



# Autostrada dei Fiori

Tronco A10: Savona – Ventimiglia (confine francese)

## NUOVO SVINCOLO AUTOSTRADALE DI VADO LIGURE

CARREGGIATA SUD / CARREGGIATA NORD  
Progr. Km 47+545

### PROGETTO DEFINITIVO

FABBRICATI PIAZZALE DI ESAZIONE  
PENSILINA DI ESAZIONE  
RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

PROGETTISTA	RESPONSABILE INTEGRAZIONE ATTIVITÀ SPECIALISTICHE	IMPRESA	COMMITTENTE
Dott. Ing. Enrico GHISLANDI Ordine degli Ingegneri Provincia di Milano n° 16993	 Dott. Ing. Enrico GHISLANDI Ordine degli Ingegneri Provincia di Milano n° 16993		Autostrada dei Fiori S.p.A. Via della Repubblica, 46 18100 Imperia (IM)

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTR.	APPROV.	RIESAME	DATA	SCALA
							FEBBRAIO 2020	-
							N. Progr.	
A	Febbraio 2020	PRIMA EMISSIONE	SINA	DT/OC	DT	DT		

CODIFICA	PROGETTO	LIV	TRONCO	DOCUMENTO	REV	WBS
	P280	D	A10	FAB RC 002	A	A10IBT0001
						CUP
						I44E14000810005

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	VISTO DELLA COMMITTENTE
-------------------------------	-------------------------





**NUOVO SVINCOLO AUTOSTRADALE DI VADO LIGURE  
PROGETTO DEFINITIVO**

**FABBRICATI PIAZZALE DI ESAZIONE**

**PENSILINA DI ESAZIONE - RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO**



**Autostrada dei Fiori S.p.a.  
Tronco A10: Savona - Ventimiglia (confine francese)**

**NUOVO SVINCOLO AUTOSTRADALE  
DI VADO LIGURE  
CARREGGIATA SUD / CARREGGIATA NORD  
Progr. Km 47+545**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**FABBRICATI PIAZZALE DI ESAZIONE**

**PENSILINA DI ESAZIONE - RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO**



**NUOVO SVINCOLO AUTOSTRADALE DI VADO LIGURE  
PROGETTO DEFINITIVO**

FABBRICATI PIAZZALE DI ESAZIONE

PENSILINA DI ESAZIONE - RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO



**INDICE**

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>4</b>
1.1	OGGETTO	4
1.2	DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA	4
<b>2</b>	<b>NORMATIVE DI RIFERIMENTO</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>MATERIALI</b>	<b>7</b>
3.1	CALCESTRUZZO PER GETTI IN OPERA	7
3.2	ACCIAIO IN BARRE PER CA	7
3.3	TIRAFONDI/BARRE FILETTATE	7
3.4	ACCIAIO ELEMENTI IN CARPENTERIA METALLICA	7
3.5	GIUNZIONI BULLONATE	7
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOTECNICO</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO SISMICO</b>	<b>10</b>
5.1	UBICAZIONE	10
5.2	VITA NOMINALE $V_N$	10
5.3	CLASSE D'USO	11
5.4	PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA	12
5.5	PARAMETRI SISMICI DI BASE DEL SITO	12
5.6	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	13
5.7	FATTORE DI STRUTTURA	14
5.8	SPETTRI DI PROGETTO	14
5.8.1	STATO LIMITE DI OPERATIVITÀ	14
5.8.1	STATO LIMITE DI DANNO	15
5.8.2	STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA	16
5.8.3	STATO LIMITE DI COLLASSO	17
<b>6</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI</b>	<b>18</b>
6.1	CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI	18
6.2	CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI	18
6.3	AZIONE DEL VENTO	18
6.4	CARICO NEVE	22
6.5	VARIAZIONI TERMICHE	22
<b>7</b>	<b>MODELLO DI CALCOLO</b>	<b>24</b>



# NUOVO SVINCOLO AUTOSTRADALE DI VADO LIGURE PROGETTO DEFINITIVO

FABBRICATI PIAZZALE DI ESAZIONE

PENSILINA DI ESAZIONE - RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO



7.1	GEOMETRIA DEL MODELLO	24
7.2	VINCOLI INTERNI	25
7.3	CARATTERISTICHE DELLE SEZIONI	26
7.4	CARICHI APPLICATI NEL MODELLO	29
<b>8</b>	<b>CARATTERISTICHE DELLA SOLLECITAZIONE</b>	<b>35</b>
8.1	PILASTRI	35
8.2	TRAVI TRASVERSALI	40
8.3	TRAVI LONGITUDINALI	42
8.4	CONTROVENTI	44
<b>9</b>	<b>SPOSTAMENTI E DEFORMAZIONI</b>	<b>45</b>
<b>10</b>	<b>REAZIONI VINCOLARI</b>	<b>47</b>
<b>11</b>	<b>VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>53</b>
11.1	PILASTRI	53
11.2	TRAVI TRASVERSALI	54
11.3	TRAVI LONGITUDINALI	56
11.4	TRAVI RETICOLARI DI BORDO	57
11.5	CONTROVENTI	59
11.6	PIASTRE DI BASE	62
<b>12</b>	<b>VERIFICHE GEOTECNICHE</b>	<b>63</b>
12.1	DATI	63
12.1.1	GEOMETRIA DELLA FONDAZIONE	63
12.1.2	DESCRIZIONE TERRENI E FALDA	64
12.1.3	FALDA	64
12.1.4	DESCRIZIONE STRATIGRAFIA	64
12.1.5	NORMATIVA	64
12.1.6	CONDIZIONI DI CARICO	65
12.1.7	OPZIONI DI CALCOLO	66
12.2	RISULTATI	66
12.2.1	VERIFICA DELLA PORTANZA PER CARICHI VERTICALI	66
12.2.2	VERIFICA ALLO SCORRIMENTO	68

## **1 INTRODUZIONE**

### **1.1 OGGETTO**

La presente relazione di calcolo si riferisce alla nuova pensilina della barriera di esazione pedaggio del casello autostradale di Vado Ligure, prevista nell'ambito del Progetto del Nuovo svincolo autostradale di Vado Ligure – Carreggiata sud / Carreggiata nord – Progr. Km 47+545, sul Tronco A10 Savona – Ventimiglia (confine francese)

Il livello progettuale è quello di Progetto Definitivo.

### **1.2 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA**

La struttura è costituita da elementi portanti in acciaio vincolati alla base su plinti in c.a. realizzati in corrispondenza delle isole di esazione ai fianchi del cunicolo sotterraneo di accesso esattori.

I pilastri sono costituiti da profili circolari cavi

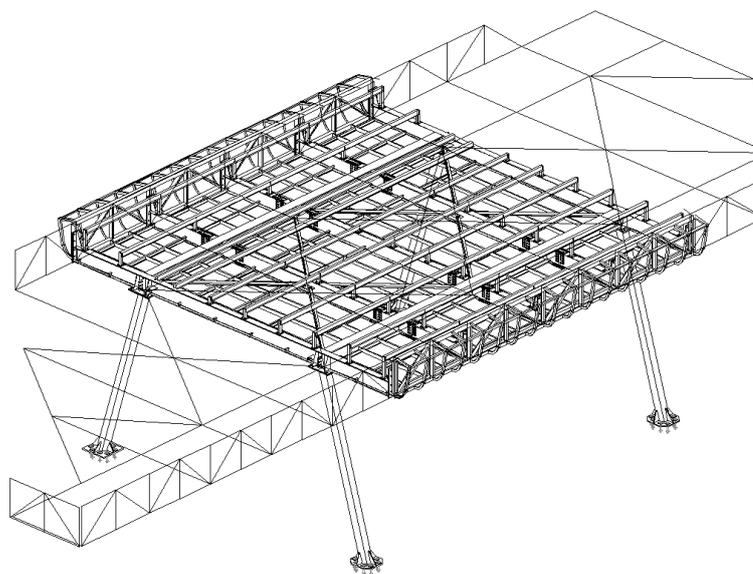
Le travi longitudinali e trasversali sono costituite da profili tipo HE ed IPE.

Sono previsti inoltre controventi di falda realizzati con profili angolari ad ali uguali.

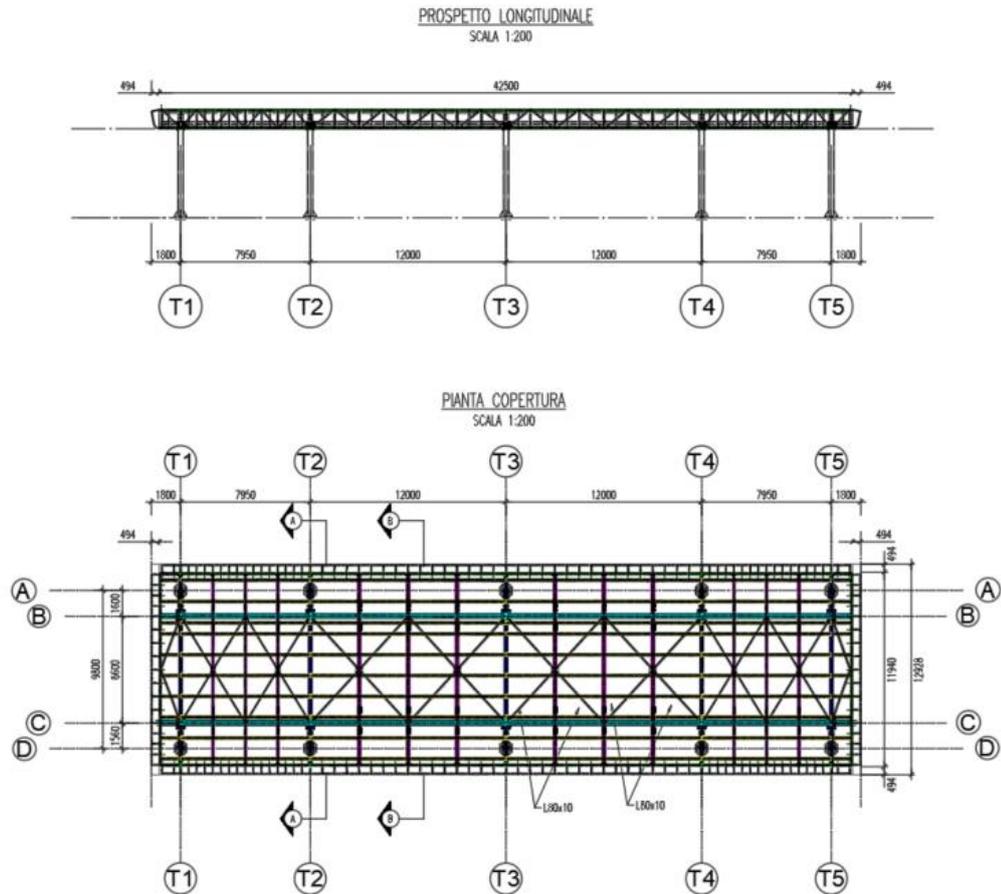
Gli arcarecci, sostenuti da opportuni distanziali, necessari a conferire la pendenza trasversale alle falde di copertura, sono costituiti da profili sagomati a freddo tipo omega, mentre l'orditura secondaria inferiore che sostiene le doghe di rivestimento della struttura, è realizzata con profili longitudinali tipo IPE e profili trasversali sagomati a freddo tipo C.

Completano la struttura delle travi reticolari di coronamento che sostengono il tamponamento frontale lungo i quattro lati della pensilina e costituiscono il sostegno per i cartelli segnaletica e per i semafori.

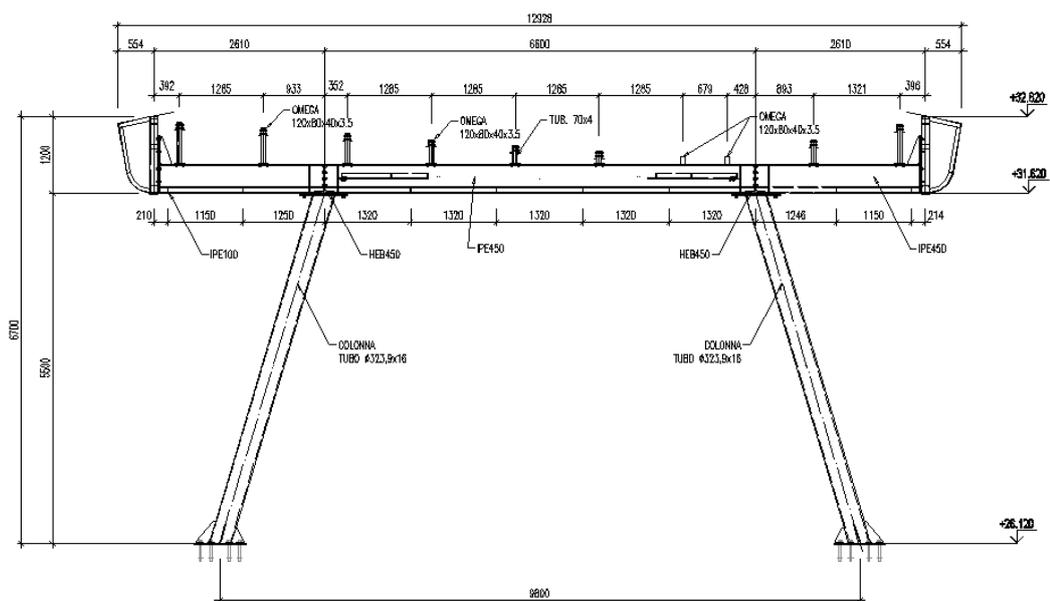
Le seguenti figure illustrano le caratteristiche geometriche strutturali dell'opera.



*Figura 1: vista assonometrica*



**Figura 2: pianta copertura e prospetto longitudinale**



**Figura 3: sezione trasversale**



### 3 MATERIALI

#### 3.1 CALCESTRUZZO PER GETTI IN OPERA

##### Calcestruzzo magro per sottofondazioni

Classe di resistenza	C12/15
Classe di esposizione	X0

##### Fondazioni gettate in opera

Classe di resistenza	C25/30
Classe di esposizione	XC2
Copriferro nominale (UNI EN 1992-1-1)	$c_{nom} = 35 \text{ mm}$

#### 3.2 ACCIAIO IN BARRE PER CA

##### Tondi singoli (diametro compreso fra 6 e 40 mm)

Tipo	B 450 C
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$

#### 3.3 TIRAFONDI/BARRE FILETTATE

##### Barre filettate

Classe	cl. 8.8
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yb} \geq 640 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tb} \geq 800 \text{ N/mm}^2$

#### 3.4 ACCIAIO ELEMENTI IN CARPENTERIA METALLICA

##### Piatti profilati e lamiere

Tipo	S355
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 355 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 510 \text{ N/mm}^2$

#### 3.5 GIUNZIONI BULLONATE

##### Assieme vite dado bullone ad alta resistenza

Bulloni classe	8.8
Dadi classe	8

## 4 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Per aspetti di dettaglio relativi alla caratterizzazione geologico-geotecnica dei terreni interessati dall'opera si rimanda alle specifiche relazioni specialistiche ed agli elaborati grafici connessi.

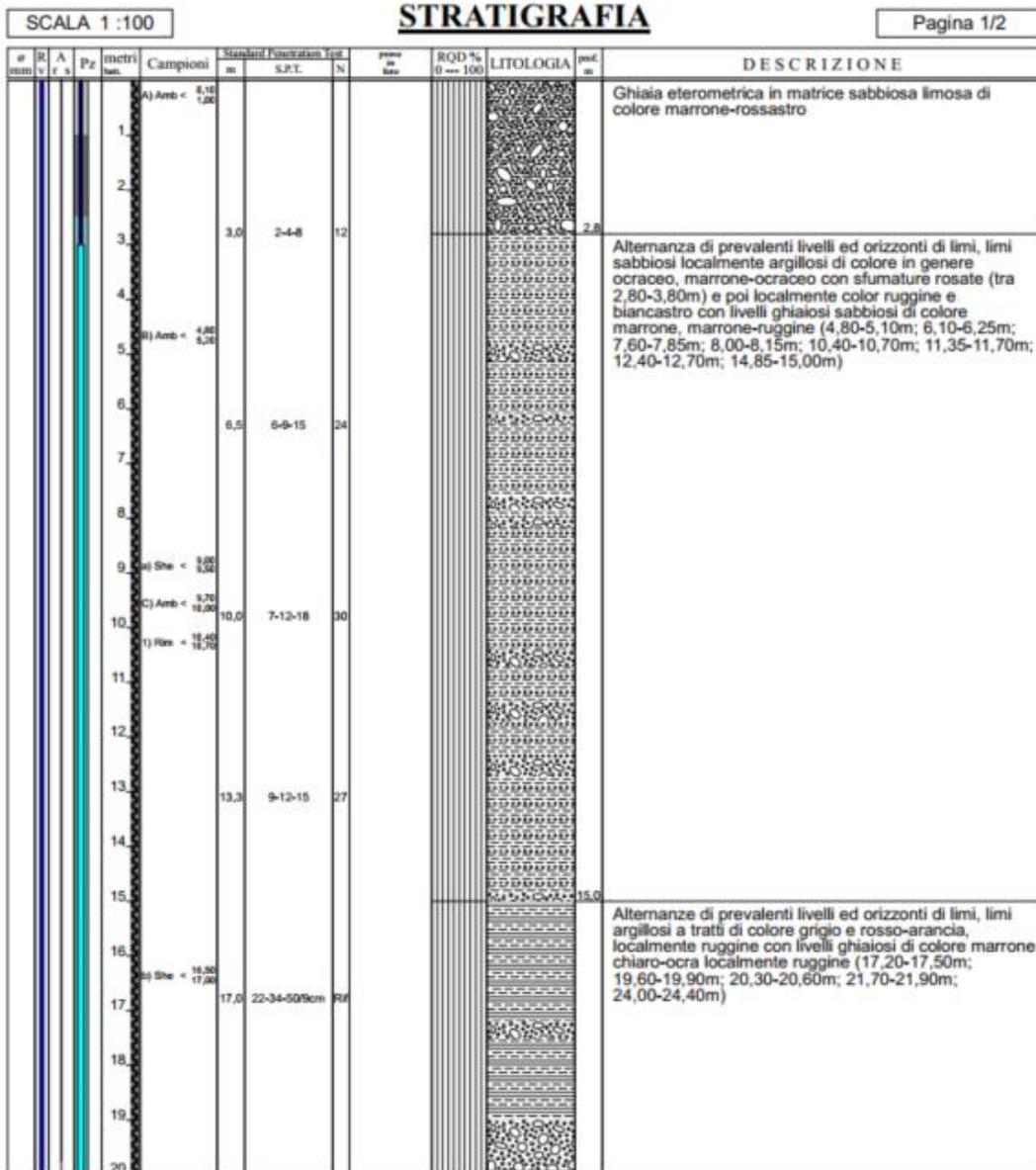
La seguente figura mostra la posizione delle indagini geognostiche eseguite.



*Figura 4: ubicazione indagini 2019*

La seguente figura mostra gli strati più superficiali rilevati con il sondaggio S9.

Committente: SINA SPA	Sondaggio: S9
Riferimento: VADO LIGURE - SVINCOLO AUTOSTRADALE	Data: 13-16.12.19
Coordinate: N:1453894,69 E:4902096,50	Quota: 49,16m s.l.m.
Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO	



Si riporta qui di seguito una tabella di sintesi dell'inquadramento geotecnico dell'opera.

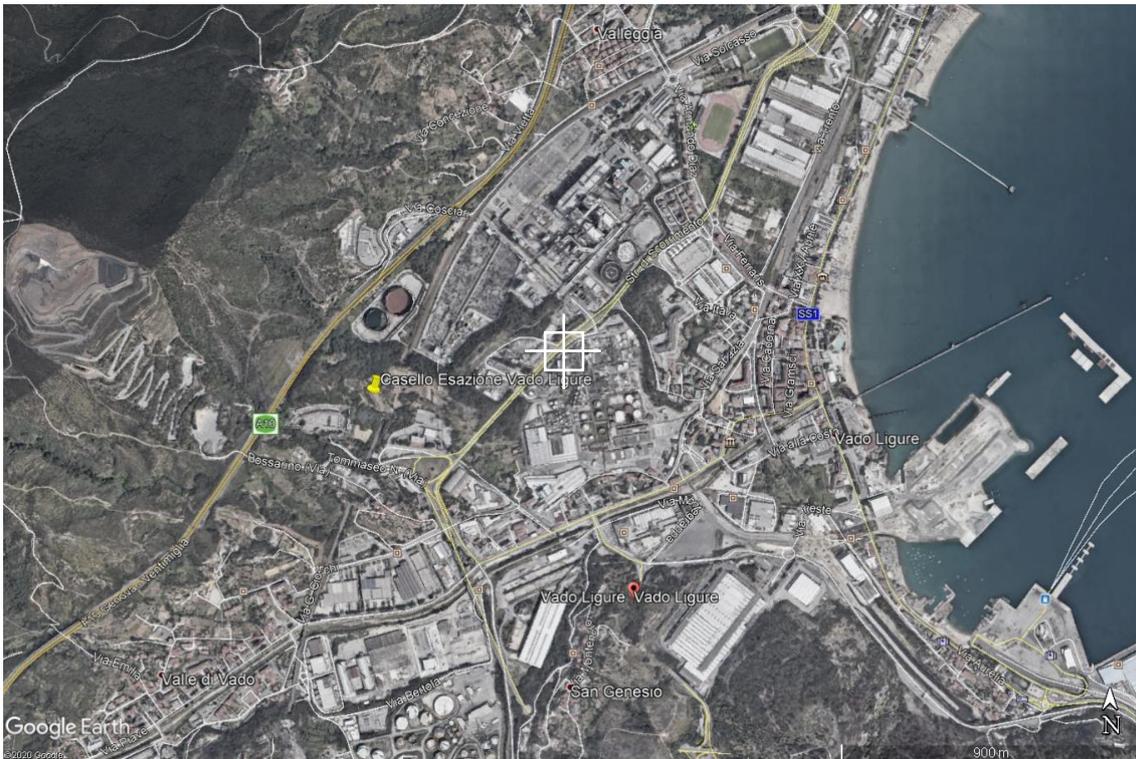
Descrizione geologica	Descrizione geotecnica	Spessore medio	Codice	$\gamma$ (kN/mc)	$\phi$ (°)	c (kPa)	cu (kPa)	E'25 (MPa)	Ei (MPa)
Depositi pleistocenici di delta	Limi, limi sabbiosi, limi argillosi con intercalazioni secondarie di livelli ghiaiosi sabbiosi, alterati poco consistenti	2m	LPT1	17-18	21-22	5-10		15-20	80-100
	Limi, limi sabbiosi, limi argillosi con intercalazioni secondarie di livelli ghiaiosi sabbiosi, mediamente consistenti	18m	LPT2	18,5-19,5	23-25	10-15	60-80	30-60	200-400
	Limi, limi sabbiosi, limi argillosi con intercalazioni secondarie di livelli ghiaiosi sabbiosi, consistenti	var.	LPT3	19-20	25-27	15-20	100-120	50-100	350-550

## 5 INQUADRAMENTO SISMICO

### 5.1 UBICAZIONE

L'opera oggetto della presente relazione è situata in prossimità di Vado Ligure, nella zona a Ovest della città.

Si riporta di seguito un'immagine satellitare che mostra l'ubicazione del sito previsto per la costruzione, con le relative coordinate topografiche necessarie al fine della determinazione dei parametri sismici di progetto.



Latitudine: 44.2707°

Longitudine: 8.4222°

### 5.2 VITA NOMINALE $V_N$

Con riferimento alla vita nominale adottata, la vita nominale  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Si riporta, come da normativa, la vita nominale per diversi tipi di opere.

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

**Tab. 2.4.I** – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Si assumerà nel caso in esame una vita nominale  $V_N$  pari a **100 anni**.

### **5.3 CLASSE 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 quattro classi d'uso (D.M. 17/01/18 §2.4.2).

- 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.

Per la struttura in esame, si fa riferimento alla **Classe IV**.

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

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

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso  $C_U$  è definito, in funzione della classe d'uso, come mostrato nella tabella seguente:

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0.7	1.0	1.5	2.0

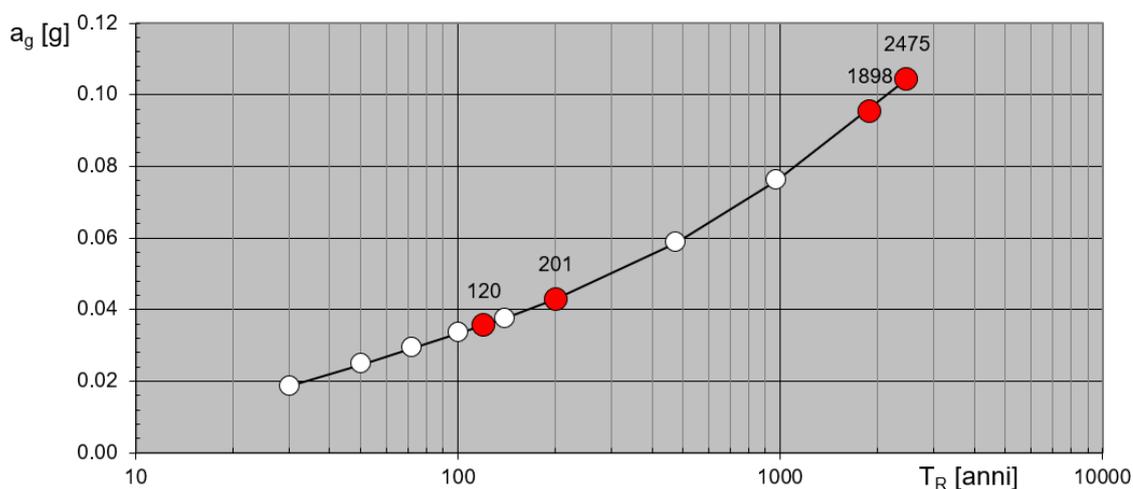
Nel caso in esame, il periodo di riferimento risulta essere:

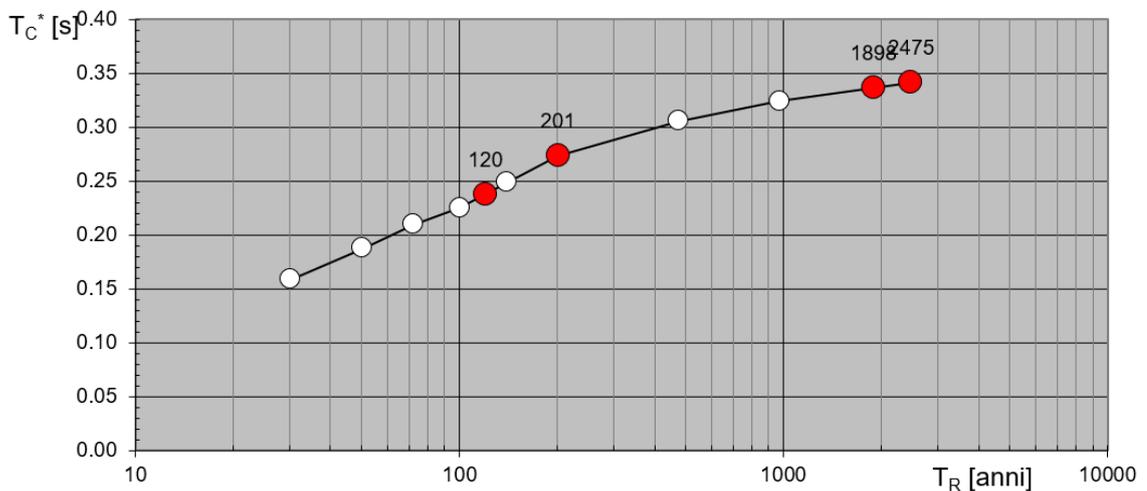
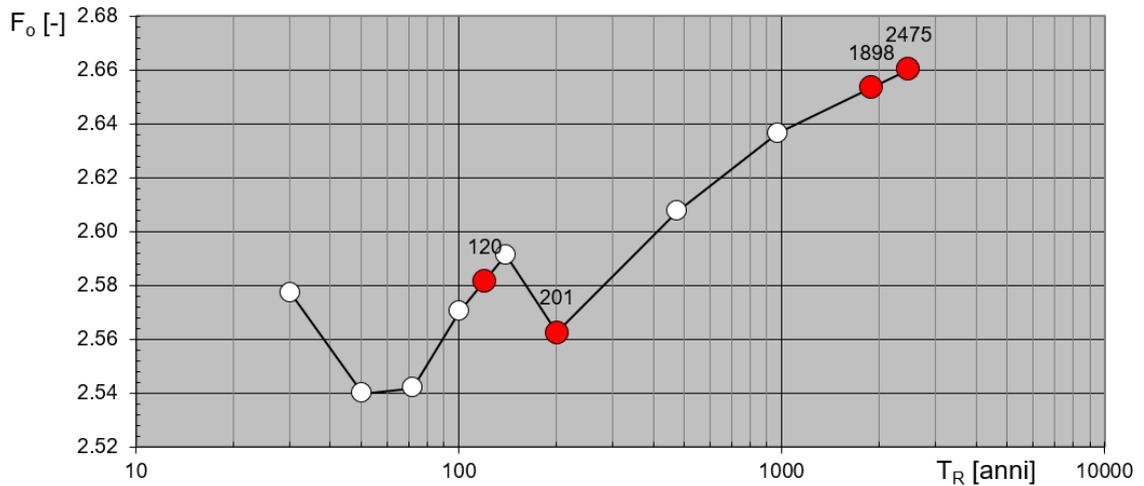
$$V_R = 200 \text{ anni}$$

#### 5.5 PARAMETRI SISMICI DI BASE DEL SITO

Con riferimento a quanto riportato nei paragrafi precedenti, e nel rispetto della normativa adottata, si individuano i valori dei parametri sismici di base  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C^*$ , in funzione del periodo di ritorno.

Per la struttura in esame, tali valori possono essere sintetizzati nei grafici di seguito riportati:





Si riassumono inoltre nella seguente tabella i valori sismici di base per i periodi di ritorno considerati.

SLATO LIMITE	T <sub>R</sub> [anni]	a <sub>g</sub> [g]	F <sub>o</sub> [-]	T <sub>C</sub> <sup>*</sup> [s]
SLO	120	0.036	2.581	0.237
SLD	201	0.043	2.562	0.273
SLV	1898	0.095	2.653	0.336
SLC	2475	0.104	2.660	0.341

## 5.6 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

Con riferimento alla struttura in esame, sulla base delle indagini svolte, il terreno presente in situ può essere classificato in **categoria C**.

Il sito di costruzione rientra nella **categoria topografica T1**.

### 5.7 FATTORE DI STRUTTURA

In accordo alla normativa adottata, nel caso di strutture in acciaio considerate non dissipative si assume un fattore di struttura unitario.

In tal caso la struttura rimane in campo elastico quando sottoposta all'azione sismica, garantendo così la funzionalità completa anche in conseguenza al sisma.

Essendo inoltre la struttura regolare in altezza, si adotta un coefficiente  $K_R$  unitario, da cui:

$$q = K_R \cdot q_0 = 1 \cdot 1 = 1.0$$

### 5.8 SPETTRI DI PROGETTO

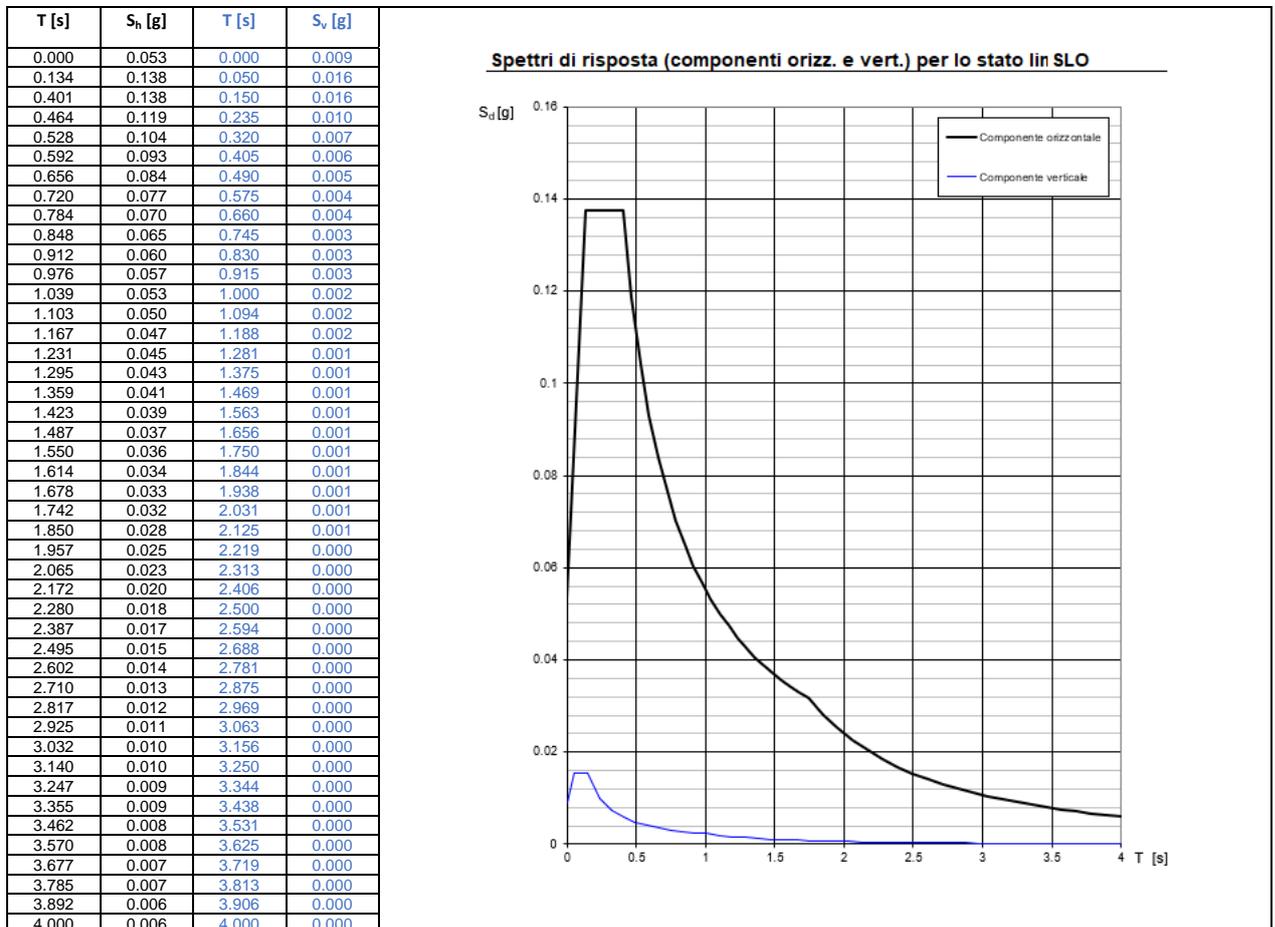
Sulla base di quanto riportato ai paragrafi precedenti, è possibile definire gli spettri di risposta di progetto per la struttura in esame.

Si riportano di seguito i grafici degli spettri di risposta di progetto relativi ai diversi stati limite.

#### 5.8.1 Stato limite di operatività

Si considera uno smorzamento tipico per le strutture in c.a. pari al 5 %.

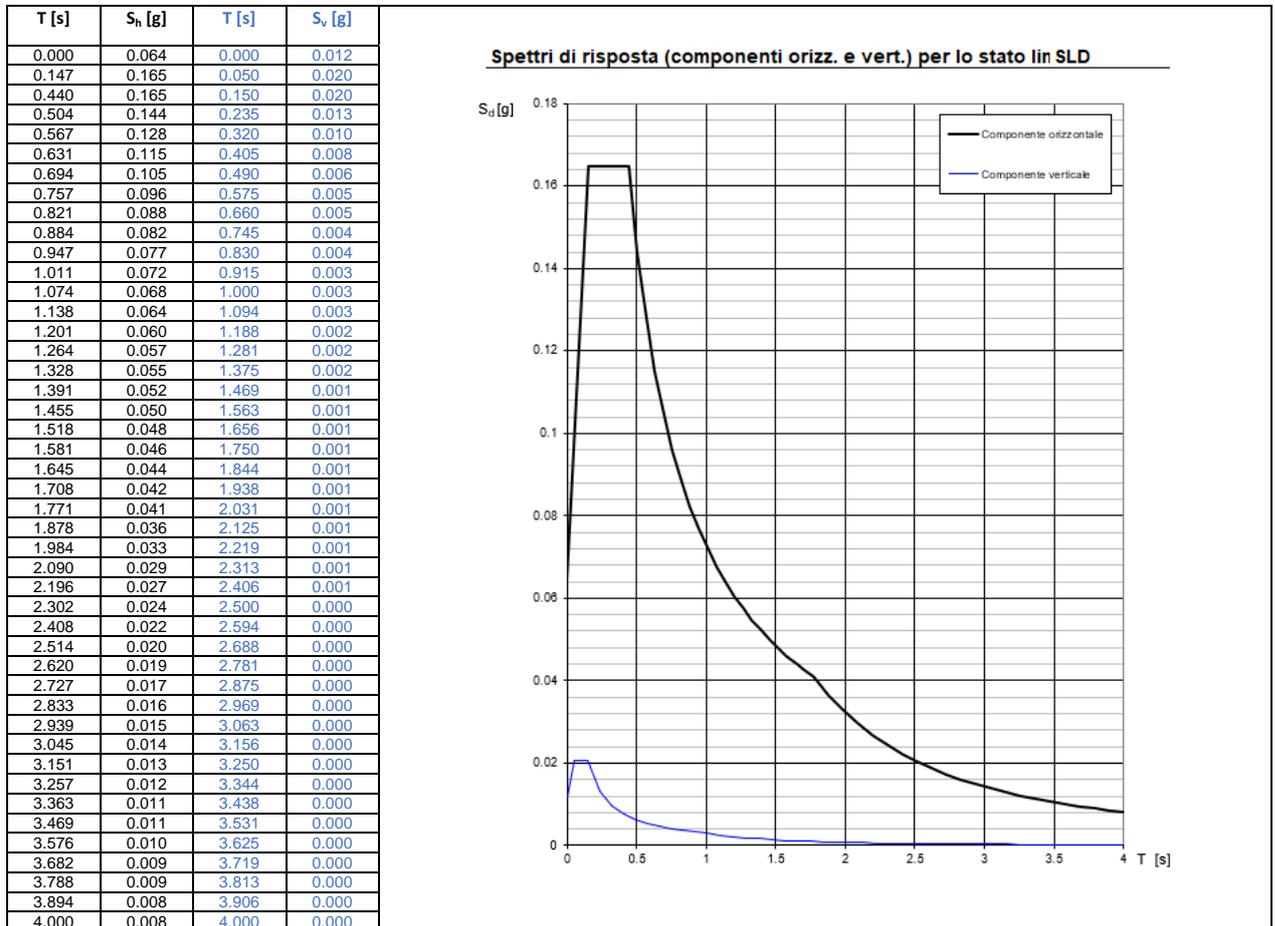
Si ottiene il grafico sotto riportato:



### 5.8.1 Stato limite di danno

Si considera uno smorzamento tipico per le strutture in c.a. pari al 5 %.

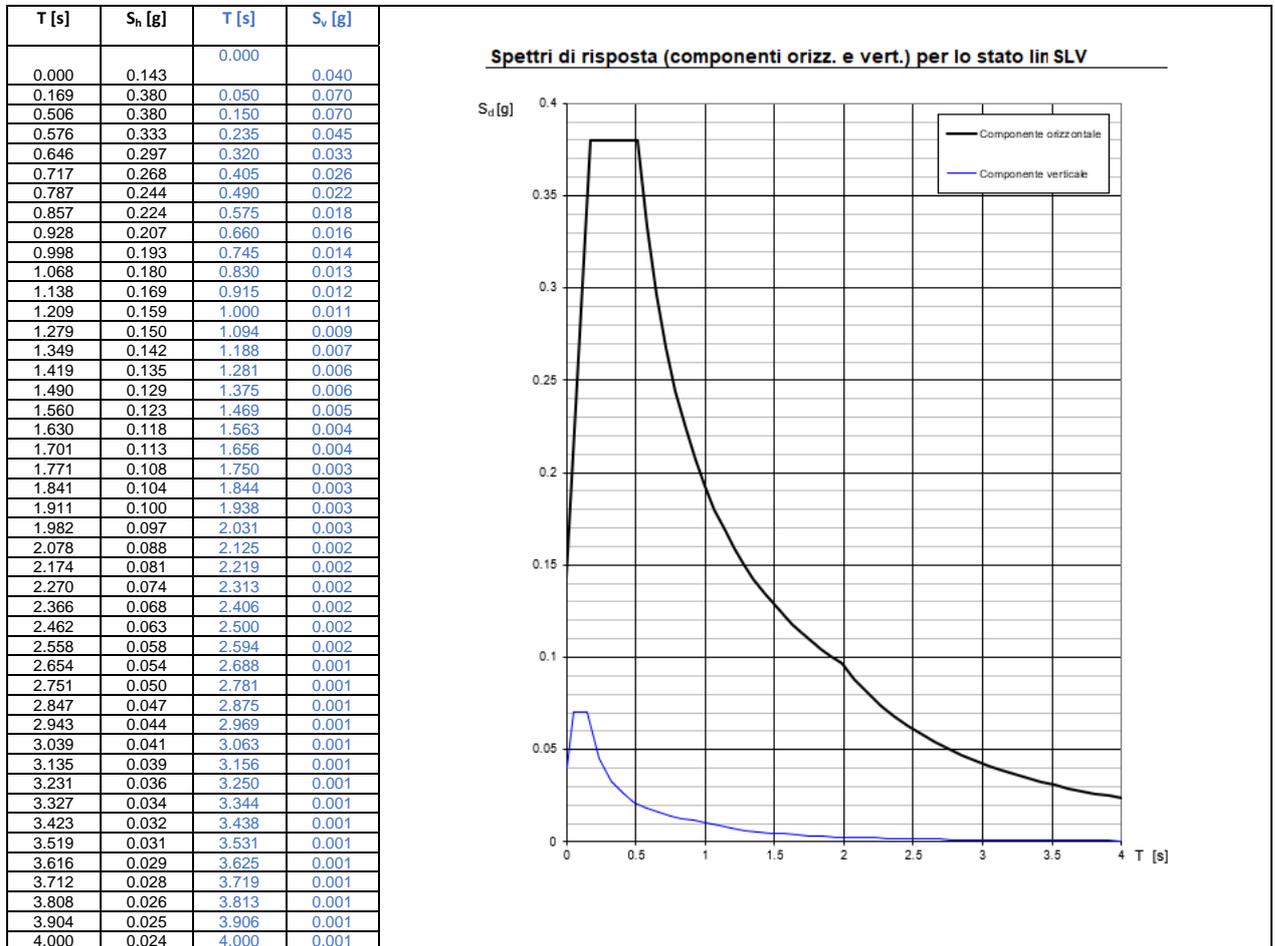
Si ottiene il grafico sotto riportato:



### 5.8.2 Stato limite di salvaguardia della vita

Si considera uno smorzamento tipico per le strutture in c.a. pari al 5 %.

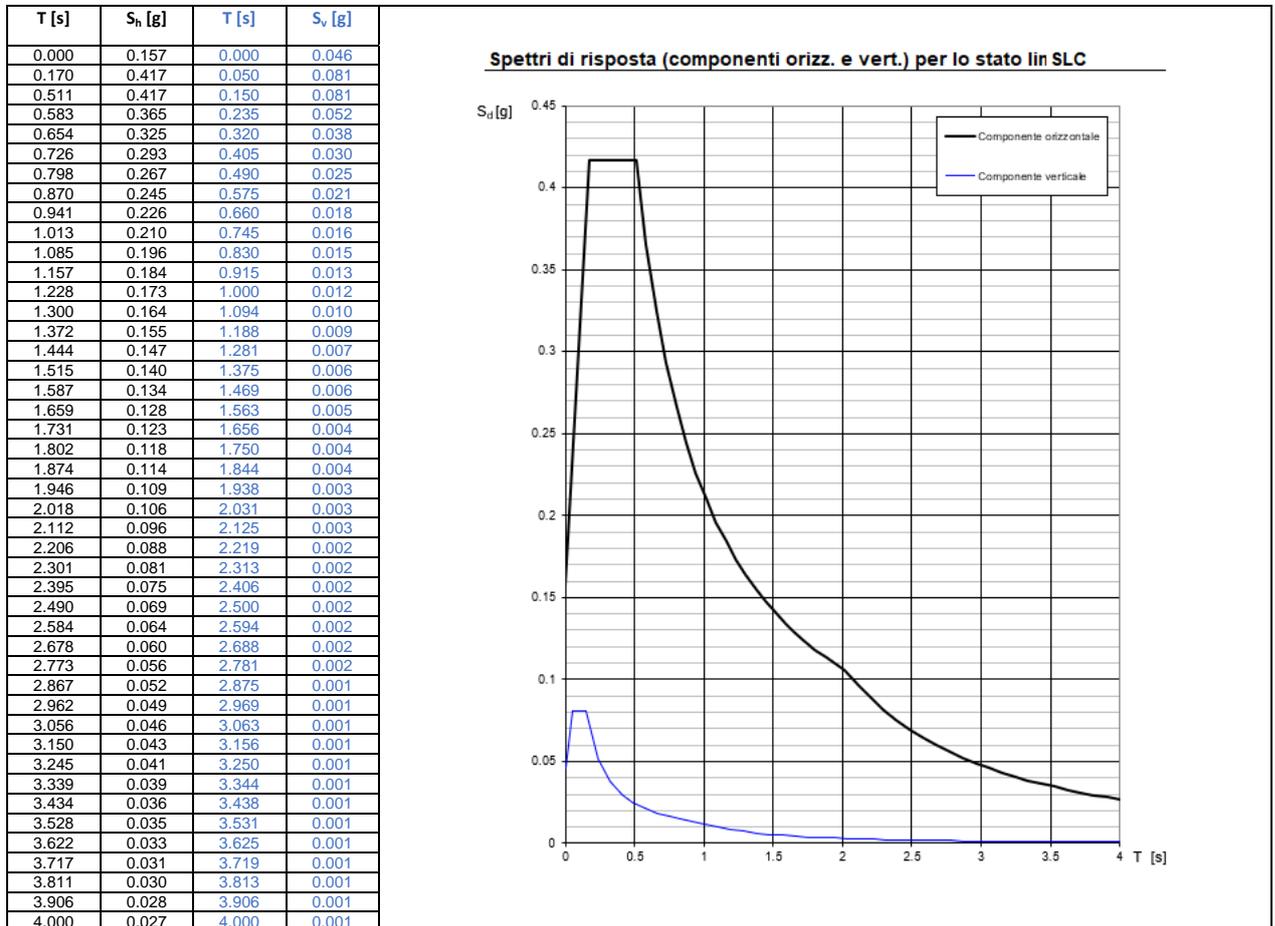
Si ottiene il grafico sotto riportato:



### 5.8.3 Stato limite di collasso

Si considera uno smorzamento tipico per le strutture in c.a. pari al 5 %.

Si ottiene il grafico sotto riportato:



## **6 ANALISI DEI CARICHI**

### **6.1 CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI**

I carichi permanenti strutturali sono stati calcolati adottando i seguenti pesi per unità di volume dei materiali:

$$\text{Acciaio: } \gamma_s = 78.5 \text{ kN/m}^3$$

Per tener conto del maggior peso dovuto alla presenza degli elementi di irrigidimento e di collegamento delle aste, che non sono inclusi nel modello di calcolo, i pesi strutturali sono stati cautelativamente aumentati del 20%

### **6.2 CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI**

I carichi permanenti non strutturali, relativi essenzialmente al manto di copertura ed alla baraccatura, sono stati assunti pari a:

$$g_2 = 0.40 \text{ kN/m}^2$$

### **6.3 AZIONE DEL VENTO**

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_r c_e c_p c_d$$

dove:

$q_r$  è la pressione cinetica di riferimento

$c_e$  è il coefficiente di esposizione

$c_p$  è il coefficiente di pressione

$c_d$  è il coefficiente dinamico

- Pressione cinetica di riferimento

La pressione cinetica di riferimento è valutata mediante l'espressione seguente:

$$q_r = \frac{1}{2} \rho v_r^2$$

In conformità alla normativa adottata, si calcola la velocità di riferimento  $v_r$  mediante le seguenti espressioni:

$$v_r = v_b C_r$$

dove:

$v_b$  è la velocità base di riferimento

$c_r$  è il coefficiente di ritorno, funzione del periodo di ritorno di progetto  $T_R$ .

Il coefficiente di ritorno è fornito dalla relazione:

$$c_r = 0.75 \sqrt{1 - 0.2 \times \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]}$$

Nella quale si assume  $T_R = 50$  anni.

La velocità base di riferimento è data dalla relazione:

$$V_b = V_{b,0} * C_a$$

dove:

$v_{b,0}$  è la velocità base di riferimento al livello del mare

$c_a$  è il coefficiente di altitudine fornito dalla relazione:

$$c_a = 1 \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$c_a = 1 + k_s (a_s/a_0 - 1) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

dove:

$a_s$  è l'altitudine del sito dove sorge la costruzione

$a_0, k_s$  sono i valori riportati nella tabella seguente:

**Tabella 3.3.1 - Valori dei parametri  $v_{b,0}, a_0, k_s$**

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32

- Coefficiente di esposizione

Il coefficiente di esposizione  $c_e$  dipende dall'altezza  $z$  sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno, e dalla categoria di esposizione del sito dove sorge la costruzione.

Esso è dato dalla seguente formula:

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

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

Il sito di costruzione risulta essere in categoria III.

Per quanto riguarda il calcolo del coefficiente di topografia  $c_t$  la norma permette di adottare metodi di comprovata validità. Pertanto si è scelto di far riferimento alle formule riportate nelle istruzioni CNR-DT207, in particolare facendo riferimento al metodo dettagliato riportato nel paragrafo D.1.

Il coefficiente di topografia riferito a pendii e a colline isolate è fornito dall'espressione:

$$c_t = 1 \quad \text{per } \Phi \leq 0,05$$

$$c_t = 1 + 2 \cdot s \cdot \Phi \quad \text{per } 0,05 < \Phi < 0,3$$

$$c_t = 1 + 0,6 \cdot s \quad \text{per } \Phi \geq 0,3$$

Dove:

$s$  è il fattore di posizione orografica (figura D.2);

$\Phi = H/L_u$  è la pendenza media del fronte del rilievo esposto al vento;

$H$  è l'altezza del rilievo;

$L_u$  è la lunghezza in orizzontale del fronte del rilievo esposto al vento;

$L_e$  è la lunghezza effettiva in orizzontale del fronte del rilievo esposto al vento;

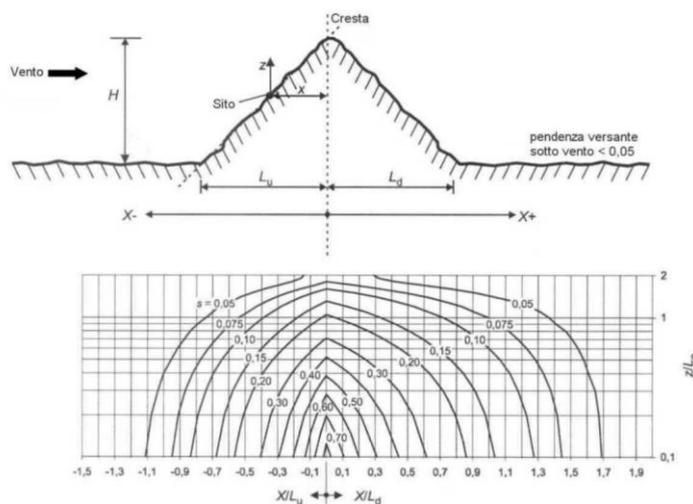
$$L_e = L_u \quad \text{per } \Phi \leq 0,3;$$

$$L_e = H/0,3 \quad \text{per } \Phi > 0,3;$$

$L_d$  è la lunghezza in orizzontale del fronte sottovento della collina;

$x$  è la distanza in orizzontale della costruzione dalla sommità del rilievo;

$z$  è l'altezza sul suolo.



**Figura D.2 - Fattore di posizione orografica  $s$  per le colline isolate.**



**NUOVO SVINCOLO AUTOSTRADALE DI VADO LIGURE  
PROGETTO DEFINITIVO**

FABBRICATI PIAZZALE DI ESAZIONE

PENSILINA DI ESAZIONE - RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO



Per il caso in esame si ha:

$$\begin{aligned} H &= 400.0 \text{ m} \\ L_u &= 2000.0 \text{ m} \\ L_e &= 2000.0 \text{ m} \\ L_d &= 2000 \text{ m} \\ x &= -1100 \text{ m} \\ z &= 7 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= 0.20 \\ x/L_u &= -0.55 \\ x/L_d &= -0.55 \\ x/L_e &= -0.55 \\ z/L_e &= 0.00 \end{aligned}$$

$$s = 0.2$$

$$c_t = 1.08$$

Ai fini dei calcoli si assume cautelativamente  $C_t = 1.10$ .

Per quanto riguarda i coefficienti aerodinamici è stato assunto un coefficiente pari a  $C_p = 1.20$

Si riporta di seguito il calcolo dell'azione del vento:

<b>DM 17-01-2018 (Azione del Vento)</b>		
<b>VELOCITA' BASE DI RIFERIMENTO (§ 3.3.1)</b>		
Zona	7	Liguria
$a_s$	50	m s.l.m. (altitudine sul livello del mare)
$V_{b,0}$	28	
$a_0$	1000	m
$K_s$	0.54	
$c_a$	1	m/s (coefficiente di altitudine)
$V_b$	28	m/s (velocità base di riferimento)
<b>VELOCITA' DI RIFERIMENTO (§ 3.3.2)</b>		
$T_R$	50	anni (periodo di ritorno)
$c_r$	1.00	(coefficiente di ritorno)
$V_r$	28.0	m/s (velocità di riferimento)
<b>PRESSIONE DEL VENTO (§ 3.3.4)</b>		
$P = q_r c_e c_p c_d$		
$c_e$	2.18	(Coefficiente di esposizione)
$c_p$	1.2	(Coefficiente aerodinamico)
$c_d$	1.00	(Coefficiente dinamico)
<b>p</b>	<b>1.28</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
<b>PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO (§ 3.3.6)</b>		
$\rho$	1.25	kg/m <sup>3</sup> (densità dell'aria)
<b>q<sub>r</sub></b>	<b>0.49</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b> (pressione cinetica di riferimento)
<b>COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE (§ 3.3.7)</b>		
Classe di rugosità	C	
Distanza dalla costa	1.5	km
Classe di esposizione	III	
$K_r$	0.2	
$Z_0$	0.1	m
$Z_{min}$	5.00	m
$z$	7.00	m (Altezza)
<b><math>c_t</math></b>	<b>1.10</b>	(Coefficiente topografico)
$\ln(z/z_0)$	4.25	
<b><math>c_e</math></b>	<b>2.18</b>	(Coefficiente di esposizione)
<b>COEFFICIENTE DINAMICO (§ 3.3.9)</b>		
<b><math>c_d</math></b>	<b>1.00</b>	(Coefficiente dinamico)

## 6.4 CARICO NEVE

Il calcolo del carico neve viene esplicitato nella seguente tabella

### CARICO NEVE (D.M: 17.01.18)

Altitudine s.l.m.	<b>50</b>	m	
Zona	<b>Zona II</b>		
$q_{sk}$ :	1.00	$kN/m^2$	Carico neve al suolo (valore caratteristico)
$T_r$ :	50	anni	Periodo di ritorno
Topografia	<b>Normale</b>		
$C_e$ :	1		Coefficiente di esposizione
$C_t$ :	<b>1</b>		Coefficiente termico (in assenza di documentato studio $C_t=1$ )
<b><math>q_{sk} C_e C_t</math> :</b>	<b>1.00</b>	<b><math>kN/m^2</math></b>	

Pur essendo l'inclinazione delle falde molto ridotta (ampiamente inferiore a 30°) si considera cautelativamente la possibilità di accumulo in presenza di un compluvio stimando il coefficiente di forma come perle coperture a più falde.

### COPERTURE A PIU' FALDE

$\alpha$ :	<b>6°</b>	$(\alpha_1 + \alpha_2) / 2$ inclinazione media
$\mu_2$ :	0.95	Coefficiente di forma ( <u>più falde</u> )
$q_s (\mu_2)$ :	<b>0.95</b>	$kN/m^2$ Carico neve sulla copertura ( <u>copertura a più falde</u> - shed)

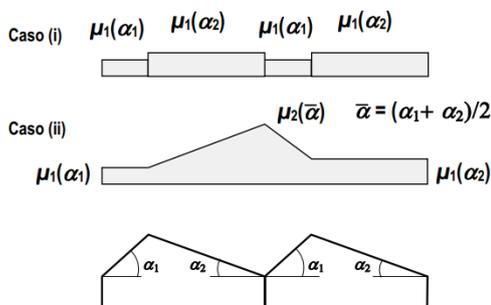


Figura C3.4.3 - Coefficiente di forma per il carico neve – Coperture a più falde

Ai fini dei calcoli l'azione della neve è stata cautelativamente schematizzata come una azione uniforme pari al valore massimo  $q_s(\mu_2) = 1.00 kN/m^2$  applicata sulla copertura in due combinazioni di carico elementari corrispondenti rispettivamente a:

- Neve combinazione 1 – carico uniforme su tutta la larghezza della copertura (al fine di massimizzare il momento flettente negativo nelle travi trasversali)
- Neve combinazione 2 – carico uniforme solo sul tratto centrale della copertura (al fine di massimizzare il momento flettente positivo nelle travi trasversali).

## 6.5 VARIAZIONI TERMICHE

Le variazioni giornaliere e stagionali della temperatura esterna, l'irraggiamento solare e la convezione comportano variazioni della distribuzione della temperatura nei singoli elementi strutturali.



**NUOVO SVINCOLO AUTOSTRADALE DI VADO LIGURE  
PROGETTO DEFINITIVO**

FABBRICATI PIAZZALE DI ESAZIONE

PENSILINA DI ESAZIONE - RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO



Per la valutazione del contributo della variazione termica, in accordo alla normativa adottata, si possono utilizzare i valori riportati di seguito:

**Tabella 3.5.II** – Valori di  $\Delta T_u$  per gli edifici

Tipo di struttura	$\Delta T_u$
Strutture in c.a. e c.a.p. esposte	$\pm 15\text{ }^\circ\text{C}$
Strutture in c.a. e c.a.p. protette	$\pm 10\text{ }^\circ\text{C}$
Strutture in acciaio esposte	$\pm 25\text{ }^\circ\text{C}$
Strutture in acciaio protette	$\pm 15\text{ }^\circ\text{C}$

In particolare, per la struttura in esame, si assume un valore di variazione termica

$$\Delta T_u = \pm 25\text{ }^\circ\text{C}$$

## 7 MODELLO DI CALCOLO

### 7.1 GEOMETRIA DEL MODELLO

Le seguenti figure illustrano la geometria del modello FEM sviluppato con il software Midas Civil 2020 versione 1.1, nonché la numerazione dei nodi e delle aste degli elementi principali.

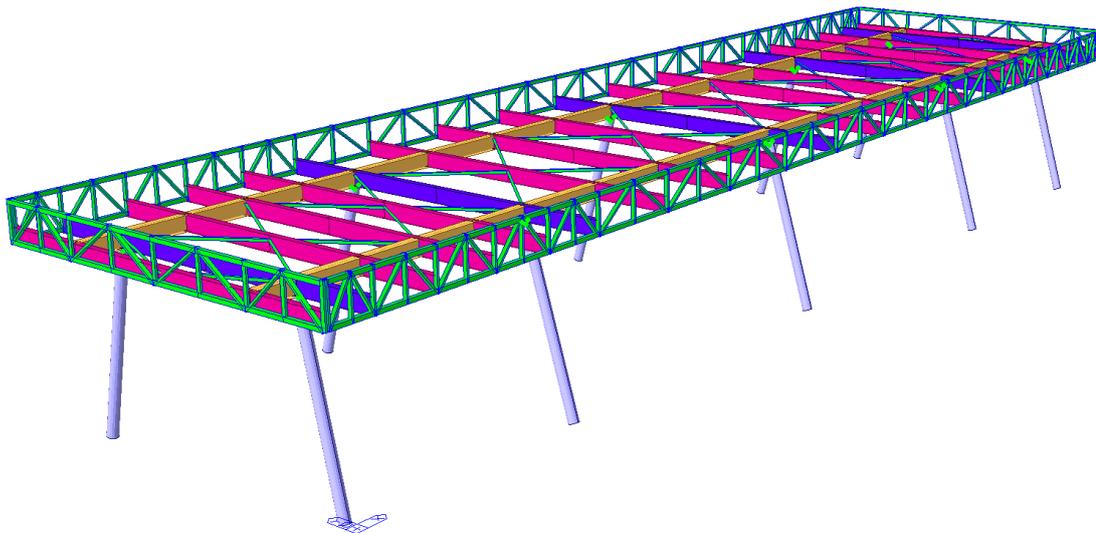


Figura 5 Vista prospettica

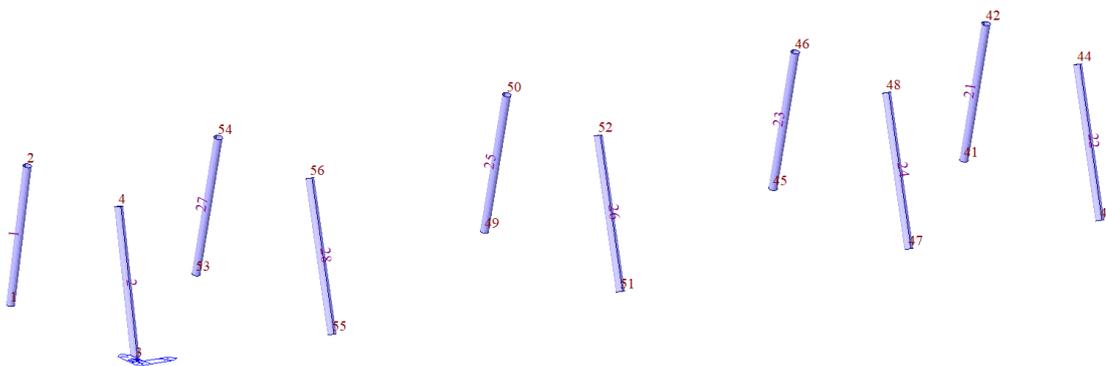
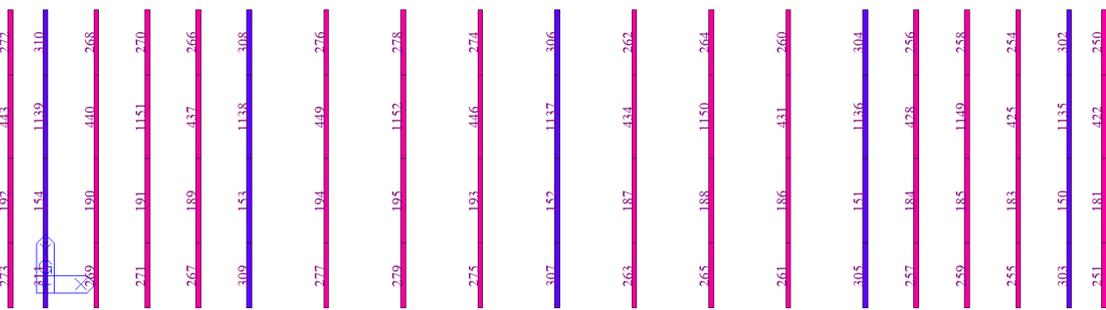


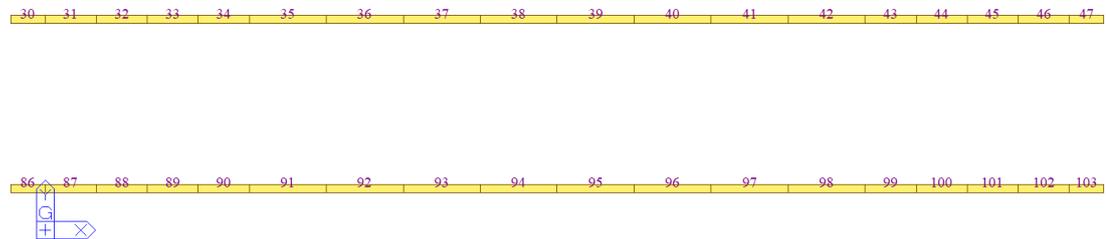
Figura 6 Pilastrini numerazione



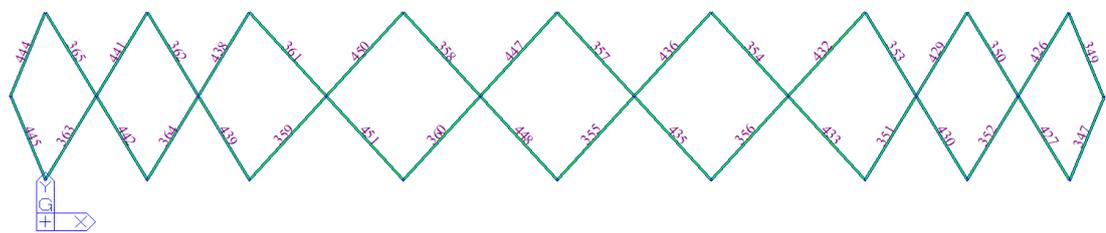
**Figura 7 Travi tr numerazione nodi**



**Figura 8 Travi Tr numerazione aste**



**Figura 9 Travi Long numerazione aste**



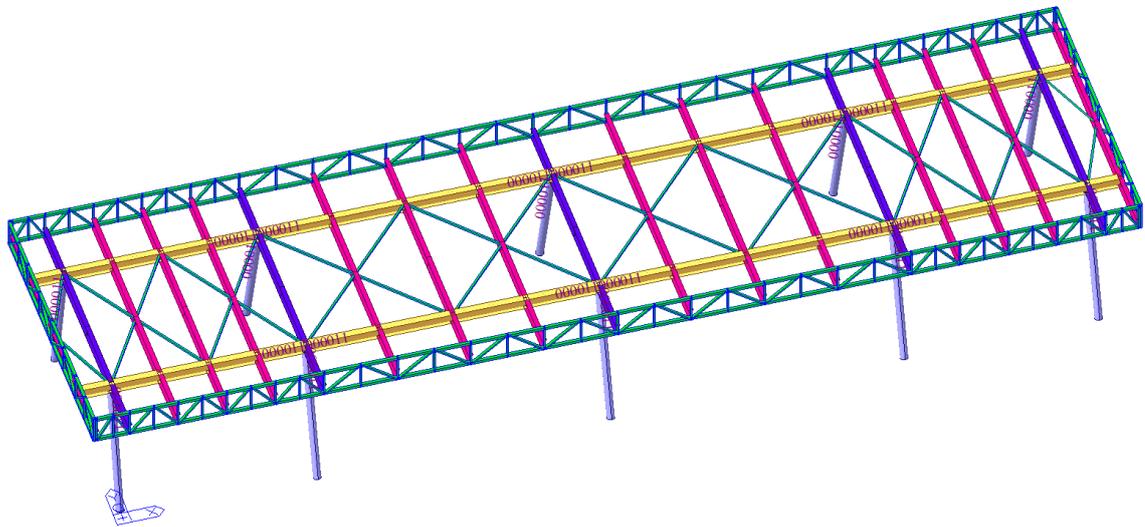
**Figura 10 Controventi numerazione aste**

## 7.2 VINCOLI INTERNI

Alcuni gradi di libertà interni sono stati svincolati per tener conto delle effettive caratteristiche dei nodi di collegamento fra le aste.

In particolare le modifiche del grado di vincolo interno delle aste hanno riguardato i seguenti elementi:

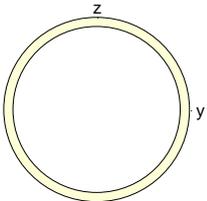
- In corrispondenza della sommità dei pilastri la rigidezza della connessione è stata ridotta del 50 % per tener conto della presenza di una connessione con flangia non irrigidita (calcolo a favore di sicurezza).
- I gradi di libertà flessionali alle estremità delle travi longitudinali sono stati rilasciati per tener conto della presenza di semplici coprighiunti d'anima (ovviamente questa operazione non riguarda i giunti delle travi longitudinali in corrispondenza dei telai 1 e 5, dove a causa della presenza degli sbalzi esterni saranno previsti collegamenti resistenti a flessione).



*Figura 11: svincoli travi e pilastri*

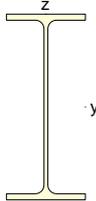
### 7.3 CARATTERISTICHE DELLE SEZIONI

*Tabella 1 sez 1 : Pilastri*

				
A (mm <sup>2</sup> )	A <sub>sy</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>sz</sub> (mm <sup>2</sup> )	z (+) (mm)	z (-) (mm)
15476.742	7738.371	7738.371	161.950	161.950
I <sub>xx</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>yy</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>zz</sub> (mm <sup>4</sup> )	y (+) (mm)	y (-) (mm)

367798622.781	183899311.391	183899311.391	161.950	161.950
---------------	---------------	---------------	---------	---------

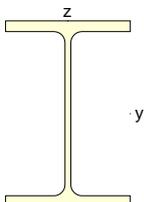
**Tabella 2 sez 2 : TR-T\_01**

				
A (mm <sup>2</sup> )	Asy (mm <sup>2</sup> )	Asz (mm <sup>2</sup> )	z (+) (mm)	z (-) (mm)
9880.000	4623.333	4230.000	225.000	225.000
Ixx (mm <sup>4</sup> )	Iyy (mm <sup>4</sup> )	Izz (mm <sup>4</sup> )	y (+) (mm)	y (-) (mm)
514749.300	337400000.000	16760000.000	95.000	95.000

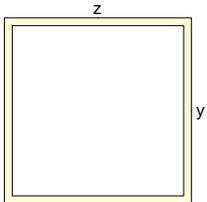
**Tabella 3 sez 3 : TR-T\_02**

				
A (mm <sup>2</sup> )	Asy (mm <sup>2</sup> )	Asz (mm <sup>2</sup> )	z (+) (mm)	z (-) (mm)
9880.000	4623.333	4230.000	225.000	225.000
Ixx (mm <sup>4</sup> )	Iyy (mm <sup>4</sup> )	Izz (mm <sup>4</sup> )	y (+) (mm)	y (-) (mm)
514749.300	337400000.000	16760000.000	95.000	95.000

**Tabella 4 sez 4 : TR-L\_01**

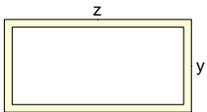
				
A (mm <sup>2</sup> )	Asy (mm <sup>2</sup> )	Asz (mm <sup>2</sup> )	z (+) (mm)	z (-) (mm)
21800.000	13000.000	6300.000	225.000	225.000
Ixx (mm <sup>4</sup> )	Iyy (mm <sup>4</sup> )	Izz (mm <sup>4</sup> )	y (+) (mm)	y (-) (mm)
3903018.000	798900000.000	117200000.000	150.000	150.000

**Tabella 5 sez 6 : Reticolare\_Correnti**



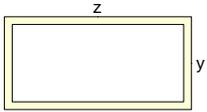
A (mm <sup>2</sup> )	Asy (mm <sup>2</sup> )	Asz (mm <sup>2</sup> )	z (+) (mm)	z (-) (mm)
2300.000	1200.000	1200.000	60.000	60.000
Ixx (mm <sup>4</sup> )	Iyy (mm <sup>4</sup> )	Izz (mm <sup>4</sup> )	y (+) (mm)	y (-) (mm)
7604375.000	5079166.667	5079166.667	60.000	60.000

**Tabella 6 sez 7 : Reticolare\_Diagonali**



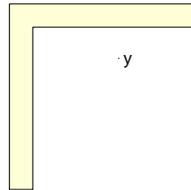
A (mm <sup>2</sup> )	Asy (mm <sup>2</sup> )	Asz (mm <sup>2</sup> )	z (+) (mm)	z (-) (mm)
1700.000	1200.000	600.000	30.000	30.000
Ixx (mm <sup>4</sup> )	Iyy (mm <sup>4</sup> )	Izz (mm <sup>4</sup> )	y (+) (mm)	y (-) (mm)
2353272.059	1014166.667	3094166.667	60.000	60.000

**Tabella 7 sez 8 : Reticolare\_Montanti**



A (mm <sup>2</sup> )	Asy (mm <sup>2</sup> )	Asz (mm <sup>2</sup> )	z (+) (mm)	z (-) (mm)
1700.000	1200.000	600.000	30.000	30.000
Ixx (mm <sup>4</sup> )	Iyy (mm <sup>4</sup> )	Izz (mm <sup>4</sup> )	y (+) (mm)	y (-) (mm)
2353272.059	1014166.667	3094166.667	60.000	60.000

**Tabella 8 sez 10 : Controvento**

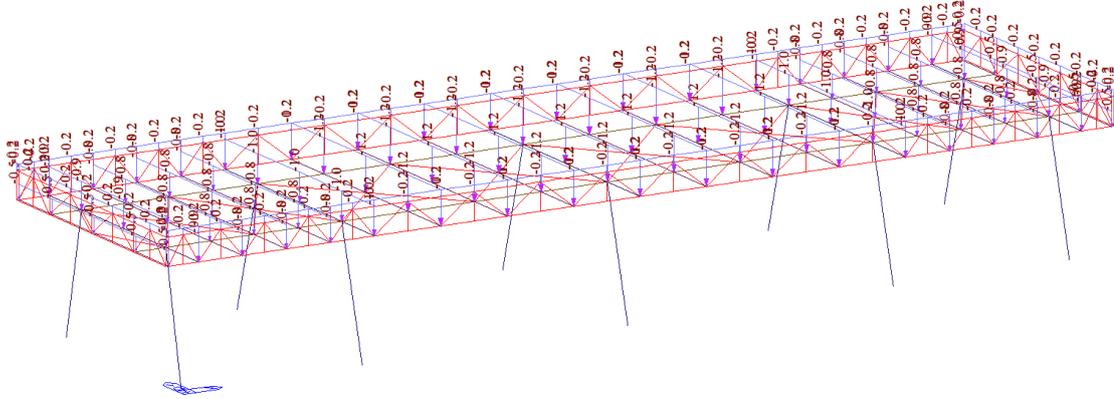


A (mm <sup>2</sup> )	$\bar{A}_{sy}$ (mm <sup>2</sup> )	$\bar{A}_{sz}$ (mm <sup>2</sup> )	z (+) (mm)	z (-) (mm)
1510.000	666.667	666.667	23.667	56.333
I <sub>xx</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>yy</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>zz</sub> (mm <sup>4</sup> )	y (+) (mm)	y (-) (mm)
50000.000	875000.000	875000.000	56.333	23.667

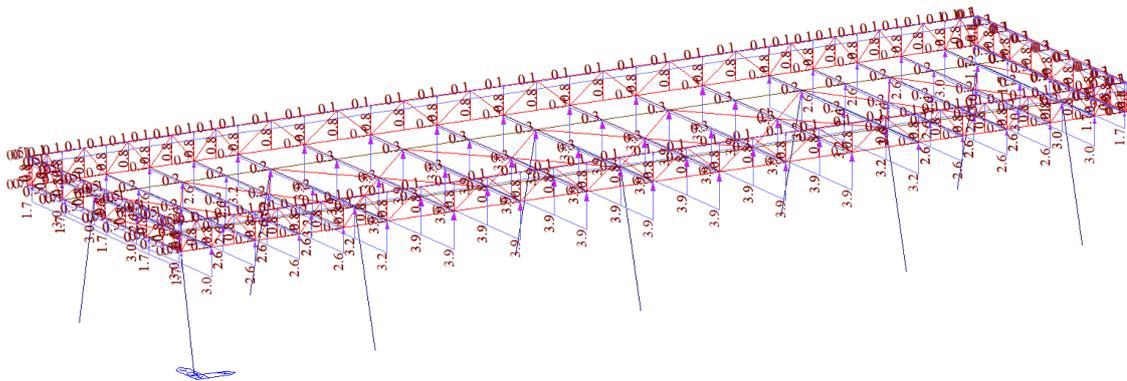
#### 7.4 CARICHI APPLICATI NEL MODELLO

La seguente tabella riporta una sintesi dei carichi applicati in funzione delle larghezze di competenza degli elementi.

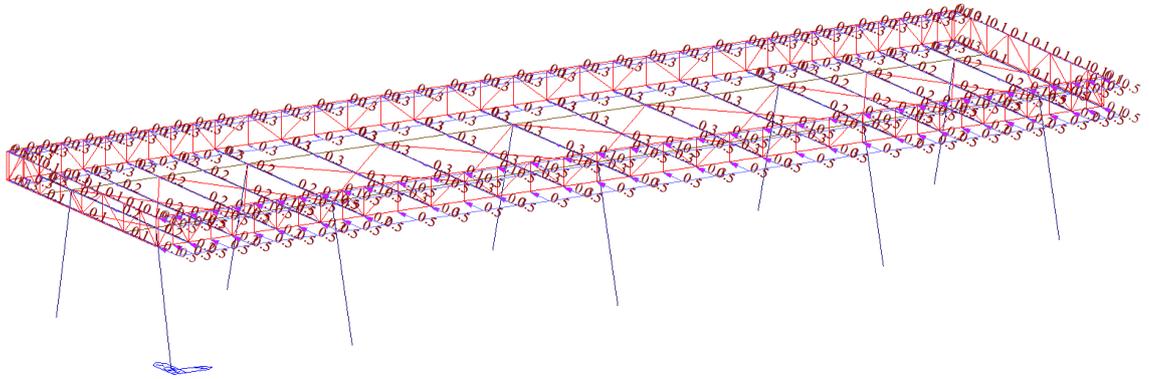
		Trave standard corrente	Trave transizione corrente-campata riva	Trave standard campata riva	Trave transizione campata riva-esterna	Trave esterna	Reticolate Longitudinale	Reticolate Trasversale	Reticolate Frontale
Larghezza di competenza (m)		3.00	2.49375	1.9875	2.34375	1.306	0.6	0.6	0.6
Carichi permanenti non strutturali	$g_2 = 0.40 \text{ kN/m}^2$	1.20	1.00	0.80	0.94	0.52	0.24	0.24	
Neve	$q_s = 1.00 \text{ kN/m}^2$	3.00	2.49	1.99	2.34	1.31	0.60	0.60	
Vento longitudinale	$p_l = 1.30 \text{ kN/m}^2$	3.90	3.24	2.58	3.05	1.70	0.78	0.78	
Vento trasversale uniforme	$p_{tu} = 1.30 \text{ kN/m}^2$	3.90	3.24	2.58	3.05	1.70	0.78	0.78	
Vento trasversale eccentrico	$p_{te} = 2.60 \text{ kN/m}^2$	7.80	6.48	5.17	6.09	3.40	1.56	1.56	
Vento trasversale radente	$p_{ft} = 0.09 \text{ kN/m}^2$	0.27	0.22	0.18	0.21	0.12	0.05	0.05	
Vento longitudinale radente	$p_{fl} = 0.09 \text{ kN/m}^2$	0.27	0.22	0.18	0.21	0.12	0.05	0.05	
Vento trasversale frontale Ant	$p_{tu} = 0.87 \text{ kN/m}^2$								0.52
Vento trasversale frontale Post	$p_{tu} = 0.43 \text{ kN/m}^2$								0.26
Vento Longitudinale frontale Ant	$p_l = 0.87 \text{ kN/m}^2$								0.52
Vento Longitudinale frontale Post	$p_l = 0.43 \text{ kN/m}^2$								0.26



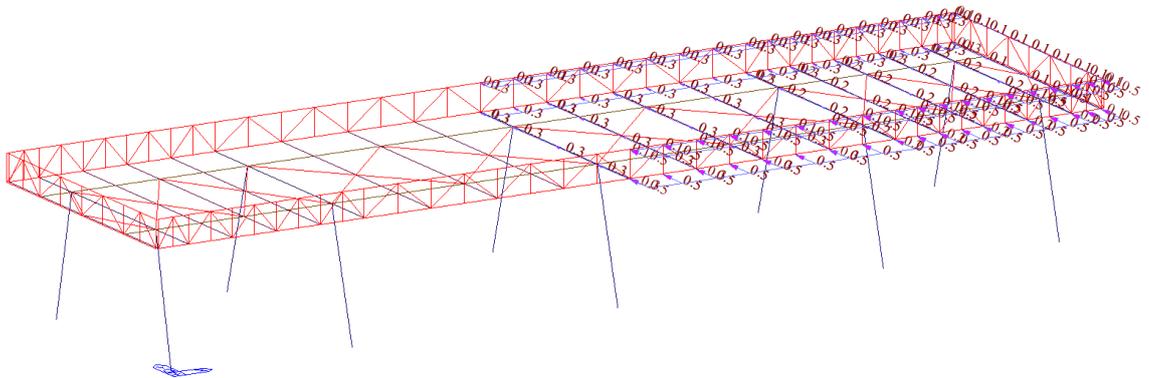
**Figura 12 Carichi permanenti**



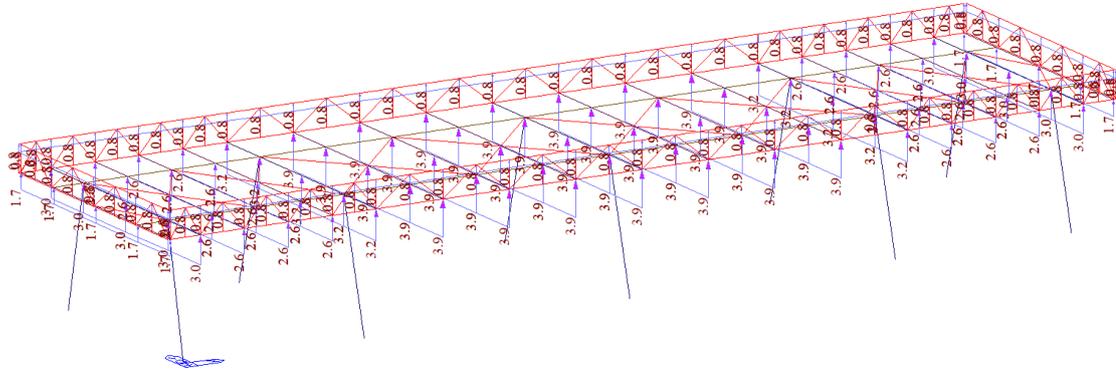
**Figura 13 Vento longitudinale (verticale e orizzontale)**



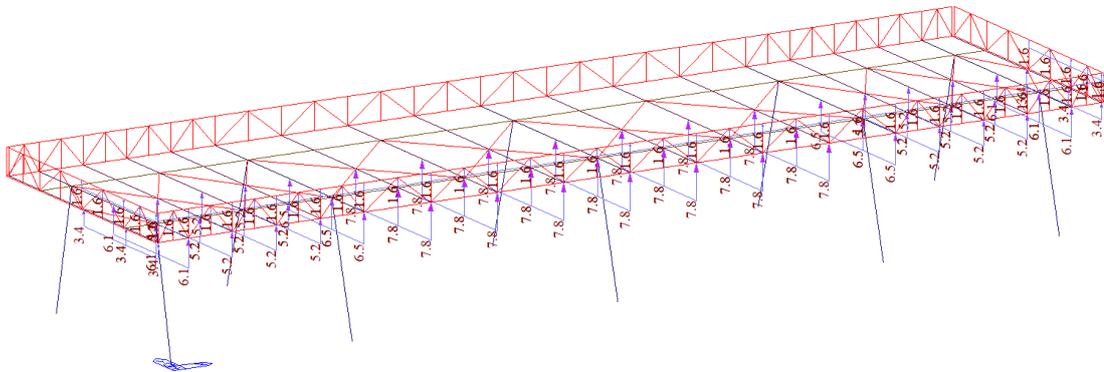
**Figura 14 Vento orizzontale trasversale combinazione 1**



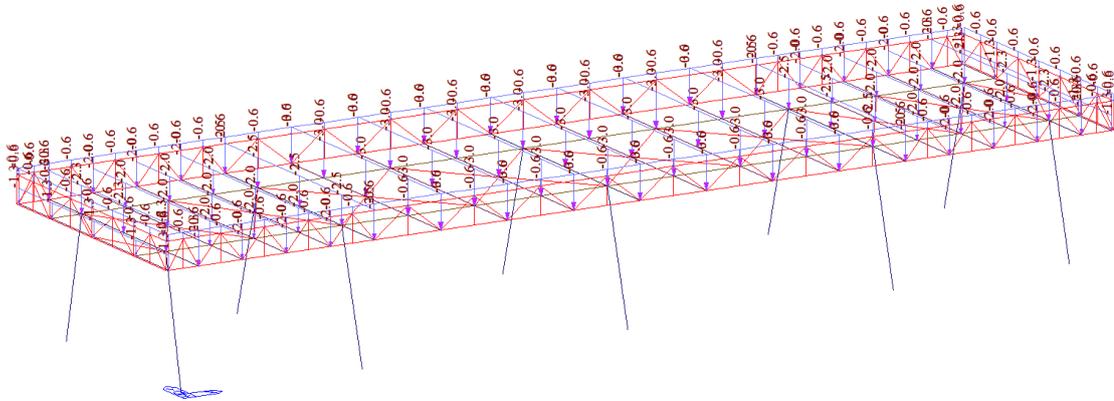
**Figura 15 Vento orizzontale trasversale combinazione 2**



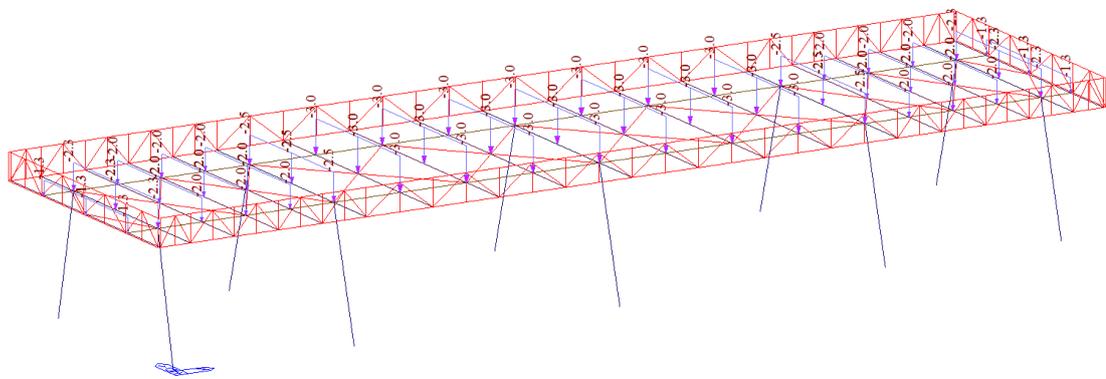
**Figura 16 Vento verticale trasversale uniforme**



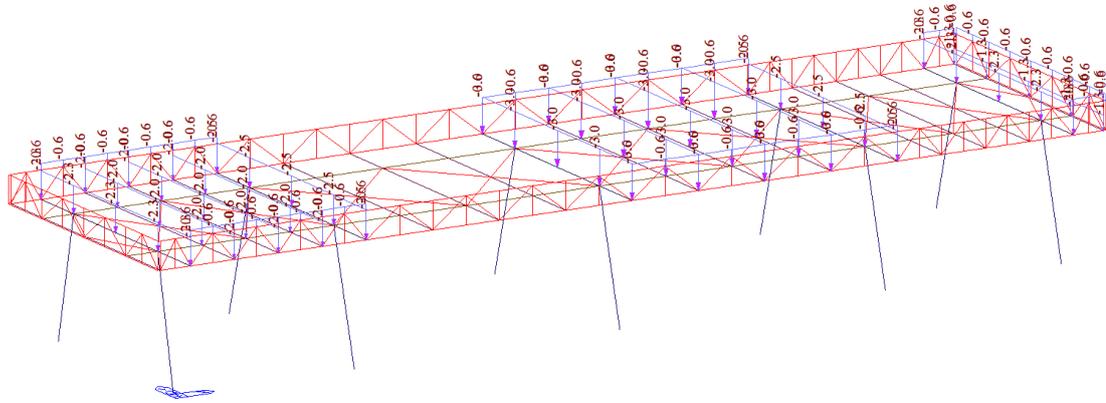
**Figura 17 vento verticale trasversale eccentrico**



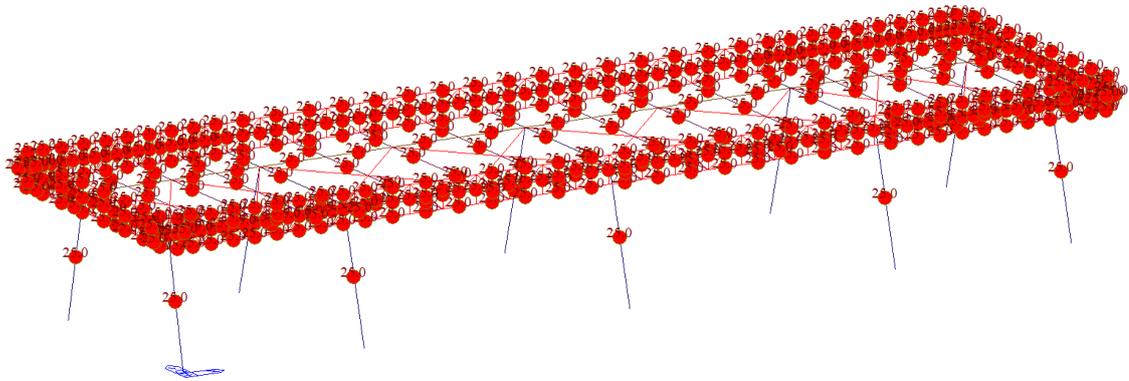
**Figura 18 Neve combinazione 1**



**Figura 19 Neve combinazione 2**



**Figura 20 Neve combinazione 3**



**Figura 21 Variazione Termica**

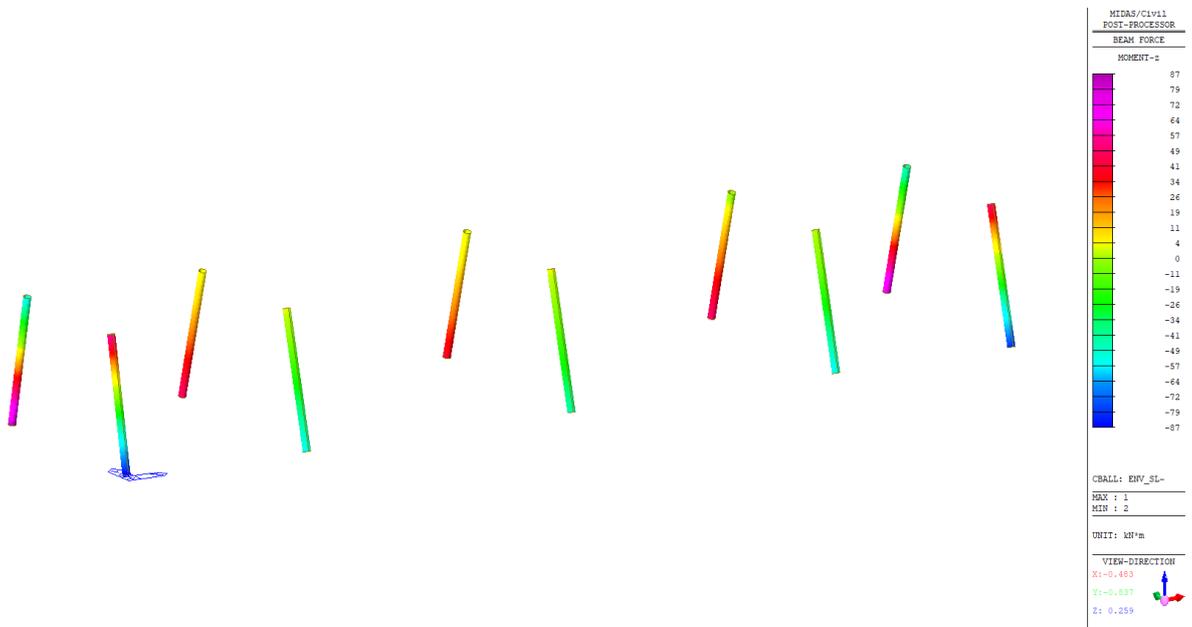
## 8 CARATTERISTICHE DELLA SOLLECITAZIONE

Le seguenti figure mostrano le caratteristiche della sollecitazione per l'involuppo delle combinazioni allo SLU ed allo SLV (fase sismica).

### 8.1 PILASTRI



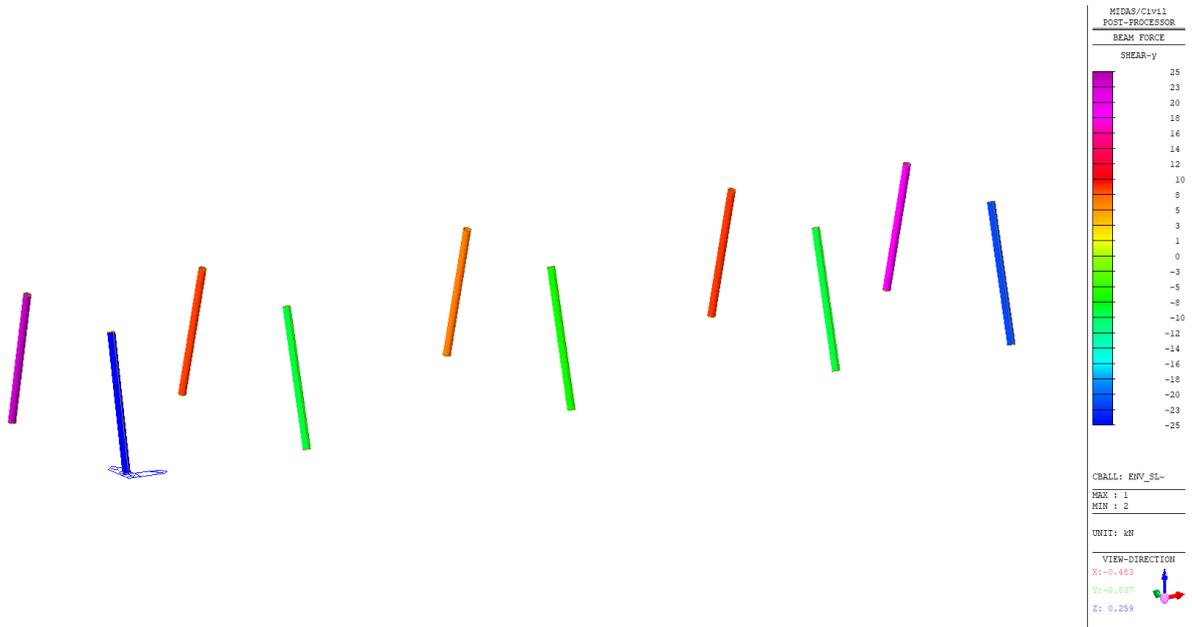
**Figura 22 Pilastri My SLU**



**Figura 23 Pilastri Mz SLU**



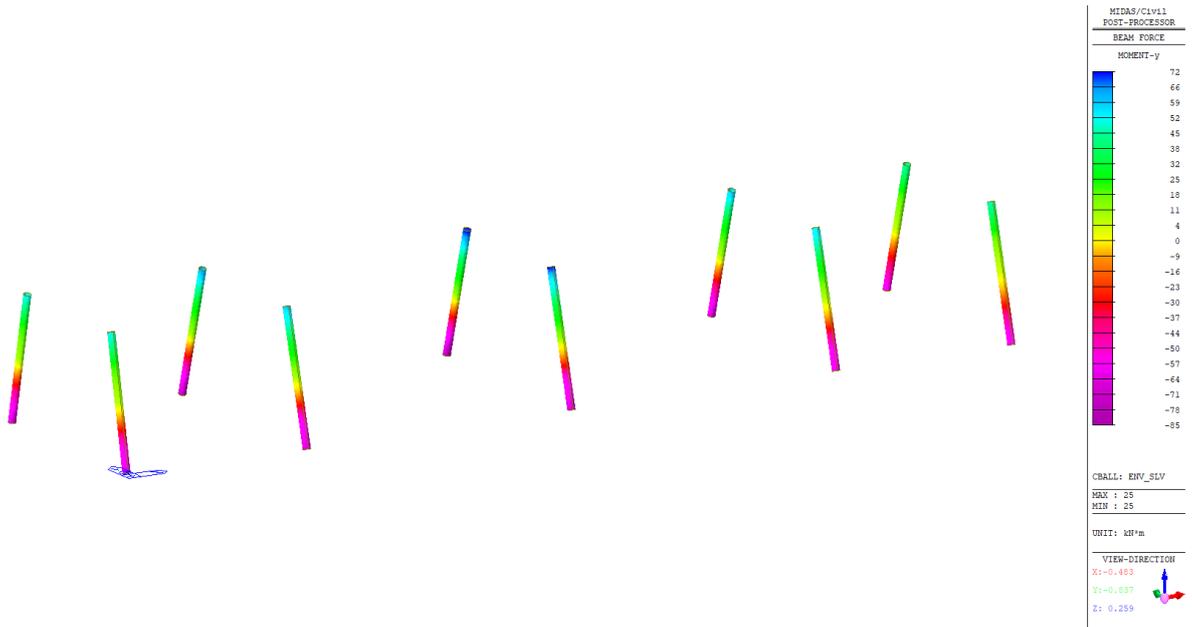
**Figura 24 Pilastrri Fx SLU**



**Figura 25 Pilastrri Fy SLU**



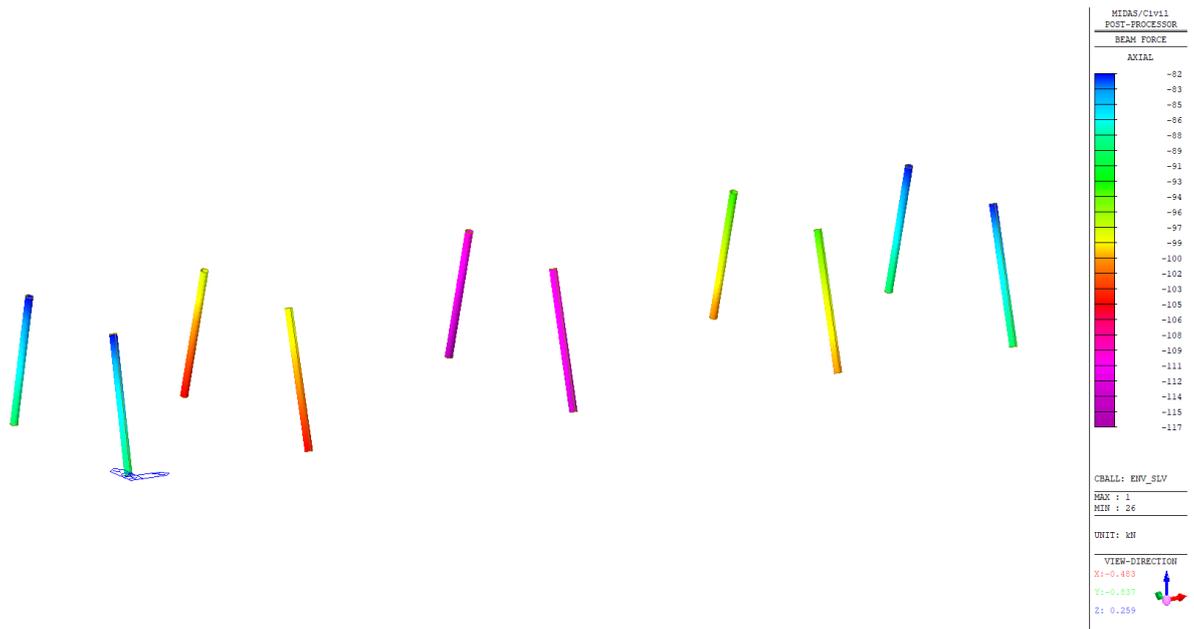
**Figura 26 Pilastrì Fz SLU**



**Figura 27 Pilastrì My SLU**



**Figura 28 Pilastrì Mz SLV**



**Figura 29 Pilastrì Fx SLV**

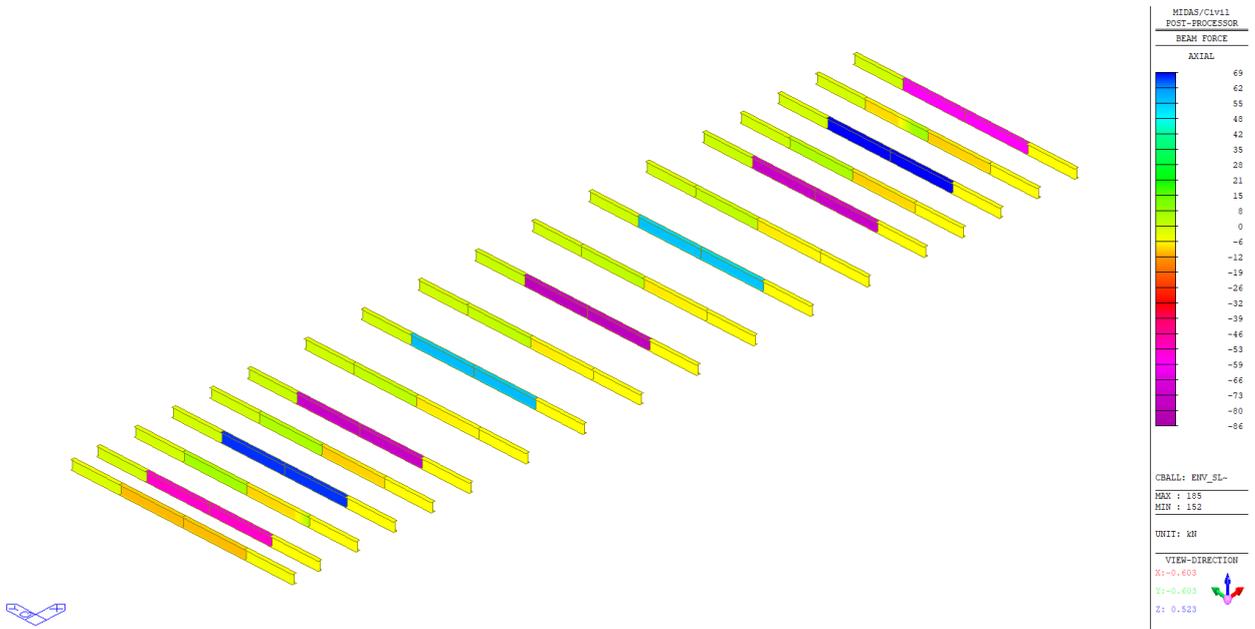


**Figura 30 Pilastrì Fy SLV**

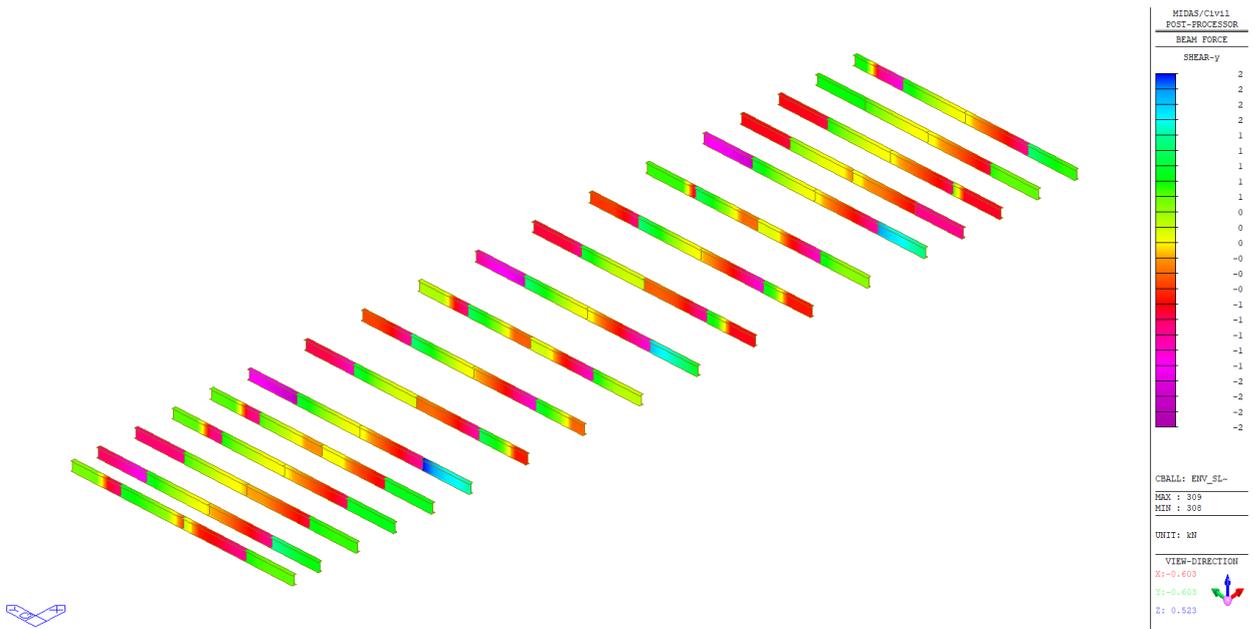


**Figura 31 Pilastrì Fz SLV**

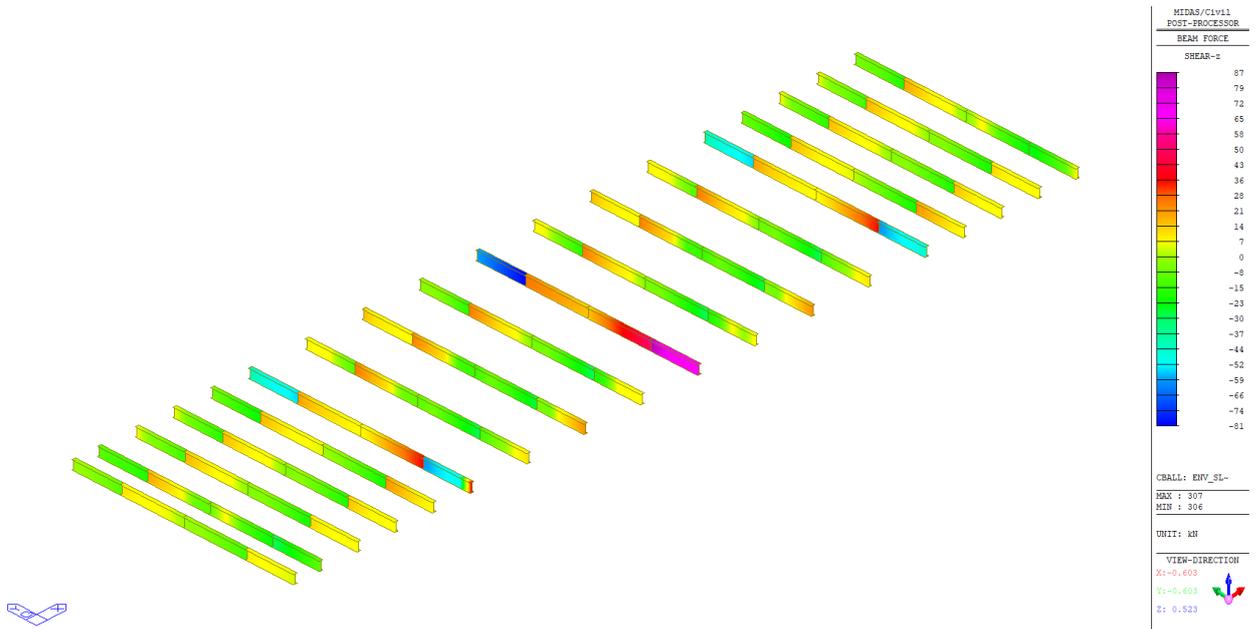




**Figura 34 Travi Trasv Fx SLU**

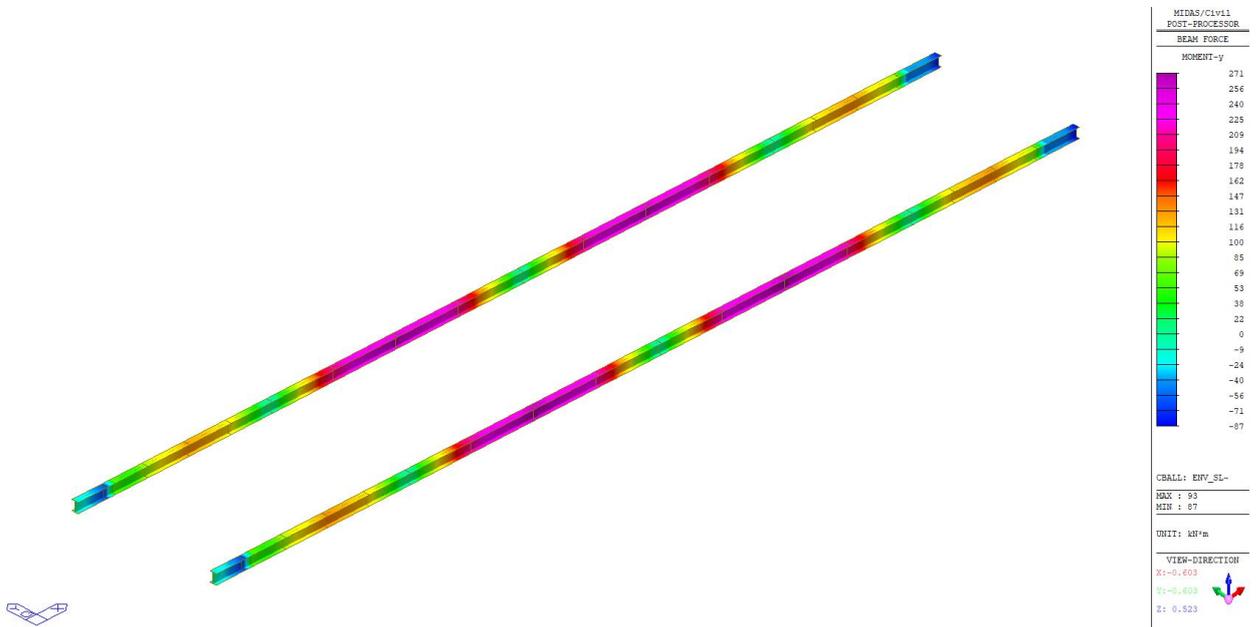


**Figura 35 Travi Trasv Fy SLU**

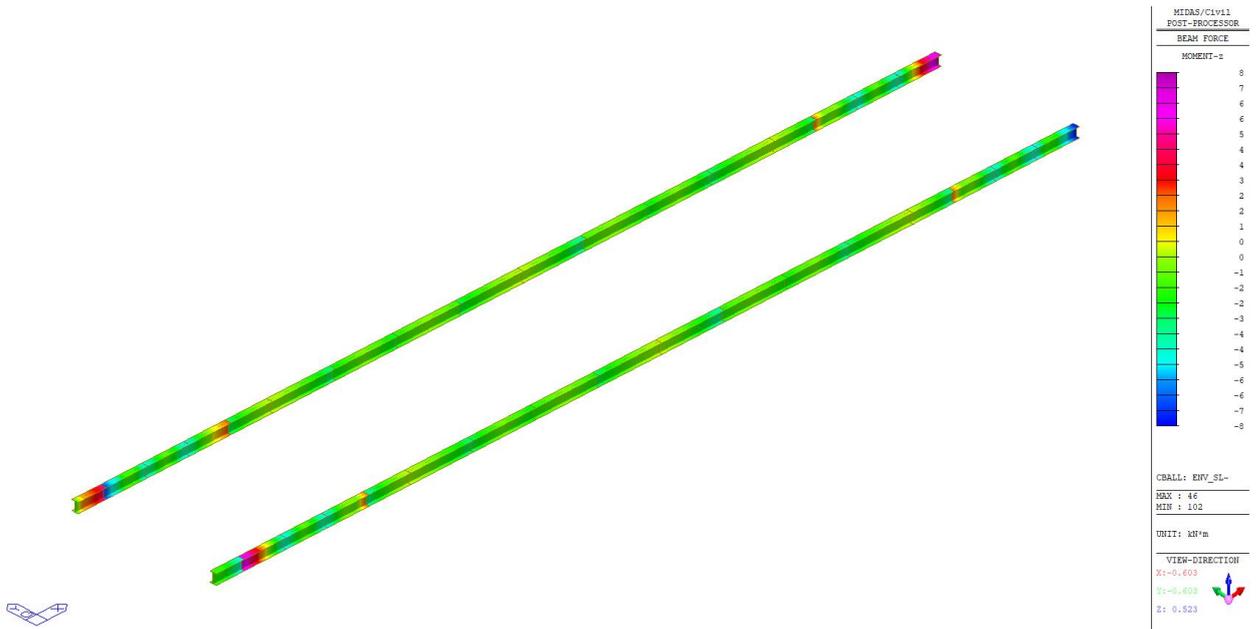


**Figura 36 Travi Trasn Fz SLU**

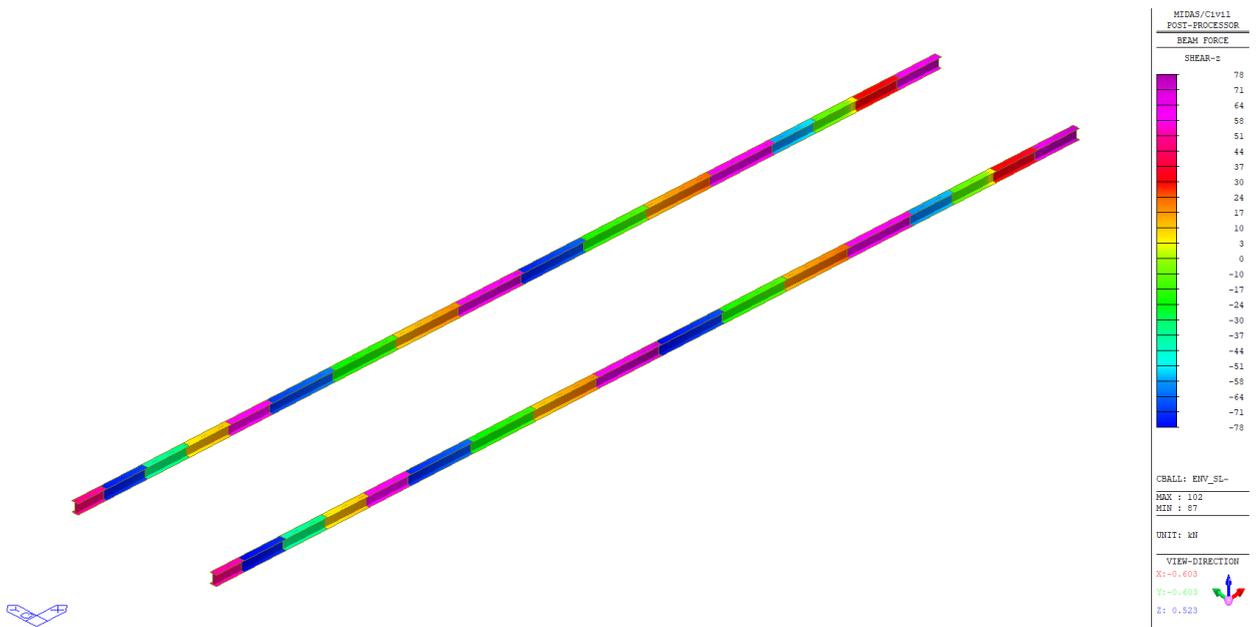
### 8.3 TRAVI LONGITUDINALI



**Figura 37 Travi Long My SLU**

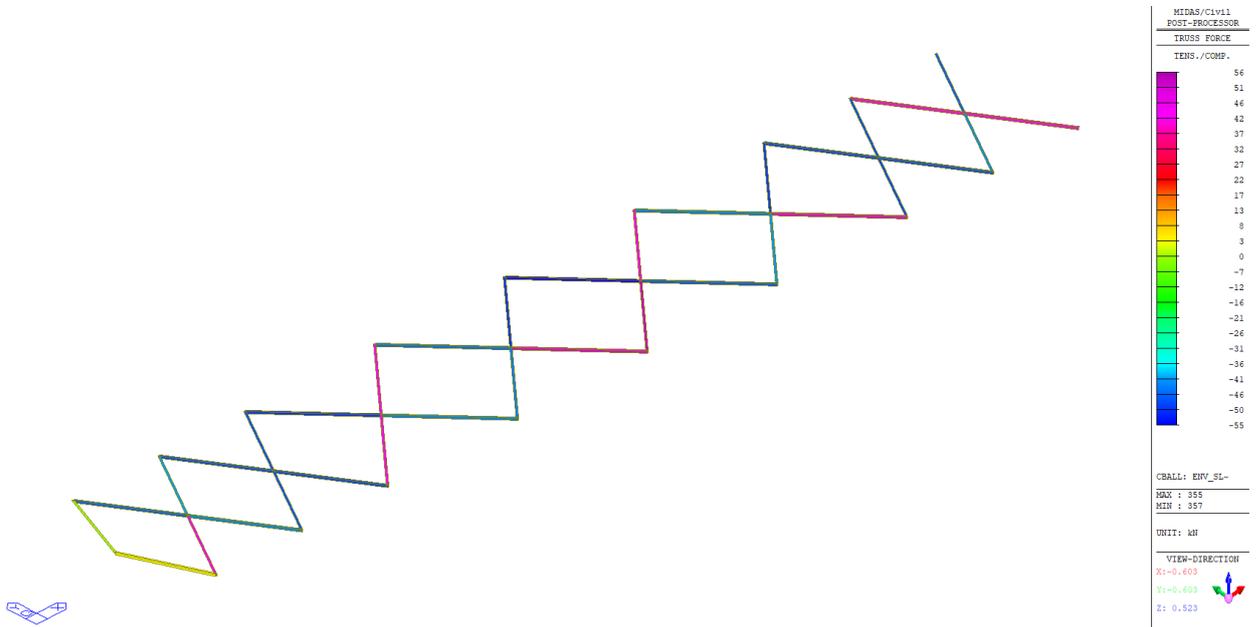


**Figura 38 Travi Long Mz SLU**



**Figura 39 Travi Long Fz SLU**

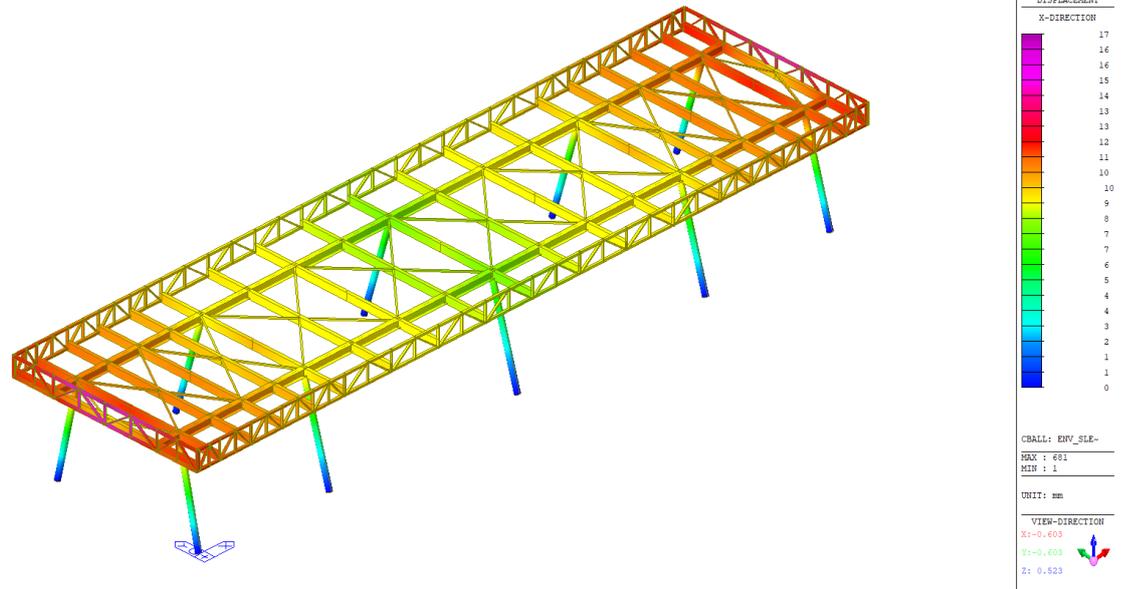
### 8.4 CONTROVENTI



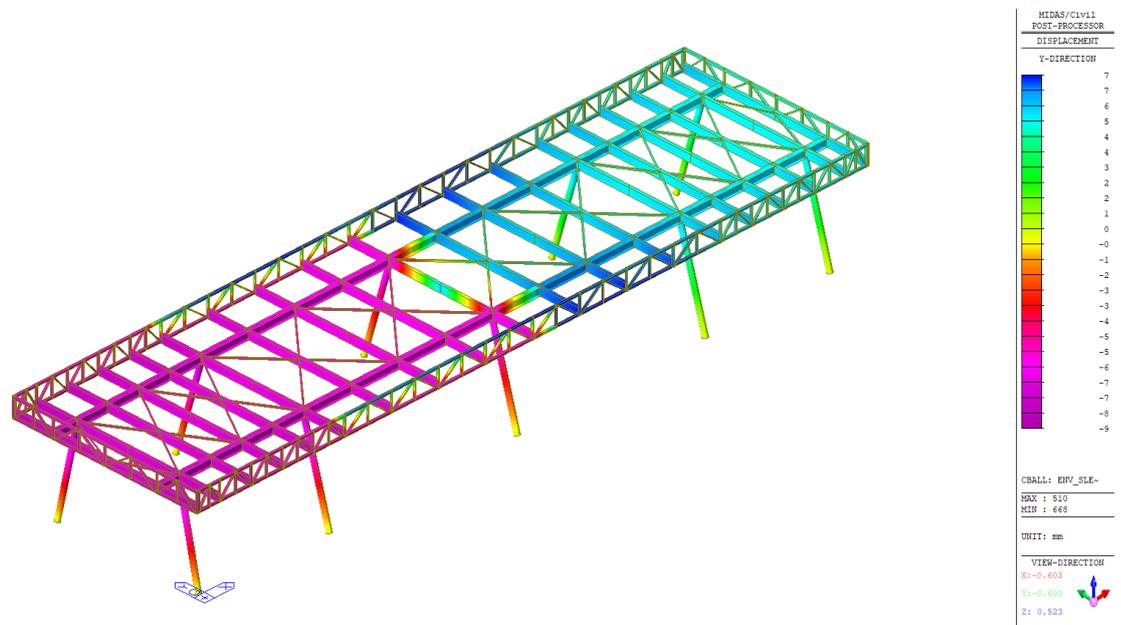
**Figura 40 Controventi Fx SLU**

## 9 SPOSTAMENTI E DEFORMAZIONI

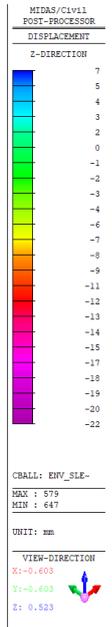
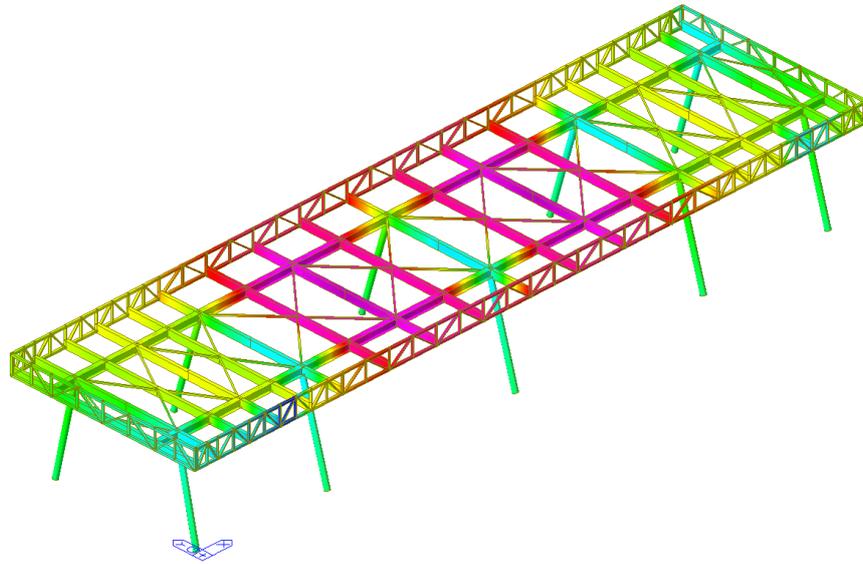
La deformata della struttura per l'involuppo delle combinazioni rare allo stato limite di esercizio, viene riportata nelle figure seguenti.



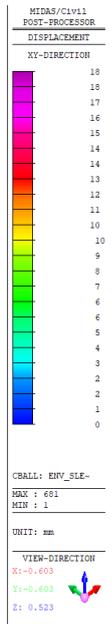
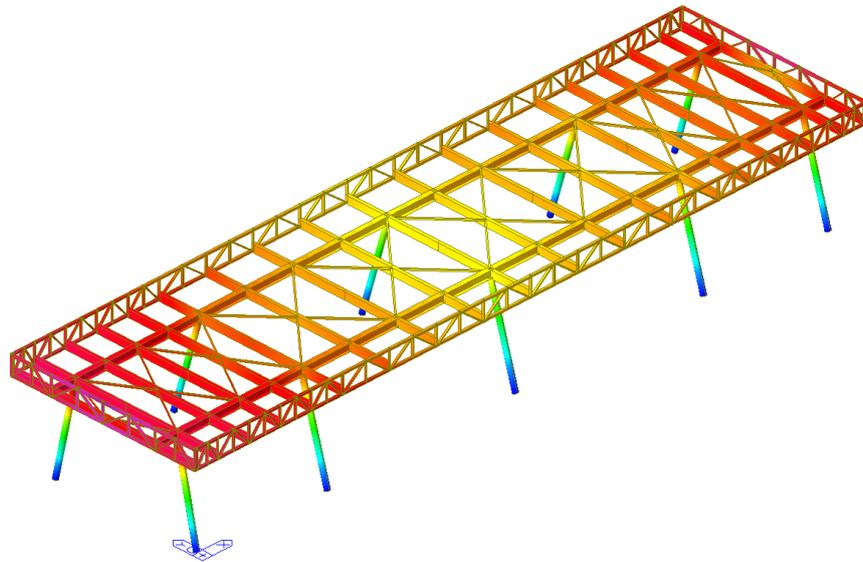
**Figura 41 Deformata Longitudinale Involuppo SLE rare**



**Figura 42 Deformata Trasversale Involuppo SLE rare**

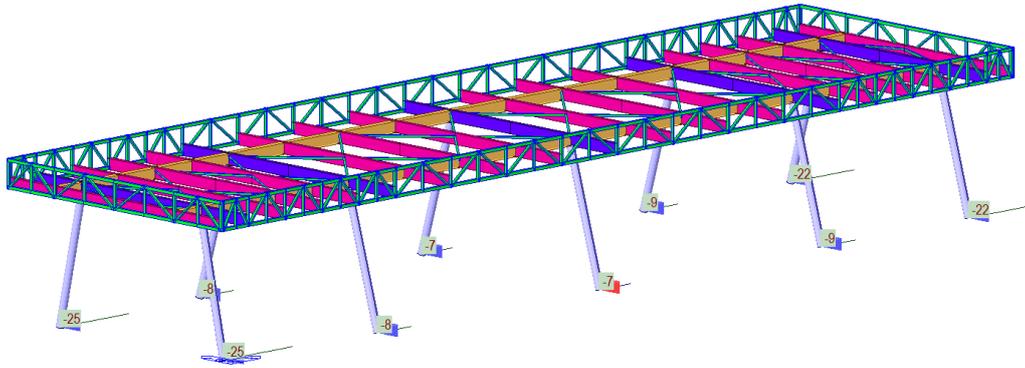


**Figura 43 Deformata verticale Inviluppo SLE rare**



**Figura 44 Deformata piano xy Inviluppo SLE rare**

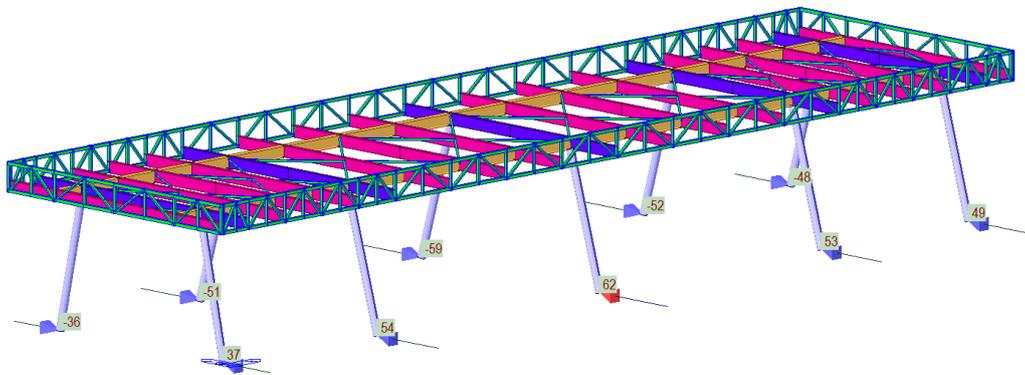
## 10 REAZIONI VINCOLARI



```

MIDAS/Civil
POST-PROCESSOR
REACTION FORCE
FORCE-X
MIN. REACTION
NODE= 1
FX: -25
MAX. REACTION
NODE= 51
FX: -7
CBALL: ENV_SL-
MAX : 51
MIN : 1
UNIT: kN
VIEW-DIRECTION
X: -0.667
Y: -0.669
Z: 0.159
    
```

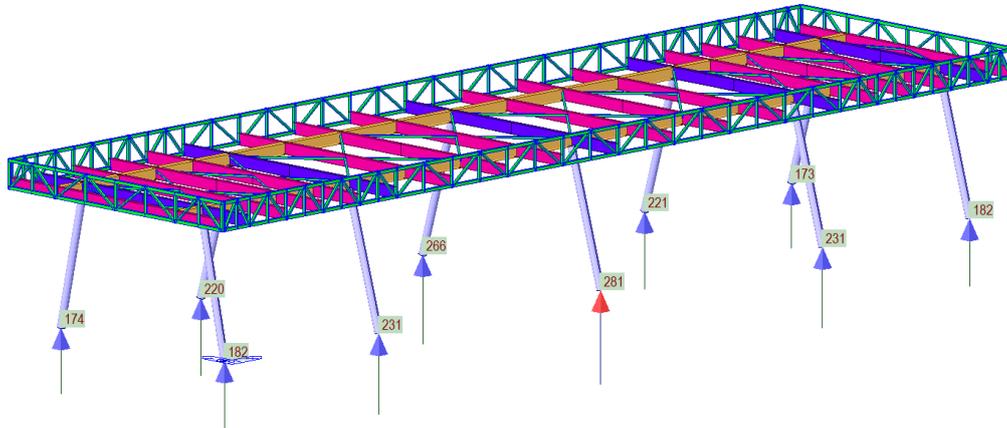
**Figura 45 Reazioni Fx SLU**



```

MIDAS/Civil
POST-PROCESSOR
REACTION FORCE
FORCE-Y
MIN. REACTION
NODE= 49
FY: -59
MAX. REACTION
NODE= 51
FY: 62
CBALL: ENV_SL-
MAX : 51
MIN : 49
UNIT: kN
VIEW-DIRECTION
X: -0.667
Y: -0.669
Z: 0.159
    
```

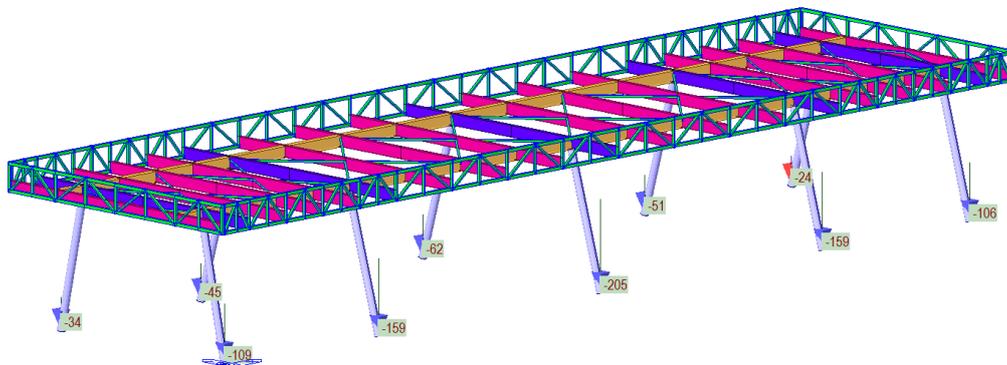
**Figura 46 Reazioni Fy SLU**



```

MIDAS/Civil3
POST-PROCESSOR
REACTION FORCE
-----
FORCE-Z
MIN. REACTION
NODE= 41
FZ: 173
MAX. REACTION
NODE= 51
FZ: 281
-----
CBALL: ENV_SL-
MAX : 51
MIN : 41
UNIT: kN
-----
VIEW-DIRECTION
X: 0.687
Y: -0.659
Z: 0.159
    
```

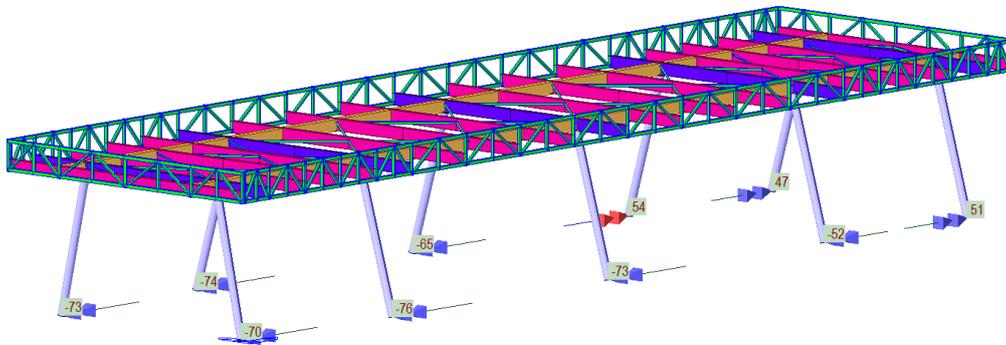
**Figura 47 Reazioni Fz SLU massime**



```

MIDAS/Civil3
POST-PROCESSOR
REACTION FORCE
-----
FORCE-Z
MIN. REACTION
NODE= 51
FZ: -205
MAX. REACTION
NODE= 41
FZ: -24
-----
CBMIN: ENV_SL-
MAX : 41
MIN : 51
UNIT: kN
-----
VIEW-DIRECTION
X: 0.687
Y: -0.659
Z: 0.159
    
```

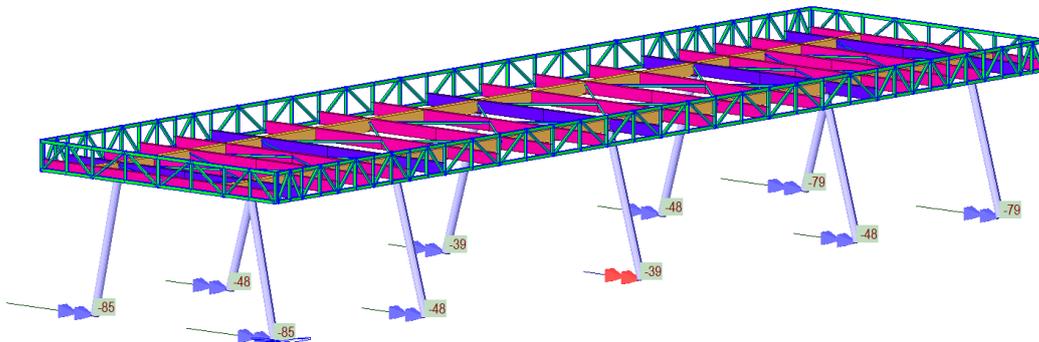
**Figura 48 Reazioni Fz SLU minime**



```

MIDAS/Civil3
POST-PROCESSOR
REACTION FORCE
MOMENT-X
MIN. REACTION
NODE= 55
MX: -76
MAX. REACTION
NODE= 45
MX: 54
CBALL: ENV_SL-
MAX : 45
MIN : 55
UNIT: kN*m
VIEW-DIRECTION
X: 0.734
Y: -0.661
Z: 0.156
    
```

**Figura 49 Reazioni Mx SLU**

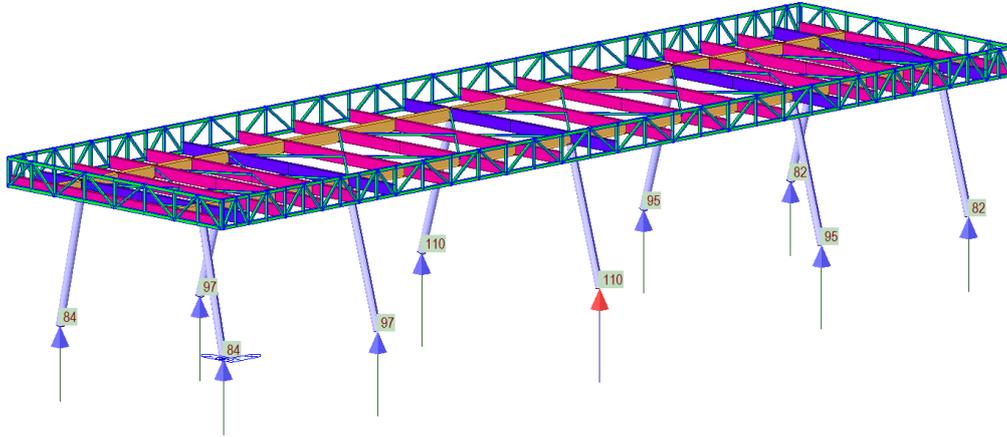


```

MIDAS/Civil3
POST-PROCESSOR
REACTION FORCE
MOMENT-Y
MIN. REACTION
NODE= 1
MY: -85
MAX. REACTION
NODE= 51
MY: -39
CBALL: ENV_SL-
MAX : 51
MIN : 1
UNIT: kN*m
VIEW-DIRECTION
X: 0.734
Y: -0.661
Z: 0.156
    
```

**Figura 50 Reazioni My SLU**



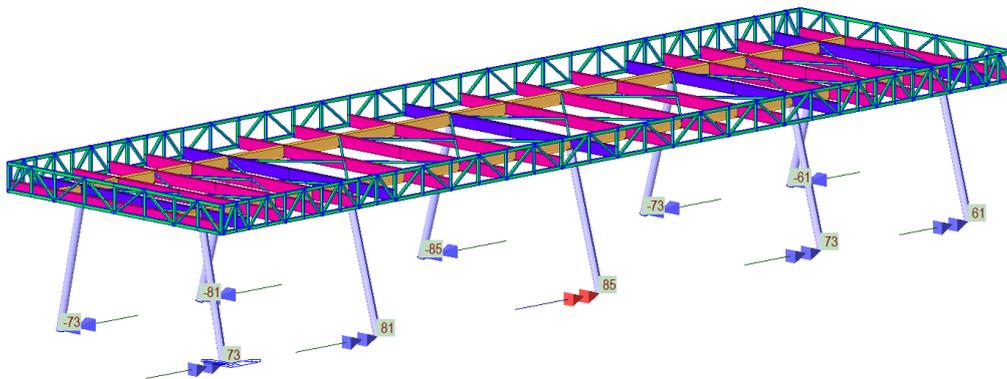


```

MIDAS/Civil3
POST-PROCESSOR
REACTION FORCE
-----
FORCE-Z
MIN. REACTION
NODE= 41
FZ: 82
MAX. REACTION
NODE= 51
FZ: 110
-----
CBALL: ENV_SLV
MAX : 51
MIN : 41
UNIT: kN
-----
VIEW-DIRECTION
X: 0.687
Y: -0.689
Z: 0.199

```

**Figura 53 Reazioni Fz SLV**

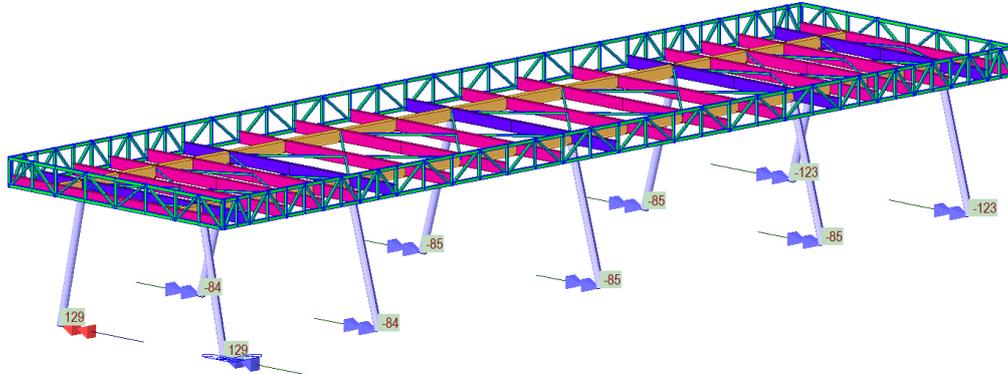


```

MIDAS/Civil3
POST-PROCESSOR
REACTION FORCE
-----
MOMENT-X
MIN. REACTION
NODE= 49
MX: -85
MAX. REACTION
NODE= 51
MX: 85
-----
CBALL: ENV_SLV
MAX : 51
MIN : 49
UNIT: kN*m
-----
VIEW-DIRECTION
X: 0.687
Y: -0.689
Z: 0.199

```

**Figura 54 Reazioni Mx SLV**



```

MIDAS/Clv11
POST-PROCESSOR
REACTION FORCE
-----
MOMENT-M
MIN. REACTION
NODE= 41
MY: -123
MAX. REACTION
NODE= 1
MY: 129

CBALL: ENV_SLV
MAX : 1
MIN : 41

UNIT: kN*m

VIEW-DIRECTION
X: 0.687
Y: -0.689
Z: 0.199
    
```

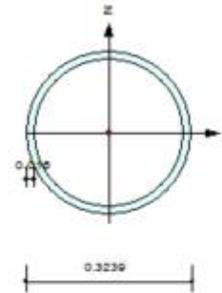
*Figura 55 Reazioni My SLV*

## 11 VERIFICHE STRUTTURALI

### 11.1 PILASTRI

#### 1. Design Information

Design Code Eurocode3-2:05  
 Unit System kN, m  
 Member No 1  
 Material S355 (No:1)  
 ( $F_y = 355000$ ,  $E_s = 210000000$ )  
 Section Name Pilastrini (No:1)  
 (Built-up Section).  
 Member Length : 5.62939



#### 2. Member Forces

Axial Force  $F_{xx} = -85.821$  (LCB: 142, POS:I)  
 Bending Moments  $M_y = -24.439$ ,  $M_z = -132.44$   
 End Moments  $M_{yi} = -24.439$ ,  $M_{yj} = -15.659$  (for Lb)  
 $M_{yi} = -24.439$ ,  $M_{yj} = -15.659$  (for Ly)  
 $M_{zi} = -132.44$ ,  $M_{zj} = -70.203$  (for Lz)  
 Shear Forces  $F_{yy} = -38.122$  (LCB: 142, POS:J)  
 $F_{zz} = -23.130$  (LCB: 143, POS:I)

Outer Dia. 0.32300		Wall Thick. 0.01500	
Area	0.01548	Asx	0.00774
Oyb	0.02376	Ozb	0.02376
Iyy	0.00018	Izz	0.00018
Ybar	0.16195	Zbar	0.16195
Wely	0.00114	Wetx	0.00114
ry	0.10901	rz	0.10901

#### 3. Design Parameters

Unbraced Lengths  $L_y = 5.62939$ ,  $L_z = 5.62939$ ,  $L_b = 5.62939$   
 Effective Length Factors  $K_y = 2.00$ ,  $K_z = 2.00$   
 Equivalent Uniform Moment Factors  $C_{my} = 0.93$ ,  $C_{mz} = 0.90$ ,  $C_{mLT} = 1.00$

#### 4. Checking Results

##### Axial Resistance

$$N_{Ed}/MIN[N_{c,Rd}, N_{b,Rd}] = 85.82/5232.61 = 0.016 < 1.000 \dots\dots\dots \text{OK}$$

##### Bending Resistance

$$M_{Edy}/M_{Rdy} = 24.439/513.298 = 0.048 < 1.000 \dots\dots\dots \text{OK}$$

$$M_{Edz}/M_{Rdz} = 132.439/513.298 = 0.258 < 1.000 \dots\dots\dots \text{OK}$$

##### Combined Resistance

$$RNRd = MAX[M_{Edy}/M_{ny,Rd}, M_{Edz}/M_{nz,Rd}]$$

$$R_{max1} = (M_{Edy}/M_{ny,Rd})^{\alpha} + (M_{Edz}/M_{nz,Rd})^{\beta}$$

$$R_{oom} = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \gamma_{M0}), R_{bend} = M_{Edy}/M_{y,Rd} + M_{Edz}/M_{z,Rd}$$

$$R_{c\_LT1} = N_{Ed}/(X_{iy} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1})$$

$$R_{b\_LT1} = (k_{yy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i\_LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1}) + (k_{yz} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \gamma_{M1})$$

$$R_{c\_LT2} = N_{Ed}/(X_{iz} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1})$$

$$R_{b\_LT2} = (K_{zy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i\_LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1}) + (K_{zz} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \gamma_{M1})$$

$$R_{max} = MAX[RNRd, R_{max1}, (R_{oom} + R_{bend}), MAX(R_{c\_LT1} + R_{b\_LT1}, R_{c\_LT2} + R_{b\_LT2})] = 0.322 < 1.000 \dots\dots\dots \text{OK}$$

##### Shear Resistance

$$V_{Edy}/V_{y,Rd} = 0.020 < 1.000 \dots\dots\dots \text{OK}$$

$$V_{Edz}/V_{z,Rd} = 0.012 < 1.000 \dots\dots\dots \text{OK}$$

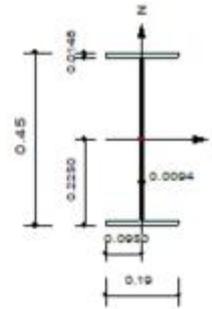
#### 5. Deflection Checking Results

$$l/150.0 = 0.0375 > 0.0111 \text{ (Memb:1, LCB: 195, Dir-X)} \dots\dots\dots \text{OK}$$

## 11.2 TRAVI TRASVERSALI

### 1. Design Information

Design Code Eurocode3-2:05  
 Unit System kN, m  
 Member No 307  
 Material S355 (No:1)  
 (Fy = 355000, Es = 210000000)  
 Section Name TR-T\_01 (No:2)  
 (Rolled : IPE450).  
 Member Length : 11.7000



### 2. Member Forces

Axial Force Fxx = -52.695 (LCB: 55, POS: 1/4)  
 Bending Moments My = -115.56, Mz = 0.00721  
 End Moments Myi = -125.60, Myj = -107.41 (for Lb)  
 Myi = -125.60, Myj = -107.41 (for Ly)  
 Mzi = 0.00800, Mzj = -0.0058 (for Lz)  
 Shear Forces Fyy = -3.3281 (LCB: 142, POS: J)  
 Fzz = 64.6286 (LCB: 88, POS: I)

Depth	0.45000	Web Thick	0.00940
Top F Width	0.19000	Top F Thick	0.01450
Bot.F Width	0.19000	Bot.F Thick	0.01450
Area	0.00988	ASz	0.00423
Cyb	0.08038	CBz	0.00451
Iy	0.00034	Iz	0.00002
Ybar	0.09500	Zbar	0.22500
Wely	0.00150	Wplz	0.00018
ry	0.18390	rz	0.04194

### 3. Design Parameters

Unbraced Lengths Ly = 6.60000, Lz = 6.60000, Lb = 6.60000  
 Effective Length Factors Ky = 1.00, Kz = 1.00  
 Equivalent Uniform Moment Factors Cmy = 1.00, Cmz = 0.93, CmLT = 1.05

### 4. Checking Results

#### Axial Resistance

$$N_{Ed}/MIN[N_{c,Rd}, N_{b,Rd}] = 52.695/633.907 = 0.083 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K.}$$

#### Bending Resistance

$$M_{Edy}/M_{Rdy} = 115.558/217.299 = 0.532 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K.}$$

$$M_{Edz}/M_{Rdz} = 0.0072/92.2410 = 0.000 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K.}$$

#### Combined Resistance

$$RNRd = MAX[ M_{Edy}/M_{ny,Rd}, M_{Edz}/M_{nz,Rd} ]$$

$$R_{max1} = (M_{Edy}/M_{ny,Rd})^{\alpha} + (M_{Edz}/M_{nz,Rd})^{\beta}$$

$$R_{oom} = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \gamma_{M0}), R_{bend} = M_{Edy}/M_{y,Rd} + M_{Edz}/M_{z,Rd}$$

$$R_{c\_LT1} = N_{Ed}/(X_{iy} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1})$$

$$R_{b\_LT1} = (k_{yy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i\_LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1}) + (k_{yz} \cdot M_{sdz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \gamma_{M1})$$

$$R_{c\_LT2} = N_{Ed}/(X_{iz} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1})$$

$$R_{b\_LT2} = (k_{zy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i\_LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1}) + (k_{zz} \cdot M_{sdz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \gamma_{M1})$$

$$R_{max} = MAX[ RNRd, R_{max1}, (R_{oom} + R_{bend}), MAX(R_{c\_LT1} + R_{b\_LT1}, R_{c\_LT2} + R_{b\_LT2}) ] = 0.586 < 1.000 \dots\dots \text{O.K.}$$

#### Shear Resistance

$$V_{Edy}/V_{y,Rd} = 0.003 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K.}$$

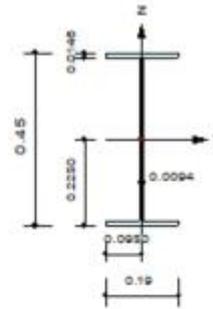
$$V_{Edz}/V_{z,Rd} = 0.065 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K.}$$

### 5. Deflection Checking Results

$$L/200.0 = 0.0585 > 0.0150 \text{ (Memb:307, LCB: 179, POS: 5.7m, Dir-Z)} \dots\dots\dots \text{O.K.}$$

### 1. Design Information

Design Code Eurocode3-2:05  
 Unit System kN, m  
 Member No 279  
 Material S355 (No:1)  
 ( $F_y = 355000$ ,  $E_s = 210000000$ )  
 Section Name TR-T\_02 (No:3)  
 (Rolled : IPE450).  
 Member Length : 11.7000



### 2. Member Forces

Axial Force  $F_{xx} = 52.1935$  (LCB: 77, POS:1/2)  
 Bending Moments  $M_y = 75.9917$ ,  $M_z = -0.0737$   
 End Moments  $M_{yi} = 32.0425$ ,  $M_{yj} = 32.0425$  (for  $L_b$ )  
 $M_{yi} = -1.8948$ ,  $M_{yj} = -1.8948$  (for  $L_y$ )  
 $M_{zi} = 0.14927$ ,  $M_{zj} = 0.14927$  (for  $L_z$ )  
 Shear Forces  $F_{yy} = 1.40639$  (LCB: 121, POS:J)  
 $F_{zz} = 24.6096$  (LCB: 117, POS:I)

Depth	0.45000	Web Thick	0.00940
Top F Width	0.19000	Top F Thick	0.021400
Bot.F Width	0.19000	Bot.F Thick	0.021400
Area	0.00988	Asz	0.00423
Cyb	0.08838	Czb	0.00451
Iy	0.00034	Izz	0.00002
Ybar	0.09500	Zbar	0.22500
Wely	0.00150	Welz	0.00018
ry	0.18390	rz	0.04194

### 3. Design Parameters

Unbraced Lengths  $L_y = 11.7000$ ,  $L_z = 6.60000$ ,  $L_b = 6.60000$   
 Effective Length Factors  $K_y = 1.00$ ,  $K_z = 1.00$   
 Equivalent Uniform Moment Factors  $C_{my} = 1.00$ ,  $C_{mz} = 0.93$ ,  $C_{mLT} = 1.00$

### 4. Checking Results

Axial Resistance  
 $N_{Ed}/N_{t,Rd} = 52.19/3340.38 = 0.016 < 1.000$  ..... O.K

Bending Resistance  
 $M_{Edy}/M_{Rdy} = 75.992/217.299 = 0.350 < 1.000$  ..... O.K  
 $M_{Edz}/M_{Rdz} = 0.0737/92.2410 = 0.001 < 1.000$  ..... O.K

Combined Resistance  
 $R_{NRd} = \text{MAX}[ M_{Edy}/M_{ny,Rd}, M_{Edz}/M_{nz,Rd} ]$   
 $R_{max1} = (M_{Edy}/M_{ny,Rd})^{\text{Alpha}} + (M_{Edz}/M_{nz,Rd})^{\text{Beta}}$   
 $R_{oom} = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M0})$ ,  $R_{bend} = M_{Edy}/M_{y,Rd} + M_{Edz}/M_{z,Rd}$   
 $R_{max} = \text{MAX}[ R_{NRd}, R_{max1}, (R_{oom} + R_{bend}) ] = 0.148 < 1.000$  ..... O.K

Shear Resistance  
 $V_{Edy}/V_{y,Rd} = 0.001 < 1.000$  ..... O.K  
 $V_{Edz}/V_{z,Rd} = 0.025 < 1.000$  ..... O.K

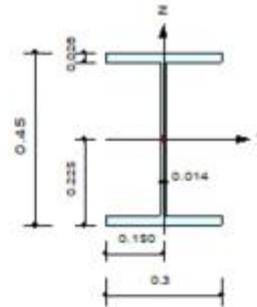
### 5. Deflection Checking Results

$L/200.0 = 0.0585 > 0.0092$  (Memb:279, LCB: 221, POS: 5.8m, Dir-Z)..... O.K

### 11.3 TRAVI LONGITUDINALI

#### 1. Design Information

Design Code Eurocode3-2:05  
 Unit System kN, m  
 Member No 91  
 Material S355 (No:1)  
 (Fy = 355000, Es = 210000000)  
 Section Name TR-L\_01 (No:4)  
 (Rolled : HEB450).  
 Member Length : 12.0000



#### 2. Member Forces

Axial Force Fxx = 37.0599 (LCB: 85, POS:1/2)  
 Bending Moments My = 271.476, Mz = 1.08344  
 End Moments Myi = 206.424, Myj = 270.517 (for Ly)  
 Myi = 0.00000, Myj = 0.00000 (for Lz)  
 Mzi = 0.03973, Mzj = 0.72906 (for Lz)  
 Shear Forces Fyy = -1.3043 (LCB: 119, POS:1/4)  
 Fzz = 76.8507 (LCB: 55, POS:J)

Depth	0.45000	Web Thick	0.01400
Top F Width	0.30000	Top F Thick	0.02500
Bot.F Width	0.30000	Bot.F Thick	0.02500
Area	0.02180	Asz	0.00630
Cyb	0.12791	Czb	0.01125
Iy	0.00080	Izz	0.00012
Ybar	0.15000	Zbar	0.22500
Wely	0.00355	Welz	0.00078
ry	0.19100	rz	0.07330

#### 3. Design Parameters

Unbraced Lengths Ly = 12.0000, Lz = 3.00000, Lb = 3.00000  
 Effective Length Factors Ky = 1.00, Kz = 1.00  
 Equivalent Uniform Moment Factors Cmly = 1.00, Cmz = 0.80, CmLT = 1.00

#### 4. Checking Results

##### Axial Resistance

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = 37.06/7370.48 = 0.005 < 1.000 \dots \text{O.K.}$$

##### Bending Resistance

$$M_{Edy}/M_{Rdy} = 271.48/1346.30 = 0.202 < 1.000 \dots \text{O.K.}$$

$$M_{Edz}/M_{Rdz} = 1.083/402.165 = 0.003 < 1.000 \dots \text{O.K.}$$

##### Combined Resistance

$$RNRd = \text{MAX}[ M_{Edy}/M_{ny\_Rd}, M_{Edz}/M_{nz\_Rd} ]$$

$$R_{max1} = (M_{Edy}/M_{ny\_Rd})^{\text{Alpha}} + (M_{Edz}/M_{nz\_Rd})^{\text{Beta}}$$

$$R_{oom} = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M0}), R_{bend} = M_{Edy}/M_{y\_Rd} + M_{Edz}/M_{z\_Rd}$$

$$R_{max} = \text{MAX}[ RNRd, R_{max1}, (R_{oom} + R_{bend}) ] = 0.209 < 1.000 \dots \text{O.K.}$$

##### Shear Resistance

$$V_{Edy}/V_{y\_Rd} = 0.000 < 1.000 \dots \text{O.K.}$$

$$V_{Edz}/V_{z\_Rd} = 0.049 < 1.000 \dots \text{O.K.}$$

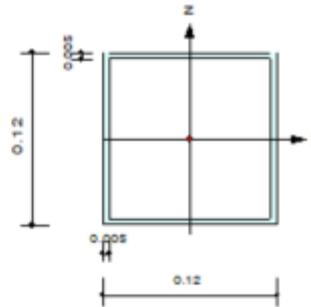
#### 5. Deflection Checking Results

$$L/200.0 = 0.0600 > 0.0169 \text{ (Memb:91, LCB: 179, POS: 6.0m, Dir-Z)} \dots \text{O.K.}$$

## 11.4 TRAVI RETICOLARI DI BORDO

### 1. Design Information

Design Code Eurocode3-2:05  
 Unit System kN, m  
 Member No 586  
 Material S355 (No:1)  
 (Fy = 355000, Es = 210000000)  
 Section Name Reticolare\_Correnti (No:6)  
 (Built-up Section).  
 Member Length : 3.00000



### 2. Member Forces

Axial Force Fxx = -90.160 (LCB: 60, POS:3/4)  
 Bending Moments My = -0.9404, Mz = 0.29600  
 End Moments Myi = 0.29246, Myj = 0.01189 (for Ly)  
 Myi = -0.8971, Myj = 0.01189 (for Ly)  
 Mzi = 1.19740, Mzj = 0.73341 (for Lz)  
 Shear Forces Fyy = -1.5428 (LCB: 115, POS:I)  
 Fzz = 2.04553 (LCB: 117, POS:J)

Depth	0.12000	Web Thick	0.00500
Flg Width	0.12000	Top Fl Thick	0.00500
Web Center	0.11500	Bot Fl Thick	0.00500
Area	0.00230	Asz	0.00120
Cyb	0.00496	Czb	0.00496
Iy	0.00001	Izz	0.00001
Ybar	0.06000	Zbar	0.06000
Wely	0.00008	Wetz	0.00008
ry	0.04699	rz	0.04699

### 3. Design Parameters

Unbraced Lengths Ly = 1.50000, Lz = 3.00000, Lb = 3.00000  
 Effective Length Factors Ky = 1.00, Kz = 1.00  
 Equivalent Uniform Moment Factors Cmy = 1.02, Cmz = 0.92, CmLT = 1.00

### 4. Checking Results

#### Axial Resistance

$$N_{Ed}/MIN[N_{c,Rd}, N_{b,Rd}] = 90.160/474.973 = 0.190 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K.}$$

#### Bending Resistance

$$M_{Edy}/M_{Rdy} = 0.9404/33.5560 = 0.028 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K.}$$

$$M_{Edz}/M_{Rdz} = 0.2960/33.5560 = 0.009 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K.}$$

#### Combined Resistance

$$RNRd = MAX[M_{Edy}/M_{ny,Rd}, M_{Edz}/M_{nz,Rd}]$$

$$Rmax1 = (M_{Edy}/M_{ny,Rd})^{\alpha} + (M_{Edz}/M_{nz,Rd})^{\beta}$$

$$R_{oom} = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \gamma_{M0}), R_{bend} = M_{Edy}/M_{y,Rd} + M_{Edz}/M_{z,Rd}$$

$$R_{c\_LT1} = N_{Ed}/(X_{iy} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1})$$

$$R_{b\_LT1} = (k_{yy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i\_LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1}) + (k_{yz} \cdot M_{sdz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \gamma_{M1})$$

$$R_{c\_LT2} = N_{Ed}/(X_{iz} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1})$$

$$R_{b\_LT2} = (k_{zy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i\_LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1}) + (k_{zz} \cdot M_{sdz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \gamma_{M1})$$

$$R_{max} = MAX[RNRd, Rmax1, (R_{oom} + R_{bend}), MAX(R_{c\_LT1} + R_{b\_LT1}, R_{c\_LT2} + R_{b\_LT2})] = 0.218 < 1.000 \dots\dots \text{O.K.}$$

#### Shear Resistance

$$V_{Edy}/V_{y,Rd} = 0.007 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K.}$$

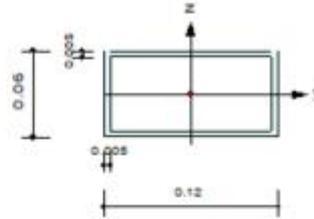
$$V_{Edz}/V_{z,Rd} = 0.009 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K.}$$

### 5. Deflection Checking Results

$$L/200.0 = 0.0150 > 0.0003 \text{ (Memb:586, LCB: 184, POS: 1.9m, Dir-Z)} \dots\dots\dots \text{O.K.}$$

### 1. Design Information

Design Code Eurocode3-2:05  
 Unit System kN, m  
 Member No 1231  
 Material S355 (No:1)  
 (Fy = 355000, Es = 210000000)  
 Section Name Reticolare\_Diagonali (No:7)  
 (Built-up Section)  
 Member Length : 1.92094



### 2. Member Forces

Axial Force Fxx = -52.983 (LCB: 90, POS:J)  
 Bending Moments My = -0.4457, Mz = 1.54261  
 End Moments Myi = 0.13973, Myj = -0.4457 (for Lb)  
 Myi = 0.13973, Myj = -0.4457 (for Ly)  
 Mzi = 0.50035, Mzj = 1.54261 (for Lz)  
 Shear Forces Fyy = -0.7394 (LCB: 58, POS:1/2)  
 Fzz = 0.45788 (LCB: 90, POS:J)

Depth	0.08000	Web Thick	0.00500
Flg Width	0.12000	Top Fl Thick	0.00500
Web Center	0.11500	Bot Fl Thick	0.00500
Area	0.00170	Asz	0.00060
Cyb	0.00196	Czb	0.00324
Iy	0.00000	Izz	0.00000
Ybar	0.00000	Zbar	0.03000
Wely	0.00003	Welz	0.00005
ry	0.02442	rz	0.04295

### 3. Design Parameters

Unbraced Lengths Ly = 1.92094, Lz = 1.92094, Lb = 1.92094  
 Effective Length Factors Ky = 1.00, Kz = 1.00  
 Equivalent Uniform Moment Factors CmY = 0.93, CmZ = 0.86, CmLT = 1.00

### 4. Checking Results

#### Axial Resistance

$$N_{Ed}/\text{MIN}[N_{c,Rd}, N_{b,Rd}] = 52.983/287.009 = 0.185 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K.}$$

#### Bending Resistance

$$M_{Edy}/M_{Rdy} = 0.4457/13.2702 = 0.034 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K.}$$

$$M_{Edz}/M_{Rdz} = 1.5426/21.8917 = 0.070 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K.}$$

#### Combined Resistance

$$RNRd = \text{MAX}[ M_{Edy}/M_{ny,Rd}, M_{Edz}/M_{nz,Rd} ]$$

$$R_{max1} = (M_{Edy}/M_{ny,Rd})^{\text{Alpha}} + (M_{Edz}/M_{nz,Rd})^{\text{Beta}}$$

$$R_{oom} = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M0}), R_{bend} = M_{Edy}/M_{y,Rd} + M_{Edz}/M_{z,Rd}$$

$$R_{c\_LT1} = N_{Ed}/(X_{iy} \cdot A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$$

$$R_{b\_LT1} = (k_{yy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i\_LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1}) + (k_{yz} \cdot M_{sdz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$$

$$R_{c\_LT2} = N_{Ed}/(X_{iz} \cdot A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$$

$$R_{b\_LT2} = (k_{zy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i\_LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1}) + (k_{zz} \cdot M_{sdz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$$

$$R_{max} = \text{MAX}[ RNRd, R_{max1}, (R_{oom} + R_{bend}), \text{MAX}(R_{c\_LT1} + R_{b\_LT1}, R_{c\_LT2} + R_{b\_LT2}) ] = 0.260 < 1.000 \dots\dots \text{O.K.}$$

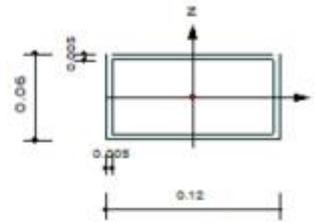
#### Shear Resistance

$$V_{Edy}/V_{y,Rd} = 0.003 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K.}$$

$$V_{Edz}/V_{z,Rd} = 0.004 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K.}$$

### 1. Design Information

Design Code	Eurocode3-2:05
Unit System	kN, m
Member No	1473
Material	S355 (No:1) ( $F_y = 355000$ , $E_s = 210000000$ )
Section Name	Reticolare_Montanti (No:8) (Built-up Section).
Member Length	: 1.20000



### 2. Member Forces

Axial Force	$F_{xx} = -3.2988$ (LCB: 76, POS:I)
Bending Moments	$M_y = -0.0252$ , $M_z = 0.00000$
End Moments	$M_{yi} = -0.0252$ , $M_{yj} = -0.0092$ (for Lb) $M_{zi} = -0.0252$ , $M_{zj} = -0.0092$ (for Ly) $M_{zi} = 0.00000$ , $M_{zj} = 0.00000$ (for Lz)
Shear Forces	$F_{yy} = 0.18558$ (LCB: 122, POS:1/2) $F_{zz} = 0.14997$ (LCB: 107, POS:1/2)

Depth	0.08000	Web Thick	0.00500
Flg Width	0.12000	Top F Thick	0.00500
Web Center	0.11500	Bot.F Thick	0.00500
Area	0.00170	Asz	0.00080
$I_{yy}$	0.00198	$I_{zz}$	0.00324
$I_{yz}$	0.00000	$I_{zz}$	0.00000
$I_{yy}$	0.00000	$I_{zz}$	0.03000
$I_{yz}$	0.00003	$I_{zz}$	0.00005
$I_{yz}$	0.02442	$I_{zz}$	0.04358

### 3. Design Parameters

Unbraced Lengths	$L_y = 1.20000$ , $L_z = 1.20000$ , $L_b = 1.20000$
Effective Length Factors	$K_y = 10.00$ , $K_z = 1.14$
Equivalent Uniform Moment Factors	$C_{my} = 0.87$ , $C_{mz} = 1.00$ , $C_{mLT} = 1.00$

### 4. Checking Results

#### Axial Resistance

$$N_{Ed}/MIN[N_{c,Rd}, N_{b,Rd}] = 3.2988/12.3381 = 0.267 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

#### Bending Resistance

$$M_{Edy}/M_{Rdy} = 0.0252/13.2702 = 0.002 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

$$M_{Edz}/M_{Rdz} = 0.0000/21.8917 = 0.000 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

#### Combined Resistance

$$RNRd = MAX[M_{Edy}/M_{ny,Rd}, M_{Edz}/M_{nz,Rd}]$$

$$R_{oom} = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \Gamma_{M0}), R_{bend} = M_{Edy}/M_{y,Rd} + M_{Edz}/M_{z,Rd}$$

$$R_{c,LT1} = N_{Ed}/(X_{iy} \cdot A \cdot f_y / \Gamma_{M1})$$

$$R_{b,LT1} = (k_{yy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i,LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \Gamma_{M1}) + (k_{yz} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \Gamma_{M1})$$

$$R_{c,LT2} = N_{Ed}/(X_{iz} \cdot A \cdot f_y / \Gamma_{M1})$$

$$R_{b,LT2} = (K_{zy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i,LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \Gamma_{M1}) + (K_{zz} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \Gamma_{M1})$$

$$R_{max} = MAX[RNRd, (R_{oom} + R_{bend}), MAX(R_{c,LT1} + R_{b,LT1}, R_{c,LT2} + R_{b,LT2})] = 0.269 < 1.000 \dots\dots \text{O.K}$$

#### Shear Resistance

$$V_{Edy}/V_{y,Rd} = 0.001 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

$$V_{Edz}/V_{z,Rd} = 0.001 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

### 5. Deflection Checking Results

$$L/150.0 = 0.0080 > 0.0020 \text{ (Memb:1452, LCB: 195, Dir-X)} \dots\dots\dots \text{O.K}$$

## 11.5 CONTROVENTI

I controventi sono realizzati con profili angolari (L80x10) resistenti solo a trazione (gli elementi si instabilizzano quando sono soggetti ad azioni di compressione).

Pertanto la verifica più severa è costituita dalla verifica di resistenza a trazione dell'elemento in corrispondenza della sezione netta indebolita dai fori delle bullonature di collegamento (rottura per *Block Tearing*).

La sollecitazione di verifica è costituita dal doppio della sollecitazione ricavata nel modello FEM (nel quale sono modellati sia gli elementi tesi che quelli compressi).

La verifica è riportata di seguito con riferimento ad uno solo dei due profili angolari che compongono le aste dei controventi.

La resistenza è pari a:

$$N_{u,Rd} = \frac{2,0(e_2 - 0,5d_0)t f_u}{\gamma_{M2}} \quad (\text{collegamento con un solo bullone su una sola ala})$$

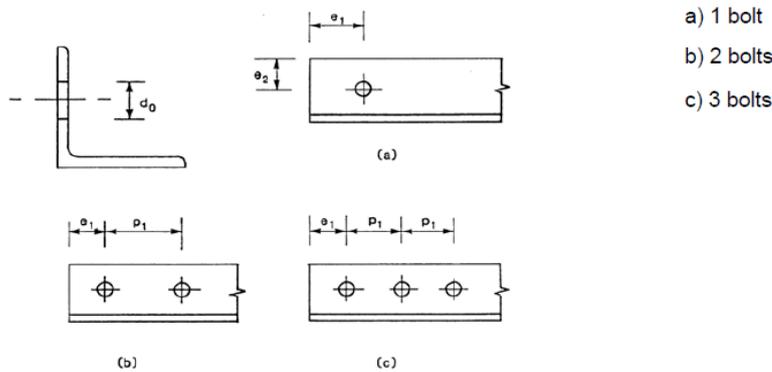
$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (\text{collegamento con due bulloni su una sola ala})$$

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (\text{collegamento con tre bulloni su una sola ala})$$

Dove i coefficienti riduttivi della resistenza ( $\beta_2$  e  $\beta_3$ ) sono dati dalla seguente tabella

**Table 3.8: Reduction factors  $\beta_2$  and  $\beta_3$**

Pitch	$p_1$	$\leq 2,5 d_0$	$\geq 5,0 d_0$
2 bolts	$\beta_2$	0,4	0,7
3 bolts or more	$\beta_3$	0,5	0,7



**Figure 3.9: Angles connected by one leg**

**Resistenza controvento diagonali tesi  
Block Tearing (UNI EN 1993-1-8 §3.10.3)**

<b>Profilo</b>	<b>L80x10</b>	<b>Materiale</b>	<b>S355</b>
h = b =	80 mm	f <sub>y</sub>	355 N/mm <sup>2</sup>
t =	10 mm	f <sub>u</sub>	510 N/mm <sup>2</sup>
r <sub>1</sub> =	10 mm	γ <sub>M2</sub>	<b>1.25</b>
r <sub>2</sub> =	5 mm		
A =	1511 mm <sup>2</sup>		
A <sub>net</sub> =	1341 mm <sup>2</sup>		
G =	11.86 kg/ml		

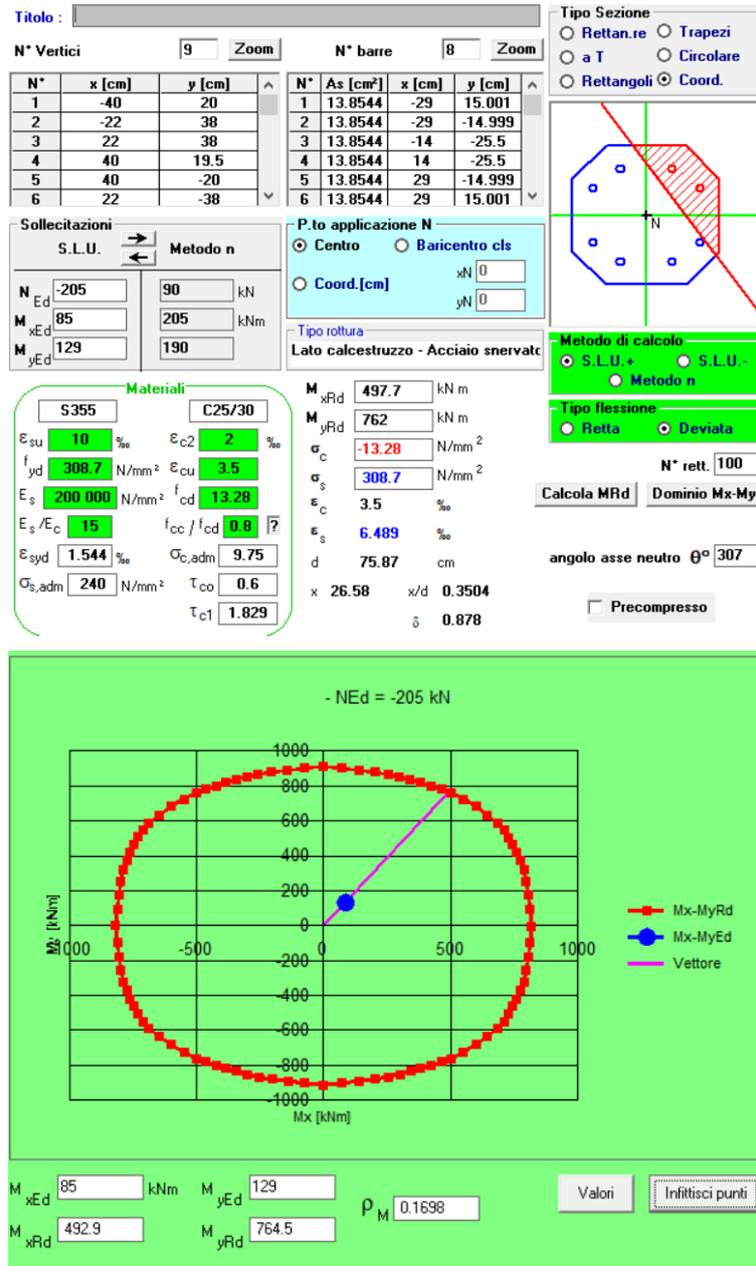
<b>Bulloni</b>	<b>M16</b>	<b>Resistenza</b>	
n° bulloni	<b>3 o più</b>	β <sub>2</sub>	0.550
d0	16 mm	β <sub>3</sub>	0.600
d <sub>0</sub>	17 mm		
e1	<b>25</b> mm	<b>N<sub>U,Rd</sub></b>	<b>328 kN</b>
e2	<b>40</b> mm	<b>N<sub>Ed</sub></b>	<b>110 kN</b>
p1	<b>60</b> mm	<b>C.S</b>	<b>2.98</b>

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

### 11.6PIASTRE DI BASE

Per le verifiche dei tirafondi cautelativamente si adottano le massime sollecitazioni flettenti e la minima sollecitazione di compressione relative agli involuipi SLU di tutte le piastre e tali azioni vengono considerate agenti contemporaneamente su un collegamento.

La verifica di resistenza viene riportata di seguito insieme al dominio di interazione per flessione deviata.



## 12 VERIFICHE GEOTECNICHE

La seguente tabella riporta i valori delle sollecitazioni alla base dei pilastri per le combinazioni di carico più significative.

In particolare si riportano:

- Combinazione che massimizza i momenti flettenti  $M_x$  ed  $M_y$ ;
- Combinazione corrispondente alla massima forza normale (compressione);
- Combinazione corrispondente alla minima forza normale (trazione);
- Combinazioni corrispondenti alle massime eccentricità in direzione  $x$  ed in direzione  $y$  (tenuto conto dell'effetto ricentrante del peso delle fondazioni).

Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN*m)	MY (kN*m)	MZ (kN*m)	$e_y'$ m	$e_x'$ m
1	gSLU_32	-24	4	-6	-6	-83	-18	0.01	<b>-0.43</b>
51	gSLU_40	-1	-23	-156	-67	-3	1	<b>-0.71</b>	-0.03
53	gSLU_44	-1	-2	94	<b>-74</b>	-8	-2	-0.19	-0.03
51	gSLU_113	0	-42	<b>-205</b>	-49	0	0	-1.20	0.00
1	gSLV_1	38	-5	83	20	<b>129</b>	28	0.03	0.52
51	gSLU_85	0	61	<b>281</b>	42	0	0	0.29	0.00

Le verifiche geotecniche sono state condotte con il software Aztec CARL vers. 14.02a.

### 12.1 DATI

#### 12.1.1 Geometria della fondazione

*Simbologia adottata*

*Descrizione* Descrizione della fondazione

*Forma* Forma della fondazione (N=Nastriforme, R=Rettangolare, C=Circolare)

*X* Ascissa del baricentro della fondazione espressa in [m]

*Y* Ordinata del baricentro della fondazione espressa in [m]

*B* Base/Diametro della fondazione espressa in [m]

*L* Lunghezza della fondazione espressa in [m]

*D* Profondità del piano di posa in [m]

$\alpha$  Inclinazione del piano di posa espressa in [°]

$\omega$  Inclinazione del piano campagna espressa in [°]

Descrizione	Forma	X [m]	Y [m]	B [m]	L [m]	D [m]	$\alpha$ [°]	$\omega$ [°]
Fondazione	(R)	0.00	0.00	2.60	3.50	1.50	0.00	0.00

### 12.1.2 Descrizione terreni e falda

*Caratteristiche fisico-meccaniche*

*Simbologia adottata*

*Descrizione* Descrizione terreno

$\gamma$  Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]

$\gamma_{sat}$  Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]

$\phi$  Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi

$\delta$  Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi

$c$  Coesione del terreno espressa in [kPa]

$ca$  Adesione del terreno espressa in [kPa]

Descr	$\gamma$	$\gamma_{sat}$	$\phi$	$\delta$	$c$	$ca$
	[kN/mc]	[kN/mc]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]
LPT1-Limi sabbiosi argillosi	17.500	17.500	21.50	21.50	5.0	1.0
LPT2 Limi argillosi sabbiosi	19.000	19.000	24.00	24.00	10.0	0.0

### 12.1.3 Falda

Profondità dal piano campagna 2.00 [m]

### 12.1.4 Descrizione stratigrafia

*Simbologia adottata*

$n^\circ$  Identificativo strato

Z1 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]

Z2 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]

Z3 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]

*Terreno* Terreno dello strato

$kh$  Coefficiente per calcolo resistenza superfici laterali

Punto di sondaggio n° 1: X = 0.0 [m] Y = 0.0 [m]

Punto di sondaggio n° 2: X = 3.0 [m] Y = 0.0 [m]

Punto di sondaggio n° 3: X = 0.0 [m] Y = 3.0 [m]

$n^\circ$	Z1	Z2	Z3	Terreno	$kh$
	[m]	[m]	[m]		
1	-3.5	-3.5	-3.5	LPT1-Limi sabbiosi argillosi	0.00
2	-21.5	-21.5	-21.5	LPT2 Limi argillosi sabbiosi	0.00

### 12.1.5 Normativa

N.T.C. 2018

### 12.1.6 Condizioni di carico

*Simbologia e convenzioni di segno adottate*

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

*Fondazione* Nome identificativo della fondazione

*N* Sforzo normale totale espressa in [kN]

*Mx* Momento in direzione X espressa in [kNm]

*My* Momento in direzione Y espresso in [kNm]

*ex* Eccentricità del carico lungo X espressa in [m]

*ey* Eccentricità del carico lungo Y espressa in [m]

*β* Inclinazione del taglio nel piano espressa in [°]

*T* Forza di taglio espressa in [kN]

#### Condizione n° 1 - SLU 32

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
	[kN]	[kNm]	[kNm]	[m]	[m]		[kN]
Fondazione	312.000	-2.400	-133.400	-0.4	0.0	-80.5	24.331

#### Condizione n° 2 - SLU 40

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
	[kN]	[kNm]	[kNm]	[m]	[m]		[kN]
Fondazione	162.000	115.300	-5.100	0.0	-0.7	2.5	23.022

#### Condizione n° 3 - SLU 44

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
	[kN]	[kNm]	[kNm]	[m]	[m]		[kN]
Fondazione	412.000	78.200	-10.100	0.0	-0.2	26.6	2.236

#### Condizione n° 4 - SLU 113

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
	[kN]	[kNm]	[kNm]	[m]	[m]		[kN]
Fondazione	113.000	137.200	0.000	0.0	-1.2	0.0	42.000

#### Condizione n° 5 - SLV 01

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
	[kN]	[kNm]	[kNm]	[m]	[m]		[kN]
Fondazione	401.000	-9.500	208.800	0.5	0.0	-82.5	38.328

#### Condizione n° 6 - SLU 85

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
	[kN]	[kNm]	[kNm]	[m]	[m]		[kN]

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	$\beta$	T
	[kN]	[kNm]	[kNm]	[m]	[m]		[kN]
Fondazione	599.000	-170.100	0.000	0.0	0.3	0.0	61.000

### 12.1.7 Opzioni di calcolo

#### Analisi in condizioni drenate

##### Verifica al carico limite

Metodo di calcolo della portanza:

Altezza del cuneo di rottura:

Criterio per il calcolo del macrostrato equivalente:

Riduzione per carico eccentrico:

Meccanismo di punzonamento in presenza di falda.

Riduzione per comportamento a piastra.

Brinch-Hansen

AUTOMATICA

CRITERIO DI MEYERHOF

MEYERHOF

##### Verifica allo scorrimento

Partecipazione spinta passiva terreno di rinfianco:

0.00 (%)

## 12.2 RISULTATI

### 12.2.1 Verifica della portanza per carichi verticali

#### Simbologia adottata

*Cmb* Indice della combinazione

*Fnd* Indice della fondazione

*PF* Rottura per punzonamento in presenza di falda

$q_u$  Portanza ultima, espressa in [kPa]

$q_d$  Portanza di progetto, espressa in [kPa]

$P_u$  Portanza ultima, espressa in [kN]

$P_d$  Portanza di progetto, espressa in [kN]

*V* Carico ortogonale al piano di posa, espresso in [kN]

$\eta$  Fattore di sicurezza a carico limite ( $\eta = P_d/V$ )

Cmb	Fnd	PF	$q_u$	$q_d$	$P_u$	$P_d$	<i>V</i>	$\eta$
			[kPa]	[kPa]	[kN]	[kN]	[kN]	
1	1	SI	372	162	2260.41	982.79	312.00	3.15
2	1	SI	343	149	1805.97	785.20	162.00	4.85
3	1	SI	469	204	3736.14	1624.41	412.00	3.94
4	1	SI	184	80	513.74	223.37	113.00	1.98
5	1	SI	355	154	1908.40	829.74	401.00	2.07
6	1	SI	396	172	3021.44	1313.67	599.00	2.19

#### Caratteristiche terreno e fondazione di progetto

#### Simbologia adottata

*Cmb* Indice della combinazione

*Fnd* Indice della fondazione

*H* Altezza del cuneo di rottura, espressa in [m]

$\gamma$  Peso di volume, espressa in [kN/mc]

$\phi$  Angolo di attrito, espressa in [°]

*c* Coesione, espressa in [kPa]

*G* Modulo di taglio, espresso in [kPa]

*B'* Base ridotta per effetto dell'eccentricità del carico ( $B'=B-2e_x$ ), espressa in [m]

*L'* Lunghezza ridotta per effetto dell'eccentricità del carico ( $L'=L-2e_y$ ), espressa in [m]

*R<sub>ex</sub>* Fattore di riduzione per carico eccentrico lungo X

*R<sub>ey</sub>* Fattore di riduzione per carico eccentrico lungo Y

*I<sub>R</sub>* Indice di rigidezza

*I<sub>RC</sub>* Indice di rigidezza critico

<b>Cmb</b>	<b>Fnd</b>	<b>H</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\phi</math></b>	<b>c</b>	<b>G</b>	<b>B'</b>	<b>L'</b>	<b>R<sub>ex</sub></b>	<b>R<sub>ey</sub></b>	<b>I<sub>c</sub></b>	<b>I<sub>RC</sub></b>
		[m]	[kN/m c]	[°]	[kPa]	[kPa]	[m]	[m]				
1	1	1.92	8.0224	22.06	6	7622	1.74	3.48	--	--	0.87	38.96
2	1	1.92	8.0224	22.06	6	7622	2.54	2.08	--	--	0.77	38.96
3	1	1.92	8.0224	22.06	6	7622	2.55	3.12	--	--	0.99	38.96
4	1	1.92	8.0224	22.06	6	7622	2.60	1.07	--	--	0.45	38.96
5	1	1.92	8.0224	22.06	6	7622	1.56	3.45	--	--	0.85	38.96
6	1	1.92	8.0224	22.06	6	7622	2.60	2.93	--	--	0.84	38.96

*Fattori correttivi verifica capacità portante*

**Combinazione n° 1**

**Fondazione n° 1**

Fattori di capacità portante	N <sub>c</sub> = 16.95	N <sub>q</sub> = 7.87	N <sub>γ</sub> = 7.18
Fattori di forma	S <sub>c</sub> = 1.00	S <sub>q</sub> = 1.00	S <sub>γ</sub> = 1.00
Fattori per effetto del punzonamento	Ψ <sub>c</sub> = 1.00	Ψ <sub>q</sub> = 1.00	Ψ <sub>γ</sub> = 1.00
Fattori di inclinazione del carico	I <sub>c</sub> = 0.87	I <sub>q</sub> = 0.89	I <sub>γ</sub> = 0.82
Fattori di profondità	D <sub>c</sub> = 1.28	D <sub>q</sub> = 1.24	Q <sub>γ</sub> = 1.00
Fattori di inclinazione del piano di posa	B <sub>c</sub> = 1.00	B <sub>q</sub> = 1.00	B <sub>γ</sub> = 1.00
Fattori di inclinazione del pendio	G <sub>c</sub> = 1.00	G <sub>q</sub> = 1.00	G <sub>γ</sub> = 1.00

**Combinazione n° 2**

**Fondazione n° 1**

Fattori di capacità portante	N <sub>c</sub> = 16.95	N <sub>q</sub> = 7.87	N <sub>γ</sub> = 7.18
Fattori di forma	S <sub>c</sub> = 1.00	S <sub>q</sub> = 1.00	S <sub>γ</sub> = 1.00
Fattori per effetto del punzonamento	Ψ <sub>c</sub> = 1.00	Ψ <sub>q</sub> = 1.00	Ψ <sub>γ</sub> = 1.00
Fattori di inclinazione del carico	I <sub>c</sub> = 0.77	I <sub>q</sub> = 0.80	I <sub>γ</sub> = 0.70
Fattori di profondità	D <sub>c</sub> = 1.28	D <sub>q</sub> = 1.24	Q <sub>γ</sub> = 1.00
Fattori di inclinazione del piano di posa	B <sub>c</sub> = 1.00	B <sub>q</sub> = 1.00	B <sub>γ</sub> = 1.00
Fattori di inclinazione del pendio	G <sub>c</sub> = 1.00	G <sub>q</sub> = 1.00	G <sub>γ</sub> = 1.00

**Combinazione n° 3**

**Fondazione n° 1**

Fattori di capacità portante	N <sub>c</sub> = 16.95	N <sub>q</sub> = 7.87	N <sub>γ</sub> = 7.18
Fattori di forma	S <sub>c</sub> = 1.00	S <sub>q</sub> = 1.00	S <sub>γ</sub> = 1.00

Fattori per effetto del punzonamento	$\Psi_c = 1.00$	$\Psi_q = 1.00$	$\Psi_\gamma = 1.00$
Fattori di inclinazione del carico	$I_c = 0.99$	$I_q = 0.99$	$I_\gamma = 0.99$
Fattori di profondità	$D_c = 1.28$	$D_q = 1.24$	$Q_\gamma = 1.00$
Fattori di inclinazione del piano di posa	$B_c = 1.00$	$B_q = 1.00$	$B_\gamma = 1.00$
Fattori di inclinazione del pendio	$G_c = 1.00$	$G_q = 1.00$	$G_\gamma = 1.00$

**Combinazione n° 4**

**Fondazione n° 1**

Fattori di capacità portante	$N_c = 16.95$	$N_q = 7.87$	$N_\gamma = 7.18$
Fattori di forma	$S_c = 1.00$	$S_q = 1.00$	$S_\gamma = 1.00$
Fattori per effetto del punzonamento	$\Psi_c = 1.00$	$\Psi_q = 1.00$	$\Psi_\gamma = 1.00$
Fattori di inclinazione del carico	$I_c = 0.45$	$I_q = 0.52$	$I_\gamma = 0.34$
Fattori di profondità	$D_c = 1.28$	$D_q = 1.24$	$Q_\gamma = 1.00$
Fattori di inclinazione del piano di posa	$B_c = 1.00$	$B_q = 1.00$	$B_\gamma = 1.00$
Fattori di inclinazione del pendio	$G_c = 1.00$	$G_q = 1.00$	$G_\gamma = 1.00$

**Combinazione n° 5**

**Fondazione n° 1**

Fattori di capacità portante	$N_c = 16.95$	$N_q = 7.87$	$N_\gamma = 7.18$
Fattori di forma	$S_c = 1.00$	$S_q = 1.00$	$S_\gamma = 1.00$
Fattori per effetto del punzonamento	$\Psi_c = 1.00$	$\Psi_q = 1.00$	$\Psi_\gamma = 1.00$
Fattori di inclinazione del carico	$I_c = 0.85$	$I_q = 0.87$	$I_\gamma = 0.79$
Fattori di profondità	$D_c = 1.28$	$D_q = 1.24$	$Q_\gamma = 1.00$
Fattori di inclinazione del piano di posa	$B_c = 1.00$	$B_q = 1.00$	$B_\gamma = 1.00$
Fattori di inclinazione del pendio	$G_c = 1.00$	$G_q = 1.00$	$G_\gamma = 1.00$

**Combinazione n° 6**

**Fondazione n° 1**

Fattori di capacità portante	$N_c = 16.95$	$N_q = 7.87$	$N_\gamma = 7.18$
Fattori di forma	$S_c = 1.00$	$S_q = 1.00$	$S_\gamma = 1.00$
Fattori per effetto del punzonamento	$\Psi_c = 1.00$	$\Psi_q = 1.00$	$\Psi_\gamma = 1.00$
Fattori di inclinazione del carico	$I_c = 0.84$	$I_q = 0.86$	$I_\gamma = 0.78$
Fattori di profondità	$D_c = 1.28$	$D_q = 1.24$	$Q_\gamma = 1.00$
Fattori di inclinazione del piano di posa	$B_c = 1.00$	$B_q = 1.00$	$B_\gamma = 1.00$
Fattori di inclinazione del pendio	$G_c = 1.00$	$G_q = 1.00$	$G_\gamma = 1.00$

**12.2.2 Verifica allo scorrimento**

*Simbologia adottata*

*Cmb* Identificativo della combinazione

$R_{ult1}$  Resistenza offerta dal piano di posa per attrito ed adesione espressa in [kN]

$R_{ult2}$  Resistenza passiva offerta dall'affondamento del piano di posa espressa in [kN]

$R_{ult3}$  Resistenza offerta dalle superfici laterali espressa in [kN]

$R$  Somma di  $R_{ult1}$  e  $R_{ult2}$

$R_d$  Resistenza di progetto allo scorrimento espressa in [kN]

$H$  Forza di taglio agente al piano di posa espresso in [kN]

$\eta$  Coeff. di sicurezza allo scorrimento ( $\eta = R_d/H$ )



**NUOVO SVINCOLO AUTOSTRADALE DI VADO LIGURE  
PROGETTO DEFINITIVO**

**FABBRICATI PIAZZALE DI ESAZIONE**

**PENSILINA DI ESAZIONE - RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO**



<b>Cmb</b>	<b>Fnd</b>	<b>R<sub>ult1</sub></b>	<b>R<sub>ult2</sub></b>	<b>R<sub>ult3</sub></b>	<b>R</b>	<b>R<sub>amm</sub></b>	<b>H</b>	<b>η</b>
		<i>[kN]</i>	<i>[kN]</i>	<i>[kN]</i>	<i>[kN]</i>	<i>[kN]</i>	<i>[kN]</i>	
1	1	128.98	0.00	0.00	128.98	117.25	24.33	4.82
2	1	69.08	0.00	0.00	69.08	62.80	23.02	2.73
3	1	170.25	0.00	0.00	170.25	154.77	2.24	69.22
4	1	47.30	0.00	0.00	47.30	43.00	42.00	1.02
5	1	163.34	0.00	0.00	163.34	148.49	38.33	3.87
6	1	243.58	0.00	0.00	243.58	221.43	61.00	3.63