

# AUTOSTRADA (A14): BOLOGNA - BARI - TARANTO

TRATTO: BOLOGNA BORGO PANIGALE - BOLOGNA SAN LAZZARO

## POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA

“PASSANTE DI BOLOGNA”

### PROGETTO DEFINITIVO

#### AUTOSTRADA A14 / TANGENZIALE

#### 63T – VIADOTTO RENO NUOVO VIADOTTO RENO CARREGGIATA SUD

#### SOTTOSTRUTTURE RELAZIONE PULVINI E PILE P2/P3/P6

##### IL PROGETTISTA SPECIALISTICO

Ing. Umberto Mele  
Ord. Ingg. Milano n.18641

RESPONSABILE STRUTTURE

##### IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Raffaele Rinaldesi  
Ord. Ingg. Macerata N. A1068

##### IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Andrea Tanzi  
Ordine Ingg. Parma N. 1154

PROGETTAZIONE NUOVE OPERE  
AUTOSTRADALI

##### CODICE IDENTIFICATIVO

Ordinatore

##### RIFERIMENTO PROGETTO

##### RIFERIMENTO DIRETTORIO

##### RIFERIMENTO ELABORATO

--

Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	WBS	PARTE D'OPERA	Tipo	Disciplina	Progressivo	Rev.	
111465	LL00	PD	AU	V63	VA63S	PIL00	R	STR	4703	0	SCALA -



##### PROJECT MANAGER:

Ing. Raffaele Rinaldesi  
Ord. Ingg. Macerata N. A1068

##### REDATTO:

##### SUPPORTO SPECIALISTICO:



##### VERIFICATO:

##### REVISIONE

n.	data
0	SETTEMBRE 2020
1	
2	
3	
4	-

##### VISTO DEL COMMITTENTE



IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO  
Ing. Fabio Visintin

##### VISTO DEL CONCEDENTE



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti  
DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE  
STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

# Sommario

<b>1</b>	<b>GENERALITA'</b> .....	<b>1</b>
1.1	DESCRIZIONE .....	1
1.2	ANALISI STRUTTURALE .....	3
1.2.1	<i>Convenzione assi</i> .....	4
1.2.2	<i>Definizione della matrice di rigidezza in testa al palo</i> .....	5
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>CALCOLO DEI COPRIFERRI</b> .....	<b>9</b>
3.1	FUSTO PILA .....	9
3.2	PULVINI .....	11
<b>4</b>	<b>MATERIALI E RESISTENZA DI PROGETTO</b> .....	<b>13</b>
4.1	VERIFICHE ALLO SLU .....	13
<b>5</b>	<b>CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE</b> .....	<b>14</b>
5.1	PILE .....	14
5.2	PALI .....	17
5.3	PULVINI .....	17
<b>6</b>	<b>VERIFICHE DELLE PILE</b> .....	<b>23</b>
6.1	VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU .....	23
6.1.1	<i>Pressoflessione</i> .....	23
6.1.2	<i>Taglio</i> .....	29
<b>7</b>	<b>VERIFICHE DEI PALI</b> .....	<b>31</b>
7.1	CAPACITA' PORTANTE .....	31
7.2	VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU .....	31
<b>8</b>	<b>VERIFICHE DEL PULVINO</b> .....	<b>36</b>
8.1	VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU .....	36
8.1.1	<i>Pressoflessione</i> .....	36
8.1.2	<i>Taglio</i> .....	40

## Indice delle Tabelle e delle Figure

FIGURA 1 - IMMAGINE PILA 2.....	1
FIGURA 2 - IMMAGINE PILA 3.....	1
FIGURA 3 - IMMAGINE PILA 6.....	2
FIGURA 4 - VISTA DELLA PILA .....	2
FIGURA 5 - MODELLO PILA E PULVINO.....	3
FIGURA 6 - CONVENZIONI ASSI MODELLO .....	4

# 1 GENERALITA'

## 1.1 DESCRIZIONE

Nel presente documento si riportano le verifiche del pulvino, delle pile e dei pali pila relativi agli allineamenti 2,3 e 6 del viadotto reno carreggiata Sud.

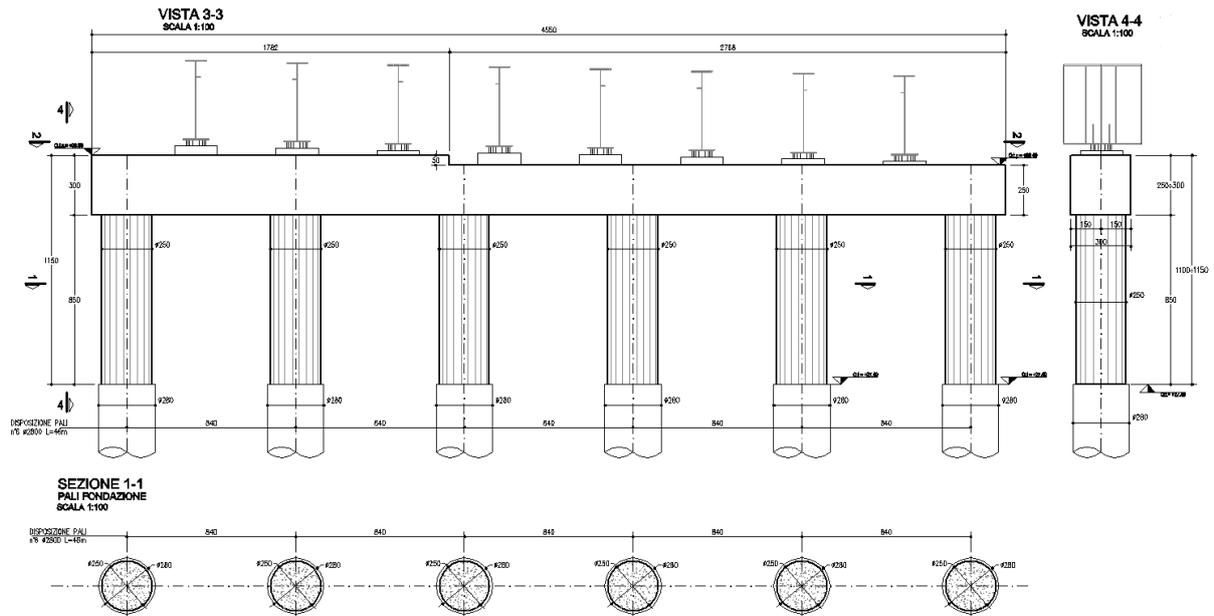


Figura 1 - Immagine pila 2

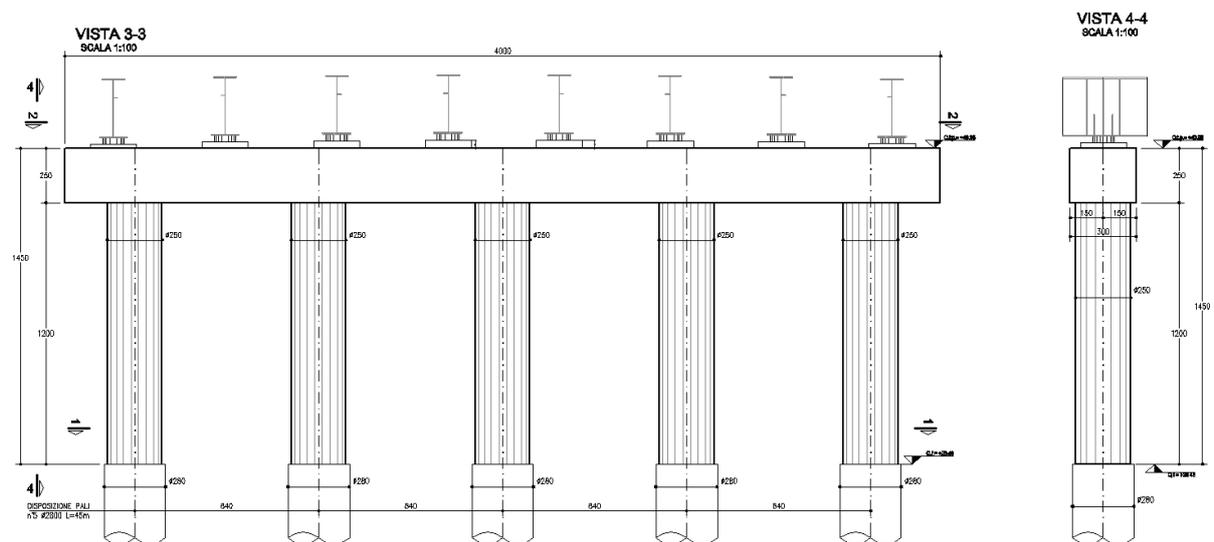


Figura 2 - Immagine pila 3

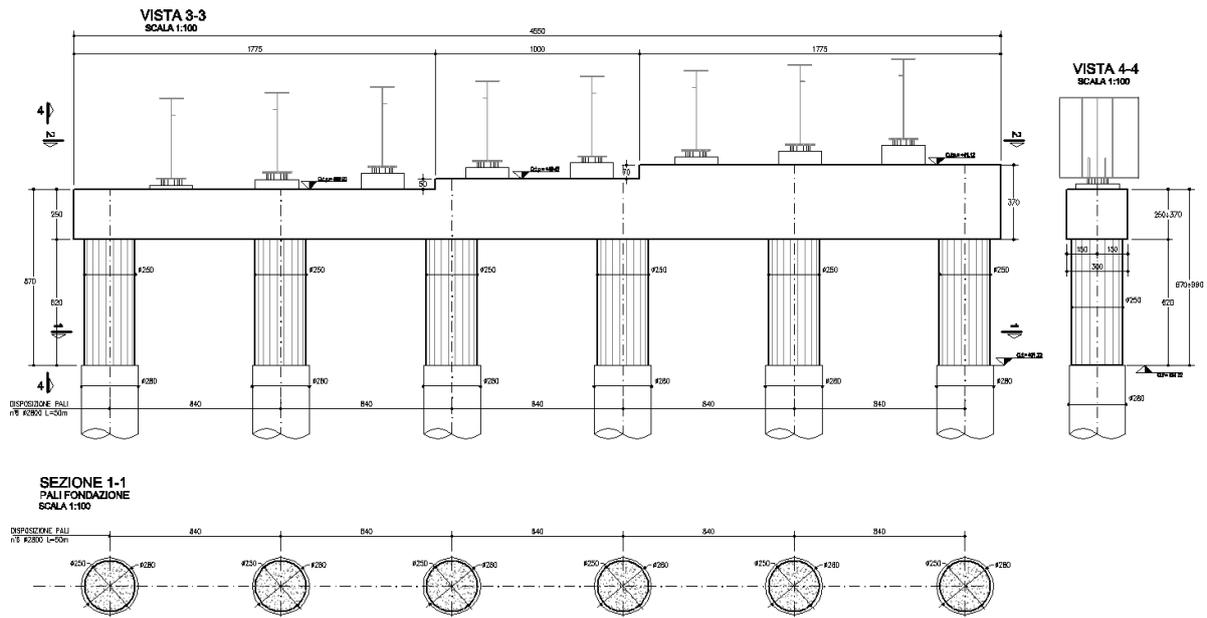


Figura 3 - Immagine pila 6

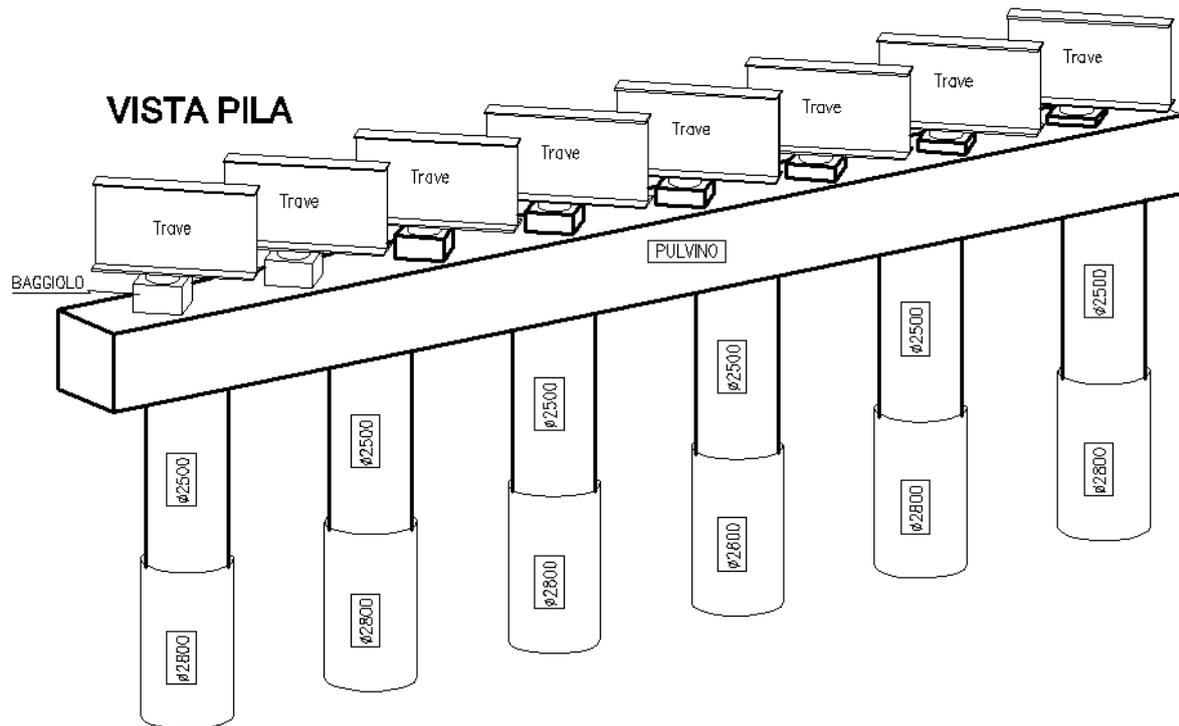


Figura 4 - Vista della pila

Il pulvino ha una sezione rettangolare di larghezza costante pari a 3.00 m, mentre l'altezza, come visibile dalle immagini precedenti, varia da un minimo di 2.50 m ad un massimo di 3.70 m.

Le pile in esame sono composte da sei fusti circolari (eccetto la pila 2 composta da 5 fusti) di diametro pari a 2.50 m. L'altezza massima dei fusti in questione è 12 m.

I pali sottostanti sono caratterizzati da un diametro di 2.80 m.

## 1.2 ANALISI STRUTTURALE

Le sollecitazioni di verifica sono state ricavate dal modello globale. Le pile e i pulvini sono stati modellati con elementi frame ubicati in corrispondenza dell'asse baricentrico della sezione, assegnandovi le rispettive caratteristiche statiche.

Il vincolo alla base delle pile è stato applicato attraverso una serie di elementi di tipo "spring", cui viene assegnata una matrice di rigidità che rappresenta il comportamento del palo in funzione delle caratteristiche del terreno.

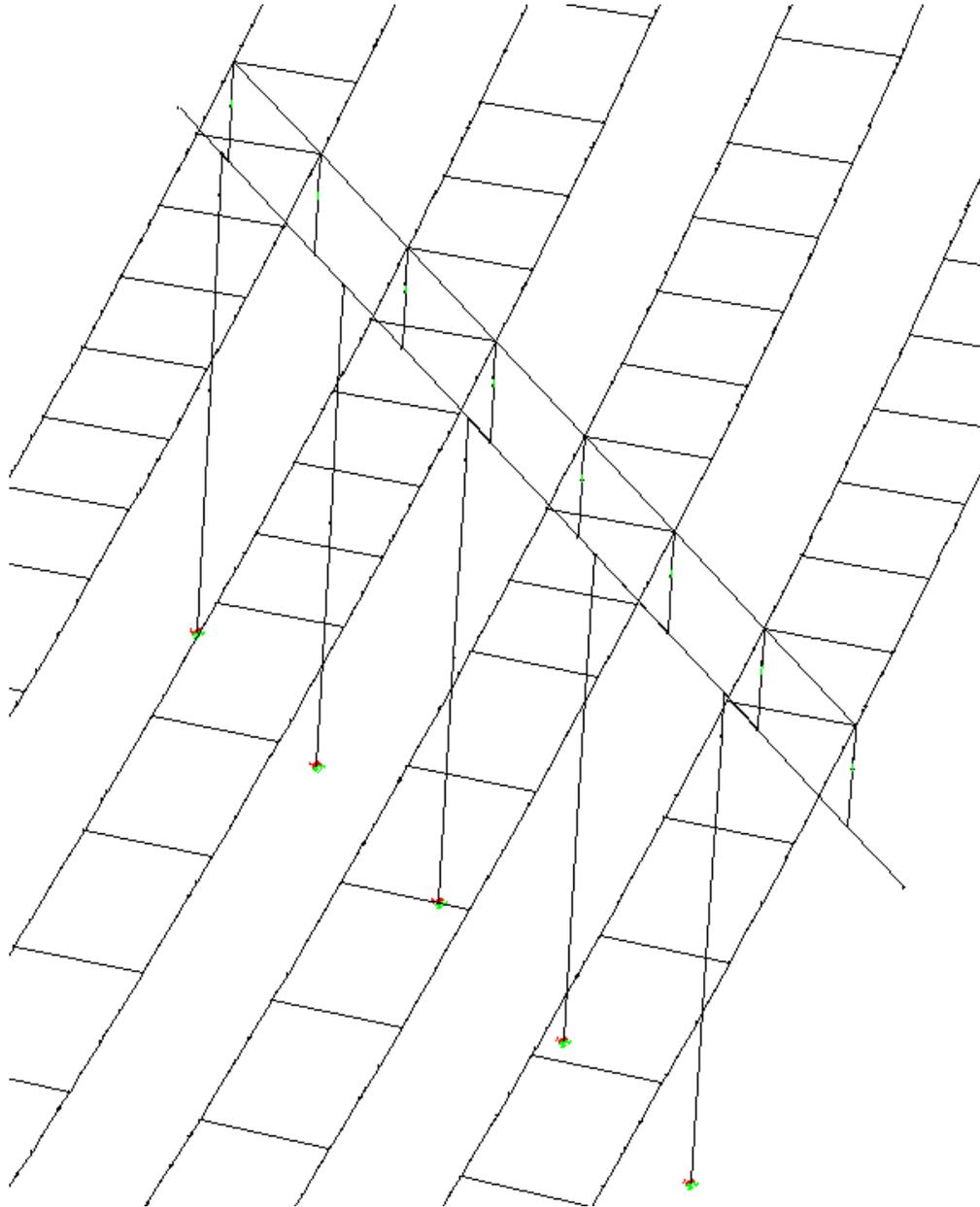


Figura 5 - Modello pila e pulvino

### 1.2.1 Convenzione assi

Nella seguente immagine si riporta la convenzione degli assi adottata per gli elementi frame.

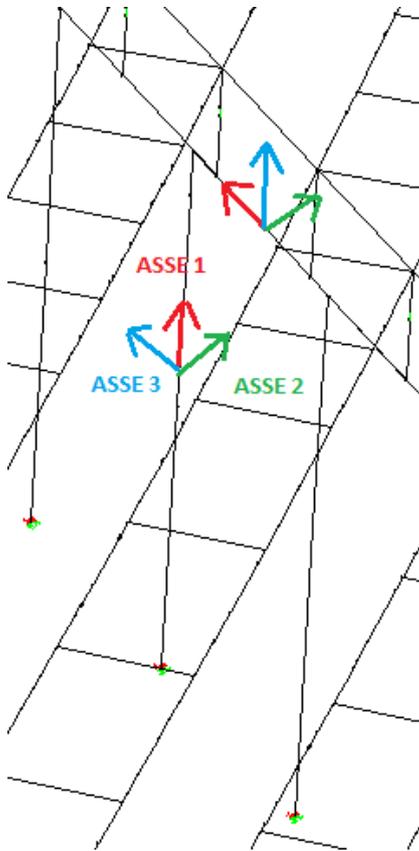


Figura 6 - Convenzioni assi modello

Assi pila:

M33 = Momento in direzione longitudinale

M22 = Momento in direzione trasversale

V3 = Taglio in direzione trasversale

V2 = Taglio in direzione longitudinale

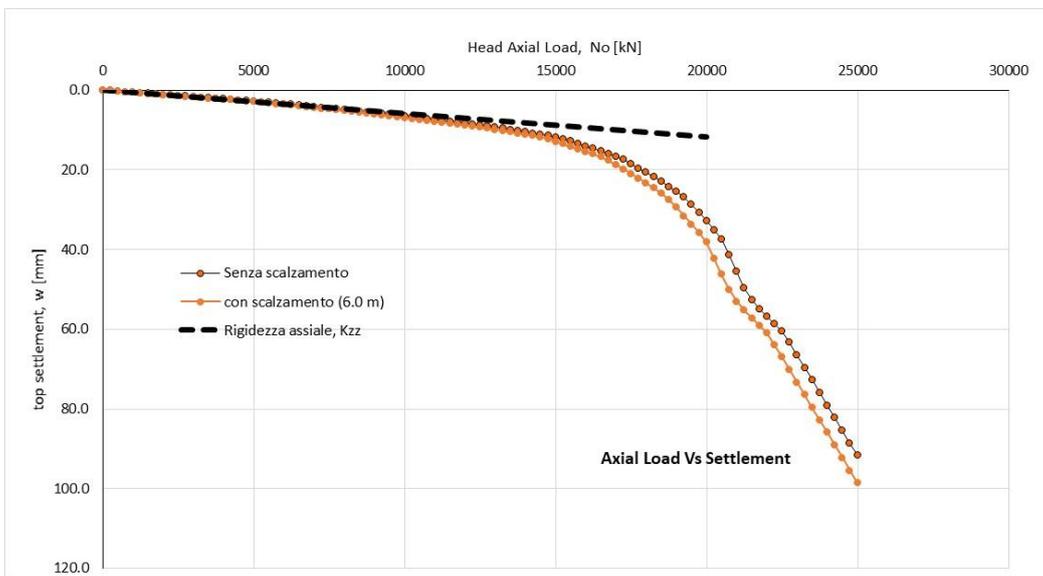
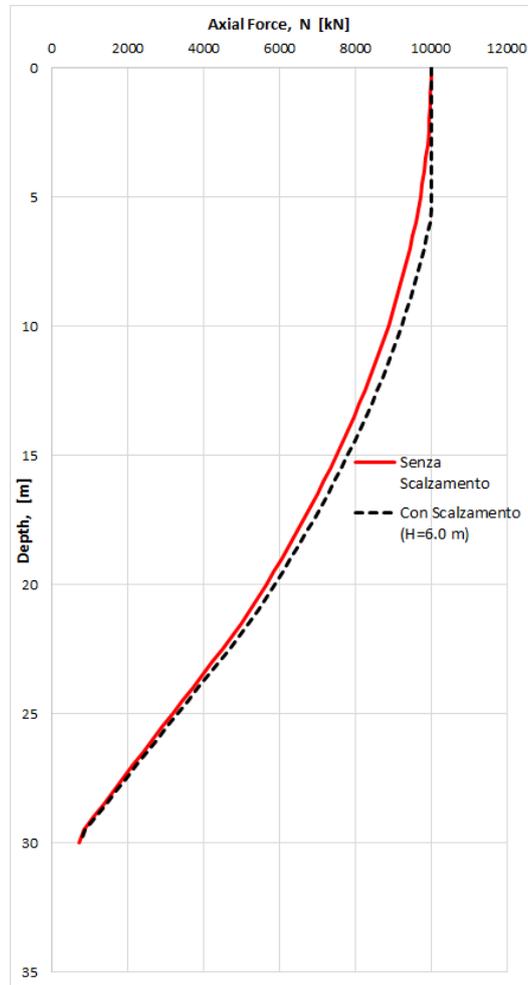
Assi pulvino:

M22 = Momento verticale

V3 = Taglio verticale

### 1.2.2 Definizione della matrice di rigidità in testa al palo

La matrice simula in testa al palo il comportamento del sistema palo - terreno.



La determinazione della matrice di rigidezza è stata effettuata con il programma MAP (Matrix Analysis of Piles)

La matrice di rigidezza assemblata (a quota testa pali) viene espressa nella seguente forma, nel riferimento globale riportato nella Figura 1 che segue:

Fz		A <sub>k</sub>	0	0	0	0	0	0	dz
Fx		0	K <sub>dF,x</sub>	K <sub>rF,x</sub>	0	0	0	0	dx
Mx	=	0	K <sub>rF,x</sub>	K <sub>rM,x</sub>	0	0	0	0	rx
Fy		0	0	0	K <sub>dF,y</sub>	K <sub>rF,y</sub>	0	0	dy
My		0	0	0	K <sub>rF,y</sub>	K <sub>rM,y</sub>	0	0	ry
Mz		0	0	0	0	0	T <sub>k</sub>	0	rz

dove:

- A<sub>k</sub> = rigidezza assiale del palo (kN/m);
- K<sub>dF,x</sub> = rigidezza traslazionale del palo in direzione x (kN/m);
- K<sub>rM,x</sub> = rigidezza rotazionale del palo in direzione x (kNm/rad);
- K<sub>rF,x</sub> = termine di accoppiamento roto-traslazionale in direzione x (kN/rad);
- K<sub>dF,y</sub> = rigidezza traslazionale del palo in direzione y (kN/m);
- K<sub>rM,y</sub> = rigidezza rotazionale del palo in direzione y (kNm/rad);
- K<sub>rF,y</sub> = termine di accoppiamento roto-traslazionale in direzione y (kN);
- T<sub>k</sub> = rigidezza torsionale (kNm/rad)

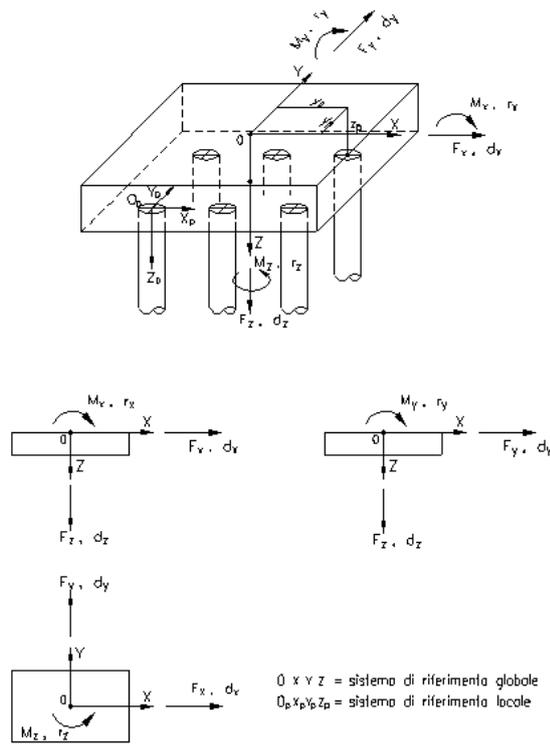
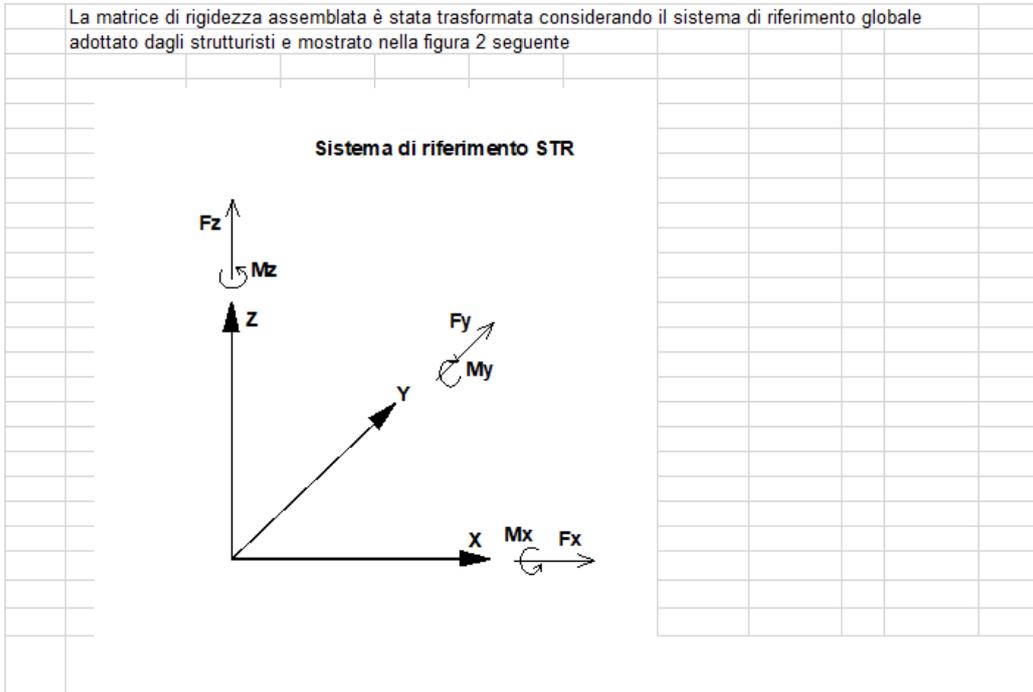


Figura 1: Sistema di riferimento globale palificata MAP

La matrice di rigidezza assemblata è stata trasformata considerando il sistema di riferimento globale adottato dagli strutturisti e mostrato nella figura 2 seguente



Matrice di rigidezza senza scalzamento:

```
Matrice di Rigidezza del Palo 1
(in sommita', nel riferimento locale)
-----
dz .16700E+07 .00000E+00 .00000E+00 .00000E+00 .00000E+00 .00000E+00
dx .00000E+00 .47758E+06 -.26919E+07 .00000E+00 .00000E+00 .00000E+00
rx .00000E+00 -.26919E+07 .24535E+08 .00000E+00 .00000E+00 .00000E+00
dy .00000E+00 .00000E+00 .00000E+00 .47758E+06 -.26919E+07 .00000E+00
ry .00000E+00 .00000E+00 .00000E+00 -.26919E+07 .24535E+08 .00000E+00
rz .00000E+00 .00000E+00 .00000E+00 .00000E+00 .00000E+00 .00000E+00
-----
```

Matrice di rigidezza con scalzamento:

```
Matrice di Rigidezza del Palo 1
(in sommita', nel riferimento locale)
-----
dz .16700E+07 .00000E+00 .00000E+00 .00000E+00 .00000E+00 .00000E+00
dx .00000E+00 .33205E+06 -.23257E+07 .00000E+00 .00000E+00 .00000E+00
rx .00000E+00 -.23257E+07 .23522E+08 .00000E+00 .00000E+00 .00000E+00
dy .00000E+00 .00000E+00 .00000E+00 .33205E+06 -.23257E+07 .00000E+00
ry .00000E+00 .00000E+00 .00000E+00 -.23257E+07 .23522E+08 .00000E+00
rz .00000E+00 .00000E+00 .00000E+00 .00000E+00 .00000E+00 .00000E+00
-----
```

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nel seguito l'elenco delle normative cui si è fatto riferimento per il dimensionamento degli elementi.

D.M. 17.01.2018	Norme tecniche per le costruzioni.
Circolare de 21/01/2019	Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. del 17/01/2018.

### 3 CALCOLO DEI COPRIFERRI

#### 3.1 FUSTO PILA

Descrizione parte dell'opera:		Fusti pila			
Classe di esposizione:		XC4+XF1			
<b>Valori raccomandati per la composizione e le proprietà del calcestruzzo (prospetto 4 -UNI 11104:2004)</b>					
Classe di esposizione (prospetto 1 - UNI 11104:2044)	XC4	-	-	XF1	
Massimo rapporto A/C	0.5	-	-	0.5	
Minima classe di resistenza	C32/40	-	-	C32/40	
Minimo contenuto cemento kg/m <sup>3</sup>	340	-	-	340	
Contenuto minimo in aria [%]	-	-	-	-	
Altri requisiti	nessuno	-	-	Aggregati secondo UNI-EN 12620, di adeguata resistenza gelo/disgelo	
<b>Valori di progetto (involuppo) per la composizione e le proprietà del calcestruzzo (prospetto 4 -UNI 11104:2004)</b>					
Rapporto A/C	0.5				
Classe di resistenza minima	C35/45				
Contenuto cemento kg/m <sup>3</sup>	340				
Contenuto in aria [%]	0				
Altri requisiti	-				
<b>Determinazione del copriferro nominale (UNI EN 1992-1- :2005)</b>					
Diametro della barra di armatura [mm]:	26				
Barre raggruppate:	no				
Barre verticali compresse o giuntate per sovrapposizione:	no				
Valore n <sub>b</sub> per barre raggruppate: (Prospetto 4.2, UNI EN 1992-1-1:2005)	-				
Diametro della barra equivalente [mm]:	26				
Dimensione nominale massima aggregato [mm]:	25				
c <sub>min,b</sub> [mm]:	26				

Elemento forma simile a soletta:					no
Controllo qualità speciale					sì
Valore strutturale di riferimento (Prospetto 4.3N-UNI EN 1992-1-1:2005)	S4	-	-		
Classe di resistenza (Prospetto 4.3N-UNI EN 1992-1-1:2005)	0	-	-		
Elemento di forma simile a soletta (Prospetto 4.3N-UNI EN 1992-1-1:2005)	0	-	-		
Controllo qualità speciale (Prospetto 4.3N-UNI EN 1992-1-1:2005)	-1	-	-		
Classe strutturale di progetto (Prospetto 4.3N-UNI EN 1992-1-1:2005)	S5	-	-		
$C_{min,dur}$ (Prospetto 4.4N-UNI EN 1992-1-1:2005)	35	-	-		
$\Delta C_{dur,y}$ UNI EN 1992-1-1:2005, §4.4.1.2.(6)	0	0	0		
$C_{dur,st}$ UNI EN 1992-1-1:2005, §4.4.1.2.(7)	0	0	0		
$C_{dur,add}$ UNI EN 1992-1-1:2005, §4.4.1.2.(8)	0	0	0		
$C_{dur}$	35	-	-		
$C_{min}$ [mm] (Punto 4.2-UNI EN 1992-1-1:2005)					35
Prevista assicurazione qualità su misura copriferri: UNI EN 1992-1-1:2005, §4.4.1.3.(3)					sì
Prevista misurazione accurata per monitoraggio: UNI EN 1992-1-1:2005, §4.4.1.3.(3)					sì
$\Delta C_{dev}$ [mm] (Punto 4.4.1.3-UNI EN 1992-1-1:2005)					0
Correzioni per aggregati esposti (Punto 4.4.1.2 (11)-UNI EN 1992-1-1:2005)					0
$C_{nom}$ [mm] = $C_{min} + \Delta C_{dev}$					35

### 3.2 PULVINI

Descrizione parte dell'opera:		Pulvini			
Classe di esposizione:		XC4+XF1			
<b>Valori raccomandati per la composizione e le proprietà del calcestruzzo (prospetto 4 -UNI 11104:2004)</b>					
Classe di esposizione (prospetto 1 - UNI 11104:2044)		XC4	-	-	XF1
Massimo rapporto A/C		0.5	-	-	0.5
Minima classe di resistenza		C32/40	-	-	C32/40
Minimo contenuto cemento kg/m <sup>3</sup>		340	-	-	340
Contenuto minimo in aria [%]		-	-	-	-
Altri requisiti		nessuno	-	-	Aggregati secondo UNI-EN12620, di adeguata resistenza gelo/disgelo
<b>Valori di progetto (inviluppo) per la composizione e le proprietà del calcestruzzo (prospetto 4 -UNI 11104:2004)</b>					
Rapporto A/C		0.5			
Classe di resistenza minima		C35/45			
Contenuto cemento kg/m <sup>3</sup>		340			
Contenuto in aria [%]		0			
Altri requisiti		-			
<b>Determinazione del copriferro nominale (UNI EN 1992-1- :2005)</b>					
Diametro della barra di armatura [mm]:		30			
Barre raggruppate:		no			
Barre verticali compresse o giuntate per sovrapposizione:		no			
Valore n <sub>b</sub> per barre raggruppate: (Prospetto 4.2, UNI EN 1992-1-1:2005)		-			
Diametro della barra equivalente [mm]:		30			
Dimensione nominale massima aggregato [mm]:		25			
<b>c<sub>min,b</sub> [mm]:</b>		<b>30</b>			

Elemento forma simile a soletta:					no
Controllo qualità speciale					sì
Valore strutturale di riferimento (Prospetto 4.3N-UNI EN 1992-1-1:2005)	S4	-	-		
Classe di resistenza (Prospetto 4.3N-UNI EN 1992-1-1:2005)	0	-	-		
Elemento di forma simile a soletta (Prospetto 4.3N-UNI EN 1992-1-1:2005)	0	-	-		
Controllo qualità speciale (Prospetto 4.3N-UNI EN 1992-1-1:2005)	-1	-	-		
Classe strutturale di progetto (Prospetto 4.3N-UNI EN 1992-1-1:2005)	S5	-	-		
$C_{min,dur}$ (Prospetto 4.4N-UNI EN 1992-1-1:2005)	35	-	-		
$\Delta C_{dur,y}$ UNI EN 1992-1-1:2005, §4.4.1.2.(6)	0	0	0		
$C_{dur,st}$ UNI EN 1992-1-1:2005, §4.4.1.2.(7)	0	0	0		
$C_{dur,add}$ UNI EN 1992-1-1:2005, §4.4.1.2.(8)	0	0	0		
$C_{dur}$	35	-	-		
$C_{min}$ [mm] (Punto 4.2-UNI EN 1992-1-1:2005)					35
Prevista assicurazione qualità su misura copriferri: UNI EN 1992-1-1:2005, §4.4.1.3.(3)					sì
Prevista misurazione accurata per monitoraggio: UNI EN 1992-1-1:2005, §4.4.1.3.(3)					sì
$\Delta C_{dev}$ [mm] (Punto 4.4.1.3-UNI EN 1992-1-1:2005)					0
Correzioni per aggregati esposti (Punto 4.4.1.2 (11)-UNI EN 1992-1-1:2005)					0
$C_{nom}$ [mm] = $C_{min} + \Delta C_{dev}$					35

## 4 MATERIALI E RESISTENZA DI PROGETTO

Il calcestruzzo impiegato per gli elementi in elevazione (pile, pulvini e baggioli) risulta di classe C35/45, quello impiegato per i pali di fondazione risulta di classe C32/40.

Le classi di esposizione adottate per il calcolo dei copriferri sono le seguenti:

- Corrosione indotta da carbonatazione: XC4 (ciclicamente bagnato e asciutto)
- Attacco di cicli gelo/disgelo: XF1 (moderata saturazione d'acqua, senza impiego di agente antigelo)

### 4.1 VERIFICHE ALLO SLU

Calcestruzzo per elementi in elevazione:	Classe C35/45
Resistenza caratteristica a compressione:	$R_{ck} \geq 45 \text{ N/mm}^2$
Resistenza cilindrica a compressione:	$f_{ck} = 0,83 \times R_{ck} = 37.35 \text{ N/mm}^2$ $f_{cd} = 21.16 \text{ N/mm}^2$
Calcestruzzo per pali di fondazione:	Classe C32/40
Resistenza caratteristica a compressione:	$R_{ck} \geq 40 \text{ N/mm}^2$
Resistenza cilindrica a compressione:	$f_{ck} = 0,83 \times R_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$ $f_{cd} = 18.81 \text{ N/mm}^2$
Acciaio per armatura ad aderenza migliorata:	B450 C
Tensione di snervamento caratteristica:	$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di progetto:	$f_{yd} = 450 / 1.15 = 391.00 \text{ N/mm}^2$

## 5 CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE

### 5.1 PILE

Pila 2

Combinazione di carico SLV_PILE	<b>Combinazione di carico SLV_PILE - Massima e minima azione assiale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90502	-5035	1090	925222	1154	889312	0
	90102	-15028	51	-154806	118	-123135	0
	<b>Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo taglio longitudinale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90102	-10986	1391	823123	1271	606126	0
	90302	-10710	-120	23494	-93	90884	0
	<b>Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo momento longitudinale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90302	-10116	1216	1183063	1336	909487	0
	90102	-15010	51	-155619	118	-122835	0
	<b>Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo taglio trasversale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90302	-8522	1227	1169520	1356	902728	0
	90302	-10710	-120	23494	-93	90884	0
	<b>Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo momento trasversale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90302	-10238	1050	1155491	1270	1039580	0
	90102	-14594	202	-109403	160	-229412	0
<b>Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo momento torcente</b>							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
90102	-14824	51	-152141	117	-123249	0	
90102	-14824	51	-152141	117	-123249	0	

Combinazione di carico SLU_PILE	<b>Combinazione di carico SLU_PILE - Massima e minima azione assiale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90502	-7181	-200	-105989	-7	150193	0
	90102	-29519	187	-296965	214	-384479	0
	<b>Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo taglio longitudinale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90102	-26723	478	-236405	316	-598104	0
	90302	-13378	-252	-49226	-82	203512	0
	<b>Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo momento longitudinale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90302	-16334	74	209958	-198	-84617	0
	90102	-26027	164	-490280	446	-323498	0
	<b>Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo taglio trasversale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90102	-24472	435	-405591	522	-512873	0
	90302	-15240	-248	155159	-324	163855	0
	<b>Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo momento trasversale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90302	-13525	-252	-52471	-81	205756	0
	90102	-26928	478	-239706	319	-600167	0
<b>Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo momento torcente</b>							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
90102	-21310	37	-354254	306	-145809	0	
90102	-21310	37	-354254	306	-145809	0	

Pila 3

Combinazione di carico SLV_PILE	<b>Combinazione di carico SLV_PILE - Massima e minima azione assiale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90503	-3945	1063	1113028	1288	939644	0
	90103	-11261	28	-63352	46	-53494	0
	<b>Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo taglio longitudinale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90303	-7437	1287	1130834	1537	894297	0
	90503	-10305	-95	33936	-93	67087	0
	<b>Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo momento longitudinale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90303	-8322	1211	1331299	1618	1028095	0
	90103	-11226	28	-63978	46	-51800	0
	<b>Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo taglio trasversale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90303	-7283	1224	1326349	1634	1023128	0
	90503	-10305	-95	33936	-93	67087	0
	<b>Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo momento trasversale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
90503	-6265	1006	1312430	1359	1122516	0	
90103	-10989	100	-48508	95	-84274	0	
<b>Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo momento torcente</b>							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
90103	-11261	28	-63352	46	-53494	0	
90103	-11261	28	-63352	46	-53494	0	

Combinazione di carico SLU_PILE	<b>Combinazione di carico SLU_PILE - Massima e minima azione assiale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90303	-6573	-82	-86814	25	87702	0
	90103	-22516	126	-89642	58	-242288	0
	<b>Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo taglio longitudinale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90103	-20585	271	-75985	168	-313170	0
	90503	-15231	-186	-37740	-70	169021	0
	<b>Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo momento longitudinale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90503	-14660	-29	180107	-176	-21485	0
	90103	-19679	114	-284040	282	-127402	0
	<b>Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo taglio trasversale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90103	-19239	242	-256431	370	-185520	0
	90503	-13695	-168	153047	-296	54615	0
	<b>Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo momento trasversale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
90503	-14377	-179	-53811	-53	182028	0	
90103	-20601	271	-76937	169	-313558	0	
<b>Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo momento torcente</b>							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
90103	-16770	67	-210439	200	-69334	0	
90103	-16770	67	-210439	200	-69334	0	

Pila 6

Combinazione di carico SLV_PILE	<b>Combinazione di carico SLV_PILE - Massima e minima azione assiale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90506	-6793.777064	883.1754099	1167968.045	1463.726157	1493873.646	0
	90106	-15457.79619	0.007155	-140869.2256	143.938123	-147769.797	0
	<b>Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo taglio longitudinale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90306	-9148.882271	1281.563171	1043886.017	1576.693213	1199803.906	0
	90506	-14491.33554	-167.6309835	43597.20563	-174.3774579	282131.7839	0
	<b>Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo momento longitudinale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90506	-10444.40486	979.0337925	1305538.875	1396.553305	1497078.197	0
	90106	-15177.48308	-21.893587	-151374.7785	141.1048491	-129146.657	0
	<b>Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo taglio trasversale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90306	-10655.69092	1121.646108	1270806.573	1817.356688	1532814.9	0
	90506	-14938.94188	-151.6915856	66336.93026	-182.7595694	282093.9281	0
	<b>Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo momento trasversale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90306	-8884.627801	988.6179052	1189119.516	1802.096304	1637391.866	0
	90106	-15172.98497	130.7843765	-46812.02142	141.1048491	-234460.9688	0
<b>Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo momento torcente</b>							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
90106	-15009.97904	127.8033515	-48035.99838	141.1048491	-232450.1204	0	
90106	-15009.97904	127.8033515	-48035.99838	141.1048491	-232450.1204	0	

Combinazione di carico SLU_PILE	<b>Combinazione di carico SLU_PILE - Massima e minima azione assiale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90306	-8202.209855	77.95465398	-22068.83599	97.8619709	-111509.877	0
	90106	-30379.55108	48.68205255	-246706.4905	252.0321018	-391844.6703	0
	<b>Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo taglio longitudinale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90106	-26826.07711	300.9450996	-94613.20983	274.2245566	-574449.365	0
	90506	-22975.09215	-301.5207993	-15983.79824	-199.0272274	440646.2372	0
	<b>Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo momento longitudinale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90506	-22655.33112	-7.0224363	361706.9601	-405.5070938	312827.9585	0
	90106	-27036.79047	-8.37422865	-423108.335	461.029894	-424798.2261	0
	<b>Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo taglio trasversale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90106	-25062.61381	231.7276753	-265550.8048	468.613212	-597662.3655	0
	90506	-24258.72813	-261.6891293	195970.8424	-452.6558137	540610.5124	0
	<b>Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo momento trasversale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90506	-23999.88053	-290.9835035	164337.7819	-445.0993163	554201.1491	0
	90106	-24977.61962	268.613037	-234386.4957	463.5133189	-616496.8583	0
<b>Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo momento torcente</b>							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
90106	-21868.7809	190.264361	-159748.8619	355.7718358	-437770.9891	0	
90106	-21868.7809	190.264361	-159748.8619	355.7718358	-437770.9891	0	

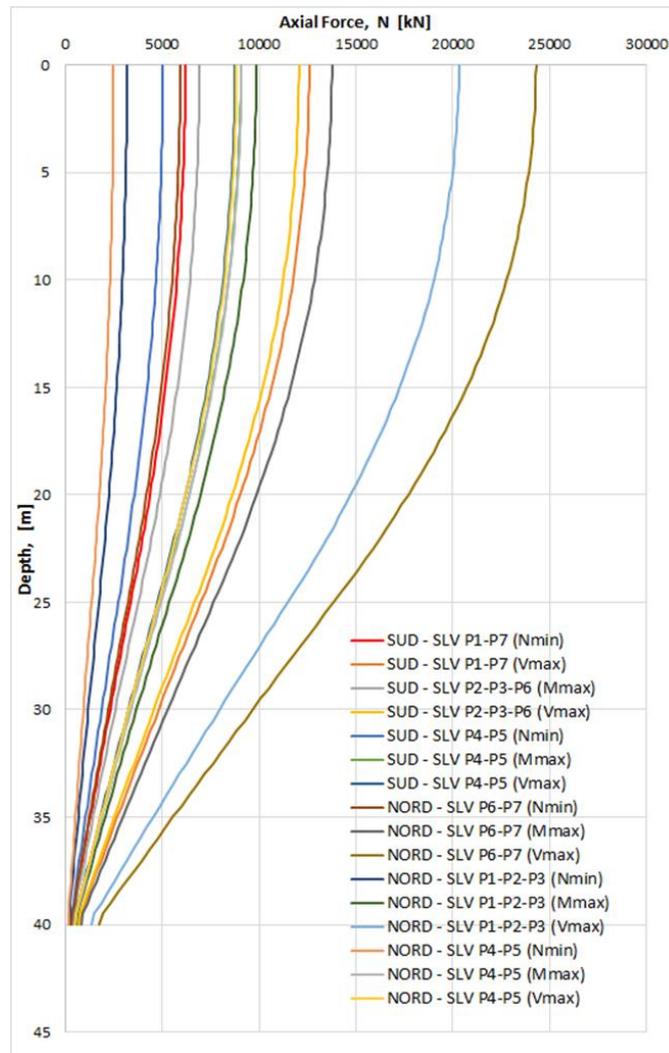
## 5.2 PALI

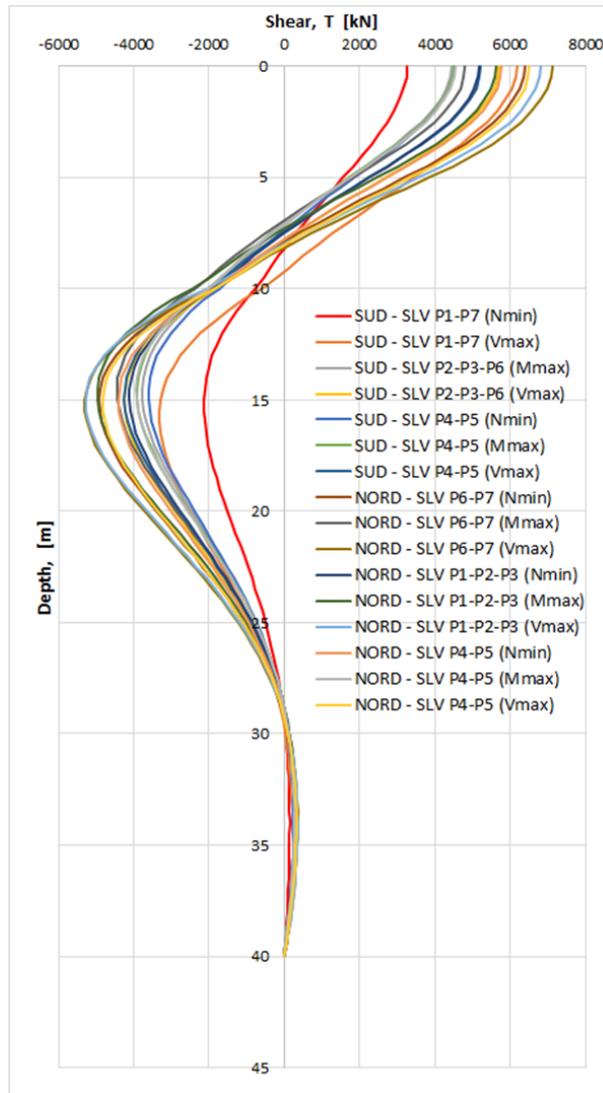
I pali di fondazione sono stati sottoposti a due tipologie di verifiche distinte: la verifica di capacità portante, al fine di calcolare la profondità che i pali dovranno raggiungere, e la verifica di resistenza strutturale, per poter dimensionare le armature longitudinali e la quantità di calcestruzzo necessari ad ottenere un fattore di sicurezza adeguato.

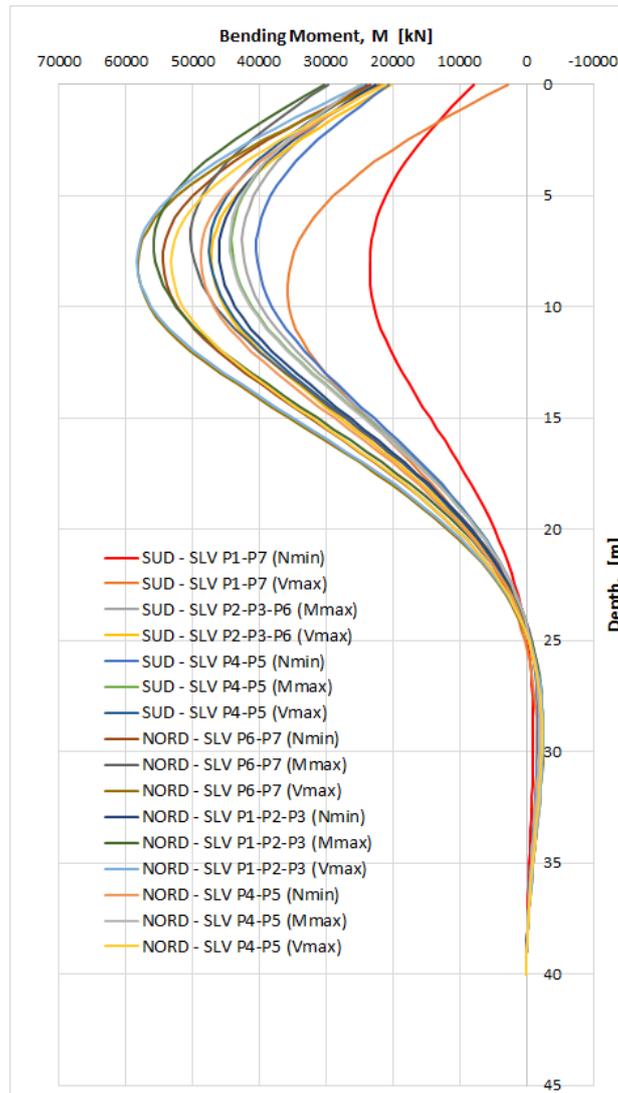
Per le verifiche di capacità portante, cui si rimanda al paragrafo 7.1, la condizione dimensionante risulta essere quella che comporta sforzi assiali di compressione maggiori, determinata dalla combinazione SLU.

Per le verifiche di resistenza strutturale, svolte al paragrafo 7.2, la condizione dimensionante si ottiene quando sul palo agisce il momento flettente massimo, dovuto alla combinazione sismica SLV. Tale condizione risulta essere maggiormente gravosa quando si considera il contemporaneo sforzo assiale di compressione minimo in quanto, al crescere della sollecitazione di compressione agente, il dominio di rottura del palo aumenta e, di conseguenza, si ricaverebbero tassi di sfruttamento dell'elemento minori. Per queste ragioni, ed in via largamente cautelativa, la verifica di resistenza strutturale del palo è stata condotta considerando il momento flettente massimo, dovuto alla combinazione sismica SLV, tra tutti i pali delle pile dei viadotti Nord e Sud. A questo valore è stato associato lo sforzo assiale di compressione minimo agente alla stessa quota.

Di seguito si riportano le sollecitazioni agenti su tutti i pali dei viadotti Nord e Sud nella combinazione sismica SLV, per la verifica strutturale dei pali. Per i valori di carico per la verifica di capacità portante si rimanda al paragrafo 7.1.







### 5.3 PULVINI

#### Pulvino 2

Combinazione di carico SLV_PULV	<b>Combinazione di carico SLV_PULV - Massima e minima azione assiale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70205	1025	574	43013	-4066	272117	251919
	70202	-63	34	0	12107	-39042	-7231
	<b>Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo taglio longitudinale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70210	687	784	68908	9686	936586	192444
	70205	194	-43	1507	-7224	-1043246	5236
	<b>Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo momento longitudinale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70209	155	135	132430	3602	820387	198530
	70204	150	-12	-3974	1170	-144281	2642
	<b>Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo taglio trasversale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70202	744	482	33730	13175	86634	119575
	70205	127	22	1968	-7725	-1204531	-1127
	<b>Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo momento trasversale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70203	463	301	53867	1739	1305136	154560
70205	127	22	2032	-7706	-1204533	-1126	
<b>Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo momento torcente</b>							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
70205	861	669	35489	-4173	259910	313882	
70210	-15	34	3548	5421	-98930	-15364	

Combinazione di carico SLU_PULV	<b>Combinazione di carico SLU_PULV - Massima e minima azione assiale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70207	656	4	6578	3952	155846	10561
	70202	-188	7	0	23506	-31524	-1679
	<b>Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo taglio longitudinale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70210	142	134	11991	10029	-80967	-43927
	70205	366	-143	-104	-11913	-1952754	10640
	<b>Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo momento longitudinale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70209	171	26	30748	769	598418	21175
	70207	295	-75	-18894	2082	81669	9580
	<b>Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo taglio trasversale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70202	97	20	0	26007	-89823	-4211
	70205	329	-18	4526	-13587	-2500233	13026
	<b>Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo momento trasversale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70212	210	11	3942	3304	1072782	1181
70205	328	-18	4146	-13530	-2502818	11367	
<b>Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo momento torcente</b>							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
70210	227	-103	-645	6140	-28889	60359	
70210	125	119	7498	7587	-83012	-58730	

Pulvino 3

Combinazione di carico SLV_PULV	<b>Combinazione di carico SLV_PULV - Massima e minima azione assiale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70310	1039	597	43332	9220	1202222	123684
	70302	-40	12	0	7747	-38172	-2984
	<b>Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo taglio longitudinale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70310	782	726	48603	9317	1134577	139328
	70310	145	-10	-518	5226	-137054	-1351
	<b>Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo momento longitudinale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70309	153	124	109654	4108	710440	124771
	70307	110	-7	-2989	2538	267253	-4064
	<b>Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo taglio trasversale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70310	942	610	43801	9480	1119853	112256
	70313	5	3	222	-7092	-745274	-696
	<b>Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo momento trasversale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
70303	444	298	49495	2137	1770590	109218	
70305	78	7	-1078	-5764	-807766	-4198	
<b>Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo momento torcente</b>							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
70305	842	710	25909	-1865	853511	247091	
70307	18	3	-961	2806	254050	-15352	

Combinazione di carico SLU_PULV	<b>Combinazione di carico SLU_PULV - Massima e minima azione assiale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70307	460	24	3946	3338	207651	-8631
	70302	-146	-25	0	15821	-32631	4389
	<b>Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo taglio longitudinale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70302	-28	80	0	15474	-56962	-17212
	70305	178	-80	-4114	-8942	-1329859	-10927
	<b>Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo momento longitudinale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70309	104	12	13307	430	270082	11273
	70307	213	-44	-13465	2816	197018	-2321
	<b>Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo taglio trasversale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70302	89	45	0	17628	-80911	-9948
	70313	-38	-42	-4183	-11868	-1225809	8262
	<b>Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo momento trasversale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
70309	91	-7	-4659	1154	545269	-15530	
70305	199	-45	-2495	-10458	-1787599	4600	
<b>Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo momento torcente</b>							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
70305	53	-34	-534	-6827	-1108910	44008	
70310	139	61	-32	6135	-165763	-54447	

Pulvino 6

Combinazione di carico SLV_PULV	<b>Combinazione di carico SLV_PULV - Massima e minima azione assiale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70605	1234	540	64200	-3682	722254	197381
	70613	-49	48	5890	-11608	-1416002	-11243
	<b>Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo taglio longitudinale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70605	1063	718	56891	-3228	1046099	203828
	70610	235	-57	-711	7870	-538447	17520
	<b>Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo momento longitudinale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70607	938	422	108196	9384	564849	226086
	70604	149	-24	-5766	2224	-52790	8628
	<b>Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo taglio trasversale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70610	1090	654	44858	13150	1260648	298496
	70613	-42	37	4443	-12156	-1483483	-8481
	<b>Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo momento trasversale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70603	544	344	67640	1562	2004132	146838
	70613	3	-24	-2847	-12150	-1493225	5435
<b>Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo momento torcente</b>							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
70610	1103	567	43241	12834	1345037	324596	
70610	139	43	1476	6632	-413224	-17295	

Combinazione di carico SLU_PULV	<b>Combinazione di carico SLU_PULV - Massima e minima azione assiale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70605	613	-49	6501	-10876	-2121611	24998
	70613	-155	49	5794	-17032	-2055139	-11060
	<b>Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo taglio longitudinale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70605	351	147	16260	-12289	-1928539	-1318
	70602	-43	-150	0	18044	-53571	34842
	<b>Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo momento longitudinale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70607	493	74	24574	6093	112405	1663
	70609	161	-19	-16157	538	116077	-25509
	<b>Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo taglio trasversale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70602	32	76	0	24286	-70931	-17375
	70613	-125	36	4438	-20118	-2433553	-8471
	<b>Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo momento trasversale</b>						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70607	212	-74	-9193	7441	598333	35413
	70605	350	32	7456	-14726	-2748880	9060
<b>Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo momento torcente</b>							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
70610	256	-128	4303	8082	-738891	98967	
70610	343	115	-965	9175	-544807	-82894	

## 6 VERIFICHE DELLE PILE

### 6.1 VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU

#### 6.1.1 Pressoflessione

Si riportano le verifiche di resistenza a pressoflessione delle pile maggiormente sollecitate.

Sono state previste le seguenti armature a flessione: 1 fila esterna di 75  $\Phi 26$  + 1 fila interna di 75  $\Phi 24$ .

Verifica C.A. S.L.U. - File: P2-P3-P6\_Nmin

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

Titolo: N min

N° Vertici: 151 Zoom N° barre: 150 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	-7.84881	124.7533	1	5.3092	-2.46073	117.4742
2	-13.06606	124.3152	2	5.3092	12.28205	116.8563
3	-18.26038	123.659	3	5.3092	-22.0173	115.4187
4	-23.42266	122.7859	4	5.3092	31.59805	113.1716
5	-28.54386	121.6974	5	5.3092	40.95722	110.1306
6	-33.61498	120.3953	6	5.3092	50.02907	106.3172

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 3945 kN  
M<sub>xEd</sub>: 11130 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 9396 kNm

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio Mx-My

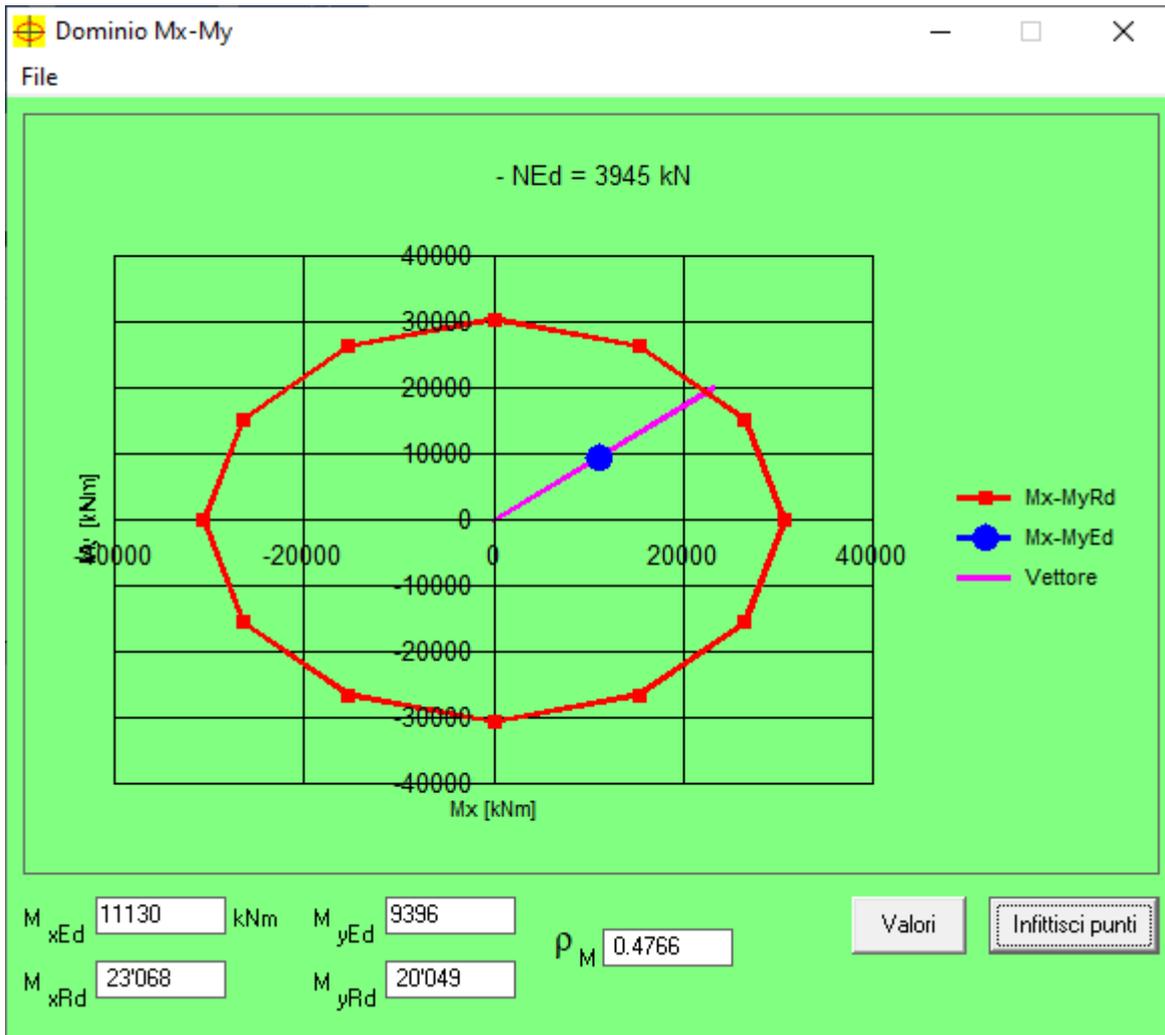
angolo asse neutro  $\theta^\circ$ : 319

Precompresso

Materiali: B450C C35/45

$\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰  
 $E_s$ : 200'000 N/mm²  $f_{cd}$ : 19.83 N/mm²  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 13.5 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm²  $\tau_{co}$ : 0.8  
 $\tau_{c1}$ : 2.257

M<sub>xRd</sub>: 23'068 kN m  
M<sub>yRd</sub>: 20'049 kN m  
 $\sigma_c$ : -19.83 N/mm²  
 $\sigma_s$ : 391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$ : 3.5 ‰  
 $\epsilon_s$ : 9.73 ‰  
d: 242.4 cm  
x: 64.14 x/d: 0.2645  
 $\delta$ : 0.7707



Verifica C.A. S.L.U. - File: P2-P3-P6\_Nmax

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

Titolo : N max

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	-7.84881	124.7533	1	5.3092	-2.46073	117.4742
2	-13.06606	124.3152	2	5.3092	12.28205	116.8563
3	-18.26038	123.659	3	5.3092	-22.0173	115.4187
4	-23.42266	122.7859	4	5.3092	31.59808	113.1716
5	-28.54386	121.6974	5	5.3092	40.95722	110.1306
6	-33.61498	120.3953	6	5.3092	50.02907	106.3172

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

Diagramma di sezione:

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

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

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

Tipologia rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio Mx-My

angolo asse neutro  $\theta^\circ$

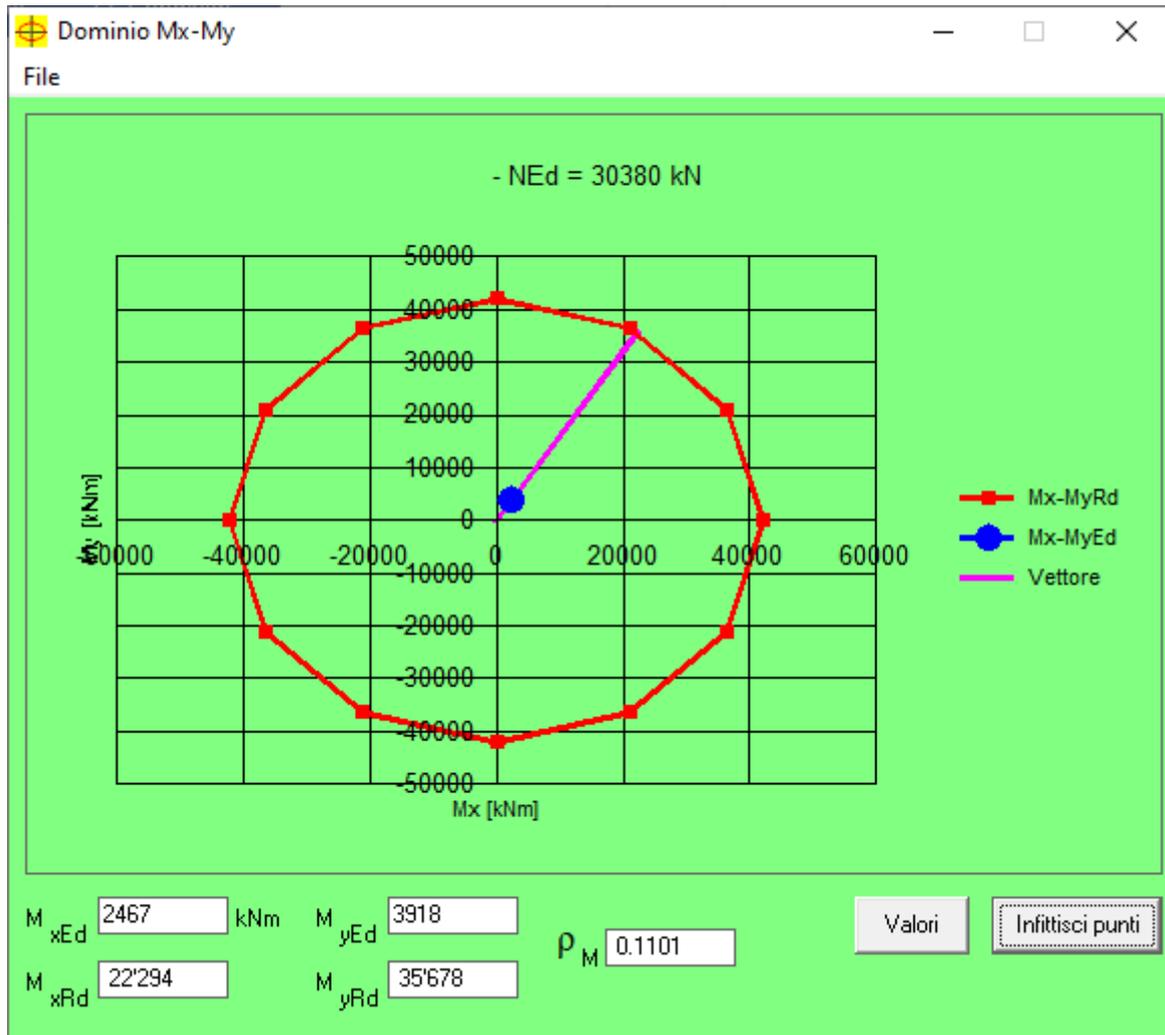
Precompresso

Materiali:

B450C C35/45

$\epsilon_{su}$   ‰  $\epsilon_{c2}$   ‰  
 $f_{yd}$   N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$   ‰  
 $E_s$   N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$   N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s/E_c$    $f_{cc}/f_{cd}$   ?  
 $\epsilon_{syd}$   ‰  $\sigma_{c,adm}$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{s,adm}$   N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\tau_{c1}$   N/mm<sup>2</sup>

M<sub>xRd</sub>  kN m  
 M<sub>yRd</sub>  kN m  
 $\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$   ‰  
 $\epsilon_s$   ‰  
 d  cm  
 x  x/d   
 $\delta$



Verifica C.A. S.L.U. - File: P2-P3-P6\_Mmax

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

Titolo: **M max**

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	-7.84881	124.7533	1	5.3092	-2.46073	117.4742
2	-13.06606	124.3152	2	5.3092	12.28205	116.8563
3	-18.26038	123.659	3	5.3092	-22.0173	115.4187
4	-23.42266	122.7859	4	5.3092	31.59808	113.1716
5	-28.54386	121.6974	5	5.3092	40.95722	110.1306
6	-33.61498	120.3953	6	5.3092	50.02907	106.3172

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

Diagramma della sezione:

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

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

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

Tipologia rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio Mx-My

angolo asse neutro  $\theta^\circ$

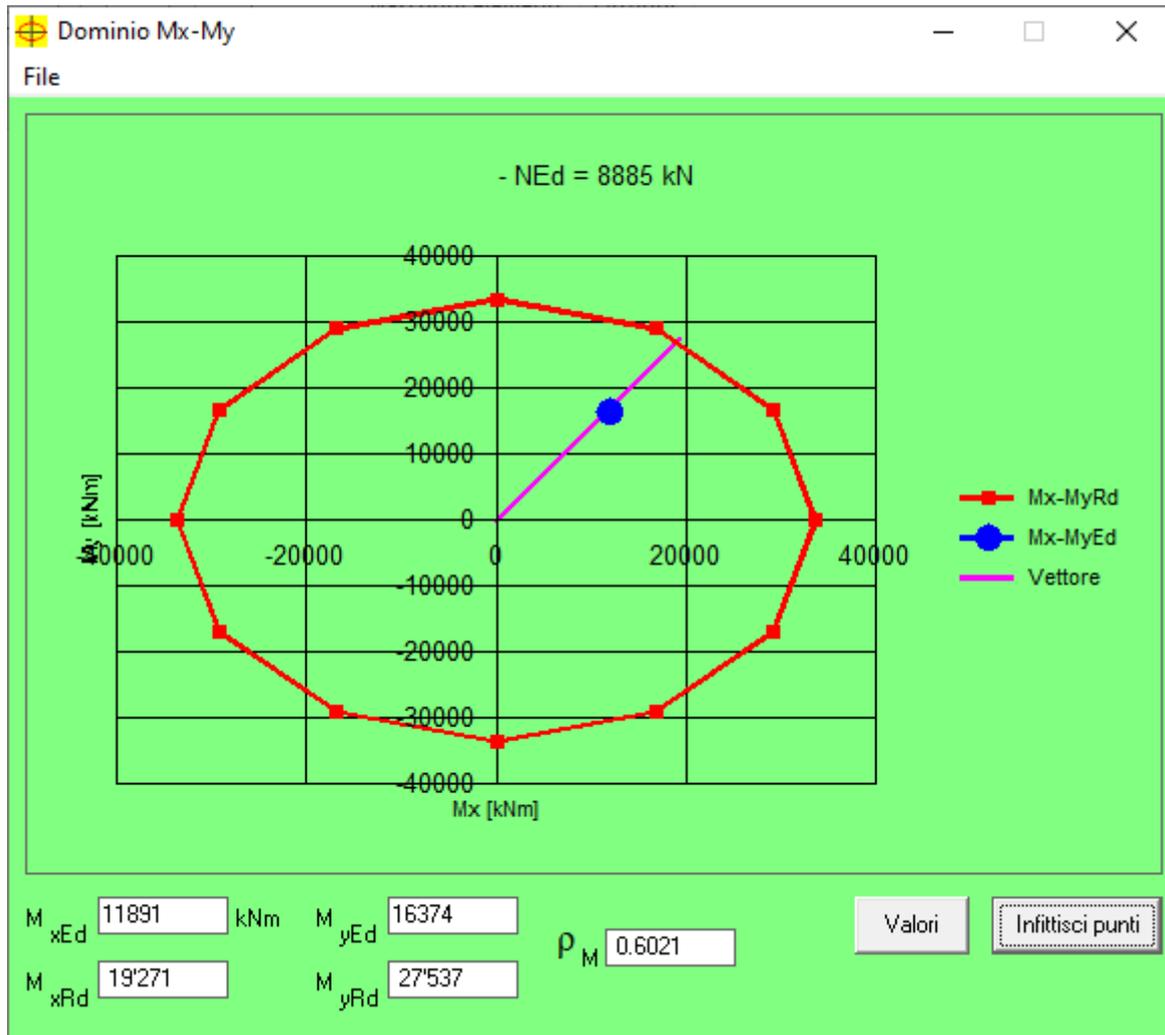
Precompresso

**Materiali**

**B450C** **C35/45**

$\epsilon_{su}$   ‰  $\epsilon_{c2}$   ‰  
 $f_{yd}$   N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$   ‰  
 $E_s$   N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$   N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s/E_c$    $f_{cc}/f_{cd}$   ?  
 $\epsilon_{syd}$   ‰  $\sigma_{c,adm}$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{s,adm}$   N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\tau_{c1}$   N/mm<sup>2</sup>

M<sub>xRd</sub>  kN m  
M<sub>yRd</sub>  kN m  
 $\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$   ‰  
 $\epsilon_s$   ‰  
d  cm  
x  x/d   
 $\delta$



## 6.1.2 Taglio

### ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO - NTC 2018 § 4.1.2.3.5.2

#### Caratteristiche dei materiali

$N_p =$	0.00 kN	(Compressione positiva)
$R_{ck} =$	45.00 N/mm <sup>2</sup>	
$f_{ck} =$	37.35 N/mm <sup>2</sup>	
$f_{ctk} =$	2.35 N/mm <sup>2</sup>	
$f_{cd} =$	21.17 N/mm <sup>2</sup>	
$f_{ctd} =$	1.56 N/mm <sup>2</sup>	

#### Staffe:

$d_{sw} =$	20.00 mm	
$n_{sw} =$	2.00 -	Numero di braccia
$A_{sw,MIN} =$	2652.00 mm <sup>2</sup> /m	Area minima delle staffe secondo NTC 2018
$A_{sw} =$	628.32 mm <sup>2</sup>	Area della singola staffa
$A_{sw,TOT} =$	3141.59 mm <sup>2</sup> /m	Armatura minima soddisfatta
$s =$	200.00 mm	
$f_{yd} =$	391 N/mm <sup>2</sup>	
$d =$	2424 mm	
$\alpha =$	90.00 °	Inclinazione dell'armatura a taglio rispetto all'asse della trave
$ctg\alpha =$	0.00 -	

#### Ferri piegati

$d_{sw} =$	0.00 mm	
$n_{sw} =$	1.00 -	
$A_{sw} =$	0.00 mm <sup>2</sup>	
$A_{sw,TOT} =$	0.00 mm <sup>2</sup> /m	
$s =$	1.00 mm	
$f_{yd} =$	1.00 N/mm <sup>2</sup>	
$d =$	2424 mm	
$\alpha =$	1.00 °	Inclinazione dell'armatura a taglio rispetto all'asse della trave
$ctg\alpha =$	57.29 -	

Il valore di  $\theta$  che uguaglia i contributi di resistenza a taglio trazione  $V_{RSd}$  e taglio compressione  $V_{Rcd}$  è

$\theta =$	14.85 °	Inclinazione dei puntoni di CLS rispetto all'asse della trave
$V_{RSd,ST} =$	10113 kN	Resistenza a taglio staffe
$V_{RSd,\phi} =$	0 kN	Resistenza a taglio dei ferri piegati
$V_{RSd} =$	10113 kN	Taglio trazione
$V_{Rcd} =$	10113 kN	Taglio compressione
$\theta_{lim,inf} =$	21.80 °	Limite inferiore inclinazione dei puntoni
$\theta_{lim,sup} =$	45.00 °	Limite superiore inclinazione dei puntoni

Si assume  $\theta$  pari a:

$$\theta = 21.80^\circ \quad \text{Traliccio con puntoni ad inclinazione variabile}$$

$$\text{ctg}\theta = 2.50 -$$

$$V_{\text{Rsd,st}} = 6705 \text{ kN} \quad \text{Resistenza a taglio delle staffe}$$

$$V_{\text{Rsd,fp}} = 0 \text{ kN} \quad \text{Resistenza a taglio dei ferri piegati}$$

$$V_{\text{Rsd}} = 6705 \text{ kN}$$

$$b_w = 1768 \text{ mm}$$

$$A_c = 3125824 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\text{cp}} = 0.00 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_c = 1.00 -$$

$$f'_{\text{cd}} = 10.58 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{\text{Rcd}} = 14074 \text{ kN} \quad \text{Resistenza a taglio del calcestruzzo d'anima}$$

$$V_{\text{Rd}} = 6705 \text{ kN} \quad \text{Resistenza a taglio della sezione}$$

$$V_{\text{Ed}} = 2136 \text{ kN} < V_{\text{Rd}} = 6705 \text{ kN} \text{ Verificato}$$

## 7 VERIFICHE DEI PALI

### 7.1 CAPACITA' PORTANTE

La verifica di capacità portante dei pali di fondazione è stata svolta considerando la massima sollecitazione di compressione agente sul singolo palo.

Il calcolo è stato effettuato considerando un ipotetico scalzamento generalizzato di tutti i pali in alveo (pile da P2 a P6). In particolare, si è deciso di considerare una porzione di palo non reagente con il terreno (in tabella indicata come  $L_{nr}$ ) fino alla quota di scalzamento fissata a 21,46m per tutti i pali del viadotto situati in alveo.

Nelle successive pagine, sono riportati gli andamenti delle curve di capacità portante sia in presenza, sia in assenza di scalzamento: come si può apprezzare dal loro confronto, le capacità portanti in presenza di scalzamento sono di poco inferiori rispetto a quelle calcolate in assenza di tale fenomeno. A titolo esemplificativo, considerando per entrambi i grafici la curva dei parametri A1+M1+R3 minimi, a 40m di profondità si ha portata con scalzamento pari a circa 29000 kN e pari a circa 30000 kN senza.

Ciò premesso, si evidenzia come il fenomeno dello scalzamento si configuri come una combinazione di carico eccezionale ai sensi della normativa vigente, da verificarsi pertanto con coefficienti di ponderazione unitari delle azioni. La condizione di calcolo in assenza di scalzamento, invece, risulta una verifica da condurre in combinazione SLU e pertanto con coefficienti di ponderazione amplificativi delle azioni agenti.

Dalle considerazioni di cui sopra risulta pertanto che il carico  $Q_d$ , dimensionante per la valutazione della capacità portante, sia quello calcolato allo SLU. In via largamente cautelativa, si faranno le seguenti assunzioni:

- per le pile P1 e P7 si utilizzeranno i grafici di capacità portante in condizione senza scalzamento mentre per le pile da P2 a P6 si utilizzeranno comunque le curve calcolate in presenza di scalzamento;
- delle due curve presenti in ciascun grafico, si assumerà quella in corrispondenza dei parametri A1+M1+R3 minimi.

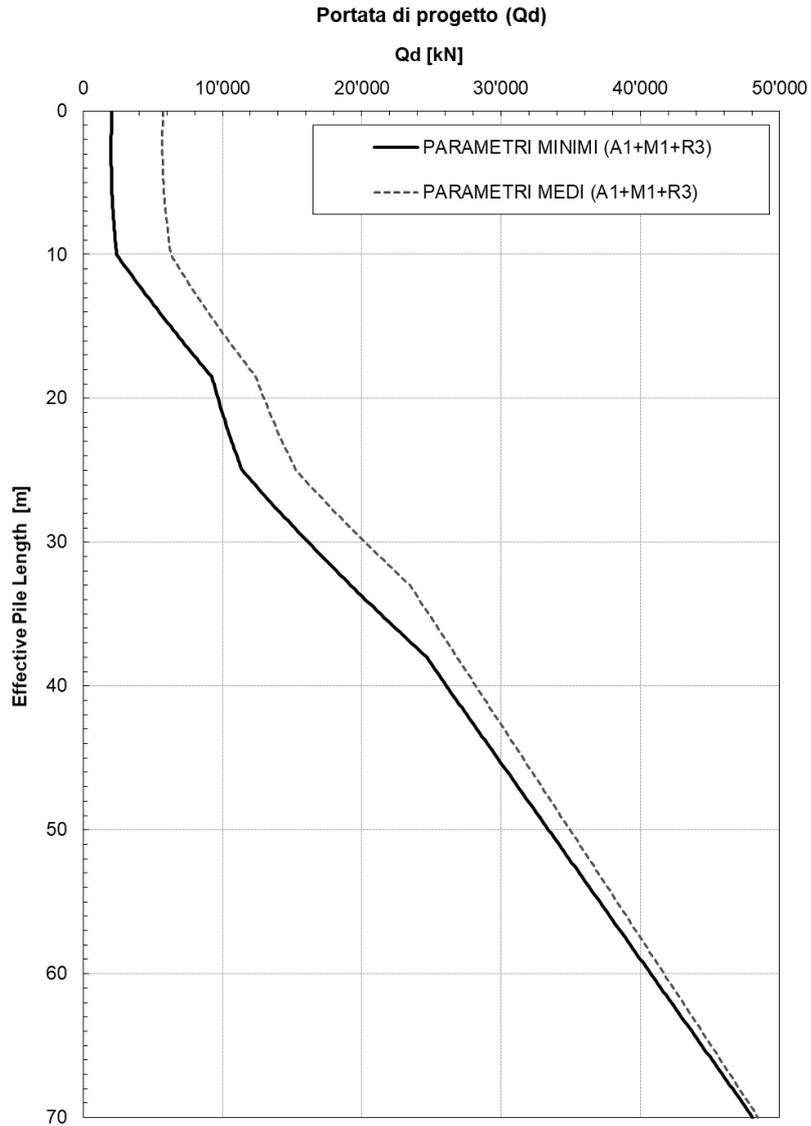
Per i pali oggetto della presente relazione di calcolo sono stati calcolati i seguenti valori di carico agente e, di conseguenza, la seguente lunghezza reagente  $L_r$ .

Laddove necessario (pile da P2 a P6) si terrà in conto della quota-parte non reagente  $L_{nr}$  del palo nella valutazione della lunghezza totale dell'elemento, secondo la seguente formula:

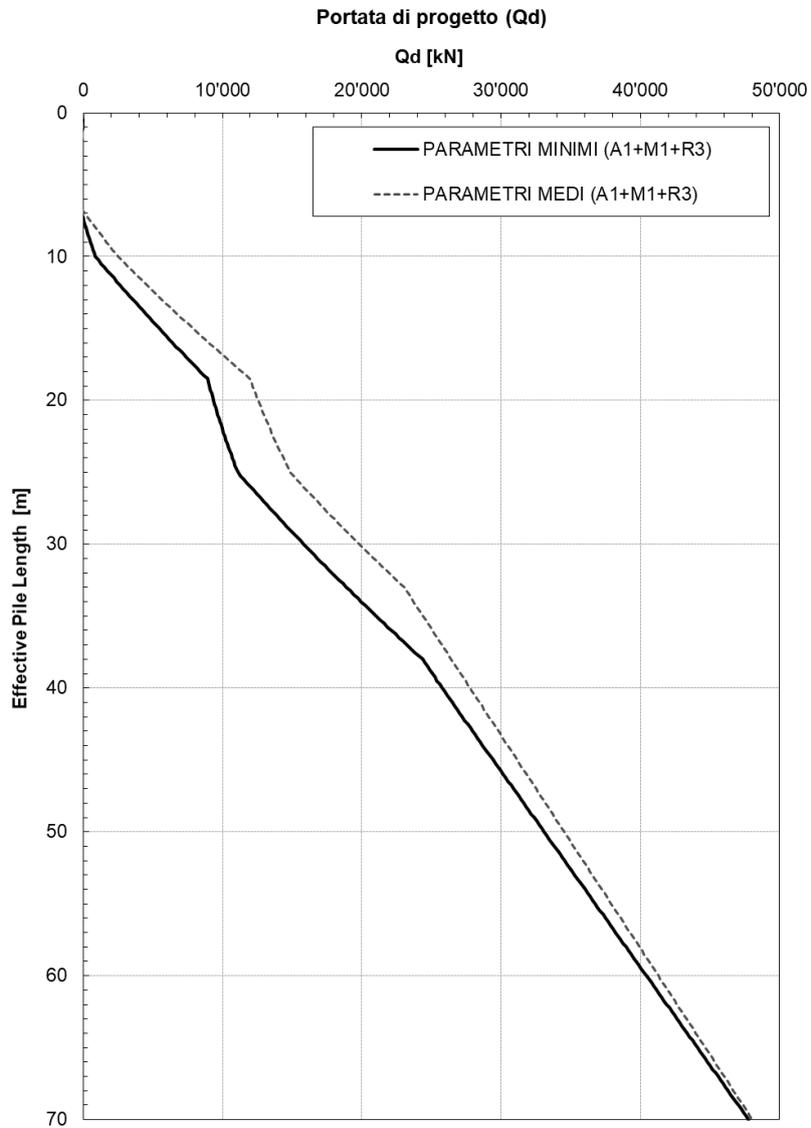
$$L_T = L_r + L_{nr}$$

RENO - CARREGGIATA SUD						
PILA	POSSIBILE SCALZAMENTO	$L_{nr}$	$N_{SLU}$	$Q_d$	$L_r$	$L_T$
		[m]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
P2	Sì	6.03	24000	25761	40	47
P3	Sì	5	23600	25761	40	45
P6	Sì	9.76	24000	25761	40	50

Curve di portanza senza scalzamento:



Curve di portanza con scalzamento:



## 7.2 VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU

Si riportano le verifiche di resistenza a pressoflessione dei pali in esame soggetti alla combinazione di carico più gravosa.

Sono state previste le seguenti armature a flessione: 1 fila esterna di 75  $\Phi 32$  + 1 fila intermedia di 75  $\Phi 32$  + 1 fila interna di 75  $\Phi 32$ .

Verifica C.A. S.L.U. - File: D2800\_Mmax\_N min

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

Titolo: N min - M max

N° Vertici: 50 Zoom N° barre: 225 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	-26.23338	137.5202	1	3.042499	-13.5887	129.2879
2	-43.26238	133.1479	2	3.042499	24.3595	127.6973
3	-59.6091	126.6758	3	3.042499	34.9595	125.2111
4	-75.01575	118.2059	4	3.042499	45.3143	121.8467
5	-89.23936	107.8718	5	3.042499	55.3513	117.6275
6	-102.0556	95.8366	6	3.042499	-65	112.5833

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

Diagramma della sezione circolare con armatura a coordinate.

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 2000 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 58000 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

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

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio Mx-My

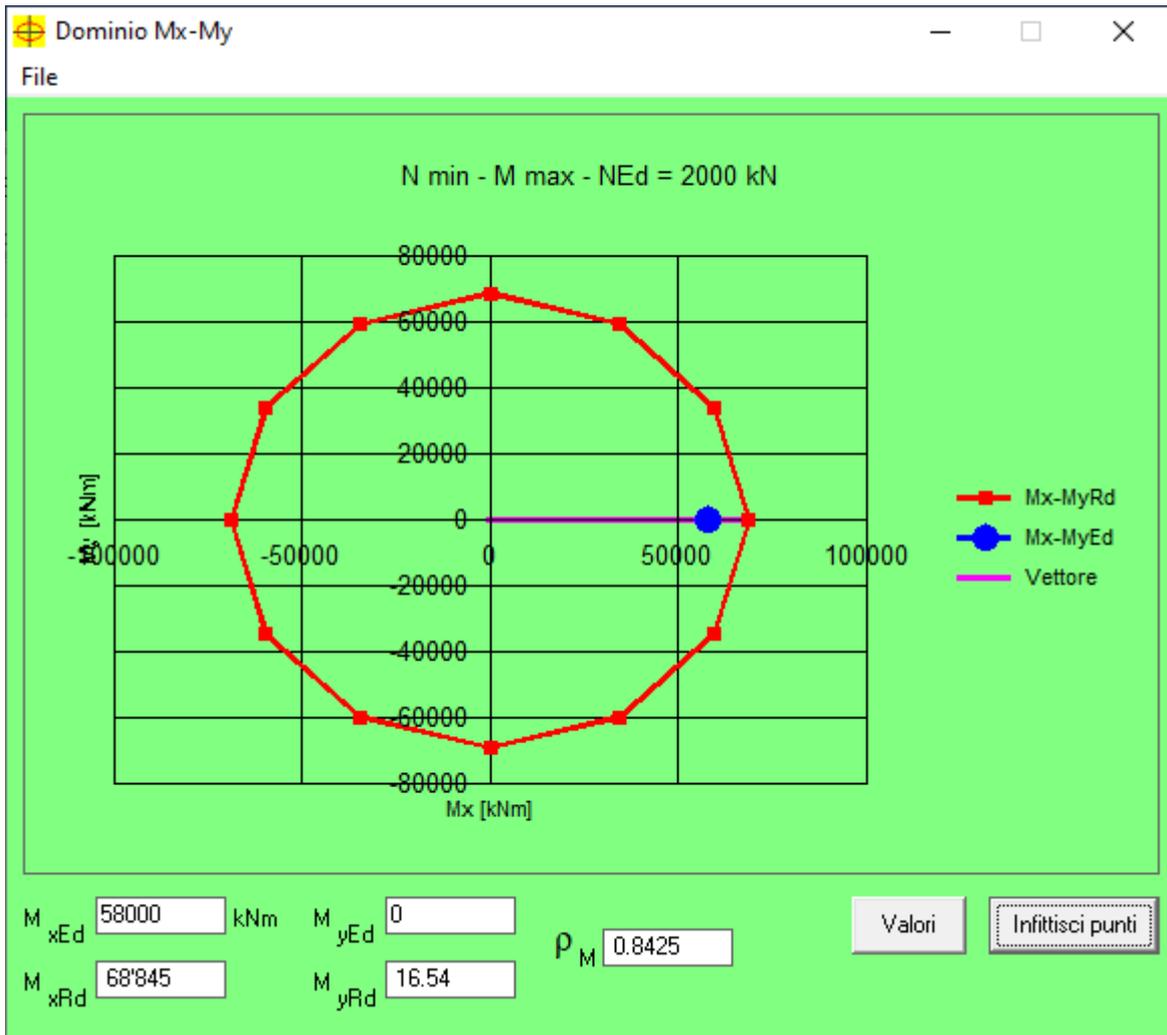
angolo asse neutro  $\theta^\circ$  0

Precompresso

Materiali: B450C C32/40

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200'000 N/mm²  $f_{cd}$  18.81  
 $E_s/E_c$  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

M<sub>xRd</sub> 68'845 kN m  
M<sub>yRd</sub> 16.54 kN m  
 $\sigma_c$  -18.81 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  7.271 ‰  
d 269.7 cm  
x 87.64 x/d 0.325  
 $\delta$  0.8462



## 8 VERIFICHE DEL PULVINO

### 8.1 VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU

#### 8.1.1 Pressoflessione

Si riportano le verifiche di resistenza a pressoflessione dei pulvini maggiormente sollecitati.

Sono state previste le seguenti armature a flessione: 3 file di 50  $\Phi 30$  a lembo superiore e 3 file di 20  $\Phi 30$  a lembo inferiore.

Verifica C.A. S.L.U. - File: P2-P3-P6\_Mmax

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

Titolo: **M max**

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 6 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	300	250

N°	As [cm²]	d [cm]
1	141.4	243
2	141.4	237
3	141.4	231
4	353.43	7
5	353.43	13
6	353.43	19

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

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: -544 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 20041 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 676 kNm

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione:  
 Retta  Deviata

N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio Mx-My

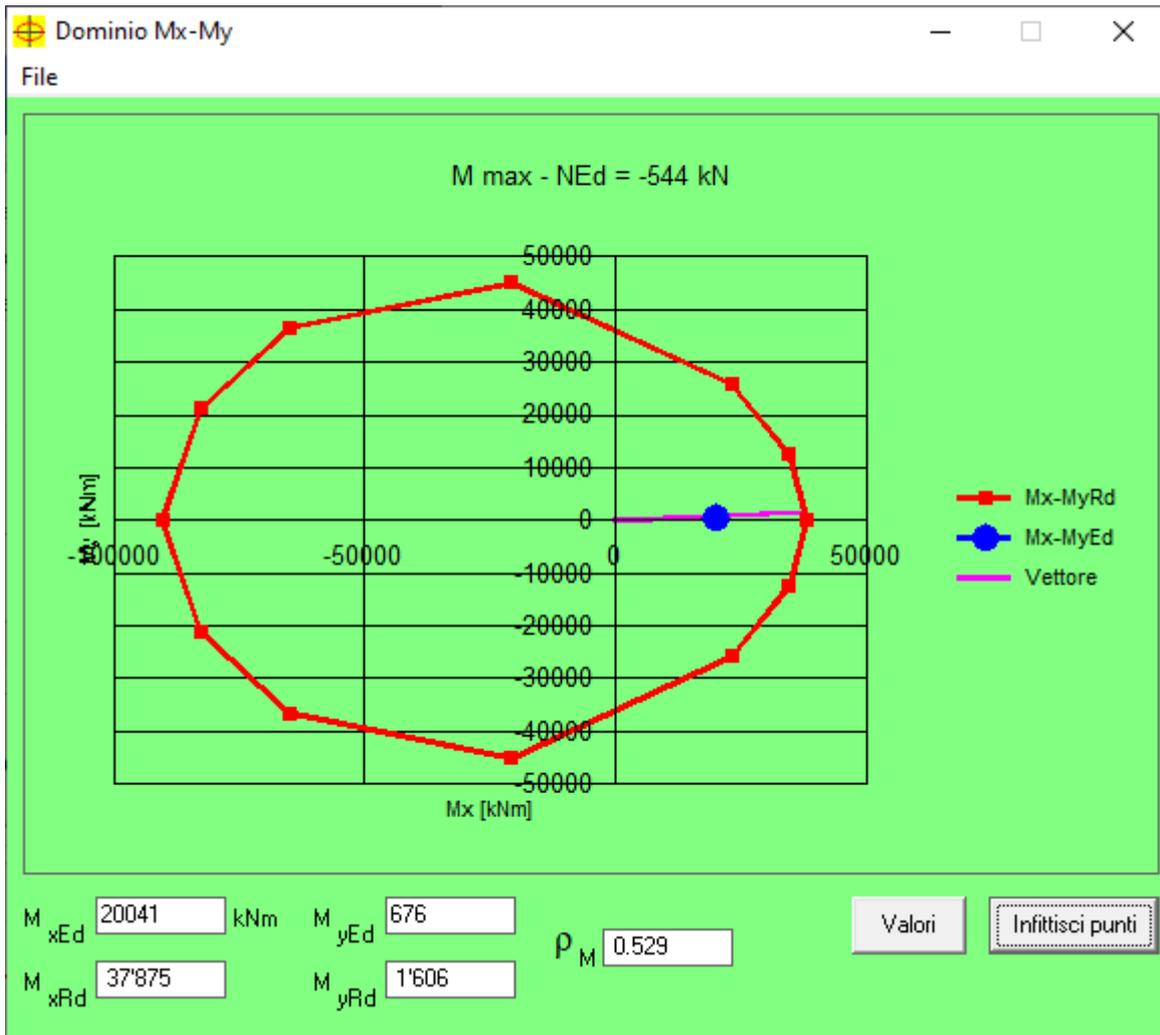
angolo asse neutro  $\theta^\circ$ : 358

Precompresso

**Materiali**

B450C		C35/45	
$\epsilon_{su}$	67.5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	391.3 N/mm²	$\epsilon_{cu}$	3.5 ‰
$E_s$	200'000 N/mm²	$f_{cd}$	19.83
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	0.8
$\epsilon_{syd}$	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	13.5
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	$\tau_{co}$	0.8
		$\tau_{c1}$	2.257

M<sub>xRd</sub>: 37'875 kN m  
 M<sub>yRd</sub>: 1'606 kN m  
 $\sigma_c$ : -19.83 N/mm²  
 $\sigma_s$ : 391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$ : 3.5 ‰  
 $\epsilon_s$ : 38.28 ‰  
 d: 248.1 cm  
 x: 20.78 x/d: 0.08377  
 $\delta$ : 0.7



Verifica C.A. S.L.U. - File: P2-P3-P6\_Mmin

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

Titolo : **M min**

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	300	250

N°	As [cm²]	d [cm]
1	141.4	243
2	141.4	237
3	141.4	231
4	353.43	7
5	353.43	13
6	353.43	19

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

Sollecitazioni  
 S.L.U.  Metodo n

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

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

Tipo rottura  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione  
 Retta  Deviato

N° rett.

Calcola MRd

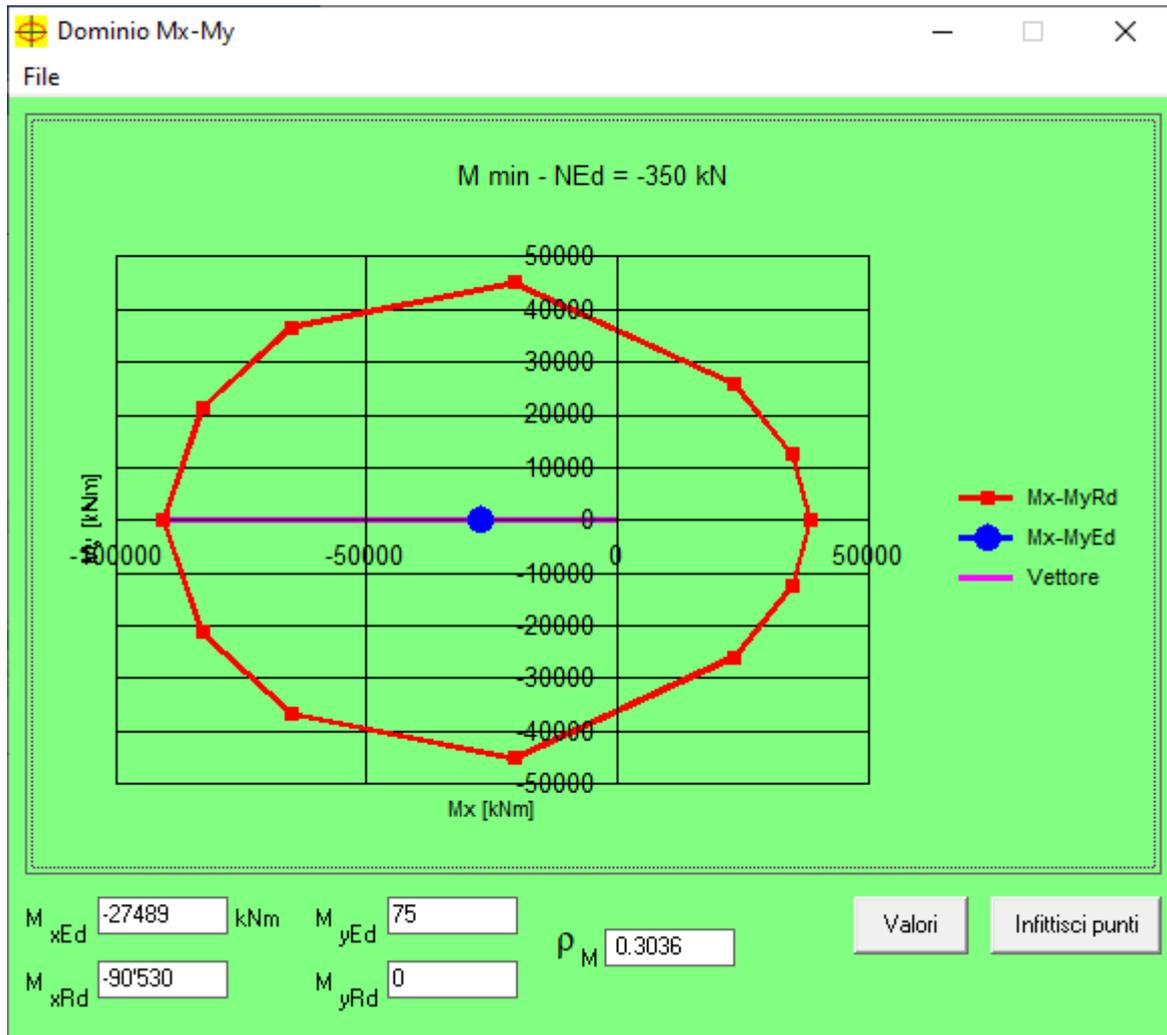
angolo asse neutro  $\theta^\circ$

Precompresso

**Materiali**

$\epsilon_{su}$   ‰  $\epsilon_{c2}$   ‰  
 $f_{yd}$   N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$   ‰  
 $E_s$   N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$   N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s/E_c$    $f_{cc}/f_{cd}$   ?  
 $\epsilon_{syd}$   ‰  $\sigma_{c,adm}$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{s,adm}$   N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\tau_{c1}$   N/mm<sup>2</sup>

M<sub>xRd</sub>  kN m  
 M<sub>yRd</sub>  kN m  
 $\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$   ‰  
 $\epsilon_s$   ‰  
 d  cm  
 x  x/d   
 $\delta$



## 8.1.2 Taglio

### ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO - NTC 2018 § 4.1.2.3.5.2

#### Caratteristiche dei materiali

$N_p =$	0.00 kN	(Compressione positiva)
$R_{ck} =$	45.00 N/mm <sup>2</sup>	
$f_{ck} =$	37.35 N/mm <sup>2</sup>	
$f_{ctk} =$	2.35 N/mm <sup>2</sup>	
$f_{cd} =$	21.17 N/mm <sup>2</sup>	
$f_{ctd} =$	1.56 N/mm <sup>2</sup>	

#### Staffe:

$d_{sw} =$	20.00 mm	
$n_{sw} =$	8.00 -	Numero di braccia
$A_{sw,MIN} =$	4500.00 mm <sup>2</sup> /m	Area minima delle staffe secondo NTC 2018
$A_{sw} =$	2513.27 mm <sup>2</sup>	Area della singola staffa
$A_{sw,TOT} =$	16755.16 mm <sup>2</sup> /m	Armatura minima soddisfatta
$s =$	150.00 mm	
$f_{yd} =$	391 N/mm <sup>2</sup>	
$d =$	2456 mm	
$\alpha =$	90.00 °	Inclinazione dell'armatura a taglio rispetto all'asse della trave
$ctg\alpha =$	0.00 -	

#### Ferri piegati

$d_{sw} =$	20.00 mm	
$n_{sw} =$	6.00 -	
$A_{sw} =$	1884.96 mm <sup>2</sup>	
$A_{sw,TOT} =$	9424.78 mm <sup>2</sup> /m	
$s =$	200.00 mm	
$f_{yd} =$	391.00 N/mm <sup>2</sup>	
$d =$	2456 mm	
$\alpha =$	45.00 °	Inclinazione dell'armatura a taglio rispetto all'asse della trave
$ctg\alpha =$	1.00 -	

Il valore di  $\theta$  che uguaglia i contributi di resistenza a taglio trazione  $V_{RSd}$  e taglio compressione  $V_{Rcd}$  è :

$\theta =$	36.19 °	Inclinazione dei puntoni di CLS rispetto all'asse della trave
$V_{RSd,ST} =$	19809 kN	Resistenza a taglio staffe
$V_{RSd,\phi} =$	13632 kN	Resistenza a taglio dei ferri piegati
$V_{RSd} =$	33441 kN	Taglio trazione
$V_{Rcd} =$	33441 kN	Taglio compressione
$\theta_{lim,inf} =$	21.80 °	Limite inferiore inclinazione dei puntoni
$\theta_{lim,sup} =$	45.00 °	Limite superiore inclinazione dei puntoni

Si assume  $\theta$  pari a:

$$\theta = 36.19^\circ \quad \text{Traliccio con puntoni ad inclinazione variabile}$$

$$\text{ctg}\theta = 1.37 -$$

$$V_{\text{RSd,st}} = 19809 \text{ kN} \quad \text{Resistenza a taglio delle staffe}$$

$$V_{\text{RSd,fp}} = 13632 \text{ kN} \quad \text{Resistenza a taglio dei ferri piegati}$$

$$V_{\text{RSd}} = 33441 \text{ kN}$$

$$b_w = 3000 \text{ mm}$$

$$A_c = 7368000 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\text{cp}} = 0.00 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_c = 1.00 -$$

$$f'_{\text{cd}} = 10.58 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{\text{Rcd}} = 33441 \text{ kN} \quad \text{Resistenza a taglio del calcestruzzo d'anima}$$

$$V_{\text{Rd}} = 33441 \text{ kN} \quad \text{Resistenza a taglio della sezione}$$

$$V_{\text{Ed}} = 26007 \text{ kN} < V_{\text{Rd}} = 33087 \text{ kN} \text{ Verificato}$$