

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 P4/P5

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	VA63S	PIL00	R	STR	4704	0	SCALA -

	PROJECT MANAGER:		SUPPORTO SPECIALISTICO:				REVISIONE	
	Ing. Raffaele Rinaldesi Ord. Ingg. Macerata N. A1068						n.	data
	REDATTO:		VERIFICATO:				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	<i>Convenzione assi</i>	4
1.2.2	<i>Definizione della matrice di rigidezza in testa al palo</i>	5
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	8
3	CALCOLO DEI COPRIFERRI	9
3.1	FUSTO PILA	9
3.2	PULVINI	11
4	MATERIALI E RESISTENZA DI PROGETTO	13
4.1	VERIFICHE ALLO SLU	13
5	CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE	14
5.1	PILE	14
5.2	PALI	16
5.3	PULVINI	16
6	VERIFICHE DELLE PILE	20
6.1	VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU	20
6.1.1	<i>Pressoflessione</i>	20
6.1.2	<i>Taglio</i>	26
7	VERIFICHE DEI PALI	28
7.1	CAPACITA' PORTANTE	28
7.2	VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU	28
8	VERIFICHE DEL PULVINO	33
8.1	VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO SLU	33
8.1.1	<i>Pressoflessione</i>	33
8.1.2	<i>Taglio</i>	37

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 Sud.

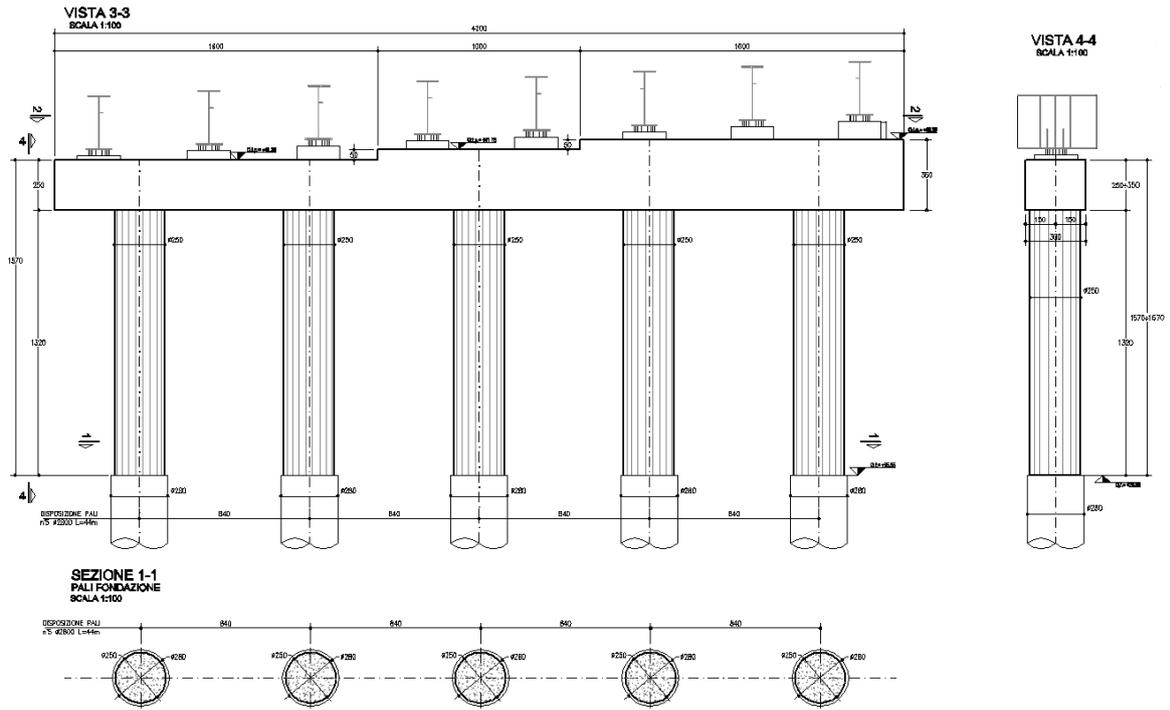


Figura 1 - Immagine pila 4

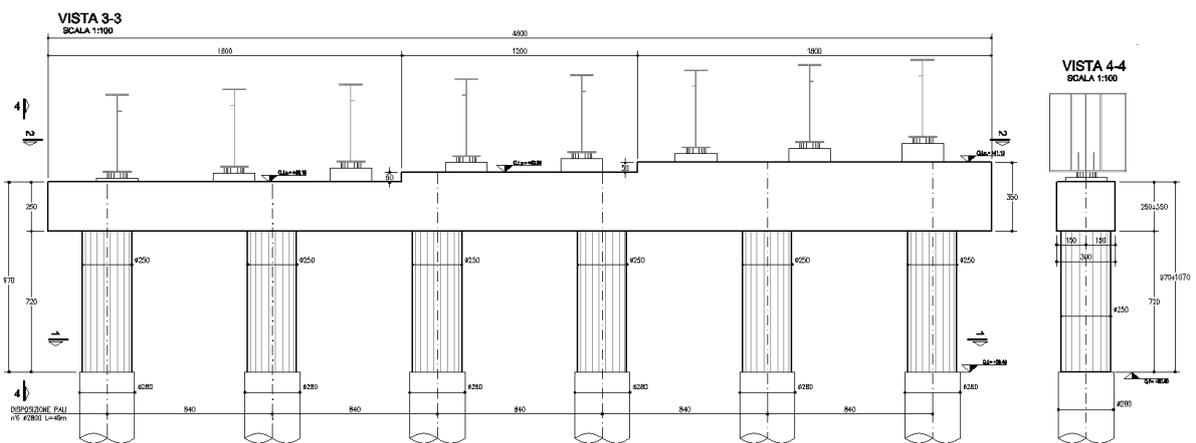


Figura 2 - Immagine pila 5

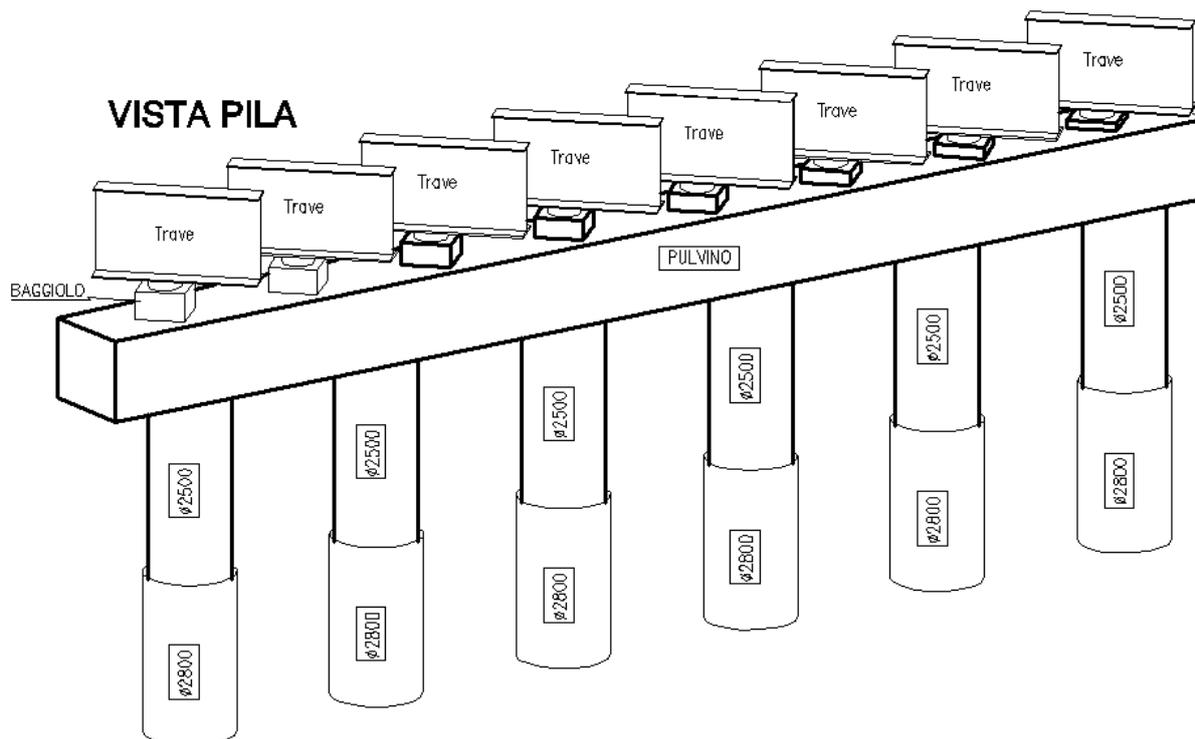


Figura 3 - Vista della pila

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 13.20 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.

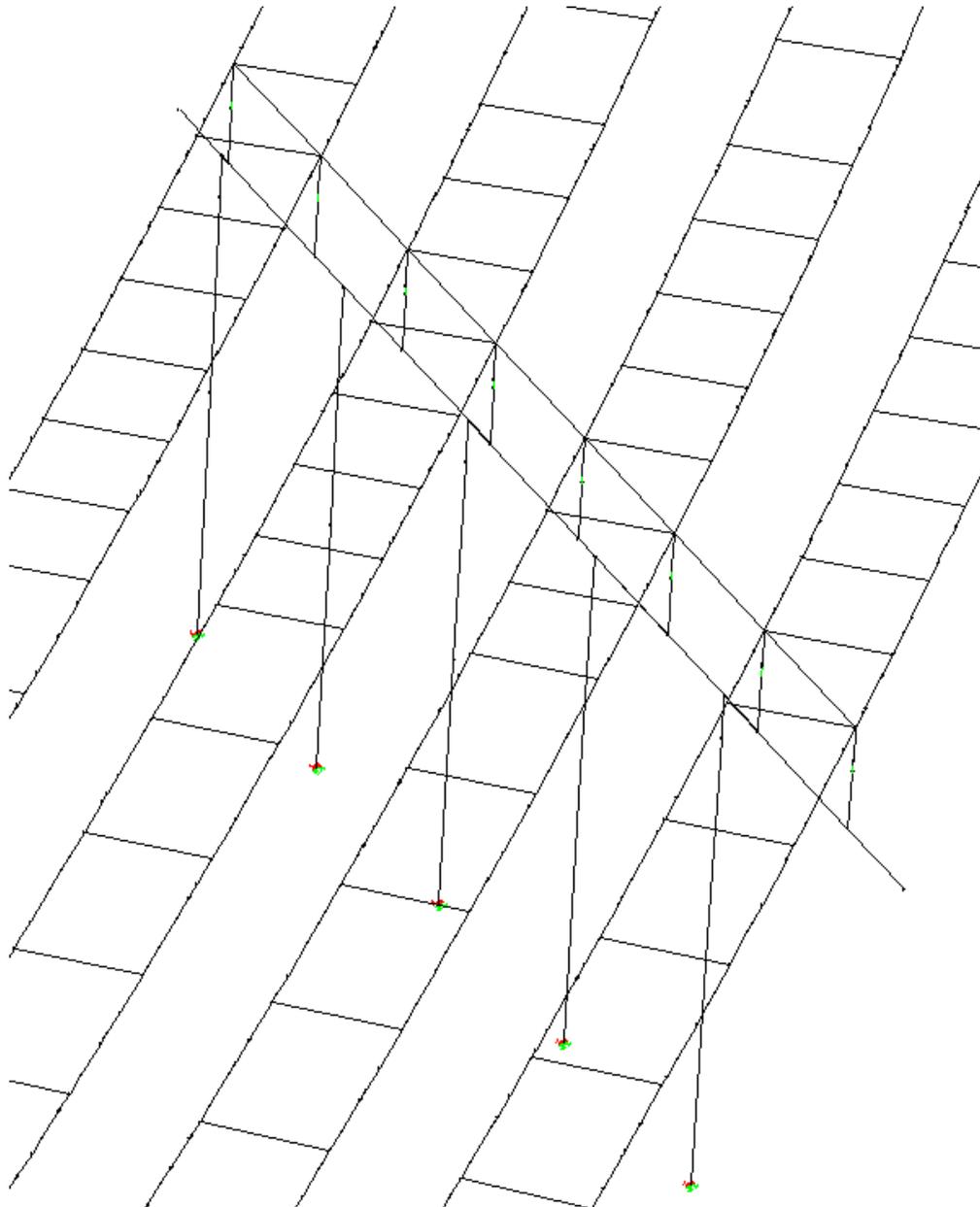


Figura 4 - Modello pila e pulvino

1.2.1 Convenzione assi

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

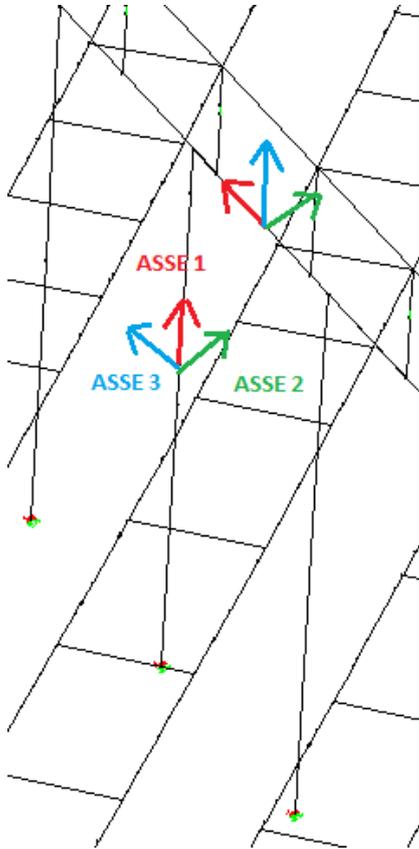


Figura 5 - Convenzioni assi modello

Assi pila:

M33 = Momento in direzione longitudinale

M22 = Momento in direzione trasversale

V3 = Taglio in direzione trasversale

V2 = Taglio in direzione longitudinale

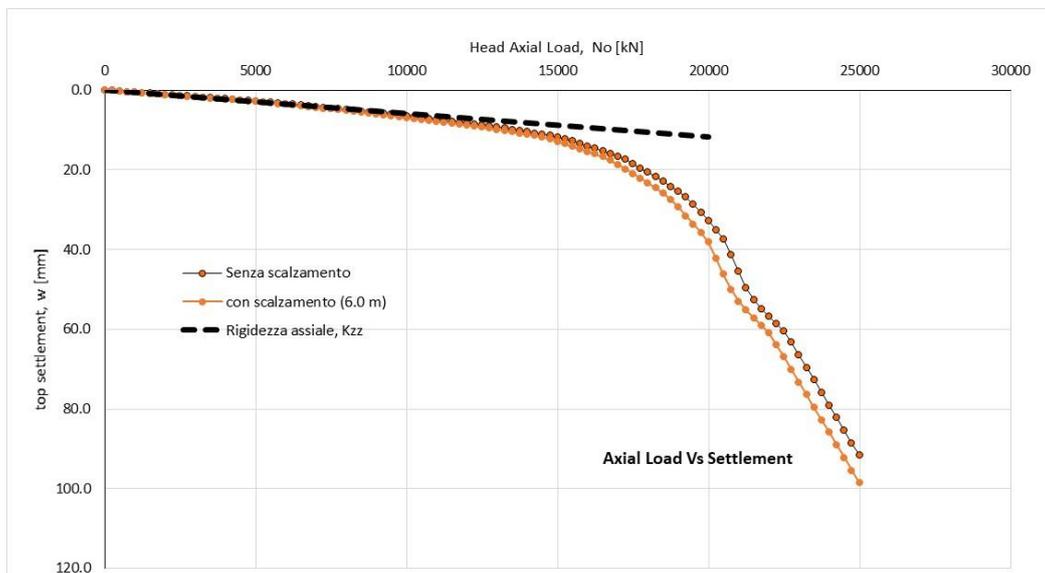
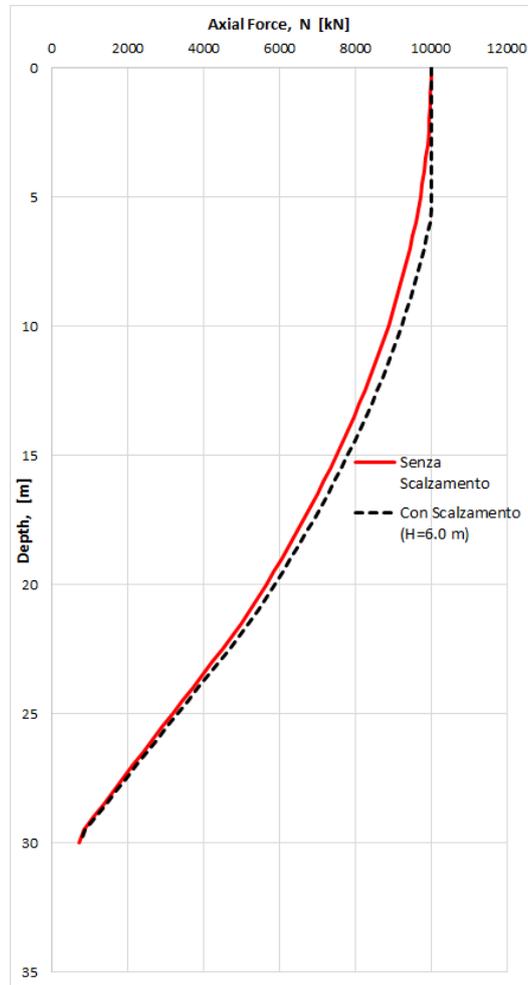
Assi pulvino:

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	x
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)

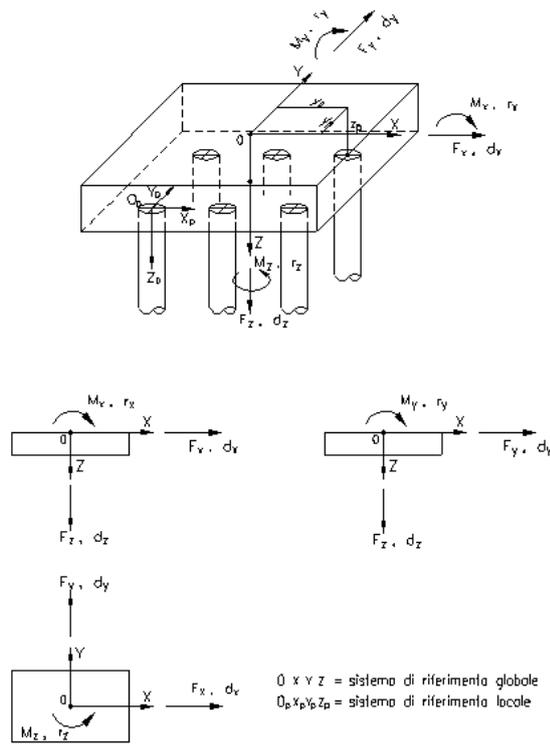
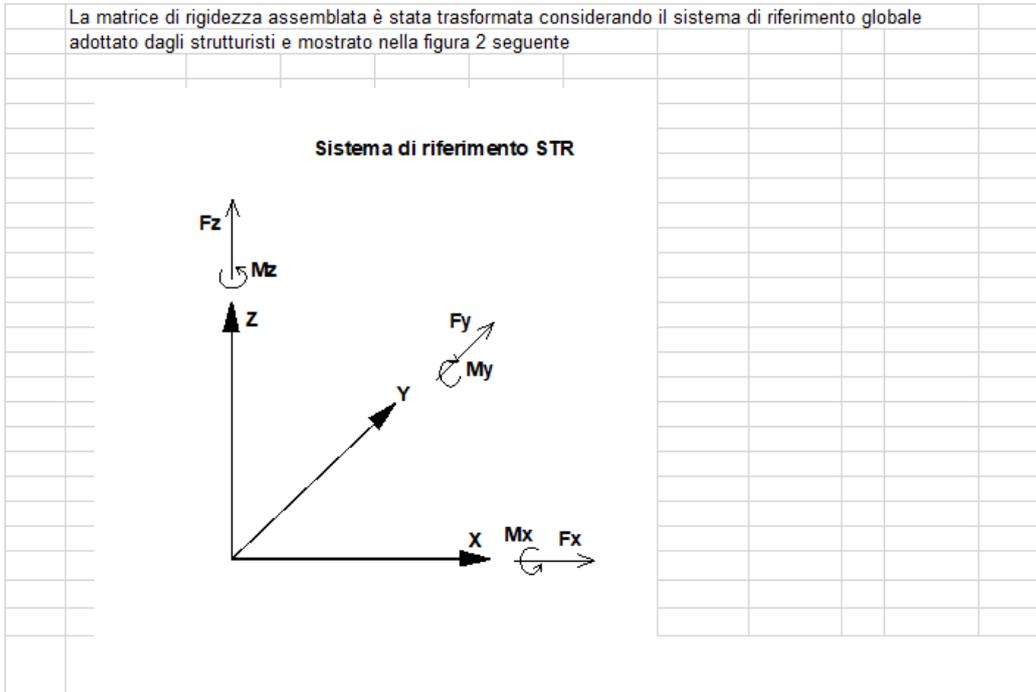


Figura 1: Sistema di riferimento globale palificata MAP

La matrice di 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			
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]
	90104	-4415	1224	1155012	1513	963449	0
	90504	-12672	-113	63584	-115	112670	0
	Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo taglio longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90304	-8230	1272	1213943	1636	987489	0
	90504	-12526	-117	103540	-169	86409	0
	Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo momento longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90504	-8289	1037	1521876	1450	1279689	0
	90104	-11227	84	-72390	119	-54600	0
	Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo taglio trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90304	-8148	1229	1426844	1784	1168236	0
	90504	-12515	-117	105976	-171	86389	0
	Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo momento trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90504	-8445	1041	1479484	1506	1305970	0
	90104	-11376	75	-34490	71	-80690	0
Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo momento torcente							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
90104	-11088	72	-33510	71	-78614	0	
90104	-11088	72	-33510	71	-78614	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]
	90304	-6393	-5	-61573	62	40652	0
	90104	-22310	181	-26774	89	-261248	0
	Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo taglio longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90104	-21061	208	-85950	174	-229645	0
	90504	-20105	-214	273094	-412	79742	0
	Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo momento longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90504	-18286	-174	282652	-399	41883	0
	90104	-19700	184	-270971	368	-79170	0
	Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo taglio trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90104	-19691	177	-269388	372	-79503	0
	90504	-20070	-204	279766	-424	77262	0
	Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo momento trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90504	-19012	-190	-20240	-66	256859	0
	90104	-21366	183	-17902	92	-276560	0
Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo momento torcente							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
90104	-15583	84	-153466	211	-41629	0	
90104	-15583	84	-153466	211	-41629	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]
	90505	-1751	1144	1595430	1505	1427399	0
	90105	-19341	645	-991825	827	-1211668	0
	Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo taglio longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90105	-13301	2204	174266	2599	-279712	0
	90405	-7835	-266	183262	-313	246795	0
	Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo momento longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90405	-7206	1197	1781443	1590	1569384	0
	90105	-19341	645	-991825	827	-1211668	0
	Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo taglio trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90105	-13371	2134	122275	2652	-242660	0
	90405	-7827	-208	238643	-342	187984	0
	Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo momento trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90405	-7213	1139	1726062	1619	1628195	0
	90105	-19333	710	-955269	789	-1252571	0
Combinazione di carico SLV_PILE - Massimo e minimo momento torcente							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
90105	-19271	715	-939834	774	-1248719	0	
90105	-19271	715	-939834	774	-1248719	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]
	90205	-4933	160	-289748	187	-365588	0
	90105	-36093	1315	-1918995	1577	-2438993	0
	Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo taglio longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90105	-35823	1458	-1841159	1485	-2517604	0
	90405	-12735	-532	446616	-704	492912	0
	Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo momento longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90405	-12722	-423	552172	-764	385511	0
	90105	-34014	1194	-1986860	1720	-2293986	0
	Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo taglio trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90105	-34036	1186	-1980252	1721	-2295015	0
	90405	-12723	-424	551827	-764	385961	0
	Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo momento trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	90405	-12735	-532	446367	-704	492948	0
	90105	-35960	1440	-1862817	1513	-2526170	0
Combinazione di carico SLU_PILE - Massimo e minimo momento torcente							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
90105	-26511	1038	-1420905	1221	-1817615	0	
90105	-26511	1038	-1420905	1221	-1817615	0	

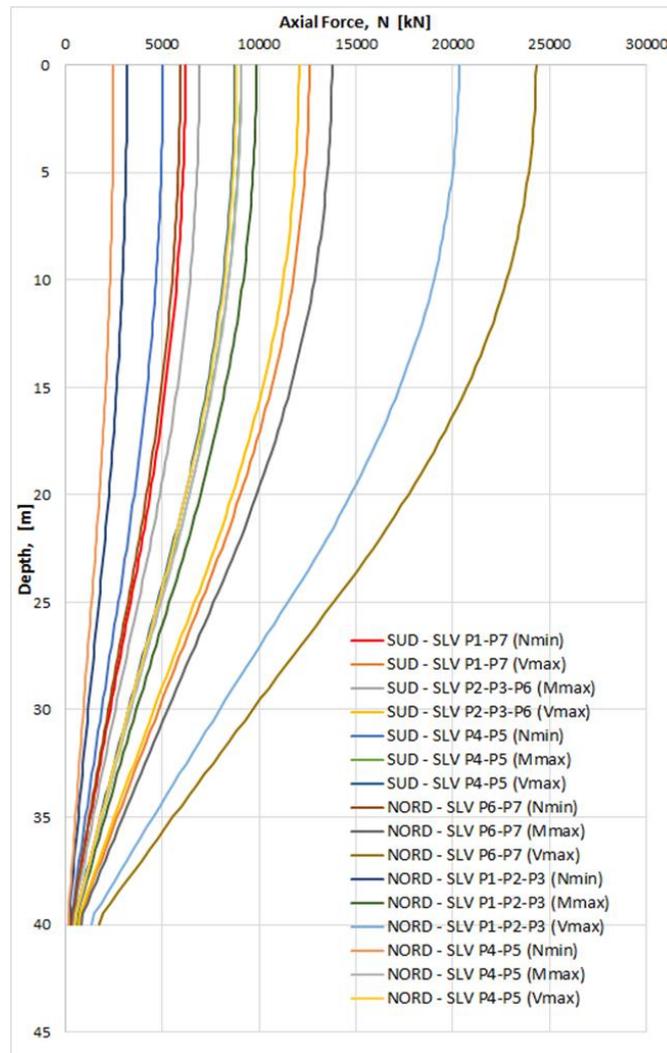
5.2 PALI

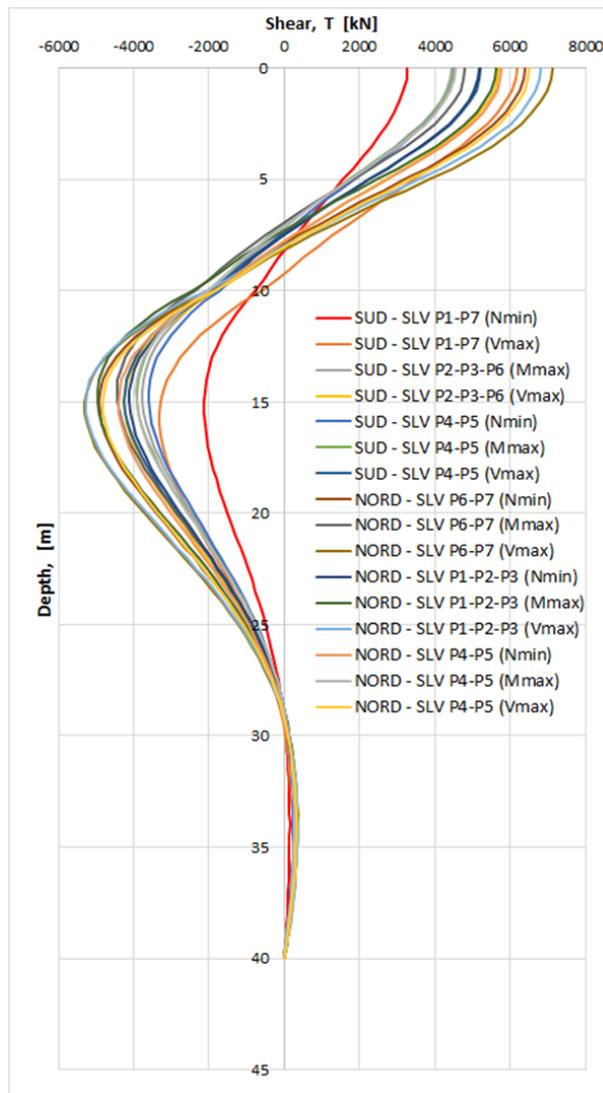
I pali di fondazione sono stati sottoposti a due tipologie di verifiche distinte: la verifica di capacità portante, al fine di calcolare la profondità che i pali dovranno raggiungere, e la verifica di resistenza strutturale, per poter dimensionare le armature longitudinali e la quantità di calcestruzzo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

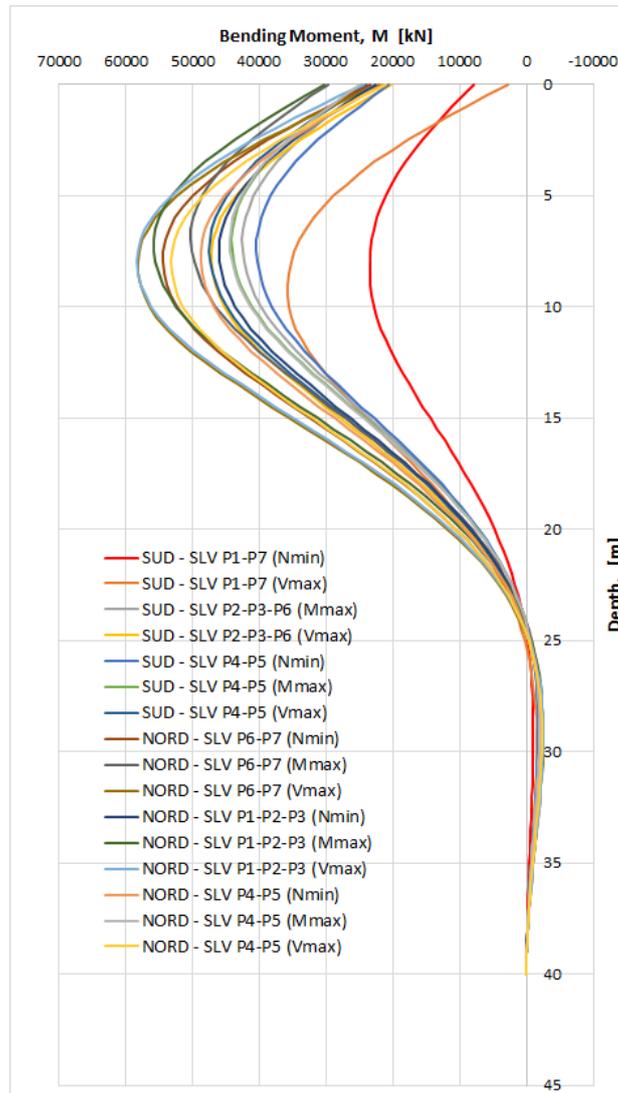
Per le verifiche di capacità portante, cui si rimanda al paragrafo 7.1, la condizione dimensionante risulta essere quella che comporta sforzi assiali di compressione maggiori, determinata dalla combinazione SLU.

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]
	70410	1197	612	75437	10391	1112599	230650
	70413	-23	-11	-2191	-8049	-1637633	2377
	Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo taglio longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70405	969	738	111555	-75	1524246	406194
	70410	161	-14	-932	5799	-741258	3034
	Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo momento longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70408	792	499	147872	1539	846930	378178
	70408	194	-7	-4421	-3576	-768951	6747
	Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo taglio trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70410	1138	592	77750	10556	1070983	227871
	70413	-14	5	1159	-8398	-1710717	-1297
	Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo momento trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70403	511	318	101216	1416	1766673	163169
	70413	-14	5	1159	-8398	-1710717	-1297
Combinazione di carico SLV_PULV - Massimo e minimo momento torcente							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
70405	1017	717	109067	-1288	1288023	424854	
70405	118	11	-110	-4647	-526210	-10239	

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]
	70410	532	66	-10906	9385	-1037951	-7721
	70402	-110	-56	0	11867	-50472	12725
	Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo taglio longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70410	394	81	-13014	6486	-692800	4893
	70405	196	-83	-13322	-7581	-1275292	21093
	Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo momento longitudinale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70408	192	49	21206	-2838	-589772	-9435
	70408	278	-56	-23205	-5490	-1313977	26566
	Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo taglio trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70402	82	57	0	13959	-93013	-12660
	70413	-71	-32	-6216	-13979	-2834761	6784
	Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo momento trasversale						
	Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]
	70407	153	-43	1642	4975	328645	34693
	70413	-71	-32	-6210	-13979	-2834772	6777
Combinazione di carico SLU_PULV - Massimo e minimo momento torcente							
Elem	N [kN]	V2 [kN]	M33 [kNcm]	V3 [kN]	M22 [kNcm]	T [kNcm]	
70405	167	-64	-7845	-7194	-1157421	70850	
70405	289	61	6264	-6830	-866733	-55692	

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	40.95722	110.1306
6	-33.61498	120.3953	6	5.3092	50.02907	106.3172

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 1751 kN
M_{xEd}: 15954 kNm
M_{yEd}: 14274 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

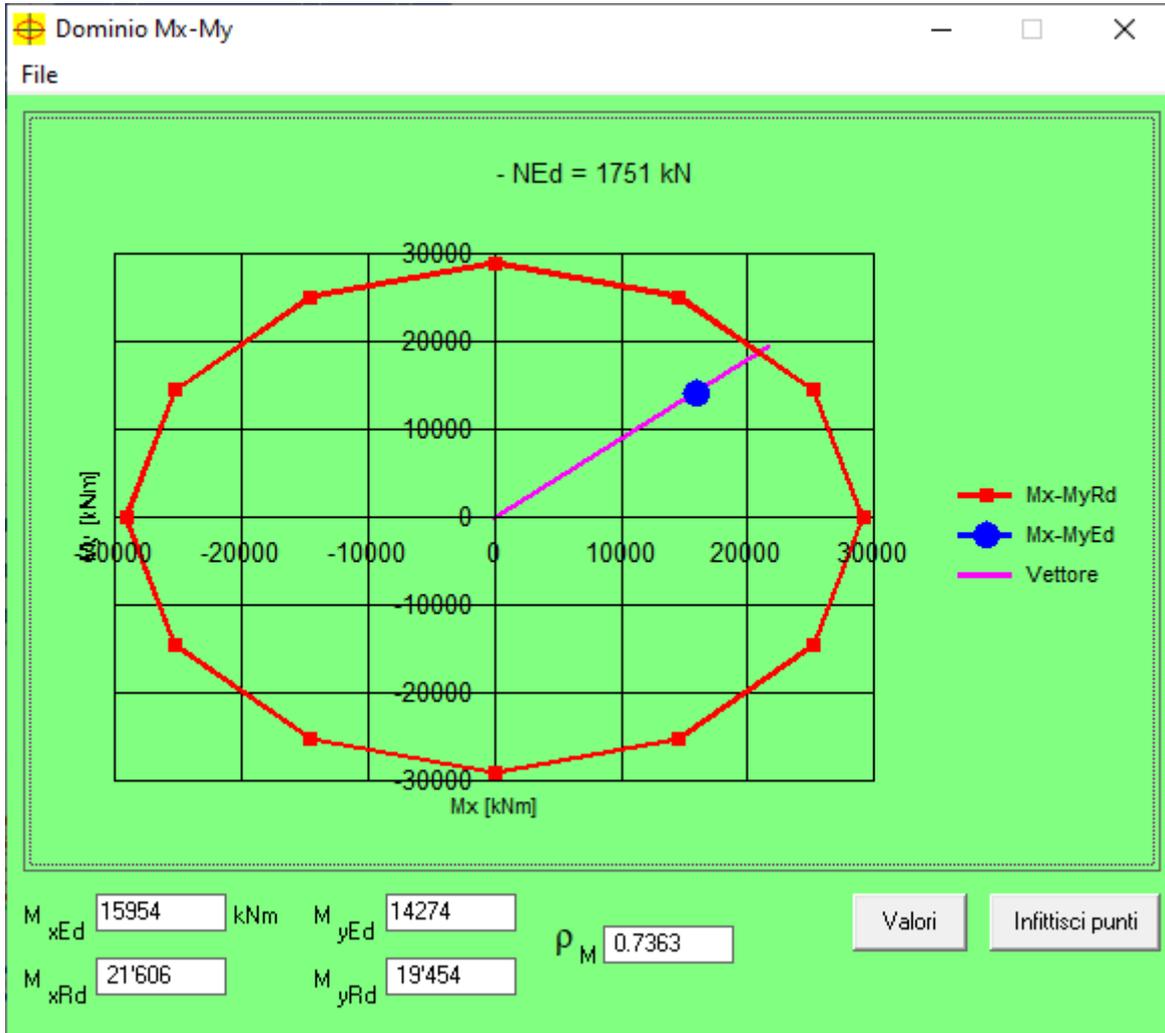
angolo asse neutro θ° : 318

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}: 21'606 kN m
M_{yRd}: 19'454 kN m
 σ_c : -19.83 N/mm²
 σ_s : 391.3 N/mm²
 ϵ_c : 3.5 ‰
 ϵ_s : 10.65 ‰
d: 242.4 cm
x: 59.94 x/d: 0.2473
 δ : 0.7491



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.

Diagramma della sezione:

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

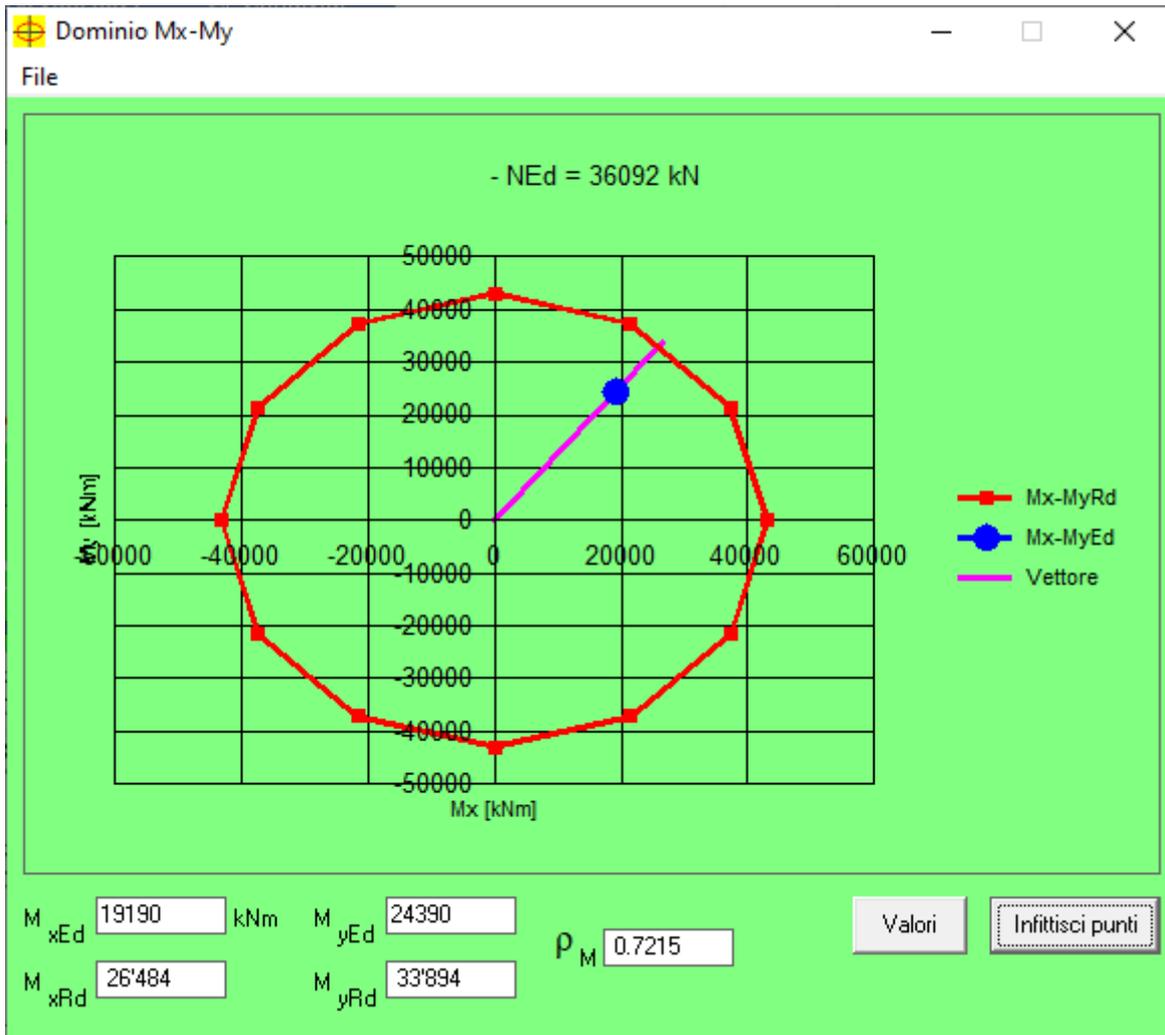
angolo asse neutro θ°

Precompresso

Materiali: B450C C35/45

ϵ_{su} ‰ ϵ_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² ϵ_{cu} ‰
 E_s N/mm² f_{cd} 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



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

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

B450C **C35/45**

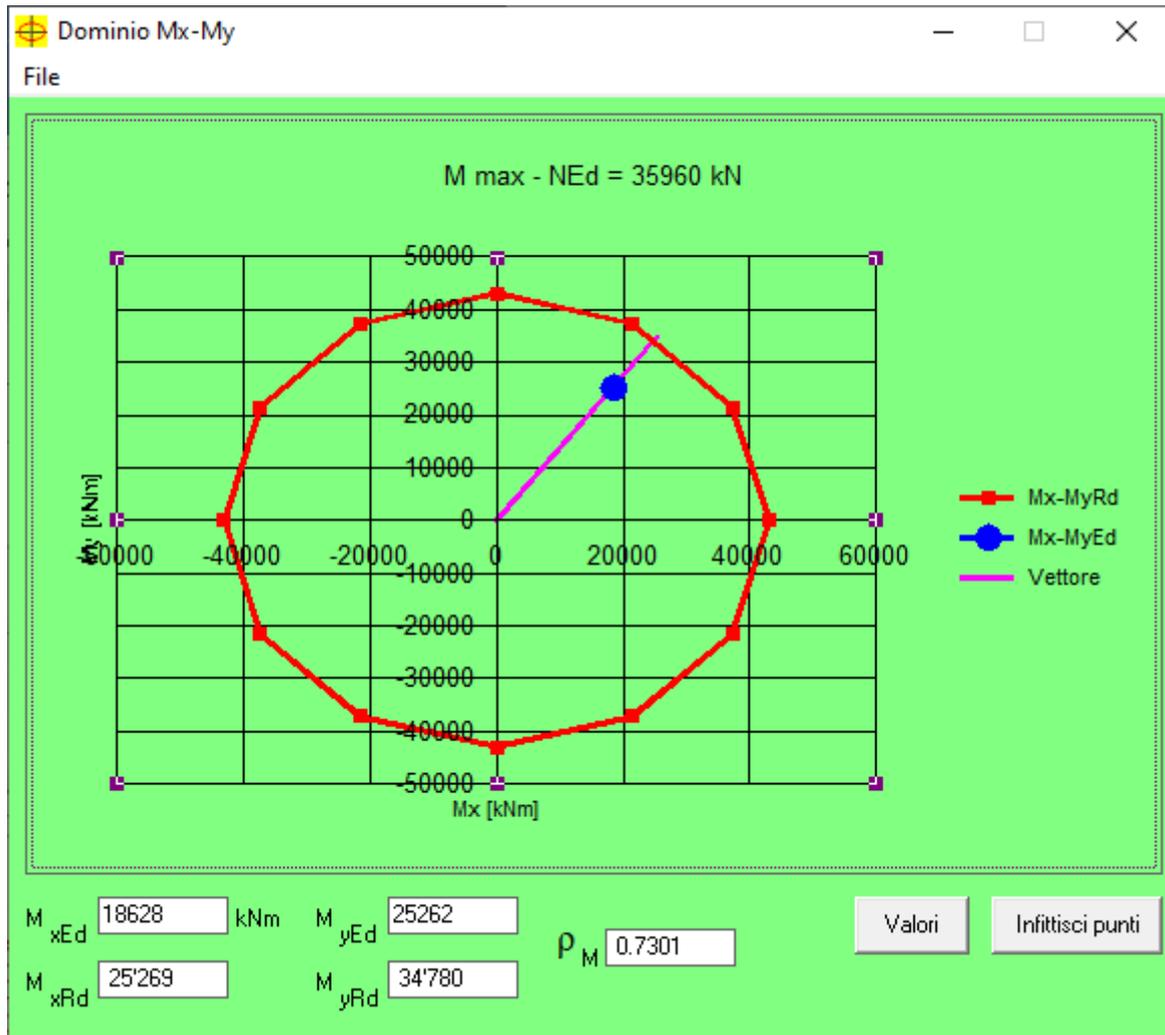
ϵ_{su} ‰ ϵ_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² ϵ_{cu} ‰
 E_s N/mm² f_{cd} ‰
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
 ϵ_{syd} ‰ $\sigma_{c,adm}$ ‰
 $\sigma_{s,adm}$ N/mm² τ_{co} ‰
 τ_{c1} ‰

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Tipologia rottura

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



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	
$d =$	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 ²	
$A_{sw,TOT} =$	0.00 mm ² /m	
$s =$	1.00 mm	
$f_{yd} =$	1.00 N/mm ²	
$d =$	2424 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
$V_{RSd,ST} =$	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 θ pari a:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\alpha_c = 1.00 -$$

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

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

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

$$V_{\text{Ed}} = 2166 \text{ kN} < V_{\text{Rd}} = 6705 \text{ kN} \text{ Verificato}$$

7 VERIFICHE DEI PALI

7.1 CAPACITA' PORTANTE

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

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

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

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

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

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

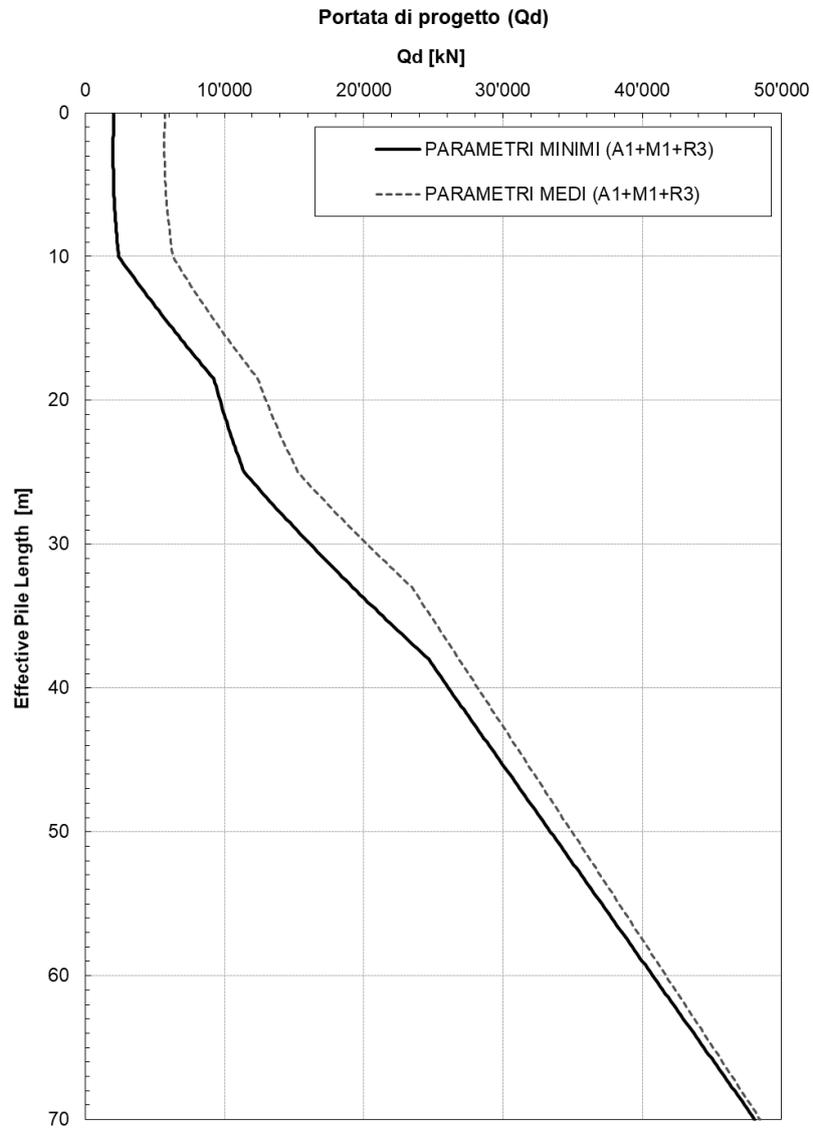
Per i pali oggetto della presente relazione di calcolo sono stati calcolati i seguenti valori di carico agente e, di conseguenza, la seguente lunghezza reagente L_r .

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

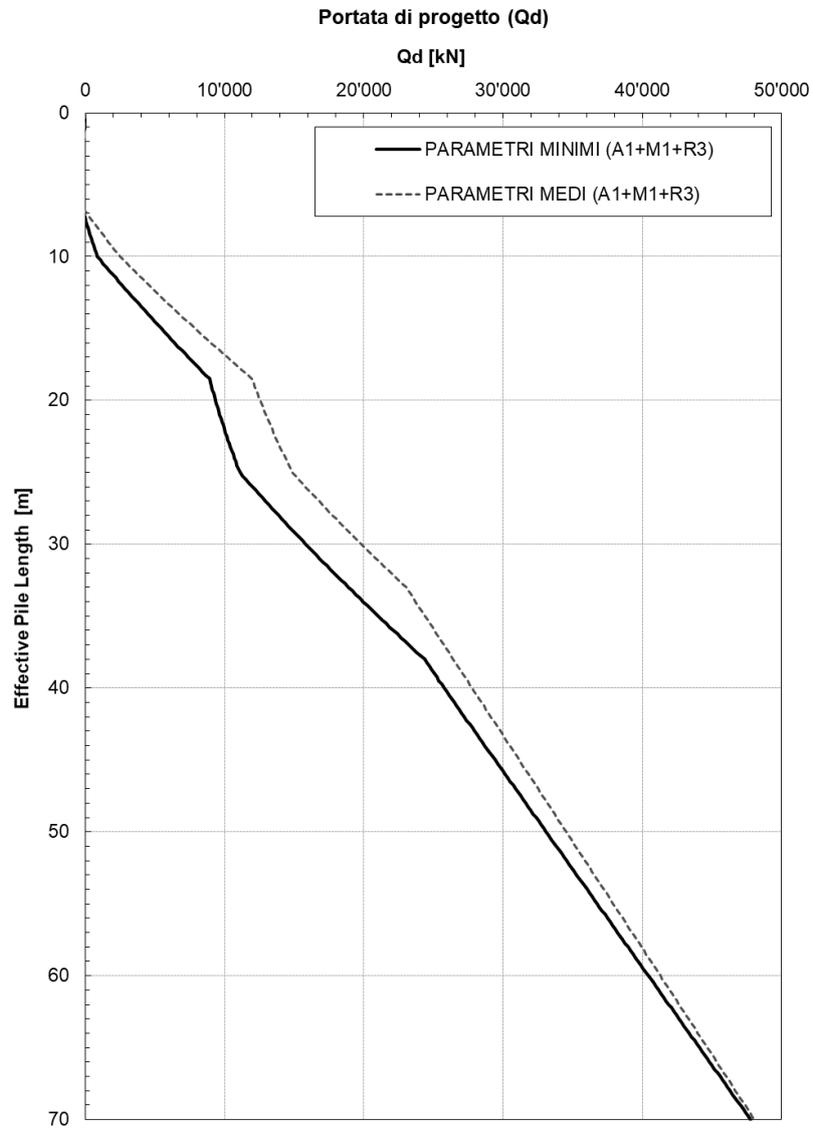
$$L_T = L_r + L_{nr}$$

RENO - CARREGGIATA SUD						
PILA	POSSIBILE SCALZAMENTO	L_{nr}	N_{SLU}	Q_d	L_r	L_T
		[m]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
P4	Sì	4.09	23600	25761	40	45
P5	Sì	9.03	24000	25761	45	55

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

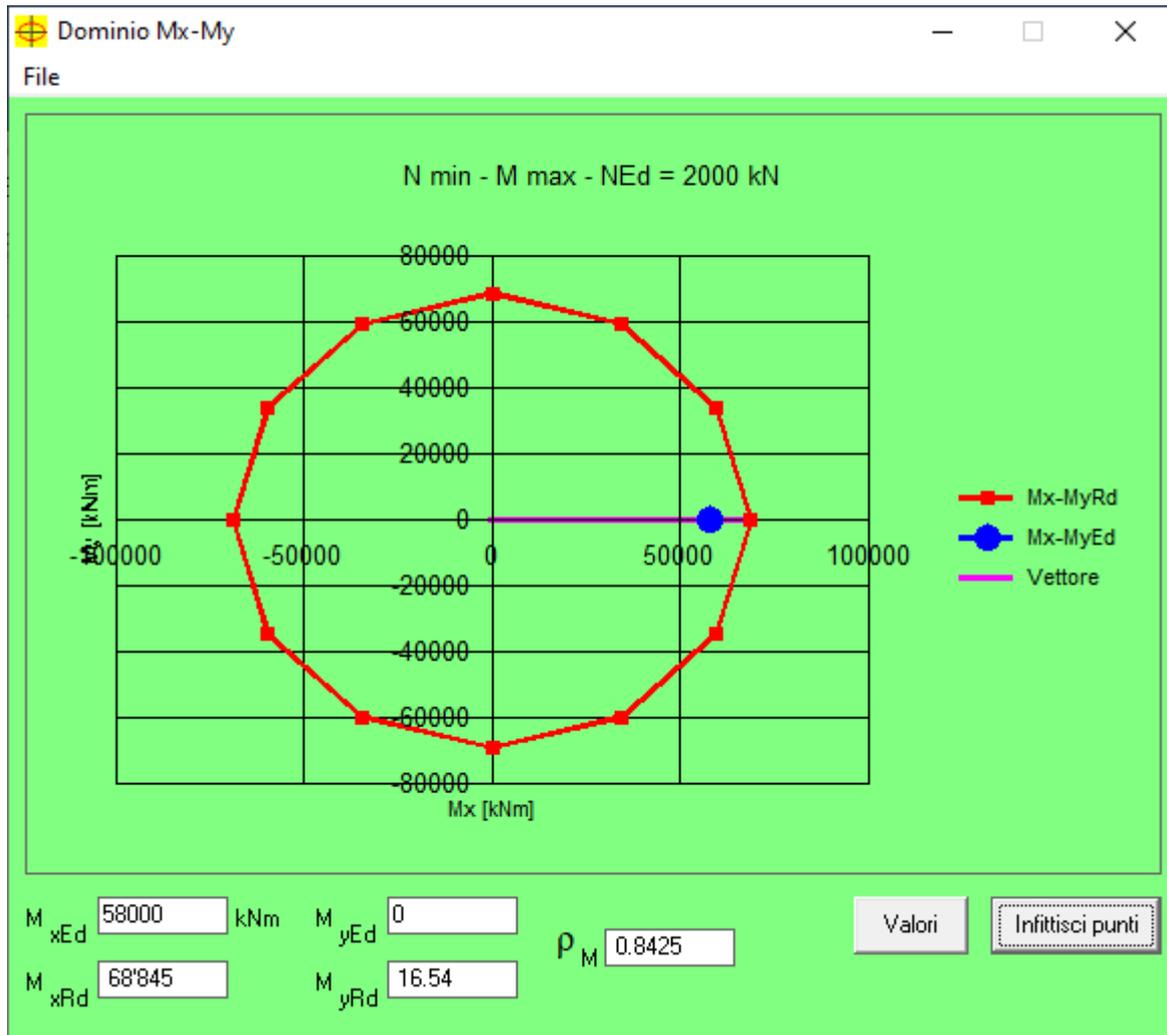
angolo asse neutro θ° : 0

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 N/mm²
 E_s/E_c : 15 f_{cc}/f_{cd} : 0.8
 ϵ_{syd} : 1.957 ‰ $\sigma_{c,adm}$: 12.25 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$: 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: **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_{Ed}: -511 kN
 M_{xEd}: 17667 kNm
 M_{yEd}: 1012 kNm

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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}: 37'762 kN m
 M_{yRd}: 2'347 kN m
 σ_c : -19.83 N/mm²
 σ_s : 391.3 N/mm²
 ϵ_c : 3.5 ‰
 ϵ_s : 33.35 ‰
 d: 250.5 cm
 x: 23.8 x/d: 0.09499
 δ : 0.7

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

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

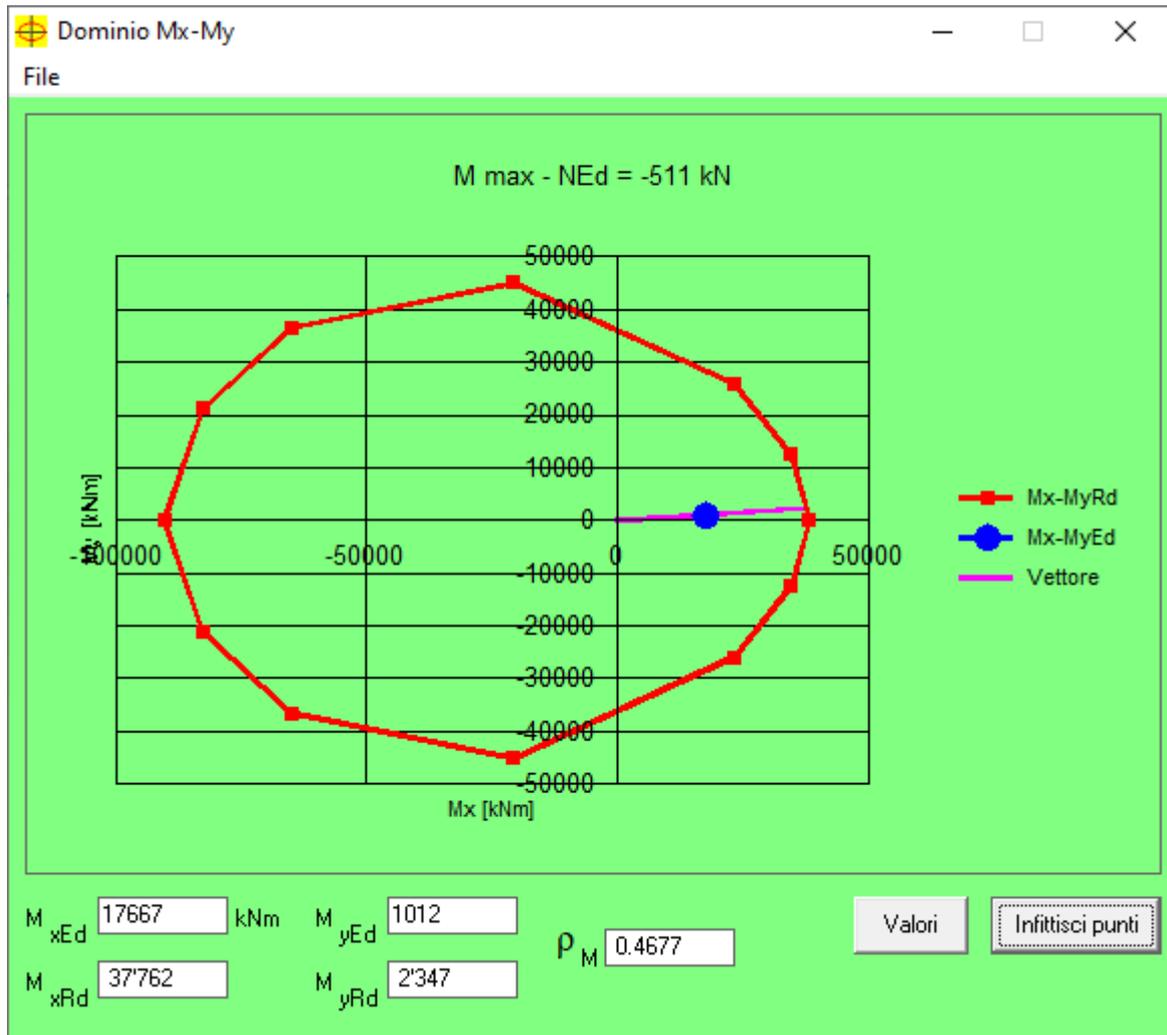
Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio Mx-My

angolo asse neutro θ° : 357

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

Tipo 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°

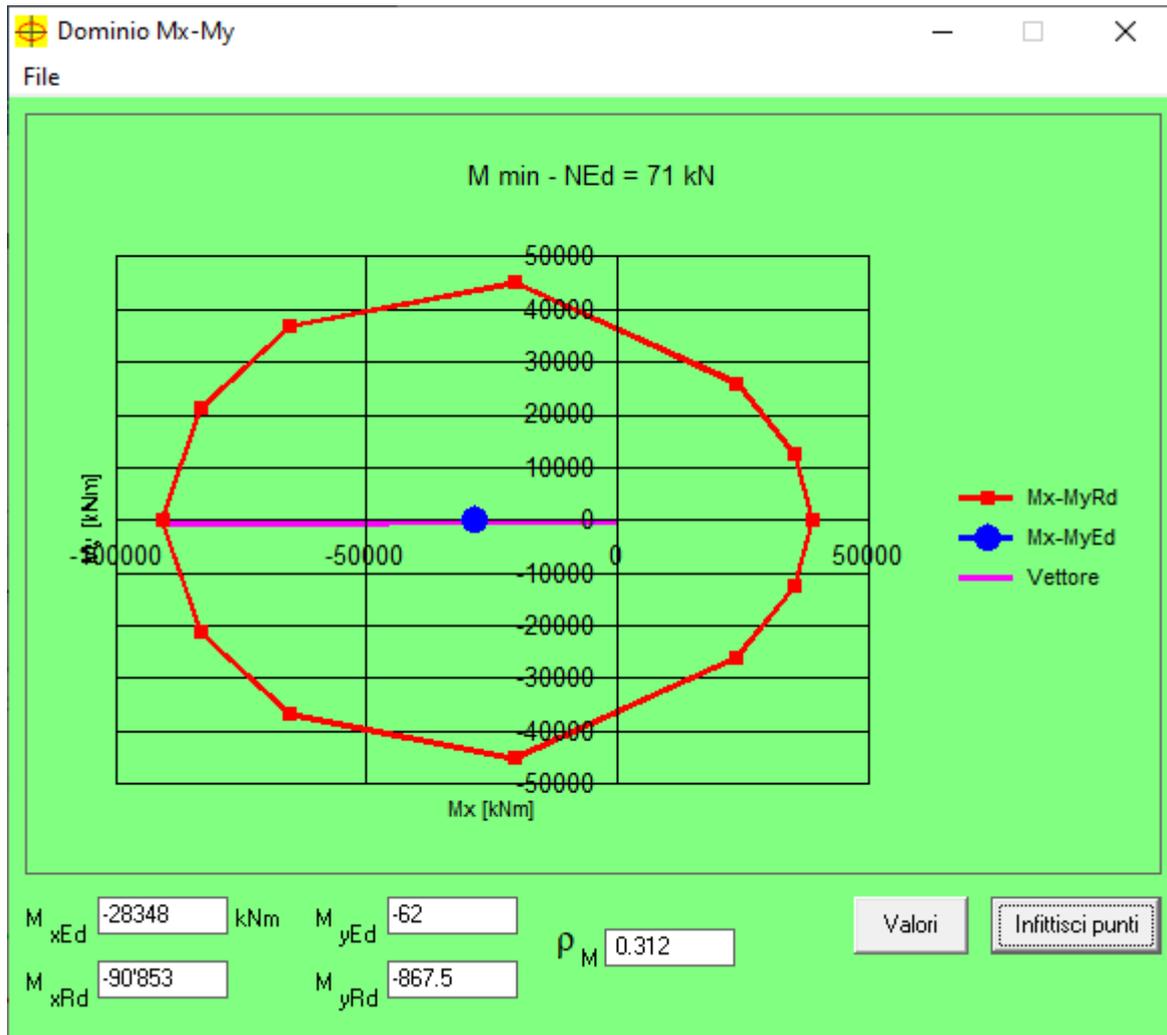
Precompresso

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\alpha_c = 1.00 -$$

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

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

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

$$V_{\text{Ed}} = 13979 \text{ kN} < V_{\text{Rd}} = 33087 \text{ kN} \text{ Verificato}$$