

# 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 CARR. NORD

SOTTOSTRUTTURE

RELAZIONE PULVINO E PILE P1/P2/P3 -VIA NORD

#### 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				Ordinatore
Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	WBS	PARTE D'OPERA	Tipo	Disciplina	Progressivo	Rev.	
111465	LL00	PD	AU	V63	VA63N	PIL00	R	STR	4603	0	SCALA -

 	PROJECT MANAGER:		SUPPORTO SPECIALISTICO:				REVISIONE	
	Ing. Raffaele Rinaldesi Ord. Ingg. Macerata N. A1068						n.	data
	REDATTO:		VERIFICATO:				0	SETTEMBRE 2020
							1	
							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 .....	4
1.2.1	<i>Convenzione assi</i> .....	5
1.2.2	<i>Definizione della matrice di rigidezza in testa al palo</i> .....	6
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>CALCOLO DEI COPRIFERRI</b> .....	<b>10</b>
3.1	FUSTO PILA.....	10
3.2	PULVINI .....	12
<b>4</b>	<b>RESISTENZE DI PROGETTO</b> .....	<b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>
4.1	VERIFICHE ALLO SLU .....	<b>ERRORE. IL SEGNA LIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>5</b>	<b>CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE</b> .....	<b>15</b>
5.1	PILE .....	15
5.2	PALI .....	18
5.3	PULVINI .....	21
<b>6</b>	<b>VERIFICHE DELLE PILE</b> .....	<b>24</b>
6.1	VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU .....	24
<b>7</b>	<b>VERIFICHE DEI PALI</b> .....	<b>32</b>
7.1	CAPACITA' PORTANTE .....	32
7.2	VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU .....	35
<b>8</b>	<b>VERIFICHE DEL PULVINO</b> .....	<b>37</b>
8.1	VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU .....	37
8.1.1	<i>Pressoflessione</i> .....	37
8.1.2	<i>Taglio</i> .....	41

## Indice delle Tabelle e delle Figure

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

# 1 GENERALITA'

## 1.1 DESCRIZIONE

Nel presente documento si riportano le verifiche del pulvino, delle pile e dei pali pila relativi agli allineamenti 1, 2 e 3 del viadotto reno carreggiata Nord.

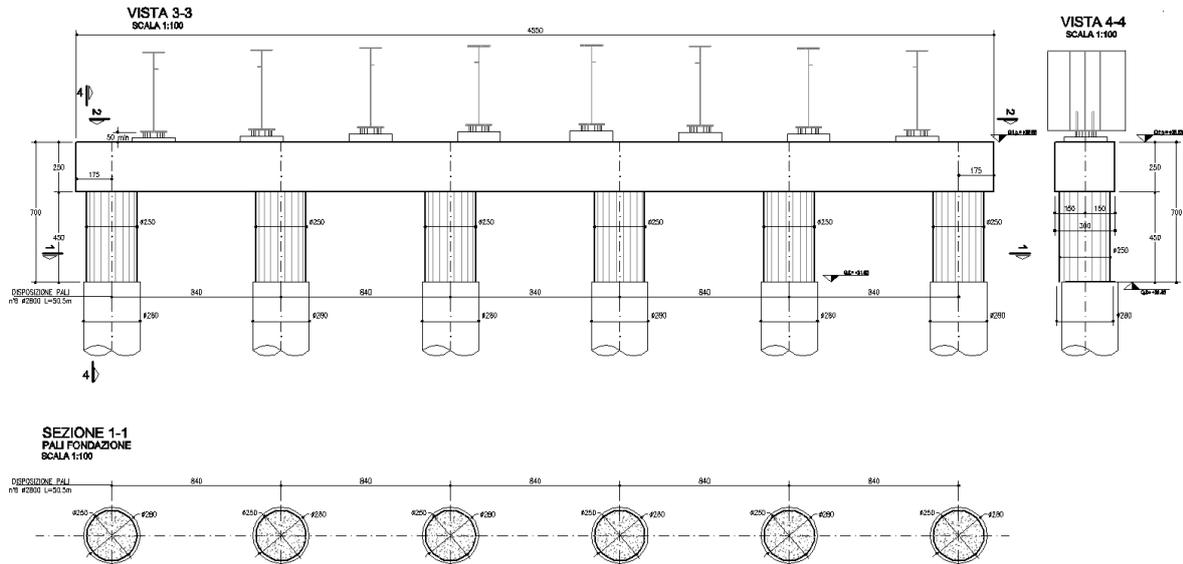


Figura 1 - Immagine Pila 1

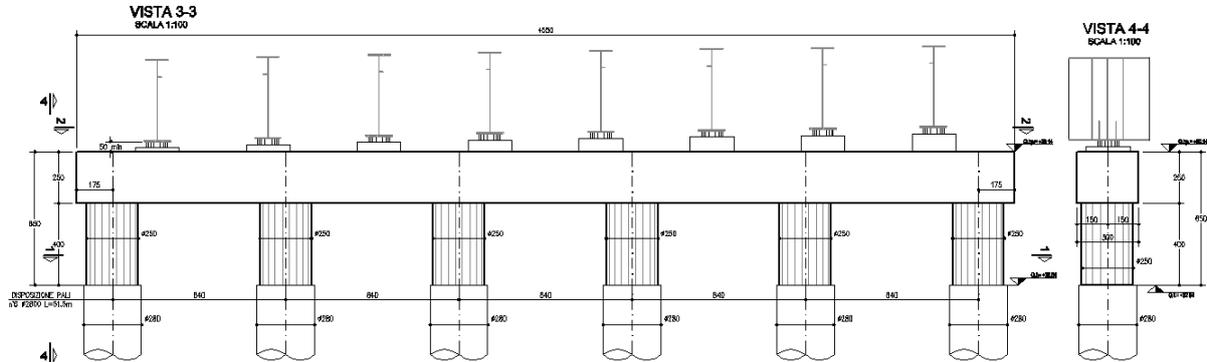


Figura 2 - Immagine pila 2

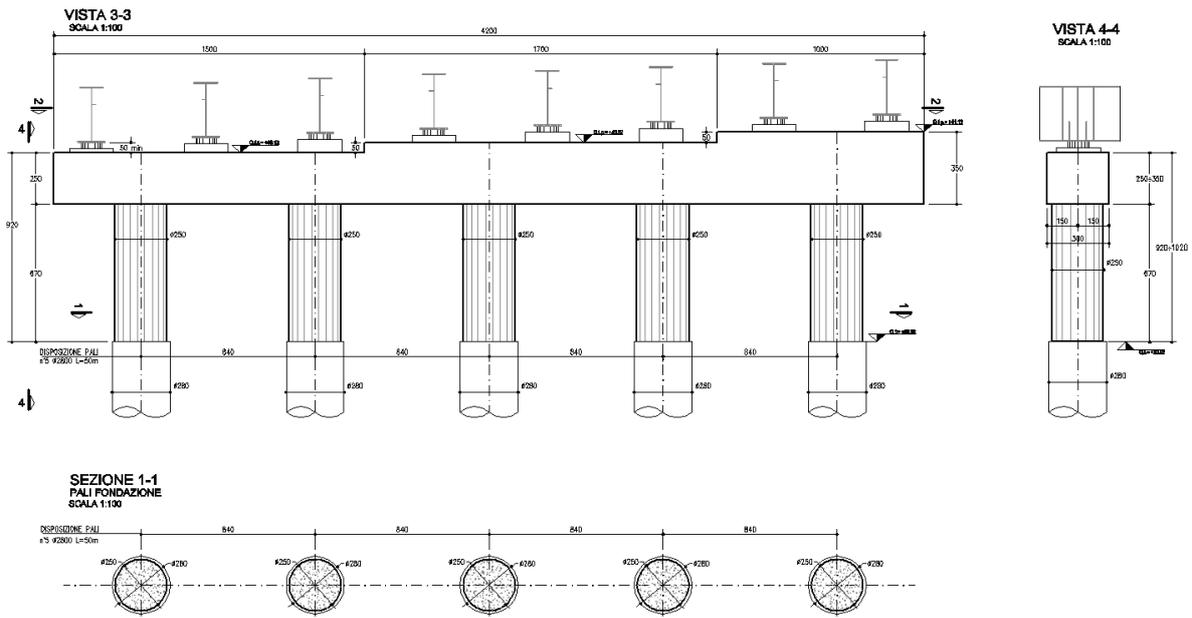


Figura 3 - Immagine pila 3

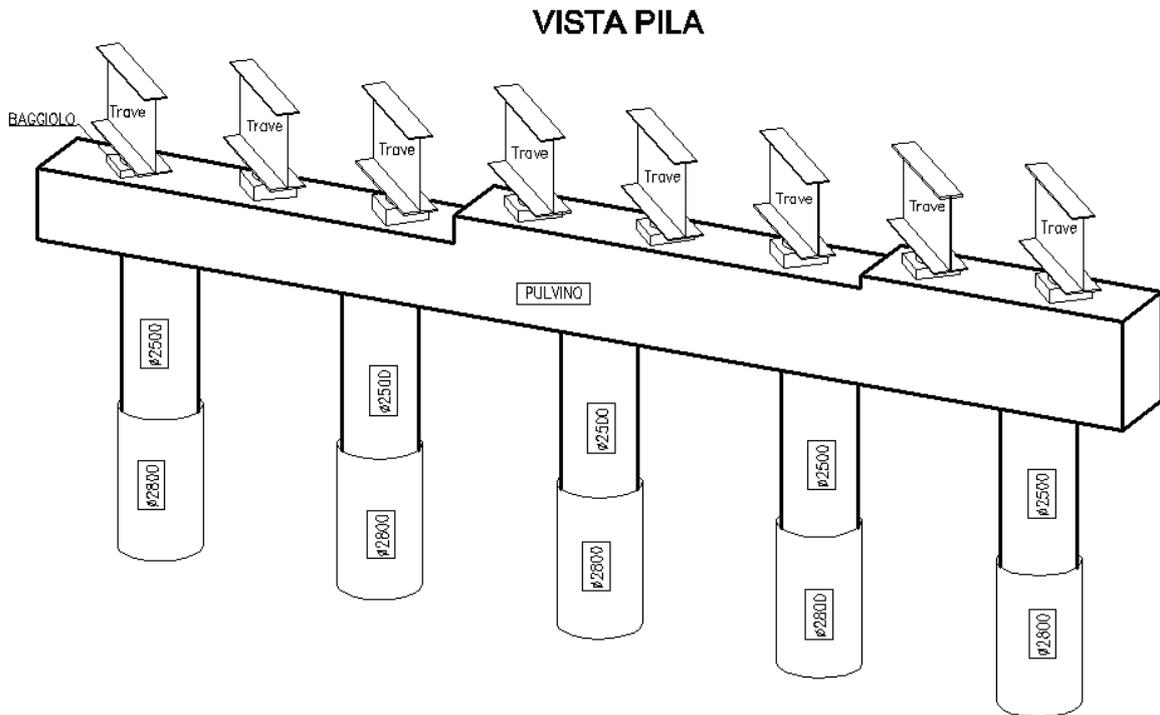


Figura 4 - Vista della pila

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 3.50 m.

La pila in esame è composta da sei fusti circolari (ad eccezione della pila 3 composta da cinque fusti) di diametro pari a 2.50 m. L'altezza massima dei fusti in questione è 6.70 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.

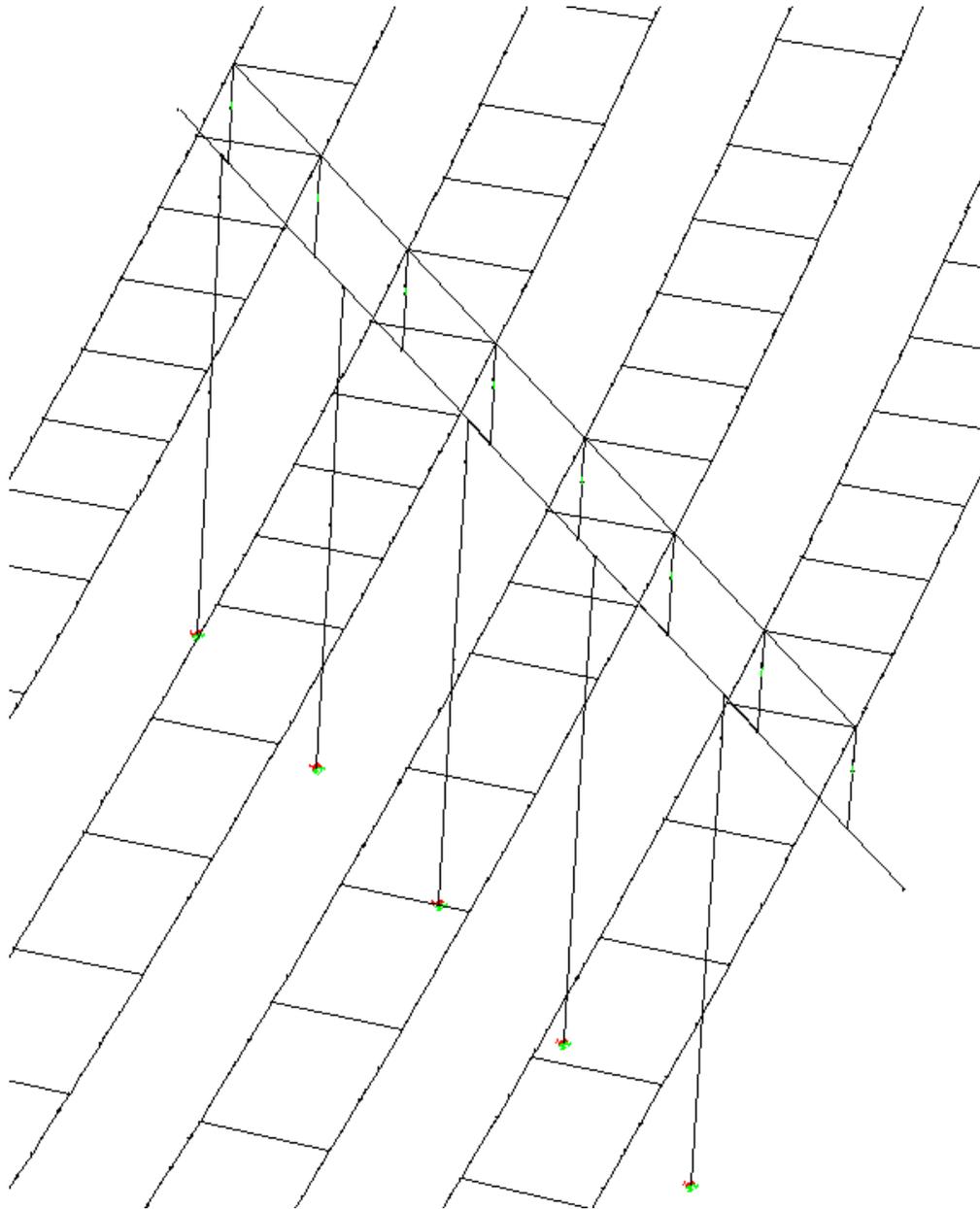


Figura 5 - Modello pila e pulvino

### 1.2.1 Convenzione assi

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

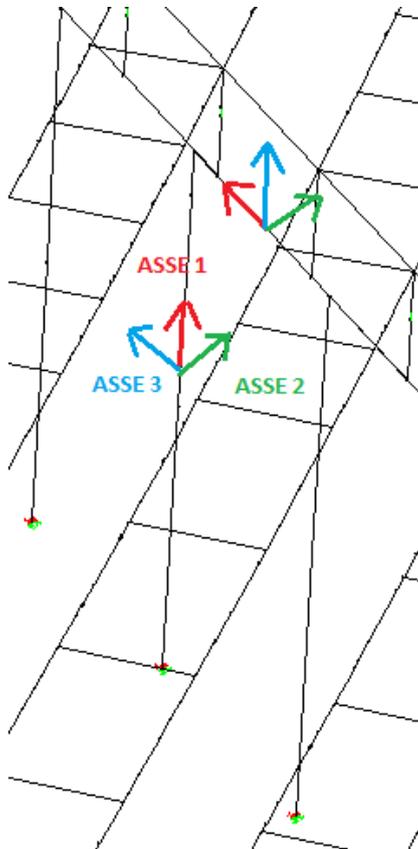


Figura 6 - Convenzioni assi modello

Assi pila:

M33 = Momento in direzione longitudinale

M22 = Momento in direzione trasversale

V3 = Taglio in direzione trasversale

V2 = Taglio in direzione longitudinale

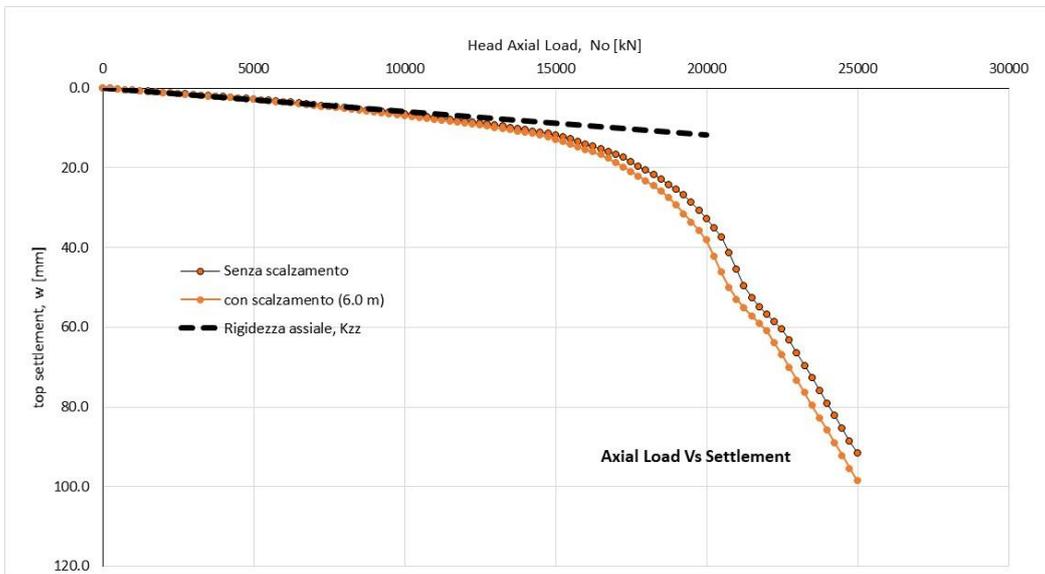
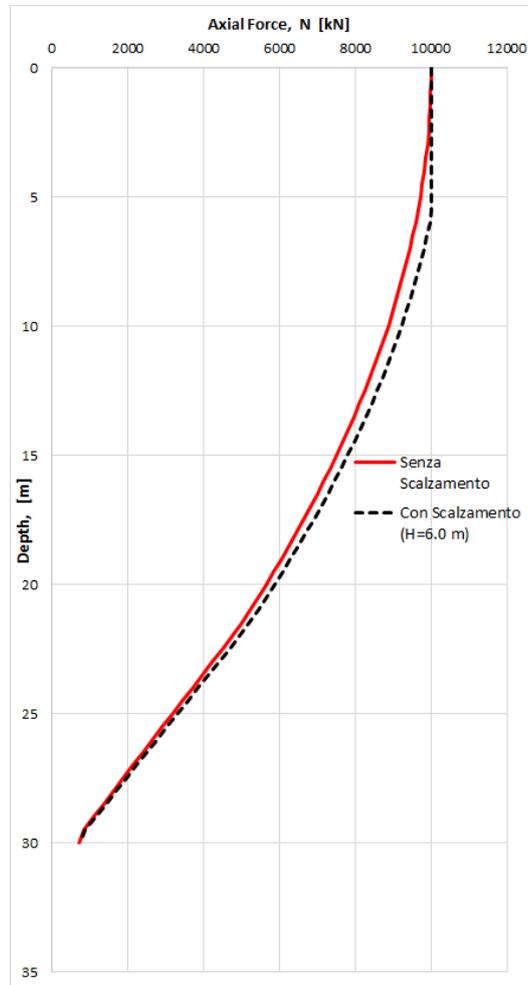
Assi pulvino:

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)

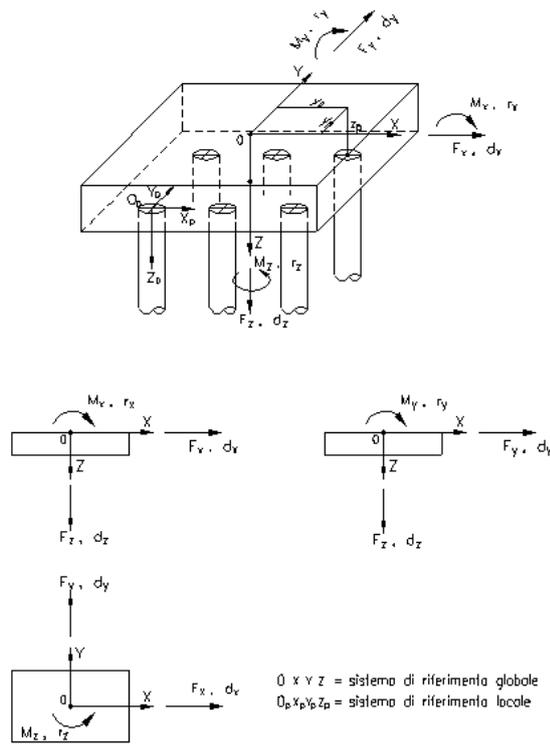
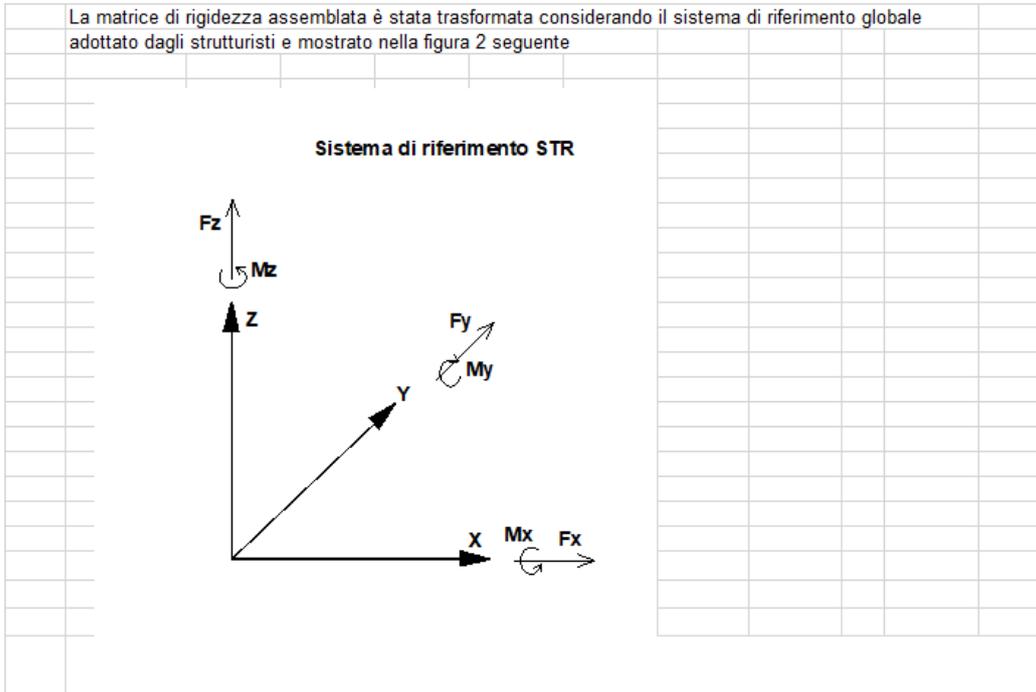


Figura 1: Sistema di riferimento globale palificata MAP

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



Matrice di rigidità senza scalzamento:

```
Matrice di Rigidità del Palo 1
(in sommità', 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 rigidità con scalzamento:

```
Matrice di Rigidità del Palo 1
(in sommità', 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-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]:		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 copriferrì: 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			
c <sub>min,b</sub> [mm]:		30			

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 copriferrì: 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 1

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]
	15000	-5029	2210	982444	2027	794937	0
	11000	-19148	-2432	-668298	-2485	-515585	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]
	15000	-7993	2475	1117153	2187	865215	0
	11000	-18444	-2766	-898963	-2544	-569546	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]
	11000	-12545	1666	1567829	1227	1409196	0
	15000	-14038	-1994	-1338201	-1573	-1116847	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]
	13000	-8734	2309	1058054	2264	851521	0
	11000	-18652	-2743	-884491	-2551	-577694	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]
11000	-12091	1449	1491418	1217	1502328	0	
15000	-13758	-1778	-1264312	-1558	-1207471	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]	
11000	-15195	-653	293355	-659	461718	0	
11000	-15195	-653	293355	-659	461718	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]
	15000	-6078	338	-89579	439	-91207	0
	11000	-30122	-1023	868896	-1542	851044	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]
	15000	-16243	734	-74606	536	-354047	0
	11000	-28052	-1415	622101	-1333	1050306	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]
	11000	-29254	-1000	900258	-1579	841705	0
	15000	-19106	216	-376689	676	-161935	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]
	15000	-18986	570	-262969	711	-313067	0
	11000	-29170	-1349	796002	-1625	991662	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]
11000	-27832	-1415	610484	-1309	1055833	0	
15000	-20336	733	-146712	536	-443302	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]	
11000	-21712	-1039	377242	-883	750339	0	
11000	-21712	-1039	377242	-883	750339	0	

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]
	25000	-2487	1596	1266014	1596	1618421	0
	21000	-18856	-1644	-1281279	-1693	-1378744	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]
	23000	-8290	1689	1613119	1723	1908306	0
	21000	-18526	-1739	-1262355	-1721	-1293899	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]
	21000	-7322	1362	1757445	1331	1955101	0
	23000	-9853	-1494	-1714194	-1613	-2123844	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]
	23000	-8335	1689	1611760	1725	1907504	0
	21000	-18526	-1739	-1262355	-1721	-1293899	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]
	23000	-6921	1557	1662025	1668	2044338	0
	23000	-9853	-1494	-1714194	-1613	-2123844	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]	
21000	-12654	-184	242472	-192	323829	0	
21000	-12654	-184	242472	-192	323829	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]
	25000	-6244	157	-178143	220	-217716	0
	21000	-25882	-223	623199	-488	630357	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]
	25000	-20047	342	-266340	182	-484766	0
	21000	-23576	-432	509086	-359	753679	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]
	21000	-24282	-416	688458	-566	815850	0
	25000	-18537	278	-381773	343	-464578	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]
	25000	-18337	278	-380002	343	-463156	0
	21000	-24282	-416	688458	-566	815850	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]
	21000	-24282	-416	688458	-566	815850	0
	25000	-20244	341	-274057	191	-489690	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]	
21000	-17969	-315	281265	-185	485888	0	
21000	-17969	-315	281265	-185	485888	0	

Pila3

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]
	31000	-1800	1340	1271859	1451	1391343	0
	35000	-14493	-1390	-1277178	-1444	-1363702	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]
	33000	-7255	1534	1373547	1664	1514205	0
	33000	-8777	-1547	-1381358	-1668	-1498640	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]
	33000	-5916	1471	1387665	1629	1574689	0
	33000	-8726	-1484	-1393820	-1634	-1559086	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]
	33000	-7240	1534	1372207	1666	1514242	0
	33000	-7612	-1547	-1378557	-1670	-1498818	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]
33000	-7065	1471	1383524	1633	1574905	0	
33000	-7576	-1484	-1389679	-1637	-1559302	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]	
31000	-8824	-79	54314	-62	99274	0	
31000	-8824	-79	54314	-62	99274	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]
	35000	-5630	53	-118971	147	-56831	0
	35000	-18308	81	-87121	24	-162800	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]
	35000	-17307	185	-107146	77	-261140	0
	31000	-15755	-196	83818	-74	267619	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]
	31000	-16386	-182	269648	-272	273543	0
	35000	-16100	127	-254164	239	-204777	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]
	35000	-15978	137	-253015	242	-212749	0
	31000	-16396	-181	269243	-273	272996	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]
31000	-16373	-182	268020	-271	273740	0	
35000	-17325	184	-111032	84	-262783	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]	
31000	-12366	-122	-7601	-2	148409	0	
31000	-12366	-122	-7601	-2	148409	0	

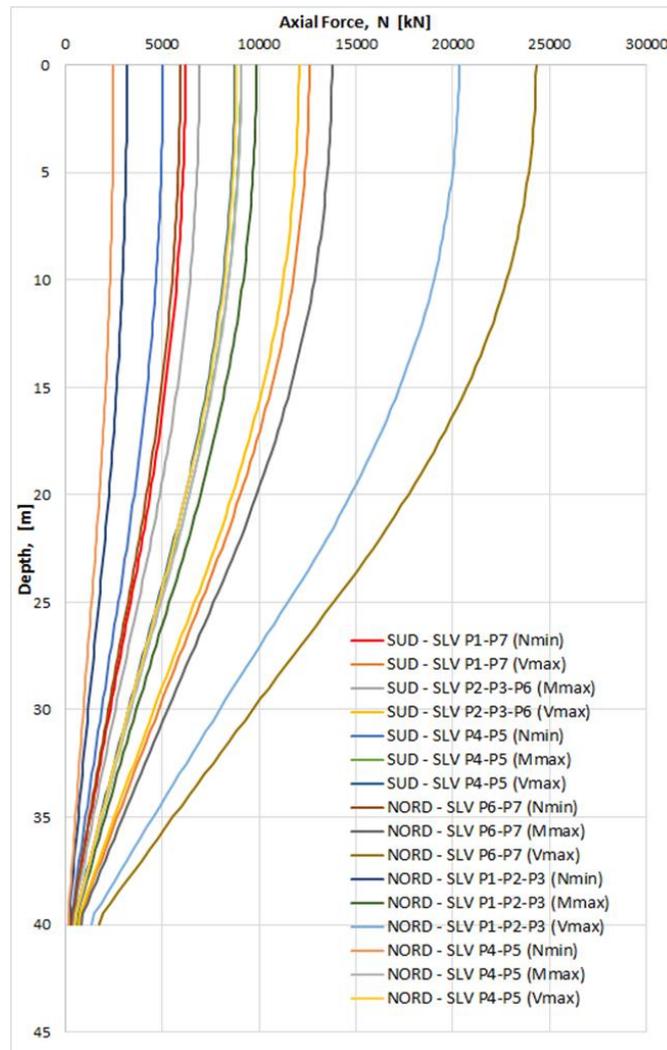
## 5.2 PALI

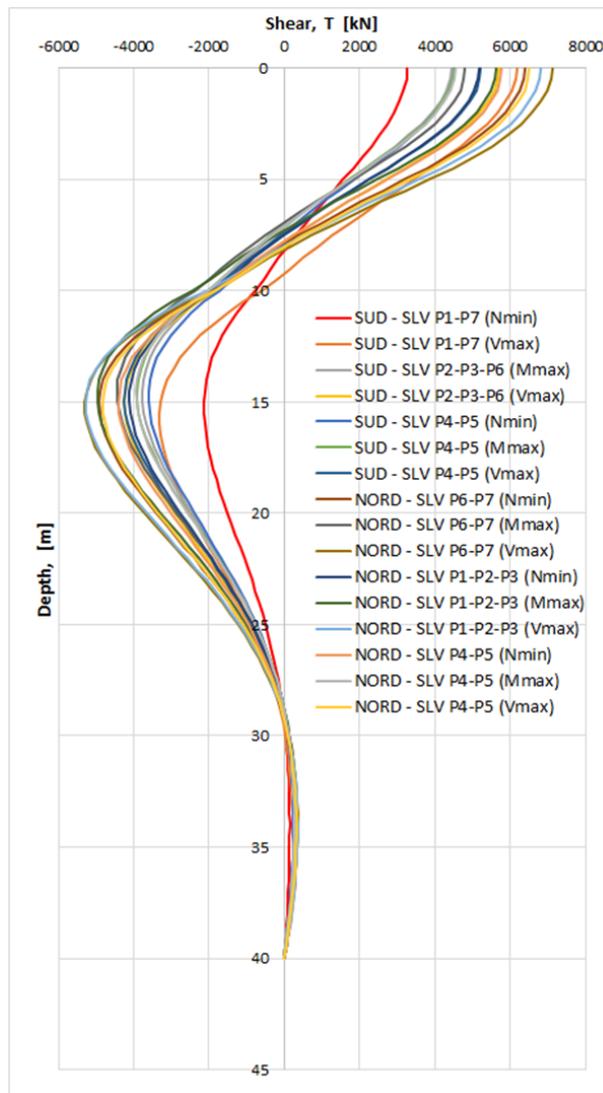
I pali di fondazione sono stati sottoposti a due tipologie di verifiche distinte: la verifica di capacità portante, al fine di calcolare la profondità che i pali dovranno raggiungere, e la verifica di resistenza strutturale, per poter dimensionare le armature longitudinali e la quantità di calcestruzzo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

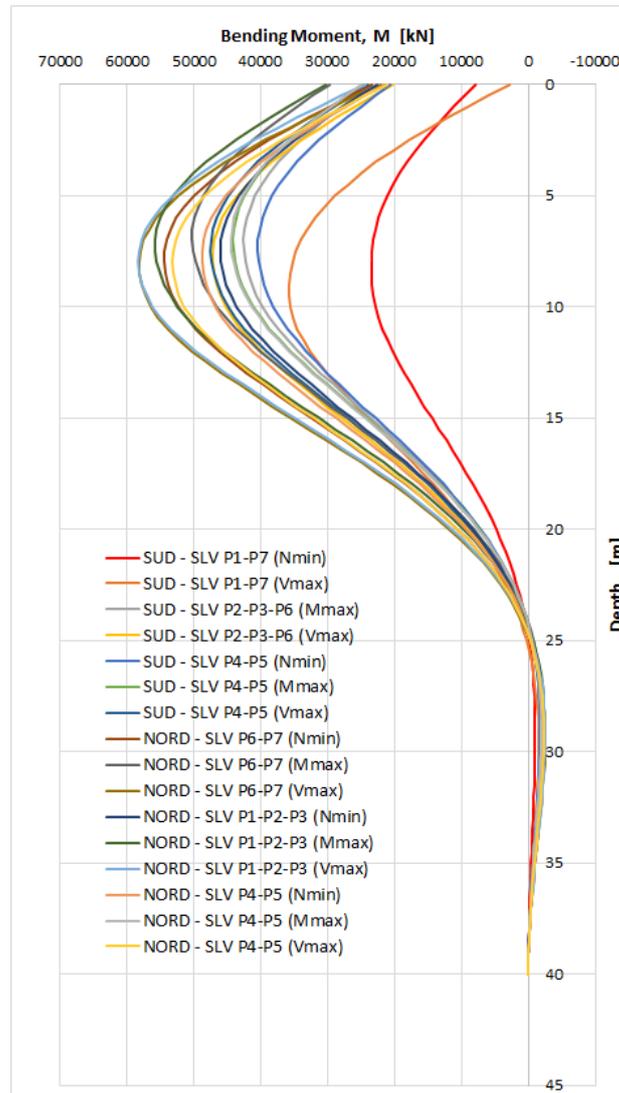
Per le verifiche di capacità portante, cui si rimanda al paragrafo 7.1, la condizione dimensionante risulta essere quella che comporta sforzi assiali di compressione maggiori, determinata dalla combinazione SLU.

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 1

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]
	10010	2077	1209	150560	10128	210991	210498
	10013	-1088	-977	-213154	-13059	-2744630	-177729
	<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]
	10005	1541	1562	222434	-4271	493163	214073
	10010	-74	-1558	-156338	4447	-1716578	-223336
	<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]
	10003	745	870	274602	-1834	319608	83512
	10003	-84	-861	-272379	-5513	-1921877	-85220
	<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]
	10010	1963	1312	139285	10463	126303	193035
	10013	-938	-1165	-252606	-13337	-2779223	-204569
	<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]
10004	992	400	22622	4025	1115457	102441	
10013	-1004	-1062	-230586	-13331	-2814505	-162712	
<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]	
10010	1897	1418	172151	9425	118199	246908	
10010	-447	-1434	-169520	3609	-1592040	-244991	

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]
	10010	2193	-41	5380	10961	-1662511	4526
	10013	-170	39	8316	-23472	-4745734	-7164
	<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]
	10005	882	210	30627	-10881	-735895	-29350
	10010	1606	-209	24806	11101	-1467463	30084
	<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]
	10008	1506	132	41005	-5597	-1036702	-29989
	10008	936	-120	-36658	-3038	-605510	27090
	<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]
	10010	1895	135	-14615	12687	-1812518	-22813
	10013	-141	19	4109	-24154	-4889503	-3540
	<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]
10004	485	-2	-626	3076	757394	4142	
10013	-11	-109	-22021	-24150	-4911356	18971	
<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]	
10010	1220	-201	23387	8969	-1105089	42994	
10005	1036	189	29097	-9421	-606192	-40439	

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]
	20010	1321	758	135567	12037	1529895	1117721
	20002	-937	-609	-41303	4266	-191274	-138711
	<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]
	20010	1070	936	134816	11459	1158923	999634
	20005	-667	-935	-173631	-11238	-2507094	-1000999
	<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]
	20008	847	613	221657	980	893538	972245
	20008	-440	-620	-226703	-8358	-2204247	-968995
	<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]
	20010	1225	807	129148	12345	1425174	1109053
	20005	-863	-755	-154475	-12399	-2937304	-1119918
	<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]
20003	552	410	137166	1945	2232478	834946	
20003	-319	-411	-139341	-9238	-3989849	-833129	
<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]	
20005	1249	744	150354	-1193	1891855	1125156	
20005	-922	-753	-153609	-11066	-2832272	-1121265	

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]
	20010	747	19	-8439	10069	-1288933	5850
	20002	-121	2	0	11064	-37972	-486
	<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]
	20010	442	113	-21771	10634	-1227269	-6419
	20005	391	-116	-22850	-10884	-942240	11535
	<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]
	20008	233	67	23583	-2824	-550173	-18210
	20008	503	-74	-33156	-5572	-1164384	31401
	<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]
	20002	86	34	0	12336	-74436	-5887
	20013	-86	-35	-6927	-18213	-3700113	6011
	<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]
20007	287	-53	1407	6367	614190	20514	
20013	-16	-89	-18053	-18201	-3709887	15574	
<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]	
20005	374	-100	-22014	-8748	-649452	42199	
20010	284	103	-17771	7914	-762022	-36173	

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]
	30010	1175	686	163309	10683	1829601	199816
	30010	-1041	-687	-158638	-947	-2522830	-225698
	<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]
	30005	979	842	188349	-1173	1447696	247122
	30005	-825	-847	-184983	-10074	-2537488	-205131
	<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]
	30008	767	554	255433	753	809399	145318
	30008	-642	-553	-250021	-7397	-1929297	-156183
	<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]
	30010	1116	703	159590	10874	1766159	193683
	30005	-993	-708	-164276	-10915	-2901363	-202161
	<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]
30003	535	387	138116	1832	2170178	105916	
30003	-428	-386	-137612	-8459	-3865634	-112422	
<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]	
30005	979	839	188028	-1020	1466694	248336	
30010	-861	-804	-171745	867	-2355127	-246751	

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]
	30010	361	38	-763	8421	-833157	-37412
	30002	-91	-27	0	6717	-15919	5810
	<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]
	30013	11	80	19281	-8162	-1932918	-18471
	30005	156	-88	-16015	-9128	-1061046	49662
	<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]
	30008	181	54	29379	-5087	-926462	-32254
	30008	73	-52	-21927	-3396	-677787	-6025
	<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]
	30010	86	-38	9981	9929	-933262	-14751
	30005	142	-43	-4390	-10496	-1223037	69035
	<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]
30007	105	-50	11055	4497	497627	19429	
30013	-32	-41	-10044	-10010	-2369092	9465	
<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]	
30005	168	-41	-3414	-9258	-1232200	77601	
30010	193	64	-6050	8578	-807916	-65016	

## 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: P1-P2-P3\_Nmin

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

TITOLO : N min

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	31.59805	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>  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  Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio Mx-My

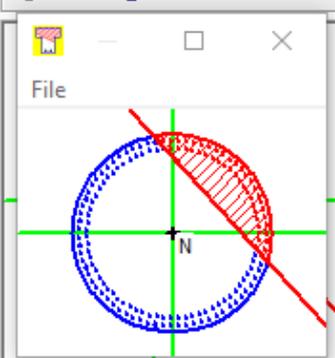
angolo asse neutro  $\theta^\circ$

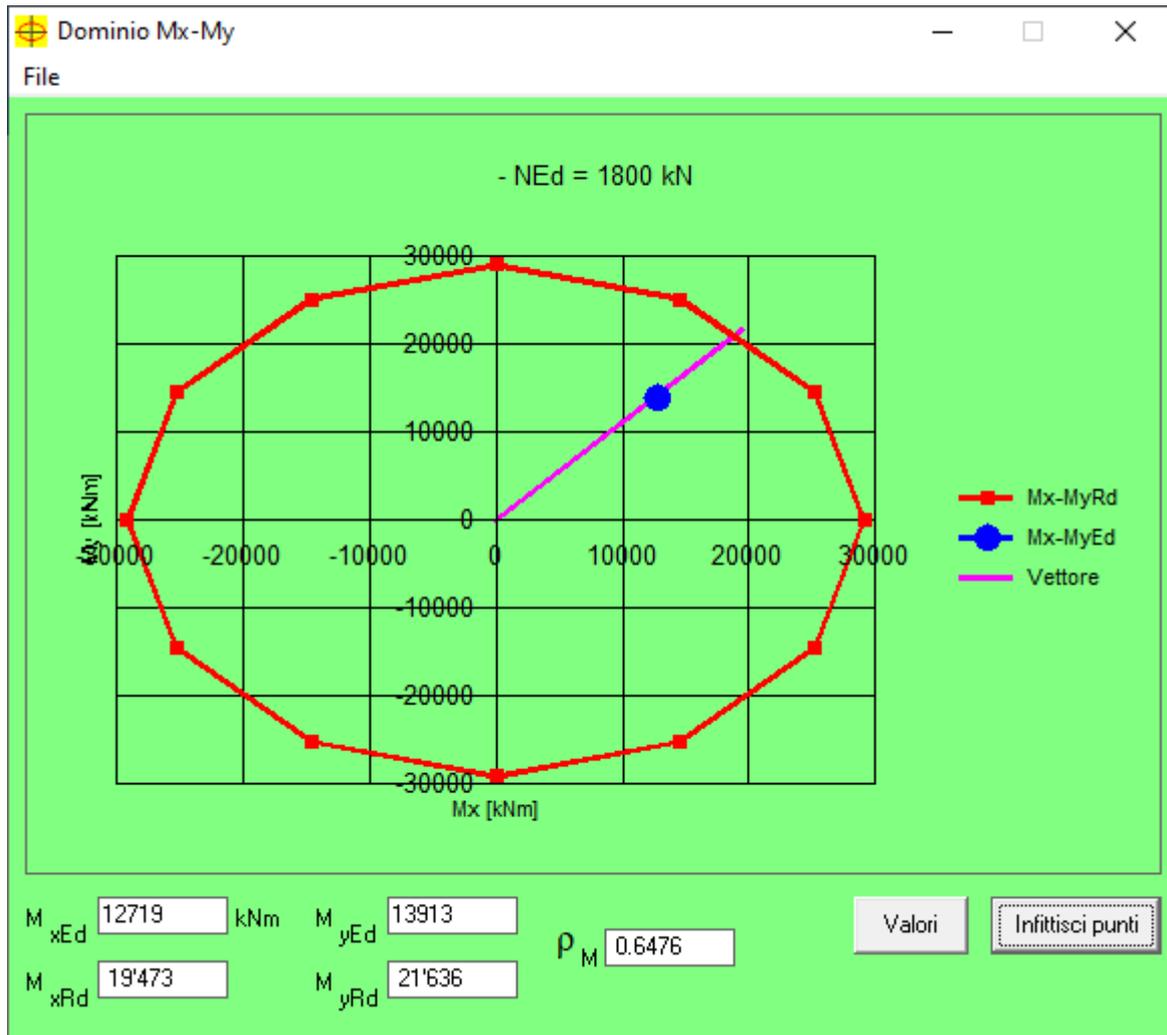
Precompresso

**Materiali**

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

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>  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  10.64 ‰  
d 242.4 cm  
x 60.02 x/d 0.2476  
 $\delta$  0.7495





Verifica C.A. S.L.U. - File: P1-P2-P3\_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

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  Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio Mx-My

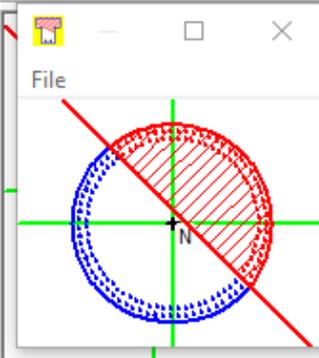
angolo asse neutro θ°

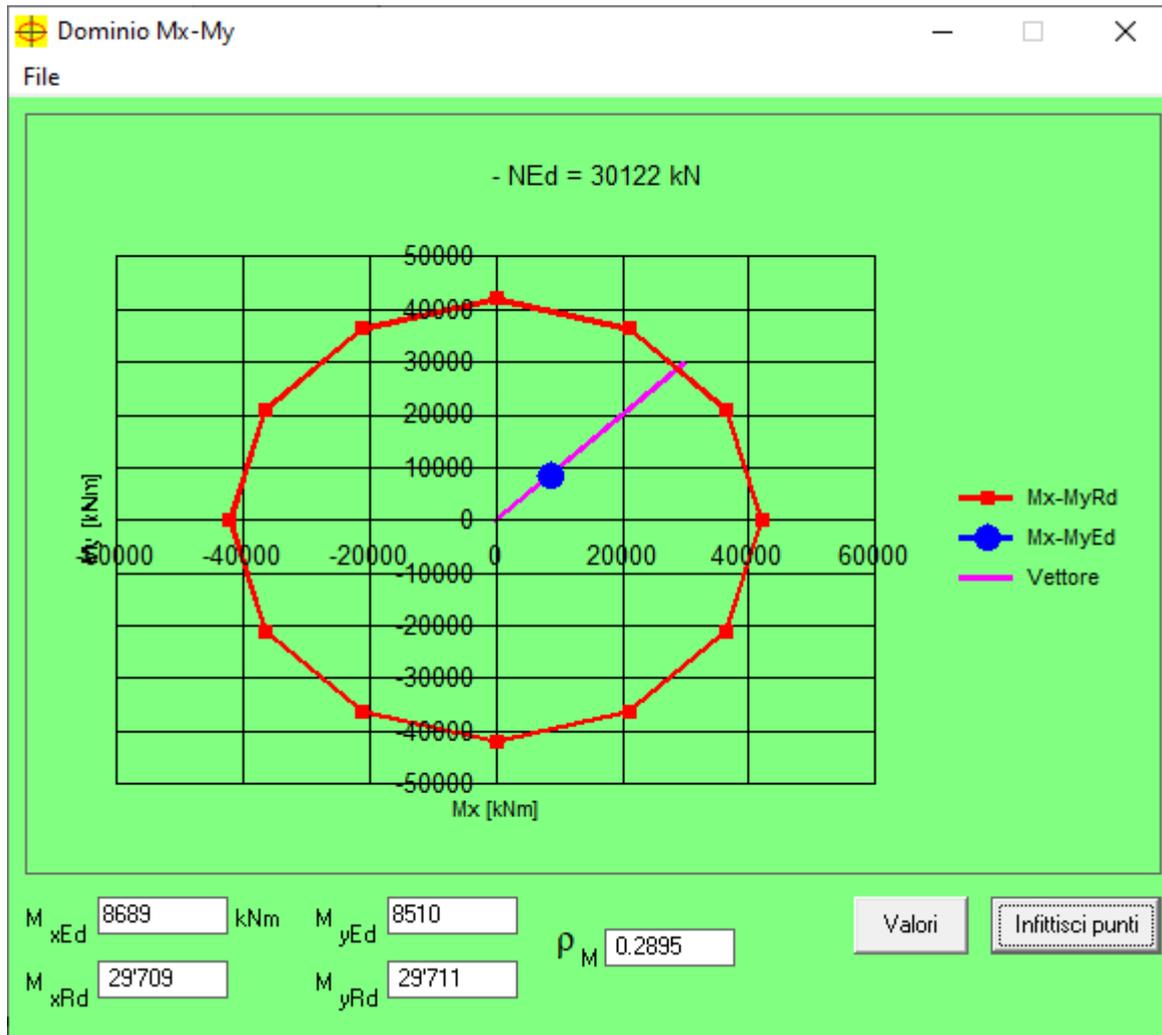
Precompresso

**Materiali**

ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰  
f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>  ‰  
E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  N/mm²  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?  
ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  N/mm²  
σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  N/mm²  
τ<sub>c1</sub>  N/mm²

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





Verifica C.A. S.L.U. - File: P1-P2-P3\_Mmax

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

Titolo : **Mmax**

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 circolare con coordinate dei vertici e asse neutro.

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  $\theta^\circ$

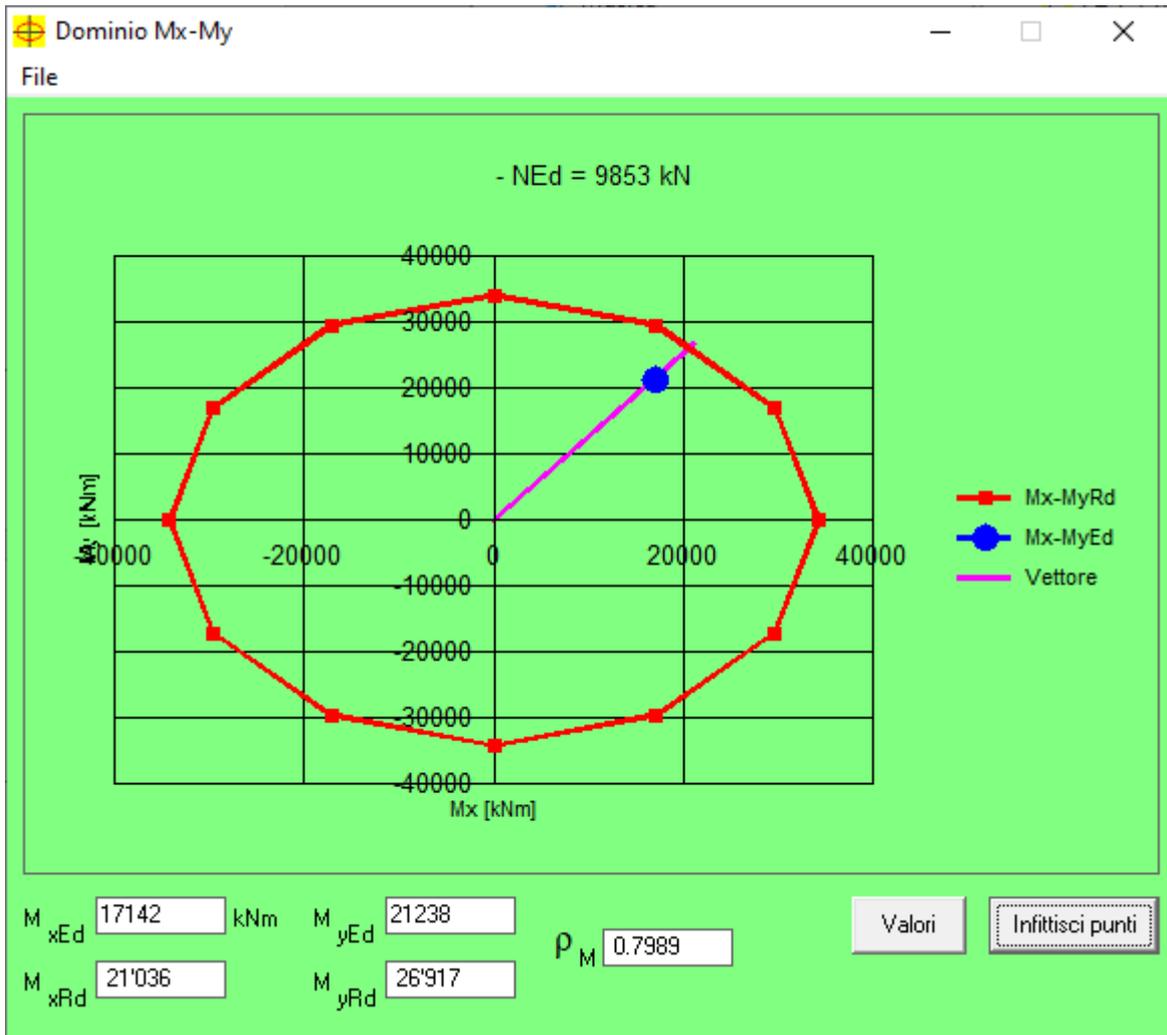
Precompresso

**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:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\alpha_c = 1.00 -$$

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

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

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

$$V_{\text{Ed}} = 4041 \text{ kN} < V_{\text{Rd}} = 6705 \text{ kN} \text{ Verificato}$$

## 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.

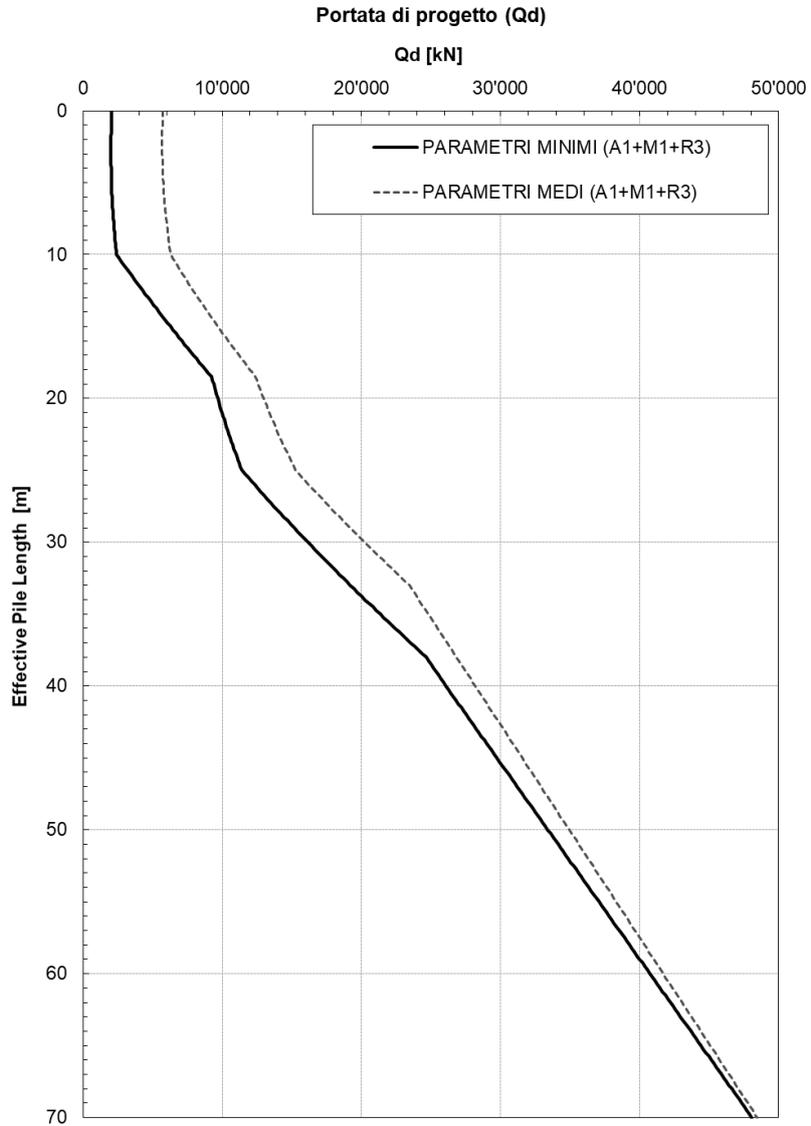
Per i pali oggetto della presente relazione di calcolo sono stati calcolati i seguenti valori di carico agente e, di conseguenza, la seguente lunghezza reagente  $L_r$ .

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:

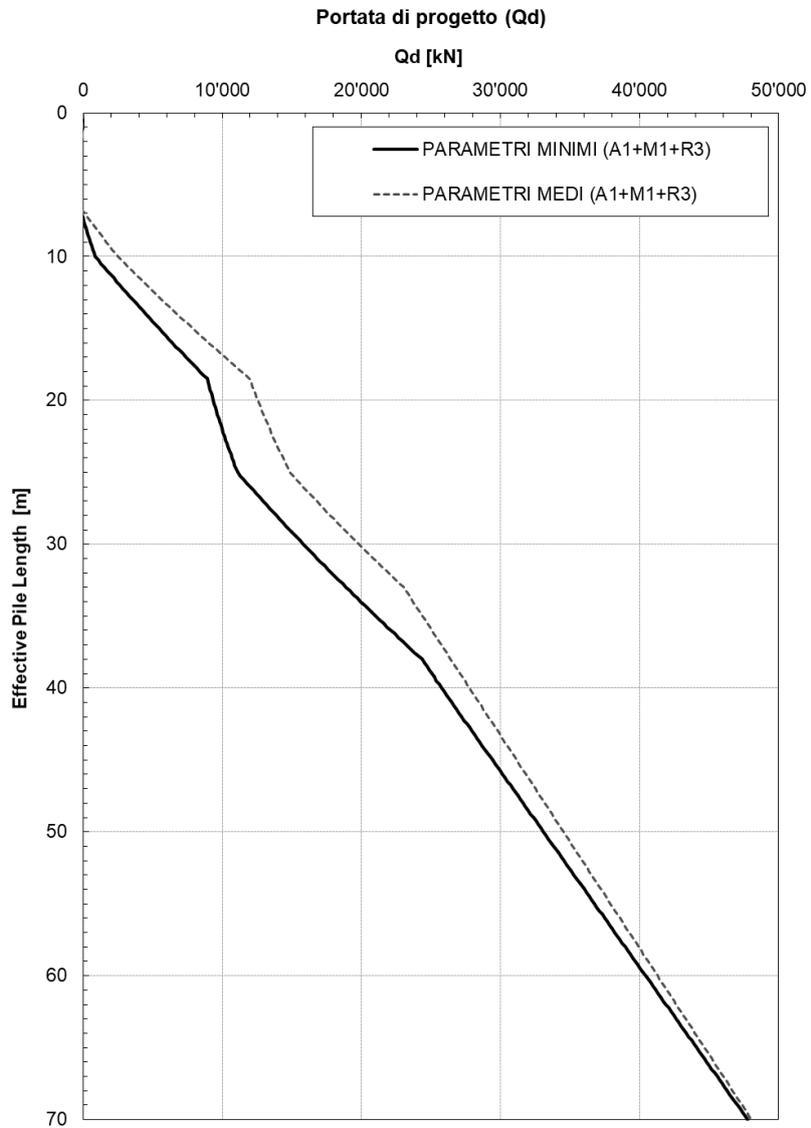
$$L_T = L_r + L_{nr}$$

RENO - CARREGGIATA NORD						
PILA	POSSIBILE SCALZAMENTO	$L_{nr}$	$N_{SLU}$	$Q_d$	$L_r$	$L_T$
		[m]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
P1	No	0	24000	26080	40	40
P2	Sì	11.18	24000	25761	40	52
P3	Sì	9.46	21000	25761	40	50

Curva 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.

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

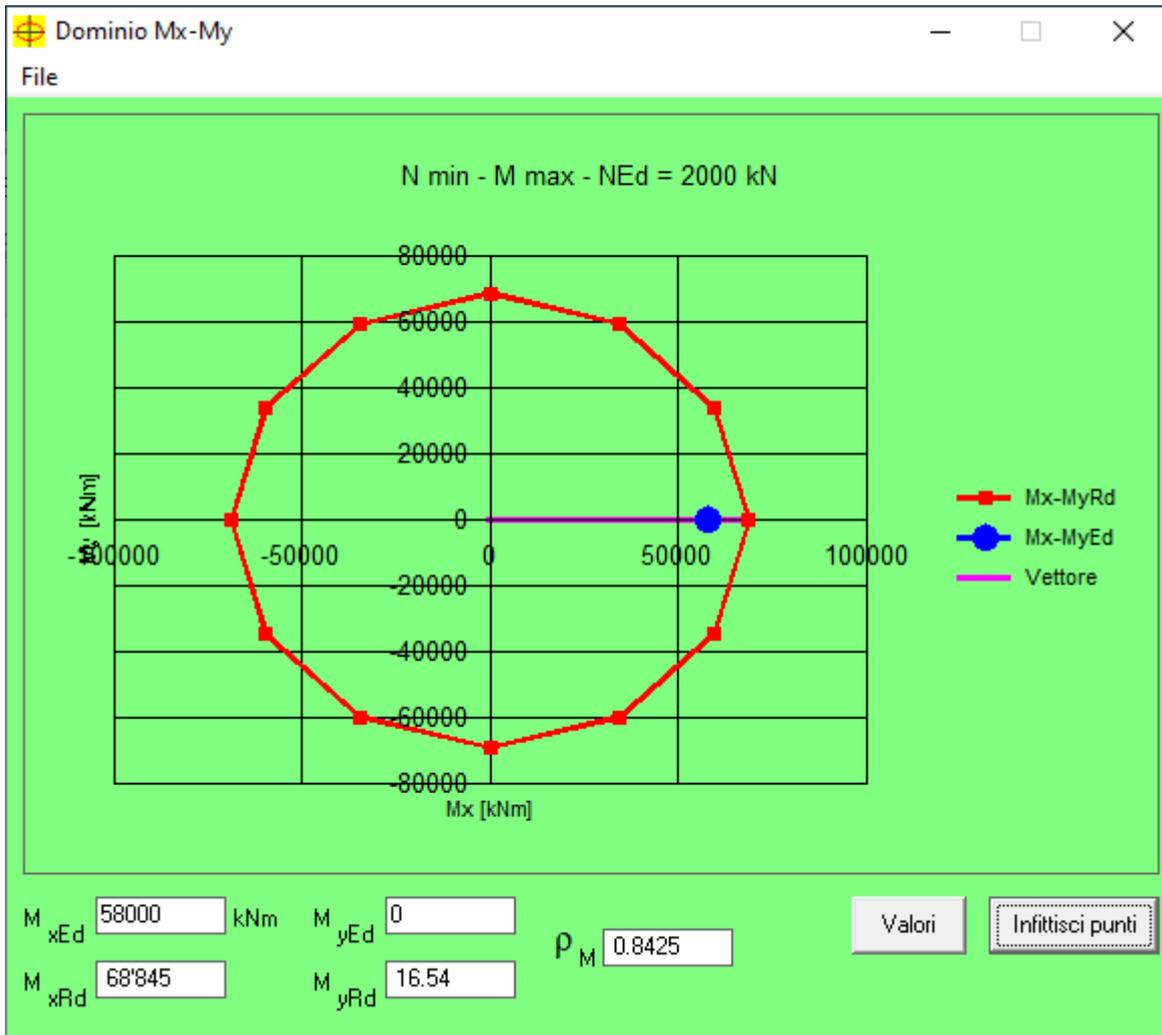
angolo asse neutro  $\theta^\circ$ : 0

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: P1-P2-P3\_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]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	300	250	1	141.4	243
			2	141.4	237
			3	141.4	231
			4	353.43	7
			5	353.43	13
			6	353.43	19

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: -552 kN  
M<sub>xEd</sub>: 22325 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 1372 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

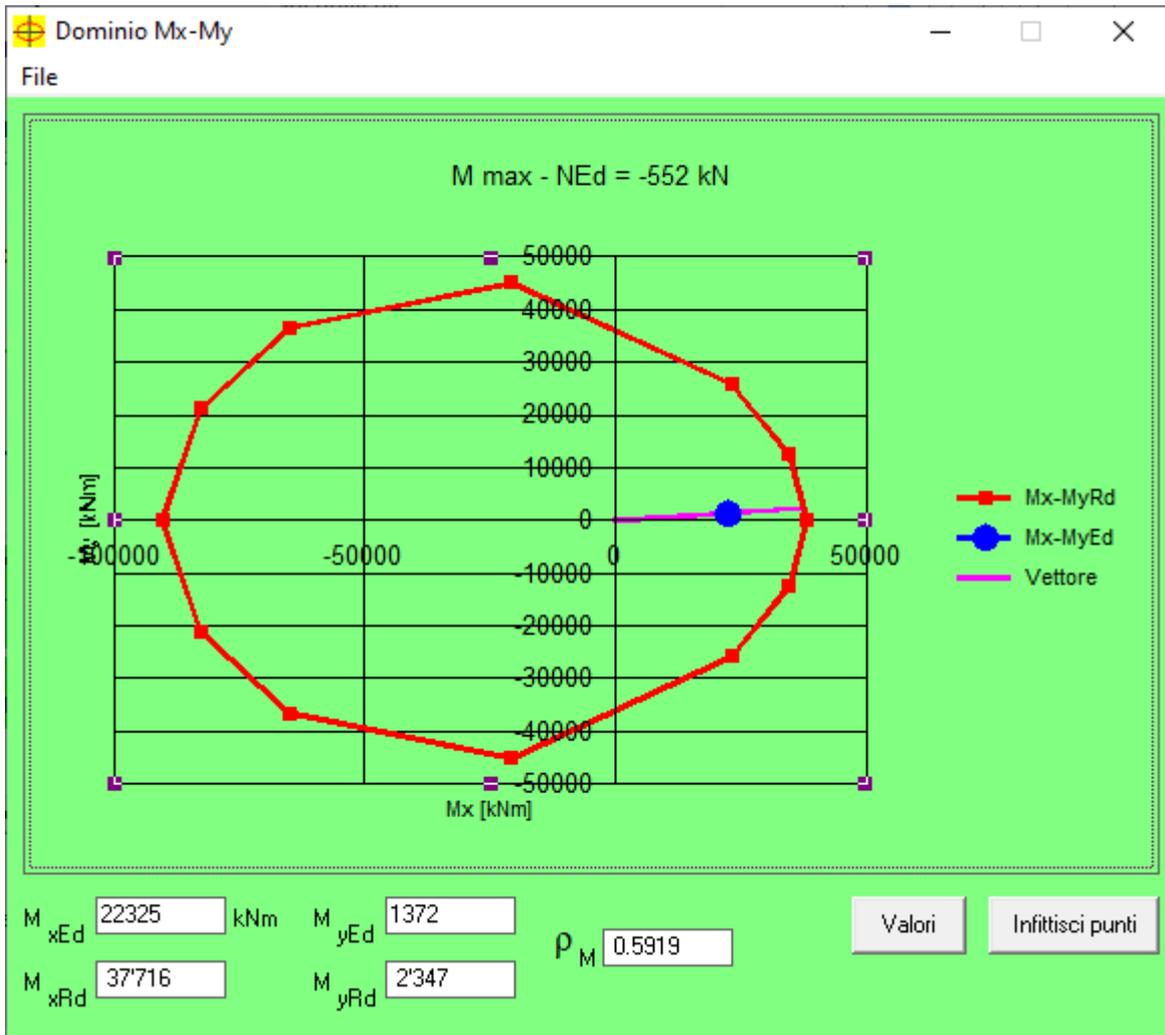
angolo asse neutro  $\theta^\circ$ : 357

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>: 37'716 kN m  
M<sub>yRd</sub>: 2'347 kN m  
 $\sigma_c$ : -19.83 N/mm²  
 $\sigma_s$ : 391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$ : 3.5 ‰  
 $\epsilon_s$ : 33.37 ‰  
d: 250.5 cm  
x: 23.78 x/d: 0.09494  
 $\delta$ : 0.7



Verifica C.A. S.L.U. - File: P1-P2-P3\_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

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

File

Diagramma della sezione rettangolare con barre d'acciaio e asse neutro.

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

File

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

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

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

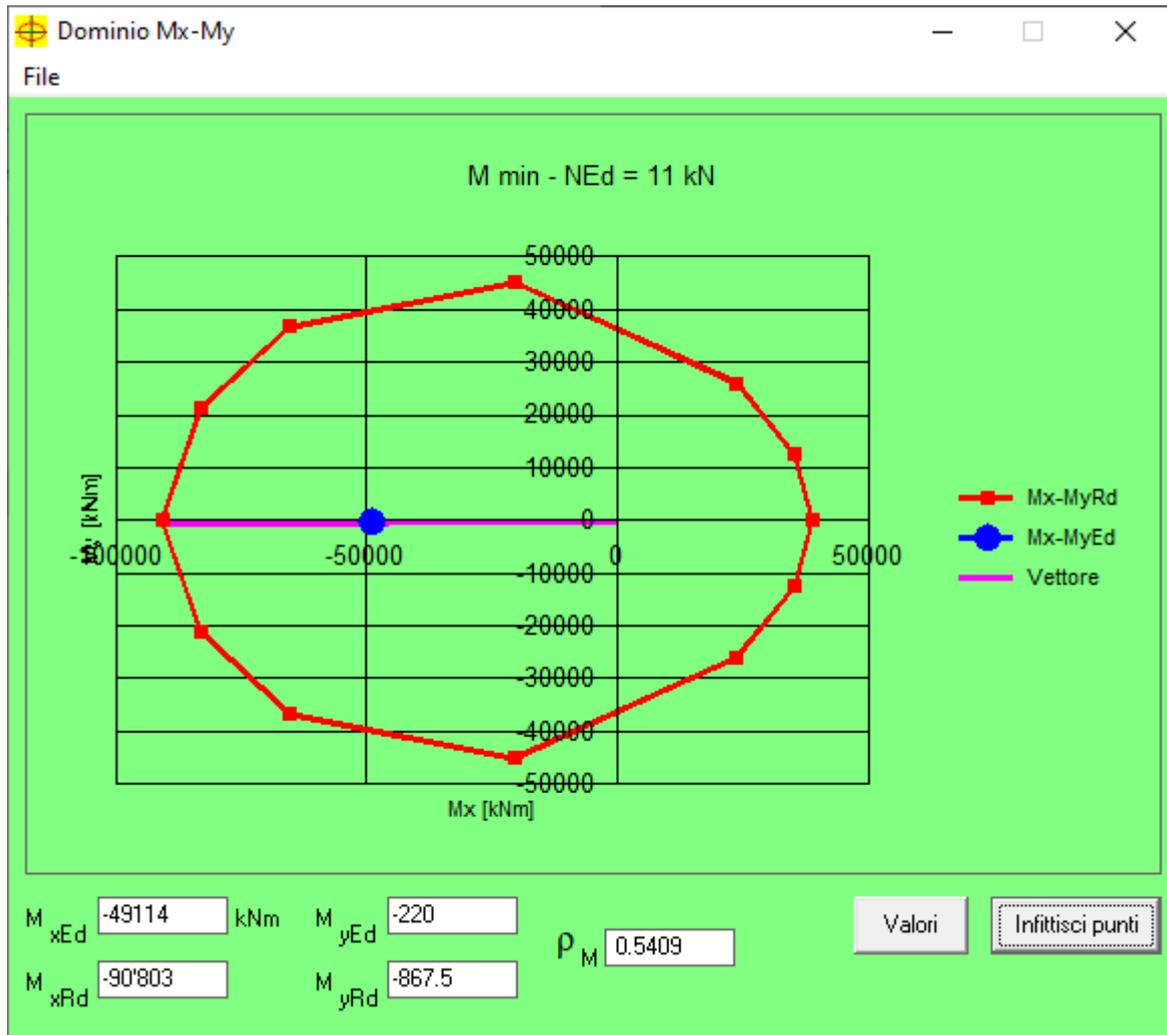
P.to applicazione N:  Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

Tipologia rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: B450C C35/45

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

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>	
$d =$	2430 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>	
$d =$	2430 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
$V_{RSd,ST} =$	19599 kN	Resistenza a taglio staffe
$V_{RSd,\phi} =$	13488 kN	Resistenza a taglio dei ferri piegati
$V_{RSd} =$	33087 kN	Taglio trazione
$V_{Rcd} =$	33087 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 °	Traliccio con puntoni ad inclinazione variabile
$\text{ctg}\theta =$	1.37 -	
$V_{\text{RSd,st}} =$	19599 kN	Resistenza a taglio delle staffe
$V_{\text{RSd,fp}} =$	13488 kN	Resistenza a taglio dei ferri piegati
$V_{\text{RSd}} =$	33087 kN	
$b_w =$	3000 mm	
$A_c =$	7290000 mm <sup>2</sup>	
$\sigma_{\text{cp}} =$	0.00 N/mm <sup>2</sup>	
$\alpha_c =$	1.00 -	
$f'_{\text{cd}} =$	10.58 N/mm <sup>2</sup>	
$V_{\text{Rcd}} =$	33087 kN	Resistenza a taglio del calcestruzzo d'anima
$V_{\text{Rd}} =$	33087 kN	Resistenza a taglio della sezione

$V_{\text{Ed}} = 24154 \text{ kN} < V_{\text{Rd}} = 33087 \text{ kN}$  Verificato