 90,000 °
Area di armatura trasversale posta all'interasse s	Asw= 1571 mm ²
Area di armatura trasversale a metro lineare	asw= 7,854 mm ² /mm
Sollecitazioni	
Sforzo normale di compressione di calcolo (compressione = positivo)	Ned= 7319,00 kN
Taglio di calcolo agente sulla sezione allo s.l.u.	Vsdu= 1545,00 kN
Tensione media di compressione nella sezione: scp= min(Nsd/(bwh) ; 0.2 * fcd)	scp= 2,833 N/mm ²
Tensione tangenziale baricentrica	tau _b = 1,545 N/mm ²
Tensione principale massima baricentrica	sigma ₁ = 0,680 N/mm ²
Inclinazione minima dei "puntoni" di calcestruzzo rispetto all'asse della trave	cot(teta)= 2,274
Coefficiente alfac	alfac= 1,200
Cotangente alfa	cot(alfa)= 0,000
Limite inferiore per inclinazione puntoni calcestruzzo (cot(teta1) = max(1,00; cot(teta1)))	cot(teta1)= 2,27
Limite superiore per inclinazione puntoni calcestruzzo (cot(teta2), normalmente 2,50)	cot(teta2)= 2,50
Resistenza di calcolo a taglio-comprensione massima possibile (cot(teta)=cot(teta1))	Vrcd,max= 3228 kN
Resistenza di calcolo a taglio-comprensione minima (cot(teta)=cot(teta2))	Vrcd,min= 3020 kN
Verifica elementi senza armature trasversali resistenti a taglio	
Rapporto geometrico armatura longitudinale: ro(l)= min(Asl / (bw * d) ; 0.02)	ro(l)= 0,00088
Coefficiente k=min(1+(200/d) ^{0.5} ; 2)	k= 1,418
Coefficiente v _{min} =0.035 * (k ^{1.5}) * (fck ^{0.5})	v _{min} = 0,295 N/mm ²
Tensione tangenziale resistente di calcolo (0,18 * k * (100 * ro(l) * fck) / gamma _{cc} + 0,15 * scp)	tau _{1,calc} = 0,646 N/mm ²
Tensione tangenziale resistente minima (v _{min} + 0,15 * scp)	tau _{2,min} = 0,720 N/mm ²
Sforzo di taglio resistente	Vrd= 824,95 kN
Tensione tangenziale corrispondente allo Sforzo di taglio resistente	tau(Vrd)= 0,80 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (>= 1; solo calcestruzzo)	Vrd/Vsd= 0,534
Verifica elementi con armature trasversali resistenti a taglio	
Cotangente teta ottimale (cot(teta1)<cot(teta)<cot(teta2))	cot(teta)= 2,27
Inclinazione puntoni calcestruzzo ottimale (cot(teta1)<cot(teta)<cot(teta2))	teta= 23,741 °
Resistenza di calcolo a taglio-comprensione (Vrcd = 0.90 * d * bw * alfac * fcd * (cot(alfa)+cot(teta)) / (1+cot(teta) ²))	Vrcd= 3228 kN
Resistenza di calcolo a taglio-trazione (Vrsd = 0.9 d Asw s * fyd * (cot(alfa) + cot(teta)) * sen(alfa))	Vrsd= 7201 kN
Resistenza di calcolo Vrd = min (Vrcd ; Vrsd)	Vrd = 3228 kN
Tensione tangenziale corrispondente alla Resistenza di calcolo Vrd	tau(Vrd)= 3,13 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza allo stato limite ultimo (>= 1; solo calcestruzzo)	Vrd/Vsd= 2,089

VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI FESSURAZIONE

TITOLO: GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB_VERIFICA LIMITE INCASTRO ARCO ROVESCIO
 Riferimento :
 Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018: "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».
 Circolare 21 gennaio 2019, n° 7: Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018.

DATI GENERALI

Tipo impronte acciaio Sensibilità armatura Condizioni ambientali Combinazione di azioni	Aderenza migliorata Poco sensibile Ordinaria Frequenti
--	---

VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI FORMAZIONE DELLE FESSURE

Resistenza caratteristica cilindrica del conglomerato cementizio	$f_{ck} =$	25,0 N/mm ²
Resistenza a trazione media del conglomerato cementizio ($f_{ctm} = 0,30 (f_{ck})^{2/3}$)	$f_{ctm} =$	2,565 N/mm ²
Resistenza a trazione allo stato di formazione delle fessure ($f_{ctk} = f_{ctm} \cdot 1,2$)	$f_{ctk} =$	2,137 N/mm ²
Per la combinazione di azioni prescelta si ha (sezione interamente reagente - sollecitazioni effettive): Tensione di trazione massima nel calcestruzzo	$\sigma_{cm} =$	3,781 N/mm ²

La sezione NON è verificata allo stato limite di formazione delle fessure

VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE

a) Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura ϵ_{psrm}

Modulo elastico del calcestruzzo	$E_c =$	31476 N/mm ²
Modulo elastico delle armature	$E_s =$	206000 N/mm ²
Tensione nell'armatura tesa in sezione fessurata	$\sigma_{st} =$	121,556 N/mm ²
Base della zona di calcestruzzo efficace entro cui le barre influenzano l'apertura delle fessure	$b_{eff} =$	23,000 cm
Altezza della zona di calcestruzzo efficace $[\min(2,5(h-d); (h-x)/3; h/2)]$	$h_{eff} =$	12,500 cm
Area della zona di calcestruzzo efficace entro cui le barre influenzano l'apertura delle fessure	$A_{c,eff} = b_{eff} \cdot h_{eff} =$	287,500 cm ²
Area della sezione di acciaio posta nell'area efficace A_s	$A_s =$	22,619 cm ²
Rapporto tra l'area della sezione di acciaio A_s e l'area di calcestruzzo efficace $A_{c,eff}$	$\rho_{s,eff} = A_s / A_{c,eff} =$	0,078676
Coefficiente per le condizioni di sollecitazione (0,6 azioni di breve durata, 0,4 azioni di lunga durata)	$k_t =$	0,6
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{psrm} =$	0,000446
Deformazione unitaria media dell'armatura (limite inferiore) ($\epsilon_{psr,lim} = 0,6 \sigma_{st} / E_s$)	$\epsilon_{psr,lim} =$	0,000354

b) Calcolo della distanza media tra le fessure D_{sm}

Distanza tra le barre ($int - fi$)	$s_1 =$	20,000 cm
Diametro equivalente delle barre tese	$f_i =$	24 mm
Ricoprimento netto dell'armatura ($Yf-fi/2$)	$c =$	3,800 cm
Distanza limite tra le barre da utilizzare nel calcolo ($s = 5 \cdot (c+fi/2)$)	$b =$	25,000 cm
Rapporto tra l'area della sezione di acciaio A_s e l'area di calcestruzzo efficace $A_{c,eff}$	$\rho_{s,eff} = A_s / A_{c,eff} =$	0,078676
Deformazione di trazione massima in sezione fessurata	$\epsilon_{ps1} =$	0,002922
Deformazione di trazione minima in sezione fessurata	$\epsilon_{ps2} =$	0,000000
Coefficiente di aderenza calcestruzzo alla barra (0,8 per barre ad aderenza migliorata, 1,6 per barre lisce)	$k_1 =$	0,800
Coefficiente di forma del diagramma delle deformazioni di trazione nella sezione fessurata	$k_2 =$	0,500
Coefficiente	$k_3 =$	3,400
Coefficiente	$k_4 =$	0,425
Distanza media tra le fessure	$D_{sm} =$	10,650 cm

c) Calcolo del valore caratteristico dell'apertura delle fessure w_k

Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{psrm} =$	0,000446
Distanza media tra le fessure	$D_{sm} =$	10,650 cm
Valore caratteristico dell'apertura delle fessure ($w_k = 1,7 \epsilon_{psrm} D_{sm}$)	$w_k =$	0,881 mm

e) Verifica

Considerando secondo Normativa :
 Condizioni ambiente: Ordinaria
 Combinazioni di azioni: Frequenti
 Tipo di armatura: Poco sensibile

Valore nominale caratteristico dell'apertura delle fessure per la combinazione d'azioni considerata $w_k =$ 0,400 mm

La sezione è verificata allo stato limite di apertura delle fessure

VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI FESSURAZIONE

TITOLO: GALLERIA NATURALE DOSSO-SEZIONE PSB_VERIFICA INCASTRO CALOTTA

Riferimento :
 Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018: "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».
 Circolare 21 gennaio 2019, n° 7: Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018.

DATI GENERALI

Tipo impronte acciaio Sensibilità armatura Condizioni ambientali Combinazione di azioni	Aderenza migliorata Poco sensibile Ordinaria Frequenti
--	---

VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI FORMAZIONE DELLE FESSURE

Resistenza caratteristica cilindrica del conglomerato cementizio	$f_{ck} =$	25,0 N/mm ²
Resistenza a trazione media del conglomerato cementizio ($f_{ctm} = 0,30 (f_{ck})^{2/3}$)	$f_{ctm} =$	2,565 N/mm ²
Resistenza a trazione allo stato di formazione delle fessure ($f_{ctk} = f_{ctm} \cdot 1,2$)	$f_{ctk} =$	2,137 N/mm ²
Per la combinazione di azioni prescelta si ha (sezione interamente reagente - sollecitazioni effettive): Tensione di trazione massima nel calcestruzzo	$\sigma_{cm} =$	3,811 N/mm ²

La sezione NON è verificata allo stato limite di formazione delle fessure

VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE

a) Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura ϵ_{psrm}

Modulo elastico del calcestruzzo	$E_c =$	31476 N/mm ²
Modulo elastico delle armature	$E_s =$	206000 N/mm ²
Tensione nell'armatura tesa in sezione fessurata	$\sigma_{st} =$	138,875 N/mm ²
Base della zona di calcestruzzo efficace entro cui le barre influenzano l'apertura delle fessure	$b_{eff} =$	23,000 cm
Altezza della zona di calcestruzzo efficace $[\min(2,5(h-d); (h-x)/3; h/2)]$	$h_{eff} =$	12,500 cm
Area della zona di calcestruzzo efficace entro cui le barre influenzano l'apertura delle fessure	$A_{c,eff} = b_{eff} \cdot h_{eff} =$	287,500 cm ²
Area della sezione di acciaio posta nell'area efficace A_s	$A_s =$	22,619 cm ²
Rapporto tra l'area della sezione di acciaio A_s e l'area di calcestruzzo efficace $A_{c,eff}$	$\rho_{s,eff} = A_s / A_{c,eff} =$	0,078676
Coefficiente per le condizioni di sollecitazione (0,6 azioni di breve durata, 0,4 azioni di lunga durata)	$k_t =$	0,6
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{psrm} =$	0,000530
Deformazione unitaria media dell'armatura (limite inferiore) ($\epsilon_{psr,lim} = 0,6 \sigma_{st} / E_s$)	$\epsilon_{psr,lim} =$	0,000404

b) Calcolo della distanza media tra le fessure D_{sm}

Distanza tra le barre ($int - fi$)	$s_1 =$	20,000 cm
Diametro equivalente delle barre tese	$f_i =$	24 mm
Ricoprimento netto dell'armatura ($Yf-fi/2$)	$c =$	3,800 cm
Distanza limite tra le barre da utilizzare nel calcolo ($s = 5 \cdot (c+fi/2)$)	$b =$	25,000 cm
Rapporto tra l'area della sezione di acciaio A_s e l'area di calcestruzzo efficace $A_{c,eff}$	$\rho_{s,eff} = A_s / A_{c,eff} =$	0,078676
Deformazione di trazione massima in sezione fessurata	$\epsilon_{ps1} =$	0,003188
Deformazione di trazione minima in sezione fessurata	$\epsilon_{ps2} =$	0,000000
Coefficiente di aderenza calcestruzzo alla barra (0,8 per barre ad aderenza migliorata, 1,6 per barre lisce)	$k_1 =$	0,800
Coefficiente di forma del diagramma delle deformazioni di trazione nella sezione fessurata	$k_2 =$	0,500
Coefficiente	$k_3 =$	3,400
Coefficiente	$k_4 =$	0,425
Distanza media tra le fessure	$D_{sm} =$	10,650 cm

c) Calcolo del valore caratteristico dell'apertura delle fessure w_k

Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{psrm} =$	0,000530
Distanza media tra le fessure	$D_{sm} =$	10,650 cm
Valore caratteristico dell'apertura delle fessure ($w_k = 1,7 \epsilon_{psrm} D_{sm}$)	$w_k =$	0,996 mm

e) Verifica

Considerando secondo Normativa :
 Condizioni ambiente: Ordinaria
 Combinazioni di azioni: Frequenti
 Tipo di armatura: Poco sensibile

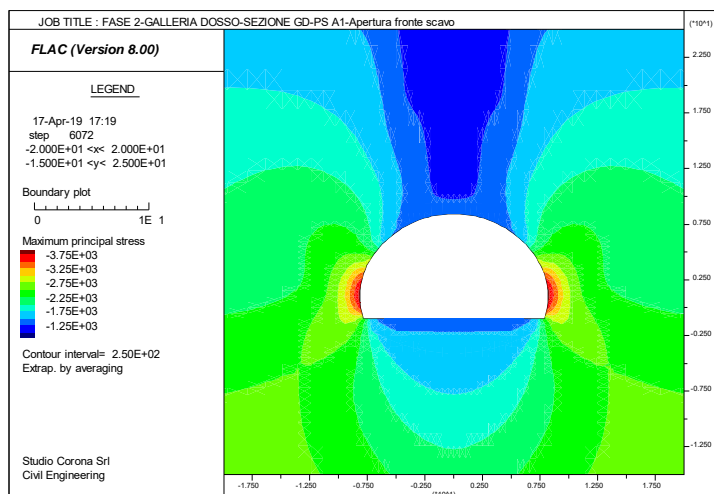
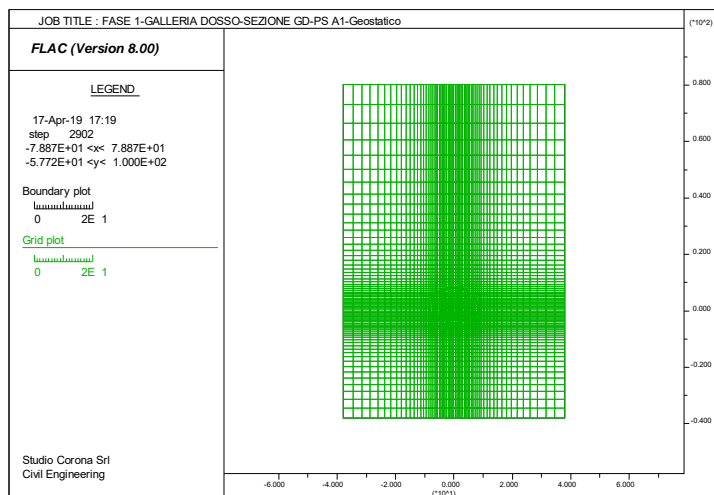
Valore nominale caratteristico dell'apertura delle fessure per la combinazione d'azioni considerata $w_k =$ 0,300 mm

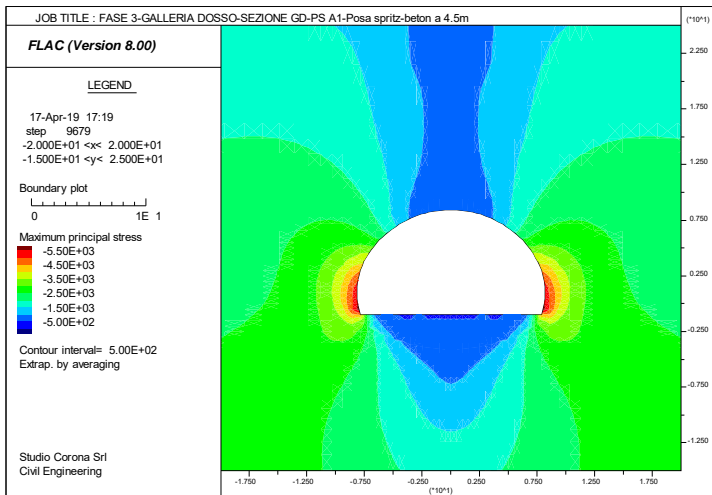
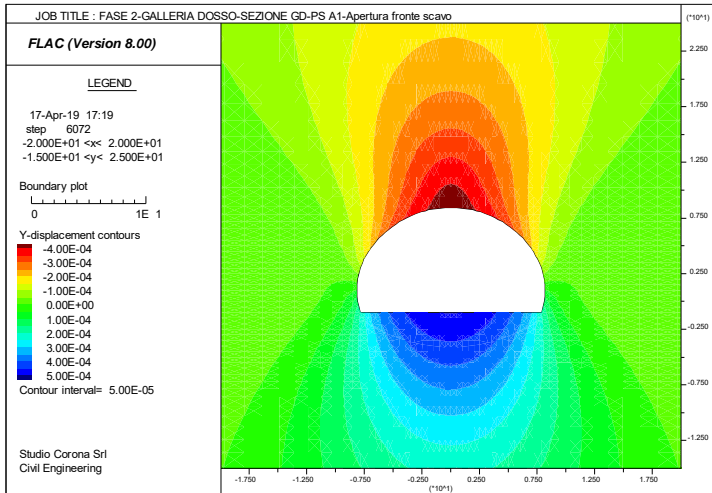
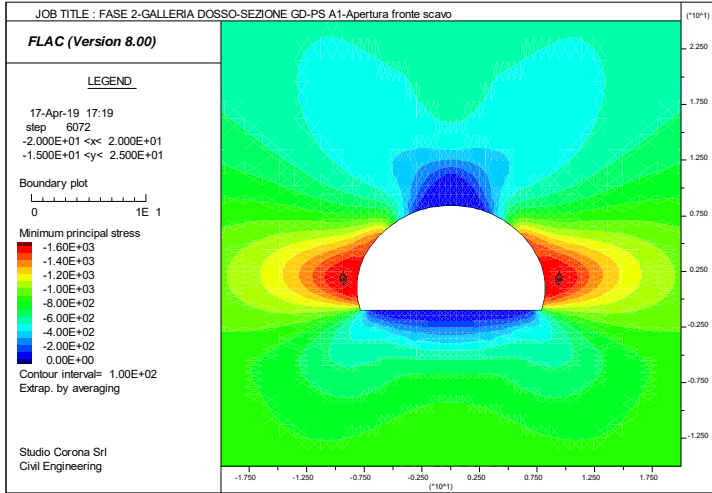
La sezione è verificata allo stato limite di apertura delle fessure

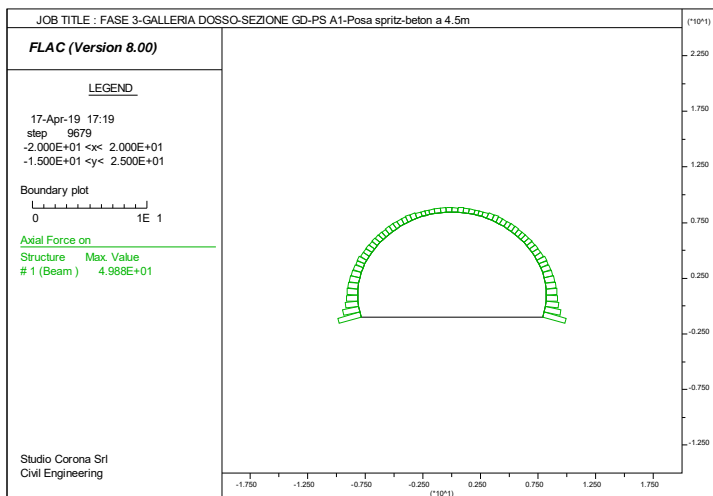
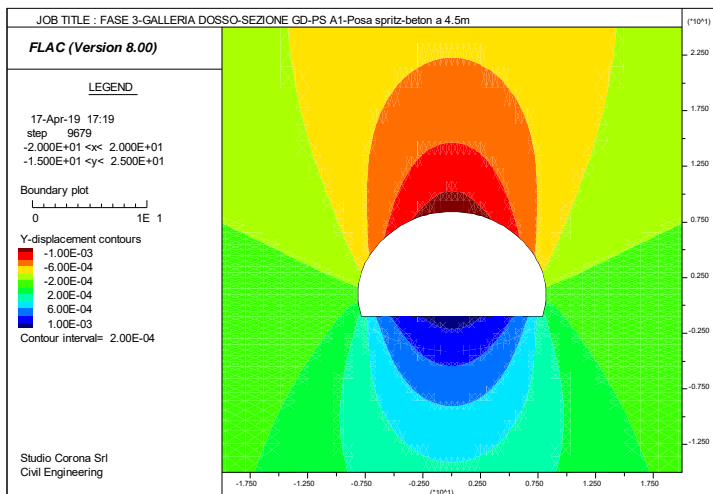
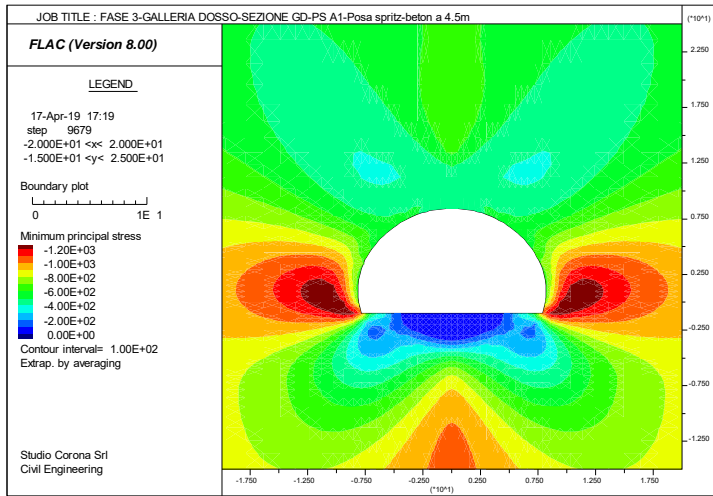
10 SEZIONE TIPO GD-PS-A1 – TENSIONI E DEFORMATE SUI RIVESTIMENTI PROVVISORI E DEFINITIVI

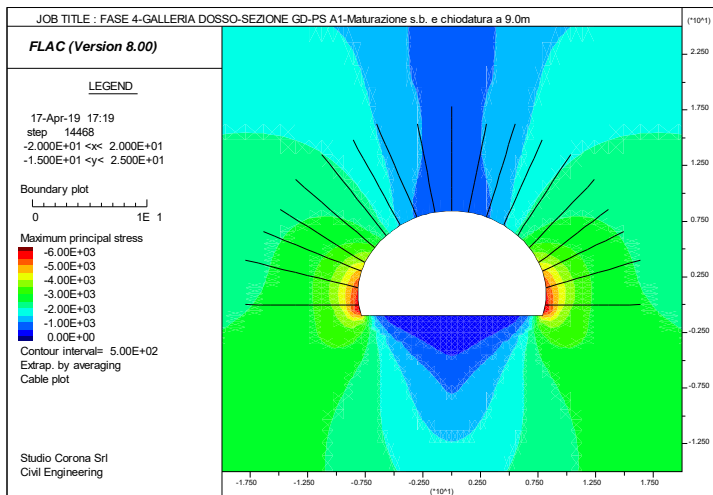
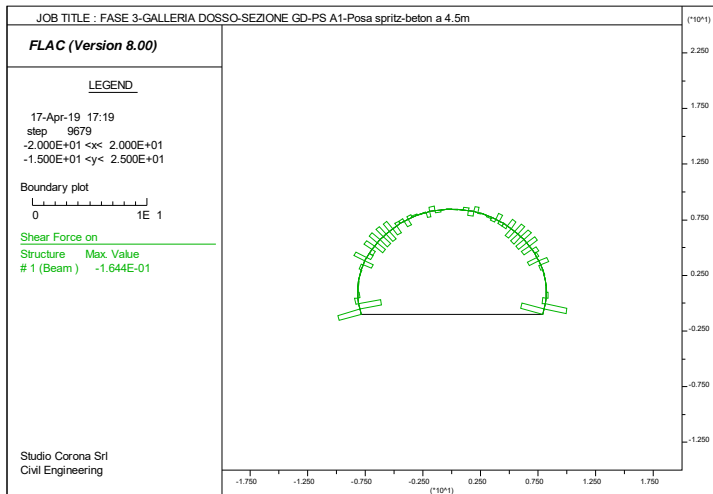
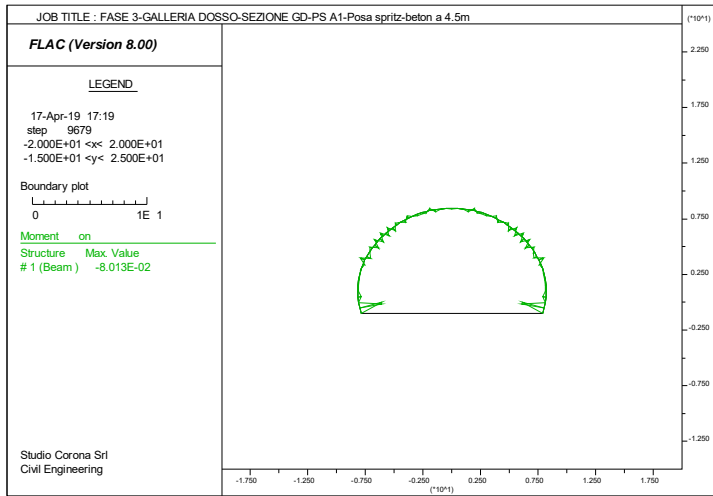
Si presentano i grafici rappresentativi per tutte le fasi di costruzione delle seguenti argomentazioni:

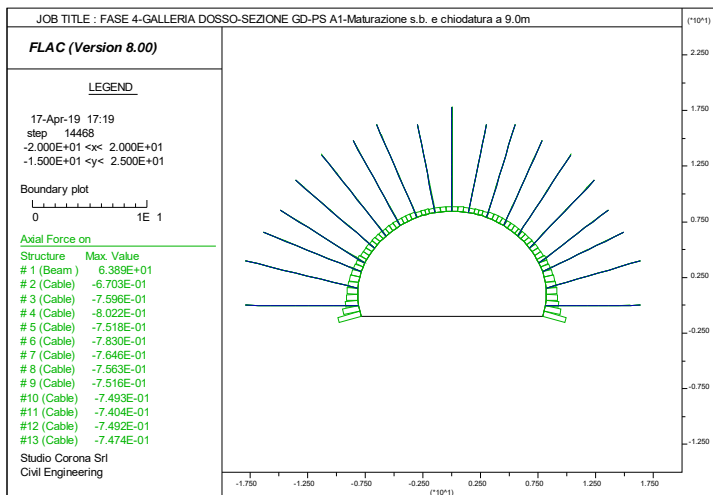
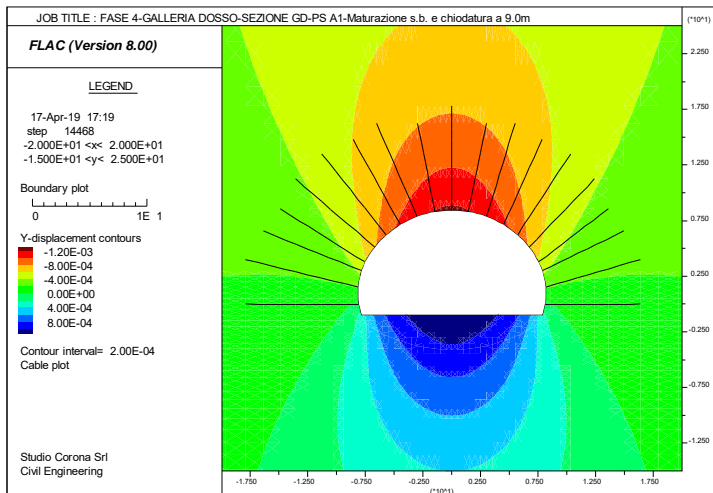
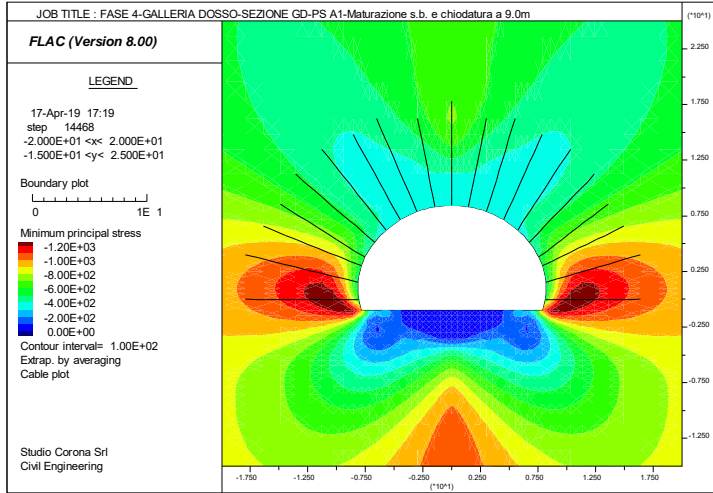
- Grigliato di calcolo;
- Tensione principale massima σ_1 nell'ammasso;
- Tensione principale minima σ_3 nell'ammasso;
- Spostamento verticale ydis nell'ammasso;
- Sollecitazioni sul rivestimento provvisorio e definitivo.

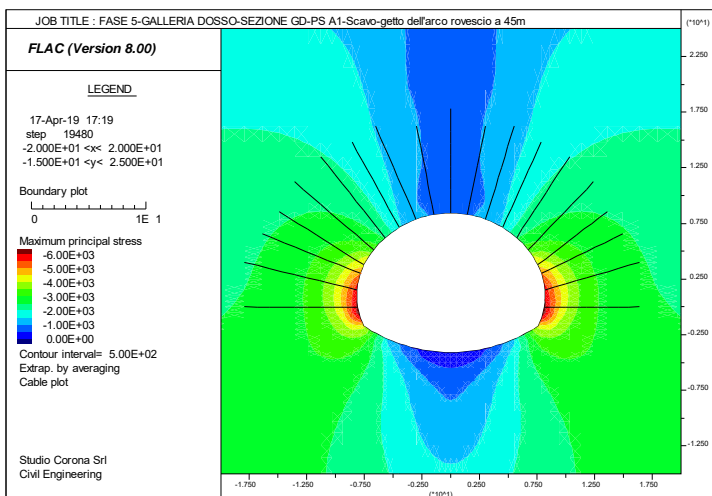
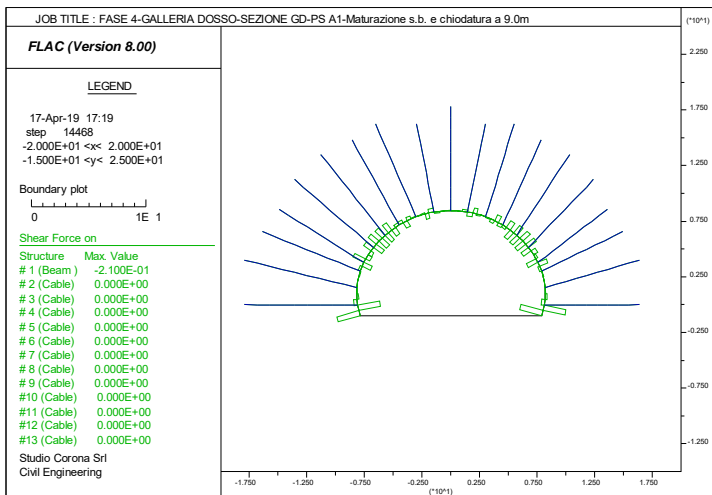
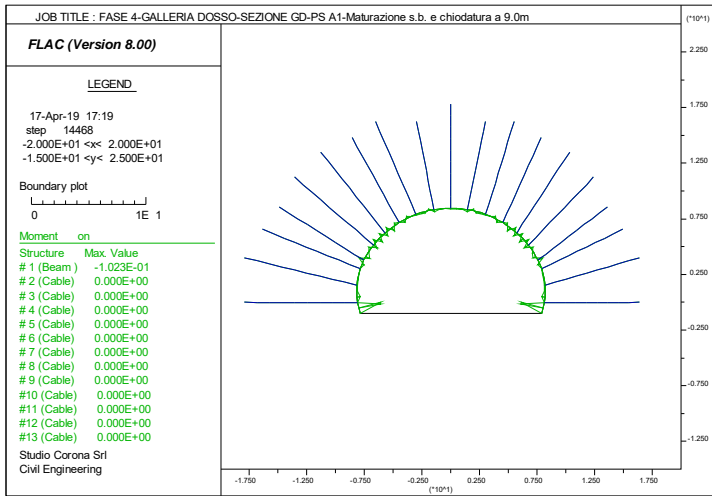


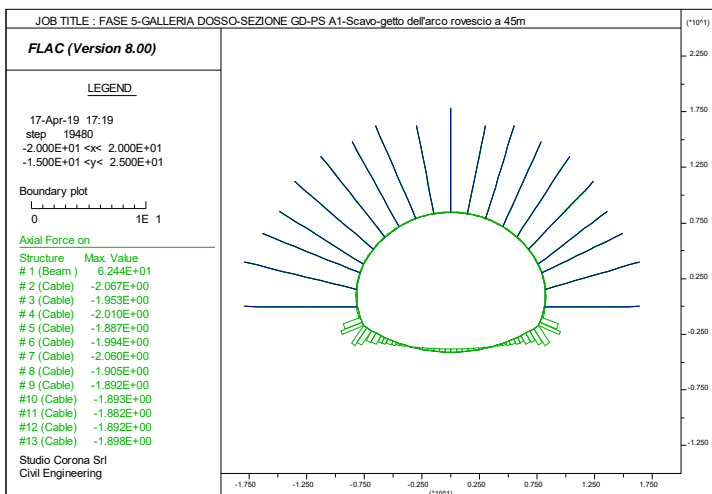
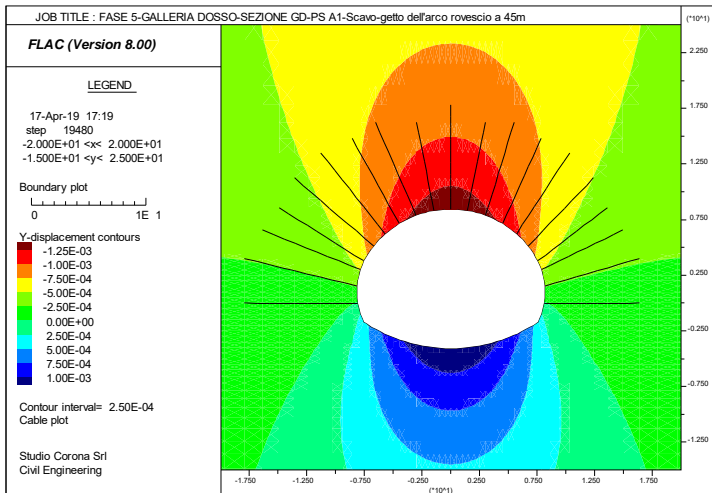
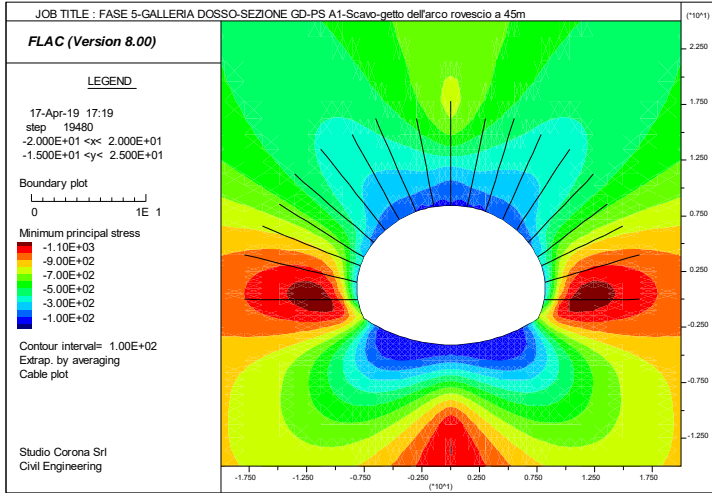


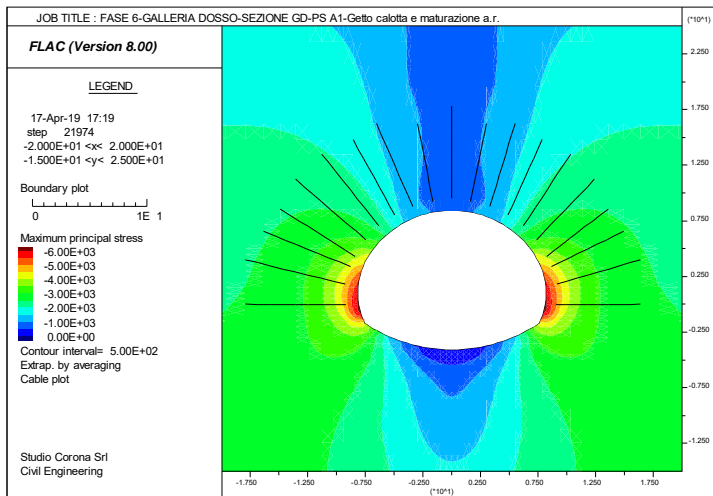
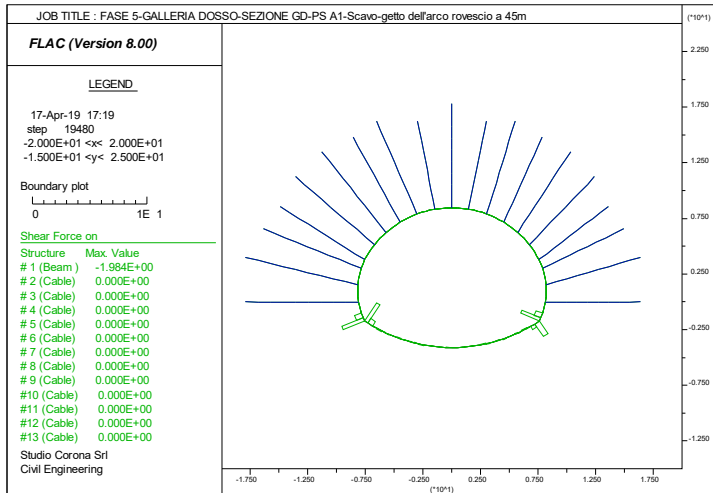
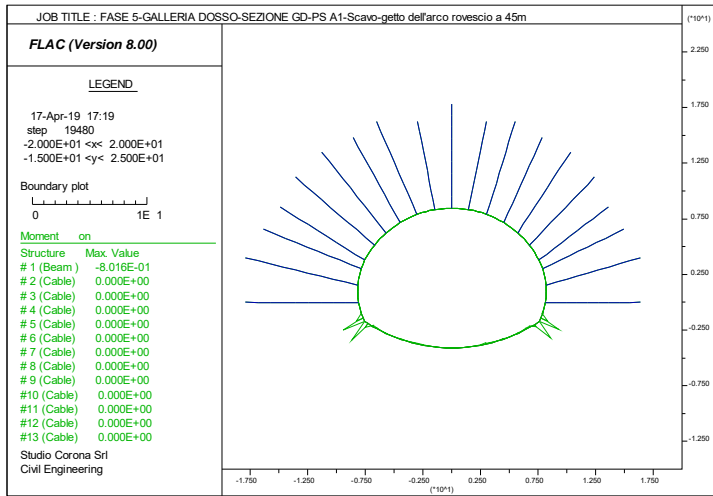


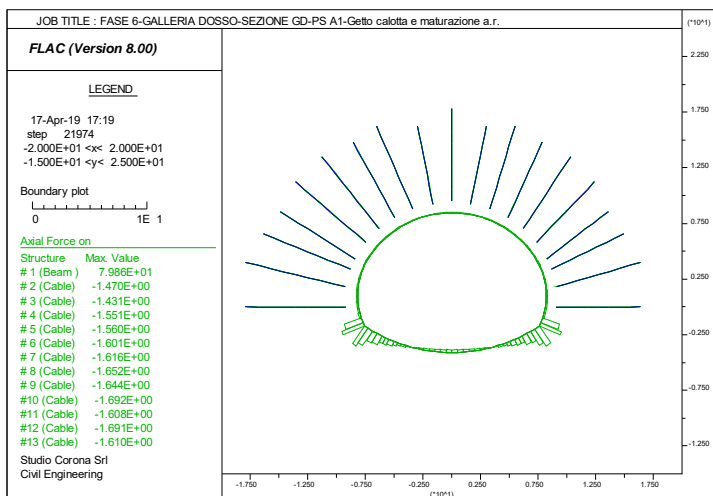
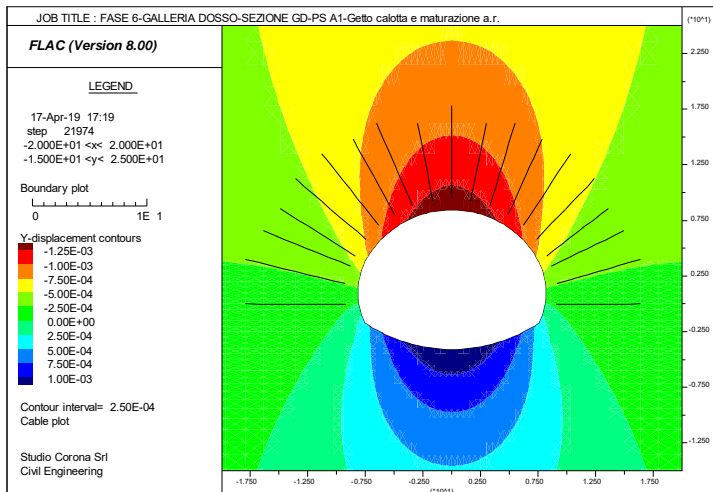
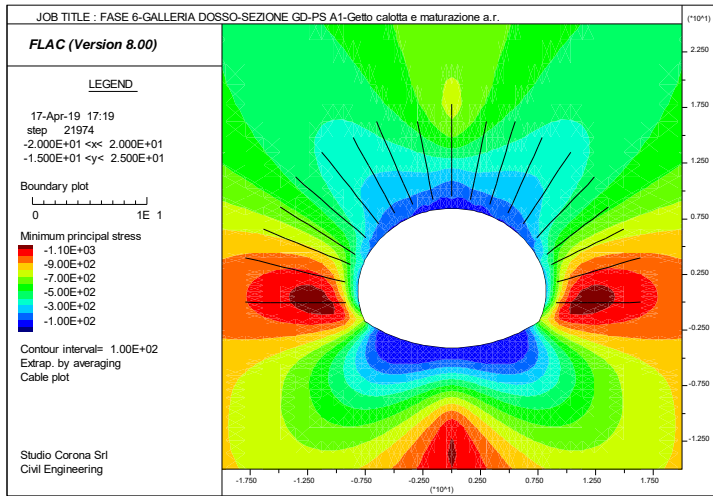


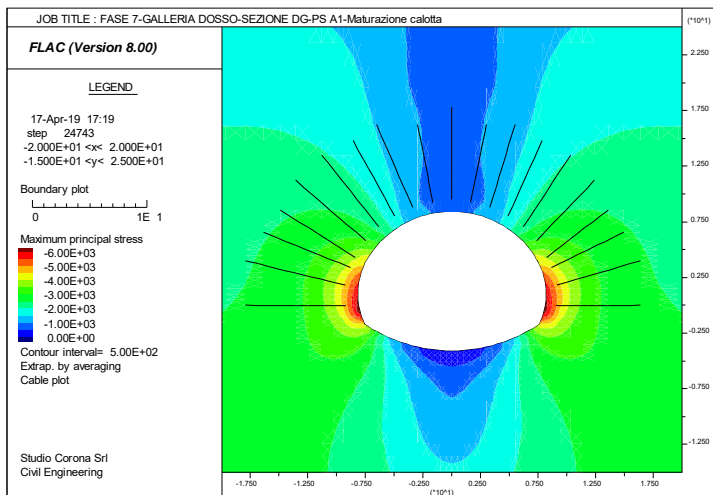
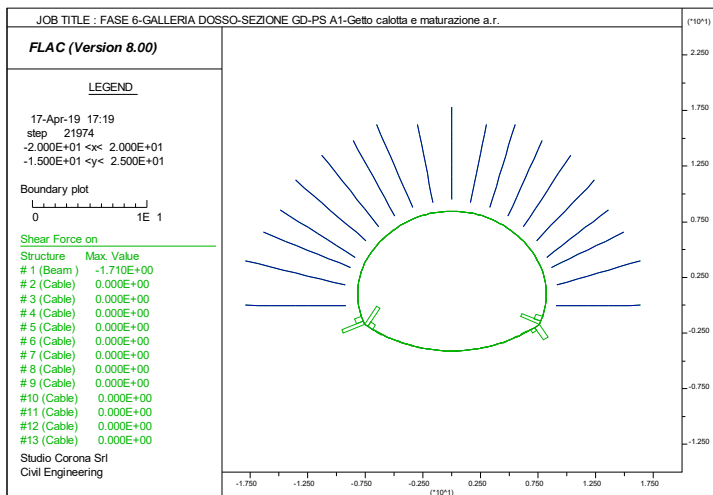
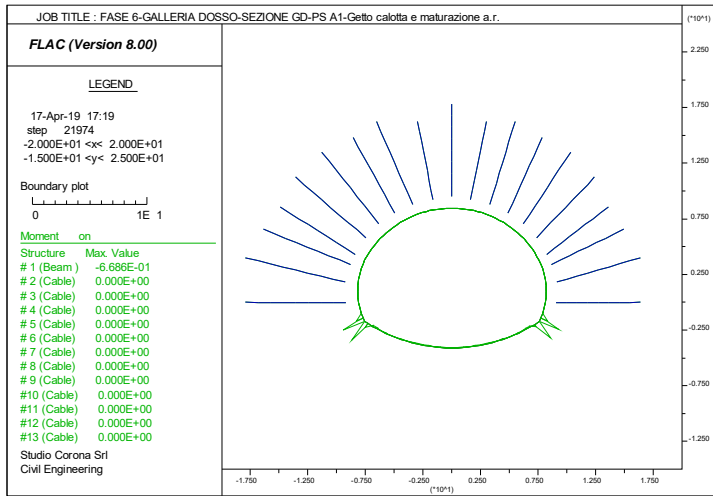


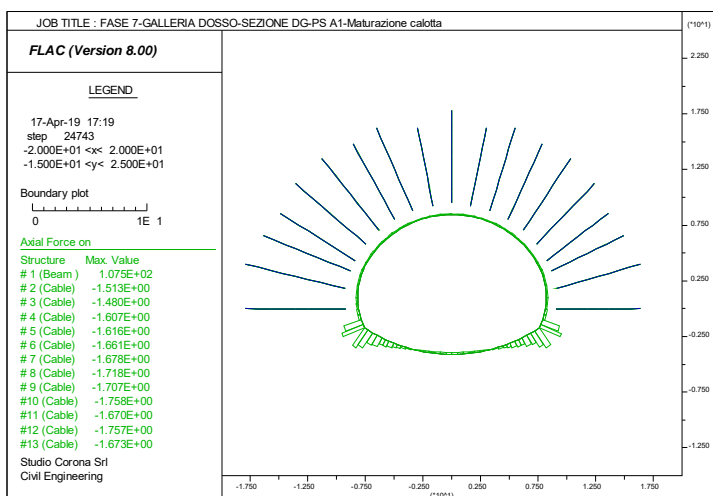
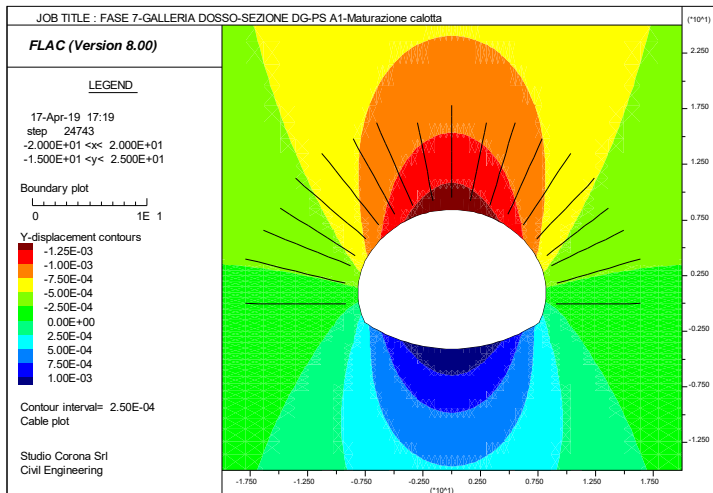
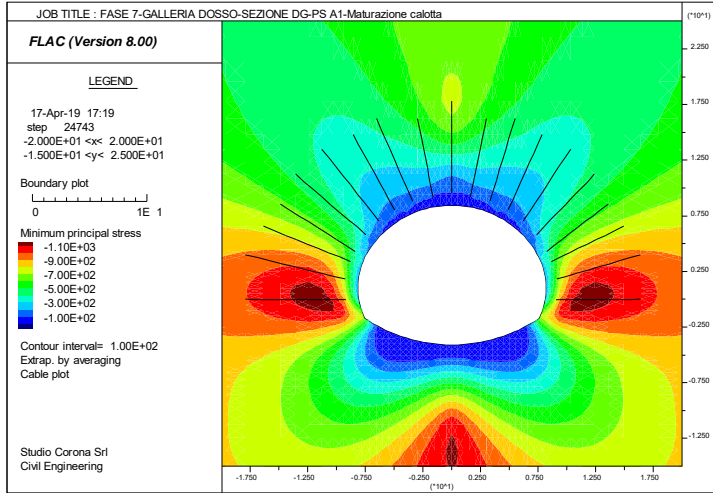


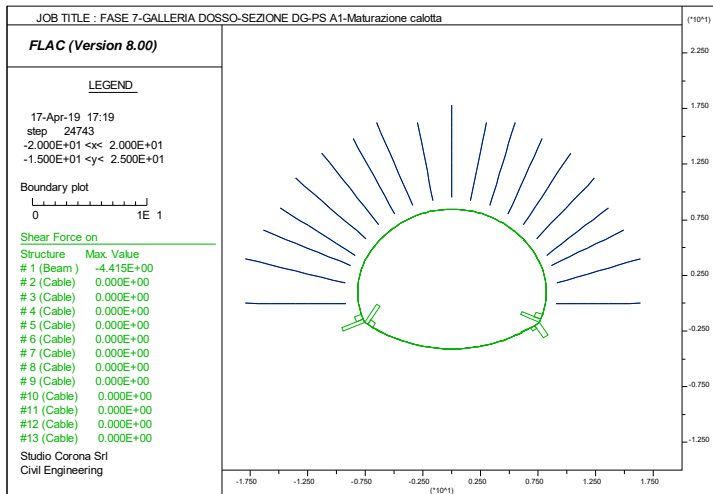
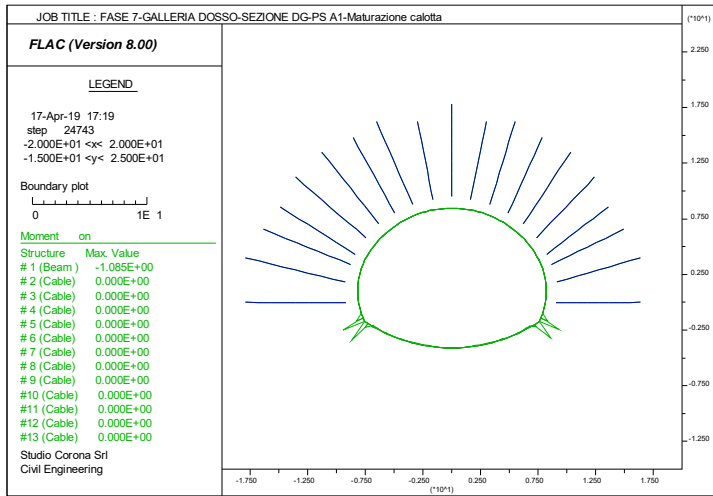












11 SEZIONE TIPO GD-PS-B – TENSIONI E DEFORMATE SUI RIVESTIMENTI PROVVISORI E DEFINITIVI

Si presentano i grafici rappresentativi per tutte le fasi di costruzione delle seguenti argomentazioni:

- Grigliato di calcolo;
- Tensione principale massima σ_1 nell'ammasso;
- Tensione principale minima σ_3 nell'ammasso;
- Spostamento verticale $ydis$ nell'ammasso;
- Sollecitazioni sul rivestimento provvisorio e definitivo.

