

# 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 P1/P7

<b>IL PROGETTISTA SPECIALISTICO</b>  Ing. Umberto Mele Ord. Ingg. Milano n.18641  RESPONSABILE STRUTTURE	<b>IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE</b>  Ing. Raffaele Rinaldesi Ord. Ingg. Macerata N. A1068	<b>IL DIRETTORE TECNICO</b>  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	4702	0	SCALA -

	PROJECT MANAGER:		SUPPORTO SPECIALISTICO:		REVISIONE	
	Ing. Raffaele Rinaldesi Ord. Ingg. Macerata N. A1068				n.	data
	REDATTO:		VERIFICATO:		0	SETTEMBRE 2020
					1	
					2	

<b>VISTO DEL COMMITTENTE</b>  IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. Fabio Visintin	<b>VISTO DEL CONCEDENTE</b>  Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti <small>DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI</small>
--	---

# 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	PALI .....	14
5.2	PULVINI .....	14
<b>6</b>	<b>VERIFICHE DEI PALI</b> .....	<b>19</b>
6.1	CAPACITA' PORTANTE .....	19
6.2	VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU .....	19
<b>7</b>	<b>VERIFICHE DEL PULVINO</b> .....	<b>24</b>
7.1	VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU .....	24
7.1.1	<i>Pressoflessione</i> .....	24
7.1.2	<i>Taglio</i> .....	28

## Indice delle Tabelle e delle Figure

FIGURA 1 - IMMAGINE PILA 1.....	1
FIGURA 2 - IMMAGINE PILA 7.....	1
FIGURA 3 - VISTA DELLA PILA .....	2
FIGURA 4 - MODELLO PILA E PULVINO.....	3
FIGURA 5 - 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 1 e 7 del viadotto reno carreggiata Sud.

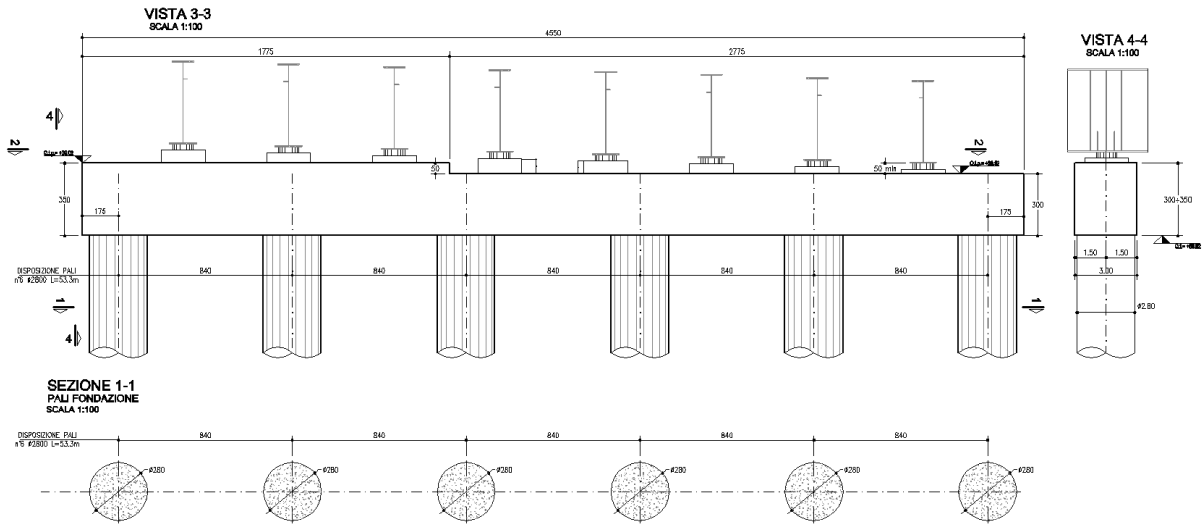


Figura 1 - Immagine pila 1

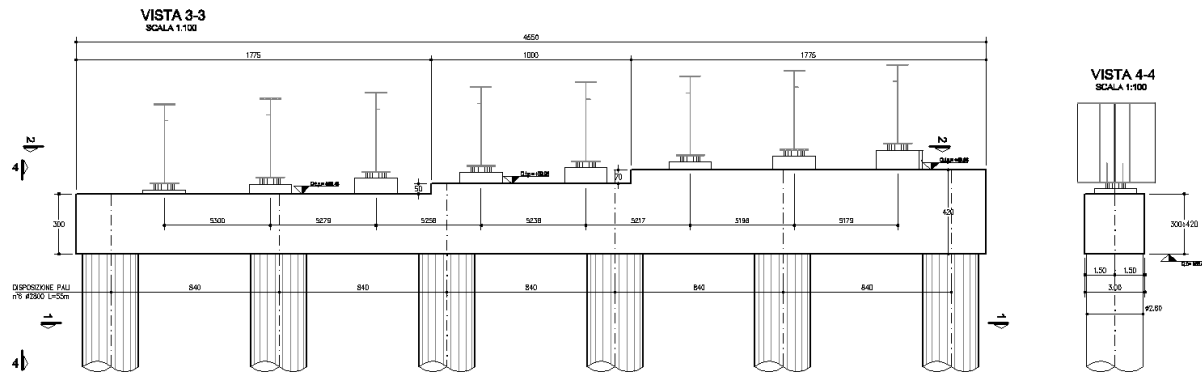


Figura 2 - Immagine pila 7

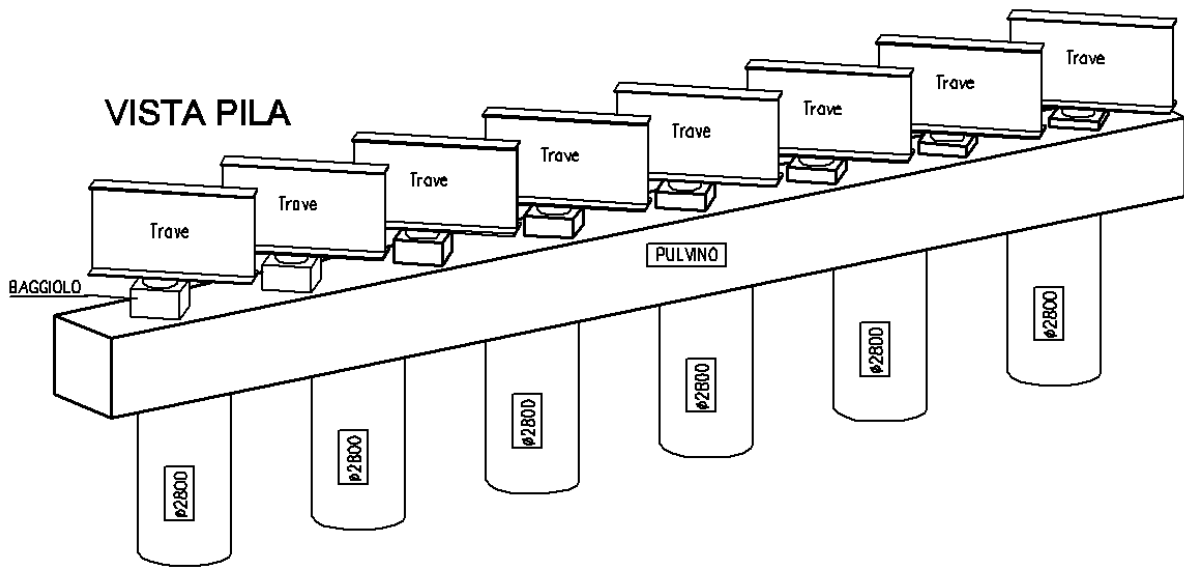


Figura 3 - Vista della pila

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 3.00 m ad un massimo di 4.20 m.

La pila in esame è composta da sei pali circolari di diametro pari a 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.

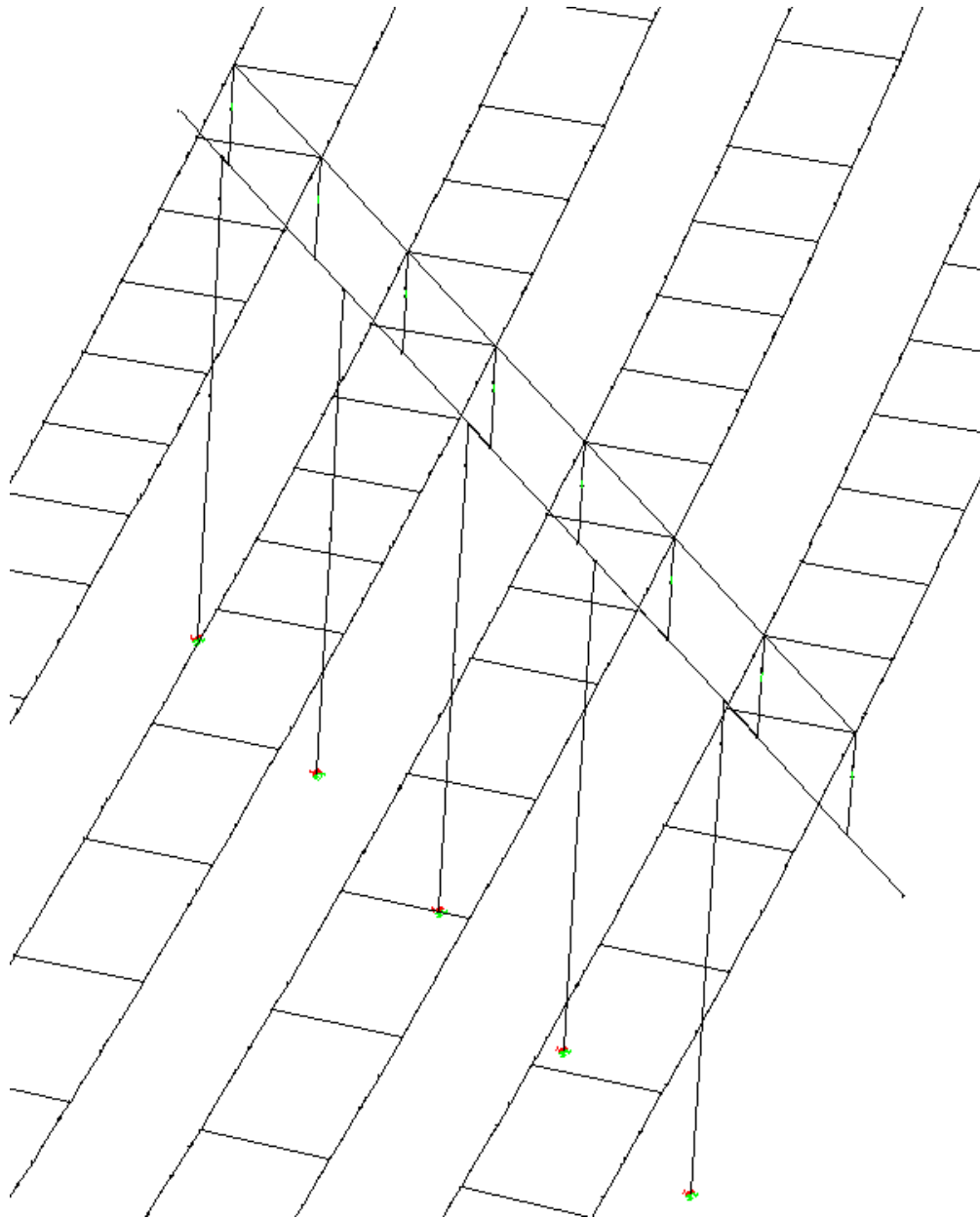


Figura 4 - Modello pila e pulvino

### 1.2.1 Convenzione assi

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

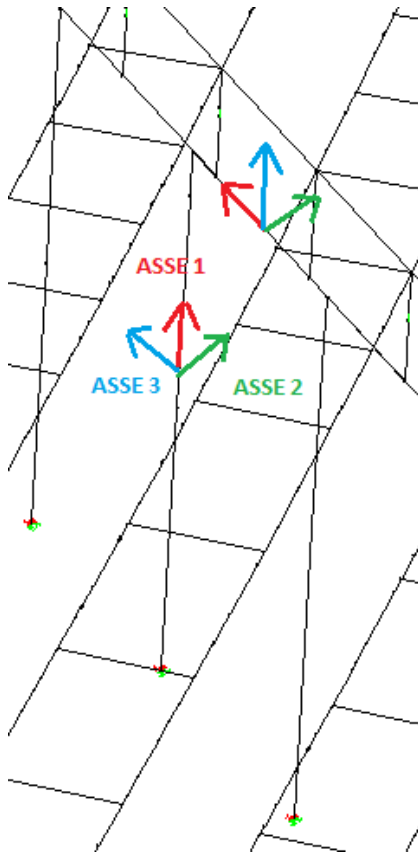


Figura 5 - Convenzioni assi modello

#### Assi pila:

M33 = Momento in direzione longitudinale

M22 = Momento in direzione trasversale

V3 = Taglio in direzione trasversale

V2 = Taglio in direzione longitudinale

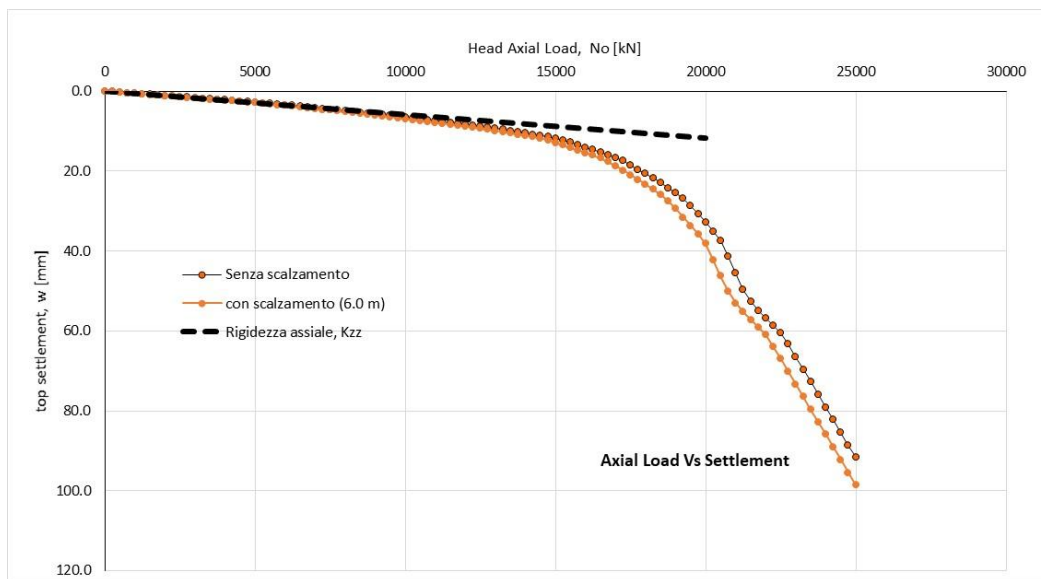
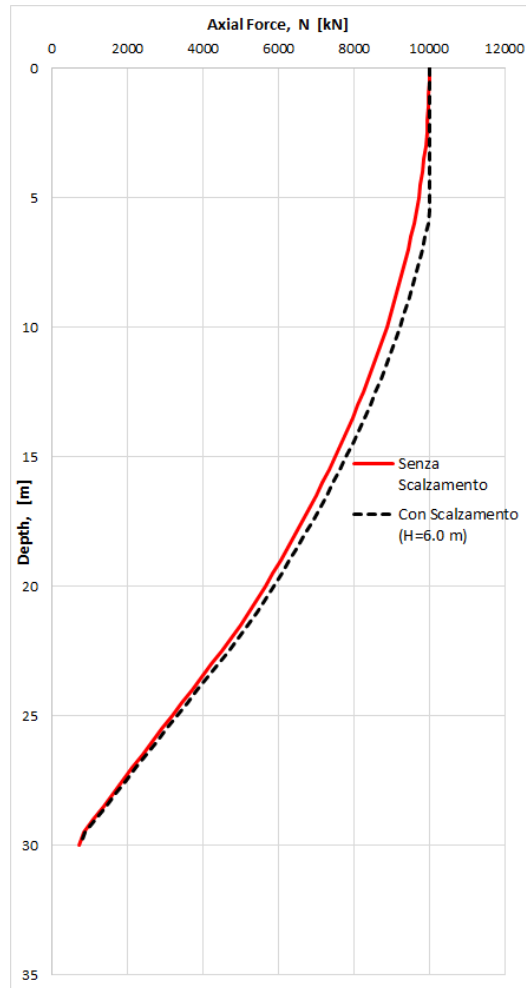
#### Assi pulvino:

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/rad);
- T<sub>k</sub> = rigidezza torsionale (kNm/rad)

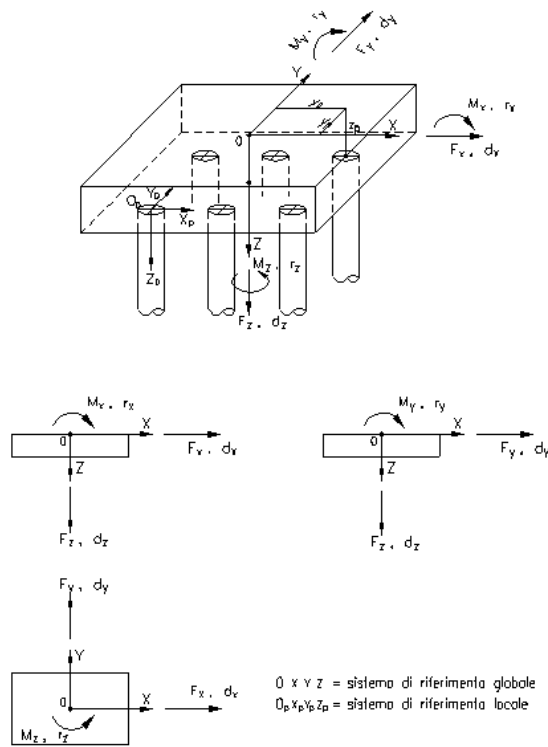
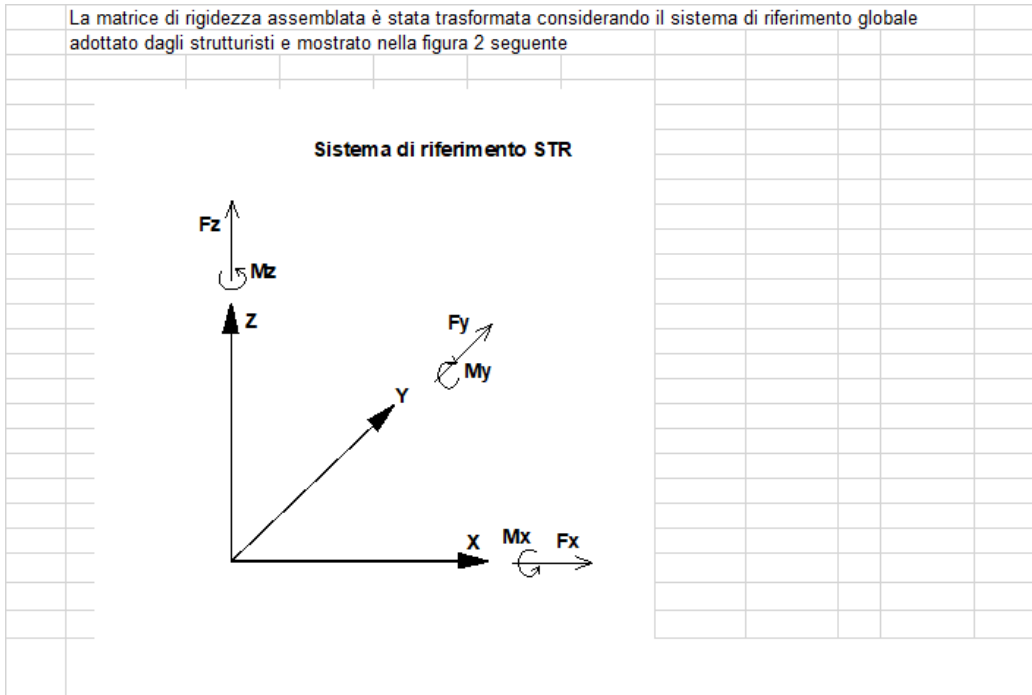


Figura 1: Sistema di riferimento globale palificata MAP



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-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			
<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 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

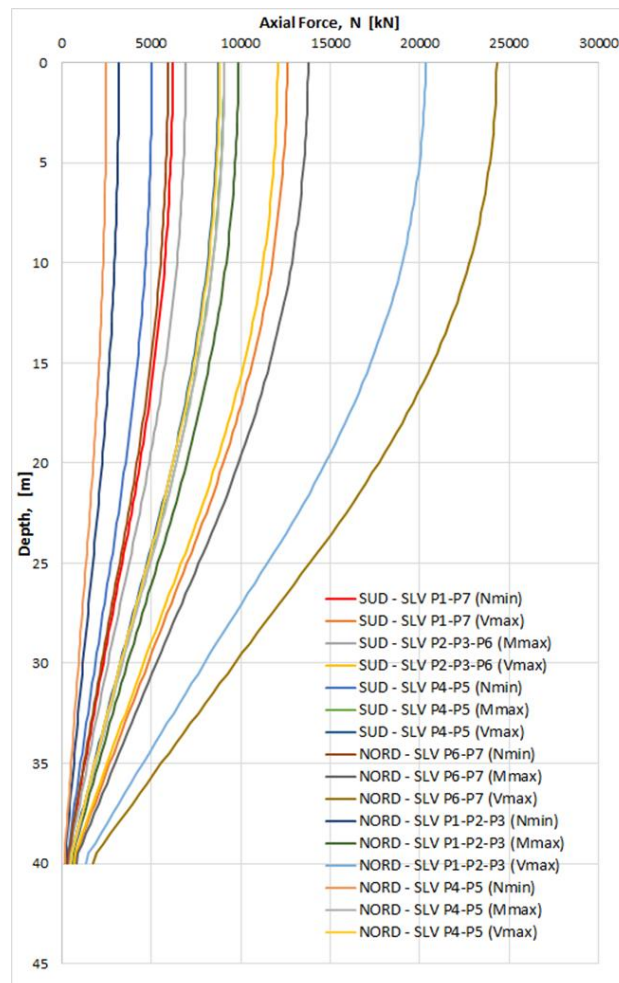
### 5.1 PALI

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.

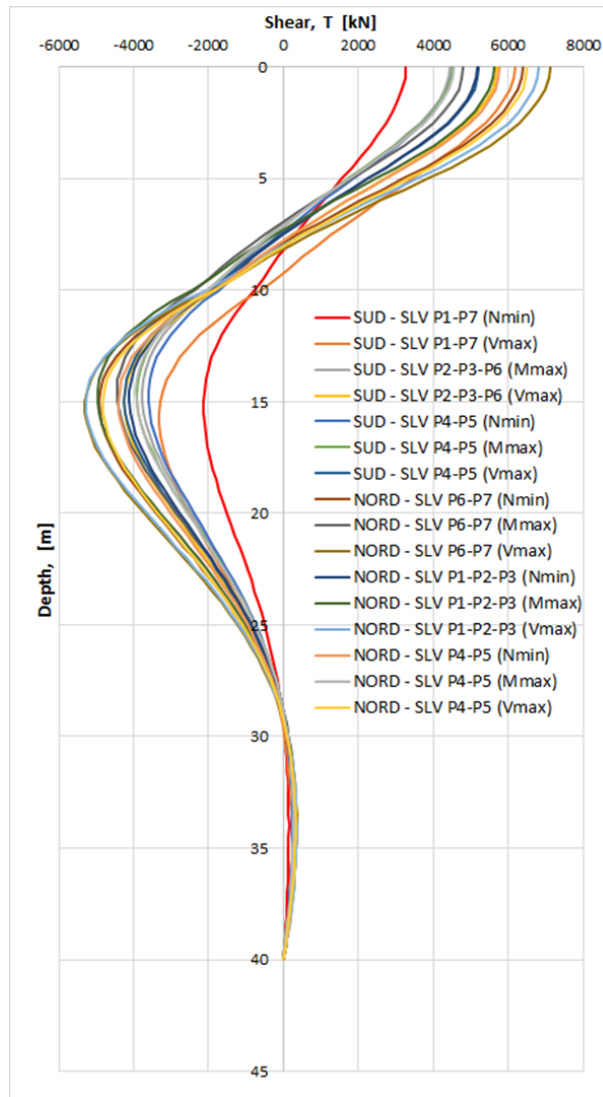
Per le verifiche di capacità portante, cui si rimanda al paragrafo 6.1, la condizione dimensionante risulta essere quella che comporta sforzi assiali di compressione maggiori, determinata dalla combinazione SLU.

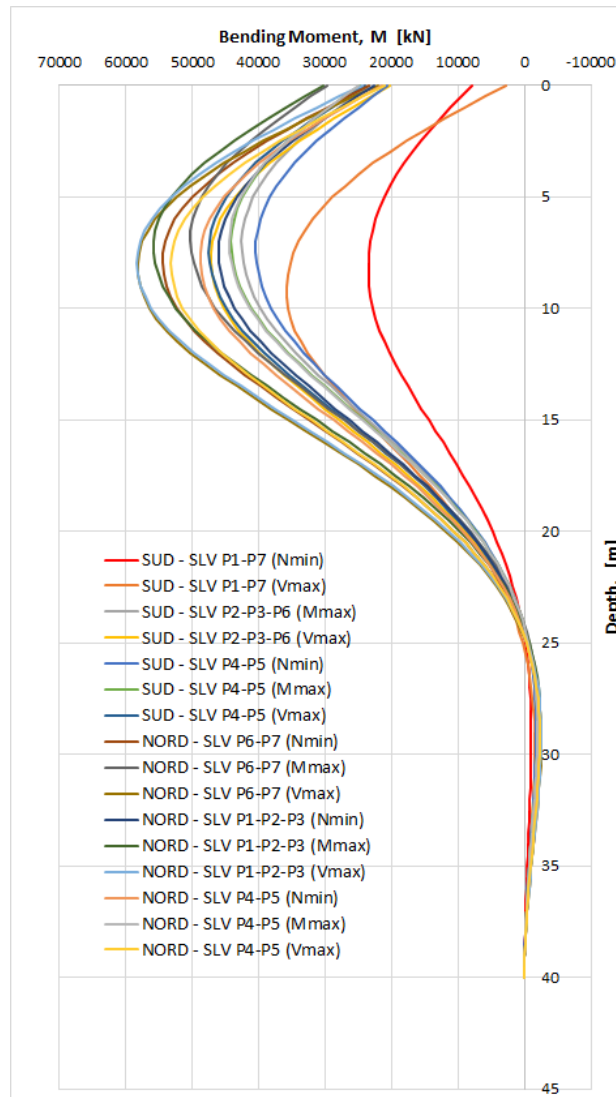
Per le verifiche di resistenza strutturale, svolte al paragrafo 6.2, la condizione dimensionante si ottiene quando sul palo agisce il momento flettente massimo, dovuto alla combinazione sismica SLV. Tale condizione risulta essere maggiormente gravosa quando si considera il contemporaneo sforzo assiale di compressione minimo in quanto, al crescere della sollecitazione di compressione agente, il dominio di rottura del palo aumenta e, di conseguenza, si ricaveranno 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 6.1.









## 5.2 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]
	70105	1743	884	49218	-6117	-796572	256192
	70102	-84	71	0	13954	-30873	-16096
	<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]
	70110	940	1151	29796	7236	342247	191084
	70110	743	-119	-2237	6442	-25059	29271
	<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]
	70109	677	201	128241	2035	585777	54313
	70104	927	-43	-13041	1372	-698035	9360
	<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]
	70102	561	887	19860	15483	103823	169353
	70105	863	79	4871	-8261	-1539432	-19886
	<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]
	70112	632	504	106508	3450	750961	107045
	70105	863	79	4871	-8261	-1539432	-19886
<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]	
70105	1624	940	52410	-6227	-873769	296096	
70105	438	116	5426	-6210	-1056049	-28244	

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]
	70107	2426	-80	-8256	4086	-41831	25605
	70102	-221	49	0	25292	-17006	-11365
	<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]
	70105	1450	308	20687	-12079	-2390619	-60230
	70110	1186	-306	-2799	9933	-25559	84040
	<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]
	70109	1115	42	30723	86	236001	-5835
	70104	1481	-123	-34220	2656	-1031444	39168
	<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]
	70102	-65	168	0	28908	-53014	-38555
	70105	1907	62	6069	-14184	-2967172	-12030
	<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]
	70112	819	-28	-5396	3481	939606	8459
	70105	1905	62	5878	-14164	-2967975	-12391
<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]	
70110	1238	-298	-1671	9130	-54430	88220	
70105	966	266	13123	-9129	-1750253	-77425	

Pulvino 7

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]
	70705	2090	908	62194	-5857	-575046	220216
	70713	-72	87	13480	-10930	-1690339	-22031
	<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]
	70705	1547	1162	83087	-4469	-285189	162836
	70705	1168	-141	-12475	-8056	-1378385	34031
	<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]
	70703	834	673	146938	-821	22901	78504
	70703	876	-69	-17975	-1933	-1060698	14609
	<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]
	70702	678	884	10912	13491	154234	173491
	70713	-56	68	10378	-11669	-1809746	-16961
	<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]
70704	1060	370	99939	3413	466745	118810	
70713	47	-81	-12753	-11610	-1826666	20843	
<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]	
70710	1892	791	31588	9807	-56428	322479	
70710	614	130	-5366	6238	-520181	-36216	

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]
	70705	2621	-293	-25528	-13023	-2981473	59063
	70713	-200	129	20079	-16827	-2579012	-32816
	<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]
	70710	1827	301	-14370	11550	-1037977	-89650
	70705	2212	-323	-30784	-13442	-2642059	64947
	<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]
	70703	687	156	38490	-2237	-986047	-10446
	70703	1740	-166	-43066	-2111	-1916648	18224
	<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]
	70702	-45	212	0	26563	-38898	-53958
	70713	-156	86	13448	-19140	-2951048	-21978
	<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]
70707	866	-135	-14041	5546	340587	51054	
70705	2324	91	6725	-13340	-3186099	-16594	
<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]	
70710	1623	-248	9916	9793	-968990	103884	
70710	1124	276	-13560	6431	-548332	-103708	

## 6 VERIFICHE DEI PALI

### 6.1 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.

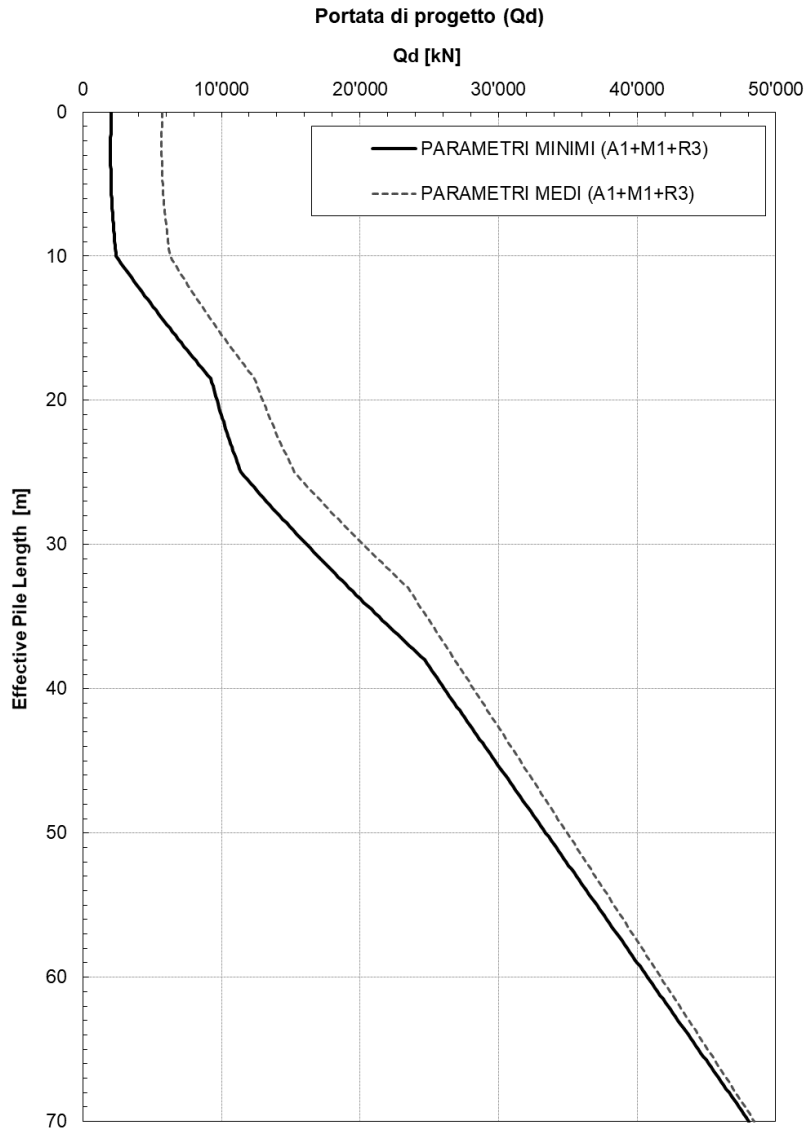
Per i pali oggetto della presente relazione di calcolo sono stati calcolati i seguenti valori di carico agente e, di conseguenza, la seguente lunghezza reagente  $L_r$ .

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:

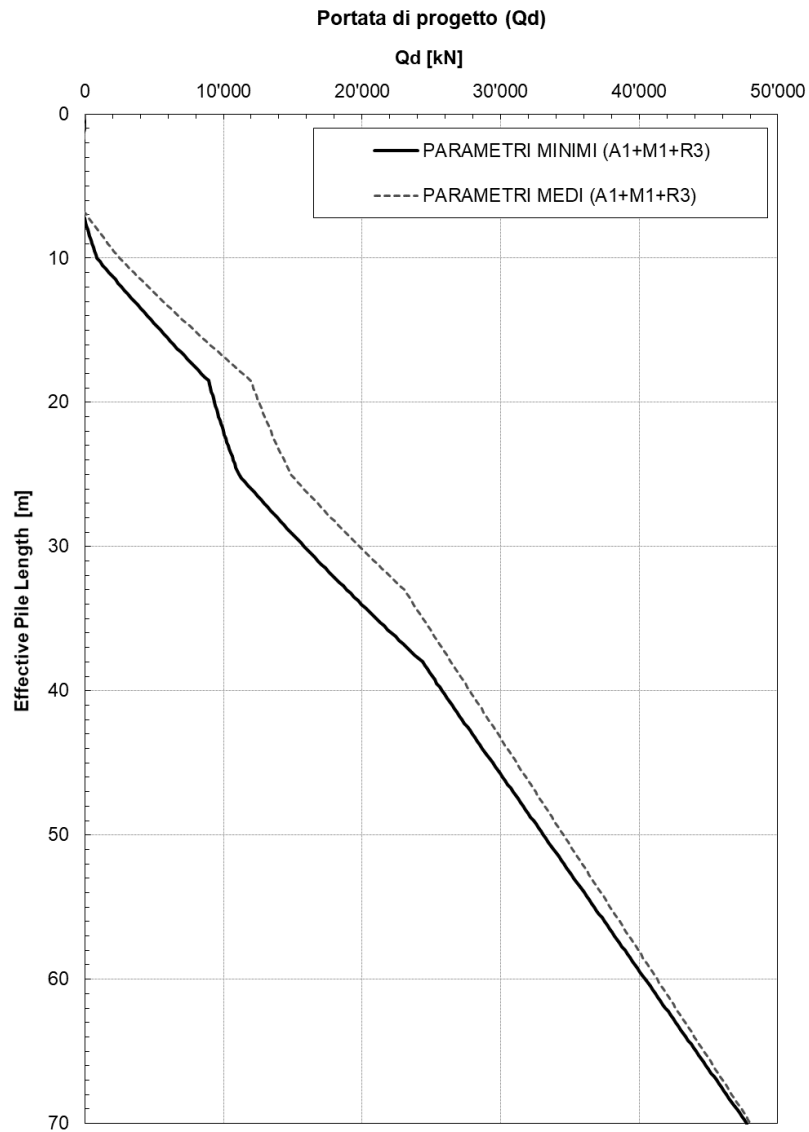
$$L_T = L_r + L_{nr}$$

RENO - CARREGGIATA SUD						
PILA	POSSIBILE SCALZAMENTO	$L_{nr}$	$N_{SLU}$	$Q_d$	$L_r$	$L_T$
		[m]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
P1	No	0	24000	26080	40	40
P7	No	0	24000	26080	40	40

Curve di portanza senza scalzamento:



Curve di portanza con scalzamento:



## 6.2 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

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

Diagramma della sezione:

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

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

Tipologia flessione:  Retta  Deviata

N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio Mx-My

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

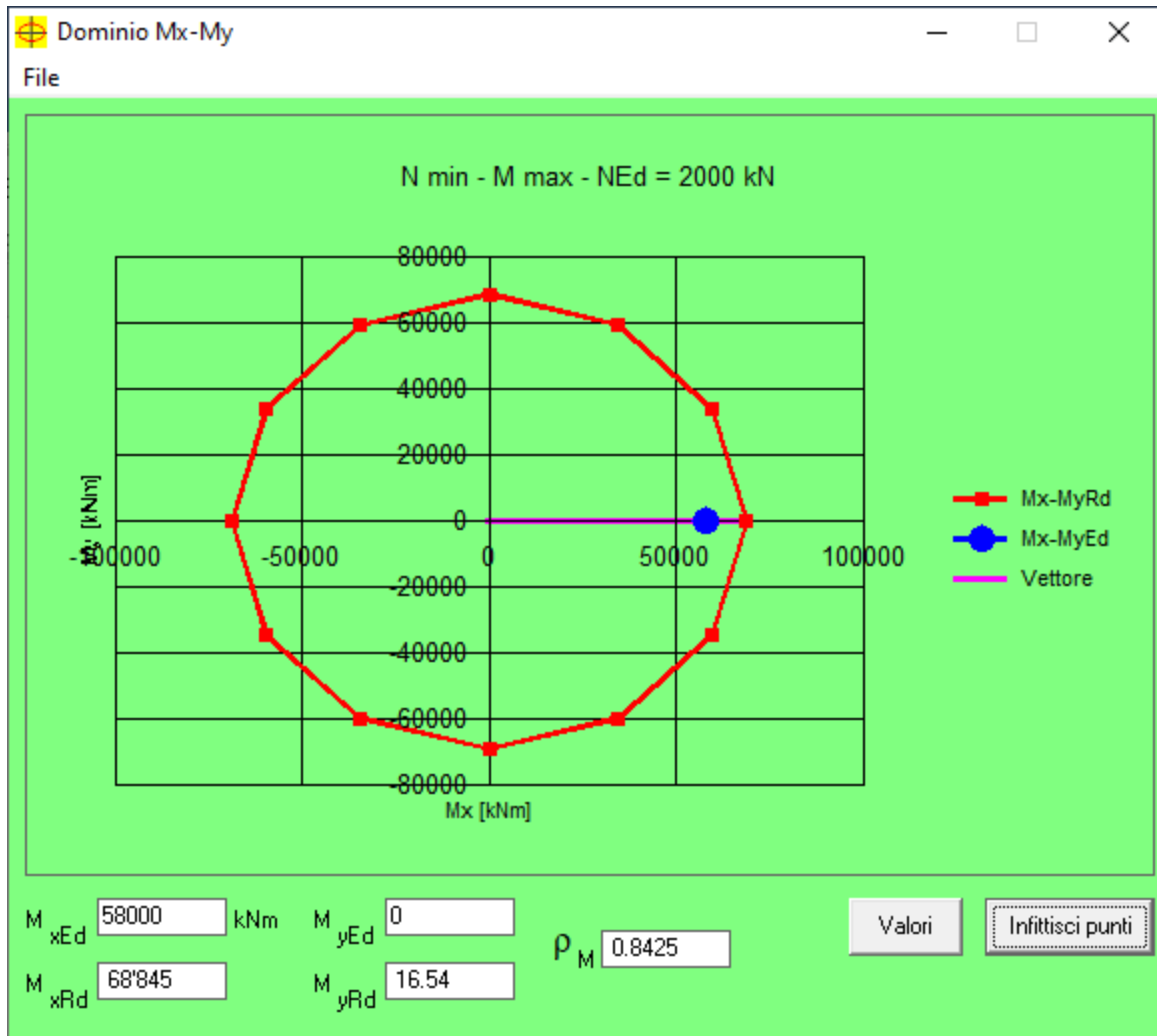
Precompresso

Materiali: B450C C32/40

$\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰  
 $E_s$ : 200'000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$ : 18.81 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 12.25 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$ : 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/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$ : 3.5 ‰  
 $\epsilon_s$ : 7.271 ‰  
d: 269.7 cm  
x: 87.64 x/d: 0.325  
 $\delta$ : 0.8462





## 7 VERIFICHE DEL PULVINO

### 7.1 VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU

#### 7.1.1 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-P7\_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>: -819 kN  
M<sub>xEd</sub>: 9696 kNm  
M<sub>yEd</sub>: -54 kNm

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: B450C C35/45

$\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰  
 $E_s$ : 200'000 N/mm²  $f_{cd}$ : 19.83 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>: 37'960 kN m  
M<sub>yRd</sub>: 0 kN m  
 $\sigma_c$ : -19.83 N/mm²  
 $\sigma_s$ : 391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$ : 3.5 ‰  
 $\epsilon_s$ : 54.29 ‰  
d: 243 cm  
x: 14.72 x/d: 0.06056  
 $\delta$ : 0.7

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

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

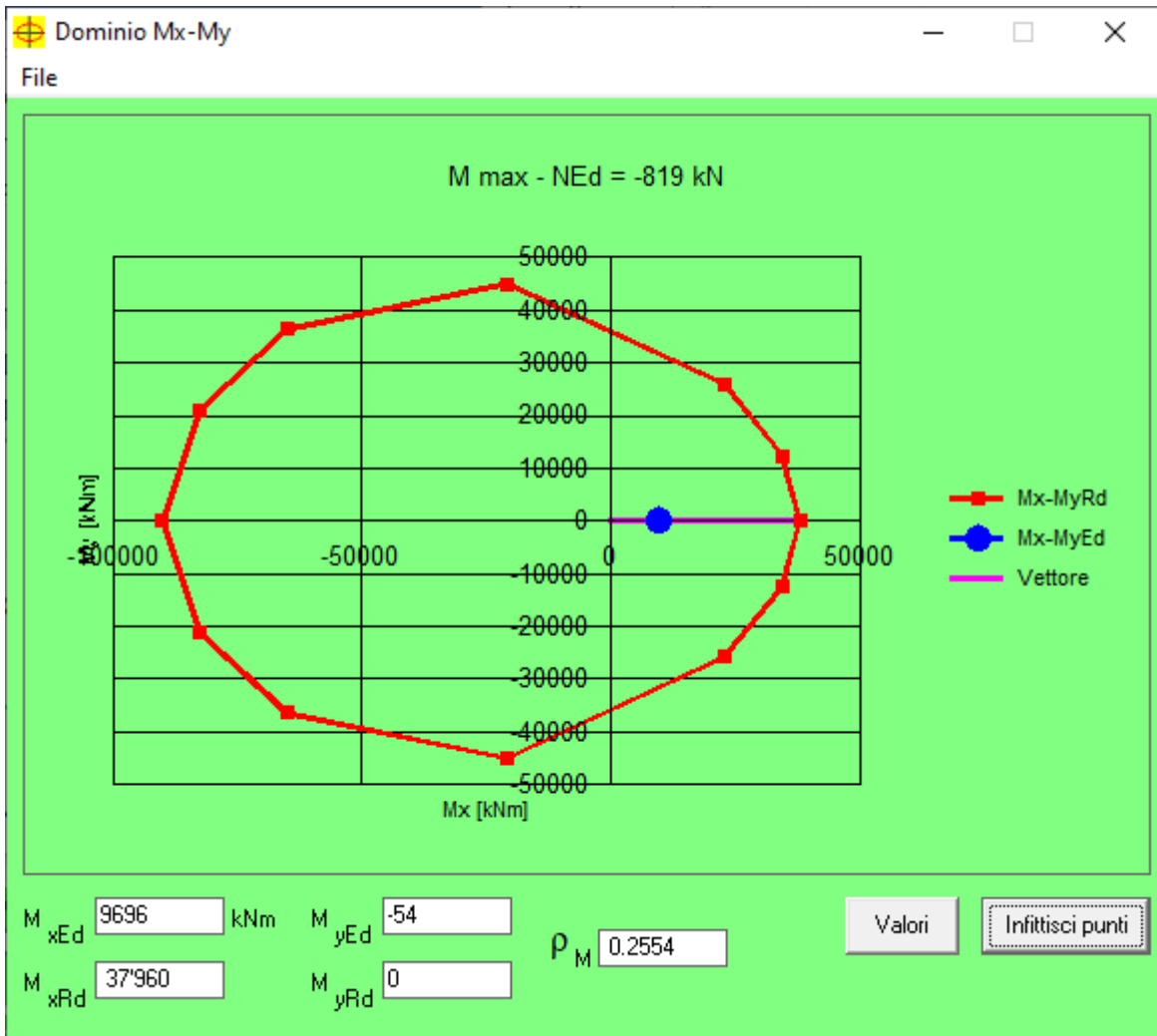
Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio Mx-My

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

Precompresso



Verifica C.A. S.L.U. - File: P1-P7\_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.

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> -2324 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> -31861 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> -67 0

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

Tipologia rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio Mx-My

angolo asse neutro θ° 359

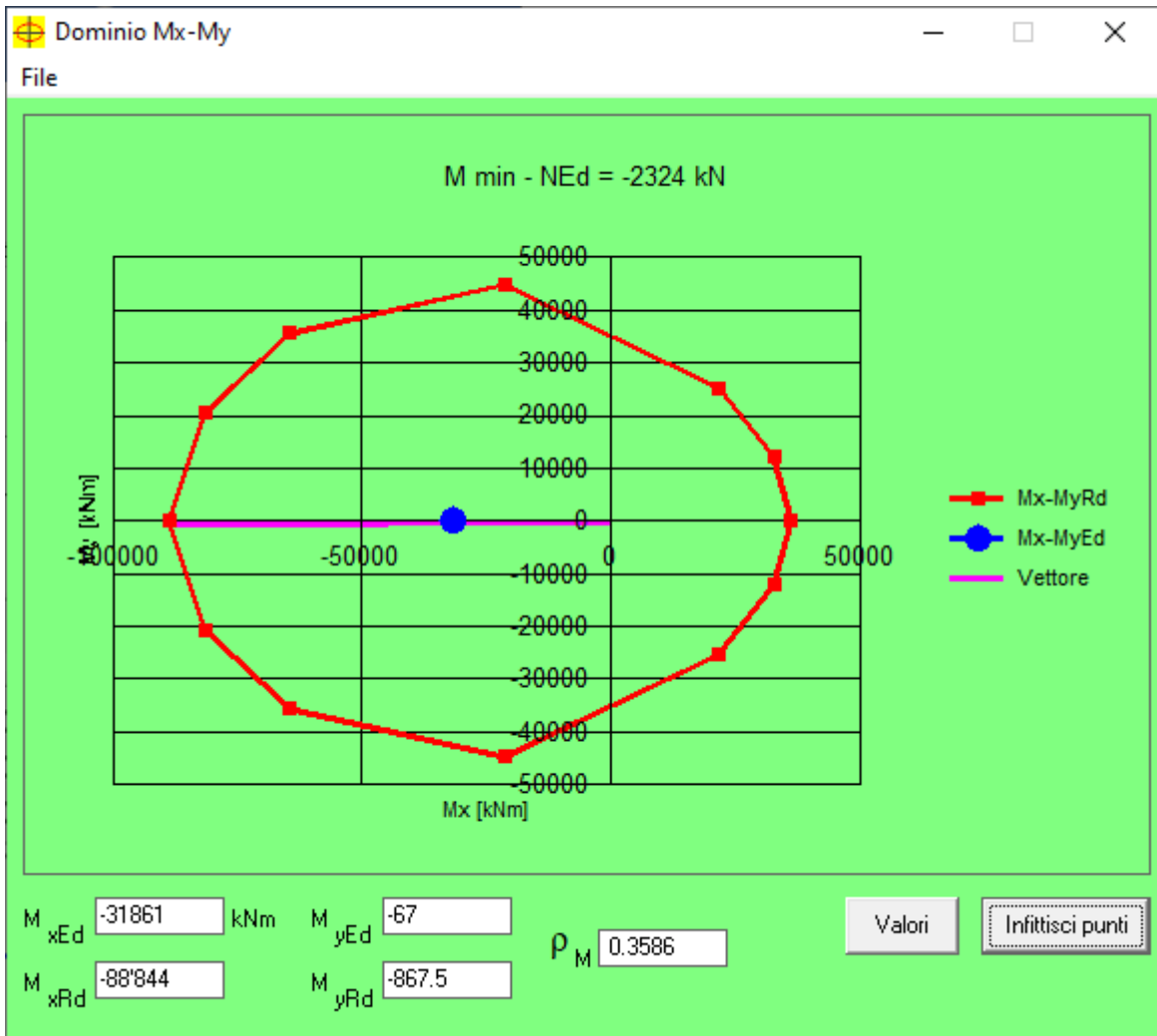
Precompresso

**Materiali**

B450C C35/45

ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200'000 N/mm² f<sub>cd</sub> 19.83  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8 ?  
 ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 13.5  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.8  
 τ<sub>c1</sub> 2.257

M<sub>xRd</sub> -88'844 kN m  
 M<sub>yRd</sub> -867.5 kN m  
 σ<sub>c</sub> -19.83 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
 ε<sub>s</sub> 13.67 ‰  
 d 245.6 cm  
 x 50.06 x/d 0.2038  
 δ 0.7



## 7.1.2 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 °	Traliccio con puntoni ad inclinazione variabile
$\text{ctg}\theta =$	1.37 -	
$V_{\text{RSd,st}} =$	19809 kN	Resistenza a taglio delle staffe
$V_{\text{RSd,fp}} =$	13632 kN	Resistenza a taglio dei ferri piegati
$V_{\text{RSd}} =$	33441 kN	
$b_w =$	3000 mm	
$A_c =$	7368000 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>	
$V_{\text{Rcd}} =$	33441 kN	Resistenza a taglio del calcestruzzo d'anima
$V_{\text{Rd}} =$	33441 kN	Resistenza a taglio della sezione

$V_{\text{Ed}} = 28908 \text{ kN} < V_{\text{Rd}} = 33087 \text{ kN}$  Verificato