

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

### U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE VARIANTI

### PROGETTO DEFINITIVO

### RADDOPPIO DELLA TRATTA FIUMEFREDDO–GIAMPILIERI

#### Lotto 1: Fiumefreddo (i) – Taormina (i) / Letojanni

#### OPERE PRINCIPALI - PONTI E VIADOTTI

Relazione di calcolo pile e plinti di fondazione P8

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

RS2S 01 D 09 CL VI0205 003 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Aut. Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	Seteco	Genn. 2018	A. Ferri	Genn. 2018	P. Carlesimo	Genn. 2018	A. Vitozzi Genn. 2018

ITALFERR S.p.A.  
U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti  
Dott. Ing. Angela Vitozzi  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma  
N° A20783

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
1.1	SCOPO DEL DOCUMENTO .....	4
1.2	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	4
2	RIFERIMENTI NORMATIVI .....	9
3	MATERIALI .....	9
3.1	CALCESTRUZZO .....	9
3.2	ACCIAIO PER STRUTTURE IN CONGLOMERATO CEMENTIZIO .....	10
4	GEOMETRIA DELLE SPALLE E SISTEMA DI RIFERIMENTO .....	10
5	ANALISI DEI CARICHI .....	12
5.1	CARICHI PERMANENTI .....	12
5.1.1	<i>Peso proprio pila e fondazione.....</i>	<i>12</i>
5.1.2	<i>Carichi permanenti trasmessi dall'impalcato di 40 m .....</i>	<i>12</i>
5.1.3	<i>Carichi permanenti trasmessi dal ponte da 120 m.....</i>	<i>13</i>
5.2	CARICHI VERTICALI DA TRAFFICO .....	13
5.3	AZIONI ORIZZONTALI DA TRAFFICO (FRENATURA/AVVIAMENTO, CENTRIFUGA, SERPEGGIO) .....	15
5.4	CARICO DA VENTO.....	16
5.5	AZIONE SISMICA .....	19
5.6	RIEPILOGO DEI CARICHI TRASMESSI DALL'IMPALCATO.....	21
5.7	FORZE INERZIALI .....	22
6	COMBINAZIONE DEI CARICHI .....	23
6.1	COEFFICIENTI PER LE COMBINAZIONI DI CARICO – SLU.....	26
6.2	COEFFICIENTI PER LE COMBINAZIONI DI CARICO – SISMA .....	27
6.3	COEFFICIENTI PER COMBINAZIONI – SLE.....	30
7	ANALISI MODALE .....	32
8	VERIFICHE FUSTO PILA .....	39

RELAZIONE DI CALCOLO PILA P8

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D 09 CL	VI 02 05 003	A	3 di 83

8.1	FUSTO DI PILA SEZIONE 2 .....	40
8.1.1	<i>Sollecitazioni a quota estradosso fondazioni (sezione 2) .....</i>	40
8.1.2	<i>Verifiche a pressoflessione alla base.....</i>	43
8.1.3	<i>Verifiche a taglio alla base.....</i>	46
8.1.4	<i>Verifiche agli SLE .....</i>	55
8.2	FUSTO DI PILA SEZIONE 1 .....	57
8.2.1	<i>Sollecitazioni a quota estradosso fondazioni (sezione 1) .....</i>	57
8.2.2	<i>Verifiche a pressoflessione .....</i>	59
8.2.3	<i>Verifiche a taglio alla base.....</i>	62
8.2.4	<i>Verifiche agli SLE .....</i>	70
9	AZIONI ALLA BASE DEL FUSTO .....	72
10	VERIFICHE PLINTO PILA .....	75
10.1.1	<i>Calcolo delle pressioni di contatto a quota intradosso plinto.....</i>	75
10.1.2	<i>Verifiche strutturali plinto.....</i>	77

## 1 PREMESSA

### 1.1 Scopo del documento

La presente relazione ha per oggetto il dimensionamento e le verifiche di resistenza secondo il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite (S.L.) della pila 8 del viadotto ferroviario VI02 della tratta ferroviaria Fiumefreddo - Giampileri, viadotto ferroviario previsto dal progetto definitivo per il raddoppio di tale linea.

Per le ipotesi assunte nel calcolo si rimanda alla parte generale della relazione di calcolo, di cui la presente costituisce un allegato, e alla parte relativa alla sovrastruttura.

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate secondo il DM 14 gennaio 2008.

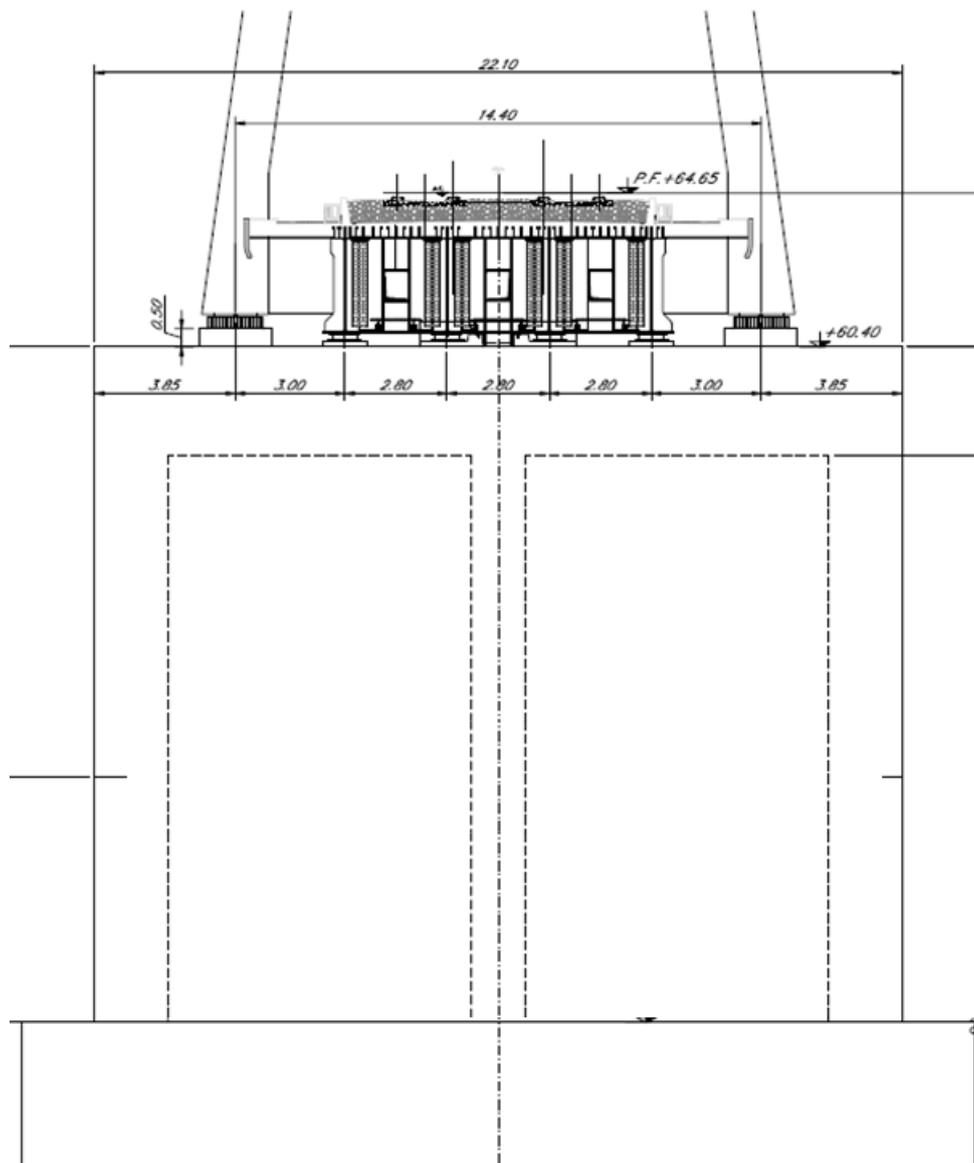
### 1.2 Descrizione dell'opera

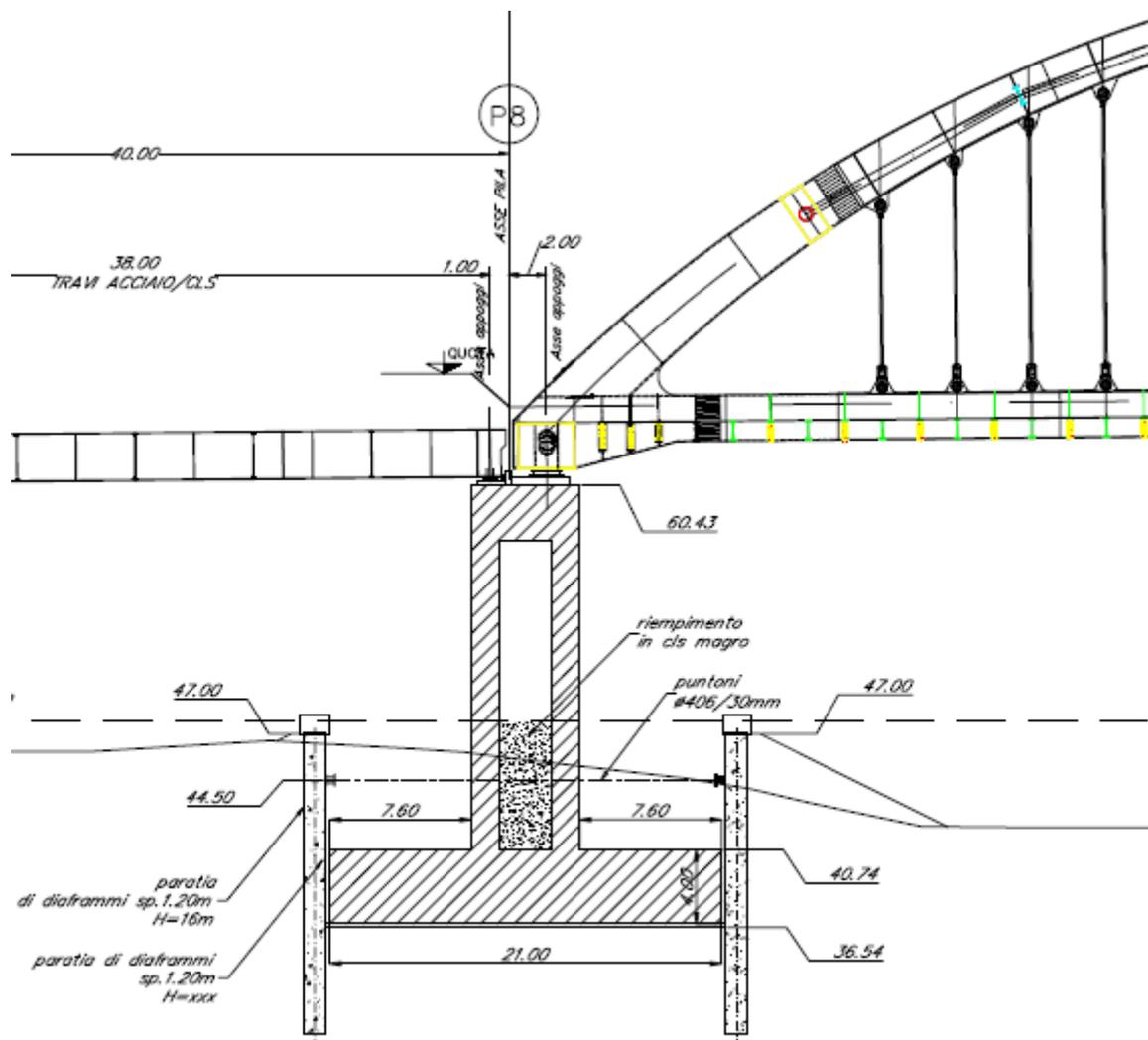
L'opera in oggetto è costituita da un plinto di fondazione e da un fusto di.

La base della pila è costituita da un plinto spesso 4 m e presenta dimensioni in pianta pari a 21.0 mx 23.8 m. questo elemento è fondato su una fondazione a pozzo.

Le pile oggetto di studio sono costituite da un singolo fusto a sezione rettangolare 22.1 x 5.8 m. La sezione della pila è tricellulare con spessore in una direzione di 1.5 metri e nell'altra 2 metri, il setto centrale è di spessore 1.5 metri. Questa geometria è mantenuta costante per tutta l'altezza del fusto.

Nella parte sommitale del fusto è presente un pulvino di spessore 3 metri che esternamente segue la geometria del fusto. Su questo elemento sono disposti gli apparecchi di appoggio e i ritegni sismici dei due impalcati: impalcato a struttura mista acciaio calcestruzzo di luce 40 metri; impalcato ad arco interamente in acciaio di luce 120 metri.







Nella tabella seguente si riassume come la tipologia di apparecchi di appoggio per ogni impalcato.

Impalcato luce 40 m	
Numero appoggi	4
Appoggio 1 – di estremità lato binario pari	Appoggio mobile
Appoggio 2 – centrale lato binario pari	Appoggio mobile
Appoggio 3 – centrale lato binario dispari	Appoggio unidirezionale (scorrevole in senso longitudinale)
Appoggio 4 – di estremità lato binario dispari	Appoggio mobile
Impalcato 120 m (ponte ad arco a via inferiore)	
Numero appoggi	2
Appoggio 1 – di estremità lato binario pari	Appoggio fisso
Appoggio 2 – di estremità lato binario dispari	Appoggio unidirezionale (scorrevole in senso trasversale)

## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

- Legge 5 novembre 1971 n. 1086 - Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica;
- D. M. Min. II. TT. del 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni;
- CIRCOLARE 2 febbraio 2009 , n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008.
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 A Manuale di progettazione delle opere civili (Parte II – Sezione 2 – Ponti e strutture)
- UNI ENV 1998-5 (Eurocodice 8) – Gennaio 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”;
- EUROCODICE 2- UNI EN 1992-1-1 Novembre 2005

## 3 MATERIALI

### 3.1 Calcestruzzo

**Calcestruzzo classe C25/30** (impiegato per i pali di fondazione e per la zattera di fondazione delle pile)

$$f_{ck}=30 \times 0.83 = 24.90 \text{ MPa}$$

$$f_{cm}= f_{ck}+8 =32.90 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm}= 0.3 \times f_{ck}^{2/3} =2.56 \text{ MPa}$$

$$E_{cm}=31447.16 \text{ MPa} \approx 31 \text{ GPa}$$

**Calcestruzzo classe C32/40** (impiegato per il fusto delle pile e per le spalle)

$$f_{ck}=40 \times 0.83 = 33.2 \text{ MPa}$$

$$f_{cm}= f_{ck}+8 = 41.2 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm}= 0.3 \times f_{ck}^{2/3} = 3.57 \text{ MPa}$$

$$E_{cm}=32836.0 \text{ MPa} \approx 33 \text{ GPa}$$

### 3.2 Acciaio per strutture in conglomerato cementizio

Tipo di acciaio

**B450C**

Peso per unità di volume

$$\gamma = 78.5 \text{ kN/m}^3$$

Tensione caratteristica di snervamento

$$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$$

Tensione caratteristica a rottura

$$f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$$

Tensione di calcolo a snervamento

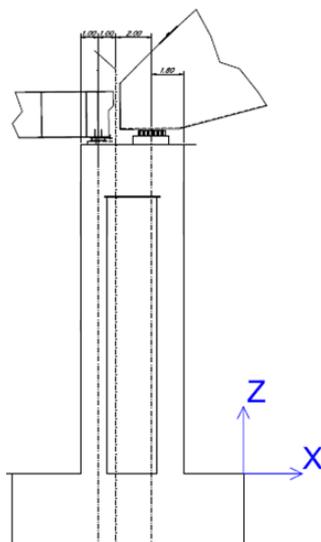
$$f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2 \quad f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$$

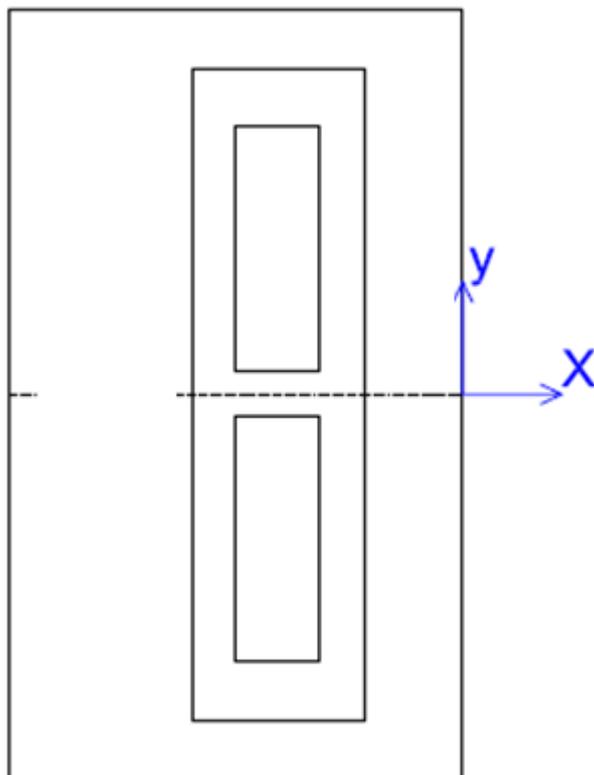
Coefficiente parziale di sicurezza

$$\gamma_s = 1.15$$

### 4 GEOMETRIA DELLE SPALLE E SISTEMA DI RIFERIMENTO

Di seguito è indicato uno schema qualitativo della geometria della pila, utile alla lettura della tabella successiva. I dati presenti in tabella, indicanti il peso di ciascun elemento costituente, fanno riferimento all'effettiva carpenteria della spalla come definita negli elaborati grafici.





Descrizione	Quantità	Lx	Ly	Lz	Volume [m3]	$\gamma$ [KN/m3]	Peso singolo elemento [KN]	Peso totale [KN]
Pulvino	1	5.8	22.1	3.0	385.2	25.0	-9630.1	-9630.1
	Quantità	Area		Lz	Volume [m3]	$\gamma$ [KN/m3]	Peso singolo elemento [KN]	Peso totale [KN]
Fusto	1	81.7		16.7	1364.4	25.0	-34109.8	-34109.8
Fusto - porzione superiore	1	81.7		8.4	682.2	25.0	-17054.9	-17054.9

## 5 ANALISI DEI CARICHI

L'analisi dei carichi gravanti sulla pila è stata effettuata considerando le azioni provenienti dagli impalcato e le azioni direttamente applicate alla pila.

I carichi dovuti all'impalcato sono relativi alle condizioni di carico elementari, combinate secondo quanto previsto dalla vigente Normativa ferroviaria e tecnica. Si precisa che la scelta della dislocazione del traffico ferroviario sull'impalcato è stata effettuata con il fine di massimizzare le azioni verticali, flessionali e di taglio sulla pila e sulle fondazioni.

Per una più dettagliata analisi dei carichi precedentemente citati si rimanda alla relazione dell'impalcato del viadotto ferroviario VI.02.

Nei paragrafi successivi si riporta la valutazione dei carichi elementari agenti sulla pila.

### 5.1 Carichi permanenti

#### 5.1.1 *Peso proprio pila e fondazione*

Nei carichi permanenti strutturali sono compresi il peso proprio della pila e della fondazione (calcolati considerando un peso specifico del calcestruzzo di  $25 \text{ kN/m}^3$ ). I pesi così calcolati sono già stati riportati in precedenza.

#### 5.1.2 *Carichi permanenti trasmessi dall'impalcato di 40 m*

Di seguito si riportano le risultanti dei carichi permanenti strutturali e non strutturali trasmessi al piano appoggi dall'impalcato in corrispondenza del lato fisso con gli appoggi fissi. I seguenti carichi non sono combinati con alcun coefficiente.

	Fz	Mx
	[kN]	[kNm]
G1 impalcato	-3980	0
G2 impalcato	-3969	1
<i>Da applicare al baricentro degli appoggi</i>		

### 5.1.3 Carichi permanenti trasmessi dal ponte da 120 m

Di seguito si riportano le risultanti dei carichi permanenti strutturali e non strutturali trasmessi al piano appoggi dall'impalcato in corrispondenza del lato fisso con gli appoggi fissi. I seguenti carichi non sono combinati con alcun coefficiente.

	Fz	Mx
	[kN]	[kNm]
G1 impalcato	-10337	10
G2 impalcato	-46389	11
<i>Da applicare al baricentro degli appoggi</i>		

### 5.2 Carichi verticali da traffico

La spalla è stata progettata considerando le massime sollecitazioni dovute al carico da traffico (modelli LM71 e/o SW/2) trasmesse dall'impalcato, ipotizzando la contemporaneità della massima risultante verticale ed il massimo momento trasversale risultante sul piano appoggi. Considerando anche la possibile contemporaneità dei carichi su entrambi i binari.

Per la descrizione dei modelli di carico da traffico, della ripartizione trasversale e longitudinale degli stessi si rimanda agli elaborati di calcolo degli impalcato.

Di seguito si riportano le massime azioni dei carichi da traffico, nel caso di impalcato da 40 e 120 metri rispettivamente.

IMPALCATO 40 metri	LM71PdxM01			
	Nodo	Fx	Fy	Fz
		[kN]	[kN]	[kN]
4015*	0	0	-27.581	
4115*	0	41.382	456.397	
4315*	0	0	1062.417	
4415*	0	0	746.688	

\*4015, 4315 e 4415 appoggi multi-direzionali esterni, 4115 appoggio unidirezionale interno

IMPALCATO 40 metri	SW2DM01		
Nodo	Fx	Fy	Fz
	[kN]	[kN]	[kN]
4015	0	0	940.774
4115	0	-35.305	1093.78
4315	0	0	606.061
4415	0	0	-74.996

IMPALCATO 120 metri	LM71D_EMIM03		
Nodo	Fx	Fy	Fz
	[kN]	[kN]	[kN]
7017*	255.49	0	3743.08
7617*	-255.49	29.51	1961.7

\*7017 appoggio unidirezionale, 7617 appoggio fisso

IMPALCATO 120 metri	SW2PM01		
Nodo	Fx	Fy	Fz
	[kN]	[kN]	[kN]
7017*	-291.68	0	1894.34
7617*	291.68	-33.69	3891.91

In questo caso è stata considerata la contemporanea presenza sui due binari di un LM71 e di un SW02 che determinano i seguenti carichi (riferiti al punto medio degli appoggi):

IMPALCATO 40 metri	Fy	Fz	Mx
	[kN]	[kN]	[kNm]
LM71 +SW02	-6.1	-4803.5	-848.7

IMPALCATO 120 metri	Fy	Fz	Mx
	[kN]	[kN]	[kNm]
LM71 +SW02	4	-11491	-1362

### 5.3 Azioni orizzontali da traffico (frenatura/avviamento, centrifuga, serpeggio)

L'azione laterale associata al serpeggio equivale ad una forza concentrata agente orizzontalmente, applicata alla sommità della rotaia più alta, perpendicolarmente all'asse del binario. Considerando l'effetto contemporaneo dei due modelli (LM71 e SW02) di carico si assume un valore massimo orizzontale di 210 kN.

#### 5.4 Carico da vento

Il calcolo dell'azione del vento segue quanto indicato nel NTC 2008 al cap. 3.3. Per il calcolo della pressione cinetica ci si è riferiti a una quota da terra pari alla quota della metà della barriera laterale.

#### AZIONE DEL VENTO SECONDO DM 2008

#### CALCOLO VELOCITA' DI RIFERIMENTO

Zona di riferimento		4	
Altezza slm	$a_s$	50.0	m
Velocità base riferimento slm	$v_{b,0}$	28	m/s
	$a_0$	500	m
	$k_a$	0.02	
Velocità base riferimento	$v_b$	28.0	m/s
Densità dell'aria	$\rho$	1.25	kg/m <sup>3</sup>
Tempo di ritorno	$T_r$	75	anni
Coefficiente di ritorno	$\alpha_r$	1.02	
Velocità di riferimento progetto	$v_b(T_r)$	28.7	m/s
Pressione critica di riferimento	$q_b$	513.3	N/m <sup>2</sup>

RELAZIONE DI CALCOLO PILA P8

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D 09 CL	VI 02 05 003	A	17 di 83

CALCOLO PRESSIONE CINETICA MINIMA

Classe di rugosità		D	
Categoria di esposizione		2	
	$k_r$	0.19	
	$z_0$	0.05	m
	$z_{min}$	4.00	m
Coefficiente di topografia	$c_t(z)$	1	
	$c_t(z_{min})$	1	
Altezza da terra	$z$	13	< 200 m
		( $Z_{min}=4$ )	
Coefficiente dinamico	$c_d$	1.00	
Coefficiente di esposizione	$c_e$	2.55	
Rapporto superficie/parte piena	$\phi (>0)$	1	
Coefficiente areodinamico	$c_p$	1.4	
<b>Pressione cinetica</b>	<b><math>q_{p\_min}(z)</math></b>	<b>1.8</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>

Le forze risultanti dovute all'azione del vento trasversale agente sull'impalcato, trasmesso da quest'ultimo al piano appoggi in sommità del muro di testata sono pari a:

Impalcato 40 m	VENTOdx		
Nodo	Fx	Fy	Fz
	[kN]	[kN]	[kN]
4001	0	0	413.57
4101	0	554.03	-121.38
4301	0	0	-92.91
4401	0	0	-199.28

Impalcato 120 m	VENTO CC:2		
Nodo	Fx	Fy	Fz
	[kN]	[kN]	[kN]
7017	0	0	817.647
7617	0	1997.699	-817.647

Riportando i seguenti carichi al centro degli appoggi:

Impalcato 40 m	Fy	Mx
	[kN]	[kNm]
Vento	554.028	2534.095

Impalcato 120 m	Fy	Mx
	[kN]	[kNm]
Vento	1997.9	-10303

## 5.5 Azione sismica

La pericolosità sismica di base è stata definita sulla base delle coordinate geografiche del sito di realizzazione dell'opera:

*Longitudine: 15.24579*

*Latitudine: 37.81825*

I parametri utilizzati per la definizione dell'azione sismica sono riportati di seguito.

*Classe d'uso: III*

*Coefficiente d'uso  $CU = 1.5$*

*Vita nominale  $VN = 75$ anni*

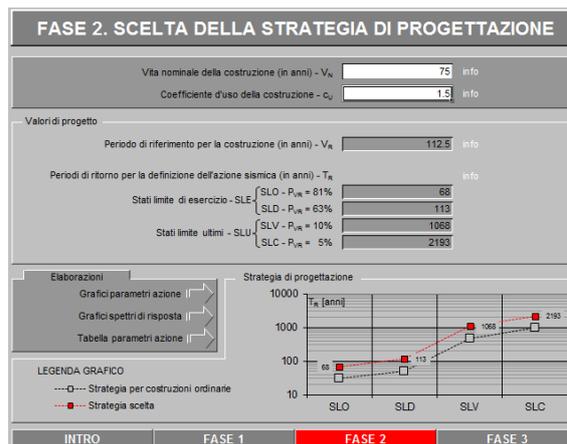
*Categoria di suolo: B*

*Condizione topografica: T1*

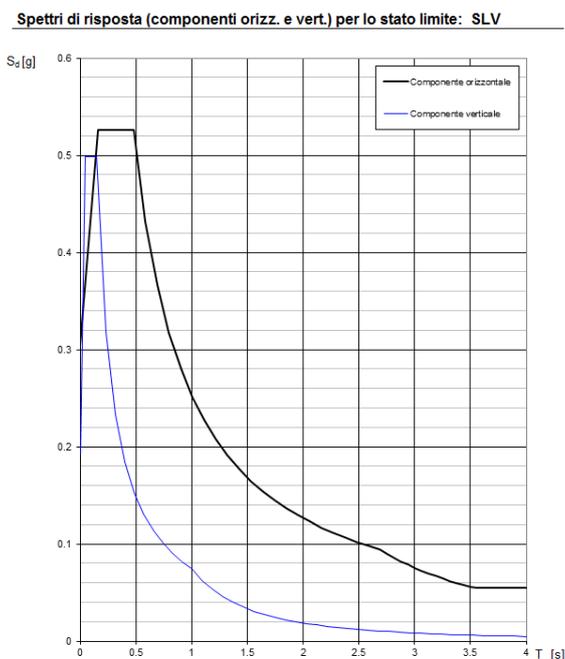
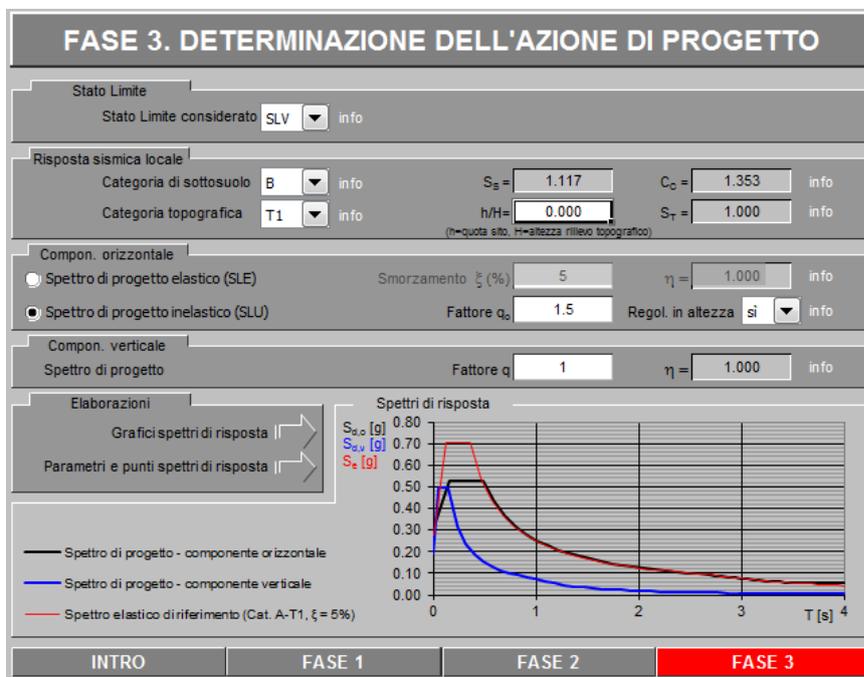
*Fattore di struttura  $q = 1.5$*

L'azione sismica è stata calcolata per mezzo del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3 messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

I parametri per la determinazione dei punti dello spettro di risposta orizzontale e verticale sono riportati :



Di seguito si riportano gli spettri di risposta orizzontale e verticale allo Stato limite di salvaguardia della vita SLV utilizzati per il calcolo dell'azione sismica.



**Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato linSLV**

Parametri indipendenti		Punti dello spettro di risposta	
STATO LIMITE	SLV	T [s]	$S_d$ [g]
$a_s$	0.273 g	0.000	0.305
$F_s$	2.583	0.160	0.526
$T_c$	0.395 s	0.481	0.526
$S_B$	1.117	0.588	0.432
$C_0$	1.353	0.591	0.286
$S_T$	1.000	0.796	0.318
$q$	1.500	0.902	0.280
		1.007	0.251
		1.112	0.227
		1.218	0.208
		1.323	0.191
		1.428	0.177
		1.533	0.165
		1.639	0.154
		1.744	0.145
		1.849	0.137
		1.955	0.129
		2.060	0.123
		2.165	0.117
		2.270	0.111
		2.376	0.106
		2.481	0.102
		2.586	0.098
		2.692	0.094
		2.794	0.090
		2.816	0.086
		2.878	0.082
		2.941	0.079
		3.003	0.075
		3.065	0.072
		3.128	0.070
		3.190	0.067
		3.252	0.064
		3.315	0.062
		3.377	0.060
		3.438	0.058
		3.502	0.056
		3.564	0.055
		3.626	0.055
		3.688	0.055
		3.751	0.055
		3.813	0.055
		3.875	0.055
		3.938	0.055
		4.000	0.055

Parametri dipendenti	
$S$	1.117
$\eta$	0.667
$T_a$	0.160 s
$T_c$	0.481 s
$T_0$	2.692 s

Espressioni dei parametri dipendenti	
$S = S_B \cdot S_T$	(NTC-08 Eq. 3.2.5)
$\eta = \sqrt{10 \cdot (5 + \xi)} \geq 0.55; \eta \leq 1 \cdot q$	(NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)
$T_a = T_c / 3$	(NTC-07 Eq. 3.2.8)
$T_c = C_0 \cdot T_c$	(NTC-07 Eq. 3.2.7)
$T_0 = 4 \cdot 0 \cdot a_s / g + 1,6$	(NTC-07 Eq. 3.2.9)

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)	
$0 \leq T < T_a$	$S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot E \cdot \left[ \frac{T}{T_a} + 1 - \frac{T}{T_c} \right]$
$T_a \leq T < T_c$	$S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot E$
$T_c \leq T < T_0$	$S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot E \cdot \left( \frac{T_c}{T} \right)$
$T_0 \leq T$	$S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot E \cdot \left( \frac{T_c \cdot T_0}{T} \right)$

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

Con tale azione sismica agente, le forze risultanti trasmesse dall'impalcato al piano appoggi della spalla in corrispondenza della sommità del muro di testata sono riportate al paragrafo successivo, sotto le voci Ex, Ey ed Ez.

## 5.6 Riepilogo dei carichi trasmessi dall'impalcato

Sono qui riassunte tutte le azioni trasmesse dagli impalcati alla pila in corrispondenza del piano appoggi alla quota di sommità del pulvino.

Elemento		Componenti risultante			
		Fy [kN]	Fx [kN]	Fz [kN]	Mx_appoggi
Azioni da impalcato 120m (arco)	Permanenti impalcato G1	-1	0	-10337	10
	Permanenti impalcato G2	-1	0	-46389	11
	Frenatura/Avviamento	-1	5280	-49	0
	Vento trasversale	2141	0	0	-11674
	Sovraccarico accidentale	4	0	-11491	-1362
	Azione centrifuga	0	0	0	0
	Resistenze parassite	0	2046	0	0
	Azioni laterali (serpeggio)	210	0	0	1
Sisma x - impalcato 120 m (arco)	Ex	748	17018	7036	755
Sisma y - impalcato 120 m (arco)	Ey	8203	12448	8215	-319
Sisma z - impalcato 120 m (arco)	Ez	261	5963	2953	264
Azioni da impalcato 40 m	Permanenti impalcato G1	0	0	-3980	0
	Permanenti impalcato G2	0	0	-3969	1
	Frenatura/Avviamento	-84	0	67	-169
	Vento trasversale	554	0	0	2534
	Sovraccarico accidentale	-6	0	-4804	-849
	Azione centrifuga	0	0	0	0
	Resistenze parassite	0	383	0	0
	Azioni laterali (serpeggio)	210	0	0	1
Sisma x - impalcato 40 m	Ex	0	0	0	0
Sisma y - impalcato 40 m	Ey	3930	0	4879	4684
Sisma z - impalcato 40 m	Ez	47	0	1787	6

## 5.7 Forze inerziali

In condizione sismica si devono considerare le azioni orizzontali e verticali agenti sulla pila dovute all'inerzia delle parti in calcestruzzo. Le risultanti orizzontali e verticali sono rispettivamente pari ad  $F_h=k_h \cdot W$  e  $F_v=k_v \cdot W$ , dove i coefficienti  $k_h$  e  $k_v$  sono calcolati come esposto al paragrafo 7.11.6 delle NTC08 risultando pari a  $k_h=\beta_m \cdot a_{max}/g$ ,  $k_v=\pm 0.5k_h$  con  $a_{max}=S_s \cdot S_t \cdot a_g$ .

Coefficienti $K_h$ e $K_v$		
$K_h$	0.304	[-]
$K_v$	0.152	[-]

Forze inerziali dovute al sisma			
$F_{h,fusto}=k_h W_{fusto}$	Forza d'inerzia orizzontale del fusto	10401.46	kN
$F_{v,fusto}=k_v W_{fusto}$	Forza d'inerzia verticale del fusto	5200.73	kN
$F_{h,fusto}=k_h W_{fusto,s}$	Forza d'inerzia orizzontale del fusto superiore	5200.73	kN
$F_{v,fusto}=k_v W_{fusto,s}$	Forza d'inerzia verticale del fusto superiore	2600.37	kN
$F_{h,fusto}=k_h W_{fusto}$	Forza d'inerzia orizzontale del pulvino	2936.60	kN
$F_{v,fusto}=k_v W_{fusto}$	Forza d'inerzia verticale del pulvino	1468.30	kN

## 6 COMBINAZIONE DEI CARICHI

Le verifiche di sicurezza strutturali sono state condotte utilizzando combinazioni di carico definite in ottemperanza alle NTC08, secondo quanto riportato nei paragrafi 2.5.3, 5.1.3.12. Di seguito sono mostrati i coefficienti parziali di sicurezza utilizzati allo SLU e i coefficienti di combinazione adoperati per i carichi variabili nella progettazione delle strutture da ponte.

### 2.5.3 COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto  $A_d$  (v. § 3.6):

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.6)$$

Nelle combinazioni per SLE, si intende che vengono omissi i carichi  $Q_{kj}$  che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi  $G_2$ .

		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	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	gr1	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	gr2	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
	gr3	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	gr4	1,00	1,00 <sup>(1)</sup>	0,0
Azioni del vento	$F_{Wk}$	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	$T_k$	0,60	0,60	0,50

(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) 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.

	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.

Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo in conto le masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

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

assumendo  $\psi_{2j} = 0,2$  per i carichi dovuti al transito dei mezzi.

## 6.1 Coefficienti per le combinazioni di carico – SLU

Nella seguente tabella sono esposti i coefficienti per le combinazioni agli stati limite ultimo, nel caso di SLU 1 si considerano tutti i contributi massimi dei due impalcati nel caso di SLU2, si suppone che le azioni verticali dell'impalcato da 40 metri siano favorevoli per la verifica di alcuni elementi della pila (verifica presso flessione fusto).

Elemento	Coefficienti per combinazioni		
	SLU 1	SLU 2	
Peso proprio	Fusto	1,35	1
	Pulvino	1,35	1
	Ringrosso laterale ( $y < 0$ )	1,35	1
	Ringrosso laterale ( $y > 0$ )	1,35	1
	Tamponatura laterale ( $y < 0$ )	1,35	1
	Tamponatura laterale ( $y > 0$ )	1,35	1
	Chiusura superiore	1,35	1
	Muro chiusura posteriore	1,35	1
	Platea	1,35	1
Inerzia x spalla	Fusto	0	0
	Pulvino	0	0
	Ringrosso laterale ( $y < 0$ )	0	0
	Ringrosso laterale ( $y > 0$ )	0	0
	Tamponatura laterale ( $y < 0$ )	0	0
	Tamponatura laterale ( $y > 0$ )	0	0
	Chiusura superiore	0	0
	Muro chiusura posteriore	0	0
	Platea	0	0
Inerzia y spalla	Fusto	0	0
	Pulvino	0	0
	Ringrosso laterale ( $y < 0$ )	0	0
	Ringrosso laterale ( $y > 0$ )	0	0
	Tamponatura laterale ( $y < 0$ )	0	0
	Tamponatura laterale ( $y > 0$ )	0	0
	Chiusura superiore	0	0
	Muro chiusura posteriore	0	0
	Platea	0	0
Inerzia z spalla	Fusto	0	0
	Pulvino	0	0
	Ringrosso laterale ( $y < 0$ )	0	0
	Ringrosso laterale ( $y > 0$ )	0	0
	Tamponatura laterale ( $y < 0$ )	0	0
	Tamponatura laterale ( $y > 0$ )	0	0
	Chiusura superiore	0	0
	Muro chiusura posteriore	0	0
	Platea	0	0
Vento sul fusto della pila	V <sub>y</sub>	0,9	0,9
Azioni da impalcato 120m (arco)	Permanenti impalcato G1	1,35	1,35
	Permanenti impalcato G2	1,5	1,5
	Frenatura/Avviamento	1,45	1,45
	Vento trasversale	0,9	0,9
	Sovraccarico accidentale	1,45	1,45
	Azione centrifuga	0,73	0,73
	Resistenze parassite	0,9	0,9
	Azioni laterali (serpeggio)	0,73	0,73
	Sisma x - impalcato 120 m (arco)	E <sub>x</sub>	0
Sisma y - impalcato 120 m (arco)	E <sub>y</sub>	0	0
Sisma z - impalcato 120 m (arco)	E <sub>z</sub>	0	0
Azioni da impalcato 40 m	Permanenti impalcato G1	1,35	1
	Permanenti impalcato G2	1,5	0
	Frenatura/Avviamento	1,45	0
	Vento trasversale	0,9	0,9
	Sovraccarico accidentale	1,45	0
	Azione centrifuga	0,73	0
	Resistenze parassite	0,9	0
	Azioni laterali (serpeggio)	0,73	0
	Sisma x - impalcato 40 m	E <sub>x</sub>	0
Sisma y - impalcato 40 m	E <sub>y</sub>	0	0
Sisma z - impalcato 40 m	E <sub>z</sub>	0	0

## 6.2 Coefficienti per le combinazioni di carico – sisma

Nel caso in cui l'azione nella direzione x sia prevalente i coefficienti e le combinazioni sono i seguenti:

Elemento		$E_x+0.3E_y+0.3E_z(\text{verso alto})$	$E_x+0.3E_y-0.3E_z(\text{verso basso})$	$(-)E_x+0.3E_y+0.3E_z(\text{verso alto})$	$(-)E_x+0.3E_y-0.3E_z(\text{verso basso})$
Peso proprio	Fusto	1	1	1	1
	Pulvino	1	1	1	1
	Pioggioso laterale ( $\mu < 0$ )	1	1	1	1
	Pioggioso laterale ( $\mu > 0$ )	1	1	1	1
	Tamponatura laterale ( $\mu < 0$ )	1	1	1	1
	Tamponatura laterale ( $\mu > 0$ )	1	1	1	1
	Chiusura superiore	1	1	1	1
	Muro chiusura posteriore	1	1	1	1
	Platea	1	1	1	1
	Inerzia x spalla	Fusto	1	1	-1
Pulvino		1	1	-1	-1
Pioggioso laterale ( $\mu < 0$ )		1	1	-1	-1
Pioggioso laterale ( $\mu > 0$ )		1	1	-1	-1
Tamponatura laterale ( $\mu < 0$ )		1	1	-1	-1
Tamponatura laterale ( $\mu > 0$ )		1	1	-1	-1
Chiusura superiore		1	1	-1	-1
Muro chiusura posteriore		1	1	-1	-1
Platea		1	1	-1	-1
Inerzia y spalla		Fusto	0.3	0.3	0.3
	Pulvino	0.3	0.3	0.3	0.3
	Pioggioso laterale ( $\mu < 0$ )	0.3	0.3	0.3	0.3
	Pioggioso laterale ( $\mu > 0$ )	0.3	0.3	0.3	0.3
	Tamponatura laterale ( $\mu < 0$ )	0.3	0.3	0.3	0.3
	Tamponatura laterale ( $\mu > 0$ )	0.3	0.3	0.3	0.3
	Chiusura superiore	0.3	0.3	0.3	0.3
	Muro chiusura posteriore	0.3	0.3	0.3	0.3
	Platea	0.3	0.3	0.3	0.3
	Inerzia z spalla	Fusto	0.3	-0.3	0.3
Pulvino		0.3	-0.3	0.3	-0.3
Pioggioso laterale ( $\mu < 0$ )		0.3	-0.3	0.3	-0.3
Pioggioso laterale ( $\mu > 0$ )		0.3	-0.3	0.3	-0.3
Tamponatura laterale ( $\mu < 0$ )		0.3	-0.3	0.3	-0.3
Tamponatura laterale ( $\mu > 0$ )		0.3	-0.3	0.3	-0.3
Chiusura superiore		0.3	-0.3	0.3	-0.3
Muro chiusura posteriore		0.3	-0.3	0.3	-0.3
Platea		0.3	-0.3	0.3	-0.3
Vento sul fusto della pila		Vy	0	0	0
Azioni da impalcato 120m (arco)	Permanenti impalcato G1	1	1	1	1
	Permanenti impalcato G2	1	1	1	1
	Frenatura/Avviamento	0.2	0.2	-0.2	-0.2
	Vento trasversale	0	0	0	0
	Sovraccarico accidentale	0.2	0.2	0.2	0.2
	Azione centrifuga	0.1	0.1	0.1	0.1
	Resistenze parassite	0	0	0	0
	Azioni laterali (serpeggio)	0.1	0.1	0.1	0.1
	Sisma x - impalcato 120 m (arco)	Ex	1	1	-1
Sisma y - impalcato 120 m (arco)	Ey	-0.3	-0.3	-0.3	
Sisma z - impalcato 120 m (arco)	Ez	0.3	-0.3	0.3	
Azioni da impalcato 40 m	Permanenti impalcato G1	1	1	1	1
	Permanenti impalcato G2	1	1	1	1
	Frenatura/Avviamento	0.2	0.2	-0.2	-0.2
	Vento trasversale	0	0	0	0
	Sovraccarico accidentale	0.2	0.2	0.2	0.2
	Azione centrifuga	0.1	0.1	0.1	0.1
	Resistenze parassite	0	0	0	0
	Azioni laterali (serpeggio)	0.1	0.1	0.1	0.1
	Sisma x - impalcato 40 m	Ex	1	1	-1
Sisma y - impalcato 40 m	Ey	-0.3	-0.3	-0.3	
Sisma z - impalcato 40 m	Ez	0.3	-0.3	0.3	

RELAZIONE DI CALCOLO PILA P8

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D 09 CL	VI 02 05 003	A	28 di 83

Nel caso in cui l'azione nella direzione y sia prevalente i coefficienti e le combinazioni sono i seguenti:

Elemento		$0.3E_x + E_y + 0.3E_z$ (verso alto)	$0.3E_x + E_y - 0.3E_z$ (verso basso)
Peso proprio	Fusto	1	1
	Pulvino	1	1
	Ringrosso laterale ( $y < 0$ )	1	1
	Ringrosso laterale ( $y > 0$ )	1	1
	Tamponatura laterale ( $y < 0$ )	1	1
	Tamponatura laterale ( $y > 0$ )	1	1
	Chiusura superiore	1	1
	Muro chiusura posteriore	1	1
	Platea	1	1
Inerzia x spalla	Fusto	0.3	0.3
	Pulvino	0.3	0.3
	Ringrosso laterale ( $y < 0$ )	0.3	0.3
	Ringrosso laterale ( $y > 0$ )	0.3	0.3
	Tamponatura laterale ( $y < 0$ )	0.3	0.3
	Tamponatura laterale ( $y > 0$ )	0.3	0.3
	Chiusura superiore	0.3	0.3
	Muro chiusura posteriore	0.3	0.3
	Platea	0.3	0.3
Inerzia y spalla	Fusto	1	1
	Pulvino	1	1
	Ringrosso laterale ( $y < 0$ )	1	1
	Ringrosso laterale ( $y > 0$ )	1	1
	Tamponatura laterale ( $y < 0$ )	1	1
	Tamponatura laterale ( $y > 0$ )	1	1
	Chiusura superiore	1	1
	Muro chiusura posteriore	1	1
	Platea	1	1
Inerzia z spalla	Fusto	0.3	-0.3
	Pulvino	0.3	-0.3
	Ringrosso laterale ( $y < 0$ )	0.3	-0.3
	Ringrosso laterale ( $y > 0$ )	0.3	-0.3
	Tamponatura laterale ( $y < 0$ )	0.3	-0.3
	Tamponatura laterale ( $y > 0$ )	0.3	-0.3
	Chiusura superiore	0.3	-0.3
	Muro chiusura posteriore	0.3	-0.3
	Platea	0.3	-0.3
Vento sul fusto della pila	$V_y$	0	0
Azioni da impalcato 120m (arco)	Permanenti impalcato G1	1	1
	Permanenti impalcato G2	1	1
	Frenatura/Avviamento	0.2	0.2
	Vento trasversale	0	0
	Sovraccarico accidentale	0.2	0.2
	Azione centrifuga	0.1	0.1
	Resistenze parassite	0	0
	Azioni laterali (serpeggio)	0.1	0.1
	Sisma x - impalcato 120 m (arco)	$E_x$	0.3
Sisma y - impalcato 120 m (arco)	$E_y$	-1	-1
Sisma z - impalcato 120 m (arco)	$E_z$	0.3	-0.3
Azioni da impalcato 40 m	Permanenti impalcato G1	1	1
	Permanenti impalcato G2	1	1
	Frenatura/Avviamento	0.2	0.2
	Vento trasversale	0	0
	Sovraccarico accidentale	0.2	0.2
	Azione centrifuga	0.1	0.1
	Resistenze parassite	0	0
	Azioni laterali (serpeggio)	0.1	0.1
	Sisma x - impalcato 40 m	$E_x$	0.3
Sisma y - impalcato 40 m	$E_y$	-1	-1
Sisma z - impalcato 40 m	$E_z$	0.3	-0.3

RELAZIONE DI CALCOLO PILA P8

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D 09 CL	VI 02 05 003	A	29 di 83

Nel caso in cui l'azione nella direzione z sia prevalente i coefficienti e le combinazioni sono i seguenti:

Elemento		0.3Ex+0.3Ey-Ez(verso alto)	0.3Ex+0.3Ey-Ez(verso basso)	(-)0.3Ex+0.3Ey-Ez(verso alto)	(-)0.3Ex+0.3Ey-Ez(verso basso)	
Peso proprio	Fusto	1	1	1	1	
	Pulvino	1	1	1	1	
	Ringrosso laterale (y<0)	1	1	1	1	
	Ringrosso laterale (y>0)	1	1	1	1	
	Tamponatura laterale (y<0)	1	1	1	1	
	Tamponatura laterale (y>0)	1	1	1	1	
	Chiusura superiore	1	1	1	1	
	Muro chiusura posteriore	1	1	1	1	
	Platea	1	1	1	1	
	Inerzia x spalla	Fusto	0.3	0.3	0.3	0.3
Pulvino		0.3	0.3	0.3	0.3	
Ringrosso laterale (y<0)		0.3	0.3	0.3	0.3	
Ringrosso laterale (y>0)		0.3	0.3	0.3	0.3	
Tamponatura laterale (y<0)		0.3	0.3	0.3	0.3	
Tamponatura laterale (y>0)		0.3	0.3	0.3	0.3	
Chiusura superiore		0.3	0.3	0.3	0.3	
Muro chiusura posteriore		0.3	0.3	0.3	0.3	
Platea		0.3	0.3	0.3	0.3	
Inerzia y spalla		Fusto	0.3	0.3	0.3	0.3
	Pulvino	0.3	0.3	0.3	0.3	
	Ringrosso laterale (y<0)	0.3	0.3	0.3	0.3	
	Ringrosso laterale (y>0)	0.3	0.3	0.3	0.3	
	Tamponatura laterale (y<0)	0.3	0.3	0.3	0.3	
	Tamponatura laterale (y>0)	0.3	0.3	0.3	0.3	
	Chiusura superiore	0.3	0.3	0.3	0.3	
	Muro chiusura posteriore	0.3	0.3	0.3	0.3	
	Platea	0.3	0.3	0.3	0.3	
	Inerzia z spalla	Fusto	1	-1	1	-1
Pulvino		1	-1	1	-1	
Ringrosso laterale (y<0)		1	-1	1	-1	
Ringrosso laterale (y>0)		1	-1	1	-1	
Tamponatura laterale (y<0)		1	-1	1	-1	
Tamponatura laterale (y>0)		1	-1	1	-1	
Chiusura superiore		1	-1	1	-1	
Muro chiusura posteriore		1	-1	1	-1	
Platea		1	-1	1	-1	
Vento sul fusto della pila		Vy	0	0	0	0
Azioni da impalcato 120m (arco)	Permanenti impalcato G1	1	1	1	1	
	Permanenti impalcato G2	1	1	1	1	
	Frenatura/Avviamento	0.2	0.2	0.2	0.2	
	Vento trasversale	0	0	0	0	
	Sovraccarico accidentale	0.2	0.2	0.2	0.2	
	Azione centrifuga	0.1	0.1	0.1	0.1	
	Resistenze parassite	0	0	0	0	
	Azioni laterali (serpeggio)	0.1	0.1	0.1	0.1	
	Sisma x - impalcato 120 m (arco)	Ex	0.3	0.3	-0.3	-0.3
	Sisma y - impalcato 120 m (arco)	Ey	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
Sisma z - impalcato 120 m (arco)	Ez	1	-1	1	-1	
Azioni da impalcato 40 m	Permanenti impalcato G1	1	1	1	1	
	Permanenti impalcato G2	1	1	1	1	
	Frenatura/Avviamento	0.2	0.2	0.2	0.2	
	Vento trasversale	0	0	0	0	
	Sovraccarico accidentale	0.2	0.2	0.2	0.2	
	Azione centrifuga	0.1	0.1	0.1	0.1	
	Resistenze parassite	0	0	0	0	
	Azioni laterali (serpeggio)	0.1	0.1	0.1	0.1	
	Sisma x - impalcato 40 m	Ex	0.3	0.3	-0.3	-0.3
	Sisma y - impalcato 40 m	Ey	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
Sisma z - impalcato 40 m	Ez	1	-1	1	-1	

### 6.3 Coefficienti per combinazioni – SLE

Elemento		SLE rara (a)	SLE rara (b)	SLE freq (a)	SLE freq (b)	SLE Q.P.
Peso proprio	Fusto	1	1	1	1	1
	Pulvino	1	1	1	1	1
	Ringrosso laterale (y<0)	1	1	1	1	1
	Ringrosso laterale (y>0)	1	1	1	1	1
	Tamponatura laterale (y<0)	1	1	1	1	1
	Tamponatura laterale (y>0)	1	1	1	1	1
	Chiusura superiore	1	1	1	1	1
	Muro chiusura posteriore	1	1	1	1	1
	Platea	1	1	1	1	1
Inerzia x spalla	Fusto	0	0	0	0	0
	Pulvino	0	0	0	0	0
	Ringrosso laterale (y<0)	0	0	0	0	0
	Ringrosso laterale (y>0)	0	0	0	0	0
	Tamponatura laterale (y<0)	0	0	0	0	0
	Tamponatura laterale (y>0)	0	0	0	0	0
	Chiusura superiore	0	0	0	0	0
	Muro chiusura posteriore	0	0	0	0	0
	Platea	0	0	0	0	0
Inerzia y spalla	Fusto	0	0	0	0	0
	Pulvino	0	0	0	0	0
	Ringrosso laterale (y<0)	0	0	0	0	0
	Ringrosso laterale (y>0)	0	0	0	0	0
	Tamponatura laterale (y<0)	0	0	0	0	0
	Tamponatura laterale (y>0)	0	0	0	0	0
	Chiusura superiore	0	0	0	0	0
	Muro chiusura posteriore	0	0	0	0	0
	Platea	0	0	0	0	0
Inerzia z spalla	Fusto	0	0	0	0	0
	Pulvino	0	0	0	0	0
	Ringrosso laterale (y<0)	0	0	0	0	0
	Ringrosso laterale (y>0)	0	0	0	0	0
	Tamponatura laterale (y<0)	0	0	0	0	0
	Tamponatura laterale (y>0)	0	0	0	0	0
	Chiusura superiore	0	0	0	0	0
	Muro chiusura posteriore	0	0	0	0	0
	Platea	0	0	0	0	0
Vento sul fusto della pila	Vy	0.6	0.6	0	0	0
Azioni da impalcato 120m (arco)	Permanenti impalcato G1	1	1	1	1	1
	Permanenti impalcato G2	1	1	1	1	1
	Frenatura/Avviamento	1	1	0.6	0.6	0
	Vento trasversale	0.6	0.6	0	0	0
	Sovraccarico accidentale	1	1	0.6	0.6	0
	Azione centrifuga	0.5	0.5	0.3	0.3	0
	Resistenze parassite	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5
	Azioni laterali (serpeggio)	0.5	0.5	0.3	0.3	0
Sisma x - impalcato 120 m (arco)	Ex	0	0	0	0	0
Sisma y - impalcato 120 m (arco)	Ey	0	0	0	0	0
Sisma z - impalcato 120 m (arco)	Ez	0	0	0	0	0
Azioni da impalcato 40 m	Permanenti impalcato G1	1	1	1	1	1
	Permanenti impalcato G2	1	1	1	1	1
	Frenatura/Avviamento	1	0	0.6	0	0
	Vento trasversale	0.6	0.6	0	0	0
	Sovraccarico accidentale	1	0	0.6	0	0
	Azione centrifuga	0.5	0	0.3	0	0
	Resistenze parassite	0.6	0	0.5	0	0.5
	Azioni laterali (serpeggio)	0.5	0	0.3	0	0
Sisma x - impalcato 40 m	Ex	0	0	0	0	0
Sisma y - impalcato 40 m	Ey	0	0	0	0	0
Sisma z - impalcato 40 m	Ez	0	0	0	0	0



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO  
RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI - FIUMEFREDDO  
Lotto 1: Fiumefreddo (i) – Taormina (i) / Letojanni  
**PROGETTO DEFINITIVO**

RELAZIONE DI CALCOLO PILA P8

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D 09 CL	VI 02 05 003	A	31 di 83

## 7 ANALISI MODALE

Le verifiche a pressoflessione e taglio del fusto della pila sono state eseguite nella sezione allo spiccato e nella sezione di mezzzeria.

L'analisi è stata effettuata considerando le forme modali che consentono di attivare oltre l'85% della massa nelle tre direzioni X, Y, Z. I risultati sono sintetizzati in forma grafica e tabellare. Le masse prese in considerazione sono: i pesi propri strutturali, i permanenti dell'impalcato ed il 20% del traffico ferroviario (secondo la normativa).

**TABLE: Modal Participating Mass Ratios**

OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
EIGENMODES	Mode	1	0.215380449	3.02E-15	2.02E-02	3.16E-12	3.02E-15	2.02E-02	3.16E-12
EIGENMODES	Mode	2	0.197281392	8.84E-13	1.94E-02	1.56E-12	8.87E-13	3.96E-02	4.72E-12
EIGENMODES	Mode	3	8.80E-02	2.23E-02	3.07E-11	2.87E-11	2.23E-02	3.96E-02	3.35E-11
EIGENMODES	Mode	4	8.18E-02	2.14E-02	2.08E-15	8.67E-12	4.37E-02	3.96E-02	4.21E-11
EIGENMODES	Mode	5	6.90E-02	3.45E-10	0.134110762	2.39E-14	4.37E-02	0.173746751	4.22E-11
EIGENMODES	Mode	6	6.16E-02	2.78E-09	0.135077344	5.96E-11	4.37E-02	0.308824095	1.02E-10
EIGENMODES	Mode	7	0.060032023	8.23E-11	1.34E-10	1.14E-10	4.37E-02	0.308824095	2.16E-10
EIGENMODES	Mode	8	5.73E-02	2.36E-09	2.89E-04	1.24E-09	4.37E-02	0.309113273	1.46E-09
EIGENMODES	Mode	9	5.04E-02	1.93E-11	6.76E-03	2.42E-12	4.37E-02	0.315871327	1.46E-09
EIGENMODES	Mode	10	4.78E-02	4.06E-10	6.31E-03	6.86E-10	4.37E-02	0.322178464	2.14E-09
EIGENMODES	Mode	11	4.67E-02	0.185770677	3.91E-13	5.50E-09	0.229477067	0.322178464	7.65E-09
EIGENMODES	Mode	12	0.043641742	0.186701299	5.20E-11	1.95E-10	0.416178365	0.322178465	7.84E-09
EIGENMODES	Mode	13	0.03779569	3.50E-11	1.87E-05	4.87E-10	0.416178365	0.322197124	8.33E-09
EIGENMODES	Mode	14	3.53E-02	1.11E-06	5.25E-03	2.15E-09	0.41617947	0.327445875	1.05E-08
EIGENMODES	Mode	15	3.43E-02	3.12E-07	0.127203605	3.08E-09	0.416179783	0.45464948	1.36E-08
EIGENMODES	Mode	16	3.32E-02	1.54E-07	0.066049693	7.29E-11	0.416179936	0.520699173	1.36E-08
EIGENMODES	Mode	17	2.96E-02	3.15E-03	1.40E-11	1.05E-13	0.419331042	0.520699173	1.36E-08
EIGENMODES	Mode	18	2.90E-02	2.90E-03	1.18E-11	3.22E-13	0.42223049	0.520699173	1.36E-08
EIGENMODES	Mode	19	2.67E-02	4.78E-10	1.08E-12	2.46E-02	0.42223049	0.520699173	2.46E-02
EIGENMODES	Mode	20	2.65E-02	9.48E-10	2.11E-03	9.12E-11	0.422230491	0.522807689	2.46E-02
EIGENMODES	Mode	21	2.57E-02	8.68E-10	3.00E-10	2.32E-02	0.422230492	0.522807689	4.77E-02
EIGENMODES	Mode	22	2.54E-02	6.96E-08	5.34E-02	1.83E-11	0.422230562	0.576197195	4.77E-02
EIGENMODES	Mode	23	2.53E-02	1.16E-09	3.43E-04	3.01E-10	0.422230563	0.576540166	4.77E-02
EIGENMODES	Mode	24	2.46E-02	1.52E-07	4.54E-02	1.72E-09	0.422230714	0.621932839	4.77E-02
EIGENMODES	Mode	25	2.31E-02	8.63E-02	2.01E-09	1.95E-03	0.508500039	0.621932841	4.97E-02
EIGENMODES	Mode	26	2.29E-02	1.09E-03	2.75E-10	0.163113587	0.509587095	0.621932842	0.212788924
EIGENMODES	Mode	27	2.26E-02	8.12E-02	8.47E-10	5.02E-09	0.590776223	0.621932843	0.212788929
EIGENMODES	Mode	28	2.21E-02	2.18E-10	1.20E-10	0.152767437	0.590776223	0.621932843	0.365556366
EIGENMODES	Mode	29	1.90E-02	4.18E-03	1.14E-10	3.40E-11	0.594951918	0.621932843	0.365556366
EIGENMODES	Mode	30	1.80E-02	4.14E-03	9.04E-10	1.70E-13	0.599090705	0.621932844	0.365556366
EIGENMODES	Mode	31	1.71E-02	1.13E-08	1.39E-03	3.43E-14	0.599090717	0.623327449	0.365556366
EIGENMODES	Mode	32	1.61E-02	2.04E-10	1.38E-03	1.03E-10	0.599090717	0.624705075	0.365556366
EIGENMODES	Mode	33	1.59E-02	4.05E-02	6.13E-13	4.18E-05	0.639587159	0.624705075	0.365598203
EIGENMODES	Mode	34	1.50E-02	3.91E-02	1.08E-10	5.33E-09	0.678720431	0.624705076	0.365598208
EIGENMODES	Mode	35	1.49E-02	9.21E-06	1.73E-10	0.106879367	0.678729639	0.624705076	0.472477575
EIGENMODES	Mode	36	1.47E-02	4.64E-09	1.65E-09	0.119106421	0.678729643	0.624705077	0.591583996
EIGENMODES	Mode	37	1.44E-02	2.22E-10	1.60E-02	6.94E-10	0.678729644	0.640736486	0.591583997
EIGENMODES	Mode	38	1.32E-02	5.50E-11	1.89E-02	1.77E-10	0.678729644	0.659651255	0.591583997
EIGENMODES	Mode	39	1.29E-02	1.61E-08	5.44E-09	3.33E-03	0.67872966	0.65965126	0.594916431
EIGENMODES	Mode	40	1.26E-02	2.54E-10	2.41E-10	3.51E-03	0.67872966	0.659651261	0.598427975
EIGENMODES	Mode	41	1.17E-02	2.88E-11	7.77E-04	5.04E-09	0.67872966	0.660428572	0.59842798
EIGENMODES	Mode	42	1.10E-02	1.33E-10	7.83E-04	4.88E-10	0.67872966	0.661211075	0.598427981
EIGENMODES	Mode	43	1.05E-02	1.50E-03	3.51E-09	1.52E-09	0.680234213	0.661211079	0.598427982
EIGENMODES	Mode	44	1.04E-02	4.35E-11	4.04E-02	2.05E-12	0.680234213	0.701657735	0.598427982
EIGENMODES	Mode	45	1.02E-02	1.10E-08	0.037147996	1.75E-10	0.680234224	0.738805732	0.598427982
EIGENMODES	Mode	46	1.00E-02	1.46E-03	7.34E-09	1.42E-08	0.681696816	0.738805739	0.598427997
EIGENMODES	Mode	47	9.21E-03	3.54E-02	5.24E-09	1.37E-05	0.717081236	0.738805744	0.598441666
EIGENMODES	Mode	48	9.08E-03	1.03E-05	1.14E-08	4.75E-02	0.71709157	0.738805756	0.645912564
EIGENMODES	Mode	49	9.03E-03	2.16E-09	3.62E-09	5.51E-08	0.717091572	0.738805759	0.645912619
EIGENMODES	Mode	50	8.98E-03	1.36E-08	4.80E-04	5.86E-09	0.717091585	0.73928536	0.645912625
EIGENMODES	Mode	51	8.93E-03	8.37E-08	2.93E-07	9.65E-08	0.717091669	0.739285653	0.645912722
EIGENMODES	Mode	52	8.87E-03	4.57E-02	1.23E-08	3.61E-09	0.762801148	0.739285665	0.645912725
EIGENMODES	Mode	53	8.56E-03	1.51E-08	1.25E-08	3.97E-02	0.762801163	0.739285678	0.685578638
EIGENMODES	Mode	54	8.45E-03	2.44E-08	5.32E-04	1.52E-08	0.762801187	0.739817446	0.685578654
EIGENMODES	Mode	55	8.07E-03	5.27E-09	8.30E-08	1.58E-07	0.762801192	0.739817529	0.685578811
EIGENMODES	Mode	56	8.07E-03	2.35E-08	7.00E-09	3.59E-08	0.762801216	0.739817536	0.685578847
EIGENMODES	Mode	57	8.07E-03	7.38E-09	7.34E-03	1.13E-09	0.762801223	0.747158495	0.685578848
EIGENMODES	Mode	58	8.05E-03	1.07E-05	2.20E-08	5.86E-06	0.762811936	0.747158517	0.685584707
EIGENMODES	Mode	59	7.99E-03	1.31E-08	2.52E-09	5.11E-06	0.762811949	0.74715852	0.685589819
EIGENMODES	Mode	60	7.93E-03	4.25E-02	2.36E-08	7.70E-08	0.805348805	0.747158543	0.685589896
EIGENMODES	Mode	61	7.83E-03	7.63E-04	3.41E-08	1.79E-12	0.806111944	0.747158578	0.685589896
EIGENMODES	Mode	62	7.68E-03	3.27E-02	5.70E-08	9.93E-09	0.838853483	0.747158635	0.685589906
EIGENMODES	Mode	63	7.55E-03	7.48E-04	6.83E-09	3.29E-09	0.839601329	0.747158641	0.685589909

**TABLE: Modal Participating Mass Ratios**

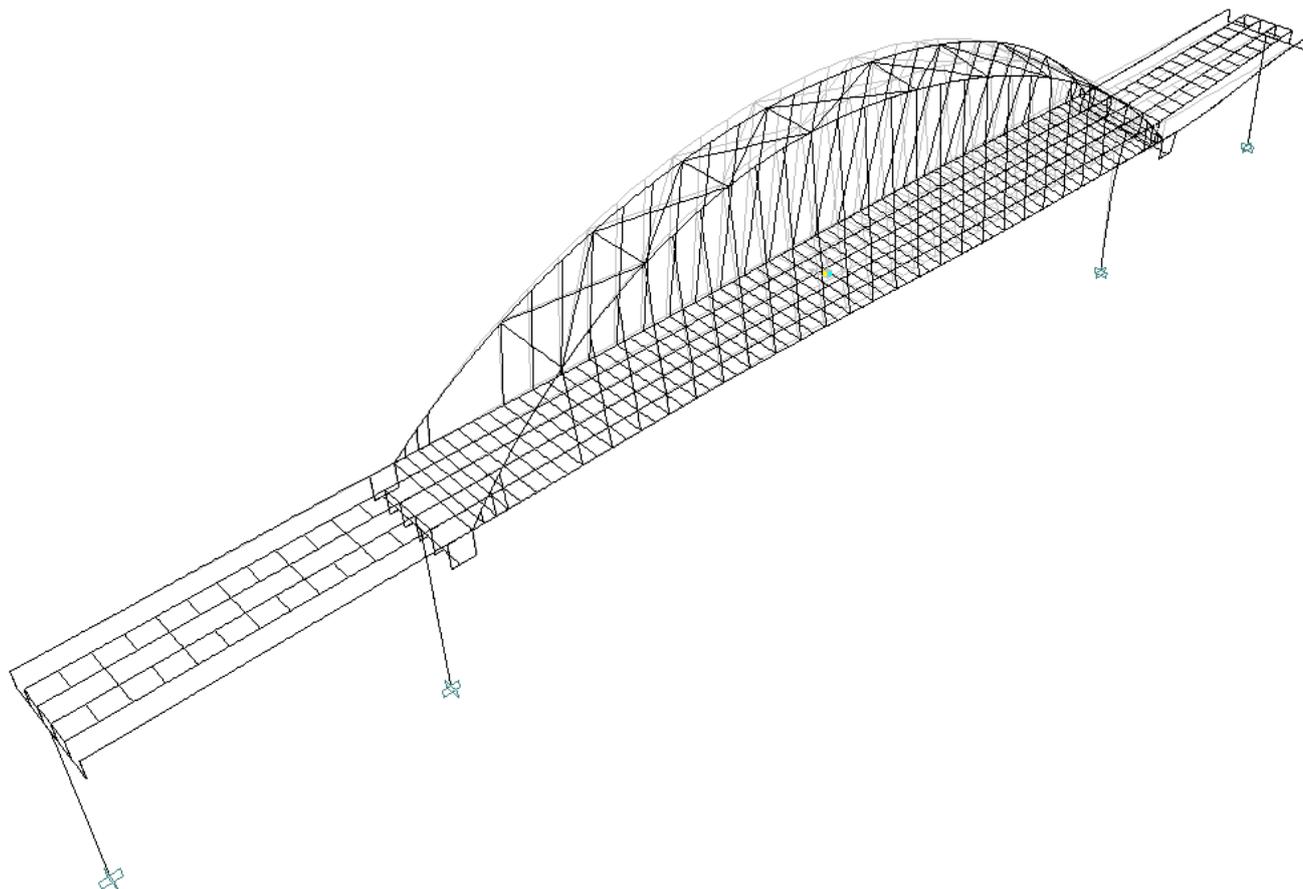
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
EIGENMODES	Mode	64	7.43E-03	6.26E-08	3.09E-04	5.26E-08	0.839601392	0.747467204	0.685589962
EIGENMODES	Mode	65	7.29E-03	6.22E-10	1.55E-02	1.74E-08	0.839601392	0.762981963	0.685589979
EIGENMODES	Mode	66	7.16E-03	2.12E-12	5.11E-09	2.31E-03	0.839601392	0.762981968	0.687902015
EIGENMODES	Mode	67	7.01E-03	7.03E-08	4.61E-04	3.65E-09	0.839601463	0.763443143	0.687902019
EIGENMODES	Mode	68	6.91E-03	2.26E-08	3.01E-09	7.91E-09	0.839601485	0.763443146	0.687902027
EIGENMODES	Mode	69	6.90E-03	5.96E-09	3.99E-10	1.03E-07	0.839601491	0.763443146	0.687902123
EIGENMODES	Mode	70	6.88E-03	1.06E-07	3.81E-15	2.19E-03	0.839601598	0.763443146	0.690096563
EIGENMODES	Mode	71	6.71E-03	3.71E-08	8.73E-02	5.43E-09	0.839601635	0.850748615	0.690096569
EIGENMODES	Mode	72	6.65E-03	1.02E-08	7.96E-02	6.88E-09	0.839601645	0.930342921	0.690096576
EIGENMODES	Mode	73	6.58E-03	6.96E-04	2.69E-08	3.39E-08	0.840297772	0.930342948	0.690096609
EIGENMODES	Mode	74	6.49E-03	2.99E-08	2.19E-04	5.94E-09	0.840297801	0.930561616	0.690096615
EIGENMODES	Mode	75	6.34E-03	3.57E-02	3.54E-08	1.10E-08	0.875970509	0.930561651	0.690096626
EIGENMODES	Mode	76	6.34E-03	8.03E-04	3.36E-07	2.56E-08	0.876773163	0.930561987	0.690096652
EIGENMODES	Mode	77	0.006169869	5.68E-09	4.51E-04	2.65E-08	0.876773169	0.931012877	0.690096678
EIGENMODES	Mode	78	6.15E-03	5.64E-02	3.49E-08	9.77E-08	0.933190685	0.931012912	0.690096776
EIGENMODES	Mode	79	6.13E-03	3.13E-09	7.30E-08	5.27E-03	0.933190688	0.931012985	0.6953639
EIGENMODES	Mode	80	6.02E-03	4.22E-09	4.98E-08	6.53E-03	0.933190692	0.931013035	0.701895024
EIGENMODES	Mode	81	6.02E-03	8.04E-08	3.85E-05	5.48E-07	0.933190773	0.931051549	0.701895572
EIGENMODES	Mode	82	6.01E-03	7.89E-09	6.39E-06	1.19E-06	0.933190781	0.931057943	0.701896766
EIGENMODES	Mode	83	5.92E-03	1.08E-08	1.09E-04	1.37E-10	0.933190791	0.931167108	0.701896766
EIGENMODES	Mode	84	5.90E-03	4.24E-09	1.40E-02	3.03E-10	0.933190796	0.945134623	0.701896766
EIGENMODES	Mode	85	5.86E-03	3.30E-02	2.00E-08	3.09E-09	0.966239499	0.945134643	0.701896777
EIGENMODES	Mode	86	5.73E-03	2.58E-08	2.24E-02	1.16E-10	0.966239524	0.967572669	0.701896777
EIGENMODES	Mode	87	5.69E-03	3.49E-09	3.80E-04	5.46E-08	0.966239528	0.967952597	0.701896824
EIGENMODES	Mode	88	5.62E-03	1.45E-07	5.69E-06	1.21E-08	0.966239673	0.967958289	0.701896836
EIGENMODES	Mode	89	5.62E-03	6.40E-09	1.14E-02	7.61E-09	0.966239679	0.979329792	0.701896844
EIGENMODES	Mode	90	0.005617934	5.70E-09	9.74E-06	1.98E-07	0.966239685	0.979339534	0.701897042
EIGENMODES	Mode	91	5.61E-03	8.88E-08	3.89E-05	1.80E-08	0.966239774	0.979378412	0.70189706
EIGENMODES	Mode	92	5.60E-03	9.53E-03	9.66E-08	8.68E-09	0.975772205	0.979378509	0.701897069
EIGENMODES	Mode	93	5.54E-03	1.00E-03	8.50E-08	1.45E-07	0.976774728	0.979378594	0.701897214
EIGENMODES	Mode	94	5.45E-03	3.79E-08	2.37E-08	5.76E-04	0.976774765	0.979378617	0.702473199
EIGENMODES	Mode	95	5.37E-03	2.45E-08	2.78E-03	4.76E-08	0.976774799	0.982154282	0.702473247
EIGENMODES	Mode	96	5.36E-03	1.19E-10	6.08E-08	6.11E-04	0.976774799	0.982154342	0.703084001
EIGENMODES	Mode	97	5.31E-03	1.61E-03	6.20E-08	4.71E-08	0.978383617	0.982154404	0.703084048
EIGENMODES	Mode	98	5.18E-03	2.39E-08	3.08E-04	8.40E-09	0.978383641	0.982462586	0.703084056
EIGENMODES	Mode	99	4.88E-03	1.14E-03	2.74E-08	1.20E-05	0.979526156	0.982462614	0.703096025
EIGENMODES	Mode	100	4.86E-03	1.91E-07	6.72E-08	5.91E-02	0.979526348	0.982462681	0.762184998
EIGENMODES	Mode	101	4.82E-03	2.02E-08	3.72E-05	4.09E-07	0.979526368	0.982499888	0.762185406
EIGENMODES	Mode	102	4.79E-03	1.86E-03	3.79E-10	2.23E-08	0.981390709	0.982499889	0.762185429
EIGENMODES	Mode	103	4.77E-03	1.90E-09	3.49E-08	1.60E-06	0.981390711	0.982499923	0.762187028
EIGENMODES	Mode	104	4.77E-03	1.64E-08	1.07E-07	5.92E-02	0.981390727	0.98250003	0.821342679
EIGENMODES	Mode	105	4.77E-03	1.72E-07	8.75E-08	4.73E-03	0.981390899	0.982500118	0.826076064
EIGENMODES	Mode	106	4.71E-03	1.46E-03	1.62E-08	1.47E-08	0.982852859	0.982500134	0.826076079
EIGENMODES	Mode	107	4.65E-03	3.52E-03	1.06E-08	1.56E-07	0.98637526	0.982500144	0.826076235
EIGENMODES	Mode	108	4.53E-03	9.87E-12	2.42E-04	3.13E-08	0.98637526	0.98274262	0.826076266
EIGENMODES	Mode	109	4.50E-03	8.10E-09	3.17E-04	1.45E-07	0.986375268	0.983059923	0.826076411
EIGENMODES	Mode	110	4.49E-03	2.61E-09	1.01E-02	9.91E-08	0.986375271	0.993199491	0.82607651
EIGENMODES	Mode	111	4.48E-03	1.28E-08	4.19E-06	9.57E-07	0.986375284	0.993203681	0.826077467
EIGENMODES	Mode	112	4.47E-03	6.35E-09	7.70E-05	4.90E-07	0.98637529	0.99328065	0.826077957
EIGENMODES	Mode	113	4.46E-03	1.49E-03	3.29E-09	1.63E-08	0.987862378	0.993280653	0.826077973
EIGENMODES	Mode	114	4.44E-03	1.43E-08	2.70E-05	1.33E-07	0.987862392	0.993307661	0.826078106
EIGENMODES	Mode	115	4.42E-03	1.22E-07	4.09E-07	2.45E-07	0.987862514	0.99330807	0.826078351
EIGENMODES	Mode	116	4.41E-03	6.56E-10	3.14E-07	1.03E-03	0.987862515	0.993308384	0.827108856
EIGENMODES	Mode	117	4.38E-03	9.55E-04	4.86E-08	5.14E-08	0.988817883	0.993308433	0.827108907
EIGENMODES	Mode	118	4.35E-03	4.25E-03	2.62E-09	1.57E-07	0.993066194	0.993308435	0.827109064
EIGENMODES	Mode	119	4.28E-03	2.79E-08	1.14E-08	9.39E-04	0.993066222	0.993308447	0.828048316
EIGENMODES	Mode	120	4.28E-03	2.85E-03	1.30E-07	7.32E-07	0.995916268	0.993308576	0.828049048
EIGENMODES	Mode	121	4.27E-03	1.79E-09	1.98E-08	1.78E-02	0.995916269	0.993308596	0.84579964
EIGENMODES	Mode	122	4.18E-03	7.43E-09	1.81E-08	1.25E-02	0.995916277	0.993308614	0.858314464
EIGENMODES	Mode	123	4.13E-03	3.39E-09	6.69E-03	8.05E-08	0.99591628	0.999995865	0.858314544
EIGENMODES	Mode	124	4.09E-03	1.65E-08	2.41E-09	6.31E-08	0.995916297	0.999995868	0.858314607
EIGENMODES	Mode	125	4.09E-03	2.18E-03	4.21E-10	1.66E-07	0.998096191	0.999995868	0.858314774
EIGENMODES	Mode	126	4.08E-03	1.73E-09	5.63E-12	5.83E-09	0.998096193	0.999995868	0.858314779

**TABLE: Modal Participating Mass Ratios**

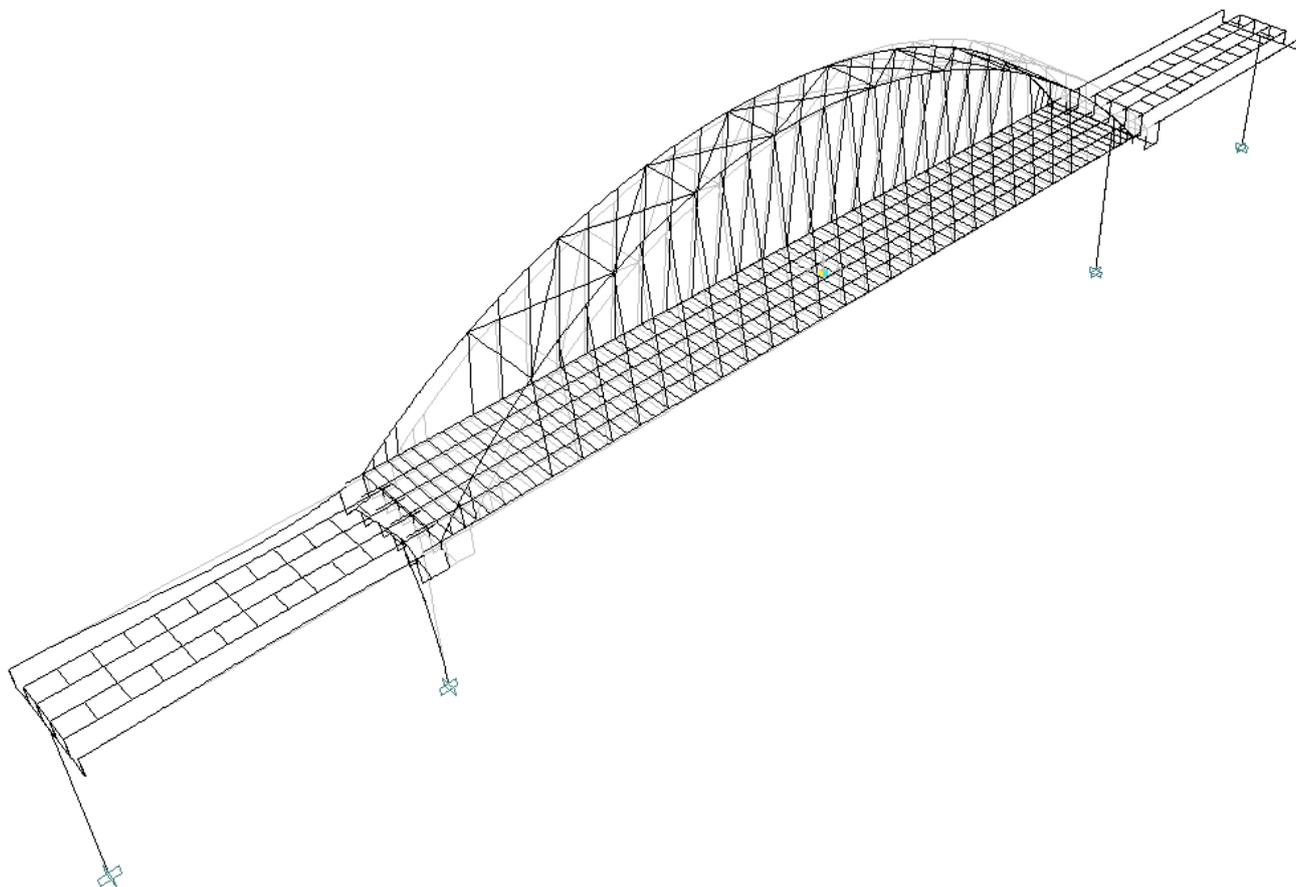
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
EIGENMODES	Mode	127	3.99E-03	9.47E-05	1.20E-08	2.46E-07	0.998190898	0.999995588	0.858315025
EIGENMODES	Mode	128	3.94E-03	4.02E-09	2.29E-06	2.95E-07	0.998190902	0.999998168	0.85831532
EIGENMODES	Mode	129	3.93E-03	5.67E-04	1.90E-09	2.28E-07	0.998757762	0.99999817	0.858315548
EIGENMODES	Mode	130	3.93E-03	1.82E-08	1.37E-07	9.27E-09	0.99875778	0.999998307	0.858315557
EIGENMODES	Mode	131	3.93E-03	8.38E-09	3.53E-09	2.38E-08	0.998757788	0.99999831	0.858315581
EIGENMODES	Mode	132	3.83E-03	3.18E-04	1.15E-09	1.79E-08	0.999075929	0.999998311	0.858315599
EIGENMODES	Mode	133	3.80E-03	1.82E-08	1.07E-08	3.71E-09	0.999075947	0.999998322	0.858315603
EIGENMODES	Mode	134	3.80E-03	8.72E-08	2.79E-10	8.26E-08	0.999076034	0.999998322	0.858315685
EIGENMODES	Mode	135	3.74E-03	1.15E-08	2.50E-08	8.53E-04	0.999076046	0.999998347	0.859168761
EIGENMODES	Mode	136	3.69E-03	5.65E-05	2.61E-08	1.09E-09	0.999132574	0.999998373	0.859168762
EIGENMODES	Mode	137	3.69E-03	9.20E-05	2.23E-09	4.66E-09	0.999224553	0.999998376	0.859168767
EIGENMODES	Mode	138	3.66E-03	6.83E-11	3.86E-09	0.033698727	0.999224553	0.999998379	0.892867494
EIGENMODES	Mode	139	3.66E-03	4.01E-05	1.36E-11	1.62E-07	0.999264616	0.999998379	0.892867656
EIGENMODES	Mode	140	3.63E-03	1.15E-08	1.39E-11	1.10E-03	0.999264628	0.999998379	0.893969469
EIGENMODES	Mode	141	3.56E-03	3.44E-09	1.21E-06	1.03E-08	0.999264631	0.999998585	0.893969479
EIGENMODES	Mode	142	3.54E-03	5.04E-09	1.61E-08	5.10E-02	0.999264636	0.999999601	0.944933695
EIGENMODES	Mode	143	3.49E-03	4.50E-05	2.29E-09	1.65E-10	0.999309608	0.999999603	0.944933695
EIGENMODES	Mode	144	3.42E-03	2.58E-05	4.15E-08	1.44E-08	0.999335389	0.999999645	0.944933709
EIGENMODES	Mode	145	3.35E-03	2.30E-10	2.42E-08	2.61E-02	0.999335389	0.999999669	0.971046151
EIGENMODES	Mode	146	3.30E-03	4.73E-06	2.25E-09	9.13E-08	0.999340119	0.999999671	0.971046242
EIGENMODES	Mode	147	3.29E-03	2.04E-09	5.40E-10	1.27E-07	0.999340121	0.999999672	0.971046369
EIGENMODES	Mode	148	3.29E-03	1.28E-07	9.18E-11	8.89E-07	0.99934025	0.999999672	0.971047259
EIGENMODES	Mode	149	3.19E-03	5.16E-10	1.45E-09	7.30E-08	0.99934025	0.999999673	0.971047332
EIGENMODES	Mode	150	3.19E-03	1.04E-09	2.01E-09	2.75E-07	0.999340251	0.999999675	0.971047607
EIGENMODES	Mode	151	3.16E-03	6.54E-04	1.51E-09	1.03E-09	0.999994475	0.999999677	0.971047608
EIGENMODES	Mode	152	3.15E-03	5.44E-10	4.55E-09	6.93E-03	0.999994476	0.999999682	0.977973761
EIGENMODES	Mode	153	3.13E-03	3.43E-06	3.07E-09	7.56E-09	0.999997905	0.999999685	0.977973768
EIGENMODES	Mode	154	3.08E-03	1.85E-06	1.86E-12	1.84E-09	0.99999751	0.999999685	0.97797377
EIGENMODES	Mode	155	3.07E-03	1.49E-09	3.74E-10	1.87E-03	0.99999753	0.999999685	0.979847762
EIGENMODES	Mode	156	3.03E-03	5.18E-11	3.03E-07	3.82E-10	0.99999753	0.999999988	0.979847762
EIGENMODES	Mode	157	3.03E-03	1.31E-07	3.77E-09	4.53E-08	0.99999884	0.999999991	0.979847807
EIGENMODES	Mode	158	3.01E-03	9.48E-10	1.12E-09	6.60E-08	0.99999885	0.999999992	0.979847873
EIGENMODES	Mode	159	3.01E-03	1.84E-09	6.74E-11	6.23E-08	0.99999887	0.999999993	0.979847936
EIGENMODES	Mode	160	3.01E-03	2.62E-10	9.45E-10	8.76E-08	0.99999887	0.999999993	0.979848023
EIGENMODES	Mode	161	3.00E-03	8.79E-08	4.24E-09	1.10E-07	0.99999975	0.999999998	0.979848133
EIGENMODES	Mode	162	3.00E-03	1.11E-10	2.49E-11	3.66E-06	0.99999975	0.999999998	0.979851793
EIGENMODES	Mode	163	2.95E-03	2.78E-10	2.64E-10	2.74E-03	0.99999975	0.999999998	0.982587545
EIGENMODES	Mode	164	2.84E-03	1.16E-10	6.86E-12	1.21E-07	0.99999975	0.999999998	0.982587666
EIGENMODES	Mode	165	2.84E-03	1.04E-10	4.23E-12	2.30E-10	0.99999976	0.999999998	0.982587666
EIGENMODES	Mode	166	2.63E-03	2.49E-10	2.38E-10	1.62E-03	0.99999976	0.999999998	0.984209055
EIGENMODES	Mode	167	2.61E-03	5.68E-10	4.12E-12	4.11E-03	0.99999976	0.999999998	0.988317593
EIGENMODES	Mode	168	2.60E-03	1.11E-11	2.46E-10	3.47E-08	0.99999976	0.999999998	0.988317627
EIGENMODES	Mode	169	2.60E-03	1.50E-09	2.85E-12	2.23E-08	0.99999978	0.999999999	0.98831765
EIGENMODES	Mode	170	2.57E-03	7.14E-10	4.66E-10	1.61E-03	0.99999979	0.999999999	0.989924285
EIGENMODES	Mode	171	2.55E-03	6.06E-11	2.50E-10	4.44E-03	0.99999979	0.999999999	0.994366792
EIGENMODES	Mode	172	2.41E-03	3.38E-10	1.20E-10	3.36E-04	0.99999979	0.999999999	0.994703284
EIGENMODES	Mode	173	2.36E-03	1.72E-14	2.11E-13	2.81E-03	0.99999979	0.999999999	0.997508985
EIGENMODES	Mode	174	2.29E-03	1.18E-11	7.72E-13	6.97E-09	0.99999979	0.999999999	0.997508992
EIGENMODES	Mode	175	2.29E-03	3.13E-11	5.21E-12	2.54E-09	0.99999979	0.999999999	0.997508994
EIGENMODES	Mode	176	2.28E-03	2.20E-11	3.80E-12	2.86E-11	0.99999979	0.999999999	0.997508994
EIGENMODES	Mode	177	2.28E-03	1.99E-11	1.77E-11	1.27E-03	0.99999979	0.999999999	0.998783085
EIGENMODES	Mode	178	2.26E-03	8.81E-09	1.27E-10	3.84E-12	0.99999988	0.999999999	0.998783085
EIGENMODES	Mode	179	2.26E-03	4.96E-13	4.39E-13	1.02E-07	0.99999988	0.999999999	0.998783187
EIGENMODES	Mode	180	2.22E-03	7.50E-12	2.14E-10	6.60E-05	0.99999988	1	0.998849142
EIGENMODES	Mode	181	2.13E-03	1.23E-12	9.75E-14	4.45E-04	0.99999988	1	0.999294244
EIGENMODES	Mode	182	2.11E-03	5.91E-12	2.35E-12	1.20E-10	0.99999988	1	0.999294244
EIGENMODES	Mode	183	2.11E-03	2.57E-13	7.67E-13	5.39E-10	0.99999988	1	0.999294245
EIGENMODES	Mode	184	2.05E-03	3.45E-11	1.97E-11	3.75E-05	0.99999988	1	0.999331737
EIGENMODES	Mode	185	2.03E-03	6.00E-14	1.05E-11	2.18E-04	0.99999988	1	0.999549943
EIGENMODES	Mode	186	2.00E-03	1.76E-11	9.28E-12	4.40E-05	0.99999988	1	0.999593898
EIGENMODES	Mode	187	1.95E-03	5.49E-12	9.29E-14	2.09E-05	0.99999988	1	0.999614826
EIGENMODES	Mode	188	1.94E-03	3.55E-12	3.17E-15	8.17E-05	0.99999988	1	0.999696554
EIGENMODES	Mode	189	1.86E-03	1.76E-12	8.15E-13	5.17E-05	0.99999988	1	0.999748206

**TABLE: Modal Participating Mass Ratios**

OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
EIGENMODES	Mode	190	1.85E-03	1.06E-11	1.62E-12	4.80E-06	0.999999988	1	0.999753003
EIGENMODES	Mode	191	1.83E-03	2.14E-13	2.81E-12	1.88E-05	0.999999988	1	0.999771797
EIGENMODES	Mode	192	1.81E-03	9.44E-12	1.97E-11	1.43E-06	0.999999988	1	0.999773226
EIGENMODES	Mode	193	1.80E-03	2.28E-12	5.44E-12	1.48E-06	0.999999988	1	0.99977471
EIGENMODES	Mode	194	1.79E-03	2.24E-09	8.65E-13	3.64E-10	0.999999999	1	0.999774711
EIGENMODES	Mode	195	1.79E-03	2.51E-09	2.50E-13	4.60E-10	0.999999993	1	0.999774711
EIGENMODES	Mode	196	1.78E-03	5.24E-13	2.12E-13	9.54E-06	0.999999993	1	0.999784249
EIGENMODES	Mode	197	1.77E-03	4.18E-11	1.27E-11	8.62E-07	0.999999993	1	0.999785111
EIGENMODES	Mode	198	1.77E-03	1.08E-12	8.16E-14	3.19E-06	0.999999993	1	0.999788301
EIGENMODES	Mode	199	1.56E-03	2.37E-12	1.83E-12	2.12E-04	0.999999993	1	0.999999996
EIGENMODES	Mode	200	1.31E-03	8.74E-12	9.90E-14	5.21E-11	0.999999993	1	0.999999996
EIGENMODES	Mode	201	1.31E-03	2.03E-13	6.89E-11	4.62E-10	0.999999993	1	0.999999997
EIGENMODES	Mode	202	1.30E-03	4.77E-13	1.26E-10	2.62E-09	0.999999993	1	0.999999999
EIGENMODES	Mode	203	1.10E-03	1.43E-13	2.41E-13	1.35E-11	0.999999993	1	0.999999999
EIGENMODES	Mode	204	1.10E-03	8.11E-14	3.63E-13	4.26E-10	0.999999993	1	1
EIGENMODES	Mode	205	8.61E-04	3.06E-09	1.86E-15	2.75E-12	0.999999996	1	1
EIGENMODES	Mode	206	8.61E-04	4.16E-09	3.24E-14	6.14E-11	1	1	1
EIGENMODES	Mode	207	8.18E-04	1.55E-15	2.41E-12	8.95E-13	1	1	1
EIGENMODES	Mode	208	0.000817695	1.31E-14	6.07E-12	2.95E-11	1	1	1
EIGENMODES	Mode	209	4.28E-04	1.23E-16	2.04E-15	1.18E-12	1	1	1
EIGENMODES	Mode	210	4.28E-04	6.48E-17	2.21E-16	7.30E-13	1	1	1



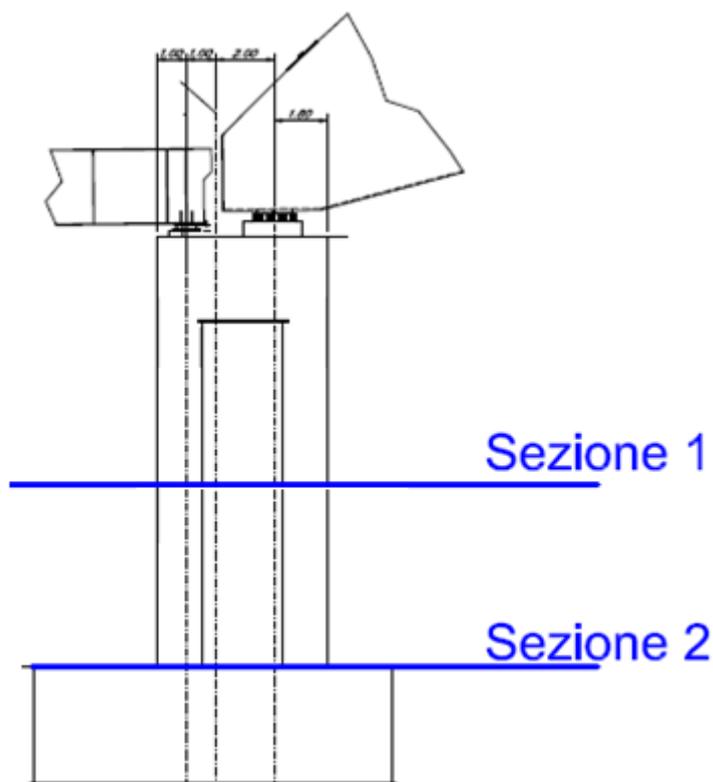
Modo di vibrazione n°5



Modo di vibrazione n°12

## 8 VERIFICHE FUSTO PILA

Le verifiche a pressoflessione e taglio del fusto della pila sono state eseguite nella sezione alla base (di seguito chiamata “sezione 2”) e nella sezione di mezzeria in cui il fusto presenta un cambio di geometria (di seguito chiamata “sezione 1”).



Per le verifiche a pressoflessione è stato utilizzato il programma Gelfi VcaSlu.

Per le verifiche a taglio sono stati impiegati fogli di calcolo appositamente predisposti.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA - PALERMO  
RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI - FIUMEFREDDO  
Lotto 1: Fiumefreddo (i) – Taormina (i) / Letojanni  
**PROGETTO DEFINITIVO**

RELAZIONE DI CALCOLO PILA P8

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D 09 CL	VI 02 05 003	A	40 di 83

## 8.1 Fusto di pila sezione 2

In questo capitolo si considera la sezione alla base del fusto di pila, di seguito è riportato il calcolo delle sollecitazioni, che verranno successivamente utilizzate per la verifica della sezione sia allo stato limite ultimo che di esercizio.

### 8.1.1 Sollecitazioni a quota estradosso fondazioni (sezione 2)

Nella seguente tabella sono riportate le azioni elementari in direzione orizzontale e verticale agenti sulla pila. Queste forze sono riferite al sistema di riferimento già riportato in precedenza (ma considerando la quota della sezione considerata), in seguito verranno utilizzate per ottenere le sollecitazioni per il calcolo del plinto.

RELAZIONE DI CALCOLO PILA P8

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D 09 CL	VI 02 05 003	A	41 di 83

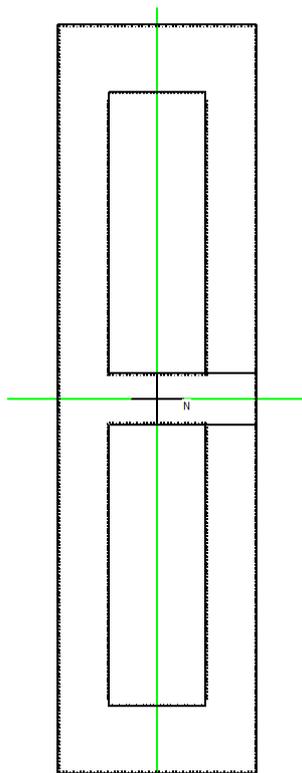
Elemento	Componenti risultante				Pos. della risultante		
	Fy [kN]	Fx [kN]	Fz [kN]	Mx appoggi	x [m]	y [m]	z [m]
Fusto	0	0	-34110	0	-2.90	0.00	8.35
	0	0	-9630	0	-2.90	0.00	18.20
Inerzia x spalla	0	10401	0	0	-2.90	0.00	8.35
	0	2937	0	0	-2.90	0.00	18.20
	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
Inerzia y spalla	10401	0	0	0	-2.90	0.00	8.35
	2937	0	0	0	-2.90	0.00	18.20
	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
Inerzia z spalla	0	0	5201	0	-2.90	0.00	8.35
	0	0	1468	0	-2.90	0.00	18.20
	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
Vento sul fusto della pila	208.8	0	0	0	-2.90	0.00	9.85
Azioni da impalcato 120m (arco)	-1	0	-10337	10	-1.76	0.00	20.10
	-1	0	-46389	11	-1.76	0.00	20.10
	-1	5280	-49	0	-1.76	0.00	20.10
	2141	0	0	-11674	-1.76	0.00	20.10
	4	0	-11491	-1362	-1.76	0.00	20.10
	0	0	0	0	-1.76	0.00	20.10
	0	2046	0	0	-1.76	0.00	20.10
	210	0	0	1	-1.76	0.00	20.10
Sisma x - impalcato 120 m (arco)	748	17018	7036	755	-1.76	0.00	20.10
Sisma y - impalcato 120 m (arco)	8203	12448	8215	-319	-1.76	0.00	20.10
Sisma z - impalcato 120 m (arco)	261	5963	2953	264	-1.76	0.00	20.10
Azioni da impalcato 40 m	0	0	-3980	0	-4.81	0.00	20.10
	0	0	-3969	1	-4.81	0.00	20.10
	-84	0	67	-169	-4.81	0.00	20.10
	554	0	0	2534	-4.81	0.00	20.10
	-6	0	-4804	-849	-4.81	0.00	20.10
	0	0	0	0	-4.81	0.00	20.10
	0	383	0	0	-4.81	0.00	20.10
	210	0	0	1	-4.81	0.00	20.10
Sisma x - impalcato 40 m	0	0	0	0	-4.81	0.00	20.10
Sisma y - impalcato 40 m	3930	0	4879	4684	-4.81	0.00	20.10
Sisma z - impalcato 40 m	47	0	1787	6	-4.81	0.00	20.10

Tali azioni combinate con i coefficienti riportati in precedenza determinano le sollecitazioni di progetto. Di seguito si riportano le sollecitazioni di progetto riferite al baricentro del fusto principale (senza considerare il ringrosso).

Combinazioni	$N_{tot}$	$M_{y_{tot}}$	$M_{x_{tot}}$	$V_{y_{tot}}$	$V_{x_{tot}}$
	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
<b>SLU 1</b>	-177516	277382	-54219	2793	9842
<b>SLU 2</b>	-147991	297613	-53741	2770	9498
<b>Ex-0.3Ey+0.3Ez</b>	-105140	506792	96954	-6777	29466
<b>Ex-0.3Ey-0.3Ez</b>	-111986	434848	100509	-6962	25889
<b>(-)Ex-0.3Ey+0.3Ez</b>	-119219	-484410	124917	-8240	-33358
<b>(-)Ex-0.3Ey-0.3Ez</b>	-126064	-556354	128473	-8425	-36935
<b>0.3Ex-Ey+0.3Ez</b>	-119232	-361	372822	-25131	-497
<b>0.3Ex-Ey-0.3Ez</b>	-126077	-72305	376377	-25316	-4074
<b>0.3Ex-0.3Ey+Ez</b>	-102079	258690	102807	-7085	12391
<b>0.3Ex-0.3Ey-Ez</b>	-124897	18876	114659	-7702	465
<b>(-)0.3Ex-0.3Ey+Ez</b>	-106300	-25913	111380	-7534	-5822
<b>(-)0.3Ex-0.3Ey-Ez</b>	-129119	-265728	123231	-8151	-17748
<b>SLE_rara (a)</b>	-124692	189014	-36199	1865	6737
<b>SLE_rara (b)</b>	-119955	193448	-35892	1850	6508
<b>SLE_freq (a)</b>	-118181	140037	-1464	73	4383
<b>SLE_freq (b)</b>	-115339	141621	-1280	64	4191
<b>SLE_Q.P.</b>	-108415	73896	26	-1	1215

### 8.1.2 Verifiche a pressoflessione alla base

La sezione di verifica è la seguente:



L'armatura considerata è distribuita su tutti i lati della sezione, sia interni che esterni, con  $\phi 20$  passo 10 cm. Il copriferro considerato è di 4 cm.

Nel seguito si riportano le verifiche a presso-flessione, eseguite con il programma Gelfi VcaSlu.

Nello specifico si sono analizzati i casi in cui i momenti longitudinali, trasversali e sforzo normale risultano massimizzati.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Fusto\_sez2\_Mymax

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: Pila P8 - Sezione 2, maxM

N° Vertici: 19 Zoom N° barre: 1002 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	290	-1105	1	3.14	285	-1100
2	290	-75	2	3.14	285	-1090
3	140	-75	3	3.14	285	-1080
4	140	-905	4	3.14	285	-1070
5	-140	-905	5	3.14	285	-1060
6	-140	-75	6	3.14	285	-1050

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 126064 kN  
M<sub>xEd</sub>: 128473 kNm  
M<sub>yEd</sub>: -556354 kNm

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: B450C C32/40

ε<sub>cu</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>: 18.13 ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0.8 ‰  
ε<sub>syd</sub>: 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub>: 12.25 N/mm²  
σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm² τ<sub>co</sub>: 0.7333 ‰  
τ<sub>c1</sub>: 2.114 ‰

M<sub>xRd</sub>: 301'990 kNm  
M<sub>yRd</sub>: -667'622 kNm  
σ<sub>c</sub>: -18.13 N/mm²  
σ<sub>s</sub>: 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub>: 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub>: 22.39 ‰  
d: 613.4 cm  
x: 82.93 x/d: 0.1352  
δ: 0.7

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

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

Tipo flessione: Retta Deviata

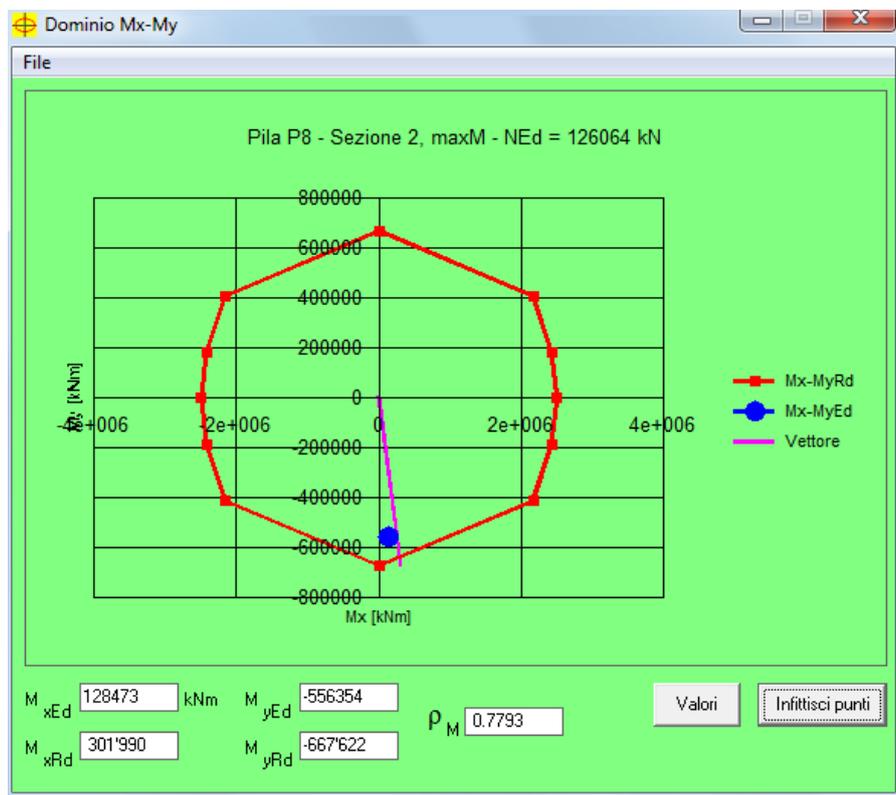
N° rett: 100

Calcola MRd Dominio Mx-My

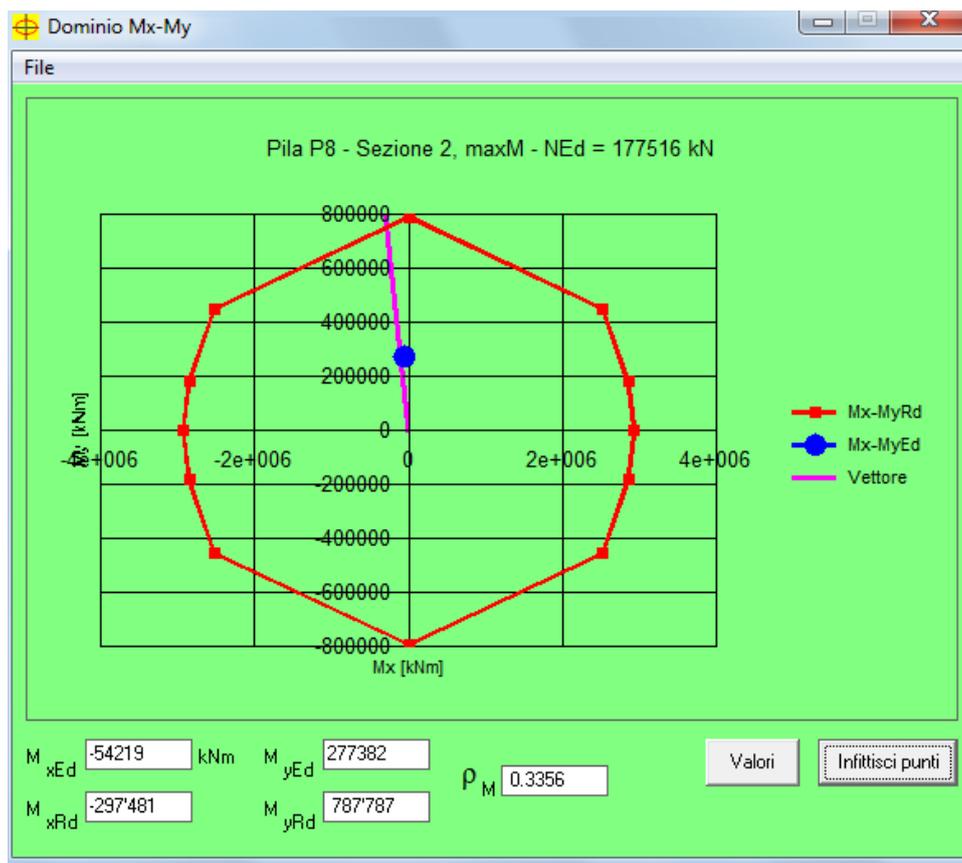
angolo asse neutro θ°: 89

Precompresso

Condizione di carico 1:



Condizione di carico 2:



### 8.1.3 Verifiche a taglio alla base

Le sollecitazioni di taglio di calcolo sono state ottenute con il criterio della Gerarchia delle Resistenze secondo l'espressione:

$$V_{gr,i} = V_{gr,0} \gamma_{RD3}$$

Dove

$$\gamma_{RD3} = 1,25 + 1 - q \frac{V_{E,i}}{V_{gr,0}} \leq 1,25$$

$$V_{gr,0} = V_{E,i} \frac{\gamma_{RD2} M_{Rd,i}}{M_{E,i}}$$

$V_{E,i}$  è il valore dello sforzo di taglio ottenuto dall'analisi

$$\gamma_{RD2} = 0,7 + 0,2q \quad \text{per } v_k = N / A_{fck} \leq 0,1$$

$$\gamma_{RD2} = (0,7 + 0,2q) \times (1 + 2(v_k - 0,1)^2) \quad \text{per } v_k = N / A_{fck} > 0,1$$

#### 7.9.5.1 Criterio di gerarchia delle resistenze

Il fattore  $\gamma_{Rd}$  (fattore di "sovrarresistenza") viene calcolato mediante l'espressione:

$$\gamma_{Rd} = 0,7 + 0,2q \geq 1 \quad (7.9.7)$$

nella quale  $q$  è il valore del fattore di struttura utilizzato nel calcolo. Nel caso di sezioni in cemento armato con armatura di confinamento, quando il rapporto  $v_k$  tra la forza assiale e la resistenza a compressione della sezione di calcestruzzo eccede 0,1, il fattore di sovrarresistenza va moltiplicato per  $1 + 2(v_k - 0,1)^2$ .

Per le sollecitazioni che derivano da appoggi scorrevoli o elastomerici si utilizza un fattore di sovrarresistenza pari a  $\gamma_{Rd} = 1,30$ .

Le sollecitazioni calcolate a partire dai momenti resistenti amplificati, incrementati dell'effetto dei carichi permanenti distribuiti sugli elementi, ovvero ottenute con il criterio della gerarchia delle resistenze, si indicano con l'indice "gr", ad es.  $F_{gr}$ .

#### 7.9.5.2.2 Verifiche a taglio

Le sollecitazioni di progetto devono essere calcolate sulla base della gerarchia delle resistenze. I valori di resistenza degli elementi in calcestruzzo armato devono essere divisi per un fattore di sicurezza aggiuntivo nei confronti della rottura fragile calcolato sulla base del taglio di calcolo  $V_{Ed}$  e del taglio di progetto per la gerarchia della resistenza  $V_{gr,0}$

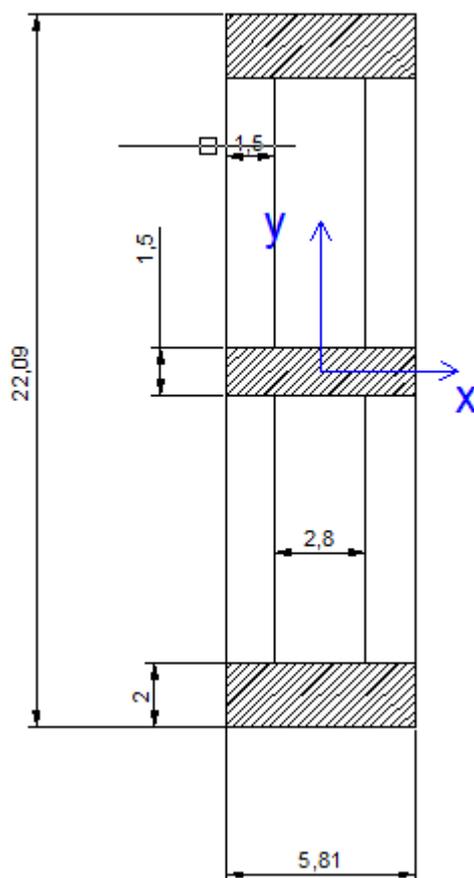
$$1 \leq \gamma_{Rd} = 1,25 + 1 - q \cdot \frac{V_{Ed}}{V_{gr,0}} \leq 1,25 \quad (7.9.10)$$

Per una pila incernierata in sommità il criterio conduce al valore della sollecitazione di taglio di calcolo:

$$V_{gr,i} = V_{E,i} \cdot \frac{\gamma_{Rd} M_{Rd,i}}{M_{E,i}} \quad (7.9.14)$$

### 8.1.3.1 VERIFICA A TAGLIO LONGITUDINALE (V<sub>x</sub>)

Per la verifica a taglio (V<sub>x</sub>) poiché la sezione è cava, sono state prese in considerazione come superfici di calcolo le aree indicate nelle figure sottostanti:



Il taglio viene distribuito negli elementi indicati nella figura precedente in funzione della rigidezza dei singoli elementi utilizzando la seguente formulazione  $I_{el,i} / (I_{el,1} + 2I_{el,2})$ .

SOLLECITAZIONI E GEOMETRIA DELLA PILA		
$N_{Ed}$	105140	[kN]
$A_{TOT}$	81.7	[m <sup>2</sup> ]
$V_{Ed}$	29466	[kN]
$\sigma_{Ed}$	1.29	[N/mm <sup>2</sup> ]
$N_{ck}$	2509007	[kN]

SEZIONI PER LA DISTRIBUZIONE DEL TAGLIO						
Elemento	b	h	l	% di l	Taglio	N
	[m]	[m]	[m <sup>4</sup> ]		[kN]	[kN]
SETTO CENTRALE	1.5	5.8	24.39	21.43	6314.25	11196.09
SETTO LATERALE	2	5.8	32.52	28.57	8419.00	14928.12

## Setto Laterale

### Caratteristiche sollecitazioni

$N_{Ed}$	14928.12 [kN]	sforzo normale di calcolo (+ per compressione)
$V_{Ed}$	8419.00 [kN]	taglio di calcolo
$N_{Ed}$	237490.7 [kN]	sforzo normale di compressione massimo

### Dati traliccio resistente

$\theta$	23	inclinazione delle bielle di calcestruzzo rispetto all'asse
ctg $\theta$	2.355852366	1 < ctg $\theta$ < 2.5

### Valore di verifica del taglio resistente

$V_{rd}$	5144.1 [kN]	Taglio resistente per elemento privo di armatura trasversale a tagli
$V_{rd}$	15117.6 [kN]	Taglio resistente per elemento con armatura trasversale a taglio

RELAZIONE DI CALCOLO PILA P8

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D 09 CL	VI 02 05 003	A	49 di 83

Valore a taglio della sezione con la gerarchia delle resistenze

q	1.5
$N_{Ed}$	14928.12
$V_{Ed}$	8419.00
$M_{Ed}$	556354
$N_{ck}$	2509007
vk	0.00594981
$M_{rd}$	667622
$\gamma_{rd}$	1
$M_{rd}/M_{Ed}$	1.20
$V_{gr}$	10102.75
$V_{gr}/V_{Ed}$	1.20
$V_{rd}$	15117.61
$\gamma_{rd\_resistenza}$	1
$V_{rd\_gr}$	15117.6
$V_{gr}/V_{rd\_gr}$	0.67

## Setto Centrale

### Geometria sezione

$b_w$	1500 [mm]
$d$	5800 [mm]
$A_c$	8700000 [mm <sup>2</sup> ]

### Caratteristiche armature

$n_{bl}$	7	numero barre longitudinali
$\phi_{bl}$	20 [mm]	diametro delle barre longitudinali
$n_{bw}$	2	numero di bracci delle staffe
$\phi_{st}$	20 [mm]	diametro delle staffe
$s_{st}$	200 [mm]	passo delle staffe
$\alpha$	90 [°]	inclinazione delle staffe ( $\alpha=90^\circ$ per staffe ortogonali all'asse)

### Caratteristiche sollecitazioni

$N_{Ed}$	11196.09 [kN]	sforzo normale di calcolo (+ per compressione)
$V_{Ed}$	6314.25 [kN]	taglio di calcolo
$N_{Rd}$	178118.0 [kN]	sforzo normale di compressione massimo

### Dati traliccio resistente

$\theta$	26	inclinazione delle bielle di calcestruzzo rispetto all'asse
$\text{ctg } \theta$	2.050303842	$1 < \text{ctg } \theta < 2.5$

### Valore di verifica del taglio resistente

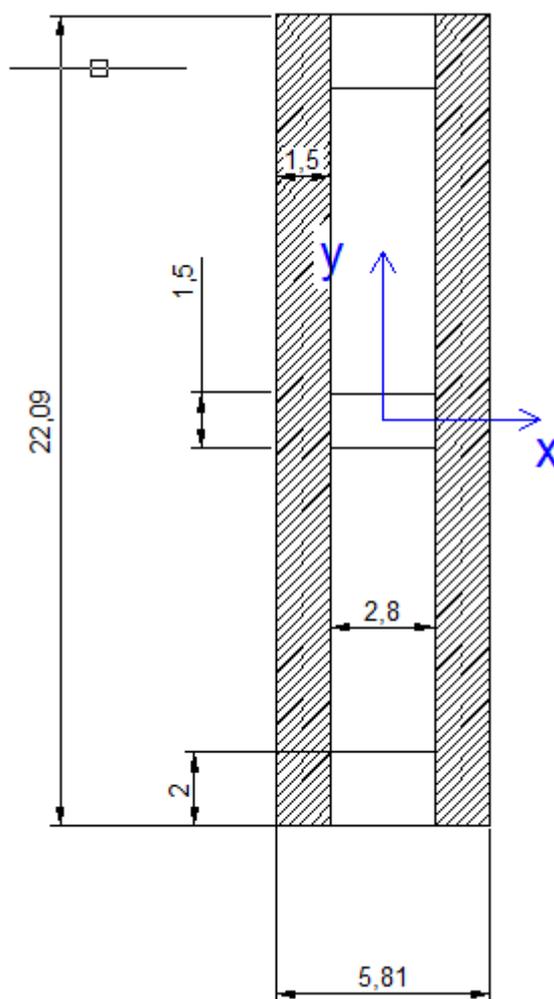
$V_{Rd}$	2057.6 [kN]	Taglio resistente per elemento privo di armatura trasversale a taglio
$V_{Rd}$	13156.9 [kN]	Taglio resistente per elemento con armatura trasversale a taglio

Valore a taglio della sezione con la gerarchia delle resistenze

$q$	1.5
$N_{Ed}$	11196.09
$V_{Ed}$	6314.25
$M_{Ed}$	556354
$N_{ck}$	2509007
$\nu_k$	0.004462358
$M_{rd}$	667622
$\gamma_{rd}$	1
$M_{rd}/M_{Ed}$	1.20
$V_{gr}$	7577.06
$V_{gr}/V_{Ed}$	1.20
$V_{Rd}$	13156.89
$\gamma_{rd\_resistenza}$	1
$V_{Rd\_gr}$	13156.9
$V_{gr}/V_{Rd\_gr}$	0.58

### 8.1.3.2 VERIFICA A TAGLIO TRASVERSALE ( $V_y$ )

Per la verifica a taglio ( $V_y$ ) poiché la sezione è cava, sono state prese in considerazione come superfici di calcolo le aree indicate nelle figure sottostanti:



SOLLECITAZIONI E GEOMETRIA DELLA PILA

$N_{Ed}$	119232	[kN]
$A_{TOT}$	81.7	[m <sup>2</sup> ]
$V_{Ed}$	25316	[kN]
$\sigma_{Ed}$	1.46	[N/mm <sup>2</sup> ]
$N_{ck}$	2509007	[kN]

SEZIONI PER LA DISTRIBUZIONE DEL TAGLIO							
Elemento	b	h	l	nr.elem	% di l	Taglio	N
	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]			[kN]	[kN]
SETTO	1.5	22.1	1349.23	2	50.00	12657.88	48378.55

#### Geometria sezione

$b_w$	1500 [mm]
$d$	22100 [mm]
$A_c$	33150000 [mm <sup>2</sup> ]

#### Caratteristiche armature

$n_{bl}$	14	numero barre longitudinali
$\phi_{bl}$	20 [mm]	diametro delle barre longitudinali
$n_{bw}$	4	numero di bracci delle staffe
$\phi_{st}$	16 [mm]	diametro delle staffe
$s_{st}$	200 [mm]	passo delle staffe
$\alpha$	90 [°]	inclinazione delle staffe ( $\alpha=90^\circ$ per staffe ortogonali all'asse)

#### Caratteristiche sollecitazioni

$N_{Ed}$	48378.55 [kN]	sforzo normale di calcolo (+ per compressione)
$V_{Ed}$	12657.88 [kN]	taglio di calcolo
$N_{Rd}$	678691.0 [kN]	sforzo normale di compressione massimo

#### Dati traliccio resistente

$\theta$	45	inclinazione delle bielle di calcestruzzo rispetto all'asse
ctg $\theta$	1	$1 < \text{ctg } \theta < 2.5$

#### Valore di verifica del taglio resistente

$V_{Rd}$	14625.5 [kN]	Taglio resistente per elemento privo di armatura trasversale a taglio
$V_{Rd}$	31297.5 [kN]	Taglio resistente per elemento con armatura trasversale a taglio

Valore a taglio della sezione con la gerarchia delle resistenze

q	1.5
$N_{Ed}$	48378.55
$V_{Ed}$	12657.88
$M_{Ed}$	556354
$N_{ck}$	2509007
$\nu_k$	0.019
$M_{rd}$	667622
$\gamma_{rd}$	1
$M_{rd}/M_{Ed}$	1.20
$V_{gr}$	15189.39
$V_{gr}/V_{Ed}$	1.20
$V_{rd}$	31297.47
$\gamma_{rd\_resistenza}$	1
$V_{rd\_gr}$	31297.5
$V_{gr}/V_{rd\_gr}$	0.49

Le Verifiche a taglio risultano soddisfatte su ogni setto.

### 8.1.4 Verifiche agli SLE

Si riportano di seguito gli stati di tensione, che si generano con le combinazioni sopra citate, relativi alle sezioni di base delle pile.

#### Verifica tensioni di esercizio: Combinazione RARA

Verifica C.A. S.L.U. - File: Fusto\_sez2\_SLE\_rara

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo:** Pila P8 - Sezione 2, maxM

N\* Vertici: 19 Zoom N\* barre: 1002 Zoom

N*	x [cm]	y [cm]	N*	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	290	-1105	1	3.14	285	-1100
2	290	-75	2	3.14	285	-1090
3	140	-75	3	3.14	285	-1080
4	140	-905	4	3.14	285	-1070
5	-140	-905	5	3.14	285	-1060
6	-140	-75	6	3.14	285	-1050

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

N <sub>Ed</sub>	177516	124692	kN
M <sub>xEd</sub>	-297481	-36199	kNm
M <sub>yEd</sub>	277382	189014	

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

**Sezio...**

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

**Materiali**  
 B450C C32/40  
 $\epsilon_{su}$  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>  $f_{cd}$  18.13  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12.25  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0.7333  
 $\tau_{c1}$  2.114

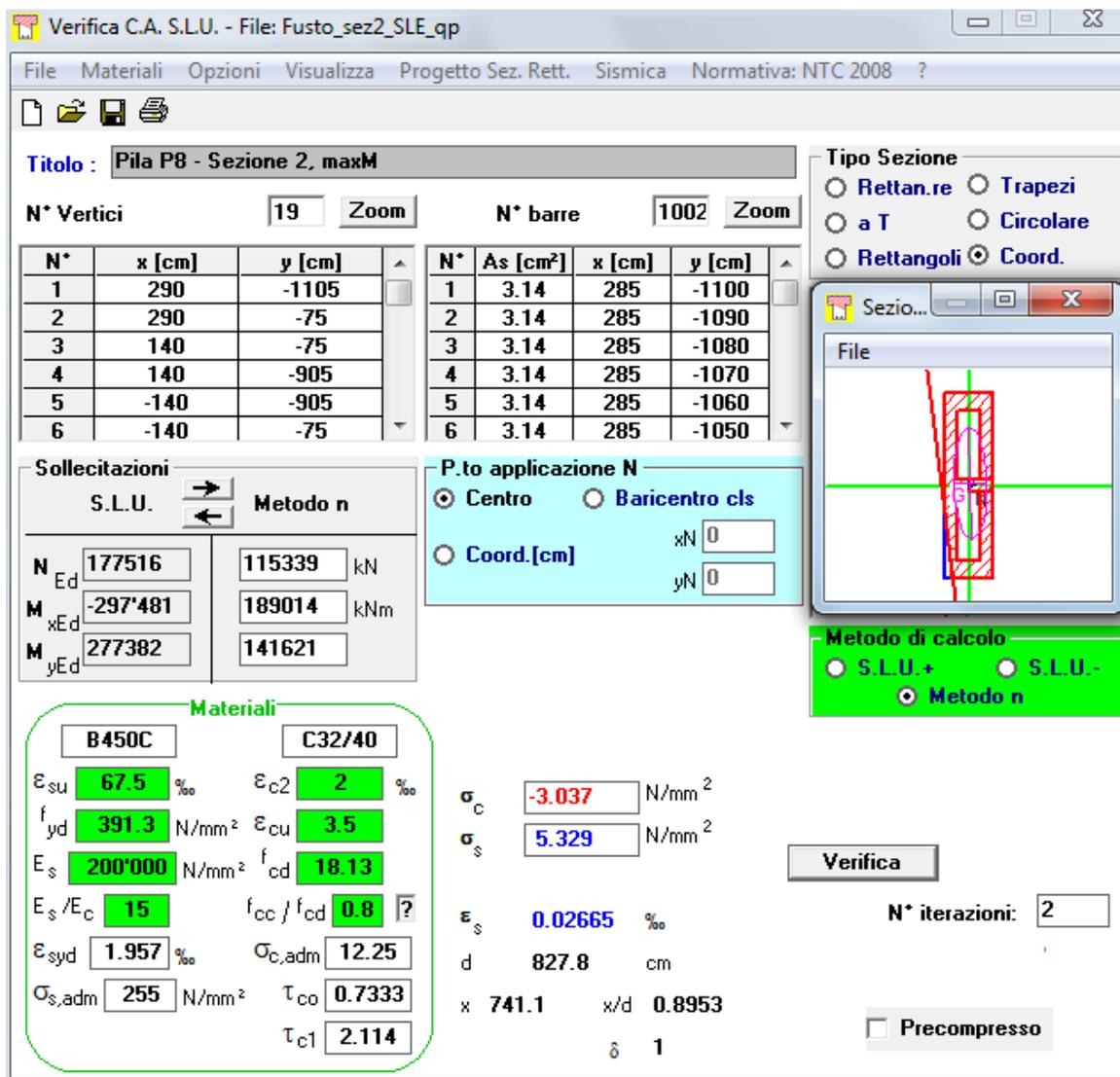
$\sigma_c$  -3.114 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  3.158 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_s$  0.01579 ‰  
 d 613.3 cm  
 x 574.5 x/d 0.9367  
 $\delta$  1

**Verifica**  
N\* iterazioni: 2  
 Precompresso

$$\sigma_c = 3.114 \text{ N/mm}^2 < 0.55 f_{ck} = 0.55 \times 30.71 = 16.9 \text{ N/mm}^2$$

→ VERIFICATO

8.1.4.1 Verifica tensioni di esercizio: Combinazione QUASI PERMANENTE



**Titolo:** Pila P8 - Sezione 2, maxM

**N° Vertici:** 19 **Zoom** **N° barre:** 1002 **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	290	-1105	1	3.14	285	-1100
2	290	-75	2	3.14	285	-1090
3	140	-75	3	3.14	285	-1080
4	140	-905	4	3.14	285	-1070
5	-140	-905	5	3.14	285	-1060
6	-140	-75	6	3.14	285	-1050

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

N <sub>Ed</sub>	177516	115339	kN
M <sub>xEd</sub>	-297481	189014	kNm
M <sub>yEd</sub>	277382	141621	

**Materiali:** B450C C32/40

$\epsilon_{su}$	67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	391.3 N/mm²	$\epsilon_{cu}$	3.5 ‰
$E_s$	200000 N/mm²	$f_{cd}$	18.13
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	0.8
$\epsilon_{syd}$	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	12.25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	$\tau_{co}$	0.7333
		$\tau_{c1}$	2.114

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

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

**Verifica** **N° iterazioni:** 2

Precompresso

$\sigma_c = -3.037$  N/mm²  
 $\sigma_s = 5.329$  N/mm²  
 $\epsilon_s = 0.02665$  ‰  
d = 827.8 cm  
x = 741.1 w/d = 0.8953  
 $\delta = 1$

$$\sigma_c = 3.037 \text{ N/mm}^2 < 0.4 f_{ck} = 0.4 \times 30.71 = 12.3 \text{ N/mm}^2$$

➔ VERIFICATO

## 8.2 Fusto di pila sezione 1

In questo capitolo si considera la sezione del fusto posta in corrispondenza del ringrosso (si considera la sezione minore); di seguito è riportato il calcolo delle sollecitazioni, che verranno successivamente utilizzate per la verifica della sezione sia allo stato limite ultimo che di esercizio.

### 8.2.1 Sollecitazioni a quota estradosso fondazioni (sezione 1)

Nella seguente tabella sono riportate le azioni elementari in direzione orizzontale e verticale agenti sulla pila. Queste forze sono riferite al sistema di riferimento già riportato in precedenza (ma considerando la quota della sezione considerata), in seguito verranno utilizzate per ottenere le sollecitazioni per il calcolo del plinto.

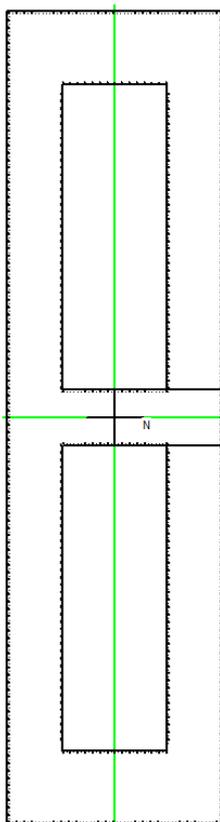
Elemento	Componenti risultante				Pos. della risultante			
	Fy [kN]	Fx [kN]	Fz [kN]	Mx_appoggi	x [m]	y [m]	z [m]	
Fusto	0	0	-17055	0	-2.90	0.00	3.45	
Pulvino	0	0	-9630	0	-2.90	0.00	8.40	
Inerzia x spalla								
Fusto	0	5201	0	0	-2.90	0.00	3.45	
Pulvino	0	2937	0	0	-2.90	0.00	8.40	
Inerzia y spalla								
Fusto	5201	0	0	0	-2.90	0.00	3.45	
Pulvino	2937	0	0	0	-2.90	0.00	8.40	
Inerzia z spalla								
Fusto	0	0	2600	0	-2.90	0.00	3.45	
Pulvino	0	0	1468	0	-2.90	0.00	8.40	
Vento sul fusto della pila	Vy	208.8	0	0	-2.90	0.00	4.95	
Azioni da impalcato 120m (arco)								
Permanenti impalcato G1	-1	0	-10337	10	-1.76	0.00	10.30	
Permanenti impalcato G2	-1	0	-46389	11	-1.76	0.00	10.30	
Frenatura/Avviamento	-1	5280	-49	0	-1.76	0.00	10.30	
Vento trasversale	2141	0	0	-11674	-1.76	0.00	10.30	
Sovraccarico accidentale	4	0	-11491	-1362	-1.76	0.00	10.30	
Azione centrifuga	0	0	0	0	-1.76	0.00	10.30	
Resistenze parassite	0	2046	0	0	-1.76	0.00	10.30	
Azioni laterali (serpeggio)	210	0	0	1	-1.76	0.00	10.30	
Sisma x - impalcato 120 m (arco)	Ex	748	17018	7036	755	-1.76	0.00	10.30
Sisma y - impalcato 120 m (arco)	Ey	8203	12448	8215	-319	-1.76	0.00	10.30
Sisma z - impalcato 120 m (arco)	Ez	261	5963	2953	264	-1.76	0.00	10.30
Azioni da impalcato 40 m								
Permanenti impalcato G1	0	0	-3980	0	-4.81	0.00	10.30	
Permanenti impalcato G2	0	0	-3969	1	-4.81	0.00	10.30	
Frenatura/Avviamento	-84	0	67	-169	-4.81	0.00	10.30	
Vento trasversale	554	0	0	2534	-4.81	0.00	10.30	
Sovraccarico accidentale	-6	0	-4804	-849	-4.81	0.00	10.30	
Azione centrifuga	0	0	0	0	-4.81	0.00	10.30	
Resistenze parassite	0	383	0	0	-4.81	0.00	10.30	
Azioni laterali (serpeggio)	210	0	0	1	-4.81	0.00	10.30	
Sisma x - impalcato 40 m	Ex	0	0	0	0	-4.81	0.00	10.30
Sisma y - impalcato 40 m	Ey	3930	0	4879	4684	-4.81	0.00	10.30
Sisma z - impalcato 40 m	Ez	47	0	1787	6	-4.81	0.00	10.30

Tali azioni combinate con i coefficienti riportati in precedenza determinano le sollecitazioni di progetto. Di seguito si riportano le sollecitazioni di progetto riferite al baricentro del fusto principale (senza considerare il ringrosso).

Combinazioni	$N_{tot}$	$M_{y_{tot}}$	$M_{x_{tot}}$	$V_{y_{tot}}$	$V_{x_{tot}}$
	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kN]	[kN]
<b>SLU 1</b>	-154492	180929	-27766	2793	9842
<b>SLU 2</b>	-130936	204534	-27521	2770	9498
<b>Ex-0.3Ey+0.3Ez</b>	-88866	251045	40446	-5217	24266
<b>Ex-0.3Ey-0.3Ez</b>	-94151	214164	42189	-5402	20688
<b>(-)Ex-0.3Ey+0.3Ez</b>	-102944	-190530	54072	-6680	-28157
<b>(-)Ex-0.3Ey-0.3Ez</b>	-108229	-227411	55815	-6865	-31735
<b>0.3Ex-Ey+0.3Ez</b>	-102957	14413	159565	-19930	-2057
<b>0.3Ex-Ey-0.3Ez</b>	-108242	-22468	161308	-20115	-5635
<b>0.3Ex-0.3Ey+Ez</b>	-87624	147161	43280	-5525	10831
<b>0.3Ex-0.3Ey-Ez</b>	-105242	24224	49090	-6141	-1095
<b>(-)0.3Ex-0.3Ey+Ez</b>	-91846	21236	47452	-5974	-4262
<b>(-)0.3Ex-0.3Ey-Ez</b>	-109463	-101700	53262	-6591	-16188
<b>SLE_rara (a)</b>	-107637	122987	-18538	1865	6737
<b>SLE_rara (b)</b>	-102900	129670	-18380	1850	6508
<b>SLE_freq (a)</b>	-101126	97088	-750	73	4383
<b>SLE_freq (b)</b>	-98284	100547	-656	64	4191
<b>SLE_Q.P.</b>	-91360	61993	13	-1	1215

### 8.2.2 Verifiche a pressoflessione

La sezione di verifica è la seguente:



L'armatura considerata è distribuita su tutti i lati della sezione, sia interni che esterni, con  $\phi 20$  passo 20 cm. Il copriferro considerato è di 4 cm.

Nel seguito si riportano le verifiche a presso-flessione, eseguite con il programma Gelfi VcaSlu.

Nello specifico si sono analizzati i casi in cui i momenti longitudinali, trasversali e sforzo normale risultano massimizzati.

Verifica C.A. S.L.U. - File: Fusto\_sez1\_Mymax\_rev

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: Sbalzo\_sez. d'estremità

N° Vertici: 19 Zoom N° barre: 1002 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	290	-1105	1	3.14	285	-1100
2	290	-75	2	0	285	-1090
3	140	-75	3	3.14	285	-1080
4	140	-905	4	0	285	-1070
5	-140	-905	5	3.14	285	-1060
6	-140	-75	6	0	285	-1050

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 88866 kN  
M<sub>xEd</sub>: 40446 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 251045 kNm

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: B450C C25/30

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>: 14.17  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0.8  
E<sub>syd</sub>: 1.957% G<sub>c,adm</sub>: 9.75  
G<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm² τ<sub>co</sub>: 0.6  
τ<sub>c1</sub>: 1.829

M<sub>xRd</sub>: -503.8 kNm  
M<sub>yRd</sub>: 411'306 kNm  
σ<sub>c</sub>: -14.17 N/mm²  
σ<sub>s</sub>: 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub>: 3.5%  
ε<sub>s</sub>: 38.26%  
d: 575 cm  
x: 48.2 x/d: 0.08382  
δ: 0.7

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

Tipo flessione: Retta Deviata

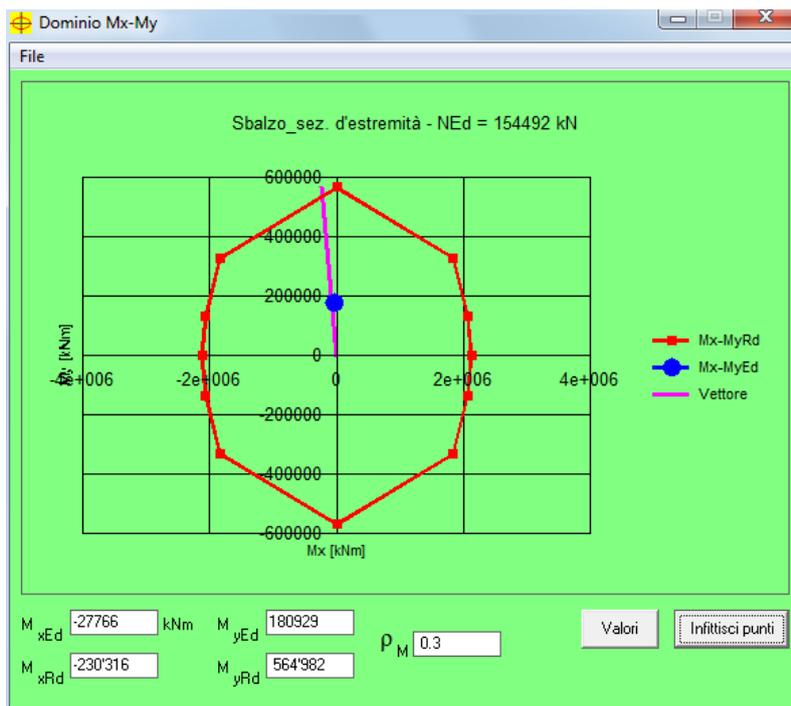
N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio Mx-My

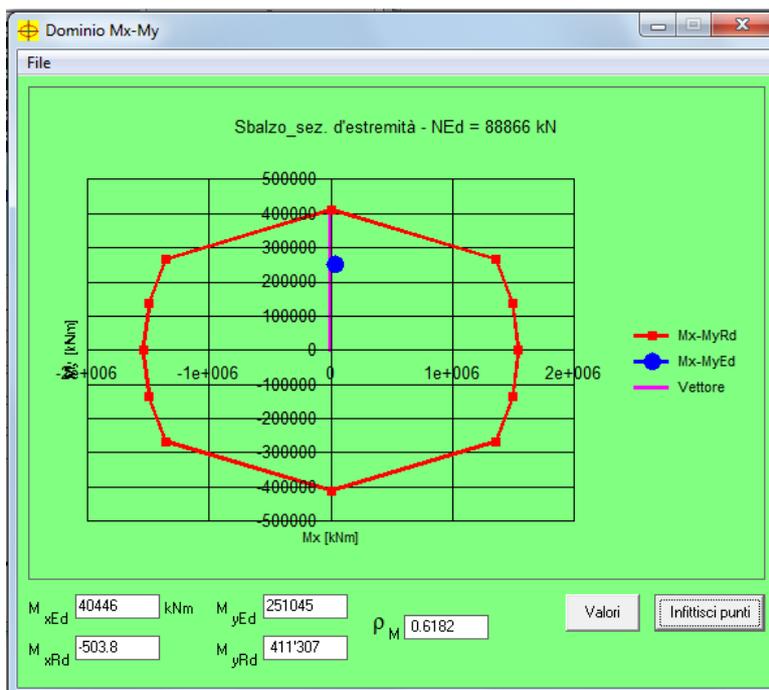
angolo asse neutro θ°: 270

Precompresso

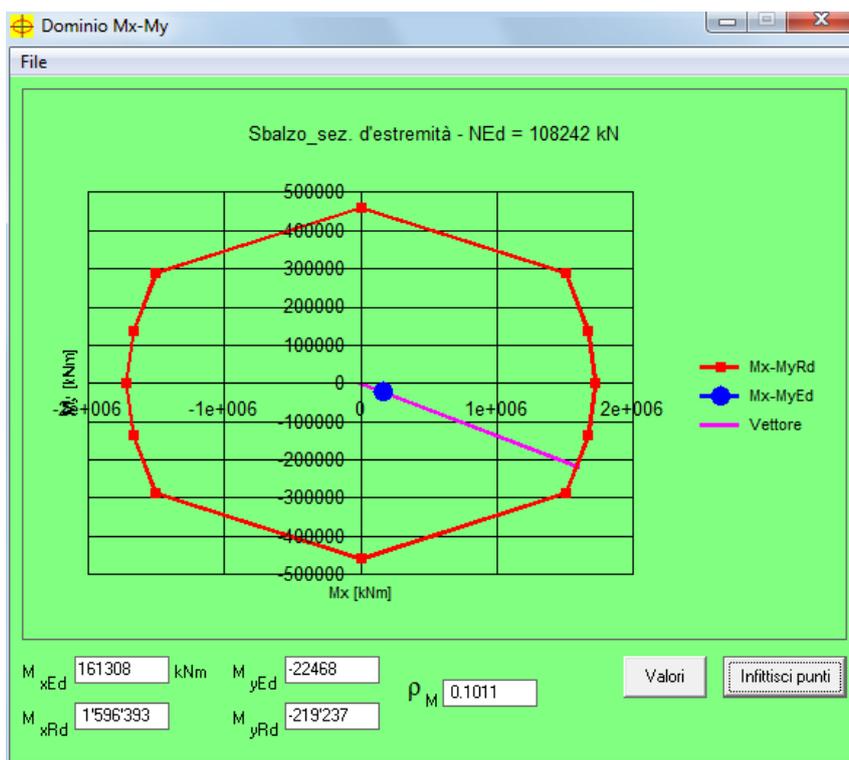
Condizione di carico 1:



Condizione di carico 2:



Condizione di carico 3:



### 8.2.3 Verifiche a taglio alla base

Le sollecitazioni di taglio di calcolo sono state ottenute con il criterio della Gerarchia delle Resistenze secondo l'espressione:

$$V_{gr,i} = V_{gr,0} \gamma_{RD3}$$

Dove

$$\gamma_{RD3} = 1,25 + 1 - q \frac{V_{E,i}}{V_{gr,0}} \leq 1,25$$

$$V_{gr,0} = V_{E,i} \frac{\gamma_{RD2} M_{Rd,i}}{M_{E,i}}$$

$V_{E,i}$  è il valore dello sforzo di taglio ottenuto dall'analisi

$$\gamma_{RD2} = 0,7 + 0,2q \quad \text{per } v_k = N / A_{fck} \leq 0,1$$

$$\gamma_{RD2} = (0,7 + 0,2q) \times (1 + 2(v_k - 0,1)^2) \quad \text{per } v_k = N / A_{fck} > 0,1$$

#### 7.9.5.1 Criterio di gerarchia delle resistenze

Il fattore  $\gamma_{Rd}$  (fattore di "sovraresistenza") viene calcolato mediante l'espressione:

$$\gamma_{Rd} = 0,7 + 0,2q \geq 1 \quad (7.9.7)$$

nella quale  $q$  è il valore del fattore di struttura utilizzato nel calcolo. Nel caso di sezioni in cemento armato con armatura di confinamento, quando il rapporto  $v_k$  tra la forza assiale e la resistenza a compressione della sezione di calcestruzzo eccede 0,1, il fattore di sovraresistenza va moltiplicato per  $1 + 2(v_k - 0,1)^2$ .

Per le sollecitazioni che derivano da appoggi scorrevoli o elastomerici si utilizza un fattore di sovraresistenza pari a  $\gamma_{Rd} = 1,30$ .

Le sollecitazioni calcolate a partire dai momenti resistenti amplificati, incrementati dell'effetto dei carichi permanenti distribuiti sugli elementi, ovvero ottenute con il criterio della gerarchia delle resistenze, si indicano con l'indice "gr", ad es.  $F_{gr}$ .

#### 7.9.5.2.2 Verifiche a taglio

Le sollecitazioni di progetto devono essere calcolate sulla base della gerarchia delle resistenza. I valori di resistenza degli elementi in calcestruzzo armato devono essere divisi per un fattore di sicurezza aggiuntivo nei confronti della rottura fragile calcolato sulla base del taglio di calcolo  $V_{Ed}$  e del taglio di progetto per la gerarchia della resistenza  $V_{gr,0}$

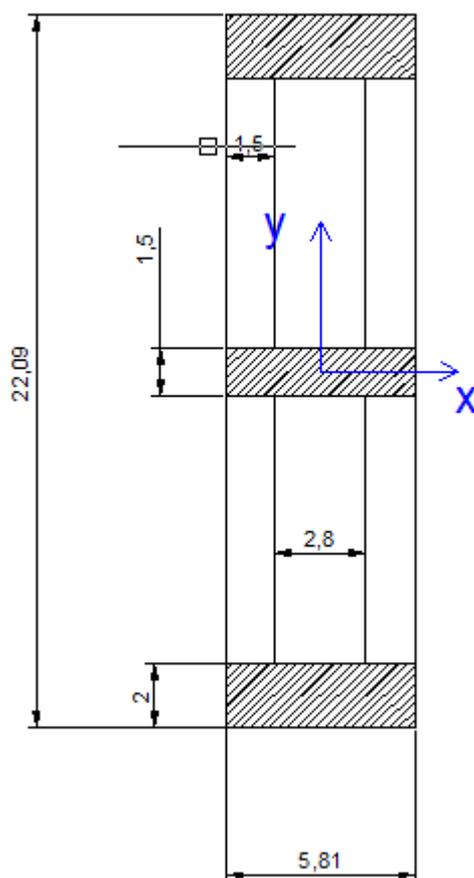
$$1 \leq \gamma_{Rd} = 1,25 + 1 - q \cdot \frac{V_{Ed}}{V_{gr,0}} \leq 1,25 \quad (7.9.10)$$

Per una pila incernierata in sommità il criterio conduce al valore della sollecitazione di taglio di calcolo:

$$V_{gr,i} = V_{E,i} \cdot \frac{\gamma_{Rd} M_{Rd,i}}{M_{E,i}} \quad (7.9.14)$$

### 8.2.3.1 VERIFICA A TAGLIO LONGITUDINALE (V<sub>x</sub>)

Per la verifica a taglio (V<sub>x</sub>) poiché la sezione è cava, sono state prese in considerazione come superfici di calcolo le aree indicate nelle figure sottostanti:



Il taglio viene distribuito negli elementi indicati nella figura precedente in funzione della rigidità dei singoli elementi utilizzando la seguente formulazione  $I_{el,i} / (I_{el,1} + 2I_{el,2})$ .

$N_{Ed}$	102944	[kN]
$A_{TOT}$	81.7	[m <sup>2</sup> ]
$V_{Ed}$	28157	[kN]
$\sigma_{Ed}$	1.26	[N/mm <sup>2</sup> ]
$N_{ck}$	2509007	[kN]

Elemento	b	h	l	% di l	Taglio	N
	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]		[kN]	[kN]
SETTO CENTRALE	1.5	5.8	24.39	21.43	6033.61	10962.23
SETTO LATERALE	2	5.8	32.52	28.57	8044.81	14616.31

## Setto Laterale

### Geometria sezione

$b_w$	2000 [mm]
$d$	5800 [mm]
$A_c$	11600000 [mm <sup>2</sup> ]

### Caratteristiche armature

$n_{bl}$	14	numero barre longitudinali
$\phi_{bl}$	20 [mm]	diametro delle barre longitudinali
$n_{bw}$	2	numero di bracci delle staffe
$\phi_{st}$	20 [mm]	diametro delle staffe
$s_{st}$	150 [mm]	passo delle staffe
$\alpha$	90 [°]	inclinazione delle staffe ( $\alpha=90^\circ$ per staffe ortogonali all'asse)

### Caratteristiche sollecitazioni

$N_{Ed}$	14616.31 [kN]	sforzo normale di calcolo (+ per compressione)
$V_{Ed}$	8044.81 [kN]	taglio di calcolo
$N_{sd}$	237490.7 [kN]	sforzo normale di compressione massimo

### Dati traliccio resistente

$\theta$	23	inclinazione delle bielle di calcestruzzo rispetto all'asse
$\text{ctg } \theta$	2.355852366	$1 < \text{ctg } \theta < 2.5$

### Valore di verifica del taglio resistente

$V_{rd}$	5097.3 [kN]	Taglio resistente per elemento privo di armatura trasversale a taglio
$V_{rd}$	20156.8 [kN]	Taglio resistente per elemento con armatura trasversale a taglio

Valore a taglio della sezione con la gerarchia delle resistenze

q	1.5
$N_{Ed}$	14616.31
$V_{Ed}$	8044.81
$M_{Ed}$	251045
$N_{ck}$	2509007
vk	0.005825535
Mrd	411307
$\gamma_{rd}$	1
$M_{rd}/M_{Ed}$	1.64
$V_{gr}$	13180.46
$V_{gr}/V_{Ed}$	1.64
$V_{rd}$	20156.81
$\gamma_{rd\_resistenza}$	1.25
$V_{rd\_gr}$	16125.5
$V_{gr}/V_{rd\_gr}$	0.82

## Setto Centrale

### Caratteristiche armature

$n_{bl}$	7	numero barre longitudinali
$\phi_{bl}$	20 [mm]	diametro delle barre longitudinali
$n_{bw}$	2	numero di bracci delle staffe
$\phi_{st}$	20 [mm]	diametro delle staffe
$s_{st}$	150 [mm]	passo delle staffe
$\alpha$	90 [°]	inclinazione delle staffe ( $\alpha=90^\circ$ per staffe ortogonali all'asse)

### Caratteristiche sollecitazioni

$N_{Ed}$	10962.23 [kN]	sforzo normale di calcolo (+ per compressione)
$V_{Ed}$	6033.61 [kN]	taglio di calcolo
$N_{Rd}$	178118.0 [kN]	sforzo normale di compressione massimo

### Dati traliccio resistente

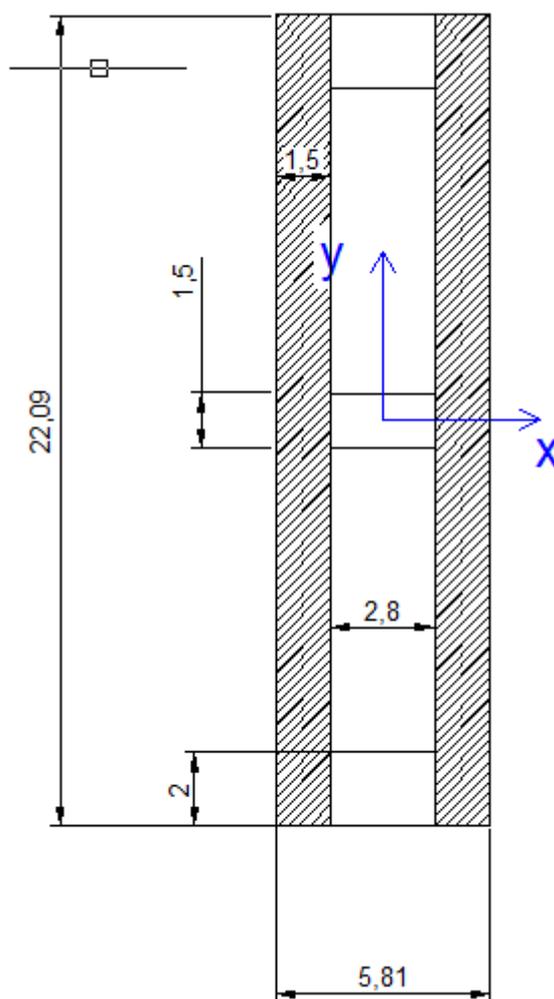
$\theta$	23	inclinazione delle bielle di calcestruzzo rispetto all'asse
$\text{ctg } \theta$	2.355852366	$1 < \text{ctg } \theta < 2.5$

### Valore di verifica del taglio resistente

$V_{Rd}$	2038.9 [kN]	Taglio resistente per elemento privo di armatura trasversale a taglio
$V_{Rd}$	20156.8 [kN]	Taglio resistente per elemento con armatura trasversale a taglio

### 8.2.3.2 VERIFICA A TAGLIO TRASVERSALE ( $V_y$ )

Per la verifica a taglio ( $V_y$ ) poiché la sezione è cava, sono state prese in considerazione come superfici di calcolo le aree indicate nelle figure sottostanti:



SOLLECITAZIONI E GEOMETRIA DELLA PILA

$N_{Ed}$	102957	[kN]
$A_{TOT}$	81.7	[m <sup>2</sup> ]
$V_{Ed}$	20115	[kN]
$\sigma_{Ed}$	1.26	[N/mm <sup>2</sup> ]
$N_{ck}$	2509007	[kN]

SEZIONI PER LA DISTRIBUZIONE DEL TAGLIO							
Elemento	b	h	l	nr.elem	% di l	Taglio	N
	[m]	[m]	[m <sup>4</sup> ]			[kN]	[kN]
SETTO	1.5	22.1	1349.23	2	50.00	10057.51	41775.02

#### Geometria sezione

$b_w$	1500 [mm]
$d$	22100 [mm]
$A_c$	33150000 [mm <sup>2</sup> ]

#### Caratteristiche armature

$n_{bl}$	14	numero barre longitudinali
$\phi_{bl}$	20 [mm]	diametro delle barre longitudinali
$n_{sw}$	4	numero di bracci delle staffe
$\phi_{st}$	16 [mm]	diametro delle staffe
$s_{st}$	150 [mm]	passo delle staffe
$\alpha$	90 [°]	inclinazione delle staffe ( $\alpha=90^\circ$ per staffe ortogonali all'asse)

#### Caratteristiche sollecitazioni

$N_{Ed}$	41775.02 [kN]	sfuerzo normale di calcolo (+ per compressione)
$V_{Ed}$	10057.51 [kN]	taglio di calcolo
$N_{Rd}$	678691.0 [kN]	sfuerzo normale di compressione massimo

#### Dati traliccio resistente

$\theta$	45	inclinazione delle bielle di calcestruzzo rispetto all'asse
ctg $\theta$	1	$1 < \text{ctg } \theta < 2.5$

#### Valore di verifica del taglio resistente

$V_{Rd}$	13634.9 [kN]	Taglio resistente per elemento privo di armatura trasversale a taglio
$V_{Rd}$	41730.0 [kN]	Taglio resistente per elemento con armatura trasversale a taglio

RELAZIONE DI CALCOLO PILA P8

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D 09 CL	VI 02.05 003	A	69 di 83

Valore a taglio della sezione con la gerarchia delle resistenze

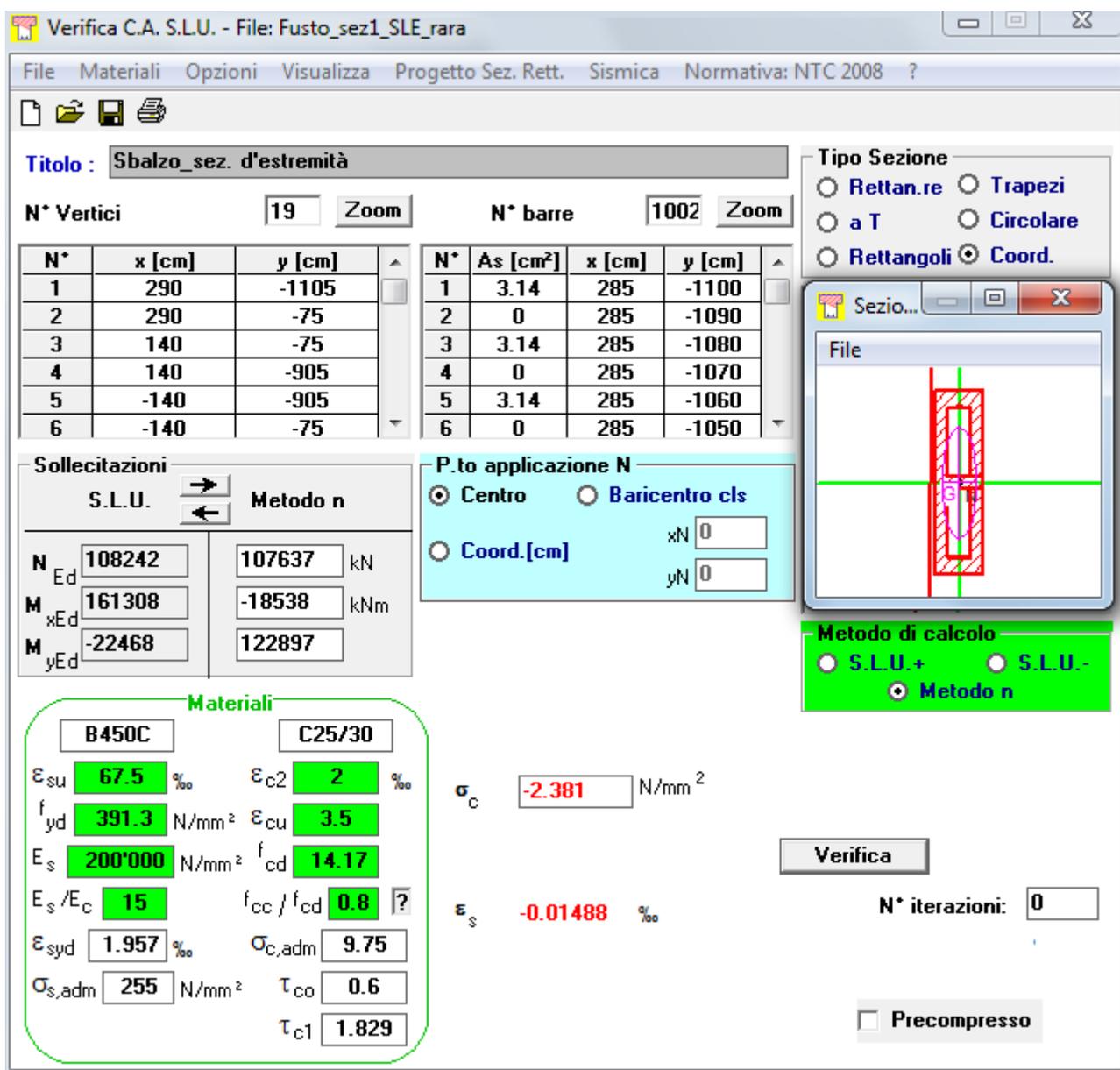
q	1.5
$N_{Ed}$	41775.02
$V_{Ed}$	10057.51
$M_{Ed}$	251045
$N_{ck}$	2509007
$\nu_k$	0.017
$M_{rd}$	411307
$\gamma_{rd}$	1
$M_{rd}/M_{Ed}$	1.64
$V_{gr}$	16478.02
$V_{gr}/V_{Ed}$	1.64
$V_{Rd}$	41729.97
$\gamma_{rd\_resistenza}$	1.25
$V_{Rd\_gr}$	33384.0
$V_{gr}/V_{Rd\_gr}$	0.49

Le Verifiche a taglio risultano soddisfatte su ogni setto.

### 8.2.4 Verifiche agli SLE

Si riportano di seguito gli stati di tensione, che si generano con le combinazioni sopra citate, relativi alle sezioni di base delle pile.

Verifica tensioni di esercizio: Combinazione RARA



The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. The main window displays the following data:

**Titolo:** Sbalzo sez. d'estremità

**N° Vertici:** 19 **N° barre:** 1002

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	290	-1105	1	3.14	285	-1100
2	290	-75	2	0	285	-1090
3	140	-75	3	3.14	285	-1080
4	140	-905	4	0	285	-1070
5	-140	-905	5	3.14	285	-1060
6	-140	-75	6	0	285	-1050

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

N <sub>Ed</sub>	108242	107637	kN
M <sub>xEd</sub>	161308	-18538	kNm
M <sub>yEd</sub>	-22468	122897	

**Materiali:**

B450C	C25/30
$\epsilon_{su}$ 67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$ 2 ‰
$f_{yd}$ 391.3 N/mm²	$\epsilon_{cu}$ 3.5 ‰
$E_s$ 200'000 N/mm²	$f_{cd}$ 14.17
$E_s/E_c$ 15	$f_{cc}/f_{cd}$ 0.8
$\epsilon_{syd}$ 1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 9.75
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²	$\tau_{co}$ 0.6
	$\tau_{c1}$ 1.829

**P.to applicazione N:** Centro  **$\sigma_c$  -2.381 N/mm²**

**Metodo di calcolo:** S.L.U.-  **$\epsilon_s$  -0.01488 ‰**

**Verifica:** N° iterazioni: 0

Precompresso

$$\sigma_c = 2.381 \text{ N/mm}^2 < 0.55 f_{ck} = 0.55 \times 30.71 = 16.9 \text{ N/mm}^2$$

→ VERIFICATO

8.2.4.1 Verifica tensioni di esercizio: Combinazione QUASI PERMANENTE

Verifica C.A. S.L.U. - File: Fusto\_sez1\_SLE\_qp

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: Sbalzo\_sez. d'estremità

N° Vertici: 19 Zoom N° barre: 1002 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	290	-1105	1	3.14	285	-1100
2	290	-75	2	0	285	-1090
3	140	-75	3	3.14	285	-1080
4	140	-905	4	0	285	-1070
5	-140	-905	5	3.14	285	-1060
6	-140	-75	6	0	285	-1050

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N <sub>Ed</sub>	108242	91360	kN
M <sub>xEd</sub>	161308	13	kNm
M <sub>yEd</sub>	-22468	61993	

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

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

Materiali: B450C C25/30

$\epsilon_{su}$	67.5	‰	$\epsilon_{c2}$	2	‰
$f_{yd}$	391.3	N/mm²	$\epsilon_{cu}$	3.5	
$E_s$	200'000	N/mm²	$f_{cd}$	14.17	
$E_s/E_c$	15		$f_{cc}/f_{cd}$	0.8	?
$\epsilon_{syd}$	1.957	‰	$\sigma_{c,adm}$	9.75	
$\sigma_{s,adm}$	255	N/mm²	$\tau_{co}$	0.6	
			$\tau_{c1}$	1.829	

$\sigma_c$  -1.616 N/mm²

$\epsilon_s$  -0.04252 ‰

Verifica N° iterazioni: 0

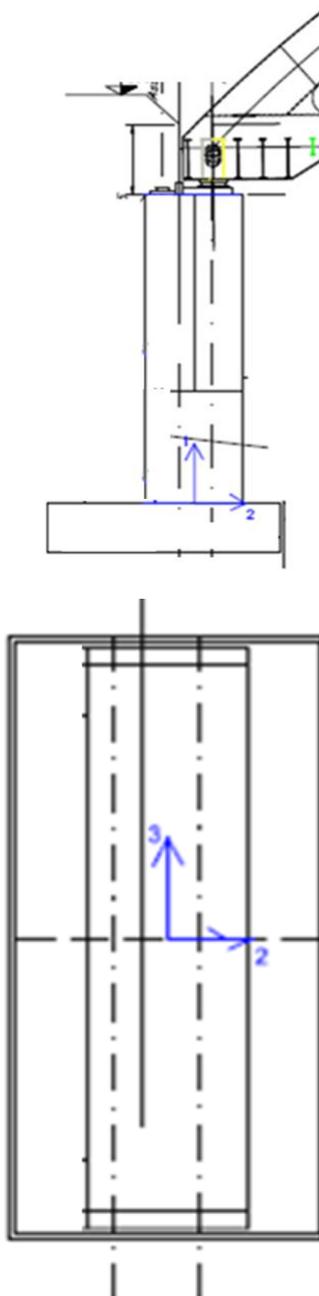
Precompresso

$$\sigma_c = 1.616 \text{ N/mm}^2 < 0.4 f_{ck} = 0.4 \times 30.71 = 12.3 \text{ N/mm}^2$$

→ VERIFICATO

## 9 AZIONI ALLA BASE DEL FUSTO

Di seguito si riporta il sistema di riferimento utilizzato per la definizione delle azioni alla base.



Di seguito si riporta un riepilogo sia delle azioni elementari che azioni combinate calcolate alla base del fusto seguendo il sistema di riferimento riportato nel precedente paragrafo.

PILA P8						
Sollecitazioni calcolate a quota estradosso plinto						
<b>Azioni elementari:</b> sono presenti solo i coefficienti dinamici dei carichi						
<b>Nota bene:</b> azione assiale N positiva se di trazione						
	N	V2	M33	V3	M22	T
	[kN]	[kN]	[kNcm]	[kN]	[kNcm]	[kNcm]
Permanenti impalcato	-109523	-19	4738000	0	3415	6417
Vento trasversale	0	0	1071	2817	8680300	2393700
Traffico - max N (*)	5	0	-923	0	4222	7679
Traffico - min N (*)	-6969	-3	813434	50	1520624	631313
Traffico - max M3 (*)	-6222	-4	1019043	69	1694501	825478
Traffico - min M3 (*)	-1149	0	227889	-15	-274617	-183618
Traffico V2 (*)	-5851	-4	1140859	72	1645972	825150
Traffico - M2 (*)	-6546	-4	1298006	69	1543325	826439
Traffico V3 (*)	-5674	-4	1124948	76	1605982	899006
Traffico - T (*)	-5674	-4	1124948	76	1605982	899006
Serpeggio	0	0	0	210	0	0
Sisma Ex (Direzione 2) (**)	7395	19241	40579351	1254	1217251	222271
Sisma Ey (Direzione 3) (**)	961	1614	2189781	9437	19102503	3958191
Sisma Ez (Direzione 1) (**)	5009	6170	12777859	1468	1577482	137442
<b>N.B. per sistema di riferimento guardare immagine in fondo a tabella</b>						
(*) In alternativa						
(**) Componenti elementari spettro nella direzione indicata						

RELAZIONE DI CALCOLO PILA P8

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D 09 CL	VI 02.05.003	A	74 di 83

**Azioni combinate:**

	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
SLU - GR1 - N (max) (*)	-124535	2008	9420510		4	31385	-61326
SLU - GR1 - N (min) (*)	-180091	-2057	3128272		68	2188423	1003221
SLU - GR1 - M3 (max) (*)	-159148	1250	1996423	-2235	-7434474		216169
SLU - GR1 - M3 (min) (*)	-111586	-3850	-3368711	-2535	-7457342		-2139718
SLU - GR1 - V2 (*)	-109711	3812	12619422		8	-9664	8435
SLU - GR3 - M2 (*)	-158738	432	9032301	2652	9703492		2989258
SLU - GR1 - V3 (*)	-178183	3129	15578014	2676	10201906		3581324
SLU - GR1 - T (*)	-157905	639	9659408	2653	9423952		4010080
SLU - GR3 - N (max) (*)	-124517	4035	14109157		9	52972	-140203
SLU - GR3 - N (min) (*)	-159809	-4085	-1558080		64	2166700	1082098
SLU - GR3 - M3 (max) (*)	-151871	7635	22882676	2536	6874919		2171066
SLU - GR3 - M3 (min) (*)	-111586	-7680	-11268819	-2536	-7458121		-2141755
SLU - GR3 - V2 (*)	-109711	7642	20519529		8	-8885	10472
SLU - GR3 - M2 (*)	-158734	894	9987054	2670	9791675		2639379
SLU - GR3 - V3 (*)	-157871	6289	21314363	2706	9580965		3695817
SLU - GR3 - T (*)	-157917	1309	11041113	2660	9363566		4553329
SLV - N max (*)	-100336	21557	49807459	4526	7425506		1458913
SLV - N min (*)	-120103	-21596	-40168956	-4516	-7113707		-1318281
SLV - M3 max (*)	-101581	21557	50011452	4540	7763562		1622473
SLV - M3 min (*)	-118939	-21595	-40286065	-4529	-7472755		-1481267
SLV - V2 (*)	-101507	21557	50035815	4540	7753856		1622408
SLV - M2 (*)	-106150	9218	23194545	10268	20253003		4237810
SLV - V3 (*)	-105975	9218	23159934	10269	20265535		4252323
SLV - T (*)	-105975	9218	23159934	10269	20265535		4252323

## 10 VERIFICHE PLINTO PILA

Si riportano nel seguito le verifiche geotecniche e strutturali del plinto a fondazione diretta della pila in oggetto.

### 10.1.1 Calcolo delle pressioni di contatto a quota intradosso plinto

Nelle seguenti tabelle è riportato il calcolo delle pressioni di contatto a quota intradosso plinto per le combinazioni di azioni maggiormente significative, valutate a partire dalle combinazioni agenti allo spiccato della pila e riportate a livello di intradosso plinto tenendo conto di un ricoprimento di terreno medio pari a 5 m.

PILA P8 - Pila con vincolo fisso longitudinale sull'arco da 120m										
Solicitazioni calcolate a quota estradosso plinto										
Azioni combinate										
Combinazione di carico	N	Ntot	Vx	My	My+Vx*d	e su B	Vy	Mx	Mx+Vy*d	e su L
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	m	[kN]	[kNm]	[kNm]	m
SLU 1	-177 516	-261 478	9 842	277 382	316 751	-1.21	2 793	-54 219	-43 046	0.16
SLU 2	-147 991	-231 953	9 498	297 613	335 605	-1.45	2 770	-53 741	-42 663	0.18
Ex-0.3Ey+0.3Ez	-105 140	-189 102	29 466	506 792	624 658	-3.30	-6 777	96 954	69 846	-0.37
Ex-0.3Ey-0.3Ez	-111 986	-195 948	25 889	434 848	538 402	-2.75	-6 962	100 509	72 661	-0.37
(-)Ex-0.3Ey+0.3Ez	-119 219	-203 181	-33 358	-484 410	-617 840	3.04	-8 240	124 917	91 957	-0.45
(-)Ex-0.3Ey-0.3Ez	-126 064	-210 027	-36 935	-556 354	-704 096	3.35	-8 425	128 473	94 773	-0.45
0.3Ex-Ey+0.3Ez	-119 232	-203 194	-497	-361	-2 347	0.01	-25 131	372 822	272 299	-1.34
0.3Ex-Ey-0.3Ez	-126 077	-210 039	-4 074	-72 305	-88 603	0.42	-25 316	376 377	275 114	-1.31
SLE_rara (a)	-124 692	-208 654	6 737	189 014	215 964	-1.04	1 865	-36 199	-28 740	0.14
SLE_rara (b)	-119 955	-203 917	6 508	193 448	219 479	-1.08	1 850	-35 892	-28 494	0.14
SLE_Q.P.	-108 415	-192 377	1 215	73 896	78 754	-0.41	-1	26	21	0.00

#### Contact pressures at the bottom of foundation

##### footing on soil

L	23.80	[m]
B	21.00	[m]

L/6	3.97	[m]
B/6	3.50	[m]

kern boundary	
x <sub>1</sub>	0
y <sub>1</sub>	3.97
x <sub>2</sub>	3.50
y <sub>2</sub>	0

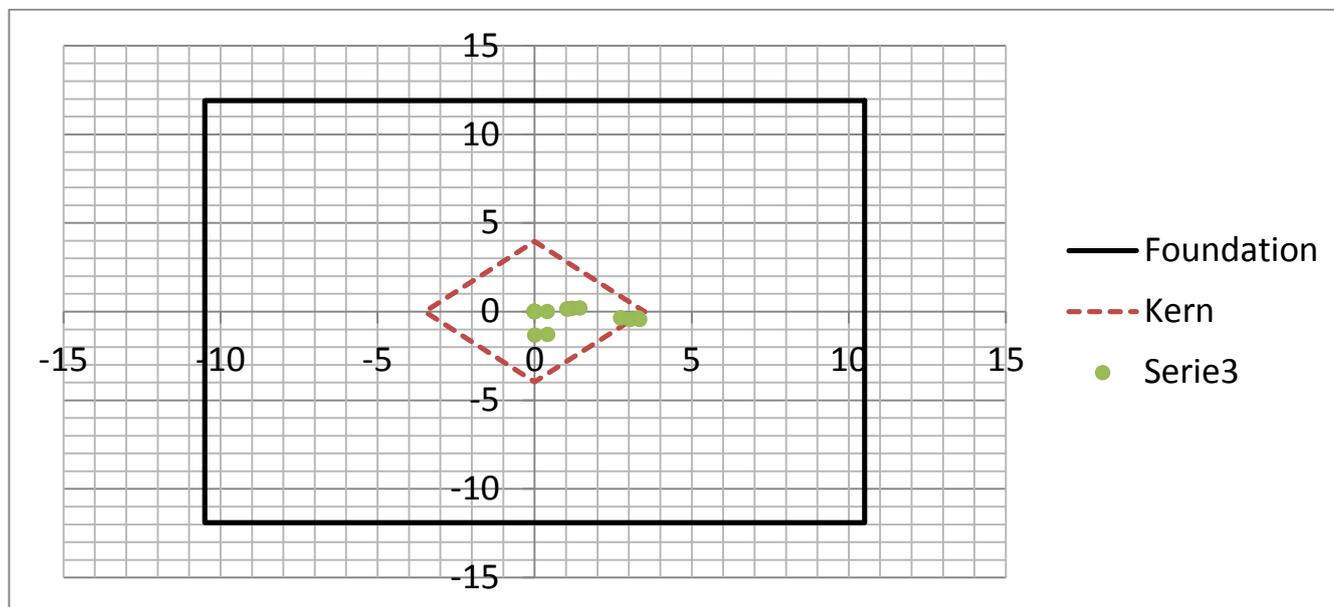
W <sub>t</sub>	1982.5	[m <sup>3</sup> ]
W <sub>l</sub>	1749.3	[m <sup>3</sup> ]
A	499.8	[m <sup>2</sup> ]

L/4	5.95	[m]
B/4	5.25	[m]

Combination	P <sub>max</sub>	P <sub>min</sub>	P <sub>max</sub>	P <sub>min</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>1</sub>	x	y	d	e sd
	[kPa]	[kPa]	[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]	[-]	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]
SLU 1	-320.4	-726.0	-3.20	-7.26	-1.13	0.1	3.1	0.4	3.15	verified
SLU 2	-250.7	-677.5	-2.51	-6.77	-1.13	0.1	3.1	0.4	3.17	verified
Ex-0.3Ey+0.3Ez	14.0	-770.7	0.14	-7.71	-1.13	-0.1	3.9	-0.4	3.91	verified
Ex-0.3Ey-0.3Ez	-47.6	-736.5	-0.48	-7.36	-1.13	-0.1	4.0	-0.5	4.01	verified
(-)Ex-0.3Ey+0.3Ez	-6.9	-806.1	-0.07	-8.06	-1.13	-0.1	4.0	-0.6	4.07	verified
(-)Ex-0.3Ey-0.3Ez	30.1	-870.5	0.30	-8.71	-1.13	-0.1	4.0	-0.5	4.01	verified
0.3Ex-Ey+0.3Ez	-267.9	-545.2	-2.68	-5.45	-1.13	-116.0	0.0	4.0	4.01	verified
0.3Ex-Ey-0.3Ez	-230.8	-609.7	-2.31	-6.10	-1.13	-3.1	-2.0	6.2	6.56	verified
SLE_rara (a)	-279.5	-555.4	-2.80	-5.55	-1.13	0.1	3.1	0.4	3.16	verified
SLE_rara (b)	-268.2	-547.8	-2.68	-5.48	-1.13	0.1	3.1	0.4	3.17	verified
SLE_Q.P.	-339.9	-429.9	-3.40	-4.30	-1.13	0.0	3.5	0.0	3.50	verified

Max/Min

0.30 -8.71



In considerazione delle caratteristiche meccaniche del substrato lapideo (vedasi Relazione Geotecnica specifica), le pressioni di contatto agenti risultano ampiamente accettabili.

### 10.1.2 Verifiche strutturali plinto

Si riportano nel seguito le verifiche di resistenza e a fessurazione del plinto in direzione longitudinale rispetto all'impalcato per le combinazioni sopra riportate.

Viene effettuato un calcolo a mensola (per metro lineare) con le pressioni massime uniformi su tutta la lunghezza. Il calcolo viene effettuato con la pressione netta, ossia depurando il contributo favorevole del peso proprio del plinto e del rinterro

Sisma/SLU: pressione netta  $p = 871 - (25 \cdot 4 + 20 \cdot 5) = 671$  kPa

$T_{sd} = 671 \cdot 7.6 = 5100$  kN

$M_{sd} = 671 \cdot 7.6^2 / 2 = 19'378$  kNm

SLE rara: pressione netta  $p = 555 - (25 \cdot 4 + 20 \cdot 5) = 355$  kPa

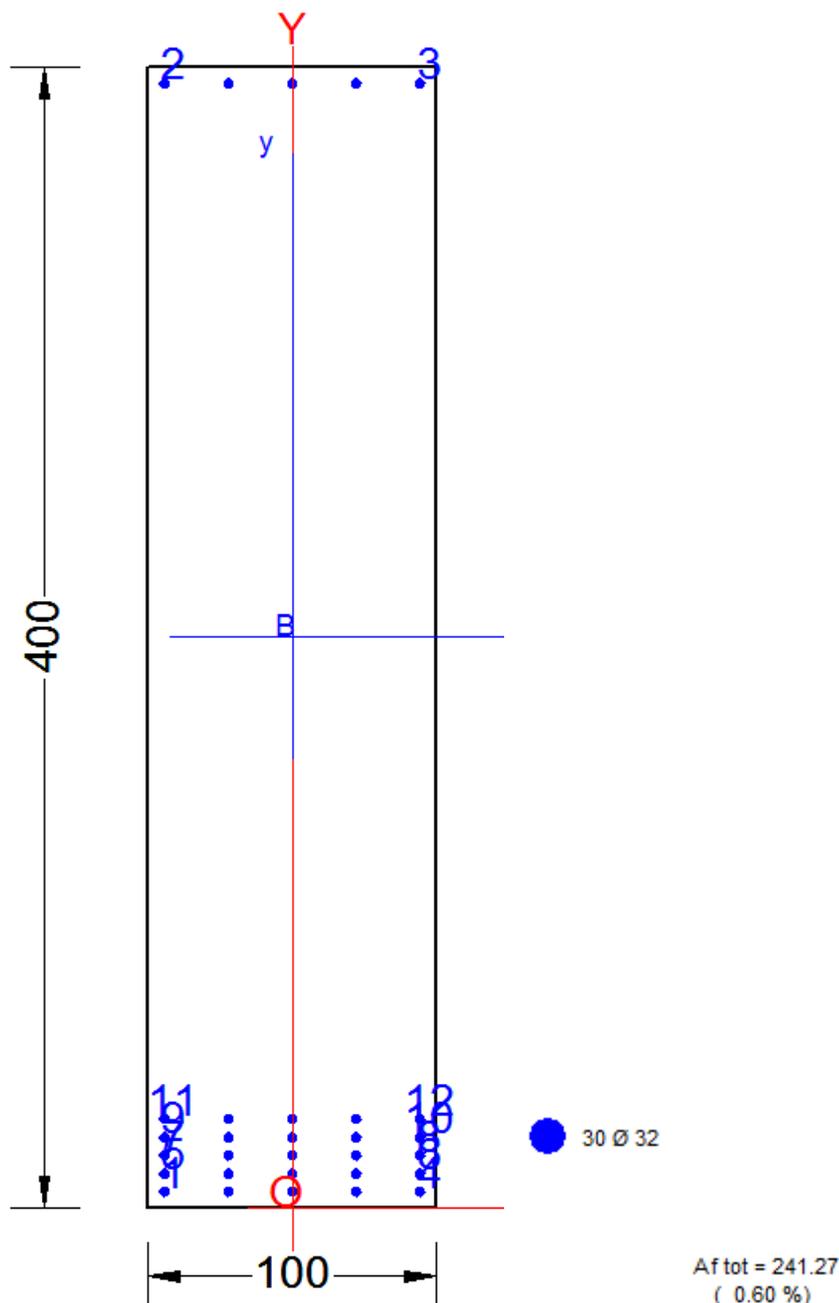
$M_{sd} = 355 \cdot 7.6^2 / 2 = 10'252$  kNm

SLE qp: pressione netta  $p = 430 - (25 \cdot 4 + 20 \cdot 5) = 230$  kPa

$M_{sd} = 230 \cdot 7.6^2 / 2 = 6'642$  kNm

RELAZIONE DI CALCOLO PILA P8

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D 09 CL	VI 02 05 003	A	78 di 83



**DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.**  
**NOME SEZIONE: VI02-P08**

Descrizione Sezione:	Stati Limite Ultimi
Metodo di calcolo resistenza:	Sezione generica
Tipologia sezione:	EC2/EC8
Normativa di riferimento:	A Sforzo Norm. costante
Percorso sollecitazione:	

RELAZIONE DI CALCOLO PILA P8

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D 09 CL	VI 02 05 003	A	79 di 83

Condizioni Ambientali: Molto aggressive  
Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia  
Riferimento alla sismicità: Zona non sismica

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C28/35	
	Resis. compr. di calcolo fcd:	15.860	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	32308.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.760	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	154.00	daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200	mm
	Coeff. K3 Ap.fess. :	3.4000	§ 7.3.4(3) EC2
	Coeff. K4 Ap.fess. :	0.4250	§ 7.3.4(3) EC2
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.200	mm
	Coeff. K3 Ap.fess. :	3.4000	§ 7.3.4(3) EC2
	Coeff. K4 Ap.fess. :	0.4250	§ 7.3.4(3) EC2

ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di calcolo ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50	

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C28/35

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	400.0
3	50.0	400.0
4	50.0	0.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-44.4	5.6	32
2	-44.4	394.4	32
3	44.4	394.4	32
4	44.4	5.6	32
5	-44.4	12.0	32
6	44.4	12.0	32
7	-44.4	18.4	32
8	44.4	18.4	32

RELAZIONE DI CALCOLO PILA P8

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D 09 CL	VI 02 05 003	A	80 di 83

9	-44.4	24.8	32
10	44.4	24.8	32
11	-44.4	31.2	32
12	44.4	31.2	32

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	2	3	3	32
2	1	4	3	32
3	5	6	3	32
4	7	8	3	32
5	9	10	3	32
6	11	12	3	32

**ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	19378.00	0.00	0.00	0.00

**COMB. RARA (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	10252.00 (9458.62)	0.00 (0.00)

**COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		

N°Comb.	N	Mx	My
---------	---	----	----

RELAZIONE DI CALCOLO PILA P8

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D 09 CL	VI 02 05 003	A	81 di 83

1 0.00 6642.00 (9458.62) 0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4.0 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 3.2 cm

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sn Sforzo normale allo snervamento [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Sn Momento di snervamento [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N Ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N Ult,Mx Ult,My Ult) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature [cm<sup>2</sup>] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N Sn	Mx Sn	My Sn	N Ult	Mx Ult	My Ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	25784.13	0.00	0.00	28650.83	0.00	1.479	201.1(62.9)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.00874	-50.0	400.0	0.00310	-44.4	394.4	-0.02466	-44.4	5.6

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000071398	-0.025059151	0.124	0.700

**COMBINAZIONI RARA IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)

RELAZIONE DI CALCOLO PILA P8

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D 09 CL	VI 02 05 003	A	82 di 83

Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	4.52	50.0	400.0	-155.1	-22.2	5.6	4600	201.1

**COMBINAZIONI RARA IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a $f_{ctm}$ Esito della verifica
e1	Massima deformazione di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione fessurata
e2	Minima deformazione di trazione del cls. (in sezione fessurata), valutata nella fibra più interna dell'area Ac eff
k1	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
kt	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k2	= $(e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ [eq.(7.13)EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
k4	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [eq.(7.8)EC2] Tra parentesi: valore minimo dell'eq.(7.9) = $0.6 \cdot S_{max} / E_s$
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Valore calcolato [mm] dell'apertura fessure = $sr \cdot max \cdot (e \cdot sm - e \cdot cm)$ [eq.(7.8)]. Valore limite tra parentesi
MX fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00079	0	0.918	32.0	40	0.00047 (0.00047)	365	0.170 (0.20)	9458.62	0.00

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.93	50.0	400.0	-100.5	-44.4	5.6	4600	201.1

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00051	0	0.918	32.0	40	0.00030 (0.00030)	365	0.110 (0.20)	9458.62	0.00

RELAZIONE DI CALCOLO PILA P8

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS2S	01	D 09 CL	VI 02 05 003	A	83 di 83

**Verifica a taglio secondo EC2-2**

Calcestruzzo

fck= 28 MPa  
 $\gamma_c$ = 1.50  
 fcm= 36 MPa  
 $\alpha_{cc}$ = 0.85  
**fcd= 15.87 MPa**

fctm= 2.77 MPa  
 fctk<sub>0.05</sub>= 1.94 MPa  
 fctk<sub>0.95</sub>= 3.60 MPa  
 $\alpha_{Ct}$ = 1.00  
**fctd= 1.29 MPa**

Acciaio c.a.

fyk= 450 MPa  
 $\gamma_s$ = 1.15  
**fyd= 391.3 MPa**

Taglio

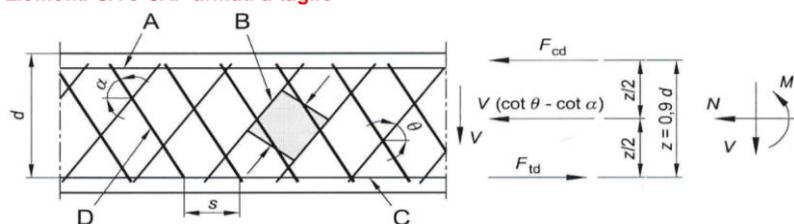
$\gamma$   
 Gk 0 x1.00= 0 kN  
 Pk 0 x1.00= 0 kN  
 Qk 0 x1.00= 0 kN  
 Aed 5 100 x1.00= 5100 kN  
**V<sub>Ed</sub> = 5100 kN**

Nsd= 0 kN Sforzo normale

Geometria

bw = 1.000 m Larghezza (6.16)  
 h= 4.000 m Altezza totale  
 c= 0.100 m Copriferro  
 d = 3.900 m Altezza utile  
 Ac= 4.00 mq Area

**Elementi CA e CAP armati a taglio**



- A Corrente compresso
- B Puntone
- C Corrente teso
- D Armatura a taglio

**Resistenza lato acciaio (staffe)**

$\phi_w$ = 25 mm Diametro staffa  
 n= 2.00 - Numero braccia  
 Asw= 9.82 cm<sup>2</sup>  
 z= 3.51 m =0.9\*d  
 sen $\alpha$ = 1 angolo tra le staffe e l'asse della trave (=90° per staffe verticali)  
 $\rho_w$ = 0.20 % =Asw/(s\*bw\*sen $\alpha$ )\*100  
 s= 0.5 m =passo staffe <= 2.93 m =0.75\*d\*(1+cot $\alpha$ )  
 $\theta$ = 21.8 ° =arcsen(radq(Asw\*fyd)/(bw\*s\*acw\*n\*fcd))  
 inclinazione puntone compresso, variabile tra 45° to 21.8°  
 tan $\theta$ = 0.40 - valore tra 1 (for q=45°) e 0.4  
 cot $\theta$ = 2.50 - valore tra 1 (for q=45°) and 2.5  
 $\rho_{w,max}$ = 0.77 = A<sub>sw,max</sub>\*fyd/(bw\*s)<=1/2\* $\alpha_{cw}$ \*v\*fcd = 4.23

Asw/s,ins = 19.63 cm<sup>2</sup>/m Area staffe inserita

V<sub>Rd,s</sub>= 6 743 kN =Asw/s\*z\* fywd \*cot $\theta$

**Resistenza lato calcestruzzo (puntone compresso inclinato)**

v= 0.533 =0.6\*(1-fck/250) (from EN 6.6N)  
 $\sigma_{cp}$  = 0.00 =Nsd/Ac  
 $\alpha_{cw}$ = 1.00  
 V<sub>Rd,max</sub>= 10 231 kN = $\alpha_{cw}$ \*bw\*z\*v\*fcd/(cot $\theta$ +tan $\theta$ )  
 $\gamma_{Bd1}$  1.25 coefficiente di sicurezza ( EN1998-2-5.6.2.b)

V<sub>Ed</sub> = 5 100 kN

V<sub>Rd</sub>= 5 394 kN =min(V<sub>Rd,s</sub>;V<sub>Rd,max</sub>)/ $\gamma_{Bd1}$

**c.s. = 0.95 <=1**