

# S.S. N. 9 "VIA EMILIA"

## VARIANTE DI CASALPUSTERLENGO ED ELIMINAZIONE PASSAGGIO A LIVELLO SULLA S.P. EX S.S. N.234

### PROGETTO ESECUTIVO

  Ing. Renato Vaira <small>(Ordine degli Ingg. di Torino e Provincia n° 4863 W)</small>	<b>ING. RENATO DEL PRETE</b>  Ing. Renato Del Prete <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073</small>	<b>DOTT. GEOL. DANILO GALLO</b>  Dott. Geol. Danilo Gallo <small>Ordine dei Geologi della Regione Puglia n° 588</small>	<b>INTEGRAZIONE PRESTAZIONI</b>  Ing. Renato Del Prete	<b>PROGETTISTA</b>  Ing. Valerio Bajetti <small>(I.T. S.r.l.)</small>
	<b>PROGETTAZIONE STRADALE</b>  Ing. Gaetano Ranieri <small>(Ga&amp;M S.r.l.)</small>	<b>PROGETTAZIONE IDRAULICA</b>  Ing. Fabrizio Bajetti <small>(I.T. S.r.l.)</small>		
	<b>PROGETTAZIONE OPERE D'ARTE MAGGIORI</b>  Ing. Renato Vaira <small>(Studio Corona S.r.l.)</small>	<b>PROGETTAZIONE OPERE D'ARTE MINORI</b>  Ing. Nicola Ligas <small>(I.T. S.r.l.)</small>		
  Ing. Valerio Bajetti <small>Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211</small>	<b>SETAC Srl</b> Servizi & Engineering Trasporti Ambiente Costruzioni  Prof. Ing. Luigi Monterisi <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1771</small>	  E&G Engineering & Graphics S.r.l.  Ing. Gabriele Incecchi <small>Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-12102</small>	<b>COMPUTI</b>  Ing. Valerio Bajetti <small>(I.T. S.r.l.)</small>	<b>CANTIERISTICA</b>  Ing. Gaetano Ranieri <small>(Ga&amp;M S.r.l.)</small>
	<b>GEOLOGIA</b>  Dott. Danilo Gallo	<b>GEOTECNICA</b>  Ing. Gianfranco Sodero <small>(Studio Corona S.r.l.)</small>		
   Prof. Ing. Matteo Ranieri <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1137</small>	<b>ECOPLAN</b> <small>Società di Ingegneria e Architettura</small>  Arch. Nicoletta Frattini <small>Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433</small>	<b>ARKE'</b> INGEGNERIA s.r.l. <small>Via Impugnatura Preparata 4 - 70126 Bari</small>  Ing. Gioacchino Angarano <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970</small>	<b>AMBIENTE</b>  Dott. Emilio Macchi <small>(ECOPLAN S.r.l.)</small>	<b>SICUREZZA</b>  Ing. Gaetano Ranieri <small>(Ga&amp;M S.r.l.)</small>

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO    Dott. Ing. Fabrizio CARDONE	IL RESPONSABILE DELLA INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE    Ing. Renato DEL PRETE	PROGETTISTA    Ing. Valerio BAJETTI	GEOLOGO    Dott. Danilo GALLO	IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE    Ing. Gaetano RANIERI
--	---	--	---	---

<h1 style="font-size: 2em;">HE05</h1>	<h2 style="font-size: 1.5em;">H - PROGETTO STRUTTURALE OPERE PRINCIPALI</h2> <h3 style="font-size: 1.2em;">VI04 - VIADOTTO FF.SS.</h3> <h4 style="font-size: 1.1em;">RELAZIONE DI CALCOLO GEOTECNICA - PALI DI FONDAZIONE</h4>
---------------------------------------	--

CODICE PROGETTO  PROGETTO      LIV. PROG.      N. PROG. <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">COMI</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">E</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1701</span> </div>	NOME FILE HE05-P00VI04STRRE05_C.dwg  CODICE ELAB.    P00VI04STRRE05	REVISIONE  C	SCALA:  -----
---	--	--------------------	---------------------

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
D					
C	EMISSIONE A SEGUITO ISTRUTTORIA	LUGLIO 2018	ARCH. MAURO SASSO	PROF. ING. LUIGI MONTERISI	ING. VALERIO BAJETTI
B	EMISSIONE A SEGUITO ISTRUTTORIA	FEBBRAIO 2018	ARCH. MAURO SASSO	PROF. ING. LUIGI MONTERISI	ING. VALERIO BAJETTI
A	EMISSIONE	DICEMBRE 2017	ING. NICOLA LIGAS	PROF. ING. LUIGI MONTERISI	ING. VALERIO BAJETTI

## SOMMARIO

1	PREMESSA .....	2
2	NORMATIVA.....	2
3	MATERIALI .....	3
3.1	Calcestruzzo pali .....	3
3.2	Armature ordinarie c.a. ....	3
3.3	Caratteristiche di durabilità e copriferri .....	3
4	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE .....	3
5	GENERALITÀ SULLE VERIFICHE GEOTECNICHE E STRUTTURALI DEI PALI .....	5
5.1	Verifiche di resistenza assiale (verticale) .....	5
5.2	Verifiche di resistenza ai carichi trasversali (orizzontali).....	8
5.3	Verifiche di deformazione .....	9
6	PALI SPALLE.....	9
6.1	Sollecitazioni di progetto alla testa dei pali.....	9
6.2	Calcolo delle caratteristiche di sollecitazione e deformazione del palo.....	10
6.3	Verifica dei pali soggetti a carico verticale.....	15
6.4	Pali soggetti a carico orizzontale - Verifica di resistenza del terreno .....	15
6.5	Verifiche di deformazione palo.....	17
6.6	Verifiche strutturali palo .....	17
6.6.1	Verifiche di resistenza allo stato limite ultimo .....	17
6.6.2	Verifiche tensionali allo stato limite di esercizio – Combinazioni rare .....	17
6.6.3	Verifiche di fessurazione – Combinazioni frequenti.....	18
6.6.4	Verifiche di fessurazione – Combinazioni quasi permanenti .....	18
6.6.5	Tabulato di calcolo.....	18
7	PALI PILE .....	27
7.1	Sollecitazioni di progetto alla testa dei pali.....	27
7.2	Calcolo delle caratteristiche di sollecitazione e deformazione del palo.....	29
7.3	Verifica dei pali soggetti a carico verticale.....	34
7.4	Pali soggetti a carico orizzontale - Verifica di resistenza del terreno .....	34
7.5	Verifiche di deformazione palo.....	36
7.6	Verifiche strutturali palo .....	36
7.6.1	Verifiche di resistenza allo stato limite ultimo .....	36
7.6.2	Verifiche di resistenza allo stato limite ultimo – combinazioni eccezionali .....	36
7.6.3	Verifiche tensionali allo stato limite di esercizio – Combinazioni rare .....	36
7.6.4	Verifiche di fessurazione.....	37
7.6.5	Tabulato di calcolo.....	37

## 1 PREMESSA

La presente relazione riporta i calcoli statici e geotecnici necessari per la progettazione esecutiva dei pali di fondazione del Viadotto sulla Linea FF.SS. Pavia-Mantova, tra le Pk. 3+639.179 e Pk. 3+739.179 della Variante di Casalpusterlengo alla S.S. n. 9 "Via Emilia". L'opera in oggetto presenta uno schema statico di trave continua su tre campate aventi luci tra gli assi di appoggio pari a 31+38+31 m.

I pali di fondazione sono trivellati in cls. armato, di diametro 1200 mm e hanno la seguente disposizione:

- Spalle (uniche per entrambe le carreggiate):

- numero pali: N = 10
- interasse trasv.: It = 3.60 m
- lunghezza: L = 21.00 m

- Pile (separate per ogni carreggiata):

- numero pali: N = 10
- interasse trasv.: It = 3.60 m
- interasse long.: Il = 3.60 m
- lunghezza: L = 21.00 m

I pali delle spalle attraversano il rilevato in progetto; per evitare fenomeni di attrito negativo si dispone un rivestimento di lamiera metallica fino a 2 m di profondità dal piano di campagna.

## 2 NORMATIVA

Nella redazione dei calcoli statici ci si è attenuti alle prescrizioni della Normativa vigente; in particolare:

• **Legge n°1086 del 05/11/1971**

"Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica"

- **Legge n°64 del 02/02/1974:**

"Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"

• **Decreto Ministeriale 14/01/2008**

"Norme tecniche per le costruzioni"

- **Circolare Min. 02/02/2009, n° 617**

"Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008"

- **RFI DTC INC PO SP IFS 002 A**

Rete Ferroviaria Italiana: "Specifica per la progettazione e l'esecuzione di cavalcavia e passerelle pedonali sulla sede ferroviaria"

### 3 MATERIALI

#### 3.1 CALCESTRUZZO PALI

classe	C25/30	
resistenza caratteristica cubica		$R_{ck} \geq 30 \text{ N/mm}^2$
resistenza caratteristica cilindrica		$f_{ck} \geq 25 \text{ N/mm}^2$
resistenza allo stato limite ultimo:		$f_{cd} = 25 \times 0.85 / 1.5 = 14.17 \text{ N/mm}^2$
resistenza allo s.l.u. comb. eccezionali:		$f_{cde} = 25 \times 0.85 / 1.0 = 21.25 \text{ N/mm}^2$
tensione limite per combinazioni caratteristiche (rare):		$s_1 = 0.55 \times 25 = 13.75 \text{ N/mm}^2$
tensione limite per combinazioni quasi permanenti:		$s_2 = 0.40 \times 25 = 10.00 \text{ N/mm}^2$

#### 3.2 ARMATURE ORDINARIE C.A.

acciaio tipo:	B450C
tensione caratteristica di snervamento:	$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$
tensione caratteristica di rottura:	$f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$
resistenza allo stato limite ultimo:	$f_{yd} = 450 / 1.15 = 391.3 \text{ N/mm}^2$
resistenza allo s.l.u. comb. eccezionali:	$f_{cde} = 450 / 1.0 = 450 \text{ N/mm}^2$
tensione limite per combinazioni caratteristiche (rare):	$s_3 = 0.75 \times 450 = 337.5 \text{ N/mm}^2$

#### 3.3 CARATTERISTICHE DI DURABILITÀ E COPRIFERRI

Le caratteristiche minime di resistenza dei calcestruzzi per la durabilità e i copriferri vengono definiti in accordo con la Circolare 02/02/2009 n.617 e con UNI EN 206-1 per una vita nominale di 50 anni.

- Classe di esposizione ambientale: XC2 (cond. amb. ordinarie)
- Copriferro nominale:  $C_{nom} = C_{min} + \Delta c$   $C_{nom} = 80 \text{ mm}$
- Valori limite di apertura fessure: comb. frequenti:  $w_3 = 0.4 \text{ mm}$   
comb. quasi perm.:  $w_2 = 0.3 \text{ mm}$

### 4 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Si adottano le seguenti caratteristiche derivate dalla Relazione geotecnica:

a) Unità geotecnica U1: terreni prevalentemente incoerenti (sabbie)

- Peso specifico:  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
- Peso specifico efficace:  $\gamma' = 9 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito interno:  $\varphi = 32^\circ$
- Coesione drenata:  $c' = 0$
- Coefficiente di reazione laterale:  $K_h = \frac{\beta \cdot Z}{D}$  in cui:

Z: profondità

D: diametro del palo

$\beta$ : coefficiente come da tabella seguente

Coefficiente $\beta$ [MN/m <sup>3</sup> ]		
	Secco / umido	Saturo
Sabbia soffice ( $D_r < 30\%$ )	2.24	1.24
Sabbia media ( $30 < D_r < 70\%$ )	6.72	4.48
Sabbia e ghiaia ( $D_r > 70\%$ )	17.92	10.88

b) Unità geotecnica U2: terreni prevalentemente coesivi (limi)

- Peso specifico:  $\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3$
- Peso specifico efficace:  $\gamma' = 9.7 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito interno:  $\varphi = 27^\circ$
- Coesione drenata:  $c' = 17 \text{ kN/m}^2$
- Coefficiente di reazione laterale (Bowles):  $c_u$ : coesione non drenata

$K_h$ [MN/m <sup>3</sup> ]		
	minimo	massimo
$c_u \leq 100 \text{ kN/m}^2$	12.2	24.5
$c_u \leq 200 \text{ kN/m}^2$	24.5	48.9
$c_u > 200 \text{ kN/m}^2$	48.9	490

Nella tabella seguente sono riportati i valori  $c_u$  e  $K_h$  in funzione della profondità.

Terreno coesivo U2		
Profondità [m]	$C_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$K_h$ [MN/m <sup>3</sup> ]
2.00	5.40	12.86
4.00	15.60	14.12
6.00	25.90	15.39
8.00	36.20	16.65
10.00	46.40	17.91
12.00	56.70	19.17
14.00	67.00	20.44
16.00	77.20	21.70
18.00	87.50	22.96
20.00	97.80	24.23
22.00	108.00	26.45
24.00	118.30	28.97
26.00	128.60	31.48
28.00	138.80	33.97
30.00	149.10	36.48

c) Rilevato stradale (spalle): si nota che l'attrito laterale viene trascurato in quanto il palo è rivestito di lamierino; il coefficiente di reazione laterale viene cautelativamente valutato come per le sabbie (a), ma ridotto al 10 %.

- Peso specifico:  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

- Angolo di attrito interno:  $\varphi = 35^\circ$  (trascurato per portanza laterale)
- Coesione drenata:  $c' = 0$
- Coefficiente di reazione laterale:  $K_h = \frac{\beta \cdot Z}{D}$  in cui:

Z: profondità

D: diametro del palo

$\beta$ : coefficiente come da tabella seguente

Coefficiente $\beta$ [MN/m <sup>3</sup> ]		
	Secco / umido	Saturo
Rilevato stradale	0.672	0.448

Falda: il terreno in situ si considera saturo a partire da 1.00 m di profondità.

## 5 GENERALITÀ SULLE VERIFICHE GEOTECNICHE E STRUTTURALI DEI PALI

Le verifiche sono state eseguite con l'ausilio dei seguenti programmi di calcolo:

- RC-Sec, realizzato da "GeoStru Software S.a.s., Lungomare snc, 89032 – Bianco (RC)", utilizzato per la verifica a pressoflessione e taglio delle sezioni in calcestruzzo armato agli stati limite.
- AllPile, realizzato da "CivilTech Software, Bellevue, WA U.S.A."; utilizzato per le verifiche geotecniche dei pali.

### 5.1 VERIFICHE DI RESISTENZA ASSIALE (VERTICALE)

La verifica di resistenza assiale dei pali viene svolta allo stato limite ultimo; facendo riferimento alle NTC 2008 si segue:

- Approccio 2: Combinazione: (A1/M1/R3)

Coefficienti parziali delle resistenze  $\gamma_R$ : segue estratto Tabella 6.4.II, NTC 2008, con i coefficienti parziali adottati evidenziati.

**Tabella 6.4.II** – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	$\gamma_t$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

(\*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto

Fattore di correlazione (1 indagine):  $\xi_4$ : segue estratto Tabella 6.4.IV, NTC 2008, con i coefficienti parziali adottati evidenziati.

**Tabella 6.4.IV – Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate.**

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

La verifica viene eseguita tramite il programma di calcolo "AllPile", versione 7.12, prodotto da CivilTech Software, Bellevue, WA USA, il programma utilizza le procedure descritte in "Foundation & Earth Structures, Design Manual 7.02", pubblicato da "Department of Navy, Naval Facilities Engineering Command (NAVFAC, USA)".

La resistenza ultima del palo per sforzo assiale è la somma delle resistenze di punta e laterale:

$$Q_{ult} = Q_{tip} + Q_{side}$$

Da cui deriva la resistenza di calcolo:

$$R_d = \frac{Q_{tip}}{\gamma_b \times \xi} + \frac{Q_{side}}{\gamma_s \times \xi} = \frac{Q_{tip}}{1.35 \times 1.70} + \frac{Q_{side}}{1.15 \times 1.70}$$

La resistenza ultima di base vale:

$$Q_{tip} = A_{tip} \times (N_q \times S_v + N_c \times C) \text{ in cui:}$$

$A_{tip}$  : area sezione del palo alla punta

$N_q$  : fattore di portanza per terreni sciolti, tabellato in funzione dell'angolo di attrito e del tipo di palo (infisso o trivellato) (ved. Tabella 4.1 seguente)

**Table 4-1. Bearing Capacity Factor,  $N_q$**

$\Phi$ (Internal friction)	$N_q$ (Displacement pile)	$N_q$ (Non-Displacement pile)
26	11.0	5.6
28	15.2	7.6
30	21.0	10.3
31	24.6	12.1
32	29.1	14.2
33	34.5	16.9
34	41.3	20.3
35	49.9	24.6
36	60.9	30.1
37	75.0	37.1
38	93.0	46.1
39	116.	57.7
40	145.	72.3

$S_v$  : tensione verticale (efficace) alla punta palo, salvo le limitazioni:

$$S_v < q_{\text{limit}} = 7.2 \text{ N/mm}^2$$

$N_c$  : fattore di portanza per terreni coesivi, tabellato in funzione della profondità relativa della punta palo  $Z/D$  (ved. Tabella 4.2 seguente)

**Table 4-2. Bearing Capacity Factor,  $N_c$**

$z/B$ (Depth/Width)	$N_c$
0	6.3
1	7.8
2	8.4
3	8.8
4	9
>4	9

$C$ : coesione terreno

In presenza di discontinuità stratigrafiche nel tratto inferiore alla punta, si tiene conto delle caratteristiche dei terreni sottostanti interpolando per una profondità di 4 volte il diametro del palo.

La resistenza ultima laterale vale:

$$Q_{\text{side}} = \sum S_f \times P \times \Delta L = \sum (f_0 + C_a) \times P \times \Delta L \text{ in cui:}$$

$$f_0 = K_{\text{down}} \times S_v \times \tan \delta \text{ (in compressione)}$$

$$f_0 = K_{\text{up}} \times S_v \times \tan \delta \text{ (in trazione)}$$

$$K_{\text{down}} = S_h / S_v = 0.7 \text{ : (in compressione)}$$

$$K_{\text{up}} = S_h / S_v = 0.4 \text{ : (in trazione)}$$

$S_h$  : tensione orizzontale (efficace) lungo il palo:

$S_v$  : tensione verticale (efficace) lungo il palo, salvo le limitazioni:

$$S_f < (f_0 + C_a)_{\text{limit}} = 0.20 \text{ N/mm}^2 \text{ : portanza laterale limite}$$

$\delta = 0.8 \times \varphi$  : angolo di attrito calcestruzzo/terreno

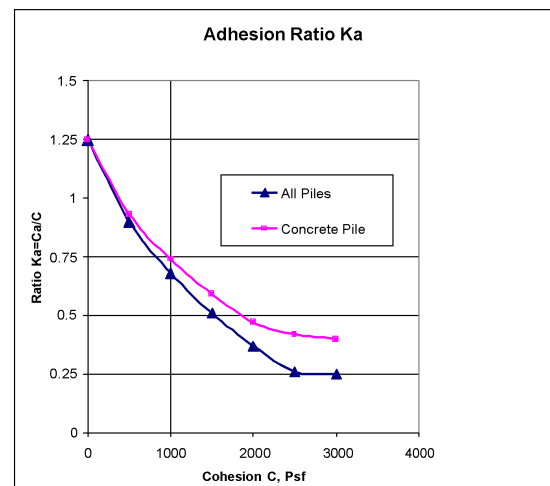
$$C_a = K_c \times K_a \times C$$

$K_c = 1$ : fattore di adesione

$K_a$ : rapporto di adesione (vedi figura a lato)

$P$ : perimetro palo

$\Delta L$ : lunghezza tratto di palo





Il cedimento del palo viene calcolato secondo Reese e O'Neel (1988).

## 5.2 VERIFICHE DI RESISTENZA AI CARICHI TRASVERSALI (ORIZZONTALI)

La verifica di resistenza laterale dei pali viene svolta allo stato limite ultimo; facendo riferimento alle NTC 2008 si segue:

- Approccio 2: Combinazione: (A1/M1/R3)

Coefficienti parziali delle resistenze  $\gamma_T$ : segue estratto Tabella 6.4.VI, NTC 2008, con i coefficienti parziali adottati evidenziati.

**Tabella 6.4.VI** - Coefficienti parziali  $\gamma_T$  per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali.

COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
$\gamma_T = 1,0$	$\gamma_T = 1,6$	$\gamma_T = 1,3$

La determinazione delle sollecitazioni lungo il palo viene eseguita tramite il programma di calcolo "AllPile" applicando direttamente il codice COM624P (FHWA-SA-91-048, COM624P – Laterally Loaded Pile Program for the Microcomputer, Version 2.0, Wang and Reese, 1993).

Il codice risolve l'analisi laterale nell'ipotesi che il modulo di deformazione sia proporzionale alla profondità, con l'integrazione iterativa alle differenze finite delle seguenti equazioni differenziali non lineari:

$$1) \quad EI \frac{d^4 Y}{dz^4} + Q \frac{d^2 Y}{dz^2} - R - P_q = 0$$

$$2) \quad EI \left( \frac{d^3 Y}{dz^3} \right) + Q \left( \frac{dY}{dz} \right) - T = 0$$

$$3) \quad EI \left( \frac{d^2 Y}{dz^2} \right) - M = 0$$

$$4) \quad \frac{dY}{dz} - S_t = 0$$

In cui:

Q: carico assiale sul palo

Y: freccia laterale del palo alla profondità Z dalla testa palo

R: reazione del suolo per unità di lunghezza

E: modulo di elasticità del palo

I: momento d'inerzia del palo

$P_q$ : carico laterale distribuito lungo il palo

T: sforzo di taglio

M: momento flettente  
S: rotazione del palo

### 5.3 VERIFICHE DI DEFORMAZIONE

Per i pali si assumono le seguenti deformazioni limite ammissibili, allo SLU:

- deformazione orizzontale massima: 50 mm
- deformazione verticale massima: 20 mm

## 6 PALI SPALLE

### 6.1 SOLLECITAZIONI DI PROGETTO ALLA TESTA DEI PALI

Seguono tabelle delle sollecitazioni alla testa dei pali ricavate dalla Relazione di calcolo delle sovrastrutture per le diverse combinazioni di carico.

Numero di pali di fondazione														
10		PALO 1	PALO 2	PALO 3	PALO 4	PALO 5	PALO 6	PALO 7	PALO 8	PALO 9	PALO 10			
Y		-16,20	-12,60	-9,00	-5,40	-1,80	1,80	5,40	9,00	12,60	16,20			
Y <sup>2</sup>		262,44	158,76	81,00	29,16	3,24	3,24	29,16	81,00	158,76	262,44	1.069,20		
COMBINAZIONI DI CARICO		CONDIZIONE	N <sub>sdl.1</sub> [kN]	N <sub>sdl.2</sub> [kN]	N <sub>sdl.3</sub> [kN]	N <sub>sdl.4</sub> [kN]	N <sub>sdl.5</sub> [kN]	N <sub>sdl.6</sub> [kN]	N <sub>sdl.7</sub> [kN]	N <sub>sdl.8</sub> [kN]	N <sub>sdl.9</sub> [kN]	N <sub>sdl.10</sub> [kN]	M <sub>sd</sub> [kNm]	V <sub>sd</sub> [kN]
SLE - QUASI PERMANENTI	GEN Q.P. (max)	1	1.052,33	1.053,76	1.055,20	1.056,63	1.058,06	1.059,50	1.060,93	1.062,37	1.063,80	1.065,23	-239,51	236,89
	GEN Q.P. (min)	1	1.039,86	1.041,29	1.042,72	1.044,16	1.045,59	1.047,03	1.048,46	1.049,89	1.051,33	1.052,76	-268,43	224,63
	GEN Q.P. (max)	2	614,47	664,45	714,44	764,42	814,41	864,39	914,38	964,36	1.014,35	1.064,33	-242,07	235,32
	GEN Q.P. (min)	2	614,53	663,12	711,70	760,29	808,87	857,46	906,04	954,63	1.003,21	1.051,80	-243,22	229,19
SLE - FREQUENTI	GEN FREQ Mobili(max)	1	1.192,87	1.216,78	1.240,69	1.264,60	1.288,50	1.312,41	1.336,32	1.360,23	1.384,14	1.408,05	12,12	361,91
	GEN FREQ Verb(max)	1	1.053,12	1.054,38	1.055,64	1.056,90	1.058,16	1.059,42	1.060,68	1.061,94	1.063,20	1.064,46	9,81	360,93
	GEN FREQ Termico(max)	1	1.051,74	1.053,58	1.055,42	1.057,27	1.059,11	1.060,95	1.062,79	1.064,63	1.066,47	1.068,32	12,71	362,19
	GEN FREQ Mobili(min)	1	1.181,29	1.151,30	1.121,30	1.091,30	1.061,31	1.031,31	1.001,31	971,32	941,32	911,33	-25,68	345,89
	GEN FREQ Verb(min)	1	1.041,82	1.042,82	1.043,82	1.044,82	1.045,82	1.046,82	1.047,81	1.048,81	1.049,81	1.050,81	-19,12	348,68
	GEN FREQ Termico(min)	1	1.036,77	1.038,62	1.040,46	1.042,30	1.044,14	1.045,98	1.047,82	1.049,67	1.051,51	1.053,35	-22,01	347,48
	GEN FREQ Mobili(max)	2	562,62	650,98	739,34	827,70	916,06	1.004,42	1.092,78	1.181,14	1.269,50	1.357,86	7,25	359,84
	GEN FREQ Verb(max)	2	614,86	666,76	714,66	764,56	814,46	864,35	914,25	964,15	1.014,05	1.063,95	6,09	359,36
	GEN FREQ Termico(max)	2	613,54	663,87	714,20	764,53	814,86	865,19	915,52	965,85	1.016,18	1.066,51	7,54	359,98
	GEN FREQ Mobili(min)	2	1.116,06	1.053,20	990,33	927,46	864,60	801,73	738,87	676,00	613,14	550,27	-11,66	351,84
SLE - RARE	GEN FREQ Verb(min)	2	615,51	663,88	712,25	760,62	808,98	857,35	905,72	954,09	1.002,46	1.050,82	-8,37	353,23
	GEN FREQ Termico(min)	2	613,62	662,27	710,92	759,57	808,22	856,87	905,51	954,16	1.002,81	1.051,46	-9,82	352,62
	GEN RARA Mobili(max)	1	1.274,01	1.313,70	1.353,39	1.393,08	1.432,77	1.472,46	1.512,15	1.551,84	1.591,54	1.631,23	97,33	404,55
	GEN RARA Verb(max)	1	1.190,95	1.215,57	1.240,19	1.264,81	1.289,43	1.314,05	1.338,67	1.363,29	1.387,91	1.412,53	98,13	405,40
	GEN RARA Frenam(max)	1	1.191,39	1.215,41	1.239,43	1.263,46	1.287,48	1.311,50	1.335,53	1.359,55	1.383,57	1.407,59	145,95	424,75
	GEN RARA Termico(max)	1	1.197,00	1.221,38	1.245,76	1.270,14	1.294,52	1.318,90	1.343,29	1.367,67	1.392,05	1.416,43	109,70	409,73
	GEN RARA Mobili(min)	1	1.260,35	1.212,51	1.164,67	1.116,84	1.069,00	1.021,16	973,33	925,49	877,65	829,81	49,93	384,25
	GEN RARA Verb(min)	1	1.178,05	1.148,51	1.118,96	1.089,41	1.059,87	1.030,32	1.000,77	971,23	941,68	912,13	54,54	386,75
	GEN RARA Frenam(min)	1	1.178,49	1.148,35	1.118,21	1.088,06	1.057,92	1.027,78	997,63	967,49	937,35	907,20	102,36	406,28
	GEN RARA Termico(min)	1	1.174,13	1.144,34	1.114,56	1.084,77	1.054,98	1.025,20	995,41	965,63	935,84	906,06	42,96	381,35
SLU - STR	GEN RARA Mobili(max)	2	526,30	639,64	752,98	866,31	979,65	1.092,99	1.206,32	1.319,66	1.433,00	1.546,34	91,40	401,74
	GEN RARA Verb(max)	2	561,01	649,87	738,73	827,59	916,45	1.005,31	1.094,17	1.183,03	1.271,89	1.360,75	91,80	402,04
	GEN RARA Frenam(max)	2	562,37	650,68	738,98	827,29	915,60	1.003,91	1.092,22	1.180,53	1.268,84	1.357,15	115,71	411,94
	GEN RARA Termico(max)	2	561,52	650,82	740,12	829,42	918,72	1.008,02	1.097,32	1.186,61	1.275,91	1.365,21	97,59	404,35
	GEN RARA Mobili(min)	2	1.154,97	1.083,32	1.011,67	940,02	868,38	796,73	725,08	653,43	581,78	510,13	67,70	391,64
	GEN RARA Verb(min)	2	1.113,83	1.051,32	988,82	926,31	863,81	801,31	738,80	676,30	613,79	551,29	70,01	392,75
	GEN RARA Frenam(min)	2	1.112,91	1.050,36	987,81	925,26	862,71	800,16	737,61	675,06	612,51	549,96	93,92	402,70
	GEN RARA Termico(min)	2	1.109,34	1.047,27	985,21	923,15	861,09	799,03	736,96	674,90	612,84	550,78	64,22	390,18
	GEN SLU Mobili(max)	1	1.743,43	1.797,28	1.851,14	1.905,00	1.958,86	2.012,72	2.066,57	2.120,43	2.174,29	2.228,15	130,14	546,00
	GEN SLU Verb(max)	1	1.631,14	1.664,69	1.698,24	1.731,78	1.765,33	1.798,88	1.832,42	1.865,97	1.899,52	1.933,06	131,23	547,30
GEN SLU Frenam(max)	1	1.632,13	1.664,79	1.697,44	1.730,09	1.762,74	1.795,39	1.828,04	1.860,69	1.893,35	1.926,00	195,78	573,15	
GEN SLU Termico(max)	1	1.638,72	1.671,91	1.705,10	1.738,29	1.771,48	1.804,67	1.837,85	1.871,04	1.904,23	1.937,42	145,11	552,25	
GEN SLU Mobili(min)	1	1.727,23	1.662,93	1.598,62	1.534,32	1.470,01	1.405,71	1.341,40	1.277,10	1.212,79	1.148,49	71,36	520,77	
GEN SLU Verb(min)	1	1.615,96	1.576,40	1.536,82	1.497,25	1.457,67	1.418,09	1.378,51	1.338,94	1.299,36	1.259,78	77,59	524,31	
GEN SLU Frenam(min)	1	1.616,97	1.576,50	1.536,02	1.495,55	1.455,08	1.414,61	1.374,13	1.333,66	1.293,19	1.252,72	142,14	550,42	
GEN SLU Termico(min)	1	1.611,58	1.571,65	1.531,71	1.491,78	1.451,84	1.411,91	1.371,97	1.332,04	1.292,10	1.252,16	63,70	517,60	
GEN SLU Mobili(max)	2	709,76	865,68	1.021,60	1.177,52	1.333,45	1.489,37	1.645,29	1.801,21	1.957,14	2.113,06	124,60	543,16	
GEN SLU Verb(max)	2	756,54	879,43	1.002,33	1.125,22	1.248,12	1.371,01	1.493,91	1.616,81	1.739,70	1.862,60	125,14	543,60	
GEN SLU Frenam(max)	2	758,57	880,67	1.002,78	1.124,89	1.246,99	1.369,10	1.491,21	1.613,32	1.735,42	1.857,53	157,42	556,90	
GEN SLU Termico(max)	2	757,31	880,70	1.004,08	1.127,47	1.250,86	1.374,24	1.497,63	1.621,02	1.744,40	1.867,79	132,08	546,30	
GEN SLU Mobili(min)	2	1.585,73	1.486,11	1.386,49	1.286,87	1.187,25	1.087,64	988,02	888,40	788,78	689,16	95,21	530,62	
GEN SLU Verb(min)	2	1.530,11	1.442,86	1.355,60	1.268,34	1.181,08	1.093,83	1.006,57	919,31	832,05	744,79	98,32	532,16	
GEN SLU Frenam(min)	2	1.529,08	1.441,71	1.354,35	1.266,98	1.179,62	1.092,25	1.004,89	917,53	830,16	742,80	130,60	545,53	
GEN SLU Termico(min)	2	1.524,88	1.438,12	1.351,36	1.264,60	1.177,83	1.091,07	1.004,31	917,55	830,78	744,02	91,37	529,01	

Numero di pali di fondazione **10**

	PALO 1	PALO 2	PALO 3	PALO 4	PALO 5	PALO 6	PALO 7	PALO 8	PALO 9	PALO 10	
Y	-16,20	-12,60	-9,00	-5,40	-1,80	1,80	5,40	9,00	12,60	16,20	
Y <sup>2</sup>	262,44	158,76	81,00	29,16	3,24	3,24	29,16	81,00	158,76	262,44	1.069,20

COMBINAZIONI DI CARICO		CONDIZIONE	N <sub>Sd,1</sub> [kN]	N <sub>Sd,2</sub> [kN]	N <sub>Sd,3</sub> [kN]	N <sub>Sd,4</sub> [kN]	N <sub>Sd,5</sub> [kN]	N <sub>Sd,6</sub> [kN]	N <sub>Sd,7</sub> [kN]	N <sub>Sd,8</sub> [kN]	N <sub>Sd,9</sub> [kN]	N <sub>Sd,10</sub> [kN]	MSd [kNm]	VSd [kN]
SLV	GEN SLV Long(max)	1-1	1.063,02	1.070,57	1.078,12	1.085,66	1.093,21	1.100,76	1.108,31	1.115,86	1.123,40	1.130,95	575,43	671,53
		1-2	1.029,61	1.037,16	1.044,71	1.052,26	1.059,81	1.067,35	1.074,90	1.082,45	1.090,00	1.097,55	606,05	671,53
		1-3	1.076,31	1.080,90	1.085,50	1.090,09	1.094,69	1.099,28	1.103,88	1.108,48	1.113,07	1.117,67	575,43	667,79
		1-4	1.042,90	1.047,49	1.052,09	1.056,69	1.061,28	1.065,88	1.070,47	1.075,07	1.079,66	1.084,26	606,05	667,79
	GEN SLV Trasv(max)	1-1	995,85	1.016,58	1.037,30	1.058,03	1.078,76	1.099,48	1.120,21	1.140,94	1.161,66	1.182,39	-5,54	431,86
		1-2	962,44	983,17	1.003,90	1.024,62	1.045,35	1.066,08	1.086,80	1.107,53	1.128,26	1.148,99	25,08	431,86
		1-3	995,85	1.016,58	1.037,30	1.058,03	1.078,76	1.099,48	1.120,21	1.140,94	1.161,66	1.182,39	-213,77	331,22
		1-4	962,44	983,17	1.003,90	1.024,62	1.045,35	1.066,08	1.086,80	1.107,53	1.128,26	1.148,99	-183,15	331,22
	GEN SLV Verf(max)	1-1	1.108,36	1.115,94	1.123,52	1.131,10	1.138,67	1.146,25	1.153,83	1.161,40	1.168,98	1.176,56	-40,61	373,02
		1-2	1.121,65	1.126,27	1.130,90	1.135,52	1.140,15	1.144,77	1.149,40	1.154,02	1.158,65	1.163,27	-40,61	366,52
		1-3	1.108,36	1.115,94	1.123,52	1.131,10	1.138,67	1.146,25	1.153,83	1.161,40	1.168,98	1.176,56	-249,49	249,56
		1-4	1.121,65	1.126,27	1.130,90	1.135,52	1.140,15	1.144,77	1.149,40	1.154,02	1.158,65	1.163,27	-249,49	239,74
	GEN SLV Long(min)	1-1	1.049,28	1.047,56	1.045,83	1.044,10	1.042,37	1.040,65	1.038,92	1.037,19	1.035,46	1.033,74	-712,16	7,44
		1-2	1.015,88	1.014,15	1.012,42	1.010,70	1.008,97	1.007,24	1.005,51	1.003,79	1.002,06	1.000,33	-681,54	7,44
		1-3	1.062,57	1.057,89	1.053,21	1.048,53	1.043,85	1.039,17	1.034,49	1.029,81	1.025,13	1.020,45	-712,16	71,01
		1-4	1.029,16	1.024,48	1.019,80	1.015,12	1.010,44	1.005,76	1.001,08	996,41	991,73	987,05	-681,54	71,01
	GEN SLV Trasv(min)	1-1	1.129,74	1.111,88	1.094,02	1.076,17	1.058,31	1.040,45	1.022,59	1.004,73	986,87	969,01	-204,24	363,10
		1-2	1.096,34	1.078,48	1.060,62	1.042,76	1.024,90	1.007,04	989,18	971,32	953,46	935,61	-173,62	363,10
		1-3	1.129,74	1.111,88	1.094,02	1.076,17	1.058,31	1.040,45	1.022,59	1.004,73	986,87	969,01	-412,47	276,40
		1-4	1.096,34	1.078,48	1.060,62	1.042,76	1.024,90	1.007,04	989,18	971,32	953,46	935,61	-381,85	276,40
	GEN SLV Verf(min)	1-1	970,53	968,78	967,02	965,26	963,51	961,75	959,99	958,24	956,48	954,72	-138,54	281,78
		1-2	983,82	979,11	974,40	969,69	964,98	960,27	955,57	950,86	946,15	941,44	-138,54	290,14
		1-3	970,53	968,78	967,02	965,26	963,51	961,75	959,99	958,24	956,48	954,72	-346,77	155,00
		1-4	983,82	979,11	974,40	969,69	964,98	960,27	955,57	950,86	946,15	941,44	-346,77	169,72
	GEN SLV Long(max)	2-1	613,98	670,17	726,37	782,56	838,76	894,95	951,15	1.007,34	1.063,54	1.119,73	430,57	608,63
		2-2	580,57	636,77	692,96	749,16	805,35	861,55	917,74	973,94	1.030,13	1.086,32	461,19	608,63
		2-3	627,27	680,51	733,75	786,99	840,23	893,48	946,72	999,96	1.053,20	1.106,45	430,57	606,57
		2-4	593,86	647,10	700,34	753,59	806,83	860,07	913,31	966,55	1.019,80	1.073,04	461,19	606,57
	GEN SLV Trasv(max)	2-1	576,62	640,24	703,87	767,49	831,11	894,73	958,36	1.021,98	1.085,60	1.149,23	-51,70	386,16
		2-2	543,21	606,84	670,46	734,08	797,70	861,33	924,95	988,57	1.052,20	1.115,82	-21,08	386,16
		2-3	576,62	640,24	703,87	767,49	831,11	894,73	958,36	1.021,98	1.085,60	1.149,23	-259,93	278,01
		2-4	543,21	606,84	670,46	734,08	797,70	861,33	924,95	988,57	1.052,20	1.115,82	-229,31	278,01
	GEN SLV Verf(max)	2-1	652,85	709,79	766,73	823,67	880,61	937,55	994,49	1.051,43	1.108,37	1.165,31	-87,10	350,61
		2-2	666,14	720,13	774,11	828,10	882,09	936,07	990,06	1.044,05	1.098,03	1.152,02	-87,10	347,16
		2-3	652,85	709,79	766,73	823,67	880,61	937,55	994,49	1.051,43	1.108,37	1.165,31	-295,33	225,95
		2-4	666,14	720,13	774,11	828,10	882,09	936,07	990,06	1.044,05	1.098,03	1.152,02	-295,33	220,57
	GEN SLV Long(min)	2-1	1.044,22	998,64	953,07	907,49	861,91	816,33	770,75	725,17	679,59	634,01	-560,27	59,87
		2-2	1.010,82	965,24	919,66	874,08	828,50	782,92	737,34	691,76	646,19	600,61	-529,65	59,87
		2-3	1.057,51	1.008,98	960,45	911,91	863,38	814,85	766,32	717,79	669,26	620,73	-560,27	77,96
		2-4	1.024,10	975,57	927,04	878,51	829,98	781,45	732,91	684,38	635,85	587,32	-529,65	77,96
	GEN SLV Trasv(min)	2-1	1.102,82	1.045,09	987,37	929,64	871,91	814,19	756,46	698,74	641,01	583,28	-151,05	348,82
		2-2	1.069,41	1.011,69	953,96	896,23	838,51	780,78	723,06	665,33	607,60	549,88	-120,43	348,82
		2-3	1.102,82	1.045,09	987,37	929,64	871,91	814,19	756,46	698,74	641,01	583,28	-359,28	246,00
		2-4	1.069,41	1.011,69	953,96	896,23	838,51	780,78	723,06	665,33	607,60	549,88	-328,66	246,00
	GEN SLV Verf(min)	2-1	965,37	920,51	875,65	830,78	785,92	741,05	696,19	651,33	606,46	561,60	-85,03	304,98
		2-2	978,66	930,84	883,03	835,21	787,39	739,58	691,76	643,95	596,13	548,32	-85,03	308,88
		2-3	965,37	920,51	875,65	830,78	785,92	741,05	696,19	651,33	606,46	561,60	-293,26	178,47
		2-4	978,66	930,84	883,03	835,21	787,39	739,58	691,76	643,95	596,13	548,32	-293,26	185,05

Nella tabella successiva sono riepilogati i valori massimi e minimi delle azioni agenti sui pali di fondazione:

MASSIMI / MINIMI	NSd,max [kN]	NSd,min [kN]	MSd [kNm]	VSd [kN]
SLE - QUASI PERMANENTE	1 065.23	614.47	-239.51	236.89
SLE - FREQUENTI	1 408.05	550.27	12.71	362.19
SLE - CARATTERISTICHE	1 631.23	510.13	145.95	424.75
SLU - STR	2 228.15	689.16	195.78	573.15
SLV	1 182.39	543.21	606.05	671.53

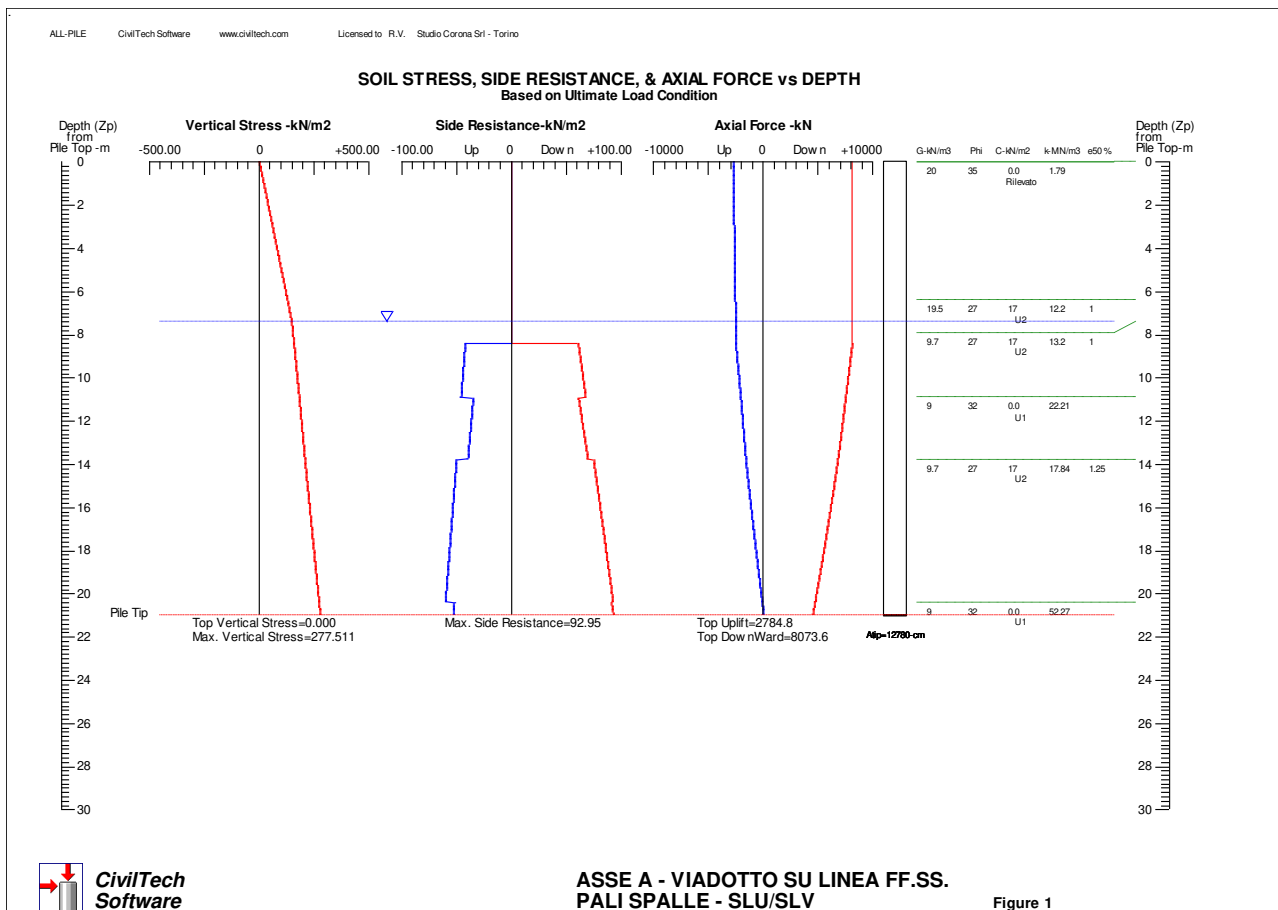
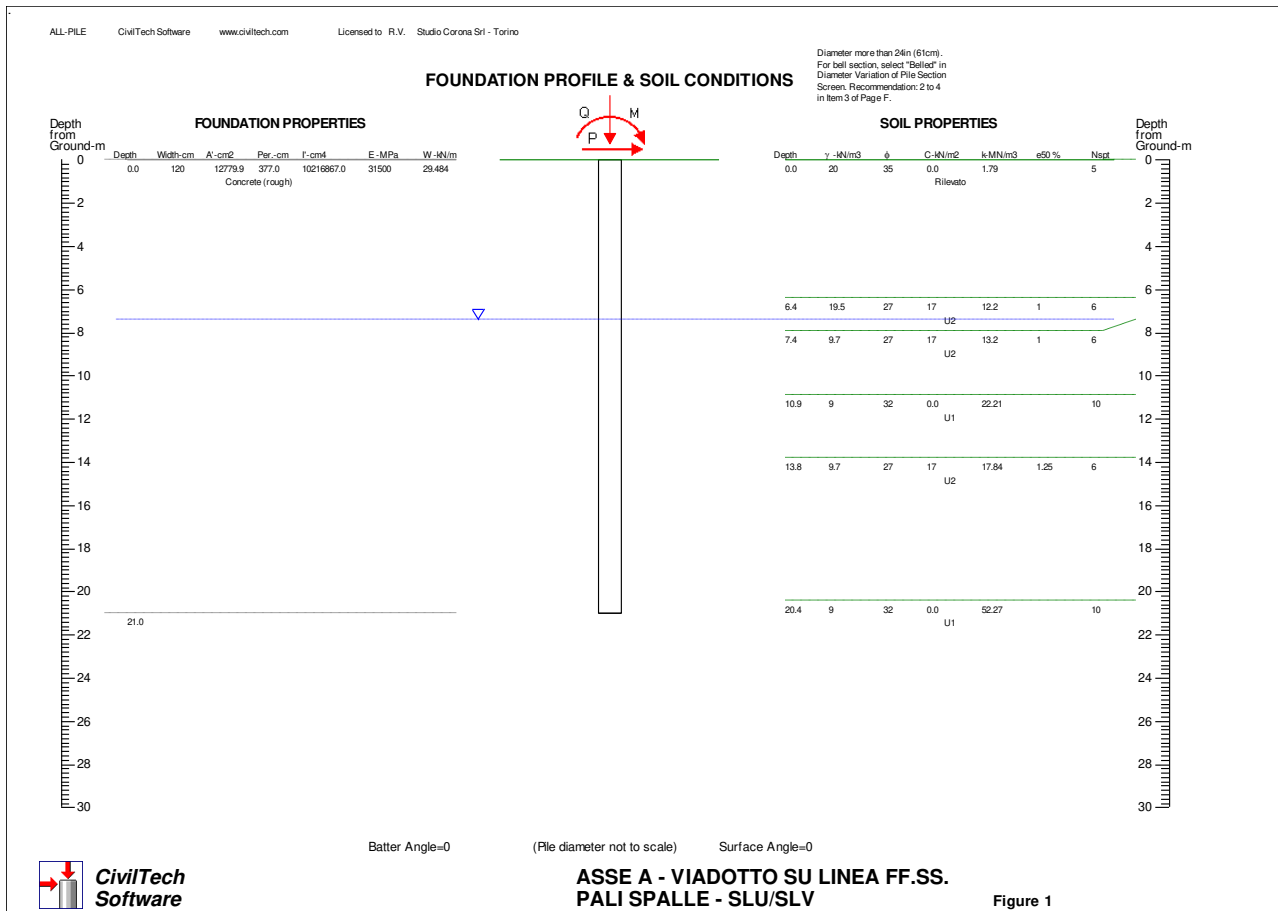
## 6.2 CALCOLO DELLE CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE E DEFORMAZIONE DEL PALO

Il calcolo delle caratteristiche di sollecitazione e deformazione del palo viene effettuato mediante il programma di calcolo "Allpile", vers. 7.12, CivilTech Software, Bellevue, WA USA.

La testa del palo risulta a 6.40 m di altezza sul rilevato; si trascura la portanza per attrito laterale per il tratto incamiciato con lamierino, pari a 8.40 m.

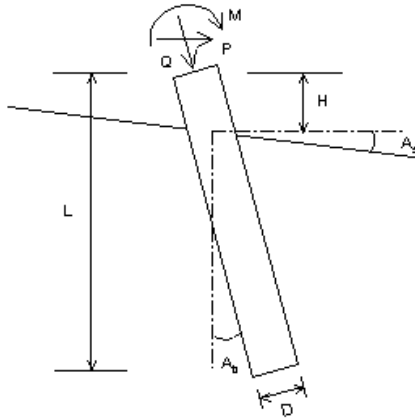
Seguono i diagrammi risultanti dalle analisi verticale e laterale del palo.

Si omettono i tabulati in quanto i risultati grafici del programma AllPile sono completamente esaustivi.



## VERTICAL ANALYSIS

Figure 1



**Loads:**

Load Factor for Vertical Loads= 1.0  
 Load Factor for Lateral Loads= 1.0  
 Loads Supported by Pile Cap= 0 %  
 Shear Condition: Cyclic  
 Number of Cycles: 2  
 Vertical Load, Q= 2228.2 -kN  
 Shear Load, P= 671.5 -kN  
 Moment, M= 606.0 -kN-m

**Profile:**

Pile Length, L= 21.0 -m  
 Top Height, H= 0 -m  
 Slope Angle, As= 0  
 Batter Angle, Ab= 0

\* Zero Friction \*

Zero Friction Start: 0 -m End: 8.4 -m

Drilled Shaft (dia >24 in. or 61 cm)

**Soil Data:**

Depth -m	Gamma -kN/m3	Phi	C -kN/m2	K -MN/m3	e50 or Dr %	Nspt
0	20	35	0.0	1.79	20	5
6.4	19.5	27	17	12.2	1	6
7.4	9.7	27	17	13.2	1	6
10.9	9	32	0.0	22.21	60	10
13.8	9.7	27	17	17.84	1.25	6
20.4	9	32	0.0	52.27	60	10

**Pile Data:**

Depth -m	Width -cm	Area -cm2	Per. -cm	I -cm4	E -MPa	Weight -kN/m
0.0	120	12779.9	377.0	10216867.0	31500	29.484
21.0						

**Vertical capacity:**

Weight above Ground= 0.00 Total Weight= 468.50-kN \*Soil Weight is not included  
 Side Resistance (Down)= 3608.517-kN Side Resistance (Up)= 2316.254-kN  
 Tip Resistance (Down)= 4465.061-kN Tip Resistance (Up)= 0.000-kN  
 Total Ultimate Capacity (Down)= 8073.578-kN Total Ultimate Capacity (Up)= 2784.759-kN  
 Total Allowable Capacity (Down)= 3745.589-kN Total Allowable Capacity (Up)= 1571.483-kN  
 OK! Qallow > Q

**Settlement Calculation:**

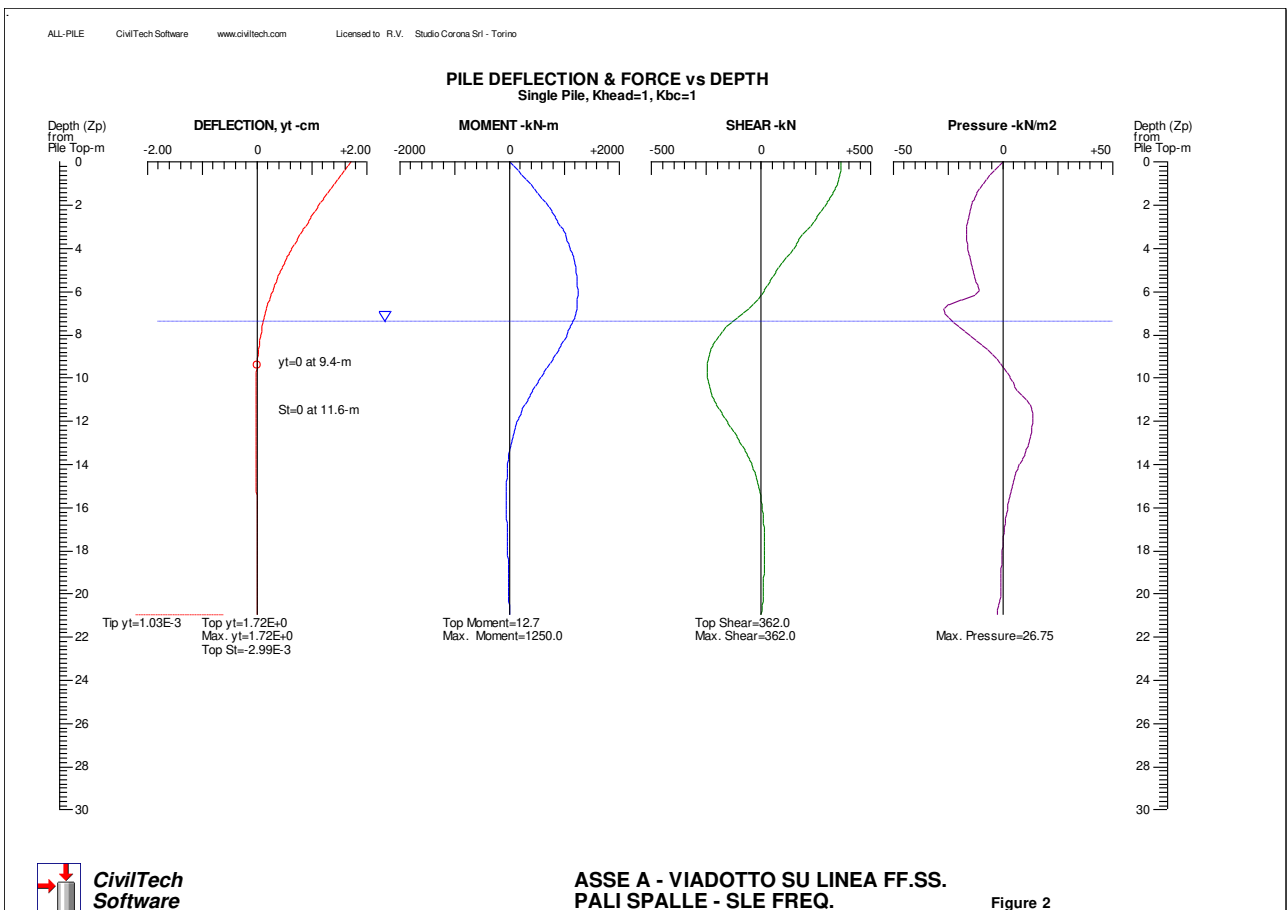
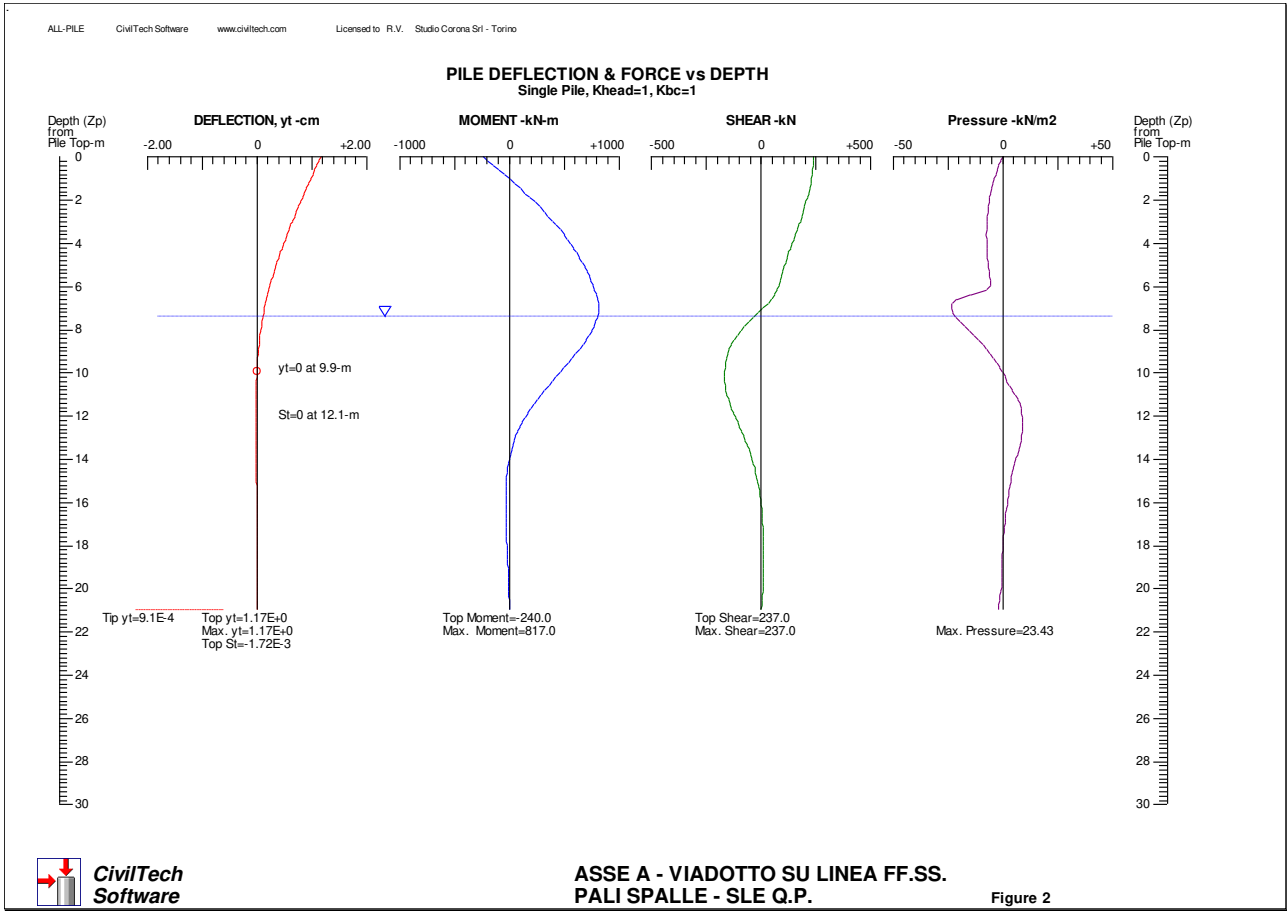
At Q= 2228.20-kN Settlement= 0.44131-cm  
 At Xallow= 2.00-cm Qallow= 4874.47021-kN

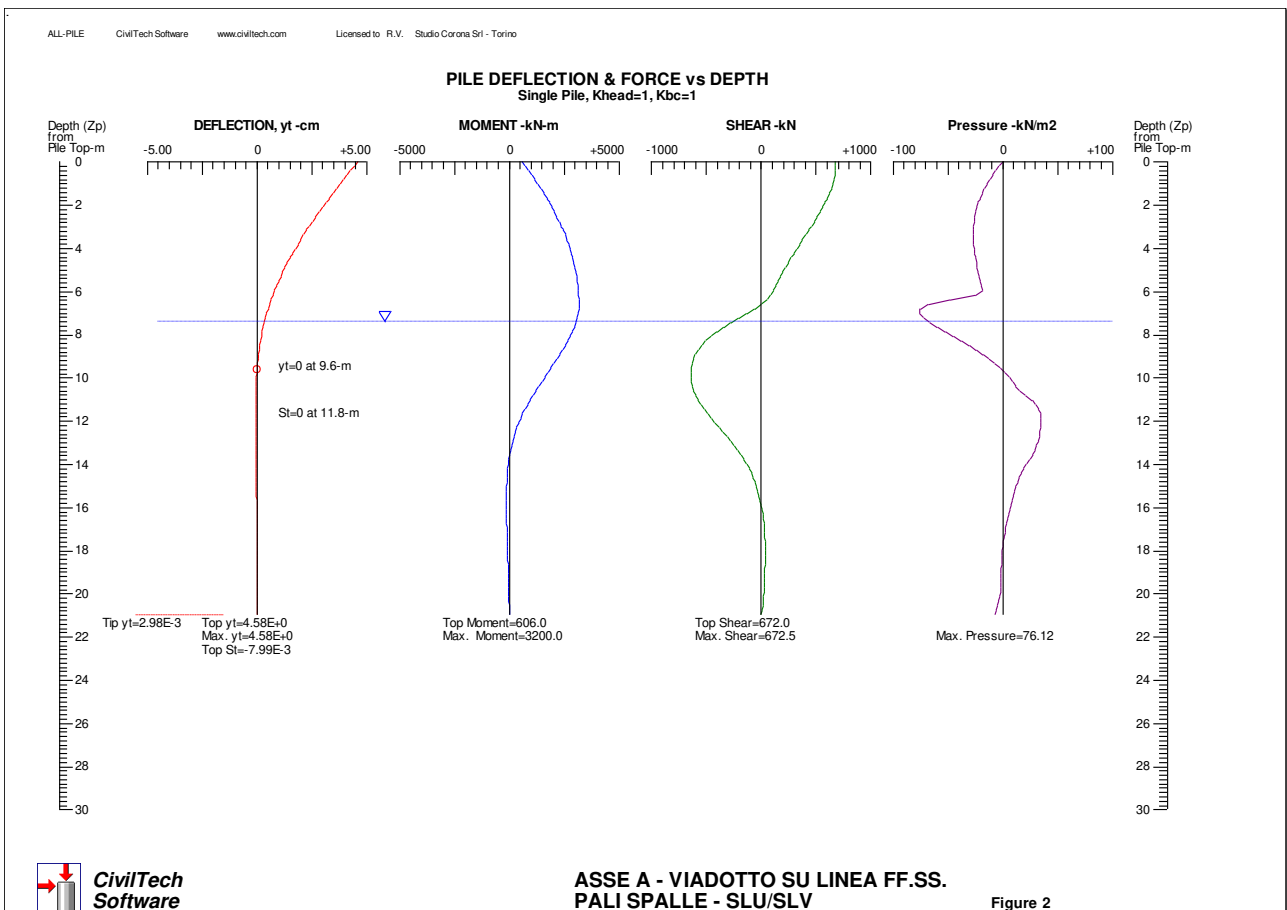
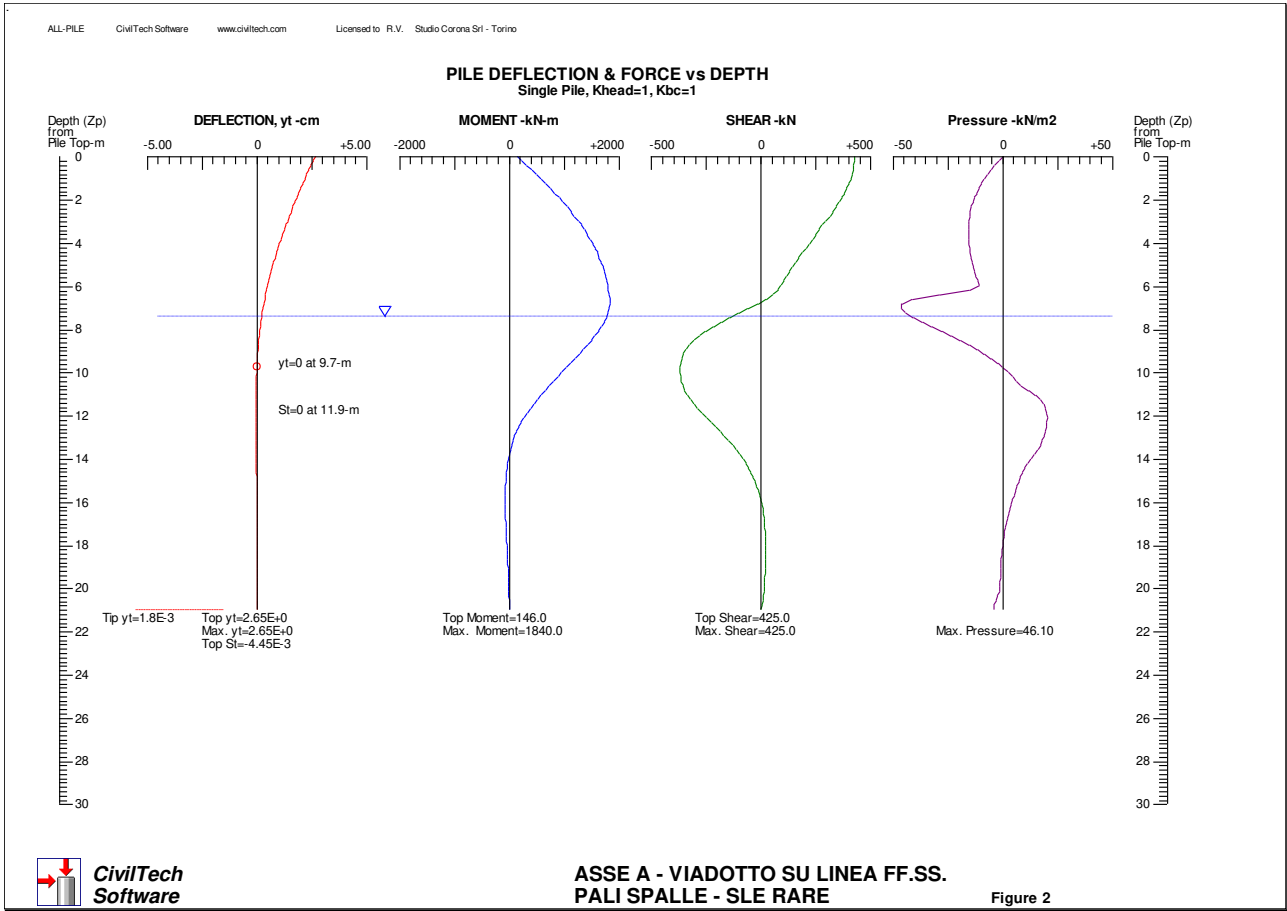
Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 99999.



**CivilTech  
 Software**

**ASSE A - VIADOTTO SU LINEA FF.SS.  
 PALI SPALLE - SLU/SLV**





### 6.3 VERIFICA DEI PALI SOGGETTI A CARICO VERTICALE

La verifica viene svolta allo stato limite ultimo; in riferimento alle NTC 2008, si sceglie l'approccio 2, con le combinazioni A1/M1/R3 in cui si applicano i coefficienti parziali alle caratteristiche resistenti del palo:

- resistenza laterale in compressione:  $\gamma_s = 1.15$
- resistenza alla base:  $\gamma_b = 1.35$
- fattore di correlazione:  $\xi_4 = 1.70$

Si ottiene:

- Sforzo verticale di progetto:  $N_{sd} = 2228.2 \text{ kN}$
- Resistenza di progetto:  $R_{sd} = 3745.6 \text{ kN}$  ( $R_{sd} > N_{sd}$ )
- Cedimento verticale:  $DZ = 4.41 \text{ mm}$  (<20 mm: ammissibile)

### 6.4 PALI SOGGETTI A CARICO ORIZZONTALE - VERIFICA DI RESISTENZA DEL TERRENO

I coefficienti parziali (A1/M1/R3) risultano:

- resistenza laterale terreno:  $\gamma_t = 1.30$
- fattore di correlazione:  $\xi_4 = 1.70$

La resistenza di progetto del terreno si ottiene dalla formula:

$$R_{sd} = \alpha \frac{\lambda_p \times \sigma_v + 2 \times c' \times \sqrt{\lambda_p}}{\gamma_t \times \xi_3} \quad \text{in cui:}$$

$\alpha = 3$ : coefficiente correttivo per tener conto dell'effetto arco

$\lambda_p$ : coefficiente di spinta passiva

$\sigma_v$ : pressione geostatica efficace

$c'$ : coesione drenata

Segue il tabulato del calcolo svolto; si nota che per il rilevato si è tenuto conto dell'inclinazione 2:3 ( $\varepsilon = -33.69^\circ$ ) del terreno nel calcolo della spinta passiva.

Il minimo coefficiente di sicurezza (resistenza / pressione) si ottiene a  $Z_p = 0.20 \text{ m}$  e vale:

$$R_{sd} / P_d = 4.765 / 3.3 = 1.444 \quad (>1: \text{verificato})$$





## 6.5 VERIFICHE DI DEFORMAZIONE PALO

- Cedimento verticale:  $DZ = 4.41 \text{ mm}$  ( $< 20 \text{ mm}$ : ammissibile)
- Deformazione orizzontale massima:  $DZ = 48.5 \text{ mm}$  ( $< 50 \text{ mm}$ : ammissibile)

## 6.6 VERIFICHE STRUTTURALI PALO

Si effettuano le verifiche a pressoflessione e taglio allo stato limite ultimo (verifiche di resistenza) e agli stati limite di esercizio (limitazione tensioni e fessurazione).

La sezione ha le seguenti caratteristiche:

- raggio:  $r = 60 \text{ cm}$
- armature long.:  $16 \text{ } \varnothing 30, r = 60 - 8 - 1.2 - 3/2 = 49.3 \text{ cm}$   
 $16 \text{ } \varnothing 30, r = 49.3 - 2 \times 3 = 43.3 \text{ cm}$
- spirale:  $\varnothing 12, \text{ passo } 20 \text{ cm.}$

### 6.6.1 VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO STATO LIMITE ULTIMO

#### 6.6.1.1 Massimo sforzo assiale

	Sollecitazioni	Resistenze		
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 2228.2 \text{ kN}$			
Momento flettente:	$M_{Sd} = 3200.0 \text{ kN.m}$	$M_{Rd} = 3883.7 \text{ kN.m}$	$\rightarrow$	Verificato: $M_{Rd} > M_{Sd}$
Sforzo tagliante:	$V_{Sd} = 672.5 \text{ kN}$	$V_{Rd} = 2700.6 \text{ kN}$	$\rightarrow$	Verificato: $V_{Rd} > V_{Sd}$

#### 6.6.1.2 Minimo sforzo assiale

	Sollecitazioni	Resistenze		
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 543.2 \text{ kN}$			
Momento flettente:	$M_{Sd} = 3200.0 \text{ kN.m}$	$M_{Rd} = 3570.8 \text{ kN.m}$	$\rightarrow$	Verificato: $M_{Rd} > M_{Sd}$
Sforzo tagliante:	$V_{Sd} = 672.5 \text{ kN}$	$V_{Rd} = 2419.4 \text{ kN}$	$\rightarrow$	Verificato: $V_{Rd} > V_{Sd}$

### 6.6.2 VERIFICHE TENSIONALI ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO – COMBINAZIONI RARE

#### 6.6.2.1 Massimo sforzo assiale

	Sollecitazioni		
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 1631.2 \text{ kN}$		
Momento flettente:	$M_{Sd} = 1840.0 \text{ kN.m}$		
Tensione massima cls.:	$s_c = 12.58 \text{ N/mm}^2$	$\rightarrow$	Verificato: $s_c < s_1 = 15 \text{ N/mm}^2$
Tensione massima ferri:	$s_f = 217.18 \text{ N/mm}^2$	$\rightarrow$	Verificato: $s_f < s_3 = 360 \text{ N/mm}^2$

#### 6.6.2.2 Minimo sforzo assiale

	Sollecitazioni		
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 510.1 \text{ kN}$		
Momento flettente:	$M_{Sd} = 1840.0 \text{ kN.m}$		
Tensione massima cls.:	$s_c = 12.44 \text{ N/mm}^2$	$\rightarrow$	Verificato: $s_c < s_1 = 15 \text{ N/mm}^2$
Tensione massima ferri:	$s_f = 271.46 \text{ N/mm}^2$	$\rightarrow$	Verificato: $s_f < s_3 = 360 \text{ N/mm}^2$

### 6.6.3 VERIFICHE DI FESSURAZIONE – COMBINAZIONI FREQUENTI

#### 6.6.3.1 Massimo sforzo assiale

	Sollecitazioni	
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 1408.1 \text{ kN}$	
Momento flettente:	$M_{Sd} = 1250.0 \text{ kN.m}$	
Tensione massima cls.:	$s_c = 8.56 \text{ N/mm}^2$	
Tensione massima ferri:	$s_f = 133.76 \text{ N/mm}^2$	
Apertura fessure:	$w = 0.243 \text{ mm}$	→ Verificato: $w < w_3 = 0.4 \text{ mm}$

#### 6.6.3.2 Minimo sforzo assiale

	Sollecitazioni	
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 550.3 \text{ kN}$	
Momento flettente:	$M_{Sd} = 1250.0 \text{ kN.m}$	
Tensione massima cls.:	$s_c = 8.48 \text{ N/mm}^2$	
Tensione massima ferri:	$s_f = 174.33 \text{ N/mm}^2$	
Apertura fessure:	$w = 0.351 \text{ mm}$	→ Verificato: $w < w_3 = 0.4 \text{ mm}$

### 6.6.4 VERIFICHE DI FESSURAZIONE – COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI

#### 6.6.4.1 Massimo sforzo assiale

	Sollecitazioni	
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 1065.2 \text{ kN}$	
Momento flettente:	$M_{Sd} = 817.0 \text{ kN.m}$	
Tensione massima cls.:	$s_c = 5.60 \text{ N/mm}^2$	→ Verificato: $s_c < s_2 = 11.25 \text{ N/mm}^2$
Tensione massima ferri:	$s_f = 80.98 \text{ N/mm}^2$	
Apertura fessure:	$w = 0.102 \text{ mm}$	→ Verificato: $w < w_2 = 0.3 \text{ mm}$

#### 6.6.4.2 Minimo sforzo assiale

	Sollecitazioni	
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 614.5 \text{ kN}$	
Momento flettente:	$M_{Sd} = 817.0 \text{ kN.m}$	
Tensione massima cls.:	$s_c = 5.58 \text{ N/mm}^2$	→ Verificato: $s_c < s_2 = 11.25 \text{ N/mm}^2$
Tensione massima ferri:	$s_f = 101.61 \text{ N/mm}^2$	
Apertura fessure:	$w = 0.153 \text{ mm}$	→ Verificato: $w < w_2 = 0.3 \text{ mm}$

### 6.6.5 TABULATO DI CALCOLO

Segue tabulato di calcolo eseguito con il programma "RC-Sec", realizzato da GeoStru Software S.a.s., Lungomare snc, 89032 – Bianco (RC).

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.  
 NOME SEZIONE: FF-SS SPALLE

Descrizione Sezione: VIADOTTO SU LINEA FF.SS. - PALI SPALLE  
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi  
 Tipologia sezione: Sezione generica  
 Normativa di riferimento: N.T.C.  
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante  
 Condizioni Ambientali: Poco aggressive  
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inertzia  
 Riferimento alla sismicit : Zona non sismica  
 Posizione sezione nell'asta: In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C25/30  
 Resis. compr. di calcolo fcd : 141.60 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resis. compr. ridotta fcd' : 70.80 daN/cm<sup>2</sup>  
 Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020  
 Def.unit. ultima ecu : 0.0035  
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo  
 Modulo Elastico Normale Ec : 314750 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff. di Poisson : 0.20  
 Resis. media a trazione fctm : 25.60 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff. Omogen. S.L.E. : 15.0  
 Combinazioni Rare in Esercizio (Tens.Limite):  
 Sc Limite : 150.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Apert.Fess.Limite : Non prevista  
 Combinazioni Frequenti in Esercizio (Tens.Limite):  
 Sc Limite : 150.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Apert.Fess.Limite : 0.400 mm  
 Combinazioni Quasi Permanenti in Esercizio (Tens.Limite):  
 Sc Limite : 112.50 daN/cm<sup>2</sup>  
 Apert.Fess.Limite : 0.300 mm

ACCIAIO - Tipo: B450C  
 Resist. caratt. snervam. fyk : 4500.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. caratt. rottura ftk : 4500.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. snerv. di calcolo fyd : 3913.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. ultima di calcolo ftd : 3913.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Deform. ultima di calcolo Epu : 0.068  
 Modulo Elastico Ef : 2100000 daN/cm<sup>2</sup>  
 Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito  
 Coeff. Aderenza ist. β1\*β2 : 1.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff. Aderenza diff. β1\*β2 : 0.50 daN/cm<sup>2</sup>  
 Comb.Rare Sf Limite : 3600.0 daN/cm<sup>2</sup>

CARATTERISTICHE DOMINI CONGLOMERATO

DOMINIO N° 1  
 Forma del Dominio: Circolare  
 Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circonferenza: 60.00 cm  
 Ascissa X centro circ.: 0.00 cm  
 Ordinata Y centro circ.: 0.00 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N.Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre

Xcentro                    Ascissa del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le  
barre gen.  
Ycentro                    Ordinata del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le  
barre gen.  
Raggio                    Raggio in cm della circonferenza lungo cui sono disposte le  
barre gen.  
N.Barre                    Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonfer.  
Diam.                    Diametro in mm della singola barra generata

N.Gen.	Xcentro,cm	Ycentro,cm	Raggio,cm	N.Barre	Diam.Ø,mm
1	0.00	0.00	49.30	16	30
2	0.00	0.00	43.30	16	30

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N                    Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di  
compressione)  
Mx                    Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ.  
d'inerzia                    con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della  
sez.  
My                    Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ.  
d'inerzia                    con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro  
della sez.  
Vy                    Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia  
y  
Vx                    Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia  
x

N.Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	222820	320000	0	67250	0
2	54321	320000	0	67250	0

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N                    Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di  
compressione)  
Mx                    Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ.  
d'inerzia                    con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore  
della sez.  
My                    Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ.  
d'inerzia                    con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro  
della sez.

N.Comb.	N	Mx	My
1	163123	184000	0
2	51013	184000	0

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N                    Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di  
compressione)  
Mx                    Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ.  
d'inerzia

della sez. con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore  
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ.  
 d'inerzia  
 della sez. con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro

N.Comb.	N	Mx	My
1	140805	125000	0
2	55027	125000	0

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ.  
 d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore  
 della sez.  
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ.  
 d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro  
 della sez.

N.Comb.	N	Mx	My
1	106523	81700	0
2	61447	81700	0

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 9.2 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 3.0 cm  
 Copriferro netto minimo staffe: 8.0 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)  
 Mx Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 N ult Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)  
 Mx ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult
Mis.Sic.							

1.214	1	S	222820	320000	0	222790	388372	0
1.116	2	S	54321	320000	0	54319	357078	0

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione							
ec 3/7 efficace	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza							
Xc max X,Y,O sez.)	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif.)							
Yc max X,Y,O sez.)	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif.)							
ef min X,Y,O sez.)	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)							
Xf min X,Y,O sez.)	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif.)							
Yf min X,Y,O sez.)	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif.)							
ef max X,Y,O sez.)	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)							
Xf max X,Y,O sez.)	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif.)							
Yf max X,Y,O sez.)	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif.)							

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max
1	0.00350	-0.00048	0.0	60.0	0.00267	0.0	49.3	-0.00496
2	0.00350	-0.00108	0.0	60.0	0.00255	0.0	49.3	-0.00624

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a	Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.							
b	Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.							
c	Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.							
x/d	Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)							
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue							
N.Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.			
1	0.000000000	0.000077400	-0.001144026					
2	0.000000000	0.000089123	-0.001847368					

ARMATURE A TAGLIO

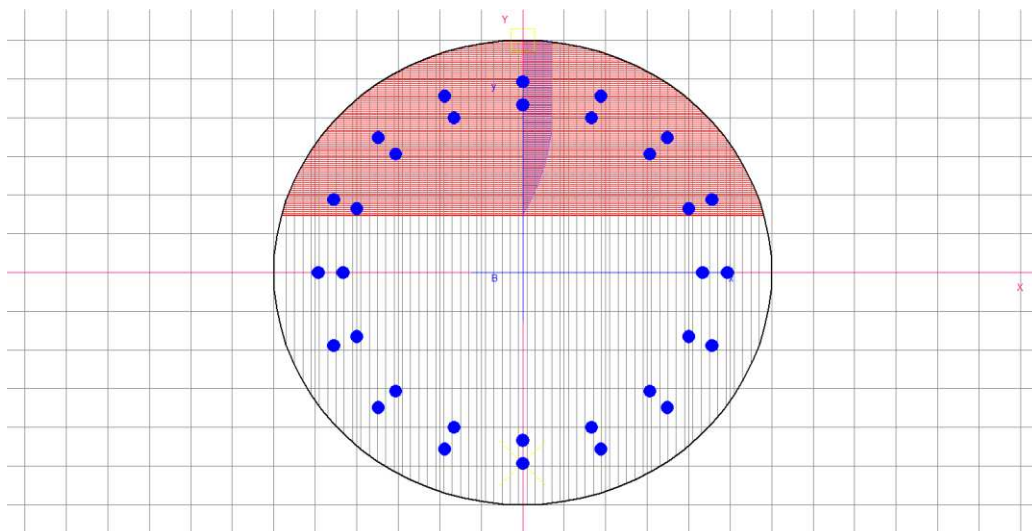
Diametro staffe:	12 mm	
Passo staffe:	20.0 cm	[Passo massimo di normativa = 25.0 cm]
N.Bracci staffe:	2	

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

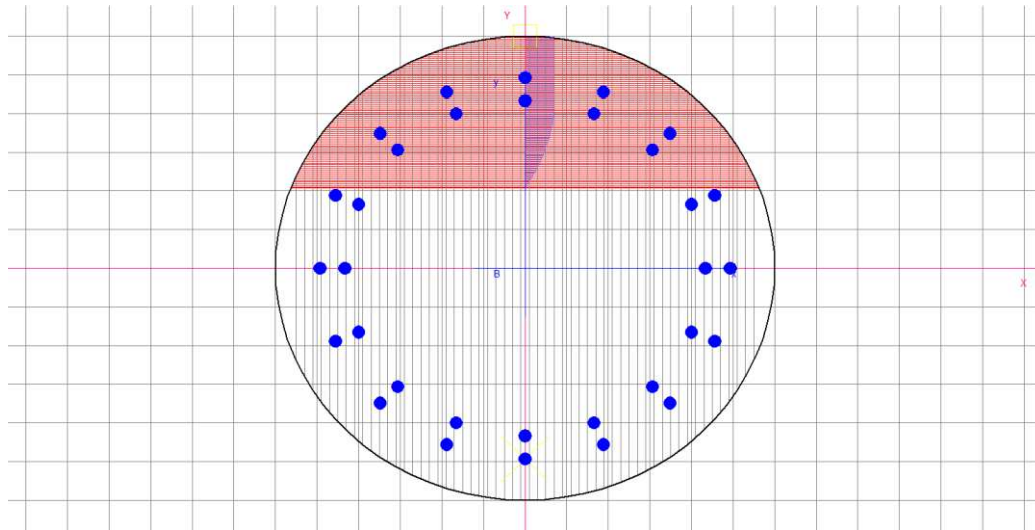
Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata	
Vsdu	Taglio agente [daN] = proiezione di $V_x$ e $V_y$ sulla normale all'asse neutro	

Vcd Taglio resistente ultimo [daN] lato conglomerato compresso  
 Vwd Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe  
 Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog.  
 all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo  
 compresso.  
 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze  
 delle strisce.  
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel.  
 all'asse neutro. E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce  
 resistenti e Dmed.  
 Teta Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di  
 conglomerato  
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per  
 compressione  
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro  
 di pil.[cm<sup>2</sup>/m]  
 A\_Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di  
 combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
 (Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle  
 sole legature.  
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con  
 L=lungh.legat.proietta-  
 ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile  
 nella direz.del taglio)

N.Comb.	Ver	Vsdu	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Teta	Acw	Ast
1	S	67250	270061	98014	98.4	109.6	21.80°	1.139	7.8
11.3(0.0)									
2	S	67250	241940	98884	99.3	107.2	21.80°	1.034	7.7
11.3(0.0)									



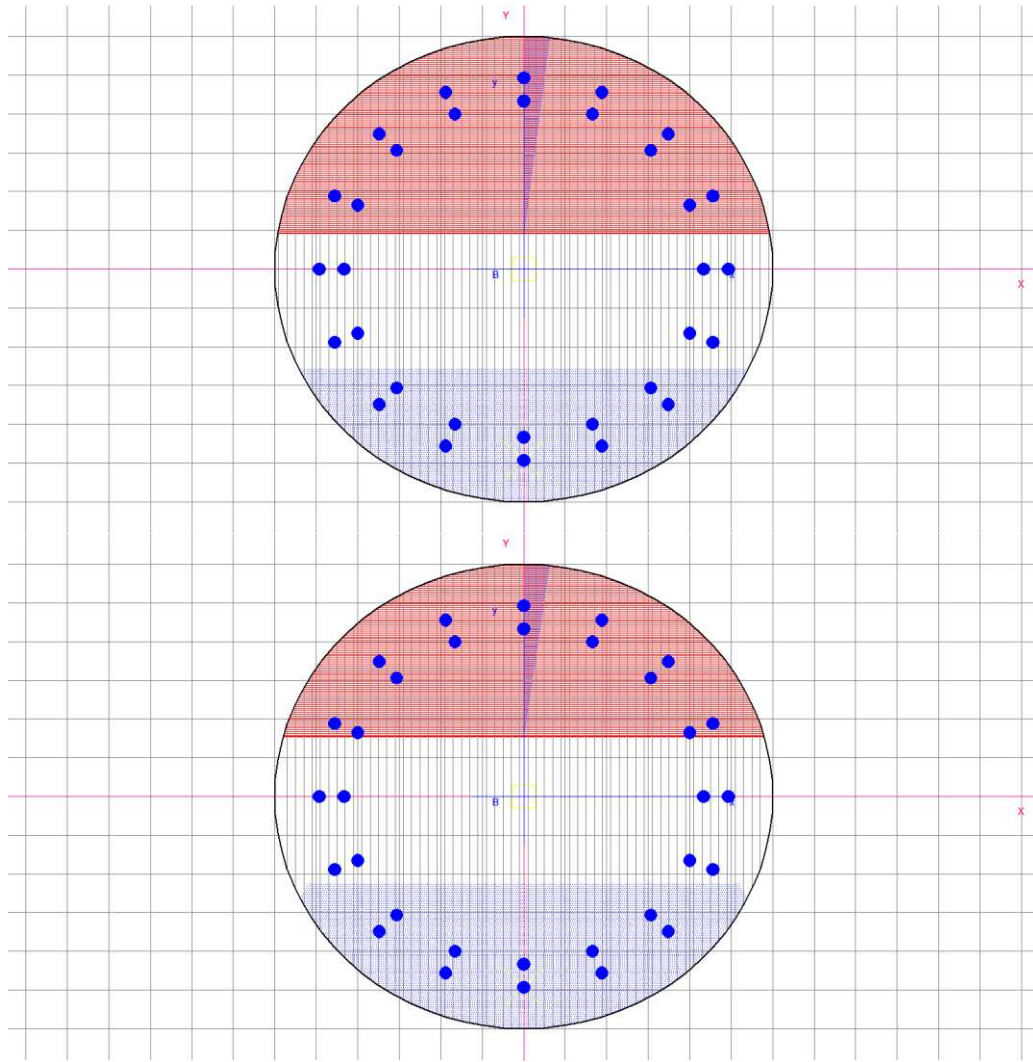




COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI

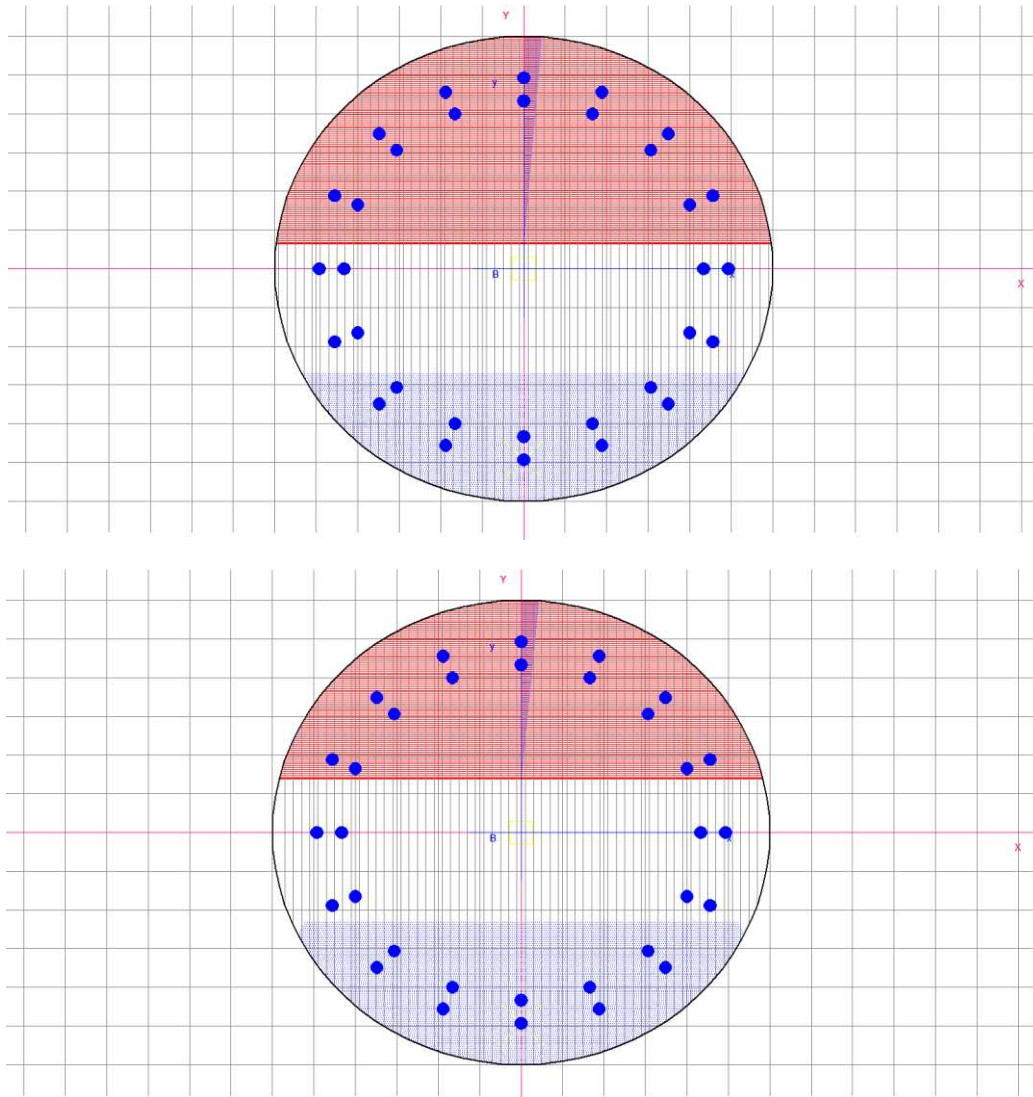
Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 Sc max Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato  
 [daN/cm<sup>2</sup>]  
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif.  
 X,Y,O)  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif.  
 X,Y,O)  
 Sf min Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm<sup>2</sup>]  
 Xf min Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif.  
 X,Y,O)  
 Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif.  
 X,Y,O)  
 Ac eff. Area di conglomerato [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente  
 alle barre  
 D fess. Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm  
 K3 Coeff. di normativa dipendente dalla forma del diagramma  
 delle tensioni  
 Ap.fess. Apertura calcolata delle fessure espressa in mm

N.Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min
1	S	125.8	0.0	0.0	-2172	0.0	-49.3
2	S	124.4	0.0	0.0	-2715	0.0	-49.3



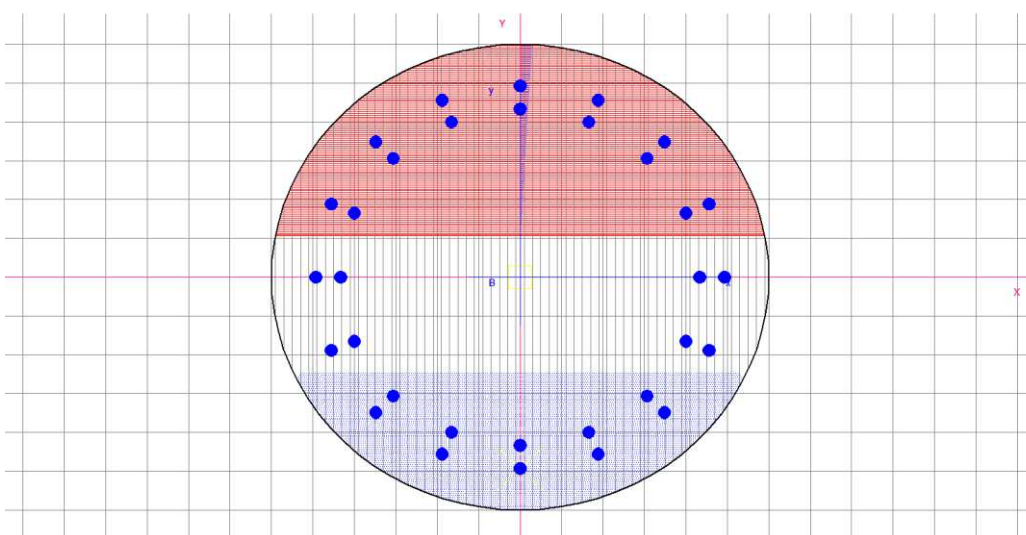
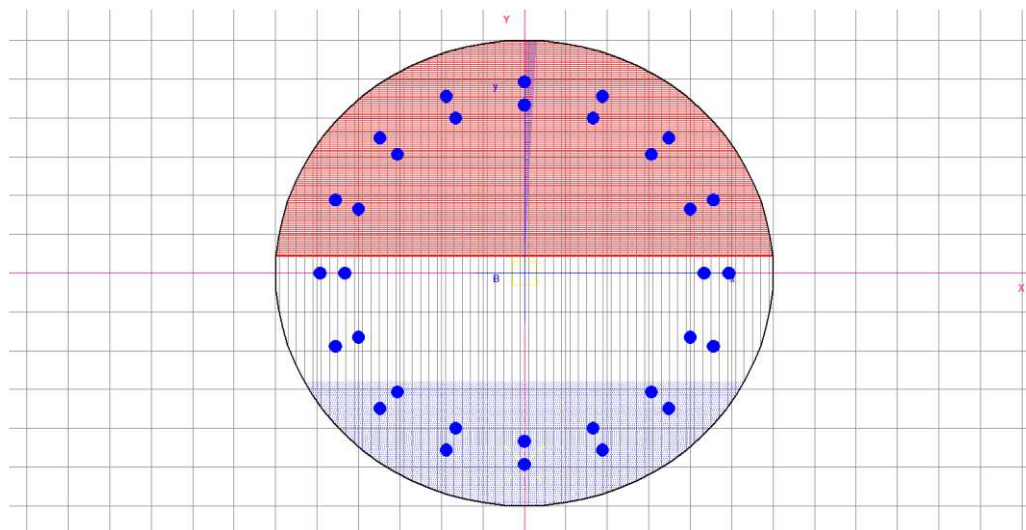
COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N.Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.
K3	Ap.Fess.								
1	S	85.6	0.0	0.0	-1338	0.0	-49.3	2528	269
0.170	0.243								
2	S	84.8	0.0	0.0	-1743	0.0	-49.3	2954	286
0.179	0.351								



COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N.Comb. K3	Ver Ap.Fess.	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.
1	S 0.167	56.0	0.0	0.0	-810	0.0	-49.3	2422	265
2	S 0.175	55.8	0.0	0.0	-1016	0.0	-49.3	2796	279



## 7 PALI PILE

### 7.1 SOLLECITAZIONI DI PROGETTO ALLA TESTA DEI PALI



COMBINAZIONE	N <sub>Sd,MAX</sub> [kN]	N <sub>Sd,MIN</sub> [kN]	V <sub>Sd</sub> [kN]
SLE - QUASI PERMANENTE	1 854.65	1 722.01	8.55
SLE - FREQUENTE	2 155.02	1 566.12	10.39
SLE - RARA	2 418.54	1 349.72	30.88
SLU - STR	3 308.02	1 871.38	45.75
SLV	2 458.45	126.92	288.47
ECCEZIONALE	2 865.02	1 065.35	400.89

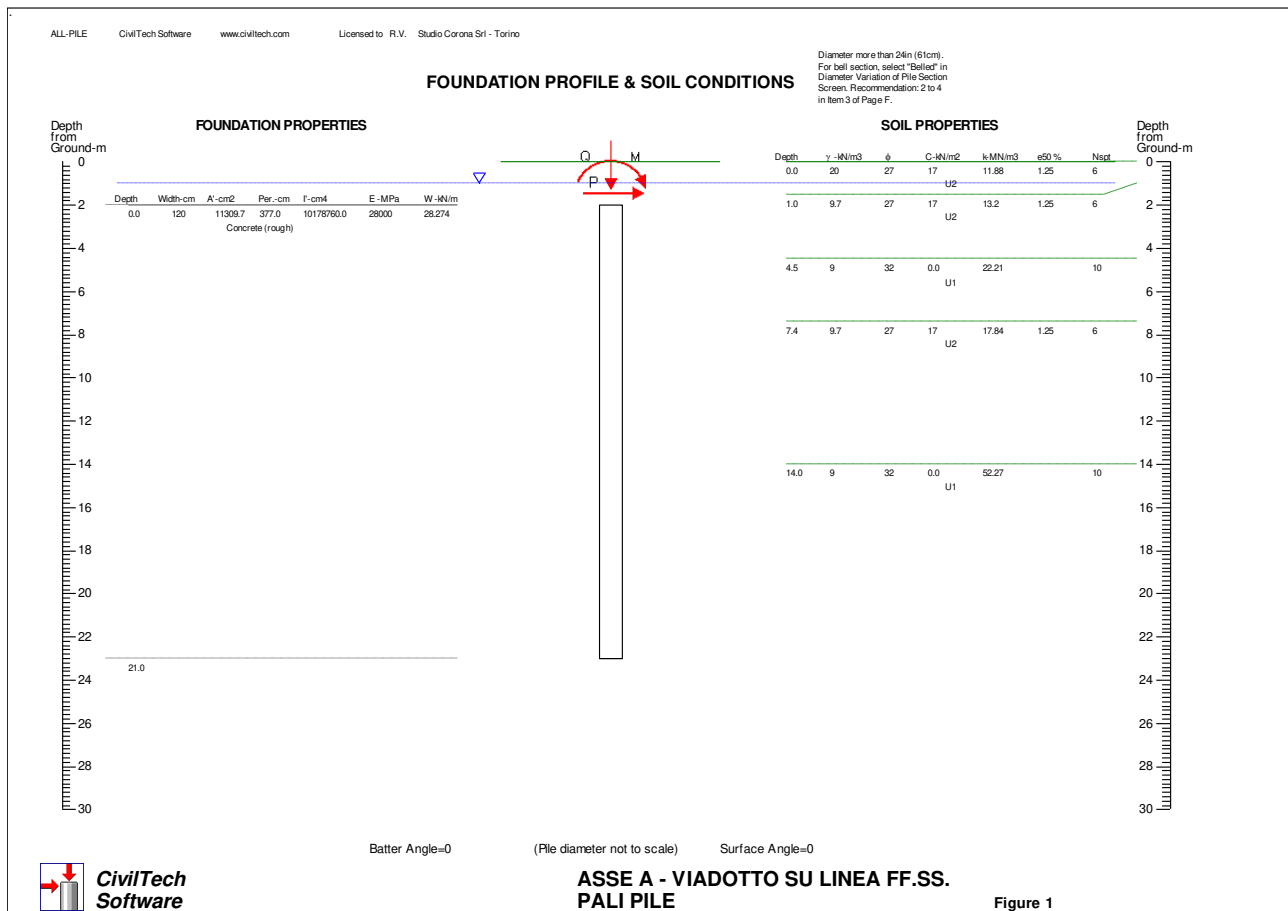
## 7.2 CALCOLO DELLE CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE E DEFORMAZIONE DEL PALO

Il calcolo delle caratteristiche di sollecitazione e deformazione del palo viene effettuato mediante il programma di calcolo "Allpile", vers. 7.12, CivilTech Software, Bellevue, WA USA.

La testa del palo risulta a circa 2 m di profondità dal p.c.

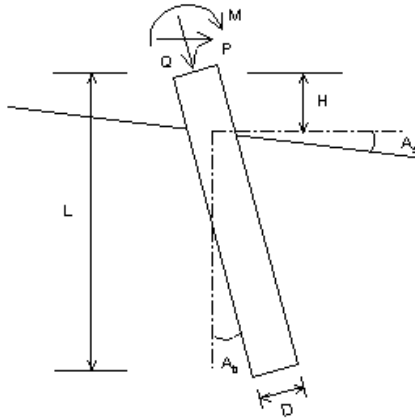
Seguono i diagrammi risultanti dalle analisi verticale e laterale del palo.

Si omettono i tabulati in quanto i risultati grafici del programma AllPile sono completamente esaustivi.



## VERTICAL ANALYSIS

Figure 1



Drilled Shaft (dia >24 in. or 61 cm)

**Loads:**

Load Factor for Vertical Loads= 1.0  
 Load Factor for Lateral Loads= 1.0  
 Loads Supported by Pile Cap= 0 %  
 Shear Condition: Static

Vertical Load, Q= 3308.0 -kN  
 Shear Load, P= 288.5 -kN  
 Slope Restrain St= 0.00 -cm/-cm

**Profile:**

Pile Length, L= 21.0 -m  
 Top Height, H= -2 -m  
 Slope Angle, As= 0  
 Batter Angle, Ab= 0  
 Fixed Head Condition

**Soil Data:**

Depth -m	Gamma -kN/m <sup>3</sup>	Phi	C -kN/m <sup>2</sup>	K -MN/m <sup>3</sup>	e50 or Dr %	Nspt
0	20	27	17	11.88	1.25	6
1	9.7	27	17	13.2	1.25	6
4.5	9	32	0.0	22.21	50	10
7.4	9.7	27	17	17.84	1.25	6
14	9	32	0.0	52.27	60	10

**Pile Data:**

Depth -m	Width -cm	Area -cm <sup>2</sup>	Per. -cm	I -cm <sup>4</sup>	E -MPa	Weight -kN/m
0.0	120	11309.7	377.0	10178760.0	28000	28.274
21.0						

**Vertical capacity:**

Weight above Ground= 0.00 Total Weight= 360.52-kN \*Soil Weight is not included  
 Side Resistance (Down)= 3826.522-kN Side Resistance (Up)= 2439.391-kN  
 Tip Resistance (Down)= 3631.132-kN Tip Resistance (Up)= 0.000-kN  
 Total Ultimate Capacity (Down)= 7457.654-kN Total Ultimate Capacity (Up)= 2799.910-kN  
 Total Allowable Capacity (Down)= 3492.014-kN Total Allowable Capacity (Up)= 1522.134-kN  
 OK! Qallow > Q

**Settlement Calculation:**

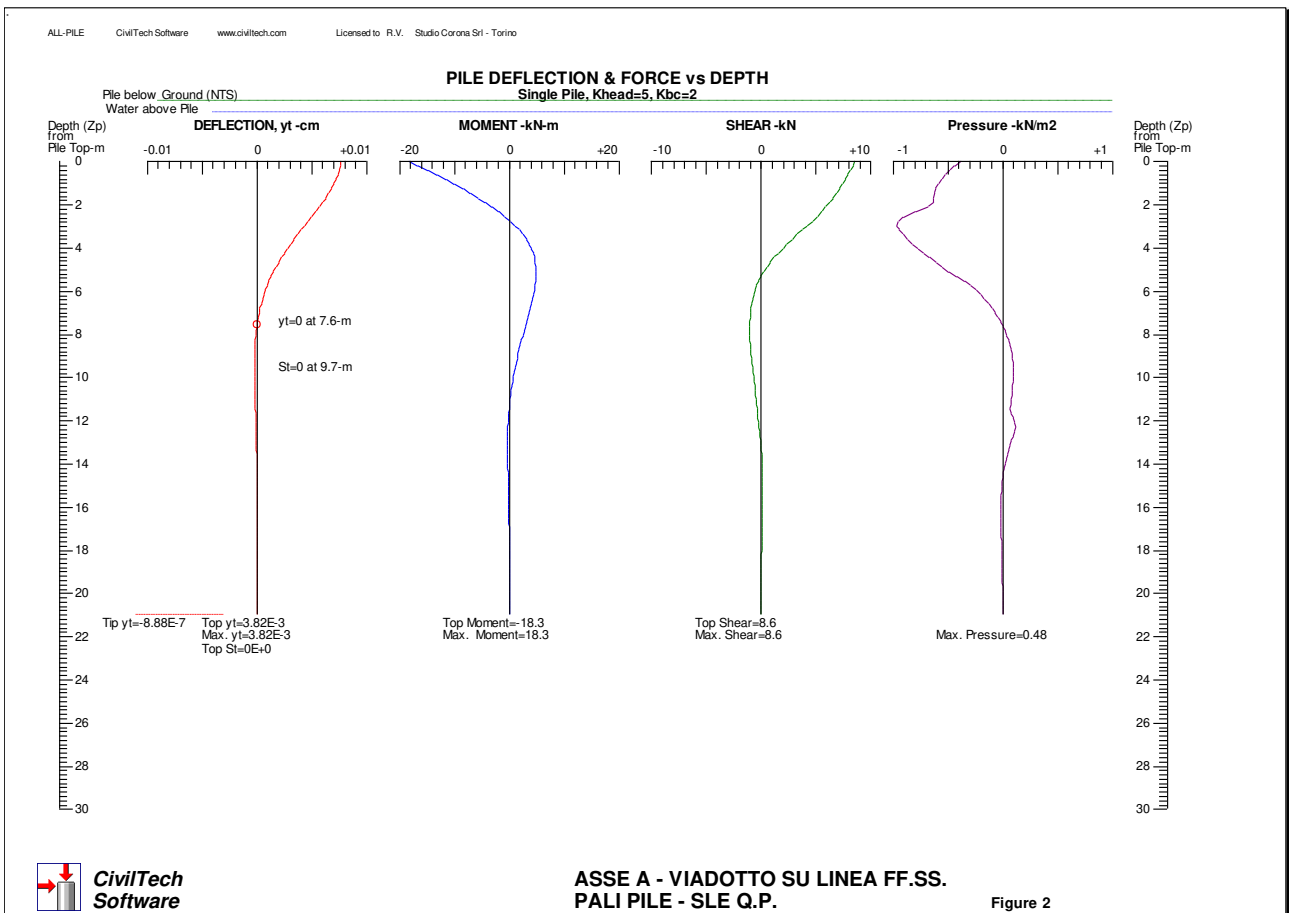
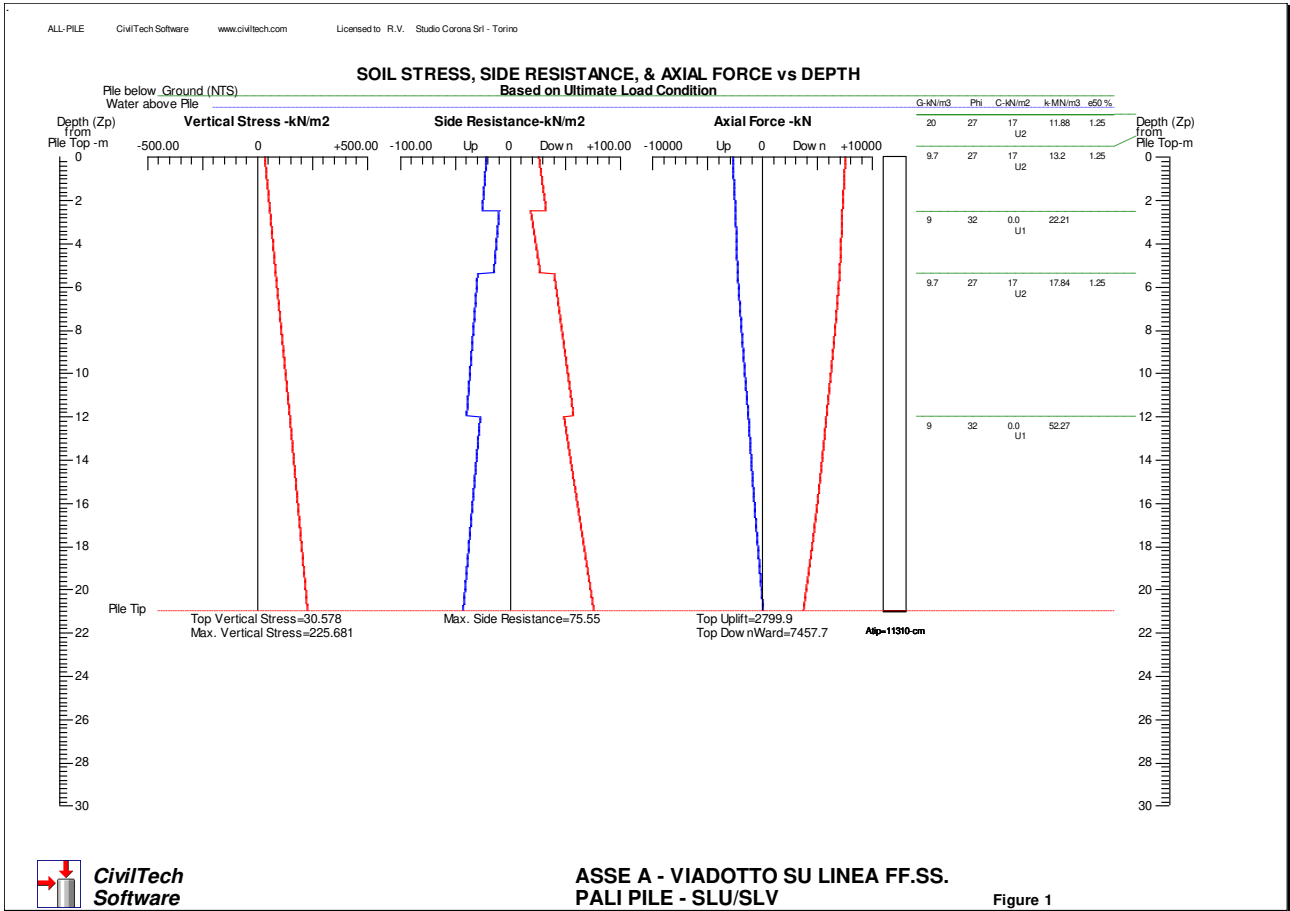
At Q= 3308.00-kN Settlement= 0.74278-cm  
 At Xallow= 2.00-cm Qallow= 4821.63867-kN

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 99999.

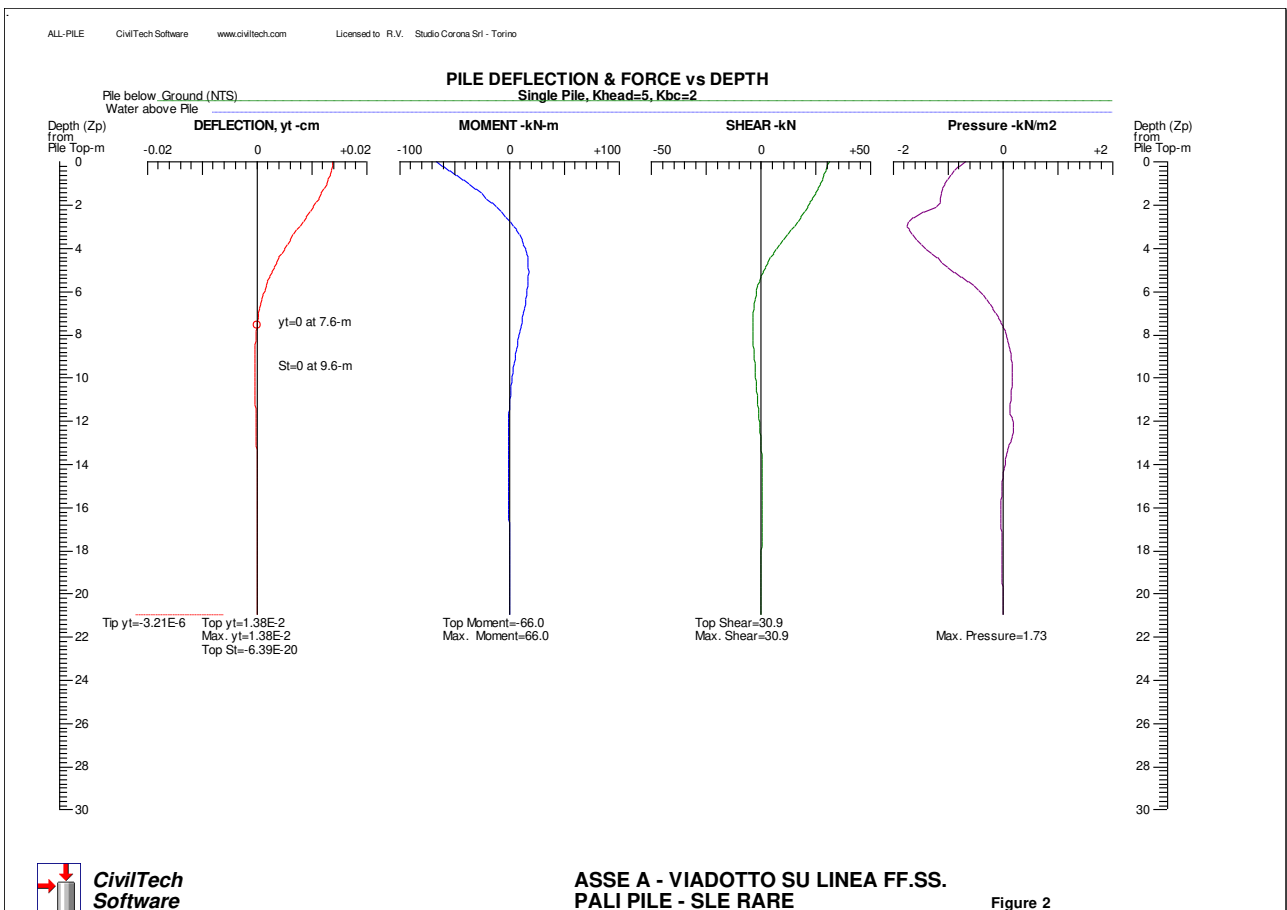
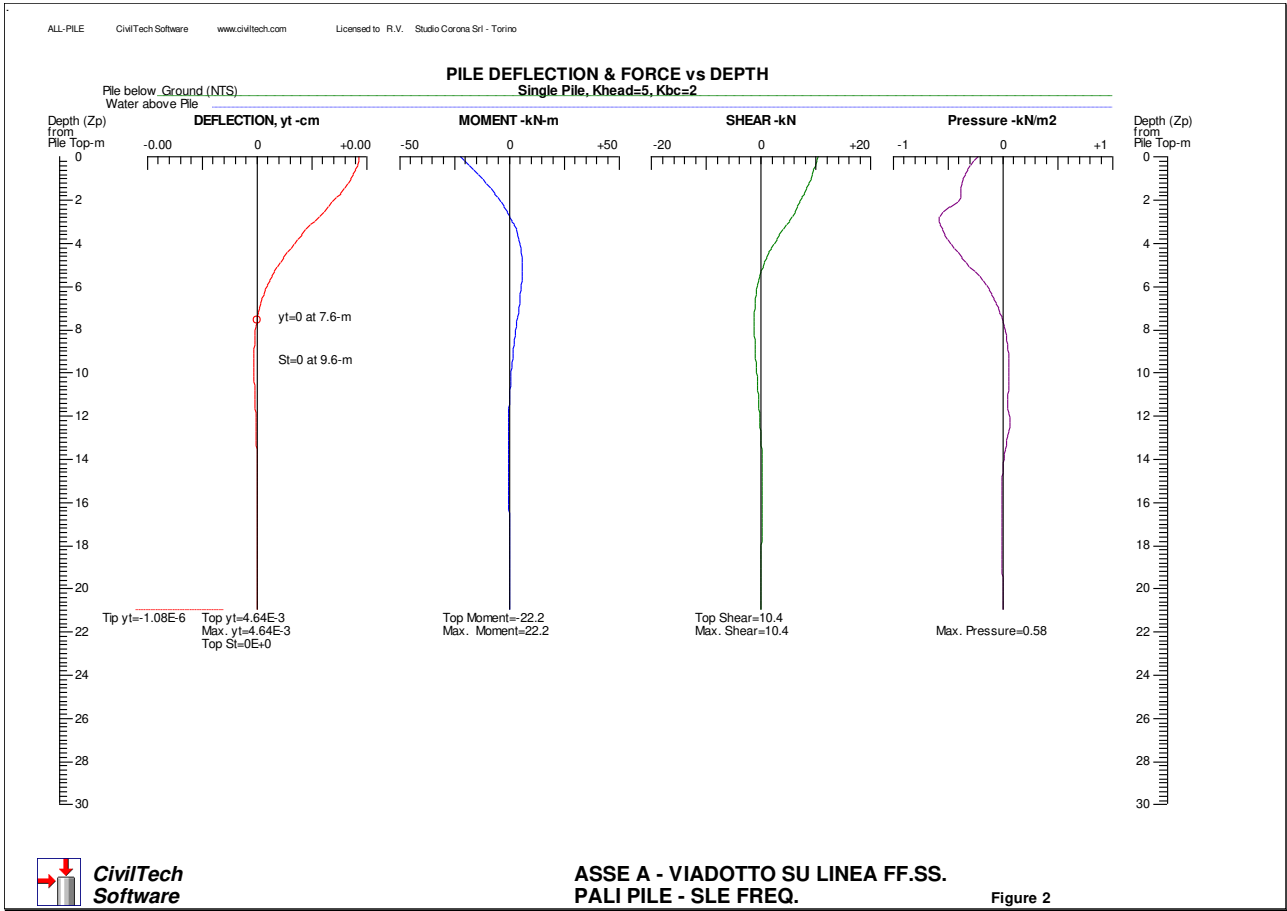


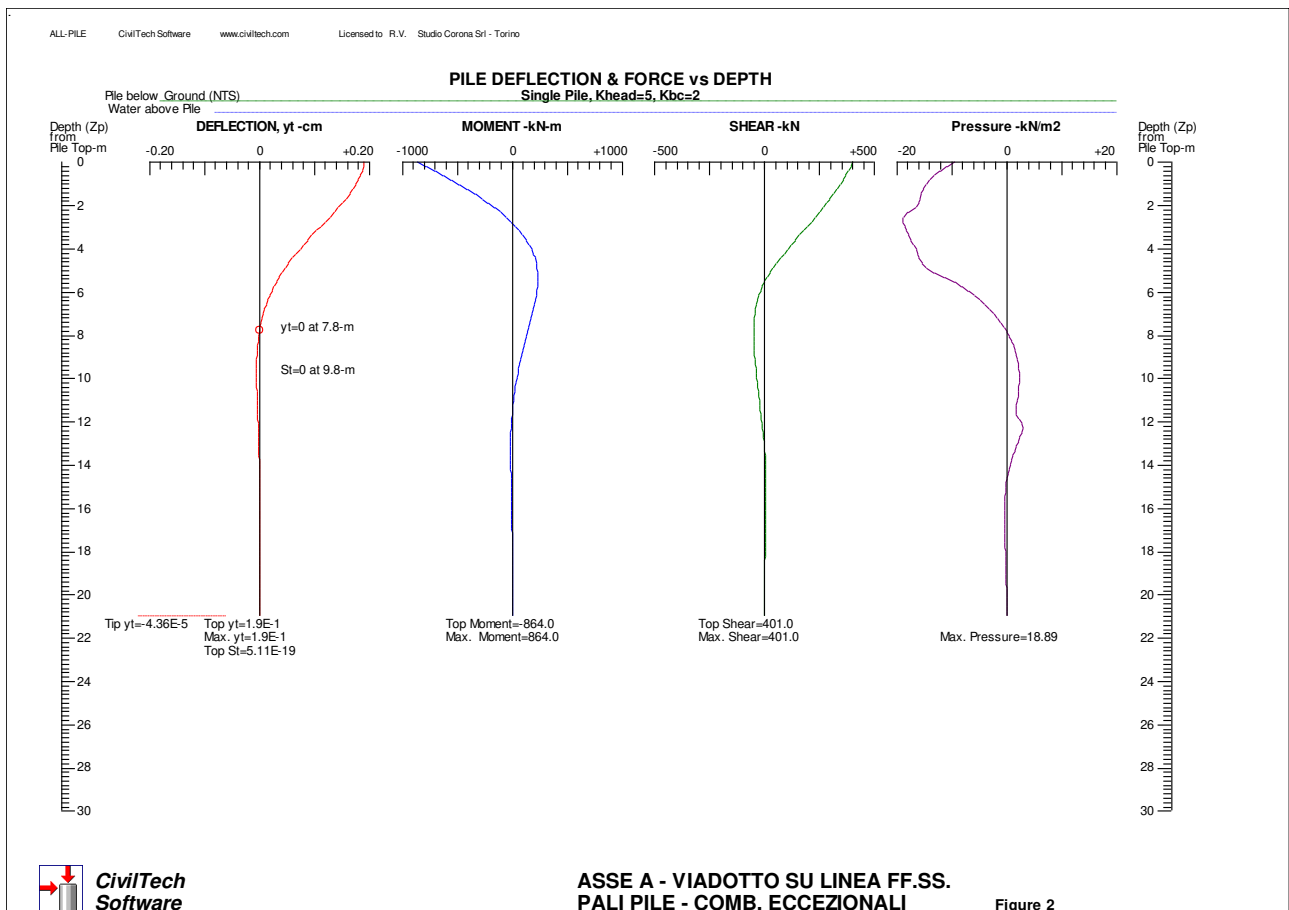
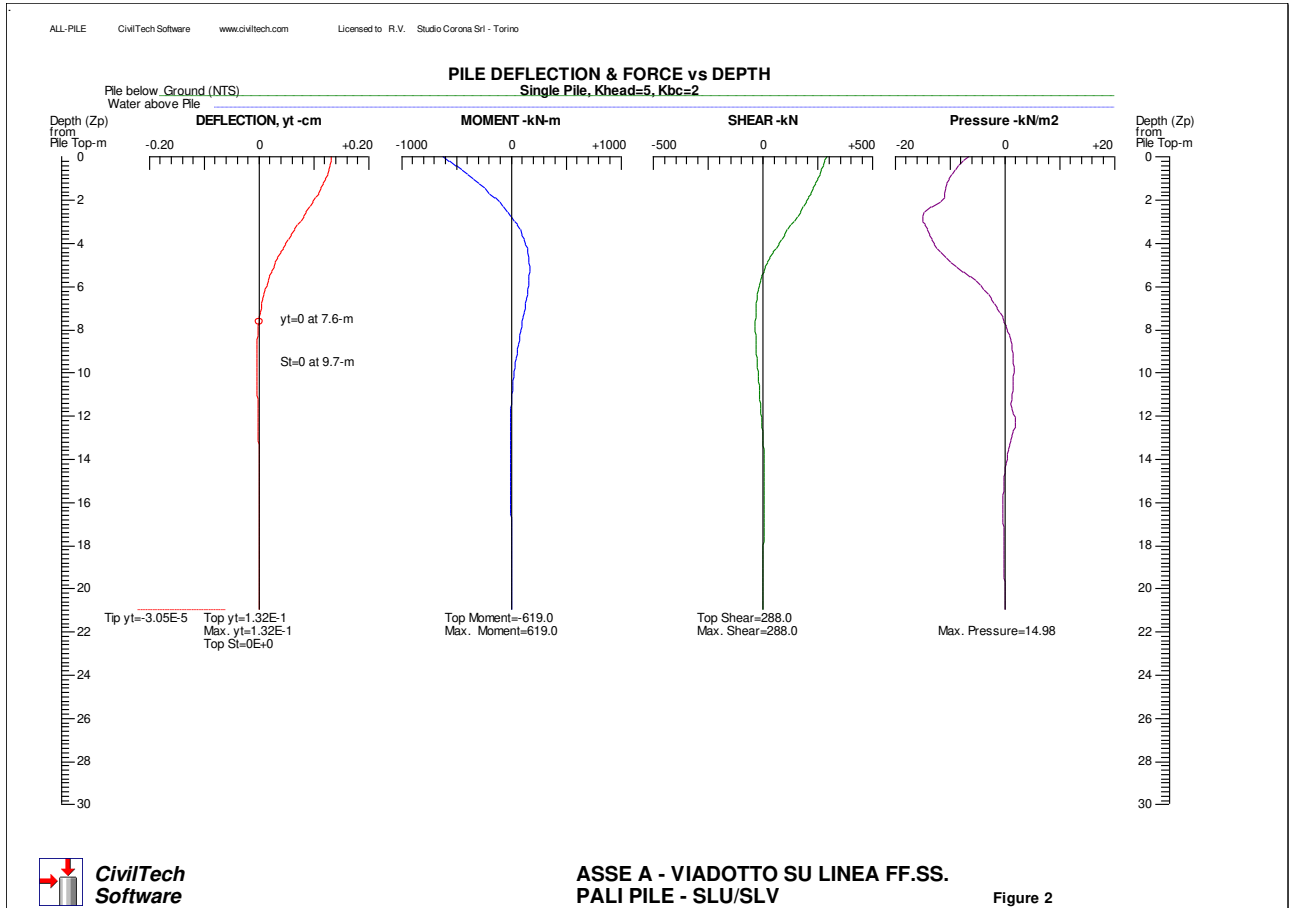
**CivilTech  
Software**

**ASSE A - VIADOTTO SU LINEA FF.SS.  
PALI PILE - SLU/SLV**









### 7.3 VERIFICA DEI PALI SOGGETTI A CARICO VERTICALE

La verifica viene svolta allo stato limite ultimo; in riferimento alle NTC 2008, si sceglie l'approccio 2, con le combinazioni A1/M1/R3 in cui si applicano i coefficienti parziali alle caratteristiche resistenti del palo:

- resistenza laterale in compressione:  $\gamma_s = 1.15$
- resistenza alla base:  $\gamma_b = 1.35$
- fattore di correlazione:  $\xi_4 = 1.70$

Si ottiene:

- Sforzo verticale di progetto:  $N_{sd} = 3308 \text{ kN}$
- Resistenza di progetto:  $R_{sd} = 3492 \text{ kN}$  ( $R_{sd} > N_{sd}$ )
- Cedimento verticale:  $DZ = 7.43 \text{ mm}$  (ammissibile)

### 7.4 PALI SOGGETTI A CARICO ORIZZONTALE - VERIFICA DI RESISTENZA DEL TERRENO

I coefficienti parziali (A1/M1/R3) risultano:

- resistenza laterale terreno:  $\gamma_t = 1.30$
- fattore di correlazione:  $\xi_4 = 1.70$

La resistenza di progetto del terreno si ottiene dalla formula:

$$R_{sd} = \alpha \frac{\lambda_p \times \sigma_v + 2 \times c' \times \sqrt{\lambda_p}}{\gamma_t \times \xi_3} \quad \text{in cui:}$$

- $\alpha = 3$ : coefficiente correttivo per tener conto dell'effetto arco
- $\lambda_p$ : coefficiente di spinta passiva
- $\sigma_v$ : pressione geostatica efficace
- $c'$ : coesione drenata

Segue il tabulato del calcolo svolto.

Il minimo coefficiente di sicurezza (resistenza / pressione) si ottiene a  $Z_p = 2.50 \text{ m}$  e vale:

$$R_{sd} / P_d = 335.8 / 18.9 = 17.8 \quad (>1: \text{verificato})$$



## 7.5 VERIFICHE DI DEFORMAZIONE PALO

- Cedimento verticale:  $DZ = 7.43 \text{ mm}$  ( $< 20 \text{ mm}$ : ammissibile)
- Deformazione orizzontale massima:  $DZ = 1.90 \text{ mm}$  ( $< 50 \text{ mm}$ : ammissibile)

## 7.6 VERIFICHE STRUTTURALI PALO

Si effettuano le verifiche a pressoflessione e taglio allo stato limite ultimo (verifiche di resistenza) e agli stati limite di esercizio (limitazione tensioni e fessurazione).

La sezione ha le seguenti caratteristiche:

- raggio:  $r = 60 \text{ cm}$
- armature long.:  $16 \text{ } \varnothing 24, r = 60 - 8 - 1.2 - 2.4/2 = 49.6 \text{ cm}$
- spirale:  $\varnothing 12, \text{ passo } 20 \text{ cm.}$

### 7.6.1 VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO STATO LIMITE ULTIMO

#### 7.6.1.1 Massimo sforzo assiale

	Sollecitazioni	Resistenze		
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 3308 \text{ kN}$			
Momento flettente:	$M_{Sd} = 567 \text{ kN.m}$	$M_{Rd} = 2319 \text{ kN.m}$	$\rightarrow$	Verificato: $M_{Rd} > M_{Sd}$
Sforzo tagliante:	$V_{Sd} = 288.5 \text{ kN}$	$V_{Rd} = 2860 \text{ kN}$	$\rightarrow$	Verificato: $V_{Rd} > V_{Sd}$

#### 7.6.1.2 Minimo sforzo assiale

	Sollecitazioni	Resistenze		
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 126.9 \text{ kN}$			
Momento flettente:	$M_{Sd} = 567 \text{ kN.m}$	$M_{Rd} = 1374 \text{ kN.m}$	$\rightarrow$	Verificato: $M_{Rd} > M_{Sd}$
Sforzo tagliante:	$V_{Sd} = 288.5 \text{ kN}$	$V_{Rd} = 2160 \text{ kN}$	$\rightarrow$	Verificato: $V_{Rd} > V_{Sd}$

### 7.6.2 VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO STATO LIMITE ULTIMO – COMBINAZIONI ECCEZIONALI

#### 7.6.2.1 Massimo sforzo assiale

	Sollecitazioni	Resistenze		
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 2865 \text{ kN}$			
Momento flettente:	$M_{Sd} = 864.0 \text{ kN.m}$	$M_{Rd} = 2591 \text{ kN.m}$	$\rightarrow$	Verificato: $M_{Rd} > M_{Sd}$
Sforzo tagliante:	$V_{Sd} = 401.0 \text{ kN}$	$V_{Rd} = 3864 \text{ kN}$	$\rightarrow$	Verificato: $V_{Rd} > V_{Sd}$

#### 7.6.2.2 Minimo sforzo assiale

	Sollecitazioni	Resistenze		
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 1065.3 \text{ kN}$			
Momento flettente:	$M_{Sd} = 864.0 \text{ kN.m}$	$M_{Rd} = 1989 \text{ kN.m}$	$\rightarrow$	Verificato: $M_{Rd} > M_{Sd}$
Sforzo tagliante:	$V_{Sd} = 401.0 \text{ kN}$	$V_{Rd} = 3405 \text{ kN}$	$\rightarrow$	Verificato: $V_{Rd} > V_{Sd}$

### 7.6.3 VERIFICHE TENSIONALI ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO – COMBINAZIONI RARE

#### 7.6.3.1 Massimo sforzo assiale

Sollecitazioni

Sforzo assiale:  $N_{Sd} = 2418 \text{ kN}$   
 Momento flettente:  $M_{Sd} = 66 \text{ kN.m}$   
 Tensione massima cls.:  $s_c = 2.30 \text{ N/mm}^2$  → Verificato:  $s_c < s_1 = 13.75 \text{ N/mm}^2$   
 Tensione massima ferri:  $s_f = 25.00 \text{ N/mm}^2$  → Verificato:  $s_f < s_3 = 337.5 \text{ N/mm}^2$   
 Nota: sezione interamente reagente

### 7.6.3.2 Minimo sforzo assiale

Sollecitazioni

Sforzo assiale:  $N_{Sd} = 1350 \text{ kN}$   
 Momento flettente:  $M_{Sd} = 66 \text{ kN.m}$   
 Tensione massima cls.:  $s_c = 1.43 \text{ N/mm}^2$  → Verificato:  $s_c < s_1 = 13.75 \text{ N/mm}^2$   
 Tensione massima ferri:  $s_f = 12.07 \text{ N/mm}^2$  → Verificato:  $s_f < s_3 = 337.5 \text{ N/mm}^2$   
 Nota: sezione interamente reagente

## 7.6.4 VERIFICHE DI FESSURAZIONE

La sezione risulta interamente reagente per ogni combinazione di esercizio.  
 Si omettono le verifiche di fessurazione.

## 7.6.5 TABULATO DI CALCOLO

Seguono tabulati di calcolo eseguiti con il programma "RC-Sec", realizzato da GeoStru Software S.a.s., Lungomare snc, 89032 – Bianco (RC).

Le verifiche per le combinazioni di carico eccezionali sono svolte separatamente dalle altre per tener conto delle differenti caratteristiche resistenti dei materiali.

### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

**NOME SEZIONE: FF-SS PILE**

Descrizione Sezione: VIADOTTO SU LINEA FF.SS. - PALI PILE  
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi  
 Tipologia sezione: Sezione generica  
 Normativa di riferimento: N.T.C.  
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante  
 Condizioni Ambientali: Poco aggressive  
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inertzia  
 Riferimento alla sismicità: Zona non sismica  
 Posizione sezione nell'asta: In zona critica

### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C25/30  
 Resis. compr. di calcolo  $f_{cd}$  : 141.60 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resis. compr. ridotta  $f_{cd}'$  : 70.80 daN/cm<sup>2</sup>  
 Def.unit. max resistenza  $ec_2$  : 0.0020  
 Def.unit. ultima  $ecu$  : 0.0035  
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo  
 Modulo Elastico Normale  $E_c$  : 314750 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff. di Poisson : 0.20  
 Resis. media a trazione  $f_{ctm}$  : 25.60 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff. Omogen. S.L.E. : 15.0  
 Combinazioni Rare in Esercizio (Tens.Limite):  
 Sc Limite : 137.5 daN/cm<sup>2</sup>

Apert.Fess.Limite : Non prevista

ACCIAIO - Tipo: B450C  
 Resist. caratt. snervam.  $f_{yk}$ : 4500.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. caratt. rottura  $f_{tk}$ : 4500.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. snerv. di calcolo  $f_{yd}$ : 3913.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. ultima di calcolo  $f_{td}$ : 3913.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Deform. ultima di calcolo  $E_{pu}$ : 0.068  
 Modulo Elastico  $E_f$  : 2100000 daN/cm<sup>2</sup>  
 Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito  
 Coeff. Aderenza ist.  $\beta_1 \cdot \beta_2$  : 1.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff. Aderenza diff.  $\beta_1 \cdot \beta_2$  : 0.50 daN/cm<sup>2</sup>  
 Comb.Rare  $S_f$  Limite : 3375.0 daN/cm<sup>2</sup>

**CARATTERISTICHE DOMINI CONGLOMERATO**

DOMINIO N° 1  
 Forma del Dominio: Circolare  
 Classe Conglomerato: C25/30  
 Raggio circonferenza: 60.00 cm  
 Ascissa X centro circ.: 0.00 cm  
 Ordinata Y centro circ.: 0.00 cm

**DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE**

N.Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre  
 Xcentro Ascissa del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre gen.  
 Ycentro Ordinata del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre gen.  
 Raggio Raggio in cm della circonferenza lungo cui sono disposte le barre gen.  
 N.Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonfer.  
 Diam. Diametro in mm della singola barra generata

N.Gen.	Xcentro,cm	Ycentro,cm	Raggio,cm	N.Barre	Diam.Ø,mm
1	0.00	0.00	49.60	16	24

**ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
 Vy Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia y  
 Vx Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia x

N.Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	330802	56700	0	28850	0
2	12692	56700	0	28850	0

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sez.  
My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.

N.Comb.	N	Mx	My
1	241854	6600	0
2	134972	6600	0

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 9.2 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 17.0 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 8.0 cm

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N ult Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult
1	S	330802	56700	0	330778	231935	0
4.091							
2	S	12692	56700	0	12703	137444	0
2.424							

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X, Y, O sez.)



Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)  
 ef min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
 Xf min Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)  
 Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)  
 ef max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
 Xf max Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)  
 Yf max Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)

N.Comb. ec max ec 3/7 Xc max Yc max ef min Xf min Yf min ef max  
 Xf max Yf max

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max	Xf max	Yf max
1	0.00350	-0.00064	0.0	60.0	0.00266	0.0	49.6	-0.00531	0.0	-49.6
2	0.00350	-0.00410	0.0	60.0	0.00196	0.0	49.6	-0.01270	0.0	-49.6

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,0 gen.  
 b Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,0 gen.  
 c Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,0 gen.  
 x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N.Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000080425	-0.001325471		
2	0.000000000	0.000147768	-0.005366062		

**ARMATURE A TAGLIO**

Diametro staffe: 12 mm  
 Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]  
 N.Bracci staffe: 2

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO**

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
 Vsdu Taglio agente [daN] = proiezz. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro  
 Vcd Taglio resistente ultimo [daN] lato conglomerato compresso  
 Vwd Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe  
 Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.  
 Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.  
 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.  
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro.  
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.

Teta                      Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato

Acw                      Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione

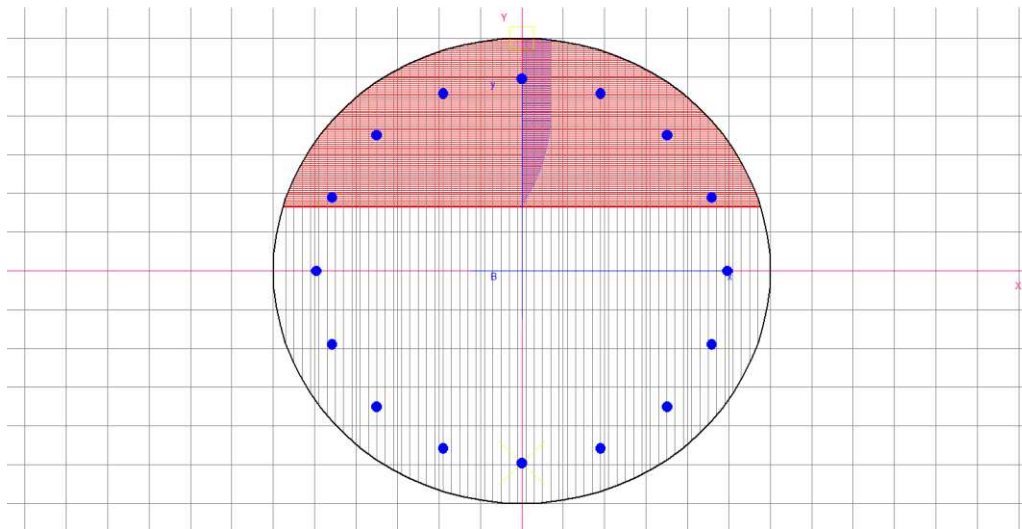
Ast                      Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil. [cm<sup>2</sup>/m]

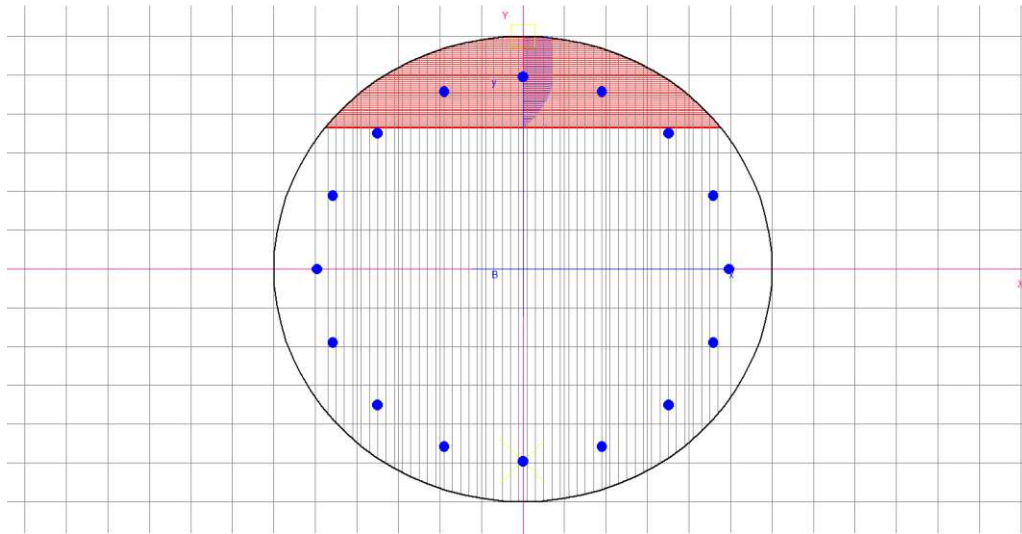
A\_Eff                    Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz. [cm<sup>2</sup>/m]

(Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.

L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
 ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio)

N.Comb.	Ver	Vsdu	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Teta	Acw	Ast
1	S	28850	286047	98014	98.4	109.6	21.80°	1.207	3.3
11.3(0.0)									
2	S	28850	216042	102887	103.3	94.4	21.80°	1.008	3.2
11.3(0.0)									

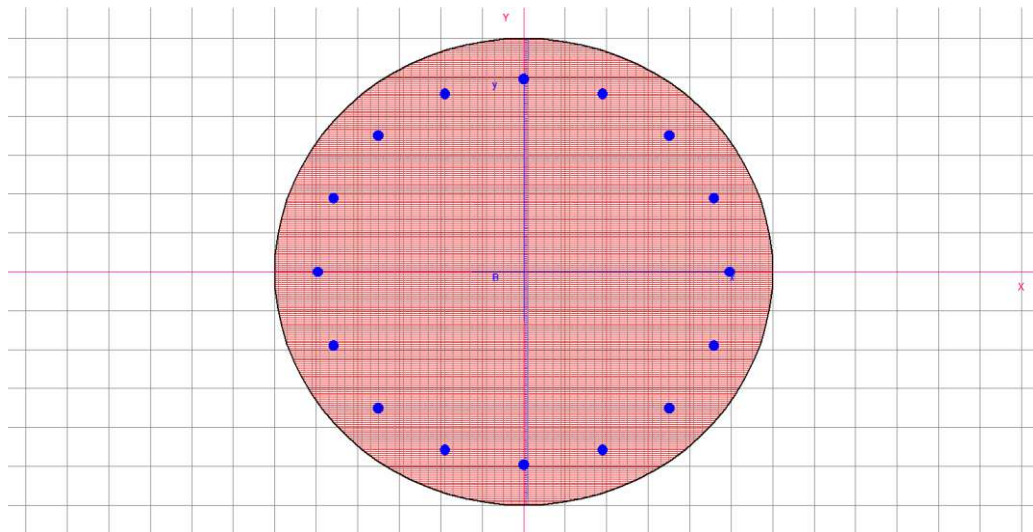




**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato
[daN/cm <sup>2</sup> ]	
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif.
X, Y, 0)	
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif.
X, Y, 0)	
Sf min	Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm <sup>2</sup> ]
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif.
X, Y, 0)	
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif.
X, Y, 0)	
Ac eff.	Area di conglomerato [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente
alle barre	
D fess.	Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm
K3	Coeff. di normativa dipendente dalla forma del diagramma
delle tensioni	
Ap.fess.	Apertura calcolata delle fessure espressa in mm

N.Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min
1	S	23.0	0.0	0.0	250	0.0	-49.6
2	S	14.3	0.0	0.0	121	0.0	-49.6



**DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.**

**NOME SEZIONE: FF-SS PILE - COMB. ECCEZ**

Descrizione Sezione: VIADOTTO SU LINEA FF.SS. - PALI PILE  
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi  
 Tipologia sezione: Sezione generica  
 Normativa di riferimento: N.T.C.  
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante  
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inertzia  
 Riferimento alla sismicit : Zona non sismica  
 Posizione sezione nell'asta: In zona critica

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CONGLOMERATO - Classe: C25/30 ECC  
 Resis. compr. di calcolo fcd : 212.50 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resis. compr. ridotta fcd' : 106.25 daN/cm<sup>2</sup>  
 Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020  
 Def.unit. ultima ecu : 0.0035  
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo  
 Modulo Elastico Normale Ec : 314750 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff. di Poisson : 0.20  
 Resis. media a trazione fctm: 25.60 daN/cm<sup>2</sup>

ACCIAIO - Tipo: B450C ECC  
 Resist. caratt. snervam. fyk: 4500.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. caratt. rottura ftk: 5400.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. snerv. di calcolo fyd: 4500.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. ultima di calcolo ftd: 4500.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Deform. ultima di calcolo Epu: 0.068  
 Modulo Elastico Ef : 2100000 daN/cm<sup>2</sup>  
 Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito

**CARATTERISTICHE DOMINI CONGLOMERATO**

**DOMINIO N° 1**

Forma del Dominio: Circolare  
 Classe Conglomerato: C25/30 ECC

Raggio circonferenza: 60.00 cm  
 Ascissa X centro circ.: 0.00 cm  
 Ordinata Y centro circ.: 0.00 cm

**DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE**

N.Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre  
 Xcentro Ascissa del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre gen.  
 Ycentro Ordinata del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre gen.  
 Raggio Raggio in cm della circonferenza lungo cui sono disposte le barre gen.  
 N.Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonf.  
 Diam. Diametro in mm della singola barra generata

N.Gen.	Xcentro,cm	Ycentro,cm	Raggio,cm	N.Barre	Diam.Ø,mm
1	0.00	0.00	49.60	16	24

**ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia x

N.Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	286500	86400	0	40100	0
2	106530	86400	0	40100	0

#### RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 9.2 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 17.0 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 8.0 cm

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N ult Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult
1	S	286500	86400	0	286502	259138	0
2.999							
2	S	106530	86400	0	106547	198903	0
2.302							

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace

Xc max	Ascissa	in cm della fibra	corrisp. a ec max	(sistema rif.
X,Y,O sez.)	Yc max	Ordinata	in cm della fibra	corrisp. a ec max (sistema rif.
X,Y,O sez.)	ef min	Deform. unit. minima	nell'acciaio (negativa se di trazione)	
Xf min	Ascissa	in cm della barra	corrisp. a ef min (sistema rif.	
X,Y,O sez.)	Yf min	Ordinata	in cm della barra	corrisp. a ef min (sistema rif.
X,Y,O sez.)	ef max	Deform. unit. massima	nell'acciaio (positiva se di compress.)	
Xf max	Ascissa	in cm della barra	corrisp. a ef max (sistema rif.	
X,Y,O sez.)	Yf max	Ordinata	in cm della barra	corrisp. a ef max (sistema rif.
X,Y,O sez.)				

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max
Xf max	Yf max							

1	0.00350	-0.00188	0.0	60.0	0.00241	0.0	49.6	-0.00797
0.0	-49.6							
2	0.00350	-0.00354	0.0	60.0	0.00208	0.0	49.6	-0.01151
0.0	-49.6							

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a	Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro	$aX+bY+c=0$	nel rif. X,Y,O gen.
b	Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro	$aX+bY+c=0$	nel rif. X,Y,O gen.
c	Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro	$aX+bY+c=0$	nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura	in presenza di sola fless.(travi)	
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti	per sola flessione in travi continue	

N.Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000104685	-0.002781081		
2	0.000000000	0.000136912	-0.004714719		

**ARMATURE A TAGLIO**

Diametro staffe:	12 mm
Passo staffe:	20.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]
N.Bracci staffe:	2

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO**

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Vsdu	Taglio agente [daN] = proiezione di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro
Vcd	Taglio resistente ultimo [daN] lato conglomerato compresso
Vwd	Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe
Dmed	Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.
	Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.
	I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro.

E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
 Teta Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm<sup>2</sup>/m]  
 A\_Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
 (Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
 ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio)

N.Comb. A_Eff	Ver	Vsdu	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Teta	Acw	Ast
1 11.3(0.0)	S	40100	386382	114833	100.3	104.4	21.80°	1.119	3.9
2 11.3(0.0)	S	40100	340547	117743	102.8	96.2	21.80°	1.044	3.9

