

AUTOSTRADA VALDASTICO

A31 NORD

1° LOTTO

Piovene Rocchette - Valle dell'Astico

PROGETTO DEFINITIVO

CUP	G21B1 30006 60005
WBS	B25.A31N.L1
COMMESSA	J16L1

COMMITTENTE



S.p.A. AUTOSTRADA BRESCIA VERONA VICENZA PADOVA
Area Costruzioni Autostradali

CAPO COMMESSA
PER LA PROGETTAZIONE
Dott. Ing. Gabriella Costantini

PRESTATORE DI SERVIZI:
CONSORZIO RAETIA



RAPPRESENTANTE: Dott. Ing. Alberto Scotti

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE
TRA LE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:
Technital S.p.A. - Dott. Ing. Andrea Renzo



PROGETTAZIONE:



ELABORATO: **OPERE D'ARTE MAGGIORI**
OPERE IN SOTTERRANEO
GALLERIA SANT'AGATA 2
GALLERIE ARTIFICIALI E PORTALI - RELAZIONE DI CALCOLO

Progressivo	Rev.
07 02 03 001	02

Rev.	Data	Descrizione	Redazione	Controllo	Approvazione	SCALA:
00	MARZO 2017	PRIMA EMISSIONE	TECHNITAL - S. ZUCCOTTO	C.PESCE	A.RENDO	-
01	GIUGNO 2017	REVISIONE PER VERIFICA	TECHNITAL - S. ZUCCOTTO	C.PESCE	A.RENDO	NOME FILE: J16L1_07_02_03_001_0102_OPD_02.dwg
02	LUGLIO 2017	RECEPIMENTO OSSERVAZIONI	TECHNITAL - S. ZUCCOTTO	C.PESCE	A.RENDO	CM. PROGR. FG. LV. REV. J16L1_07_02_03_001_0102_OPD_02

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO
PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

Committente:



Progettazione:

CONSORZIO RAETIA



PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE TECNICA

Opere in sotterraneo

Galleria Sant'Agata 2

Gallerie artificiali – Relazione di calcolo

INDICE

1	INTRODUZIONE	6
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	9
3	SOFTWARE UTILIZZATI	10
	3.1 SAP2000 v 18.2.0	10
	3.1 RAF 10.0	10
4	PARAMETRI GEOTECNICI	11
5	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	12
6	MODELLO DI CARICO	13
7	DEFINIZIONE DEI CARICHI AGENTI	16
	7.1 Carichi permanenti (g1+g2)	16
	7.1 Spinta statica del terreno (g3)	16
	7.1 Sovraccarico mobile e sovraccarico laterale (q1 +qlat)	16
	7.1 Azione sismica (sis)	16
	7.1 Incremento dinamico di spinta del terreno (sis terr)	19
8	COMBINAZIONI DEI CARICHI	21
9	SOLLECITAZIONI IMBOCCO NORD	23
	9.1 Inviluppo SLU	23
	9.2 Inviluppo RARE	25
	9.3 Inviluppo FR	27
	9.4 Inviluppo QP	29
	9.5 Inviluppo SIS	31
10	SOLLECITAZIONI IMBOCCO SUD	33
	10.1 Inviluppo SLU	33
	10.1 Inviluppo RARE	35
	10.2 Inviluppo FR	37
	10.3 Inviluppo QP	39
	10.4 Inviluppo SIS	41
11	VERIFICHE SLU IMBOCCO NORD	43
	11.1 Calotta	43
	11.1.1 Pressoflessione	43
	11.1.2 Taglio	44

11.2 Piedritto	45
11.2.1 <i>Pressoflessione</i>	45
11.2.2 <i>Taglio</i>	49
11.3 Arco rovescio	50
11.3.1 <i>Pressoflessione</i>	50
11.3.2 <i>Taglio</i>	52
12 VERIFICHE SLE IMBOCCO NORD	53
12.1 Verifiche a fessurazione	53
12.1.1 <i>Calotta</i>	53
12.1.2 <i>Piedritto</i>	55
12.1.3 <i>Arco rovescio</i>	61
12.1 Verifiche tensionali	63
12.1.1 <i>Calotta</i>	63
12.1.2 <i>Piedritto</i>	63
12.1.3 <i>Arco rovescio</i>	64
13 VERIFICHE SLU IMBOCCO SUD	65
13.1 Calotta	65
13.1.1 <i>Pressoflessione</i>	65
13.1.2 <i>Taglio</i>	66
13.2 Piedritto	67
13.2.1 <i>Pressoflessione</i>	67
13.2.2 <i>Taglio</i>	70
13.3 Arco rovescio	71
13.3.1 <i>Pressoflessione</i>	71
13.3.2 <i>Taglio</i>	73
14 VERIFICHE SLE IMBOCCO SUD	74
14.1 Verifiche a fessurazione	74
14.1.1 <i>Calotta</i>	74
14.1.2 <i>Piedritto</i>	76
14.1.3 <i>Arco rovescio</i>	80
14.2 Verifiche tensionali	82
14.2.1 <i>Calotta</i>	82
14.2.2 <i>Piedritto</i>	82
14.2.3 <i>Arco rovescio</i>	83
15 VERIFICA AL FUOCO	84
15.1 Schematizzazione del problema	85
15.2 Proprietà termiche dei materiali	88
15.3 Output del programma	92

15.4	Verifica strutturale	94
16	AFFIDABILITA' DEI CODICI DI CALCOLO E ACCETTABILITA' DEI RISULTATI	96

Indice delle figure

Figura 1	- Planimetria imbocco Nord	6
Figura 2	- Sezione imbocco Nord	7
Figura 3	- Planimetria imbocco Sud	7
Figura 4	- Sezione imbocco Sud	8
Figura 5	- Visualizzazione 2D del modello FEM	14
Figura 6	- Numerazione degli elementi "frame" del modello FEM	15
Figura 7	- Momento flettente	23
Figura 8	- Sforzo normale	23
Figura 9	- Sforzo di taglio	24
Figura 10	- Momento flettente	25
Figura 11	- Sforzo normale	25
Figura 12	- Sforzo di taglio	26
Figura 13	- Momento flettente	27
Figura 14	- Sforzo normale	27
Figura 15	- Sforzo di taglio	28
Figura 16	- Momento flettente	29
Figura 17	- Sforzo normale	29
Figura 18	- Sforzo di taglio	30
Figura 19	- Momento flettente	31
Figura 20	- Sforzo normale	31
Figura 21	- Sforzo di taglio	32
Figura 22	- Momento flettente	33
Figura 23	- Sforzo normale	33
Figura 24	- Sforzo di taglio	34
Figura 25	- Momento flettente	35
Figura 26	- Sforzo normale	35
Figura 27	- Sforzo di taglio	36
Figura 28	- Momento flettente	37
Figura 29	- Sforzo normale	37
Figura 30	- Sforzo di taglio	38

Figura 31 - Momento flettente	39
Figura 32 - Sforzo normale.....	39
Figura 33 - Sforzo di taglio	40
Figura 34 - Momento flettente	41
Figura 35 - Sforzo normale.....	41
Figura 36 - Sforzo di taglio	42
Figura 37 – Sezione di calcolo – Imbocco Sud	86
Figura 38 – Sezione di calcolo – Imbocco Nord.....	87
Figura 39 – Mesh di calcolo – Imbocco Sud.....	87
Figura 40 – Mesh di calcolo – Imbocco Nord	88
Figura 41 – Conduttività termica del calcestruzzo (EN 1992-1-2 p.3.4 – fig.3.7)	89
Figura 42 – Calore specifico per il calcestruzzo (EN 1992-1-2 p.3.3.2 – fig.3.6a)	89
Figura 43 –Fattore di riduzione del valore di resistenza f_{ck} per il calcestruzzo (EN 1992-1-2 p.4.2.4.2 – fig.4.1)	90
Figura 44 –Fattore di riduzione del valore di ϵ_{c1} per il calcestruzzo (EN 1992-1-2 p.3.2.2.1 – tab.3.1).....	90
Figura 45 – Fattore di riduzione del valore di ϵ_{cu} per il calcestruzzo (EN 1992-1-2 p.3.2.2.1 – tab.3.1).....	91
Figura 46 – Fattore di riduzione del valore di resistenza f_{yk} per le barre d’armatura (EN 1992-1-2 p.4.2.4.3 – fig.4.2a)	91
Figura 47 – Fattore di riduzione del valore del modulo elastico per le barre d’armatura (EN 1992-1-2 p.3.2.3 – tab.3.2.a).....	92
Figura 48 – Analisi termica – Imbocco Sud.....	93
Figura 49 – Analisi termica – Imbocco Nord	94
Figura 50 – Momento flettente	96
Figura 51 – Sforzo normale.....	97
Figura 52 – Sforzo di taglio	97

1 INTRODUZIONE

Oggetto della presente relazione di calcolo è la verifica degli imbocchi della galleria “Sant’Agata 2” previsti nell’ambito del Progetto Definitivo dell’Autostrada A31 Trento Rovigo – Tronco Trento - Valdastico – Piovene Rocchette.

La sezione trasversale in c.a. presenta uno spessore di 1.0m in calotta e nell’arco rovescio, mentre sui piedritti lo spessore varia da 1.0m a 1.5m.

La sagoma interna può contenere una carreggiata di 11.25m.

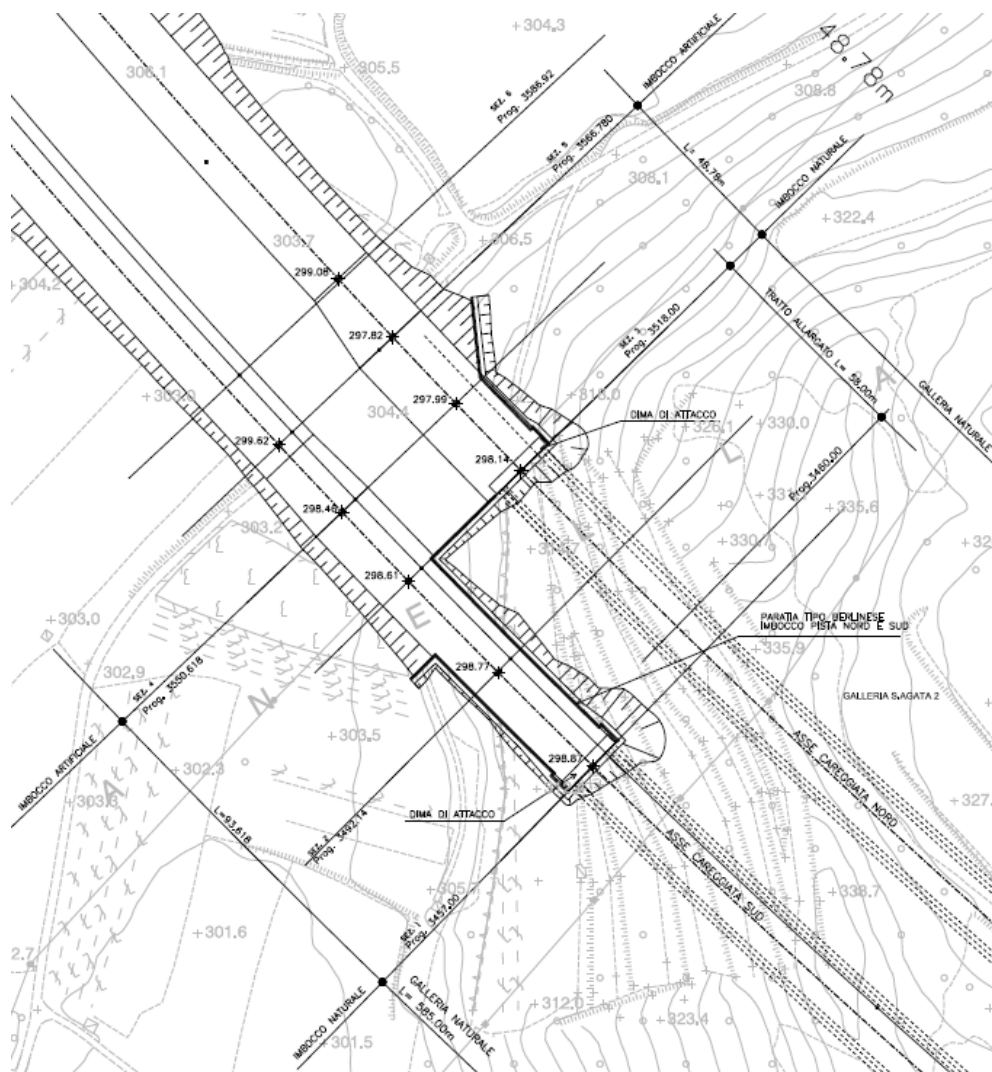


Figura 1 - Planimetria imbocco Nord

Prog.3492.14 (asse Sud)

Prog.3485.00 (asse Nord)

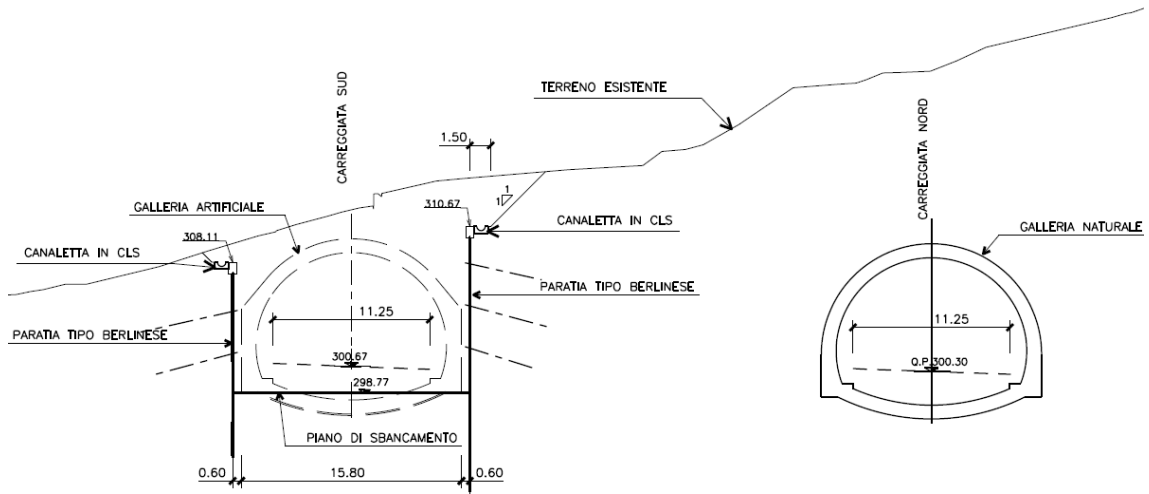


Figura 2 - Sezione imbocco Nord

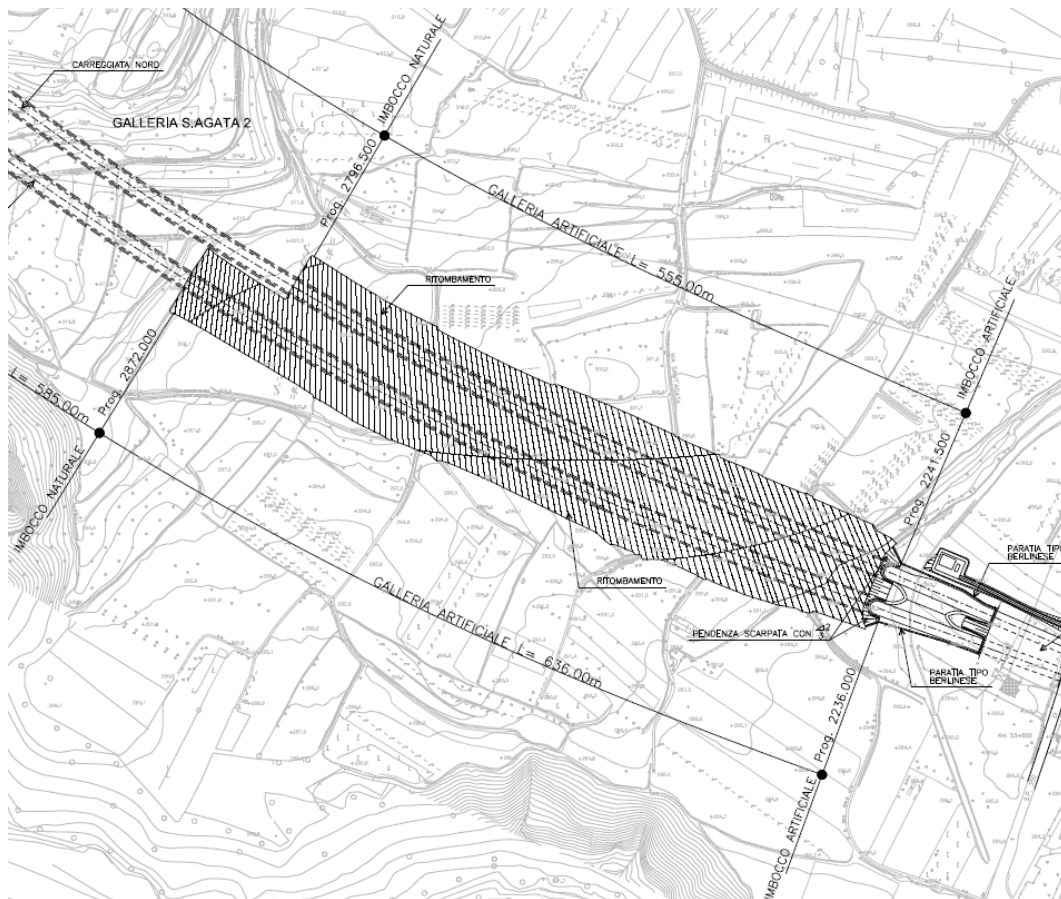


Figura 3 - Planimetria imbocco Sud

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

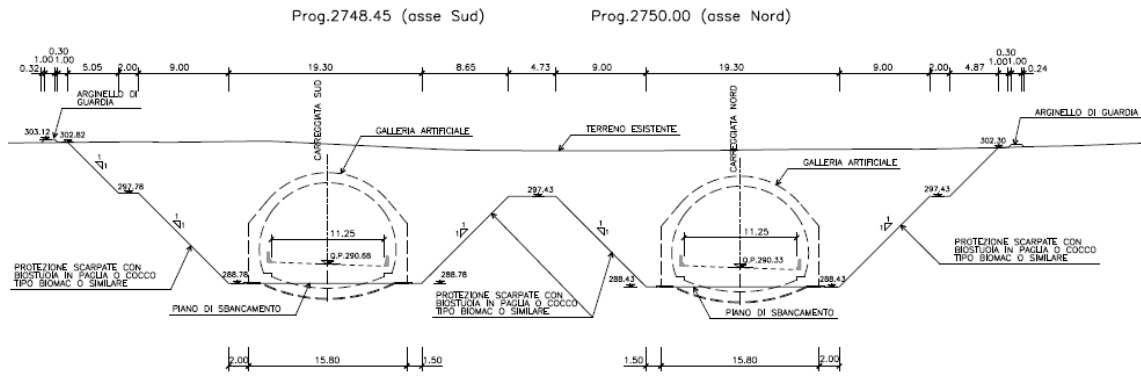


Figura 4 - Sezione imbocco Sud

Nel seguito si forniscono le caratteristiche meccaniche dei materiali e si riportano i risultati delle verifiche statiche condotte.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le verifiche statiche degli interventi, la redazione della presente relazione e degli elaborati tecnici sono state effettuate nel rispetto della Normativa in vigore e di alcune Raccomandazioni.

I principali riferimenti normativi sono i seguenti:

- D.M. 14/01/2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni” (pubblicato sulla G.U. n.29 –
- Suppl. Ordinario n.30 – del 4 febbraio 2008);
- EC2_UNI-ENV-1992: “Progettazione Strutture in c.a.”;
- EC3_UNI-ENV-1993: “Progettazione delle strutture in acciaio”;
- EC7_UNI-ENV-1997: “Progettazione geotecnica”;
- EC8_UNI-ENV-1998: “Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture”;
- Circolare 617 – 2/2/2009.

3 SOFTWARE UTILIZZATI

Nella presente relazione di calcolo si è fatto uso dei seguenti codici di calcolo:

- SAP2000 v 18.2.0 Programma di calcolo agli elementi finiti

3.1 SAP2000 v 18.2.0

Codice di calcolo strutturale agli elementi finiti commercializzato dalla CSI Italia Srl e realizzato dall’università di Berkeley negli USA. Consente il calcolo di strutture spaziali composte da elementi mono-, bi- e/o tri-dimensionali anche con non linearità di materiale o con effetti dinamici.

3.1 RAF 10.0

Il programma RAF 10.0 prodotto dalla Aztec Informatica © è stato impiegato per calcolare la resistenza al fuoco degli elementi in c.a. in quanto permette di analizzare l’effetto di una curva d’incendio agente sui lati di una generica sezione. La diffusione del calore all’interno della sezione è valutata attraverso un’analisi non lineare agli elementi finiti: durante una prima fase il programma valuta la distribuzione del calore per differenti step temporali definiti dall’utente. Successivamente RAF 10.0 valuta la resistenza della sezione nei vari intervalli di tempo considerando la riduzione delle proprietà meccaniche dei materiali. In questo modo è possibile calcolare la riduzione del dominio di resistenza M-N. È possibile utilizzare sia le curve d’incendio proposte dall’Eurocodice che curve definite per punti dall’utente. Allo stesso modo è possibile impiegare curve differenti per quanto riguarda il decadimento delle proprietà meccaniche dei materiali, il calore specifico e la conduttività dei materiali in funzione della temperatura. In output viene mostrata la distribuzione della temperatura per ogni intervallo temporale. Il programma valuta il dominio di resistenza ultimo stimando il fattore di sicurezza rispetto alle azioni di calcolo imposte per la sezione di calcolo.

4 PARAMETRI GEOTECNICI

Il dimensionamento delle opere è stato eseguito considerando un terreno di ritombamento avente le seguenti caratteristiche:

- peso di volume $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- angolo di attrito $\phi = 35^\circ$
- coesione $c = 0 \text{ kN/m}^2$

Per il terreno di fondazione e per il terreno non rimaneggiato si sono assunte le seguenti proprietà meccaniche:

- peso di volume $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- angolo di attrito $\phi = 40^\circ$
- coesione $c = 0 \text{ kN/m}^2$

Il peso specifico del terreno di ritombamento è stato preso uguale al peso specifico del terreno in loco a favore di sicurezza.

5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

- Calcestruzzo C28/35
Classe di esposizione XC2/XC3 (condizione ambientale ordinaria)
XD1/XF2 nella calotta e nei piedritti nei soli primi 100m dall'imbocco (condizione ambientale aggressiva)
Resistenza a compressione $f_{ck} = 29.05$ MPa
Resistenza di progetto $f_{cd} = 16.46$ MPa
- Acciaio per armatura ordinaria B450C
Tensione di rottura $f_{tk} = 540$ MPa
Tensione di snervamento $f_{yk} = 450$ MPa
Resistenza di progetto $f_{yd} = 391$ MPa

In accordo con le NTC, i coefficienti di sicurezza parziali dei materiali sono posti pari a:

- $\gamma_c = 1,50$ per il calcestruzzo
- $\gamma_s = 1,15$ per l'acciaio

6 MODELLO DI CARICO

La struttura è stata schematizzata mediante elementi "frame", con supporti elastici nei nodi della soletta inferiore; il manufatto è stato studiato per metro di lunghezza.

Tutti gli elementi delle sezioni arco rovescio e calotta hanno altezza costante pari a 1.0 m, mentre il piedritto ha una sezione variabile da 1.0m a 1.50m

Il terreno di fondazione è stato simulato mediante molle elastiche concentrate nei nodi della soletta inferiore e della base dei piedritti, assumendo per la costante di sottofondo il valore:

$$K_w = 40.000 \text{ kN/m}^3.$$

Il terreno in prossimità degli imbocchi è di tipo granulare in matrice limosa, localmente debolmente cementato, costituito da ghiaie e sabbie limose con frammenti litoidi il cui modulo elastico è pari a $E=150\text{MPa}$. A fronte di questi dati è stato scelto un valore di K_w compreso nel range $24.000\text{-}48.000 \text{ kN/m}^3$ (sabbia limosa mediamente compatta) come riporta la tabella presa dal libro Bowles.

Terreno	Minimo (Kg/cm ³)	Massimo (Kg/cm ³)
Sabbia sciolta	0.48	1.60
Sabbia mediamente compatta	0.96	8.00
Sabbia compatta	6.40	12.80
Sabbia argillosa mediamente compatta	2.40	4.80
Sabbia limosa mediamente compatta	2.40	4.80
Sabbia e ghiaia compatta	10.00	30.00
Terreno argilloso con $q_u < 2 \text{ Kg/cm}^2$	1.20	2.40
Terreno argilloso con $2 < q_u < 4 \text{ Kg/cm}^2$	2.20	4.80
Terreno argilloso con $q_u > 4 \text{ Kg/cm}^2$	>4.80	

Negli stessi nodi sono state introdotte anche molle orizzontali con costante elastica di valore 1/10 di quella verticale per simulare il vincolo orizzontale offerto dal terreno di fondazione.

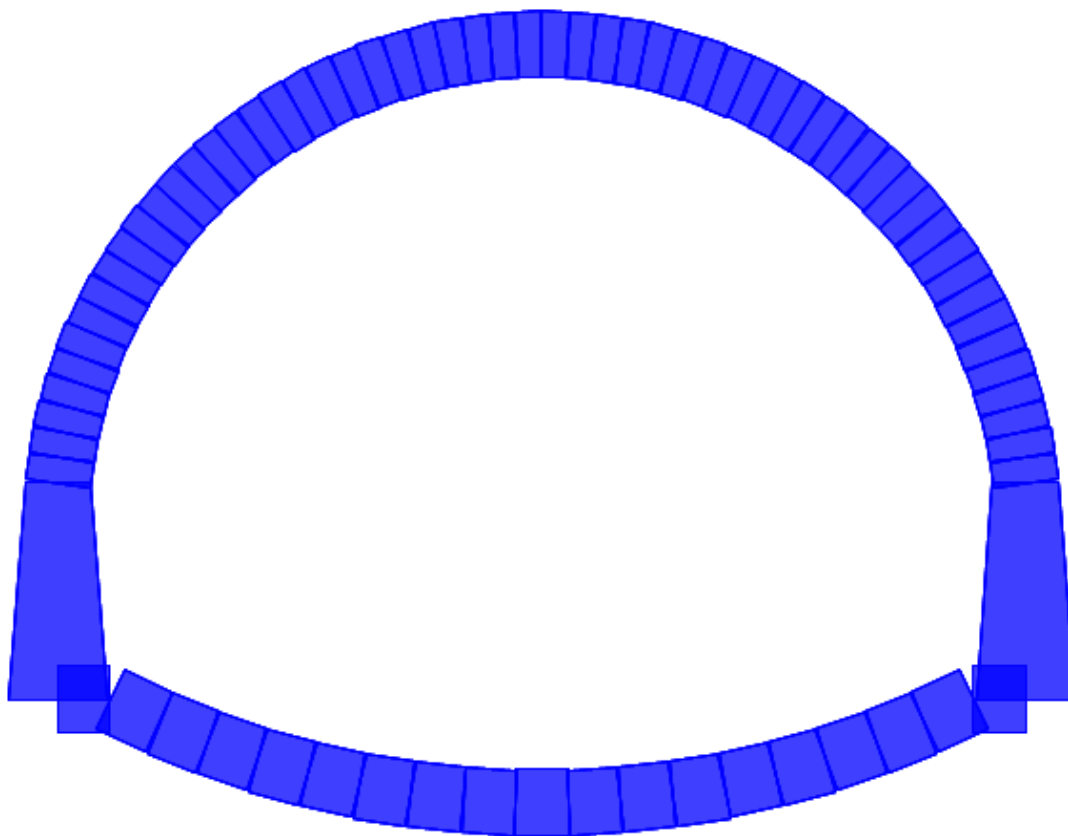


Figura 5 - Visualizzazione 2D del modello FEM

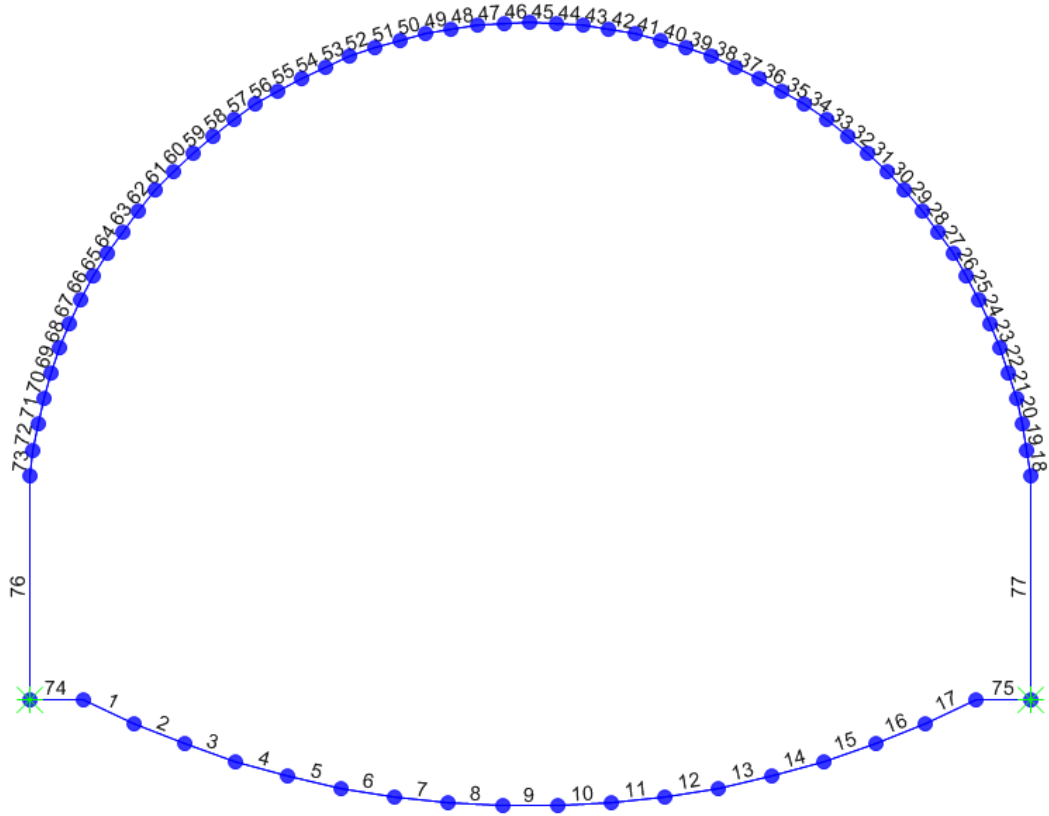


Figura 6 - Numerazione degli elementi "frame" del modello FEM

7 DEFINIZIONE DEI CARICHI AGENTI

Di seguito si descrivono i carichi utilizzati per le verifiche degli imbocchi Nord e Sud della galleria Sant'Agata 2.

Per l'imbocco Nord si sono analizzate due condizioni per ogni carico elementare ipotizzando la galleria caricata in modo simmetrico e in modo asimmetrico e senza il contributo delle paratie provvisorie.

Per l'imbocco Sud, invece, i carichi permanenti sono stati considerati simmetrici, mentre i carichi variabili sono stati previsti sia nella condizione simmetrica che asimmetrica.

7.1 Carichi permanenti (g_1+g_2)

Si assume per il calcestruzzo un peso specifico $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$.

Per il terreno di ritombamento si considera un peso specifico pari a $\gamma_p = 20 \text{ kN/m}^3$.

7.1 Spinta statica del terreno (g_3)

Si considera sulle pareti laterali la spinta a riposo del terreno. Il coefficiente di spinta applicato vale:

$$K_0 = 1 - \sin \phi' = 1 - \sin 35^\circ = 0.426$$

7.1 Sovraccarico mobile e sovraccarico laterale ($q_1 + q_{lat}$)

Sopra la galleria si considera un sovraccarico mobile pari a 10 kN/m^2 .

Lateralmente alla galleria si considera un sovraccarico d'esercizio pari a $q_{lat} = K_0 \times q = 0.426 \times 10 = 4.26 \text{ kN/m}^2$

Si ipotizzano due condizioni di carico: simmetrico e asimmetrico.

7.1 Azione sismica (sis)

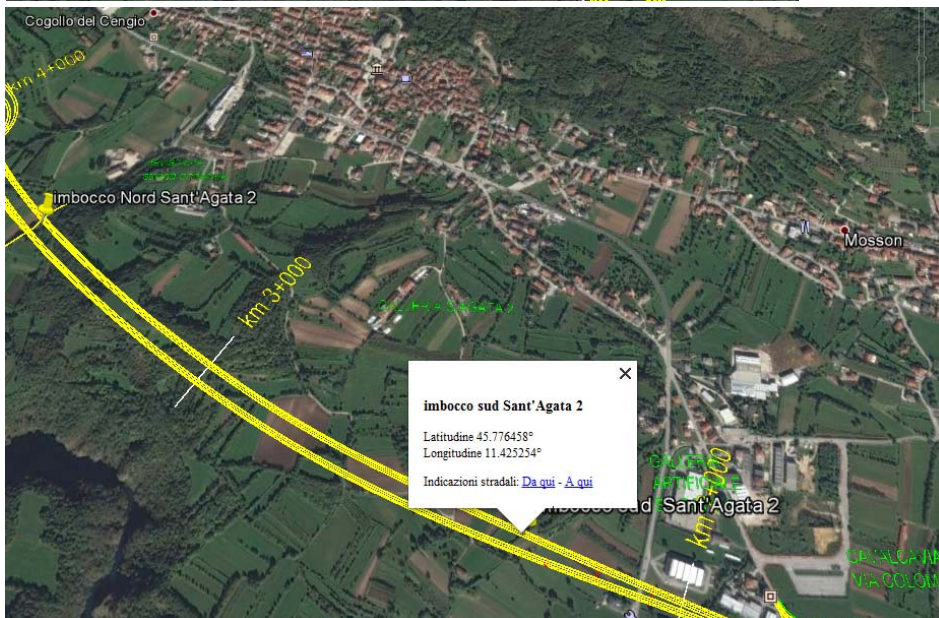
L'azione del sisma è stata valutata considerando l'incremento di spinta del terreno e le forze inerziali.

Il valore di k_h è stato definito in accordo al DM2008, determinando i seguenti valori:

- Vita nominale = $V_N = 100$ anni (opera definitiva);
- Classe d'uso = $c_u = 2$ (classe IV);
- Periodo di riferimento = $V_R = \max(V_{N_{c_u}}; 35) = 200$;

- Probabilità di superamento = PVR = 10%;
- Tempo di ritorno = TR = 1898 anni.

I valori dell'accelerazione per gli imbocco Nord e Sud sono calcolati in base alle coordinate riportate di seguito.



Di seguito si riportano i parametri sismici per i due imbocchi:

NORD					SUD				
Stato Limite	T_r [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]	Stato Limite	T_r [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	120	0.085	2.432	0.273	Operatività (SLO)	120	0.086	2.422	0.274
Danno (SLD)	201	0.108	2.391	0.281	Danno (SLD)	201	0.110	2.381	0.283
Salvaguardia Vita (SLV)	1898	0.249	2.411	0.295	Salvaguardia Vita (SLV)	1898	0.252	2.406	0.297
Prevenzione Collasso (SLC)	2475	0.273	2.395	0.298	Prevenzione Collasso (SLC)	2475	0.276	2.392	0.300

Per lo studio dell'azione sismica sulla struttura si è sono assunti gli stessi parametri sismici per entrambi gli imbocchi assumendo i valori peggiori:

- $a_g = 0.252 \text{ g}$
- $F_o = 2.406$
- $T_c^* = 0.297$

Per entrambi gli imbocchi la categoria di suolo è la B, mentre la categoria topografica è la T2 per l'imbocco Nord e la T1 per l'imbocco SUD.

I valori di a_{max} sono pari a :

imbocco Nord $a_{max} = S_s \times S_T \times a_g/g = 1.157 \times 1.2 \times 0.252 = 0.35g$

imbocco Sud $a_{max} = S_s \times S_T \times a_g/g = 1.157 \times 1.0 \times 0.252 = 0.30g$

dove:

S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica, in funzione della categoria di sottosuolo;

S_T = coefficiente di amplificazione topografica, in funzione della categoria topografica.

Il coefficiente sismico orizzontale (k_h) viene calcolato come:

dove:

$k_h = \beta_m \times a_g/g = 0.35$ (imbocco Nord)

$k_h = \beta_m \times a_g/g = 0.30$ (imbocco Sud)

dove:

$\beta_m = 1$ (rif. tabella 7.11.I delle NTC08)

Per la verifica in condizioni di esercizio si è considerato anche il sisma allo SLD.

Per entrambi gli imbocchi si sono assunti i seguenti parametri sismici:

- $a_g = 0.110 \text{ g}$
- $F_o = 2.381$
- $T_c^* = 0.283$

Per entrambi gli imbocchi la categoria di suolo è la B, mentre la categoria topografica è la T2 per l'imbocco Nord e la T1 per l'imbocco SUD.

I valori di a_{max} sono pari a :

imbocco Nord $a_{max} = S_s \times S_T \times a_g/g = 1.157 \times 1.2 \times 0.11 = 0.153g$

imbocco Sud $a_{max} = S_s \times S_T \times a_g/g = 1.157 \times 1.0 \times 0.11 = 0.127g$

dove:

S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica, in funzione della categoria di sottosuolo;

S_T = coefficiente di amplificazione topografica, in funzione della categoria topografica.

Il coefficiente sismico orizzontale (k_h) viene calcolato come:

dove:

$k_h = \beta_m \times a_g/g = 0.153$ (imbocco Nord)

$k_h = \beta_m \times a_g/g = 0.127$ (imbocco Sud)

dove:

$\beta_m = 1$ (rif. tabella 7.11.I delle NTC08)

7.1 Incremento dinamico di spinta del terreno (sis terr)

L'incremento dinamico di spinta del terreno per strutture rigide, applicata lateralmente alla calotta e ai piedritti su un solo lato della struttura come pressione equivalente, è stato stimato utilizzando la formula di Wood:

$$\Delta P_h = a_{max} \times \gamma \times H^2$$

Tale azione si considera agente indipendentemente dall'altezza del ricoprimento (R) e risulta distribuita uniformemente sulla parete, in modo che la risultante sia applicata a metà altezza.

Il valore di tale pressione vale:

$$p = a_{\max} \times \gamma \times H = 0.35 \times 20 \times 11 = 77 \text{ kN/m}^2 \text{ (imbocco Nord)}$$

$$p = a_{\max} \times \gamma \times H = 0.30 \times 20 \times 11 = 66 \text{ kN/m}^2 \text{ (imbocco Sud)}$$

Allo SLD si ottiene invece:

$$p = a_{\max} \times \gamma \times H = 0.153 \times 20 \times 11 = 34 \text{ kN/m}^2 \text{ (imbocco Nord)}$$

$$p = a_{\max} \times \gamma \times H = 0.127 \times 20 \times 11 = 28 \text{ kN/m}^2 \text{ (imbocco Sud)}$$

8 COMBINAZIONI DEI CARICHI

Le azioni caratteristiche determinate precedentemente vengono combinate nei modelli al fine di ottenere le sollecitazioni di progetto, per effettuare le verifiche di resistenza agli stati limite ultimi (SLU) e di esercizio (SLE).

Per chiarezza si riportano la tabella riassuntiva dei coefficienti di sicurezza utilizzati per tutte le combinazioni per entrambi gli imbocchi.

Le combinazioni rare non sono state riportate in quanto le verifiche tensionali non sono significative.

Imbocco Nord

comb	peso proprio (g1)	ricopr simm (g2)	ricopr asim (g2)	spinta terr sim (g3)	spinta terr asim (g3)	Q sim (q1)	Q asim (q1)	Qlat sim (qlat)	Qlat asim (qlat)	Sisma (sis)	Sisma terr (sis terr)
SLU1	1.30	1.30		1.30							
SLU2	1.30		1.30		1.30						
SLU3	1.30	1.30		1.30		1.35					
SLU4	1.30		1.30		1.30		1.35				
SLU5	1.30	1.30		1.30				1.35			
SLU6	1.30		1.30		1.30				1.35		
SLU7	1.30	1.30		1.30		1.35		1.35			
SLU8	1.30		1.30		1.30		1.35		1.35		
RAR1	1.00	1.00		1.00		1.00					
RAR2	1.00		1.00		1.00		1.00				
RAR3	1.00	1.00		1.00				1.00			
RAR4	1.00		1.00		1.00				1.00		
RAR5	1.00	1.00		1.00		1.00		1.00			
RAR6	1.00		1.00		1.00		1.00		1.00		
FR1	1.00	1.00		1.00		0.75					
FR2	1.00		1.00		1.00		0.75				
FR3	1.00	1.00		1.00				0.75			
FR4	1.00		1.00		1.00				0.75		
FR5	1.00	1.00		1.00		0.75		0.75			
FR6	1.00		1.00		1.00		0.75		0.75		
QP1	1.00	1.00		1.00							
QP2	1.00		1.00		1.00						
Sisma SLV1	1.00	1.00		1.00						1.00	1.00
Sisma SLV2	1.00		1.00		1.00					1.00	1.00
Sisma SLD1	1.00	1.00		1.00						1.00	1.00
Sisma SLD2	1.00		1.00		1.00					1.00	1.00

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

Imbocco Sud

comb	peso proprio (g1)	ricopr simm (g2)	spinta terr sim (g3)	Q sim (q1)	Q asim (q1)	Qlat sim (qlat)	Qlat asim (qlat)	Sisma (sis)	Sisma terr (sis terr)
SLU1	1.30	1.30	1.30						
SLU3	1.30	1.30	1.30	1.35					
SLU4	1.30	1.30	1.30		1.35				
SLU5	1.30	1.30	1.30			1.35			
SLU6	1.30	1.30	1.30				1.35		
SLU7	1.30	1.30	1.30	1.35		1.35			
SLU8	1.30	1.30	1.30		1.35		1.35		
RAR1	1.00	1.00	1.00	1.00					
RAR2	1.00	1.00	1.00		1.00				
RAR3	1.00	1.00	1.00			1.00			
RAR4	1.00	1.00	1.00				1.00		
RAR5	1.00	1.00	1.00	1.00		1.00			
RAR6	1.00	1.00	1.00		1.00		1.00		
FR1	1.00	1.00	1.00	0.75					
FR2	1.00	1.00	1.00		0.75				
FR3	1.00	1.00	1.00			0.75			
FR4	1.00	1.00	1.00				0.75		
FR5	1.00	1.00	1.00	0.75		0.75			
FR6	1.00	1.00	1.00		0.75		0.75		
QP1	1.00	1.00	1.00						
Sisma SLV1	1.00	1.00	1.00					1.00	1.00
Sisma SLD1	1.00	1.00	1.00					1.00	1.00

9 SOLLECITAZIONI IMBOCCO NORD

9.1 Involuppo SLU

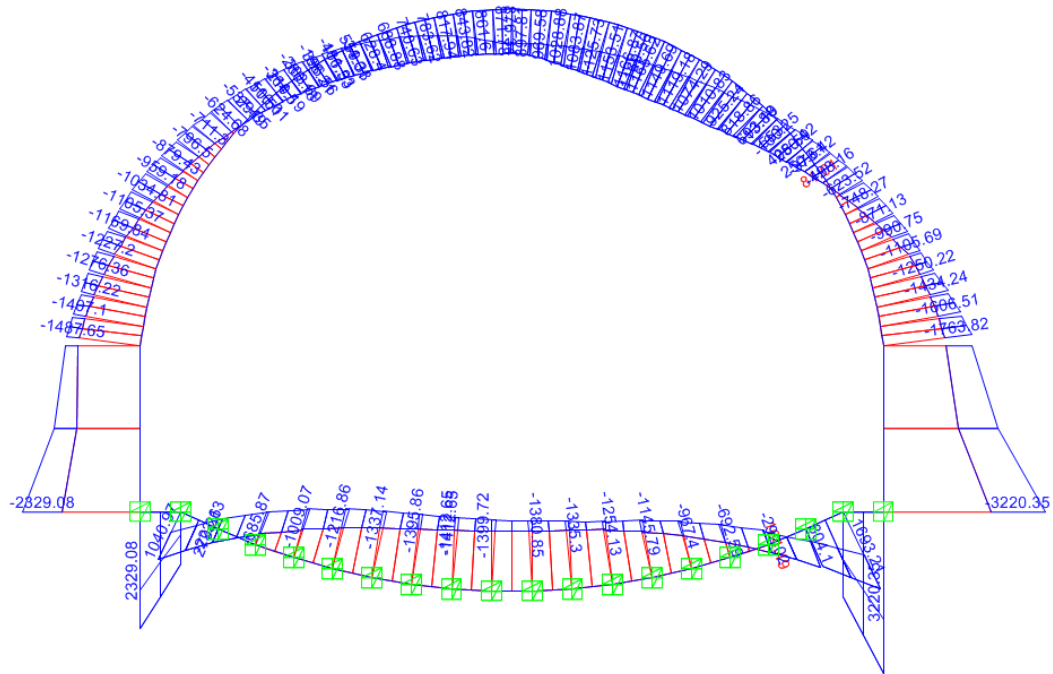


Figura 7 - Momento flettente

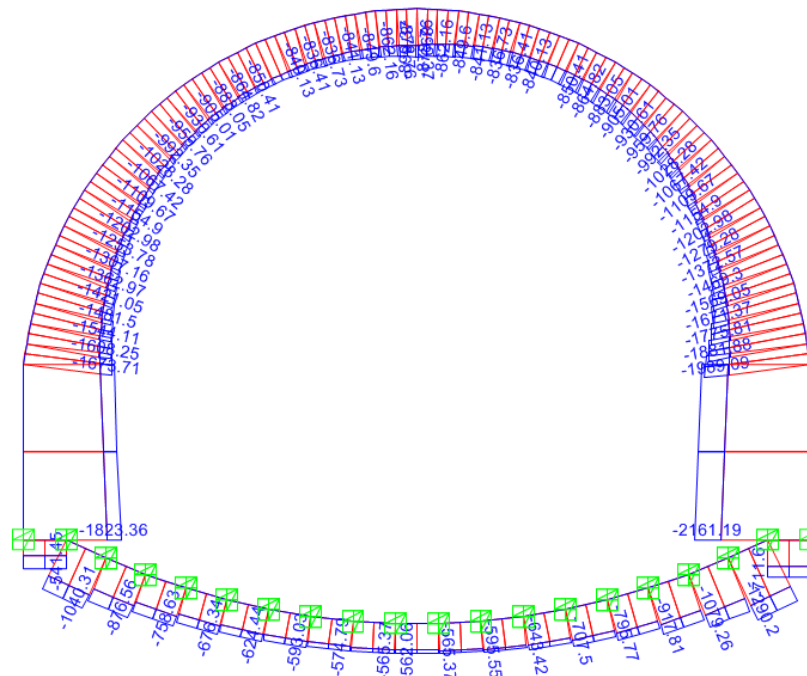


Figura 8 - Sforzo normale

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

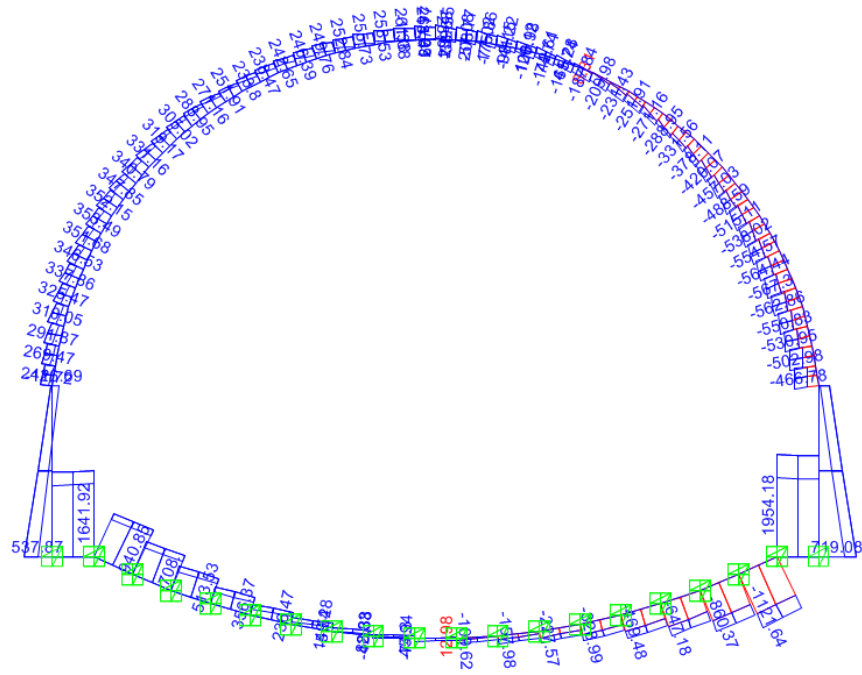


Figura 9 - Sforzo di taglio

9.2 *Involuppo RARE*

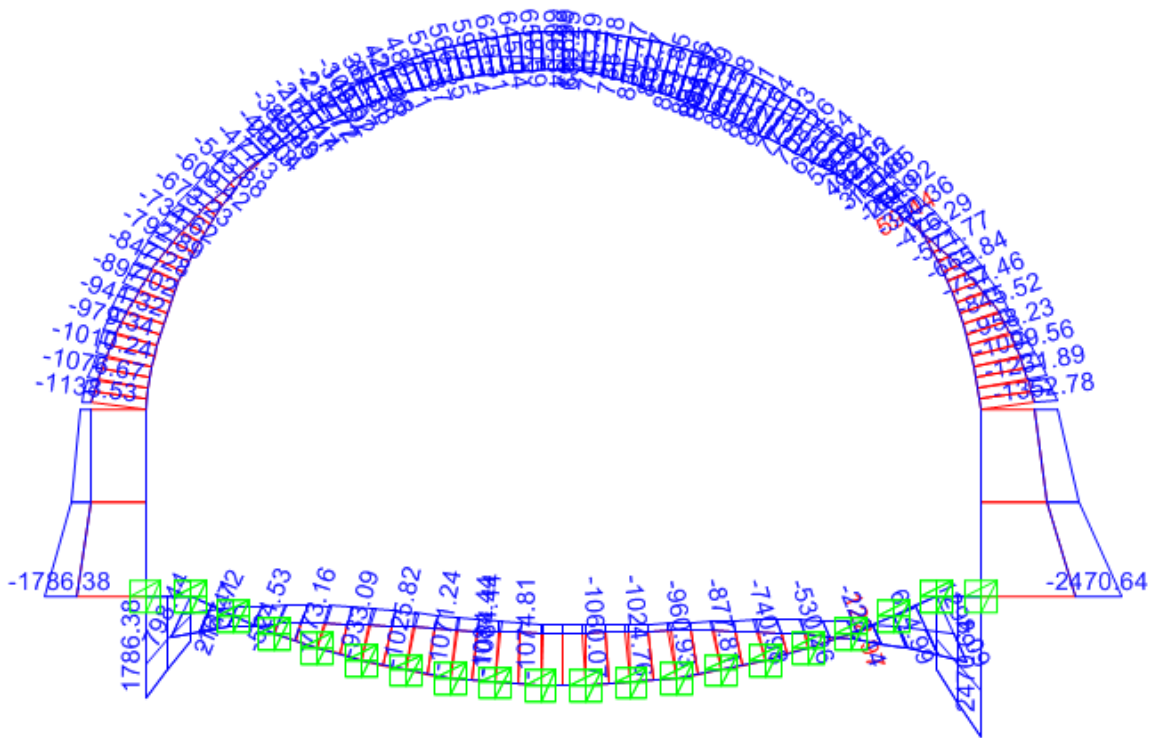


Figura 10 - Momento flettente

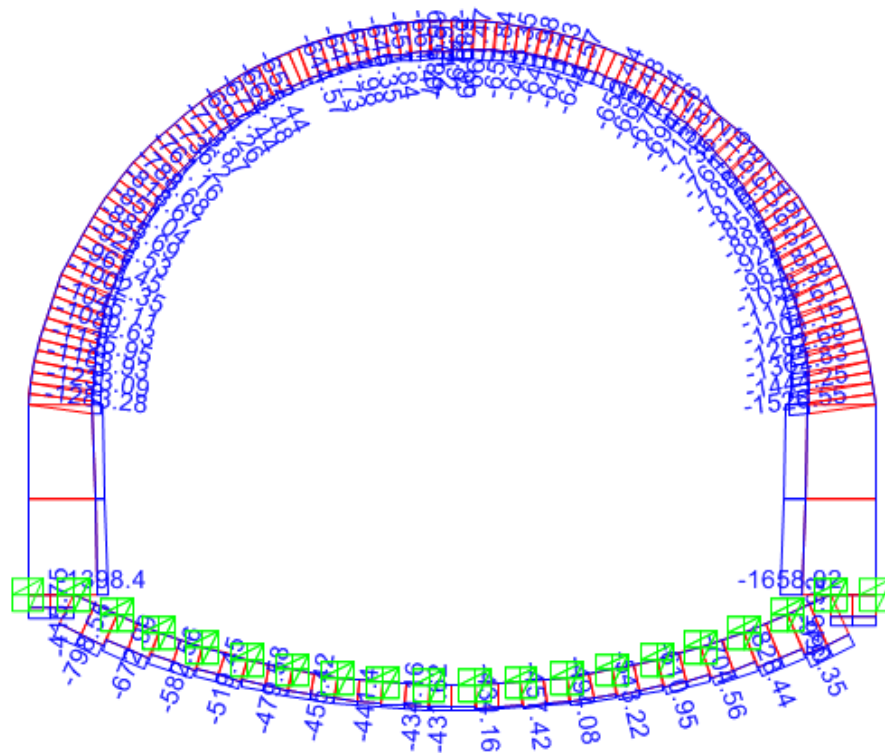


Figura 11 - Sforzo normale

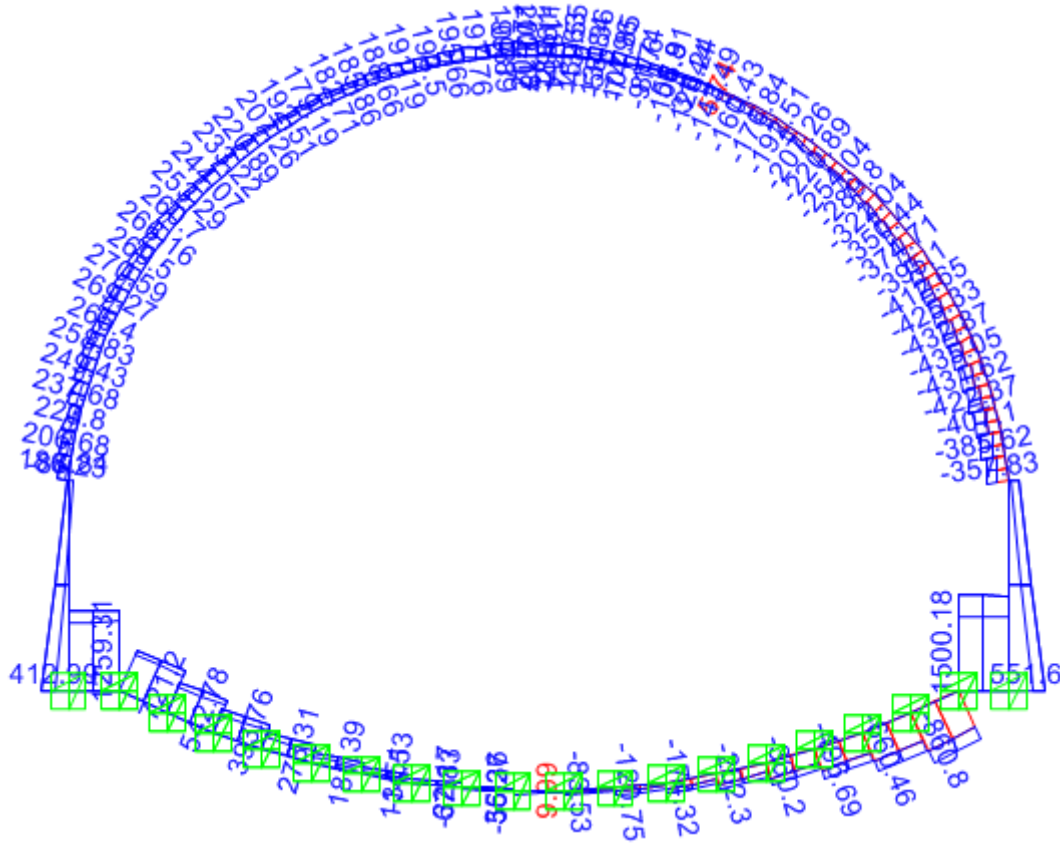


Figura 12 - Sforzo di taglio

9.3 Involuppo FR

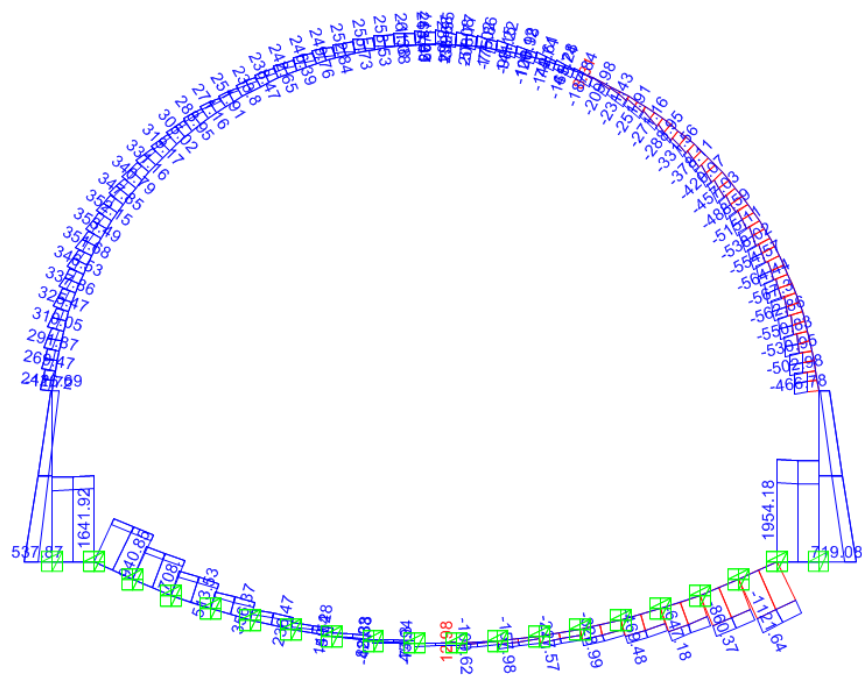


Figura 13 - Momento flettente

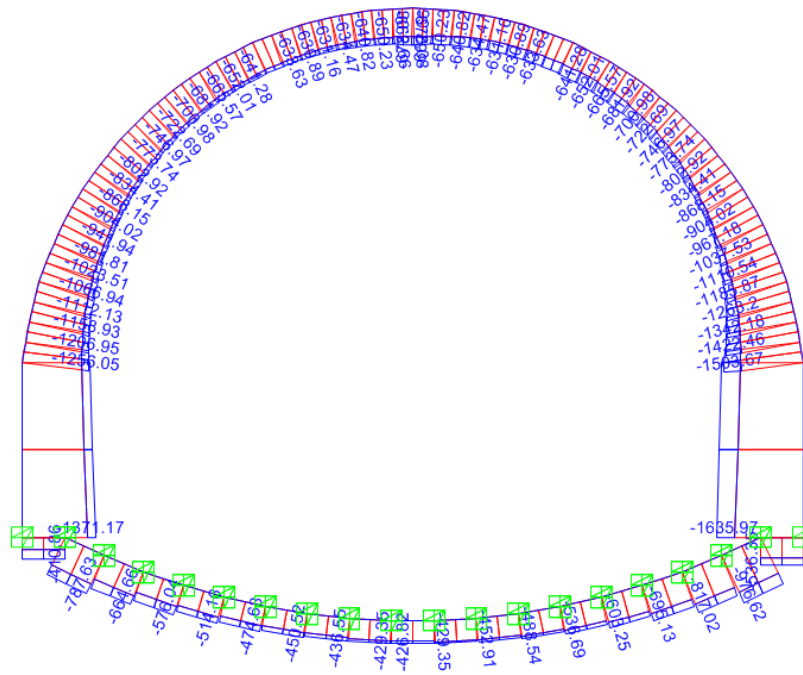


Figura 14 - Sforzo normale

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

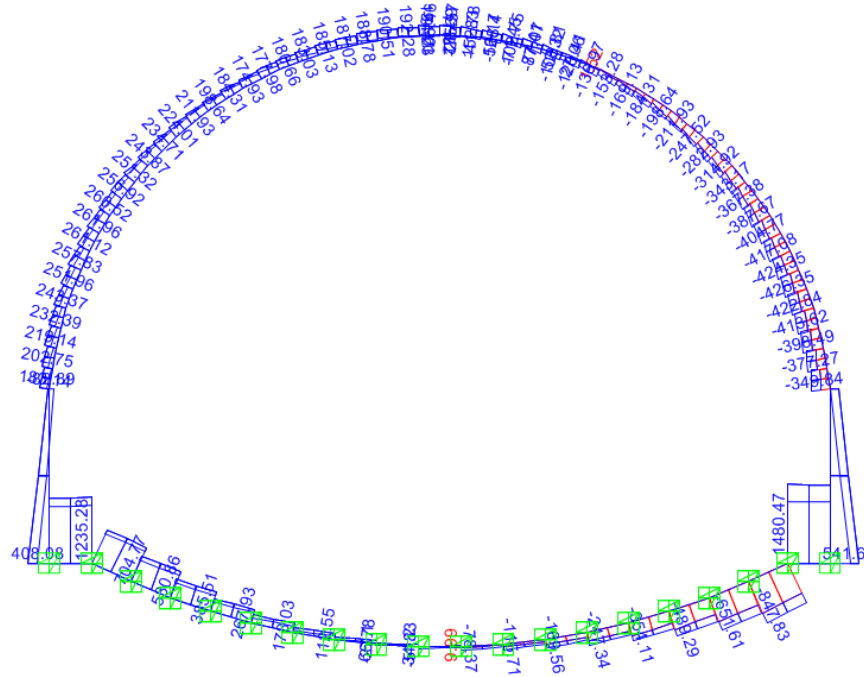


Figura 15 - Sforzo di taglio

9.4 Involuppo QP

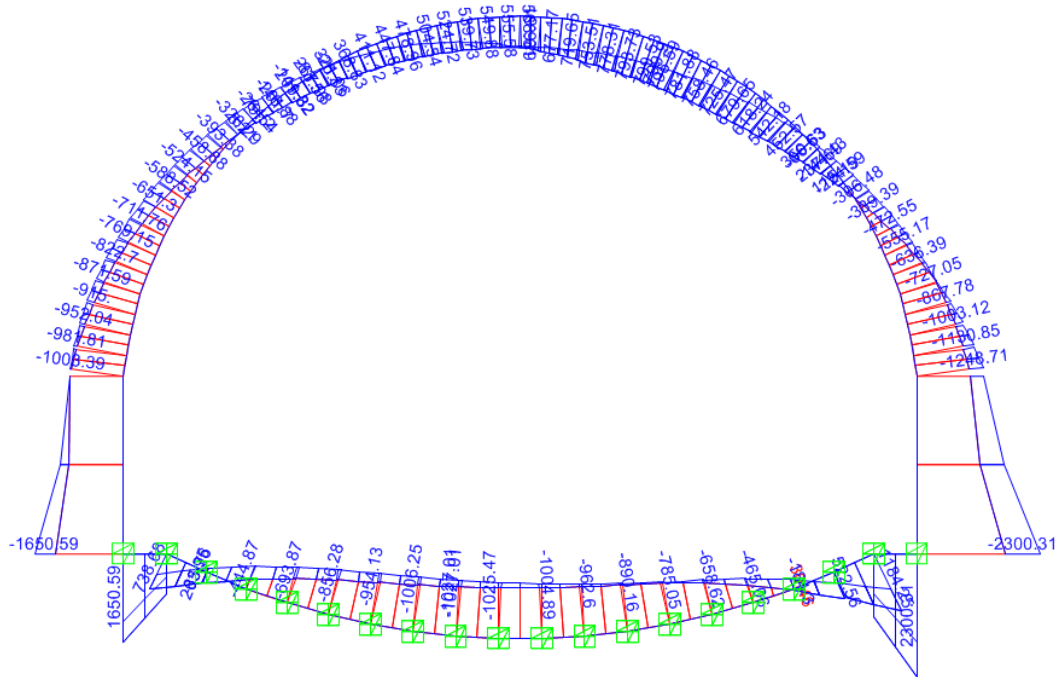


Figura 16 - Momento flettente

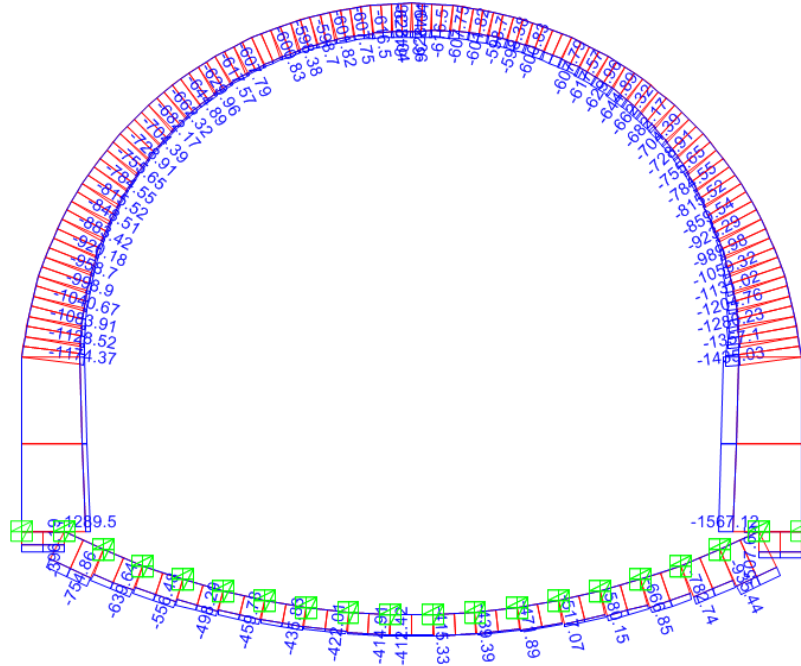


Figura 17 - Sforzo normale

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

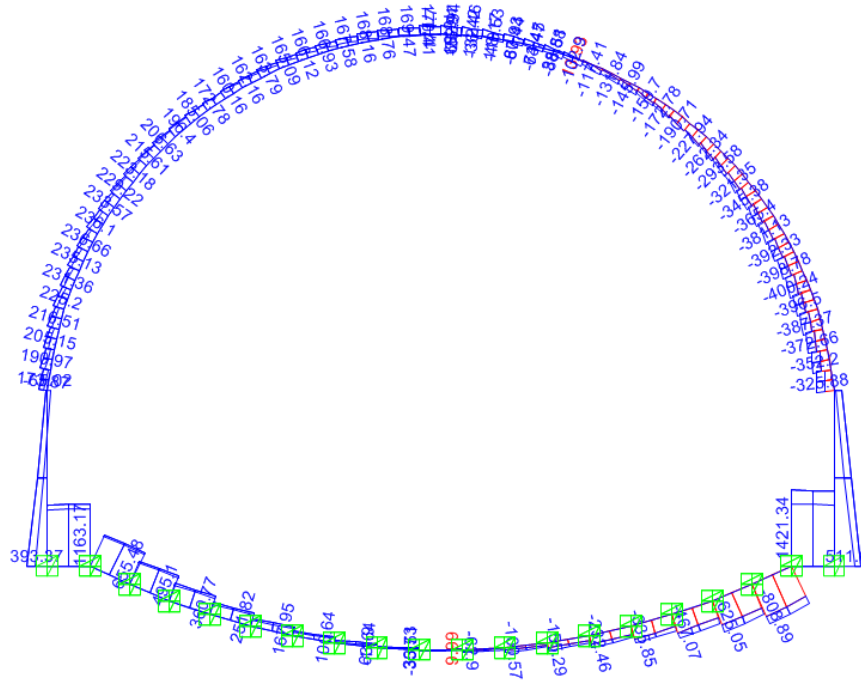


Figura 18 - Sforzo di taglio

9.5 Involuppo SIS

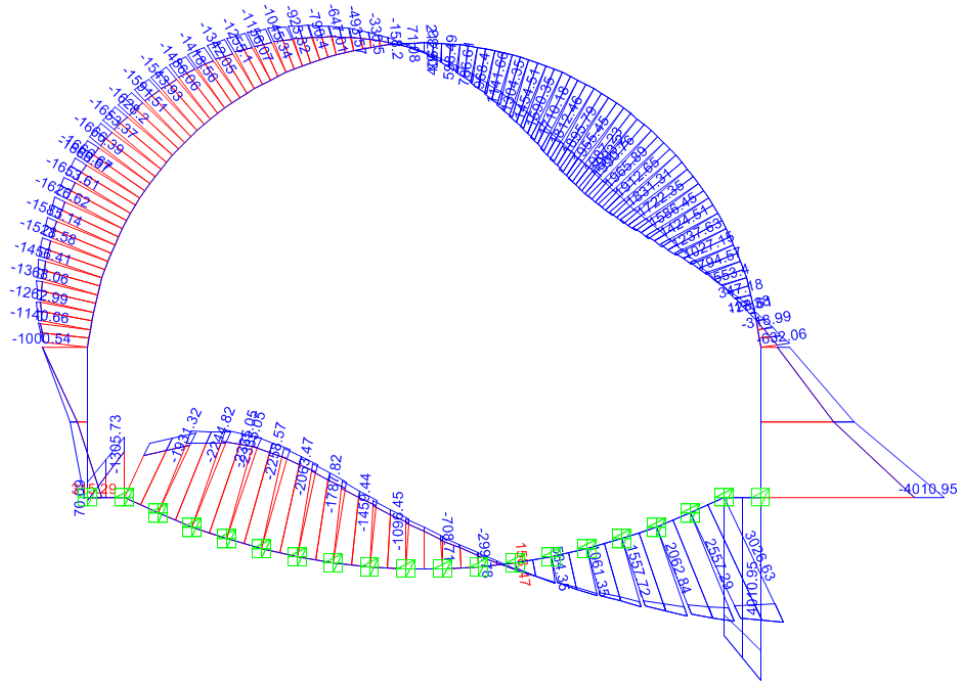


Figura 19 - Momento flettente

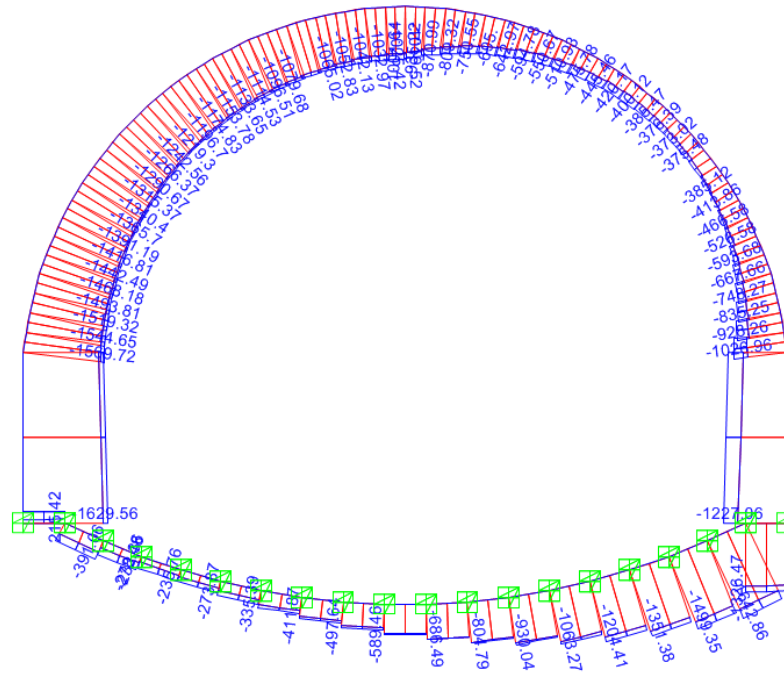


Figura 20 - Sforzo normale

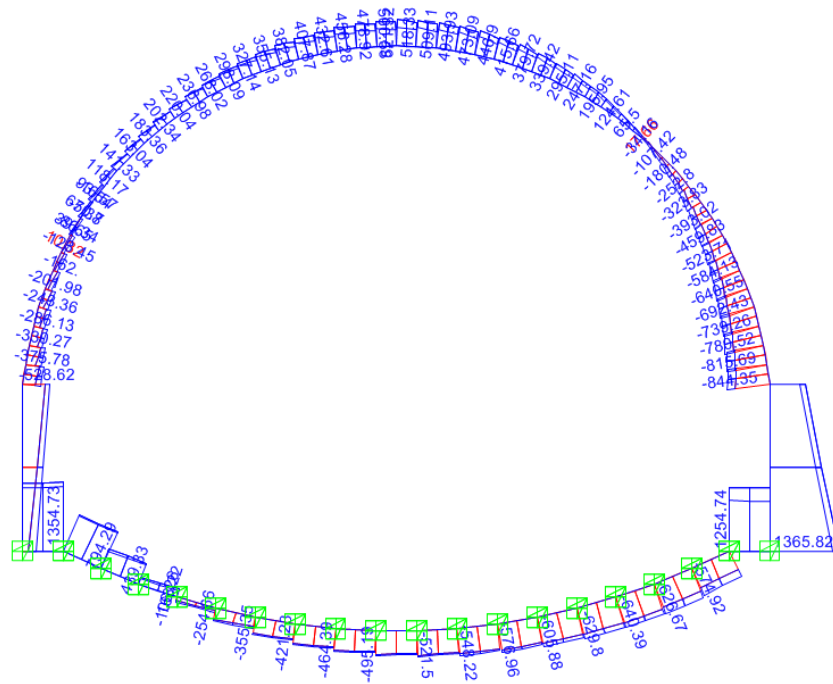


Figura 21 - Sforzo di taglio

10 SOLLECITAZIONI IMBOCCO SUD

10.1 Inviluppo SLU

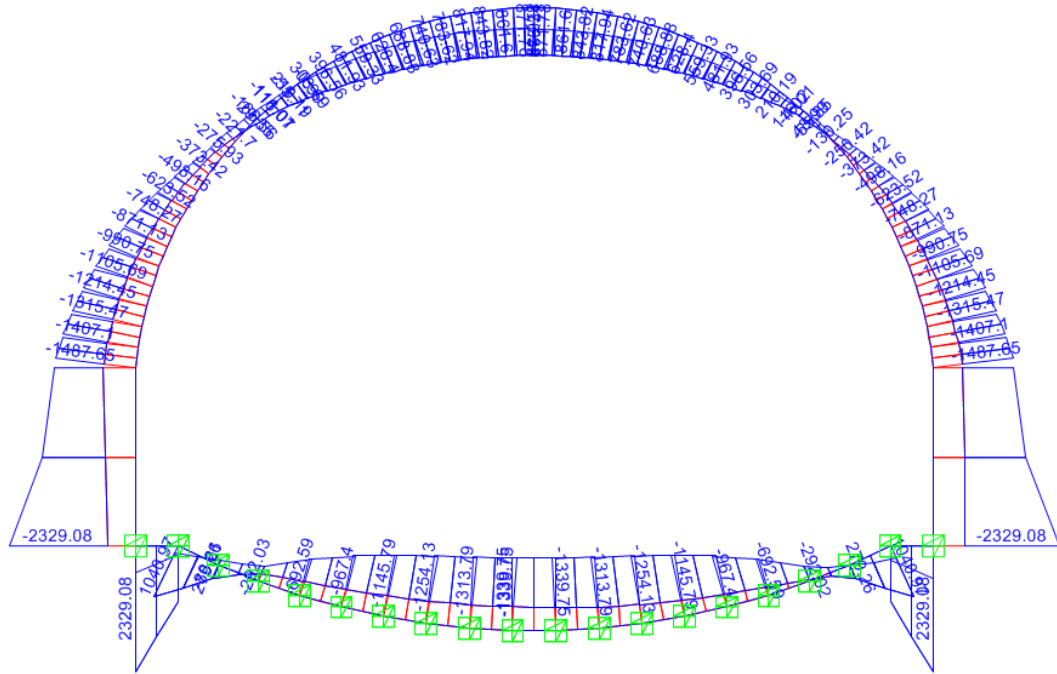


Figura 22 - Momento flettente

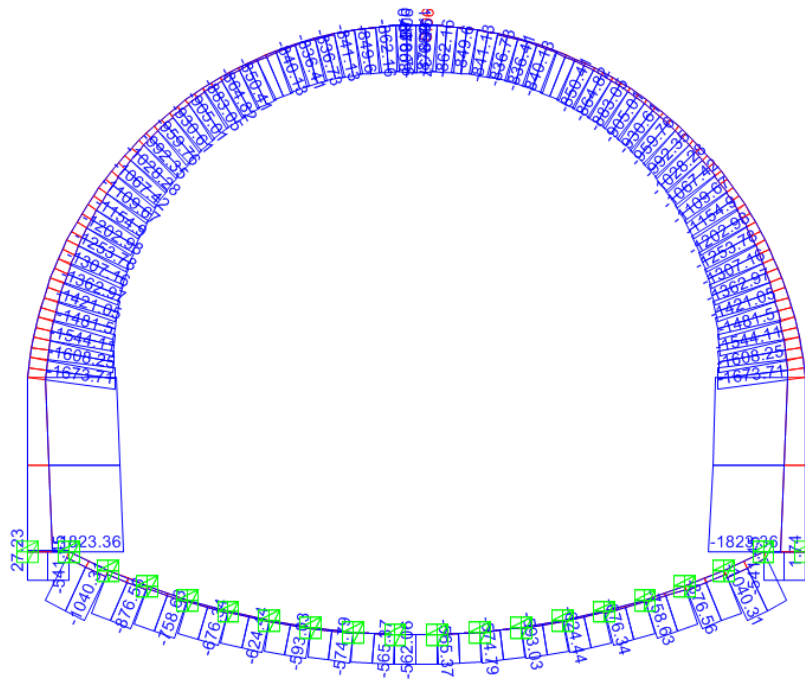


Figura 23 - Sforzo normale

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL’ASTICO

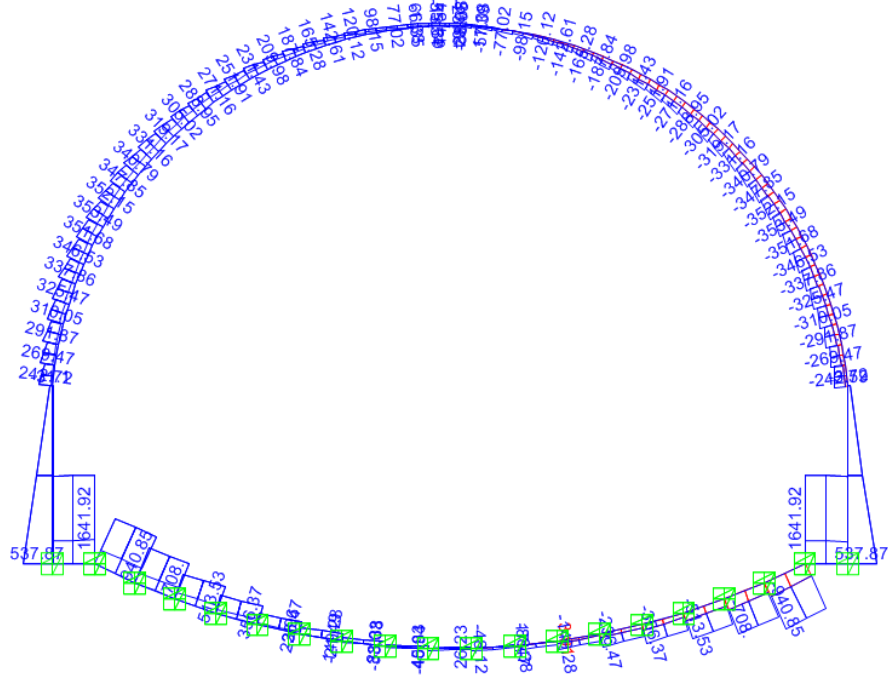


Figura 24 - Sforzo di taglio

10.1 Involuppo RARE

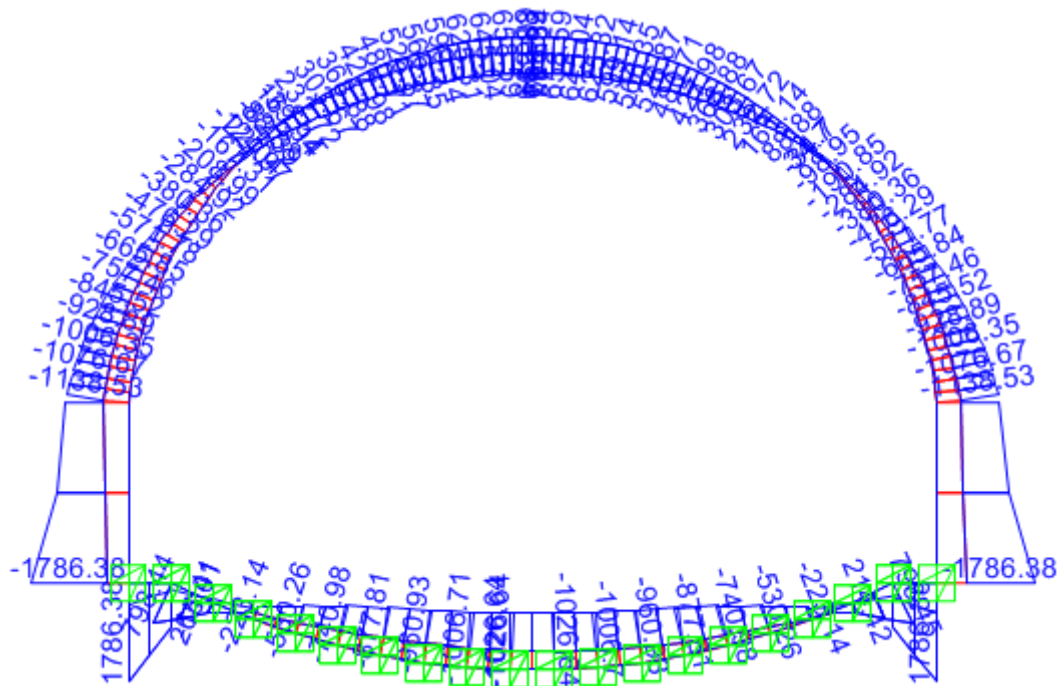


Figura 25 - Momento flettente

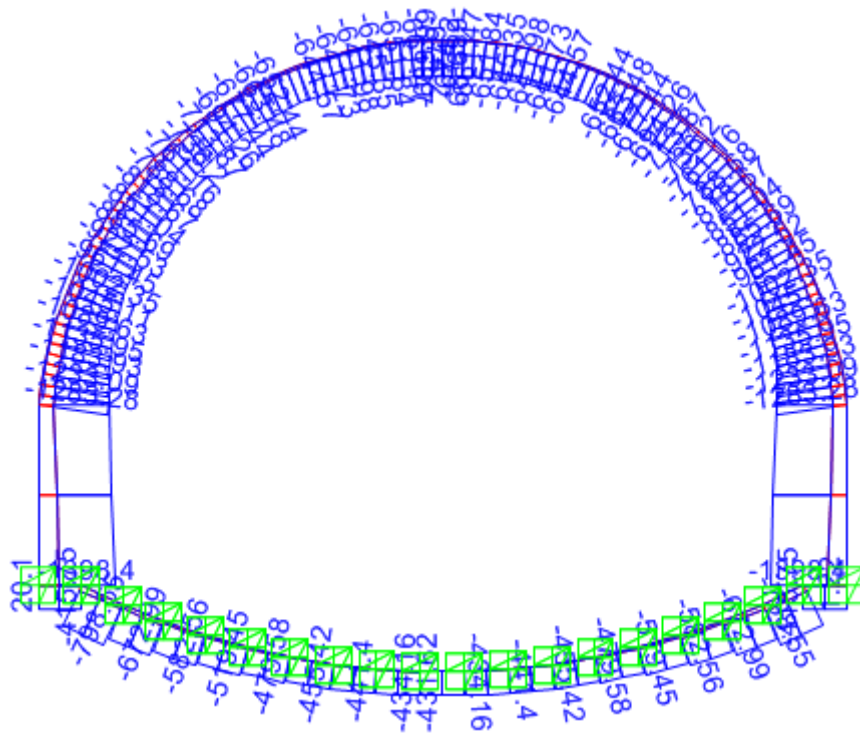


Figura 26 - Sforzo normale

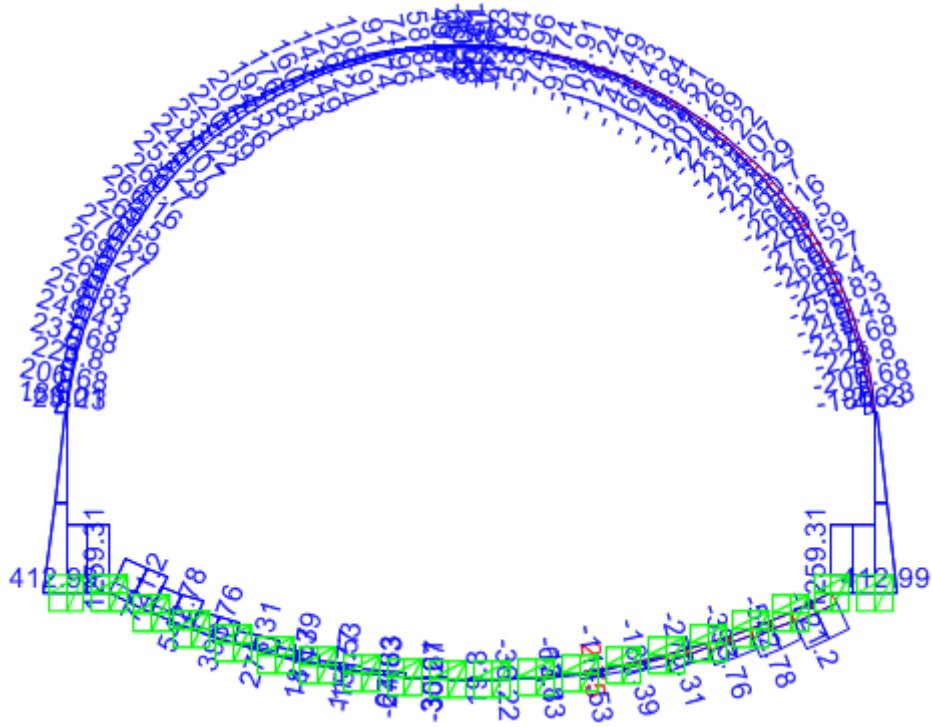


Figura 27 - Sforzo di taglio

10.2 Involuppo FR

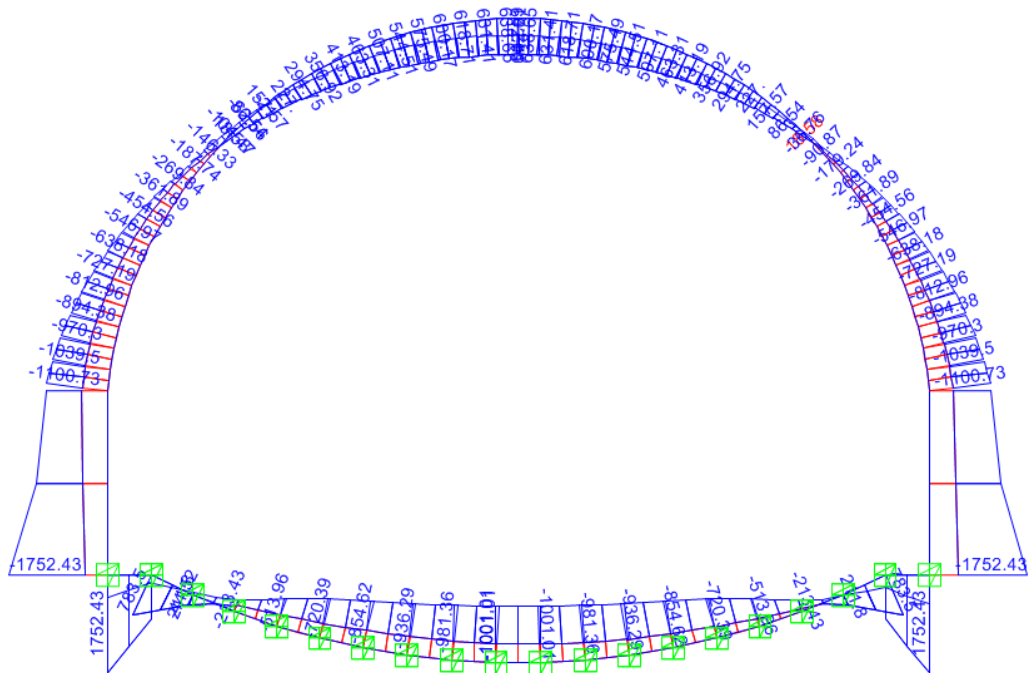


Figura 28 - Momento flettente

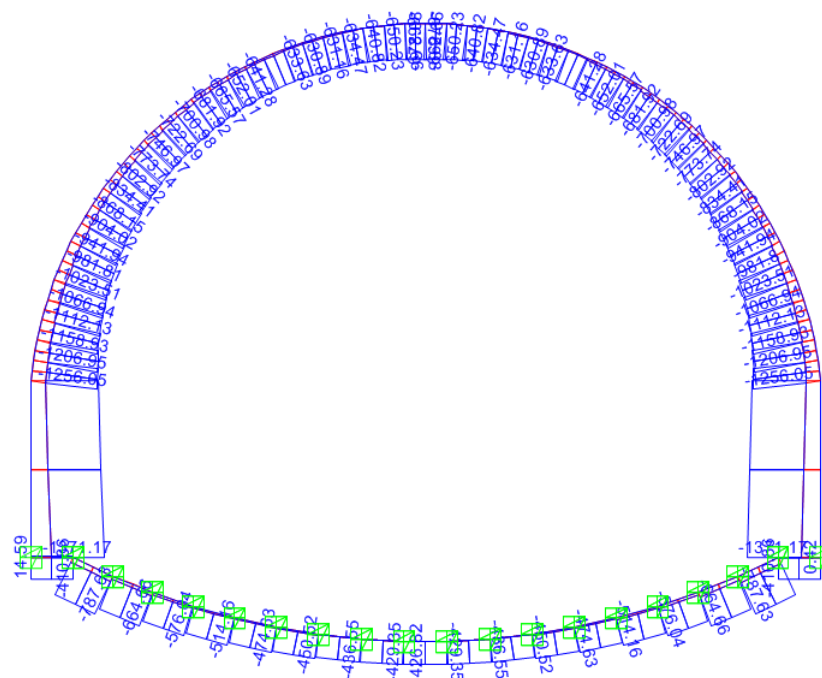


Figura 29 - Sforzo normale

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

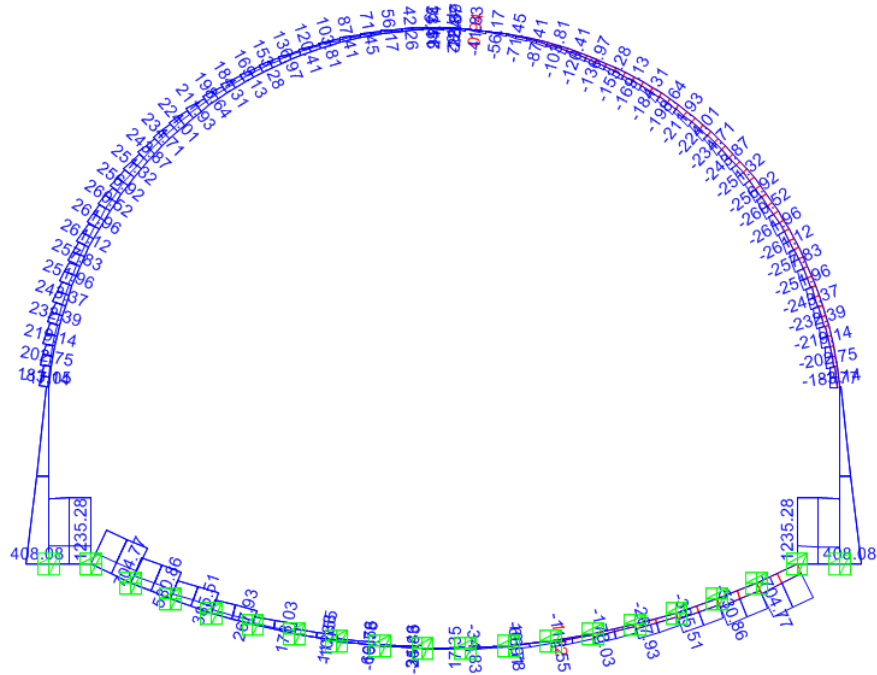


Figura 30 - Sforzo di taglio

10.3 Involuppo QP

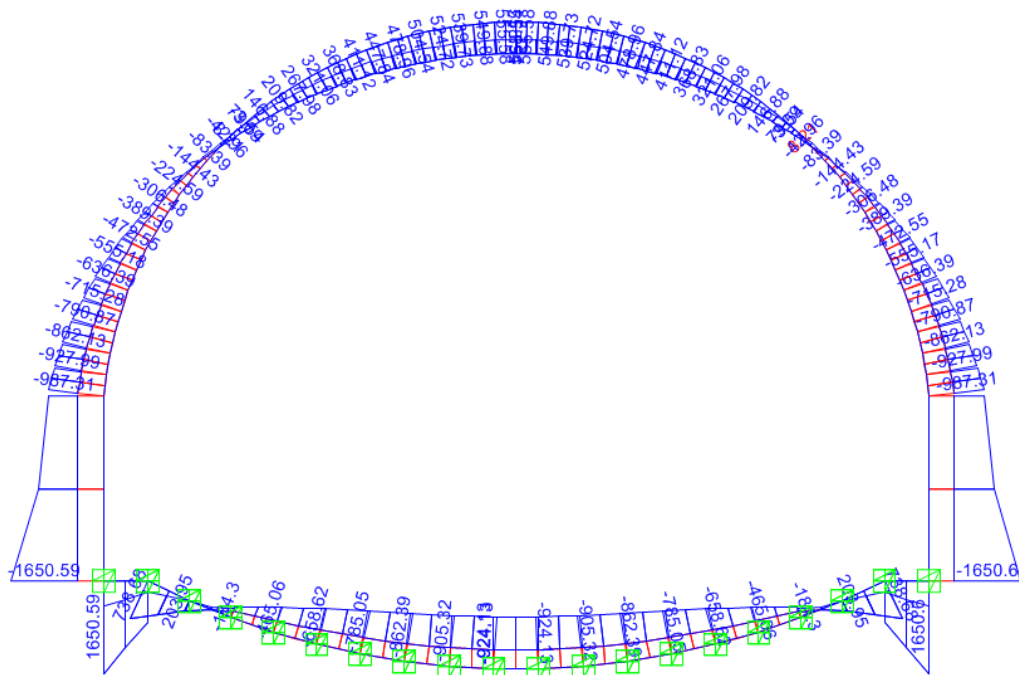


Figura 31 - Momento flettente

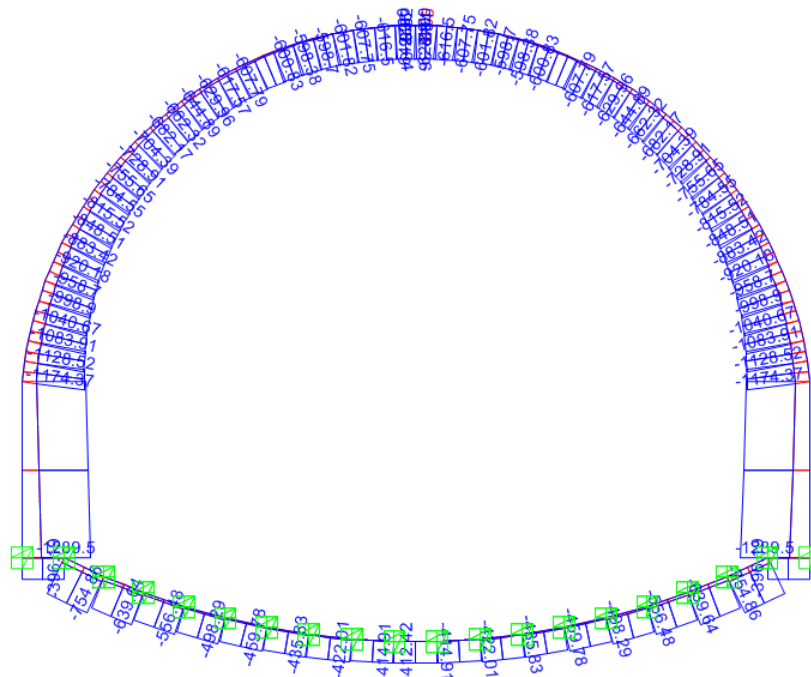


Figura 32 - Sforzo normale

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

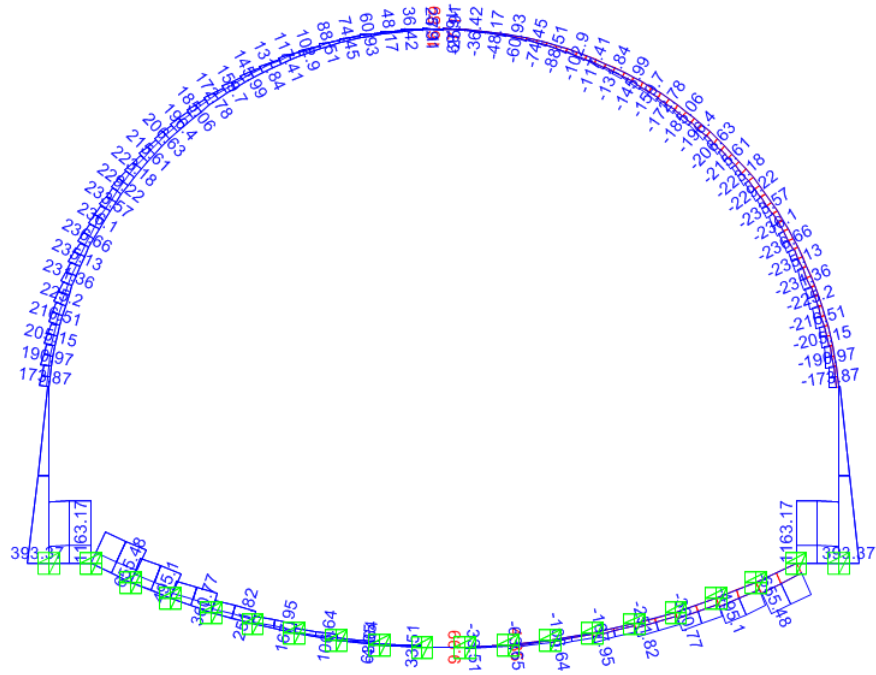


Figura 33 - Sforzo di taglio

10.4 Involuppo SIS

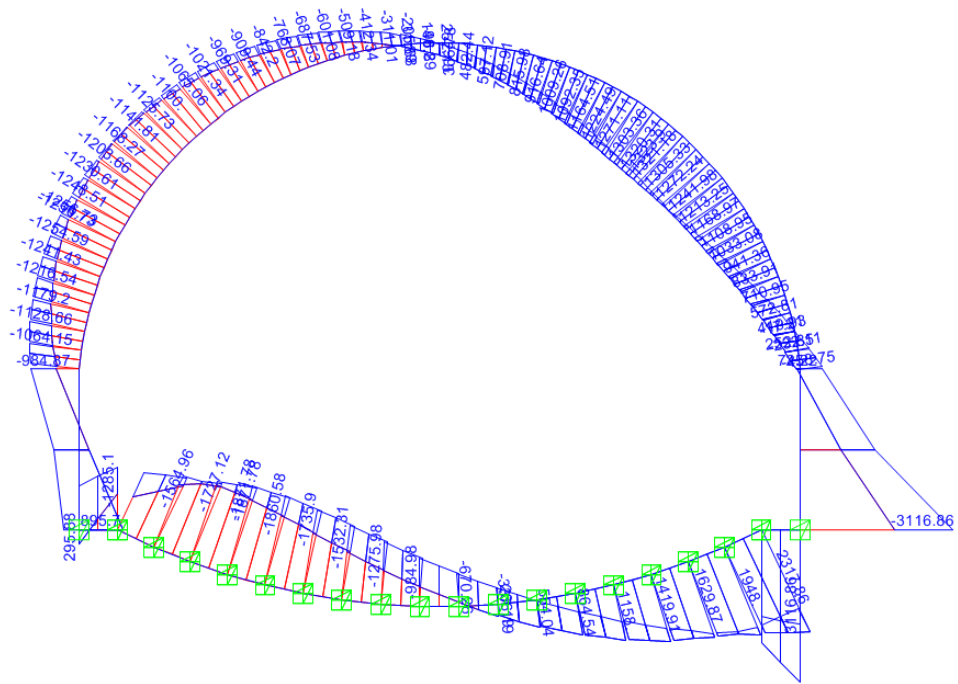


Figura 34 - Momento flettente

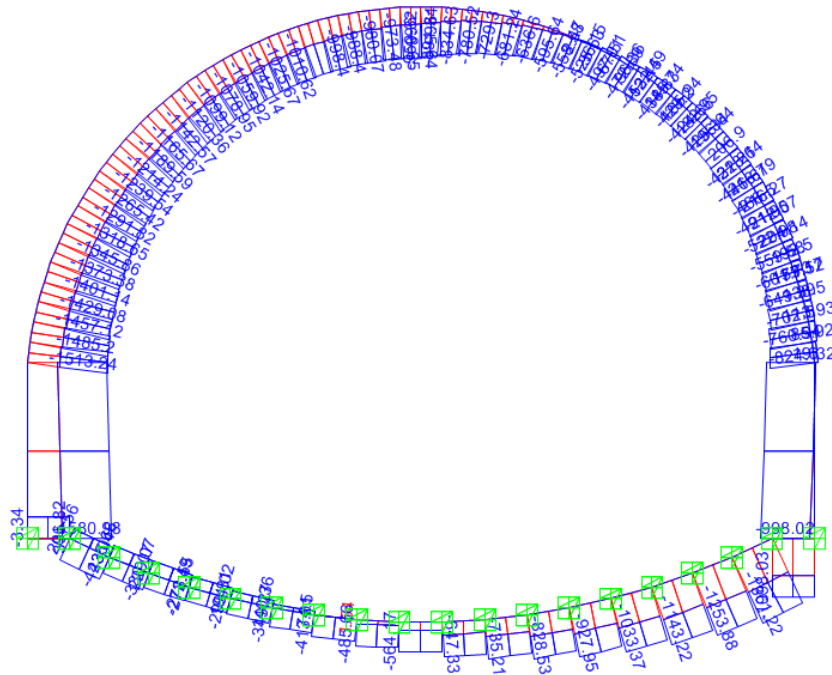


Figura 35 - Sforzo normale

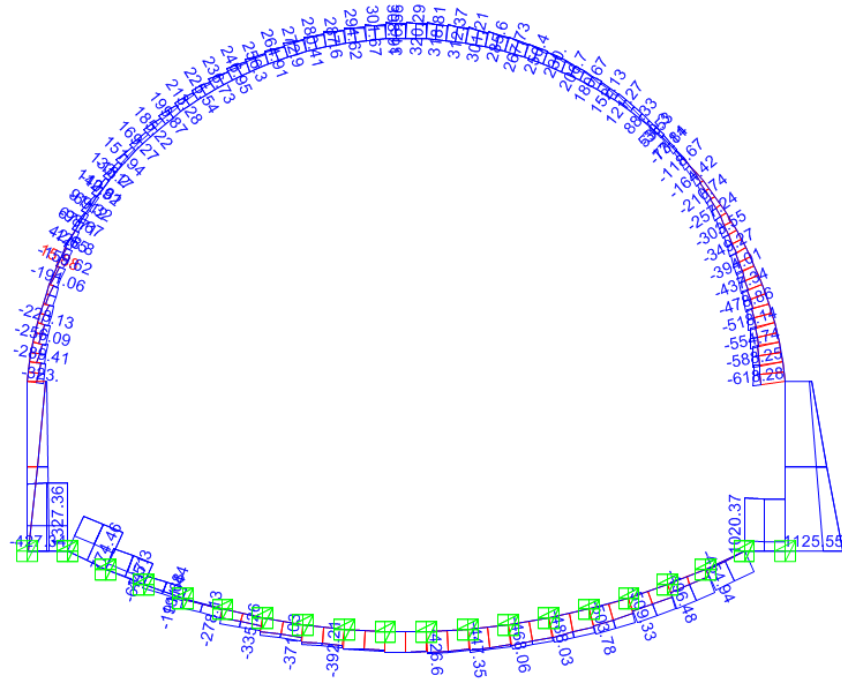


Figura 36 - Sforzo di taglio

11 VERIFICHE SLU IMBOCCO NORD

11.1 Calotta

Spessore = 1000 mm

$d = 1000 - 63 = 937 \text{ mm}$

$A_s = 7.5\phi 26 + 5\phi 26 / \text{m} = 6637 \text{ mm}^2/\text{m}$

$A's = 5\phi 26 / \text{m} = 2655 \text{ mm}^2/\text{m}$

L'armatura corrente è stata ipotizzata pari a $4\phi 16/\text{m}$

11.1.1 Pressoflessione

$M=1994\text{kNm}$

$N=257\text{kN}$

Titolo : _____

N° strati barre

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	100	1	26.55	6.3
			2	39.82	93.7
			3	26.55	88.5

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN

M_{xEd} kNm

M_{yEd}

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi

a T Circolare

Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-

Metodo n

Tipo flessione

Retta Deviata

N° rett.

L_0 cm

Precompresso

Materiali

B450C C28/35

ϵ_{su} ‰ ϵ_{c2} ‰

f_{yd} N/mm² ϵ_{cu} ‰

E_s N/mm² f_{cd} ‰

E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} [?]

ϵ_{syd} ‰ $\sigma_{c,adm}$

$\sigma_{s,adm}$ N/mm² τ_{co} τ_{c1}

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²

σ_s N/mm²

ϵ_c ‰

ϵ_s ‰

d cm

x x/d

δ

11.1.2 Taglio

V=515 kN N=1104 kN

Sezione		Staffe a taglio		NTC 2008 - TAGLIO					
b =	100 cm	$\phi_1 =$	20 mm	$A_{st} =$	6.28 cm ² /passo	$\gamma_c =$	1.50	$\gamma_s =$	1.15
h =	100 cm	Passo =	50.0 cm	$A_{st} =$	12.57 cm ² /m	$f_{ck} =$	29.05 MPa	$f_{ywd} =$	391.30 MPa
c =	5.0 cm	Bracci =	2	$A_{st,min} =$	0.00 cm ² /m	$f_{cd} =$	16.46 MPa	$\sigma_{cp} =$	1.10 MPa
d =	95.0 cm					$f'_{cd} =$	8.23 MPa	$\alpha_c =$	1.067
Materiali		Ferri piegati a taglio		$A_{st} =$	12.57 cm ² /m	ok			
$R_{ck} =$	35 MPa	$n^\circ =$	0.0	$A_{st,min} =$	15.00 cm ² /m				
$f_{yk} =$	450 MPa	Passo =	30 cm	$A_{fp} =$	0.00 cm ² /passo				
		$\phi_2 =$	18 mm	$A_{fp} =$	0.00 cm ² /m				
		$\alpha =$	45°						
Sollecitazioni SLU		Armatura longitudinale a flessione							
$V_{sdu} =$	515 kN	n°	ϕ	A_s	Armature compresse				
$N_{sd} =$	1104 kN	0	0	0.00					
$\delta =$	1.00	0	0	0.00	$A_{st,sup} =$	0.00 cm ²			
$T_{sdu} =$	0.00 kNm	n°	ϕ	$A_{s'}$	Armature tese				
Tipo di sezione		12.5	26	66.37					
soletta		0	0	0.00	$A_{st,inf} =$	66.37 cm ²			
Resistenza PRIVA DI ARMATURA A TAGLIO									
		$k =$	1.459						
		$\rho_1 =$	0.007						
		$V_{Rd1} =$	610.95 kN	Verificato					

La verifica a taglio è verificata senza armatura a taglio.

11.2 Piedritto

Spessore = 1500÷1000 mm

d = 1437÷937 mm

As = 7.5φ 26 + 5φ 26 /m = 6637 mm²/m

A's = 5φ 26 /m = 2655 mm²/m

spilli φ 12/40x20

L'armatura corrente è stata ipotizzata pari a 4φ 16/m

11.2.1 Pressoflessione

Spessore = 150cm

M=3444 kNm

N=1210kN

Titolo : _____

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm ²]	d [cm]
1	100	150	1	26.55	6.3
			2	39.82	143.7
			3	26.55	138.5

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N Ed 0 kN

M xEd 0 kNm

M yEd 0

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura

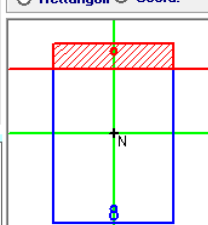
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi

a T Circolare

Rettangoli Coord.



Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-

Metodo n

Tipo flessione

Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C

ε_{su} ‰

f_{yd} N/mm²

E_s N/mm²

E_s/E_c

ε_{syd} ‰

σ_{s,adm} N/mm²

C28/35

ε_{c2} ‰

ε_{cu} ‰

f_{cd} N/mm²

f_{cc}/f_{cd} [?]

σ_{c,adm} N/mm²

τ_{co} N/mm²

τ_{c1} N/mm²

M xRd kN m

σ_c N/mm²

σ_s N/mm²

ε_c ‰

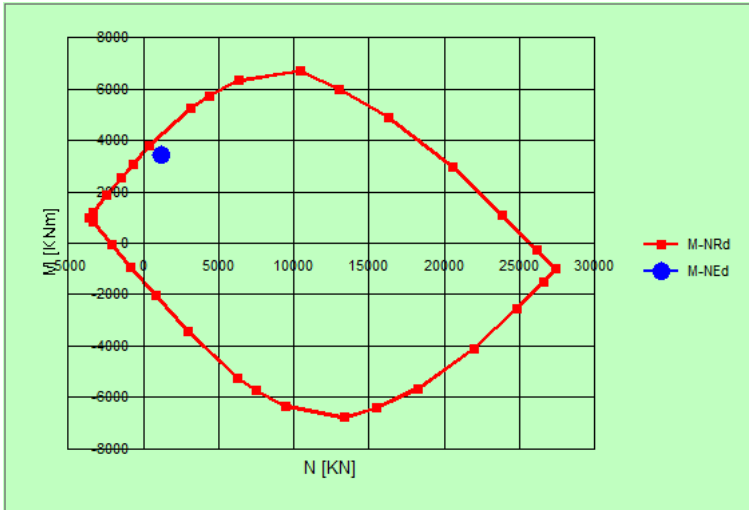
ε_s ‰

d cm

x x/d

δ

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO



Spessore = 120cm

M=2251 kNm N=1176 kN

Titolo: _____

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	120

N°	As [cm²]	d [cm]
1	26.55	6.3
2	39.82	113.7
3	26.55	108.5

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN

M_{xEd} kNm

M_{yEd}

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi

a T Circolare

Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-

Metodo n

Tipo flessione

Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ cm Col. modello

Precompresso

Materiali

E_{su} ‰ E_{c2} ‰

f_{yd} N/mm² E_{cu} ‰

E_s N/mm² f_{cd} ‰

E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?

E_{syd} ‰ σ_{c,adm} ‰

σ_{s,adm} N/mm² τ_{co} ‰

τ_{c1} ‰

M_{xRd} kNm

σ_c N/mm²

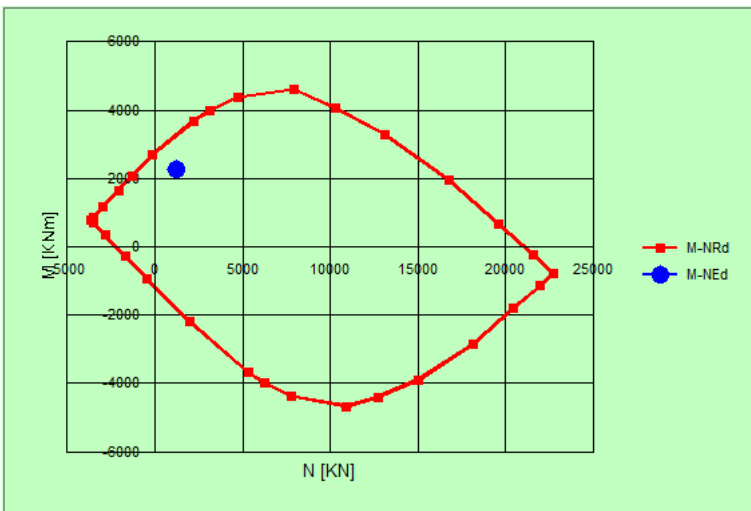
σ_s N/mm²

ε_c ‰

ε_s ‰

d cm

x x/d δ



Spessore = 100cm

M=2000 kNm N=2057 kN

Titolo : _____

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	100	1	26.55	6.3
			2	39.82	93.7
			3	26.55	88.5

Tipologia Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. **Metodo n**

N_{Ed} kN
 M_{xEd} kNm
 M_{yEd}

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Tipologia rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipologia flessione
 Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd **Dominio M-N**

L₀ cm Col. modello

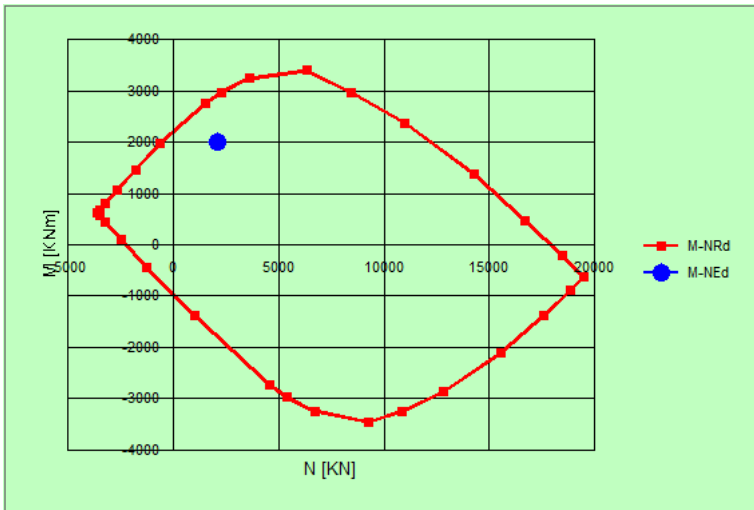
Precompresso

Materiali

B450C		C28/35	
ε _{su}	67.5 ‰	ε _{c2}	2 ‰
f _{yd}	391.3 N/mm²	ε _{cu}	3.5 ‰
E _s	200.000 N/mm²	f _{cd}	15.87
E _s /E _c	15	f _{cc} /f _{cd}	0.8
ε _{syd}	1.957 ‰	σ _{c,adm}	11
σ _{s,adm}	255 N/mm²	τ _{co}	0.6667
		τ _{c1}	1.971

M_{xRd} kNm

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ε_c ‰
 ε_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ



AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

11.2.2 Taglio

V=1060 kN N=1176 kN

Sezione		Staffe a taglio		NTC 2008 - TAGLIO							
b =	100 cm	$\phi_1 =$	12 mm	A _{st} =	1.13 cm ² /passo	$\gamma_c =$	1.50	$\gamma_s =$	1.15		
h =	120 cm	Passo =	8.0 cm	A _{st} =	14.14 cm ² /m	f _{ck} =	29.05 MPa	f _{vwd} =	391.30 MPa		
c =	5.0 cm	Bracci =	1	A _{st,min} =	0.00 cm ² /m	f _{ed} =	16.46 MPa	$\sigma_{cp} =$	0.98 MPa		
d =	115.0 cm					f' _{cd} =	8.23 MPa	$\alpha_c =$	1.060		
Materiali		Ferri piegati a taglio		A _{st} =	14.14 cm ² /m	A _{st} =	14.14 cm ² /m	ok			
R _{ck} =	35 MPa	n° =	0.0			A _{st,min} =	15.00 cm ² /m				
f _{yk} =	450 MPa	Passo =	30 cm	A _{fp} =	0.00 cm ² /passo						
		$\phi_2 =$	18 mm	A _{fp} =	0.00 cm ² /m						
		$\alpha =$	45 °								
Sollecitazioni SLU		Armatura longitudinale a flessione		Resistenza PRIVA DI ARMATURA A TAGLIO							
V _{sdu} =	1060 kN	n°	ϕ	As	Armature compresse	k =	1.417				
N _{sd} =	1176 kN	0	0	0.00		$\rho_1 =$	0.006				
$\delta =$	1.00	0	0	0.00	A _{st,sup} =	0.00 cm ²	V _{Rd1} =	669.53 kN	Necessita armatura a taglio		
T _{sdu} =	0.00 kNm	n°	ϕ	As'	Armature tese						
Tipo di sezione		12.5	26	66.37		Resistenza CON ARMATURA A TAGLIO					
soletta		0	0	0.00	A _{st,inf} =	66.37 cm ²	ctg $\theta =$	1 (45°)	ctg $\theta =$	2,5 (218°)	
							V _{Rsd} =	572.56 kN	V _{Rsd} =	1431.39 kN	
							V _{Rcd} =	4513.03 kN	V _{Rcd} =	3112.44 kN	
							ctg θ (di calcolo) =	3.84	$\theta =$	14.6 °	
							ctg θ (assunto) =	2.500	$\theta =$	21.8 °	
							V _{Rsd} Staffe =	1431 kN			
							V _{Rsd} Piegati =	0 kN			
							V _{Rsd} =	1431 kN			
							V _{Rcd} =	3112 kN			
							V _{rdu} =	1431 kN	ok		

V=864 kN N=1147 kN

Sezione		Staffe a taglio		NTC 2008 - TAGLIO							
b =	100 cm	$\phi_1 =$	12 mm	A _{st} =	1.13 cm ² /passo	$\gamma_c =$	1.50	$\gamma_s =$	1.15		
h =	120 cm	Passo =	8.0 cm	A _{st} =	14.14 cm ² /m	f _{ck} =	29.05 MPa	f _{vwd} =	391.30 MPa		
c =	5.0 cm	Bracci =	1	A _{st,min} =	0.00 cm ² /m	f _{ed} =	16.46 MPa	$\sigma_{cp} =$	0.96 MPa		
d =	115.0 cm					f' _{cd} =	8.23 MPa	$\alpha_c =$	1.058		
Materiali		Ferri piegati a taglio		A _{st} =	14.14 cm ² /m	A _{st} =	14.14 cm ² /m	ok			
R _{ck} =	35 MPa	n° =	0.0			A _{st,min} =	15.00 cm ² /m				
f _{yk} =	450 MPa	Passo =	30 cm	A _{fp} =	0.00 cm ² /passo						
		$\phi_2 =$	18 mm	A _{fp} =	0.00 cm ² /m						
		$\alpha =$	45 °								
Sollecitazioni SLU		Armatura longitudinale a flessione		Resistenza PRIVA DI ARMATURA A TAGLIO							
V _{sdu} =	864 kN	n°	ϕ	As	Armature compresse	k =	1.417				
N _{sd} =	1147 kN	0	0	0.00		$\rho_1 =$	0.006				
$\delta =$	1.00	0	0	0.00	A _{st,sup} =	0.00 cm ²	V _{Rd1} =	665.36 kN	Necessita armatura a taglio		
T _{sdu} =	0.00 kNm	n°	ϕ	As'	Armature tese						
Tipo di sezione		12.5	26	66.37		Resistenza CON ARMATURA A TAGLIO					
soletta		0	0	0.00	A _{st,inf} =	66.37 cm ²	ctg $\theta =$	1 (45°)	ctg $\theta =$	2,5 (218°)	
							V _{Rsd} =	572.56 kN	V _{Rsd} =	1431.39 kN	
							V _{Rcd} =	4506.78 kN	V _{Rcd} =	3108.12 kN	
							ctg θ (di calcolo) =	3.84	$\theta =$	14.6 °	
							ctg θ (assunto) =	2.500	$\theta =$	21.8 °	
							V _{Rsd} Staffe =	1431 kN			
							V _{Rsd} Piegati =	0 kN			
							V _{Rsd} =	1431 kN			
							V _{Rcd} =	3108 kN			
							V _{rdu} =	1431 kN	ok		

La verifica a taglio è verificata.

11.3 Arco rovescio

Spessore = 1000 mm

$d = 1000 - 63 = 937 \text{ mm}$

$A_s = 10 \phi 26 + 5 \phi 26 / \text{m} = 6637 \text{ mm}^2/\text{m}$

$A's = 7.5 \phi 26 / \text{m} = 3982 \text{ mm}^2/\text{m}$

2 cavallotti $\phi 20 / 100 \times 100$

L'armatura corrente è stata ipotizzata pari a $4 \phi 16/\text{m}$

11.3.1 Pressoflessione

$M=2558 \text{ kNm}$ $N=1485 \text{ kN}$

Titolo : _____

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	100	1	39.82	6.3
			2	53.09	93.7
			3	26.55	88.5

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
M_{xEd} kNm
M_{yEd} kNm

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

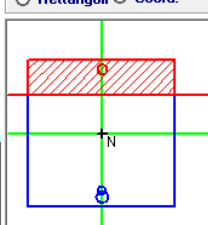
Coord. [cm] xN
yN

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.



Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione

Retta Deviata

N° rett.

L_o cm Col. modello

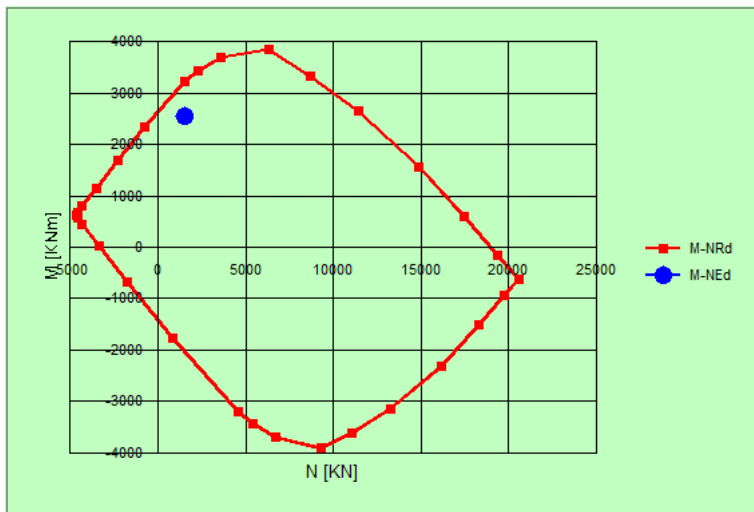
Precompresso

Materiali

B450C **C28/35**

ϵ_{su} ‰ ϵ_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² ϵ_{cu} ‰
 E_s N/mm² f_{cd} N/mm²
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} [?]
 ϵ_{syd} ‰ $\sigma_{c,adm}$ N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ N/mm² τ_{co} N/mm²
 τ_{c1} N/mm²

M_{xRd} kN m
 σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c ‰
 ϵ_s ‰
d cm
x x/d
 δ



AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

M=-2335 kNm N=110 kN

Titolo : _____

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	100	1	39.82	6.3
			2	53.09	93.7
			3	26.55	88.5

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN

M_{xEd} kNm

M_{yEd}

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi

a T Circolare

Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-

Metodo n

Tipo flessione

Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C

E_{su} ‰

f_{yd} N/mm²

E_s N/mm²

E_s/E_c

E_{syd} ‰

σ_{s,adm} N/mm²

C28/35

ε_{c2} ‰

ε_{cu} ‰

f_{cd} N/mm²

f_{cc}/f_{cd} [?]

σ_{c,adm} N/mm²

τ_{co} N/mm²

τ_{c1} N/mm²

M_{xRd} kNm

σ_c N/mm²

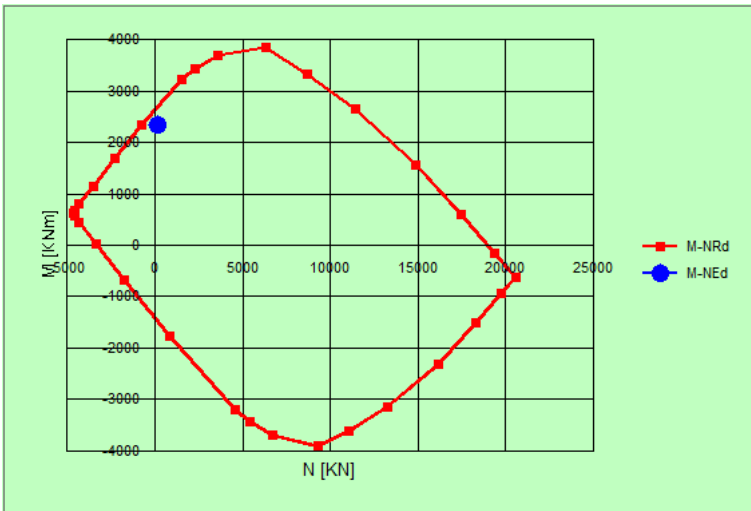
σ_s N/mm²

ε_c ‰

ε_s ‰

d cm

x x/d δ



AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

11.3.2 Taglio

V=860 kN N=1033 kN

Sezione		Staffe a taglio		NTC 2008 - TAGLIO							
b =	100 cm	$\phi_1 =$	20 mm	$A_{st} =$	6.28 cm ² /passo	$\gamma_c =$	1.50	$\gamma_s =$	1.15		
h =	100 cm	Passo =	50.0 cm	$A_{st} =$	12.57 cm ² /m	$f_{ck} =$	29.05 MPa	$f_{vwd} =$	391.30 MPa		
c =	5.0 cm	Bracci =	2	$A_{st,min} =$	0.00 cm ² /m	$f_{cd} =$	16.46 MPa	$\sigma_{cp} =$	0.97 MPa		
d =	95.0 cm					$f'_{cd} =$	8.23 MPa	$\alpha_c =$	1.059		
						$A_{st} =$	12.57 cm ² /m	ok			
				$A_{st,min} =$	15.00 cm ² /m						
Materiali		Ferri piegati a taglio		Resistenza PRIVA DI ARMATURA A TAGLIO							
$R_{ck} =$	35 MPa	$n^\circ =$	0.0	k =	1.459	$\rho_1 =$	0.004	$V_{Rd1} =$	521.11 kN	Necessita armatura a taglio	
$f_{yk} =$	450 MPa	Passo =	30 cm	$A_{fp} =$	0.00 cm ² /passo						
		$\phi_2 =$	18 mm	$A_{fp} =$	0.00 cm ² /m						
		$\alpha =$	45 °								
Sollecitazioni SLU		Armatura longitudinale a flessione		Resistenza CON ARMATURA A TAGLIO							
$V_{sdu} =$	860 kN	n°	ϕ	A_s	Armature compresse	$ctg\theta =$	1 (45°)	$ctg\theta =$	2,5 (218°)		
$N_{sd} =$	972 kN	0	0	0.00		$V_{Rsd} =$	420.43 kN	$V_{Rsd} =$	1051.07 kN		
$\delta =$	1.00	0	0	0.00	$A_{st,sup} =$	0.00 cm ²	$V_{Rcd} =$	3726.45 kN	$V_{Rcd} =$	2569.96 kN	
$T_{sdu} =$	0.00 kNm	n°	ϕ	A_s'	Armature tese	$ctg\theta$ (di calcolo) =	4.09	$\theta =$	13.7 °		
Tipo di sezione		7.5	26	39.82		$ctg\theta$ (assunto) =	2.500	$\theta =$	21.8 °		
soletta		0	0	0.00	$A_{st,inf} =$	39.82 cm ²					
						$V_{Rsd} \text{ Staffe} =$	1051 kN				
						$V_{Rsd} \text{ Piegati} =$	0 kN				
						$V_{Rsd} =$	1051 kN				
						$V_{Rcd} =$	2570 kN				
						$V_{rdu} =$	1051 kN	ok			

La verifica a taglio è verificata.

12 VERIFICHE SLE IMBOCCO NORD

12.1 Verifiche a fessurazione

Di seguito si riportano le verifiche a fessurazione per l'imbocco Nord calcolato con le sollecitazioni Frequenti e quasi permanenti.

12.1.1 Calotta

M=872 kNm N=445 kN (combinazione Frequente)

La distanza media fra le fessure è calcolata con la seguente relazione:

$$s_{rm} = 2 \left(c + \frac{s}{10} \right) + k_2 k_3 \frac{\phi_s}{\rho_r} = 203 \text{ mm} \quad \text{dove:}$$

k₂ = 0.4 k₂ = 0.4 per barre ad aderenza migliorata; k₂ = 0.8 per barre lisce

k₃ = 0.125 k₃ = .125 diagramma triangolare (presso-flessione o flessione)

 k₃ = .250 diagramma rettangolare di trazione (trazione pura)

 k₃ = 0.25 (s₁+s₂)/2s₁ (trazione eccentrica)

$$p_r = A_s / A_{c,eff} = 0.0220$$

$$A_{c,eff} = b_{eff} \times d_{eff} = 1000 \times 301.4 = 3.018E+05 \text{ mm}^2$$

La deformazione unitaria media dell'apertura vale:

$$\epsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] ; \left(\geq 0,4 \frac{\sigma_s}{E_s} \right) = 4.05E-04 \quad \text{nella quale:}$$

$$E_s = 206,000 \text{ N/mm}^2$$

β₁ = 1 (β₁=1 per barre ad aderenza migliorata; β₁=0,5 per barre lisce)

β₂ = 0.5 (β₂=1 per azioni di breve durata; β₂=0,5 per azioni ripetute o di lunga durata)

σ_s = 129.55 N/mm² è la tensione dell'acciaio in stato fessurato conseguente all'applicazione dei parametri di sollecitazione:

N = -445.00 kN Sforzo normale (< 0 = compressione)

M = 872.00 kNm Momento flettente

$\sigma_{sr} = 109.3 \text{ N/mm}^2$ Tensione dell'acciaio in stato fessurato sotto le sollecitazioni

N ed $M_{fess} = 759.10 \text{ kNm}$ determinato con

- $f_{ctm} = 2.89 \text{ N/mm}^2$ ($R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$)

- $A_{id} = 1.130E+06 \text{ mm}^2$

- $J_{id} = 1.090E+11 \text{ mm}^4$

Il valore medio di apertura delle fessure risulta $w_m = s_{rm} \times \epsilon_{sm} = 0.082 \text{ mm}$, dal quale si ricava il valore caratteristico:

$w_k = 1,7 w_m = 0.140 \text{ mm}$

L'ampiezza delle fessure della calotta hanno valore inferiore al limite di 0.2mm (valore limite per le combinazioni Quasi Permanenti in condizioni aggressive), per cui la verifica si ritiene soddisfatta sia per le combinazioni Frequenti che Quasi Permanenti.

12.1.2 Piedritto

Spessore = 150cm

M=2220kNm N=1608kN (combinazione Frequente)

La distanza media fra le fessure è calcolata con la seguente relazione:

$$s_{rm} = 2 \left(c + \frac{s}{10} \right) + k_2 k_3 \frac{\phi_s}{\rho_r} = 164 \text{ mm} \quad \text{dove:}$$

k2 = 0.4 k2 = 0.4 per barre ad aderenza migliorata; k2 = 0.8 per barre lisce

k3 = 0.125 k3 = .125 diagramma triangolare (presso-flessione o flessione)

 k3 = .250 diagramma rettangolare di trazione (trazione pura)

 k3 = 0.25 (s1+s2)/2s1 (trazione eccentrica)

$$\rho_r = A_s / A_{c,eff} = 0.0271$$

$$A_{c,eff} = b_{eff} \times d_{eff} = 1000 \times 245.0 = 2.45E+05 \text{ mm}^2$$

La deformazione unitaria media dell'apertura vale:

$$\epsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] ; \left(\geq 0,4 \frac{\sigma_s}{E_s} \right) = 5.46E-04 \quad \text{nella quale:}$$

$$E_s = 206,000 \text{ N/mm}^2$$

$\beta_1 = 1$ ($\beta_1=1$ per barre ad aderenza migliorata; $\beta_1=0,5$ per barre lisce)

$\beta_2 = 0.5$ ($\beta_2=1$ per azioni di breve durata; $\beta_2=0,5$ per azioni ripetute o di lunga durata)

$\sigma_s = 158.99 \text{ N/mm}^2$ è la tensione dell'acciaio in stato fessurato conseguente all'applicazione dei parametri di sollecitazione:

N = -1608.00 kN Sforzo normale (< 0 = compressione)

M = 2220.00 kNm Momento flettente

$\sigma_{sr} = 122.4 \text{ N/mm}^2$ Tensione dell'acciaio in stato fessurato sotto le sollecitazioni

N ed M_{fess} = 1,886.45 kNm determinato con

- $f_{ctm} = 2.89 \text{ N/mm}^2$ ($R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$)
- $A_{id} = 1.630E+06 \text{ mm}^2$
- $J_{id} = 3.455E+11 \text{ mm}^4$

Il valore medio di apertura delle fessure risulta $w_m = s_{rm} \times \epsilon_{sm} = 0.151 \text{ mm}$, dal quale si ricava il valore caratteristico:

$$w_k = 1,7 w_m = 0.151 \text{ mm}$$

Spessore = 120cm

$M=1784 \text{ kNm}$ $N=1573 \text{ kN}$ (combinazione Frequente)

La distanza media fra le fessure è calcolata con la seguente relazione:

$$s_{rm} = 2 \left(c + \frac{s}{10} \right) + k_2 k_3 \frac{\phi_s}{\rho_r} = 164 \text{ mm} \quad \text{dove:}$$

$k_2 = 0.4$ $k_2 = 0.4$ per barre ad aderenza migliorata; $k_2 = 0.8$ per barre lisce

$k_3 = 0.125$ $k_3 = .125$ diagramma triangolare (presso-flessione o flessione)

$k_3 = .250$ diagramma rettangolare di trazione (trazione pura)

$k_3 = 0.25 (s_1+s_2)/2s_1$ (trazione eccentrica)

$$\rho_r = A_s / A_{c,eff} = 0.0271$$

$$A_{c,eff} = b_{eff} \times d_{eff} = 1000 \times 245.0 = 2.45E+05 \text{ mm}^2$$

La deformazione unitaria media dell'apertura vale:

$$\epsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] ; \left(\geq 0,4 \frac{\sigma_s}{E_s} \right) = 6.55E-04 \quad \text{nella quale:}$$

$$E_s = 206,000 \text{ N/mm}^2$$

$\beta_1 = 1$ ($\beta_1=1$ per barre ad aderenza migliorata; $\beta_1=0,5$ per barre lisce)

$\beta_2 = 0.5$ ($\beta_2=1$ per azioni di breve durata; $\beta_2=0,5$ per azioni ripetute o di lunga durata)

$\sigma_s = 167.66 \text{ N/mm}^2$ è la tensione dell'acciaio in stato fessurato conseguente all'applicazione dei parametri di sollecitazione:

N = -1573.00 kN Sforzo normale (< 0 = compressione)

M = 1784.00 kNm Momento flettente

$\sigma_{sr} = 104.8 \text{ N/mm}^2$ Tensione dell'acciaio in stato fessurato sotto le sollecitazioni

N ed Mfess = 1,333.95 kNm determinato con

- $f_{ctm} = 2.89 \text{ N/mm}^2$ (Rck = 35 N/mm²)

- $A_{id} = 1.330E+06 \text{ mm}^2$

- $J_{id} = 1.830E+11 \text{ mm}^4$

Il valore medio di apertura delle fessure risulta $w_m = s_{rm} \times \epsilon_{sm} = 0.107 \text{ mm}$, dal quale si ricava il valore caratteristico:

$w_k = 1,7 w_m = 0.183 \text{ mm}$

Spessore = 100cm

M=1504kNm N=1544kN (combinazione Frequente)

La distanza media fra le fessure è calcolata con la seguente relazione:

$$s_{rm} = 2 \left(c + \frac{s}{10} \right) + k_2 k_3 \frac{\phi_s}{\rho_r} = 164 \text{ mm} \quad \text{dove:}$$

$k_2 = 0.4$ $k_2 = 0.4$ per barre ad aderenza migliorata; $k_2 = 0.8$ per barre lisce

$k_3 = 0.125$ $k_3 = .125$ diagramma triangolare (presso-flessione o flessione)

$k_3 = .250$ diagramma rettangolare di trazione (trazione pura)

$k_3 = 0.25 (s_1+s_2)/2s_1$ (trazione eccentrica)

$\rho_r = A_s / A_{c,eff} = 0.0271$

$A_{c,eff} = b_{eff} \times d_{eff} = 1000 \times 245.0 = 2.450E+05 \text{ mm}^2$

La deformazione unitaria media dell'apertura vale:

$$\epsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] ; \left(\geq 0,4 \frac{\sigma_s}{E_s} \right) = 7.42E-04 \quad \text{nella quale:}$$

$$E_s = 206,000 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_1 = 1 \quad (\beta_1=1 \text{ per barre ad aderenza migliorata; } \beta_1=0,5 \text{ per barre lisce)}$$

$$\beta_2 = 0.5 \quad (\beta_2=1 \text{ per azioni di breve durata; } \beta_2=0,5 \text{ per azioni ripetute o di lunga durata)}$$

$\sigma_s = 177.47 \text{ N/mm}^2$ è la tensione dell'acciaio in stato fessurato conseguente all'applicazione dei parametri di sollecitazione:

$$N = -1544.00 \text{ kN} \quad \text{Sforzo normale (} < 0 = \text{compressione)}$$

$$M = 1504.00 \text{ kNm} \quad \text{Momento flettente}$$

$$\sigma_{sr} = 93.5 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Tensione dell'acciaio in stato fessurato sotto le sollecitazioni}$$

N ed $M_{fess} = 1,013.20 \text{ kNm}$ determinato con

$$- f_{ctm} = 2.89 \text{ N/mm}^2 \quad (R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2)$$

$$- A_{id} = 1.130E+06 \text{ mm}^2$$

$$- J_{id} = 1.090E+11 \text{ mm}^4$$

Il valore medio di apertura delle fessure risulta $w_m = s_{rm} \times \epsilon_{sm} = 0.122 \text{ mm}$, dal quale si ricava il valore caratteristico:

$$w_k = 1,7 w_m = 0.207 \text{ mm} < 0.300 \text{ mm}$$

$$M=1433\text{kNm} \quad N=1487\text{kN} \quad (\text{combinazione QP})$$

La distanza media fra le fessure è calcolata con la seguente relazione:

$$s_{rm} = 2 \left(c + \frac{s}{10} \right) + k_2 k_3 \frac{\phi_s}{\rho_r} = 164 \text{ mm} \quad \text{dove:}$$

$$k_2 = 0.4 \quad k_2 = 0.4 \text{ per barre ad aderenza migliorata; } k_2 = 0.8 \text{ per barre lisce}$$

$k_3 = 0.125$ $k_3 = .125$ diagramma triangolare (presso-flessione o flessione)
 $k_3 = .250$ diagramma rettangolare di trazione (trazione pura)
 $k_3 = 0.25 (s_1+s_2)/2s_1$ (trazione eccentrica)

$$p_r = A_s / A_{c,eff} = 0.0271$$

$$A_{c,eff} = b_{eff} \times d_{eff} = 1000 \times 245.0 = 2.450E+05 \text{ mm}^2$$

La deformazione unitaria media dell'apertura vale:

$$\epsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] ; \left(\geq 0,4 \frac{\sigma_s}{E_s} \right) = 6.89E-04 \quad \text{nella quale:}$$

$$E_s = 206,000 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_1 = 1 \quad (\beta_1=1 \text{ per barre ad aderenza migliorata; } \beta_1=0,5 \text{ per barre lisce)}$$

$$\beta_2 = 0.5 \quad (\beta_2=1 \text{ per azioni di breve durata; } \beta_2=0,5 \text{ per azioni ripetute o di lunga durata)}$$

$\sigma_s = 168.22 \text{ N/mm}^2$ è la tensione dell'acciaio in stato fessurato conseguente all'applicazione dei parametri di sollecitazione:

$$N = -1487.00 \text{ kN} \quad \text{Sforzo normale (} < 0 = \text{ compressione)}$$

$$M = 1433.00 \text{ kNm} \quad \text{Momento flettente}$$

$$\sigma_{sr} = 94.1 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Tensione dell'acciaio in stato fessurato sotto le sollecitazioni}$$

N ed $M_{fess} = 1,000.17 \text{ kNm}$ determinato con

$$- f_{ctm} = 2.89 \text{ N/mm}^2 \quad (R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2)$$

$$- A_{id} = 1.130E+06 \text{ mm}^2$$

$$- J_{id} = 1.090E+11 \text{ mm}^4$$

Il valore medio di apertura delle fessure risulta $w_m = s_{rm} \times \epsilon_{sm} = 0.113 \text{ mm}$, dal quale si ricava il valore caratteristico:

$$w_k = 1,7 w_m = 0.192 \text{ mm} < 0.200 \text{ mm}$$

Tutte le ampiezza delle fessure del piedritto per le combinazioni frequenti hanno valore inferiore al limite di 0.3mm e per le combinazioni quasi permanenti valore inferiore al limite di 0.2mm, per cui la verifica si ritiene soddisfatta sia per le combinazioni Frequenti che Quasi Permanenti.

12.1.3 Arco rovescio

M=1070 kNm N=374 kN (combinazione Frequente)

La distanza media fra le fessure è calcolata con la seguente relazione:

$$s_{rm} = 2 \left(c + \frac{s}{10} \right) + k_2 k_3 \frac{\phi_s}{\rho_r} = 153 \text{ mm} \quad \text{dove:}$$

k₂ = 0.4 k₂ = 0.4 per barre ad aderenza migliorata; k₂ = 0.8 per barre lisce

k₃ = 0.125 k₃ = .125 diagramma triangolare (presso-flessione o flessione)

 k₃ = .250 diagramma rettangolare di trazione (trazione pura)

 k₃ = 0.25 (s₁+s₂)/2s₁ (trazione eccentrica)

$$\rho_r = A_s / A_{c,eff} = 0.0325$$

$$A_{c,eff} = b_{eff} \times d_{eff} = 1000 \times 245.0 = 2.45E+05 \text{ mm}^2$$

La deformazione unitaria media dell'apertura vale:

$$\epsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] ; \left(\geq 0,4 \frac{\sigma_s}{E_s} \right) = 5.25E-04 \quad \text{nella quale:}$$

$$E_s = 206,000 \text{ N/mm}^2$$

β₁ = 1 (β₁=1 per barre ad aderenza migliorata; β₁=0,5 per barre lisce)

β₂ = 0.5 (β₂=1 per azioni di breve durata; β₂=0,5 per azioni ripetute o di lunga durata)

σ_s = 142.40 N/mm² è la tensione dell'acciaio in stato fessurato conseguente all'applicazione dei parametri di sollecitazione:

N = -374.00 kN Sforzo normale (< 0 = compressione)

M = 1070.00 kNm Momento flettente

σ_{sr} = 98.7 N/mm² Tensione dell'acciaio in stato fessurato sotto le sollecitazioni

N ed M_{fess} = 779.63 kNm determinato con

$$- f_{ctm} = 2.89 \text{ N/mm}^2 \quad (R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2)$$

$$- A_{id} = 1.130E+06 \text{mm}^2$$

$$- J_{id} = 1.090E+11 \text{mm}^4$$

Il valore medio di apertura delle fessure risulta $w_m = s_{rm} \times \epsilon_{sm} = 0.081 \text{ mm}$, dal quale si ricava il valore caratteristico:

$$w_k = 1,7 w_m = 0.137 \text{ mm} < 0.300 \text{mm}$$

L'ampiezza delle fessure dell'arco rovescio hanno valore inferiore al limite di 0.3mm (valore limite per le combinazioni Quasi Permanenti in condizioni ordinarie), per cui la verifica si ritiene soddisfatta sia per le combinazioni Frequenti che Quasi Permanenti.

12.1 Verifiche tensionali

Di seguito si riportano le verifiche tensionali per l'imbocco Nord calcolato con le sollecitazioni rare e sismiche allo SLD.

12.1.1 Calotta

Combinazioni Rare

$M=896 \text{ kNm}$ $N=447 \text{ kN}$

$\sigma_s = 133 \text{ MPa}$

$\sigma_c = 5.99 \text{ MPa}$

Combinazioni SLD

$M=1246 \text{ kNm}$ $N=389 \text{ kN}$

$\sigma_s = 200 \text{ MPa}$

$\sigma_c = 8.13 \text{ MPa}$

12.1.2 Piedritto

Spessore = 150cm

Combinazioni Rare

$M=2259 \text{ kNm}$ $N=1627 \text{ kN}$

$\sigma_s = 163 \text{ MPa}$

$\sigma_c = 7.95 \text{ MPa}$

Combinazioni SLD

$M=2695 \text{ kNm}$ $N=1401 \text{ kN}$

$\sigma_s = 223.9 \text{ MPa}$

$\sigma_c = 9.29 \text{ MPa}$

Spessore = 120cm

Combinazioni Rare

$M=1814 \text{ kNm}$ $N=1593 \text{ kN}$

$\sigma_s = 171 \text{ MPa}$

$\sigma_c = 9.36 \text{ MPa}$

Combinazioni SLD

M=1938kNm N=1367kN

$\sigma_s = 201 \text{ MPa}$

$\sigma_c = 9.83 \text{ MPa}$

Spessore = 100cm

Combinazioni Rare

M=1535 kNm N=1579 kN

$\sigma_s = 181 \text{ MPa}$

$\sigma_c = 10.86 \text{ MPa}$

Combinazioni SLD

M=1389kNm N=1337kN

$\sigma_s = 169 \text{ MPa}$

$\sigma_c = 9.76 \text{ MPa}$

12.1.3 Arco rovescio

Combinazioni Rare

M=1085 kNm N=374 kN

$\sigma_s = 172 \text{ MPa}$

$\sigma_c = 7.11 \text{ MPa}$

Combinazioni SLD

M=1478kNm N=280kN

$\sigma_s = 248 \text{ MPa}$

$\sigma_c = 9.47 \text{ MPa}$

Le tensioni massime dell'acciaio sono sempre inferiori al limite di $0.8 \cdot f_{yk} = 360 \text{ MPa}$, mentre quelle del calcestruzzo sono sempre inferiori al limite di $0.6 \cdot f_{ck} = 17.43 \text{ MPa}$.

La verifica si ritiene soddisfatta.

13 VERIFICHE SLU IMBOCCO SUD

13.1 Calotta

Spessore = 1000 mm

$d = 1000 - 63 = 937 \text{ mm}$

$A_s = 7.5\phi 26 / m = 3982 \text{ mm}^2/m$

$A's = 5\phi 26 / m = 2655 \text{ mm}^2/m$

L'armatura corrente è stata ipotizzata pari a $4\phi 16/m$

13.1.1 Pressoflessione

$M=1256 \text{ kNm}$

$N=-197 \text{ kN}$

Titolo : _____

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	100	1	26.55	6.3
			2	39.82	93.7

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN

M_{xEd} kNm

M_{yEd} kNm

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi

a T Circolare

Rettangoli Coord.

Materiali

B450C C28/35

ϵ_{su} ‰ ϵ_{c2} ‰

f_{yd} N/mm² ϵ_{cu} ‰

E_s N/mm² f_{cd} ‰

E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ‰

ϵ_{syd} ‰ $\sigma_{c,adm}$ ‰

$\sigma_{s,adm}$ N/mm² τ_{co} ‰

τ_{c1} ‰

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²

σ_s N/mm²

ϵ_c ‰

ϵ_s ‰

d cm

x x/d

δ

Precompresso

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-

Metodo n

Tipo flessione

Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ cm Col. modello

13.1.2 Taglio

V=321 kN N=891 kN

Sezione		Staffe a taglio			NTC 2008 - TAGLIO				
b =	100 cm	$\phi_1 =$	0 mm	A _{st} =	0.00 cm ² /passo	$\gamma_c =$	1.50	$\gamma_s =$	1.15
h =	100 cm	Passo =	50.0 cm	A _{st} =	0.00 cm ² /m	f _{ck} =	29.05 MPa	f _{vwd} =	391.30 MPa
c =	5.0 cm	Bracci =	2	A _{st,min} =	0.00 cm ² /m	f _{ed} =	16.46 MPa	$\sigma_{cp} =$	0.89 MPa
d =	95.0 cm					f' _{ed} =	8.23 MPa	$\alpha_c =$	1.054
Materiali		Ferri piegati a taglio			A _{st} =	0.00 cm ² /m	ok		
R _{ck} =	35 MPa	n° =	0.0	A _{st,min} =	15.00 cm ² /m				
f _{yk} =	450 MPa	Passo =	30 cm	A _{fp} =	0.00 cm ² /passo				
		$\phi_2 =$	18 mm	A _{fp} =	0.00 cm ² /m				
		$\alpha =$	45 °						
Sollecitazioni SLU		Armatura longitudinale a flessione			Resistenza PRIVA DI ARMATURA A TAGLIO				
V _{sdu} =	321 kN	n°	ϕ	As	Armature compresse	k =	1.459		
N _{sd} =	891 kN	0	0	0.00		$\rho_1 =$	0.004		
$\delta =$	1.00	0	0	0.00	A _{st,sup} =	0.00 cm ²	V _{Rd1} =	509.57 kN	Verificato
T _{sdu} =	0.00 kNm	n°	ϕ	As'	Armature tese				
Tipo di sezione		7.5	26	39.82	A _{st,inf} =	39.82 cm ²			
soletta		0	0	0.00					

La verifica a taglio è verificata senza armatura a taglio.

13.2 Piedritto

Spessore = 1500÷1000 mm

d = 1437÷937 mm

As = 10φ 26 /m = 5309 mm²/m

A's = 5φ 26 /m = 2655 mm²/m

spilli φ 12/40x20

L'armatura corrente è stata ipotizzata pari a 4φ 16/m

13.2.1 Pressoflessione

Spessore 150cm

M=2659 kNm

N=981 kN

Titolo : _____

N° strati barre

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm ²]	d [cm]
1	100	150	1	26.55	6.3
			2	53.09	143.7

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN

M_{xEd} kNm

M_{yEd}

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

Coord [cm] xN yN

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi

a T Circolare

Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-

Metodo n

Tipo flessione

Retta Deviata

N° rett.

L₀ cm

Precompresso

Materiali

B450C

ε_{su} ‰

f_{yd} N/mm²

E_s N/mm²

E_s/E_c

ε_{syd} ‰

σ_{s,adm} N/mm²

C28/35

ε_{c2} ‰

E_{cu}

f_{cd}

f_{cc}/f_{cd} [?]

σ_{c,adm}

τ_{co}

τ_{cl}

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²

σ_s N/mm²

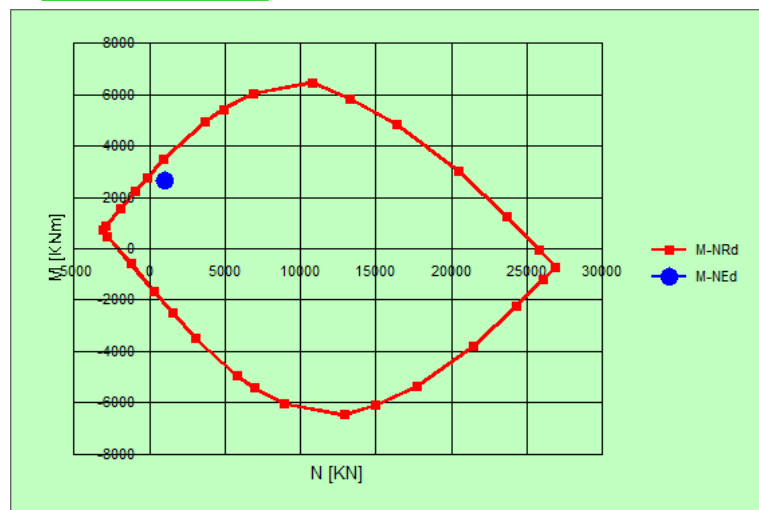
ε_c ‰

ε_s ‰

d cm

x x/d

δ



Spessore 120cm

M=1696 kNm N=947 kN

Titolo : _____

N° strati barre

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	120	1	26.55	6.3
			2	53.09	113.7

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN

M_{xEd} kNm

M_{yEd}

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi

a T Circolare

Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-

Metodo n

Tipo flessione

Retta Deviata

N° rett.

L₀ cm Col. modello

Precompresso

Materiali

E_{su} ‰ E_{c2} ‰

f_{yd} N/mm² E_{cu} ‰

E_s N/mm² f_{cd} ‰

E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?

E_{syd} ‰ σ_{c,adm} ‰

σ_{s,adm} N/mm² τ_{co} ‰

τ_{c1} ‰

M_{xRd} kNm

σ_c N/mm²

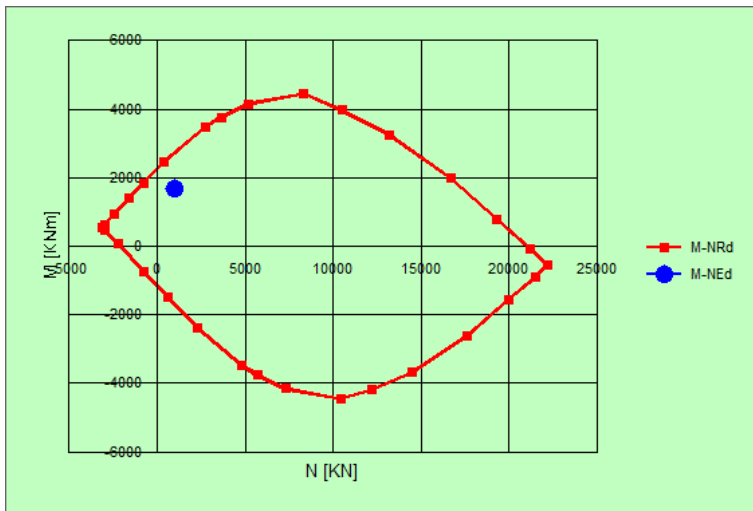
σ_s N/mm²

ε_c ‰

ε_s ‰

d cm

x x/d δ



Spessore 100cm

M=1399 kNm N=1572 kN

Titolo: _____

N° strati barre **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	100

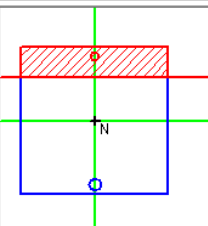
N°	As [cm²]	d [cm]
1	26.55	6.3
2	53.09	93.7

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi

a T Circolare

Rettangoli Coord.



Sollecitazioni

S.L.U. **Metodo n**

N_{Ed} kN

M_{xEd} kNm

M_{yEd}

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

B450C

C28/35

E _{su} <input type="text" value="67.5"/> ‰	E _{c2} <input type="text" value="2"/> ‰
f _{yd} <input type="text" value="391.3"/> N/mm²	E _{cu} <input type="text" value="3.5"/> ‰
E _s <input type="text" value="200.000"/> N/mm²	f _{cd} <input type="text" value="15.87"/> ‰
E _s /E _c <input type="text" value="15"/> ‰	f _{cc} /f _{cd} <input type="text" value="0.8"/> ‰
E _{syd} <input type="text" value="1.957"/> ‰	σ _{c,adm} <input type="text" value="11"/> ‰
σ _{s,adm} <input type="text" value="255"/> N/mm²	τ _{co} <input type="text" value="0.6667"/> ‰
	τ _{cl} <input type="text" value="1.971"/> ‰

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²

σ_s N/mm²

ε_c ‰

ε_s ‰

d cm

x x/d δ

Precompresso

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-

Metodo n

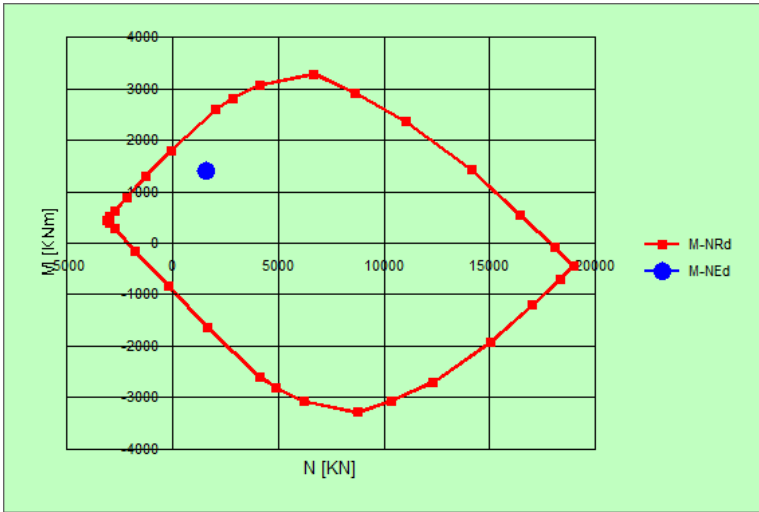
Tipo flessione

Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd **Dominio M-N**

L₀ cm **Col. modello**



AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

13.2.2 Taglio

V=655 kN N=918 kN

Sezione		Staffe a taglio				NTC 2008 - TAGLIO			
b =	100 cm	$\phi_1 =$	12 mm	A _{st} =	1.13 cm ² /passo	$\gamma_c =$	1.50	$\gamma_s =$	1.15
h =	100 cm	Passo =	8.0 cm	A _{st} =	14.14 cm ² /m	f _{ck} =	29.05 MPa	f _{ywd} =	391.30 MPa
c =	5.0 cm	Bracci =	1	A _{st,min} =	0.00 cm ² /m	f _{cd} =	16.46 MPa	$\sigma_{cp} =$	0.92 MPa
d =	95.0 cm					f' _{cd} =	8.23 MPa	$\alpha_c =$	1.056
Materiali		Ferri piegati a taglio				Resistenza PRIVA DI ARMATURA A TAGLIO			
R _{ck} =	35 MPa	n° =	0.0			k =	1.459		
f _{yk} =	450 MPa	Passo =	30 cm	A _{fip}	0.00 cm ² /passo	$\rho_l =$	0.006		
		$\phi_z =$	18 mm	A _{fip}	0.00 cm ² /m	V _{Rd1} =	551.93 kN	Necessita armatura a taglio	
		$\alpha =$	45 °			Resistenza CON ARMATURA A TAGLIO			
Solicitazioni SLU		Armatura longitudinale a flessione							
V _{sdu} =	655 kN	n°	ϕ	A _s	Armature compresse	ctg $\theta =$	1 (45°)	ctg $\theta =$	2,5 (218°)
N _{sd} =	918 kN	0	0	0.00	A _{st,sup} 0.00 cm ²	V _{Rsd} =	472.98 kN	V _{Rsd} =	1182.45 kN
$\delta =$	1.00	0	0	0.00	Armature tese	V _{Rcd} =	3714.90 kN	V _{Rcd} =	2562.00 kN
T _{sdu} =	0.00 kNm	n°	ϕ	A _{s'}	A _{st,inf} 53.09 cm ²	ctg θ (di calcolo) =	3.84	$\theta =$	14.6 °
Tipo di sezione		10.0	26	53.09		ctg θ (assunto) =	2.500	$\theta =$	21.8 °
soletta		0	0	0.00		V _{Rsd} Staffe =	1182 kN		
						V _{Rsd} Piegati =	0 kN		
						V _{Rsd} =	1182 kN		
						V _{Rcd} =	2562 kN		
						V _{rdu} =	1182 kN	ok	

La verifica a taglio è verificata.

13.3 Arco rovescio

Spessore = 1000 mm

$d = 1000 - 63 = 937 \text{ mm}$

$A_s = 7.5\phi 26 + 5\phi 26 / \text{m} = 6637 \text{ mm}^2/\text{m}$

$A's = 5\phi 26 / \text{m} = 2655 \text{ mm}^2/\text{m}$

1 cavallotto $\phi 20 / 80 \times 80$

L'armatura corrente è stata ipotizzata pari a $4\phi 16/\text{m}$

13.3.1 Pressoflessione

$M=2318\text{kNm}$

$N=1346 \text{ kN}$

Titolo : _____

N° strati barre

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	100	1	39.82	6.3
			2	39.82	93.7
			3	26.55	88.5

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N Ed kN

M xEd kNm

M yEd

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura

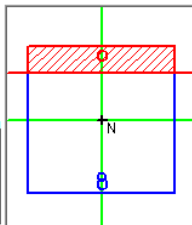
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi

a T Circolare

Rettangoli Coord.



Metodo di calcolo

S.L.U. + S.L.U. -

Metodo n

Tipo flessione

Retta Deviata

N° rett.

L₀ cm

Precompresso

Materiali

B450C

E_{su} 67.5 ‰

f_{yd} 391.3 N/mm²

E_s 200.000 N/mm²

E_s/E_c 15

E_{syd} 1.957 ‰

$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²

C28/35

E_{c2} 2 ‰

E_{cu} 3.5

f_{cd} 15.87

f_{cc}/f_{cd} 0.8 ?

$\sigma_{c,adm}$ 11

τ_{co} 0.6667

τ_{c1} 1.971

M M_{xRd} 2,770 kN m

σ_c -15.87 N/mm²

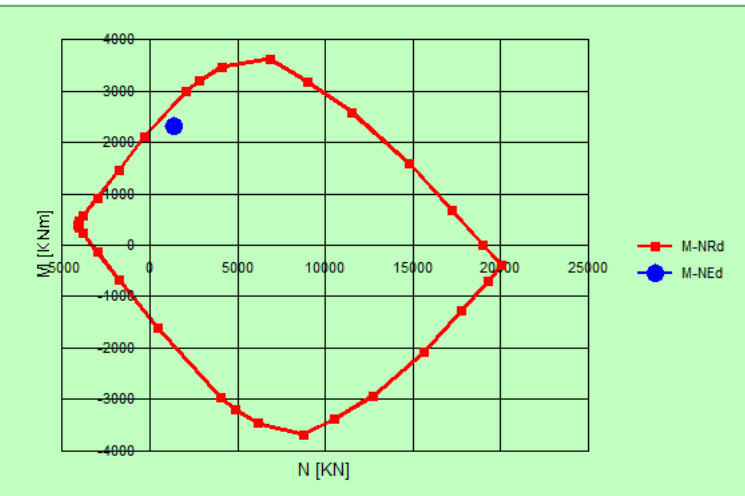
σ_s 391.3 N/mm²

ϵ_s 14.18 ‰

d 93.7 cm

x 18.55 x/d 0.198

δ 0.7



M_{Ed} [kNm] vs N [kN]

M-NRd
 M-NEd

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

M=-1872 kNm

N=272kN

Titolo : _____

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	100

N°	As [cm²]	d [cm]
1	39.82	6.3
2	39.82	93.7
3	26.55	88.5

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN

M_{xEd} 0 kNm

M_{yEd} 0

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi

a T Circolare

Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-

Metodo n

Tipo flessione

Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ cm Col. modello

Precompresso

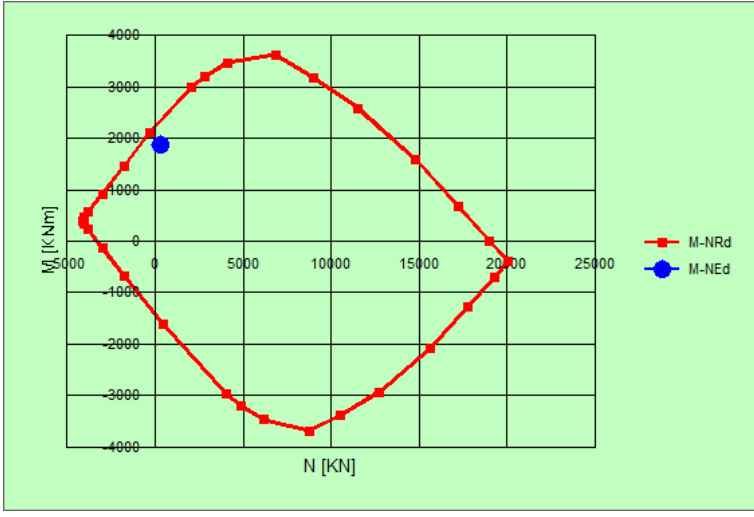
Materiali

B450C

C28/35

ϵ_{su} ‰ ϵ_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² ϵ_{cu} ‰
 E_s N/mm² f_{cd} ‰
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ‰
 ϵ_{syd} ‰ $\sigma_{c,adm}$ ‰
 $\sigma_{s,adm}$ N/mm² τ_{co} ‰
 τ_{c1} ‰

M_{xRd} kN m
 σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c ‰
 ϵ_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ



13.3.2 Taglio

V=708 kN N=850 kN

Sezione		Staffe a taglio		NTC 2008 - TAGLIO							
b =	100 cm	$\phi_1 =$	20 mm	$A_{st} =$	6.28 cm ² /passo	$\gamma_c =$	1.50	$\gamma_s =$	1.15		
h =	100 cm	Passo =	64.0 cm	$A_{st} =$	9.82 cm ² /m	$f_{ck} =$	29.05 MPa	$f_{vwd} =$	391.30 MPa		
c =	5.0 cm	Bracci =	2	$A_{st,min} =$	0.00 cm ² /m	$f_{ed} =$	16.46 MPa	$\sigma_{cp} =$	0.85 MPa		
d =	95.0 cm					$f'_{ed} =$	8.23 MPa	$\alpha_c =$	1.052		
						$A_{st} =$	9.82 cm ² /m	ok			
						$A_{st,min} =$	15.00 cm ² /m				
Materiali		Ferri piegati a taglio		Resistenza PRIVA DI ARMATURA A TAGLIO							
$R_{ck} =$	35 MPa	$n^\circ =$	0.0	k =	1.459						
$f_{yk} =$	450 MPa	Passo =	30 cm	$A_{fp} =$	0.00 cm ² /passo	$\rho_l =$	0.004				
		$\phi_2 =$	18 mm	$A_{fp} =$	0.00 cm ² /m	$V_{Rd1} =$	503.73 kN	Necessita armatura a taglio			
		$\alpha =$	45 °								
Solicitazioni SLU		Armatura longitudinale a flessione		Resistenza CON ARMATURA A TAGLIO							
$V_{sdu} =$	708 kN	n°	ϕ	A_s	Armature compresse	$ctg\theta =$	1 (45°)	$ctg\theta =$	2,5 (218°)		
$N_{sd} =$	850 kN	0	0	0.00		$V_{Rsd} =$	328.46 kN	$V_{Rsd} =$	821.15 kN		
$\delta =$	1.00	0	0	0.00	$A_{st,sup} =$	0.00 cm ²	$V_{Rcd} =$	3700.37 kN	$V_{Rcd} =$	2551.98 kN	
$T_{sdu} =$	0.00 kNm	n°	ϕ	A_s'	Armature tese	$ctg\theta$ (di calcolo) =	4.64	$\theta =$	12.2 °		
		7.5	26	39.82		$ctg\theta$ (assunto) =	2.500	$\theta =$	21.8 °		
Tipo di sezione		0	0	0.00	$A_{st,inf} =$	39.82 cm ²					
	soletta						V_{Rsd} Staffe =	821 kN			
							V_{Rsd} Piegati =	0 kN			
							$V_{Rsd} =$	821 kN			
							$V_{Rcd} =$	2552 kN			
							$V_{rd} =$	821 kN	ok		

La verifica a taglio è verificata.

14 VERIFICHE SLE IMBOCCO SUD

14.1 Verifiche a fessurazione

Di seguito si riportano le verifiche a fessurazione per l'imbocco Nord calcolato con le sollecitazioni Frequenti e quasi permanenti.

14.1.1 Calotta

M=642 kNm N=647 kN (combinazione frequente)

La distanza media fra le fessure è calcolata con la seguente relazione:

$$s_{rm} = 2 \left(c + \frac{s}{10} \right) + k_2 k_3 \frac{\phi_s}{\rho_r} = 207 \text{ mm} \quad \text{dove:}$$

k₂ = 0.4 k₂ = 0.4 per barre ad aderenza migliorata; k₂ = 0.8 per barre lisce

k₃ = 0.125 k₃ = .125 diagramma triangolare (presso-flessione o flessione)

 k₃ = .250 diagramma rettangolare di trazione (trazione pura)

 k₃ = 0.25 (s₁+s₂)/2s₁ (trazione eccentrica)

$$\rho_r = A_s / A_{c,eff} = 0.0163$$

$$A_{c,eff} = b_{eff} \times d_{eff} = 1000 \times 245.0 = 2.450E+05 \text{ mm}^2$$

La deformazione unitaria media dell'apertura vale:

$$\epsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] ; \left(\geq 0,4 \frac{\sigma_s}{E_s} \right) = 2.32E-04 \quad \text{nella quale:}$$

$$E_s = 206,000 \text{ N/mm}^2$$

β₁ = 1 (β₁=1 per barre ad aderenza migliorata; β₁=0,5 per barre lisce)

β₂ = 0.5 (β₂=1 per azioni di breve durata; β₂=0,5 per azioni ripetute o di lunga durata)

σ_s = 119.61 N/mm² è la tensione dell'acciaio in stato fessurato conseguente all'applicazione dei parametri di sollecitazione:

N = -647.00 kN Sforzo normale (< 0 = compressione)

M = 642.00 kNm Momento flettente

$\sigma_{sr} = 146.0 \text{ N/mm}^2$ Tensione dell'acciaio in stato fessurato sotto le sollecitazioni

N ed $M_{fess} = 734.20 \text{ kNm}$ determinato con

- $f_{ctm} = 2.89 \text{ N/mm}^2$ ($R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$)

- $A_{id} = 1.093E+06 \text{ mm}^2$

- $J_{id} = 1.023E+11 \text{ mm}^4$

Il valore medio di apertura delle fessure risulta $w_m = s_{rm} \times \epsilon_{sm} = 0.048 \text{ mm}$, dal quale si ricava il valore caratteristico:

$w_k = 1,7 w_m = 0.082 \text{ mm} < 0.200 \text{ mm}$

L'ampiezza delle fessure della calotta hanno valore inferiore al limite di 0.2mm (valore limite per le combinazioni Quasi Permanenti in condizioni aggressive), per cui la verifica si ritiene soddisfatta sia per le combinazioni Frequenti che Quasi Permanenti.

14.1.2 Piedritto

Spessore 150cm

M=1609kNm N=1354 kN (combinazione frequente)

La distanza media fra le fessure è calcolata con la seguente relazione:

$$s_{rm} = 2 \left(c + \frac{s}{10} \right) + k_2 k_3 \frac{\phi_s}{\rho_r} = 180 \text{ mm} \quad \text{dove:}$$

k₂ = 0.4 k₂ = 0.4 per barre ad aderenza migliorata; k₂ = 0.8 per barre lisce

k₃ = 0.125 k₃ = .125 diagramma triangolare (presso-flessione o flessione)

 k₃ = .250 diagramma rettangolare di trazione (trazione pura)

 k₃ = 0.25 (s₁+s₂)/2s₁ (trazione eccentrica)

$$\rho_r = A_s / A_{c,eff} = 0.0217$$

$$A_{c,eff} = b_{eff} \times d_{eff} = 1000 \times 245.0 = 2.450 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

La deformazione unitaria media dell'apertura vale:

$$\epsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] ; \left(\geq 0,4 \frac{\sigma_s}{E_s} \right) = 2.47 \times 10^{-4} \quad \text{nella quale:}$$

$$E_s = 206,000 \text{ N/mm}^2$$

β₁ = 1 (β₁=1 per barre ad aderenza migliorata; β₁=0,5 per barre lisce)

β₂ = 0.5 (β₂=1 per azioni di breve durata; β₂=0,5 per azioni ripetute o di lunga durata)

σ_s = 127.01 N/mm² è la tensione dell'acciaio in stato fessurato conseguente all'applicazione dei parametri di sollecitazione:

N = -1354.00 kN Sforzo normale (< 0 = compressione)

M = 1609.00 kNm Momento flettente

σ_{sr} = 127.01 N/mm² Tensione dell'acciaio in stato fessurato sotto le sollecitazioni

N ed M_{fess} = 1,741.36 kNm determinato con

- $f_{ctm} = 2.89 \text{ N/mm}^2$ (Rck = 35 N/mm²)
- $A_{id} = 1.593E+06 \text{ mm}^2$
- $J_{id} = 3.281E+11 \text{ mm}^4$

Il valore medio di apertura delle fessure risulta $w_m = s_{rm} \times \epsilon_{sm} = 0.044 \text{ mm}$, dal quale si ricava il valore caratteristico:

$$w_k = 1,7 w_m = 0.075 \text{ mm} < 0.200 \text{ mm}$$

Spessore 120cm

M=1321kNm N=1320 kN (combinazione frequente)

La distanza media fra le fessure è calcolata con la seguente relazione:

$$s_{rm} = 2 \left(c + \frac{s}{10} \right) + k_2 k_3 \frac{\phi_s}{\rho_r} = 180 \text{ mm} \quad \text{dove:}$$

$k_2 = 0.4$ $k_2 = 0.4$ per barre ad aderenza migliorata; $k_2 = 0.8$ per barre lisce

$k_3 = 0.125$ $k_3 = .125$ diagramma triangolare (presso-flessione o flessione)

$k_3 = .250$ diagramma rettangolare di trazione (trazione pura)

$k_3 = 0.25 (s_1+s_2)/2s_1$ (trazione eccentrica)

$$\rho_r = A_s / A_{c,eff} = 0.0217$$

$$A_{c,eff} = b_{eff} \times d_{eff} = 1000 \times 245.0 = 2.450E+05 \text{ mm}^2$$

La deformazione unitaria media dell'apertura vale:

$$\epsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] ; \left(\geq 0,4 \frac{\sigma_s}{E_s} \right) = 4.23E-04 \quad \text{nella quale:}$$

$$E_s = 206,000 \text{ N/mm}^2$$

$\beta_1 = 1$ ($\beta_1=1$ per barre ad aderenza migliorata; $\beta_1=0,5$ per barre lisce)

$\beta_2 = 0.5$ ($\beta_2=1$ per azioni di breve durata; $\beta_2=0,5$ per azioni ripetute o di lunga durata)

$\sigma_s = 121.80 \text{ N/mm}^2$ è la tensione dell'acciaio in stato fessurato conseguente all'applicazione dei parametri di sollecitazione:

N = -1321.00 kN Sforzo normale (< 0 = compressione)

M = 132100 kNm Momento flettente

$\sigma_{sr} = 143.5 \text{ N/mm}^2$ Tensione dell'acciaio in stato fessurato sotto le sollecitazioni

N ed $M_{fess} = 1,160.88 \text{ kNm}$ determinato con

- $f_{ctm} = 2.89 \text{ N/mm}^2$ (Rck = 35 N/mm²)

- $A_{id} = 1.293E+06 \text{ mm}^2$

- $J_{id} = 1.726E+11 \text{ mm}^4$

Il valore medio di apertura delle fessure risulta $w_m = s_{rm} \times \epsilon_{sm} = 0.076 \text{ mm}$, dal quale si ricava il valore caratteristico:

$w_k = 1,7 w_m = 0.129 \text{ mm} < 0.200 \text{ mm}$

Spessore 100cm

M=1186 kNm N=1291 kN (combinazione Frequente)

La distanza media fra le fessure è calcolata con la seguente relazione:

$$s_{rm} = 2 \left(c + \frac{s}{10} \right) + k_2 k_3 \frac{\phi_s}{\rho_r} = 180 \text{ mm} \quad \text{dove:}$$

$k_2 = 0.4$ $k_2 = 0.4$ per barre ad aderenza migliorata; $k_2 = 0.8$ per barre lisce

$k_3 = 0.125$ $k_3 = .125$ diagramma triangolare (presso-flessione o flessione)

$k_3 = .250$ diagramma rettangolare di trazione (trazione pura)

$k_3 = 0.25 (s_1+s_2)/2s_1$ (trazione eccentrica)

$\rho_r = A_s / A_{c,eff} = 0.0217$

$A_{c,eff} = b_{eff} \times d_{eff} = 1000 \times 245.0 = 2.450E+05 \text{ mm}^2$

La deformazione unitaria media dell'apertura vale:

$$\epsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] ; \left(\geq 0,4 \frac{\sigma_s}{E_s} \right) = 6.32E-04 \quad \text{nella quale:}$$

$$E_s = 206,000 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_1 = 1 \quad (\beta_1=1 \text{ per barre ad aderenza migliorata; } \beta_1=0,5 \text{ per barre lisce)}$$

$$\beta_2 = 0.5 \quad (\beta_2=1 \text{ per azioni di breve durata; } \beta_2=0,5 \text{ per azioni ripetute o di lunga durata)}$$

$\sigma_s = 164.85 \text{ N/mm}^2$ è la tensione dell'acciaio in stato fessurato conseguente all'applicazione dei parametri di sollecitazione:

$$N = -1291.00 \text{ kN} \text{ Sforzo normale (} < 0 = \text{ compressione)}$$

$$M = 1186.00 \text{ kNm} \text{ Momento flettente}$$

$$\sigma_{sr} = 106.8 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Tensione dell'acciaio in stato fessurato sotto le sollecitazioni}$$

$$N \text{ ed } M_{fess} = 911.77 \text{ kNm} \text{ determinato con}$$

$$- f_{ctm} = 2.89 \text{ N/mm}^2 \quad (R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2)$$

$$- A_{id} = 1.093E+06 \text{ mm}^2$$

$$- J_{id} = 1.023E+11 \text{ mm}^4$$

Il valore medio di apertura delle fessure risulta $w_m = s_{rm} \times \epsilon_{sm} = 0.114 \text{ mm}$, dal quale si ricava il valore caratteristico:

$$w_k = 1,7 w_m = 0.193 \text{ mm} < 0.200 \text{ mm}$$

L'ampiezza delle fessure dei piedritti hanno valore inferiore al limite di 0.2mm (valore limite per le combinazioni Quasi Permanenti in condizioni aggressive), per cui la verifica si ritiene soddisfatta sia per le combinazioni Frequenti che Quasi Permanenti.

14.1.3 Arco rovescio

M=1001 kNm N=411 kN (combinazione frequente)

La distanza media fra le fessure è calcolata con la seguente relazione:

$$s_{rm} = 2 \left(c + \frac{s}{10} \right) + k_2 k_3 \frac{\phi_s}{\rho_r} = 164 \text{ mm} \quad \text{dove:}$$

k₂ = 0.4 k₂ = 0.4 per barre ad aderenza migliorata; k₂ = 0.8 per barre lisce

k₃ = 0.125 k₃ = .125 diagramma triangolare (presso-flessione o flessione)

 k₃ = .250 diagramma rettangolare di trazione (trazione pura)

 k₃ = 0.25 (s₁+s₂)/2s₁ (trazione eccentrica)

$$\rho_r = A_s / A_{c,eff} = 0.0217$$

$$A_{c,eff} = b_{eff} \times d_{eff} = 1000 \times 245.0 = 2.45E+05 \text{ mm}^2$$

La deformazione unitaria media dell'apertura vale:

$$\epsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] ; \left(\geq 0,4 \frac{\sigma_s}{E_s} \right) = 5.57E-04 \quad \text{nella quale:}$$

$$E_s = 206,000 \text{ N/mm}^2$$

β₁ = 1 (β₁=1 per barre ad aderenza migliorata; β₁=0,5 per barre lisce)

β₂ = 0.5 (β₂=1 per azioni di breve durata; β₂=0,5 per azioni ripetute o di lunga durata)

σ_s = 154.05 N/mm² è la tensione dell'acciaio in stato fessurato conseguente all'applicazione dei parametri di sollecitazione:

N = -411.00 kN Sforzo normale (< 0 = compressione)

M = 1001.00 kNm Momento flettente

σ_{sr} = 109.9 N/mm² Tensione dell'acciaio in stato fessurato sotto le sollecitazioni

N ed M_{fess} = 745.24 kNm determinato con

$$- f_{ctm} = 2.89 \text{ N/mm}^2 \quad (R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2)$$

$$- A_{id} = 1.130E+06 \text{mm}^2$$

$$- J_{id} = 1.090E+11 \text{mm}^4$$

Il valore medio di apertura delle fessure risulta $w_m = s_{rm} \times \epsilon_{sm} = 0.091 \text{ mm}$, dal quale si ricava il valore caratteristico:

$$w_k = 1,7 w_m = 0.155 \text{ mm}$$

L'ampiezza delle fessure dell'arco rovescio hanno valore inferiore al limite di 0.3mm (valore limite per le combinazioni Quasi Permanenti in condizioni ordinarie), per cui la verifica si ritiene soddisfatta sia per le combinazioni Frequenti che Quasi Permanenti.

14.2 Verifiche tensionali

Di seguito si riportano le verifiche tensionali per l'imbocco Sud calcolato con le sollecitazioni rare e sismiche allo SLD.

14.2.1 Calotta

Combinazioni Rare

M=670 kNm N=649 kN

$\sigma_s = 128\text{MPa}$

$\sigma_c = 5.39\text{MPa}$

Combinazioni SLD

M=708 kNm N=576 kN

$\sigma_s = 146\text{MPa}$

$\sigma_c = 5.65\text{MPa}$

14.2.2 Piedritto

Spessore = 150cm

Combinazioni Rare

M=1643 kNm N=1382 kN

$\sigma_s = 130\text{MPa}$

$\sigma_c = 6.18\text{MPa}$

Combinazioni SLD

M=1998 kNm N=1150 kN

$\sigma_s = 195\text{MPa}$

$\sigma_c = 7.39\text{MPa}$

Spessore = 120cm

Combinazioni Rare

M=1356 kNm N=1348 kN

$\sigma_s = 145\text{MPa}$

$\sigma_c = 7.46\text{MPa}$

Combinazioni SLD

$M=1420\text{ kNm}$ $N=1116\text{ kN}$

$\sigma_s = 172\text{MPa}$

$\sigma_c = 7.71\text{MPa}$

Spessore = 100cm

Combinazioni Rare

$M=1222\text{ kNm}$ $N=1319\text{ kN}$

$\sigma_s = 171\text{MPa}$

$\sigma_c = 9.16\text{MPa}$

Combinazioni SLD

$M=1040\text{ kNm}$ $N=1086\text{ kN}$

$\sigma_s = 148\text{MPa}$

$\sigma_c = 7.78\text{MPa}$

14.2.3 Arco rovescio

Combinazioni Rare

$M=1027\text{ kNm}$ $N=411\text{ kN}$

$\sigma_s = 159\text{MPa}$

$\sigma_c = 6.78\text{MPa}$

Combinazioni SLD

$M=1188\text{ kNm}$ $N=391\text{ kN}$

$\sigma_s = 189\text{MPa}$

$\sigma_c = 7.77\text{MPa}$

Le tensioni massime dell'acciaio sono sempre inferiori al limite di $0.8 \cdot f_{yk} = 360\text{MPa}$, mentre quelle del calcestruzzo sono sempre inferiori al limite di $0.6 \cdot f_{ck} = 17.43\text{MPa}$.

La verifica si ritiene soddisfatta.

15 VERIFICA AL FUOCO

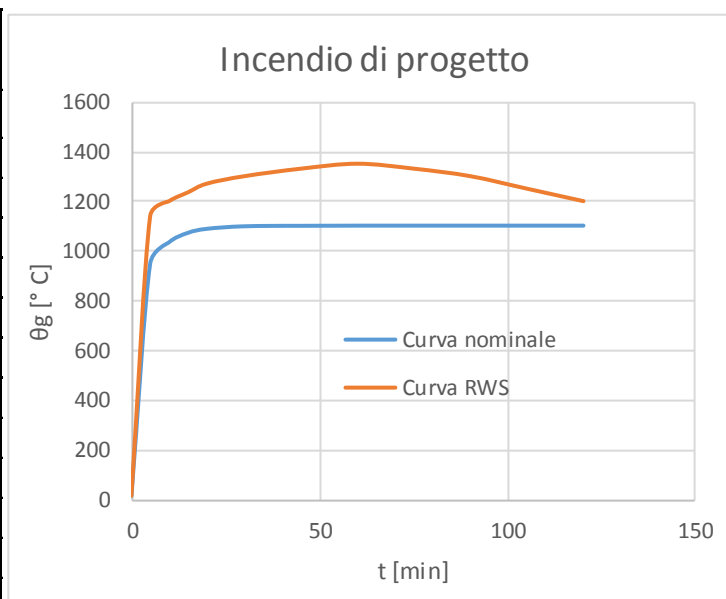
Il rivestimenti definitivi della galleria, ad esclusione dell’arco rovescio, può essere esposto ad un incendio durante la sua vita d’esercizio. Nel seguito si verifica che le strutture previste assicurino il necessario livello di sicurezza in questa combinazione di carico eccezionale.

Il livello di prestazione descrive la stabilità e idoneità all’uso da garantire in caso di incendio, così come definito nel par. 3.6 delle NTC 2008: per le gallerie in esame, che potrebbero essere interessate da incendi di grande quantità di idrocarburi, la norma prescrive di considerare la curva nominale degli idrocarburi, che sale rapidamente fino a 1100°.

Per le verifica al fuoco di una galleria, si deve però considera la curva di incendio RWS definita nella UNI 11076 “Modalità di prova per la valutazione del comportamento di protettivi applicati a soffitti di opere sotterranee in condizioni di incendio”. Tale curva è stata redatta in Olanda dal Rijkswaterstaat e dal centro per le ricerche sul fuoco (TNO/EFFECTIS) che l’hanno descritta come curva di incendio da idrocarburi di un serbatoio di 45000 litri di petrolio all’interno di una galleria. Essa è caratterizzata da un rapido incremento delle temperature fino ai 1200°C a 10 minuti, un massimo di 1350 °C a 60 minuti e un ritorno a 1200°C a 120 minuti.

Considerando che la curva RWS raggiunge temperature più elevate, per la verifica si considererà solo quest’ultima, verificando quindi che i rivestimenti definitivi siano REI120.

	Curva nominale	Curva RWS
t [min]	θ_g [° C]	θ_g [° C]
0	20	20
5	948	1140
10	1034	1200
15	1071	1235
20	1088	1270
30	1098	1300
45	1100	1330
60	1100	1350
75	1100	1330
90	1100	1300
105	1100	1250
120	1100	1200



In accordo con il paragrafo 5.4.2 della norma UNI-EN-1992-1-2, per una struttura a comportamento a parete portante, come il rivestimento definitivo della galleria, per assicurare il livello REI120 nel caso di fuoco applicato ad un solo lato e di elevati livelli di compressione ($\mu_{fi}=0.7$), è necessario che lo spessore sia almeno pari a 16cm ed il copriferro maggiore di 3.5cm: entrambe le prescrizioni sono soddisfatte.

Table 5.4: Minimum dimensions and axis distances for load-bearing reinforced concrete walls

Standard fire resistance	Minimum dimensions (mm)			
	Wall thickness/axis distance for			
	$\mu_{fi} = 0,35$		$\mu_{fi} = 0,7$	
	wall exposed on one side	wall exposed on two sides	wall exposed on one side	wall exposed on two sides
1	2	3	4	5
REI 30	100/10*	120/10*	120/10*	120/10*
REI 60	110/10*	120/10*	130/10*	140/10*
REI 90	120/20*	140/10*	140/25	170/25
REI 120	150/25	160/25	160/35	220/35
REI 180	180/40	200/45	210/50	270/55
REI 240	230/55	250/55	270/60	350/60

* Normally the cover required by EN 1992-1-1 will control.

Note: For the definition of μ_{fi} see 5.3.2 (3).

In aggiunta a quanto detto, nel seguito si eseguono alcune verifiche puntuali su sezioni rappresentative ed nella condizione di carico a lungo termine, al fine di valutare l’effettiva resistenza e stabilità della struttura nella combinazione di incendio.

15.1 Schematizzazione del problema

Per lo studio della resistenza al fuoco, come fatto per le analisi a freddo, si considera una sezione resistente larga 1 metro e la relativa armatura.

Per tener conto del possibile spalling, si tolgono sino dalla partenza del calcolo 2cm di spessore di calcestruzzo all’intradosso (assunzione cautelativa, in quanto influisce

negativamente sul trasferimento di calore all’interno della sezione, riducendo la distanza della fonte di calore dalle barre d’intradosso).

Si analizzano le sezioni maggiormente sollecitate ai 2 imbocchi, in accordo a quanto risulta dalle verifiche pressoflessionali allo SLE con riferimento alla configurazione di carico finale.

SEZIONE DI CALCOLO	H	N_{ek}	M_{ek}
	[cm]	[kNm/m]	[kN/m]
Imbocco Sud	0.98	-642	558
Imbocco Nord	0.98	-438	800

Tabella 1: Sezioni di analisi e carichi a metro di galleria

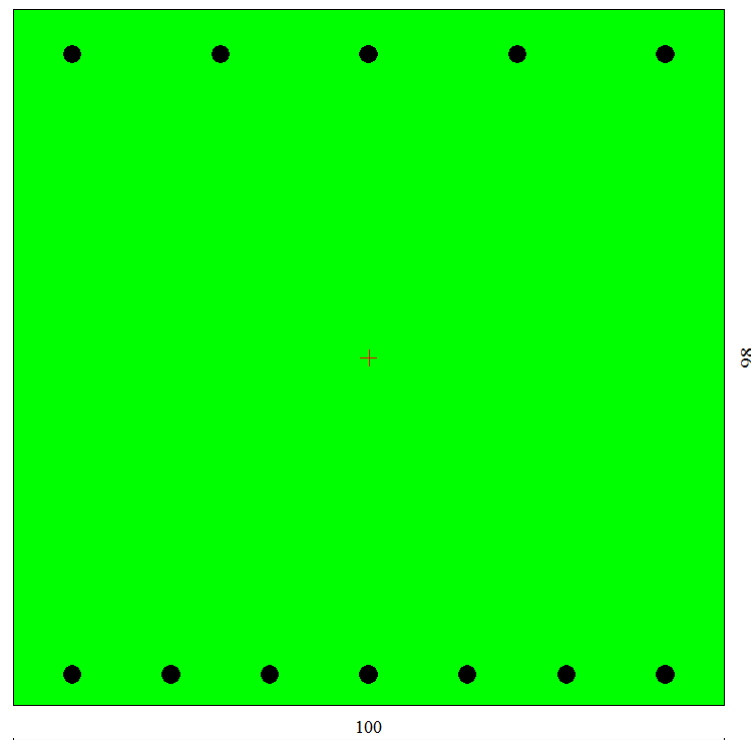


Figura 37 – Sezione di calcolo – Imbocco Sud

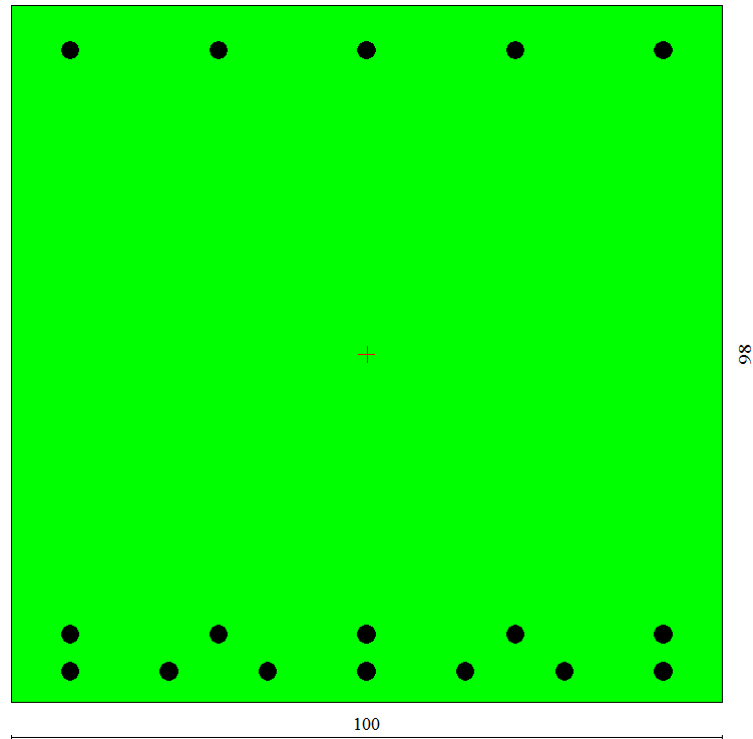


Figura 38 – Sezione di calcolo – Imbocco Nord

Per eseguire un’analisi accurata, la sezione è suddivisa in 200 elementi triangolari a 3 nodi.

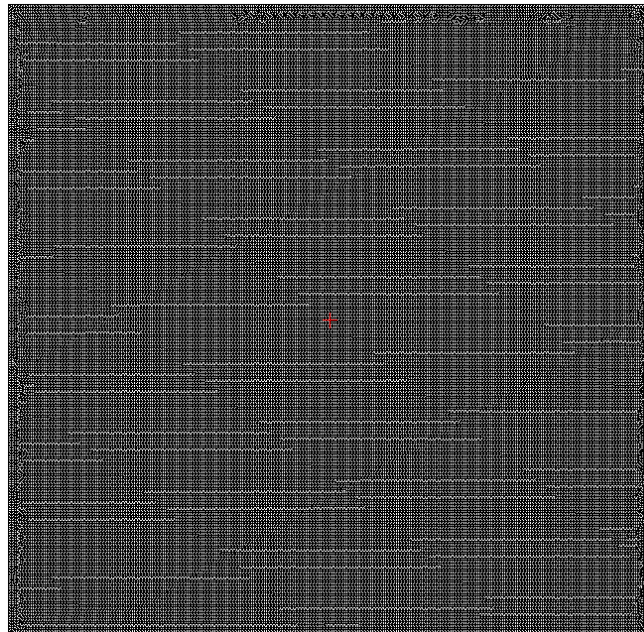


Figura 39 – Mesh di calcolo – Imbocco Sud

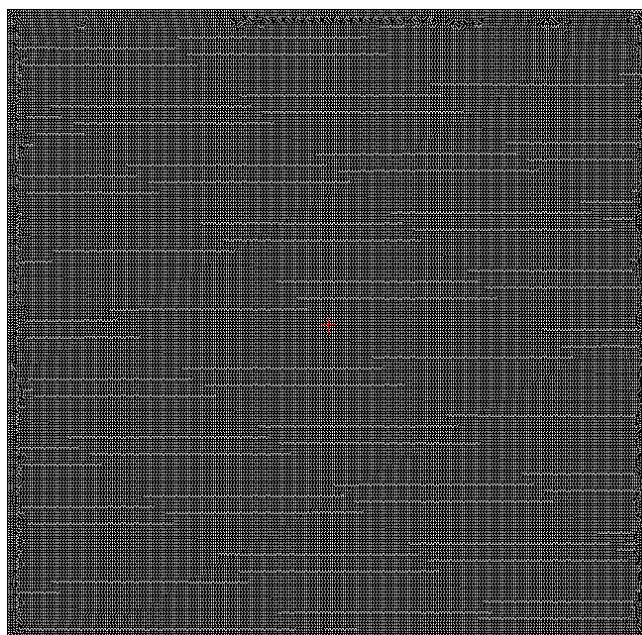


Figura 40 – Mesh di calcolo – Imbocco Nord

L’analisi sezionale in condizioni di incendio è definita come eccezionale: in accordo alle normative di riferimento, le azioni ricavate dalle modellazioni numeriche non sono amplificate per alcun coefficiente moltiplicativo e la verifica è condotta nei riguardi del solo Stato Limite Ultimo. Tale verifica è soddisfatta se il coefficiente di sicurezza è maggiore dell’unità. Si precisa che, come indicato nelle Normative di riferimento, i coefficienti di sicurezza relativi alle caratteristiche meccaniche dei materiali assumono valore unitario nelle condizioni di incendio.

Considerando che l’incendio si sviluppa in galleria, le condizioni al contorno risultano:

- Lato inferiore: applicazione della curva d’incendio
- Lato destro e sinistro: Nessun flusso di calore
- Lato superiore: Scambio termico considerando un ambiente di contatto a temperatura uniforme pari a 20°.

15.2 Proprietà termiche dei materiali

Per la sezione resistente, nel seguito si riportano le correlazioni considerate nel programma per stimare la risposta della struttura nei diversi step temporali dell’analisi al fuoco, in funzione della temperatura raggiunta localmente dagli elementi di mesh.

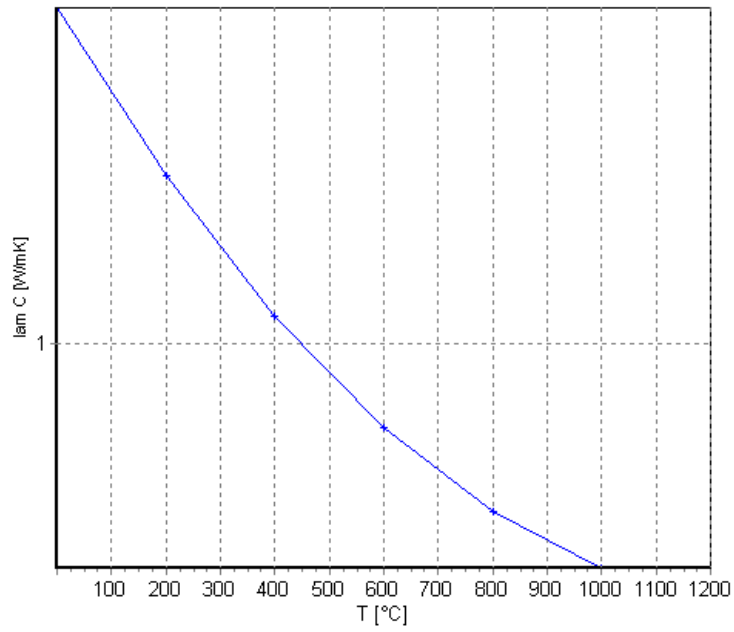


Figura 41 – Conduttività termica del calcestruzzo (EN 1992-1-2 p.3.4 – fig.3.7)

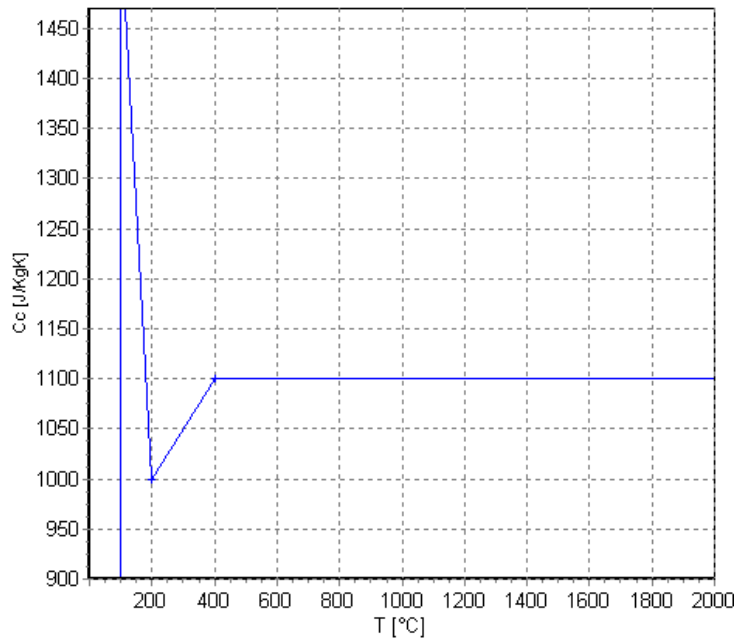


Figura 42 – Calore specifico per il calcestruzzo (EN 1992-1-2 p.3.3.2 – fig.3.6a)

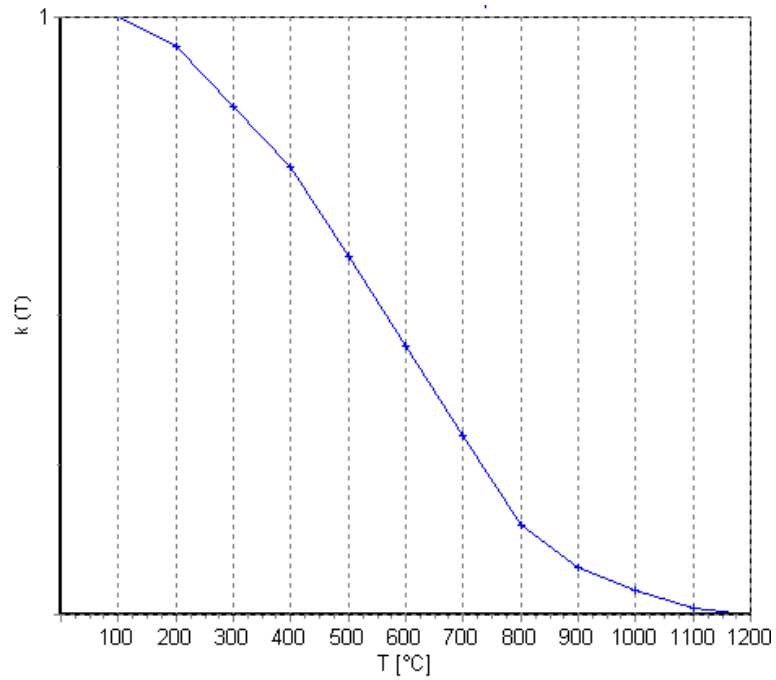


Figura 43 –Fattore di riduzione del valore di resistenza f_{ck} per il calcestruzzo (EN 1992-1-2 p.4.2.4.2 – fig.4.1)

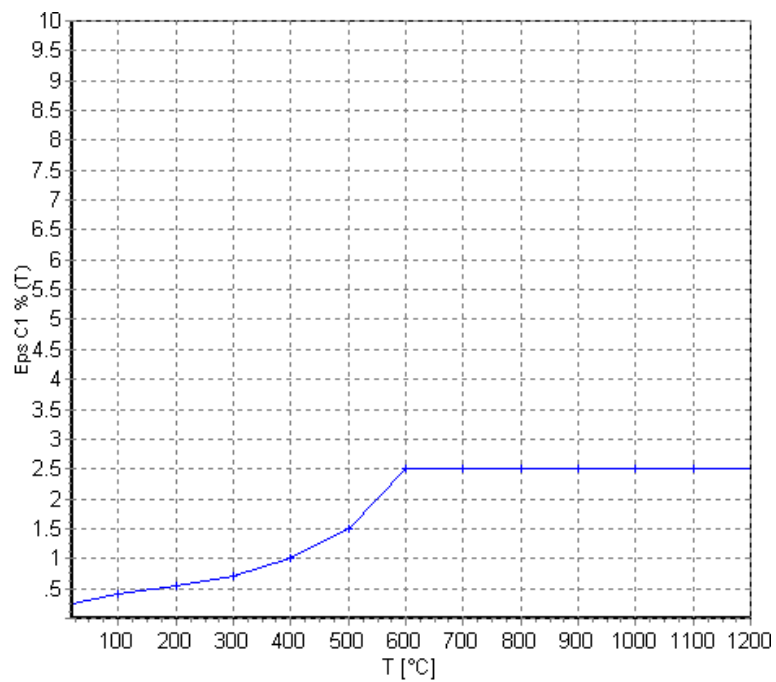


Figura 44 –Fattore di riduzione del valore di ϵ_{c1} per il calcestruzzo (EN 1992-1-2 p.3.2.2.1 – tab.3.1)

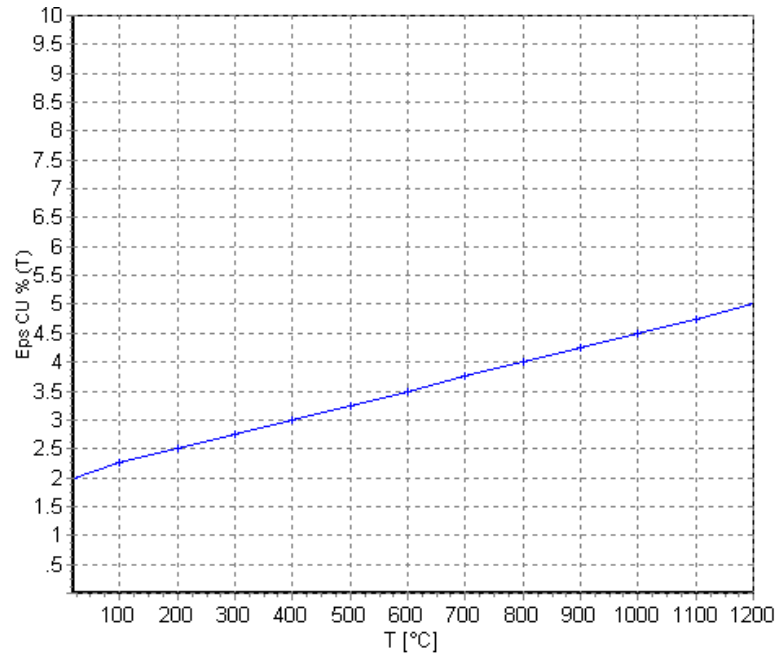


Figura 45 – Fattore di riduzione del valore di ϵ_{cu} per il calcestruzzo (EN 1992-1-2 p.3.2.2.1 – tab.3.1)

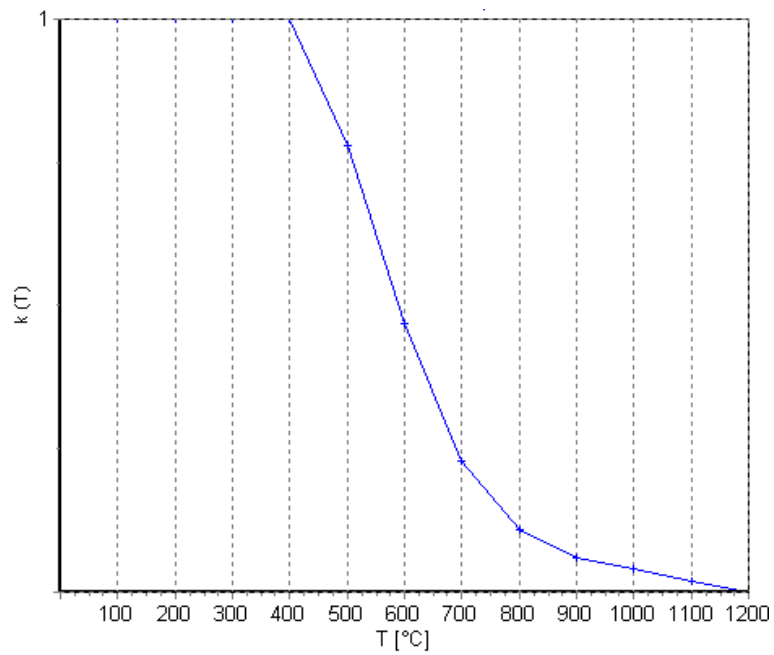


Figura 46 – Fattore di riduzione del valore di resistenza f_{yk} per le barre d'armatura (EN 1992-1-2 p.4.2.4.3 – fig.4.2a)

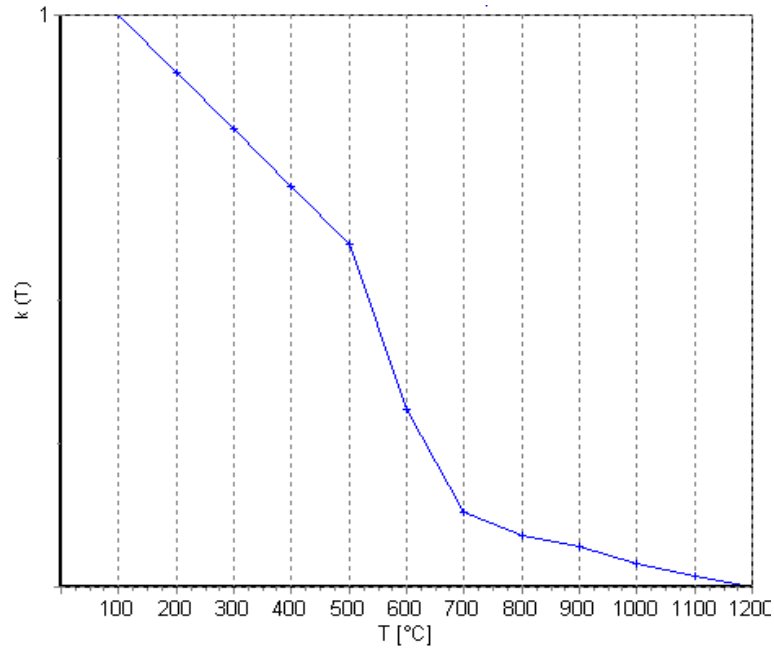
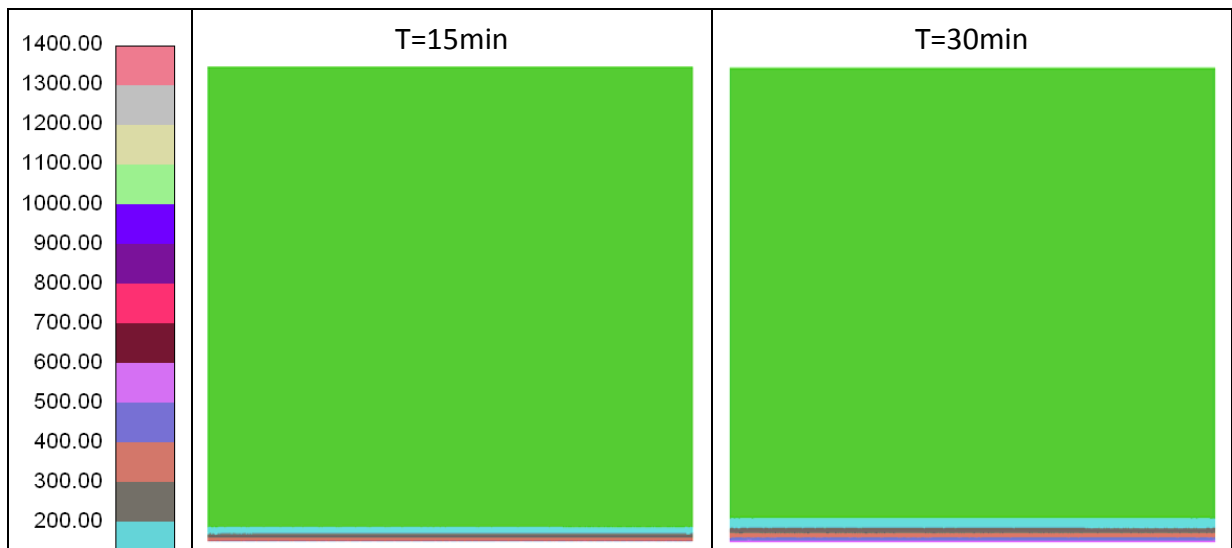


Figura 47 – Fattore di riduzione del valore del modulo elastico per le barre d'armatura (EN 1992-1-2 p.3.2.3 – tab.3.2.a)

15.3 Output del programma

Nel seguito si riporta l'andamento della temperatura nelle sezioni di calcolo per alcuni step temporali significativi, così come restituiti dal software di calcolo.



AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

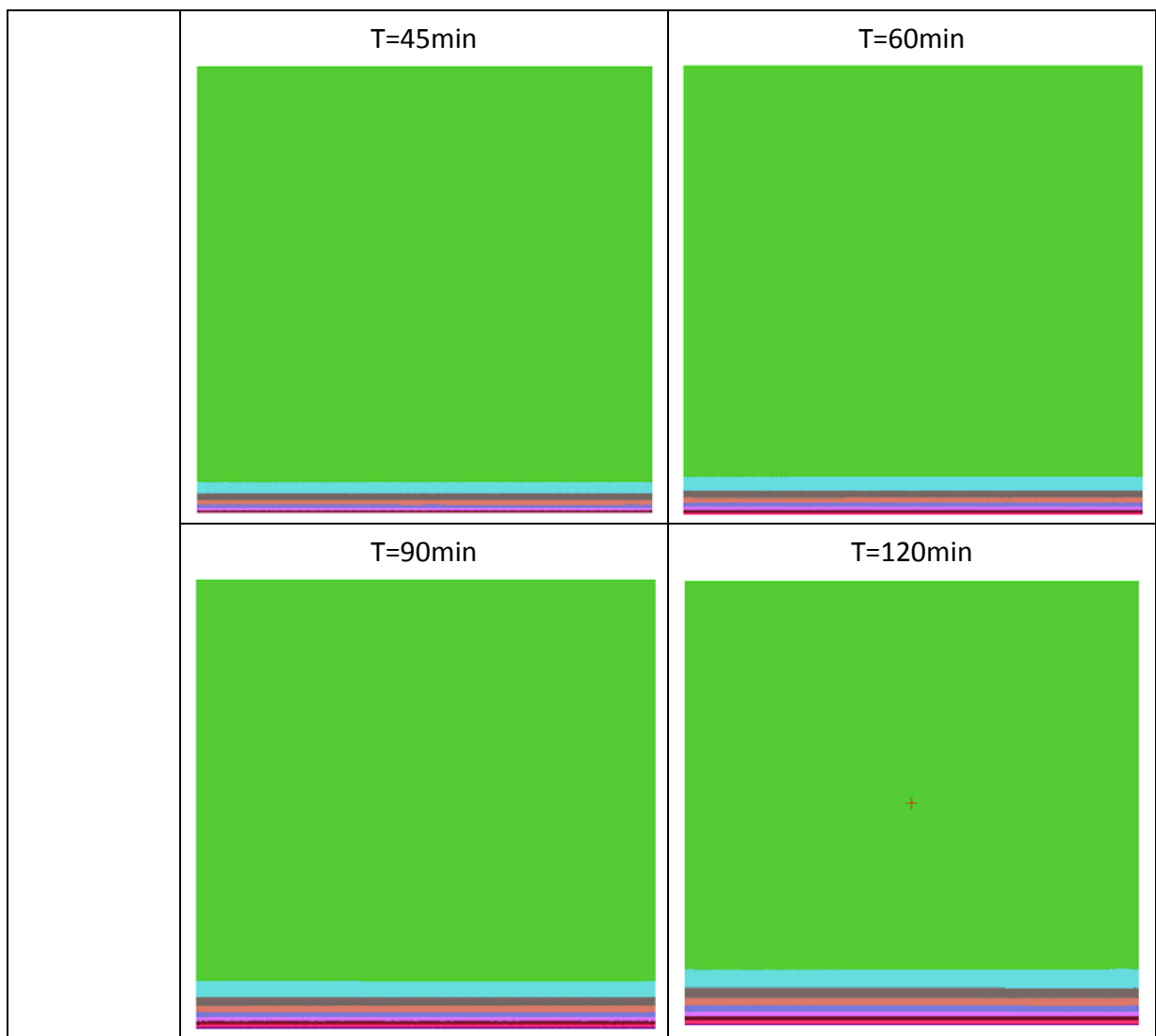
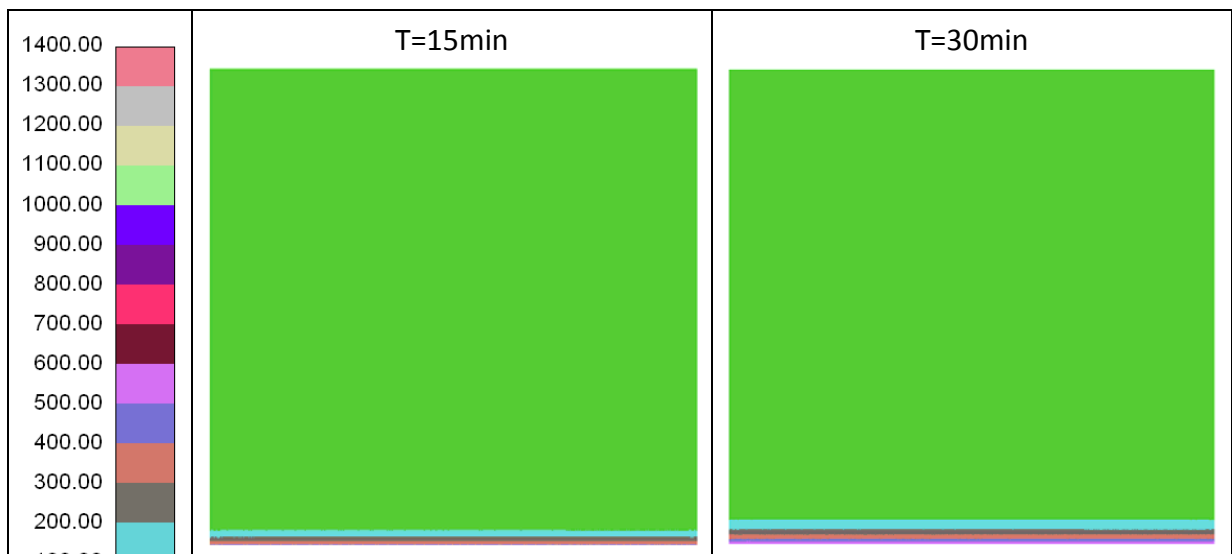


Figura 48 – Analisi termica – Imbocco Sud



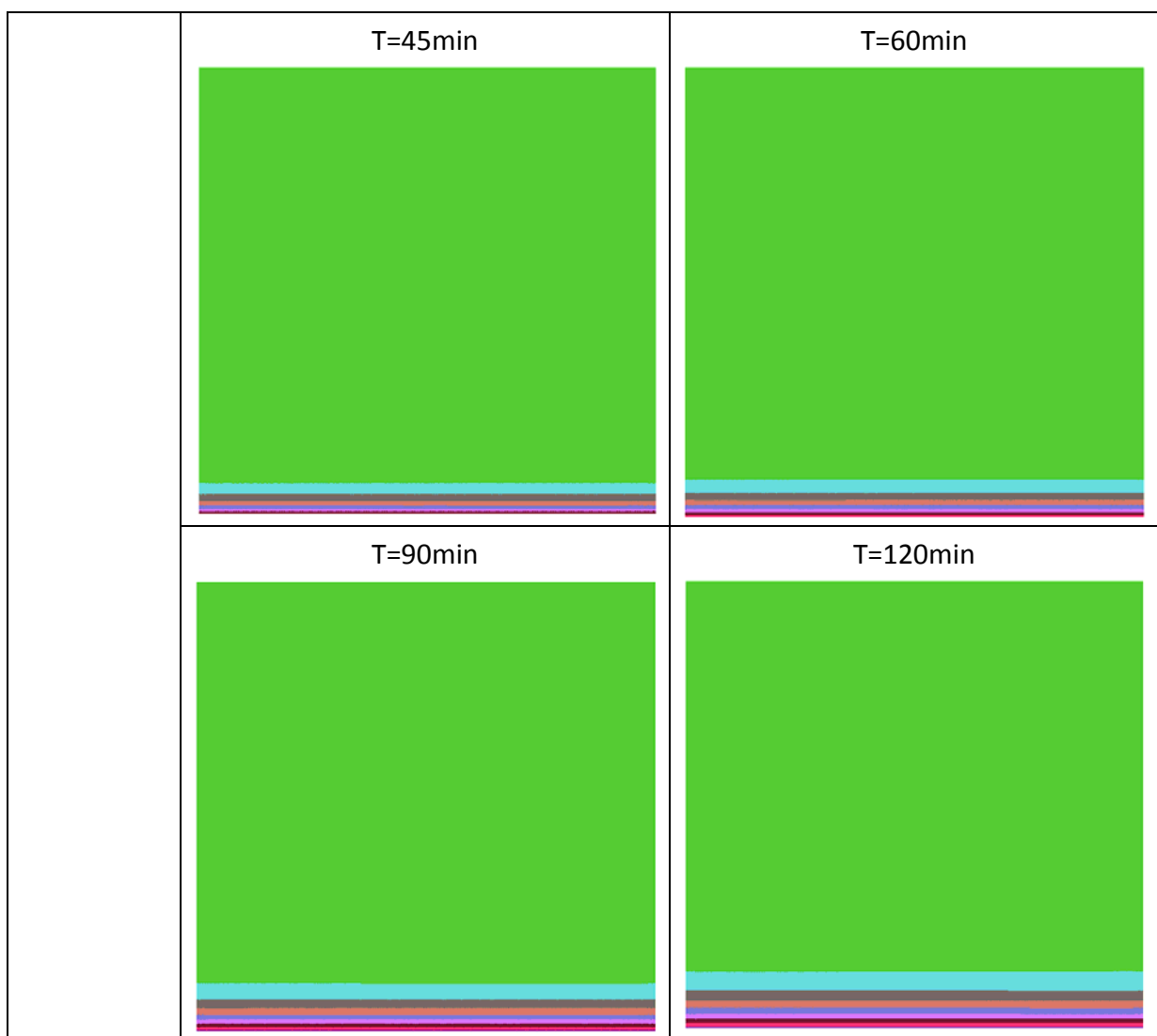


Figura 49 – Analisi termica – Imbocco Nord

15.4 Verifica strutturale

Per le sezioni analizzate, nel seguito si riportano gli FS risultanti negli step temporali più rappresentativi, dimostrando l'adeguatezza del rivestimento della galleria nei confronti del carico da incendio.

Legenda:

T tempo trascorso [minuti]

N azione assiale [kN]

Mx momento in direzione X [kNm]

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

My momento in direzione Y [kNm]
 ϵ_{cls} deformazione del CLS
 ϵ_{acc} deformazione dell'acciaio
 FS fattore di sicurezza nel dominio MN

T	N	M _x	M _y	ϵ_{cls}	ϵ_{acc}	FS
15	642.00	0.00	1951.23	0.003728	-0.035723	3.50
20	642.00	0.00	1951.23	0.003728	-0.035723	3.50
30	642.00	0.00	1951.23	0.003728	-0.035723	3.50
45	642.00	0.00	1951.23	0.003731	-0.035764	3.50
60	642.00	0.00	1951.23	0.003736	-0.035823	3.50
90	642.00	0.00	1951.23	0.003732	-0.035764	3.50
120	642.00	0.00	1951.23	0.003725	-0.035680	3.50

Tabella 2 – Analisi al fuoco – Modello Sud

T	N	M _x	M _y	ϵ_{cls}	ϵ_{acc}	FS
15	438.00	0.00	2942.64	0.005355	-0.041800	3.68
20	438.00	0.00	2942.64	0.005355	-0.041800	3.68
30	438.00	0.00	2942.64	0.005355	-0.041800	3.68
45	438.00	0.00	2942.64	0.005352	-0.041769	3.68
60	438.00	0.00	2942.64	0.005351	-0.041758	3.68
90	438.00	0.00	2942.64	0.005351	-0.041758	3.68
120	438.00	0.00	2942.64	0.005355	-0.041802	3.68

Tabella 3 – Analisi al fuoco – Modello Nord

16 AFFIDABILITA' DEI CODICI DI CALCOLO E ACCETTABILITA' DEI RISULTATI

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo dei software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dai produttori dei software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. L'affidabilità e la robustezza dei codici di calcolo sono garantite attraverso un numerico significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

Si riporta di seguito il confronto del calcolo delle sollecitazioni tra il modello FEM dell'imbocco e le sollecitazioni calcolate con un modello semplificato.

La sollecitazione dovuta al sovraccarico mobile supposto simmetrico e uniformemente distribuito sulla calotta è pari a una pressione di 10kN/m² come precedentemente dichiarato nell'analisi dei carichi.

Di seguito si riportano le sollecitazioni calcolate con il modello FEM.

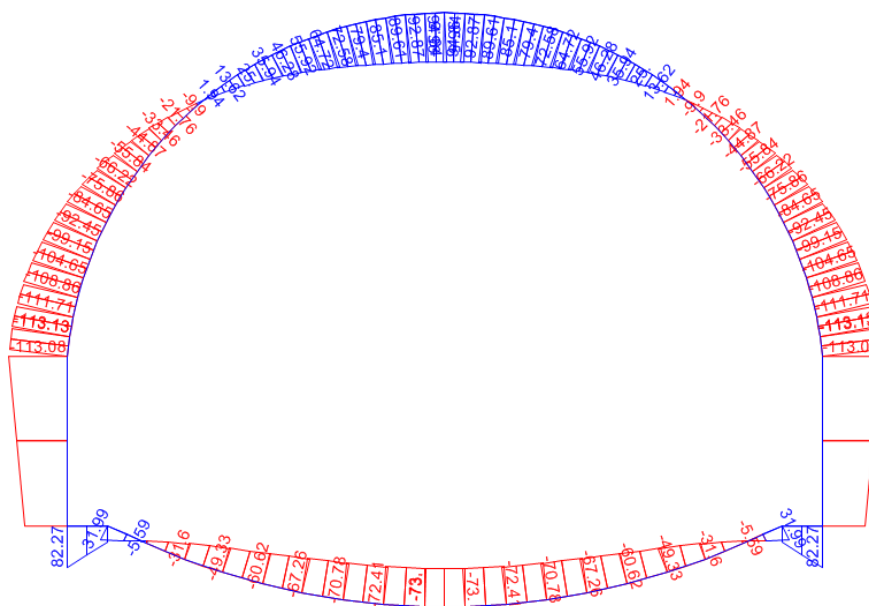


Figura 50 – Momento flettente

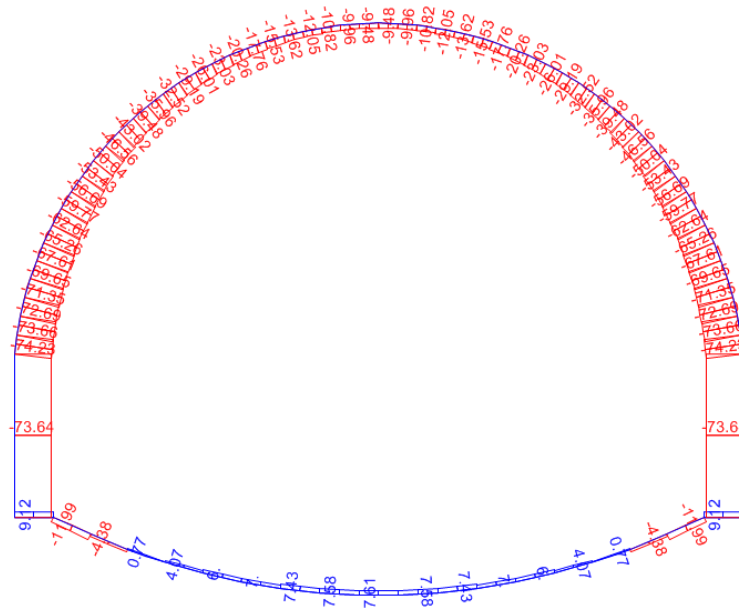


Figura 51 – Sforzo normale

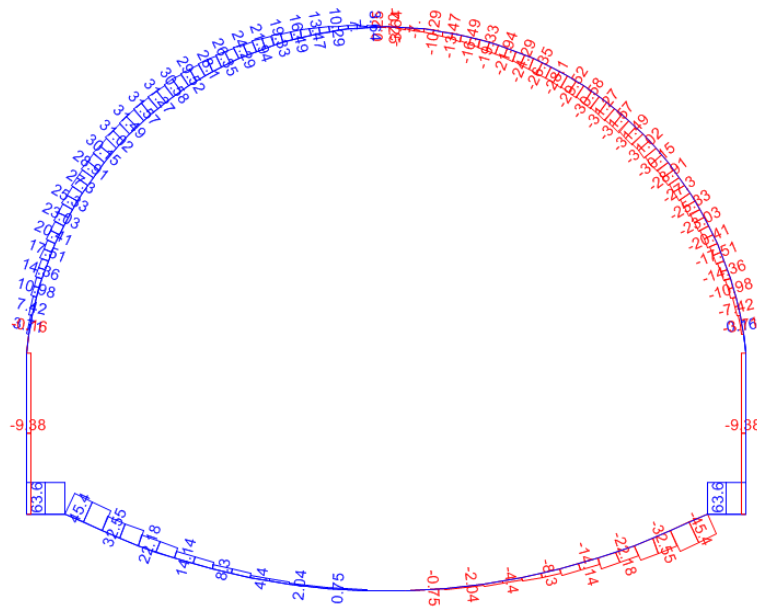


Figura 52 – Sforzo di taglio

Il calcolo con il modello semplificato porta alle seguenti sollecitazioni:

Sforzo normale all'imposta: $V = q \cdot l / 2 = 10 \cdot 14.727 / 2 = 73.64$ kN

Taglio all'imposta: $H = q \cdot l^2 / (8 \cdot f) = 10 \cdot 14.727^2 / (8 \cdot 9.953) = 27.24$ kN

Momento in chiave: $H \cdot f / 3 = 27.24 \cdot 9.953 / 3 = 90.4$ kN

Momento alle imposte: $- H \cdot 2 / 3 = -27.24 \cdot 9.953 \cdot 2 / 3 = -180.7$ kN

Le sollecitazioni dello sforzo normale sui piedritti e del momento flettente in chiave ottenute con il modello semplificato sono in linea con quelle ottenute nel modello FEM.

I valori del taglio alla base e del momento negativo ottenuti con il modello semplificato sono invece più cautelativi rispetto a quelle del modello FEM, ma comunque dello stesso ordine di grandezza. Tale differenza si può spiegare con le seguenti motivazioni:

- nel modello semplificato si è supposto un incastro perfetto che non c'è nel modello FEM;
- alla base del modello FEM sono inserite delle molle per simulare l'iterazione terreno-struttura;

Si afferma perciò che la modellazione eseguita ha restituito un andamento tensionale compatibile con la geometria della galleria.