

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 P4/P5 -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	4604	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

1	GENERALITA'	1
1.1	DESCRIZIONE	1
1.2	ANALISI STRUTTURALE	3
1.2.1	Convenzione assi	4
1.2.2	Definizione della matrice di rigidezza in testa al palo.....	5
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	8
3	CALCOLO DEI COPRIFERRI	9
3.1	FUSTO PILA.....	9
3.2	PULVINI	11
4	RESISTENZE DI PROGETTO	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
4.1	VERIFICHE ALLO SLU	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
5	CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE	13
5.1	PILE	14
5.2	PALI	16
5.3	PULVINI	16
6	VERIFICHE DELLE PILE	21
6.1	VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU	21
7	VERIFICHE DEI PALI	29
7.1	CAPACITA' PORTANTE	29
7.2	VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU	29
8	VERIFICHE DEL PULVINO	34
8.1	VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU	34
8.1.1	Pressoflessione.....	34
8.1.2	Taglio	38

Indice delle Tabelle e delle Figure

FIGURA 1 - IMMAGINE PILA 4.....	1
FIGURA 2 - IMMAGINE PILA 5.....	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 4 e 5 del viadotto reno carreggiata Nord.

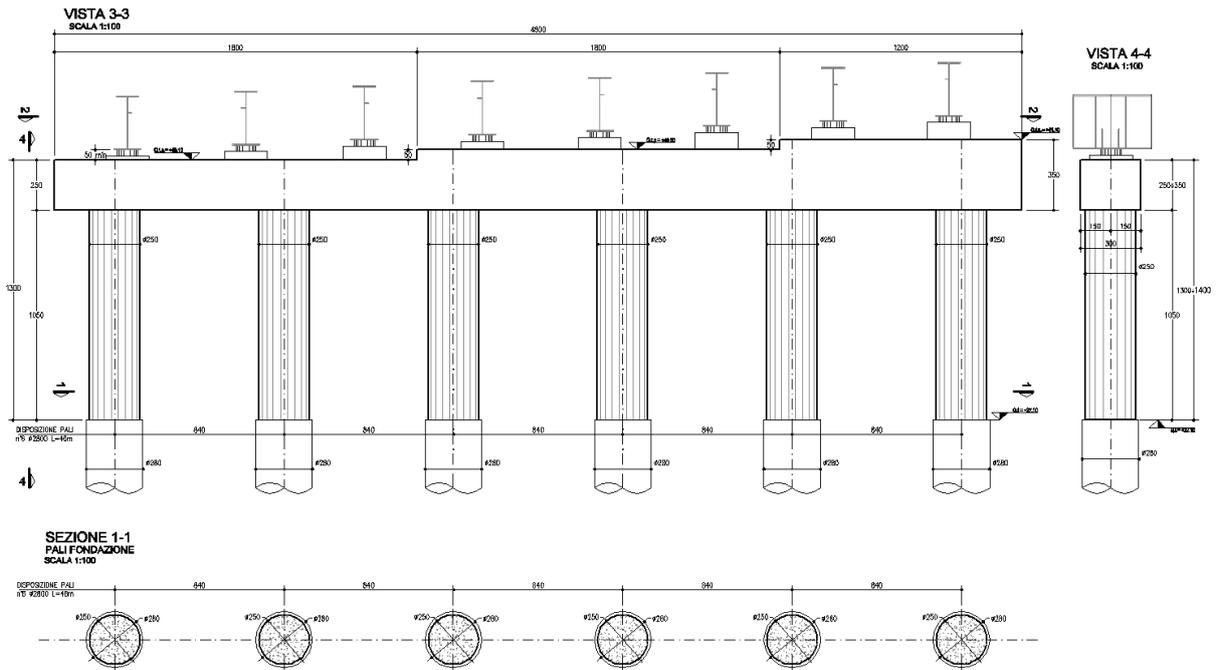


Figura 1 - Immagine pila 4

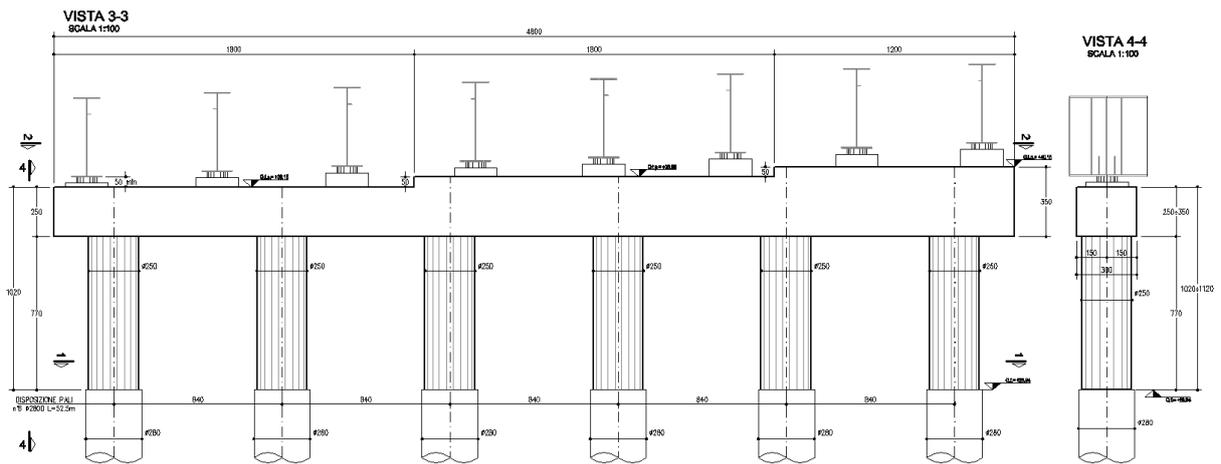


Figura 2 - Immagine pila 5

VISTA PILA

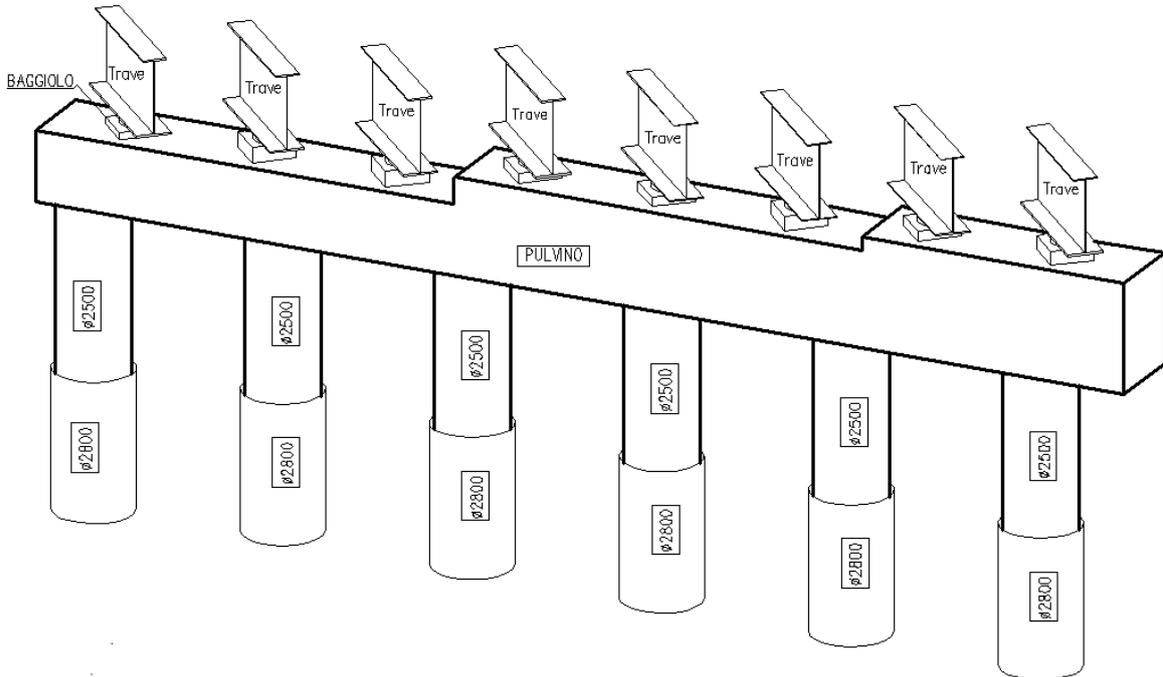


Figura 3 - Vista della pila

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 2.50 m ad un massimo di 3.50 m.

La pila in esame è composta da sei fusti circolari di diametro pari a 2.50 m. L'altezza massima dei fusti in questione è 10.50 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.

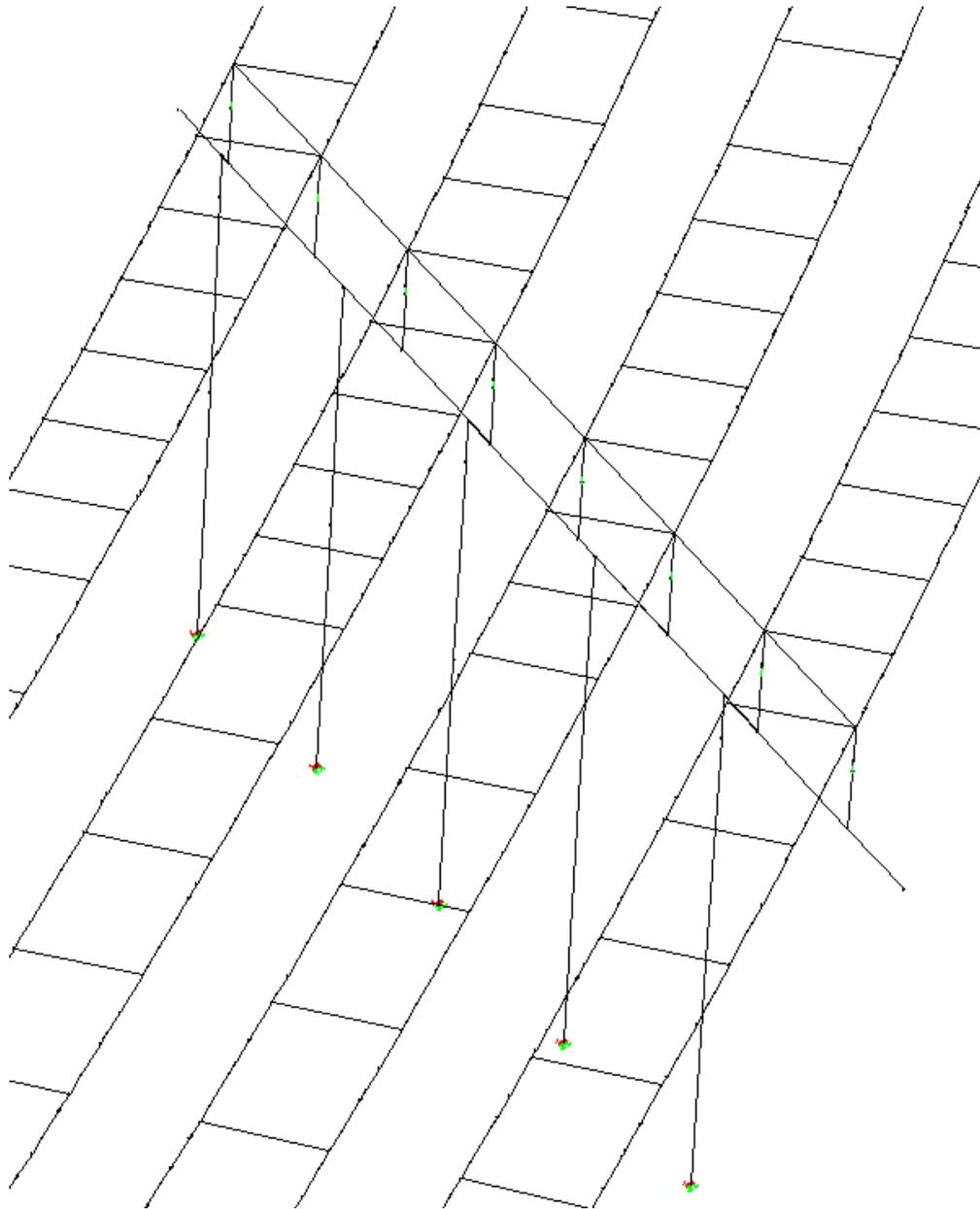


Figura 4 - Modello pila e pulvino

1.2.1 Convenzione assi

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

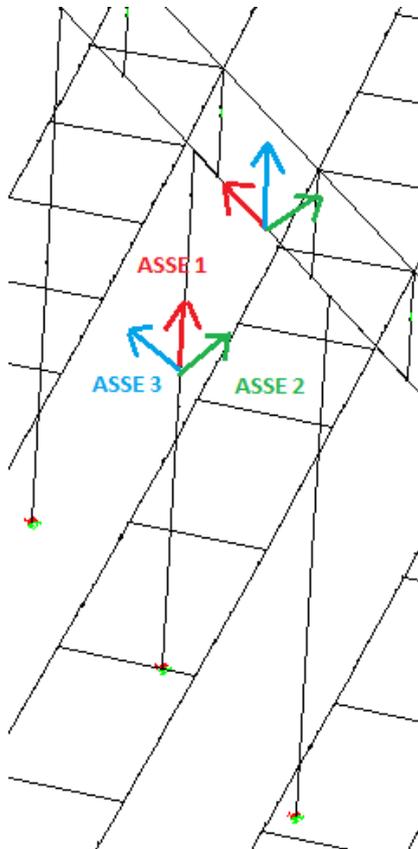


Figura 5 - Convenzioni assi modello

Assi pila:

M33 = Momento in direzione longitudinale

M22 = Momento in direzione trasversale

V3 = Taglio in direzione trasversale

V2 = Taglio in direzione longitudinale

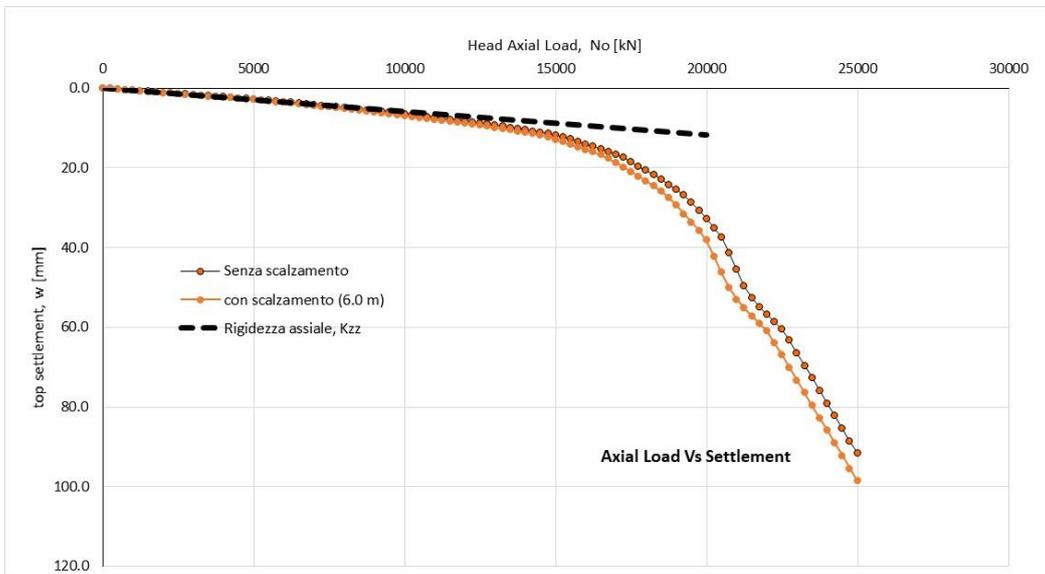
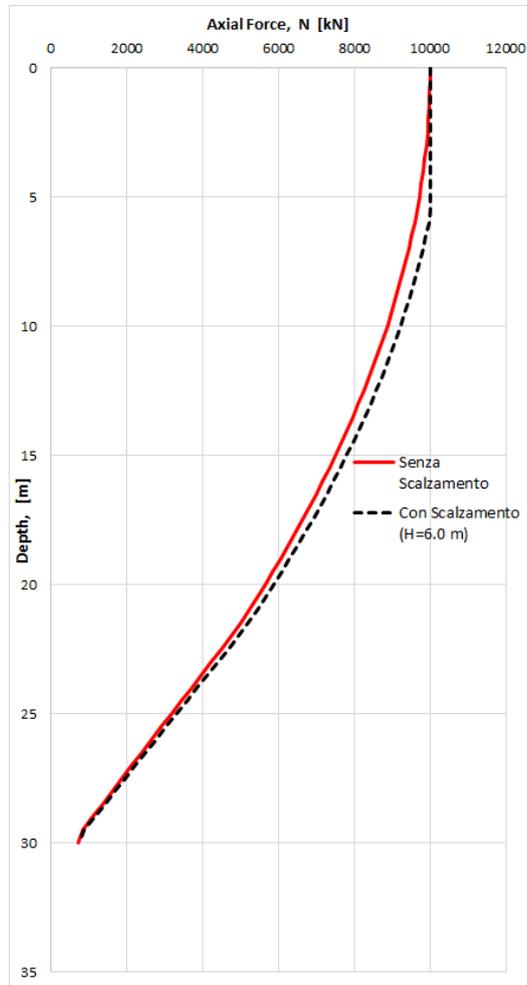
Assi pulvino:

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 _k	0	0	0	0	0	0	dz
Fx		0	K _{dF,x}	K _{rF,x}	0	0	0	0	dx
Mx	=	0	K _{rF,x}	K _{rM,x}	0	0	0	0	rx
Fy		0	0	0	K _{dF,y}	K _{rF,y}	0	0	dy
My		0	0	0	K _{rF,y}	K _{rM,y}	0	0	ry
Mz		0	0	0	0	0	T _k	0	rz

dove:

- A_k = rigidezza assiale del palo (kN/m);
- K_{dF,x} = rigidezza traslazionale del palo in direzione x (kN/m);
- K_{rM,x} = rigidezza rotazionale del palo in direzione x (kNm/rad);
- K_{rF,x} = termine di accoppiamento roto-traslazionale in direzione x (kN/rad);
- K_{dF,y} = rigidezza traslazionale del palo in direzione y (kN/m);
- K_{rM,y} = rigidezza rotazionale del palo in direzione y (kNm/rad);
- K_{rF,y} = termine di accoppiamento roto-traslazionale in direzione y (kN);
- T_k = rigidezza torsionale (kNm/rad)

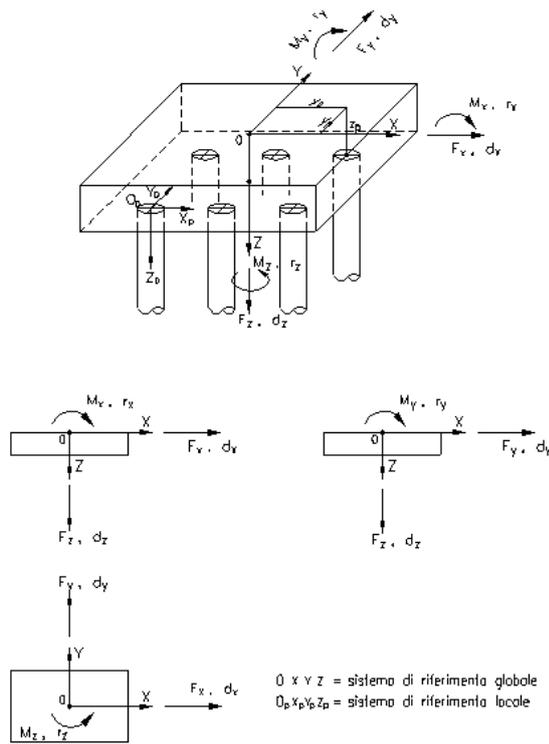
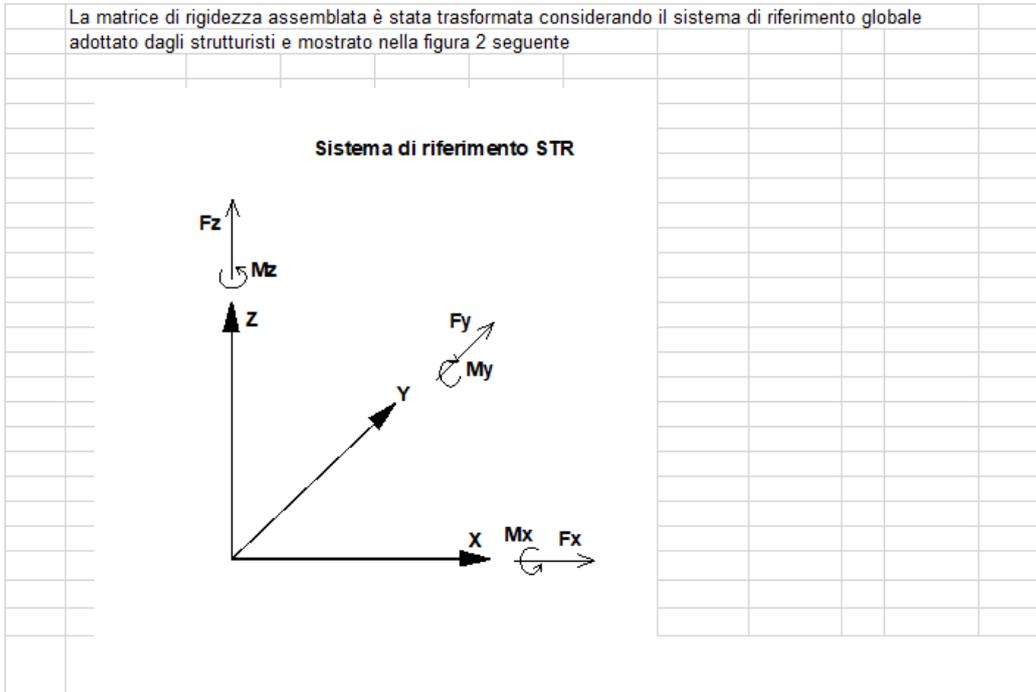


Figura 1: Sistema di riferimento globale palificata MAP

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			
Valori raccomandati per la composizione e le proprietà del calcestruzzo (prospetto 4 -UNI 11104:2004)					
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 ³		340	-	-	340
Contenuto minimo in aria [%]		-	-	-	-
Altri requisiti		nessuno	-	-	Aggregati secondo UNI-EN12620, di adeguata resistenza gelo/disgelo
Valori di progetto (inviluppo) per la composizione e le proprietà del calcestruzzo (prospetto 4 -UNI 11104:2004)					
Rapporto A/C		0.5			
Classe di resistenza minima		C35/45			
Contenuto cemento kg/m ³		340			
Contenuto in aria [%]		0			
Altri requisiti		-			
Determinazione del copriferro nominale (UNI EN 1992-1- :2005)					
Diametro della barra di armatura [mm]:		26			
Barre raggruppate:		no			
Barre verticali compresse o giuntate per sovrapposizione:		no			
Valore n _b 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 _{min,b} [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
ΔC_{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			
Valori raccomandati per la composizione e le proprietà del calcestruzzo (prospetto 4 -UNI 11104:2004)					
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 ³		340	-	-	340
Contenuto minimo in aria [%]		-	-	-	-
Altri requisiti		nessuno	-	-	Aggregati secondo UNI-EN12620, di adeguata resistenza gelo/disgelo
Valori di progetto (inviluppo) per la composizione e le proprietà del calcestruzzo (prospetto 4 -UNI 11104:2004)					
Rapporto A/C		0.5			
Classe di resistenza minima		C35/45			
Contenuto cemento kg/m ³		340			
Contenuto in aria [%]		0			
Altri requisiti		-			
Determinazione del copriferro nominale (UNI EN 1992-1- :2005)					
Diametro della barra di armatura [mm]:		30			
Barre raggruppate:		no			
Barre verticali compresse o giuntate per sovrapposizione:		no			
Valore n _b 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_{min,b} [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
ΔC_{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 4

Combinazione di carico SLV_PILE	Combinazione di carico SLV_PILE - Massima e minima azione assiale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	46000	-1640	1468	1210100	1594	1112209	0
	41000	-15208	-1477	-1205803	-1616	-1066140	0
	Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo taglio longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	43000	-8079	1650	1232399	1844	1168514	0
	44000	-9050	-1629	-1256852	-1820	-1166597	0
	Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo momento longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	44000	-7325	1584	1364981	1662	1242504	0
	43000	-10752	-1561	-1390919	-1639	-1238458	0
	Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo taglio trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	43000	-8074	1650	1231308	1845	1169335	0
	44000	-9052	-1629	-1255627	-1822	-1166840	0
	Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo momento trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	44000	-8715	1587	1359891	1667	1243755	0
	43000	-10750	-1561	-1389337	-1640	-1239517	0
Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo momento torcente							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
41000	-9870	6	-9860	13	-2054	0	
41000	-9870	6	-9860	13	-2054	0	

Combinazione di carico SLU_PILE	Combinazione di carico SLU_PILE - Massima e minima azione assiale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	46000	-5308	-23	-58253	62	79617	0
	41000	-19354	1	87831	-73	1019	0
	Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo taglio longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	41000	-12913	58	44601	-29	-69215	0
	46000	-12210	-90	-30480	-10	139561	0
	Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo momento longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	46000	-12435	-32	135164	-160	33165	0
	43000	-13871	21	-133226	135	25907	0
	Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo taglio trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	43000	-13777	22	-126912	141	36019	0
	46000	-15123	-46	119900	-167	42810	0
	Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo momento trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	46000	-12150	-78	-45948	15	144776	0
	41000	-12965	50	58428	-48	-71447	0
Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo momento torcente							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
41000	-14978	-31	-76501	75	71804	0	
41000	-14978	-31	-76501	75	71804	0	

Pila 5

Combinazione di carico SLV_PILE	Combinazione di carico SLV_PILE - Massima e minima azione assiale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	56000	-2428	1436	1078044	1559	1046244	0
	51000	-17439	-1491	-940317	-1668	-895749	0
	Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo taglio longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	53000	-6688	1577	1193880	1732	1194687	0
	51000	-17250	-1529	-963106	-1664	-866555	0
	Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo momento longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	51000	-8029	1307	1311358	1243	1281880	0
	53000	-9048	-1464	-1290158	-1505	-1243128	0
	Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo taglio trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	53000	-6684	1572	1191483	1733	1199000	0
	51000	-17439	-1491	-940317	-1668	-895749	0
	Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo momento trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
51000	-7949	1262	1290705	1243	1319802	0	
53000	-9130	-1445	-1246539	-1645	-1301553	0	
Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo momento torcente							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
51000	-12345	-88	152547	-154	173524	0	
51000	-12345	-88	152547	-154	173524	0	

Combinazione di carico SLU_PILE	Combinazione di carico SLU_PILE - Massima e minima azione assiale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	56000	-5561	61	-84472	138	-35074	0
	51000	-24359	-227	447681	-450	422061	0
	Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo taglio longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	56000	-15724	178	-27434	48	-196356	0
	51000	-23189	-329	261242	-286	520259	0
	Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo momento longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	51000	-23912	-225	464448	-464	425478	0
	56000	-15911	44	-208712	202	-68851	0
	Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo taglio trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	56000	-15893	115	-179791	206	-130958	0
	51000	-24007	-237	463729	-468	437349	0
	Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo momento trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
51000	-23315	-329	266087	-290	523993	0	
56000	-17297	172	-41504	65	-206963	0	
Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo momento torcente							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
51000	-18198	-133	178397	-171	280258	0	
51000	-18198	-133	178397	-171	280258	0	

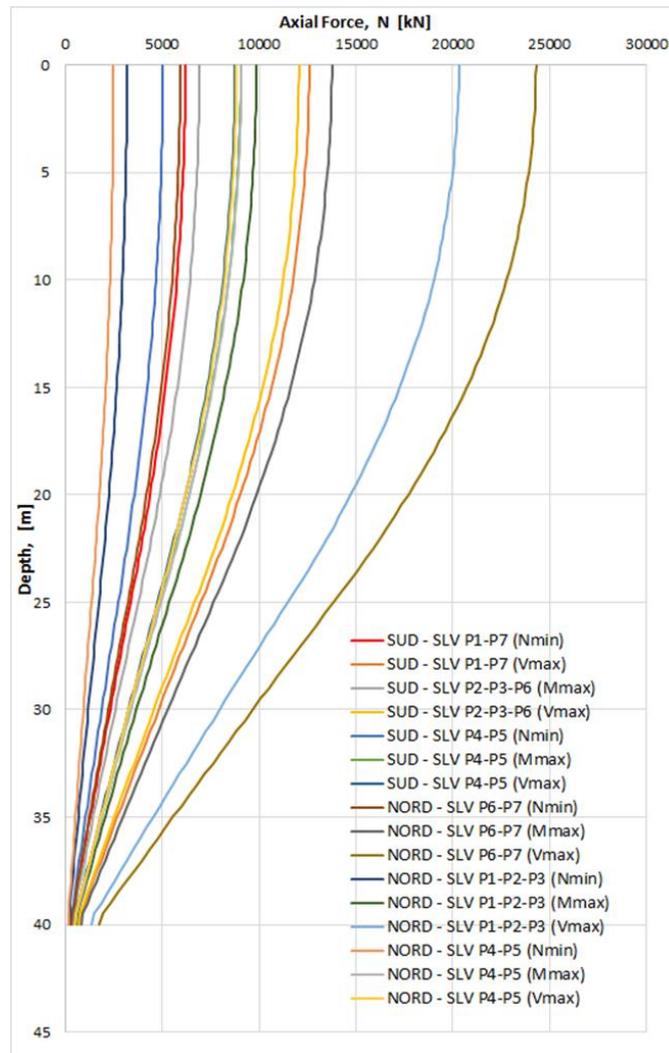
5.2 PALI

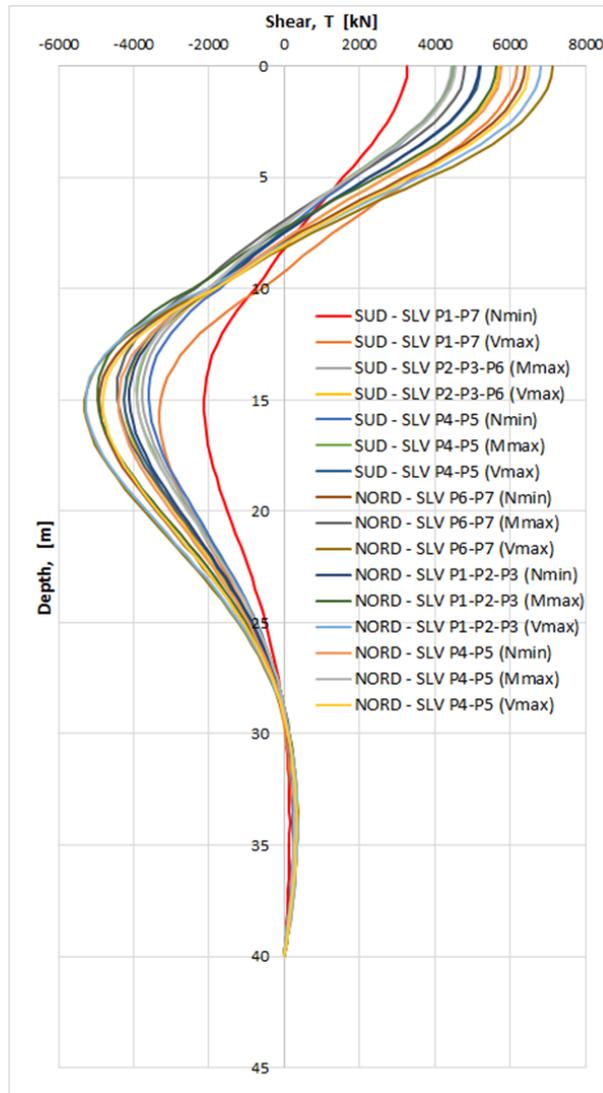
I pali di fondazione sono stati sottoposti a due tipologie di verifiche distinte: la verifica di capacità portante, al fine di calcolare la profondità che i pali dovranno raggiungere, e la verifica di resistenza strutturale, per poter dimensionare le armature longitudinali e la quantità di calcestruzzo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

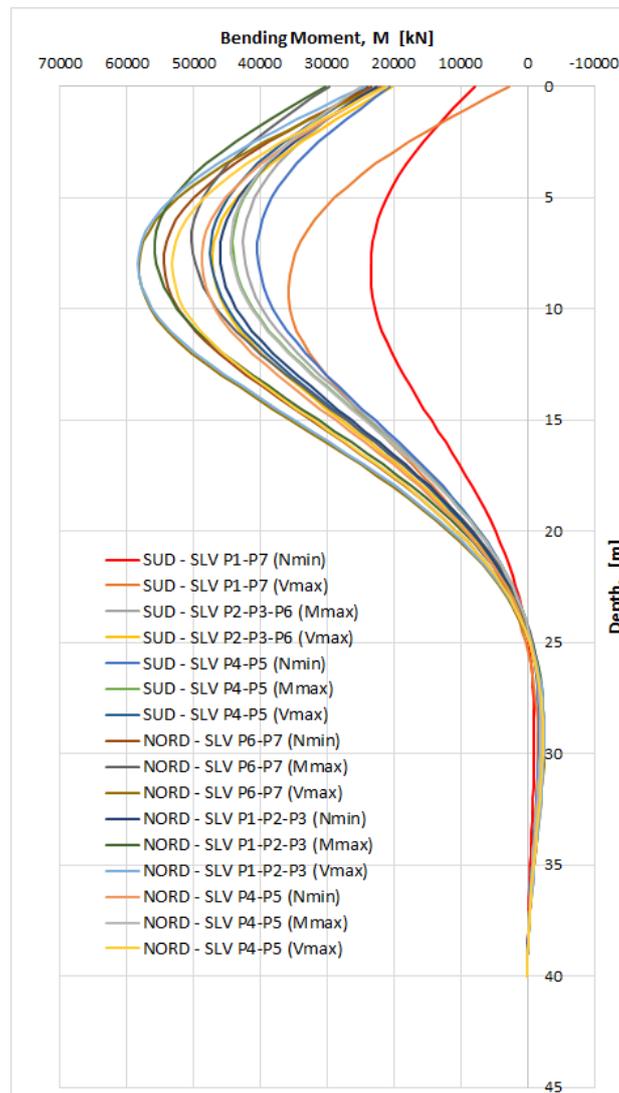
Per le verifiche di capacità portante, cui si rimanda al paragrafo 7.1, la condizione dimensionante risulta essere quella che comporta sforzi assiali di compressione maggiori, determinata dalla combinazione SLU.

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 4

Combinazione di carico SLV_PULV	Combinazione di carico SLV_PULV - Massima e minima azione assiale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	40014	1217	797	55912	12726	2966563	247158
	40002	-1279	-822	-42039	-10844	-3124143	-271338
	Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo taglio longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	40002	990	955	45239	-1643	2327905	272965
	40002	-1103	-959	-45239	-10179	-2783878	-289937
	Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo momento longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	40009	989	602	344992	10080	1367554	199418
	40009	-1091	-602	-341969	-806	-1121401	-202373
	Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo taglio trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	40014	1208	793	55636	13012	2968472	247029
	40002	-1277	-821	-42039	-10984	-3124458	-272321
	Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo momento trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	40014	1217	796	55827	12989	2981600	246453
	40002	-1279	-822	-42039	-10922	-3127741	-272385
Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo momento torcente							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
40014	1029	926	61873	12027	2628315	285023	
40002	-1093	-956	-45239	-10293	-2771492	-292550	

Combinazione di carico SLU_PULV	Combinazione di carico SLU_PULV - Massima e minima azione assiale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	40011	145	30	19378	2737	34349	-8191
	40009	-171	-52	-13818	7848	166029	29531
	Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo taglio longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	40002	-14	75	0	-6957	-176213	-19989
	40014	-54	-84	-4716	13949	600779	17917
	Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo momento longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	40006	-29	19	22290	2747	874419	-13065
	40006	-124	-20	-19200	1766	647166	23201
	Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo taglio trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	40014	56	48	2663	16534	927379	-10957
	40002	-157	-62	0	-12671	-430659	24
	Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo momento trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	40006	-148	-17	-16759	3527	1146094	11887
	40012	-1	-33	7605	-8328	-1805794	13349
Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo momento torcente							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
40014	-92	-66	-3711	10844	328922	35952	
40002	-14	39	0	-9943	-215407	-46443	

Pulvino 5

Combinazione di carico SLV_PULV	Combinazione di carico SLV_PULV - Massima e minima azione assiale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	50007	1255	646	350008	-757	1356302	170230
	50014	-988	-616	-86614	-11299	-1710128	-162247
	Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo taglio longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	50007	1046	787	324705	-1410	1115079	177345
	50007	-704	-793	-328682	-9148	-1771498	-170558
	Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo momento longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	50010	578	290	361960	2990	914662	82580
	50010	-210	-290	-365561	-5833	-1975826	-83972
	Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo taglio trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	50009	1202	634	355571	9823	1128566	217868
	50014	-983	-620	-87207	-11449	-1731938	-161199
	Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo momento trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
50003	416	339	84460	2045	2190816	76950	
50003	-308	-337	-84700	-6922	-3298608	-71046	
Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo momento torcente							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
50009	1040	717	324140	9035	999620	249543	
50009	-773	-705	-326256	315	-1024611	-243634	

Combinazione di carico SLU_PULV	Combinazione di carico SLU_PULV - Massima e minima azione assiale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	50011	610	44	-2974	5451	-813735	-15635
	50014	-94	-40	-5359	-20107	-2759636	10187
	Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo taglio longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	50009	385	87	-11044	8080	-152625	-705
	50014	-12	-105	-14319	-17012	-2352914	26048
	Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo momento longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	50010	136	28	15631	-1526	-516516	9050
	50010	454	-31	-22982	-1737	-1027656	27214
	Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo taglio trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	50002	27	66	0	11350	-47432	-17020
	50014	-83	-46	-6215	-21303	-2927098	11702
	Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo momento trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
50004	53	-25	-3722	5010	847604	33536	
50012	377	-45	-9998	-6088	-3122303	52345	
Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo momento torcente							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
50012	444	-78	-19430	-4877	-2886448	73088	
50009	237	78	-7248	4537	-46528	-40362	

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: P4-P5_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	40.95725	110.1306
6	-33.61498	120.3953	6	5.3092	50.02905	106.3172

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 1640 kN
M_{xEd}: 12101 kNm
M_{yEd}: 11122 kNm

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

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

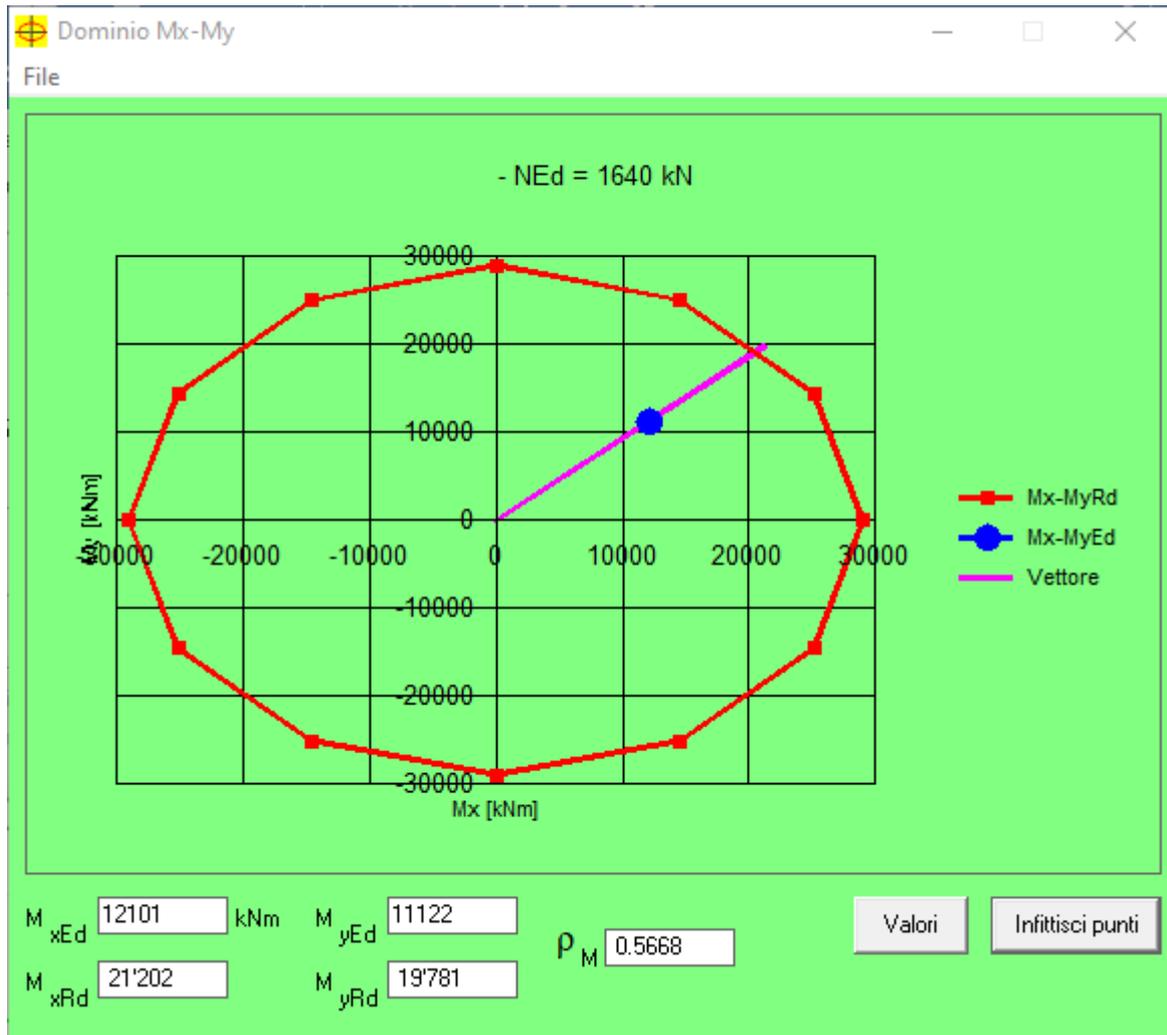
angolo asse neutro θ° : 317

Precompresso

Materiali: B450C C35/45

ϵ_{su} : 67.5 ‰ ϵ_{c2} : 2 ‰
 f_{yd} : 391.3 N/mm² ϵ_{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
 ϵ_{syd} : 1.957 ‰ $\sigma_{c,adm}$: 13.5 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$: 255 N/mm² τ_{co} : 0.8
 τ_{c1} : 2.257

M_{xRd}: 21'202 kN m
M_{yRd}: 19'781 kN m
 σ_c : -19.83 N/mm²
 σ_s : 391.3 N/mm²
 ϵ_c : 3.5 ‰
 ϵ_s : 10.71 ‰
d: 242.4 cm
x: 59.72 x/d: 0.2463
 δ : 0.7479



Verifica C.A. S.L.U. - File: P4-P5_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.

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 θ°

Precompresso

Materiali

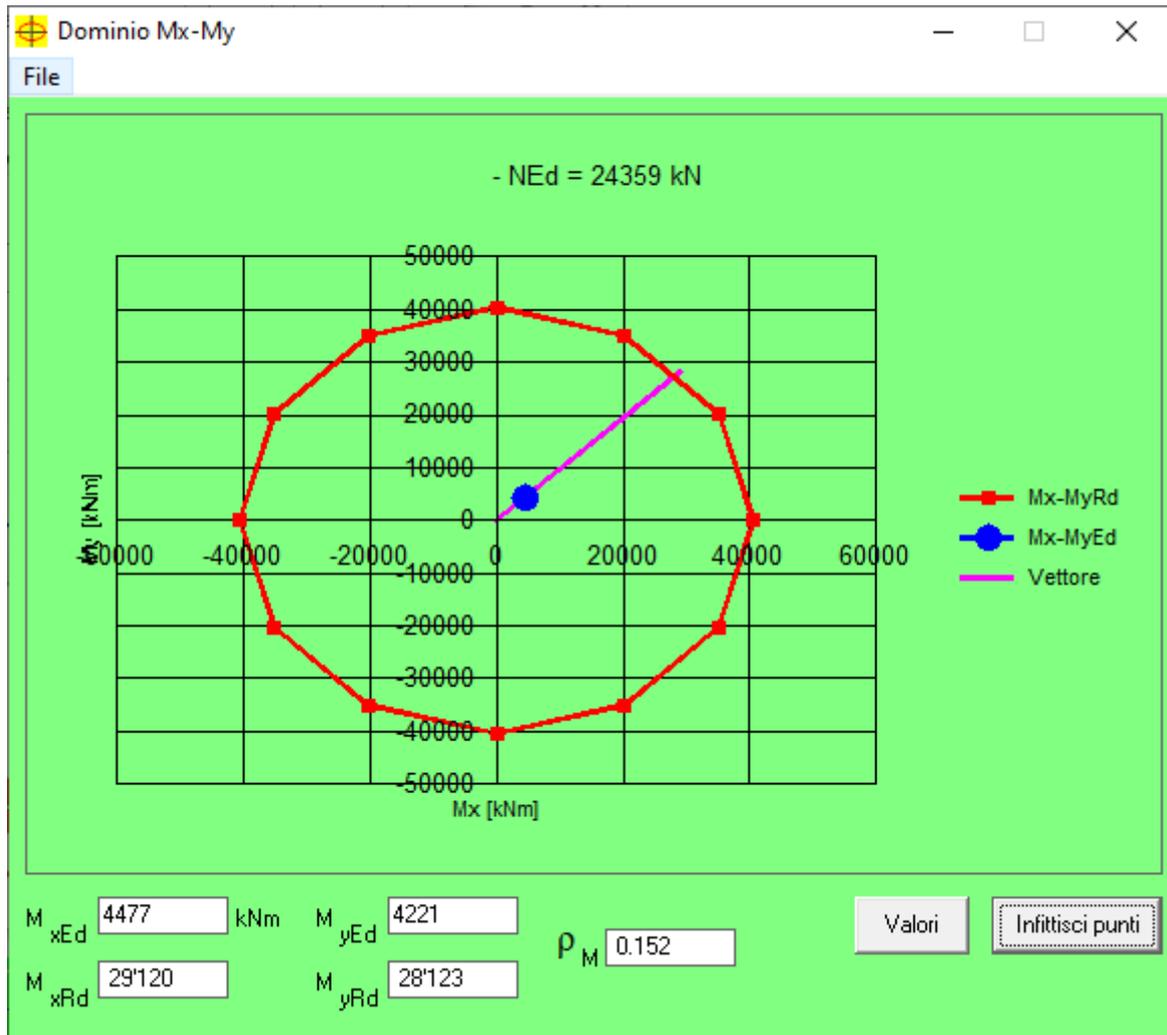
ϵ_{su} ‰ ϵ_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² ϵ_{cu} ‰
 E_s N/mm² f_{cd} ‰
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
 ϵ_{syd} ‰ $\sigma_{c,adm}$ ‰
 $\sigma_{s,adm}$ N/mm² τ_{co} ‰
 τ_{c1} ‰

Tipologia rottura:
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

M_{xRd} kN m
 M_{yRd} kN m
 σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c ‰
 ϵ_s ‰
d cm
x x/d
 δ

Sollecitazioni:
S.L.U. Metodo n
 N_{Ed} 0 kN
 M_{xEd} 0 kNm
 M_{yEd} 0



Verifica C.A. S.L.U. - File: P4-P5_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

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
M_{xEd} kNm
M_{yEd} 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

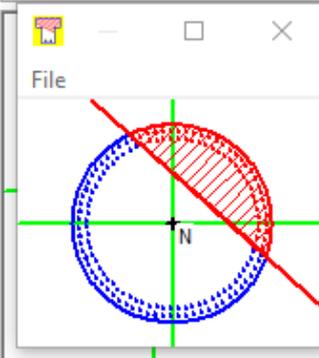
angolo asse neutro θ°

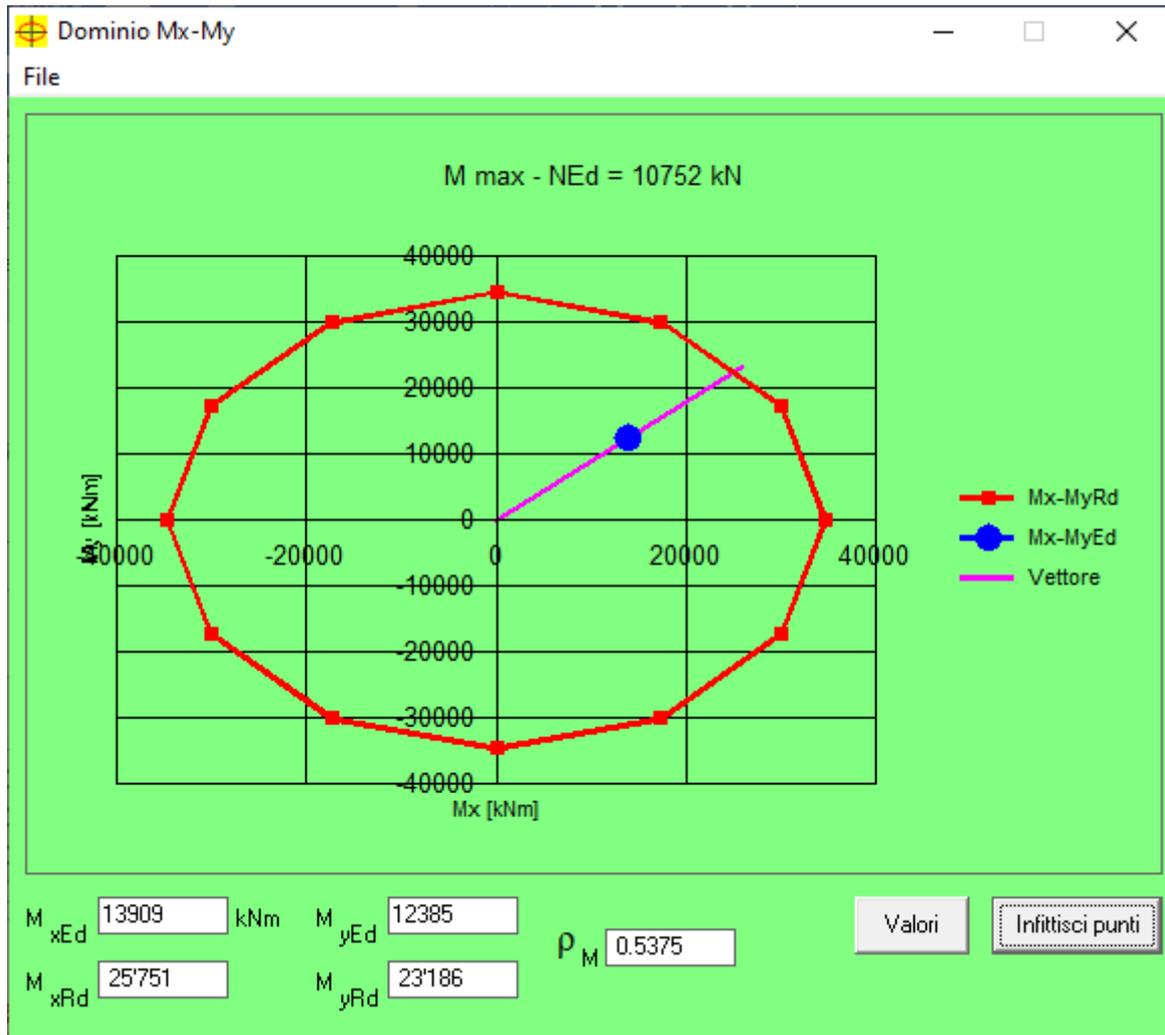
Precompresso

Materiali

ϵ_{su} ‰ ϵ_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² ϵ_{cu} ‰
 E_s N/mm² f_{cd} N/mm²
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
 ϵ_{syd} ‰ $\sigma_{c,adm}$ N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ N/mm² τ_{co} N/mm²
 τ_{c1} N/mm²

M_{xRd} kN m
M_{yRd} kN m
 σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c ‰
 ϵ_s ‰
d cm
x x/d
 δ





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 ²	
$f_{ck} =$	37.35 N/mm ²	
$f_{ctk} =$	2.35 N/mm ²	
$f_{cd} =$	21.17 N/mm ²	
$f_{ctd} =$	1.56 N/mm ²	

Staffe:

$d_{sw} =$	20.00 mm	
$n_{sw} =$	2.00 -	Numero di braccia
$A_{sw,MIN} =$	2652.00 mm ² /m	Area minima delle staffe secondo NTC 2018
$A_{sw} =$	628.32 mm ²	Area della singola staffa
$A_{sw,TOT} =$	3141.59 mm ² /m	Armatura minima soddisfatta
$s =$	200.00 mm	
$f_{yd} =$	391 N/mm ²	
$d =$	2425 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 ²	
$A_{sw,TOT} =$	0.00 mm ² /m	
$s =$	1.00 mm	
$f_{yd} =$	1.00 N/mm ²	
$d =$	2425 mm	
$\alpha =$	1.00 °	Inclinazione dell'armatura a taglio rispetto all'asse della trave
$ctg\alpha =$	57.29 -	

Il valore di θ 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
$V_{RSd,ST} =$	10117 kN	Resistenza a taglio staffe
$V_{RSd,\phi} =$	0 kN	Resistenza a taglio dei ferri piegati
$V_{RSd} =$	10117 kN	Taglio trazione
$V_{Rcd} =$	10117 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 θ pari a:

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

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

$$V_{\text{RSd,st}} = 6708 \text{ kN} \quad \text{Resistenza a taglio delle staffe}$$

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

$$V_{\text{RSd}} = 6708 \text{ kN}$$

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

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

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

$$\alpha_c = 1.00 -$$

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

$$V_{\text{Rcd}} = 14080 \text{ kN} \quad \text{Resistenza a taglio del calcestruzzo d'anima}$$

$$V_{\text{Rd}} = 6708 \text{ kN} \quad \text{Resistenza a taglio della sezione}$$

$$V_{\text{Ed}} = 2475 \text{ kN} < V_{\text{Rd}} = 6708 \text{ kN} \text{ Verificato}$$

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.

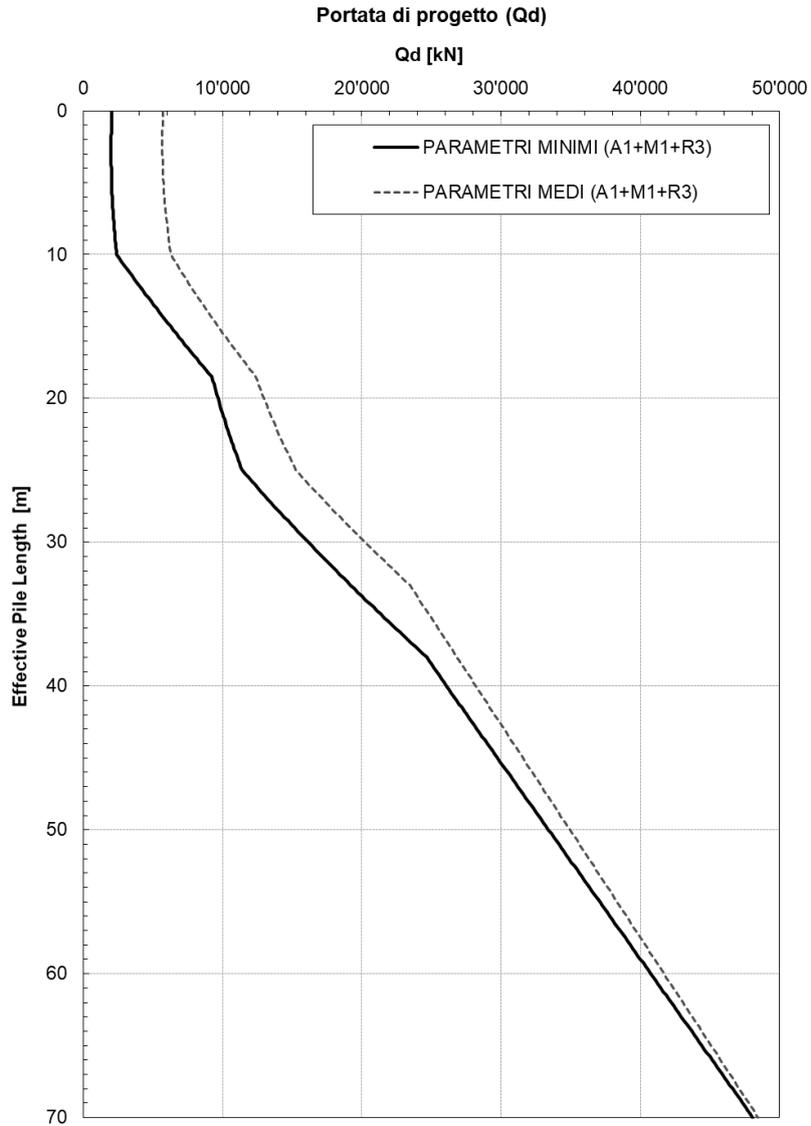
Per i pali oggetto della presente relazione di calcolo sono stati calcolati i seguenti valori di carico agente e, di conseguenza, la seguente lunghezza reagente L_r .

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:

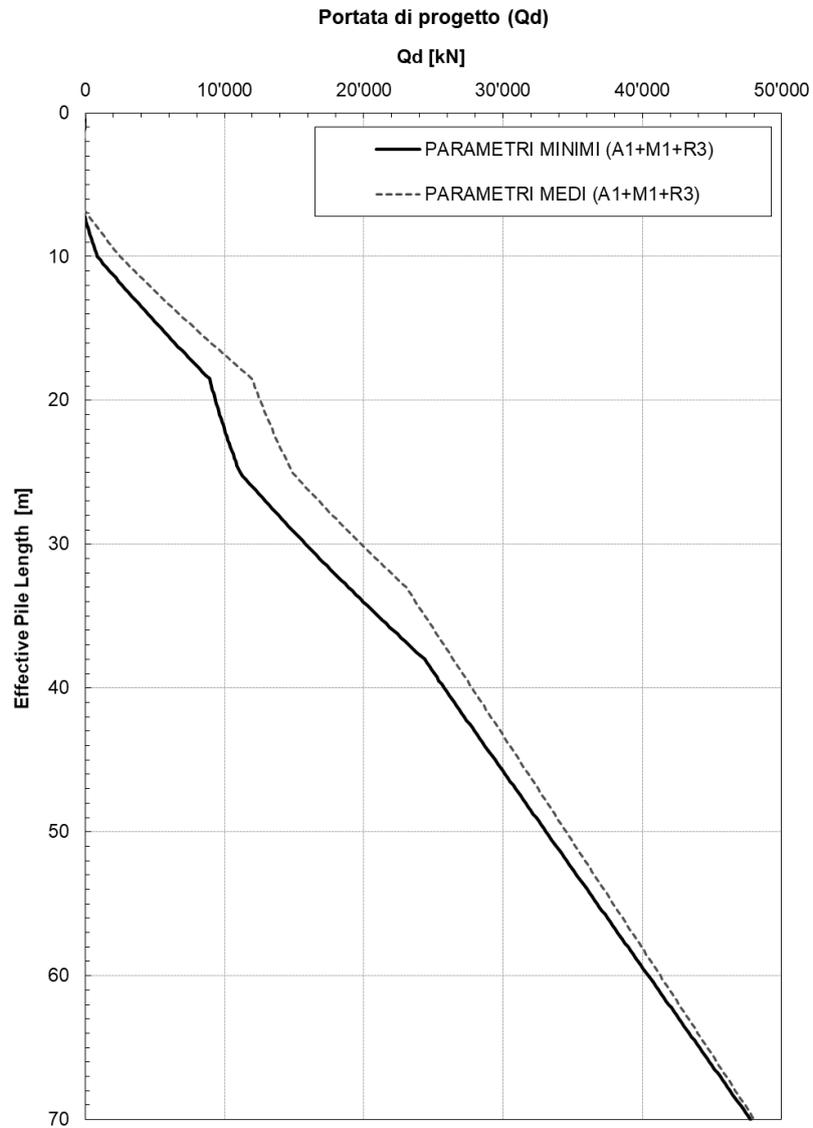
$$L_T = L_r + L_{nr}$$

RENO - CARREGGIATA NORD						
PILA	POSSIBILE SCALZAMENTO	L_{nr}	N_{SLU}	Q_d	L_r	L_T
		[m]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
P4	Sì	5.64	21000	25761	40	46
P5	Sì	7.48	25911	29423	45	53

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

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

Diagramma della sezione:

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 2000 kN
M_{xEd}: 58000 kNm
M_{yEd}: 0 kNm

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

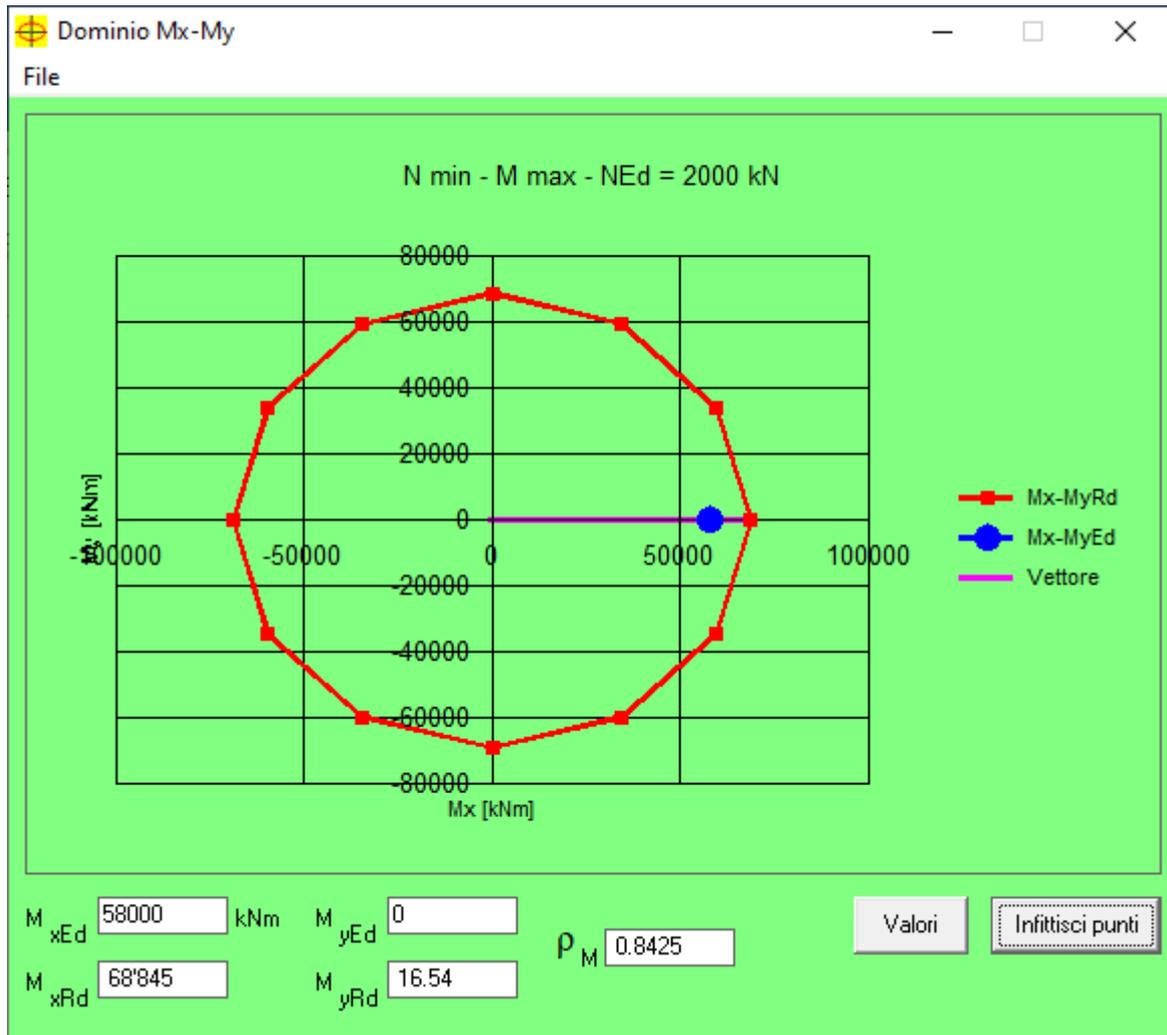
angolo asse neutro θ° : 0

Precompresso

Materiali: B450C C32/40

ϵ_{su} : 67.5 ‰ ϵ_{c2} : 2 ‰
 f_{yd} : 391.3 N/mm² ϵ_{cu} : 3.5 ‰
 E_s : 200'000 N/mm² f_{cd} : 18.81
 E_s/E_c : 15 f_{cc}/f_{cd} : 0.8
 ϵ_{syd} : 1.957 ‰ $\sigma_{c,adm}$: 12.25
 $\sigma_{s,adm}$: 255 N/mm² τ_{co} : 0.7333
 τ_{c1} : 2.114

M_{xRd}: 68'845 kN m
M_{yRd}: 16.54 kN m
 σ_c : -18.81 N/mm²
 σ_s : 391.3 N/mm²
 ϵ_c : 3.5 ‰
 ϵ_s : 7.271 ‰
d: 269.7 cm
x: 87.64 x/d: 0.325
 δ : 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: P4-P5_Mmax

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

Titolo: **M max**

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

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: kN
M_{xEd}: kNm
M_{yEd}: kNm

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: **B450C** **C35/45**

ϵ_{su} : ‰ ϵ_{c2} : ‰
 f_{yd} : N/mm² ϵ_{cu} : ‰
 E_s : N/mm² f_{cd} : N/mm²
 E_s/E_c : f_{cc}/f_{cd} : ?
 ϵ_{syd} : ‰ $\sigma_{c,adm}$: N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$: N/mm² τ_{co} : τ_{c1} :

M_{xRd}: kN m
M_{yRd}: kN m
 σ_c : N/mm²
 σ_s : N/mm²
 ϵ_c : ‰
 ϵ_s : ‰
d: cm
x: x/d:
 δ :

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

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

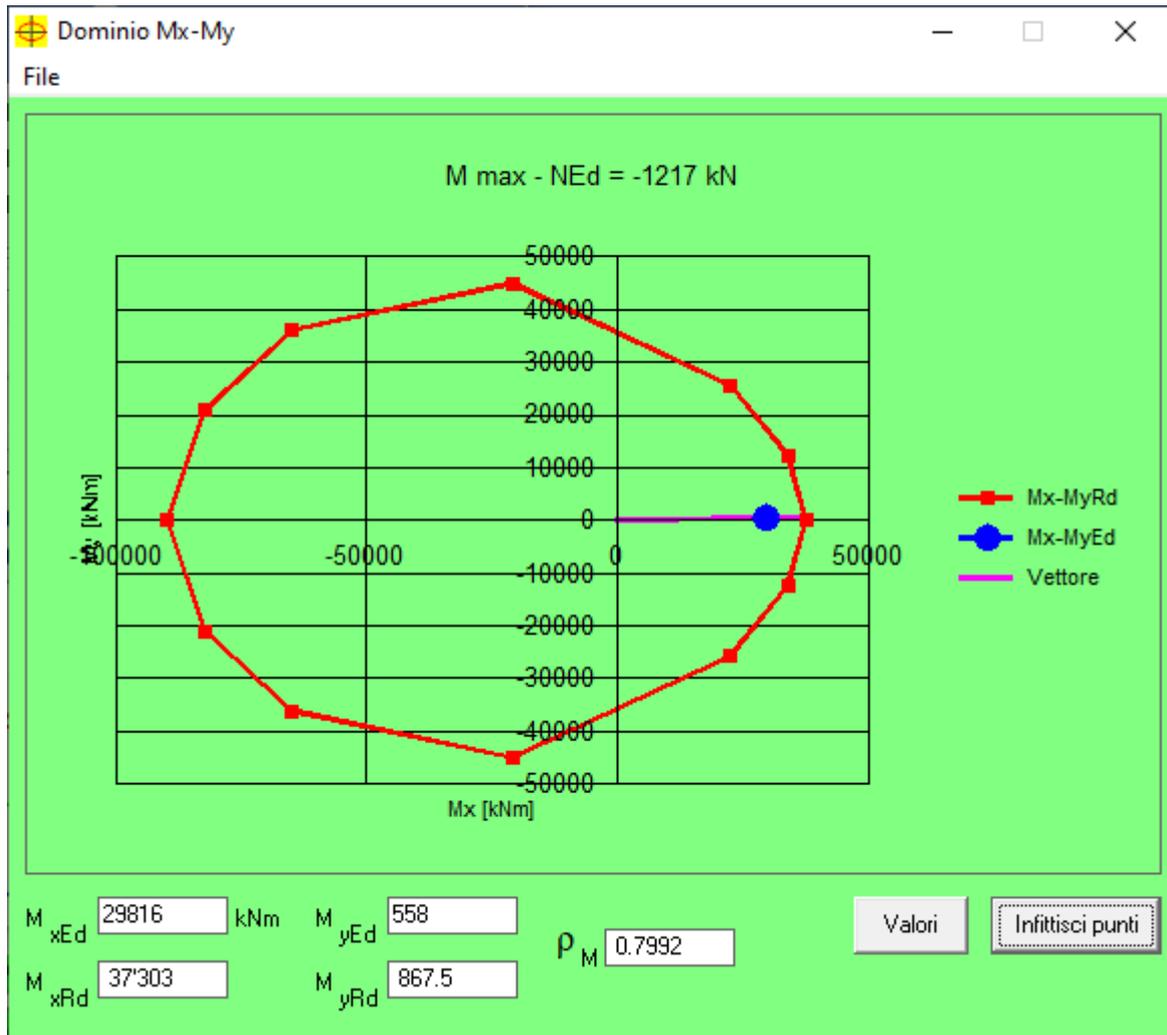
Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett.:

Calcola MRd Dominio Mx-My

angolo asse neutro θ° :

Precompresso



Verifica C.A. S.L.U. - File: P4-P5_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

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
M_{xEd} kNm
M_{yEd} 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 θ°

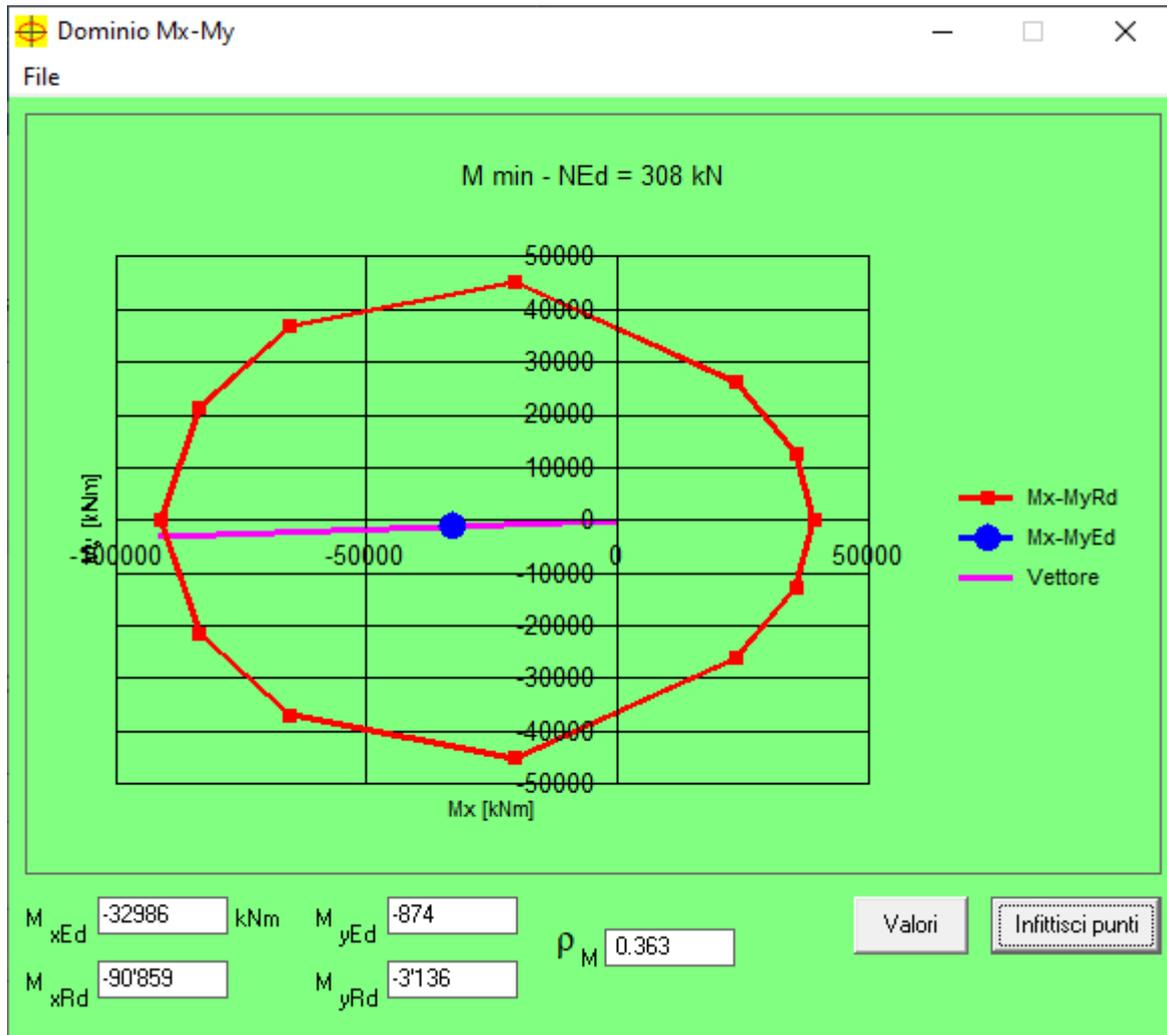
Precompresso

Materiali

B450C C35/45

ϵ_{su} ‰ ϵ_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² ϵ_{cu} ‰
 E_s N/mm² f_{cd} ‰
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
 ϵ_{syd} ‰ $\sigma_{c,adm}$ ‰
 $\sigma_{s,adm}$ N/mm² τ_{co} ‰
 τ_{c1} ‰

M_{xRd} kN m
M_{yRd} kN m
 σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c ‰
 ϵ_s ‰
d cm
x x/d
 δ



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 ²	
$f_{ck} =$	37.35 N/mm ²	
$f_{ctk} =$	2.35 N/mm ²	
$f_{cd} =$	21.17 N/mm ²	
$f_{ctd} =$	1.56 N/mm ²	

Staffe:

$d_{sw} =$	20.00 mm	
$n_{sw} =$	8.00 -	Numero di braccia
$A_{sw,MIN} =$	4500.00 mm ² /m	Area minima delle staffe secondo NTC 2018
$A_{sw} =$	2513.27 mm ²	Area della singola staffa
$A_{sw,TOT} =$	16755.16 mm ² /m	Armatura minima soddisfatta
$s =$	150.00 mm	
$f_{yd} =$	391 N/mm ²	
$d =$	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 ²	
$A_{sw,TOT} =$	9424.78 mm ² /m	
$s =$	200.00 mm	
$f_{yd} =$	391.00 N/mm ²	
$d =$	2456 mm	
$\alpha =$	45.00 °	Inclinazione dell'armatura a taglio rispetto all'asse della trave
$ctg\alpha =$	1.00 -	

Il valore di θ 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 θ 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 ²	
$\sigma_{\text{cp}} =$	0.00 N/mm ²	
$\alpha_c =$	1.00 -	
$f'_{\text{cd}} =$	10.58 N/mm ²	
$V_{\text{Rcd}} =$	33441 kN	Resistenza a taglio del calcestruzzo d'anima
$V_{\text{Rd}} =$	33441 kN	Resistenza a taglio della sezione

$V_{\text{Ed}} = 21303 \text{ kN} < V_{\text{Rd}} = 33087 \text{ kN}$ Verificato