



# SKYMETRO

## PROLUNGAMENTO DELLA METROPOLITANA IN VALBISAGNO

CUP B39J22001360001 CIG 9262977270

### PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA (D.lgs. n. 36 / 2023)



**STAZIONI**  
**STAZIONE BRIGNOLE SANT'AGATA**  
**RELAZIONE DI CALCOLO PIASTRA DI COLLEGAMENTO**

Commessa	Fase	Lotto	Disciplina	WBS	Tipo	Numero	Foglio	Rev.
MGE1	P4	L1	STR	SBR	R	002	00	A



Comune di Genova

Rev.	Descrizione	Nome		Data	Ragioni Modifica
A	Adeguamento al parere del CSLPP e altri Enti e allineamento progetto	Redatto	N. Ligas	07/03/2025	
		Verificato	N. Ligas	07/03/2025	
		Approvato	E. Calatozzo	07/03/2025	
		Autorizzato	P. Cucino	07/03/2025	
B		Redatto			
		Verificato			
		Approvato			
		Autorizzato			
C		Redatto			
		Verificato			
		Approvato			
		Autorizzato			
D		Redatto			
		Verificato			
		Approvato			
		Autorizzato			



## INDICE

<b>1.</b>	<b>PREMESSA E DESCRIZIONE DELLE OPERE</b>	<b>8</b>
<b>2.</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>NORMATIVA NAZIONALE</b>	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>EUROCODICI E NORME EUROPEE</b>	<b>11</b>
<b>2.3</b>	<b>NORME SPECIFICHE SUI MATERIALI</b>	<b>11</b>
<b>2.4</b>	<b>MANUALI DI PROGETTAZIONE</b>	<b>11</b>
<b>3.</b>	<b>UNITÀ DI MISURA</b>	<b>11</b>
<b>4.</b>	<b>MATERIALI</b>	<b>12</b>
<b>4.1</b>	<b>CALCESTRUZZI</b>	<b>12</b>
4.1.1	CALCESTRUZZO PER OPERE IN ELEVAZIONE	12
4.1.2	CALCESTRUZZO PER OPERE DI FONDAZIONE	12
<b>4.2</b>	<b>ACCIAI</b>	<b>13</b>
4.2.1	ACCIAIO PER ARMATURA LENTA	13
<b>5.</b>	<b>ZONIZZAZIONE E CARATTERIZZAZIONE SISMICA</b>	<b>14</b>
<b>5.1</b>	<b>IDENTIFICAZIONE DELLA LOCALITÀ E DEI PARAMETRI SISMICI GENERALI</b>	<b>14</b>
<b>5.2</b>	<b>DEFINIZIONE DELLA STRATEGIA PROGETTUALE</b>	<b>15</b>
<b>5.3</b>	<b>PARAMETRI DI CALCOLO</b>	<b>17</b>
5.3.1	PARAMETRI NUMERICI SISMICI	17
5.3.2	CATEGORIA DEI TERRENI DI FONDAZIONE	17
5.3.3	CATEGORIA TOPOGRAFICA	17
5.3.4	FATTORE DI COMPORTAMENTO	18
<b>5.5</b>	<b>SPETTRO DI PROGETTO ELASTICO PER LO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA</b>	<b>19</b>
<b>6.</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI</b>	<b>22</b>
<b>6.1</b>	<b>PESI PROPRI STRUTTURALI</b>	<b>22</b>
6.1.1	PESO PROPRIO DELLE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO ARMATO	22
<b>6.2</b>	<b>CARICHI PERMANENTI PORTATI</b>	<b>22</b>
6.2.1	CARICHI PERMANENTI PORTATI SULLA BANCHINA PEDONALE	22
6.2.2	CARICHI PERMANENTI LUNGO I BINARI	22
<b>6.3</b>	<b>AZIONE DEL RITIRO NEL CALCESTRUZZO</b>	<b>22</b>
6.3.1	SOLETTA H = 70,0 CM	23
6.3.2	SOLETTA H = 40,0 CM	24
<b>6.4</b>	<b>CARICHI ACCIDENTALI</b>	<b>26</b>
6.4.1	CARICHI ACCIDENTALI VERTICALI DOVUTI AL TRANSITO DEL SINGOLO CONVOGLIO ROTABILE	26



Comune di Genova

6.4.2	EFFETTI DINAMICI CONNESSI AL TRANSITO DEI CONVOGLI TRAMVIARI (COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE DINAMICA)	28
6.4.3	NUMERO DI CONVOGLI TRAMVIARI CONTEMPORANEI	33
6.4.4	AZIONE ORIZZONTALE TRASVERSALE CENTRIFUGA CONNESSA AL TRANSITO DEI CONVOGLI TRAMVIARI	33
6.4.5	AZIONE LONGITUDINALE DI AVVIAMENTO/FRENATURA CONNESSA AL TRANSITO DEI CONVOGLI TRAMVIARI	34
6.4.6	AZIONE TRASVERSALE DI SERPEGGIO	34
6.4.7	CARICO ACCIDENTALE SULLA BANCHINA PEDONALE	35
6.4.8	AZIONE DEL VENTO IN DIREZIONE TRASVERSALE	35
6.4.9	AZIONE DEL VENTO IN DIREZIONE LONGITUDINALE	38
6.4.10	AZIONE TERMICA	38
<b>6.5</b>	<b>AZIONE SISMICA</b>	<b>38</b>
6.5.1	TRENO SISMICO	38
6.5.2	DEFINIZIONE DELLE MASSE SISMICHE	39
<b>7.</b>	<b>COMBINAZIONI DI CARICO</b>	<b>40</b>
<b>7.1</b>	<b>COMBINAZIONI DI CARICO ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO – CARATTERISTICHE</b>	<b>40</b>
<b>7.2</b>	<b>COMBINAZIONI DI CARICO ALLO STATO LIMITE ULTIMO – STR</b>	<b>40</b>
<b>7.3</b>	<b>COMBINAZIONI DI CARICO ALLO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA</b>	<b>41</b>
<b>7.4</b>	<b>DEFINIZIONE DEI GRUPPI DI CARICO</b>	<b>41</b>
<b>7.5</b>	<b>RIEPILOGO DEI COEFFICIENTI DI AMPLIFICAZIONE (<math>\Gamma</math>) E DI PARTECIPAZIONE (<math>\Psi</math>) DEI CARICHI ELEMENTARI</b>	<b>42</b>
<b>7.6</b>	<b>RIEPILOGO DELLE COMBINAZIONI DI CARICO ADOTTATE</b>	<b>44</b>
7.6.1	COMBINAZIONI ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO – CARATTERISTICHE	45
7.6.2	COMBINAZIONI ALLO STATO LIMITE ULTIMO – STR	47
7.6.3	COMBINAZIONI ALLO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA	48
<b>8.</b>	<b>MODELLO DI CALCOLO E ANALISI STRUTTURALI</b>	<b>49</b>
<b>8.1</b>	<b>DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO</b>	<b>49</b>
<b>8.2</b>	<b>CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E INERZIALI DELLE SEZIONI STRUTTURALI</b>	<b>52</b>
8.2.1	COLONNE E CAPITELLI IN C.A.O.	52
8.2.2	TRASVERSI 200 X 90	53
8.2.3	TRASVERSO 200 X 70	54
8.2.4	SOLETTA H = 70 CM	55
8.2.5	SOLETTA H = 40 CM	56
8.2.6	SETTI S = 50 CM	57
<b>8.3</b>	<b>APPLICAZIONE DEI CARICHI ELEMENTARI AL MODELLO DI CALCOLO</b>	<b>59</b>
8.3.1	PESI PROPRI STRUTTURALI	59
8.3.2	CARICHI PERMANENTI PORTATI	59
8.3.3	AZIONE DEL RITIRO SUGLI ELEMENTI IN C.A.O.	59
8.3.4	TRENI DI CARICO	60
8.3.5	AZIONE TRASVERSALE CENTRIFUGA SUL BINARIO DI SVINCOLO	63
8.3.6	AZIONE LONGITUDINALE DI AVVIAMENTO/FRENATURA SUL “BINARIO 1” (SVINCOLO)	64



8.3.7	AZIONE LONGITUDINALE DI AVVIAMENTO/FRENATURA SUL "BINARIO 2" (TRONCHINO)	64
8.3.8	AZIONE TRASVERSALE DI SERPEGGIO	65
8.3.9	CARICO ACCIDENTALE DA FOLLA COMPATTA SULLA BANCHINA	67
8.3.10	AZIONE TRASVERSALE DEL VENTO – DIREZIONE 1	68
8.3.11	AZIONE TRASVERSALE DEL VENTO – DIREZIONE 2	68
8.3.12	AZIONE LONGITUDINALE DEL VENTO – DIREZIONE 1	69
8.3.13	AZIONE LONGITUDINALE DEL VENTO – DIREZIONE 2	69
8.3.14	AZIONE TERMICA UNIFORME	70
8.3.15	AZIONE TERMICA DIFFERENZIALE	70
8.3.16	TRENO SISMICO (PER LA DEFINIZIONE DELLE MASSE SISMICHE)	71
<b>8.1</b>	<b>RISULTANZE DELL'ANALISI DINAMICA LINEARE</b>	<b>72</b>
8.1.1	RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DEI MODI PRINCIPALI DI VIBRARE DELLA STRUTTURA	72
8.1.2	RIEPILOGO DEI MODI DI VIBRARE E DELLE RELATIVE PERCENTUALI DI MASSA ECCITATA	73
<b>9.</b>	<b>DIAGRAMMI DELLE AZIONI SOLLECITANTI DI CALCOLO</b>	<b>74</b>
<b>9.1</b>	<b>SOLETTA H = 70,0 CM</b>	<b>74</b>
9.1.1	CONDIZIONE DI INVILUPPO DELLE COMBINAZIONI DI CARICO ALLO STATO LIMITE ULTIMO - STR	74
9.1.2	CONDIZIONE DI INVILUPPO DELLE COMBINAZIONI DI CARICO ALLO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA	77
<b>9.1</b>	<b>SOLETTA H = 40,0 CM</b>	<b>80</b>
9.1.1	CONDIZIONE DI INVILUPPO DELLE COMBINAZIONI DI CARICO ALLO STATO LIMITE ULTIMO - STR	80
9.1.2	CONDIZIONE DI INVILUPPO DELLE COMBINAZIONI DI CARICO ALLO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA	83
<b>9.2</b>	<b>SETTI VERTICALI S = 50,0 CM</b>	<b>86</b>
9.2.1	CONDIZIONE DI INVILUPPO DELLE COMBINAZIONI DI CARICO ALLO STATO LIMITE ULTIMO - STR	86
9.2.2	CONDIZIONE DI INVILUPPO DELLE COMBINAZIONI DI CARICO ALLO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA	89
<b>9.3</b>	<b>TRASVERSI 200 x 90 CM</b>	<b>92</b>
9.3.1	CONDIZIONE DI INVILUPPO DELLE COMBINAZIONI DI CARICO ALLO STATO LIMITE ULTIMO - STR	92
9.3.2	CONDIZIONE DI INVILUPPO DELLE COMBINAZIONI DI CARICO ALLO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA	95
<b>9.4</b>	<b>TRASVERSO 200 x 70 CM</b>	<b>98</b>
9.4.1	CONDIZIONE DI INVILUPPO DELLE COMBINAZIONI DI CARICO ALLO STATO LIMITE ULTIMO - STR	98
9.4.2	CONDIZIONE DI INVILUPPO DELLE COMBINAZIONI DI CARICO ALLO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA	101
<b>9.5</b>	<b>COLONNE Ø1000 MM</b>	<b>104</b>
9.5.1	CONDIZIONE DI INVILUPPO DELLE COMBINAZIONI DI CARICO ALLO STATO LIMITE ULTIMO - STR	104
9.5.2	CONDIZIONE DI INVILUPPO DELLE COMBINAZIONI DI CARICO ALLO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA	106
<b>10.</b>	<b>SOLETTA H = 70,0 CM – VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>109</b>
<b>10.1</b>	<b>SEZIONE E ARMATURA DI VERIFICA</b>	<b>111</b>
<b>10.1</b>	<b>VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO DI LIMITAZIONE DELLE TENSIONI</b>	<b>113</b>
10.1.1	DIREZIONE LONGITUDINALE	113



10.1.2	DIREZIONE TRASVERSALE	114
<b>10.2</b>	<b>VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO PER FESSURAZIONE</b>	<b>115</b>
10.2.1	DIREZIONE LONGITUDINALE	115
10.2.2	DIREZIONE TRASVERSALE	117
<b>10.3</b>	<b>VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER PRESSOFLESSIONE DEVIATA</b>	<b>119</b>
10.3.1	DIREZIONE LONGITUDINALE	119
10.3.2	DIREZIONE TRASVERSALE	121
<b>10.4</b>	<b>VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO</b>	<b>123</b>
<b>11.</b>	<b>SOLETTA H = 40,0 CM – VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>126</b>
<b>11.1</b>	<b>DEFINIZIONE DELLE AZIONI SOLLECITANTI DI CALCOLO</b>	<b>126</b>
<b>11.2</b>	<b>SEZIONE E ARMATURA DI VERIFICA</b>	<b>128</b>
<b>11.3</b>	<b>VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO DI LIMITAZIONE DELLE TENSIONI</b>	<b>130</b>
11.3.1	DIREZIONE LONGITUDINALE	130
11.3.2	DIREZIONE TRASVERSALE	131
<b>11.4</b>	<b>VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO PER FESSURAZIONE</b>	<b>132</b>
11.4.1	DIREZIONE LONGITUDINALE	132
11.4.2	DIREZIONE TRASVERSALE	134
<b>11.5</b>	<b>VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER PRESSOFLESSIONE DEVIATA</b>	<b>136</b>
11.5.1	DIREZIONE LONGITUDINALE	136
11.5.2	DIREZIONE TRASVERSALE	138
<b>11.6</b>	<b>VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO</b>	<b>140</b>
<b>12.</b>	<b>SETTI S = 50,0 CM – VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>143</b>
<b>12.1</b>	<b>DEFINIZIONE DELLE AZIONI SOLLECITANTI DI CALCOLO</b>	<b>143</b>
<b>12.2</b>	<b>SEZIONE E ARMATURA DI VERIFICA</b>	<b>145</b>
<b>12.3</b>	<b>VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO DI LIMITAZIONE DELLE TENSIONI</b>	<b>147</b>
12.3.1	DIREZIONE LONGITUDINALE	147
12.3.2	DIREZIONE VERTICALE	148
<b>12.4</b>	<b>VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO PER FESSURAZIONE</b>	<b>149</b>
12.4.1	DIREZIONE LONGITUDINALE	149
12.4.2	DIREZIONE TRASVERSALE	151
<b>12.5</b>	<b>VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER PRESSOFLESSIONE DEVIATA</b>	<b>153</b>
12.5.1	DIREZIONE LONGITUDINALE	153
12.5.2	DIREZIONE VERTICALE	155
<b>12.6</b>	<b>VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO</b>	<b>157</b>
<b>13.</b>	<b>TRASVERSI 200 X 90 CM – VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>160</b>
<b>13.1</b>	<b>VALUTAZIONE DELLE AZIONI SOLLECITANTI DI CALCOLO</b>	<b>160</b>
<b>13.2</b>	<b>SEZIONE E ARMATURA DI VERIFICA</b>	<b>162</b>



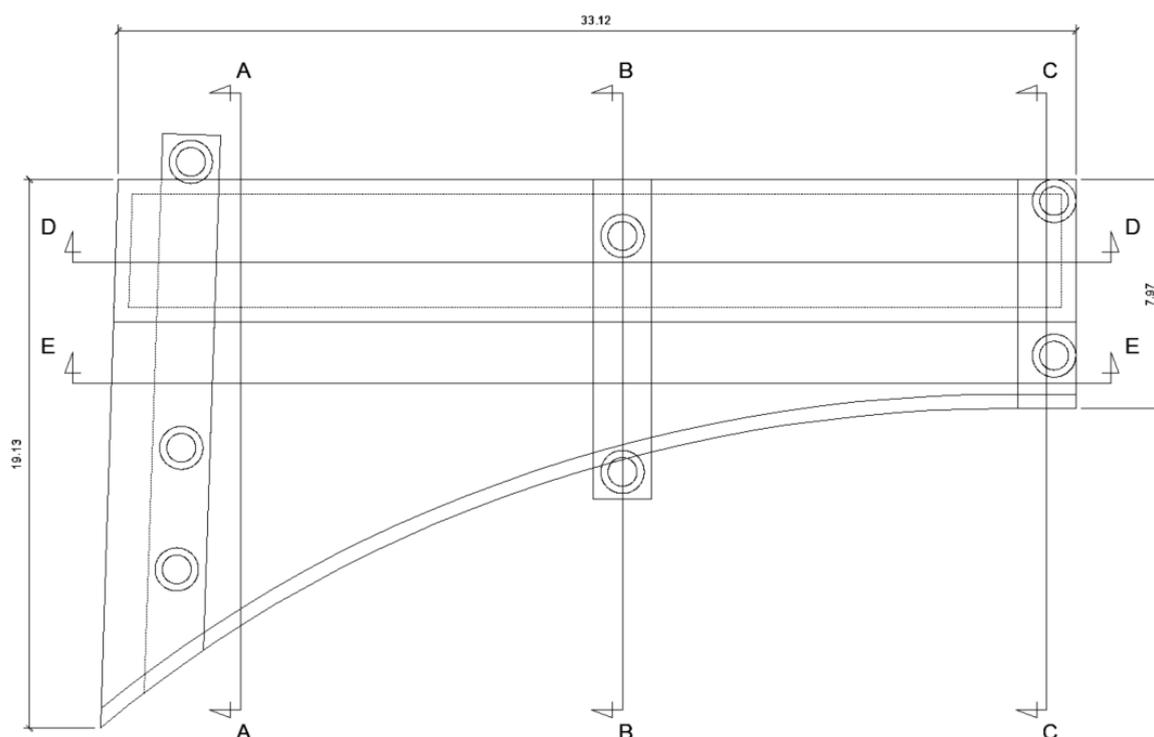
<b>13.3</b>	<b>VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO DI LIMITAZIONE DELLE TENSIONI</b>	<b>163</b>
<b>13.4</b>	<b>VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO PER FESSURAZIONE</b>	<b>164</b>
<b>13.5</b>	<b>VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER PRESSOFLESSIONE DEVIATA</b>	<b>165</b>
<b>13.6</b>	<b>VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO</b>	<b>167</b>
<b>14.</b>	<b>TRASVERSO 200 X 70 CM – VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>171</b>
<b>14.1</b>	<b>VALUTAZIONE DELLE AZIONI SOLLECITANTI DI CALCOLO</b>	<b>171</b>
<b>14.2</b>	<b>SEZIONE E ARMATURA DI VERIFICA</b>	<b>173</b>
<b>14.3</b>	<b>VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO DI LIMITAZIONE DELLE TENSIONI</b>	<b>174</b>
<b>14.4</b>	<b>VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO PER FESSURAZIONE</b>	<b>175</b>
<b>14.5</b>	<b>VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER PRESSOFLESSIONE DEVIATA</b>	<b>176</b>
<b>14.6</b>	<b>VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO</b>	<b>178</b>
<b>15.</b>	<b>COLONNE Ø1000 IN C.A.O.</b>	<b>182</b>
<b>15.1</b>	<b>VALUTAZIONE DELLE AZIONI SOLLECITANTI DI CALCOLO</b>	<b>182</b>
<b>15.2</b>	<b>SEZIONE E ARMATURA DI VERIFICA</b>	<b>184</b>
<b>15.3</b>	<b>VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO DI LIMITAZIONE DELLE TENSIONI</b>	<b>185</b>
<b>15.4</b>	<b>VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO PER FESSURAZIONE</b>	<b>185</b>
<b>15.5</b>	<b>VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER PRESSOFLESSIONE</b>	<b>186</b>
<b>15.6</b>	<b>VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO</b>	<b>186</b>
<b>15.7</b>	<b>VERIFICHE ANALITICHE PER CONDIZIONI MAGGIORMENTE GRAVOSE</b>	<b>187</b>
<b>16.</b>	<b>SCARICHI IN FONDAZIONE</b>	<b>189</b>
<b>17.</b>	<b>VERIFICA DELL'INFLESSIONE NEL PIANO VERTICALE DELL'IMPALCATO</b>	<b>192</b>
<b>18.</b>	<b>RISPONDENZA AL §10.2 DEL D.M. 17.01.2018</b>	<b>194</b>
<b>18.1</b>	<b>ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI SOFTWARE DI CALCOLO</b>	<b>194</b>
<b>18.1.1</b>	<b>MIDAS CIVIL 2024 (v.1.1)</b>	<b>194</b>
<b>18.2</b>	<b>AFFIDABILITÀ DEI CODICI UTILIZZATI</b>	<b>195</b>
<b>18.3</b>	<b>VALIDAZIONE DEI CODICI</b>	<b>195</b>
<b>18.4</b>	<b>MODALITÀ DI PRESENTAZIONE DEI RISULTATI</b>	<b>195</b>

## 1. PREMESSA E DESCRIZIONE DELLE OPERE

Il presente documento riporta il dimensionamento e le verifiche strutturali delle strutture in elevazione in cemento armato ordinario della piastra di collegamento della Stazione Brignone Sant'Agata alle strutture esistenti del Sottopasso Brignole e del Ponte Brignole.

La struttura presenta un'estensione in pianta con superficie pari a 372,0 mq, suddivisa su due campate continue di lunghezza rispettivamente pari a:

- Campata 1 →  $L_{m1} = 15,18$  m
- Campata 2 →  $L_{m2} = 14,93$  m



L'impalcato è previsto realizzato mediante una soletta in c.a.o. dello spessore pari a 70 cm, poggiante su tre trasversi co sezione rettangolare rispettivamente pari a:

- **ALLINEAMENTO 1 (SX)** → 200 x 90 cm
- **ALLINEAMENTO 1 (centrale)** → 200 x 90 cm
- **ALLINEAMENTO 2 (DX)** → 200 x 70 cm

I trasversi poggiano (con vincolo di continuità strutturale) su colonne circolari  $\varnothing 1000$  sormontate da un capitello svasato con diametro massimo  $\varnothing 1500$ . L'altezza massima delle colonne è assunta pari a 4,10 m.

In corrispondenza dell'allineamento 1 (SX) la struttura (soletta + trasverso) presenta uno sbalzo con luce massima pari a 5,54 m.

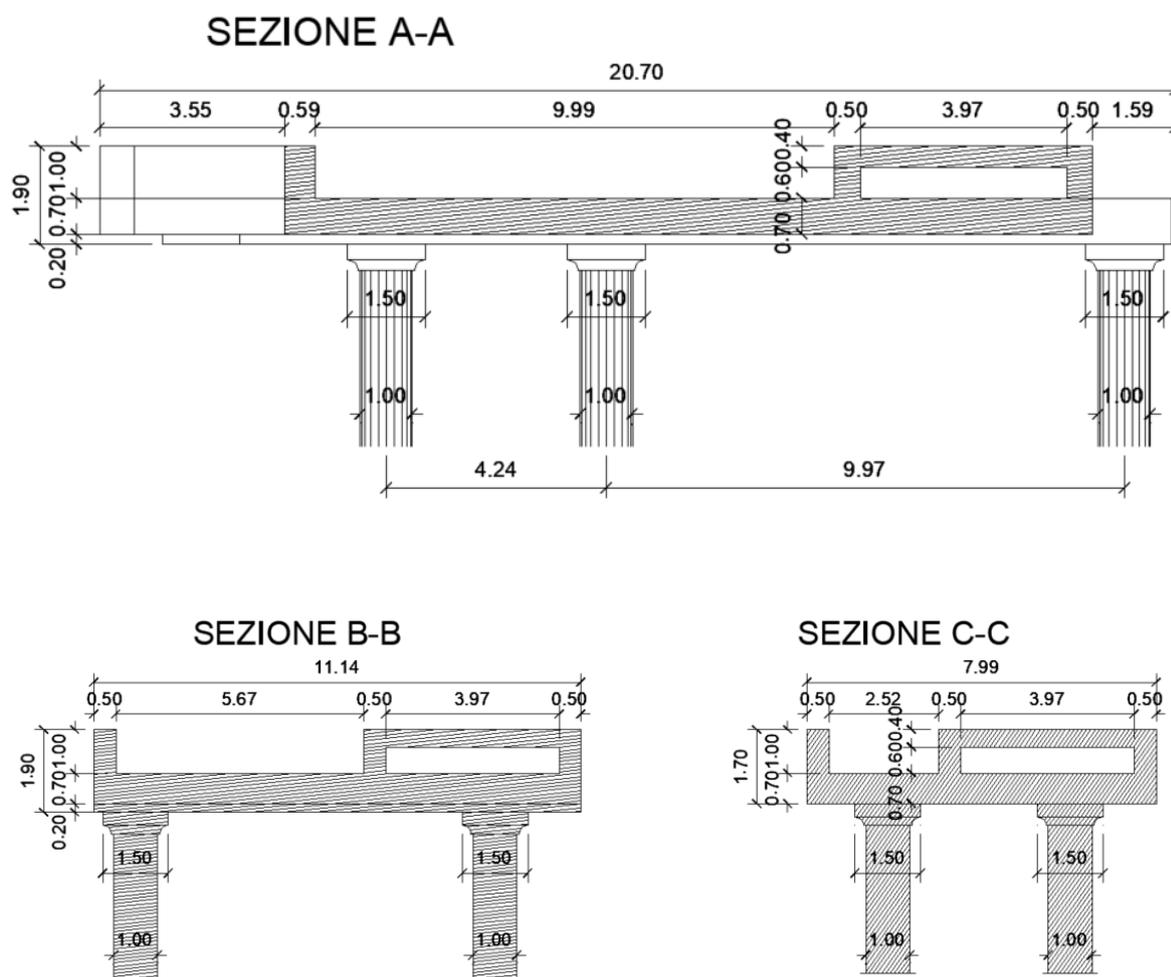
In corrispondenza della porzione superiore dell'impalcato è previsto un camminamento pedonale realizzato da setti verticali perimetrali di spessore pari a 50 cm (in elevazione a partire dalla sottostante soletta piena di spessore pari a 70 cm) e da una soletta piena superiore di spessore pari a 40 cm.

Lungo il lato curvilineo inferiore dell'impalcato è prevista la realizzazione di un setto verticale perimetrale di spessore pari a 50 cm (a delimitazione del binario di svincolo).

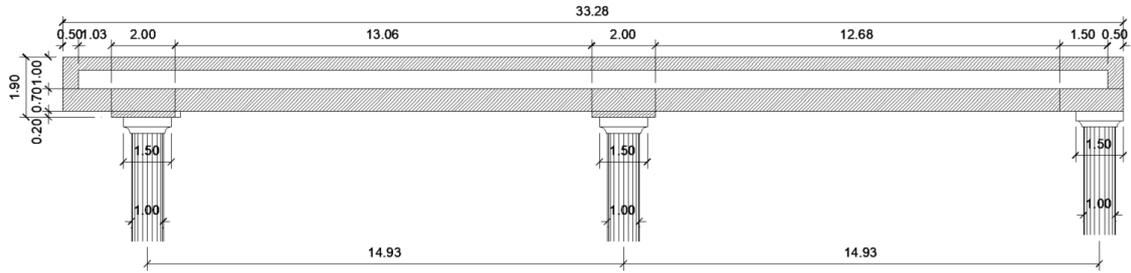
Al di sopra dell'impalcato è previsto l'alloggiamento di due binari:

- Binario di svincolo (parallelo al setto verticale inferiore)
- Binario di riposo ("tronchino")

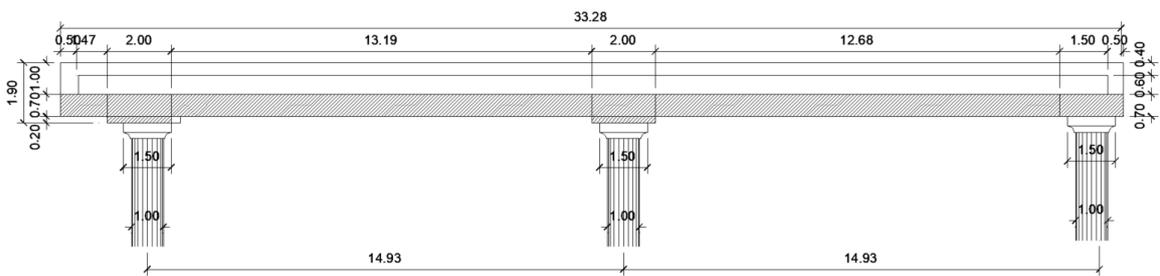
Di seguito sono riportate le sezioni caratteristiche dell'opera.



SEZIONE D-D



SEZIONE E-E





## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il dimensionamento e la verifica delle opere oggetto della presente relazione sono stati sviluppati in ottemperanza alle Normative di seguito riepilogate.

### 2.1 Normativa nazionale

- **D.M. INFRASTRUTTURE del 17 Gennaio 2018** - «Norme tecniche per le costruzioni» (sinteticamente richiamato in relazione come NTC)
- **Circolare Consiglio Sup. LL.PP. 21 Gennaio 2019 n° 7** - «Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. del 17 Gennaio 2018».

### 2.2 Eurocodici e norme europee

- **UNI EN 1991-2** - «Eurocodice 1: Azioni sulle strutture – Parte 2: Carichi da traffico sui ponti»
- **UNI EN 1992-1-1** - «Eurocodice 2: Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1.1: Regole generali e regole per gli edifici»
- **UNI EN 1992-2** - «Eurocodice 2: Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 2: Ponti di calcestruzzo – Progettazione e dettagli costruttivi»
- **UNI EN 1998-2** - «Eurocodice 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Ponti»

### 2.3 Norme specifiche sui materiali

- **UNI EN 206-1** "Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità"

### 2.4 Manuali di progettazione

- **ISTRUZIONE RFI DTC SI PS MA IFS 001 E** - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 2 - Ponti e Strutture (sinteticamente richiamato in relazione come MdP)
- **RFI DTC SI PS SP IFS 001 E** - Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 6 – Opere in conglomerato cementizio e in acciaio

## 3. UNITÀ DI MISURA

Nei calcoli di dimensionamento e verifica è stato fatto uso delle seguenti unità di misura:

- per i carichi → **kN/m<sup>2</sup>, kN/m, kN**
- per i momenti → **kNm**
- per i tagli e sforzi normali → **kN**
- per le tensioni → **N/mm<sup>2</sup>**
- per le accelerazioni → **m/sec<sup>2</sup>**

## 4. MATERIALI

I materiali utilizzati nella costruzione dovranno essere oggetto di prove certificanti la rispondenza fra i valori di progetto delle resistenze adottate nel calcolo e le caratteristiche meccaniche dei prodotti posti in opera. In particolare, si considerano le caratteristiche dei materiali di seguito presentate.

### 4.1 Calcestruzzi

#### 4.1.1 Calcestruzzo per opere in elevazione

Per gli elementi in calcestruzzo armato ordinario in elevazione (colonne, capitelli e impalcato) è stato previsto l'utilizzo di un calcestruzzo con classe di resistenza **C35/45**, del quale si riportano di seguito le caratteristiche meccaniche:

Classe di resistenza del calcestruzzo

Resistenza caratteristica cubica a compressione  
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione  
Resistenza cilindrica media a compressione  
Resistenza media a trazione  
Resistenza caratteristica a trazione  
Modulo elastico istantaneo  
Modulo elastico medio

	C35/45	
$R_{ck}$	45,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
$f_{ck}$	37,35	[N/mm <sup>2</sup> ]
$f_{cm}$	45,35	[N/mm <sup>2</sup> ]
$f_{ctm}$	3,35	[N/mm <sup>2</sup> ]
$f_{ctk}$	2,35	[N/mm <sup>2</sup> ]
$E_c$	38.236,76	[N/mm <sup>2</sup> ]
$E_{cm}$	34.625,49	[N/mm <sup>2</sup> ]

Per gli elementi strutturali in elevazione è stato assunto un copriferro netto minimo pari a **45 mm**.

#### 4.1.2 Calcestruzzo per opere di fondazione

Per gli elementi in calcestruzzo armato ordinario in fondazione (pali e zattere di fondazione) è stato previsto l'utilizzo di un calcestruzzo con classe di resistenza **C25/30**, del quale si riportano di seguito le caratteristiche meccaniche:

Classe di resistenza del calcestruzzo

Resistenza caratteristica cubica a compressione  
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione  
Resistenza cilindrica media a compressione  
Resistenza media a trazione  
Resistenza caratteristica a trazione  
Modulo elastico istantaneo  
Modulo elastico medio

	C25/30	
$R_{ck}$	30,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
$f_{ck}$	24,90	[N/mm <sup>2</sup> ]
$f_{cm}$	32,90	[N/mm <sup>2</sup> ]
$f_{ctm}$	2,56	[N/mm <sup>2</sup> ]
$f_{ctk}$	1,79	[N/mm <sup>2</sup> ]
$E_c$	31.220,19	[N/mm <sup>2</sup> ]
$E_{cm}$	31.447,16	[N/mm <sup>2</sup> ]

Per le zattere di fondazione è stato assunto un copriferro netto minimo pari a **45 mm**, mentre per i pali di fondazione è stato assunto un copriferro minimo pari a **60 mm**.



## 4.2 Acciai

### 4.2.1 Acciaio per armatura lenta

Per le armature lente degli elementi in c.a.o. è stato previsto l'utilizzo di un acciaio **B450C** con le seguenti caratteristiche meccaniche:

Tipologia dell'acciaio

B450 C

Tensione caratteristica di rottura

$f_{tk}$ 

540,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
--------	----------------------

Tensione caratteristica di snervamento

$f_{yk}$ 

450,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
--------	----------------------

Modulo elastico

$E_s$ 

210.000,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
------------	----------------------

## 5. ZONIZZAZIONE E CARATTERIZZAZIONE SISMICA

### 5.1 Identificazione della località e dei parametri sismici generali

Il sito in esame ricade all'interno del Comune di Genova e risulta definito dalle seguenti coordinate geografiche:

- Longitudine → **8,949167**
- Latitudine → **44.407222**

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

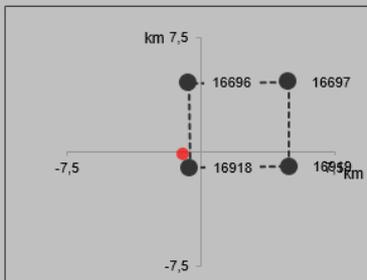
Ricerca per coordinate      LONGITUDINE:       LATITUDINE:

Ricerca per comune      REGIONE:       PROVINCIA:       COMUNE:

**Elaborazioni grafiche**  
Grafici spettri di risposta  
Variabilità dei parametri

**Elaborazioni numeriche**  
Tabella parametri

**Nodi del reticolo intorno al sito**



**Reticolo di riferimento**



**Controllo sul**  
 Sito esterno al reticolo  
 Interpolazione su 3 nodi  
 Interpolazione corretta

media ponder:

La "Ricerca per comune" utilizza le ...coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che ...all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

**INTRO      FASE 1      FASE 2      FASE 3**

## 5.2 Definizione della strategia progettuale

In ottemperanza a quanto previsto all'interno del PFTE e in riferimento al D.M. 17.01.2018, l'azione sismica è stata definita in relazione ai seguenti parametri:

- Vita Nominale dell'opera → **100 anni**

**Tabella 2.4.I** – Vita nominale  $V_N$  per diversi tipi di opere

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

- Classe d'uso dell'opera → **IV**

### 2.4.2 CLASSI D'USO

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

*Classe I:* Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

*Classe II:* Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso *III* o in Classe d'uso *IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

*Classe III:* Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

*Classe IV:* Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

- Coefficiente di utilizzo dell'opera → **2,00**

**Tab. 2.4.II** – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

- Periodo di riferimento per l'azione sismica → **200 anni**

### 2.4.3 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ :

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad (2.4.1)$$

Di seguito si riporta la sintesi delle scelte progettuali adottati con i periodi di ritorno dell'azione sismica identificati in funzione del singolo stato limite.

## FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE	{	SLO - $P_{VR} = 81\%$	120
		SLD - $P_{VR} = 63\%$	201
Stati limite ultimi - SLU	{	SLV - $P_{VR} = 10\%$	1898
		SLC - $P_{VR} = 5\%$	2475

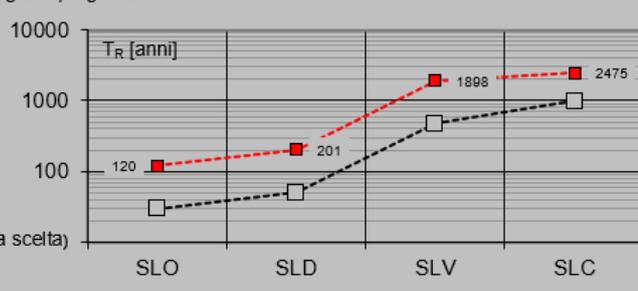
Elaborazioni

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



Stato Limite	Strategia per costruzioni ordinarie (TR [anni])	Strategia scelta (TR [anni])
SLO	120	120
SLD	201	201
SLV	1898	1898
SLC	2475	2475

LEGENDA GRAFICO

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie    - - - ■ - - - Strategia scelta

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

## 5.3 Parametri di calcolo

### 5.3.1 Parametri numerici sismici

Nella tabella successiva sono riportati i parametri numerici sismici per i periodi di ritorno associati ai diversi Stati Limite:

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	120	0,043	2,532	0,257
SLD	201	0,052	2,536	0,269
SLV	1898	0,115	2,511	0,301
SLC	2475	0,126	2,507	0,303

### 5.3.2 Categoria dei terreni di fondazione

Il terreno di fondazione è classificato simicamente come di **categoria B**.

**Tabella 3.2.II** – *Categorie di sottosuolo*

Categoria	Descrizione
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>E</b>	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

### 5.3.3 Categoria topografica

Considerando che il territorio si presenta essenzialmente pianeggiante e privo di significati salti di quota la categoria topografica del sito è stata assunta pari a **categoria T<sub>1</sub>**.

**Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

#### **5.3.4 Fattore di comportamento**

A favore di sicurezza il fattore di comportamento è stato posto pari a  $q = 1,00$ . Verrà pertanto considerato uno spettro di risposta elastico.

## 5.5 Spettro di progetto elastico per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita

Nell'immagine successiva è riportata la determinazione dei parametri dello spettro di risposta elastico valutato per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV):

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

**Stato Limite**  
 Stato Limite considerato: SLV [info](#)

---

**Risposta sismica locale**  
 Categoria di sottosuolo: B [info](#)       $S_S =$  1,200       $C_C =$  1,399 [info](#)  
 Categoria topografica: T1 [info](#)       $h/H =$  0,000       $S_T =$  1,000 [info](#)  
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

---

**Compon. orizzontale**  
 Spettro di progetto elastico (SLE)      Smorzamento  $\xi$  (%) 5       $\eta =$  1,000 [info](#)  
 Spettro di progetto inelastico (SLU)      Fattore  $q_0$  1,5      Regol. in altezza sì [info](#)

---

**Compon. verticale**  
 Spettro di progetto      Fattore  $q$  1       $\eta =$  1,000 [info](#)

---

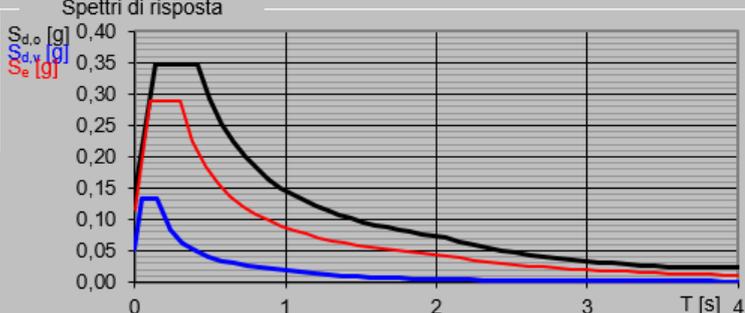
**Elaborazioni**  
 Grafici spettri di risposta [▶▶](#)  
 Parametri e punti spettri di risposta [▶▶](#)

— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

Spettri di risposta



INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Nella tabella successiva sono riportati analiticamente i parametri sismici ed i valori delle accelerazioni normalizzate in funzione del periodo di vibrazione:

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,115 g
$F_o$	2,511
$T_c$	0,301 s
$S_s$	1,200
$C_c$	1,399
$S_T$	1,000
$q$	1,000

#### Parametri dipendenti

$S$	1,200
$\eta$	1,000
$T_B$	0,140 s
$T_C$	0,420 s
$T_D$	2,060 s

#### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

#### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

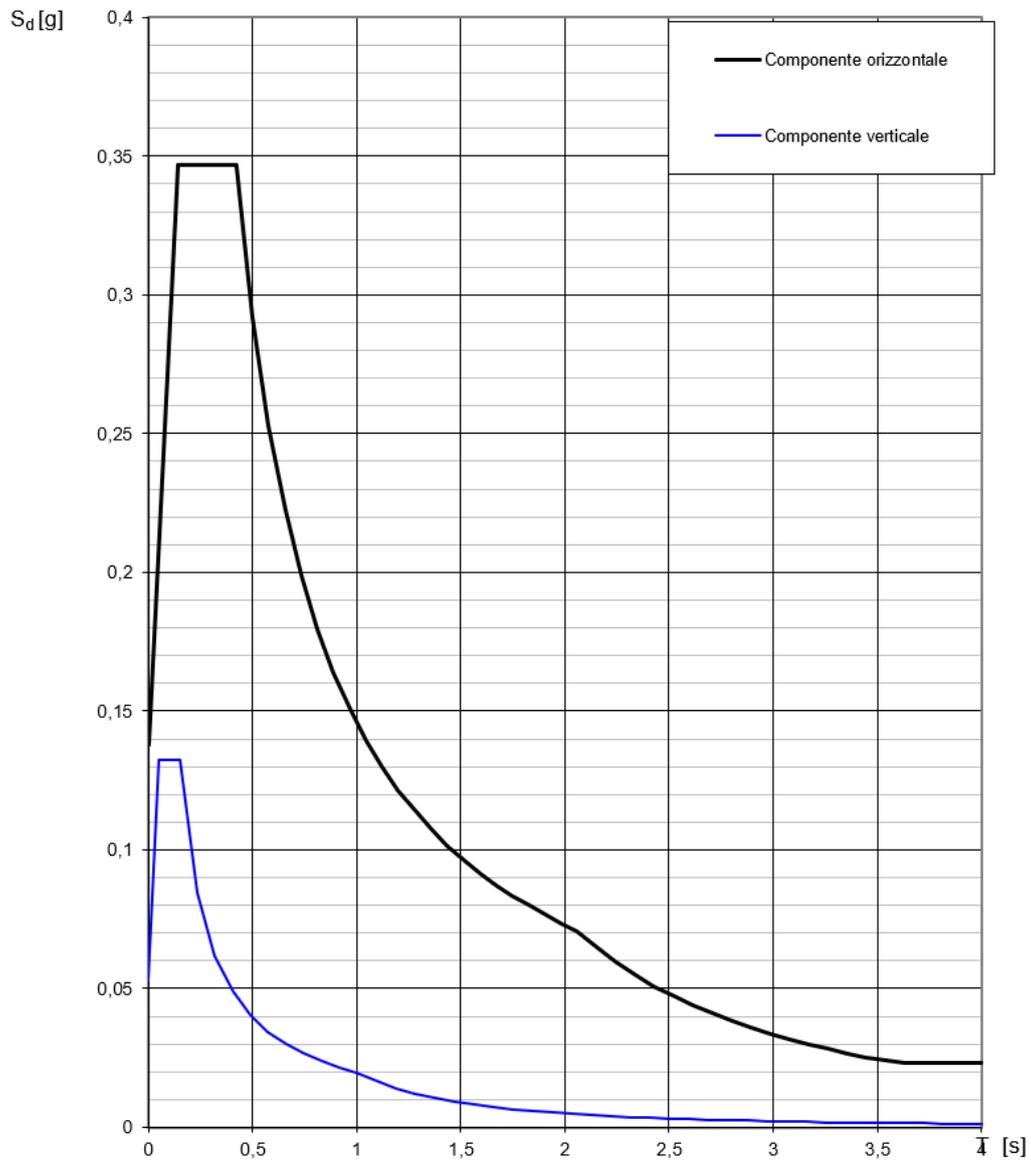
$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

#### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,138
$T_B$ ←	0,140	0,347
$T_C$ ←	0,420	0,347
	0,498	0,292
	0,577	0,253
	0,655	0,223
	0,733	0,199
	0,811	0,180
	0,889	0,164
	0,967	0,151
	1,045	0,140
	1,123	0,130
	1,201	0,121
	1,279	0,114
	1,358	0,107
	1,436	0,102
	1,514	0,096
	1,592	0,092
	1,670	0,087
	1,748	0,083
	1,826	0,080
	1,904	0,077
	1,982	0,074
$T_D$ ←	2,060	0,071
	2,153	0,065
	2,245	0,060
	2,337	0,055
	2,430	0,051
	2,522	0,047
	2,615	0,044
	2,707	0,041
	2,799	0,038
	2,892	0,036
	2,984	0,034
	3,076	0,032
	3,169	0,030
	3,261	0,028
	3,353	0,027
	3,446	0,025
	3,538	0,024
	3,631	0,023
	3,723	0,023
	3,815	0,023
	3,908	0,023
	4,000	0,023

Nell'immagine successiva è riportato il diagramma dello spettro di risposta elastico per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita:





---

## 6. ANALISI DEI CARICHI

### 6.1 Pesi propri strutturali

#### 6.1.1 Peso proprio delle strutture in calcestruzzo armato

Il peso per unità di volume del calcestruzzo armato è stato assunto pari a  $\gamma_{CA} = 25,0 \text{ kN/m}^3$ .

Il peso proprio degli elementi in calcestruzzo armato è stato assegnato in maniera automatica dal software di calcolo in relazione alle reali dimensioni delle sezioni strutturali assunte.

### 6.2 Carichi permanenti portati

#### 6.2.1 Carichi permanenti portati sulla banchina pedonale

A favore di sicurezza si considera un carico permanente portato sulla banchina pedonale pari a:

$$p_{\text{banchina}} = 1,50 \text{ kN/m}^2$$

#### 6.2.2 Carichi permanenti lungo i binari

A favore di sicurezza si considera un carico permanente portato sull'area destinata al posizionamento dei binari pari a:

$$p_{\text{binari}} = 0,50 \text{ kN/m}^2$$

### 6.3 Azione del ritiro nel calcestruzzo

Di seguito si riporta il calcolo della deformazione da ritiro associata alla geometria delle solette considerata e la corrispondente variazione termica equivalente con cui tale effetto è stato introdotto nel modello.



### 6.3.1 Soletta H = 70,0 cm

#### VALUTAZIONE DELLE AZIONI DA RITIRO (EC2 A 1.1.3)

##### VALUTAZIONE DELLA DEFORMAZIONE DA RITIRO

Classe di resistenza del calcestruzzo:	C35/45	
Resistenza media compressione (a 28 gg) $f_{cm}$ :	45,35	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tipologia del calcestruzzo:	Calcestruzzo a indurimento normale o rapido	
Coefficiente $\beta_{sc}$ funzione della tipologia del calcestruzzo:	5	[-]
Coefficiente che tiene conto dell'effetto della resistenza del cls sul ritiro $\epsilon_s(f_{cm})$ :	0,000383	[-]
Umidità relativa ambientale $RH$ (>40 %):	75	[%]
Coeff. che tiene conto dell'effetto dell'umidità relativa sul coeff. nominale di ritiro $\beta_{sRH}$ :	0,578125	[-]
Caratteristiche della maturazione del cls:	Calcestruzzo esposto all'aria	
Coefficiente funzione della tipologia di maturazione del calcestruzzo $\beta_{RH}$ :	-0,896094	[-]
Coefficiente nominale di ritiro $\epsilon_{cso}$ :	-0,000343	[-]
Tempo di inizio del fenomeno del ritiro $t_0$ :	7	[gg]
Tempo di riferimento per il calcolo della deformazione da ritiro $t_s$ :	7	[gg]
Area delle sezione di calcestruzzo $A_c$ :	0,7000	[m <sup>2</sup> ]
Perimetro della sezione di calcestruzzo a contatto con l'atmosfera $u$ :	2,00	[m]
Dimensione fittizia $h_0$ :	700,00	[mm]
Coefficiente atto a descrivere lo sviluppo del ritiro nel tempo (a tempo infinito) $\beta_s(t-\infty)$ :	1,000	[-]
Coefficiente atto a descrivere lo sviluppo del ritiro nel tempo (al tempo di riferimento) $\beta_s(t-t_s)$ :	0,000	[-]
Deformazione finale dovuta al ritiro a tempo infinito $\epsilon_{cs}(t-\infty)$ :	-0,000343	[-]
Deformazione dovuta al ritiro al tempo di riferimento $t_s$ $\epsilon_{cs}(t-t_s)$ :	0,000000	[-]
Deformazione residua da ritiro a partire dal tempo di riferimento $t_s$ $\epsilon_{cs}(t_s-\infty)$ :	-0,000343	[-]

##### VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE DI VISCOSITA'

Coeff. che tiene conto dell'effetto dell'umidità relativa sul coeff. nom. di viscosità $\Phi_{RH}$ :	1,282	[-]
Coeff. che tiene conto dell'eff. della resist. del cls sul coeff. nom. di viscosità $\beta(f_{cm})$ :	2,495	[-]
Tempo di inizio del fenomeno del ritiro $t_0$ :	7	[gg]
Coeff. che tiene conto dell'età del cls sul coefficiente nominale di viscosità $\beta(t_0)$ :	0,635	[-]
Coefficiente nominale di viscosità $\Phi_0$ :	2,029	[-]
Coefficiente funzione dell'umidità relativa RH e dalla dimensione fittizia $h_0$ $\beta_H$ :	1457,599	[-]
Coefficiente che tiene conto dello sviluppo della viscosità nel tempo $\beta_c(t-t_0)$ :	1,000	[-]
Coefficiente di viscosità $\Phi(t-t_0)$ :	2,029	[-]

Per la valutazione del modulo elastico ridotto del calcestruzzo è stato considerato un coefficiente di riduzione pari a:

$$[1,00 + 0,55 \cdot \Phi(\infty, t_0)]$$

Considerato il valore del modulo elastico medio del calcestruzzo C35/45 pari a  $E_{cm} = 34.625,48 \text{ N/mm}^2$ , il modulo elastico ridotto risulta dunque pari a:

$$E_{cm,rid} = \frac{E_{cm}}{[1 + 0,55 \cdot \Phi(t_0, \infty)]} = \frac{34.625,48}{[1 + 0,55 \cdot 2,029]} = 16.364,04 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

L'azione del ritiro verrà applicata alla soletta superiore, all'interno del modello di calcolo, sotto forma di un'azione termica longitudinale uniforme equivalente di contrazione, la quale, considerato un



coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo strutturale pari a  $\alpha = 10 \cdot 10^{-6}$  [1/°C], risulta pertanto pari a:

$$\Delta T_{rit,eq} = \frac{\varepsilon_{cs}(t_0, \infty)}{\alpha \cdot [1 + 0,55 \cdot \Phi(t_0, \infty)]} = \frac{-0,000343}{10 \cdot 10^{-6} \cdot [1 + 0,55 \cdot 2,029]} = -16,21 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### 6.3.2 Soletta H = 40,0 cm

VALUTAZIONE DELLE AZIONI DA RITIRO (EC2 A 1.1.3)		
VALUTAZIONE DELLA DEFORMAZIONE DA RITIRO		
Classe di resistenza del calcestruzzo:	C35/45	
Resistenza media compressione (a 28 gg) $f_{cm}$ :	$f_{cm}$	45,35 [N/mm <sup>2</sup> ]
Tipologia del calcestruzzo:	Calcestruzzo a indurimento normale o rapido	
Coefficiente $\beta_{sc}$ funzione della tipologia del calcestruzzo:	$\beta_{sc}$	5 [-]
Coefficiente che tiene conto dell'effetto della resistenza del cls sul ritiro $\varepsilon_s(f_{cm})$ :	$\varepsilon_s(f_{cm})$	0,000383 [-]
Umidità relativa ambientale $RH$ (>40 %):	RH	75 [%]
Coeff. che tiene conto dell'effetto dell'umidità relativa sul coeff. nominale di ritiro $\beta_{sRH}$ :	$\beta_{sRH}$	0,578125 [-]
Caratteristiche della maturazione del cls:	Calcestruzzo esposto all'aria	
Coefficiente funzione della tipologia di maturazione del calcestruzzo $\beta_{RH}$ :	$\beta_{RH}$	-0,896094 [-]
Coefficiente nominale di ritiro $\varepsilon_{cso}$ :	$\varepsilon_{cso}$	-0,000343 [-]
Tempo di inizio del fenomeno del ritiro $t_0$ :	$t_0$	7 [gg]
Tempo di riferimento per il calcolo della deformazione da ritiro $t_s$ :	$t_s$	7 [gg]
Area delle sezione di calcestruzzo $A_c$ :	$A_c$	0,4000 [m <sup>2</sup> ]
Perimetro della sezione di calcestruzzo a contatto con l'atmosfera $u$ :	$u$	2,00 [m]
Dimensione fittizia $h_0$ :	$h_0$	400,00 [mm]
Coefficiente atto a descrivere lo sviluppo del ritiro nel tempo (a tempo infinito) $\beta_s(t-\infty)$ :	$\beta_s(t-\infty)$	1,000 [-]
Coefficiente atto a descrivere lo sviluppo del ritiro nel tempo (al tempo di riferimento) $\beta_s(t-t_s)$ :	$\beta_s(t-t_s)$	0,000 [-]
Deformazione finale dovuta al ritiro a tempo infinito $\varepsilon_{cs}(t-\infty)$ :	$\varepsilon_{cs}(t-\infty)$	-0,000343 [-]
Deformazione dovuta al ritiro al tempo di riferimento $t_s$ $\varepsilon_{cs}(t-t_s)$ :	$\varepsilon_{cs}(t-t_s)$	0,000000 [-]
Deformazione residua da ritiro a partire dal tempo di riferimento $t_s$ $\varepsilon_{cs}(t_s-\infty)$ :	$\varepsilon_{cs}(t_s-\infty)$	-0,000343 [-]
VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE DI VISCOSITA'		
Coeff. che tiene conto dell'effetto dell'umidità relativa sul coeff. nom. di viscosità $\Phi_{RH}$ :	$\Phi_{RH}$	1,339 [-]
Coeff. che tiene conto dell'eff. della resist. del cls sul coeff. nom. di viscosità $\beta(f_{cm})$ :	$\beta(f_{cm})$	2,495 [-]
Tempo di inizio del fenomeno del ritiro $t_0$ :	$t_0$	7 [gg]
Coeff. che tiene conto dell'età del cls sul coefficiente nominale di viscosità $\beta(t_0)$ :	$\beta(t_0)$	0,635 [-]
Coefficiente nominale di viscosità $\Phi_0$ :	$\Phi_0$	2,120 [-]
Coefficiente funzione dell'umidità relativa RH e dalla dimensione fittizia $h_0$ $\beta_H$ :	$\beta_H$	940,06 [-]
Coefficiente che tiene conto dello sviluppo della viscosità nel tempo $\beta_c(t-t_0)$ :	$\beta_c(t-t_0)$	1,000 [-]
Coefficiente di viscosità $\Phi(t-t_0)$ :	$\Phi(t-t_0)$	2,120 [-]

Per la valutazione del modulo elastico ridotto del calcestruzzo è stato considerato un coefficiente di riduzione pari a:

$$[1,00 + 0,55 \cdot \Phi(\infty, t_0)]$$



Considerato il valore del modulo elastico medio del calcestruzzo **C35/45** pari a  $E_{cm} = 34.625,48 \text{ N/mm}^2$ , il modulo elastico ridotto risulta dunque pari a:

$$E_{cm,rid} = \frac{E_{cm}}{[1 + 0,55 \cdot \Phi(t_0, \infty)]} = \frac{34.625,48}{[1 + 0,55 \cdot 2,029]} = 16.364,04 \frac{N}{mm^2}$$

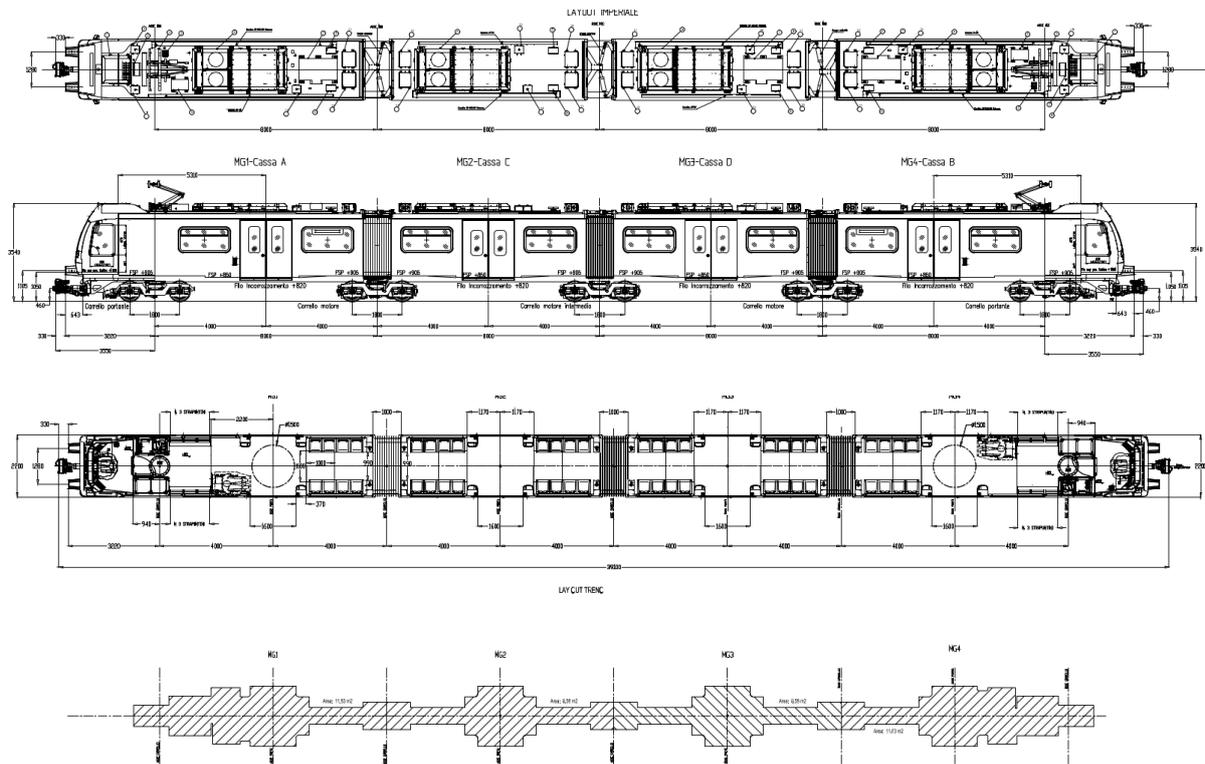
L'azione del ritiro verrà applicata alla soletta superiore, all'interno del modello di calcolo, sotto forma di un'azione termica longitudinale uniforme equivalente di contrazione, la quale, considerato un coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo strutturale pari a  $\alpha = 10 \cdot 10^{-6} [1/^\circ\text{C}]$ , risulta pertanto pari a:

$$\Delta T_{rit,eq} = \frac{\varepsilon_{cs}(t_0, \infty)}{\alpha \cdot [1 + 0,55 \cdot \Phi(t_0, \infty)]} = \frac{-0,000343}{10 \cdot 10^{-6} \cdot [1 + 0,55 \cdot 2,120]} = -15,84 \text{ } ^\circ\text{C}$$

## 6.4 Carichi accidentali

### 6.4.1 Carichi accidentali verticali dovuti al transito del singolo convoglio rotabile

Nelle immagini successive sono riportate le caratteristiche dimensionali relative al singolo convoglio rotabile:

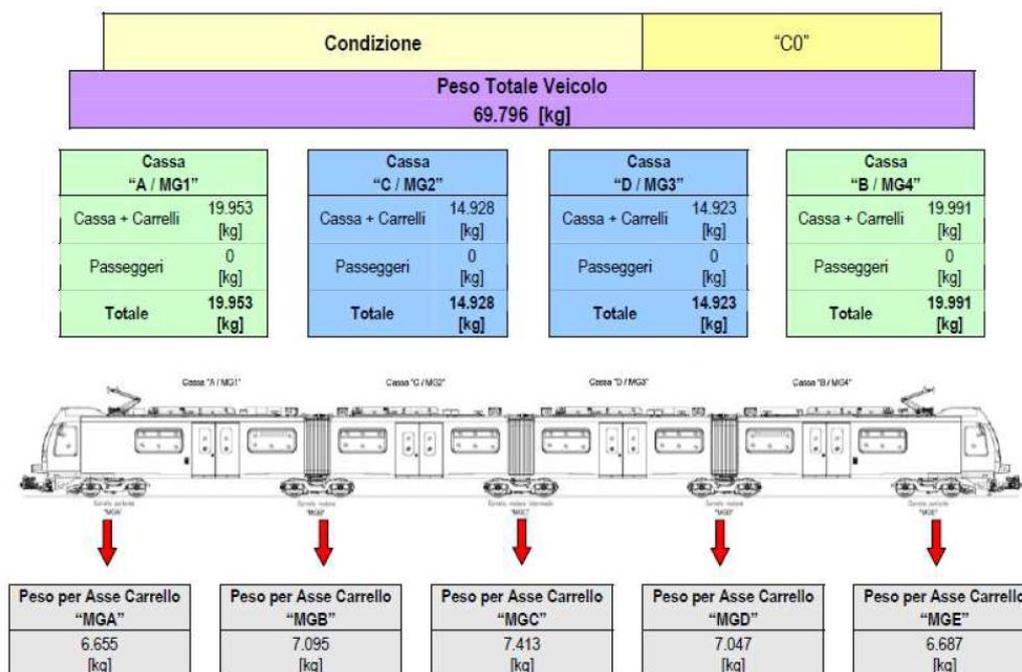


TIPO	CONDIZIONI DI CARICO	Posti a Sedere	Area m <sup>2</sup> calpestabile	Posti in piedi (2 <sup>6</sup> )	m Totale	Post. Disab.
MG1	6 pass./m <sup>2</sup>	8	11.63	70	78	1
MG2	6 pass./m <sup>2</sup>	16	8.56	51	67	0
MG3	6 pass./m <sup>2</sup>	16	8.56	51	67	0
MG4	6 pass./m <sup>2</sup>	8	11.63	70	78	1
TOTALE	N/A	48	40.38	242	290	2

I pesi connessi con il transito dei convogli rotabili sono stati direttamente forniti dal produttore e sono di seguito riportati e definiti in funzione delle differenti configurazioni di carico:

Tipologia	Definizione	Peso [Kg]
C0	Veicolo senza passeggeri (Peso a tara)	69796
C1= C0 + M1	Veicolo + tutti i passeggeri seduti (48) + 1 conducente	73226
C2 = C0 + M2	Veicolo + tutti i passeggeri seduti (48) + 4 passeggeri per m <sup>2</sup> + 1 conducente	84532
C3 = C0 + M3	Veicolo + tutti i passeggeri seduti (48) + 6 passeggeri per m <sup>2</sup> + 1 Conducente	90186
Peso max. per asse	10.000 kg	
Per la UNI EN 12663 il peso del passeggero è valutato in 70 Kg		
Carico M1	48 passeggeri seduti + 1 conducente	3430
Carico M2	passeggeri seduti + 4 pass./m <sup>2</sup> + 1 conducente 48 + 162 = 210 pass. totali (Carico Normale rif. 11378)	14770
Carico M3	passeggeri seduti + 6 pass./m <sup>2</sup> + 1 conducente 48 + 242 = 290 pass. totali [Carico Eccezionale utilizzato per il calcolo delle prestazioni e del max. peso per asse e per il dimensionamento dei carrelli e della cassa]	20370

Di seguito sono riepilogati i carichi per singolo asse del singolo carrello forniti dal produttore per la condizione C0 (tara del solo veicolo in assenza di passeggeri a bordo):



Il “peso a tara” del singolo convoglio risulta dunque pari a:

$$P_{\text{CONVOGLIO}} = 2 \cdot (6.655,00 + 7.095,00 + 7.413,00 + 7.047,00 + 6.687,00) = 69.794,00 \text{ kg} = 697,94 \text{ kN}$$

Come riportato nelle precedenti tabelle il peso totale del convoglio a pieno carico (configurazione C3) risulta pari a:

$$P_{\text{CONVOGLIO}}(\text{C3}) = 90.186,00 \text{ kg} = 901,86 \text{ kN}$$

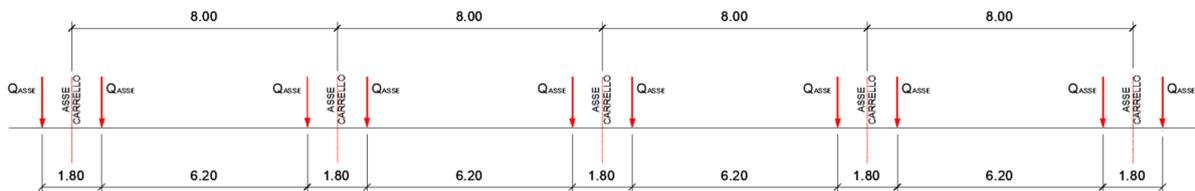
Ripartendo il carico massimo (C3) sui singoli assi in proporzione ai carichi dovuti al “peso a tara” si ottengono i seguenti valori per singolo asse del singolo carrello:

- Carrello “MGA” →  $Q_{\text{ASSE}} = 85,99 \text{ kN}$
- Carrello “MGB” →  $Q_{\text{ASSE}} = 91,68 \text{ kN}$
- Carrello “MGC” →  $Q_{\text{ASSE}} = 95,79 \text{ kN}$
- Carrello “MGD” →  $Q_{\text{ASSE}} = 91,06 \text{ kN}$
- Carrello “MGE” →  $Q_{\text{ASSE}} = 86,41 \text{ kN}$

A favore di sicurezza verrà considerato un carico per singolo asse (uguale al carico massimo sostenibile dal singolo asse così come indicato dal produttore) pari a:

$$Q_{\text{ASSE}} = 100,00 \text{ kN}$$

Nell’immagine successiva è riportata la definizione del singolo convoglio inserita successivamente all’interno del modello di calcolo:



#### 6.4.2 Effetti dinamici connessi al transito dei convogli tramviari (coefficiente di amplificazione dinamica)

Il coefficiente dinamico applicato ai carichi viaggianti connessi al convoglio tramviario è stato determinato secondo quanto previsto dalla Norma UNI EN 1991-2 – Annex C (“Dynamic factors for Real Trains”) mediante la seguente formulazione (“manutenzione standard”):

$$1 + \varphi = 1 + \varphi' + \varphi''$$

nella quale:

$$\varphi' = \frac{K}{1-K+K^4} \text{ per } K < 0,76$$

$$\varphi' = 1,325 \text{ per } K \geq 0,76$$

con

$$K = \frac{v}{2 \cdot L_{\phi} \cdot n_0}$$

e

$$\varphi'' = \frac{\alpha}{100} \cdot \left[ 56 \cdot e^{-\left(\frac{L_{\phi}}{10}\right)^2} + 50 \cdot \left(\frac{L_{\phi} \cdot n_0}{80} - 1\right) \cdot e^{-\left(\frac{L_{\phi}}{20}\right)^2} \right] \text{ con } \varphi'' \geq 0,00$$

con:

$$\alpha = \frac{v}{22} \text{ per } v \leq 22,00 \frac{m}{sec}$$

$$\alpha = 1,00 \text{ per } v > 22,00 \frac{m}{sec}$$

Di seguito è riportata la definizione della simbologia utilizzata all'interno delle precedenti formulazioni:

- **v** = massima velocità di percorrenza della linea (nel caso specifico **v = 70,00 km/h = 19,44 m/sec**);
- **n<sub>0</sub>** = primo periodo principale flessionale della struttura caricata esclusivamente dai pesi propri strutturali e dai carichi permanenti portati;
- **L<sub>φ</sub>** = lunghezza caratteristica della struttura;
- **α** = coefficiente moltiplicativo dipendente dalla velocità massima della linea.

Nel caso in esame si ha:

$$v = 19,44 \text{ m/sec} < 22,00 \text{ m/sec} \rightarrow \alpha = 19,44 / 22,00 = 0,884$$

La lunghezza caratteristica  $L_{\phi}$  della struttura viene determinata in relazione a quanto riportato all'interno della Norma UNI EN 1991-2 - §6.4.5.3 – Tab. 6.2:

Case	Structural element	Determinant length $L_{\phi}$								
<b>Main girders</b>										
5.1	Simply supported girders and slabs (including steel beams embedded in concrete)	Span in main girder direction								
5.2	Girders and slabs continuous over $n$ spans with  $L_m = 1/n (L_1 + L_2 + \dots + L_n)$ (6.6)	$L_{\phi} = k \times L_m$ , (6.7) but not less than $\max L_i (i = 1, \dots, n)$  <table style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 0 10px;"><math>n = 2</math></td> <td style="padding: 0 10px;"><math>3</math></td> <td style="padding: 0 10px;"><math>4</math></td> <td style="padding: 0 10px;"><math>\geq 5</math></td> </tr> <tr style="border-top: 1px solid black;"> <td style="padding: 0 10px;"><math>k = 1,2</math></td> <td style="padding: 0 10px;"><math>1,3</math></td> <td style="padding: 0 10px;"><math>1,4</math></td> <td style="padding: 0 10px;"><math>1,5</math></td> </tr> </table>	$n = 2$	$3$	$4$	$\geq 5$	$k = 1,2$	$1,3$	$1,4$	$1,5$
$n = 2$	$3$	$4$	$\geq 5$							
$k = 1,2$	$1,3$	$1,4$	$1,5$							
5.3	Portal frames and closed frames or boxes:  - single-span  - multi-span	Consider as three-span continuous beam (use 5.2, with vertical and horizontal lengths of members of the frame or box)  Consider as multi-span continuous beam (use 5.2, with lengths of end vertical members and horizontal members)								
5.4	Single arch, archrib, stiffened girders of bowstrings	Half span								
5.5	Series of arches with solid spandrels retaining fill	Twice the clear opening								
5.6	Suspension bars (in conjunction with stiffening girders)	4 times the longitudinal spacing of the suspension bars								
<b>Structural supports</b>										
6	Columns, trestles, bearings, uplift bearings, tension anchors and for the calculation of contact pressures under bearings.	Determinant length of the supported members								

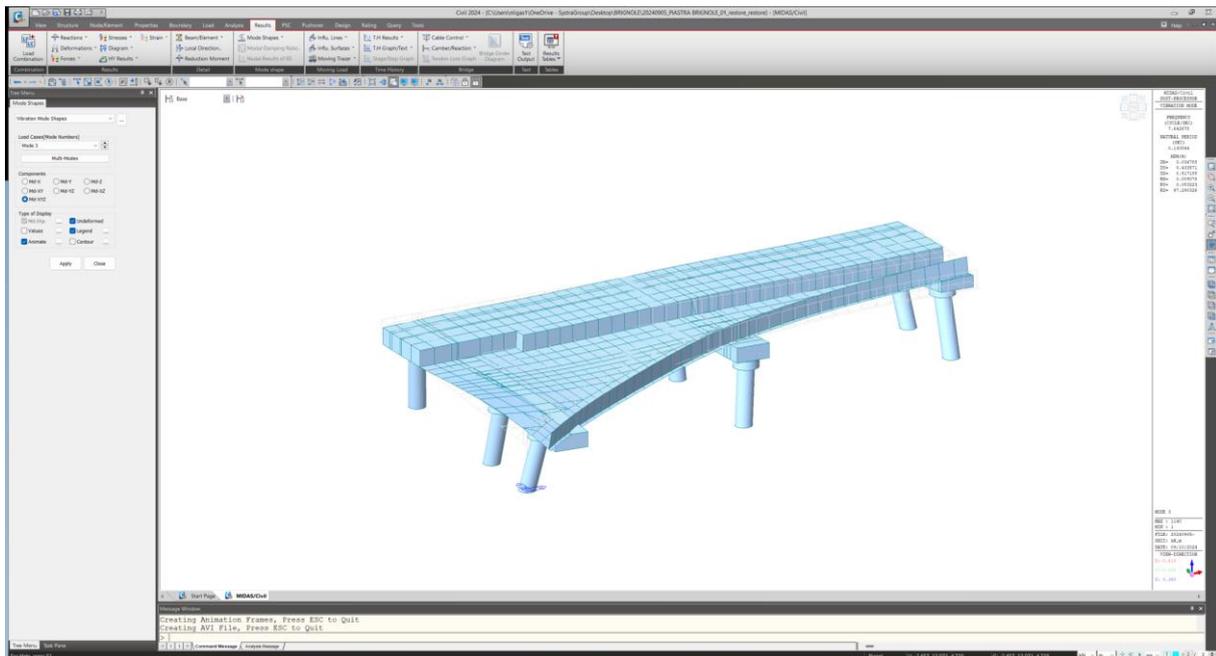
Nel caso in esame la struttura risulta suddivisa secondo due campate continue con lunghezza media rispettivamente pari a:

- Campata 1  $\rightarrow L_{m1} = 15,18$  m
- Campata 2  $\rightarrow L_{m2} = 14,93$  m

La lunghezza caratteristica dell'opera risulta dunque pari a:

- $n = 2$
- $k = 1,20$
- $L_m = (15,18 + 14,93) / 2 = 15,06 \text{ m}$
- $L_\phi = 1,20 \cdot 15,06 = 18,07 \text{ m}$

Nell'immagine successiva è riportata la deformata relativa al primo modo principale di vibrare flessionale:



Il periodo di vibrazione risulta pari a  $T_1 = 0,130844 \text{ sec}$ , la cui corrispondente frequenza presenta pertanto un valore pari a  $n_0 = 1 / 0,130844 = 7,6427 \text{ Hz}$ .

I limiti di validità di  $n_0$  (al di fuori dei quali risulta necessaria una specifica analisi dinamica) sono di seguito riepilogati:

### LIMITE SUPERIORE

$$n_0 = 94,76 \cdot L_\phi^{-0,784}$$

Nel caso in esame  $n_0$  risulta pari a:

$$n_{0,sup} = 94,76 \cdot 18,07^{-0,748} = 9,8004 \text{ Hz}$$

### LIMITE INFERIORE

$$n_0 = \frac{80}{L_\phi} \text{ per } 4,00 \text{ m} \leq L_\phi \leq 20,00 \text{ m}$$

$$n_0 = 23,58 \cdot L_\phi^{-0,592} \text{ per } 20,00 \text{ m} < L_\phi \leq 100,00 \text{ m}$$



Nel caso in esame, considerato un valore di  $L_{\emptyset} = 18,07$  m, si ottiene:

$$n_{0,inf} = \frac{80}{18,07} = 4,4282 \text{ Hz}$$

Risulta dunque:

$$n_{0,inf} = 4,4282 \text{ Hz} < n_0 = 7,6427 \text{ Hz} < n_{0,sup} = 9,8004 \text{ Hz}$$

La frequenza propria principale flessionale risulta contenuta all'interno dei limiti superiore e inferiore. Non risulta pertanto necessaria alcuna specifica analisi dinamica.

Di seguito è riportata la valutazione analitica del coefficiente dinamico:

Numero di campate	n	2	[-]
Lunghezza della prima campata	$L_1$	15,18	[m]
Lunghezza della seconda campata	$L_2$	14,93	[m]
Coefficiente k	k	1,20	[-]
Lunghezza media della campata	$L_m$	15,06	[m]
Lunghezza caratteristica	$L_{\emptyset}$	18,07	[m]
Velocità massima della linea	V	70,00	[km/h]
Velocità massima della linea	v	19,44	[m/sec]
Periodo del modo principale flessionale di vibrare dell'opera	T1	0,1308	[sec]
Frequenza del modo proprio principale di vibrazione flessionale dell'opera	$n_0$	7,6427	[Hz]
Frequenza limite superiore del fuso	$n_{0,max}$	9,8004	[Hz]
Frequenza limite inferiore del fuso	$n_{0,min}$	4,4282	[Hz]

**LA FREQUENZA DEL MODO PRINCIPALE FLESSIONALE E' INTERNA AL FUSO. NON E' NECESSARIA UNA SPECIFICA ANALISI DINAMICA.**

Coefficiente K	K	0,070	[-]
Coefficiente $\varphi'$	$\varphi'$	0,0757	[-]
Coefficiente $\alpha$	$\alpha$	0,8838	[-]
Coefficiente $\varphi''$	$\varphi''$	0,1608	[-]
Coefficiente dinamico $\varphi$	$\varphi$	1,2365	[-]

Si assume pertanto un valore del coefficiente dinamico  $\varphi = 1,2365$ .



### 6.4.3 Numero di convogli tramviari contemporanei

Nel caso in esame sono possibili due differenti condizioni:

- tram transitante sul binario di svincolo
- tram transitante e fermo sul binario di riposo “tronchino”

**Le due condizioni non sono da considerarsi come concomitanti.**

### 6.4.4 Azione orizzontale trasversale centrifuga connessa al transito dei convogli tramviari

Il raggio di curvatura del binario di svincolo risulta pari a **100,00 m**.

Di seguito si riportano i valori della velocità della linea in relazione ai raggi di curvatura presenti:

- Raggio di curvatura **R = 50,00 m** → **V = 25,00 km/h**
- Raggio di curvatura **R = 150,00 m** → **V = 45,00 km/h**
- Raggio di curvatura **R = 50,00 m** → **V = 70,00 km/h**
- Rettifilo → **V = 70,00 km/h**

A favore di sicurezza si assume una velocità della linea pari a **V = 45,00 km/h**.

Secondo quanto riportato dal D.M. 17.01.2018 - §5.2.2.3.1, l'azione trasversale centrifuga connessa con i carichi concentrati relativi al singolo asse del convoglio tramviario viene determinata mediante la seguente relazione:

$$Q_{tk} = \frac{v^2}{g \cdot r} \cdot (f \cdot \alpha \cdot Q_{vk}) = \frac{V^2}{127 \cdot r} \cdot (f \cdot \alpha \cdot Q_{vk})$$

dove:

- $Q_{tk}$  = valore caratteristico della forza centrifuga [kN]
- $Q_{vk}$  = valore caratteristico dei carichi verticali [kN]
- $\alpha$  = coefficiente di adattamento
- $v$  = velocità di progetto espressa in m/s
- $V$  = velocità di progetto espressa in km/h
- $f$  = fattore di riduzione
- $g$  = accelerazione di gravità espressa in  $m/s^2$
- $r$  = raggio di curvatura espresso in m

Trattandosi di un “treno reale” i coefficienti  $\alpha$  e  $f$  sono assunti con valore unitario.

L'azione trasversale centrifuga connessa con i carichi concentrati relativi al singolo asse del convoglio tramviario risulta dunque pari a:

$$Q_{tk} = \frac{45,00^2}{127 \cdot 100,00} \cdot (1,00 \cdot 1,00 \cdot 100,00) = 15,94 \text{ kN}$$



L'azione trasversale centrifuga è stata applicata al modello di calcolo come azione trasversale orizzontale lineare uniformemente distribuita lungo l'intero sviluppo del binario di svincolo (**L = 36,00 m**).

Considerata la presenza di **n. 10** assi per il singolo convoglio ferroviario si determina un valore della suddetta azione trasversale lineare pari a:

$$q_{tk} = \frac{10 \cdot 15,94}{36,00} = 4,43 \frac{kN}{m}$$

L'azione trasversale centrifuga risulta applicata a una quota pari a **1,80 m** valutata dal piano del ferro.

Lungo il tratto in rettilineo del binario di sosta ("tronchino") non è prevista l'applicazione dell'azione centrifuga.

**All'azione trasversale centrifuga non viene applicato il coefficiente dinamico  $\phi$ .**

#### **6.4.5 Azione longitudinale di avviamento/frenatura connessa al transito dei convogli tramviari**

L'azione longitudinale di avviamento/frenatura è assunta pari a 30% del corrispondente carico verticale viaggiante.

Considerata la presenza di **n. 10** assi per il singolo convoglio ferroviario si determina un valore della suddetta azione trasversale lineare pari a:

$$Q_{a/f,k} = 0,30 \cdot 10 \cdot 100,00 = 300,00 \text{ kN}$$

L'azione longitudinale di avviamento/frenatura è stata applicata al modello di calcolo come azione longitudinale orizzontale lineare uniformemente distribuita lungo l'intero sviluppo dei binari, le lunghezze dei quali risultano pari a:

- Binario di svincolo → **L = 36,00 m**
- Binario di riposo ("tronchino") → **L = 27,40 m**

L'azione longitudinale orizzontale lineare uniformemente distribuita risulta dunque pari a:

- Binario di svincolo →  **$q_{a/f,k} = 300,00 / 36,00 = 8,33 \text{ kN/m}$**
- Binario di riposo ("tronchino") →  **$q_{a/f,k} = 300,00 / 27,40 = 10,95 \text{ kN/m}$**

L'azione longitudinale di avviamento/frenatura risulta applicata alla quota del piano del ferro.

**All'azione longitudinale di avviamento/frenatura non viene applicato il coefficiente dinamico  $\phi$ .**

#### **6.4.6 Azione trasversale di serpeggio**

Analogamente a quanto previsto dal D.M. 17.01.2018 - §5.2.2.3.2 per i ponti ferroviari, si considera un'azione trasversale di serpeggio (per singolo convoglio tramviario transitante) pari a **100,00 kN**.

Tale azione verrà applicata alla quota della rotaia più alta.

**All'azione trasversale di serpeggio non viene applicato il coefficiente dinamico  $\phi$**

### 6.4.7 Carico accidentale sulla banchina pedonale

In conformità a quanto previsto dal D.M. 17.01.2018 - §3.1.4 – Tab.3.1. Il carico accidentale sulla banchina pedonale viene schematizzato mediante un carico verticale uniformemente ripartito pari a **5,0 kN/m<sup>2</sup>** (CATEGORIA C5 – Aree suscettibili di grandi affollamenti, quali edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune, **gradinate e piattaforme ferroviarie**).

### 6.4.8 Azione del vento in direzione trasversale

Di seguito è riportata la valutazione dell'azione trasversale del vento in condizioni di ponte carico, considerando una sagoma fittizia del convoglio tramviario di altezza pari a **4,00 m**.

#### 7) Liguria

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
7	28	1000	0,015
$a_s$ (altitudine sul livello del mare [m])			<b>19</b>
$T_R$ (Tempo di ritorno)			<b>200</b>
$v_b = v_{b,0}$ per $a_s \leq a_0$ $v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m			
$v_b$ ( $T_R = 50$ [m/s])			28,000
$\alpha_R$ ( $T_R$ )			1,07623
$v_b$ ( $T_R$ ) = $v_b \times \alpha_R$ [m/s]			30,135

$p$ (pressione del vento [N/mq]) = $q_b \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d$ $q_b$ (pressione cinetica di riferimento [N/mq]) $C_e$ (coefficiente di esposizione) $C_p$ (coefficiente di forma) $C_d$ (coefficiente dinamico)
---



#### Pressione cinetica di riferimento

$$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/mc})$$

$q_b$ [N/mq]	567,56
--------------	--------

#### Coefficiente di forma

E' il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.

#### Coefficiente dinamico

Esso può essere assunto autelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di

#### Coefficiente di esposizione

#### Classe di rugosità del terreno

A) Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m

Categoria di esposizione

ZONE 1,2,3,4,5						
	costa		500m		750m	
	mare					
	2 km	10 km	30 km			
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

ZONA 6					
	costa		500m		
	mare				
	2 km	10 km	30 km		
A	--	III	IV	V	V
B	--	II	III	IV	IV
C	--	II	III	III	IV
D	I	I	II	II	III

ZONE 7,8		
	mare	costa
	1.5 km	0.5 km
A	--	IV
B	--	IV
C	--	III
D	I	*
* Categoria II in zona 8 Categoria III in zona 7		

ZONA 9		
	mare	costa
A	--	I
B	--	I
C	--	I
D	I	I

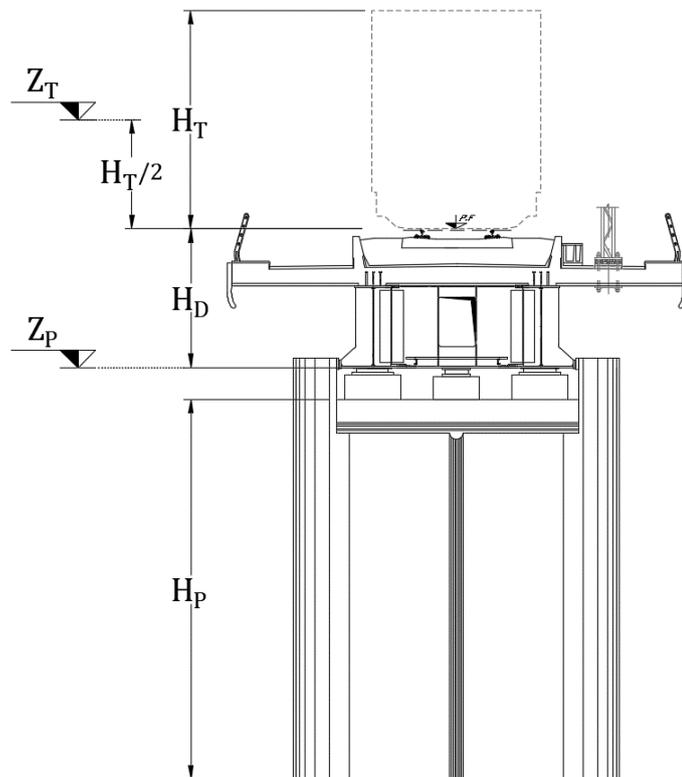
Zona	Classe di rugosità	$a_s$ [m]
7	A	19

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

Cat. Esposiz.	$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{\min}$ [m]	$c_t$
<b>IV</b>	0,22	0,3	8	1

z [m]	z [m]	$c_e$	$q_p$ (kPa)
$z_{\min}$	8	1,634	<b>0,95</b>
$z_T$	<b>7,00 m</b>	1,634	<b>0,95</b>
$z_p$	<b>4,00 m</b>	1,634	<b>0,95</b>



La pressione trasversale massima del vento risulta pertanto pari a:

$$q_p = 0,95 \text{ kN/m}^2$$



Tale azione verrà applicata alla struttura come carico trasversale lineare uniformemente distribuito, considerando un'altezza di applicazione pari a  $h = 5,00$  m.

Il suddetto carico lineare risulta dunque pari a:

$$q_p = 0,95 \cdot 5,00 = 4,75 \text{ kN/m}$$

Rispetto all'intradosso dell'impalcato tale azione lineare viene applicata a una quota pari a  $2,50$  m.

Di seguito è riportata la valutazione del carico lineare trasversale del vento sui fusti delle pile circolari di diametro pari a  $100$  cm:

### VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE DI FORZA PER PILE A SEZIONE CIRCOLARE IN ACCORDO A UNI EN 1991-1-4

#### Dati geometrici di input

Diametro pila	b (m)	1
Altezza pila (estradosso fondazione-estradosso pulvino)	$H_p$ (m)	4

#### Pressione del vento

Pressione di picco del vento	$q_p$ (kPa)	0,95
Velocità di picco del vento	$v_p$ (m/s)	38,99

#### Parametri rilevanti

Rugosità equivalente (calcestruzzo)	k (mm)	1
Rapporto	k/b	1,00
Numero di Reynolds	Re	2,60,E+06

#### Coefficiente di riduzione per effetti di estremità

Snellezza efficace §7.13	$\lambda$	4,0
Coefficiente di riduzione per effetti di estremità	$\psi_\lambda$	0,63

#### Coefficienti di forza

Valore base	$C_{f,0}$	1,35
Valore di progetto	$C_f$	0,90

#### Carico sulla pila

Carico lineare	$p_w$ (kN/m)	0,86
----------------	--------------	------

Si considera pertanto un carico lineare uniformemente distribuito sulle pile pari a:

$$p_w = 0,86 \text{ kN/m}$$



#### 6.4.9 Azione del vento in direzione longitudinale

L'azione del vento in direzione longitudinale è stata applicata ai fusti delle utilizzando i medesimi valori delle azioni valutate per il caso di vento in direzione trasversale.

#### 6.4.10 Azione termica

L'azione della variazione termica è valutata, in termini di temperatura massima estiva e minima invernale dell'aria nel sito della costruzione, attraverso le indicazioni fornite dalla D.M. 17.01.2018 - §5.2.2.4.2.

In particolare, si considera:

- variazione termica uniforme  $\rightarrow \Delta T = 15 \text{ °C}$
- gradiente termico differenziale sulla soletta dell'impalcato  $\rightarrow \Delta T = \pm 5 \text{ °C}$

Analogamente a quanto previsto per il ritiro si considera si considera un modulo elastico del calcestruzzo ridotto per effetti a lungo termine (viscosità).

Per la valutazione del modulo elastico ridotto del calcestruzzo è stato considerato un coefficiente di riduzione pari a:

$$[1,00 + 0,55 \cdot \Phi(\infty, t_0)]$$

In tal senso, al fine di non modificare all'interno del modello di calcolo il modulo elastico del calcestruzzo, verrà apportata una riduzione del valore dell'azione termica applicata.

Considerato, un coefficiente di viscosità a tempo infinito pari a  $\Phi(\infty, t_0) = 2,029$ , il modulo elastico ridotto risulta pari a  $E_{cm,rid} = 16.364,04 \text{ N/mm}^2$ .

Il valore ridotto dell'azione termica, per via degli effetti a lungo termine, risulta pertanto pari a:

- variazione termica uniforme  $\rightarrow \Delta T = 15,00 \times 16.364,04 / 34.625,48 = 7,09 \text{ °C}$
- gradiente termico differenziale sulla soletta dell'impalcato  $\rightarrow \Delta T = \pm 5,00 \times 16.364,04 / 34.625,48 = \pm 2,36 \text{ °C}$

#### 6.5 Azione sismica

L'azione sismica è stata applicata alla struttura mediante un'analisi dinamica lineare con spettro di risposta elastico.

Considerato un valore di  $a_g/g$ , per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, pari a  $0,115 \text{ g} < 0,150 \text{ g}$ , non risulta necessaria l'analisi sismica in direzione verticale.

##### 6.5.1 Treno sismico

In fase sismica è stato considerato il transito di un convoglio tramviario con carichi ad esso connessi assunti pari al 20% dei corrispettivi carichi statici.



---

## 6.5.2 Definizione delle masse sismiche

Per la definizione delle masse sismiche per la valutazione dinamica della struttura sono stati considerate:

- masse sismiche connesse con i pesi propri strutturali;
- masse sismiche connesse con i carichi permanenti portati;
- masse sismiche connesse con il carico del treno sismico (20% dei corrispondenti carichi statici).

Considerato, per il singolo convoglio tramviario, un carico per singolo asse pari a **100,0 kN** e un numero totale di assi pari a **10**, il peso sismico del singolo convoglio tramviario risulta pari a:

$$W_{\text{TRAM}} = 0,20 \cdot 10 \cdot 100,00 = 200,00 \text{ kN}$$

**Tale carico è stato considerato uniformemente distribuito su tutta la superficie dell'impalcato.**



## 7. COMBINAZIONI DI CARICO

### 7.1 Combinazioni di carico allo Stato Limite di Esercizio – Caratteristiche

Per le combinazioni di carico statiche relative all'opera oggetto della presente relazione si è fatto riferimento a quanto riportato nel capitolo nel D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni", § 2.5.3.

Sulla base di ciò sono state individuate le combinazioni di carico statiche Caratteristiche allo Stato Limite di Esercizio, ottenute tramite la relazione generale:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \Psi_{02} \cdot Q_{k2} + \Psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

dove:

- $G_{kj}$  rappresenta il valore caratteristico della j-esima azione permanente
- $Q_{k1}$  rappresenta il valore caratteristico dell'azione variabile di base in ogni combinazione
- $Q_{ki}$  rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile
- $\Psi_{0i}$  rappresentano i coefficienti di combinazione per tener conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i loro valori caratteristici

### 7.2 Combinazioni di carico allo Stato Limite Ultimo – STR

Per le combinazioni di carico statiche relative all'opera oggetto della presente relazione si è fatto riferimento a quanto riportato nel capitolo nel D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni", § 2.5.3.

Sulla base di ciò sono state individuate le combinazioni di carico statiche allo Stato Limite Ultimo - STR, ottenute tramite la relazione generale:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \Psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \Psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

dove:

- $\gamma_G$  e  $\gamma_Q$  rappresentano i coefficienti parziali di amplificazione dei carichi
- $G_{kj}$  rappresenta il valore caratteristico della j-esima azione permanente
- $Q_{k1}$  rappresenta il valore caratteristico dell'azione variabile di base in ogni combinazione
- $Q_{ki}$  rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile
- $\Psi_{0i}$  rappresentano i coefficienti di combinazione per tener conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i loro valori caratteristici

### 7.3 Combinazioni di carico allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita

Per le combinazioni di carico statiche relative all'opera oggetto della presente relazione si è fatto riferimento a quanto riportato nel capitolo nel D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni", § 2.5.3.

Sulla base di ciò sono state individuate le combinazioni di carico sismiche allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, ottenute tramite la relazione generale:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \Psi_{2j} Q_{kj}$$

dove:

- E rappresenta il carico sismico
- $G_{kj}$  rappresenta il valore caratteristico della j-esima azione permanente
- $Q_{ki}$  rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile
- $\Psi_{2i}$  rappresentano i coefficienti di combinazione per tener conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i loro valori quasi permanenti

### 7.4 Definizione dei gruppi di carico

In riferimento a quanto previsto dal D.M. 17.01.2018 - §5.2.3.1.3 e dal MdP RFI – 2.5.1.8.2.3, sono stati determinati i seguenti gruppi di carico correlati ai carichi accidentali da traffico ferroviario, per ogni singola disposizione dei suddetti carichi precedentemente definita:

Tab. 5.2.IV -Valutazione dei carichi da traffico

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,0	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,0	0,0	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,0	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
Gruppo 4	0,8 (0,6;0,4)	-	0,8 (0,6;0,4)	0,8 (0,6;0,4)	0,8 (0,6;0,4)	Fessurazione

(1) Includendo tutti i valori (F; a; etc..)

(2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1.0), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1,2 e 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali

I valori campiti in grigio rappresentano l'azione dominante.

## 7.5 Riepilogo dei coefficienti di amplificazione ( $\gamma$ ) e di partecipazione ( $\psi$ ) dei carichi elementari

I coefficienti di partecipazione ( $\psi$ ) e di amplificazione ( $\gamma$ ) dei carichi sono stati definiti secondo quanto previsto dal D.M. 17.01.2018 - §5.2.3.2.1 e §5.2.3.2.2 e dal MdP RFI - §2.5.1.8.3.1 e §2.5.1.8.3.2:

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 <sup>(5)</sup>	0,20 <sup>(5)</sup>
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(6)</sup>	1,00 <sup>(7)</sup>	1,00	1,00	1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.  
<sup>(2)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.  
<sup>(3)</sup> Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.  
<sup>(4)</sup> Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.  
<sup>(5)</sup> Aliquota di carico da traffico da considerare.  
<sup>(6)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna  
<sup>(7)</sup> 1,20 per effetti locali

Azioni		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Azioni singole da traffico	Treno di carico LM 71	0,80 <sup>(3)</sup>	<sup>(1)</sup>	0,0
	Treno di carico SW /0	0,80 <sup>(3)</sup>	0,80	0,0
	Treno di carico SW/2	0,0 <sup>(3)</sup>	0,80	0,0
	Treno scarico	1,00 <sup>(3)</sup>	-	-
	Centrifuga	<sup>(2)</sup> <sup>(3)</sup>	<sup>(2)</sup>	<sup>(2)</sup>
	Azione laterale (serpeggio)	1,00 <sup>(3)</sup>	0,80	0,0

(1) 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

(2) Si usano gli stessi coefficienti  $\psi$  adottati per i carichi che provocano dette azioni.

(3) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti  $\psi_0$  relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

CARICHI ELEMENTARI		$\gamma$	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
PESI PROPRI STRUTTURALI	$g_1$	1,35	1,00	1,00	1,00
CARICHI PERMANENTI PORTATI	$g_2$	1,50	1,00	1,00	1,00
AZIONE DEL RITIRO	$r$	1,20	1,00	1,00	1,00
CARICO ACCIDENTALE DA FOLLA SULLA BANCHINA	$q_1$	1,50	0,70	0,70	0,60
TRAM SU BINARIO 1 (svincolo) - GR.1	$q_{2a}$	1,45	0,80	0,80	0,00
TRAM SU BINARIO 1 (svincolo) - GR.3	$q_{2b}$	1,45	0,80	0,80	0,00
TRAM SU BINARIO 1 (svincolo) - GR.4	$q_{2c}$	1,45	0,80	0,80	0,00
TRAM SU BINARIO 2 (tronchino) - GR.1	$q_{3a}$	1,45	0,80	0,80	0,00
TRAM SU BINARIO 2 (tronchino) - GR.3	$q_{3b}$	1,45	0,80	0,80	0,00
TRAM SU BINARIO 2 (tronchino) - GR.4	$q_{3c}$	1,45	0,80	0,80	0,00
AZIONE TERMICA	$t$	1,50	0,60	0,50	0,50
AZIONE TRASVERSALE DEL VENTO - DIREZIONE 1	$v_1$	1,50	0,60	0,50	0,00
AZIONE TRASVERSALE DEL VENTO - DIREZIONE 2	$v_2$	1,50	0,60	0,50	0,00
AZIONE LONGITUDINALE DEL VENTO - DIREZIONE 1	$v_3$	1,50	0,60	0,50	0,00
AZIONE LONGITUDINALE DEL VENTO - DIREZIONE 2	$v_4$	1,50	0,60	0,50	0,00
AZIONE SISMICA LONGITUDINALE	$s_1$	1,00	0,00	0,00	0,00
AZIONE SISMICA TRASVERSALE	$s_2$	1,00	0,00	0,00	0,00

## 7.6 Riepilogo delle combinazioni di carico adottate

Nei paragrafi successivi sono riepilogate le combinazioni di carico utilizzate per la valutazione delle azioni sollecitanti sugli elementi strutturali.

Preliminarmente alla definizione delle combinazioni di carico è stata definita una serie di combinazioni di inviluppo di carichi elementari (per tener conto delle varie disposizioni previste per i singoli carichi o delle differenti direzioni di applicazione degli stessi):

- **COMBINAZIONE DI INVILUPPO DELLE AZIONI TERMICHE**

Al fine di tener conto dei vari “segni” combinabili per le azioni termiche (azione termica uniforme e azione termica differenziale) sono state definite le seguenti otto condizioni base. All’interno delle combinazioni di carico per i vari stati limite riepilogate nei paragrafi successivi è stata considerata la combinazione di inviluppo delle suddette otto condizioni termiche:

CONDIZIONE	AZIONE TERMICA UNIFORME	AZIONE TERMICA DIFFERENZIALE
TERMICA 01	1,00	0,00
TERMICA 02	-1,00	0,00
TERMICA 03	0,00	1,00
TERMICA 04	0,00	-1,00
TERMICA 05	1,00	1,00
TERMICA 06	1,00	-1,00
TERMICA 07	-1,00	1,00
TERMICA 08	-1,00	-1,00

- **AZIONE TRASVERSALE DI SERPEGGIO**

Al fine di tener conto delle diverse disposizioni dei carichi sono state definite le seguenti due condizioni base. All’interno delle combinazioni di carico per i vari stati limite riepilogate nei paragrafi successivi è stata considerata la combinazione di inviluppo delle suddette due condizioni:

DISPOSIZIONE DELL'AZIONE DI SERPEGGIO	TRAM SU BINARIO 1	TRAM SU BINARIO 2
Transito di un singolo convoglio - Binario di svincolo - Configurazione 1	1,00	0,00
Transito di un singolo convoglio - Binario di svincolo - Configurazione 2	1,00	0,00
Transito di un singolo convoglio - Binario di svincolo - Configurazione 3	1,00	0,00
Transito di un singolo convoglio - Tronchino - Configurazione 1	0,00	1,00
Transito di un singolo convoglio - Tronchino - Configurazione 2	0,00	1,00









## 8. MODELLO DI CALCOLO E ANALISI STRUTTURALI

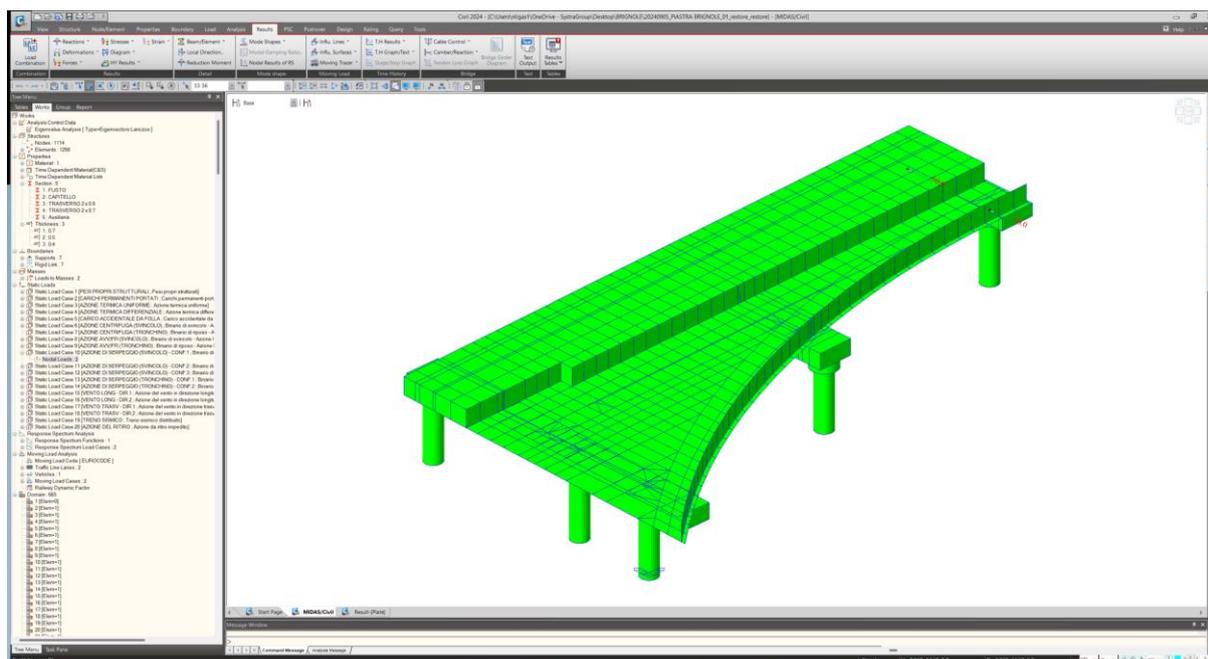
### 8.1 Descrizione del modello di calcolo

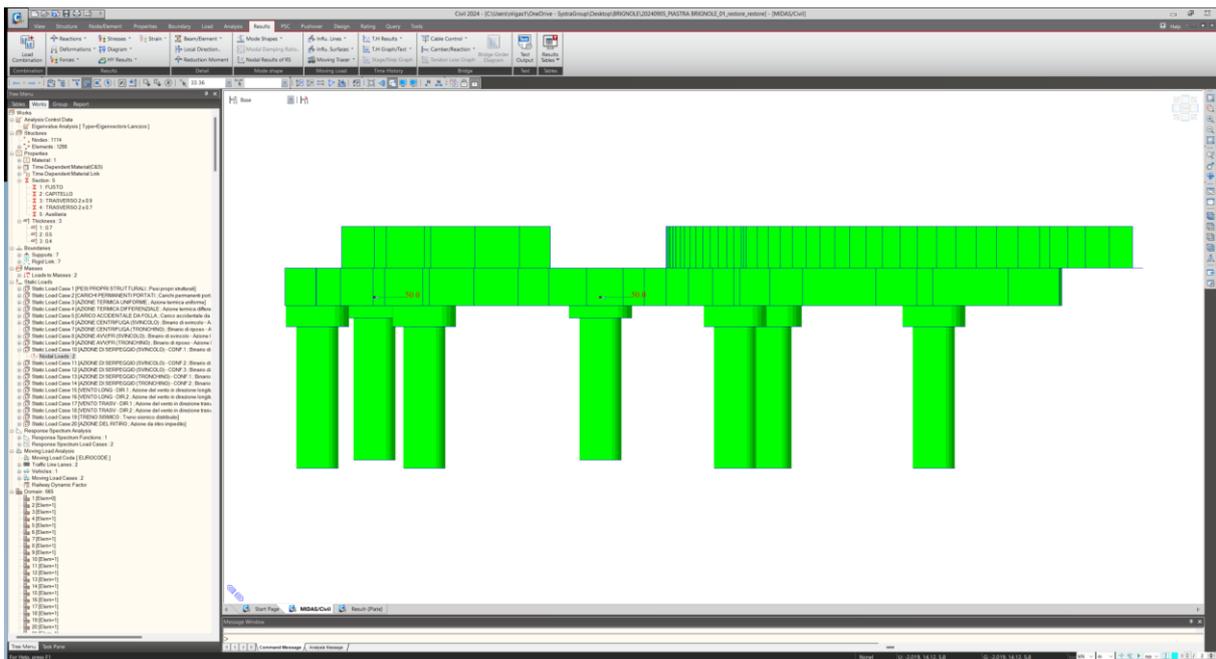
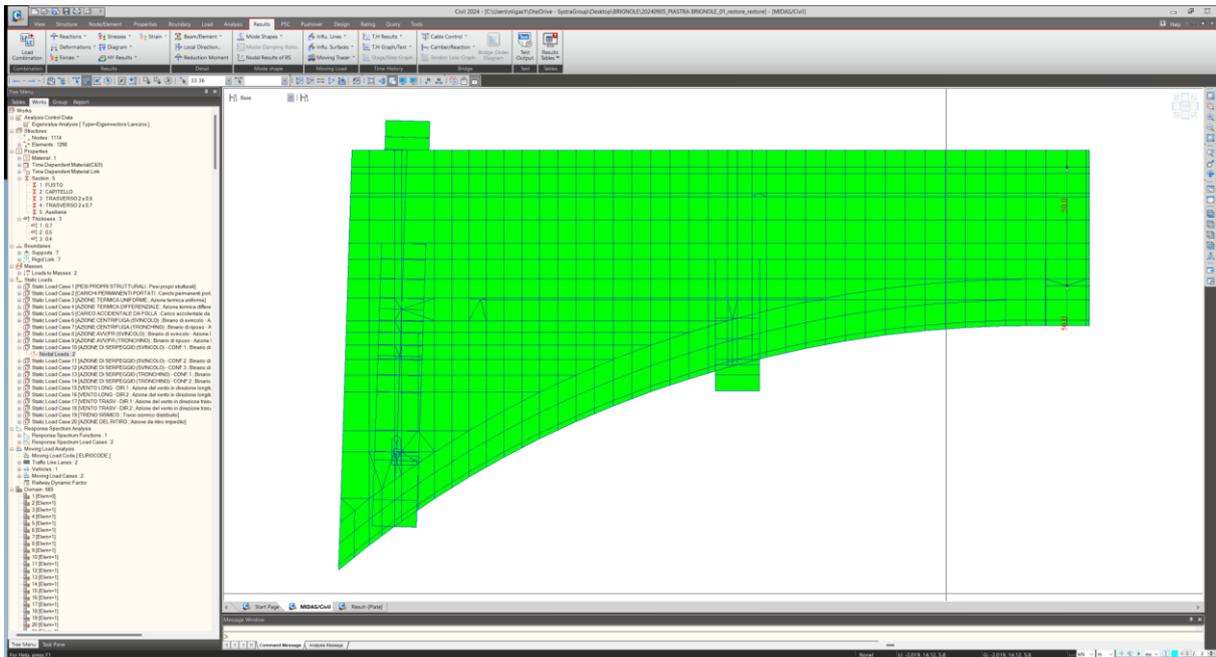
Al fine di valutare le azioni sollecitanti sugli elementi strutturali e le caratteristiche deformative dell'opera è stato predisposto un apposito modello di calcolo agli elementi finiti mediante il software MIDAS CIVIL 2024 (v.1.1).

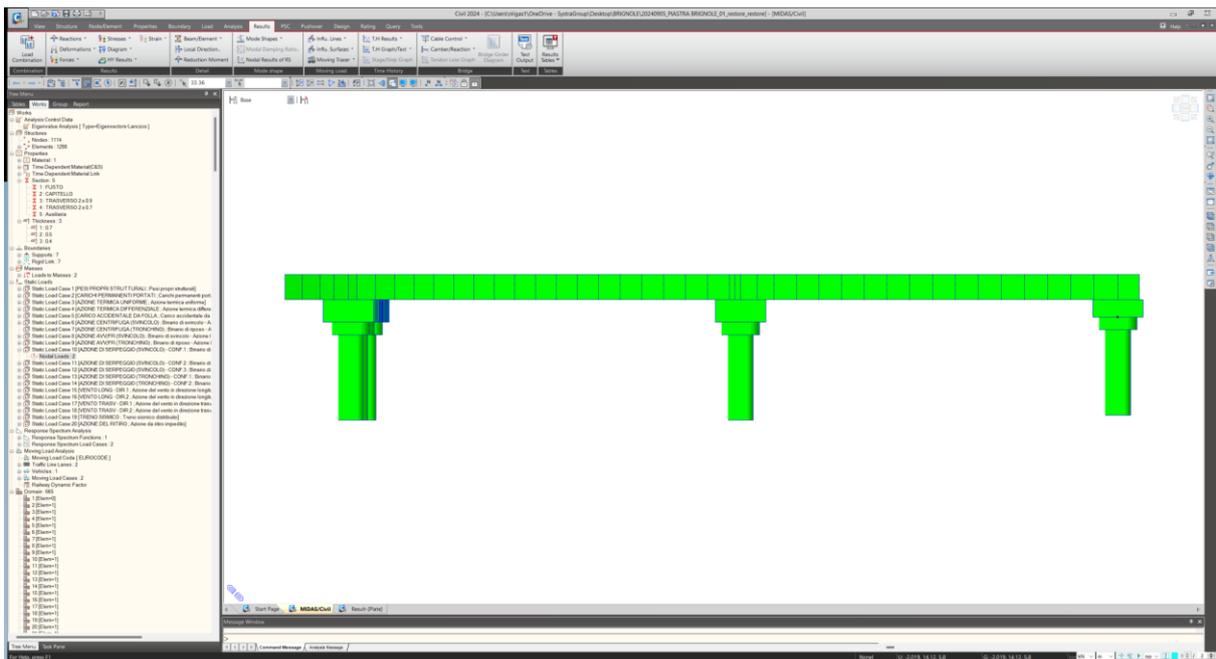
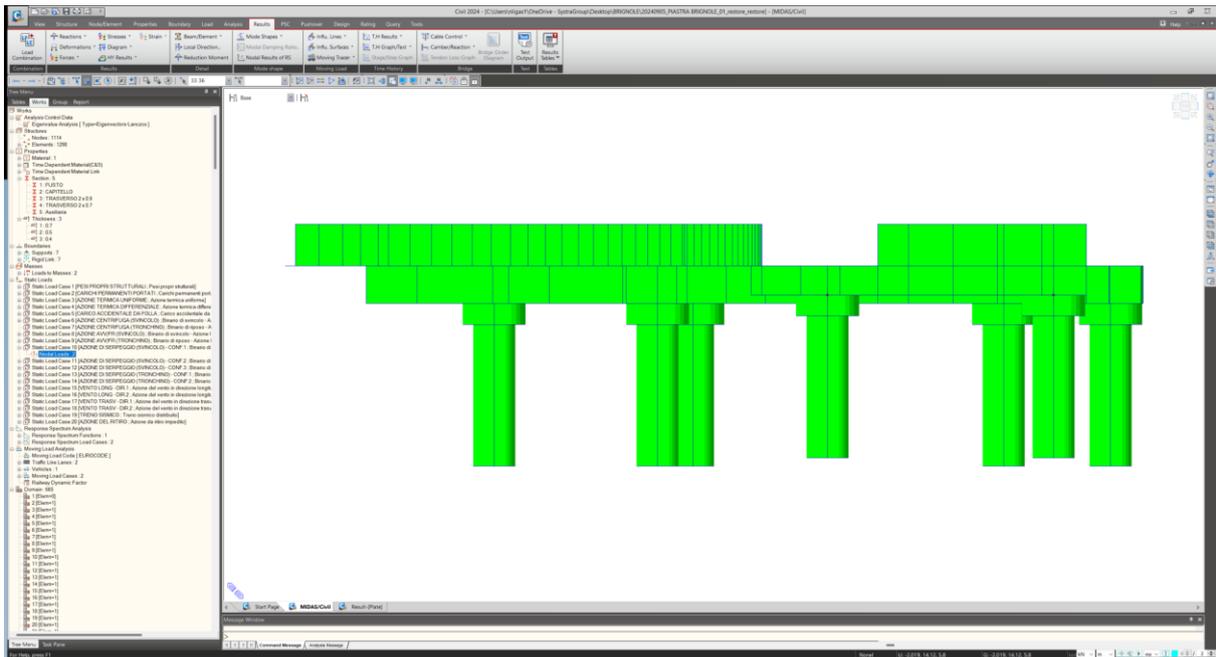
Tutti gli elementi strutturali costituenti i ritri e i trasversi sono stati schematizzati mediante elementi monodimensionali tipo “beam”, collegati tra loro mediante appositi link rigidi (“rigid link” ai quali è stato assegnato un comportamento tipo “body”). Gli elementi costituenti le solette e i setti dell’impalcato sono stati modellati mediante elementi bidimensionali tipo “shell” con comportamento a “lastra – piastra”.

La struttura è stata considerata incastrata alla base delle colonne.

Di seguito sono riportate le immagini maggiormente significative del modello di calcolo:

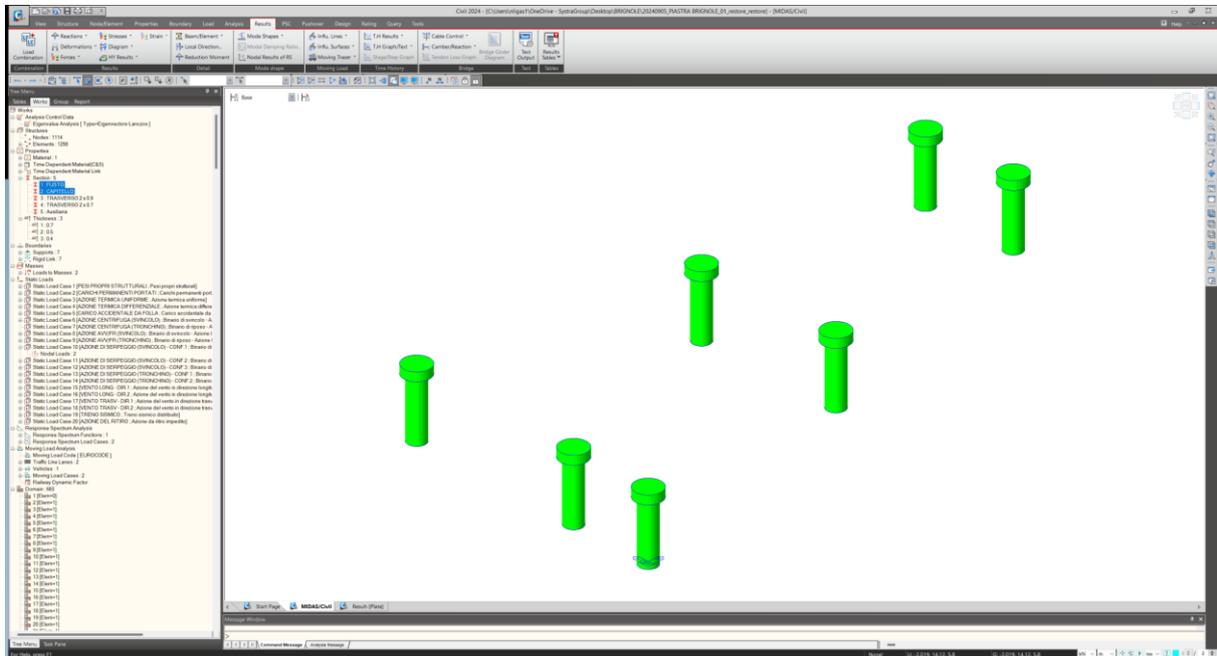






## 8.2 Caratteristiche geometriche e inerziali delle sezioni strutturali

### 8.2.1 Colonne e capitelli in c.a.o.

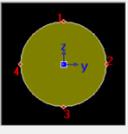


**Section Data** [X]

DB/User |

Section ID:  Solid Round

Name:  User  DB  AISCI0(US)

Sect. Name:

Built-Up Section

Get Data From Single Angle

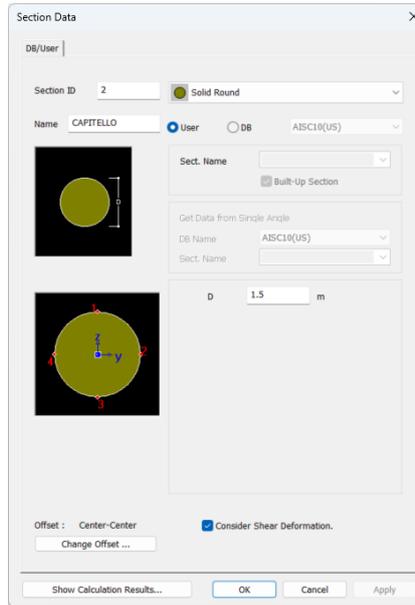
DB Name:

Sect. Name:

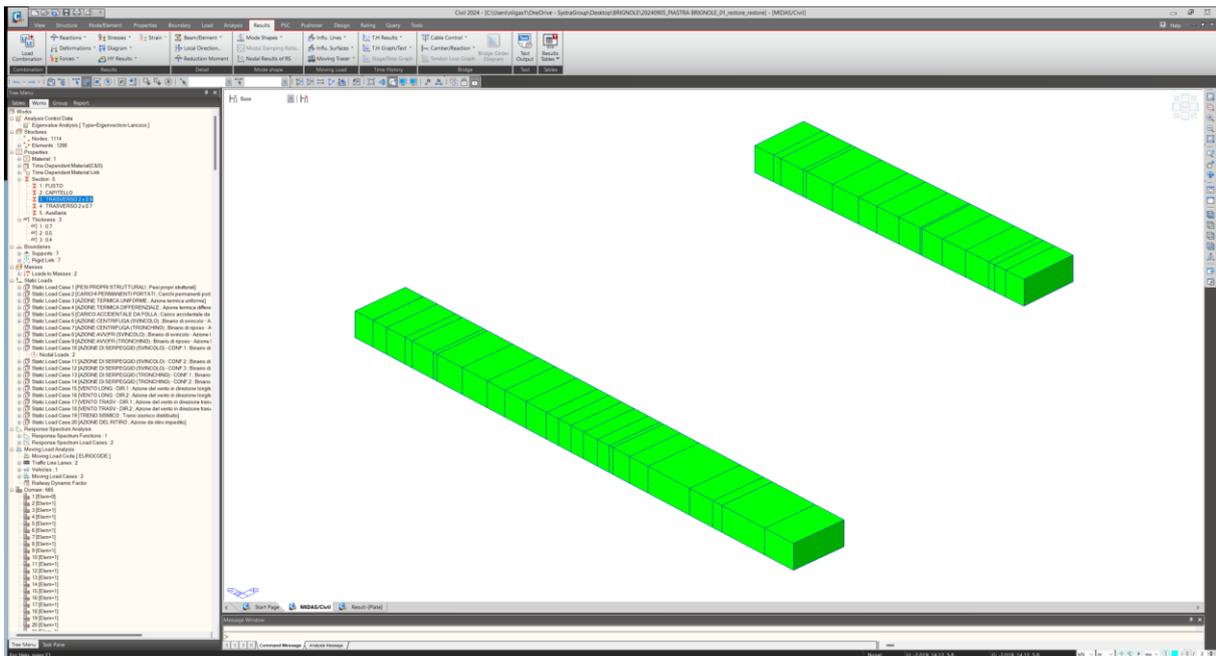
D:  m

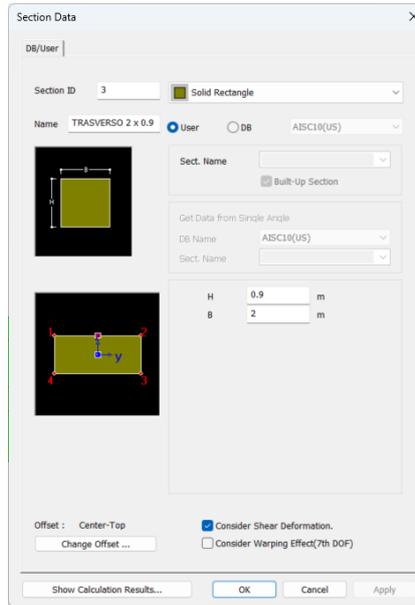
Offset:   Consider Shear Deformation.

[Change Offset ...](#)

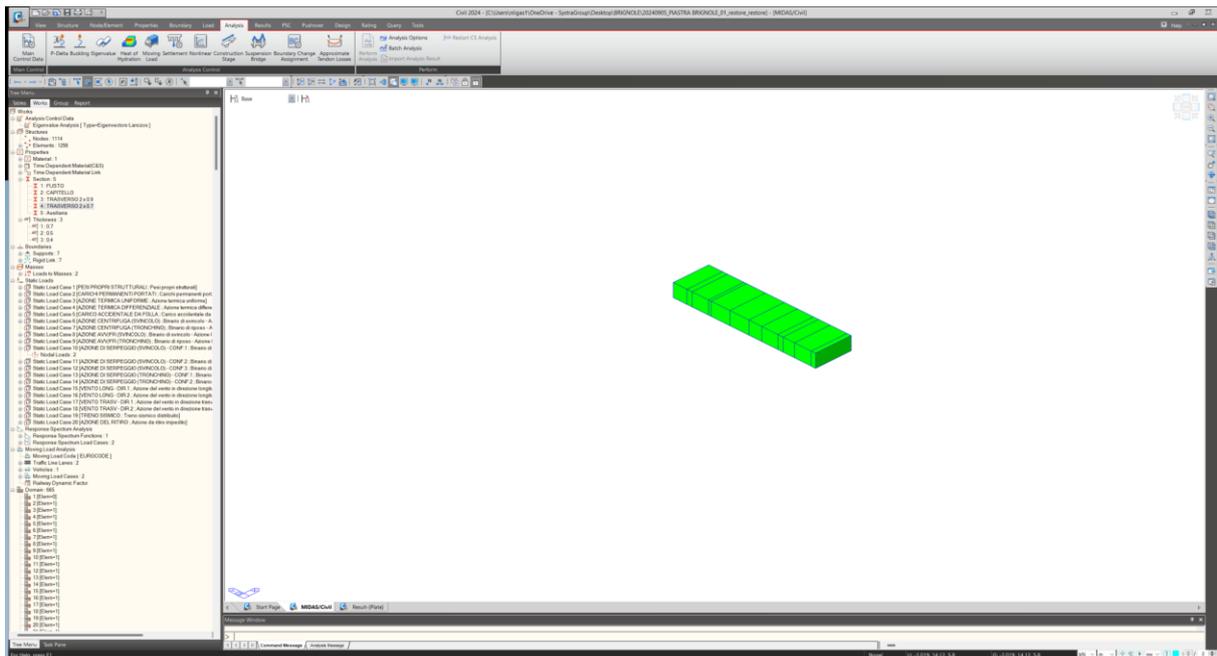


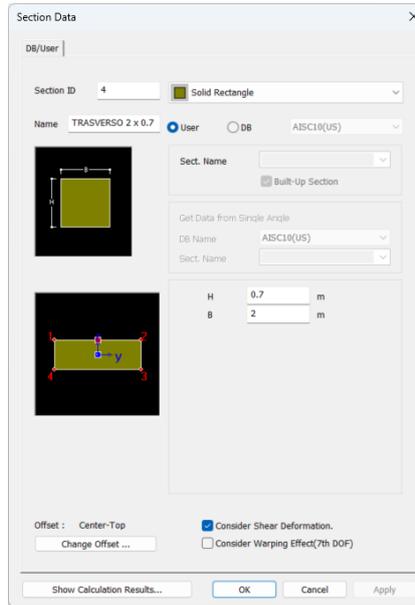
## 8.2.2 Trasversi 200 x 90



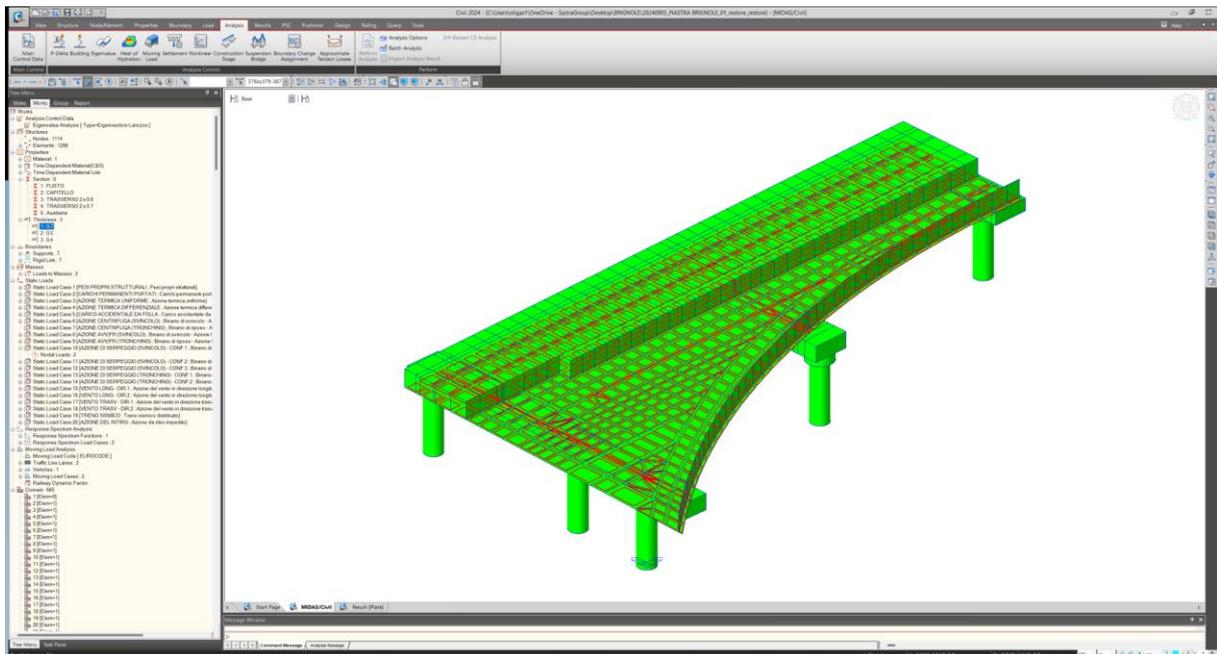


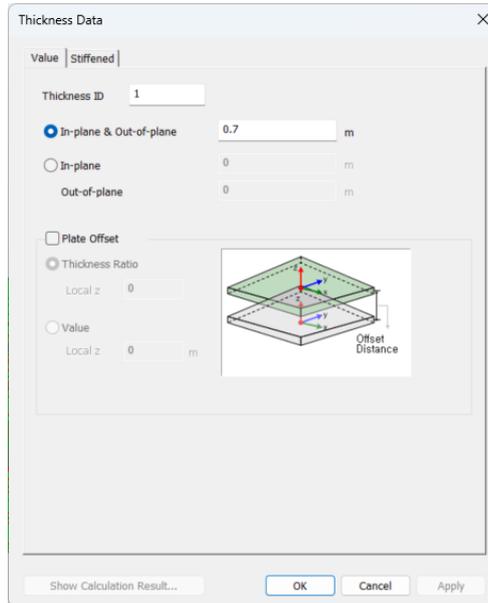
### 8.2.3 Trasverso 200 x 70



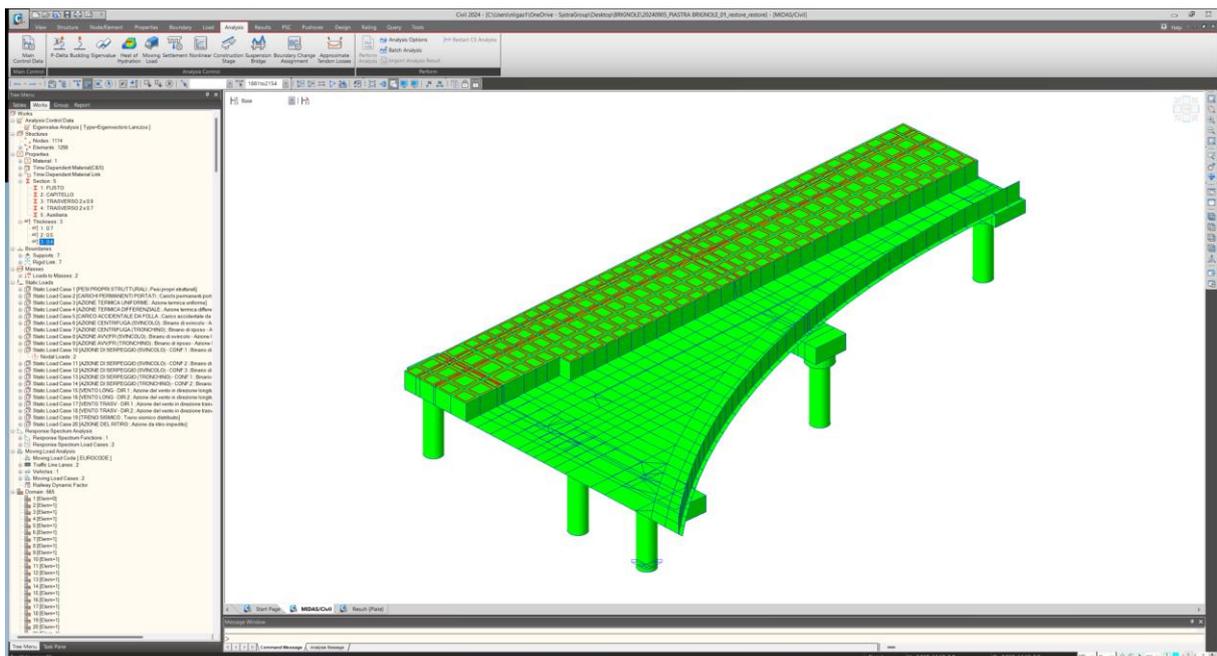


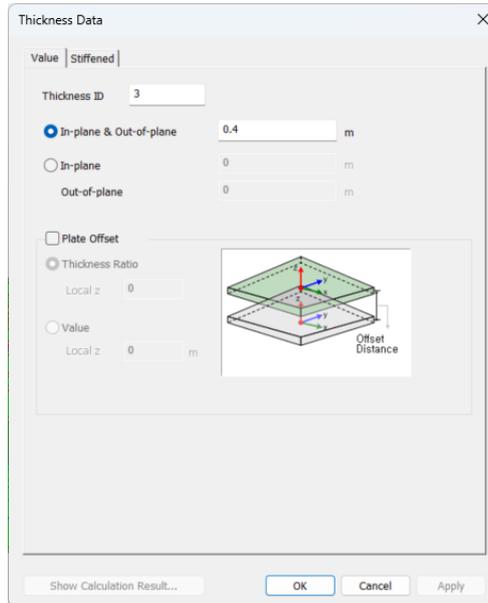
## 8.2.4 Soletta H = 70 cm



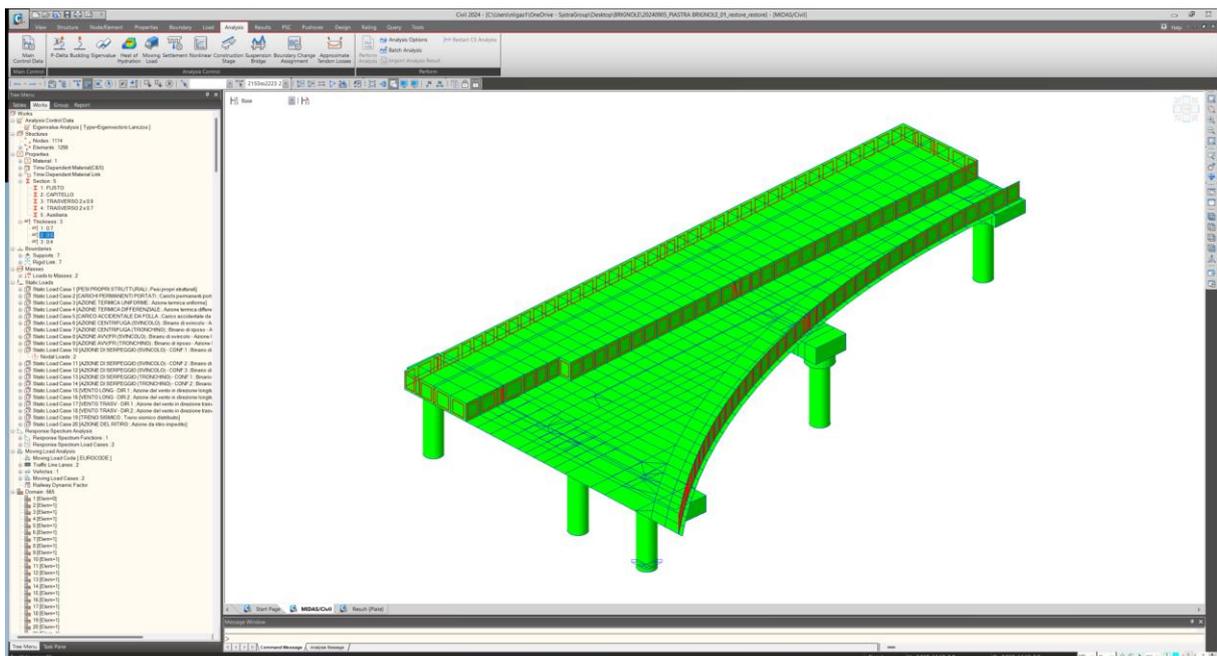


## 8.2.5 Soletta H = 40 cm





## 8.2.6 Setti S = 50 cm



Thickness Data

Value | Stiffened

Thickness ID 2

In-plane & Out-of-plane 0.5 m

In-plane 0 m

Out-of-plane 0 m

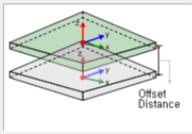
Plate Offset

Thickness Ratio

Local z 0

Value

Local z 0 m



Offset Distance

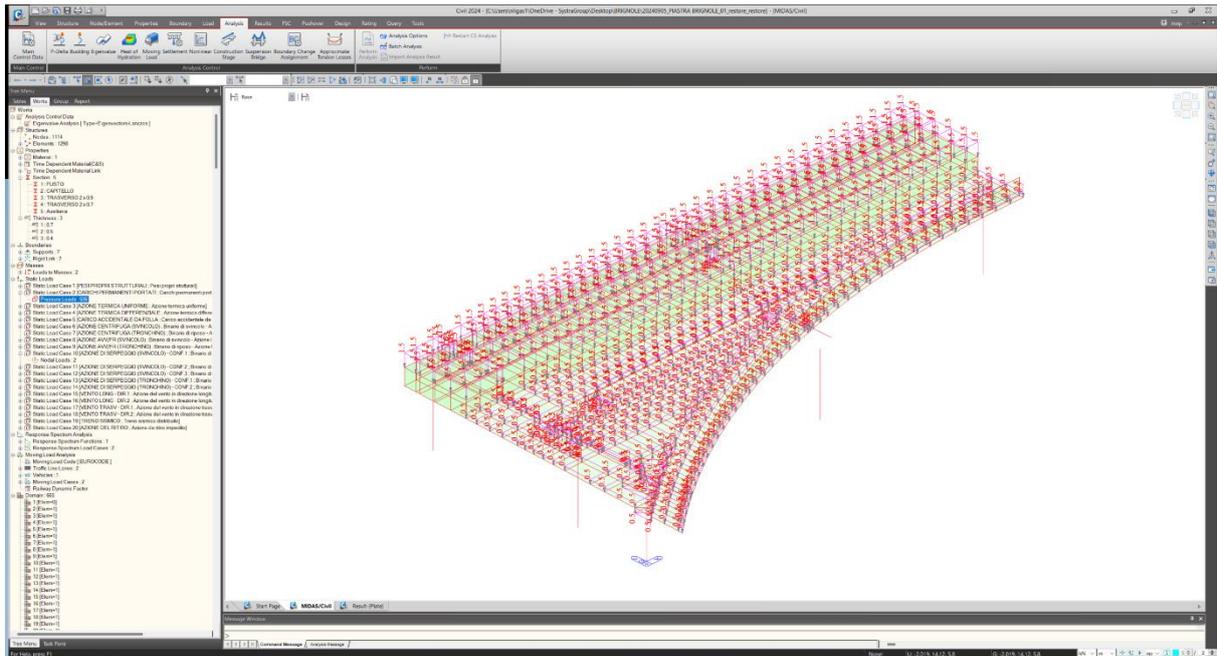
Show Calculation Result... OK Cancel Apply

### 8.3 Applicazione dei carichi elementari al modello di calcolo

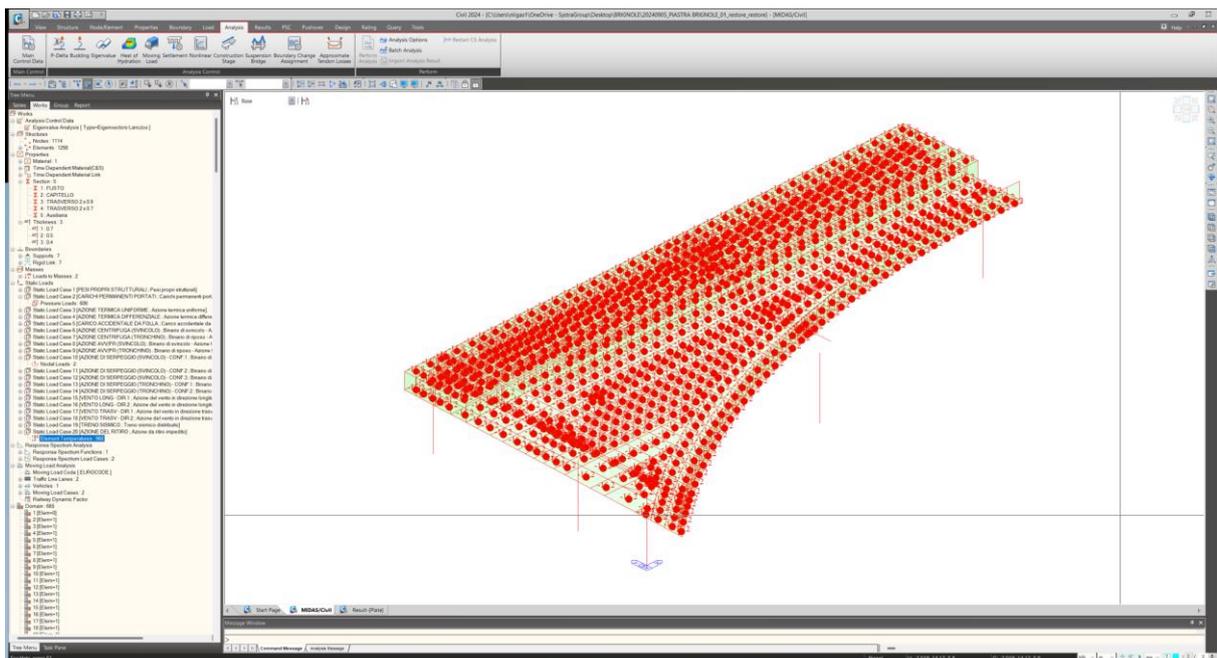
#### 8.3.1 Pesi propri strutturali

I pesi propri strutturali sono stati assegnati in automatico dal software di calcolo in relazione alle reali dimensioni delle sezioni strutturali stesse.

#### 8.3.2 Carichi permanenti portati

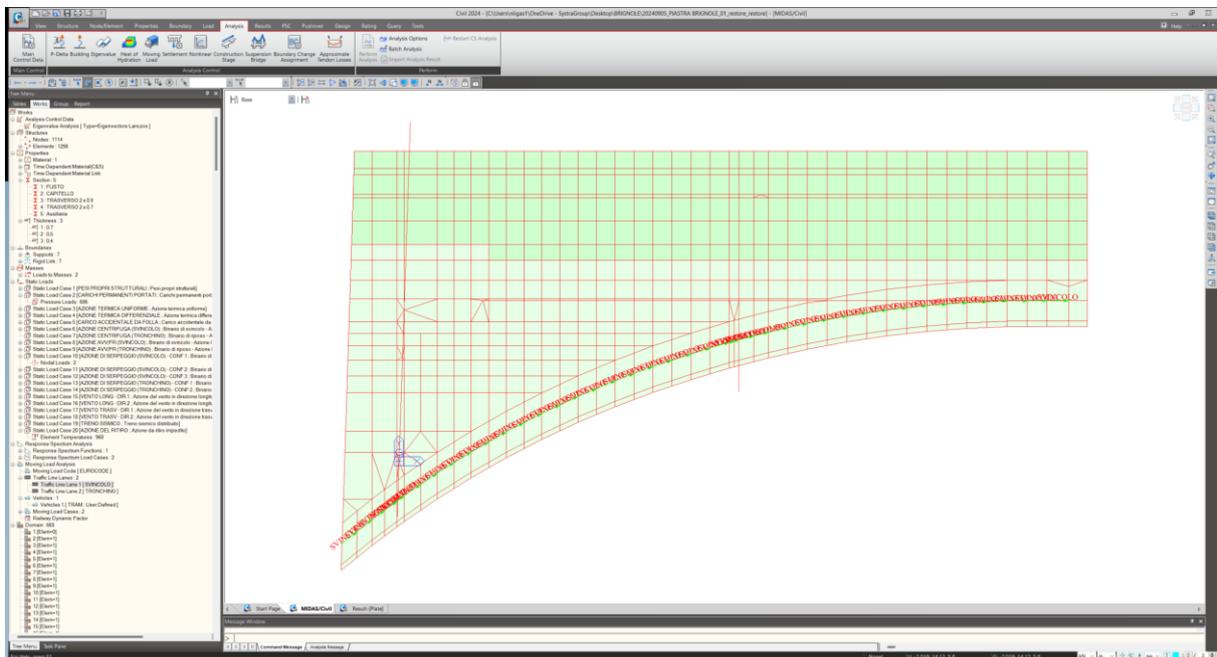
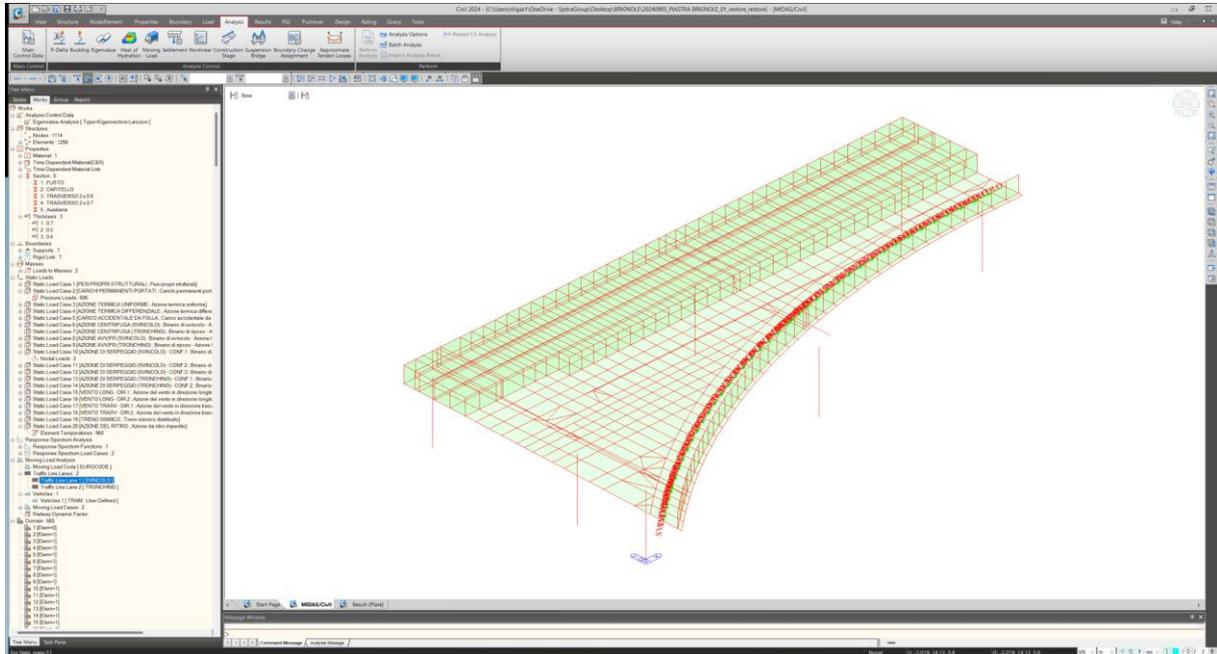


#### 8.3.3 Azione del ritiro sugli elementi in c.a.o.

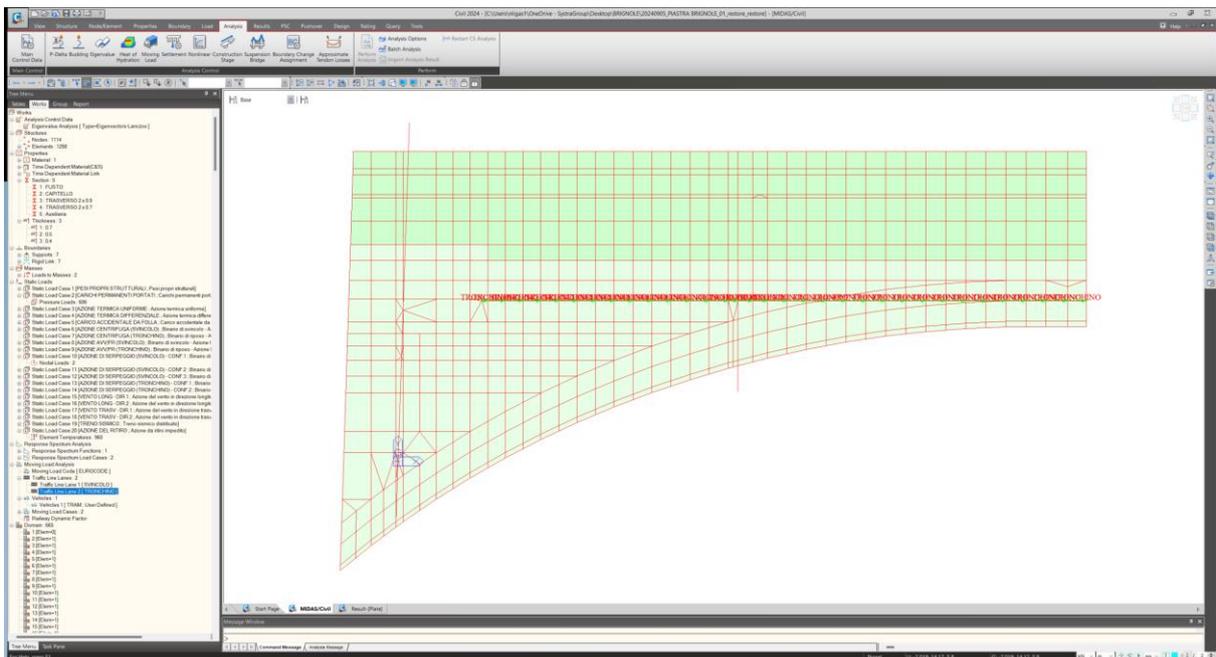
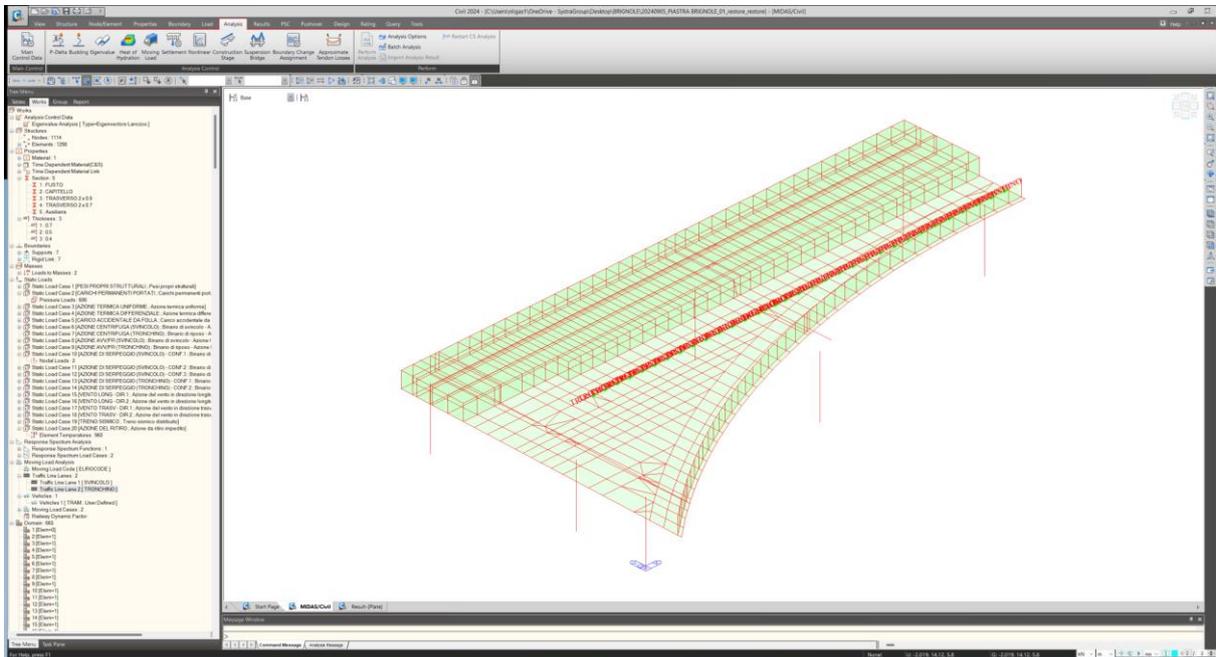


### 8.3.4 Treni di carico

Nelle immagini seguenti è definita la “lane” di carico relativa al “Binario 1” (svincolo):



Nelle immagini seguenti è definita la “lane” di carico relativa al “Binario 2” (tronchino):



La definizione del carico viaggiante sul singolo binario è riportata nell'immagine seguente:

### Define User Defined Vehicular Load

Standard Name

EN 1991-2:2003 - Rail Traffic Load

Load Type

Load Model 71

Load Model SW/0

Load Model SW/2

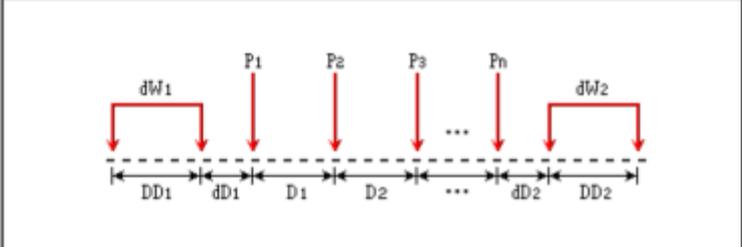
Unloaded Train

HSLM A

HSLM B

Vehicular Load Properties

Vehicular Load Name : TRAM



Truck Load

No	P(kN)	D(m)
1	100	1.8
2	100	6.2
3	100	1.8
4	100	6.2

P#     D#

dW1  kN/m

DD1  m

dD1  m

dW2  kN/m

DD2  m

dD2  m

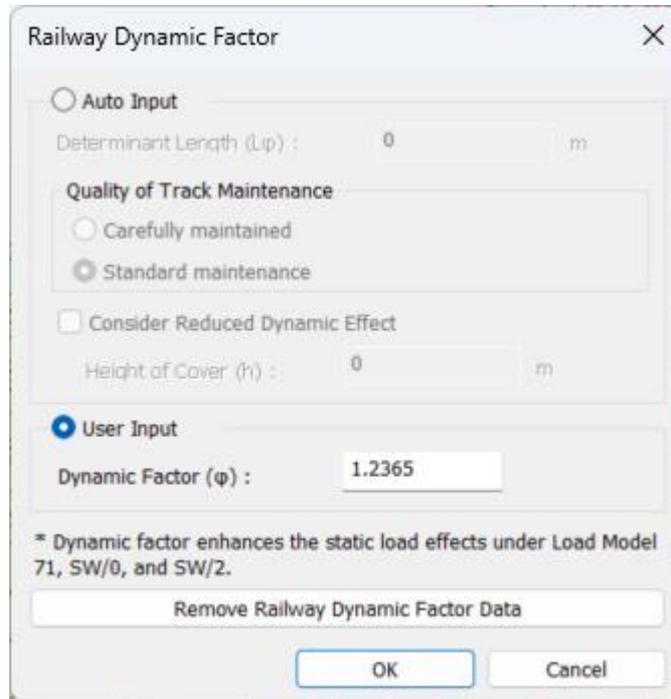
Adjustment factor (α) :

Consider Longitudinal Distribution of Point Loads

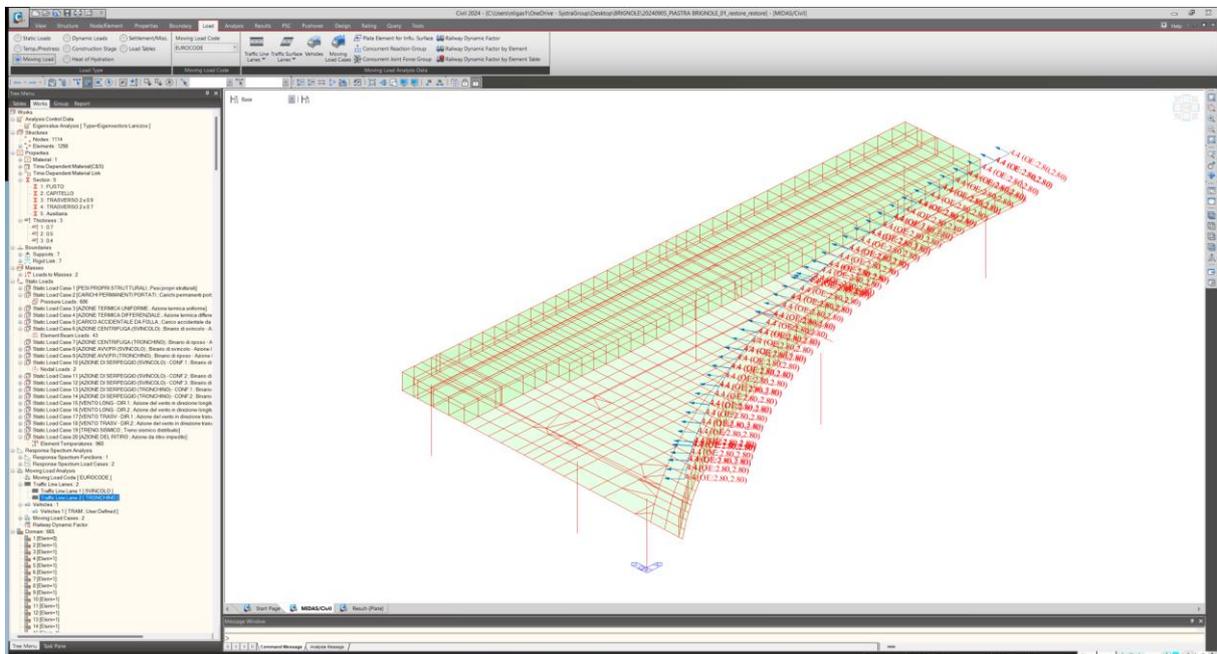
Distance between Rail Support Points :  m

Eccentricity of Lateral Displacement of Vertical Loads :  m

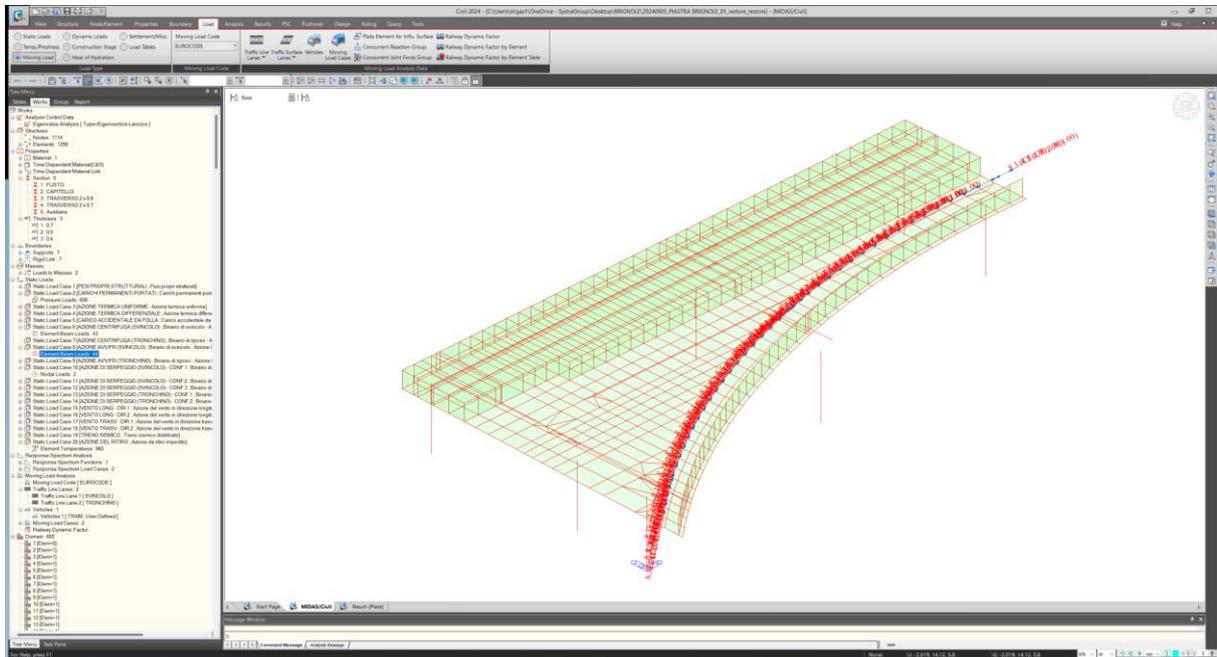
Nell'immagine seguente è riportata la definizione del coefficiente di amplificazione dinamica che il software di calcolo applica al carico viaggiante dovuto al transito dei convogli tramviari:



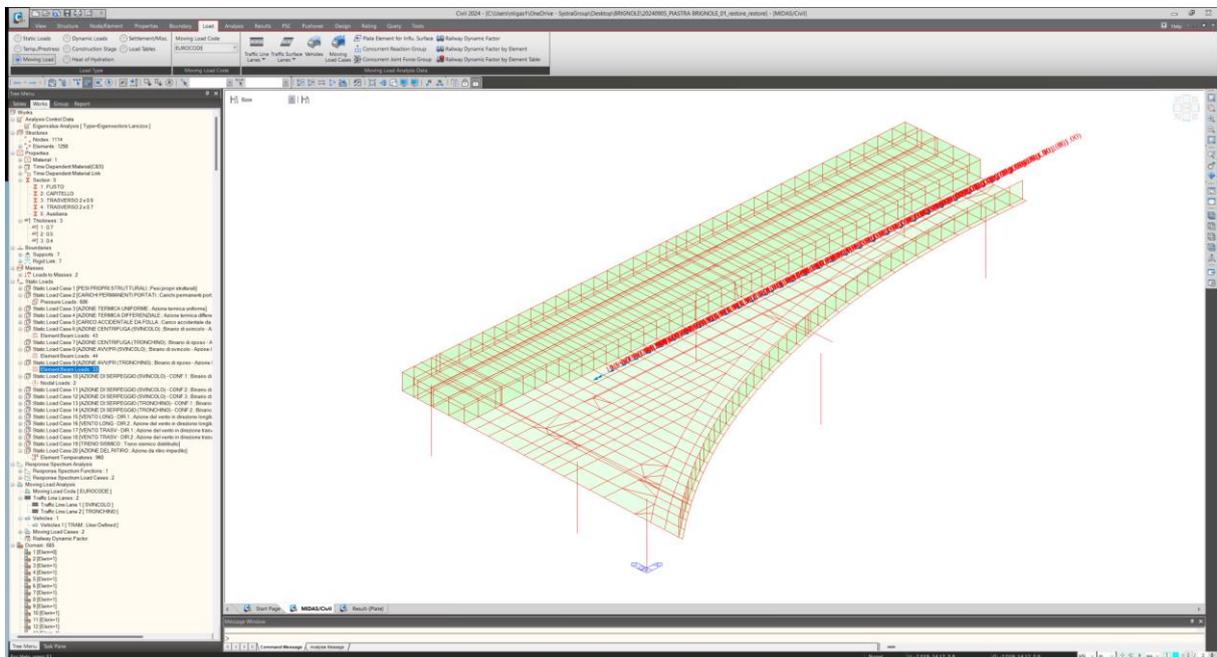
### 8.3.5 Azione trasversale centrifuga sul binario di svincolo



### 8.3.6 Azione longitudinale di avviamento/frenatura sul "Binario 1" (svincolo)

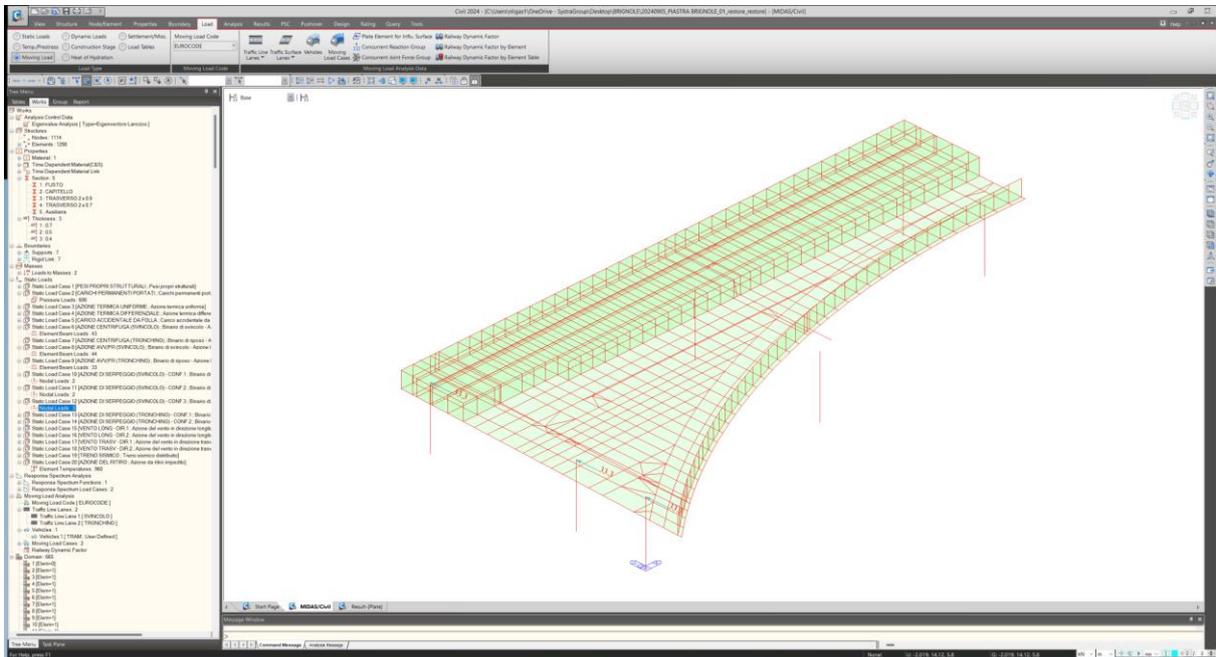


### 8.3.7 Azione longitudinale di avviamento/frenatura sul "Binario 2" (tronchino)

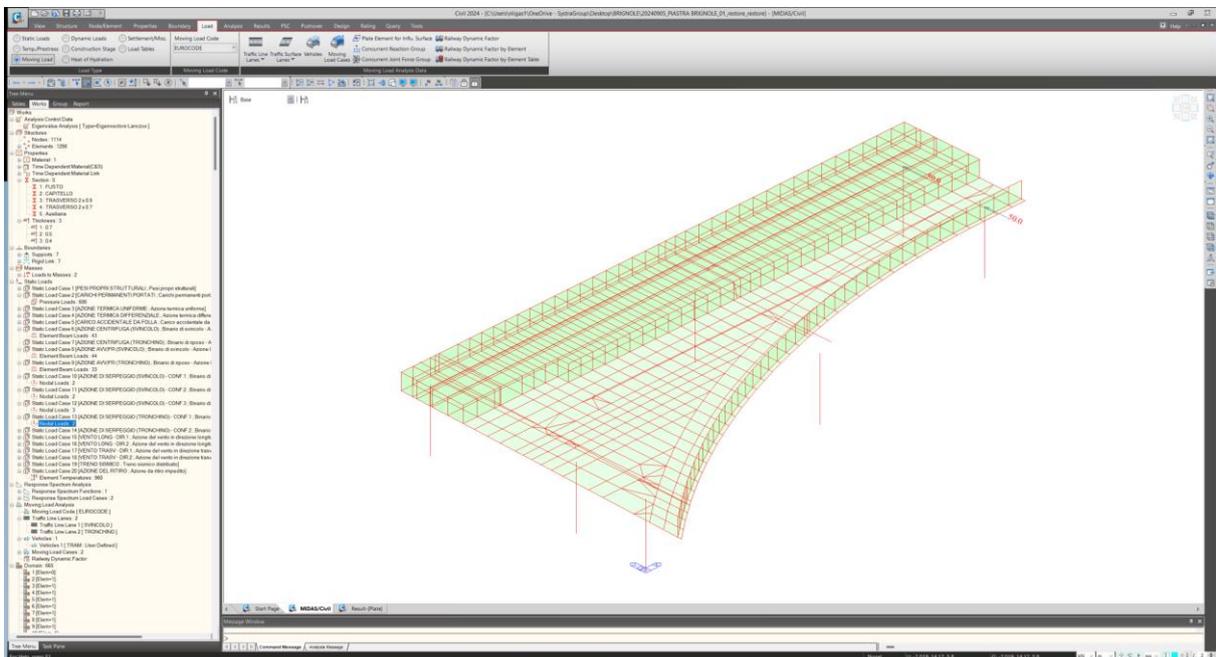




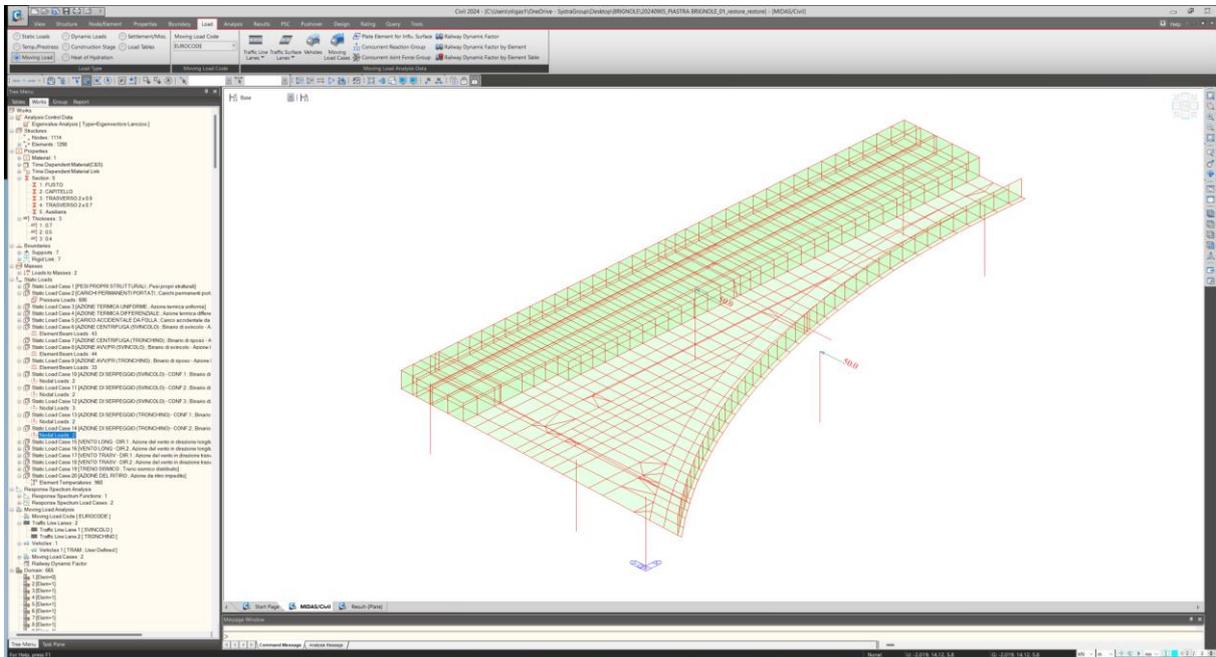
## CONVOGLIO SUL BINARIO DI SVINCOLO - CONFIGURAZIONE 3



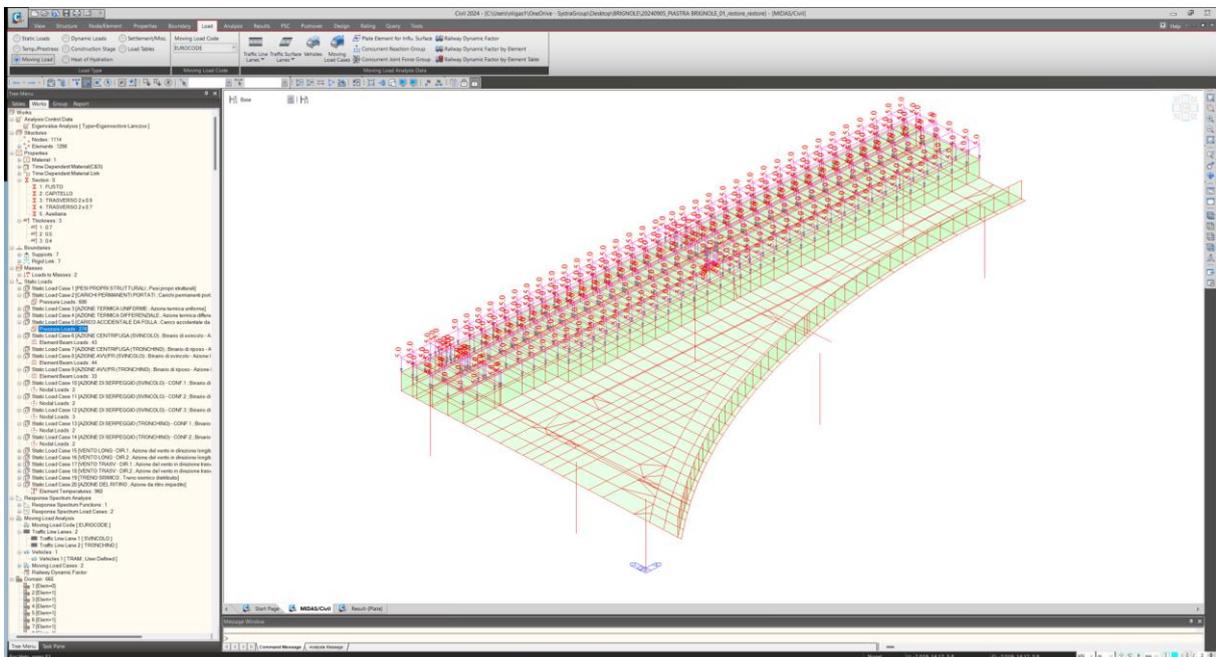
## CONVOGLIO SUL TRONCHINO - CONFIGURAZIONE 1



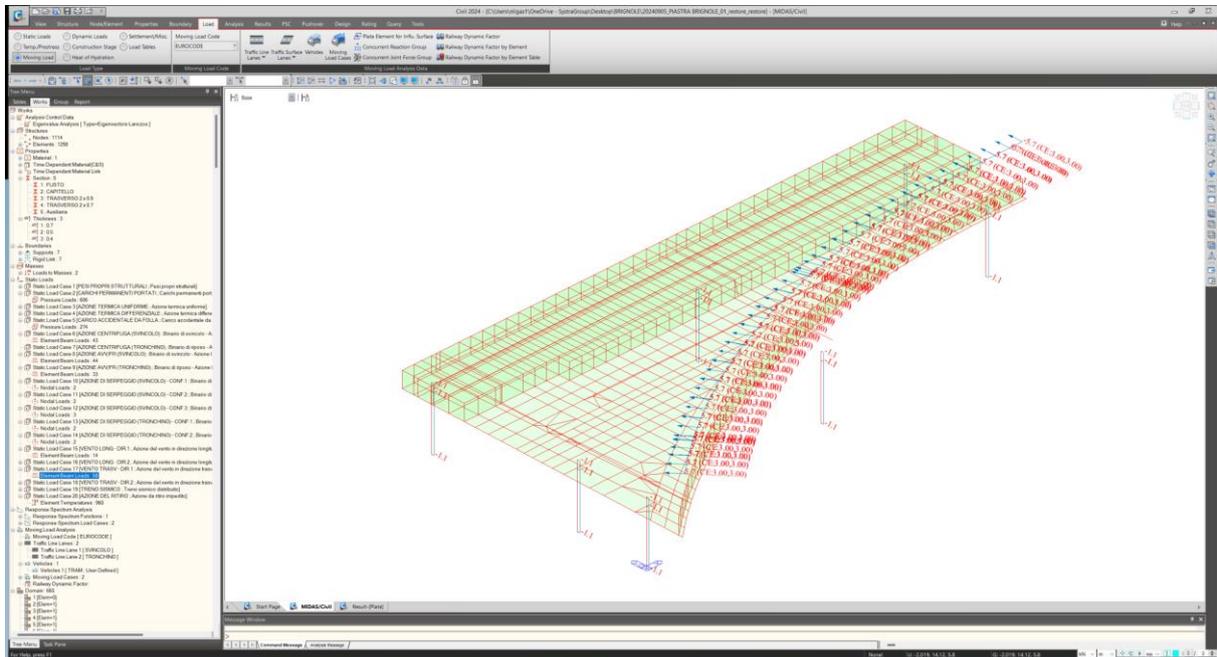
## CONVOGLIO SUL TRONCHINO - CONFIGURAZIONE 2



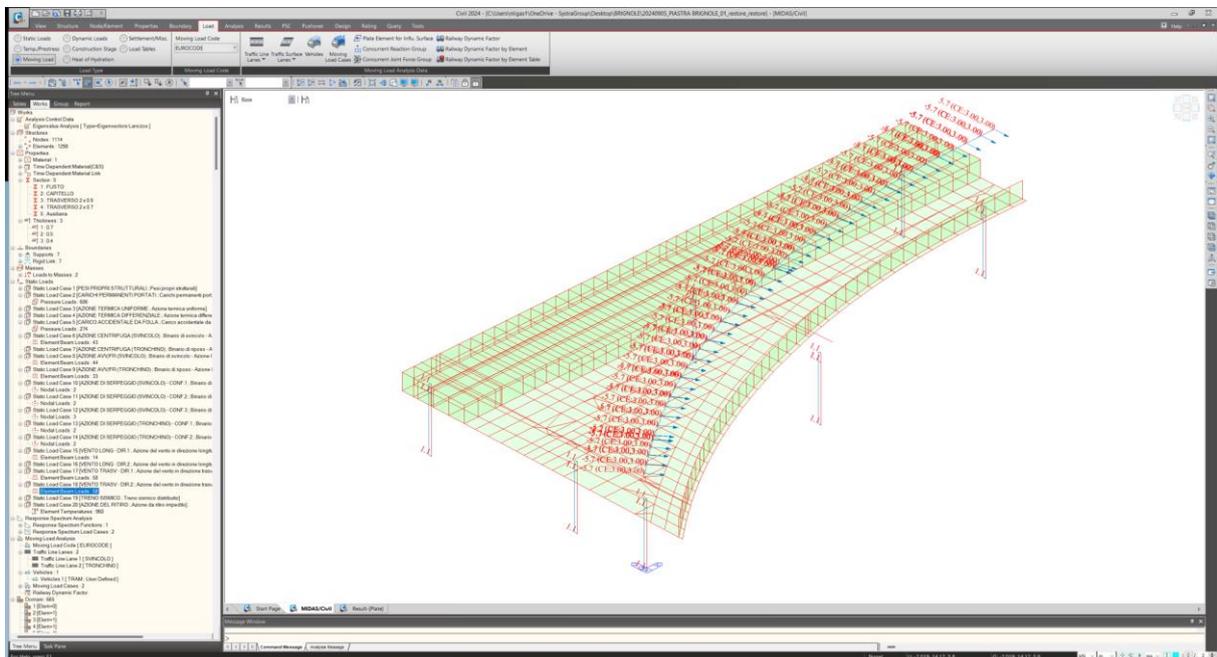
### 8.3.9 Carico accidentale da folla compatta sulla banchina



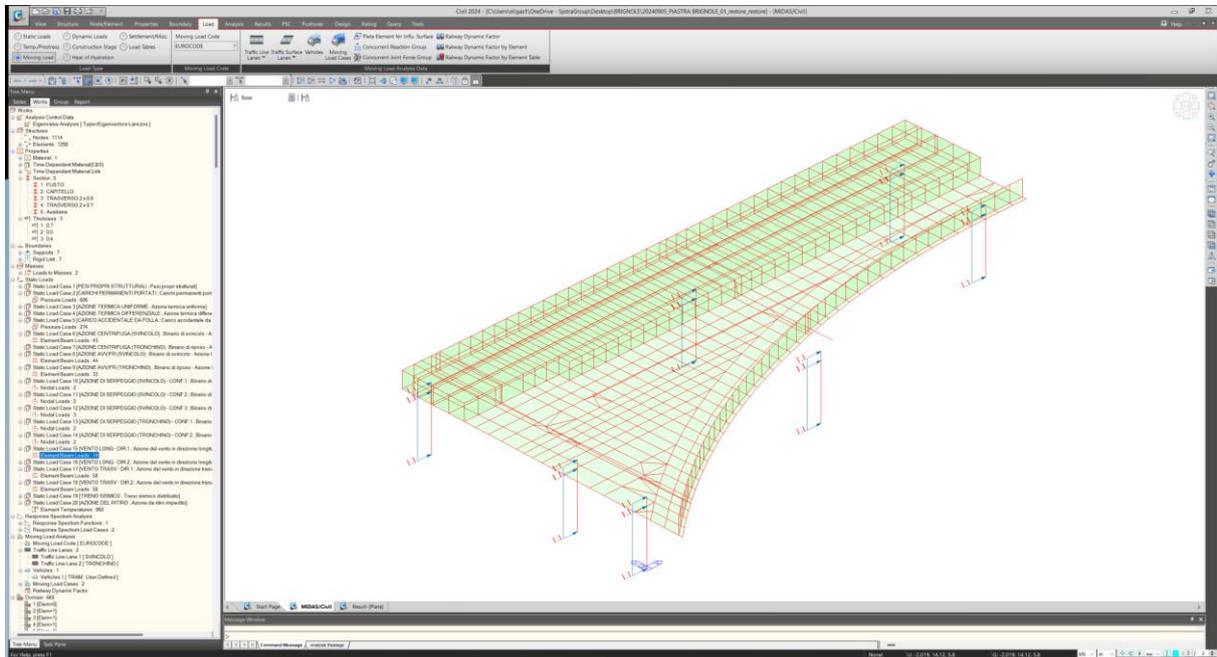
### 8.3.10 Azione trasversale del vento – Direzione 1



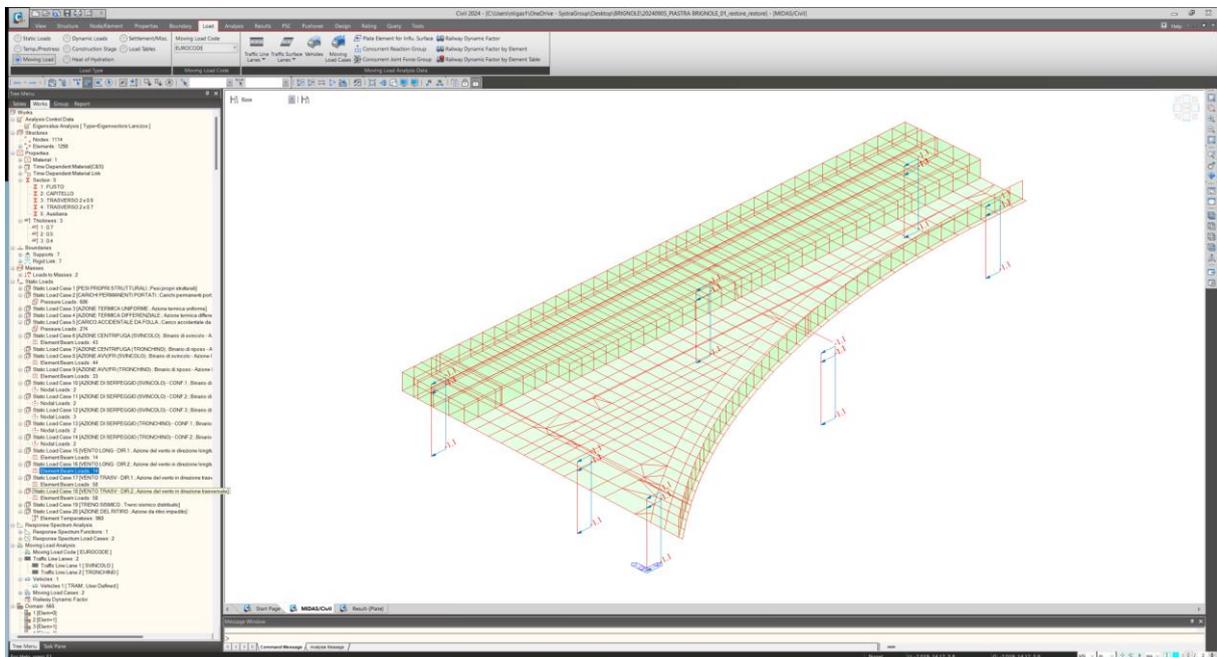
### 8.3.11 Azione trasversale del vento – Direzione 2



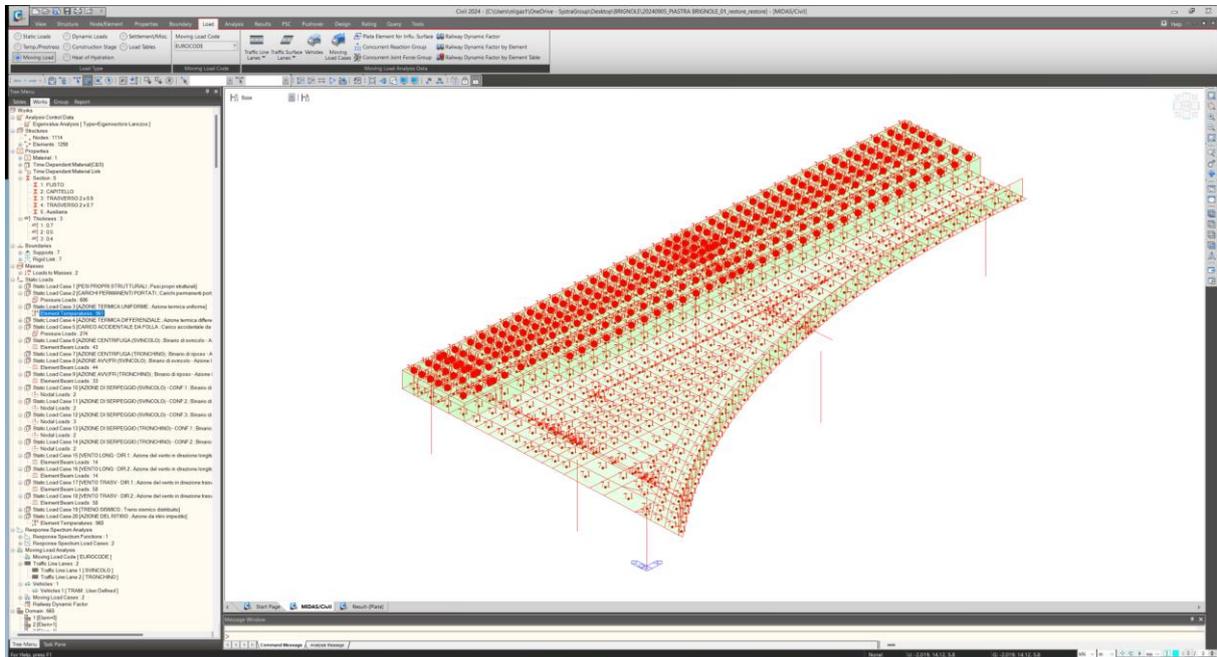
### 8.3.12 Azione longitudinale del vento – Direzione 1



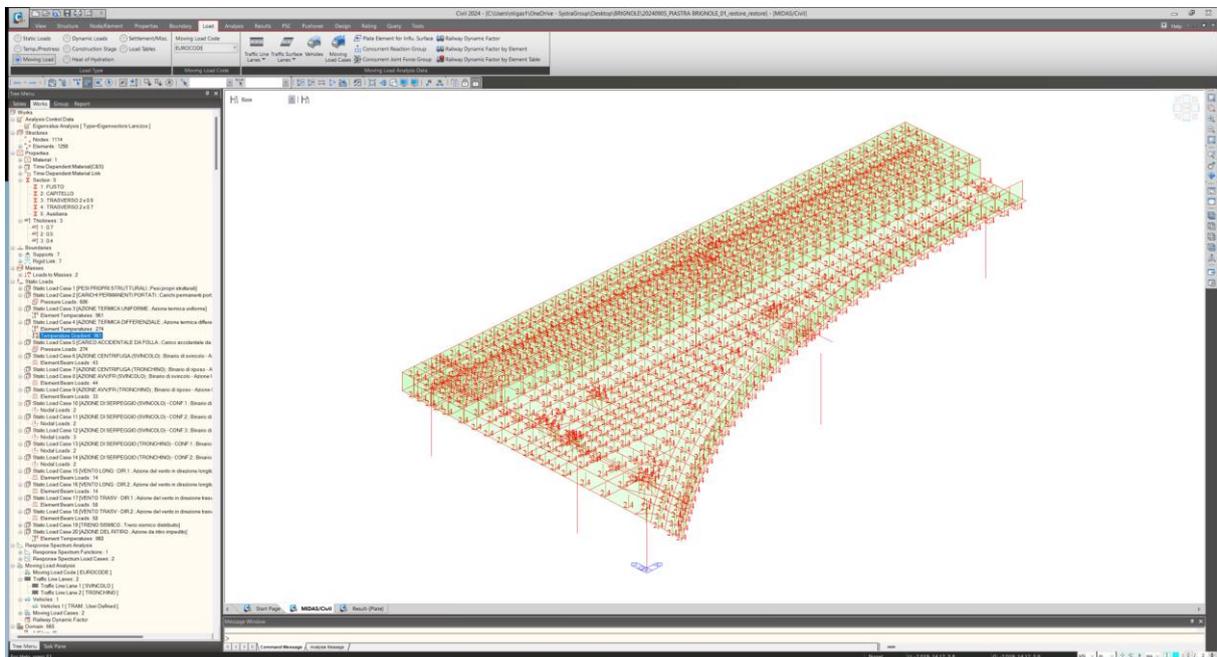
### 8.3.13 Azione longitudinale del vento – Direzione 2



### 8.3.14 Azione termica uniforme



### 8.3.15 Azione termica differenziale

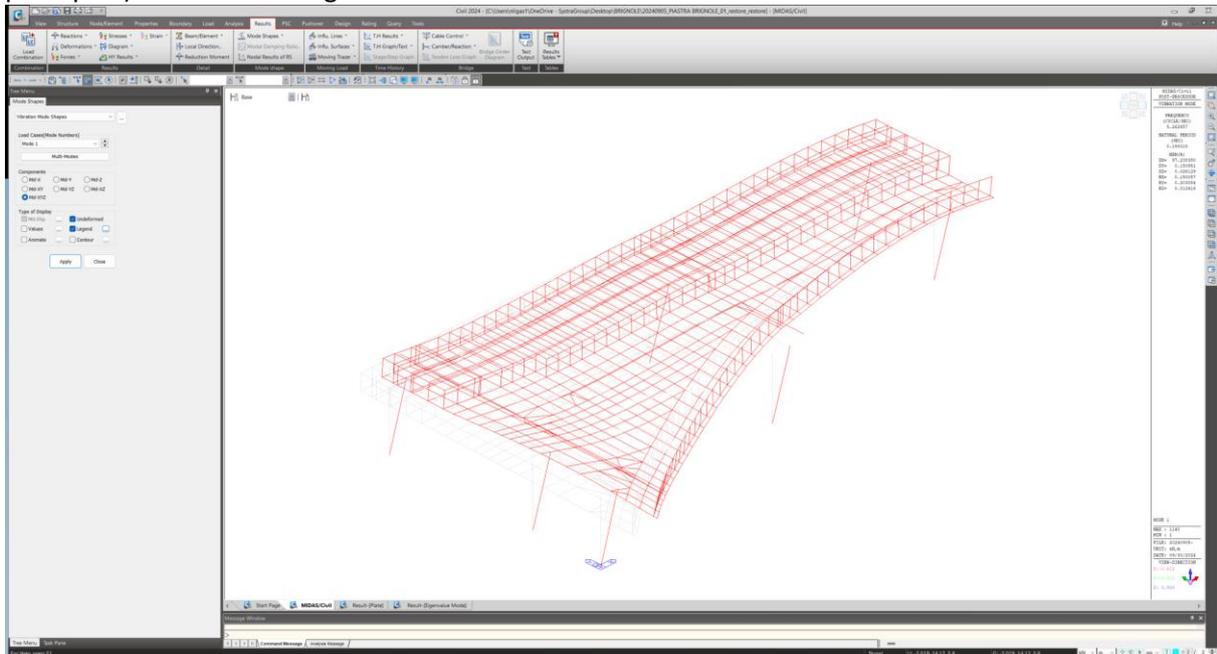




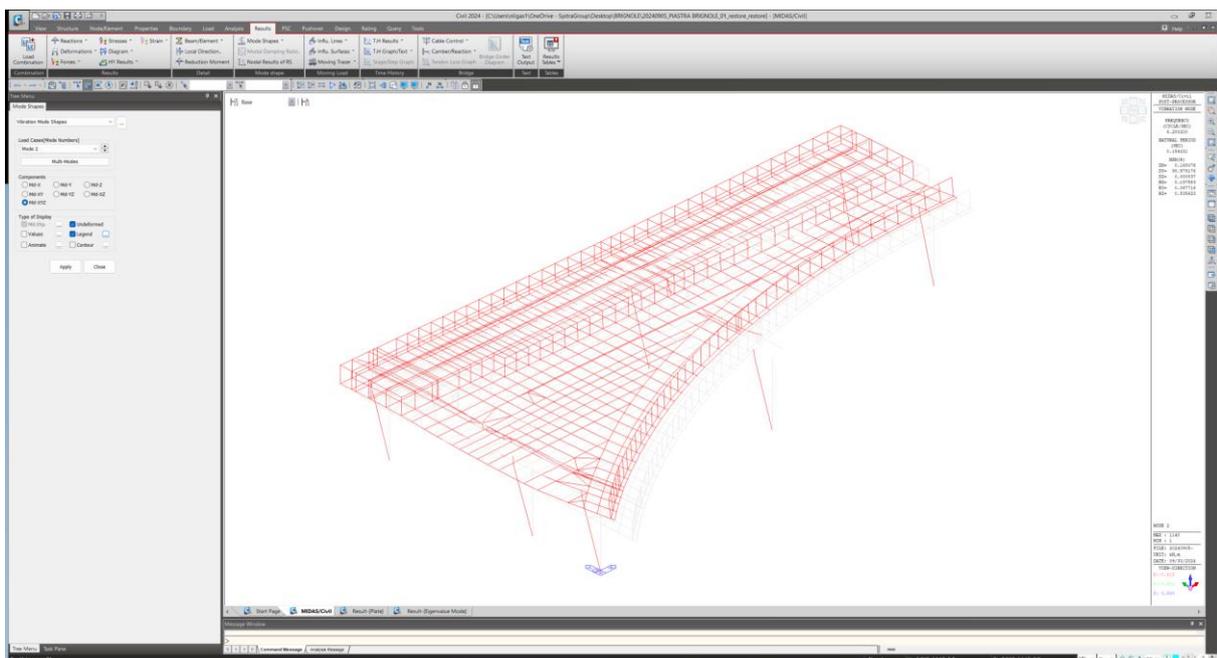
## 8.1 Risultanze dell'analisi dinamica lineare

### 8.1.1 Rappresentazione grafica dei modi principali di vibrare della struttura

Nelle immagini seguenti è riportata la deformata modale relativa al primo modo di vibrare (modo principale) in direzione longitudinale:



Nelle immagini seguenti è riportata la deformata modale relativa al primo modo di vibrare (modo principale) in direzione trasversale:





### 8.1.2 Riepilogo dei modi di vibrare e delle relative percentuali di massa eccitata

Node	Mode	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ						
<b>EIGENVALUE ANALYSIS</b>													
	Mode	Frequency		Period	Tolerance								
	No	(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)									
	1	33,066249	5,262657	0,190018	0								
	2	39,459659	6,2802	0,159231	0								
	3	47,521669	7,563308	0,132217	0								
	4	64,012242	10,187865	0,098156	3,6542E-117								
	5	77,32205	12,306186	0,08126	7,6271E-105								
	6	90,528154	14,408003	0,069406	2,1386E-95								
	7	117,713006	18,734607	0,053377	1,14E-76								
	8	123,740699	19,693944	0,050777	1,7669E-73								
	9	131,265312	20,891523	0,047866	1,3753E-69								
	10	137,628434	21,904246	0,045653	1,2556E-66								
	11	150,550164	23,960803	0,041735	9,677E-62								
	12	171,654826	27,319714	0,036604	2,7324E-53								
<b>MODAL PARTICIPATION MASSES PRINTOUT</b>													
	Mode	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z		ROTN-X		ROTN-Y		ROTN-Z	
	No	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
	1	97.24	97.24	0.15	0.15	0.03	0.03	0.15	0.15	0.20	0.20	0.01	0.01
	2	0.17	97.41	98.58	98.73	0.00	0.03	0.20	0.35	0.07	0.27	0.54	0.55
	3	0.05	97.45	0.53	99.26	0.53	0.56	0.01	0.36	0.08	0.36	97.14	97.68
	4	1.39	98.85	0.00	99.26	16.80	17.36	2.05	2.41	16.43	16.79	0.81	98.49
	5	0.04	98.89	0.05	99.31	45.03	62.40	1.38	3.79	17.70	34.49	0.25	98.74
	6	0.22	99.11	0.01	99.32	3.29	65.68	26.23	30.02	0.52	35.01	0.21	98.94
	7	0.04	99.15	0.12	99.44	0.68	66.36	3.18	33.20	5.97	40.98	0.15	99.10
	8	0.01	99.16	0.02	99.47	0.93	67.29	16.22	49.42	2.58	43.55	0.03	99.12
	9	0.03	99.19	0.10	99.57	6.32	73.61	13.12	62.54	12.22	55.77	0.33	99.45
	10	0.00	99.19	0.23	99.79	0.16	73.77	4.41	66.95	0.01	55.78	0.07	99.52
	11	0.12	99.31	0.04	99.84	0.00	73.77	0.18	67.13	0.57	56.36	0.02	99.54
	12	0.00	99.31	0.00	99.84	4.43	78.20	0.74	67.87	4.11	60.47	0.01	99.55
	Mode	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z		ROTN-X		ROTN-Y		ROTN-Z	
	No	MASS	SUM	MASS	SUM	MASS	SUM	MASS	SUM	MASS	SUM	MASS	SUM
	1	1198.58	1198.58	1.86	1.86	0.32	0.32	33.51	33.51	262.45	262.45	18.74	18.74
	2	2.07	1200.65	1215.10	1216.97	0.01	0.33	44.12	77.63	87.51	349.96	808.35	827.09
	3	0.60	1201.25	6.48	1223.44	6.58	6.92	2.22	79.85	109.41	459.37	146594.93	147422.01
	4	17.19	1218.44	0.00	1223.45	207.08	213.99	458.36	538.21	21236.44	21695.81	1216.35	148638.37
	5	0.52	1218.96	0.64	1224.08	555.11	769.10	309.06	847.27	22873.61	44569.41	369.83	149008.20
	6	2.75	1221.70	0.17	1224.25	40.52	809.62	5857.03	6704.29	672.57	45241.99	309.69	149317.89
	7	0.44	1222.15	1.49	1225.75	8.36	817.97	710.04	7414.34	7712.50	52954.49	233.91	149551.80
	8	0.07	1222.21	0.28	1226.03	11.45	829.42	3622.87	11037.21	3330.64	56285.13	40.47	149592.27
	9	0.39	1222.60	1.24	1227.27	77.92	907.34	2930.46	13967.67	15789.77	72074.90	501.45	150093.72
	10	0.05	1222.65	2.81	1230.08	1.95	909.29	984.44	14952.11	16.62	72091.52	100.52	150194.24
	11	1.49	1224.14	0.55	1230.63	0.06	909.35	40.54	14992.65	737.97	72829.48	26.03	150220.27
	12	0.01	1224.14	0.00	1230.63	54.59	963.93	165.75	15158.41	5310.40	78139.88	16.62	150236.89

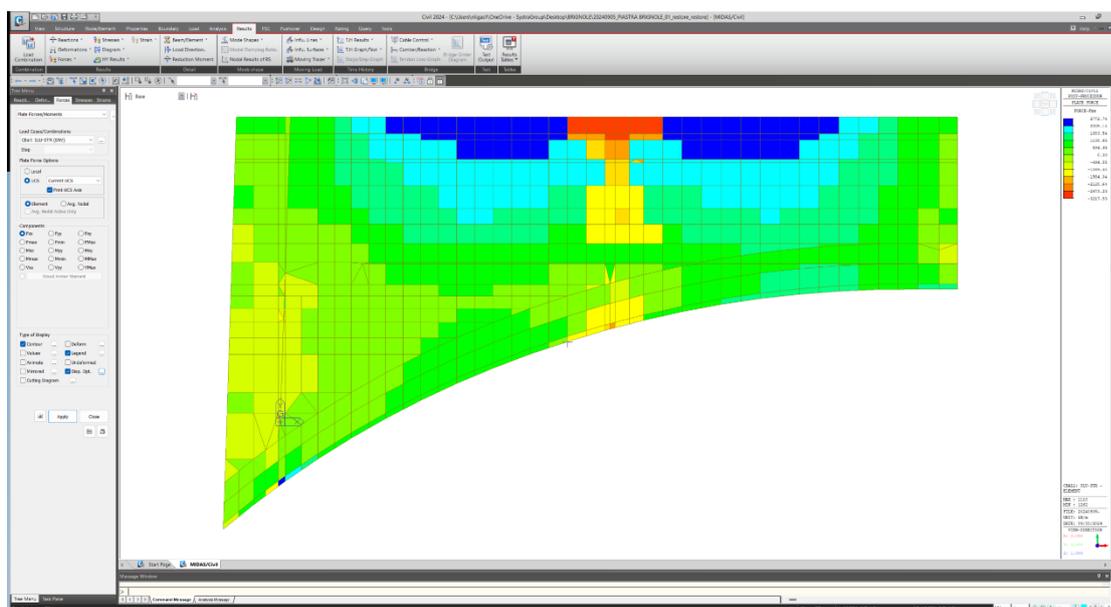
## 9. DIAGRAMMI DELLE AZIONI SOLLECITANTI DI CALCOLO

Nelle immagini seguenti sono riportate, per i vari elementi strutturali, i diagrammi delle azioni sollecitanti di calcolo.

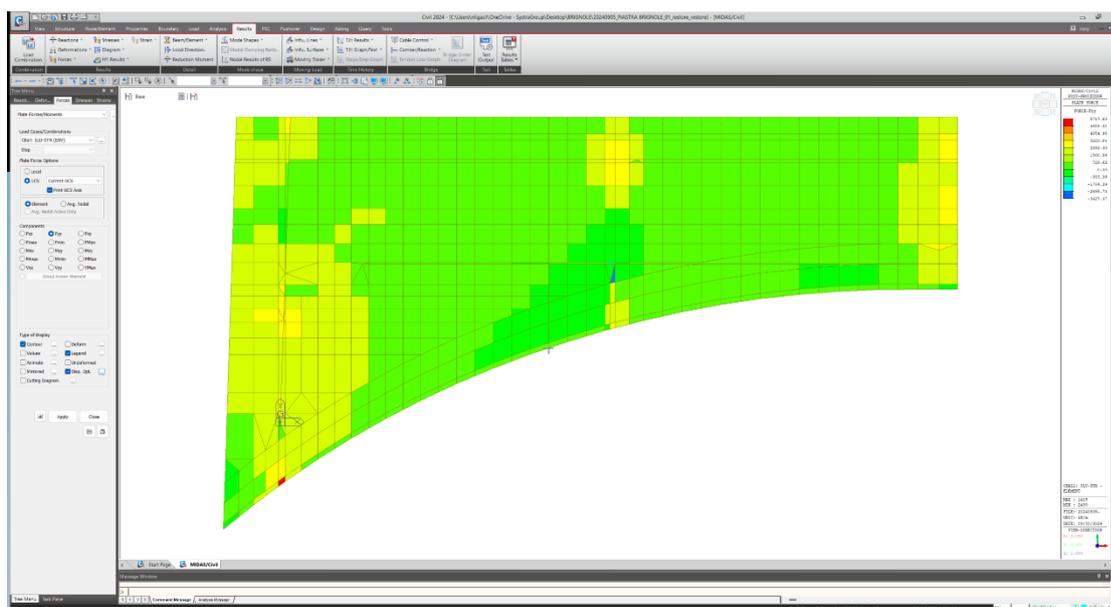
### 9.1 Soletta H = 70,0 cm

#### 9.1.1 Condizione di involuppo delle combinazioni di carico allo Stato Limite Ultimo - STR

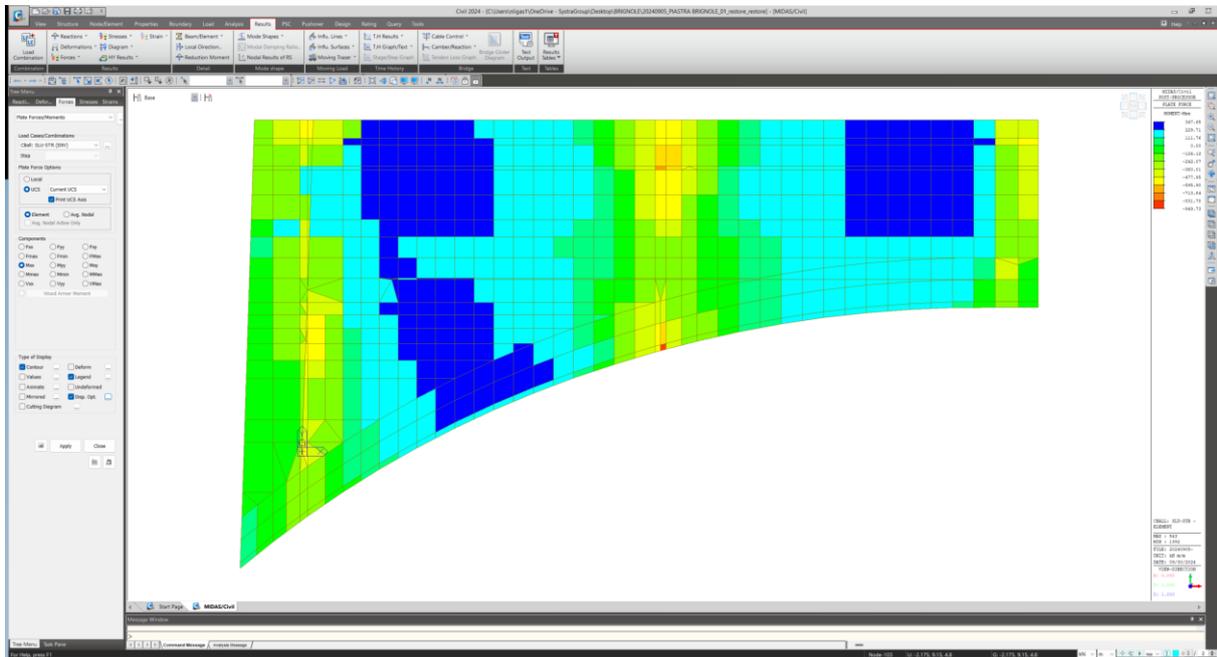
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione membranale longitudinale:



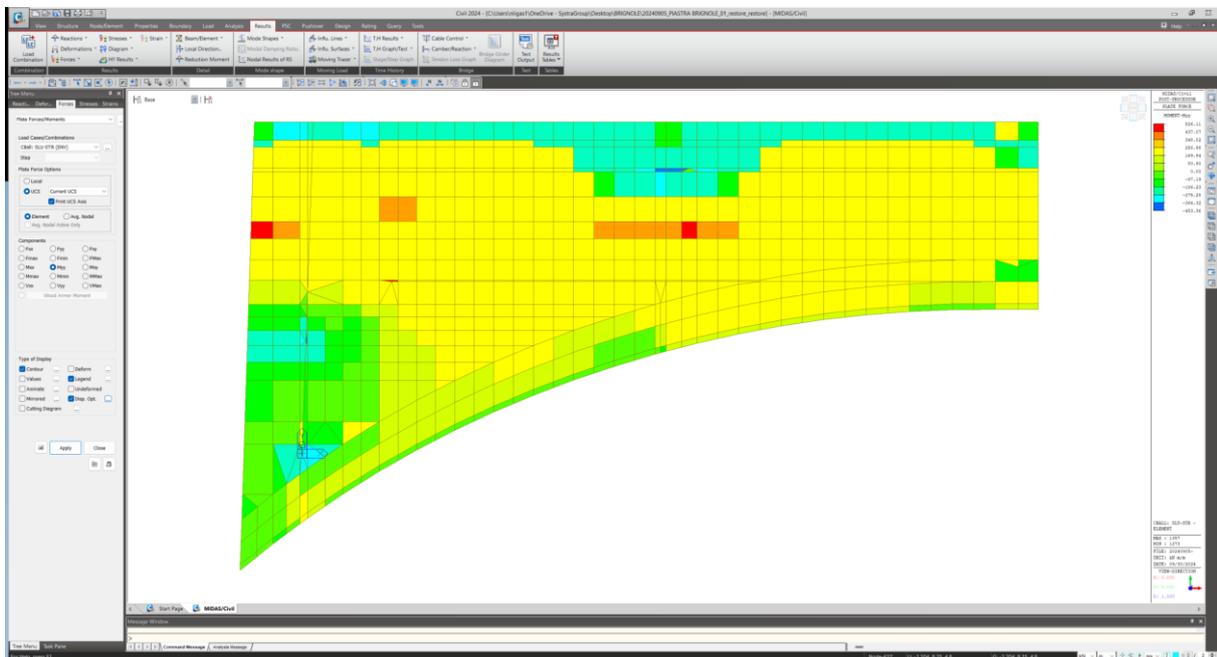
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione membranale trasversale:



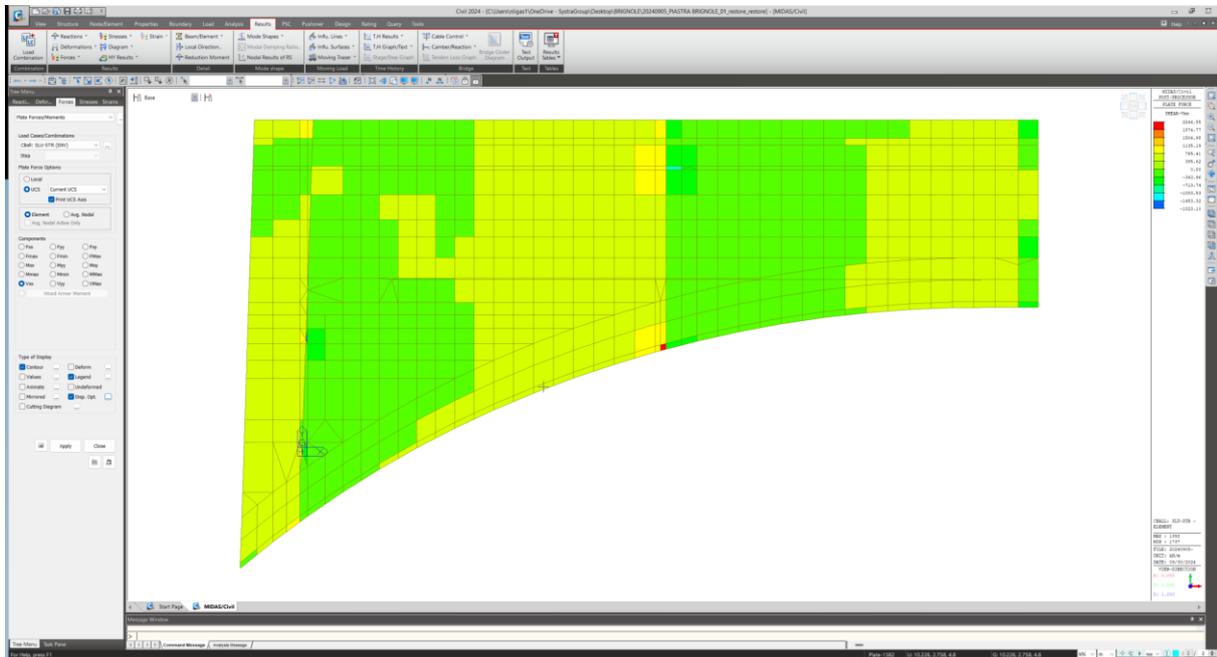
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento flettente longitudinale:



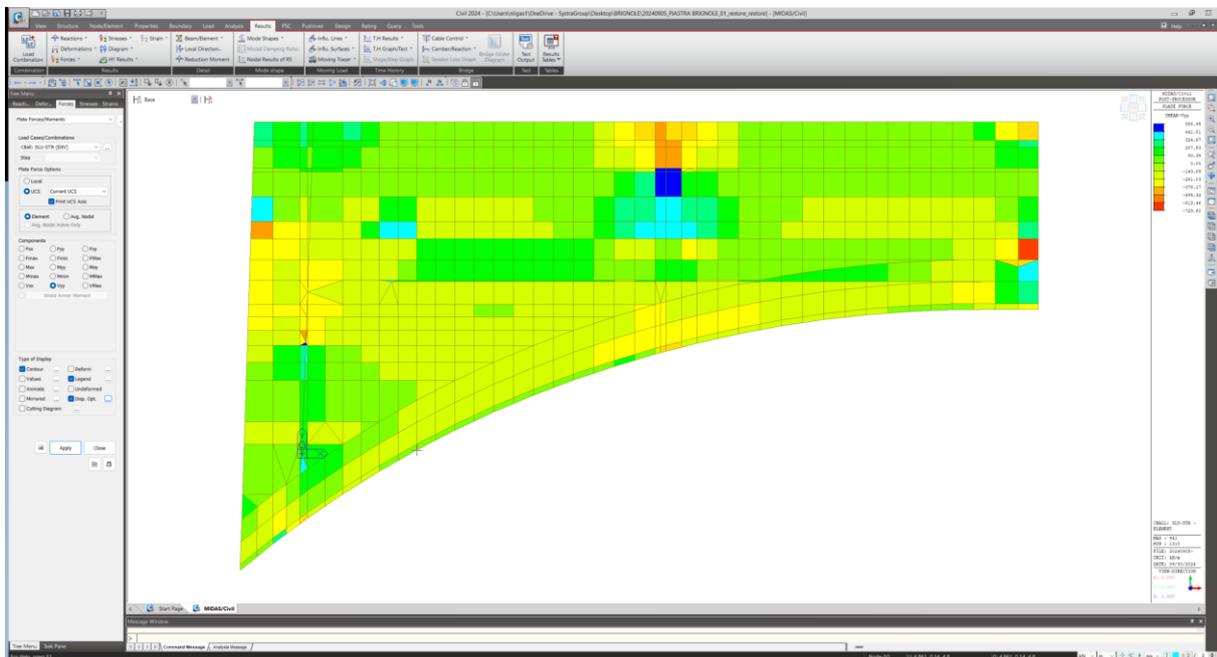
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento flettente trasversale:



Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione tagliante longitudinale:

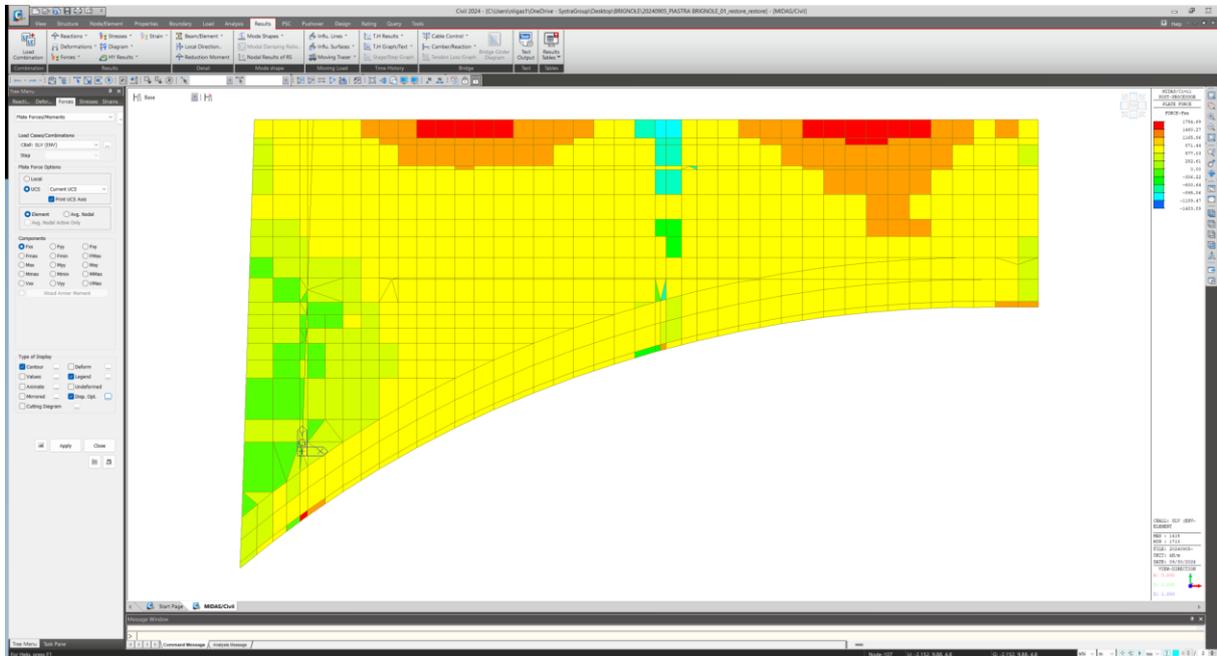


Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione tagliante trasversale:

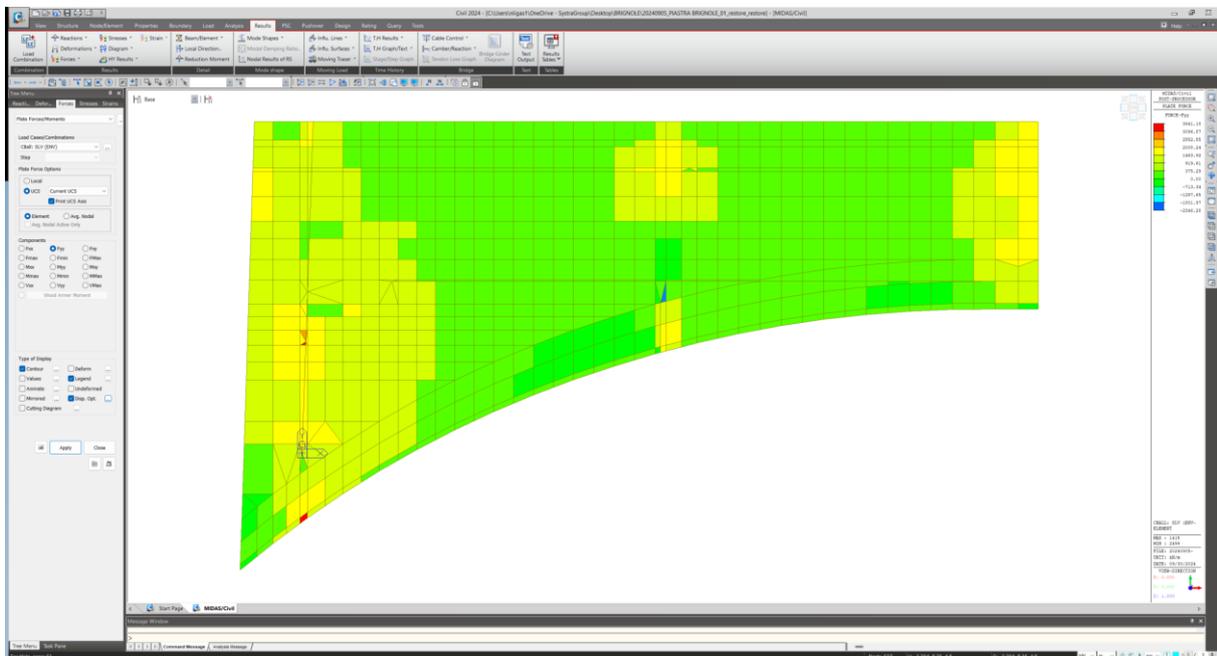


## 9.1.2 Condizione di inviluppo delle combinazioni di carico allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita

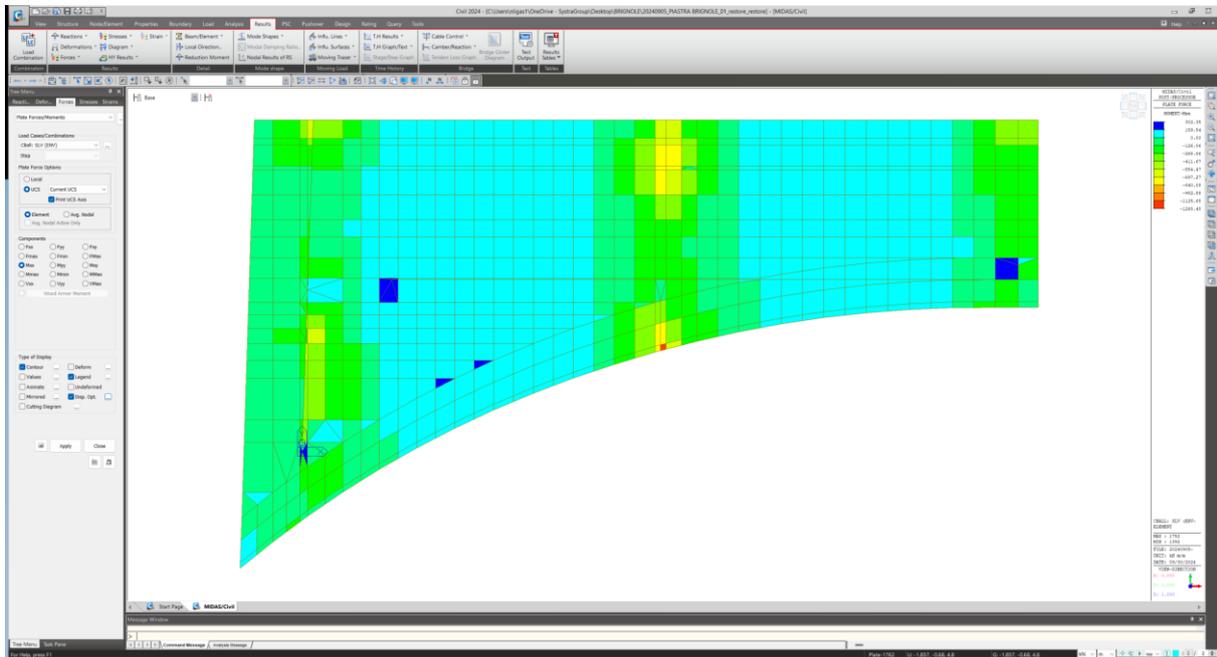
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione membranale longitudinale:



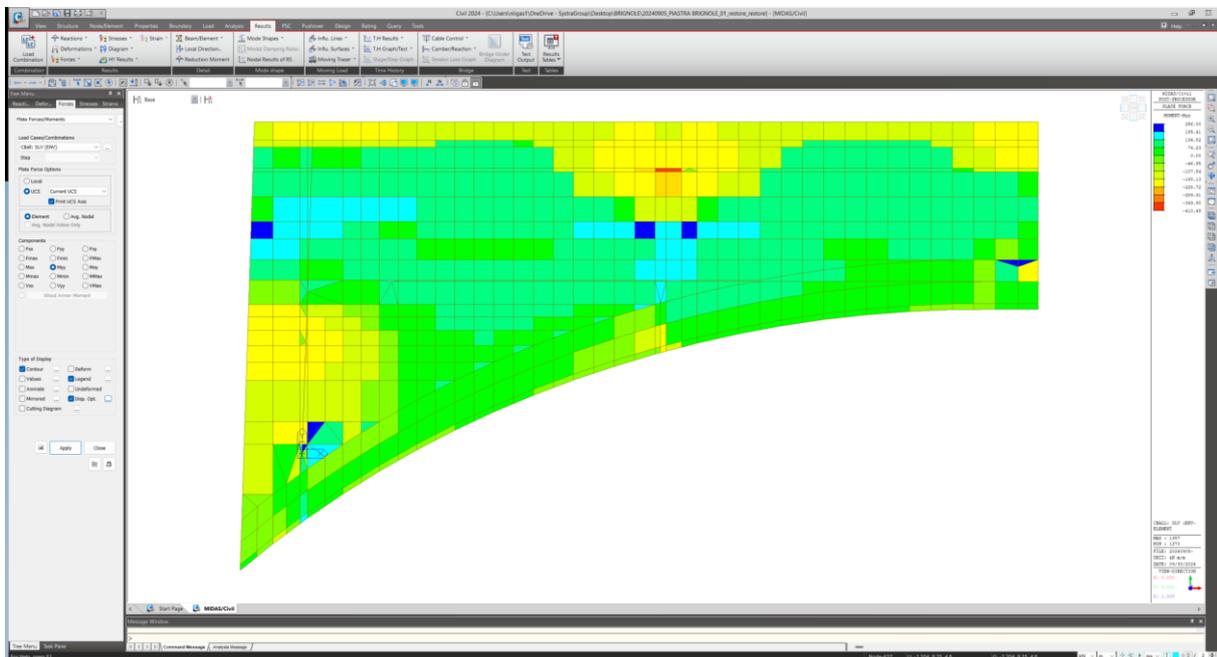
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione membranale trasversale:



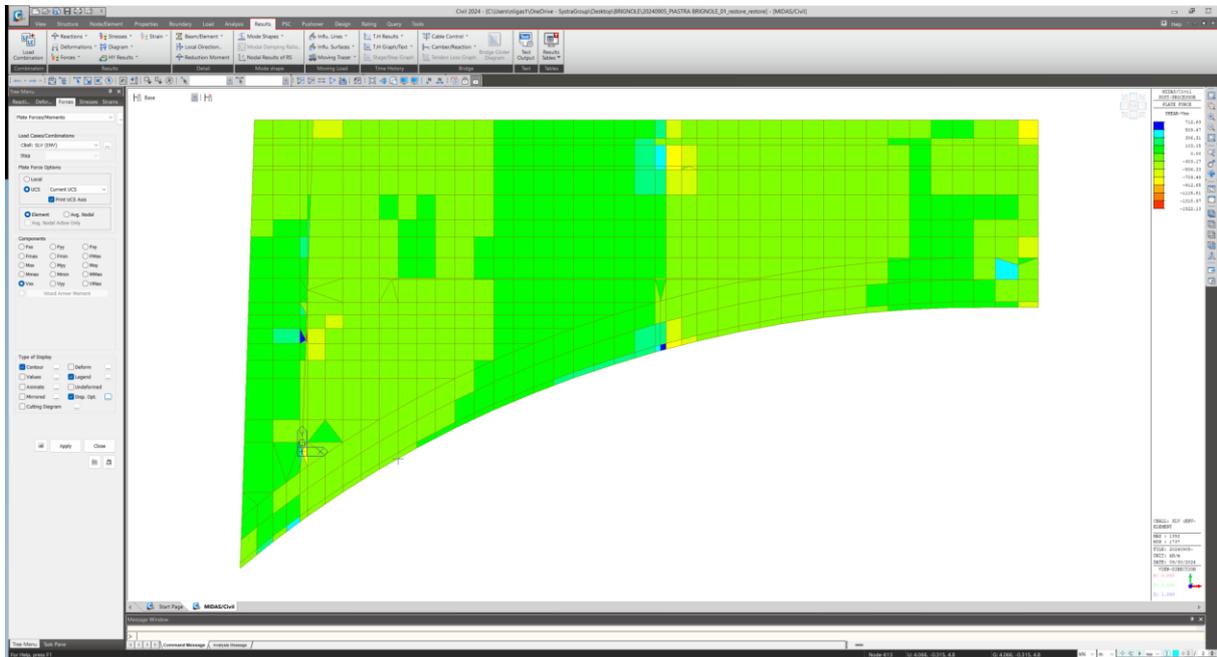
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento flettente longitudinale:



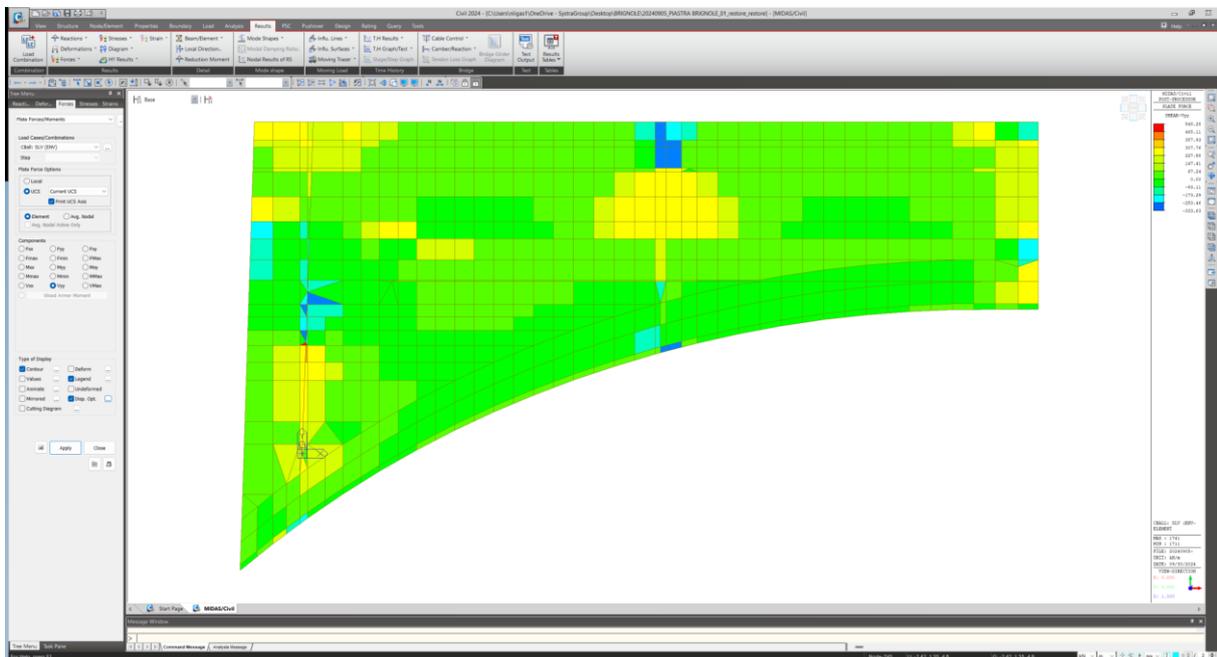
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento flettente trasversale:



Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione tagliante longitudinale:



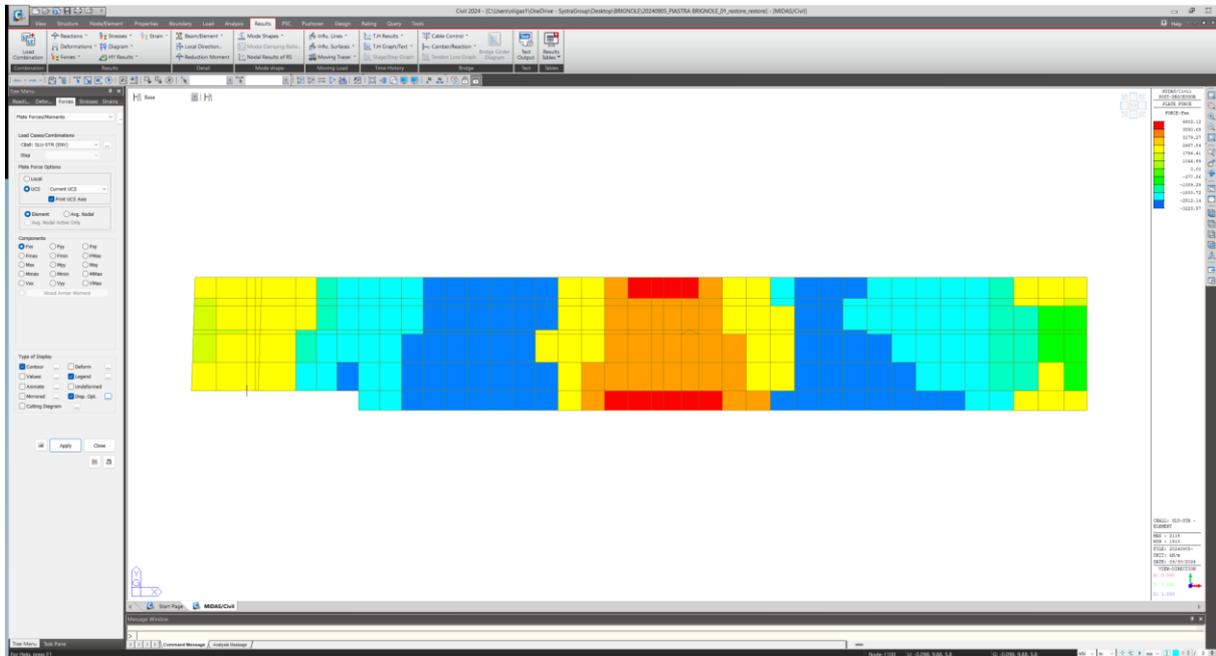
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione tagliante trasversale:



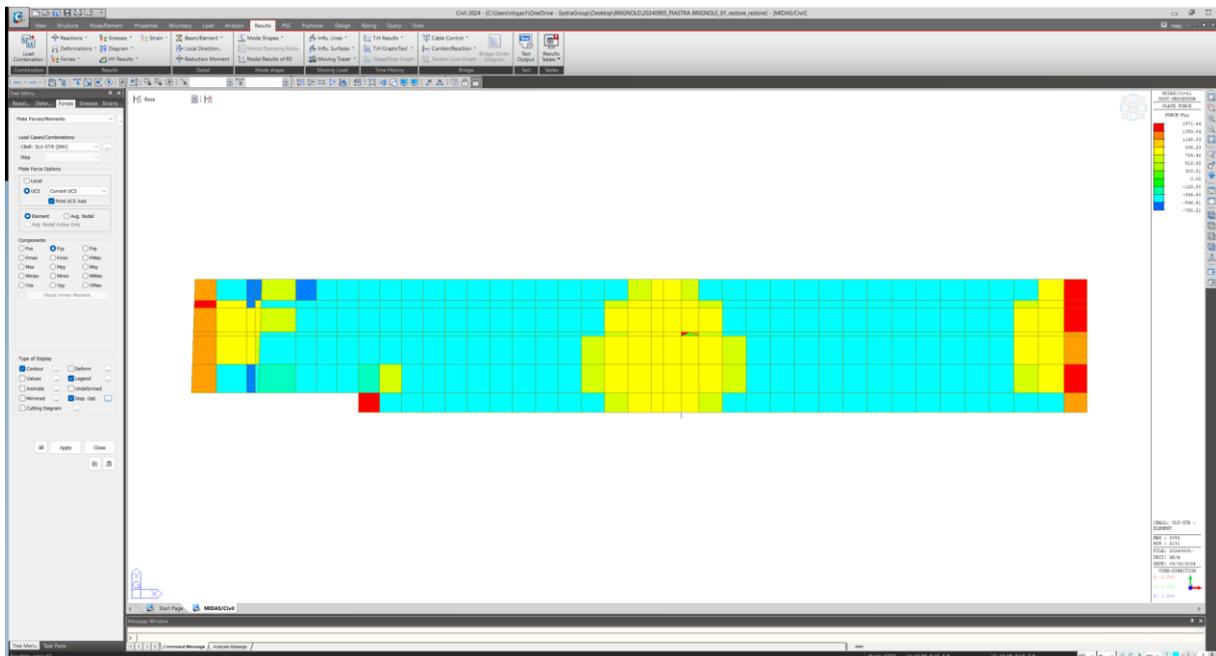
## 9.1 Soletta H = 40,0 cm

### 9.1.1 Condizione di involuppo delle combinazioni di carico allo Stato Limite Ultimo - STR

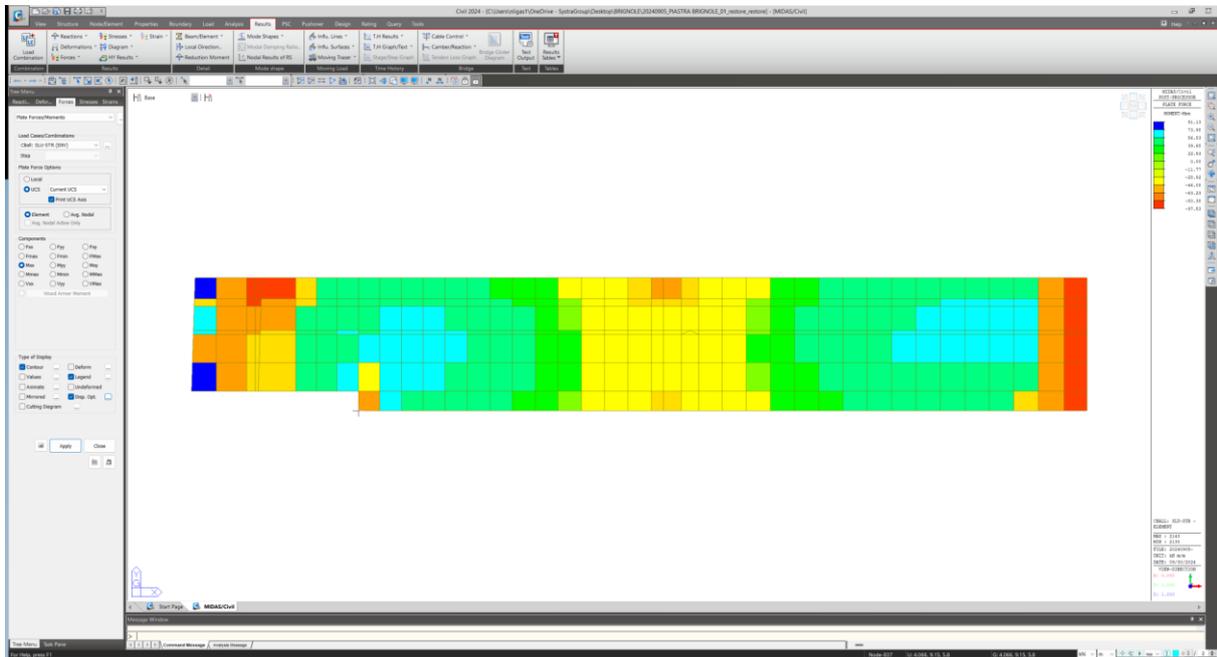
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione membranale longitudinale:



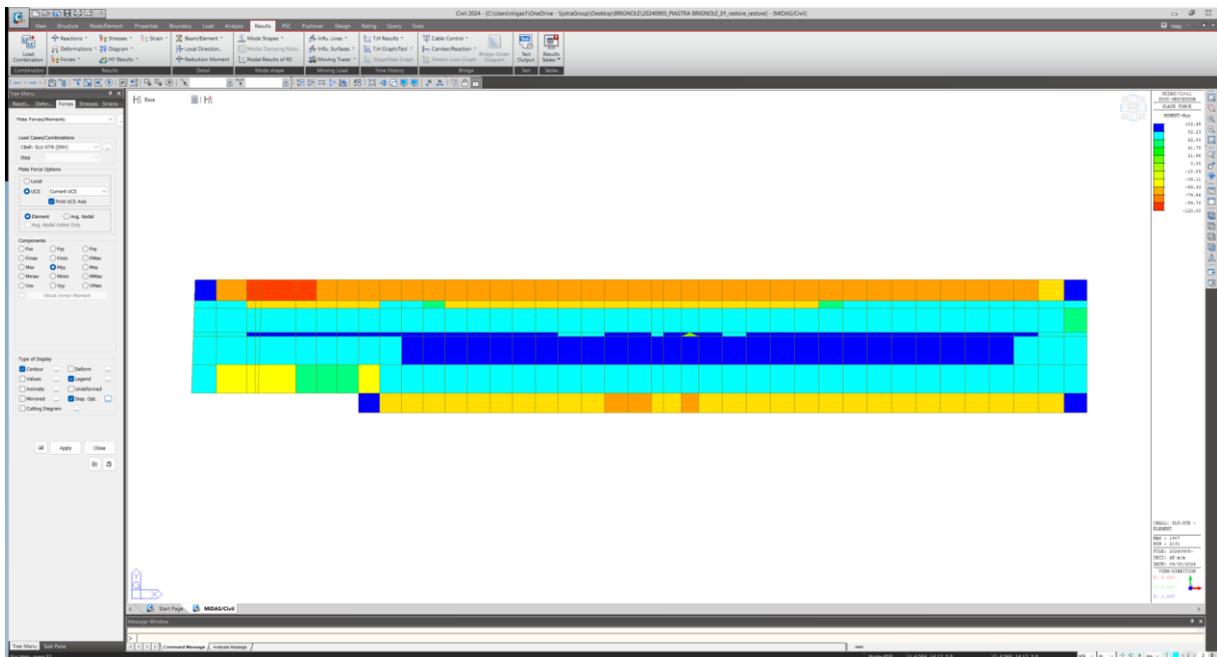
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione membranale trasversale:



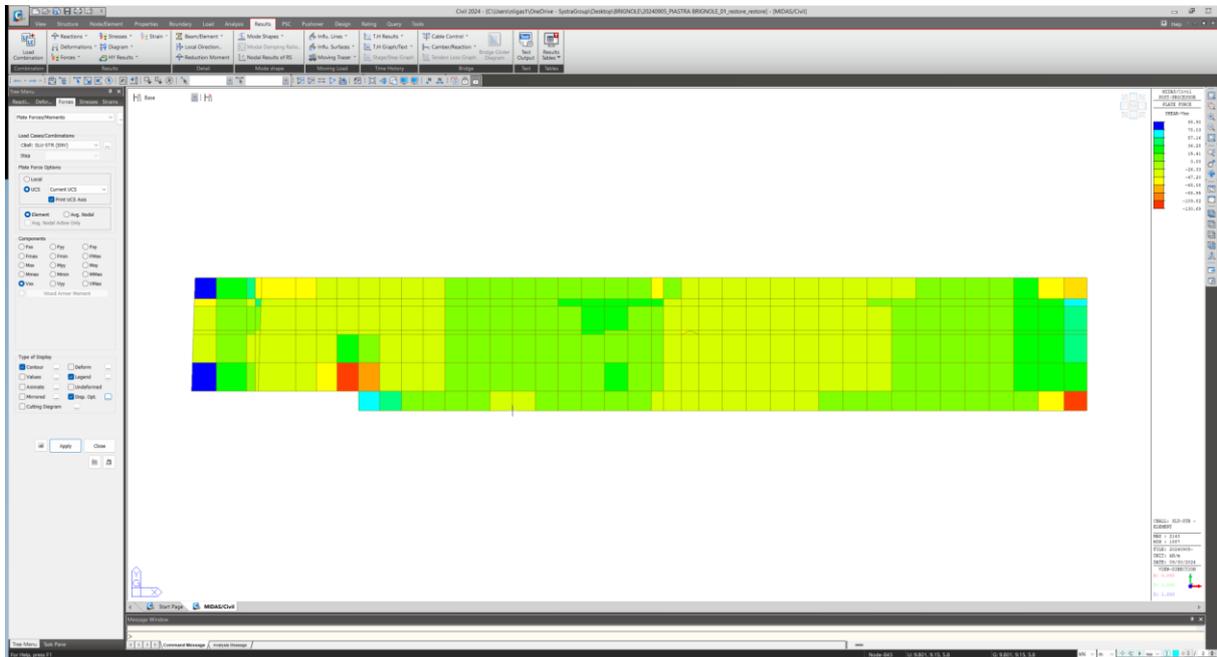
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento flettente longitudinale:



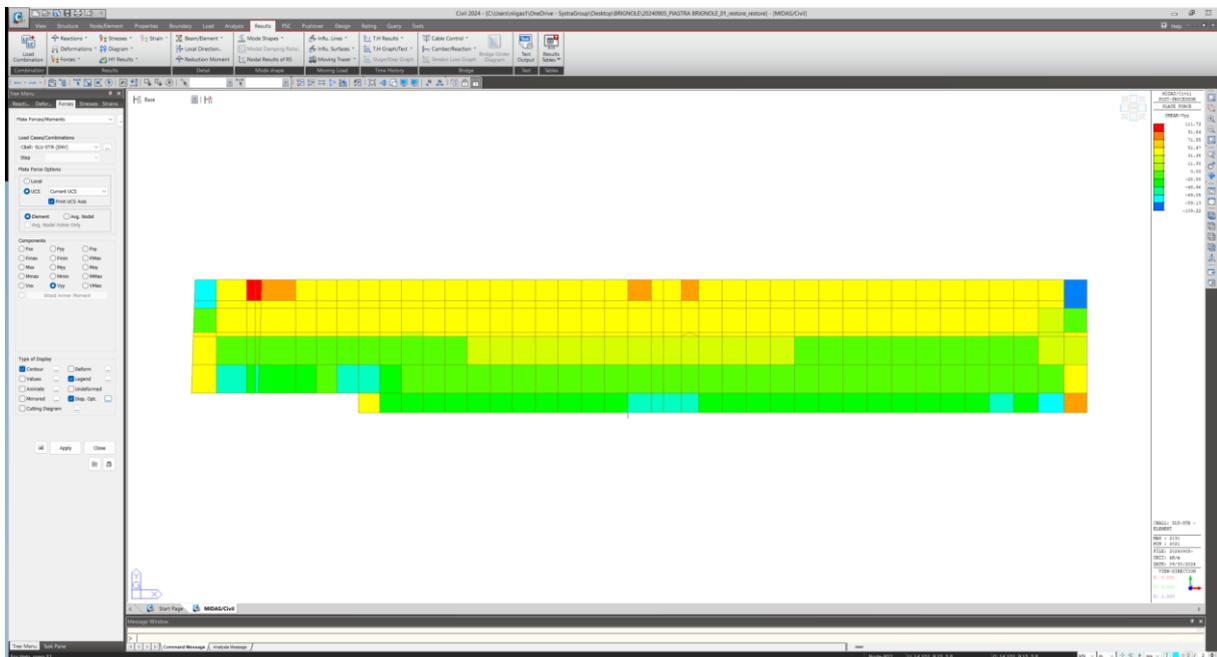
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento flettente trasversale:



Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione tagliante longitudinale:

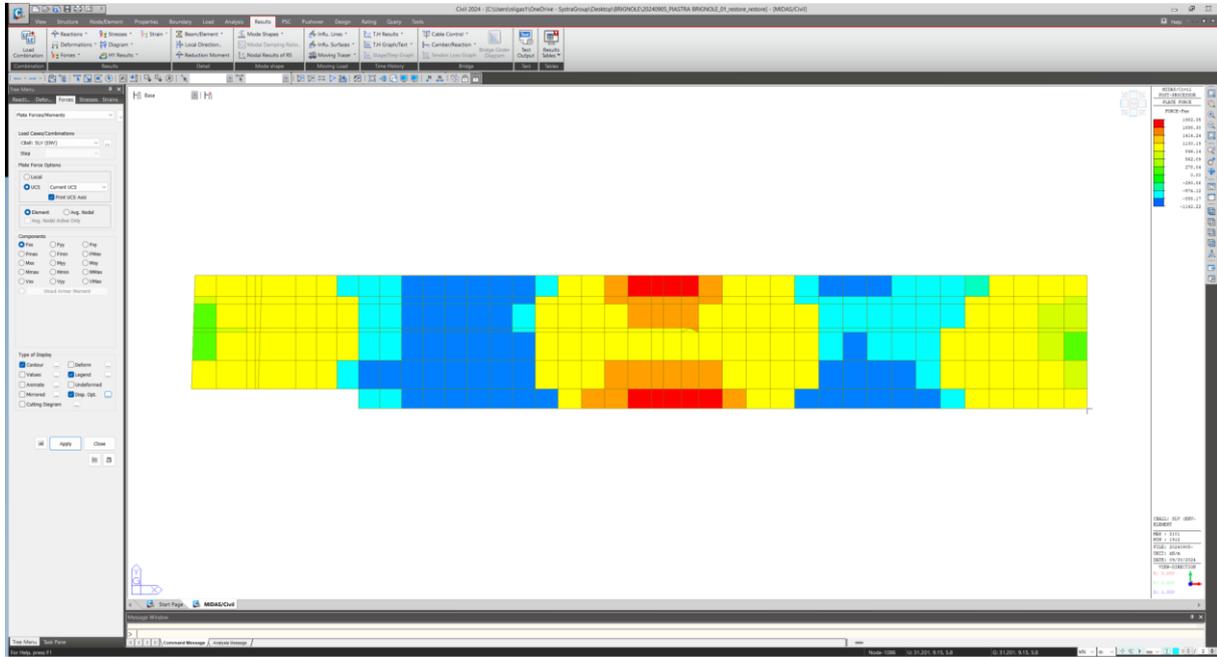


Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione tagliante trasversale:

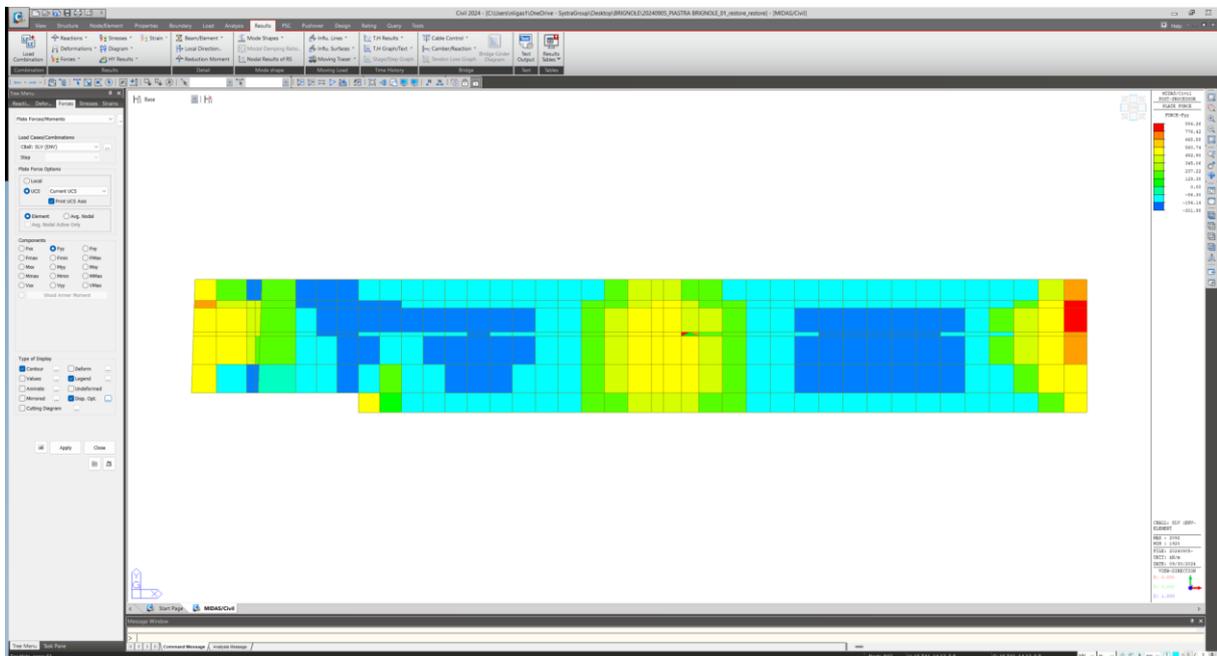


## 9.1.2 Condizione di inviluppo delle combinazioni di carico allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita

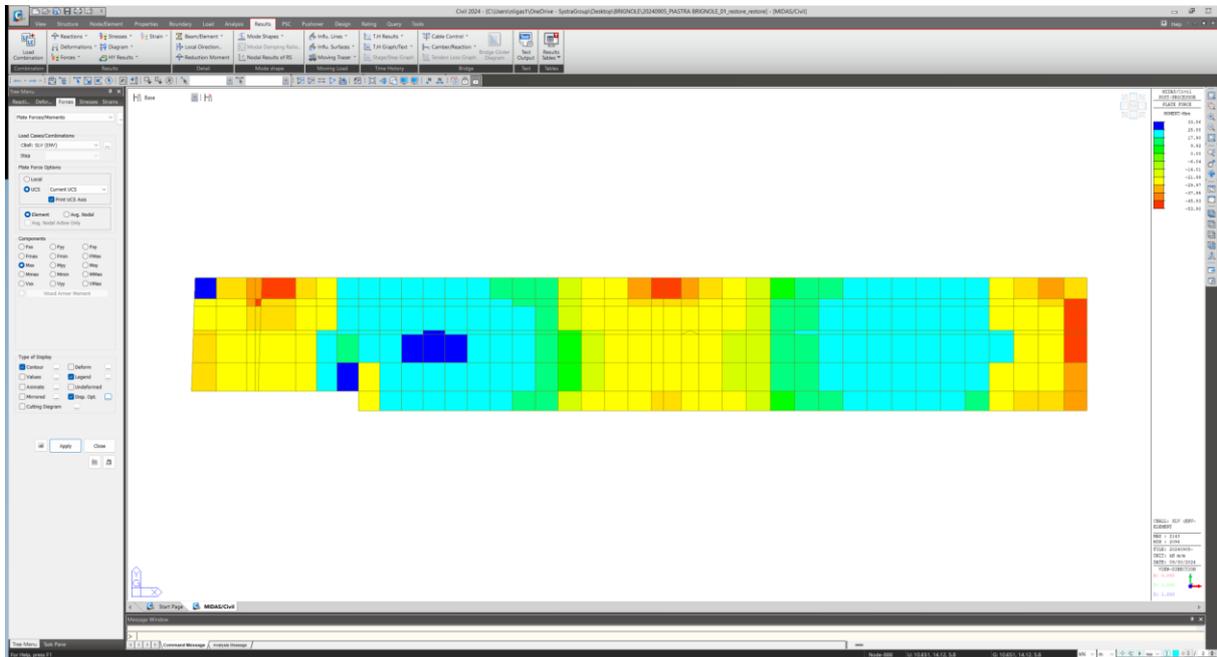
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione membranale longitudinale:



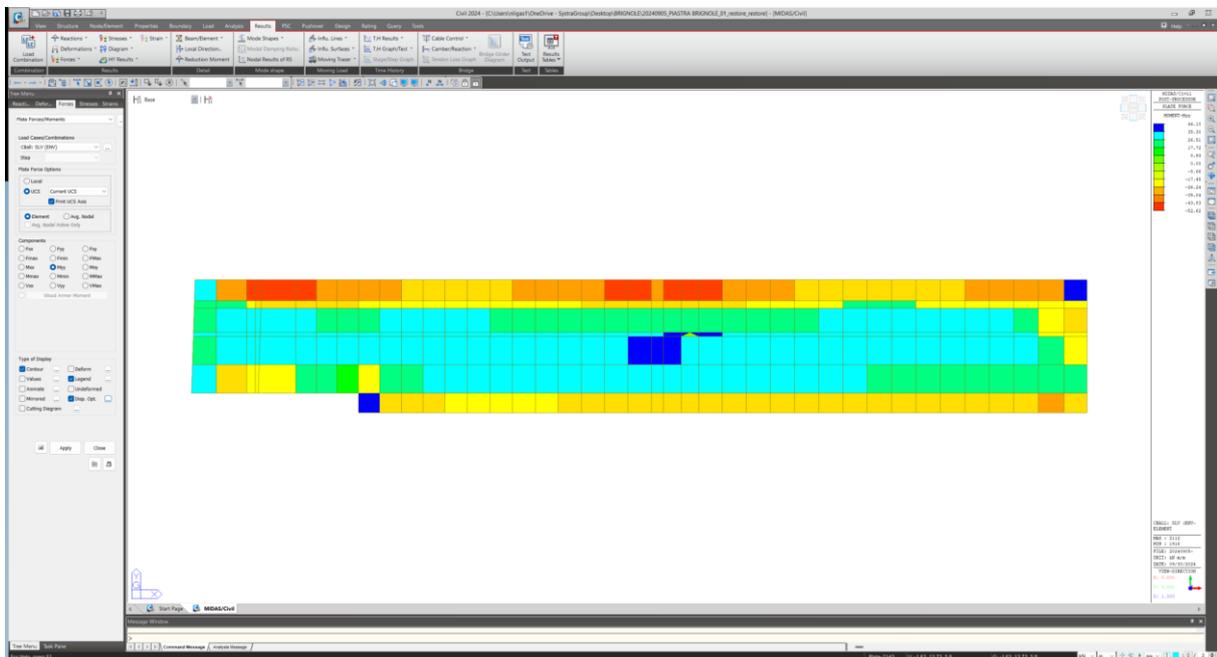
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione membranale trasversale:



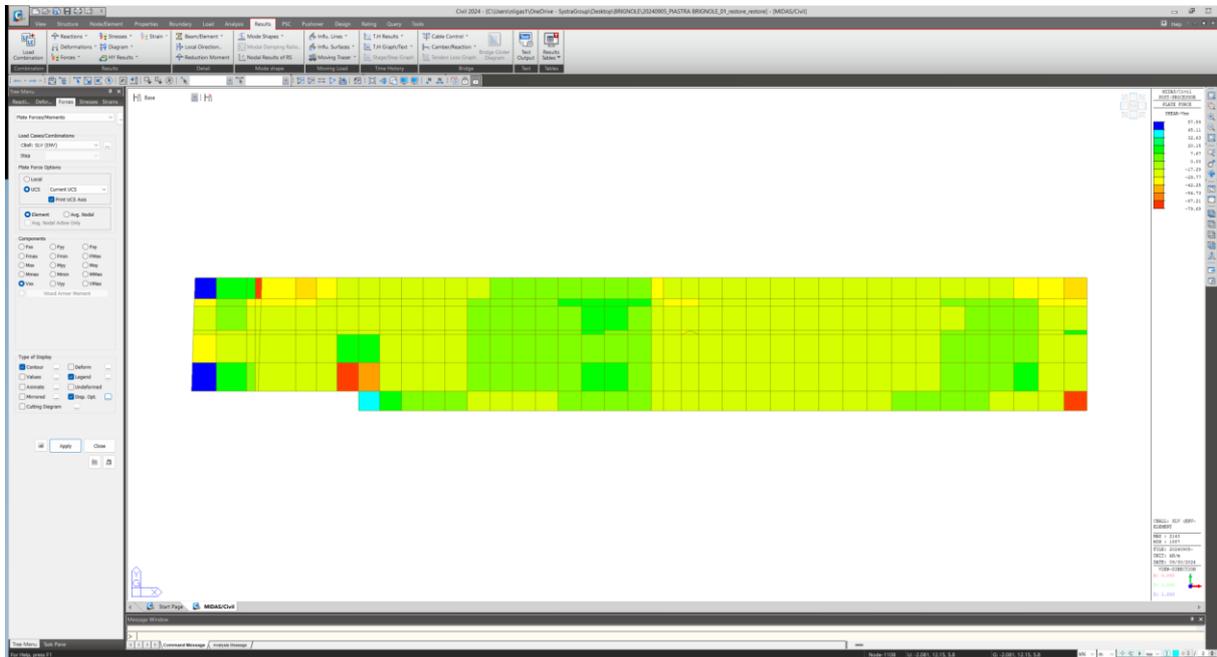
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento flettente longitudinale:



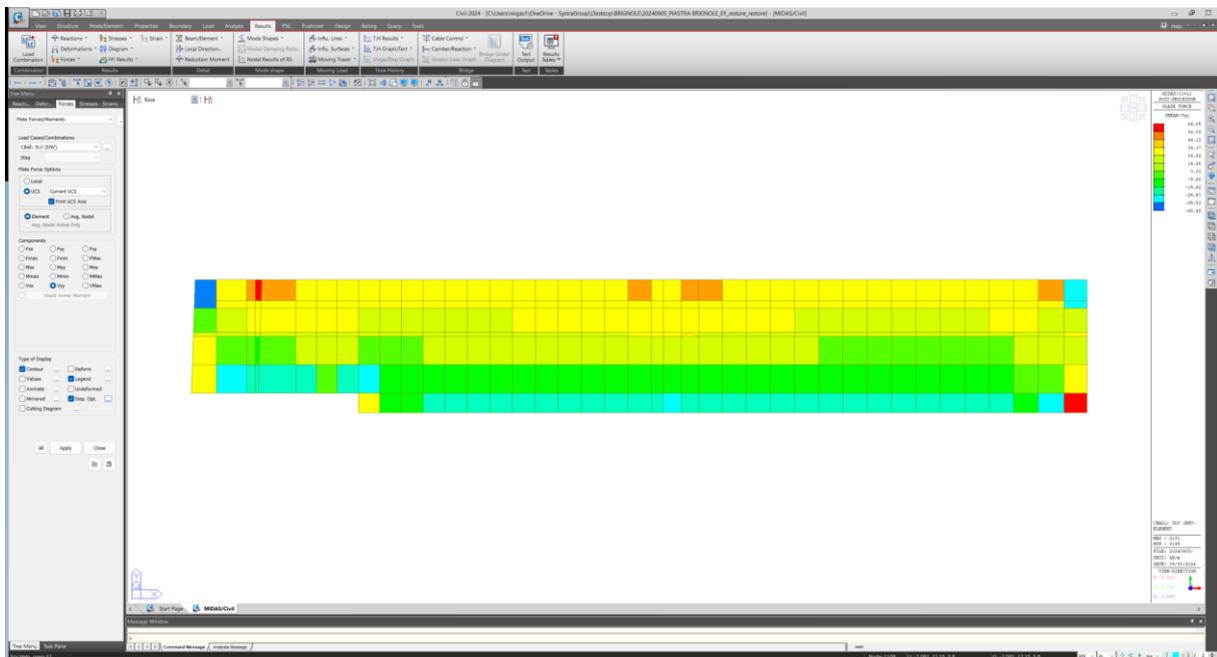
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento flettente trasversale:



Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione tagliante longitudinale:



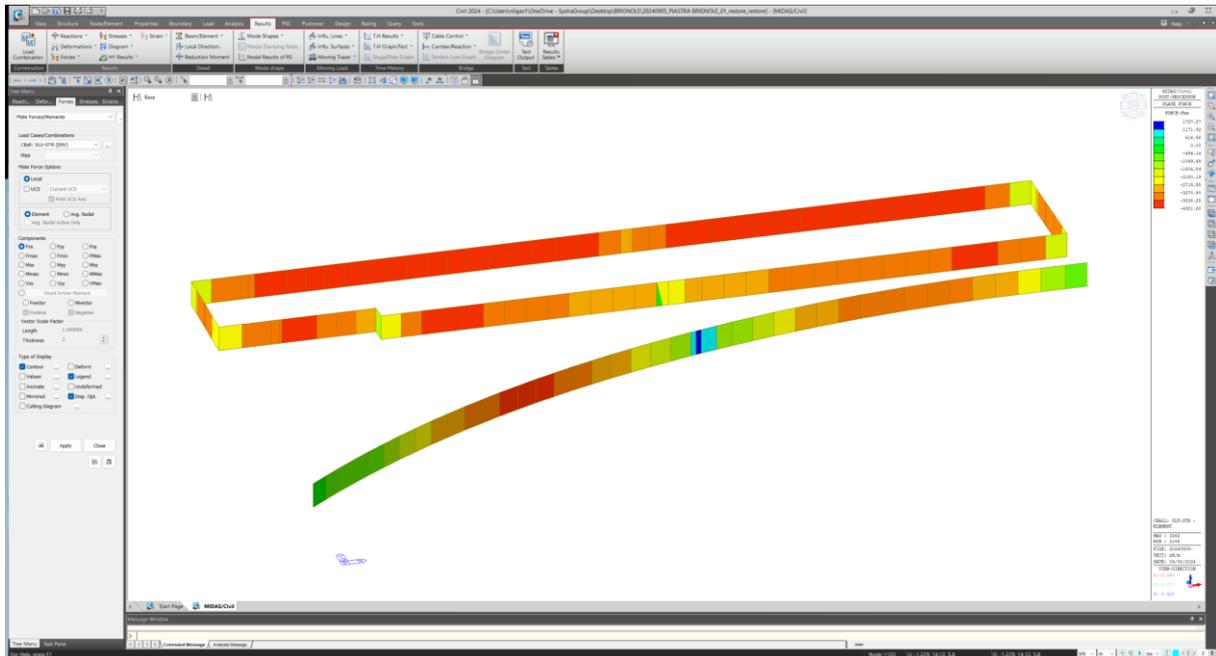
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione tagliante trasversale:



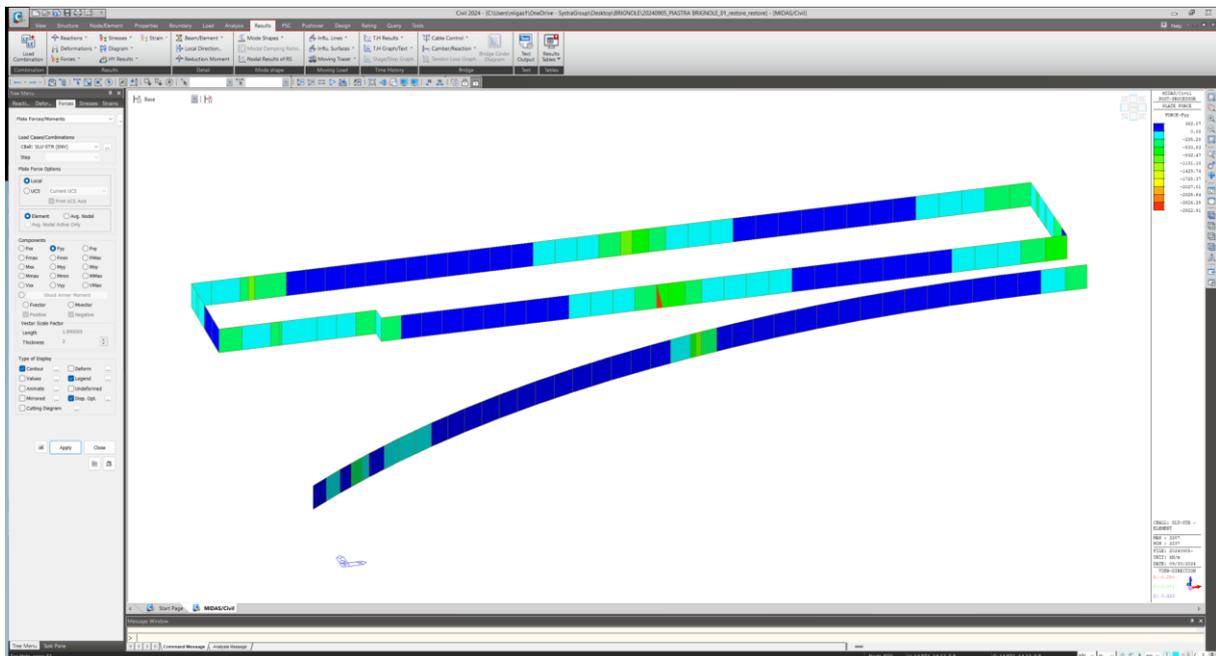
## 9.2 Setti verticali $S = 50,0$ cm

### 9.2.1 Condizione di involuppo delle combinazioni di carico allo Stato Limite Ultimo - STR

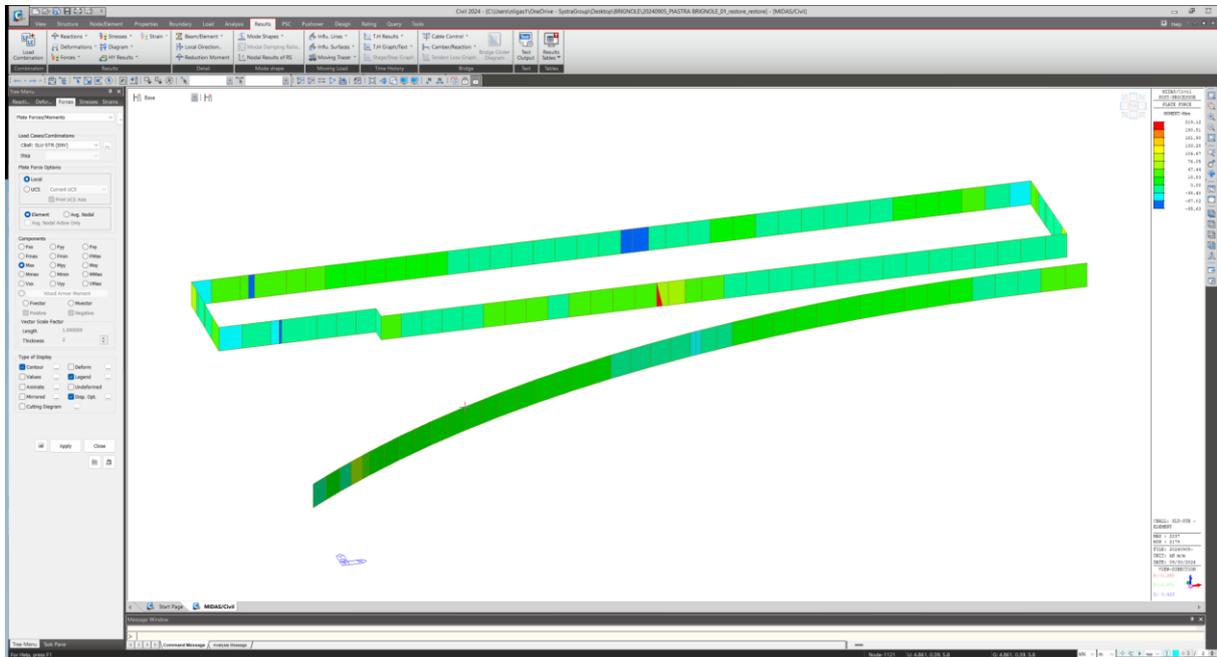
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione membranale orizzontale:



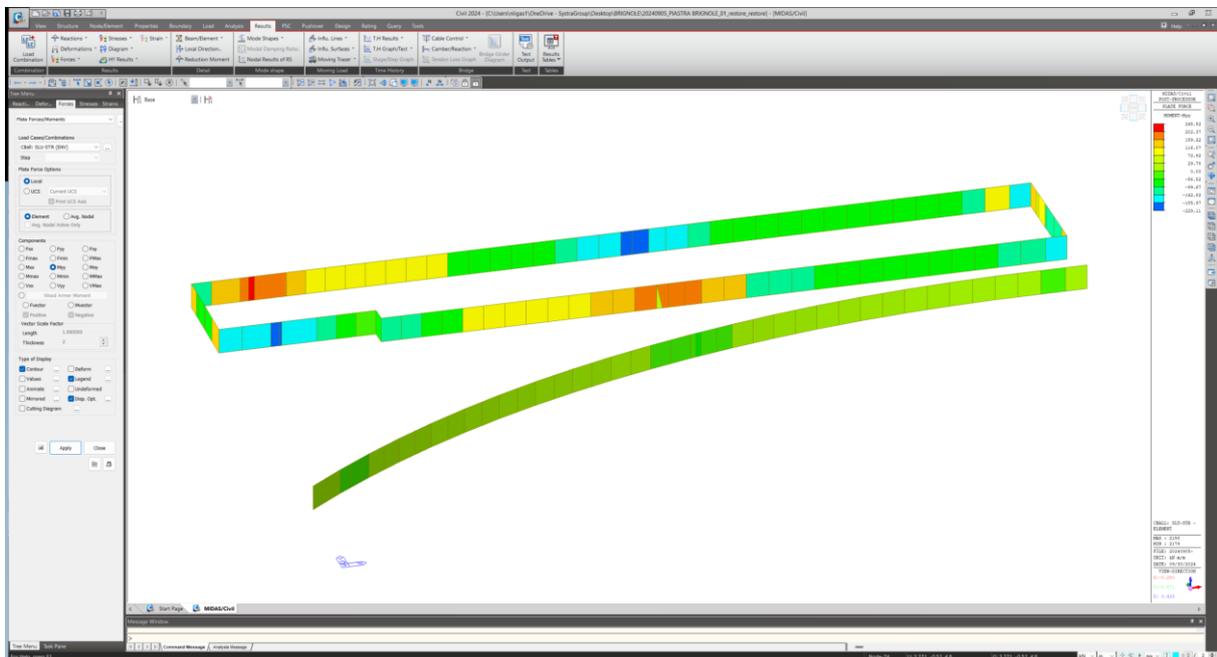
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione membranale verticale:



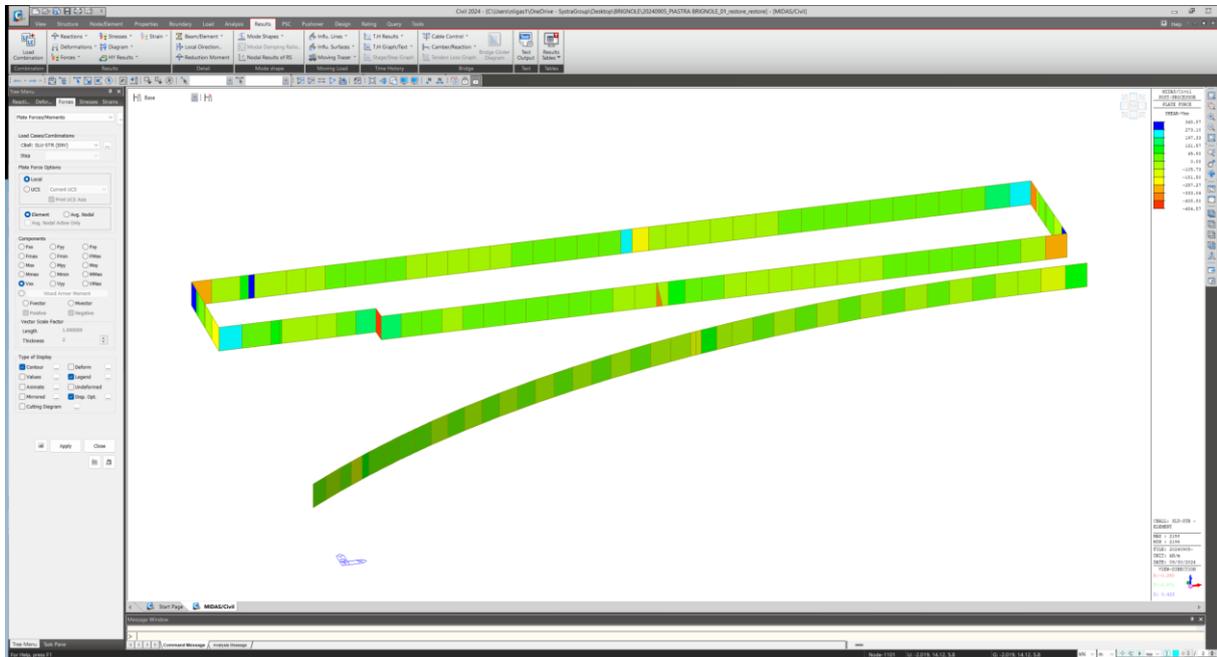
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento flettente orizzontale:



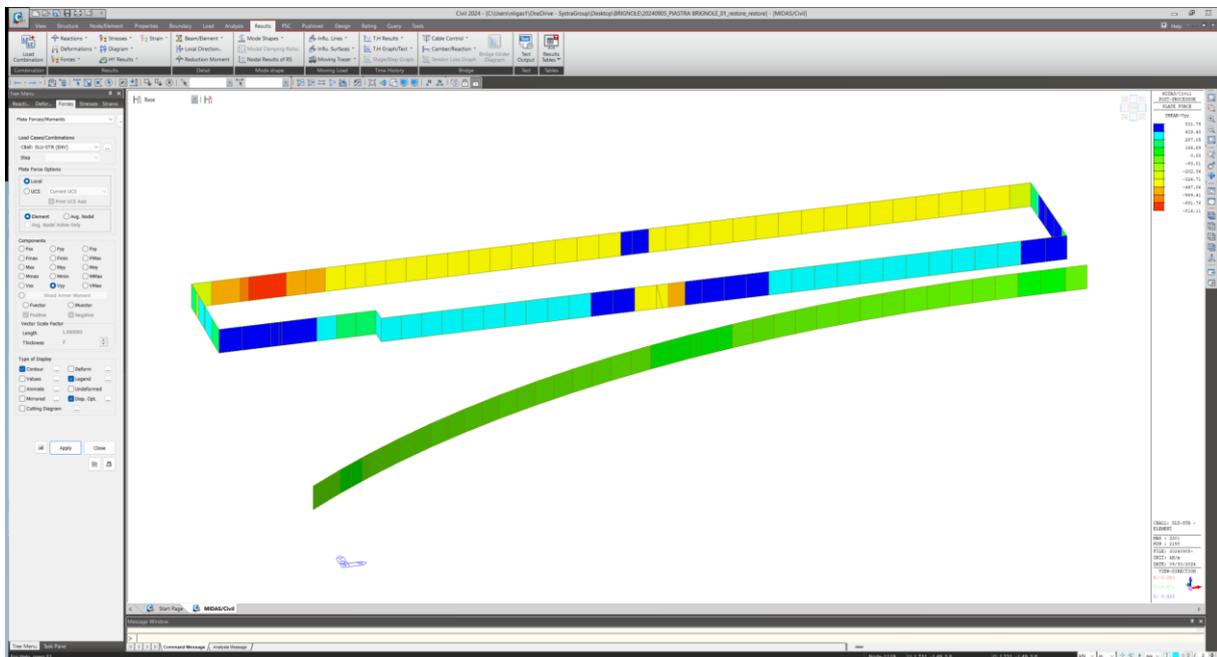
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento flettente verticale:



Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione tagliante orizzontale:

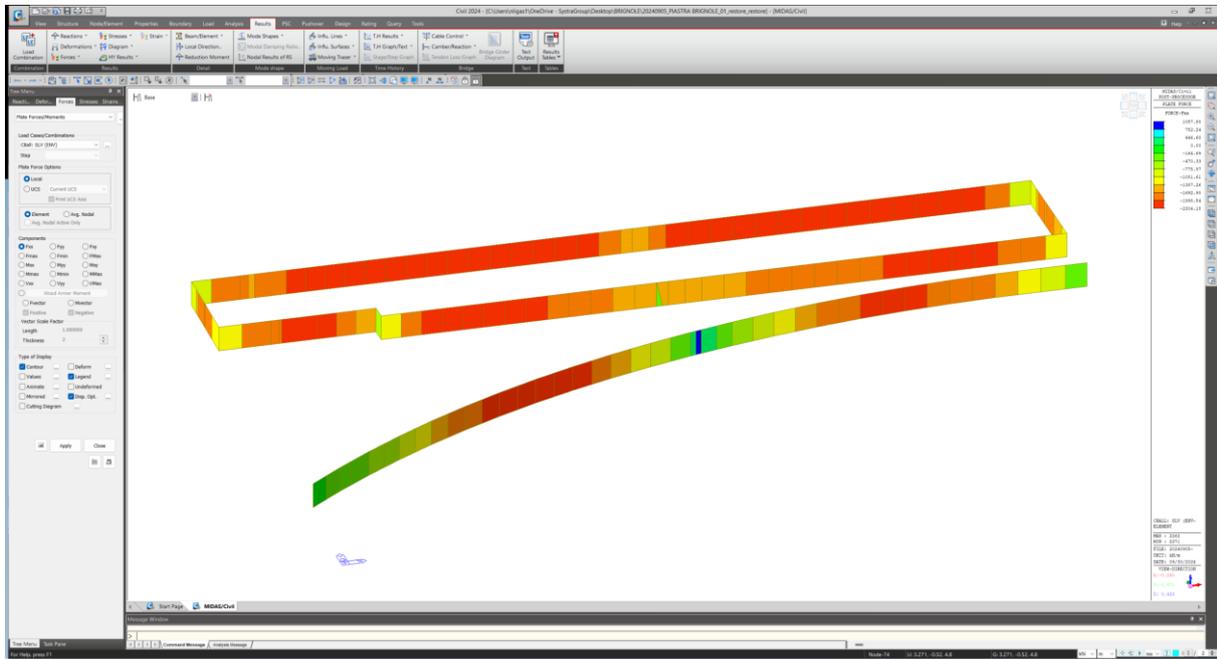


Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione tagliante verticale:

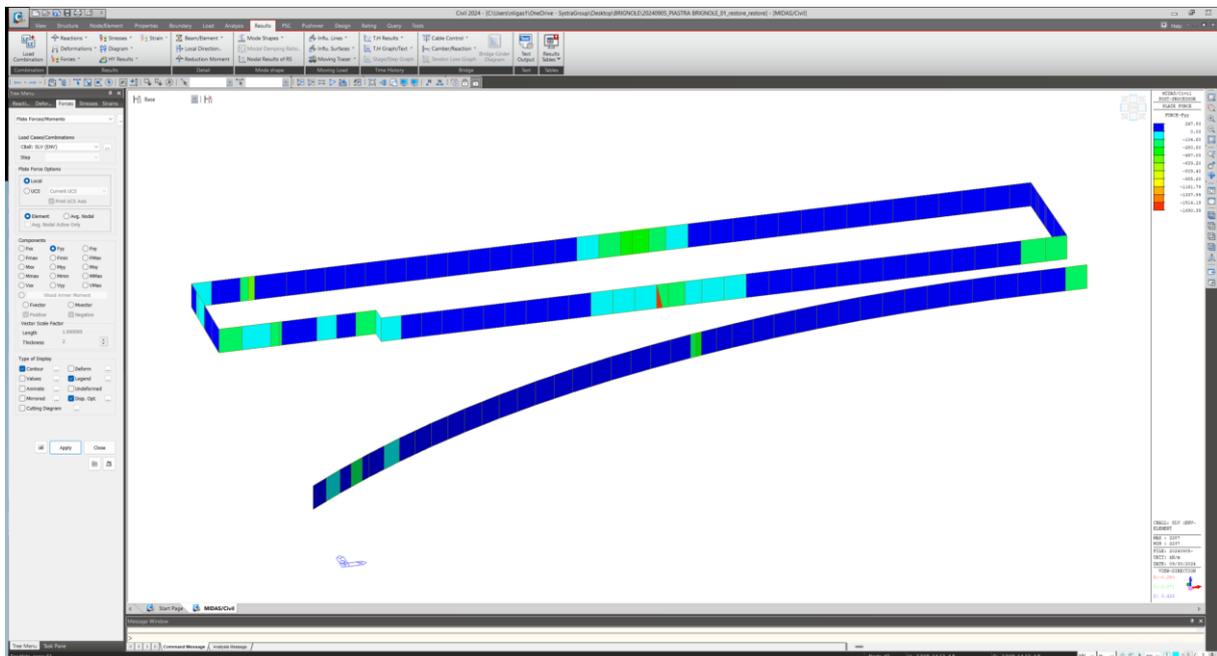


## 9.2.2 Condizione di inviluppo delle combinazioni di carico allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita

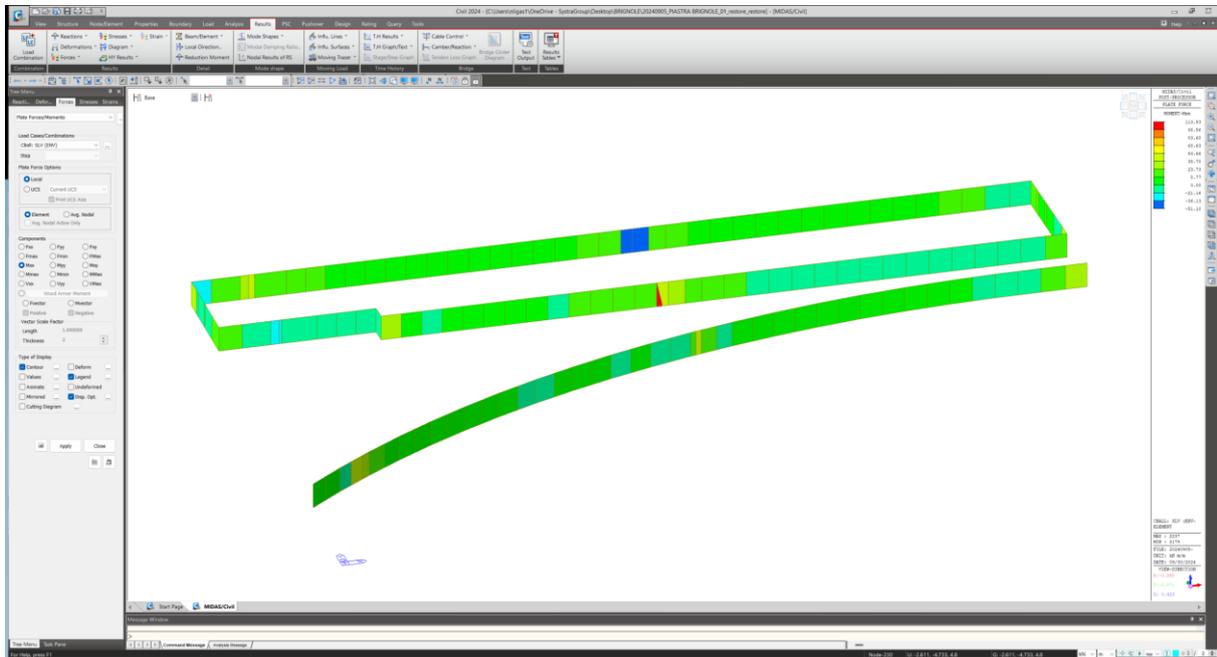
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione membranale orizzontale:



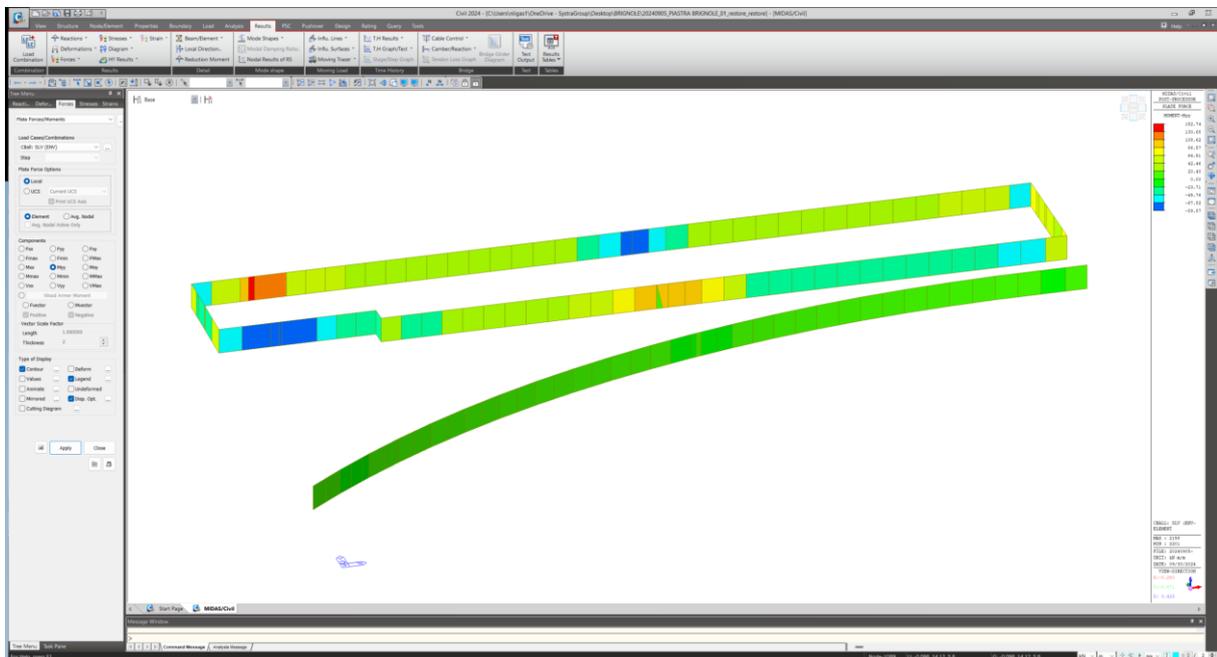
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione membranale verticale:



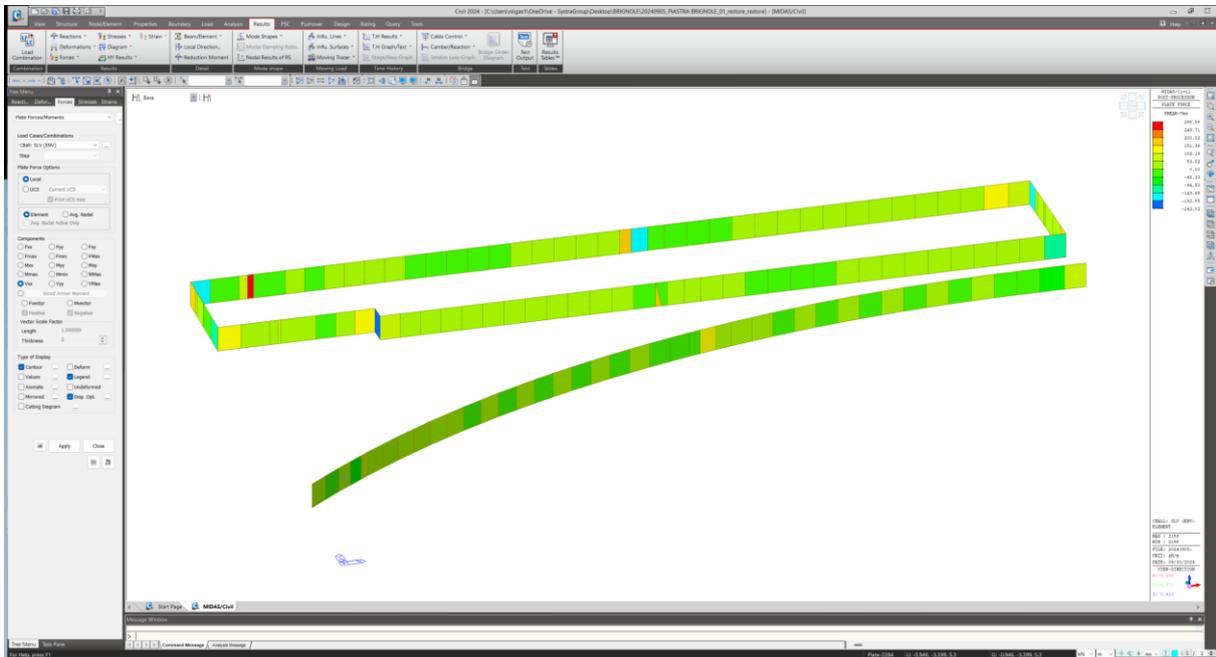
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento flettente orizzontale:



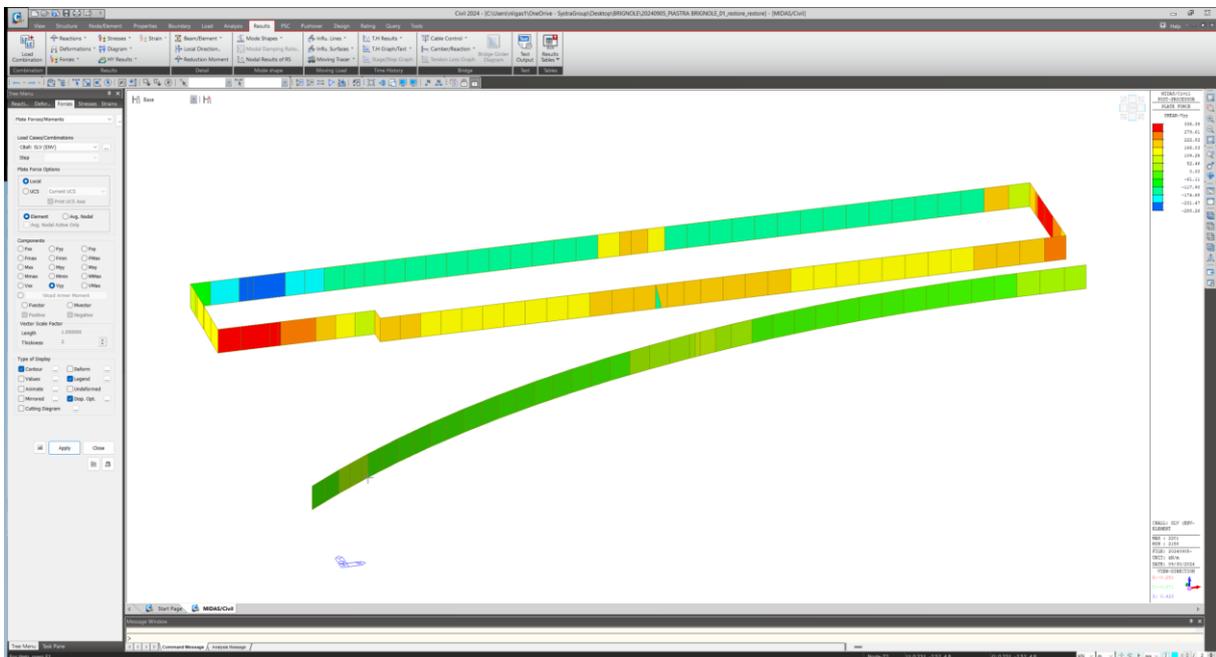
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento flettente verticale:



Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione tagliante orizzontale:



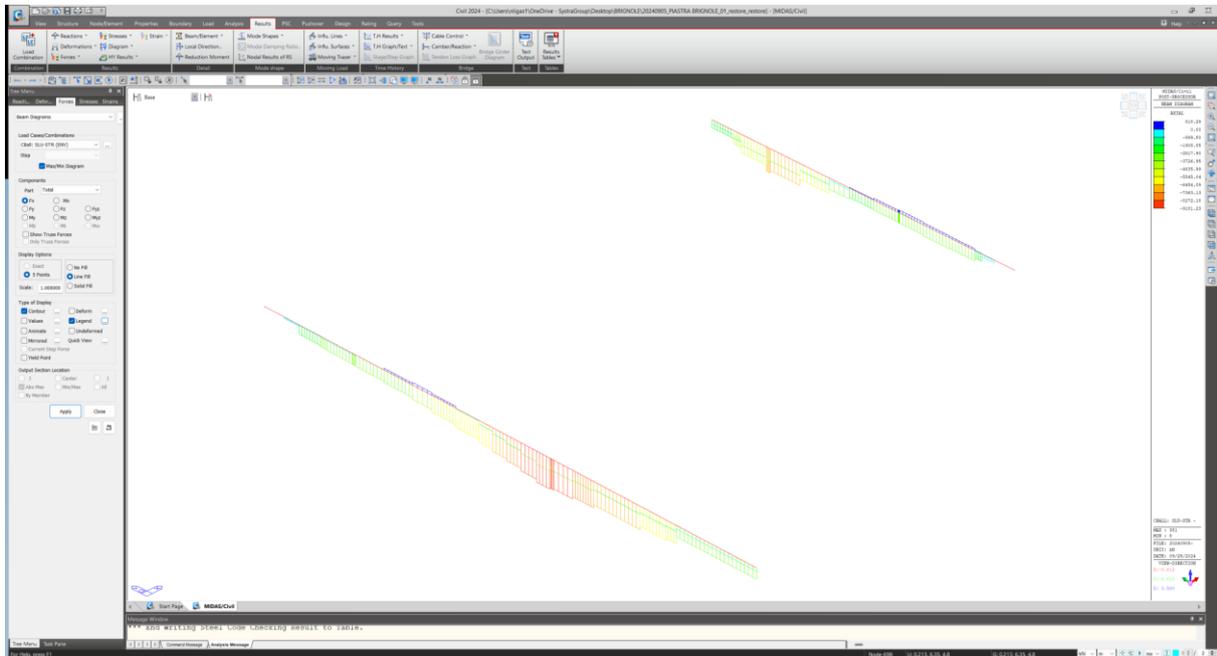
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione tagliante verticale:



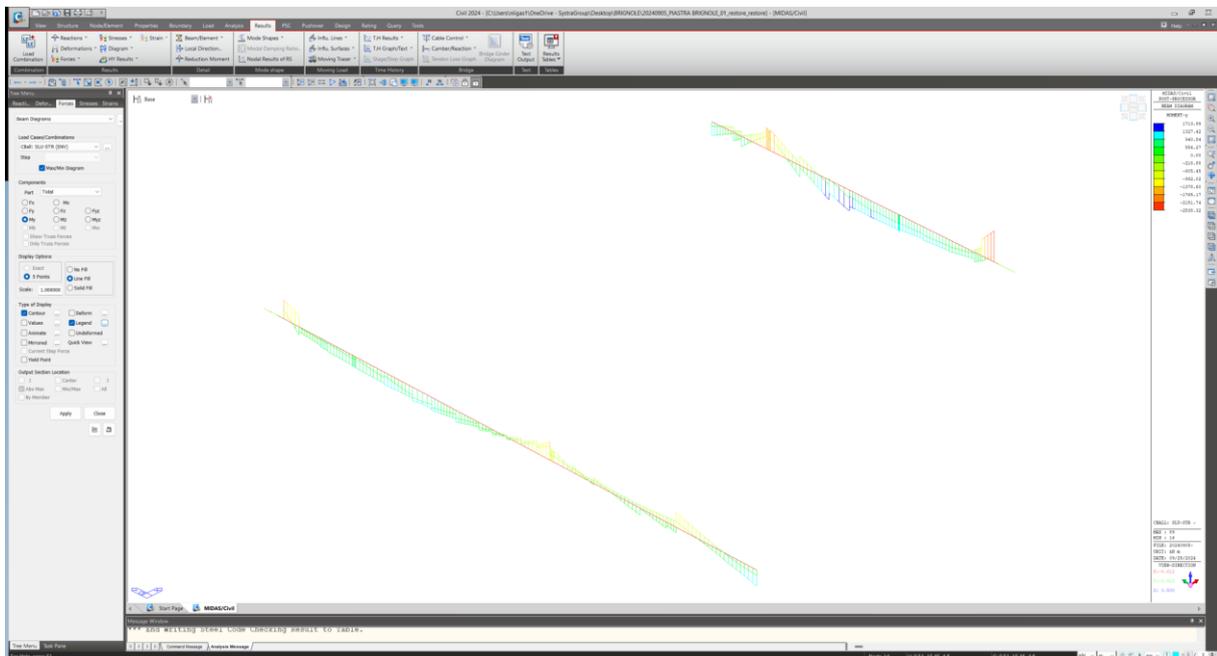
### 9.3 Trasversi 200 x 90 cm

#### 9.3.1 Condizione di involuppo delle combinazioni di carico allo Stato Limite Ultimo - STR

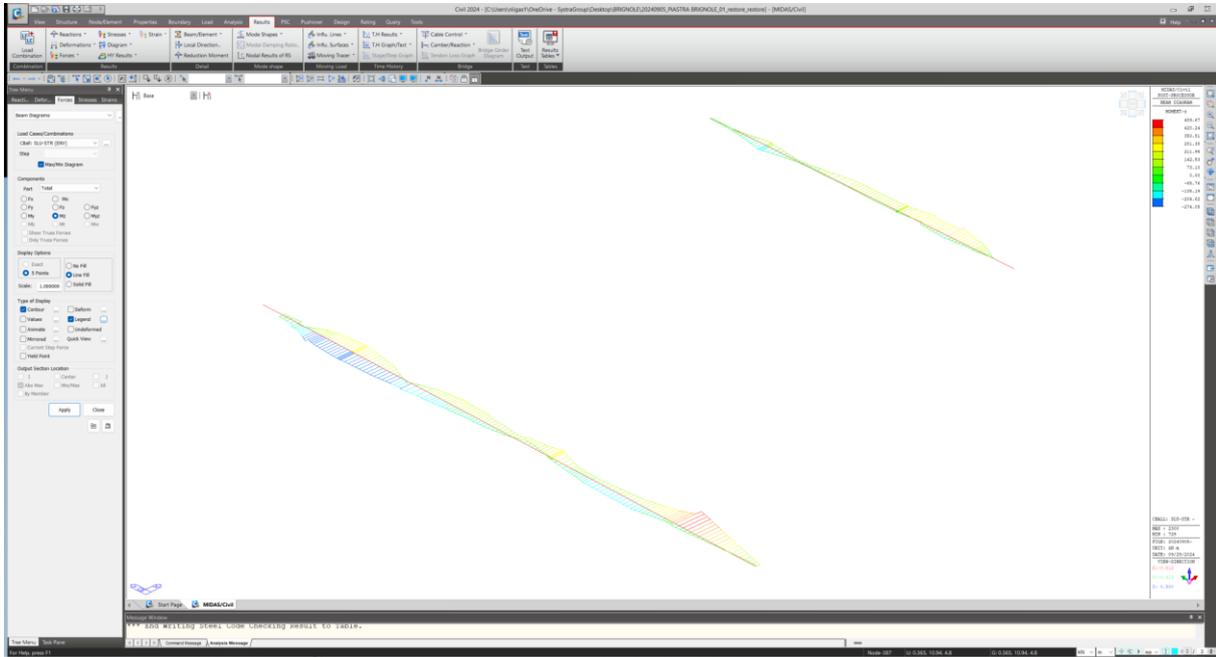
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione normale:



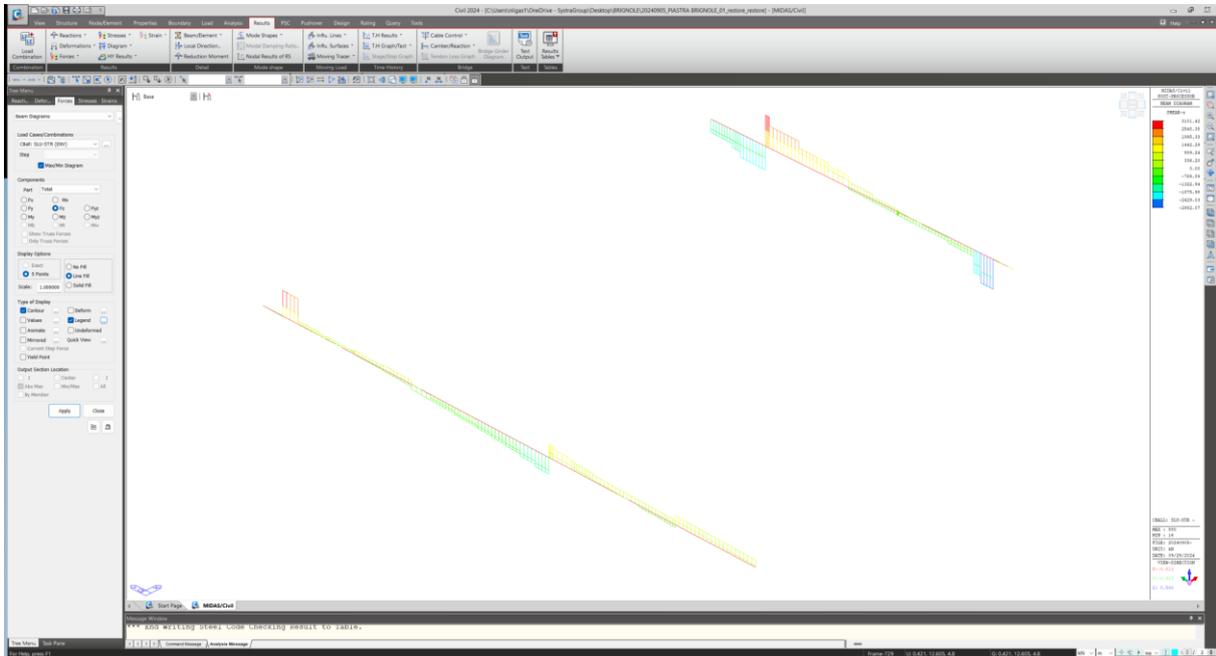
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento flettente longitudinale:



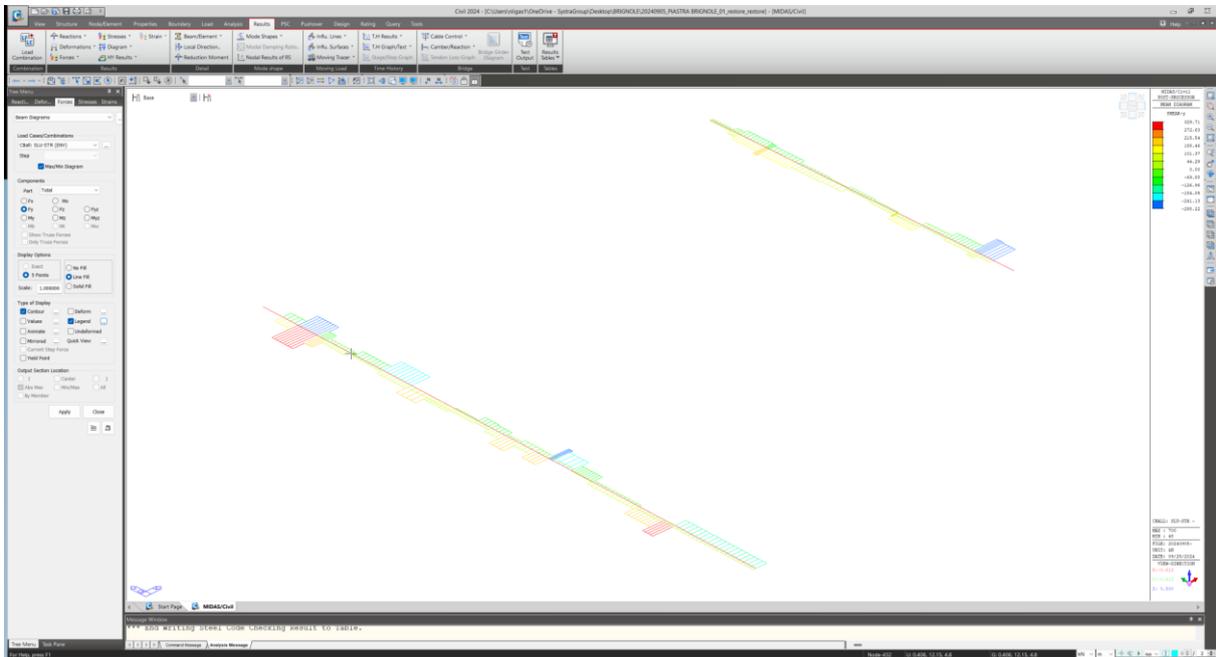
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento flettente trasversale:



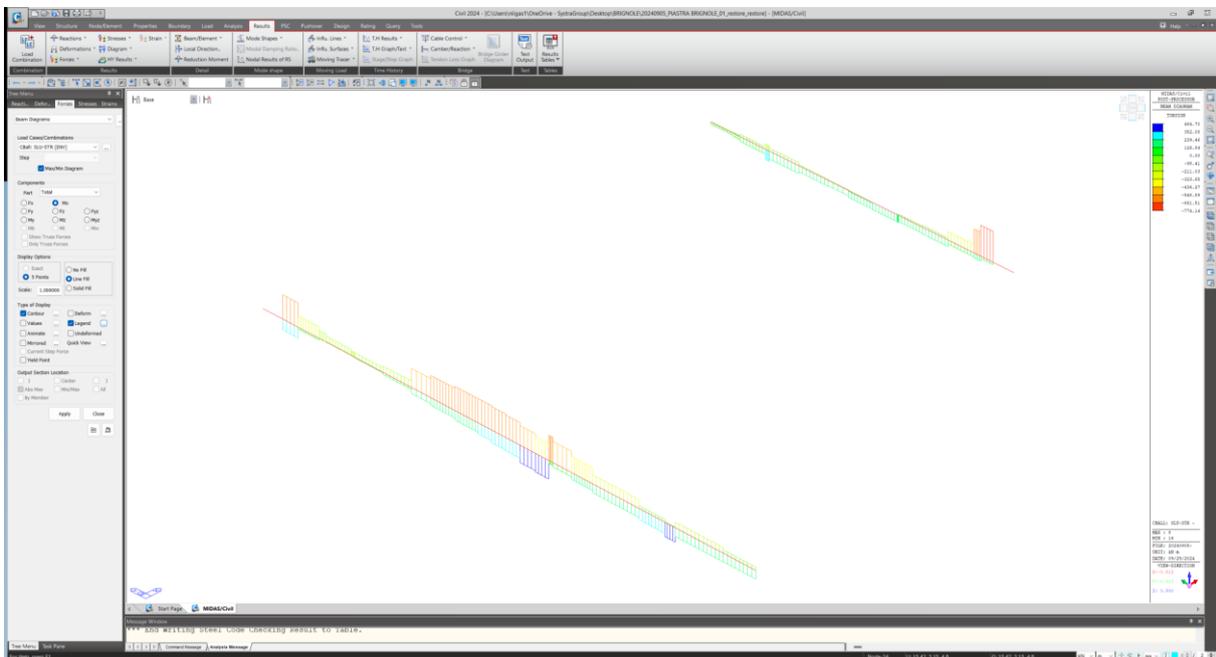
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione tagliante longitudinale:



Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione tagliante trasversale:

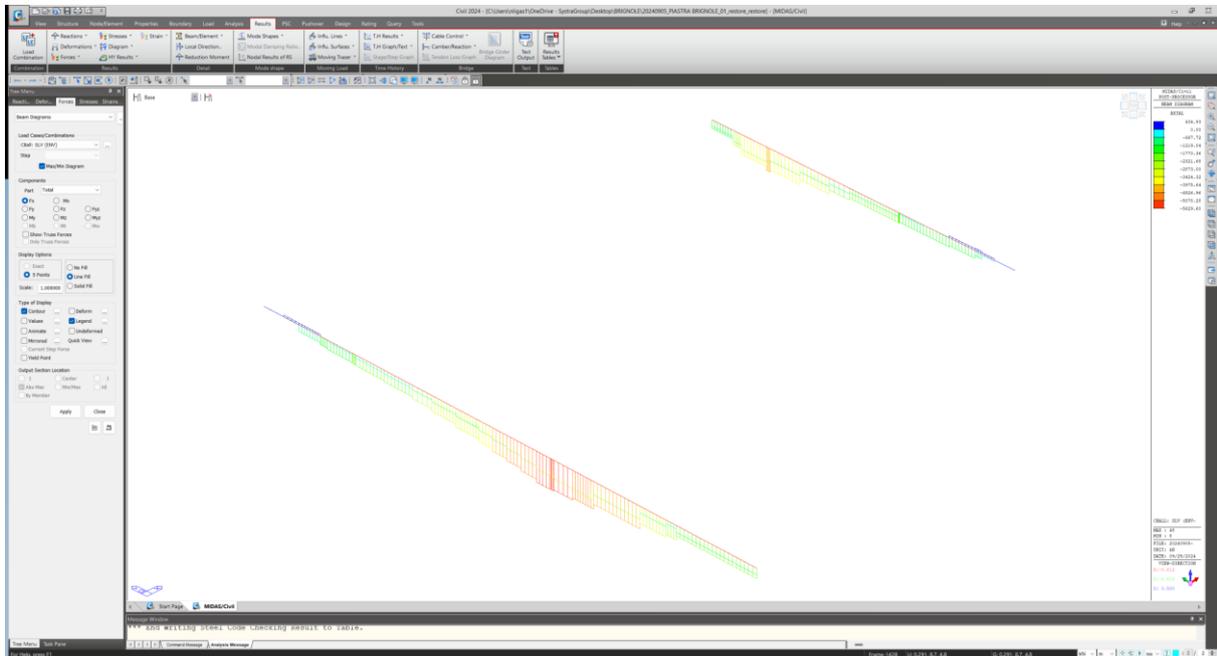


Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento torcente:

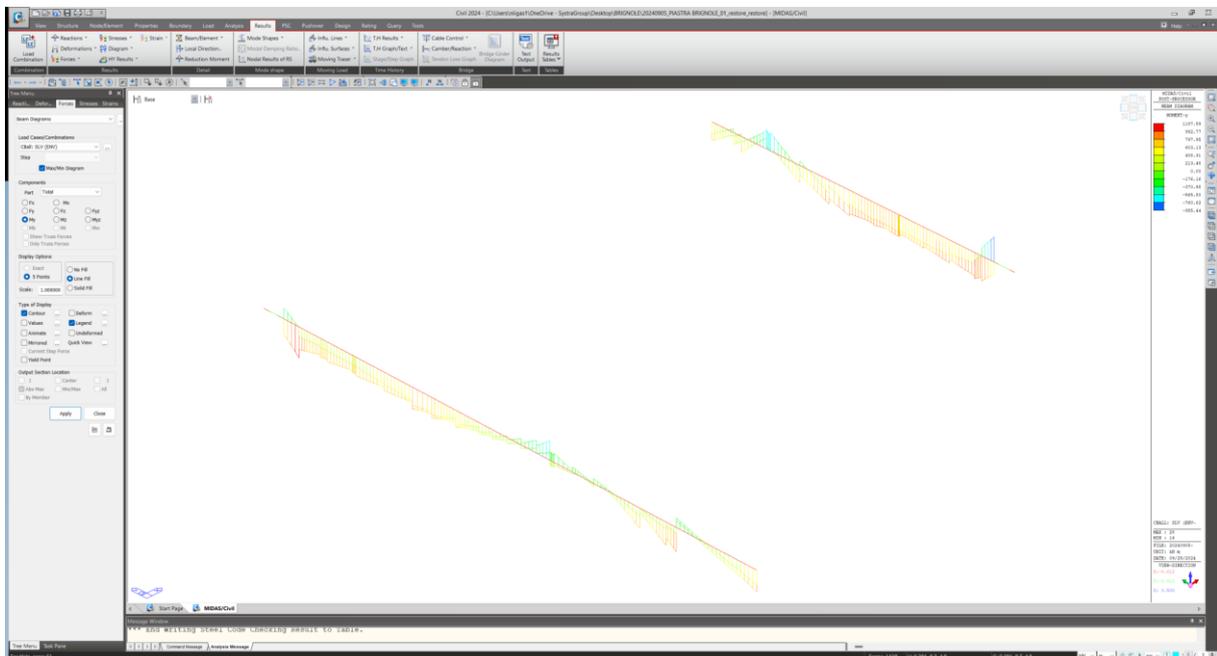


### 9.3.2 Condizione di inviluppo delle combinazioni di carico allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita

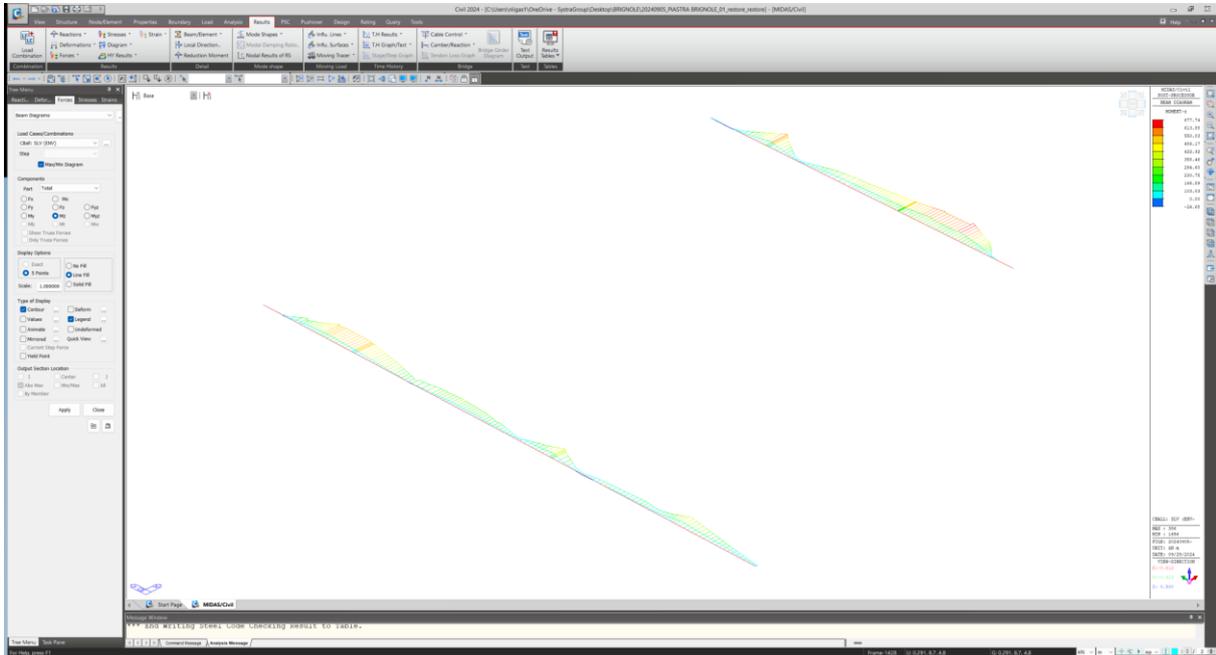
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione normale:



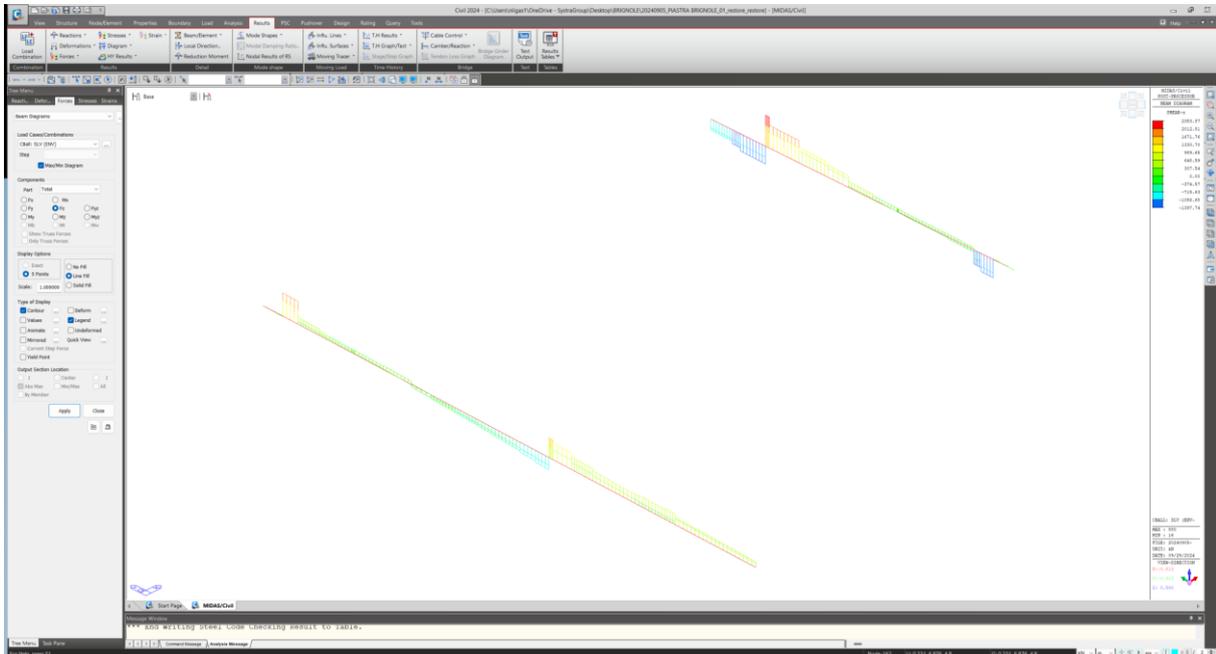
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento flettente longitudinale:



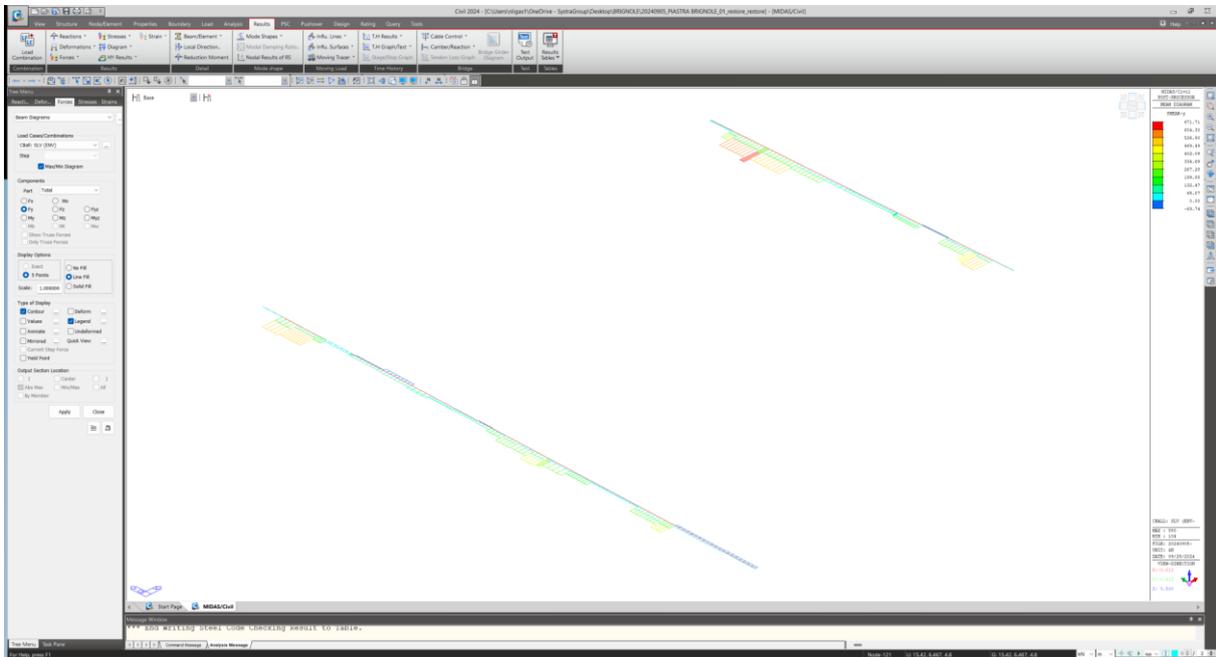
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento flettente trasversale:



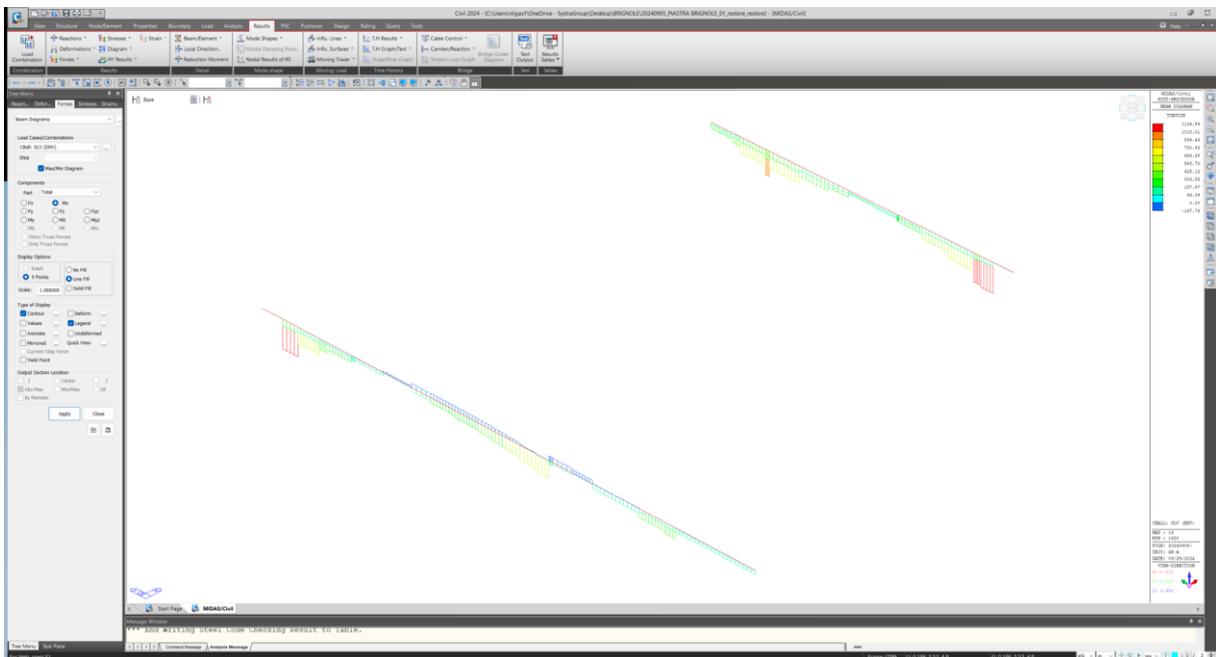
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione tagliante longitudinale:



Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione tagliante trasversale:



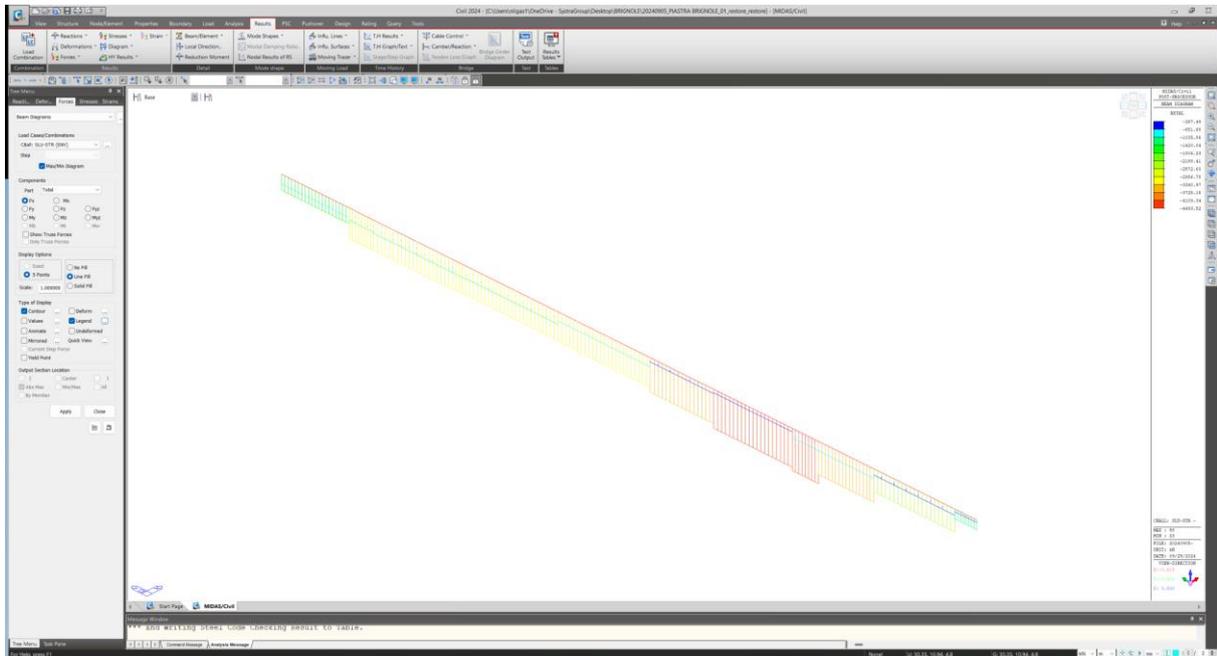
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento torcente:



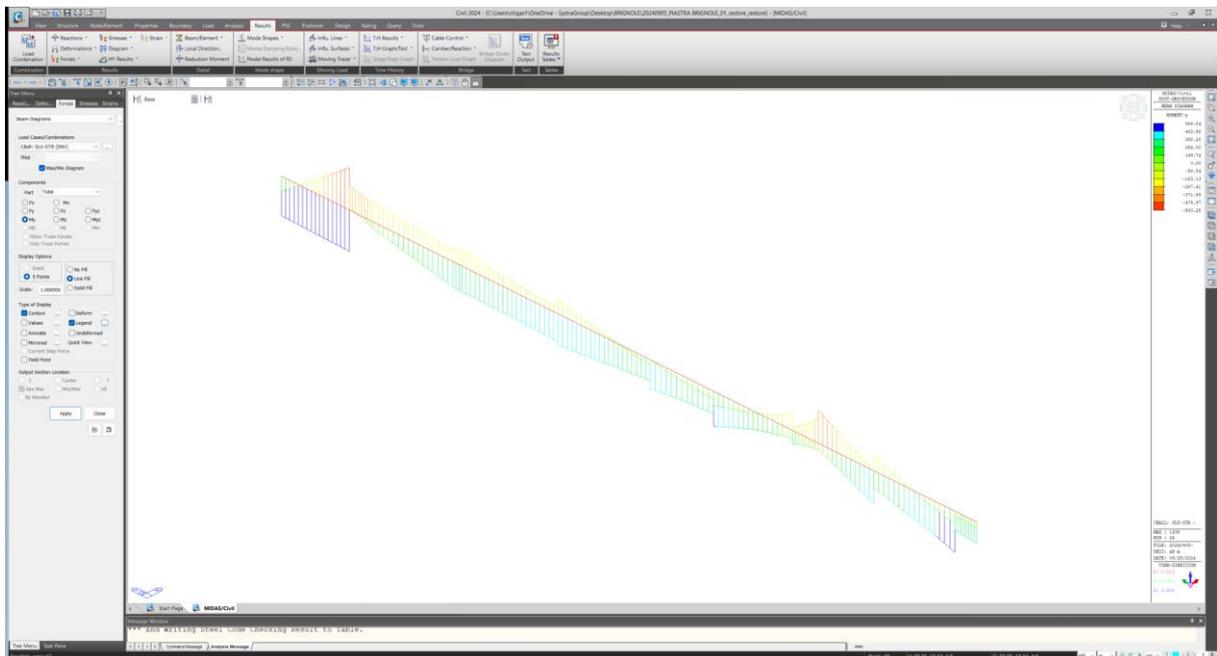
## 9.4 Trasverso 200 x 70 cm

### 9.4.1 Condizione di involuppo delle combinazioni di carico allo Stato Limite Ultimo - STR

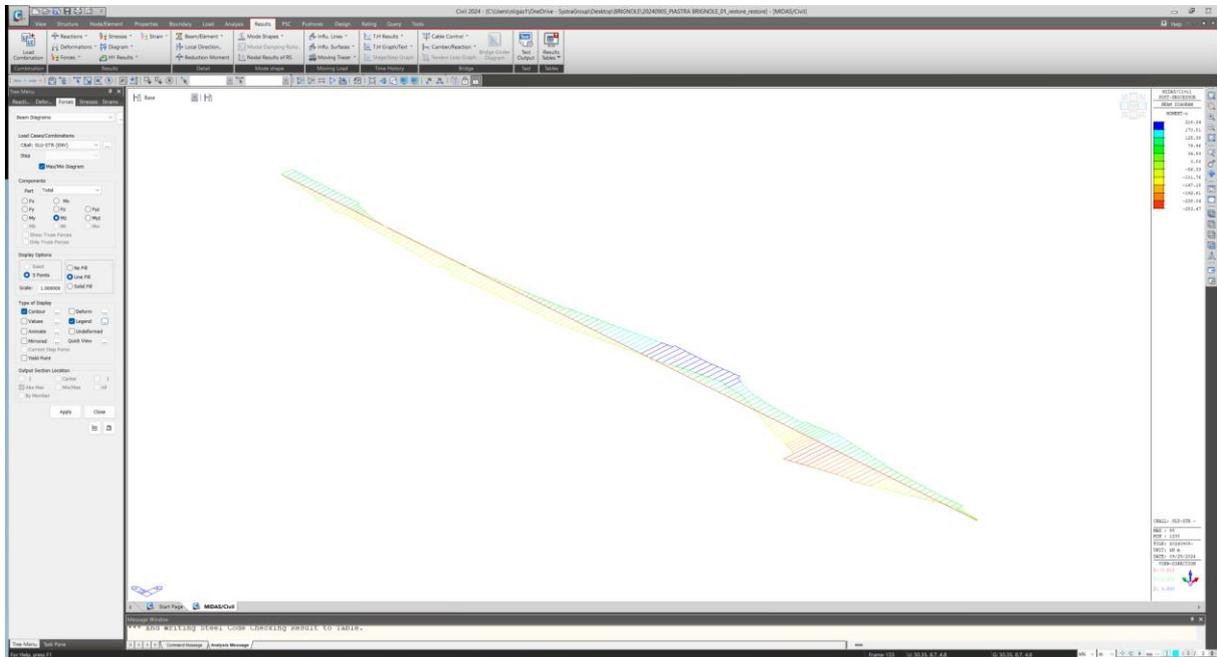
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione normale:



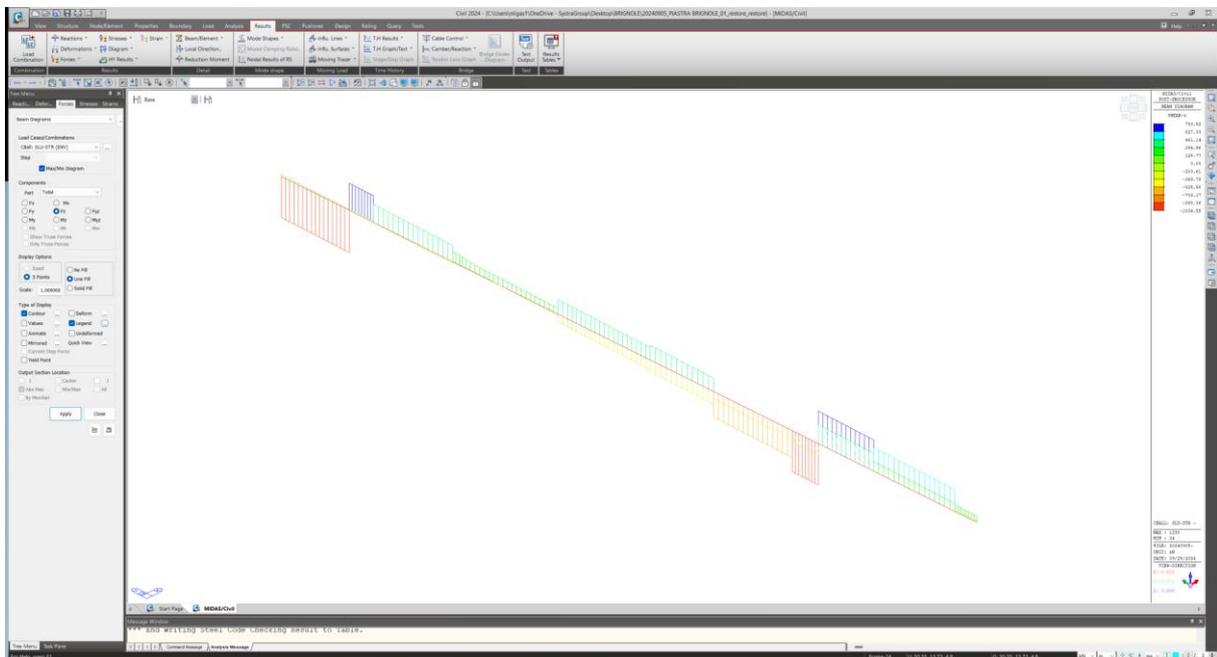
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento flettente longitudinale:



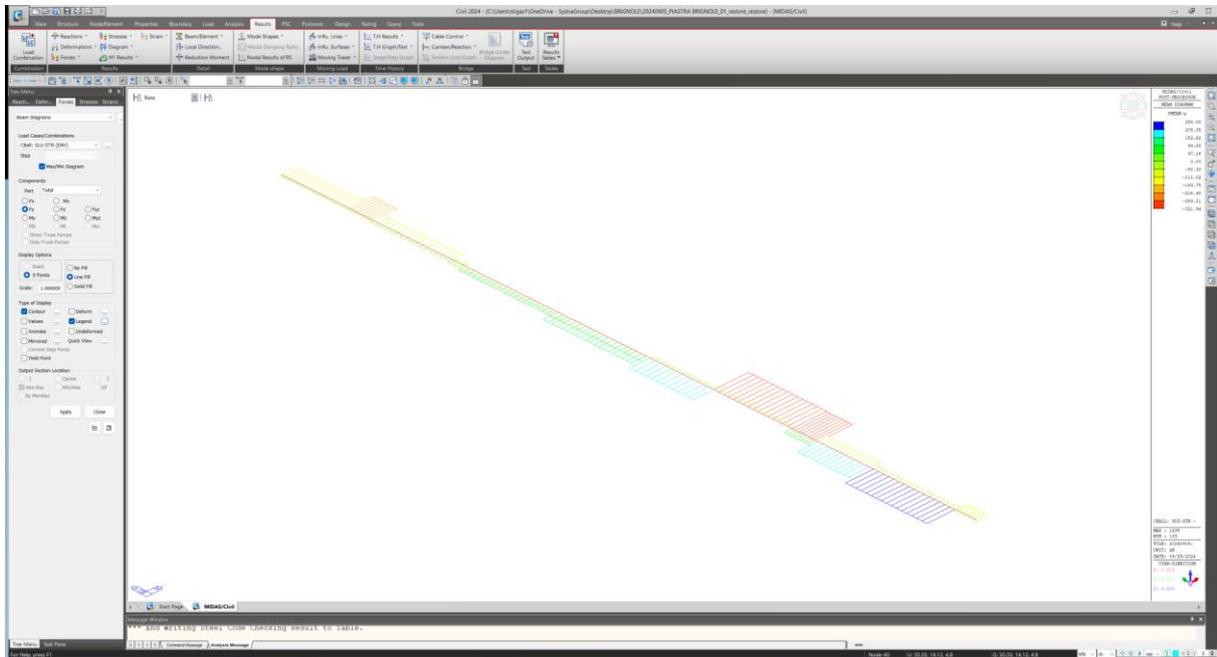
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento flettente trasversale:



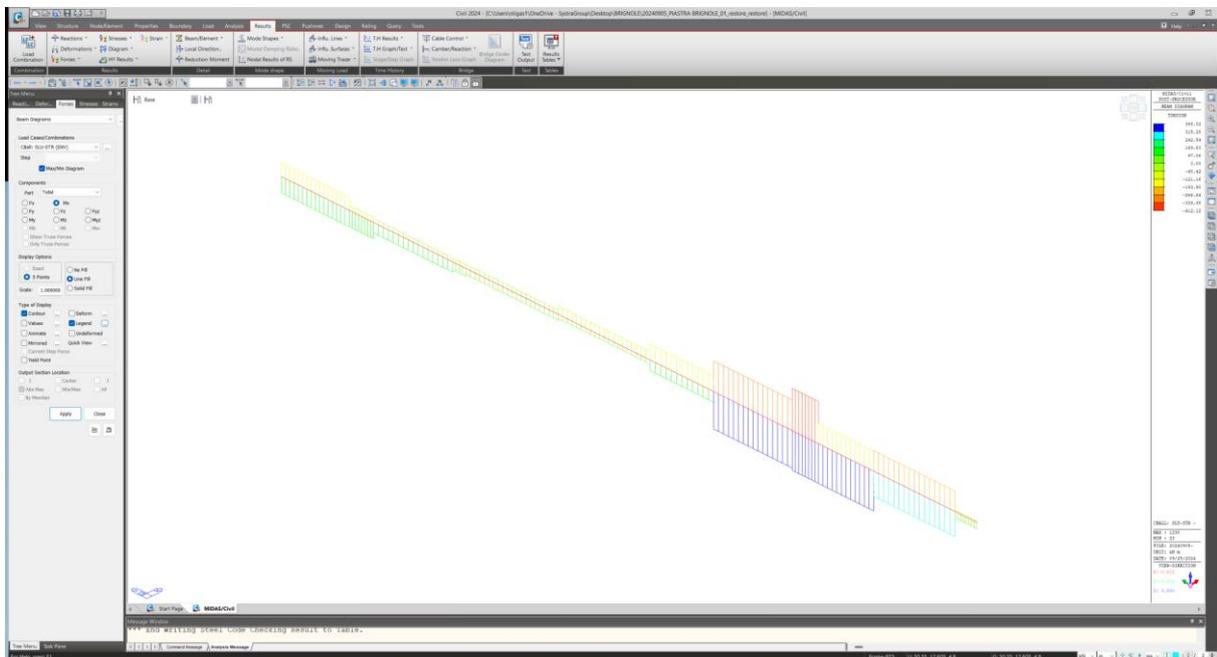
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione tagliante longitudinale:



Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione tagliante trasversale:

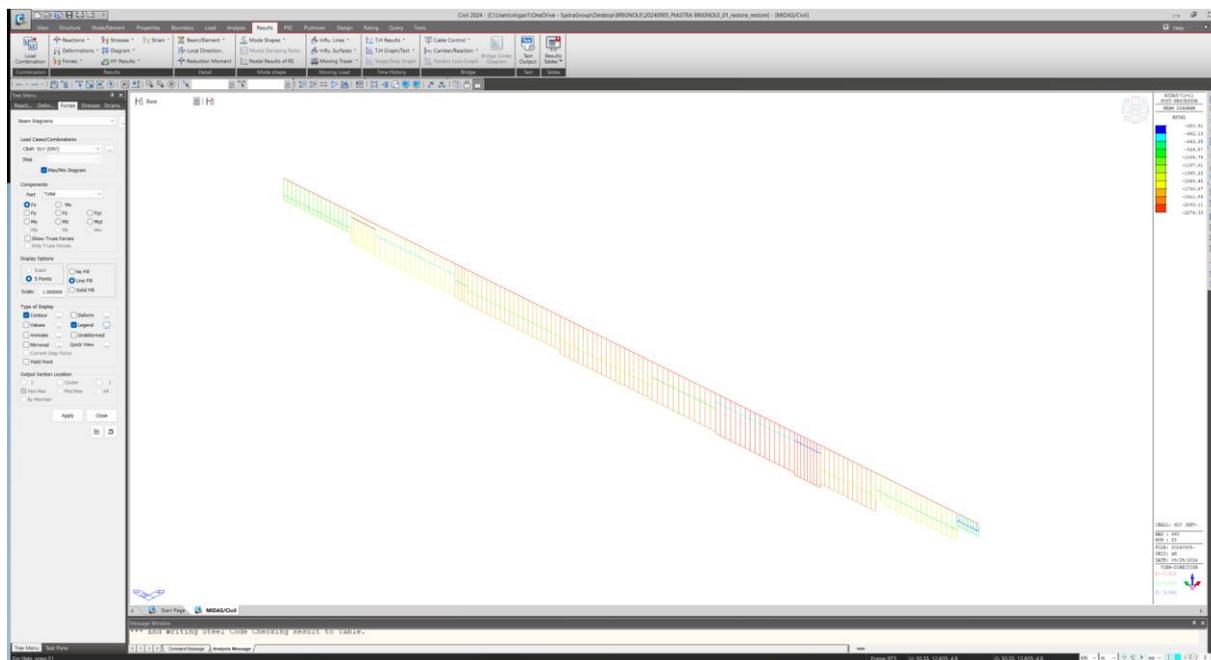


Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento torcente:

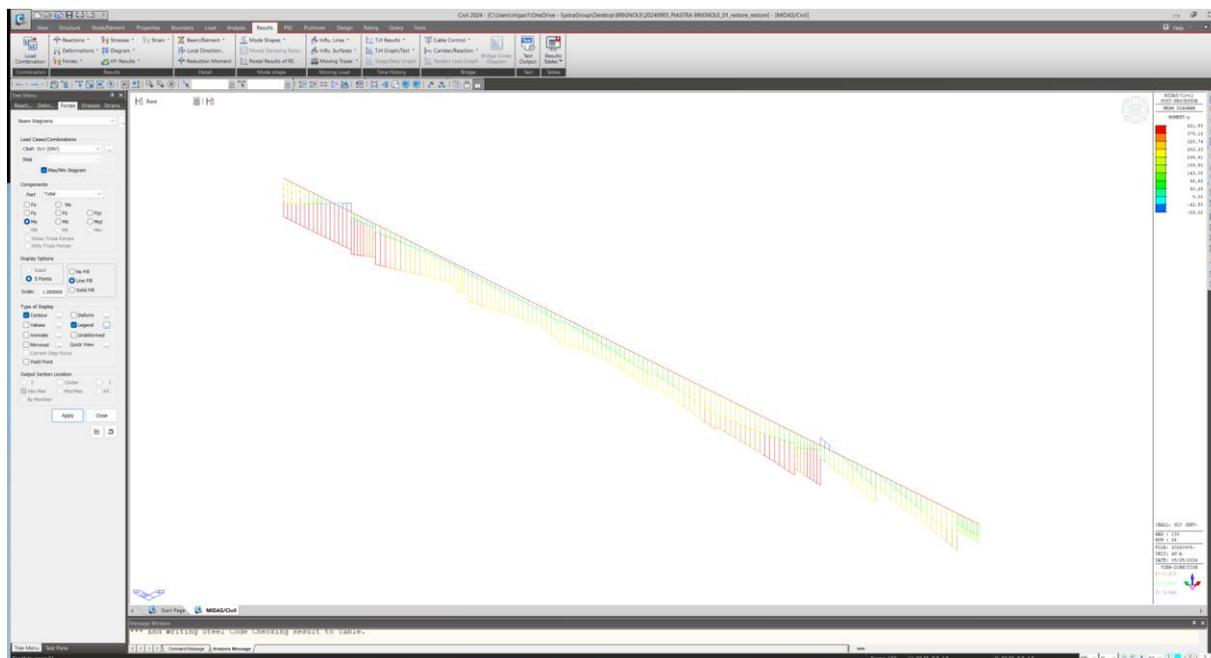


## 9.4.2 Condizione di inviluppo delle combinazioni di carico allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita

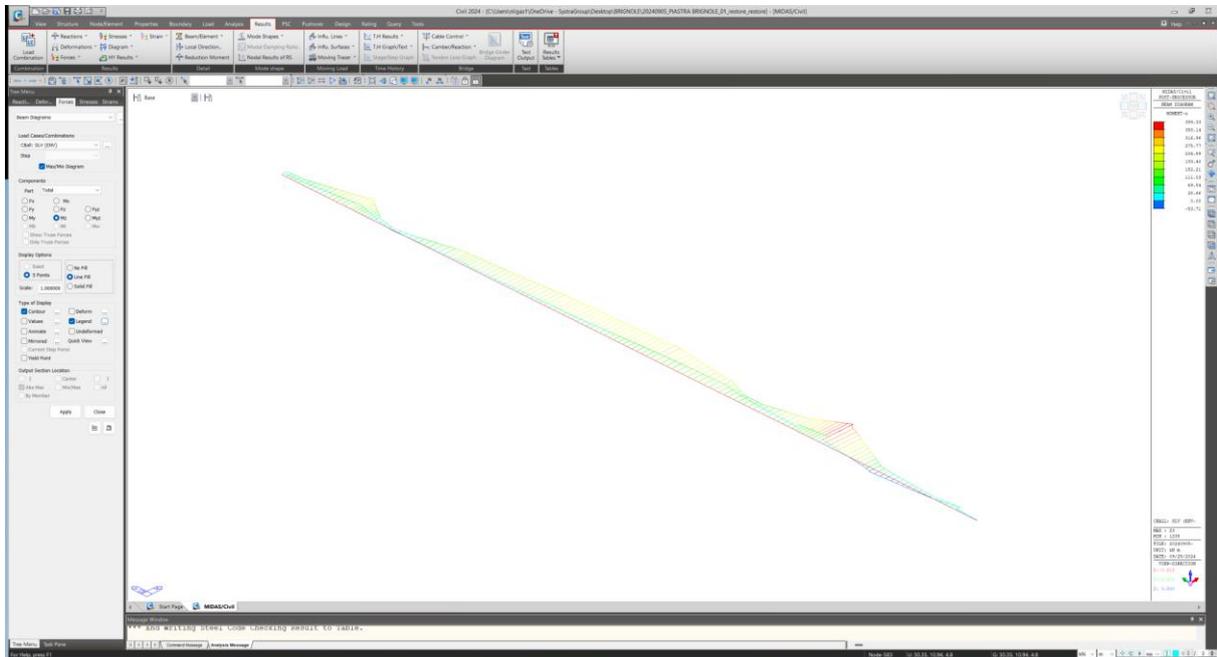
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione normale:



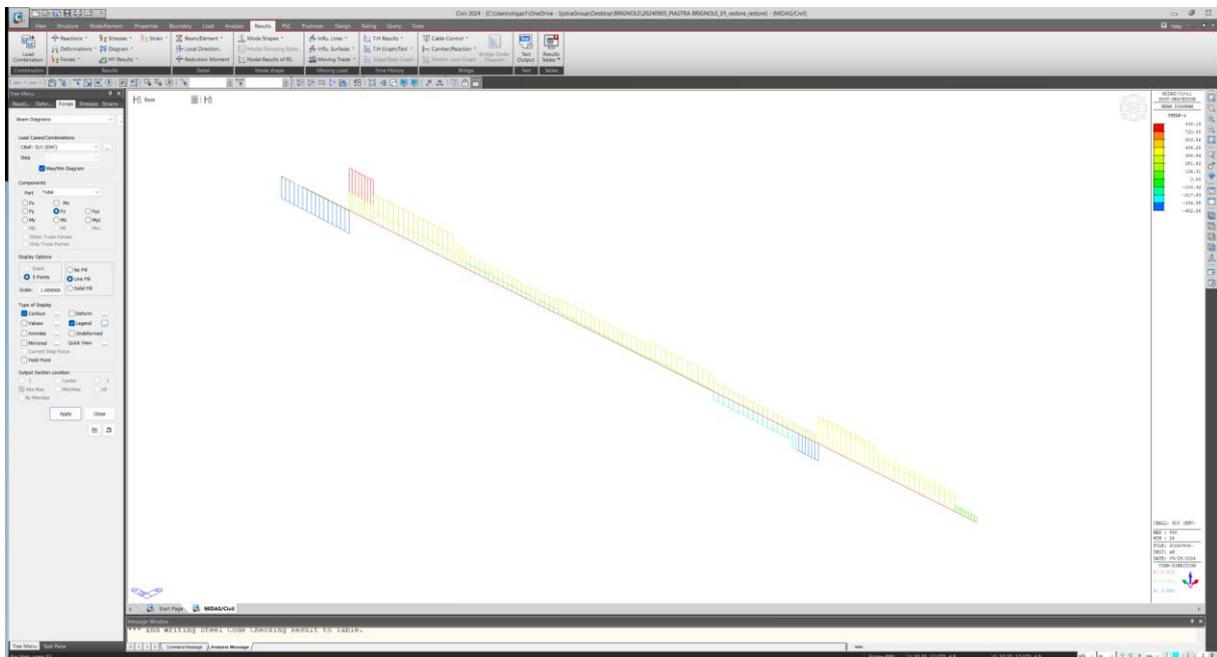
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento flettente longitudinale:



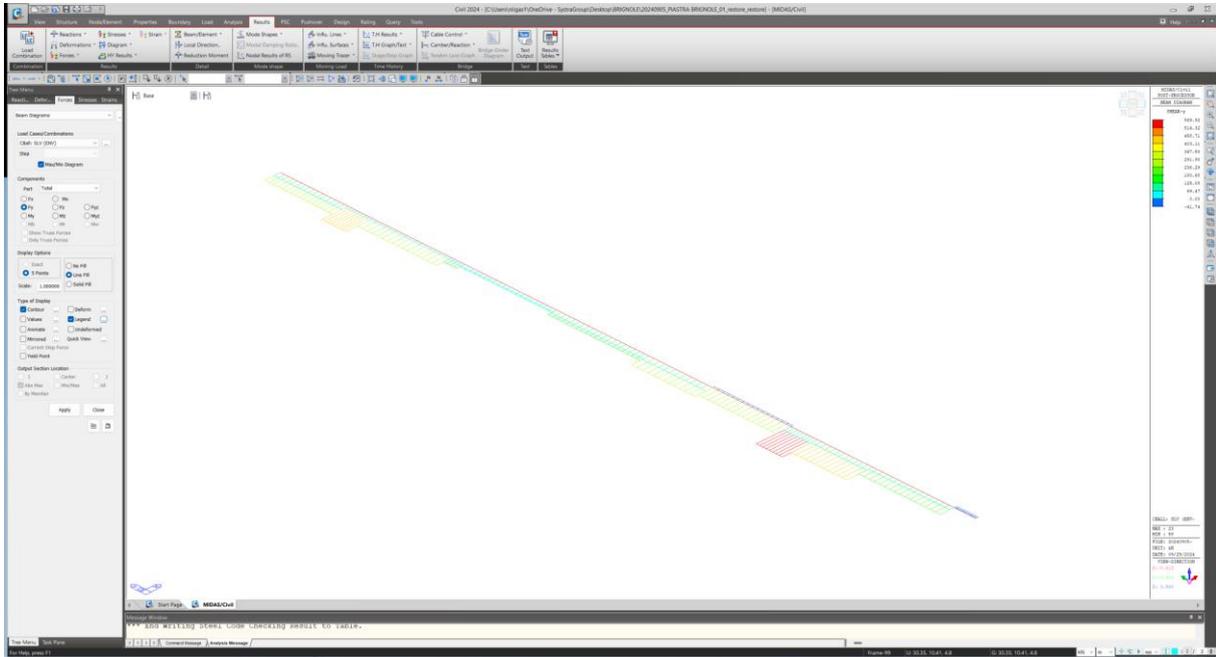
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento flettente trasversale:



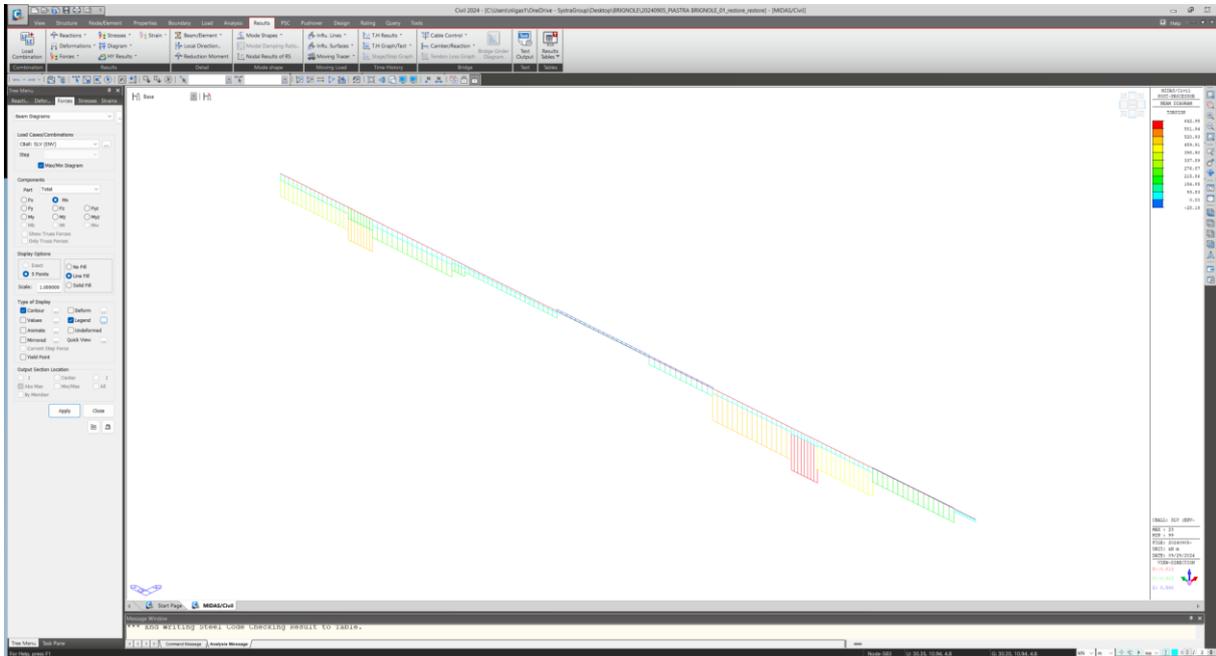
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione tagliante longitudinale:



Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione tagliante trasversale:



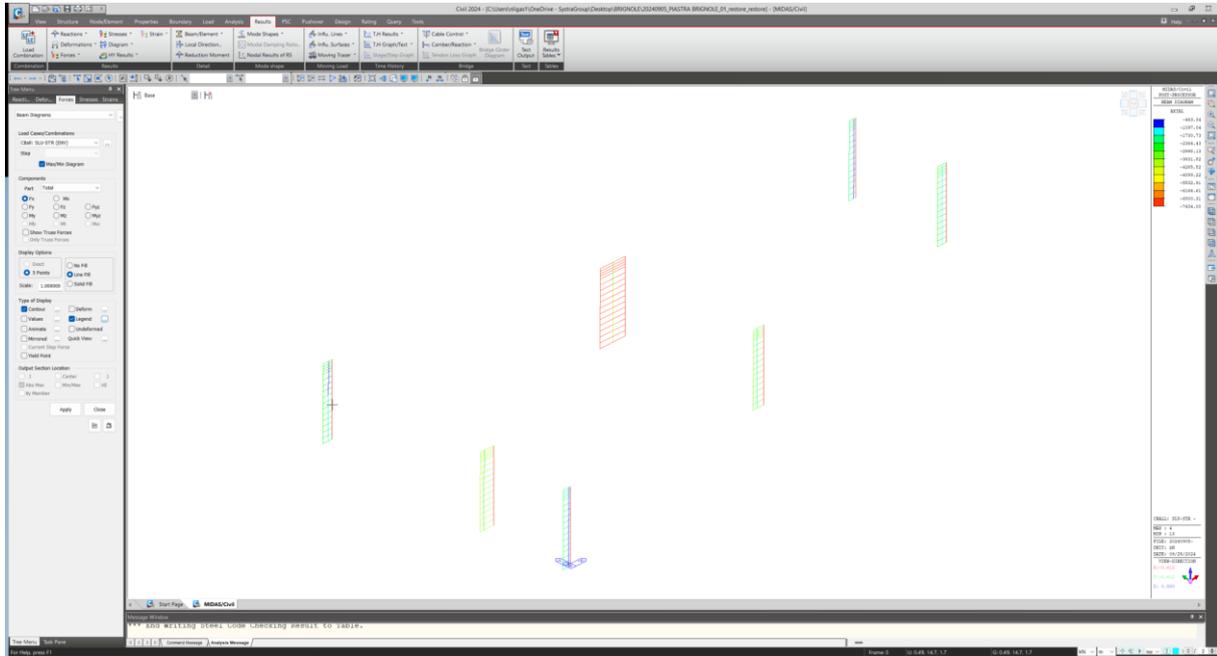
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento torcente:



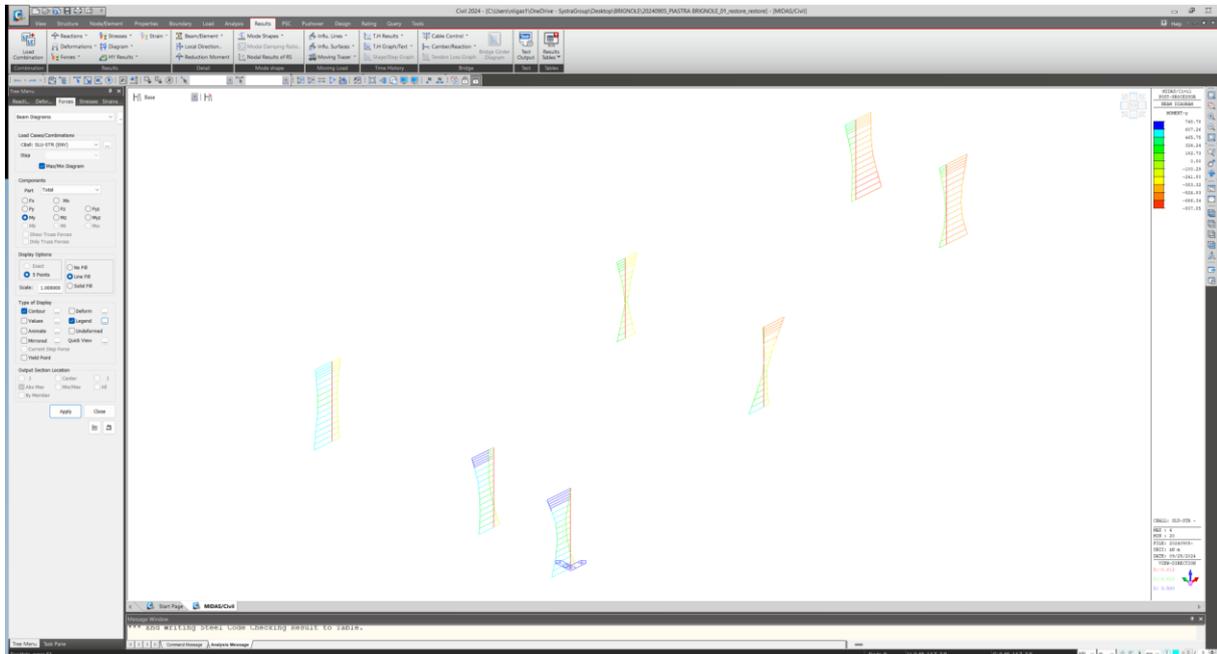
## 9.5 Colonne Ø1000 mm

### 9.5.1 Condizione di involuppo delle combinazioni di carico allo Stato Limite Ultimo - STR

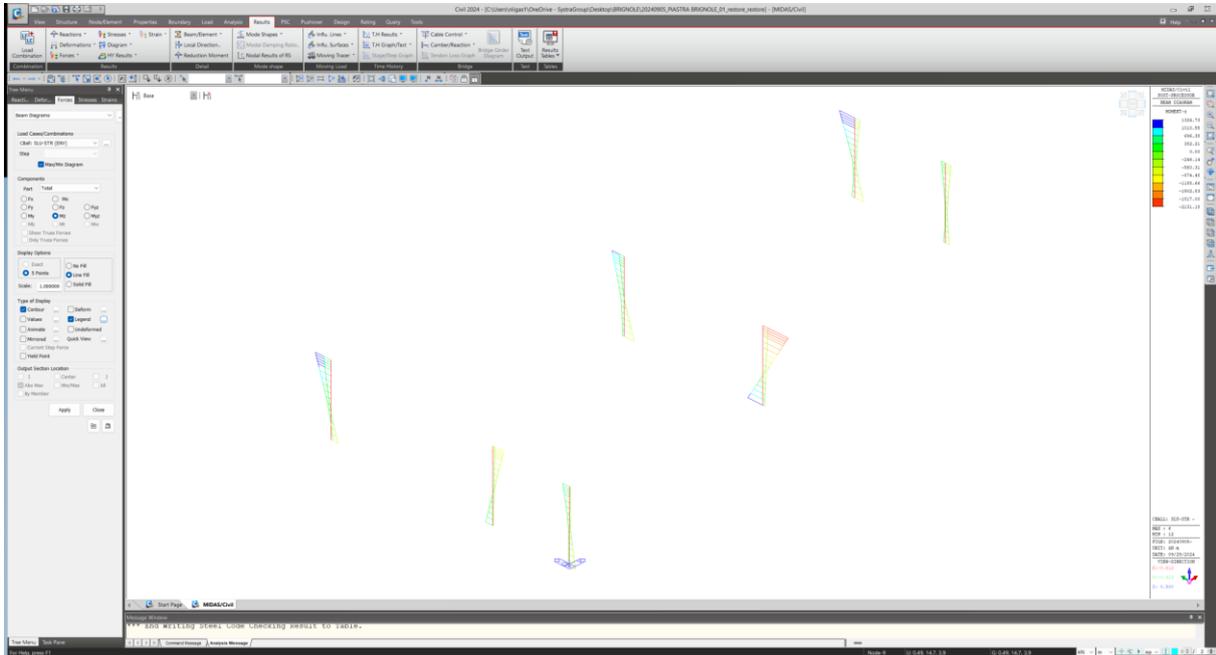
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione normale:



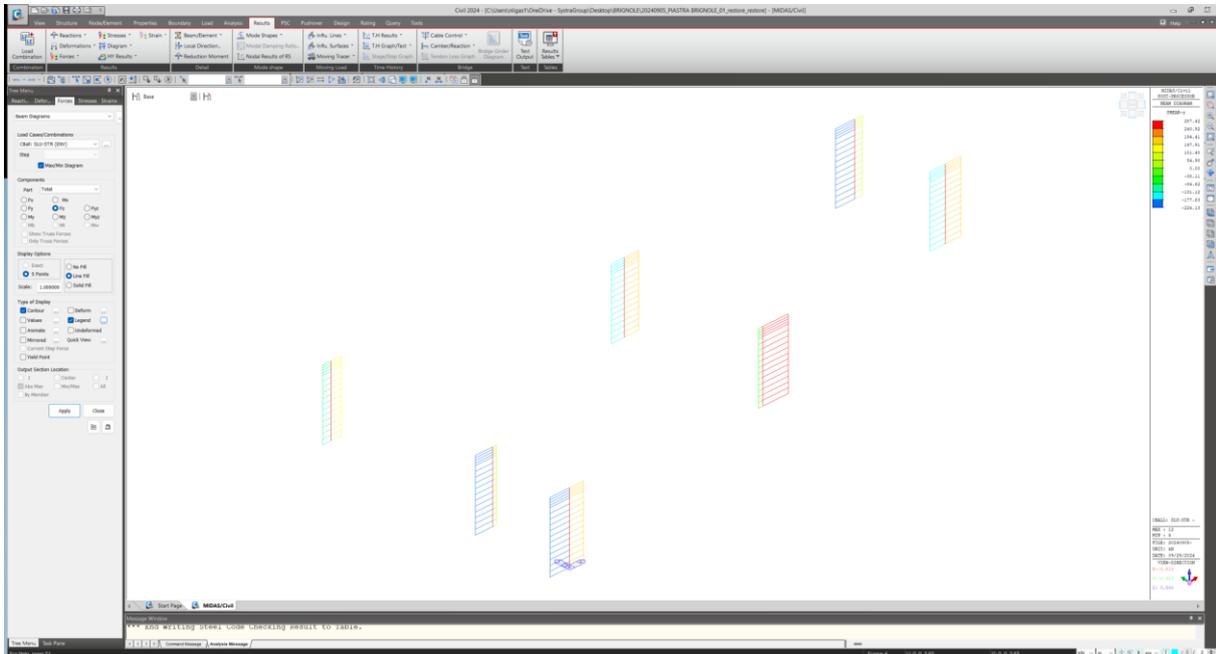
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento flettente longitudinale:



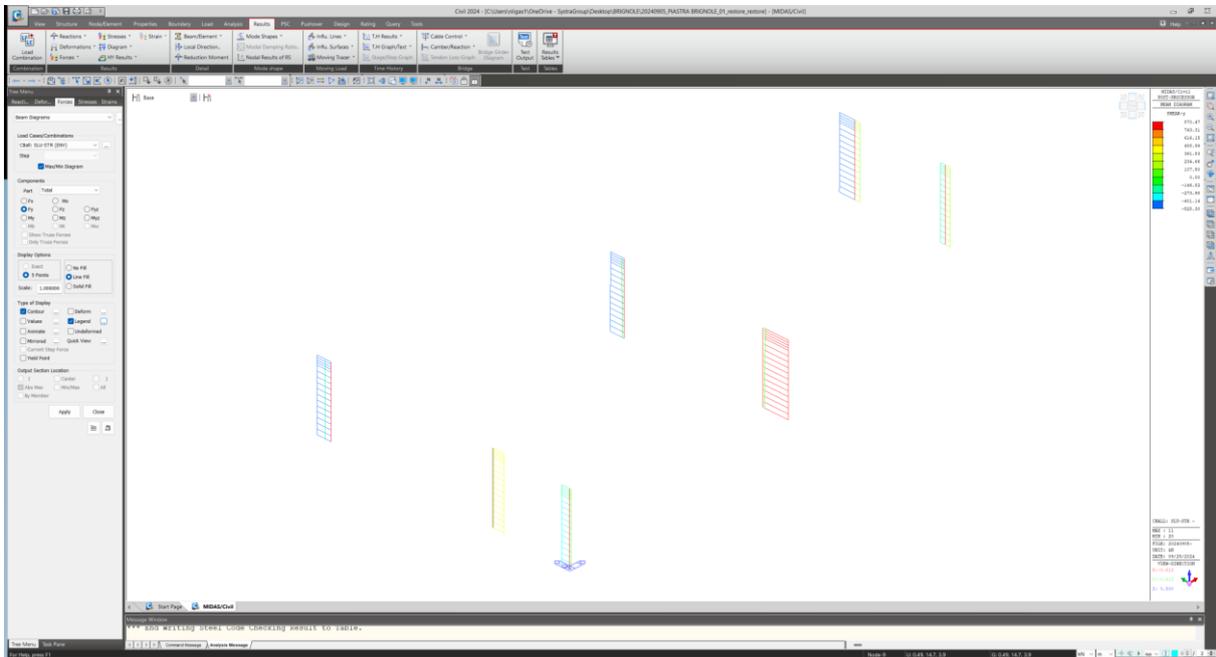
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento flettente trasversale:



Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione tagliante longitudinale:

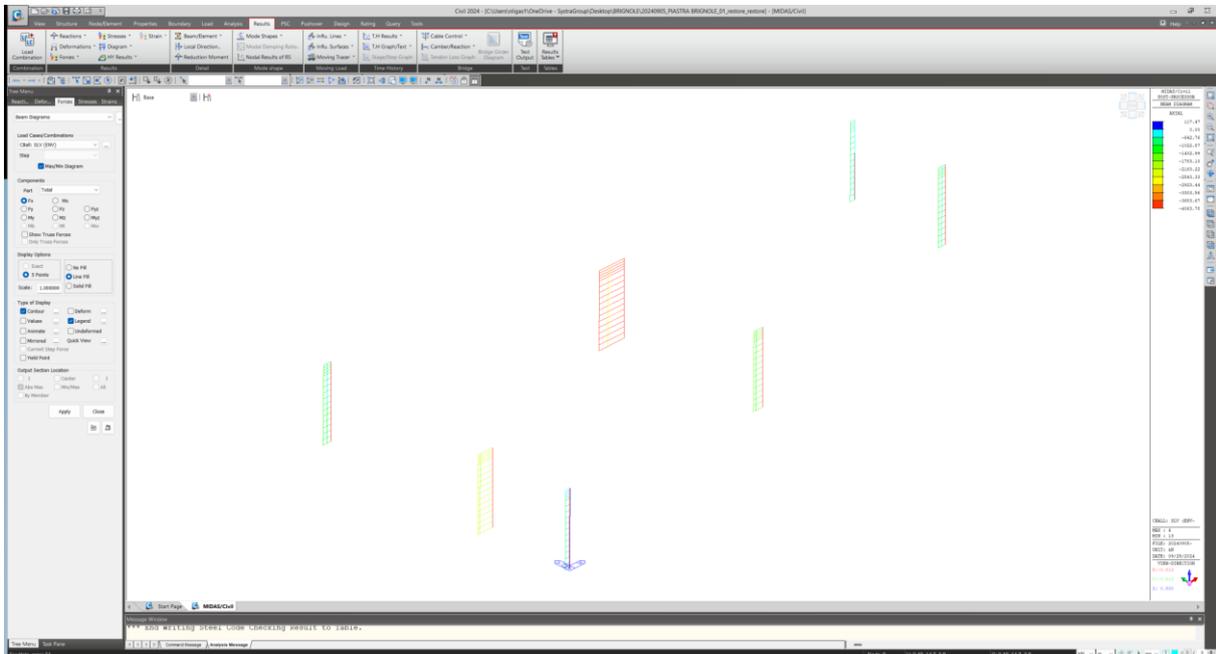


Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione tagliante trasversale:

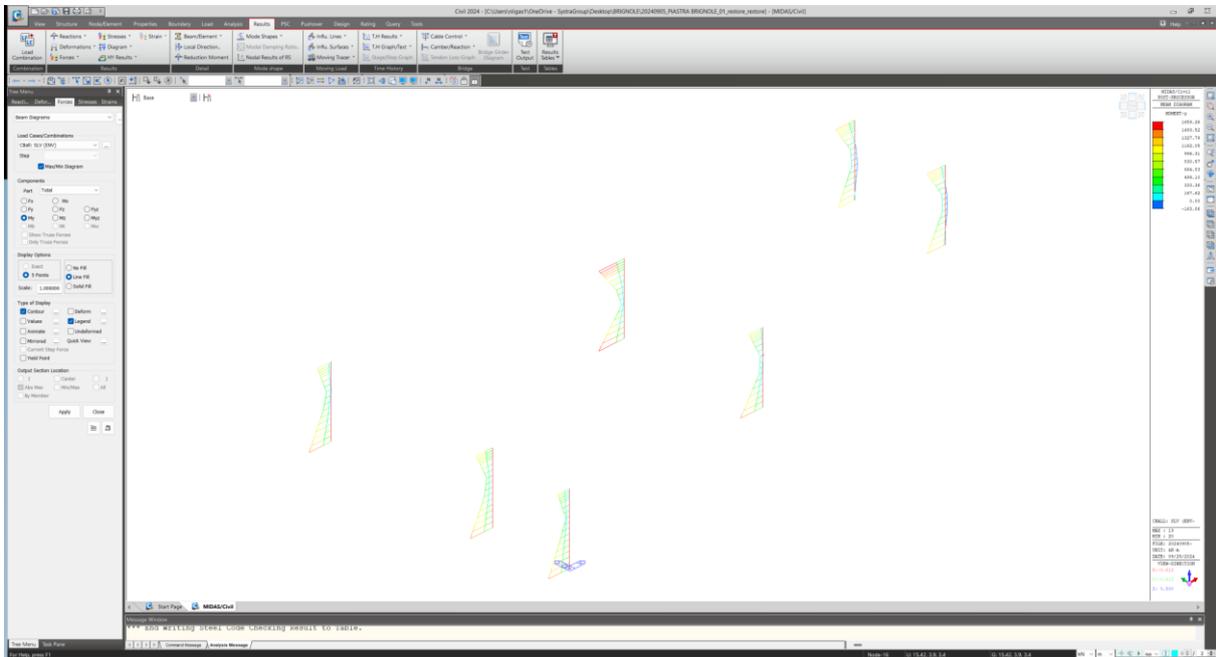


## 9.5.2 Condizione di inviluppo delle combinazioni di carico allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita

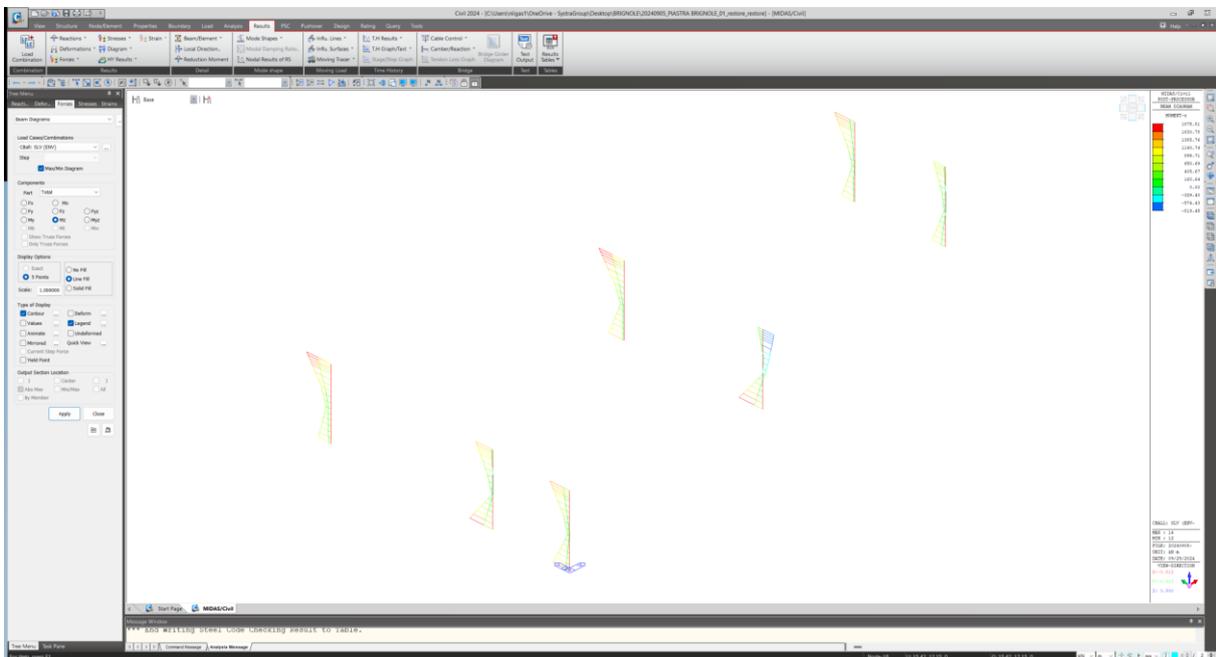
Nell'immagine successiva è riportato l'andamento dell'azione normale:



Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento flettente longitudinale:



Nell'immagine successiva è riportato l'andamento del momento flettente trasversale:





## 10. SOLETTA H = 70,0 CM – VERIFICHE STRUTTURALI

Per la valutazione delle azioni sollecitanti di calcolo utilizzati nelle verifiche sono state considerate le seguenti condizioni di carico per le due direzioni ortogonali.

### DIREZIONE LONGITUDINALE

- $N_{LONG,MAX}$  → Azione normale (membranale) longitudinale massima (positiva se di trazione)
- $N_{LONG,MIN}$  → Azione normale (membranale) longitudinale massima (positiva se di trazione)
- $M_{LONG,MAX}$  → Momento flettente longitudinale massimo
- $M_{LONG,MIN}$  → Momento flettente longitudinale minimo
- $V_{LONG,MAX}$  → Azione tagliante longitudinale massima
- $V_{LONG,MIN}$  → Azione tagliante longitudinale minima

### DIREZIONE VERTICALE

- $N_{TRASV,MAX}$  → Azione normale (membranale) verticale massima (positiva se di trazione)
- $N_{TRASV,MIN}$  → Azione normale (membranale) verticale massima (positiva se di trazione)
- $M_{TRASV,MAX}$  → Momento flettente verticale massimo
- $M_{TRASV,MIN}$  → Momento flettente verticale minimo
- $V_{TRASV,MAX}$  → Azione tagliante verticale massima
- $V_{TRASV,MIN}$  → Azione tagliante verticale minima

Le azioni normali di compressione sono state indicate con segno negativo.

Nella tabella successiva sono riepilogati i valori delle azioni sollecitanti di calcolo utilizzati per le verifiche per lo Stato Limite Ultimo statico (STR) e sismico (SLV):

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{LONG,Sd}$ [kN]	$N_{TRASV,Sd}$ [kN]	$M_{LONG,Sd}$ [kNm]	$M_{TRASV,Sd}$ [kNm]	$V_{LONG,Sd}$ [kN]	$V_{TRASV,Sd}$ [kN]
$N_{LONG,MAX}$	2115	SLU-STR.66(max)	<b>4.602,12</b>	596,43	-26,75	52,18	-0,63	-41,52
$N_{LONG,MIN}$	1913	SLU-STR.64(min)	<b>-3.223,57</b>	-404,35	-7,86	-71,57	-1,09	-39,94
$N_{TRASV,MAX}$	1415	SLU-STR.68(max)	2.705,37	<b>5.717,65</b>	-118,32	310,40	-249,85	-358,20
$N_{TRASV,MIN}$	2499	SLU-STR.64(min)	-1.360,66	<b>-3.427,07</b>	-254,04	87,34	10,73	-106,63
$M_{LONG,MAX}$	543	SLU-STR.72(max)	1.470,59	447,56	<b>347,65</b>	369,86	161,57	96,17
$M_{LONG,MIN}$	1392	SLV.02(min)	371,13	888,62	<b>-1.268,49</b>	-213,88	120,36	-244,11
$M_{TRASV,MAX}$	1357	SLU-STR.72(max)	295,63	463,06	16,67	<b>526,11</b>	174,82	130,84
$M_{TRASV,MIN}$	1273	SLU-STR.61(min)	-2.073,01	1.393,90	-664,74	<b>-453,36</b>	-964,49	290,40
$V_{LONG,MAX}$	1392	SLU-STR.19(min)	-2.033,11	-47,20	-746,02	-115,91	<b>2.244,55</b>	-441,03
$V_{LONG,MIN}$	1737	SLU-STR.66(min)	-385,18	1.497,48	-638,72	-406,14	<b>-1.823,10</b>	-334,62
$V_{TRASV,MAX}$	941	SLU-STR.64(max)	1.721,62	2.607,05	-360,58	-377,32	1.124,70	<b>558,96</b>
$V_{TRASV,MIN}$	1313	SLU-STR.68(min)	9,69	320,33	-147,37	96,06	-440,15	<b>-729,60</b>

Nella tabella successiva sono riepilogati i valori delle azioni sollecitanti di calcolo utilizzati per le verifiche per lo Stato Limite di Esercizio (Combinazioni Caratteristiche):

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	N <sub>LONG,Sd</sub> [kN]	N <sub>TRASV,Sd</sub> [kN]	M <sub>LONG,Sd</sub> [kNm]	M <sub>TRASV,Sd</sub> [kNm]	V <sub>LONG,Sd</sub> [kN]	V <sub>TRASV,Sd</sub> [kN]
N <sub>LONG,MAX</sub>	2115	SLE-CAR.66(max)	<b>3.152,73</b>	406,83	-19,73	35,38	-0,64	-29,30
N <sub>LONG,MIN</sub>	1913	SLE-CAR.64(min)	<b>-2.157,94</b>	-276,11	-4,10	-47,64	-0,76	-28,25
N <sub>TRASV,MAX</sub>	1415	SLE-CAR.68(max)	2.057,82	<b>4.369,27</b>	-81,77	237,40	-167,19	-260,89
N <sub>TRASV,MIN</sub>	2499	SLE-CAR.16(min)	-1.000,90	<b>-2.691,92</b>	-217,99	90,83	28,92	-71,76
M <sub>LONG,MAX</sub>	543	SLE-CAR.72(max)	1.044,13	328,67	<b>243,57</b>	256,49	114,05	67,55
M <sub>LONG,MIN</sub>	1392	SLE-CAR.19(max)	465,14	1.481,96	<b>-690,18</b>	-68,71	1.202,96	-247,38
M <sub>TRASV,MAX</sub>	1357	SLE-CAR.72(max)	229,66	371,08	8,70	<b>387,31</b>	114,96	61,51
M <sub>TRASV,MIN</sub>	1273	SLE-CAR.61(min)	-1.367,75	1.104,24	-472,66	<b>-323,58</b>	-686,32	216,86
V <sub>LONG,MAX</sub>	1392	SLE-CAR.19(min)	-1.214,62	188,24	-548,02	-83,99	<b>1.636,54</b>	-317,35
V <sub>LONG,MIN</sub>	1737	SLE-CAR.66(min)	-312,41	1.228,14	-446,26	-297,35	<b>-1.350,44</b>	-246,13
V <sub>TRASV,MAX</sub>	941	SLE-CAR.64(max)	1.160,59	1.978,94	-271,22	-272,84	801,40	<b>397,77</b>
V <sub>TRASV,MIN</sub>	1313	SLE-CAR.68(min)	32,38	338,90	-110,31	78,63	-309,80	<b>-525,64</b>

## 10.1 Sezione e armatura di verifica

La sezione di verifica è assunta rettangolare con base pari a **100,0 cm** e altezza pari a **40,0 cm**.

L'armatura orizzontale è costituita da:

### DIREZIONE LONGITUDINALE

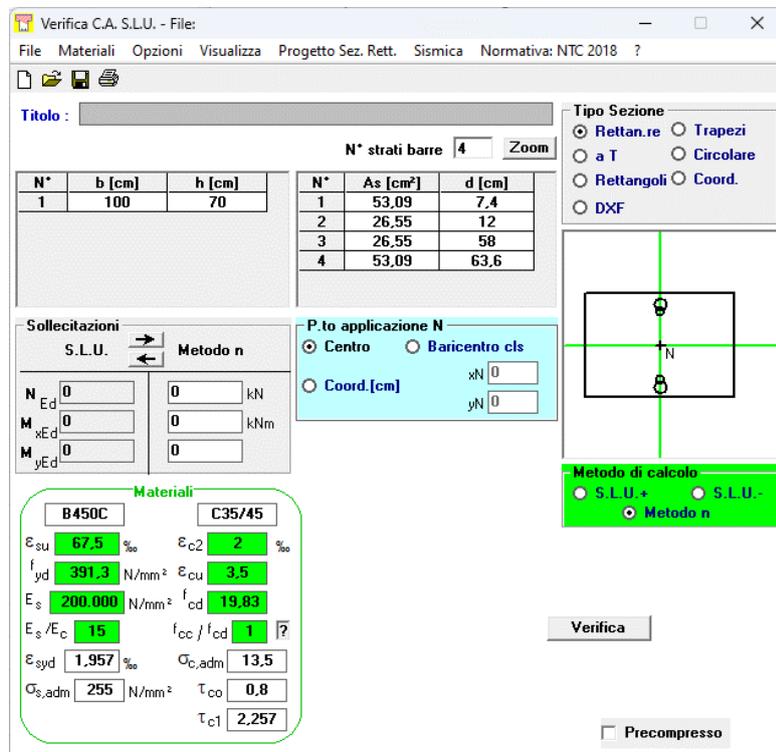
- $\varnothing 26/10$  superiori (I STRATO)
- $\varnothing 26/20$  superiori (II STRATO)
- $\varnothing 26/10$  inferiori (I STRATO)
- $\varnothing 26/20$  superiori (II STRATO)

### DIREZIONE TRASVERSALE

- $\varnothing 26/10$  superiori (I STRATO)
- $\varnothing 26/10$  superiori (II STRATO)
- $\varnothing 26/10$  inferiori (I STRATO)
- $\varnothing 26/20$  superiori (II STRATO)

L'armatura a taglio è costituita da spille  $\varnothing 16/20 \times 20$ . Il copriferro netto minimo è assunto pari a **45 mm**.

Nell'immagine seguente è riportato il form di verifica della sezione in direzione longitudinale:



Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo: \_\_\_\_\_

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	70	1	53,09	7,4
			2	26,55	12
			3	26,55	58
			4	53,09	63,6

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.  
 DXF

Sollecitazioni  
 S.L.U.  Metodo n

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

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

Verifica

Precompresso

Materiali

B450C		C35/45	
$\epsilon_{su}$	67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	391,3 N/mm²	$\epsilon_{cu}$	3,5 ‰
$E_s$	200.000 N/mm²	$f_{cd}$	19,83
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	1
$\epsilon_{syd}$	1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	13,5
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	$\tau_{co}$	0,8
		$\tau_{c1}$	2,257

Nell'immagine seguente è riportato il form di verifica della sezione in direzione trasversale:

Verifica C.A. S.L.U. - File: \_ □ ×

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo :

N\* strati barre  Zoom

N*	b [cm]	h [cm]
1	100	70

N*	As [cm²]	d [cm]
1	53,09	10
2	53,09	15,2
3	53,09	54,8
4	53,09	60

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.  
 DXF

Sollecitazioni  
 S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>   kN  
 M<sub>xEd</sub>   kNm  
 M<sub>yEd</sub>

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

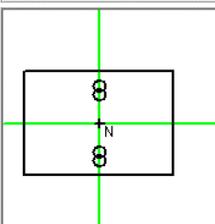
Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Verifica

Precompresso

Materiali

B450C		C35/45	
$\epsilon_{su}$	67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	391,3 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$	3,5 ‰
$E_s$	200.000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	19,83
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	1
$\epsilon_{syd}$	1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	13,5
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$	0,8
		$\tau_{c1}$	2,257



## 10.1 Verifica allo Stato Limite di Esercizio di limitazione delle tensioni

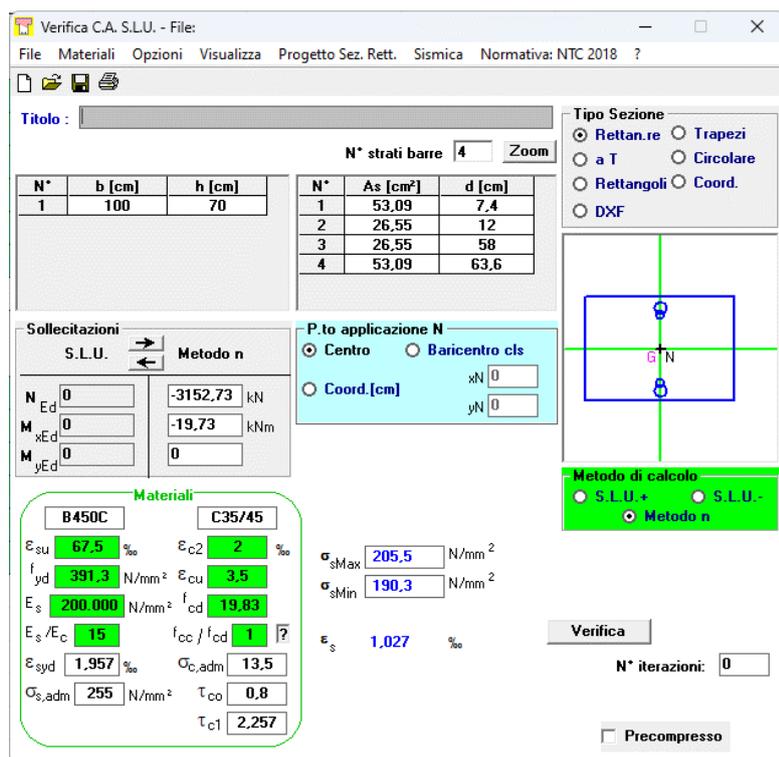
### 10.1.1 Direzione longitudinale

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite di Limitazione delle tensione per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche.

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{LONG,Ed}$ [kN]	$M_{LONG,Ed}$ [kNm]	$\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$0,60 \cdot f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$0,80 \cdot f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\rho$	$C_{Sic}$
$N_{LONG,MAX}$	2115	SLE-CAR.66(max)	3.152,73	-19,73	0,00	22,41	205,50	360,00	0,57	1,75
$N_{LONG,MIN}$	1913	SLE-CAR.64(min)	-2.157,94	-4,10	2,36	22,41	0,00	360,00	0,11	9,50
$M_{LONG,MAX}$	543	SLE-CAR.72(max)	1.044,13	243,57	0,55	22,41	125,90	360,00	0,35	2,86
$M_{LONG,MIN}$	1392	SLE-CAR.19(max)	465,14	-690,18	6,18	22,41	197,40	360,00	0,55	1,82
$V_{LONG,MAX}$	1392	SLE-CAR.19(min)	-1.214,62	-548,02	6,25	22,41	67,04	360,00	0,28	3,59
$V_{LONG,MIN}$	1737	SLE-CAR.66(min)	-312,41	-446,26	4,60	22,41	90,72	360,00	0,25	3,97

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,57** in corrispondenza della condizione  $N_{LONG,MAX}$ .

Di seguito è riportato il form di verifica per la condizione maggiormente gravosa:



Verifica C.A. S.L.U. - File:

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo: \_\_\_\_\_

N° strati barre: 4 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	70	1	53,09	7,4
			2	26,55	12
			3	26,55	58
			4	53,09	63,6

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0      -3152,73 kN  
M<sub>xEd</sub>: 0      -19,73 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0      0

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls  
Coord.[cm]: xN 0, yN 0

Materiali: B450C C35/45

$E_{su}$ : 67,5 ‰       $E_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391,3 N/mm<sup>2</sup>       $E_{cu}$ : 3,5  
 $E_s$ : 200.000 N/mm<sup>2</sup>       $f_{cd}$ : 19,83  
 $E_s/E_c$ : 15       $f_{cc}/f_{cd}$ : 1  
 $E_{syd}$ : 1,957 ‰       $\sigma_{c,adm}$ : 13,5  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>       $\tau_{co}$ : 0,8  
    $\tau_{c1}$ : 2,257

$\sigma_{sMax}$ : 205,5 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{sMin}$ : 190,3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_s$ : 1,027 ‰

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

Verifica

N° iterazioni: 0

Precompresso

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = - N/mm^2$  (SEZIONE TESA)
- $\sigma_s = 205,50 N/mm^2 < 0,80 \cdot f_{yk} = 360,00 N/mm^2$

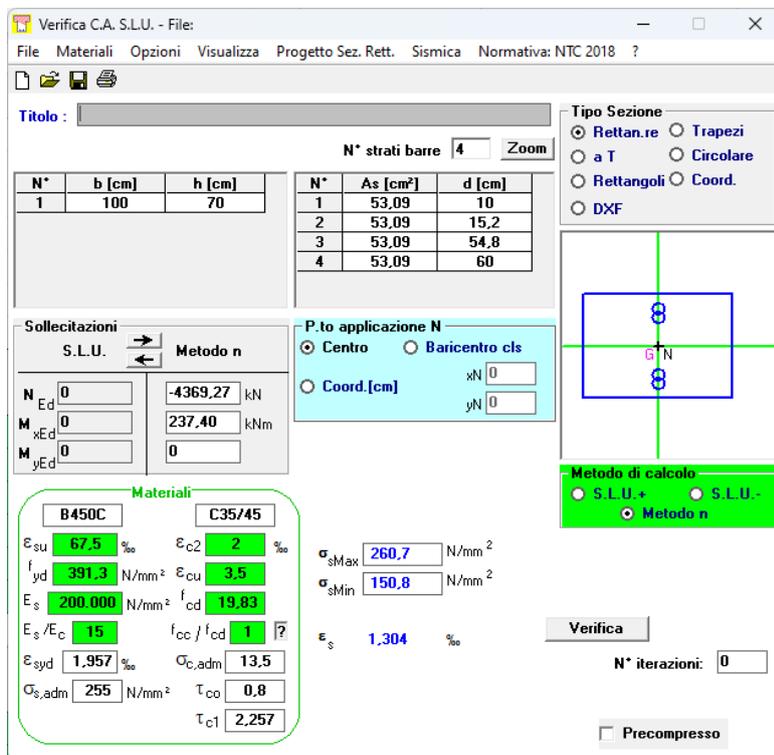
## 10.1.2 Direzione trasversale

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite di Limitazione delle tensioni per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche.

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{TRASV,Sd}$ [kN]	$M_{TRASV,Sd}$ [kNm]	$\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$0,60 \cdot f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$0,80 \cdot f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\rho$	$C_{sic}$
$N_{TRASV,MAX}$	1415	SLE-CAR.68(max)	4.369,27	237,40	0,00	22,41	260,70	360,00	0,72	1,38
$N_{TRASV,MIN}$	2499	SLE-CAR.16(min)	-2.691,92	90,83	3,35	22,41	0,00	360,00	0,15	6,68
$M_{TRASV,MAX}$	1357	SLE-CAR.72(max)	371,08	387,31	3,65	22,41	100,30	360,00	0,28	3,59
$M_{TRASV,MIN}$	1273	SLE-CAR.61(min)	1.104,24	-323,58	2,18	22,41	123,60	360,00	0,34	2,91
$V_{TRASV,MAX}$	941	SLE-CAR.64(max)	1.978,94	-272,84	0,00	22,41	156,40	360,00	0,43	2,30
$V_{TRASV,MIN}$	1313	SLE-CAR.68(min)	338,90	78,63	0,43	22,41	33,61	360,00	0,09	10,71

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,72** in corrispondenza della condizione  $N_{TRASV,MAX}$ .

Di seguito è riportato il form di verifica per la condizione maggiormente gravosa:



The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. Key sections include:

- Titolo:** Empty field.
- N\* strati barre:** 4.
- Table 1:**

N*	b [cm]	h [cm]
1	100	70
- Table 2:**

N*	As [cm <sup>2</sup> ]	d [cm]
1	53,09	10
2	53,09	15,2
3	53,09	54,8
4	53,09	60
- Sollecitazioni:**
  - S.L.U. Metodo n:**
    - $N_{Ed}$ : 0
    - $M_{xEd}$ : 0
    - $M_{yEd}$ : 0
    - Applied  $N$ : -4369,27 kN
    - Applied  $M$ : 237,40 kNm
- P.to applicazione N:**
  - Centro
  - Baricentro cls
  - Coord. [cm]
- Materiali:**
  - B450C:**  $\epsilon_{su}$ : 67,5‰;  $f_{yd}$ : 391,3 N/mm<sup>2</sup>;  $E_s$ : 200.000 N/mm<sup>2</sup>;  $E_s/E_c$ : 15;  $\epsilon_{syd}$ : 1,957‰;  $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>
  - C35/45:**  $\epsilon_{c2}$ : 2‰;  $\epsilon_{cu}$ : 3,5‰;  $f_{cd}$ : 19,83;  $\sigma_{c,adm}$ : 13,5;  $\tau_{co}$ : 0,8;  $\tau_{c1}$ : 2,257
- Stress Results:**
  - $\sigma_{sMax}$ : 260,7 N/mm<sup>2</sup>
  - $\sigma_{sMin}$ : 150,8 N/mm<sup>2</sup>
  - $\epsilon_s$ : 1,304‰
- Metodo di calcolo:**
  - S.L.U. +
  - S.L.U. -
  - Metodo n
- Verifica:**
  - Precompresso
  - N\* iterazioni: 0

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = - N/mm^2$  (SEZIONE TESA)
- $\sigma_s = 260,70 N/mm^2 < 0,80 \cdot f_{yk} = 360,00 N/mm^2$



## 10.2 Verifica allo Stato Limite di Esercizio per fessurazione

### 10.2.1 Direzione longitudinale

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite di Esercizio per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche.

L'apertura limite delle fessure per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche è stato assunto pari a:

$$w_{lim} = 0,30 \text{ mm}$$

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{LONG,SD}$ [kN]	$M_{LONG,SD}$ [kNm]	$W_d$ [mm]	$W_{lim}$ [mm]	$\rho$	$C_{SIC}$
$N_{LONG,MAX}$	2115	SLE-CAR.66(max)	3.152,73	-19,73	0,200	0,300	0,67	1,50
$N_{LONG,MIN}$	1913	SLE-CAR.64(min)	-2.157,94	-4,10	0,000	0,300	0,00	-
$M_{LONG,MAX}$	543	SLE-CAR.72(max)	1.044,13	243,57	0,100	0,300	0,33	3,00
$M_{LONG,MIN}$	1392	SLE-CAR.19(max)	465,14	-690,18	0,190	0,300	0,63	1,58
$V_{LONG,MAX}$	1392	SLE-CAR.19(min)	-1.214,62	-548,02	0,040	0,300	0,13	7,50
$V_{LONG,MIN}$	1737	SLE-CAR.66(min)	-312,41	-446,26	0,060	0,300	0,20	5,00

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,67** in corrispondenza della condizione  $N_{LONG,MAX}$ . Di seguito è riportato il form di verifica per la condizione maggiormente gravosa:

Geometria della sezione	
Altezza della sezione	$h = 700$ [mm]
Larghezza della sezione	$b = 1000$ [mm]
Altezza utile della sezione	$d = 626$ [mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	$d' = 74$ [mm]
Ricoprimento dell'armatura	$c = 45$ [mm]
<b>Armatura tesa ordinaria</b>	
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,1} = 10$ [-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,1} = 26$ [mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,1} = 5309$ [mm <sup>2</sup> ]
<b>Armatura tesa di infittimento</b>	
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,2} = 5$ [-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,2} = 26$ [mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,2} = 2655$ [mm <sup>2</sup> ]
Caratteristiche dei materiali	
Resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo	$f_{ck} = 37,35$ [MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	$f_{ctm} = 3,4$ [MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	$E_{cm} = 34625$ [MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	$f_{yk} = 450$ [MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	$E_s = 210000$ [MPa]
DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE	
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	$\sigma_s = 205,5$ [MPa]
Asse neutro della sezione	$x = 0$ [mm]
Tipo e durata dei carichi applicati	Lunga
Coefficiente di omogeneizzazione	$\alpha_e = 6,06$ [-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	$A_s = 7964$ [mm <sup>2</sup> ]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff,1} = 185000$ [mm <sup>2</sup> ]
	$A_{c,eff,2} = 233333$ [mm <sup>2</sup> ]
	$A_{c,eff,3} = 350000$ [mm <sup>2</sup> ]
	$A_{c,eff,min} = 185000$ [mm <sup>2</sup> ]



Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{s,eff}$	0,04305 [-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3,4 [MPa]
Fattore di durata del carico	$k_1$	0,4 [-]
<b>Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls</b>	$[e_{sm}-e_{cm}]_{min}$	0,000587 [-]
	$[e_{sm}-e_{cm}]_{calo.}$	0,000792 [-]
	<b><math>[e_{sm}-e_{cm}]</math></b>	<b>0,000792 [-]</b>
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	$s$	100 [mm]
Diametro equivalente delle barre	$\phi_{eq}$	26,00 [mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	290 [mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	$k_1$	0,800 [-]
	$k_2$	0,500 [-]
	$k_3$	3,400 [-]
	$k_4$	0,425 [-]
<b>Distanza massima tra le fessure</b>	$s_{r,max.1}$	256 [mm]
	$s_{r,max.2}$	910 [mm]
	<b><math>s_{r,max}</math></b>	<b>256 [mm]</b>
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k,lim}$	0,30 [mm]
<b>Ampiezza delle fessure (di calcolo)</b>	<b><math>w_k</math></b>	<b>0,20 [mm]</b>

## 10.2.2 Direzione trasversale

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite di fessurazione per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche.

L'apertura limite delle fessure per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche è stato assunto pari a:

$$w_{lim} = 0,30 \text{ mm}$$

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{TRASV,SD}$ [kN]	$M_{TRASV,SD}$ [kNm]	$W_d$ [mm]	$W_{lim}$ [mm]	$\rho$	$C_{SIC}$
$N_{TRASV,MAX}$	1415	SLE-CAR.68(max)	4.369,27	237,40	0,270	0,300	0,90	1,11
$N_{TRASV,MIN}$	2499	SLE-CAR.16(min)	-2.691,92	90,83	0,000	0,300	0,00	-
$M_{TRASV,MAX}$	1357	SLE-CAR.72(max)	371,08	387,31	0,080	0,300	0,27	3,75
$M_{TRASV,MIN}$	1273	SLE-CAR.61(min)	1.104,24	-323,58	0,100	0,300	0,33	3,00
$V_{TRASV,MAX}$	941	SLE-CAR.64(max)	1.978,94	-272,84	0,140	0,300	0,47	2,14
$V_{TRASV,MIN}$	1313	SLE-CAR.68(min)	338,90	78,63	0,020	0,300	0,07	15,00

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,90** in corrispondenza della condizione  $N_{TRASV,MAX}$ . Di seguito è riportato il form di verifica per la condizione maggiormente gravosa:

Geometria della sezione	
Altezza della sezione	h ..... 700 [mm]
Larghezza della sezione	b ..... 1000 [mm]
Altezza utile della sezione	d ..... 600 [mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d' ..... 100 [mm]
Ricoprimento dell'armatura	c ..... 45 [mm]
<u>Armatura tesa ordinaria</u>	
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,1}$ ..... 10 [-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,1}$ ..... 26 [mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,1}$ ..... 5309 [mm <sup>2</sup> ]
<u>Armatura tesa di infittimento</u>	
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,2}$ ..... 10 [-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,2}$ ..... 26 [mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,2}$ ..... 5309 [mm <sup>2</sup> ]
Caratteristiche dei materiali	
Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	$f_{ck}$ ..... 37,35 [MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	$f_{ctm}$ ..... 3,4 [MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	$E_{cm}$ ..... 34625 [MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	$f_{yk}$ ..... 450 [MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	$E_s$ ..... 210000 [MPa]
DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE	
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	$\sigma_s$ ..... 260,7 [MPa]
Asse neutro della sezione	X ..... 0 [mm]
Tipo e durata dei carichi applicati	Lunga ▾
Coefficiente di omogeneizzazione	$\alpha_e$ ..... 6,06 [-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	$A_s$ ..... 10619 [mm <sup>2</sup> ]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff,1}$ ..... 250000 [mm <sup>2</sup> ]
	$A_{c,eff,2}$ ..... 233333 [mm <sup>2</sup> ]
	$A_{c,eff,3}$ ..... 350000 [mm <sup>2</sup> ]
	$A_{c,eff,min}$ ..... 233333 [mm <sup>2</sup> ]



Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0,04551 [-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3,4 [MPa]
Fattore di durata del carico	$k_1$	0,4 [-]
<b>Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls</b>	$[e_{sm}-e_{cm}]_{min}$	0,000745 [-]
	$[e_{sm}-e_{cm}]_{calo.}$	0,001062 [-]
	<b><math>[e_{sm}-e_{cm}]</math></b>	<b>0,001062 [-]</b>
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	100 [mm]
Diametro equivalente delle barre	$\phi_{eq}$	26,00 [mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	290 [mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	$k_1$	0,800 [-]
	$k_2$	0,500 [-]
	$k_3$	3,400 [-]
	$k_4$	0,425 [-]
<b>Distanza massima tra le fessure</b>	$s_{r,max.1}$	250 [mm]
	$s_{r,max.2}$	910 [mm]
	<b><math>s_{r,max}</math></b>	<b>250 [mm]</b>
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k,lim}$	0,30 [mm]
<b>Ampiezza delle fessure (di calcolo)</b>	<b><math>w_k</math></b>	<b>0,27 [mm]</b>

## 10.3 Verifica allo Stato Limite Ultimo per pressoflessione deviata

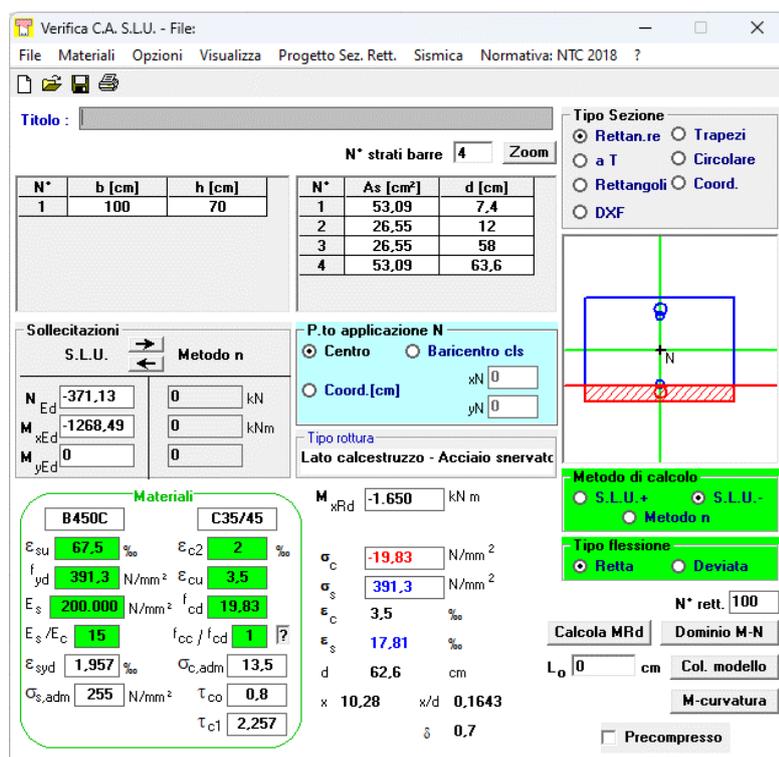
### 10.3.1 Direzione longitudinale

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite Ultimo per pressoflessione.

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{LONG,sd}$ [kN]	$M_{LONG,sd}$ [kNm]	$M_{LONG,Rd}$ [kNm]	$\rho$	$C_{sic}$
$N_{LONG,MAX}$	2115	SLU-STR.66(max)	4.602,12	-26,75	-515,70	0,05	19,28
$N_{LONG,MIN}$	1913	SLU-STR.64(min)	-3.223,57	-7,86	-2.493,00	0,00	317,30
$M_{LONG,MAX}$	543	SLU-STR.72(max)	1.470,59	347,65	1.366,00	0,25	3,93
$M_{LONG,MIN}$	1392	SLV.02(min)	371,13	-1.268,49	-1.650,00	0,77	1,30
$V_{LONG,MAX}$	1392	SLU-STR.19(min)	-2.033,11	-746,02	-2.247,00	0,33	3,01
$V_{LONG,MIN}$	1737	SLU-STR.66(min)	-385,18	-638,72	-1.842,00	0,35	2,88

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,77** in corrispondenza della condizione  $M_{LONG,MIN}$ .

Di seguito è riportato il form di verifica per la condizione maggiormente gravosa:



Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo : [ ]

N° strati barre [4] Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	70	1	53,09	7,4
			2	26,55	12
			3	26,55	58
			4	53,09	63,6

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

$N_{Ed}$  -371,13 kN  
 $M_{xEd}$  -1268,49 kNm  
 $M_{yEd}$  0 kNm

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

B450C C35/45

$E_{su}$  67,5 %  $E_{c2}$  2 %  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm²  $E_{cu}$  3,5 %  
 $E_s$  200.000 N/mm²  $f_{cd}$  19,83 %  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  1  
 $E_{syd}$  1,957 %  $\sigma_{c,adm}$  13,5  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0,8  
 $\tau_{c1}$  2,257

$M_{xRd}$  -1.650 kNm  
 $\sigma_c$  -19,83 N/mm²  
 $\sigma_s$  391,3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3,5 %  
 $\epsilon_s$  17,81 %  
 d 62,6 cm  
 x 10,28 x/d 0,1643  
 $\delta$  0,7

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.  
 DXF

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

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

N° rett. 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
 M-curvatura  
 Precompresso

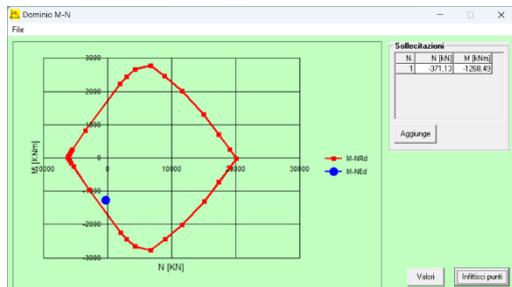
Il momento resistente risulta pari a:

- $M_{LONG,Rd} = -1.650,00 \text{ kNm} > M_{LONG,sd} = -1.268,49 \text{ kNm}$



Comune di Genova

Di seguito è riportato il dominio di resistenza della sezione:



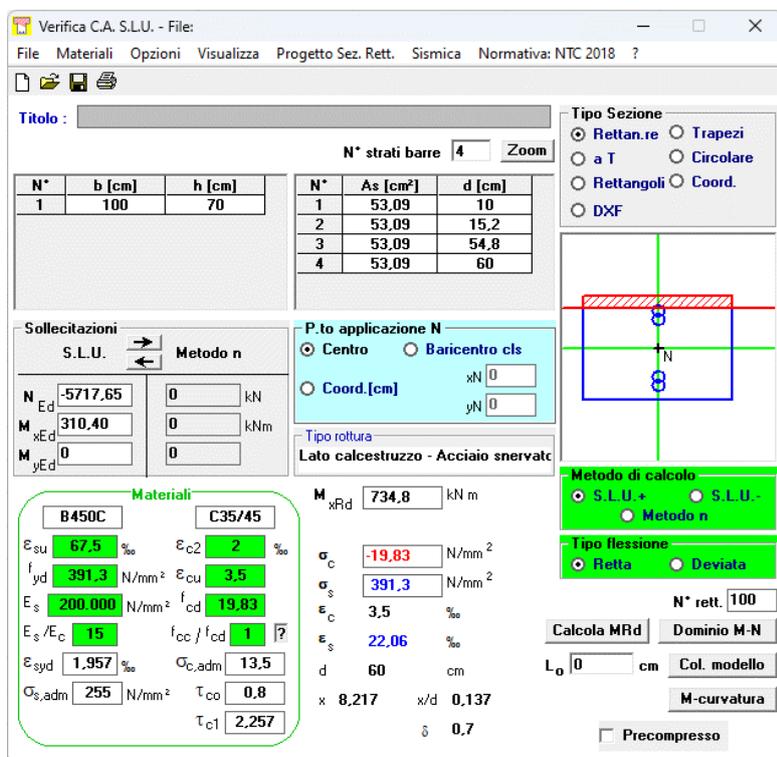
### 10.3.2 Direzione trasversale

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite Ultimo per pressoflessione.

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{TRASV,Sd}$ [kN]	$M_{TRASV,Sd}$ [kNm]	$M_{TRASV,Rd}$ [kNm]	$\rho$	$C_{sic}$
$N_{TRASV,MAX}$	1415	SLU-STR.68(max)	5.717,65	310,40	734,80	0,42	2,37
$N_{TRASV,MIN}$	2499	SLU-STR.64(min)	-3.427,07	87,34	2.731,00	0,03	31,27
$M_{TRASV,MAX}$	1357	SLU-STR.72(max)	463,06	526,11	1.944,00	0,27	3,70
$M_{TRASV,MIN}$	1273	SLU-STR.61(min)	1.393,90	-453,36	-1.738,00	0,26	3,83
$V_{TRASV,MAX}$	941	SLU-STR.64(max)	2.607,05	-377,32	-1.466,00	0,26	3,89
$V_{TRASV,MIN}$	1313	SLU-STR.68(min)	320,33	96,06	2.115,00	0,05	22,02

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,42** in corrispondenza della condizione  $N_{TRASV,MAX}$ .

Di seguito è riportato il form di verifica per la condizione maggiormente gravosa:



Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo: \_\_\_\_\_

N\* strati barre 4 Zoom

N*	b [cm]	h [cm]	N*	As [cm²]	d [cm]
1	100	70	1	53,09	10
			2	53,09	15,2
			3	53,09	54,8
			4	53,09	60

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

$N_{Ed}$  -5717,65 0 kN  
 $M_{xEd}$  310,40 0 kNm  
 $M_{yEd}$  0 0

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls  
 Coord.[cm]: xN 0, yN 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: B450C C35/45

$\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm²  $f_{cd}$  19,83 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  1  
 $\epsilon_{syd}$  1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  13,5  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $T_{co}$  0,8  
 $T_{c1}$  2,257

$M_{xRd}$  734,8 kNm  
 $\sigma_c$  -19,83 N/mm²  
 $\sigma_s$  391,3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  22,06 ‰  
 d 60 cm  
 x 8,217 x/d 0,137  
 $\delta$  0,7

Metodo di calcolo: S.L.U. + S.L.U. - Metodo n  
 Tipo flessione: Retta Deviata  
 N\* rett. 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
 M-curvatura  
 Precompresso

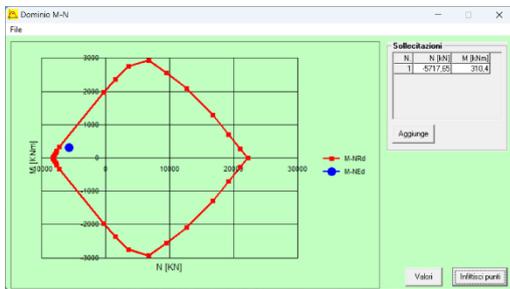
Il momento resistente risulta pari a:

- $M_{TRASV,Rd} = 734,80 \text{ kNm} > M_{TRASV,Sd} = 310,40 \text{ kNm}$



Comune di Genova

Di seguito è riportato il dominio di resistenza della sezione:



## 10.4 Verifica allo Stato Limite Ultimo per taglio

Di seguito è riportata la valutazione dell'azione tagliante resistente:

### VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI AL TAGLIO D.M. 14.01.2008 - CAPITOLO 4.1.2.3.5.2

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE

Base della sezione	b	100,00	[cm]
Altezza della sezione	h	70,00	[cm]
Copriferro netto	c	4,50	[cm]
Altezza utile della sezione	d	65,50	[cm]

#### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Livello di conoscenza	LC	NUOVO	
Fattore di confidenza	FC	1,00	[-]
Classe di resistenza del calcestruzzo		C35/45	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck}$	45,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	$f_{ck}$	37,35	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c / FC$	21,17	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tipologia dell'acciaio da armatura		B450C	
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk}$	540,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$	450,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s / FC$	391,30	[N/mm <sup>2</sup> ]

#### ARMATURA TRASVERSALE

Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento strutturale	$\alpha$	90,00	[°]
Numero di bracci dell'armatura trasversale	n	5,00	
Passo longitudinale delle armature trasversali	s	20,00	[cm]
Diametro dell'armatura trasversale	$\phi_{trav}$	16,00	[mm]
Area della singola barra	$A_{soma}$	2,01	[cm <sup>2</sup> ]
Area totale dell'armatura trasversale	$A_{tot}$	50,25	[cm <sup>2</sup> /m]

#### VERIFICA ALLO S.L.U. PER TAGLIO

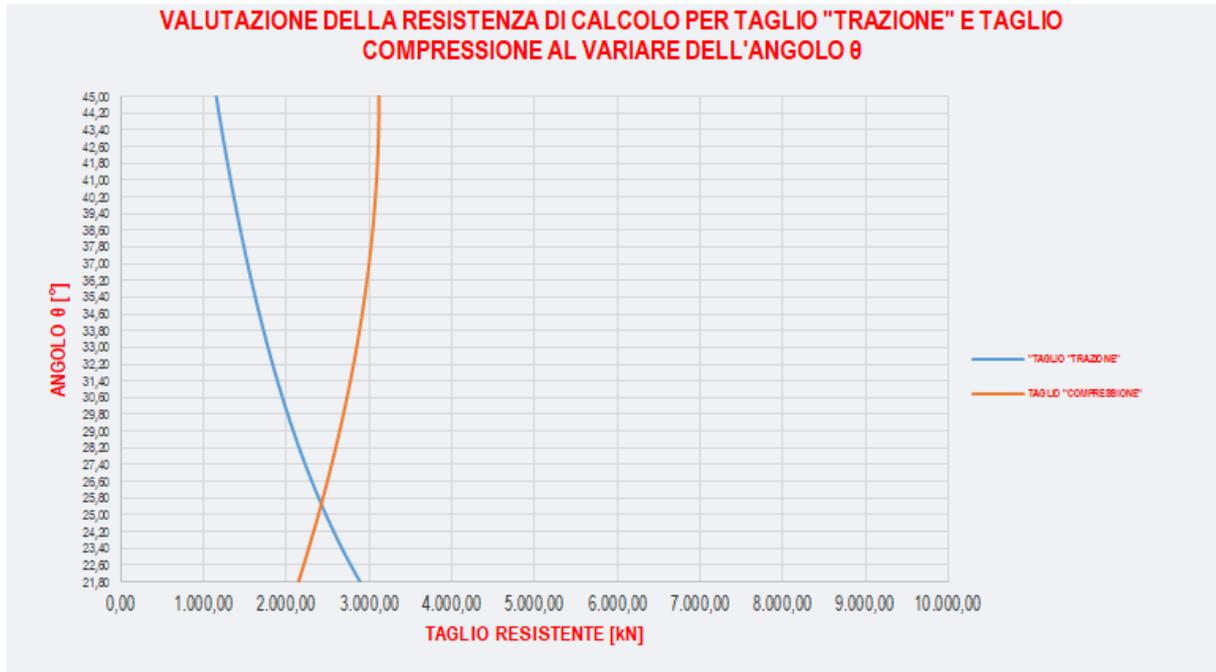
La resistenza di calcolo a "taglio trazione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.27]:

$$V_{Rsd} = 0,90 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot [\cot(\alpha) + \cot(\theta)] \cdot \sin(\alpha)$$

La resistenza di calcolo a "taglio compressione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.28]:

$$V_{Rcd} = 0,90 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \left[ \frac{\cot(\alpha) + \cot(\theta)}{1 + \cot^2(\theta)} \right]$$

Larghezza minima della sezione:	$b_w$	100,00	[cm]
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo:	$f_{yd}$	10,58	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensione media di compressione nella sezione:	$\sigma_{cp}$	0,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Coefficiente maggiorativo $\alpha_c$ :	$\alpha_c$	1,00	[-]



Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo

$\theta$  25,50 [°]

Cotangente dell'angolo  $\theta$

$\cot(\theta)$  2,10 [-]

RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE"

$V_{Rsd}$  2.430,18 [kN]

RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESIONE"

$V_{Rcd}$  2.424,07 [kN]

AZIONE TAGLIANTE RESISTENTE DELLA SEZIONE:

$V_{R,d}$  2.424,07 [kN]

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite Ultimo per taglio in direzione longitudinale.

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$V_{LONG,Sd}$ [kN]	$V_{LONG,Rd}$ [kN]	$\rho$	$C_{SIC}$
$N_{LONG,MAX}$	2115	SLU-STR.66(max)	-0,63	-2.424,07	0,00	3.835,55
$N_{LONG,MIN}$	1913	SLU-STR.64(min)	-1,09	-2.424,07	0,00	2.215,79
$M_{LONG,MAX}$	543	SLU-STR.72(max)	161,57	2.424,07	0,07	15,00
$M_{LONG,MIN}$	1392	SLV.02(min)	120,36	2.424,07	0,05	20,14
$V_{LONG,MAX}$	1392	SLU-STR.19(min)	<b>2.244,55</b>	2.424,07	0,93	1,08
$V_{LONG,MIN}$	1737	SLU-STR.66(min)	<b>-1.823,10</b>	-2.424,07	0,75	1,33

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,93** in corrispondenza della condizione  $V_{LONG,MAX}$ .

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite Ultimo per taglio in direzione trasversale.

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$V_{TRASV,Sd}$ [kN]	$V_{TRASV,Rd}$ [kN]	$\rho$	$C_{SIC}$
$N_{TRASV,MAX}$	1415	SLU-STR.68(max)	-358,20	-2.424,07	0,15	6,77
$N_{TRASV,MIN}$	2499	SLU-STR.64(min)	-106,63	-2.424,07	0,04	22,73
$M_{TRASV,MAX}$	1357	SLU-STR.72(max)	130,84	2.424,07	0,05	18,53
$M_{TRASV,MIN}$	1273	SLU-STR.61(min)	290,40	2.424,07	0,12	8,35
$V_{TRASV,MAX}$	941	SLU-STR.64(max)	<b>558,96</b>	2.424,07	0,23	4,34
$V_{TRASV,MIN}$	1313	SLU-STR.68(min)	<b>-729,60</b>	-2.424,07	0,30	3,32

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,23** in corrispondenza della condizione  $V_{TRASV,MAX}$ .

## 11. SOLETTA H = 40,0 CM – VERIFICHE STRUTTURALI

### 11.1 Definizione delle azioni sollecitanti di calcolo

Per la valutazione delle azioni sollecitanti di calcolo utilizzati nelle verifiche sono state considerate le seguenti condizioni di carico per le due direzioni ortogonali.

#### DIREZIONE LONGITUDINALE

- $N_{LONG,MAX}$  → Azione normale (membranale) longitudinale massima (positiva se di trazione)
- $N_{LONG,MIN}$  → Azione normale (membranale) longitudinale massima (positiva se di trazione)
- $M_{LONG,MAX}$  → Momento flettente longitudinale massimo
- $M_{LONG,MIN}$  → Momento flettente longitudinale minimo
- $V_{LONG,MAX}$  → Azione tagliante longitudinale massima
- $V_{LONG,MIN}$  → Azione tagliante longitudinale minima

#### DIREZIONE VERTICALE

- $N_{TRASV,MAX}$  → Azione normale (membranale) verticale massima (positiva se di trazione)
- $N_{TRASV,MIN}$  → Azione normale (membranale) verticale massima (positiva se di trazione)
- $M_{TRASV,MAX}$  → Momento flettente verticale massimo
- $M_{TRASV,MIN}$  → Momento flettente verticale minimo
- $V_{TRASV,MAX}$  → Azione tagliante verticale massima
- $V_{TRASV,MIN}$  → Azione tagliante verticale minima

Le azioni normali di compressione sono state indicate con segno negativo.

Nella tabella successiva sono riepilogati i valori delle azioni sollecitanti di calcolo utilizzati per le verifiche per lo Stato Limite Ultimo statico (STR) e sismico (SLV):

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{LONG,Sd}$ [kN]	$N_{TRASV,Sd}$ [kN]	$M_{LONG,Sd}$ [kNm]	$M_{TRASV,Sd}$ [kNm]	$V_{LONG,Sd}$ [kN]	$V_{TRASV,Sd}$ [kN]
$N_{LONG,MAX}$	2115	SLU-STR.66(max)	<b>4.002,12</b>	596,43	-26,75	52,18	-0,63	-41,52
$N_{LONG,MIN}$	1913	SLU-STR.64(min)	<b>-3.223,57</b>	-404,35	-7,86	-71,57	-1,09	-39,94
$N_{TRASV,MAX}$	2092	SLU-STR.61(max)	656,35	<b>1.571,64</b>	48,08	69,45	70,37	45,38
$N_{TRASV,MIN}$	2153	SLU-STR.72(min)	-519,59	<b>-954,75</b>	-65,15	-40,22	-16,93	4,60
$M_{LONG,MAX}$	2143	SLU-STR.66(max)	1.429,41	1.332,30	<b>91,13</b>	87,84	98,62	27,47
$M_{LONG,MIN}$	2130	SLU-STR.62(min)	-732,23	-665,14	<b>-97,53</b>	-82,81	-114,62	-51,40
$M_{TRASV,MAX}$	1907	SLU-STR.63(max)	1.183,83	1.399,14	63,48	<b>102,45</b>	74,38	61,06
$M_{TRASV,MIN}$	2131	SLU-STR.71(min)	-302,54	-757,15	-82,32	<b>-120,01</b>	-54,20	23,52
$V_{LONG,MAX}$	2143	SLU-STR.71(max)	1.429,09	1.331,43	90,97	87,85	<b>98,90</b>	27,41
$V_{LONG,MIN}$	1887	SLU-STR.68(min)	-2.542,10	-465,22	-11,16	-43,96	<b>-130,69</b>	-56,53
$V_{TRASV,MAX}$	2131	SLU-STR.72(max)	1.660,58	443,95	43,16	62,02	-22,59	<b>111,72</b>
$V_{TRASV,MIN}$	2021	SLU-STR.61(min)	-678,56	-615,84	-88,28	-74,55	-68,67	<b>-109,22</b>

Nella tabella successiva sono riepilogati i valori delle azioni sollecitanti di calcolo utilizzati per le verifiche per lo Stato Limite di Esercizio (Combinazioni Caratteristiche):

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	N <sub>LONG,Sd</sub> [kN]	N <sub>TRASV,Sd</sub> [kN]	M <sub>LONG,Sd</sub> [kNm]	M <sub>TRASV,Sd</sub> [kNm]	V <sub>LONG,Sd</sub> [kN]	V <sub>TRASV,Sd</sub> [kN]
N <sub>LONG,MAX</sub>	2115	SLE-CAR.66(max)	<b>2.752,73</b>	406,83	-19,73	35,38	-0,64	-29,30
N <sub>LONG,MIN</sub>	1913	SLE-CAR.64(min)	<b>-2.157,94</b>	-276,11	-4,10	-47,64	-0,76	-28,25
N <sub>TRASV,MAX</sub>	2092	SLE-CAR.61(max)	443,49	<b>1.118,71</b>	30,43	47,05	53,83	26,75
N <sub>TRASV,MIN</sub>	2153	SLE-CAR.72(min)	-343,50	<b>-598,76</b>	-44,17	-25,75	-12,80	5,12
M <sub>LONG,MAX</sub>	2143	SLE-CAR.66(max)	1.016,99	938,08	<b>62,45</b>	60,18	73,78	12,40
M <sub>LONG,MIN</sub>	2096	SLE-CAR.63(min)	-458,69	-389,22	<b>-66,15</b>	-36,72	22,00	-6,03
M <sub>TRASV,MAX</sub>	1907	SLE-CAR.63(max)	785,15	987,77	42,44	<b>71,31</b>	55,19	43,48
M <sub>TRASV,MIN</sub>	2131	SLE-CAR.71(min)	-125,57	-507,02	-56,71	<b>-80,09</b>	-35,86	16,92
V <sub>LONG,MAX</sub>	2143	SLE-CAR.71(max)	1.016,78	937,49	62,34	60,19	<b>73,97</b>	12,36
V <sub>LONG,MIN</sub>	1887	SLE-CAR.68(min)	-1.705,39	-341,42	-4,00	-28,94	<b>-95,42</b>	-39,48
V <sub>TRASV,MAX</sub>	2131	SLE-CAR.72(max)	1.184,08	293,92	26,94	41,24	-14,69	<b>75,81</b>
V <sub>TRASV,MIN</sub>	2021	SLE-CAR.61(min)	-399,13	-347,67	-58,07	-47,32	-51,57	<b>-79,84</b>

## 11.2 Sezione e armatura di verifica

La sezione di verifica è assunta rettangolare con base pari a **100,0 cm** e altezza pari a **40,0 cm**.

L'armatura orizzontale è costituita da:

### DIREZIONE LONGITUDINALE

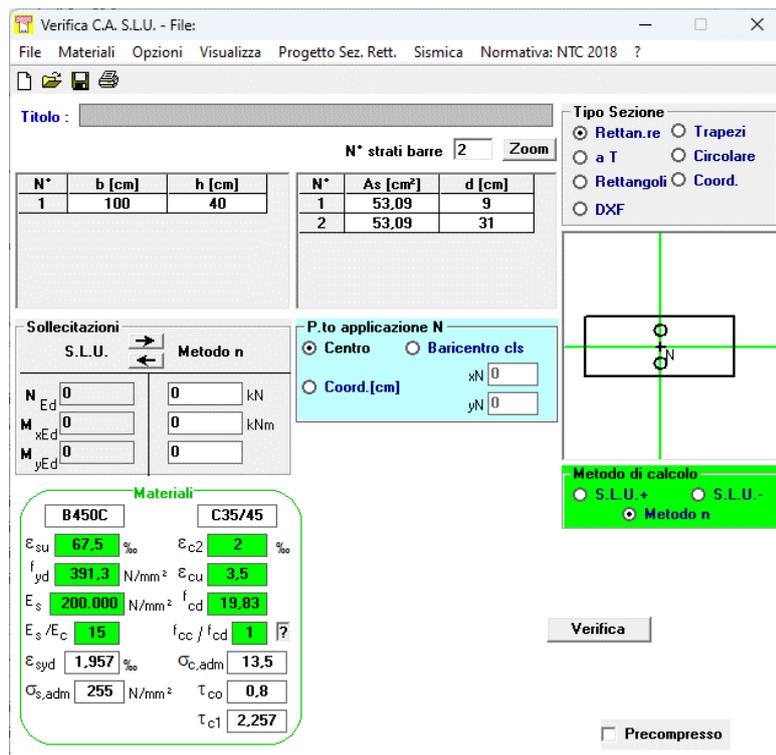
- $\varnothing 26/10$  superiori
- $\varnothing 26/10$  inferiori

### DIREZIONE TRASVERSALE

- $\varnothing 20/10$  superiori
- $\varnothing 20/10$  inferiori

L'armatura a taglio è costituita da spille  $\varnothing 12/20 \times 40$ . Il copriferro netto minimo è assunto pari a **45 mm**.

Nell'immagine seguente è riportato il form di verifica della sezione in direzione longitudinale:



The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. The main window displays various input fields and tables for section verification. The title bar indicates the file name and menu options like 'File', 'Materiali', 'Opzioni', 'Visualizza', 'Progetto Sez. Rett.', 'Sismica', and 'Normativa: NTC 2018'. The interface is divided into several sections:

- Titolo:** A text field for the section title.
- N° strati barre:** A dropdown menu set to '2' and a 'Zoom' button.
- Tables:**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	53,09	9
2	53,09	31
- Sollecitazioni:** A section with 'S.L.U.' and 'Metodo n' tabs, and input fields for N<sub>Ed</sub>, M<sub>xEd</sub>, M<sub>yEd</sub>, and their corresponding values in kN and kNm.
- P.to applicazione N:** A section with 'Centro', 'Baricentro cls', and 'Coord.[cm]' options, and input fields for xN and yN.
- Tipo Sezione:** A section with radio buttons for 'Rettan.re', 'Trapezi', 'a T', 'Circolare', 'Rettangoli', 'Coord.', and 'DXF'. 'Rettan.re' is selected.
- Metodo di calcolo:** A section with radio buttons for 'S.L.U. +', 'S.L.U. -', and 'Metodo n'. 'Metodo n' is selected.
- Materiali:** A section with two material profiles, 'B450C' and 'C35/45', and their respective properties:
  - E<sub>su</sub>: 67,5 ‰
  - f<sub>yd</sub>: 391,3 N/mm²
  - E<sub>s</sub>: 200.000 N/mm²
  - E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15
  - ε<sub>syd</sub>: 1,957 ‰
  - σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm²
  - ε<sub>c2</sub>: 2 ‰
  - ε<sub>cu</sub>: 3,5
  - f<sub>cd</sub>: 19,83
  - f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 1
  - σ<sub>c,adm</sub>: 13,5
  - τ<sub>co</sub>: 0,8
  - τ<sub>c1</sub>: 2,257
- Verifica:** A button to perform the verification.
- Precompresso:** A checkbox that is currently unchecked.



Nell'immagine seguente è riportato il form di verifica della sezione in direzione trasversale:

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N\* strati barre 2 Zoom

N*	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N*	As [cm²]	d [cm]
1	31,42	6,7
2	31,42	32,3

Tipo Sezione

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.

DXF

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 0 kN

M<sub>xEd</sub> 0 0 kNm

M<sub>yEd</sub> 0 0

P.to applicazione N

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo

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

Metodo n

Verifica

Precompresso

Materiali

B450C		C35/45	
E <sub>su</sub>	67,5 ‰	E <sub>c2</sub>	2 ‰
f <sub>yd</sub>	391,3 N/mm²	E <sub>cu</sub>	3,5
E <sub>s</sub>	200.000 N/mm²	f <sub>cd</sub>	19,83
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub>	15	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub>	1
E <sub>syd</sub>	1,957 ‰	σ <sub>c,adm</sub>	13,5
σ <sub>s,adm</sub>	255 N/mm²	τ <sub>co</sub>	0,8
		τ <sub>c1</sub>	2,257

## 11.3 Verifica allo Stato Limite di Esercizio di limitazione delle tensioni

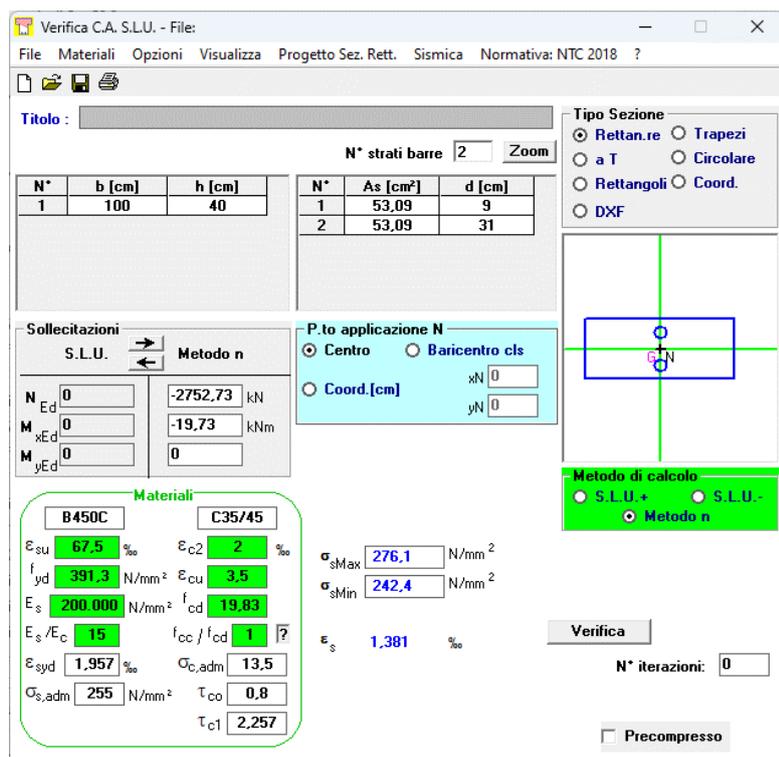
### 11.3.1 Direzione longitudinale

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite di Limitazione delle tensione per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche.

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{LONG,SD}$ [kN]	$M_{LONG,SD}$ [kNm]	$\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$0,60 \cdot f_{sk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$0,80 \cdot f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\rho$	$C_{sac}$
$N_{LONG,MAX}$	2115	SLE-CAR.66(max)	2.752,73	-19,73	0,00	22,41	276,10	360,00	0,77	1,30
$N_{LONG,MIN}$	1913	SLE-CAR.64(min)	-2.157,94	-4,10	3,97	22,41	0,00	360,00	0,18	5,64
$M_{LONG,MAX}$	2143	SLE-CAR.66(max)	1.016,99	62,45	0,00	22,41	149,20	360,00	0,41	2,41
$M_{LONG,MIN}$	2096	SLE-CAR.63(min)	-458,69	-66,15	2,96	22,41	11,12	360,00	0,13	7,56
$V_{LONG,MAX}$	2143	SLE-CAR.71(max)	1.016,78	62,34	0,00	22,41	149,10	360,00	0,41	2,41
$V_{LONG,MIN}$	1887	SLE-CAR.68(min)	-1.705,39	-4,00	3,15	22,41	0,00	360,00	0,14	7,11

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,77** in corrispondenza della condizione  $N_{LONG,MAX}$ .

Di seguito è riportato il form di verifica per la condizione maggiormente gravosa:



The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. Key sections include:

- Titolo:** Empty field.
- N° strati barre:** 2.
- Table 1:**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40
- Table 2:**

N°	As [cm²]	d [cm]
1	53,09	9
2	53,09	31
- Sollecitazioni (S.L.U.):**
  - $N_{Ed}$ : 0
  - $M_{xEd}$ : 0
  - $M_{yEd}$ : 0
  - Applied values:  $N = -2752,73$  kN,  $M = -19,73$  kNm.
- P.to applicazione N:**
  - Centro (selected)
  - Baricentro cls
  - Coord. [cm]:  $x_N = 0$ ,  $y_N = 0$
- Diagramma:** A cross-section diagram showing the application point of the normal force N.
- Metodo di calcolo:** Metodo n (selected).
- Materiali:**
  - B450C:**  $E_{su} = 67,5$  %,  $f_{yd} = 391,3$  N/mm<sup>2</sup>,  $E_s = 200.000$  N/mm<sup>2</sup>,  $E_s/E_c = 15$ ,  $\epsilon_{syd} = 1,957$  %,  $\sigma_{s,adm} = 255$  N/mm<sup>2</sup>.
  - C35/45:**  $\epsilon_{c2} = 2$  %,  $E_{cu} = 3,5$ ,  $f_{cd} = 19,83$ ,  $\sigma_{c,adm} = 13,5$ ,  $\tau_{co} = 0,8$ ,  $\tau_{c1} = 2,257$ .
- Calculated values:**  $\sigma_{sMax} = 276,1$  N/mm<sup>2</sup>,  $\sigma_{sMin} = 242,4$  N/mm<sup>2</sup>,  $\epsilon_s = 1,381$  %.
- Buttons:** Verifica, N° iterazioni: 0, Precompresso.

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = - N/mm^2$  (SEZIONE TESA)
- $\sigma_s = 276,10 N/mm^2 < 0,80 \cdot f_{yk} = 360,00 N/mm^2$

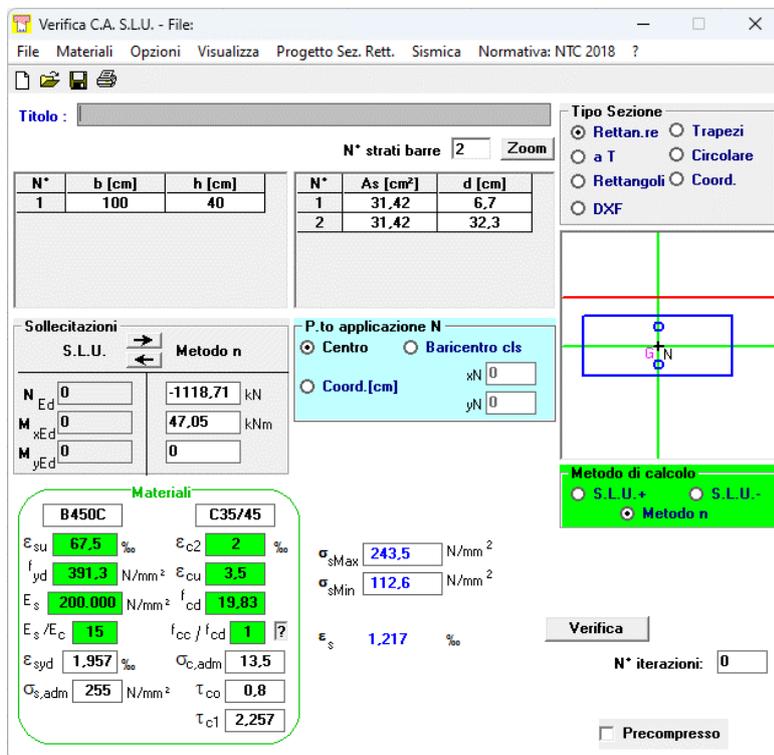
### 11.3.2 Direzione trasversale

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite di Limitazione delle tensioni per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche.

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{TRASV,SD}$ [kN]	$M_{TRASV,SD}$ [kNm]	$\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$0,60 \cdot f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$0,80 \cdot f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\rho$	$C_{Sic}$
$N_{TRASV,MAX}$	2092	SLE-CAR.61(max)	1.118,71	47,05	0,00	22,41	243,50	360,00	0,68	1,48
$N_{TRASV,MIN}$	2153	SLE-CAR.72(min)	-598,76	-25,75	1,94	22,41	0,00	360,00	0,09	11,55
$M_{TRASV,MAX}$	1907	SLE-CAR.63(max)	987,77	71,31	0,00	22,41	242,50	360,00	0,67	1,48
$M_{TRASV,MIN}$	2131	SLE-CAR.71(min)	-507,02	-80,09	3,75	22,41	22,01	360,00	0,17	5,97
$V_{TRASV,MAX}$	2131	SLE-CAR.72(max)	293,92	41,24	1,03	22,41	94,63	360,00	0,26	3,80
$V_{TRASV,MIN}$	2021	SLE-CAR.61(min)	-347,67	-47,32	2,24	22,41	8,76	360,00	0,10	10,00

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,68** in corrispondenza della condizione  $N_{TRASV,MAX}$ .

Di seguito è riportato il form di verifica per la condizione maggiormente gravosa:



The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. Key sections include:

- Titolo:** Empty field.
- N° strati barre:** 2.
- Table 1:**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40
- Table 2:**

N°	As [cm²]	d [cm]
1	31,42	6,7
2	31,42	32,3
- Sollecitazioni:**
  - $N_{Ed}$ : -1118,71 kN
  - $M_{xEd}$ : 47,05 kNm
  - $M_{yEd}$ : 0
- Materiali:**
  - B450C:**  $\epsilon_{su}$  67,5‰,  $f_{yd}$  391,3 N/mm<sup>2</sup>,  $E_s$  200.000 N/mm<sup>2</sup>,  $E_s/E_c$  15,  $\epsilon_{syd}$  1,957‰,  $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>.
  - C35/45:**  $\epsilon_{c2}$  2‰,  $\epsilon_{cu}$  3,5‰,  $f_{cd}$  19,83,  $\sigma_{c,adm}$  13,5,  $\tau_{co}$  0,8,  $\tau_{c1}$  2,257.
- Stress values:**  $\sigma_{sMax}$  243,5 N/mm<sup>2</sup>,  $\sigma_{sMin}$  112,6 N/mm<sup>2</sup>,  $\epsilon_s$  1,217‰.
- Method of calculation:** Metodo n.
- Iterations:** 0.
- Buttons:** Verifica, Precompresso.

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = - N/mm^2$  (SEZIONE TESA)
- $\sigma_s = 243,50 N/mm^2 < 0,80 \cdot f_{yk} = 360,00 N/mm^2$



## 11.4 Verifica allo Stato Limite di Esercizio per fessurazione

### 11.4.1 Direzione longitudinale

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite di fessurazione per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche.

L'apertura limite delle fessure per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche è stato assunto pari a:

$$w_{lim} = 0,30 \text{ mm}$$

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{LONG,SD}$ [kN]	$M_{LONG,SD}$ [kNm]	$W_d$ [mm]	$W_{lim}$ [mm]	$\rho$	$C_{SIC}$
$N_{LONG,MAX}$	2115	SLE-CAR.66(max)	2.752,73	-19,73	0,290	0,300	0,97	1,03
$N_{LONG,MIN}$	1913	SLE-CAR.64(min)	-2.157,94	-4,10	0,000	0,300	0,00	-
$M_{LONG,MAX}$	2143	SLE-CAR.66(max)	1.016,99	62,45	0,140	0,300	0,47	2,14
$M_{LONG,MIN}$	2096	SLE-CAR.63(min)	-458,69	-66,15	0,010	0,300	0,03	30,00
$V_{LONG,MAX}$	2143	SLE-CAR.71(max)	1.016,78	62,34	0,130	0,300	0,43	2,31
$V_{LONG,MIN}$	1887	SLE-CAR.68(min)	-1.705,39	-4,00	0,000	0,300	0,00	-

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,97** in corrispondenza della condizione  $N_{LONG,MAX}$ . Di seguito è riportato il form di verifica per la condizione maggiormente gravosa:

Geometria della sezione	
Altezza della sezione	h = 400 [mm]
Larghezza della sezione	b = 1000 [mm]
Altezza utile della sezione	d = 310 [mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d' = 90 [mm]
Ricoprimento dell'armatura	c = 45 [mm]
<b>Armatura tesa ordinaria</b>	
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,1}$ = 10 [-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,1}$ = 26 [mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,1}$ = 5309 [mm <sup>2</sup> ]
<b>Armatura tesa di infittimento</b>	
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,2}$ = 0 [-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,2}$ = 0 [mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,2}$ = 0 [mm <sup>2</sup> ]
Caratteristiche dei materiali	
Resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo	$f_{ck}$ = 37,35 [MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	$f_{ctm}$ = 3,4 [MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	$E_{cm}$ = 34625 [MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	$f_{yk}$ = 450 [MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	$E_s$ = 210000 [MPa]
DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE	
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	$\sigma_s$ = 276,1 [MPa]
Asse neutro della sezione	x = 0 [mm]
Tipo e durata dei carichi applicati	Lunga
Coefficiente di omogeneizzazione	$\alpha_e$ = 6,06 [-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	$A_s$ = 5309 [mm <sup>2</sup> ]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff,1}$ = 225000 [mm <sup>2</sup> ]
	$A_{c,eff,2}$ = 133333 [mm <sup>2</sup> ]
	$A_{c,eff,3}$ = 200000 [mm <sup>2</sup> ]
	$A_{c,eff,min}$ = 133333 [mm <sup>2</sup> ]



Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0,03982 [-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3,4 [MPa]
Fattore di durata del carico	$k_1$	0,4 [-]
<b>Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls</b>	$[e_{sm}-e_{cm}]_{min}$	0,000789 [-]
	$[e_{sm}-e_{cm}]_{calo.}$	0,001116 [-]
	<b><math>[e_{sm}-e_{cm}]</math></b>	<b>0,001116 [-]</b>
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	100 [mm]
Diametro equivalente delle barre	$\phi_{eq}$	26,00 [mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	290 [mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	$k_1$	0,800 [-]
	$k_2$	0,500 [-]
	$k_3$	3,400 [-]
	$k_4$	0,425 [-]
<b>Distanza massima tra le fessure</b>	$s_{r,max.1}$	264 [mm]
	$s_{r,max.2}$	520 [mm]
	<b><math>s_{r,max}</math></b>	<b>264 [mm]</b>
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k,lim}$	0,30 [mm]
<b>Ampiezza delle fessure (di calcolo)</b>	<b><math>w_k</math></b>	<b>0,29 [mm]</b>

### 11.4.2 Direzione trasversale

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite di fessurazione per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche.

L'apertura limite delle fessure per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche è stato assunto pari a:

$$w_{lim} = 0,30 \text{ mm}$$

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{TRASV,SD}$ [kN]	$M_{TRASV,SD}$ [kNm]	$W_d$ [mm]	$W_{lim}$ [mm]	$\rho$	$C_{SIC}$
$N_{TRASV,MAX}$	2092	SLE-CAR.61(max)	1.118,71	47,05	0,250	0,300	0,83	1,20
$N_{TRASV,MIN}$	2153	SLE-CAR.72(min)	-598,76	-25,75	0,000	0,300	0,00	-
$M_{TRASV,MAX}$	1907	SLE-CAR.63(max)	987,77	71,31	0,250	0,300	0,83	1,20
$M_{TRASV,MIN}$	2131	SLE-CAR.71(min)	-507,02	-80,09	0,010	0,300	0,03	30,00
$V_{TRASV,MAX}$	2131	SLE-CAR.72(max)	293,92	41,24	0,080	0,300	0,27	3,75
$V_{TRASV,MIN}$	2021	SLE-CAR.61(min)	-347,67	-47,32	0,010	0,300	0,03	30,00

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,83** in corrispondenza della condizione  $N_{TRASV,MAX}$ . Di seguito è riportato il form di verifica per la condizione maggiormente gravosa:

Geometria della sezione	
Altezza della sezione	h ..... 400 [mm]
Larghezza della sezione	b ..... 1000 [mm]
Altezza utile della sezione	d ..... 333 [mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d' ..... 67 [mm]
Ricoprimento dell'armatura	c ..... 45 [mm]
<a href="#">Armatura tesa ordinaria</a>	
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,1}$ ..... 10 [-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,1}$ ..... 20 [mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,1}$ ..... 3142 [mm <sup>2</sup> ]
<a href="#">Armatura tesa di infittimento</a>	
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,2}$ ..... 0 [-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,2}$ ..... 0 [mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,2}$ ..... 0 [mm <sup>2</sup> ]
Caratteristiche dei materiali	
Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	$f_{ck}$ ..... 37,35 [MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	$f_{ctm}$ ..... 3,4 [MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	$E_{cm}$ ..... 34625 [MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	$f_{yk}$ ..... 450 [MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	$E_s$ ..... 210000 [MPa]
DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE	
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	$\sigma_s$ ..... 243,5 [MPa]
Asse neutro della sezione	X ..... 0 [mm]
Tipo e durata dei carichi applicati	Lunga ▾
Coefficiente di omogeneizzazione	$\alpha_e$ ..... 6,06 [-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	$A_s$ ..... 3142 [mm <sup>2</sup> ]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff,1}$ ..... 167500 [mm <sup>2</sup> ]
	$A_{c,eff,2}$ ..... 133333 [mm <sup>2</sup> ]
	$A_{c,eff,3}$ ..... 200000 [mm <sup>2</sup> ]
	$A_{c,eff,min}$ ..... 133333 [mm <sup>2</sup> ]



Comune di Genova

Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_p, \text{eff}$	0,02356 [-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct, \text{eff}}$	3,4 [MPa]
Fattore di durata del carico	$k_1$	0,4 [-]
<b>Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls</b>	$[e_{sm} - e_{cm}]_{\text{min}}$	0,000696 [-]
	$[e_{sm} - e_{cm}]_{\text{calo}}$	0,000850 [-]
	<b><math>[e_{sm} - e_{cm}]</math></b>	<b>0,000850 [-]</b>
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	$s$	100 [mm]
Diametro equivalente delle barre	$\phi_{eq}$	20,00 [mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{\text{max, rif}}$	275 [mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	$k_1$	0,800 [-]
	$k_2$	0,500 [-]
	$k_3$	3,400 [-]
	$k_4$	0,425 [-]
<b>Distanza massima tra le fessure</b>	$s_{r, \text{max}, 1}$	297 [mm]
	$s_{r, \text{max}, 2}$	520 [mm]
	<b><math>s_{r, \text{max}}</math></b>	<b>297 [mm]</b>
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k, \text{lim}}$	0,30 [mm]
<b>Ampiezza delle fessure (di calcolo)</b>	<b><math>w_k</math></b>	<b>0,25 [mm]</b>

## 11.5 Verifica allo Stato Limite Ultimo per pressoflessione deviata

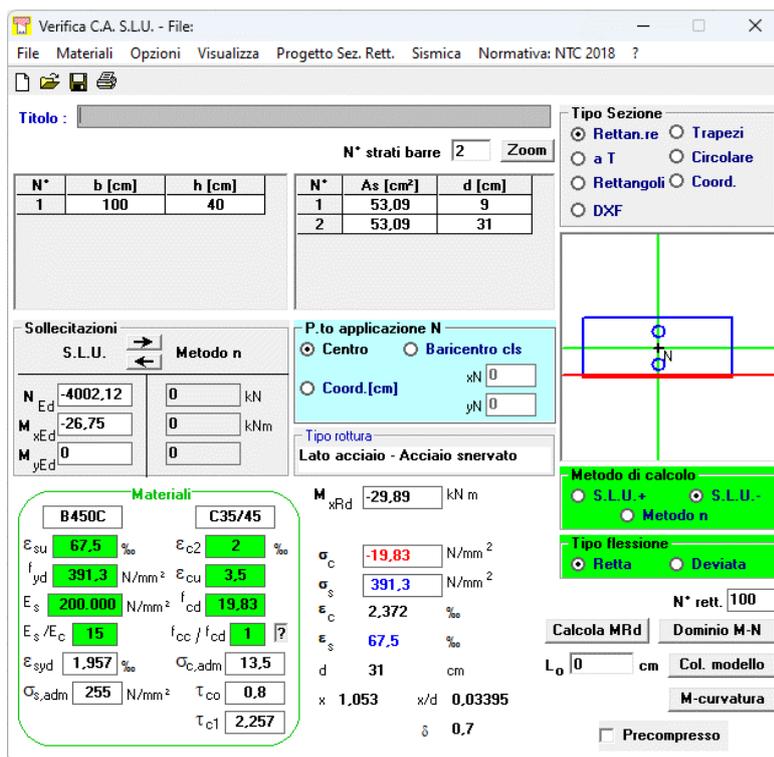
### 11.5.1 Direzione longitudinale

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite Ultimo per pressoflessione.

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{LONG,sd}$ [kN]	$M_{LONG,sd}$ [kNm]	$M_{LONG,Rd}$ [kNm]	$\rho$	$C_{SIC}$
$N_{LONG,MAX}$	2115	SLU-STR.66(max)	4.002,12	-26,75	-29,89	0,89	1,12
$N_{LONG,MIN}$	1913	SLU-STR.64(min)	-3.223,57	-7,86	-824,30	0,01	104,91
$M_{LONG,MAX}$	2143	SLU-STR.66(max)	1.429,41	91,13	317,70	0,29	3,49
$M_{LONG,MIN}$	2130	SLU-STR.62(min)	-732,23	-97,53	-614,00	0,16	6,30
$V_{LONG,MAX}$	2143	SLU-STR.71(max)	1.429,09	90,97	371,70	0,24	4,09
$V_{LONG,MIN}$	1887	SLU-STR.68(min)	-2.542,10	-11,16	-748,80	0,01	67,08

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,89** in corrispondenza della condizione  $N_{LONG,MAX}$ .

Di seguito è riportato il form di verifica per la condizione maggiormente gravosa:



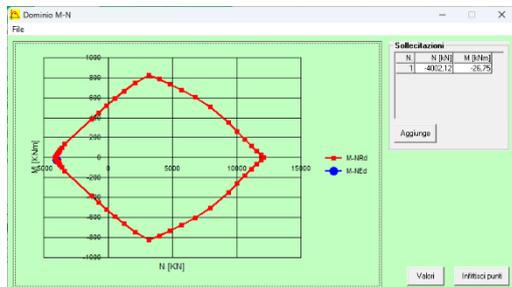
The screenshot shows the software interface for the ultimate limit state (S.L.U.) verification of a reinforced concrete beam. Key parameters and material properties are displayed:

- Section Properties:**
  - Number of bars: 2
  - Bar 1:  $N^* = 1$ ,  $b = 100$  cm,  $h = 40$  cm,  $A_s = 53,09$  cm<sup>2</sup>,  $d = 9$  cm
  - Bar 2:  $N^* = 2$ ,  $b = 100$  cm,  $h = 40$  cm,  $A_s = 53,09$  cm<sup>2</sup>,  $d = 31$  cm
- Applied Forces (S.L.U.):**
  - $N_{Ed} = -4002,12$  kN
  - $M_{xEd} = -26,75$  kNm
  - $M_{yEd} = 0$  kNm
- Material Properties:**
  - Concrete: B450C ( $E_{cu} = 391,3$  N/mm<sup>2</sup>,  $f_{cd} = 19,83$  N/mm<sup>2</sup>)
  - Steel: C35/45 ( $E_s = 200,000$  N/mm<sup>2</sup>,  $f_{cd} = 19,83$  N/mm<sup>2</sup>)
- Design Parameters:**
  - Design Moment:  $M_{xRd} = -29,89$  kNm
  - Design Stress:  $\sigma_c = -19,83$  N/mm<sup>2</sup>,  $\sigma_s = 391,3$  N/mm<sup>2</sup>
  - Design Strain:  $\epsilon_c = 2,372$ ‰,  $\epsilon_s = 67,5$ ‰
  - Design Slenderness:  $x/d = 0,03395$ ,  $\delta = 0,7$
- Calculation Method:** S.L.U. + Metodo n
- Flange Type:** Retta
- Number of Rectangular Bars:** 100

Il momento resistente risulta pari a:

- $M_{LONG,Rd} = -29,89$  kNm  $>$   $M_{LONG,sd} = -26,75$  kNm

Di seguito è riportato il dominio di resistenza della sezione:



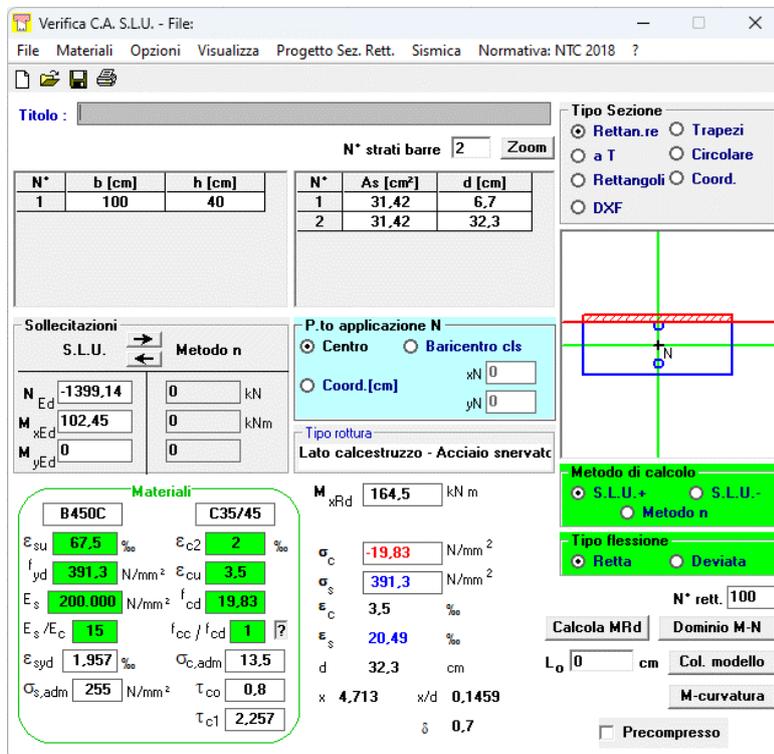
## 11.5.2 Direzione trasversale

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite Ultimo per pressoflessione.

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{TRASV,Sd}$ [kN]	$M_{TRASV,Sd}$ [kNm]	$M_{TRASV,Rd}$ [kNm]	$\rho$	$C_{Sic}$
$N_{TRASV,MAX}$	2092	SLU-STR.61(max)	1.571,64	69,45	152,90	0,45	2,20
$N_{TRASV,MIN}$	2153	SLU-STR.72(min)	-954,75	-40,22	-495,80	0,08	12,33
$M_{TRASV,MAX}$	1907	SLU-STR.63(max)	1.399,14	102,45	164,50	0,62	1,61
$M_{TRASV,MIN}$	2131	SLU-STR.71(min)	-757,15	-120,01	-470,50	0,26	3,92
$V_{TRASV,MAX}$	2131	SLU-STR.72(max)	443,95	62,02	308,80	0,20	4,98
$V_{TRASV,MIN}$	2021	SLU-STR.61(min)	-615,84	-74,55	-452,10	0,16	6,06

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,62** in corrispondenza della condizione  $M_{TRASV,MAX}$ .

Di seguito è riportato il form di verifica per la condizione maggiormente gravosa:



Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo: [ ]

N\* strati barre 2 Zoom

N*	b [cm]	h [cm]	N*	As [cm²]	d [cm]
1	100	40	1	31,42	6,7
			2	31,42	32,3

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

$N_{Ed}$  -1399,14 0 kN  
 $M_{xEd}$  102,45 0 kNm  
 $M_{yEd}$  0 0

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo sezione: Rettan.re Trapezi  
 a T Circolare  
 Rettangoli Coord.  
 DXF

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

Tipo flessione: Retta Deviata

Materiali: B450C C35/45

$\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm²  $f_{cd}$  19,83  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  1  
 $\epsilon_{syd}$  1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  13,5  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $T_{co}$  0,8  
 $T_{c1}$  2,257

$M_{xRd}$  164,5 kNm  
 $\sigma_c$  -19,83 N/mm²  
 $\sigma_s$  391,3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  20,49 ‰  
 d 32,3 cm  
 x 4,713 x/d 0,1459  
 $\delta$  0,7

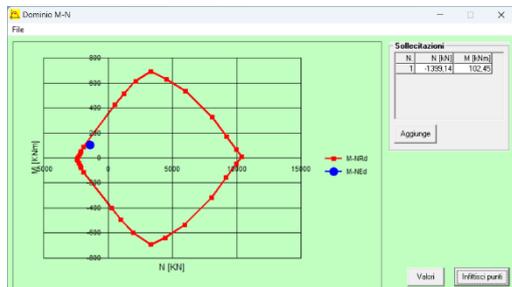
Metodo calcestruzzo - Acciaio snervato

Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
 M-curvatura  
 Precompresso

Il momento resistente risulta pari a:

- $M_{TRASV,Rd} = 164,50 \text{ kNm} > M_{TRASV,Sd} = 102,45 \text{ kNm}$

Di seguito è riportato il dominio di resistenza della sezione:



## 11.6 Verifica allo Stato Limite Ultimo per taglio

Di seguito è riportata la valutazione dell'azione tagliante resistente:

### VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI AL TAGLIO D.M. 14.01.2008 - CAPITOLO 4.1.2.3.5.2

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE

Base della sezione	b	100,00	[cm]
Altezza della sezione	h	40,00	[cm]
Copriferro netto	c	4,50	[cm]
Altezza utile della sezione	d	35,50	[cm]

#### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Livello di conoscenza	LC	NUOVO	
Fattore di confidenza	FC	1,00	[-]
Classe di resistenza del calcestruzzo		C35/45	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck}$	45,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	$f_{ck}$	37,35	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c / FC$	21,17	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tipologia dell'acciaio da armatura		B450C	
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk}$	540,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$	450,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s / FC$	391,30	[N/mm <sup>2</sup> ]

#### ARMATURA TRASVERSALE

Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento strutturale	$\alpha$	90,00	[°]
Numero di bracci dell'armatura trasversale	n	5,00	
Passo longitudinale delle armature trasversali	s	40,00	[cm]
Diametro dell'armatura trasversale	$\phi_{trav}$	12,00	[mm]
Area della singola barra	$A_{soma}$	1,13	[cm <sup>2</sup> ]
Area totale dell'armatura trasversale	$A_{tot}$	14,13	[cm <sup>2</sup> /m]

#### VERIFICA ALLO S.L.U. PER TAGLIO

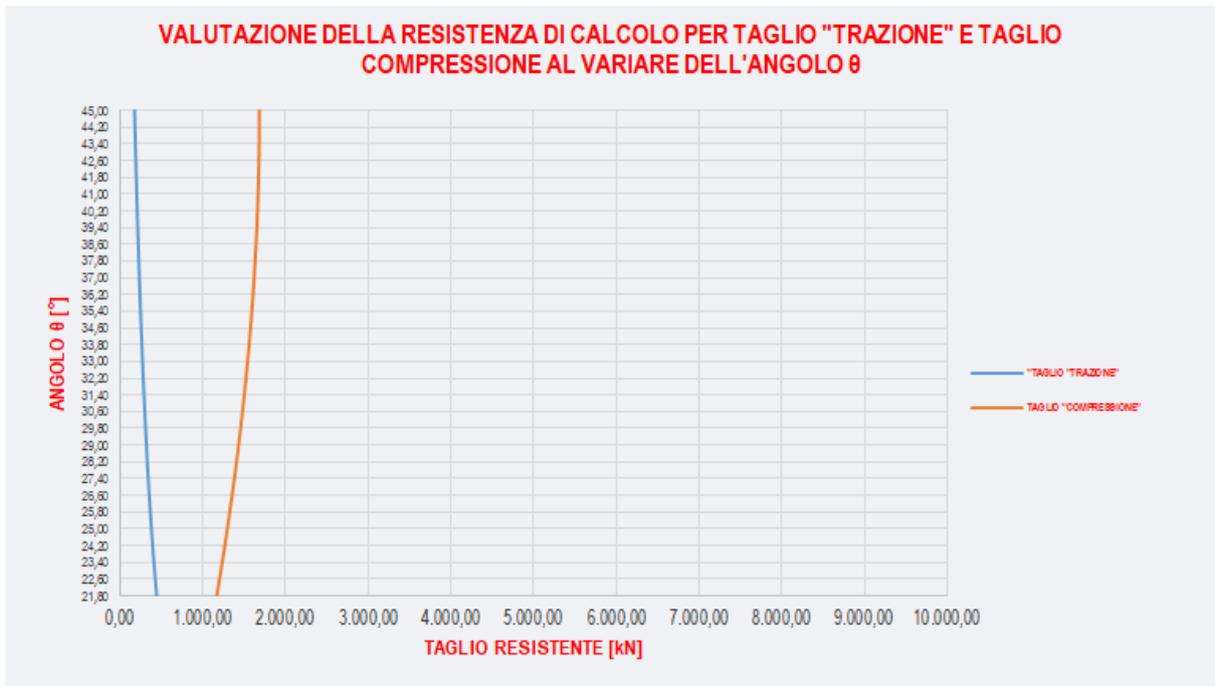
La resistenza di calcolo a "taglio trazione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.27]:

$$V_{Rsd} = 0,90 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot [\cot(\alpha) + \cot(\theta)] \cdot \sin(\alpha)$$

La resistenza di calcolo a "taglio compressione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.28]:

$$V_{Rcd} = 0,90 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \left[ \frac{\cot(\alpha) + \cot(\theta)}{1 + \cot^2(\theta)} \right]$$

Larghezza minima della sezione:	$b_w$	100,00	[cm]
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo:	$f_{yd}$	10,58	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensione media di compressione nella sezione:	$\sigma_{cp}$	0,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Coefficiente maggiorativo $\alpha_c$ :	$\alpha_c$	1,00	[-]



Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo

$\theta$ 

<b>21,80</b>	[°]
--------------	-----

Cotangente dell'angolo  $\theta$

$\cot(\theta)$ 

<b>2,50</b>	[-]
-------------	-----

RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE"

$V_{Rsd}$ 

<b>441,51</b>	[kN]
---------------	------

RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESIONE"

$V_{Rcd}$ 

<b>1.165,84</b>	[kN]
-----------------	------

AZIONE TAGLIANTE RESISTENTE DELLA SEZIONE:

$V_{R,d}$ 

<b>441,51</b>	[kN]
---------------	------

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite Ultimo per taglio in direzione longitudinale.

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$V_{LONG,SD}$ [kN]	$V_{LONG,Rd}$ [kN]	$\rho$	$C_{SIC}$
$N_{LONG,MAX}$	2115	SLU-STR.66(max)	-0,63	-441,51	0,00	698,59
$N_{LONG,MIN}$	1913	SLU-STR.64(min)	-1,09	-441,51	0,00	403,57
$M_{LONG,MAX}$	2143	SLU-STR.66(max)	98,62	441,51	0,22	4,48
$M_{LONG,MIN}$	2130	SLU-STR.62(min)	-114,62	-441,51	0,26	3,85
$V_{LONG,MAX}$	2143	SLU-STR.71(max)	98,90	441,51	0,22	4,46
$V_{LONG,MIN}$	1887	SLU-STR.68(min)	-130,69	-441,51	0,30	3,38

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,30** in corrispondenza della condizione  $V_{LONG,MIN}$ .

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite Ultimo per taglio in direzione trasversale.

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$V_{TRASV,SD}$ [kN]	$V_{TRASV,Rd}$ [kN]	$\rho$	$C_{SIC}$
$N_{TRASV,MAX}$	2092	SLU-STR.61(max)	45,38	441,51	0,10	9,73
$N_{TRASV,MIN}$	2153	SLU-STR.72(min)	4,60	441,51	0,01	96,04
$M_{TRASV,MAX}$	1907	SLU-STR.63(max)	61,06	441,51	0,14	7,23
$M_{TRASV,MIN}$	2131	SLU-STR.71(min)	23,52	441,51	0,05	18,77
$V_{TRASV,MAX}$	2131	SLU-STR.72(max)	111,72	441,51	0,25	3,95
$V_{TRASV,MIN}$	2021	SLU-STR.61(min)	-109,22	-441,51	0,25	4,04

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,25** in corrispondenza della condizione  $V_{TRASV,MAX}$ .

## 12. SETTI S = 50,0 CM – VERIFICHE STRUTTURALI

### 12.1 Definizione delle azioni sollecitanti di calcolo

Per la valutazione delle azioni sollecitanti di calcolo utilizzati nelle verifiche sono state considerate le seguenti condizioni di carico per le due direzioni ortogonali.

#### DIREZIONE LONGITUDINALE

- $N_{LONG,MAX}$  → Azione normale (membranale) longitudinale massima (positiva se di trazione)
- $N_{LONG,MIN}$  → Azione normale (membranale) longitudinale massima (positiva se di trazione)
- $M_{LONG,MAX}$  → Momento flettente longitudinale massimo
- $M_{LONG,MIN}$  → Momento flettente longitudinale minimo
- $V_{LONG,MAX}$  → Azione tagliante longitudinale massima
- $V_{LONG,MIN}$  → Azione tagliante longitudinale minima

#### DIREZIONE VERTICALE

- $N_{TRASV,MAX}$  → Azione normale (membranale) verticale massima (positiva se di trazione)
- $N_{TRASV,MIN}$  → Azione normale (membranale) verticale massima (positiva se di trazione)
- $M_{TRASV,MAX}$  → Momento flettente verticale massimo
- $M_{TRASV,MIN}$  → Momento flettente verticale minimo
- $V_{TRASV,MAX}$  → Azione tagliante verticale massima
- $V_{TRASV,MIN}$  → Azione tagliante verticale minima

Le azioni normali di compressione sono state indicate con segno negativo.

Nella tabella successiva sono riepilogati i valori delle azioni sollecitanti di calcolo utilizzati per le verifiche per lo Stato Limite Ultimo statico (STR) e sismico (SLV):

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{LONG,SD}$ [kN]	$N_{VERT,SD}$ [kN]	$M_{LONG,SD}$ [kNm]	$M_{VERT,SD}$ [kNm]	$V_{LONG,SD}$ [kN]	$V_{VERT,SD}$ [kN]
$N_{LONG,MAX}$	2262	SLU-STR.68(max)	1.727,27	-570,56	42,39	-2,54	46,96	127,47
$N_{LONG,MIN}$	2186	SLU-STR.68(min)	-4.381,60	-5,99	-13,45	-87,53	-1,30	-361,32
$N_{VERT,MAX}$	2287	SLU-STR.66(max)	122,63	362,07	62,65	148,90	346,70	281,53
$N_{VERT,MIN}$	2237	SLU-STR.68(min)	-460,87	-2.922,91	-148,86	-20,78	-351,72	-368,11
$M_{LONG,MAX}$	2237	SLU-STR.64(max)	-225,86	194,30	219,12	33,07	340,34	249,75
$M_{LONG,MIN}$	2237	SLU-STR.68(min)	-460,87	-2.922,91	-148,86	-20,78	-351,72	-368,11
$M_{VERT,MAX}$	2158	SLU-STR.72(max)	1.588,92	-266,38	77,35	245,52	332,64	332,72
$M_{VERT,MIN}$	2179	SLU-STR.61(min)	-3.188,50	-813,30	-95,63	-229,11	132,15	-377,12
$V_{LONG,MAX}$	2158	SLU-STR.61(max)	1.554,36	-246,67	72,18	238,76	348,87	356,28
$V_{LONG,MIN}$	2196	SLU-STR.72(min)	-1.356,81	-134,91	-6,92	-84,67	-484,57	23,95
$V_{VERT,MAX}$	2201	SLU-STR.72(max)	956,69	-220,54	-4,01	25,89	55,88	531,75
$V_{VERT,MIN}$	2158	SLU-STR.72(min)	-3.731,50	-1.092,69	-89,94	-110,17	-98,86	-814,11

Nella tabella successiva sono riepilogati i valori delle azioni sollecitanti di calcolo utilizzati per le verifiche per lo Stato Limite di Esercizio (Combinazioni Caratteristiche):

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	N <sub>LONG,Sd</sub> [kN]	N <sub>VERT,Sd</sub> [kN]	M <sub>LONG,Sd</sub> [kNm]	M <sub>VERT,Sd</sub> [kNm]	V <sub>LONG,Sd</sub> [kN]	V <sub>VERT,Sd</sub> [kN]
N <sub>LONG,MAX</sub>	2262	SLE-CAR.68(max)	<b>1.084,89</b>	-431,81	33,61	-2,41	15,06	84,44
N <sub>LONG,MIN</sub>	2186	SLE-CAR.68(min)	<b>-3.206,34</b>	-2,78	-8,54	-57,28	-0,61	-246,63
N <sub>VERT,MAX</sub>	2287	SLE-CAR.66(max)	-43,12	<b>248,31</b>	44,67	103,24	250,90	202,01
N <sub>VERT,MIN</sub>	2237	SLE-CAR.68(min)	-325,14	<b>-2.208,06</b>	-98,19	-13,82	-233,80	-249,76
M <sub>LONG,MAX</sub>	2237	SLE-CAR.64(max)	-167,59	-128,77	<b>147,37</b>	22,12	228,04	162,55
M <sub>LONG,MIN</sub>	2237	SLE-CAR.68(min)	-325,14	-2.208,06	<b>-98,19</b>	-13,82	-233,80	-249,76
M <sub>VERT,MAX</sub>	2158	SLE-CAR.72(max)	886,77	-230,45	46,95	<b>168,04</b>	250,23	214,07
M <sub>VERT,MIN</sub>	2179	SLE-CAR.61(min)	-2.320,93	-597,90	-69,91	<b>-154,32</b>	116,70	-251,65
V <sub>LONG,MAX</sub>	2158	SLE-CAR.61(max)	863,30	-217,12	43,46	163,49	<b>261,15</b>	230,08
V <sub>LONG,MIN</sub>	2196	SLE-CAR.72(min)	-1.002,89	-94,80	-5,51	-58,69	<b>-355,08</b>	28,84
V <sub>VERT,MAX</sub>	2201	SLE-CAR.72(max)	386,13	-160,20	-6,62	8,85	42,13	<b>374,90</b>
V <sub>VERT,MIN</sub>	2158	SLE-CAR.72(min)	-2.662,33	-782,19	-64,68	-69,19	-37,75	<b>-550,83</b>

## 12.2 Sezione e armatura di verifica

La sezione di verifica è assunta rettangolare con base pari a **100,0 cm** e altezza pari a **50,0 cm**.

L'armatura orizzontale è costituita da:

### DIREZIONE VERTICALE

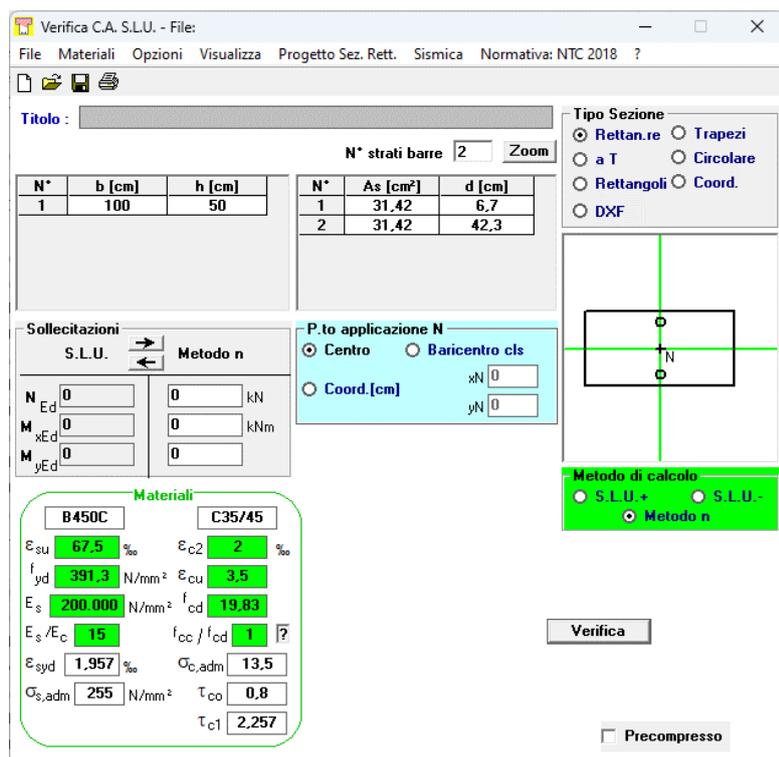
- $\varnothing 20/10$  interni
- $\varnothing 20/10$  esterni

### DIREZIONE LONGITUDINALE

- $\varnothing 20/10$  interni
- $\varnothing 20/10$  esterni

L'armatura a taglio è costituita da spille  $\varnothing 12/20 \times 20$ . Il copriferro netto minimo è assunto pari a **45 mm**.

Nell'immagine seguente è riportato il form di verifica della sezione in direzione verticale:



The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. The main window displays various input fields and tables for section verification.

**Titolo:** [Empty field]

**N° strati barre:** 2

**Table 1:**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	50

**Table 2:**

N°	As [cm²]	d [cm]
1	31,42	6,7
2	31,42	42,3

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

**N Ed:** 0 kN  
**M xEd:** 0 kNm  
**M yEd:** 0 kNm

**P.to applicazione N:** Centro (selected), Baricentro cls, Coord.[cm] (xN: 0, yN: 0)

**Materiali:** B450C, C35/45

**Material Properties:**

- $E_{su}$ : 67,5 %
- $E_{c2}$ : 2 %
- $f_{yd}$ : 391,3 N/mm²
- $E_{cu}$ : 3,5
- $E_s$ : 200.000 N/mm²
- $f_{cd}$ : 19,83
- $E_s/E_c$ : 15
- $f_{cc}/f_{cd}$ : 1
- $E_{syd}$ : 1,957 %
- $\sigma_{c,adm}$ : 13,5
- $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm²
- $\tau_{co}$ : 0,8
- $\tau_{c1}$ : 2,257

**Tipo Sezione:** Rettan.re (selected), Trapezi, a T, Circolare, Rettangoli, Coord., DXF

**Metodo di calcolo:** S.L.U. +, S.L.U. -, Metodo n (selected)

**Buttons:** Verifica, Precompresso

Nell'immagine seguente è riportato il form di verifica della sezione in direzione longitudinale:

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N\* strati barre 2 Zoom

N*	b [cm]	h [cm]
1	100	50

N*	As [cm²]	d [cm]
1	31,42	8,7
2	31,42	41,3

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.  
 DXF

Sollecitazioni  
 S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 0

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

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

Verifica

Precompresso

Materiali

B450C		C35/45	
$\epsilon_{su}$	67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	391,3 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$	3,5 ‰
$E_s$	200.000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	19,83
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	1
$\epsilon_{syd}$	1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	13,5
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$	0,8
		$\tau_{c1}$	2,257

## 12.3 Verifica allo Stato Limite di Esercizio di limitazione delle tensioni

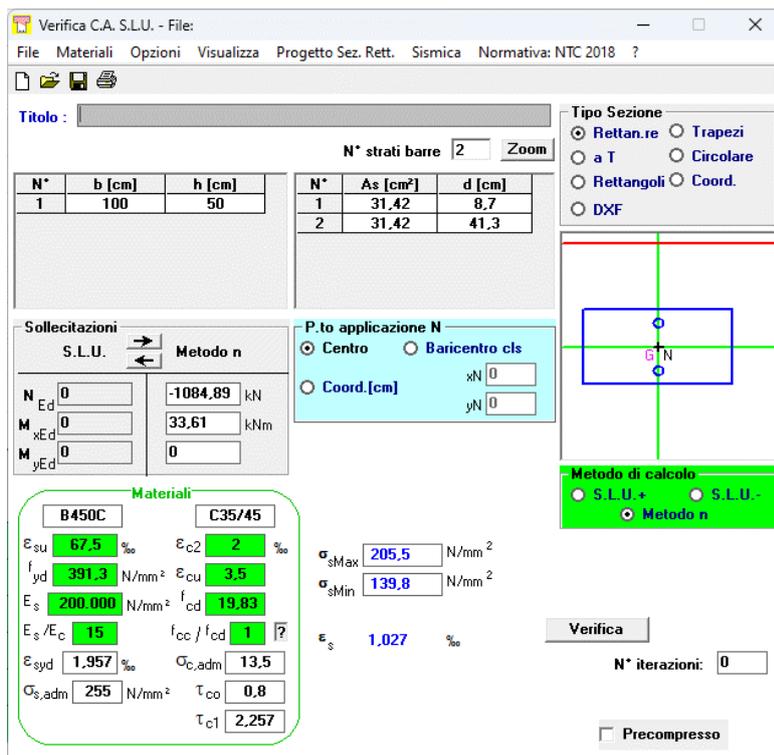
### 12.3.1 Direzione longitudinale

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite di Limitazione delle tensione per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche.

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{LONG,SD}$ [kN]	$M_{LONG,SD}$ [kNm]	$\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$0,60 \cdot f_{sk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$0,80 \cdot f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\rho$	$C_{sac}$
$N_{LONG,MAX}$	2262	SLE-CAR.68(max)	1.084,89	33,61	0,00	22,41	205,50	360,00	0,57	1,75
$N_{LONG,MIN}$	2186	SLE-CAR.68(min)	-3.206,34	-8,54	5,56	22,41	0,00	360,00	0,25	4,03
$M_{LONG,MAX}$	2237	SLE-CAR.64(max)	-167,59	147,37	4,71	22,41	105,10	360,00	0,29	3,43
$M_{LONG,MIN}$	2237	SLE-CAR.68(min)	-325,14	-98,19	3,19	22,41	39,92	360,00	0,14	7,03
$V_{LONG,MAX}$	2158	SLE-CAR.61(max)	863,30	43,46	0,00	22,41	179,80	360,00	0,50	2,00
$V_{LONG,MIN}$	2196	SLE-CAR.72(min)	-1.002,89	-5,51	1,79	22,41	0,00	360,00	0,08	12,52

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,57** in corrispondenza della condizione  $N_{LONG,MAX}$ .

Di seguito è riportato il form di verifica per la condizione maggiormente gravosa:



The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. Key sections include:

- Titolo:** [Empty field]
- N\* strati barre:** 2
- Table of bar layers:**

N*	As [cm <sup>2</sup> ]	d [cm]
1	31,42	8,7
2	31,42	41,3
- Sollecitazioni (S.L.U.):**
  - $N_{Ed}$ : 0
  - $M_{xEd}$ : 0
  - $M_{yEd}$ : 0
  - Applied load: -1084,89 kN
  - Applied moment: 33,61 kNm
- P.to applicazione N:**
  - Centro (selected)
  - Baricentro cls
  - Coord. [cm]: xN=0, yN=0
- Materiali:**
  - B450C:  $E_{su}$  67,5%,  $f_{yd}$  391,3 N/mm<sup>2</sup>,  $E_s$  200.000 N/mm<sup>2</sup>,  $E_s/E_c$  15,  $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>
  - C35/45:  $\epsilon_{c2}$  2‰,  $\epsilon_{cu}$  3,5,  $f_{cd}$  19,83,  $\tau_{co}$  0,8,  $\tau_{c1}$  2,257
- Stress values:**
  - $\sigma_{sMax}$ : 205,5 N/mm<sup>2</sup>
  - $\sigma_{sMin}$ : 139,8 N/mm<sup>2</sup>
  - $\epsilon_s$ : 1,027‰
- Metodo di calcolo:** S.L.U. + (selected), S.L.U. -, Metodo n
- Verifica:** N\* iterazioni: 0
- Precompresso:** [Unselected checkbox]

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = - N/mm^2$  (SEZIONE TESA)
- $\sigma_s = 205,50 N/mm^2 < 0,80 \cdot f_{yk} = 360,00 N/mm^2$

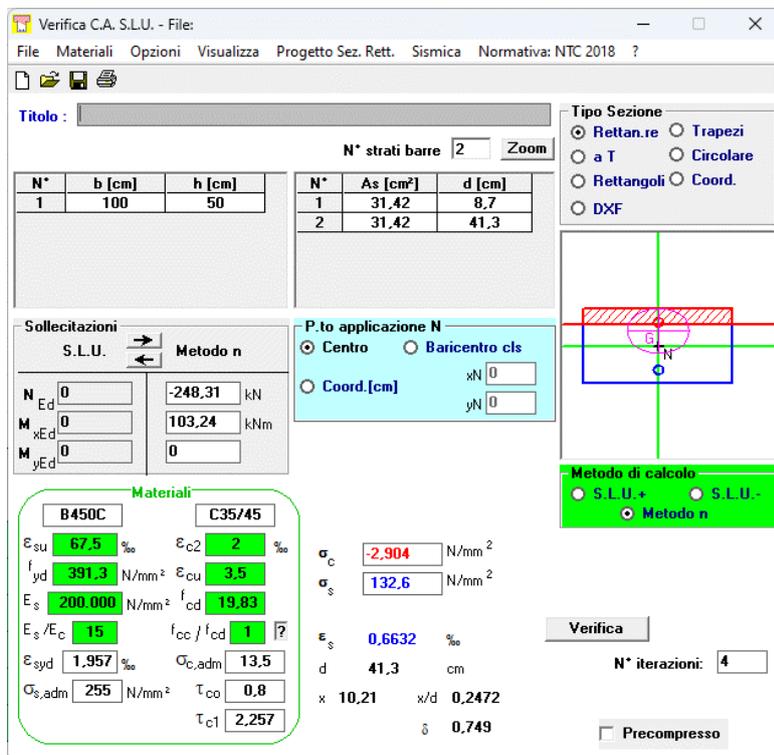
### 12.3.2 Direzione verticale

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite di Limitazione delle tensioni per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche.

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{VERT,SD}$ [kN]	$M_{VERT,SD}$ [kNm]	$\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$0,60 \cdot f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$0,80 \cdot f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\rho$	$C_{SIC}$
$N_{VERT,MAX}$	2287	SLE-CAR.66(max)	248,31	103,24	2,52	22,41	132,60	360,00	0,37	2,71
$N_{VERT,MIN}$	2237	SLE-CAR.68(min)	-2.208,06	-13,82	3,94	22,41	0,00	360,00	0,18	5,69
$M_{VERT,MAX}$	2158	SLE-CAR.72(max)	-230,45	168,04	4,98	22,41	108,80	360,00	0,30	3,31
$M_{VERT,MIN}$	2179	SLE-CAR.61(min)	-597,90	-154,32	4,71	22,41	48,77	360,00	0,21	4,76
$V_{VERT,MAX}$	2201	SLE-CAR.72(max)	-160,20	8,85	0,43	22,41	0,00	360,00	0,02	51,91
$V_{VERT,MIN}$	2158	SLE-CAR.72(min)	-782,19	-69,19	2,59	22,41	0,00	360,00	0,12	8,65

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,37** in corrispondenza della condizione  $N_{VERT,MAX}$ .

Di seguito è riportato il form di verifica per la condizione maggiormente gravosa:



The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. Key parameters and results are as follows:

- Section Properties:**
  - Section type: Rettan.re (selected)
  - Width (b): 100 cm, Height (h): 50 cm
  - Effective depth (d): 41,3 cm
  - Area of steel (As): 31,42 cm<sup>2</sup>
- Applied Forces (S.L.U.):**
  - Normal force (N<sub>Ed</sub>): -248,31 kN
  - Moment (M<sub>xEd</sub>): 103,24 kNm
  - Moment (M<sub>yEd</sub>): 0
- Materials:**
  - Concrete: C35/45 (E<sub>s</sub> = 200.000 N/mm<sup>2</sup>, f<sub>cd</sub> = 19,83)
  - Steel: B450C (E<sub>s</sub> = 200.000 N/mm<sup>2</sup>, f<sub>yk</sub> = 450)
- Stress Results:**
  - Concrete stress (σ<sub>c</sub>): -2,904 N/mm<sup>2</sup>
  - Steel stress (σ<sub>s</sub>): 132,6 N/mm<sup>2</sup>
  - Strain (ε<sub>s</sub>): 0,6632 ‰
- Verification:**
  - Method: Metodo n
  - Iterations: 4
  - Precompressed:

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = 2,90 \text{ N/mm}^2 < 0,60 \cdot f_{ck} = 22,41 \text{ N/mm}^2$
- $\sigma_s = 132,60 \text{ N/mm}^2 < 0,80 \cdot f_{yk} = 360,00 \text{ N/mm}^2$

## 12.4 Verifica allo Stato Limite di Esercizio per fessurazione

### 12.4.1 Direzione longitudinale

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche.

L'apertura limite delle fessure per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche è stato assunto pari a:

$$w_{lim} = 0,30 \text{ mm}$$

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{LONG,SD}$ [kN]	$M_{LONG,SD}$ [kNm]	$W_d$ [mm]	$W_{lim}$ [mm]	$\rho$	$C_{SIC}$
$N_{LONG,MAX}$	2262	SLE-CAR.68(max)	1.084,89	33,61	0,200	0,300	0,67	1,50
$N_{LONG,MIN}$	2186	SLE-CAR.68(min)	-3.206,34	-8,54	0,000	0,300	0,00	-
$M_{LONG,MAX}$	2237	SLE-CAR.64(max)	-167,59	147,37	0,080	0,300	0,27	3,75
$M_{LONG,MIN}$	2237	SLE-CAR.68(min)	-325,14	-98,19	0,030	0,300	0,10	10,00
$V_{LONG,MAX}$	2158	SLE-CAR.61(max)	863,30	43,46	0,170	0,300	0,57	1,76
$V_{LONG,MIN}$	2196	SLE-CAR.72(min)	-1.002,89	-5,51	0,000	0,300	0,00	-

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,67** in corrispondenza della condizione  $N_{LONG,MAX}$ . Di seguito è riportato il form di verifica per la condizione maggiormente gravosa:

Geometria della sezione	
Altezza della sezione	$h = 500$ [mm]
Larghezza della sezione	$b = 1000$ [mm]
Altezza utile della sezione	$d = 413$ [mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	$d' = 87$ [mm]
Ricoprimento dell'armatura	$c = 45$ [mm]
<b>Armatura tesa ordinaria</b>	
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,1} = 10$ [-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,1} = 20$ [mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,1} = 3142$ [mm <sup>2</sup> ]
<b>Armatura tesa di infittimento</b>	
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,2} = 0$ [-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,2} = 0$ [mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,2} = 0$ [mm <sup>2</sup> ]
Caratteristiche dei materiali	
Resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo	$f_{ck} = 37,35$ [MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	$f_{ctm} = 3,4$ [MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	$E_{cm} = 34625$ [MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	$f_{yk} = 450$ [MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	$E_s = 210000$ [MPa]
DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE	
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	$\sigma_s = 205,5$ [MPa]
Asse neutro della sezione	$x = 0$ [mm]
Tipo e durata dei carichi applicati	Lunga
Coefficiente di omogeneizzazione	$\alpha_e = 6,06$ [-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	$A_s = 3142$ [mm <sup>2</sup> ]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff,1} = 217500$ [mm <sup>2</sup> ]
	$A_{c,eff,2} = 166667$ [mm <sup>2</sup> ]
	$A_{c,eff,3} = 250000$ [mm <sup>2</sup> ]
	$A_{c,eff,min} = 166667$ [mm <sup>2</sup> ]



Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{s,eff}$	0,01885 [-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3,4 [MPa]
Fattore di durata del carico	$k_1$	0,4 [-]
<b>Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls</b>	$[e_{sm}-e_{cm}]_{min}$	0,000587 [-]
	$[e_{sm}-e_{cm}]_{calo.}$	0,000601 [-]
	<b><math>[e_{sm}-e_{cm}]</math></b>	<b>0,000601 [-]</b>
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	100 [mm]
Diametro equivalente delle barre	$\phi_{eq}$	20,00 [mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	275 [mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	$k_1$	0,800 [-]
	$k_2$	0,500 [-]
	$k_3$	3,400 [-]
	$k_4$	0,425 [-]
<b>Distanza massima tra le fessure</b>	$s_{r,max.1}$	333 [mm]
	$s_{r,max.2}$	650 [mm]
	<b><math>s_{r,max}</math></b>	<b>333 [mm]</b>
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k,lim}$	0,30 [mm]
<b>Ampiezza delle fessure (di calcolo)</b>	<b><math>w_k</math></b>	<b>0,20 [mm]</b>

## 12.4.2 Direzione trasversale

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite di fessurazione per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche.

L'apertura limite delle fessure per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche è stato assunto pari a:

$$w_{lim} = 0,30 \text{ mm}$$

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{VERT,SD}$ [kN]	$M_{VERT,SD}$ [kNm]	$w_d$ [mm]	$w_{lim}$ [mm]	$\rho$	$C_{SIC}$
$N_{VERT,MAX}$	2287	SLE-CAR.66(max)	248,31	103,24	0,110	0,300	0,37	2,73
$N_{VERT,MIN}$	2237	SLE-CAR.68(min)	-2.208,06	-13,82	0,000	0,300	0,00	-
$M_{VERT,MAX}$	2158	SLE-CAR.72(max)	-230,45	168,04	0,080	0,300	0,27	3,75
$M_{VERT,MIN}$	2179	SLE-CAR.61(min)	-597,90	-154,32	0,030	0,300	0,10	10,00
$V_{VERT,MAX}$	2201	SLE-CAR.72(max)	-160,20	8,85	0,000	0,300	0,00	-
$V_{VERT,MIN}$	2158	SLE-CAR.72(min)	-782,19	-69,19	0,000	0,300	0,00	-

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,37** in corrispondenza della condizione  $N_{VERT,MAX}$ . Di seguito è riportato il form di verifica per la condizione maggiormente gravosa:

Geometria della sezione	
Altezza della sezione	h ..... 500 [mm]
Larghezza della sezione	b ..... 1000 [mm]
Altezza utile della sezione	d ..... 413 [mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d' ..... 87 [mm]
Ricoprimento dell'armatura	c ..... 45 [mm]
<a href="#">Armatura tesa ordinaria</a>	
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,1}$ ..... 10 [-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,1}$ ..... 20 [mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,1}$ ..... 3142 [mm <sup>2</sup> ]
<a href="#">Armatura tesa di infittimento</a>	
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	$n_{f,2}$ ..... 0 [-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	$\phi_{f,2}$ ..... 0 [mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	$A_{sf,2}$ ..... 0 [mm <sup>2</sup> ]
Caratteristiche dei materiali	
Resistenza caratteristica cilindrica dal calcestruzzo	$f_{ck}$ ..... 37,35 [MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	$f_{ctm}$ ..... 3,4 [MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	$E_{cm}$ ..... 34625 [MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	$f_{yk}$ ..... 450 [MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	$E_s$ ..... 210000 [MPa]
DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE	
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	$\sigma_s$ ..... 132,6 [MPa]
Asse neutro della sezione	X ..... 102,1 [mm]
Tipo e durata dei carichi applicati	Lunga ▾
Coefficiente di omogeneizzazione	$\alpha_e$ ..... 6,06 [-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	$A_s$ ..... 3142 [mm <sup>2</sup> ]
Area efficace tesa di calcestruzzo	$A_{c,eff,1}$ ..... 217500 [mm <sup>2</sup> ]
	$A_{c,eff,2}$ ..... 132633 [mm <sup>2</sup> ]
	$A_{c,eff,3}$ ..... 250000 [mm <sup>2</sup> ]
	$A_{c,eff,min}$ ..... 132633 [mm <sup>2</sup> ]



Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0,02369 [-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3,4 [MPa]
Fattore di durata del carico	$k_1$	0,4 [-]
<b>Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls</b>	$[e_{sm}-e_{cm}]_{min}$	0,000379 [-]
	$[e_{sm}-e_{cm}]_{calo.}$	0,000323 [-]
	<b><math>[e_{sm}-e_{cm}]</math></b>	<b>0,000379 [-]</b>
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	100 [mm]
Diametro equivalente delle barre	$\phi_{eq}$	20,00 [mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	275 [mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	$k_1$	0,800 [-]
	$k_2$	0,500 [-]
	$k_3$	3,400 [-]
	$k_4$	0,425 [-]
<b>Distanza massima tra le fessure</b>	$s_{r,max.1}$	297 [mm]
	$s_{r,max.2}$	517 [mm]
	<b><math>s_{r,max}</math></b>	<b>297 [mm]</b>
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k,lim}$	0,30 [mm]
<b>Ampiezza delle fessure (di calcolo)</b>	<b><math>w_k</math></b>	<b>0,11 [mm]</b>

## 12.5 Verifica allo Stato Limite Ultimo per pressoflessione deviata

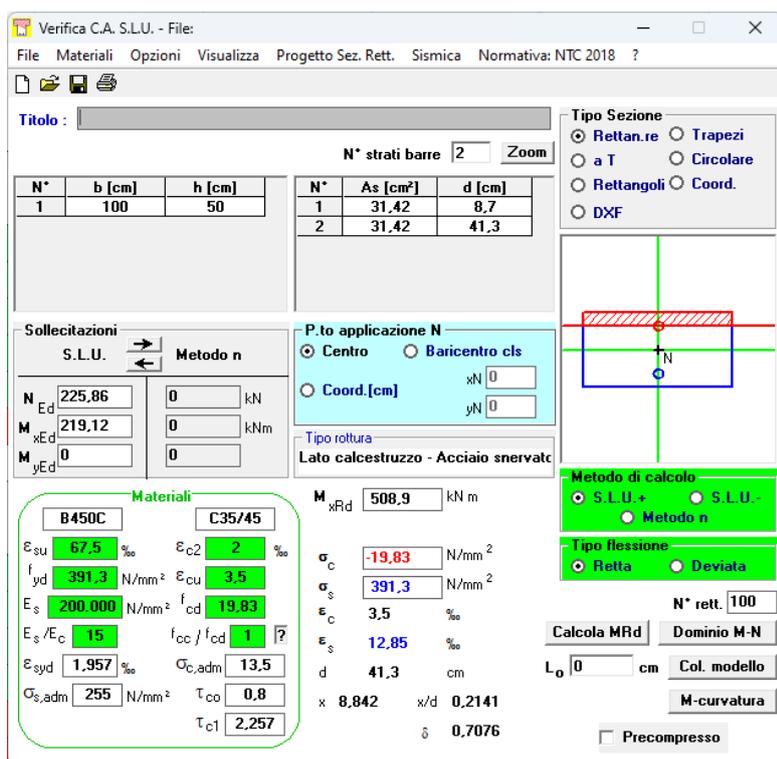
### 12.5.1 Direzione longitudinale

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite Ultimo per pressoflessione.

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{LONG,Sd}$ [kN]	$M_{LONG,Sd}$ [kNm]	$M_{LONG,Rd}$ [kNm]	$\rho$	$C_{Sic}$
$N_{LONG,MAX}$	2262	SLU-STR.68(max)	1.727,27	42,39	169,00	0,25	3,99
$N_{LONG,MIN}$	2186	SLU-STR.68(min)	-4.381,60	-13,45	-988,00	0,01	73,48
$M_{LONG,MAX}$	2237	SLU-STR.64(max)	-225,86	219,12	508,90	0,43	2,32
$M_{LONG,MIN}$	2237	SLU-STR.68(min)	-460,87	-148,86	-548,20	0,27	3,68
$V_{LONG,MAX}$	2158	SLU-STR.61(max)	1.554,36	72,18	204,70	0,35	2,84
$V_{LONG,MIN}$	2196	SLU-STR.72(min)	-1.356,81	-6,92	-693,00	0,01	100,14

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,43** in corrispondenza della condizione  $M_{LONG,MAX}$ .

Di seguito è riportato il form di verifica per la condizione maggiormente gravosa:



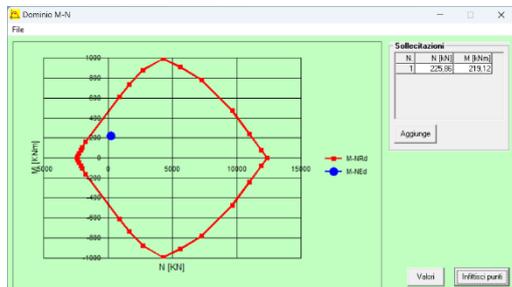
The screenshot shows the software interface for structural verification. Key parameters include:

- Materials:** B450C (steel) and C35/45 (concrete). Properties like  $E_{su}$ ,  $f_{yd}$ ,  $E_s$ ,  $E_s/E_c$ ,  $E_{syd}$ ,  $\sigma_{s,adm}$ ,  $\epsilon_{c2}$ ,  $\epsilon_{cu}$ ,  $f_{cc}/f_{cd}$ ,  $\sigma_{c,adm}$ ,  $\tau_{co}$ , and  $\tau_{c1}$  are listed.
- Section Properties:**  $N^*$  strati barre = 2,  $b$  [cm] = 100,  $h$  [cm] = 50,  $N^*$  = 1, 2,  $A_s$  [cm<sup>2</sup>] = 31,42,  $d$  [cm] = 8,7, 41,3.
- Applied Forces:**  $N_{Ed}$  = 225,86 kN,  $M_{xEd}$  = 219,12 kNm,  $M_{yEd}$  = 0.
- Design Moment:**  $M_{xRd}$  = 508,9 kNm.
- Stress Results:**  $\sigma_c$  = -19,83 N/mm<sup>2</sup>,  $\sigma_s$  = 391,3 N/mm<sup>2</sup>.
- Other Parameters:**  $\epsilon_c$  = 3,5‰,  $\epsilon_s$  = 12,85‰,  $d$  = 41,3 cm,  $x$  = 8,842,  $x/d$  = 0,2141,  $\delta$  = 0,7076.

Il momento resistente risulta pari a:

- $M_{LONG,Rd} = 508,90 \text{ kNm} > M_{LONG,Sd} = 219,12 \text{ kNm}$

Di seguito è riportato il dominio di resistenza della sezione:



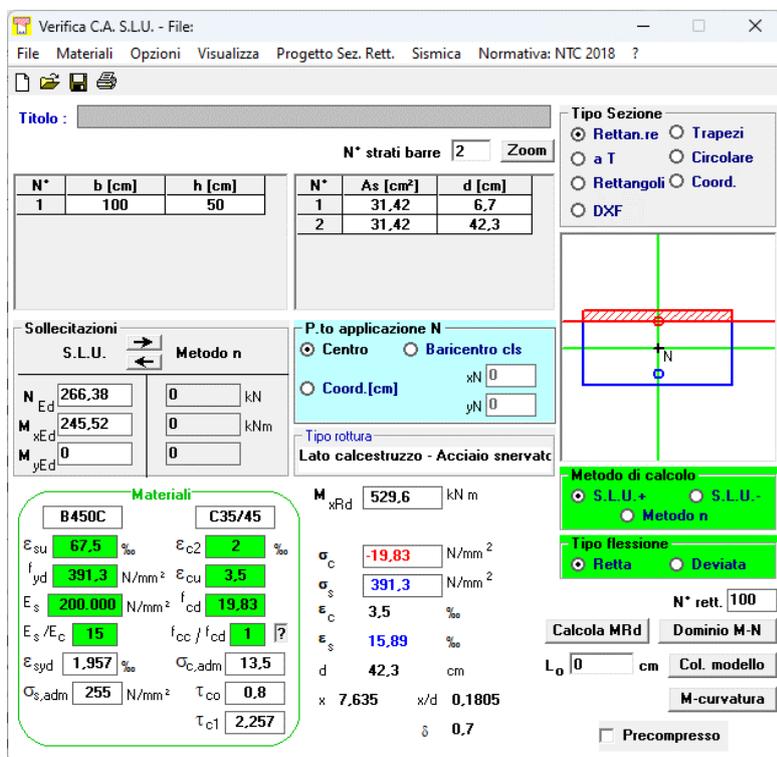
## 12.5.2 Direzione verticale

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite Ultimo per pressoflessione.

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{VERT,Sd}$ [kN]	$M_{VERT,Sd}$ [kNm]	$M_{VERT,Rd}$ [kNm]	$\rho$	$C_{sic}$
$N_{VERT,MAX}$	2287	SLU-STR.66(max)	362,07	148,90	412,60	0,36	2,77
$N_{VERT,MIN}$	2237	SLU-STR.68(min)	-2.922,91	-20,78	-947,00	0,02	45,57
$M_{VERT,MAX}$	2158	SLU-STR.72(max)	-266,38	245,52	529,60	0,46	2,16
$M_{VERT,MIN}$	2179	SLU-STR.61(min)	-813,30	-229,11	-629,10	0,36	2,75
$V_{VERT,MAX}$	2201	SLU-STR.72(max)	-220,54	25,89	521,10	0,05	20,13
$V_{VERT,MIN}$	2158	SLU-STR.72(min)	-1.092,69	-110,17	-678,50	0,16	6,16

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,46** in corrispondenza della condizione  $M_{VERT,MAX}$ .

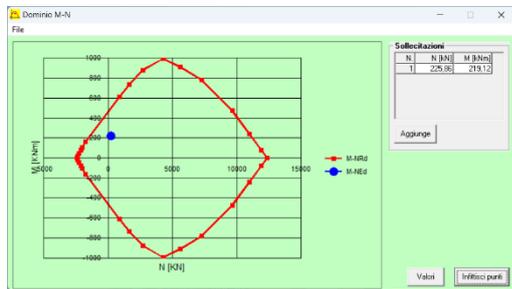
Di seguito è riportato il form di verifica per la condizione maggiormente gravosa:



Il momento resistente risulta pari a:

- $M_{TRASV,Rd} = 529,60 \text{ kNm} > M_{TRASV,Sd} = 219,12 \text{ kNm}$

Di seguito è riportato il dominio di resistenza della sezione:



## 12.6 Verifica allo Stato Limite Ultimo per taglio

Di seguito è riportata la valutazione dell'azione tagliante resistente:

### VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI AL TAGLIO D.M. 14.01.2008 - CAPITOLO 4.1.2.3.5.2

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE

Base della sezione	b	100,00	[cm]
Altezza della sezione	h	50,00	[cm]
Copriferro netto	c	4,50	[cm]
Altezza utile della sezione	d	45,50	[cm]

#### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Livello di conoscenza	LC	NUOVO	
Fattore di confidenza	FC	1,00	[-]
Classe di resistenza del calcestruzzo		C35/45	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck}$	45,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	$f_{ck}$	37,35	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c / FC$	21,17	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tipologia dell'acciaio da armatura		B450C	
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk}$	540,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$	450,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s / FC$	391,30	[N/mm <sup>2</sup> ]

#### ARMATURA TRASVERSALE

Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento strutturale	$\alpha$	90,00	[°]
Numero di bracci dell'armatura trasversale	n	5,00	
Passo longitudinale delle armature trasversali	s	20,00	[cm]
Diametro dell'armatura trasversale	$\phi_{trav}$	12,00	[mm]
Area della singola barra	$A_{soma}$	1,13	[cm <sup>2</sup> ]
Area totale dell'armatura trasversale	$A_{tot}$	28,25	[cm <sup>2</sup> /m]

#### VERIFICA ALLO S.L.U. PER TAGLIO

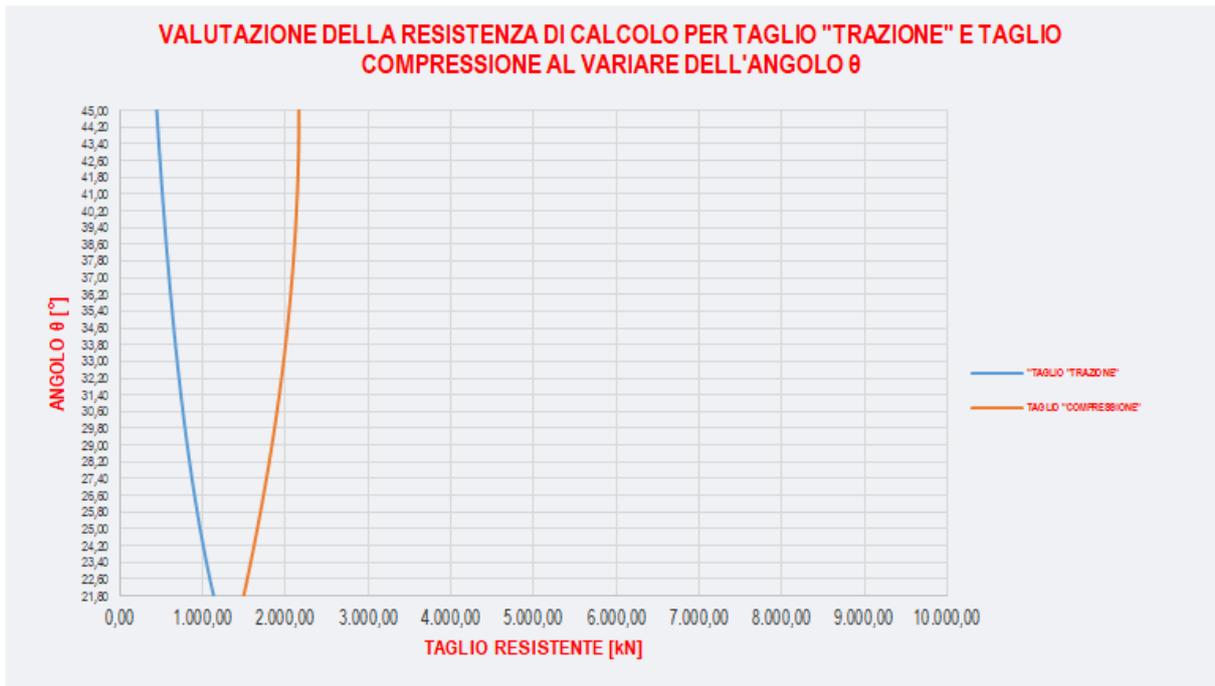
La resistenza di calcolo a "taglio trazione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.27]:

$$V_{Rsd} = 0,90 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot [\cot(\alpha) + \cot(\theta)] \cdot \sin(\alpha)$$

La resistenza di calcolo a "taglio compressione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.28]:

$$V_{Rcd} = 0,90 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \left[ \frac{\cot(\alpha) + \cot(\theta)}{1 + \cot^2(\theta)} \right]$$

Larghezza minima della sezione:	$b_w$	100,00	[cm]
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo:	$f_{yd}$	10,58	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensione media di compressione nella sezione:	$\sigma_{cp}$	0,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Coefficiente maggiorativo $\alpha_c$ :	$\alpha_c$	1,00	[-]



Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo

$\theta$ 

<b>21,80</b>	[°]
--------------	-----

Cotangente dell'angolo  $\theta$

$\cot(\theta)$ 

<b>2,50</b>	[-]
-------------	-----

RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE"

$V_{Rsd}$ 

<b>1.131,77</b>	[kN]
-----------------	------

RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESIONE"

$V_{Rcd}$ 

<b>1.494,24</b>	[kN]
-----------------	------

AZIONE TAGLIANTE RESISTENTE DELLA SEZIONE:

$V_{R,d}$ 

<b>1.131,77</b>	[kN]
-----------------	------

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite Ultimo per taglio in direzione longitudinale.

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$V_{LONG,Sd}$ [kN]	$V_{LONG,Rd}$ [kN]	$\rho$	$C_{SIC}$
$N_{LONG,MAX}$	2115	SLU-STR.66(max)	-0,63	-441,51	0,00	698,59
$N_{LONG,MIN}$	1913	SLU-STR.64(min)	-1,09	-441,51	0,00	403,57
$M_{LONG,MAX}$	2143	SLU-STR.66(max)	98,62	441,51	0,22	4,48
$M_{LONG,MIN}$	2130	SLU-STR.62(min)	-114,62	-441,51	0,26	3,85
$V_{LONG,MAX}$	2143	SLU-STR.71(max)	98,90	441,51	0,22	4,46
$V_{LONG,MIN}$	1887	SLU-STR.68(min)	-130,69	-441,51	0,30	3,38

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,30** in corrispondenza della condizione  $V_{LONG,MIN}$ .

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite Ultimo per taglio in direzione trasversale.

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$V_{VERT,Sd}$ [kN]	$V_{VERT,Rd}$ [kN]	$\rho$	$C_{SIC}$
$N_{VERT,MAX}$	2287	SLU-STR.66(max)	281,53	1.131,77	0,25	4,02
$N_{VERT,MIN}$	2237	SLU-STR.68(min)	-368,11	-1.131,77	0,33	3,07
$M_{VERT,MAX}$	2158	SLU-STR.72(max)	332,72	1.131,77	0,29	3,40
$M_{VERT,MIN}$	2179	SLU-STR.61(min)	-377,12	-1.131,77	0,33	3,00
$V_{VERT,MAX}$	2201	SLU-STR.72(max)	531,75	1.131,77	0,47	2,13
$V_{VERT,MIN}$	2158	SLU-STR.72(min)	-814,11	-1.131,77	0,72	1,39

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,72** in corrispondenza della condizione  $V_{VERT,MIN}$ .

## 13. TRASVERSI 200 X 90 CM – VERIFICHE STRUTTURALI

### 13.1 Valutazione delle azioni sollecitanti di calcolo

Per la valutazione delle azioni sollecitanti di calcolo utilizzati nelle verifiche sono state considerate le seguenti condizioni di carico:

- $N_{MAX}$  → Azione normale massima
- $N_{MIN}$  → Azione normale minima
- $M_{VERT,MAX}$  → Momento flettente verticale massimo
- $M_{LONG,MIN}$  → Momento flettente verticale minimo
- $M_{TRASV,MAX}$  → Momento flettente trasversale massimo
- $M_{TRASV,MIN}$  → Momento flettente trasversale minimo
- $V_{VERT,MAX}$  → Azione tagliante verticale massima
- $V_{VERT,MIN}$  → Azione tagliante verticale minima
- $V_{TRASV,MAX}$  → Azione tagliante trasversale massima
- $V_{TRASV,MIN}$  → Azione tagliante trasversale minima
- $M_{TORC,MAX}$  → Momento torcente massimo
- $M_{TORC,MIN}$  → Momento torcente minimo

Le azioni normali di compressione sono state indicate con segno negativo.

Nella tabella successiva sono riepilogati i valori delle azioni sollecitanti di calcolo utilizzati per le verifiche per lo Stato Limite Ultimo statico (STR) e sismico (SLV):

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{sd}$ [kN]	$V_{TRASV,sd}$ [kN]	$V_{VERT,sd}$ [kN]	$M_{TORC,sd}$ [kNm]	$M_{VERT,sd}$ [kNm]	$M_{TRASV,sd}$ [kNm]
$N_{MAX}$	381	SLU-STR.64(max)	818,29	105,23	8,18	93,47	1.203,44	148,10
$N_{MIN}$	8	SLU-STR.69(min)	-9.181,23	-42,66	-1.678,00	-375,37	-1.460,97	44,72
$M_{VERT,MAX}$	89	SLU-STR.66(max)	-636,95	81,44	1.151,63	103,27	1.713,99	160,21
$M_{VERT,MIN}$	16	SLU-STR.68(min)	-890,27	-261,01	-2.917,36	-703,27	-2.538,32	-2,82
$M_{TRASV,MAX}$	386	SLV.01(max)	-337,25	259,18	-66,99	660,22	624,66	677,74
$M_{TRASV,MIN}$	729	SLU-STR.66(min)	-3.131,44	-43,48	7,24	-139,74	248,93	-274,05
$V_{VERT,MAX}$	880	SLU-STR.64(max)	-4.312,52	98,85	3.101,42	171,26	-1.351,39	58,75
$V_{VERT,MIN}$	16	SLU-STR.20(min)	-781,27	-287,42	-2.982,07	-774,14	-2.243,84	-3,52
$V_{TRASV,MAX}$	880	SLV.02(max)	-3.332,58	671,71	1.977,91	945,77	-407,04	488,12
$V_{TRASV,MIN}$	48	SLU-STR.20(min)	-1.855,37	-298,22	-2.273,65	-598,33	-513,92	-20,06
$M_{TORC,MAX}$	16	SLV.01(max)	-57,47	518,41	-1.208,82	1.136,59	-374,36	41,90
$M_{TORC,MIN}$	16	SLU-STR.20(min)	-781,27	-287,42	-2.982,07	-774,14	-2.243,84	-3,52

Nella tabella successiva sono riepilogati i valori delle azioni sollecitanti di calcolo utilizzati per le verifiche per lo Stato Limite di Esercizio (Combinazioni Caratteristiche):

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	N <sub>sd</sub> [kN]	V <sub>TRASV,sd</sub> [kN]	V <sub>VERT,sd</sub> [kN]	M <sub>TORC,sd</sub> [kNm]	M <sub>VERT,sd</sub> [kNm]	M <sub>TRASV,sd</sub> [kNm]
N <sub>MAX</sub>	381	SLE-CAR.64(max)	<b>174,10</b>	82,12	14,74	65,33	879,78	106,83
N <sub>MIN</sub>	8	SLE-CAR.70(min)	<b>-7.031,73</b>	-47,21	-1.238,86	-277,87	-1.079,05	17,86
M <sub>VERT,MAX</sub>	89	SLE-CAR.66(max)	-918,21	58,39	827,20	74,04	<b>1.238,44</b>	115,31
M <sub>VERT,MIN</sub>	16	SLE-CAR.68(min)	-639,18	-183,10	-2.100,40	-496,96	<b>-1.835,62</b>	-1,95
M <sub>TRASV,MAX</sub>	2300	SLE-CAR.68(max)	-1.011,32	17,20	669,18	144,50	-407,38	<b>355,54</b>
M <sub>TRASV,MIN</sub>	729	SLE-CAR.66(min)	-2.477,70	-30,06	-18,72	-83,47	209,78	<b>-166,90</b>
V <sub>VERT,MAX</sub>	880	SLE-CAR.16(max)	-3.915,27	114,23	<b>2.216,78</b>	200,03	-1.043,03	116,35
V <sub>VERT,MIN</sub>	16	SLE-CAR.16(min)	-618,49	-216,07	<b>-2.262,69</b>	-596,74	-1.648,37	-5,05
V <sub>TRASV,MAX</sub>	700	SLE-CAR.68(max)	-360,71	<b>239,62</b>	134,42	51,20	411,44	129,70
V <sub>TRASV,MIN</sub>	48	SLE-CAR.16(min)	-1.417,18	<b>-231,36</b>	-1.731,14	-461,64	-339,62	-30,68
M <sub>TORC,MAX</sub>	8	SLE-CAR.66(max)	-3.531,61	94,22	-999,62	<b>285,31</b>	-880,07	135,58
M <sub>TORC,MIN</sub>	16	SLE-CAR.16(min)	-618,49	-216,07	-2.262,69	<b>-596,74</b>	-1.648,37	-5,05

## 13.2 Sezione e armatura di verifica

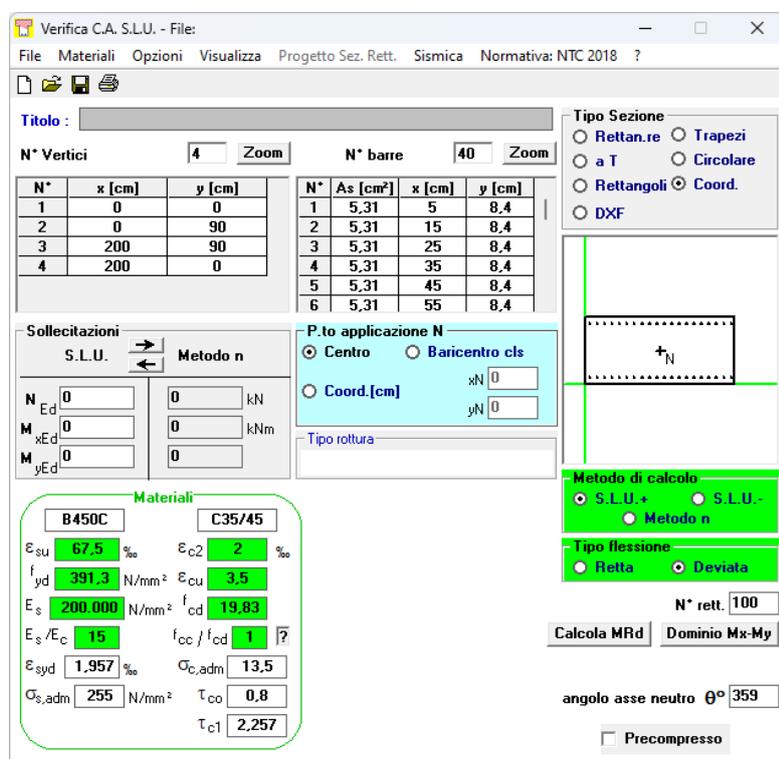
La sezione di verifica è assunta rettangolare con base pari a **200 cm** e altezza pari a **90 cm**.

L'armatura longitudinale è costituita da:

- Armatura superiore: **20Ø26** (passo 10 cm)
- Armatura inferiore: **20Ø26** (passo 10 cm)

L'armatura a taglio è costituita da staffe a 4 bracci **Ø16/15**. Il copriferro netto minimo è assunto pari a **45 mm**.

Nell'immagine seguente è riportato il form di verifica della sezione:



The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. The main window contains several input fields and tables for defining the section and its properties.

**Titolo:** [Empty field]

**N° Vertici:** 4 **Zoom** [Button] **N° barre:** 40 **Zoom** [Button]

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	0	90
3	200	90
4	200	0

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	5,31	5	8,4
2	5,31	15	8,4
3	5,31	25	8,4
4	5,31	35	8,4
5	5,31	45	8,4
6	5,31	55	8,4

**Sollecitazioni:** S.L.U. [Arrow] Metodo n [Arrow]

**N<sub>Ed</sub>:** 0 **0** kN  
**M<sub>xEd</sub>:** 0 **0** kNm  
**M<sub>yEd</sub>:** 0 **0**

**P.to applicazione N:**  Centro  Baricentro cls  Coord.[cm]  
 xN: 0 yN: 0

**Materiali:** B450C C35/45  
 ε<sub>su</sub>: 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub>: 2 ‰  
 f<sub>yd</sub>: 391,3 N/mm² ε<sub>cu</sub>: 3,5 ‰  
 E<sub>s</sub>: 200.000 N/mm² f<sub>cd</sub>: 19,83  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 1  
 ε<sub>syd</sub>: 1,957 ‰ σ<sub>c,adm</sub>: 13,5  
 σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm² τ<sub>co</sub>: 0,8  
 τ<sub>c1</sub>: 2,257

**Tipo Sezione:**  Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.  DXF

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

**Tipo flessione:**  Retta  Deviata

**N° rett.:** 100

**Calcola MRd** **Dominio Mx-My**

**angolo asse neutro θ°:** 359

Precompresso

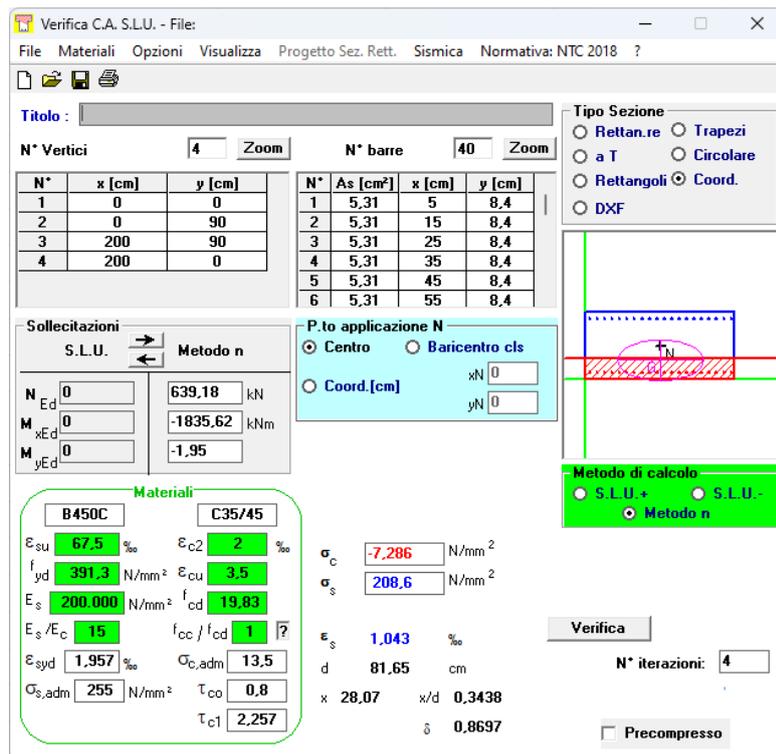
### 13.3 Verifica allo Stato Limite di Esercizio di limitazione delle tensioni

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite di Limitazione delle tensione per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche.

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	N <sub>sd</sub> [kN]	M <sub>VERT,SD</sub> [kNm]	M <sub>TRASV,SD</sub> [kNm]	σ <sub>c</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	0,60 · f <sub>ck</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	σ <sub>s</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	0,80 · f <sub>yk</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	ρ	C <sub>sic</sub>
N <sub>MAX</sub>	381	SLE-CAR.64(max)	174,10	879,78	106,83	3,68	22,41	126,90	360,00	0,35	2,84
N <sub>MIN</sub>	8	SLE-CAR.70(min)	-7.031,73	-1.079,05	17,86	6,30	22,41	0,00	360,00	0,28	3,56
M <sub>VERT,MAX</sub>	89	SLE-CAR.66(max)	-918,21	1.238,44	115,31	5,44	22,41	126,00	360,00	0,35	2,86
M <sub>VERT,MIN</sub>	16	SLE-CAR.68(min)	-639,18	-1.835,62	-1,95	7,28	22,41	208,60	360,00	0,58	1,73
M <sub>TRASV,MAX</sub>	2300	SLE-CAR.68(max)	-1.011,32	-407,38	355,54	2,62	22,41	29,01	360,00	0,12	8,56
M <sub>TRASV,MIN</sub>	729	SLE-CAR.66(min)	-2.477,70	209,78	-166,90	1,98	22,41	0,00	360,00	0,09	11,31
V <sub>VERT,MAX</sub>	880	SLE-CAR.16(max)	-3.915,27	-1.043,03	116,35	5,09	22,41	16,27	360,00	0,23	4,40
V <sub>VERT,MIN</sub>	16	SLE-CAR.16(min)	-618,49	-1.648,37	-5,05	6,57	22,41	185,60	360,00	0,52	1,94
V <sub>TRASV,MAX</sub>	700	SLE-CAR.68(max)	-360,71	411,44	129,70	2,09	22,41	43,82	360,00	0,12	8,22
V <sub>TRASV,MIN</sub>	48	SLE-CAR.16(min)	-1.417,18	-339,62	-30,68	1,69	22,41	3,18	360,00	0,08	13,30
M <sub>TORC,MAX</sub>	8	SLE-CAR.66(max)	-3.531,61	-880,07	135,58	4,42	22,41	11,46	360,00	0,20	5,07
M <sub>TORC,MIN</sub>	16	SLE-CAR.16(min)	-618,49	-1.648,37	-5,05	6,57	22,41	185,60	360,00	0,52	1,94

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,58** in corrispondenza della condizione **M<sub>VERT,MIN</sub>**.

Di seguito è riportato il form di verifica per la condizione maggiormente gravosa:



The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. Key sections include:

- Titolo:** [Empty field]
- N° Vertici:** 4, **N° barre:** 40
- Coordinate (cm):**

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	0	90
3	200	90
4	200	0
- Barre (cm):**

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	5,31	5	8,4
2	5,31	15	8,4
3	5,31	25	8,4
4	5,31	35	8,4
5	5,31	45	8,4
6	5,31	55	8,4
- Sollecitazioni (S.L.U.):**
  - N<sub>Ed</sub>: 0 kN
  - M<sub>xEd</sub>: 0 kNm
  - M<sub>yEd</sub>: 0 kNm
  - Metodo n: 639,18 kN
  - Metodo n: -1835,62 kNm
  - Metodo n: -1,95 kNm
- Materiali:**
  - B450C: E<sub>su</sub> 67,5%, f<sub>yd</sub> 391,3 N/mm², E<sub>s</sub> 200.000 N/mm², E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15, E<sub>syd</sub> 1,957%, σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm²
  - C35/45: ε<sub>c2</sub> 2‰, ε<sub>cu</sub> 3,5, f<sub>cd</sub> 19,83, f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 1, σ<sub>c,adm</sub> 13,5, τ<sub>co</sub> 0,8, τ<sub>c1</sub> 2,257
- Stress (N/mm²):**
  - σ<sub>c</sub>: -7,286
  - σ<sub>s</sub>: 208,6
- Geometric Parameters:**
  - ε<sub>s</sub>: 1,043‰
  - d: 81,65 cm
  - x: 28,07, x/d: 0,3438
  - δ: 0,8697
- Verification Settings:**
  - Metodo di calcolo: S.L.U. + (selected), S.L.U. -, Metodo n
  - Verifica: [Button]
  - N° iterazioni: 4
  - Precompresso: [Unselected checkbox]

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = 7,28 \text{ N/mm}^2 < 0,60 \cdot f_{ck} = 22,41 \text{ N/mm}^2$
- $\sigma_s = 208,60 \text{ N/mm}^2 < 0,80 \cdot f_{yk} = 360,00 \text{ N/mm}^2$

### 13.4 Verifica allo Stato Limite di Esercizio per fessurazione

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite di fessurazione per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche.

L'apertura limite delle fessure per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche è stato assunto pari a:

$$w_{lim} = 0,30 \text{ mm}$$

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	N <sub>sd</sub> [kN]	M <sub>VERT,sd</sub> [kNm]	M <sub>TRASY,sd</sub> [kNm]	w <sub>d</sub> [mm]	w <sub>lim</sub> [mm]	ρ	C <sub>SIC</sub>
N <sub>MAX</sub>	381	SLE-CAR.64(max)	174,10	879,78	106,83	0,120	0,300	0,40	2,50
N <sub>MIN</sub>	8	SLE-CAR.70(min)	-7.031,73	-1.079,05	17,86	0,000	0,300	0,00	-
M <sub>VERT,MAX</sub>	89	SLE-CAR.66(max)	-918,21	1.238,44	115,31	0,110	0,300	0,37	2,73
M <sub>VERT,MIN</sub>	16	SLE-CAR.68(min)	-639,18	-1.835,62	-1,95	0,230	0,300	0,77	1,30
M <sub>TRASY,MAX</sub>	2300	SLE-CAR.68(max)	-1.011,32	-407,38	355,54	0,020	0,300	0,07	15,00
M <sub>TRASY,MIN</sub>	729	SLE-CAR.66(min)	-2.477,70	209,78	-166,90	0,000	0,300	0,00	-
V <sub>VERT,MAX</sub>	880	SLE-CAR.16(max)	-3.915,27	-1.043,03	116,35	0,010	0,300	0,03	30,00
V <sub>VERT,MIN</sub>	16	SLE-CAR.16(min)	-618,49	-1.648,37	-5,05	0,190	0,300	0,63	1,58
V <sub>TRASY,MAX</sub>	700	SLE-CAR.68(max)	-360,71	411,44	129,70	0,040	0,300	0,13	7,50
V <sub>TRASY,MIN</sub>	48	SLE-CAR.16(min)	-1.417,18	-339,62	-30,68	0,000	0,300	0,00	-
M <sub>TORC,MAX</sub>	8	SLE-CAR.66(max)	-3.531,61	-880,07	135,58	0,010	0,300	0,03	30,00
M <sub>TORC,MIN</sub>	16	SLE-CAR.16(min)	-618,49	-1.648,37	-5,05	0,190	0,300	0,63	1,58

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,77** in corrispondenza della condizione **M<sub>VERT,MIN</sub>**.

Di seguito è riportato il form di verifica per la condizione maggiormente gravosa:

Geometria della sezione	
Altezza della sezione	h = 900 [mm]
Larghezza della sezione	b = 2000 [mm]
Altezza utile della sezione	d = 817,3 [mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d' = 84 [mm]
Ricoprimento dell'armatura	c = 45 [mm]
<u>Armatura tesa ordinaria</u>	
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	n <sub>t,1</sub> = 20 [-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	φ <sub>t,1</sub> = 26 [mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	A <sub>sf,1</sub> = 10619 [mm <sup>2</sup> ]
<u>Armatura tesa di infittimento</u>	
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	n <sub>t,2</sub> = 0 [-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	φ <sub>t,2</sub> = 0 [mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	A <sub>sf,2</sub> = 0 [mm <sup>2</sup> ]
Caratteristiche dei materiali	
Resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo	f <sub>ck</sub> = 37,35 [MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f <sub>ctm</sub> = 3,4 [MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E <sub>cm</sub> = 34625 [MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f <sub>yk</sub> = 450 [MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E <sub>s</sub> = 210000 [MPa]
DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE	
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ <sub>s</sub> = 208,6 [MPa]
Asse neutro della sezione	x = 280,7 [mm]
Tipo e durata dei carichi applicati	Lunga ▾
Coefficiente di omogeneizzazione	α <sub>e</sub> = 6,06 [-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A <sub>s</sub> = 10619 [mm <sup>2</sup> ]
Area efficace tesa di calcestruzzo	A <sub>c,eff,1</sub> = 413500 [mm <sup>2</sup> ]
	A <sub>c,eff,2</sub> = 412867 [mm <sup>2</sup> ]
	A <sub>c,eff,3</sub> = 900000 [mm <sup>2</sup> ]
	A <sub>c,eff,min</sub> = 412867 [mm <sup>2</sup> ]



Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0,02572 [-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3,4 [MPa]
Fattore di durata del carico	$k_1$	0,4 [-]
<b>Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls</b>	$[\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}]_{min}$	0,000596 [-]
	$[\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}]_{calc.}$	0,000706 [-]
	<b><math>[\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}]</math></b>	<b>0,000706 [-]</b>

Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	s	100 [mm]
Diametro equivalente delle barre	$\phi_{bq}$	26,00 [mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	290 [mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	$k_1$	0,800 [-]
	$k_2$	0,500 [-]
	$k_3$	3,400 [-]
	$k_4$	0,425 [-]
<b>Distanza massima tra le fessure</b>	$s_{r,max.1}$	325 [mm]
	$s_{r,max.2}$	805 [mm]
	<b><math>s_{r,max}</math></b>	<b>325 [mm]</b>

Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k,lim}$	0,30 [mm]
<b>Ampiezza delle fessure (di calcolo)</b>	<b><math>w_k</math></b>	<b>0,23 [mm]</b>

### 13.5 Verifica allo Stato Limite Ultimo per pressoflessione deviata

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite Ultimo per pressoflessione.

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{sd}$ [kN]	$M_{VERT,SD}$ [kNm]	$M_{TRASV,SD}$ [kNm]	$M_{VERT,Rd}$ [kNm]	$M_{TRASV,Rd}$ [kNm]	$\rho$	$C_{SIC}$
$N_{MAX}$	381	SLU-STR.64(max)	818,29	1.203,44	148,10	2.873,00	631,50	0,41	2,43
$N_{MIN}$	8	SLU-STR.69(min)	-9.181,23	-1.460,97	44,72	-6.075,00	235,90	0,24	4,16
$M_{VERT,MAX}$	89	SLU-STR.66(max)	-636,95	1.713,99	160,21	3.407,00	578,90	0,50	2,01
$M_{VERT,MIN}$	16	SLU-STR.68(min)	-890,27	-2.538,32	-2,82	-3.500,00	-570,30	0,72	1,40
$M_{TRASV,MAX}$	386	SLV.01(max)	-337,25	624,66	677,74	3.247,00	2.140,00	0,19	5,33
$M_{TRASV,MIN}$	729	SLU-STR.66(min)	-3.131,44	248,93	-274,05	3.835,00	-4.284,00	0,06	15,53
$V_{VERT,MAX}$	880	SLU-STR.64(max)	-4.312,52	-1.351,39	58,75	-4.704,00	472,50	0,29	3,50
$V_{VERT,MIN}$	16	SLU-STR.20(min)	-781,27	-2.243,84	-3,52	-3.460,00	-574,00	0,64	1,56
$V_{TRASV,MAX}$	880	SLV.02(max)	-3.332,58	-407,04	488,12	-3.801,00	4.592,00	0,11	9,38
$V_{TRASV,MIN}$	48	SLU-STR.20(min)	-1.855,37	-513,92	-20,06	-3.848,00	-539,30	0,13	7,55
$M_{TORC,MAX}$	16	SLV.01(max)	-57,47	-374,36	41,90	-3.195,00	599,20	0,12	8,63
$M_{TORC,MIN}$	16	SLU-STR.20(min)	-781,27	-2.243,84	-3,52	-3.460,00	-574,00	0,64	1,56

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,72** in corrispondenza della condizione  **$M_{VERT,MIN}$** .

Di seguito è riportato il form di verifica per la condizione maggiormente gravosa:

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	0	90
3	200	90
4	200	0

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	5,31	5	8,4
2	5,31	15	8,4
3	5,31	25	8,4
4	5,31	35	8,4
5	5,31	45	8,4
6	5,31	55	8,4

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>   kN  
M<sub>xEd</sub>   kNm  
M<sub>yEd</sub>   kNm

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

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

Proprietà	B450C	C35/45
E <sub>su</sub> ‰	67,5	2
f <sub>yd</sub> N/mm²	391,3	3,5
E <sub>s</sub> N/mm²	200.000	19,83
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub>	15	1
E <sub>syd</sub> ‰	1,957	13,5
σ <sub>s,adm</sub> N/mm²	255	0,8
τ <sub>co</sub>		2,257

M<sub>xRd</sub>  kNm  
M<sub>yRd</sub>  kNm  
σ<sub>c</sub>  N/mm²  
σ<sub>s</sub>  N/mm²  
ε<sub>c</sub>  ‰  
ε<sub>s</sub>  ‰  
d  cm  
x  x/d   
δ

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

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio Mx-My

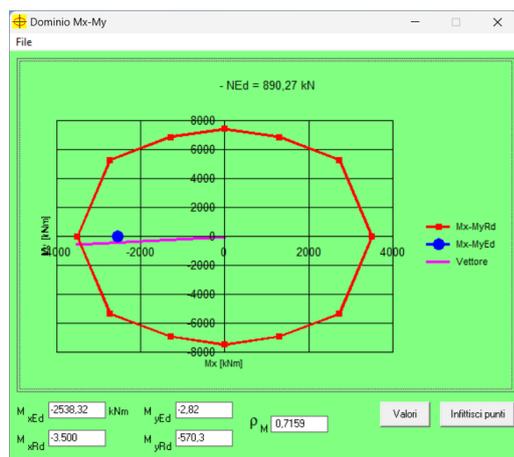
angolo asse neutro θ°

Precompresso

Il momento resistente risulta pari a:

- $M_{LONG,Rd} = -3.500,00 \text{ kNm} > M_{LONG,Sd} = -2.538,32 \text{ kNm}$
- $M_{TRASV,Rd} = -570,30 \text{ kNm} > M_{TRASV,Sd} = -2,82 \text{ kNm}$

Di seguito è riportato il dominio di resistenza della sezione:



## 13.6 Verifica allo Stato Limite Ultimo per taglio

Di seguito è riportata la valutazione dell'azione tagliante resistente in direzione verticale:

### VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI AL TAGLIO D.M. 14.01.2008 - CAPITOLO 4.1.2.3.5.2

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE

Base della sezione	b	200,00	[cm]
Altezza della sezione	h	90,00	[cm]
Copriferro netto	c	4,50	[cm]
Altezza utile della sezione	d	85,50	[cm]

#### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Livello di conoscenza	LC	NUOVO	
Fattore di confidenza	FC	1,00	[-]
Classe di resistenza del calcestruzzo		C35/45	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck}$	45,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	$f_{ck}$	37,35	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c / FC$	21,17	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tipologia dell'acciaio da armatura		B450C	
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk}$	540,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$	450,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s / FC$	391,30	[N/mm <sup>2</sup> ]

#### ARMATURA TRASVERSALE

Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento strutturale	$\alpha$	90,00	[°]
Numero di bracci dell'armatura trasversale	n	4,00	
Passo longitudinale delle armature trasversali	s	15,00	[cm]
Diametro dell'armatura trasversale	$\varnothing_{trav}$	16,00	[mm]
Area della singola barra	$A_{barr}$	2,01	[cm <sup>2</sup> ]
Area totale dell'armatura trasversale	$A_{tot}$	53,60	[cm <sup>2</sup> /m]

#### VERIFICA ALLO S.L.U. PER TAGLIO

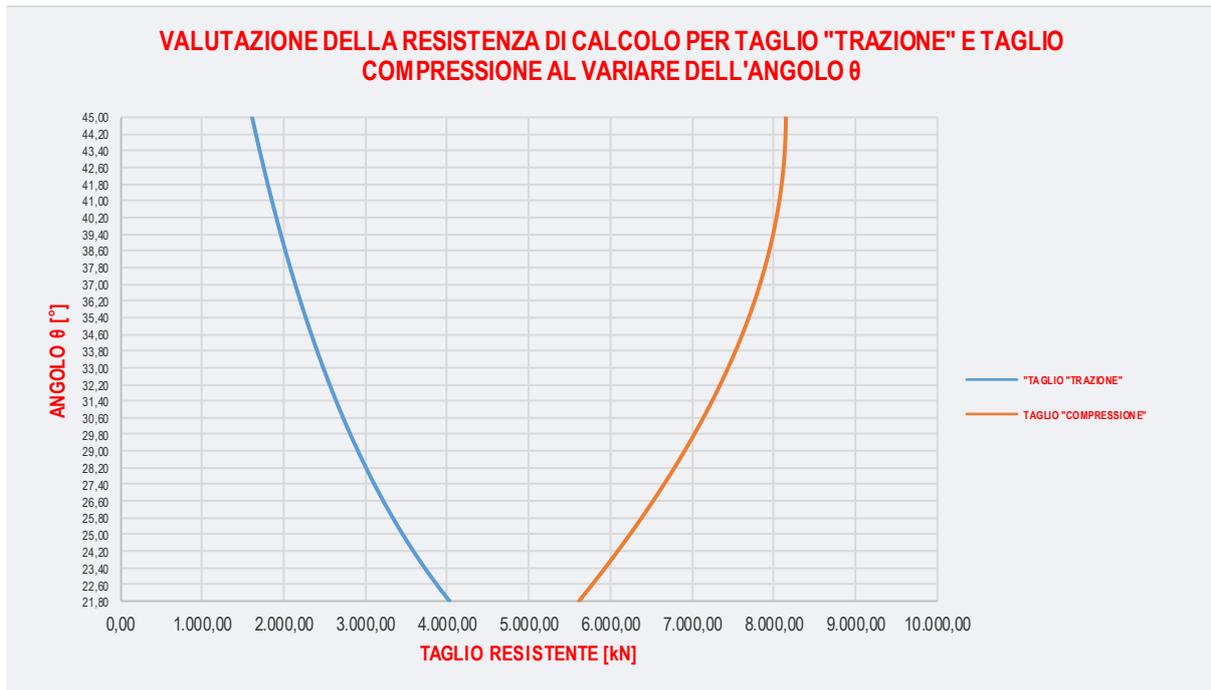
La resistenza di calcolo a "taglio trazione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.27]:

$$V_{Rsd} = 0,90 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot [\cot(\alpha) + \cot(\theta)] \cdot \sin(\alpha)$$

La resistenza di calcolo a "taglio compressione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.28]:

$$V_{Rcd} = 0,90 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \left[ \frac{\cot(\alpha) + \cot(\theta)}{1 + \cot^2(\theta)} \right]$$

Larghezza minima della sezione:	$b_w$	200,00	[cm]
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo:	$f_{yd}$	10,58	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensione media di compressione nella sezione:	$\sigma_{cp}$	0,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Coefficiente maggiorativo $\alpha_c$ :	$\alpha_c$	1,00	[-]



Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo

$\theta$ 

21,80
-------

 [°]

Cotangente dell'angolo  $\theta$

$\cot(\theta)$ 

2,50
------

 [-]

RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE"

$V_{Rsd}$ 

4.035,14
----------

 [kN]

RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESIONE"

$V_{Rcd}$ 

5.615,73
----------

 [kN]

**AZIONE TAGLIANTE RESISTENTE DELLA SEZIONE:**

$V_{Rd}$ 

4.035,14
----------

 [kN]



Di seguito è riportata la valutazione dell'azione tagliante resistente in direzione trasversale:

**VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI AL TAGLIO**  
D.M. 14.01.2008 - CAPITOLO 4.1.2.3.5.2

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE**

Base della sezione	b	90,00	[cm]
Altezza della sezione	h	200,00	[cm]
Copriferro netto	c	4,50	[cm]
Altezza utile della sezione	d	195,50	[cm]

**CARATTERISTICHE DEI MATERIALI**

Livello di conoscenza	LC	NUOVO	
Fattore di confidenza	FC	1,00	[-]
Classe di resistenza del calcestruzzo		C35/45	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck}$	45,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	$f_{ck}$	37,35	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c / FC$	21,17	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tipologia dell'acciaio da armatura		B450C	
Tensione caratteristica di rottura	$f_{ik}$	540,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$	450,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s / FC$	391,30	[N/mm <sup>2</sup> ]

**ARMATURA TRASVERSALE**

Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento strutturale	$\alpha$	90,00	[°]
Numero di bracci dell'armatura trasversale	n	2,00	
Passo longitudinale delle armature trasversali	s	15,00	[cm]
Diametro dell'armatura trasversale	$\varnothing_{trav}$	16,00	[mm]
Area della singola barra	$A_{barra}$	2,01	[cm <sup>2</sup> ]
Area totale dell'armatura trasversale	$A_{tot}$	26,80	[cm <sup>2</sup> /m]

**VERIFICA ALLO S.L.U. PER TAGLIO**

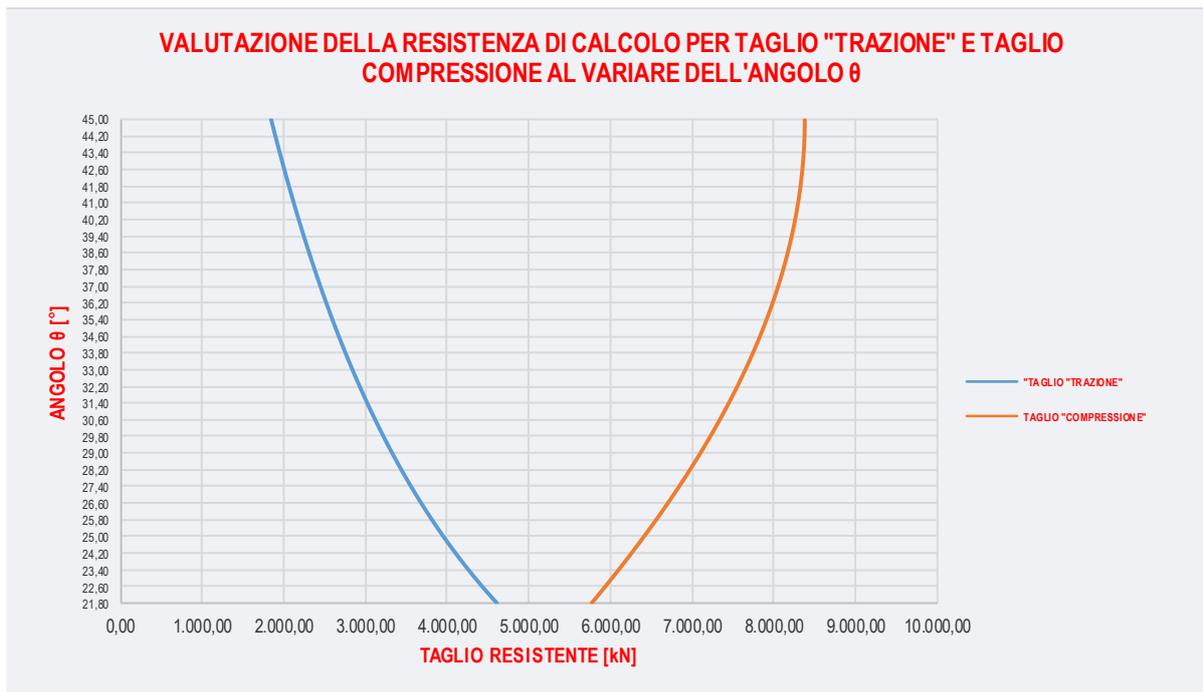
La resistenza di calcolo a "taglio trazione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.27]:

$$V_{Rsd} = 0,90 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot [\cot(\alpha) + \cot(\theta)] \cdot \sin(\alpha)$$

La resistenza di calcolo a "taglio compressione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.28]:

$$V_{Rcd} = 0,90 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \left[ \frac{\cot(\alpha) + \cot(\theta)}{1 + \cot^2(\theta)} \right]$$

Larghezza minima della sezione:	$b_w$	90,00	[cm]
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo:	$f_{yd}$	10,58	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensione media di compressione nella sezione:	$\sigma_{cp}$	0,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Coefficiente maggiorativo $\alpha_c$ :	$\alpha_c$	1,00	[-]



Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo	$\theta$	<b>21,80</b>	[°]
Cotangente dell'angolo $\theta$	$\cot(\theta)$	<b>2,50</b>	[-]
RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE"	$V_{Rsd}$	<b>4.613,28</b>	[kN]
RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESIONE"	$V_{Rcd}$	<b>5.778,29</b>	[kN]
<b>AZIONE TAGLIANTE RESISTENTE DELLA SEZIONE:</b>	$V_{Rd}$	<b>4.613,28</b>	[kN]

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite Ultimo per taglio biassiale. Le verifiche risultano positive se risulta soddisfatta la seguente disequazione:

$$\rho = \frac{V_{VERT,Sd}}{V_{VERT,Rd}} + \frac{V_{TRASV,Sd}}{V_{TRASV,Rd}} \leq 1,00$$

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$V_{RIS,Sd}$ [kNm]	$V_{Rd}$ [kNm]	$\rho$	$C_{Sic}$
$N_{MAX}$	4	SLV.04(max)	659,95	2.389,00	0,28	3,62
$N_{MIN}$	13	SLU-STR.64(min)	461,30	2.389,00	0,19	5,18
$M_{LONG,MAX}$	13	SLV.01(max)	875,05	2.389,00	0,37	2,73
$M_{LONG,MIN}$	20	SLU-STR.62(min)	552,55	2.389,00	0,23	4,32
$M_{TRASV,MAX}$	14	SLV.04(max)	592,56	2.389,00	0,25	4,03
$M_{TRASV,MIN}$	12	SLU-STR.68(min)	132,80	2.389,00	0,06	17,99
$V_{LONG,MAX}$	13	SLV.01(max)	875,05	2.389,00	0,37	2,73
$V_{LONG,MIN}$	4	SLU-STR.20(min)	301,11	2.389,00	0,13	7,93
$V_{TRASV,MAX}$	11	SLV.04(max)	1.066,18	2.389,00	0,45	2,24
$V_{TRASV,MIN}$	20	SLU-STR.61(min)	566,64	2.389,00	0,24	4,22
$M_{TORC,MAX}$	6	SLU-STR.68(max)	228,60	2.389,00	0,10	10,45
$M_{TORC,MIN}$	20	SLU-STR.61(min)	566,64	2.389,00	0,24	4,22

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,45** in corrispondenza della condizione  $V_{TRASV,MAX}$ .

## 14. TRASVERSO 200 X 70 CM – VERIFICHE STRUTTURALI

### 14.1 Valutazione delle azioni sollecitanti di calcolo

Per la valutazione delle azioni sollecitanti di calcolo utilizzati nelle verifiche sono state considerate le seguenti condizioni di carico:

- $N_{MAX}$  → Azione normale massima
- $N_{MIN}$  → Azione normale minima
- $M_{VERT,MAX}$  → Momento flettente verticale massimo
- $M_{LONG,MIN}$  → Momento flettente verticale minimo
- $M_{TRASV,MAX}$  → Momento flettente trasversale massimo
- $M_{TRASV,MIN}$  → Momento flettente trasversale minimo
- $V_{VERT,MAX}$  → Azione tagliante verticale massima
- $V_{VERT,MIN}$  → Azione tagliante verticale minima
- $V_{TRASV,MAX}$  → Azione tagliante trasversale massima
- $V_{TRASV,MIN}$  → Azione tagliante trasversale minima
- $M_{TORC,MAX}$  → Momento torcente massimo
- $M_{TORC,MIN}$  → Momento torcente minimo

Le azioni normali di compressione sono state indicate con segno negativo.

Nella tabella successiva sono riepilogati i valori delle azioni sollecitanti di calcolo utilizzati per le verifiche per lo Stato Limite Ultimo statico (STR) e sismico (SLV):

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{sd}$ [kN]	$V_{TRASV,SD}$ [kN]	$V_{VERT,SD}$ [kN]	$M_{TORC,SD}$ [kNm]	$M_{VERT,SD}$ [kNm]	$M_{TRASV,SD}$ [kNm]
$N_{MAX}$	58	SLU-STR.66(max)	-267,49	-13,32	159,99	51,63	260,90	25,47
$N_{MIN}$	23	SLU-STR.68(min)	-4.493,52	-316,66	-1.013,06	-401,77	-323,62	-200,44
$M_{VERT,MAX}$	1235	SLU-STR.68(max)	-725,68	258,08	529,77	245,58	566,84	57,22
$M_{VERT,MIN}$	24	SLU-STR.68(min)	-1.687,38	-134,40	-1.034,55	-129,02	-580,25	-87,04
$M_{TRASV,MAX}$	23	SLV.01(max)	-1.304,93	569,33	-161,88	642,95	119,75	399,33
$M_{TRASV,MIN}$	1230	SLU-STR.68(min)	-3.531,92	-71,13	488,38	-171,96	-456,62	-283,47
$V_{VERT,MAX}$	860	SLV.04(max)	-282,93	81,03	838,19	193,11	419,02	139,26
$V_{VERT,MIN}$	24	SLU-STR.68(min)	-1.687,38	-134,40	-1.034,55	-129,02	-580,25	-87,04
$V_{TRASV,MAX}$	23	SLV.02(max)	-1.305,07	569,92	-163,33	642,35	119,24	399,22
$V_{TRASV,MIN}$	133	SLU-STR.72(min)	-4.032,17	-321,94	-643,66	-298,92	-171,08	-120,59
$M_{TORC,MAX}$	23	SLV.01(max)	-1.304,93	569,33	-151,38	642,95	170,82	229,36
$M_{TORC,MIN}$	23	SLU-STR.72(min)	-4.338,23	-314,73	-999,66	-412,12	-283,05	-185,73

Nella tabella successiva sono riepilogati i valori delle azioni sollecitanti di calcolo utilizzati per le verifiche per lo Stato Limite di Esercizio (Combinazioni Caratteristiche):

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	N <sub>Sd</sub> [kN]	V <sub>TRASV,Sd</sub> [kN]	V <sub>VERT,Sd</sub> [kN]	M <sub>TORC,Sd</sub> [kNm]	M <sub>VERT,Sd</sub> [kNm]	M <sub>TRASV,Sd</sub> [kNm]
N <sub>MAX</sub>	58	SLE-CAR.66(max)	<b>-287,47</b>	-15,62	122,90	34,72	200,17	19,66
N <sub>MIN</sub>	23	SLE-CAR.68(min)	<b>-3.423,77</b>	-191,97	-723,82	-241,39	-217,94	-116,60
M <sub>VERT,MAX</sub>	1235	SLE-CAR.68(max)	-723,87	180,51	393,56	151,84	<b>432,75</b>	41,55
M <sub>VERT,MIN</sub>	1230	SLE-CAR.16(min)	-2.594,92	-96,53	355,08	-125,15	<b>-373,54</b>	-169,88
M <sub>TRASV,MAX</sub>	88	SLE-CAR.16(max)	-960,36	134,13	179,91	54,84	258,77	<b>174,65</b>
M <sub>TRASV,MIN</sub>	1230	SLE-CAR.68(min)	-2.683,65	-73,94	369,52	-135,84	-298,21	<b>-177,04</b>
V <sub>VERT,MAX</sub>	1230	SLE-CAR.16(max)	-1.226,16	128,88	<b>704,54</b>	249,65	34,77	90,97
V <sub>VERT,MIN</sub>	24	SLE-CAR.68(min)	-1.335,27	-76,99	<b>-741,23</b>	-69,54	-372,28	-42,47
V <sub>TRASV,MAX</sub>	1235	SLE-CAR.68(max)	-723,87	<b>180,51</b>	426,29	151,84	147,80	46,03
V <sub>TRASV,MIN</sub>	133	SLE-CAR.16(min)	-2.704,45	<b>-227,97</b>	-451,11	-116,54	182,73	67,44
M <sub>TORC,MAX</sub>	23	SLE-CAR.62(max)	-1.109,37	69,93	-227,57	<b>285,88</b>	123,39	84,12
M <sub>TORC,MIN</sub>	23	SLE-CAR.72(min)	-3.316,68	-190,64	-714,58	<b>-248,52</b>	-189,96	-106,46

## 14.2 Sezione e armatura di verifica

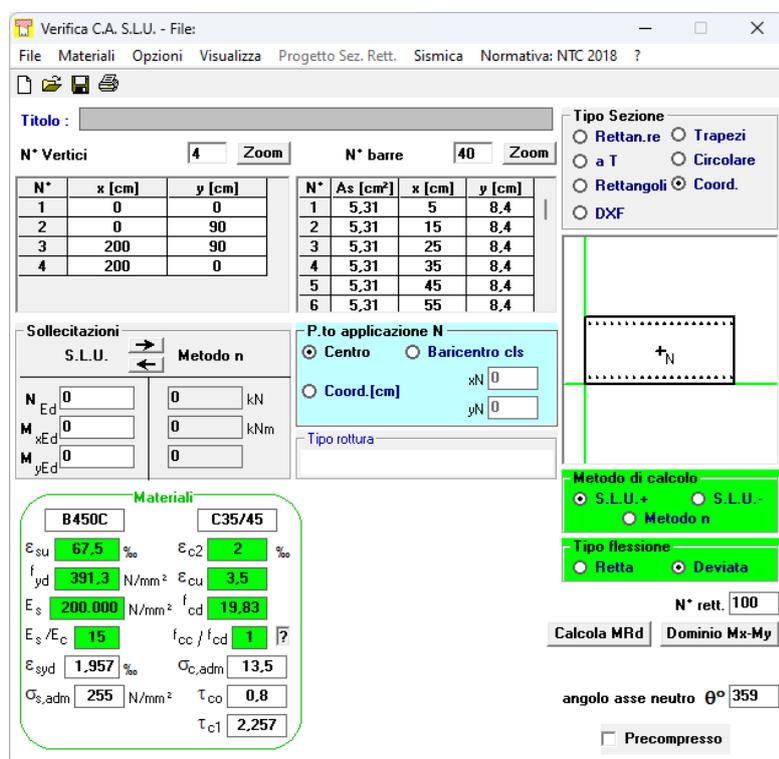
La sezione di verifica è assunta rettangolare con base pari a **200 cm** e altezza pari a **70 cm**.

L'armatura longitudinale è costituita da:

- Armatura superiore: **20Ø26** (passo 10 cm)
- Armatura inferiore: **20Ø26** (passo 10 cm)

L'armatura a taglio è costituita da staffe a 4 bracci **Ø16/15**. Il copriferro netto minimo è assunto pari a **45 mm**.

Nell'immagine seguente è riportato il form di verifica della sezione:



Verifica C.A. S.L.U. - File:   
 File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo:   
 N° Vertici: 4 Zoom N° barre: 40 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	0	90
3	200	90
4	200	0

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	5,31	5	8,4
2	5,31	15	8,4
3	5,31	25	8,4
4	5,31	35	8,4
5	5,31	45	8,4
6	5,31	55	8,4

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

Collecitazioni: S.L.U. Metodo n   
 N<sub>Ed</sub>: 0 kN   
 M<sub>xEd</sub>: 0 kNm   
 M<sub>yEd</sub>: 0

P.to applicazione N:   
 Centro  Baricentro cls   
 Coord.[cm]   
 xN: 0 yN: 0

Materiali:   
 B450C C35/45   
 ε<sub>su</sub>: 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub>: 2 ‰   
 f<sub>yd</sub>: 391,3 N/mm² ε<sub>cu</sub>: 3,5 ‰   
 E<sub>s</sub>: 200.000 N/mm² f<sub>cd</sub>: 19,83   
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 1   
 ε<sub>syd</sub>: 1,957 ‰ σ<sub>c,adm</sub>: 13,5   
 σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm² τ<sub>co</sub>: 0,8   
 τ<sub>c1</sub>: 2,257

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

Tipologia flessione:   
 Retta  Deviata

N° rett.: 100   
 Calcola MRd Dominio Mx-My   
 angolo asse neutro θ°: 359   
 Precompresso

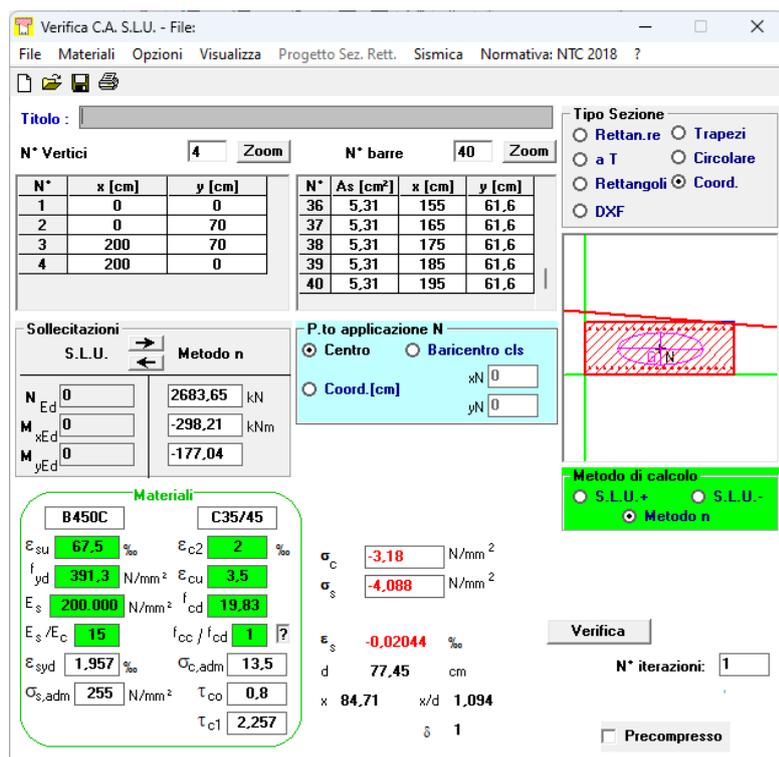
### 14.3 Verifica allo Stato Limite di Esercizio di limitazione delle tensioni

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite di Limitazione delle tensione per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche.

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	N <sub>sd</sub> [kN]	M <sub>VERT,SD</sub> [kNm]	M <sub>TRASV,SD</sub> [kNm]	σ <sub>c</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	0,60 · f <sub>ck</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	σ <sub>s</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	0,80 · f <sub>yk</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	ρ	C <sub>sic</sub>
N <sub>MAX</sub>	58	SLE-CAR.66(max)	-287,47	200,17	19,66	1,39	22,41	23,63	360,00	0,07	15,23
N <sub>MIN</sub>	23	SLE-CAR.68(min)	-3.423,77	-217,94	-116,60	3,15	22,41	0,00	360,00	0,14	7,11
M <sub>VERT,MAX</sub>	1235	SLE-CAR.68(max)	-723,87	432,75	41,55	3,02	22,41	47,02	360,00	0,13	7,42
M <sub>VERT,MIN</sub>	1230	SLE-CAR.16(min)	-2.594,92	-373,54	-169,88	3,47	22,41	0,73	360,00	0,15	6,46
M <sub>TRASV,MAX</sub>	88	SLE-CAR.16(max)	-960,36	258,77	174,65	2,29	22,41	17,01	360,00	0,10	9,80
M <sub>TRASV,MIN</sub>	1230	SLE-CAR.68(min)	-2.683,65	-298,21	-177,04	4,09	22,41	0,00	360,00	0,18	5,48
V <sub>VERT,MAX</sub>	1230	SLE-CAR.16(max)	-1.226,16	34,77	90,97	0,87	22,41	0,00	360,00	0,04	25,82
V <sub>VERT,MIN</sub>	24	SLE-CAR.68(min)	-1.335,27	-372,28	-42,47	2,75	22,41	17,45	360,00	0,12	8,14
V <sub>TRASV,MAX</sub>	1235	SLE-CAR.68(max)	-723,87	147,80	46,03	1,21	22,41	3,77	360,00	0,05	18,55
V <sub>TRASV,MIN</sub>	133	SLE-CAR.16(min)	-2.704,45	182,73	67,44	2,49	22,41	0,00	360,00	0,11	8,99
M <sub>TORC,MAX</sub>	23	SLE-CAR.62(max)	-1.109,37	123,39	84,12	1,41	22,41	0,00	360,00	0,06	15,89
M <sub>TORC,MIN</sub>	23	SLE-CAR.72(min)	-3.316,68	-189,96	-106,46	2,95	22,41	0,00	360,00	0,13	7,60

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,18** in corrispondenza della condizione **M<sub>TRASV,MIN</sub>**.

Di seguito è riportato il form di verifica per la condizione maggiormente gravosa:



The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. Key sections include:

- Titolo:** [Empty field]
- N° Vertici:** 4
- N° barre:** 40
- Table 1 (Vertices):**

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	0	70
3	200	70
4	200	0
- Table 2 (Reinforcement):**

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
36	5,31	155	61,6
37	5,31	165	61,6
38	5,31	175	61,6
39	5,31	185	61,6
40	5,31	195	61,6
- Applicazioni (Loads):**
  - N<sub>Ed</sub>: 2683,65 kN
  - M<sub>xEd</sub>: -298,21 kNm
  - M<sub>yEd</sub>: -177,04 kNm
- Materiali:**
  - B450C: E<sub>su</sub> 67,5‰, f<sub>yd</sub> 391,3 N/mm<sup>2</sup>, E<sub>s</sub> 200.000 N/mm<sup>2</sup>, E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15, E<sub>syd</sub> 1,957‰, σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm<sup>2</sup>
  - C35/45: ε<sub>c2</sub> 2‰, ε<sub>cu</sub> 3,5, f<sub>cd</sub> 19,83, f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 1, σ<sub>c,adm</sub> 13,5, τ<sub>co</sub> 0,8, τ<sub>c1</sub> 2,257
- Stress Results:**
  - σ<sub>c</sub>: -3,18 N/mm<sup>2</sup>
  - σ<sub>s</sub>: -4,088 N/mm<sup>2</sup>
  - ε<sub>s</sub>: -0,02044‰
  - d: 77,45 cm
  - x: 84,71 cm, x/d: 1,094
  - δ: 1
- Metodo di calcolo:** S.L.U. + Metodo n
- Verifica:** N° iterazioni: 1
- Precompresso

Le tensioni sui materiali risultano pari a:

- $\sigma_c = 4,08 \text{ N/mm}^2 < 0,60 \cdot f_{ck} = 22,41 \text{ N/mm}^2$
- $\sigma_s = - \text{N/mm}^2$  (SEZIONE COMPRESSA)

## 14.4 Verifica allo Stato Limite di Esercizio per fessurazione

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite di fessurazione per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche.

L'apertura limite delle fessure per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche è stato assunto pari a:

$$w_{lim} = 0,30 \text{ mm}$$

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	N <sub>sd</sub> [kN]	M <sub>VERT,SD</sub> [kNm]	M <sub>TRASY,SD</sub> [kNm]	w <sub>d</sub> [mm]	w <sub>lim</sub> [mm]	ρ	C <sub>SIC</sub>
N <sub>MAX</sub>	58	SLE-CAR.66(max)	-287,47	200,17	19,66	0,020	0,300	0,07	15,00
N <sub>MIN</sub>	23	SLE-CAR.68(min)	-3.423,77	-217,94	-116,60	0,000	0,300	0,00	-
M <sub>VERT,MAX</sub>	1235	SLE-CAR.68(max)	-723,87	432,75	41,55	0,030	0,300	0,10	10,00
M <sub>VERT,MIN</sub>	1230	SLE-CAR.16(min)	-2.594,92	-373,54	-169,88	0,000	0,300	0,00	-
M <sub>TRASY,MAX</sub>	88	SLE-CAR.16(max)	-960,36	258,77	174,65	0,010	0,300	0,03	30,00
M <sub>TRASY,MIN</sub>	1230	SLE-CAR.68(min)	-2.683,65	-298,21	-177,04	0,000	0,300	0,00	-
V <sub>VERT,MAX</sub>	1230	SLE-CAR.16(max)	-1.226,16	34,77	90,97	0,000	0,300	0,00	-
V <sub>VERT,MIN</sub>	24	SLE-CAR.68(min)	-1.335,27	-372,28	-42,47	0,010	0,300	0,03	30,00
V <sub>TRASY,MAX</sub>	1235	SLE-CAR.68(max)	-723,87	147,80	46,03	0,000	0,300	0,00	-
V <sub>TRASY,MIN</sub>	133	SLE-CAR.16(min)	-2.704,45	182,73	67,44	0,000	0,300	0,00	-
M <sub>TORC,MAX</sub>	23	SLE-CAR.62(max)	-1.109,37	123,39	84,12	0,000	0,300	0,00	-
M <sub>TORC,MIN</sub>	23	SLE-CAR.72(min)	-3.316,68	-189,96	-106,46	0,000	0,300	0,00	-

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,10** in corrispondenza della condizione **M<sub>VERT,MAX</sub>**.

Di seguito è riportato il form di verifica per la condizione maggiormente gravosa:

Geometria della sezione	
Altezza della sezione	h = 700 [mm]
Larghezza della sezione	b = 2000 [mm]
Altezza utile della sezione	d = 644 [mm]
Distanza tra asse armatura e lembo compresso	d' = 84 [mm]
Ricoprimento dell'armatura	c = 45 [mm]
<u>Armatura tesa ordinaria</u>	
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	n <sub>t,1</sub> = 20 [-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	φ <sub>t,1</sub> = 26 [mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	A <sub>sf,1</sub> = 10619 [mm <sup>2</sup> ]
<u>Armatura tesa di infittimento</u>	
Numero di ferri tesi presenti nella sezione	n <sub>t,2</sub> = 0 [-]
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione	φ <sub>t,2</sub> = 0 [mm]
Area dei ferri tesi presenti nella sezione	A <sub>sf,2</sub> = 0 [mm <sup>2</sup> ]
Caratteristiche dei materiali	
Resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo	f <sub>ck</sub> = 37,35 [MPa]
Resistenza a trazione media del calcestruzzo	f <sub>ctm</sub> = 3,4 [MPa]
Modulo di elasticità del calcestruzzo	E <sub>cm</sub> = 34625 [MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f <sub>yk</sub> = 450 [MPa]
Modulo di elasticità dell'acciaio	E <sub>s</sub> = 210000 [MPa]
DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE	
Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ <sub>s</sub> = 47,02 [MPa]
Asse neutro della sezione	X = 315,8 [mm]
Tipo e durata dei carichi applicati	Lunga
Coefficiente di omogeneizzazione	α <sub>e</sub> = 6,06 [-]
Area totale delle armature presenti nella zona tesa	A <sub>s</sub> = 10619 [mm <sup>2</sup> ]
Area efficace tesa di calcestruzzo	A <sub>o,eff,1</sub> = 280000 [mm <sup>2</sup> ]
	A <sub>o,eff,2</sub> = 256133 [mm <sup>2</sup> ]
	A <sub>o,eff,3</sub> = 700000 [mm <sup>2</sup> ]
	A <sub>o,eff,min</sub> = 256133 [mm <sup>2</sup> ]

Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso	$\rho_{p,eff}$	0,04146 [-]
Resistenza efficace media del calcestruzzo	$f_{ct,eff}$	3,4 [MPa]
Fattore di durata del carico	$k_1$	0,4 [-]
<b>Differenza tra la deformazione nell'acciaio e nel cls</b>	$[e_{sm}-e_{cm}]_{min}$	0,000134 [-]
	$[e_{sm}-e_{cm}]_{calo}$	0,000031 [-]
	<b><math>[e_{sm}-e_{cm}]</math></b>	<b>0,000134 [-]</b>
Spaziatura tra le barre (calcolata tra i baricentri dei ferri)	$s$	100 [mm]
Diametro equivalente delle barre	$\phi_{eq}$	26,00 [mm]
Spaziatura massima di riferimento	$s_{max,rif}$	290 [mm]
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione	$k_1$	0,800 [-]
	$k_2$	0,500 [-]
	$k_3$	3,400 [-]
	$k_4$	0,425 [-]
<b>Distanza massima tra le fessure</b>	$s_{r,max,1}$	260 [mm]
	$s_{r,max,2}$	499 [mm]
	<b><math>s_{r,max}</math></b>	<b>260 [mm]</b>
Ampiezza limite delle fessure per la combinazione di calcolo pertinente	$w_{k,lim}$	0,30 [mm]
<b>Ampiezza delle fessure (di calcolo)</b>	<b><math>w_k</math></b>	<b>0,03 [mm]</b>

## 14.5 Verifica allo Stato Limite Ultimo per pressoflessione deviata

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite Ultimo per pressoflessione.

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{sd}$ [kN]	$M_{VERT,SD}$ [kNm]	$M_{TRASV,SD}$ [kNm]	$M_{VERT,Rd}$ [kNm]	$M_{TRASV,Rd}$ [kNm]	$\rho$	$C_{SIC}$
$N_{MAX}$	58	SLU-STR.66(max)	-267,49	260,90	25,47	2.414,00	589,80	0,11	9,48
$N_{MIN}$	23	SLU-STR.68(min)	-4.493,52	-323,62	-200,44	-3.324,00	-2.341,00	0,09	10,68
$M_{VERT,MAX}$	1235	SLU-STR.68(max)	-725,68	566,84	57,22	2.536,00	574,00	0,22	4,56
$M_{VERT,MIN}$	24	SLU-STR.68(min)	-1.687,38	-580,25	-87,04	-2.788,00	-542,70	0,21	4,84
$M_{TRASV,MAX}$	23	SLV.01(max)	-1.304,93	119,75	399,33	1.678,00	5.679,00	0,07	14,20
$M_{TRASV,MIN}$	1230	SLU-STR.68(min)	-3.531,92	-456,62	-283,47	-3.147,00	-2.156,00	0,14	7,10
$V_{VERT,MAX}$	860	SLV.04(max)	-282,93	419,02	139,26	2.410,00	1.069,00	0,17	5,97
$V_{VERT,MIN}$	24	SLU-STR.68(min)	-1.687,38	-580,25	-87,04	-2.788,00	-542,70	0,21	4,84
$V_{TRASV,MAX}$	23	SLV.02(max)	-1.305,07	119,24	399,22	1.678,00	5.679,00	0,07	14,21
$V_{TRASV,MIN}$	133	SLU-STR.72(min)	-4.032,17	-171,08	-120,59	-3.226,00	-2.378,00	0,05	19,15
$M_{TORC,MAX}$	23	SLV.01(max)	-1.304,93	170,82	229,36	2.475,00	3.464,00	0,07	14,89
$M_{TORC,MIN}$	23	SLU-STR.72(min)	-4.338,23	-283,05	-185,73	-3.292,00	-2.353,00	0,08	11,95

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,22** in corrispondenza della condizione  **$M_{VERT,MAX}$** .

Di seguito è riportato il form di verifica per la condizione maggiormente gravosa:

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0	0	36	5,31	155	61,6
2	0	70	37	5,31	165	61,6
3	200	70	38	5,31	175	61,6
4	200	0	39	5,31	185	61,6
			40	5,31	195	61,6

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>   kN  
M<sub>xEd</sub>   kNm  
M<sub>yEd</sub>   kNm

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

Tipo rottura  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

B450C C35/45

E<sub>su</sub>  ‰ E<sub>c2</sub>  ‰  
f<sub>yd</sub>  N/mm² E<sub>cu</sub>  ‰  
E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?  
E<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  ‰  
σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  ‰  
τ<sub>c1</sub>  ‰

M<sub>xRd</sub>  kNm  
M<sub>yRd</sub>  kNm  
σ<sub>c</sub>  N/mm²  
σ<sub>s</sub>  N/mm²  
ε<sub>c</sub>  ‰  
ε<sub>s</sub>  ‰  
d  cm  
x  x/d   
δ

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

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio Mx-My

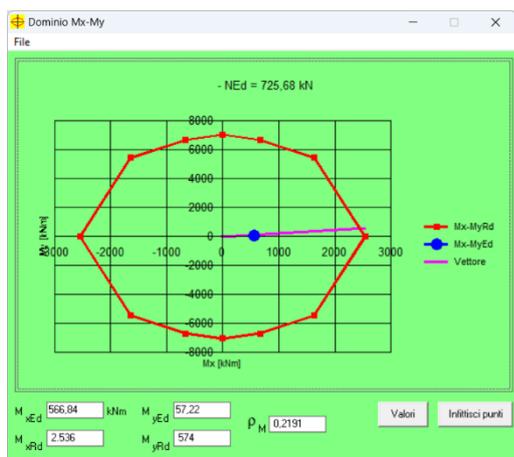
angolo asse neutro θ°

Precompresso

Il momento resistente risulta pari a:

- $M_{LONG,Rd} = 2.536,00 \text{ kNm} > M_{LONG,Sd} = 566,84 \text{ kNm}$
- $M_{TRASV,Rd} = 574,00 \text{ kNm} > M_{TRASV,Sd} = 57,22 \text{ kNm}$

Di seguito è riportato il dominio di resistenza della sezione:



## 14.6 Verifica allo Stato Limite Ultimo per taglio

Di seguito è riportata la valutazione dell'azione tagliante resistente in direzione verticale:

### VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI AL TAGLIO D.M. 14.01.2008 - CAPITOLO 4.1.2.3.5.2

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE

Base della sezione	b	200,00	[cm]
Altezza della sezione	h	70,00	[cm]
Copriferro netto	c	4,50	[cm]
Altezza utile della sezione	d	65,50	[cm]

#### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Livello di conoscenza	LC	NUOVO	
Fattore di confidenza	FC	1,00	[-]
Classe di resistenza del calcestruzzo		C35/45	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck}$	45,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	$f_{ck}$	37,35	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c / FC$	21,17	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tipologia dell'acciaio da armatura		B450C	
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk}$	540,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$	450,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s / FC$	391,30	[N/mm <sup>2</sup> ]

#### ARMATURA TRASVERSALE

Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento strutturale	$\alpha$	90,00	[°]
Numero di bracci dell'armatura trasversale	n	4,00	
Passo longitudinale delle armature trasversali	s	15,00	[cm]
Diametro dell'armatura trasversale	$\varnothing_{trav}$	16,00	[mm]
Area della singola barra	$A_{barr}$	2,01	[cm <sup>2</sup> ]
Area totale dell'armatura trasversale	$A_{tot}$	53,60	[cm <sup>2</sup> /m]

#### VERIFICA ALLO S.L.U. PER TAGLIO

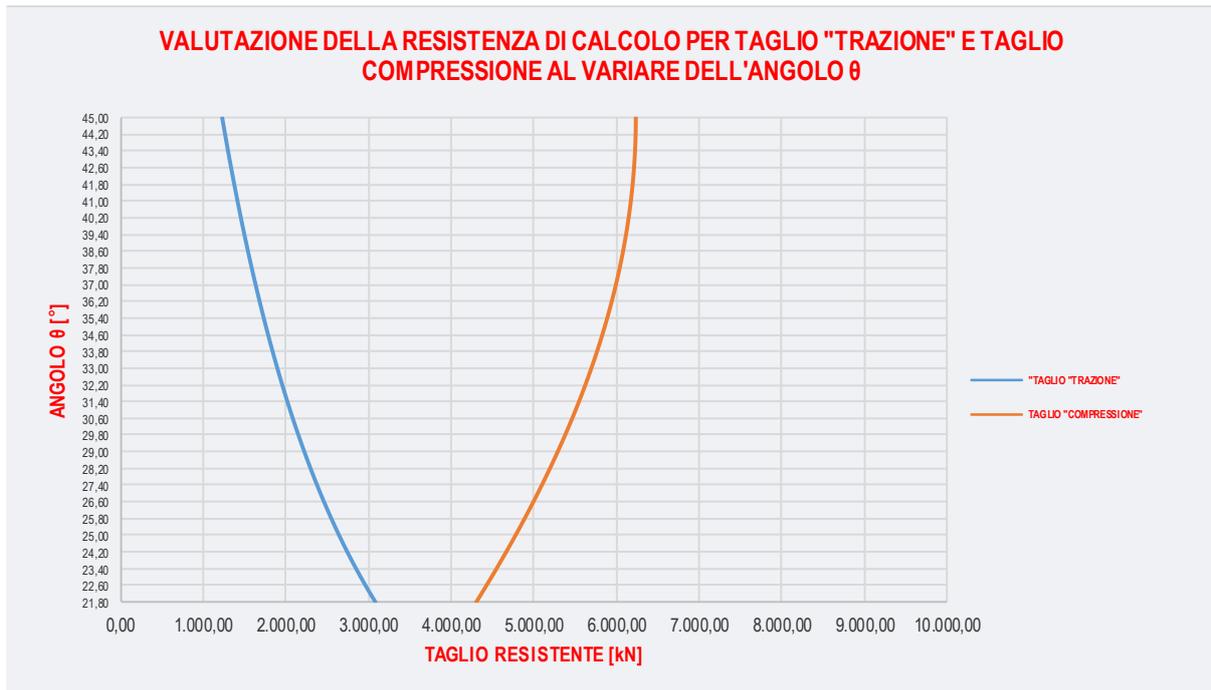
La resistenza di calcolo a "taglio trazione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.27]:

$$V_{Rsd} = 0,90 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot [\cot(\alpha) + \cot(\theta)] \cdot \sin(\alpha)$$

La resistenza di calcolo a "taglio compressione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.28]:

$$V_{Rcd} = 0,90 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \left[ \frac{\cot(\alpha) + \cot(\theta)}{1 + \cot^2(\theta)} \right]$$

Larghezza minima della sezione:	$b_w$	200,00	[cm]
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo:	$f_{yd}$	10,58	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensione media di compressione nella sezione:	$\sigma_{cp}$	0,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Coefficiente maggiorativo $\alpha_c$ :	$\alpha_c$	1,00	[-]



Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo

$\theta$ 

21,80
-------

 [°]

Cotangente dell'angolo  $\theta$

$\cot(\theta)$ 

2,50
------

 [-]

RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE"

$V_{Rsd}$ 

3.091,25
----------

 [kN]

RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESIONE"

$V_{Rcd}$ 

4.302,11
----------

 [kN]

**AZIONE TAGLIANTE RESISTENTE DELLA SEZIONE:**

$V_{R,d}$ 

3.091,25
----------

 [kN]



Di seguito è riportata la valutazione dell'azione tagliante resistente in direzione trasversale:

**VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO PER TAGLIO - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI AL TAGLIO**  
D.M. 14.01.2008 - CAPITOLO 4.1.2.3.5.2

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE**

Base della sezione	b	70,00	[cm]
Altezza della sezione	h	200,00	[cm]
Copriferro netto	c	4,50	[cm]
Altezza utile della sezione	d	195,50	[cm]

**CARATTERISTICHE DEI MATERIALI**

Livello di conoscenza	LC	NUOVO	
Fattore di confidenza	FC	1,00	[-]
Classe di resistenza del calcestruzzo		C35/45	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck}$	45,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	$f_{ck}$	37,35	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c / FC$	21,17	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tipologia dell'acciaio da armatura		B450C	
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk}$	540,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk}$	450,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s / FC$	391,30	[N/mm <sup>2</sup> ]

**ARMATURA TRASVERSALE**

Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento strutturale	$\alpha$	90,00	[°]
Numero di bracci dell'armatura trasversale	n	2,00	
Passo longitudinale delle armature trasversali	s	15,00	[cm]
Diametro dell'armatura trasversale	$\varnothing_{trav}$	16,00	[mm]
Area della singola barra	$A_{barra}$	2,01	[cm <sup>2</sup> ]
Area totale dell'armatura trasversale	$A_{tot}$	26,80	[cm <sup>2</sup> /m]

**VERIFICA ALLO S.L.U. PER TAGLIO**

La resistenza di calcolo a "taglio trazione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.27]:

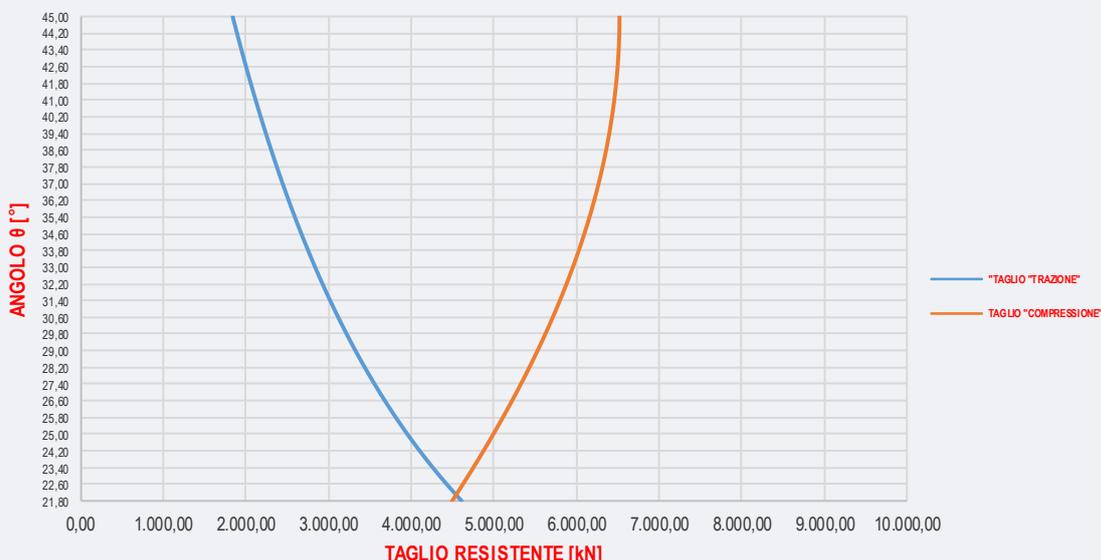
$$V_{Rsd} = 0,90 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot [\cot(\alpha) + \cot(\theta)] \cdot \sin(\alpha)$$

La resistenza di calcolo a "taglio compressione" viene valutata mediante la seguente relazione - D.M. 17.01.2018 [4.1.28]:

$$V_{Rcd} = 0,90 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \left[ \frac{\cot(\alpha) + \cot(\theta)}{1 + \cot^2(\theta)} \right]$$

Larghezza minima della sezione:	$b_w$	70,00	[cm]
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo:	$f_{yd}$	10,58	[N/mm <sup>2</sup> ]
Tensione media di compressione nella sezione:	$\sigma_{cp}$	0,00	[N/mm <sup>2</sup> ]
Coefficiente maggiorativo $\alpha_c$ :	$\alpha_c$	1,00	[-]

### VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA DI CALCOLO PER TAGLIO "TRAZIONE" E TAGLIO COMPRESIONE AL VARIARE DELL'ANGOLO $\theta$



Inclinazione dei puntoni di calcestruzzo

$\theta$ 

22,10
-------

 [°]

Cotangente dell'angolo  $\theta$

$\cot(\theta)$ 

2,46
------

 [-]

RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO TRAZIONE"

$V_{Rsd}$ 

4.544,13
----------

 [kN]

RESISTENZA DI CALCOLO A "TAGLIO COMPRESIONE"

$V_{Rcd}$ 

4.543,40
----------

 [kN]

AZIONE TAGLIANTE RESISTENTE DELLA SEZIONE:

$V_{R,d}$ 

4.543,40
----------

 [kN]

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite Ultimo per taglio biassiale. Le verifiche risultano positive se risulta soddisfatta la seguente disequazione:

$$\rho = \frac{V_{VERT,Sd}}{V_{VERT,Rd}} + \frac{V_{TRASV,Sd}}{V_{TRASV,Rd}} \leq 1,00$$

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$V_{TRASV,Sd}$ [kN]	$V_{VERT,Sd}$ [kN]	$V_{VERT,Rd}$ [kN]	$V_{TRASV,Rd}$ [kN]	$\rho$	$C_{Sic}$
$N_{MAX}$	58	SLU-STR.66(max)	-13,32	159,99	3.091,25	-4.543,40	0,05	18,29
$N_{MIN}$	23	SLU-STR.68(min)	-316,66	-1.013,06	-3.091,25	-4.543,40	0,40	2,52
$M_{VERT,MAX}$	1235	SLU-STR.68(max)	258,08	529,77	3.091,25	4.543,40	0,23	4,38
$M_{VERT,MIN}$	24	SLU-STR.68(min)	-134,40	-1.034,55	-3.091,25	-4.543,40	0,36	2,75
$M_{TRASV,MAX}$	23	SLV.01(max)	569,33	-161,88	-3.091,25	4.543,40	0,18	5,63
$M_{TRASV,MIN}$	1230	SLU-STR.68(min)	-71,13	488,38	3.091,25	-4.543,40	0,17	5,76
$V_{VERT,MAX}$	860	SLV.04(max)	81,03	838,19	3.091,25	4.543,40	0,29	3,46
$V_{VERT,MIN}$	24	SLU-STR.68(min)	-134,40	-1.034,55	-3.091,25	-4.543,40	0,36	2,75
$V_{TRASV,MAX}$	23	SLV.02(max)	569,92	-163,33	-3.091,25	4.543,40	0,18	5,61
$V_{TRASV,MIN}$	133	SLU-STR.72(min)	-321,94	-643,66	-3.091,25	-4.543,40	0,28	3,58
$M_{TORC,MAX}$	23	SLV.01(max)	569,33	-151,38	-3.091,25	4.543,40	0,17	5,74
$M_{TORC,MIN}$	23	SLU-STR.72(min)	-314,73	-999,66	-3.091,25	-4.543,40	0,39	2,55

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,39** in corrispondenza della condizione  $V_{TRASV,MIN}$ .

## 15. COLONNE Ø1000 IN C.A.O.

### 15.1 Valutazione delle azioni sollecitanti di calcolo

Per la valutazione delle azioni sollecitanti di calcolo utilizzati nelle verifiche sono state considerate le seguenti condizioni di carico:

- $N_{MAX}$  → Azione normale massima
- $N_{MIN}$  → Azione normale minima
- $M_{LONG,MAX}$  → Momento flettente longitudinale massimo
- $M_{LONG,MIN}$  → Momento flettente longitudinale minimo
- $M_{TRASV,MAX}$  → Momento flettente trasversale massimo
- $M_{TRASV,MIN}$  → Momento flettente trasversale minimo
- $V_{LONG,MAX}$  → Azione tagliante longitudinale massima
- $V_{long,MIN}$  → Azione tagliante longitudinale minima
- $V_{TRASV,MAX}$  → Azione tagliante verticale massima
- $V_{TRASV,MIN}$  → Azione tagliante verticale minima
- $M_{TORC,MAX}$  → Momento torcente massimo
- $M_{TORC,MIN}$  → Momento torcente minimo

Le azioni normali di compressione sono state indicate con segno negativo.

Nella tabella successiva sono riepilogati i valori delle azioni sollecitanti di calcolo utilizzati per le verifiche per lo Stato Limite Ultimo statico (STR) e sismico (SLV):

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{sd}$ [kN]	$V_{TRASV,SD}$ [kN]	$V_{LONG,SD}$ [kN]	$M_{TORC,SD}$ [kNm]	$M_{LONG,SD}$ [kNm]	$M_{TRASV,SD}$ [kNm]
$N_{MAX}$	4	SLV.04(max)	117,47	627,96	202,98	21,25	398,25	1.396,93
$N_{MIN}$	13	SLU-STR.64(min)	-7.434,00	-451,76	-93,35	8,80	-197,60	-774,03
$M_{LONG,MAX}$	13	SLV.01(max)	-2.930,58	86,99	870,72	15,04	1.659,26	332,83
$M_{LONG,MIN}$	20	SLU-STR.62(min)	-2.023,86	-506,89	-219,95	-41,97	-807,85	-727,28
$M_{TRASV,MAX}$	14	SLV.04(max)	-2.570,79	507,22	306,36	16,09	552,68	1.875,81
$M_{TRASV,MIN}$	12	SLU-STR.68(min)	-2.962,92	132,75	-3,79	-2,82	-585,82	-2.131,18
$V_{LONG,MAX}$	13	SLV.01(max)	-2.930,58	86,99	870,72	15,04	1.659,26	332,83
$V_{LONG,MIN}$	4	SLU-STR.20(min)	-2.068,23	-201,08	-224,13	-16,60	19,78	-41,81
$V_{TRASV,MAX}$	11	SLV.04(max)	-1.147,58	1.023,72	297,90	17,75	569,76	1.742,70
$V_{TRASV,MIN}$	20	SLU-STR.61(min)	-2.036,18	-528,30	-204,90	-42,33	-775,97	-767,38
$M_{TORC,MAX}$	6	SLU-STR.68(max)	-1.037,89	-198,10	114,08	63,76	461,04	1.169,76
$M_{TORC,MIN}$	20	SLU-STR.61(min)	-2.036,18	-528,30	-204,90	-42,33	-775,97	-767,38

Nella tabella successiva sono riepilogati i valori delle azioni sollecitanti di calcolo utilizzati per le verifiche per lo Stato Limite di Esercizio (Combinazioni Caratteristiche):

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	N <sub>Sd</sub> [kN]	V <sub>TRASV,Sd</sub> [kN]	V <sub>LONG,Sd</sub> [kN]	M <sub>TORC,Sd</sub> [kNm]	M <sub>LONG,Sd</sub> [kNm]	M <sub>TRASV,Sd</sub> [kNm]
N <sub>MAX</sub>	4	SLE-CAR.61(max)	<b>-332,31</b>	-14,44	121,89	33,00	398,75	371,56
N <sub>MIN</sub>	13	SLE-CAR.64(min)	<b>-5.340,13</b>	-326,19	-65,85	6,70	-140,76	-541,96
M <sub>LONG,MAX</sub>	5	SLE-CAR.16(max)	-2.258,79	215,23	44,48	24,93	<b>535,14</b>	-132,52
M <sub>LONG,MIN</sub>	20	SLE-CAR.62(min)	-1.421,96	-352,03	-188,99	-27,26	<b>-637,29</b>	-499,49
M <sub>TRASV,MAX</sub>	6	SLE-CAR.16(max)	-969,80	-213,84	86,98	34,23	303,29	<b>1.000,06</b>
M <sub>TRASV,MIN</sub>	12	SLE-CAR.68(min)	-2.134,15	131,51	1,05	-1,95	-414,56	<b>-1.542,62</b>
V <sub>LONG,MAX</sub>	11	SLE-CAR.16(max)	-1.534,01	530,88	<b>216,07</b>	11,14	343,58	687,49
V <sub>LONG,MIN</sub>	20	SLE-CAR.16(min)	-1.291,20	-369,26	<b>-194,63</b>	-17,65	-258,48	20,09
V <sub>TRASV,MAX</sub>	11	SLE-CAR.68(max)	-1.609,50	<b>625,44</b>	183,10	5,19	299,89	891,83
V <sub>TRASV,MIN</sub>	13	SLE-CAR.16(min)	-5.106,77	<b>-396,58</b>	-148,29	2,78	-287,06	-621,68
M <sub>TORC,MAX</sub>	3	SLE-CAR.68(max)	-804,34	-156,53	103,53	<b>44,71</b>	277,65	711,65
M <sub>TORC,MIN</sub>	20	SLE-CAR.61(min)	-1.430,45	-366,80	-178,61	<b>-27,51</b>	-615,30	-527,15

## 15.2 Sezione e armatura di verifica

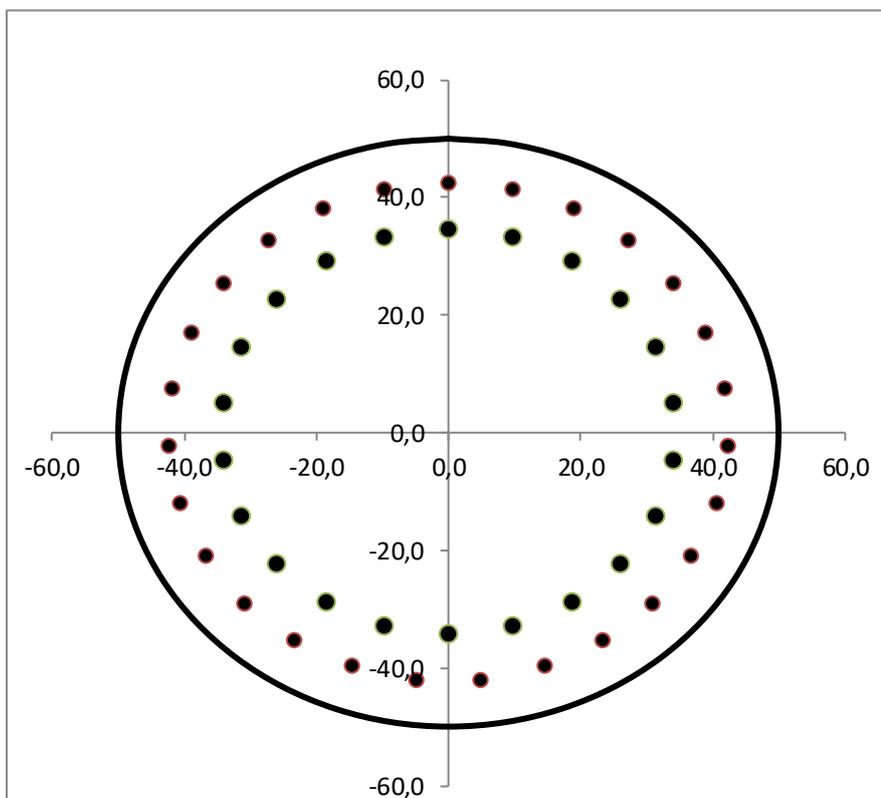
La sezione di verifica è circolare con diametro pari a **100,0 cm**.

L'armatura verticale è costituita da:

- **27Ø30** (Gabbia esterna)
- **22Ø30** (Gabbia interna)

L'armatura a taglio è costituita da una spirale **Ø16/10**. Il copriferro netto minimo è assunto pari a **45 mm**.

**DISEGNO DELLA SEZIONE**



### 15.3 Verifica allo Stato Limite di Esercizio di limitazione delle tensioni

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite di Limitazione delle tensione per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche.

Poiché la sezione di verifica risulta circolare e armata in maniera emisimmetrica, le verifiche saranno eseguite considerando le risultanti dei momenti flettenti (composizione quadratica media).

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{sd}$ [kN]	$M_{RIS, sd}$ [kNm]	$\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$0,60 \cdot f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$0,80 \cdot f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\rho$	$C_{sic}$
$N_{MAX}$	4	SLE-CAR.61(max)	<b>-332,31</b>	545,03	4,08	22,41	65,30	360,00	0,18	5,49
$N_{MIN}$	13	SLE-CAR.64(min)	<b>-5.340,13</b>	559,94	7,25	22,41	101,20	360,00	0,32	3,09
$M_{LONG, MAX}$	5	SLE-CAR.16(max)	-2.258,79	551,30	5,00	22,41	67,00	360,00	0,22	4,48
$M_{LONG, MIN}$	20	SLE-CAR.62(min)	-1.421,96	809,71	6,47	22,41	82,80	360,00	0,29	3,46
$M_{TRASV, MAX}$	6	SLE-CAR.16(max)	-969,80	1.045,04	7,98	22,41	115,20	360,00	0,36	2,81
$M_{TRASV, MIN}$	12	SLE-CAR.68(min)	-2.134,15	1.597,35	12,48	22,41	157,90	360,00	0,56	1,80
$V_{LONG, MAX}$	11	SLE-CAR.16(max)	-1.534,01	768,56	6,22	22,41	0,05	360,00	0,28	3,60
$V_{LONG, MIN}$	20	SLE-CAR.16(min)	-1.291,20	259,26	2,48	22,41	33,70	360,00	0,11	9,04
$V_{TRASV, MAX}$	11	SLE-CAR.68(max)	-1.609,50	940,90	7,50	22,41	95,90	360,00	0,33	2,99
$V_{TRASV, MIN}$	13	SLE-CAR.16(min)	-5.106,77	684,76	7,77	22,41	107,50	360,00	0,35	2,88
$M_{TORC, MAX}$	3	SLE-CAR.68(max)	-804,34	763,89	5,87	22,41	81,40	360,00	0,26	3,82
$M_{TORC, MIN}$	20	SLE-CAR.61(min)	-1.430,45	810,24	6,48	22,41	82,90	360,00	0,29	3,46

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,56** in corrispondenza della condizione  $M_{TRASV, MIN}$ .

### 15.4 Verifica allo Stato Limite di Esercizio per fessurazione

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite di fessurazione per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche.

L'apertura limite delle fessure per lo Stato Limite di Esercizio – Combinazioni Caratteristiche è stato assunto pari a:

$$w_{lim} = 0,30 \text{ mm}$$

Poiché la sezione di verifica risulta circolare e armata in maniera emisimmetrica, le verifiche saranno eseguite considerando le risultanti dei momenti flettenti (composizione quadratica media).

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{sd}$ [kN]	$M_{RIS, sd}$ [kNm]	$w_d$ [mm]	$w_{lim}$ [mm]	$\rho$	$C_{sic}$
$N_{MAX}$	4	SLE-CAR.61(max)	<b>-332,31</b>	545,03	0,049	0,300	0,16	6,12
$N_{MIN}$	13	SLE-CAR.64(min)	<b>-5.340,13</b>	559,94	0,000	0,300	0,00	-
$M_{LONG, MAX}$	5	SLE-CAR.16(max)	-2.258,79	551,30	0,000	0,300	0,00	-
$M_{LONG, MIN}$	20	SLE-CAR.62(min)	-1.421,96	809,71	0,058	0,300	0,19	5,17
$M_{TRASV, MAX}$	6	SLE-CAR.16(max)	-969,80	1.045,04	0,085	0,300	0,28	3,53
$M_{TRASV, MIN}$	12	SLE-CAR.68(min)	-2.134,15	1.597,35	0,121	0,300	0,40	2,48
$V_{LONG, MAX}$	11	SLE-CAR.16(max)	-1.534,01	768,56	0,050	0,300	0,17	6,00
$V_{LONG, MIN}$	20	SLE-CAR.16(min)	-1.291,20	259,26	0,000	0,300	0,00	-
$V_{TRASV, MAX}$	11	SLE-CAR.68(max)	-1.609,50	940,90	0,069	0,300	0,23	4,35
$V_{TRASV, MIN}$	13	SLE-CAR.16(min)	-5.106,77	684,76	0,000	0,300	0,00	-
$M_{TORC, MAX}$	3	SLE-CAR.68(max)	-804,34	763,89	0,059	0,300	0,20	5,08
$M_{TORC, MIN}$	20	SLE-CAR.61(min)	-1.430,45	810,24	0,058	0,300	0,19	5,17

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,40** in corrispondenza della condizione  $M_{TRASV, MIN}$ .

## 15.5 Verifica allo Stato Limite Ultimo per pressoflessione

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite Ultimo per pressoflessione.

Poiché la sezione di verifica risulta circolare e armata in maniera emisimmetrica, le verifiche saranno eseguite considerando le risultanti dei momenti flettenti (composizione quadratica media).

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$N_{Sd}$ [kN]	$M_{RIS,Sd}$ [kNm]	$M_{Rd}$ [kNm]	$\rho$	$C_{SIC}$
$N_{MAX}$	4	SLV.04(max)	117,47	1.452,59	4.099,00	0,35	2,82
$N_{MIN}$	13	SLU-STR.64(min)	-7.434,00	798,85	4.629,00	0,17	5,79
$M_{LONG,MAX}$	13	SLV.01(max)	-2.930,58	1.692,31	4.497,00	0,38	2,66
$M_{LONG,MIN}$	20	SLU-STR.62(min)	-2.023,86	1.086,99	4.406,00	0,25	4,05
$M_{TRASV,MAX}$	14	SLV.04(max)	-2.570,79	1.955,54	4.462,00	0,44	2,28
$M_{TRASV,MIN}$	12	SLU-STR.68(min)	-2.962,92	2.210,23	4.500,00	0,49	2,04
$V_{LONG,MAX}$	13	SLV.01(max)	-2.930,58	1.692,31	4.497,00	0,38	2,66
$V_{LONG,MIN}$	4	SLU-STR.20(min)	-2.068,23	46,25	4.404,00	0,01	95,22
$V_{TRASV,MAX}$	11	SLV.04(max)	-1.147,58	1.833,47	4.292,00	0,43	2,34
$V_{TRASV,MIN}$	20	SLU-STR.61(min)	-2.036,18	1.091,33	4.400,00	0,25	4,03
$M_{TORC,MAX}$	6	SLU-STR.68(max)	-1.037,89	1.257,34	4.278,00	0,29	3,40
$M_{TORC,MIN}$	20	SLU-STR.61(min)	-2.036,18	1.091,33	4.400,00	0,25	4,03

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,49** in corrispondenza della condizione  $M_{TRASV,MIN}$ .

## 15.6 Verifica allo Stato Limite Ultimo per taglio

Di seguito sono riportate le verifiche allo Stato Limite Ultimo per taglio.

Poiché la sezione di verifica risulta circolare e armata in maniera emisimmetrica, le verifiche saranno eseguite considerando le risultanti dei tagli (composizione quadratica media).

CONDIZIONE	ELEMENTO	COMBINAZIONE	$V_{RIS,Sd}$ [kNm]	$V_{Rd}$ [kNm]	$\rho$	$C_{SIC}$
$N_{MAX}$	4	SLV.04(max)	659,95	2.389,00	0,28	3,62
$N_{MIN}$	13	SLU-STR.64(min)	461,30	2.389,00	0,19	5,18
$M_{LONG,MAX}$	13	SLV.01(max)	875,05	2.389,00	0,37	2,73
$M_{LONG,MIN}$	20	SLU-STR.62(min)	552,55	2.389,00	0,23	4,32
$M_{TRASV,MAX}$	14	SLV.04(max)	592,56	2.389,00	0,25	4,03
$M_{TRASV,MIN}$	12	SLU-STR.68(min)	132,80	2.389,00	0,06	17,99
$V_{LONG,MAX}$	13	SLV.01(max)	875,05	2.389,00	0,37	2,73
$V_{LONG,MIN}$	4	SLU-STR.20(min)	301,11	2.389,00	0,13	7,93
$V_{TRASV,MAX}$	11	SLV.04(max)	1.066,18	2.389,00	0,45	2,24
$V_{TRASV,MIN}$	20	SLU-STR.61(min)	566,64	2.389,00	0,24	4,22
$M_{TORC,MAX}$	6	SLU-STR.68(max)	228,60	2.389,00	0,10	10,45
$M_{TORC,MIN}$	20	SLU-STR.61(min)	566,64	2.389,00	0,24	4,22

Il tasso di sfruttamento massimo è risultato pari a **0,45** in corrispondenza della condizione  $V_{TRASV,MAX}$ .

## 15.7 Verifiche analitiche per condizioni maggiormente gravose

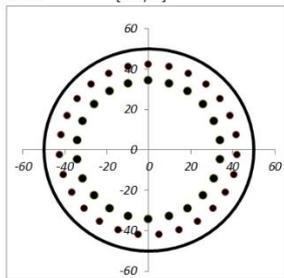
Di seguito è riportato lo sviluppo analitico delle verifiche strutturali (delle quali nei paragrafi precedenti è stato riportato un riepilogo) per le condizioni maggiormente gravose individuate.

All'interno del form (per motivi di modificabilità del file stesso) le verifiche per lo Stato Limite di fessurazione sono state inserite come combinazioni allo Stato Limite di Esercizio – Frequenti, utilizzando comunque i valori (sia in termini di azioni sollecitanti che in termini di apertura limite delle fessure) relativi alle combinazioni allo Stato Limite di Esercizio – Caratteristiche.

INPUT			
SOLLECITAZIONI DI VERIFICA			
Combinazione	N <sub>Ed</sub> [kN]	M <sub>Ed</sub> [kNm]	V <sub>Ed</sub> [kN]
SLE Quasi Permanente	0	0	0
SLE Frequente	-2134	1597	0
SLE Rara	-2134	1597	0
SLU	-2963	2210	1066
SLV	0	0	0

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.				
<b>Geometria della sezione</b>				
Diametro	D	100	[cm]	
Copriferro netto	c	4,5	[cm]	
Area calcestruzzo	A <sub>cl</sub>	7854	[cm <sup>2</sup> ]	
Copriferro baricentrico	c <sub>baric</sub>	11,2	[cm]	
Altezza utile della sezione	d	88,8	[cm]	
<b>Armatura longitudinale</b>				
		1° STRATO	2° STRATO	
Numero Barre	n <sub>barre</sub> [-]	27	22	
Diametro	φ [mm]	30	30	
Posizione dal lembo esterno	c <sub>baric</sub> [cm]	7,6	15,6	
Area strato	A <sub>cl</sub> [cm <sup>2</sup> ]	190,85	155,51	
Rapporto di armatura	ρ [%]	4,410%		
% minima di armatura	ρ <sub>min</sub> [%]		0,40%	
<b>Armatura trasversale (spirale/staffe/spilli)</b>				
		1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO
Diametro	φ [mm]	16	0	0
Numero bracci	n <sub>br</sub>	2	0	0
Passo	s <sub>w</sub> [cm]	10	0	0
Area armatura a metro per tipo	A <sub>tw</sub> /s <sub>w</sub>	40,21	0	0
Area armatura a metro totale	[cm <sup>2</sup> /m]		40,21	



Disposizione delle barre nella sezione trasversale

OUTPUT			
VERIFICHE IN ESERCIZIO			
Approccio di verifica:		NTC18 / EC 2 -2	
<b>Verifica Tensionale</b>			
Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	σ <sub>c</sub> [MPa]	0,00	σ limite < 16,81
Calcestruzzo SLE Rara	σ <sub>c</sub> [MPa]	12,48	< 22,41
Acciaio SLE Rara	σ <sub>s</sub> [MPa]	157,9	< 360,00
<b>Verifica di fessurazione</b>			
		Quasi perm.	Frequente
Altezza efficace del calcestruzzo teso	h <sub>c,eff</sub> [cm]	-	16,57
Area efficace del calcestruzzo teso	A <sub>c,eff</sub> [cm <sup>2</sup> ]	-	854
	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	-	49,48
Rapporto dell'acciaio sull'area di calcestruzzo efficace	ρ <sub>p,eff</sub> [%]	-	5,80%
Fattore dipendente dalla durata del carico	k <sub>c</sub>	0,4	0,6
Coefficiente funzione delle proprietà di aderenza dell'armatura	k <sub>s</sub>	0,8	0,8
Coefficiente funzione della distribuzione delle deformazioni	k <sub>d</sub>	1,0	0,5
Funzione dipendente dal copriferro	k <sub>f</sub>	3,4	3,4
	k <sub>4</sub>	0,425	0,425
		media	media
Tensione di verifica:			
Massima tensione nell'armatura alla formazione della fessura	σ <sub>s</sub> [MPa]	0,0	136,8
Distanza massima tra le fessure (eq.7.11 di EN 1992-1-1)	s <sub>r,max</sub> [mm]	-	295,4
Differenza tra deformazione media dell'armatura e del cls	(ε <sub>sm</sub> - ε <sub>cm</sub> )	-	0,041%
Ampiezza delle fessure	w <sub>d</sub> [mm]	0,000	0,121
Ampiezza delle fessure limite	w <sub>lim</sub> [mm]	0,200	0,300
<b>VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO</b>			
Per la verifica a taglio si fa riferimento al metodo di Clarke-Birjandi 1993:			
	$\sin(\alpha) = 2r/\pi r \cdot \cos(0 < \alpha < \pi/2)$	[-]	0,540
	$A_v = r^2 [\pi/2 + \alpha + \sin(\alpha)\cos(\alpha)]$	[cm <sup>2</sup> ]	6489
	$d = r[1 + \sin(\alpha)]$	[cm]	77,0
	$b_w = A_v/d$	[cm]	84,3
<b>Sollecitazioni di progetto</b>			
Taglio sollecitante = max Taglio (SLU,SLV)	V <sub>Ed</sub> [kN]		1066
Sforzo Normale concomitante al massimo taglio	N <sub>Ed</sub> [kN]		-2963
<b>Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica</b>			
Resistenza a taglio di progetto	V <sub>Rd1</sub> [kN]		940
Coefficiente di sicurezza	V <sub>Rd1</sub> /V <sub>Ed</sub>		0,88
<b>Verifica di resistenza dell'armatura specifica</b>			
CoTan(θ) di progetto	cotan(θ)		2,2
Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls	V <sub>Rd2</sub> (θ) [kN]		2900
Resistenza a taglio dell'armatura	V <sub>Rd3</sub> (θ) [kN]		2385
Resistenza a taglio di progetto	V <sub>Rd</sub> [kN]		2385
Coefficiente di sicurezza	V <sub>Rd</sub> /V <sub>Ed</sub>		2,24



Verifica Interassi e interferri		
	1° STRATO	2° STRATO
Interferro di progetto	[cm] 7,00	7,00
Interferro minimo	[cm] <b>6,00</b>	<b>6,00</b>
Interasse di progetto	[cm] 10,00	10,00
Interasse massimo	[cm] <b>25,00</b>	

#### CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI

Calcestruzzo		
Resistenza cubica a compressione	$R_{ck}$ [MPa]	45
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	$f_{cd}$ [MPa]	37
Resistenza cilindrica media a compressione	$f_{cm}$ [MPa]	45,35
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{ctm}$ [MPa]	3,35
Resistenza di progetto a compressione	$f_{cd}$ [MPa]	<b>21,17</b>
Modulo elastico calcestruzzo	$E_{cm}$ [MPa]	34625

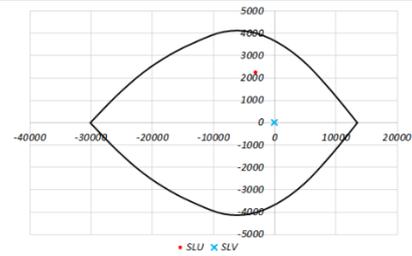
Acciaio		
Barre: ad Aderenza migliorata		
Resistenza caratteristica a snervamento	$f_{yk}$ [MPa]	450
Coefficiente parziale di sicurezza	$\gamma_s$	1,15
Resistenza di progetto a snervamento	$f_{yd}$ [MPa]	<b>391,3</b>
Modulo elastico	$E$ [MPa]	200000

#### VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE

Solicitazioni di progetto		SLU	SLV
Momento sollecitante	$M_{Ed}$ [kNm]	2210	0
Sforzo Normale concomitante	$N_{Ed}$ [kN]	-2963	0

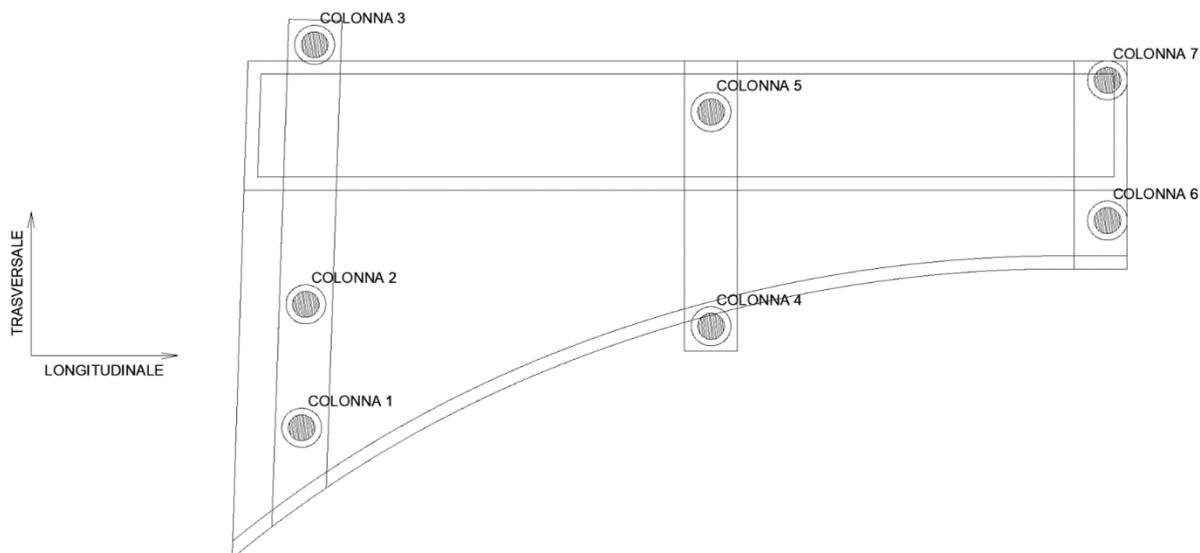
Verifica di resistenza		SLU	SLV
Momento resistente	$M_{Rd}$ [kNm]	4500	4120
Coefficiente di sicurezza	$M_{Rd}/M_{Ed}$	<b>2,04</b>	-

#### DOMINIO M-N



## 16. SCARICHI IN FONDAZIONE

Nell'immagine successiva è riportata la denominazione delle diverse colonne in c.a.o. presenti:



Nella tabella successiva sono riportati gli scarichi allo spiccato delle colonne per le combinazioni allo Stato Limite Ultimo – STR e per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita:

COLONNA 1							
CONDIZIONE	COMBINAZIONE	N (kN)	V <sub>LONG</sub> (kN)	V <sub>TRASV</sub> (kN)	M <sub>TRASV</sub> (kN·m)	M <sub>LONG</sub> (kN·m)	M <sub>TORC</sub> (kN·m)
N <sub>MAX</sub>	SLU-STR.20(max)	2.187,86	224,14	22,08	344,67	127,25	16,60
N <sub>MIN</sub>	SLU-STR.61(min)	583,28	-143,22	-270,49	26,21	-548,61	-49,77
M <sub>LONG,MAX</sub>	SLU-STR.56(max)	2.084,68	214,49	23,86	419,00	151,54	29,80
M <sub>LONG,MIN</sub>	SLU-STR.50(min)	660,42	-154,64	-221,51	-49,58	-596,04	-49,33
M <sub>TRASV,MAX</sub>	SLU-STR.61(max)	1.994,47	189,35	-12,86	517,81	114,82	30,06
M <sub>TRASV,MIN</sub>	SLU-STR.69(min)	745,18	-95,31	-101,93	-111,27	-511,98	-45,42
V <sub>LONG,MAX</sub>	SLU-STR.20(max)	2.187,86	224,14	22,08	344,67	127,25	16,60
V <sub>LONG,MIN</sub>	SLU-STR.62(min)	607,05	-155,87	-246,04	0,51	-588,03	-49,41
V <sub>TRASV,MAX</sub>	SLU-STR.69(max)	1.426,88	103,98	55,04	243,64	-22,67	27,29
V <sub>TRASV,MIN</sub>	SLU-STR.70(max)	1.426,88	103,98	55,04	243,64	-22,67	27,29
M <sub>TORC,MAX</sub>	SLU-STR.67(max)	2.101,23	198,77	36,20	417,67	108,02	30,21
M <sub>TORC,MIN</sub>	SLU-STR.61(min)	583,28	-143,22	-270,49	26,21	-548,61	-49,77

COLONNA 2							
CONDIZIONE	COMBINAZIONE	N (kN)	V <sub>LONG</sub> (kN)	V <sub>TRASV</sub> (kN)	M <sub>TRASV</sub> (kN·m)	M <sub>LONG</sub> (kN·m)	M <sub>TORC</sub> (kN·m)
N <sub>MAX</sub>	SLU-STR.66(max)	3.976,74	173,02	302,71	-70,74	166,78	14,89
N <sub>MIN</sub>	SLU-STR.68(min)	2.876,61	-42,66	137,37	-593,34	-458,49	-40,49
M <sub>LONG,MAX</sub>	SLU-STR.62(max)	3.847,21	188,30	313,78	-8,42	180,98	17,22
M <sub>LONG,MIN</sub>	SLU-STR.72(min)	3.010,02	-43,96	172,34	-565,67	-467,83	-40,04
M <sub>TRASV,MAX</sub>	SLU-STR.61(max)	3.873,75	172,06	294,18	49,91	145,82	17,56
M <sub>TRASV,MIN</sub>	SLU-STR.68(min)	2.876,61	-42,66	137,37	-593,34	-458,49	-40,49
V <sub>LONG,MAX</sub>	SLU-STR.14(max)	3.743,25	196,83	289,73	-46,11	151,43	7,58
V <sub>LONG,MIN</sub>	SLU-STR.72(min)	3.010,02	-43,96	172,34	-565,67	-467,83	-40,04
V <sub>TRASV,MAX</sub>	SLU-STR.68(max)	3.749,57	174,63	390,90	-145,81	144,07	17,50
V <sub>TRASV,MIN</sub>	SLU-STR.61(min)	2.999,93	-6,06	28,53	-420,33	-368,22	-41,24
M <sub>TORC,MAX</sub>	SLU-STR.67(max)	3.776,12	158,39	371,30	-87,48	108,91	17,84
M <sub>TORC,MIN</sub>	SLU-STR.61(min)	2.999,93	-6,06	28,53	-420,33	-368,22	-41,24

COLONNA 3							
CONDIZIONE	COMBINAZIONE	N (kN)	V <sub>LONG</sub> (kN)	V <sub>TRASV</sub> (kN)	M <sub>TRASV</sub> (kN·m)	M <sub>LONG</sub> (kN·m)	M <sub>TORC</sub> (kN·m)
N <sub>MAX</sub>	SLU-STR.66(max)	2.726,18	95,41	-272,85	506,23	223,06	36,01
N <sub>MIN</sub>	SLU-STR.68(min)	1.157,80	-114,08	-402,93	145,80	-573,33	-63,75
M <sub>LONG,MAX</sub>	SLU-STR.66(max)	2.726,18	95,41	-272,85	506,23	223,06	36,01
M <sub>LONG,MIN</sub>	SLU-STR.68(min)	1.157,80	-114,08	-402,93	145,80	-573,33	-63,75
M <sub>TRASV,MAX</sub>	SLU-STR.13(max)	2.402,14	65,70	-295,50	576,14	105,72	20,63
M <sub>TRASV,MIN</sub>	SLU-STR.68(min)	1.157,80	-114,08	-402,93	145,80	-573,33	-63,75
V <sub>LONG,MAX</sub>	SLU-STR.66(max)	2.726,18	95,41	-272,85	506,23	223,06	36,01
V <sub>LONG,MIN</sub>	SLU-STR.72(min)	1.178,94	-115,06	-402,03	184,29	-571,32	-61,05
V <sub>TRASV,MAX</sub>	SLU-STR.68(max)	2.624,27	64,11	-194,42	408,86	172,08	35,71
V <sub>TRASV,MIN</sub>	SLU-STR.61(min)	1.208,78	-77,22	-488,82	290,04	-489,97	-60,53
M <sub>TORC,MAX</sub>	SLU-STR.62(max)	2.662,15	82,40	-254,71	524,26	212,57	37,47
M <sub>TORC,MIN</sub>	SLU-STR.68(min)	1.157,80	-114,08	-402,93	145,80	-573,33	-63,75

COLONNA 4							
CONDIZIONE	COMBINAZIONE	N (kN)	V <sub>LONG</sub> (kN)	V <sub>TRASV</sub> (kN)	M <sub>TRASV</sub> (kN·m)	M <sub>LONG</sub> (kN·m)	M <sub>TORC</sub> (kN·m)
N <sub>MAX</sub>	SLU-STR.20(max)	3.147,22	27,49	755,56	-189,31	102,04	3,52
N <sub>MIN</sub>	SLU-STR.61(min)	2.041,23	-214,80	73,11	-1.109,13	-330,60	-8,15
M <sub>LONG,MAX</sub>	SLU-STR.14(max)	3.036,33	47,55	705,32	-90,76	147,20	2,97
M <sub>LONG,MIN</sub>	SLU-STR.20(min)	2.238,11	-287,37	255,48	-1.051,25	-476,71	-8,77
M <sub>TRASV,MAX</sub>	SLU-STR.61(max)	2.942,81	7,44	796,30	140,28	72,36	1,93
M <sub>TRASV,MIN</sub>	SLU-STR.68(min)	2.182,27	-260,96	136,43	-1.256,46	-432,56	-7,57
V <sub>LONG,MAX</sub>	SLU-STR.14(max)	3.036,33	47,55	705,32	-90,76	147,20	2,97
V <sub>LONG,MIN</sub>	SLU-STR.20(min)	2.238,11	-287,37	255,48	-1.051,25	-476,71	-8,77
V <sub>TRASV,MAX</sub>	SLU-STR.68(max)	3.082,58	3,80	870,44	16,20	62,22	2,82
V <sub>TRASV,MIN</sub>	SLU-STR.61(min)	2.041,23	-214,80	73,11	-1.109,13	-330,60	-8,15
M <sub>TORC,MAX</sub>	SLU-STR.24(max)	2.808,83	-20,26	749,68	-255,16	25,40	5,33
M <sub>TORC,MIN</sub>	SLU-STR.18(min)	2.164,09	-209,66	237,64	-934,83	-339,50	-9,54

COLONNA 5							
CONDIZIONE	COMBINAZIONE	N (kN)	V <sub>LONG</sub> (kN)	V <sub>TRASV</sub> (kN)	M <sub>TRASV</sub> (kN·m)	M <sub>LONG</sub> (kN·m)	M <sub>TORC</sub> (kN·m)
N <sub>MAX</sub>	SLU-STR.24(max)	2.808,83	-20,26	749,68	-255,16	25,40	5,33
N <sub>MIN</sub>	SLU-STR.18(min)	2.164,09	-209,66	237,64	-934,83	-339,50	-9,54
M <sub>LONG,MAX</sub>	SLU-STR.14(max)	6.575,35	145,88	-183,81	706,49	298,92	-5,08
M <sub>LONG,MIN</sub>	SLU-STR.24(min)	4.355,52	-162,34	-342,55	35,37	-265,88	-15,42
M <sub>TRASV,MAX</sub>	SLU-STR.61(max)	7.214,35	106,28	-174,50	830,51	225,76	-5,42
M <sub>TRASV,MIN</sub>	SLU-STR.68(min)	3.725,59	-138,88	-392,62	-127,79	-234,36	-17,72
V <sub>LONG,MAX</sub>	SLU-STR.14(max)	6.575,35	145,88	-183,81	706,49	298,92	-5,08
V <sub>LONG,MIN</sub>	SLU-STR.24(min)	4.355,52	-162,34	-342,55	35,37	-265,88	-15,42
V <sub>TRASV,MAX</sub>	SLU-STR.68(max)	7.096,20	98,05	-73,96	676,74	210,06	-6,22
V <sub>TRASV,MIN</sub>	SLU-STR.61(min)	3.850,19	-75,57	-478,58	54,07	-111,68	-17,55
M <sub>TORC,MAX</sub>	SLU-STR.13(max)	6.604,39	120,60	-223,24	744,73	249,71	-4,65
M <sub>TORC,MIN</sub>	SLU-STR.19(min)	4.413,39	-111,42	-390,61	67,09	-178,50	-19,04

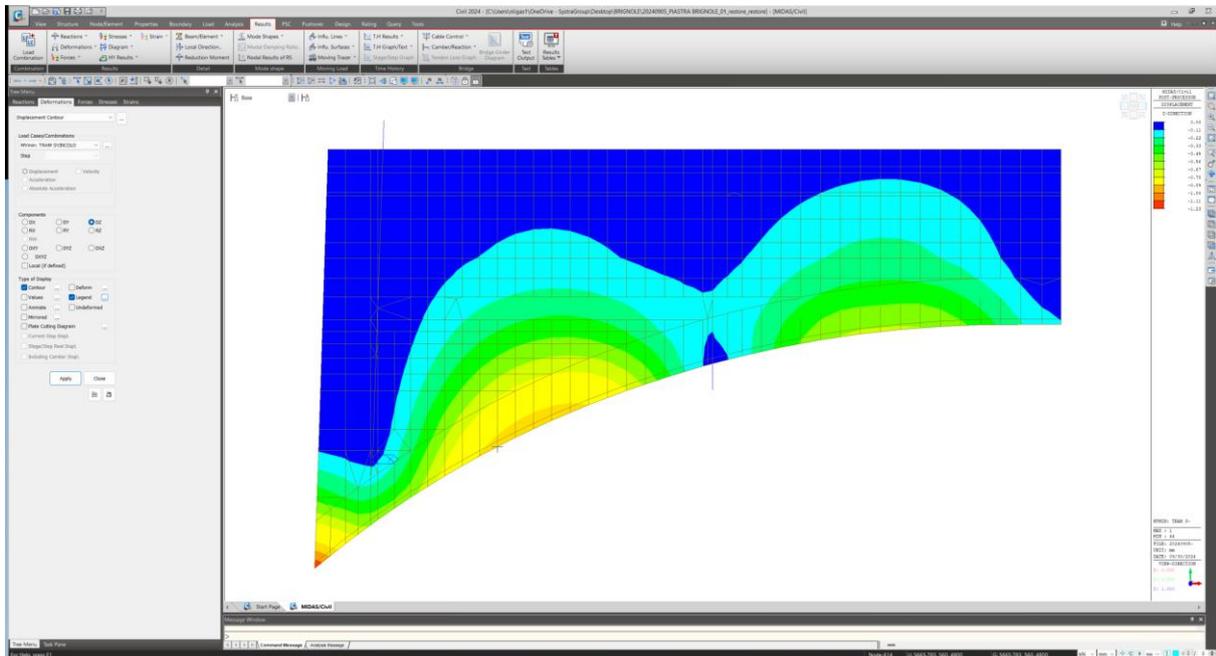
COLONNA 6							
CONDIZIONE	COMBINAZIONE	N (kN)	V <sub>LONG</sub> (kN)	V <sub>TRASV</sub> (kN)	M <sub>TRASV</sub> (kN·m)	M <sub>LONG</sub> (kN·m)	M <sub>TORC</sub> (kN·m)
N <sub>MAX</sub>	SLU-STR.68(max)	2.640,25	145,77	161,54	207,67	612,32	39,19
N <sub>MIN</sub>	SLU-STR.61(min)	1.300,43	-117,97	-167,88	-43,39	-109,13	-52,12
M <sub>LONG,MAX</sub>	SLU-STR.62(max)	2.555,77	170,92	125,19	283,64	664,22	40,39
M <sub>LONG,MIN</sub>	SLU-STR.68(min)	1.417,08	-172,86	-114,29	-156,10	-223,63	-52,79
M <sub>TRASV,MAX</sub>	SLU-STR.13(max)	2.505,01	136,91	76,53	333,56	549,00	25,08
M <sub>TRASV,MIN</sub>	SLU-STR.68(min)	1.417,08	-172,86	-114,29	-156,10	-223,63	-52,79
V <sub>LONG,MAX</sub>	SLU-STR.66(max)	2.515,91	172,57	108,63	196,30	659,34	39,25
V <sub>LONG,MIN</sub>	SLU-STR.20(min)	1.545,26	-175,61	-107,31	-132,43	-175,32	-36,90
V <sub>TRASV,MAX</sub>	SLU-STR.68(max)	2.640,25	145,77	161,54	207,67	612,32	39,19
V <sub>TRASV,MIN</sub>	SLU-STR.61(min)	1.300,43	-117,97	-167,88	-43,39	-109,13	-52,12
M <sub>TORC,MAX</sub>	SLU-STR.61(max)	2.537,81	152,97	107,24	318,37	626,21	41,11
M <sub>TORC,MIN</sub>	SLU-STR.67(min)	1.384,91	-143,12	-131,52	-119,36	-161,03	-53,32

COLONNA 7							
CONDIZIONE	COMBINAZIONE	N (kN)	V <sub>LONG</sub> (kN)	V <sub>TRASV</sub> (kN)	M <sub>TRASV</sub> (kN·m)	M <sub>LONG</sub> (kN·m)	M <sub>TORC</sub> (kN·m)
N <sub>MAX</sub>	SLU-STR.61(max)	2.036,17	204,86	102,88	767,36	775,88	42,33
N <sub>MIN</sub>	SLU-STR.68(min)	665,30	-82,55	-452,55	-263,52	-144,33	-58,07
M <sub>LONG,MAX</sub>	SLU-STR.62(max)	2.023,85	219,90	124,57	727,26	807,77	41,97
M <sub>LONG,MIN</sub>	SLU-STR.68(min)	665,30	-82,55	-452,55	-263,52	-144,33	-58,07
M <sub>TRASV,MAX</sub>	SLU-STR.61(max)	2.036,17	204,86	102,88	767,36	775,88	42,33
M <sub>TRASV,MIN</sub>	SLU-STR.68(min)	665,30	-82,55	-452,55	-263,52	-144,33	-58,07
V <sub>LONG,MAX</sub>	SLU-STR.62(max)	2.023,85	219,90	124,57	727,26	807,77	41,97
V <sub>LONG,MIN</sub>	SLU-STR.68(min)	665,30	-82,55	-452,55	-263,52	-144,33	-58,07
V <sub>TRASV,MAX</sub>	SLU-STR.68(max)	1.952,15	202,91	178,90	628,06	769,47	40,40
V <sub>TRASV,MIN</sub>	SLU-STR.61(min)	769,03	-41,20	-528,30	-122,73	-53,30	-56,46
M <sub>TORC,MAX</sub>	SLU-STR.61(max)	2.036,17	204,86	102,88	767,36	775,88	42,33
M <sub>TORC,MIN</sub>	SLU-STR.68(min)	665,30	-82,55	-452,55	-263,52	-144,33	-58,07

## 17. VERIFICA DELL'INFLESSIONE NEL PIANO VERTICALE DELL'IMPALCATO

Secondo quanto riportato all'interno del Manuale di Progettazione RFI (**RFI DTC SI PS MA IFS 001 E**), considerando la presenza sia di un unico tram che di due tram contemporaneamente, incrementando il valore dei relativi carichi per il corrispondente coefficiente dinamico e il massimo valore di inflessione per effetto di tali carichi ferroviari non deve eccedere il valore  $L/600$ .

Nell'immagine successiva è riportato la deformata verticale dell'impalcato sotto l'effetto del convoglio tramviario sul Binario 1 (svincolo):

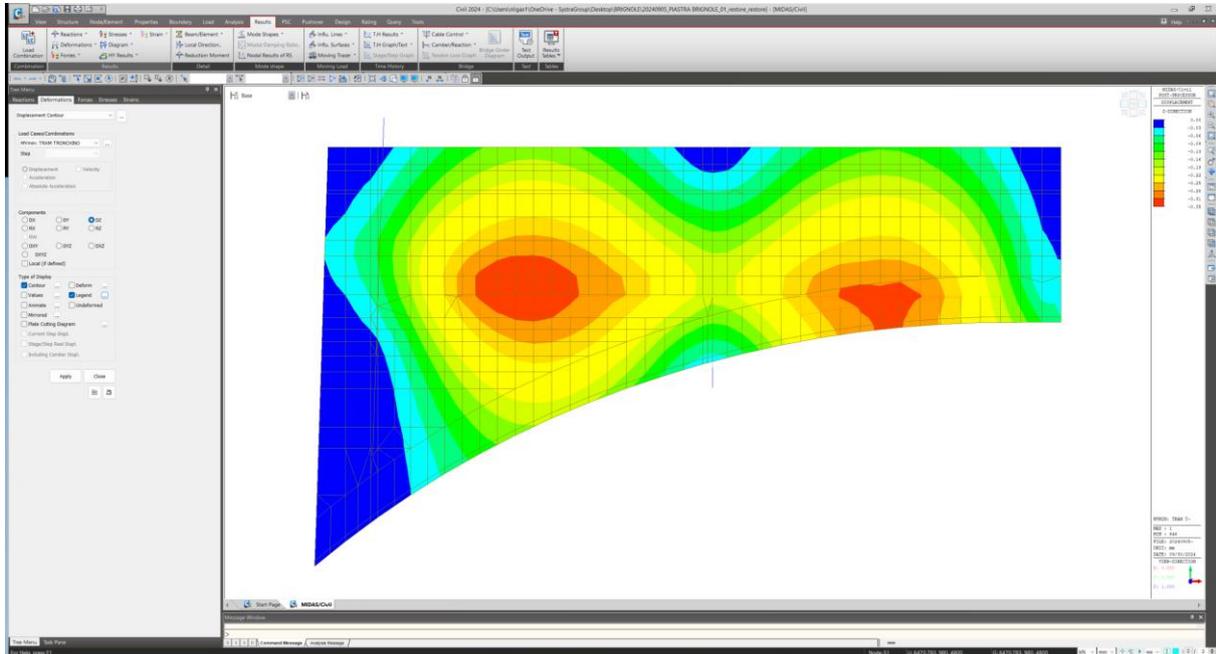


La verifica di deformabilità verrà condotta in relazione alla lunghezza dello sbalzo del binario di svincolo ( $L = 5,54 \text{ m}$ ).

La deformata verticale massima risulta pari a:

$$\delta_{v,MAX} (B1) = 1,23 \text{ mm} < \delta_{v,LIM} = L/600 = 5.540,00 / 600 = 9,23 \text{ mm} \rightarrow \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

Nell'immagine successiva è riportato la deformata verticale dell'impalcato sotto l'effetto del convoglio tramviario sul Binario 2 (tronchino):



La verifica di deformabilità verrà condotta in relazione alla lunghezza della campata di minore lunghezza ( $L = 14,93$  m).

La deformata verticale massima risulta pari a:

$$\delta_{V,MAX}(B2) = 0,35 \text{ mm} < \delta_{V,LIM} = L/600 = 14.930,00 / 600 = 24,88 \text{ mm} \rightarrow \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

## 18. RISPONDEZA AL §10.2 DEL D.M. 17.01.2018

### 18.1 Origine e caratteristiche dei software di calcolo

#### 18.1.1 Midas Civil 2024 (v.1.1)

Il programma è in grado di svolgere analisi di tipo lineare e non lineare mediante elementi finiti di tipo monodimensionale, bidimensionale e tridimensionale.





---

## **18.2 Affidabilità dei codici utilizzati**

Si dichiara di aver esaminato preliminarmente la documentazione a corredo del software contenente una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati oltre all'individuazione dei campi d'impiego, valutandone l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico.

## **18.3 Validazione dei codici**

Non risulta necessaria una validazione indipendente del calcolo strutturale.

## **18.4 Modalità di presentazione dei risultati**

I risultati riassumono, in sintesi completa ed efficace, il comportamento della struttura per il particolare tipo di analisi sviluppata.

L'esito della elaborazione è sintetizzato in disegni e schemi grafici contenenti, per le parti più sollecitate della struttura, la rappresentazione grafica delle principali caratteristiche di sollecitazione, i diagrammi di involuppo associati alle combinazioni dei carichi considerate, gli schemi grafici con la rappresentazione dei carichi applicati e delle corrispondenti reazioni vincolari. Delle suddette grandezze, unitamente ai diagrammi ed agli schemi grafici, sono evidenziate le convenzioni sui segni, oltre ai valori numerici e le unità di misura nelle sezioni significative per la valutazione del comportamento complessivo della struttura e i valori numerici necessari ai fini delle verifiche di misura della sicurezza