

# 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>	ING. <b>RENATO DEL PRETE</b>  Ing. Renato Del Prete <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073</small>	DOTT. GEOL. <b>DANILO GALLO</b>  Dott. Geol. Danilo Gallo <small>Ordine dei Geologi della Regione Puglia n° 588</small>	<b>INTEGRAZIONE PRESTAZIONI</b>	<b>PROGETTISTA</b>
			Ing. Renato Del Prete	Ing. Valerio Bajetti <small>(I.T. S.r.l.)</small>
  Ing. Valerio Bajetti <small>Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211</small>	<b>SETAC</b> Srl 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>PROGETTAZIONE STRADALE</b>	<b>PROGETTAZIONE IDRAULICA</b>
			Ing. Gaetano Ranieri <small>(Ga&amp;M S.r.l.)</small>	Ing. Fabrizio Bajetti <small>(I.T. S.r.l.)</small>
 SOCIETÀ DESIGNATA: <b>GA&amp;M</b>  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 Imperatore Traiano s.n.c. - 70124 Bari</small>  Ing. Giocchino Angarano <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970</small>	<b>PROGETTAZIONE OPERE D'ARTE MAGGIORI</b>	<b>PROGETTAZIONE OPERE D'ARTE MINORI</b>
			Ing. Renato Vaira <small>(Studio Corona S.r.l.)</small>	Ing. Nicola Ligas <small>(I.T. S.r.l.)</small>
			<b>COMPUTI</b>	<b>CANTIERISTICA</b>
			Ing. Valerio Bajetti <small>(I.T. S.r.l.)</small>	Ing. Gaetano Ranieri <small>(Ga&amp;M S.r.l.)</small>
			<b>GEOLOGIA</b>	<b>GEOTECNICA</b>
			Dott. Danilo Gallo	Ing. Gianfranco Sodero <small>(Studio Corona S.r.l.)</small>
			<b>AMBIENTE</b>	<b>SICUREZZA</b>
			Dott. Emilio Macchi <small>(ECOPLAN S.r.l.)</small>	Ing. Gaetano Ranieri <small>(Ga&amp;M S.r.l.)</small>
<b>VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</b>    Dott. Ing. Fabrizio CARDONE	<b>IL RESPONSABILE DELLA INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE</b>    Ing. Renato DEL PRETE	<b>PROGETTISTA</b>    Ing. Valerio BAJETTI	<b>GEOLOGO</b>    Dott. Danilo GALLO	<b>IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</b>    Ing. Gaetano RANIERI

# HC04

## H - PROGETTO STRUTTURALE OPERE PRINCIPALI

### PO01 - PONTE SUL BREMBIOLO ALLA PROG. 1+270

#### RELAZIONE DI CALCOLO GEOTECNICA - PALI DI FONDAZIONE

CODICE PROGETTO  PROGETTO      LIV. PROG.      N. PROG. <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">C</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">O</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">M</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">I</span> </div>	NOME FILE HC04-PO0PO01STRRE04_B.dwg  CODICE ELAB. <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">P</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">S</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">T</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">R</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">R</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">E</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4</span>	REVISIONE  <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; text-align: center; margin: 0 auto;">B</div>	SCALA:  -----
D			
C			
B	EMISSIONE A SEGUITO DI ISTRUTTORIA	LUGLIO 2018	ING. RENATO VAIRA      PROF. ING. LUIGI MONTERISI      ING. VALERIO BAJETTI
A	EMISSIONE	DICEMBRE 2017	ING. RENATO VAIRA      PROF. ING. LUIGI MONTERISI      ING. VALERIO BAJETTI
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO      VERIFICATO      APPROVATO

## SOMMARIO

1	PREMESSA.....	2
2	NORMATIVA.....	2
3	MATERIALI.....	2
3.1	Calcestruzzo pali.....	2
3.2	Armature ordinarie c.a. ....	2
3.3	Caratteristiche di durabilità e copriferri.....	3
4	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE.....	3
5	GENERALITÀ SULLE VERIFICHE GEOTECNICHE E STRUTTURALI DEI PALI.....	4
5.1	Verifiche di resistenza assiale (verticale).....	4
5.2	Verifiche di resistenza ai carichi trasversali (orizzontali).....	7
<b>5.3</b>	<b>VERIFICHE DI DEFORMAZIONE.....</b>	<b>8</b>
6	PALI SPALLE.....	8
6.1	Sollecitazioni di progetto alla testa dei pali.....	8
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
<b>6.5</b>	<b>VERIFICHE DI DEFORMAZIONE PALO.....</b>	<b>17</b>
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

## 1 PREMESSA

La presente relazione riporta i calcoli statici e geotecnici necessari per la progettazione esecutiva dei pali di fondazione del Ponte sul Torrente Brembiolo, tra le Pk. 1.+265.95 e Pk. 1+307.95 della Variante di Casalpusterlengo alla S.S. n. 9 "Via Emilia". L'opera in oggetto presenta uno schema statico di trave semplicemente appoggiata con luceluci tra gli assi di appoggio pari a 42 m.

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

- Spalle (separate per ogni carreggiata):
  - numero pali:  $N = 5$
  - interasse trasv.:  $l_t = 3.60 \text{ m}$
  - lunghezza:  $L = 26.00 \text{ m}$

## 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"

## 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:  $f_{cd} = 25 \times 0.85 / 1.5 = 14.17 \text{ N/mm}^2$

tensione limite per combinazioni caratteristiche (rare):  $s_1 = 0.6 \times 25 = 15.00 \text{ N/mm}^2$

tensione limite per combinazioni quasi permanenti:  $s_2 = 0.45 \times 25 = 11.25 \text{ N/mm}^2$

### 3.2 ARMATURE ORDINARIE C.A.

acciaio tipo: B450C  
 tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$   
 tensione caratteristica di rottura:  $f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$   
 tensione limite per combinazioni caratteristiche (rare):  $s_3 = 0.8 \times 450 = 360 \text{ N/mm}^2$

### 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
$c_u \leq 100$ kN/m <sup>2</sup>	12.2	24.5
$c_u \leq 200$ kN/m <sup>2</sup>	24.5	48.9
$c_u > 200$ kN/m <sup>2</sup>	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

Falda: il terreno in situ si considera saturo a partire da 8.5 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

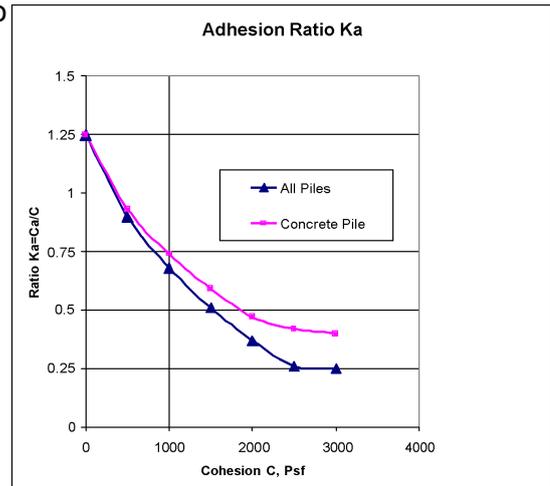
$$C_a = K_c \times K_a \times C$$

$K_c = 1$ : 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

$S_t$ : 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.

COMBINAZIONE	PALO 1	PALO 2	PALO 3	PALO 4	PALO 5	M <sub>Sd</sub> [kNm]	V <sub>Sd</sub> [kN]
	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]		
SLE - QUASI PERMANENTE	1611.01	1730.13	1849.24	1968.36	2087.47	43.69	456.36
SLE - FREQUENTE 01	1540.04	1846.93	2153.82	2460.71	2767.60	525.79	640.96
SLE - FREQUENTE 02	1931.07	2077.52	2223.97	2370.42	2516.88	526.23	641.14
SLE - FREQUENTE 03	2169.01	2185.12	2201.23	2217.34	2233.45	526.16	641.11
SLE - FREQUENTE 04	2287.93	2215.17	2142.42	2069.66	1996.91	525.95	641.02
SLE - FREQUENTE 05	1659.19	1761.70	1864.21	1966.71	2069.22	44.21	456.56
SLE - CARATTERISTICA 01	1509.44	1882.39	2255.34	2628.29	3001.24	686.61	702.56
SLE - CARATTERISTICA 02	2030.82	2189.85	2348.88	2507.92	2666.95	687.20	702.80
SLE - CARATTERISTICA 03	2348.07	2333.32	2318.56	2303.81	2289.05	687.11	702.76
SLE - CARATTERISTICA 04	2506.63	2373.38	2240.14	2106.90	1973.66	686.82	702.65
SLE - CARATTERISTICA 05	1483.18	1811.02	2138.86	2466.70	2794.54	525.43	640.79
SLE - CARATTERISTICA 06	1874.21	2041.61	2209.01	2376.41	2543.81	525.88	640.96
SLE - CARATTERISTICA 07	2112.15	2149.21	2186.27	2223.33	2260.39	525.81	640.94
SLE - CARATTERISTICA 08	2231.07	2179.26	2127.45	2075.65	2023.84	525.59	640.85
SLE - CARATTERISTICA 09	1482.54	1810.70	2138.86	2467.02	2795.18	404.96	593.52
SLE - CARATTERISTICA 10	1873.57	2041.29	2209.01	2376.73	2544.45	405.40	593.69
SLE - CARATTERISTICA 11	2111.51	2148.89	2186.27	2223.65	2261.03	405.33	593.67
SLE - CARATTERISTICA 12	2230.43	2178.94	2127.45	2075.97	2024.48	405.11	593.58
SLE - CARATTERISTICA 13	1545.30	1852.06	2158.81	2465.56	2772.31	526.15	641.23
SLE - CARATTERISTICA 14	1936.34	2082.65	2228.96	2375.27	2521.58	526.60	641.41
SLE - CARATTERISTICA 15	2174.28	2190.25	2206.22	2222.19	2238.16	526.52	641.38
SLE - CARATTERISTICA 16	2293.19	2220.30	2147.40	2074.51	2001.62	526.31	641.29
SLU - STR 01	2096.70	2595.90	3095.09	3594.29	4093.49	935.54	951.79
SLU - STR 02	2800.56	3010.97	3221.37	3431.78	3642.19	936.34	952.11
SLU - STR 03	3228.86	3204.65	3180.44	3156.23	3132.02	936.21	952.05
SLU - STR 04	3442.90	3258.74	3074.57	2890.41	2706.24	935.83	951.90
SLU - STR 05	2051.23	2493.04	2934.84	3376.65	3818.46	717.86	868.34
SLU - STR 06	2579.12	2804.34	3029.55	3254.77	3479.98	718.46	868.58
SLU - STR 07	2900.35	2949.60	2998.85	3048.11	3097.36	718.36	868.54
SLU - STR 08	3060.88	2990.17	2919.45	2848.74	2778.03	718.07	868.43
SLU - STR 09	2050.27	2492.56	2934.84	3377.13	3819.42	537.14	797.45
SLU - STR 10	2578.16	2803.86	3029.55	3255.25	3480.94	537.74	797.68
SLU - STR 11	2899.39	2949.12	2998.85	3048.59	3098.32	537.64	797.65
SLU - STR 12	3059.92	2989.69	2919.45	2849.22	2778.98	537.36	797.53
SLU - STR 13	2144.42	2554.60	2964.77	3374.94	3785.11	718.93	869.04
SLU - STR 14	2672.32	2865.90	3059.48	3253.06	3446.64	719.53	869.27
SLU - STR 15	2993.54	3011.16	3028.78	3046.40	3064.02	719.43	869.23
SLU - STR 16	3154.07	3051.73	2949.38	2847.03	2744.68	719.15	869.12
SLV 01	1610.79	1747.38	1883.96	2020.54	2157.13	1259.03	972.60
SLV 02	1571.65	1708.00	1844.36	1980.71	2117.07	1293.19	972.52
SLV 03	1662.76	1765.06	1867.35	1969.65	2071.94	1258.97	972.52
SLV 04	1623.62	1725.68	1827.75	1929.81	2031.88	1293.13	972.44
SLV 05	1598.41	1734.57	1870.74	2006.90	2143.07	-390.49	261.05
SLV 06	1559.26	1695.20	1831.14	1967.07	2103.01	-356.32	260.97
SLV 07	1650.38	1752.25	1854.13	1956.01	2057.88	-390.55	261.22
SLV 08	1611.23	1712.88	1814.53	1916.17	2017.82	-356.38	261.15
SLV 09	1545.83	1722.27	1898.71	2075.15	2251.59	396.42	642.68
SLV 10	1506.69	1682.90	1859.11	2035.32	2211.53	430.59	642.59
SLV 11	1542.12	1718.43	1894.74	2071.06	2247.37	-98.43	443.36
SLV 12	1502.97	1679.06	1855.14	2031.23	2207.31	-64.27	443.28
SLV 13	1719.05	1781.20	1843.35	1905.49	1967.64	396.22	642.51
SLV 14	1679.91	1741.83	1803.74	1865.66	1927.58	430.39	642.45
SLV 15	1715.34	1777.36	1839.38	1901.40	1963.42	-98.63	443.39
SLV 16	1676.19	1737.98	1799.78	1861.57	1923.36	-64.47	443.33
SLV 17	1652.13	1788.83	1925.54	2062.24	2198.94	356.49	613.75
SLV 18	1704.09	1806.51	1908.93	2011.34	2113.76	356.43	613.69
SLV 19	1648.41	1784.99	1921.57	2058.15	2194.73	-138.37	400.34
SLV 20	1700.38	1802.67	1904.96	2007.25	2109.54	-138.43	400.34
SLV 21	1521.65	1657.59	1793.53	1929.47	2065.41	470.38	613.48
SLV 22	1573.61	1675.26	1776.92	1878.57	1980.22	470.32	613.44
SLV 23	1517.93	1653.75	1789.56	1925.37	2061.19	-24.47	400.06
SLV 24	1569.90	1671.42	1772.95	1874.48	1976.00	-24.53	400.09

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

MASSIMI / MINIMI	$N_{Sd,max}$ [kN]	$N_{Sd,min}$ [kN]	$M_{Sd}$ [kNm]	$V_{Sd}$ [kN]
SLE - QUASI PERMANENTE	2 087.47	1 611.01	43.69	456.36
SLE - FREQUENTI	2 767.60	1 540.04	526.23	641.14
SLE - CARATTERISTICHE	3 001.24	1 482.54	687.20	702.80
SLU - STR	4 093.49	2 050.27	936.34	952.11
SLV	2 251.59	1 502.97	1 293.19	972.60

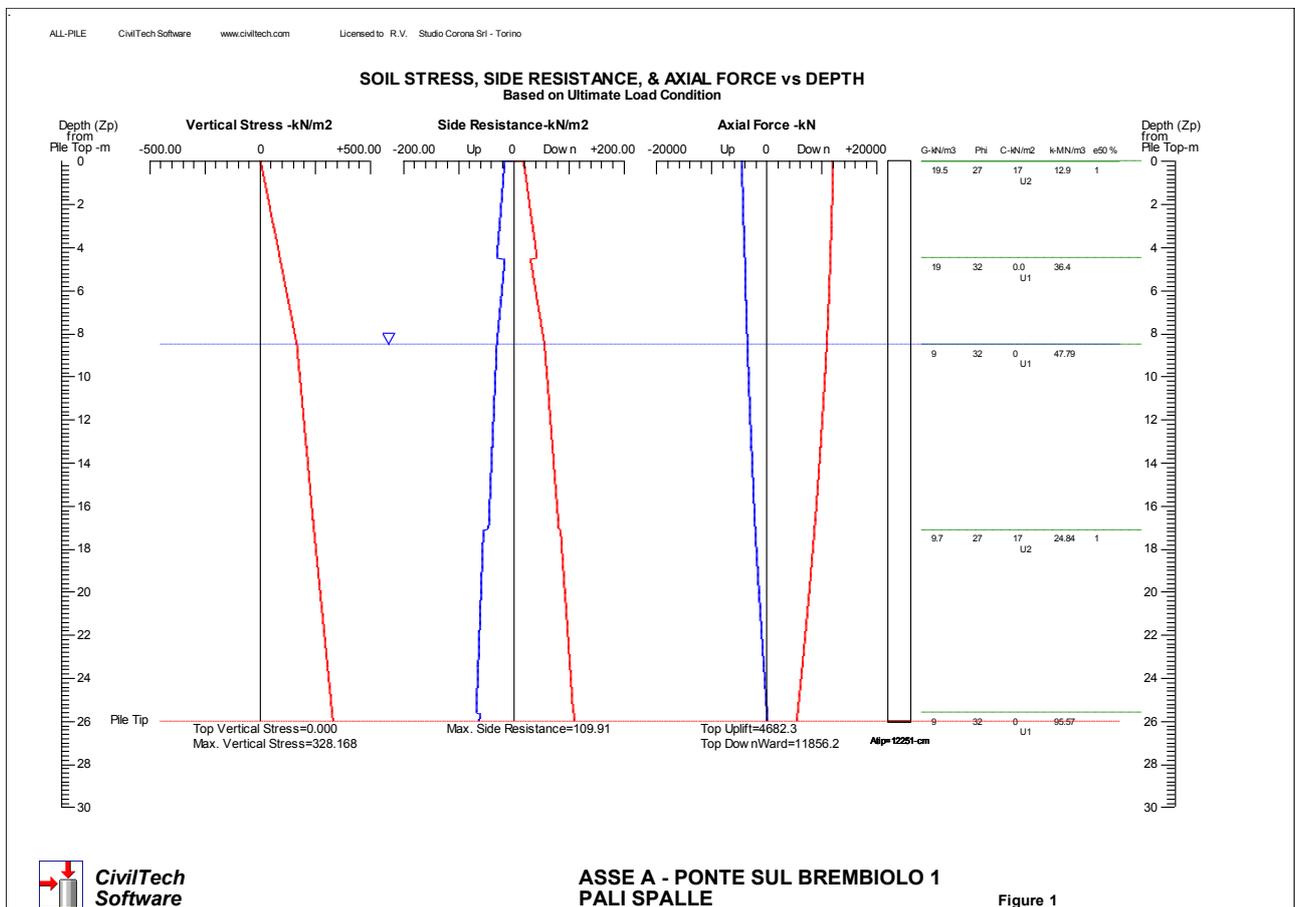
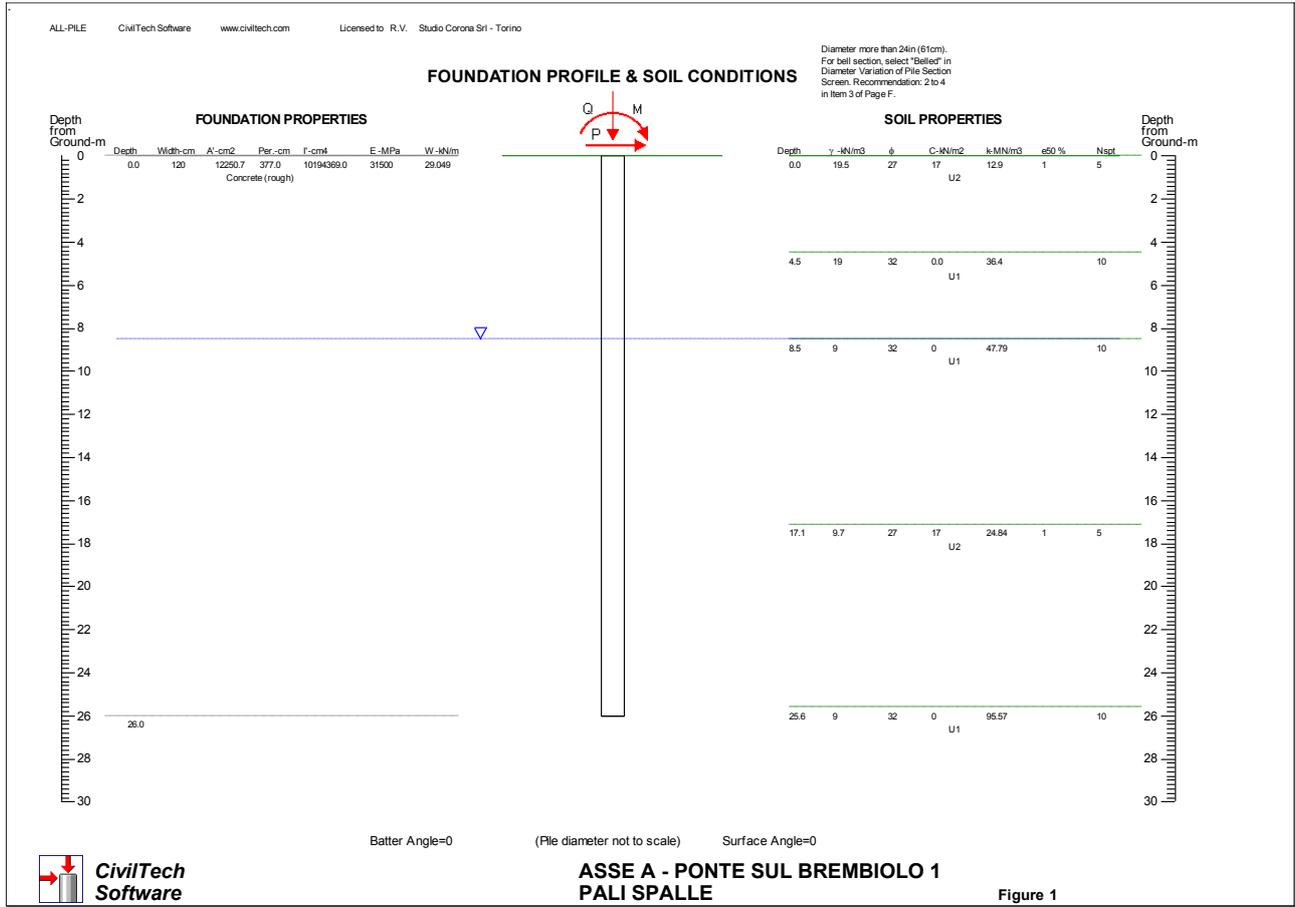
## 6.2 CALCOLO DELLE CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE E DEFORMAZIONE DEL PALO

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 circa coincidente con il piano di campagna.

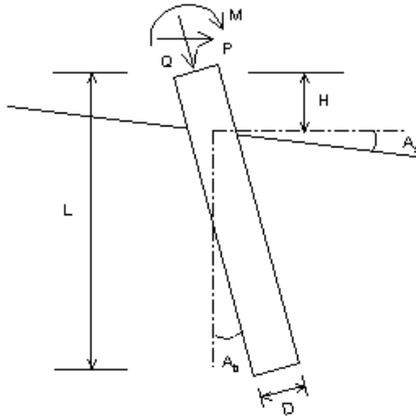
Seguono i diagrammi risultanti dalle analisi verticale e laterale del palo.

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: Static

Vertical Load, Q= 4093.5 -kN  
 Shear Load, P= 972.6 -kN  
 Moment, M= 1293.2 -kN-m

**Profile:**

Pile Length, L= 26.0 -m  
 Top Height, H= 0 -m  
 Slope Angle, As= 0  
 Batter Angle, Ab= 0

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

Soil Data:							Pile Data:						
Depth	Gamma	Phi	C	K	e50 or Dr	Nspt	Depth	Width	Area	Per.	I	E	Weight
-m	-kN/m3		-kN/m2	-MN/m3	%		-m	-cm	-cm2	-cm	-cm4	-MPa	-kN/m
0	19.5	27	17	12.9	1	5	0.0	120	12250.7	377.0	10194369.0	1500	29.049
4.5	19	32	0.0	36.4	60.00	10	26.0						
8.5	9	32	0	47.79	60	10							
17.1	9.7	27	17	24.84	1	5							
25.6	9	32	0	95.57	60	10							

**Vertical capacity:**

Weight above Ground= 0.00 Total Weight= 561.81-kN \*Soil Weight is not included  
 Side Resistance (Down)= 6576.121-kN Side Resistance (Up)= 4120.452-kN  
 Tip Resistance (Down)= 5280.122-kN Tip Resistance (Up)= 0.000-kN  
 Total Ultimate Capacity (Down)= 11856.243-kN Total Ultimate Capacity (Up)= 4682.264-kN  
 Total Allowable Capacity (Down)= 5583.766-kN Total Allowable Capacity (Up)= 2523.932-kN  
 OK! Qallow > Q

**Settlement Calculation:**

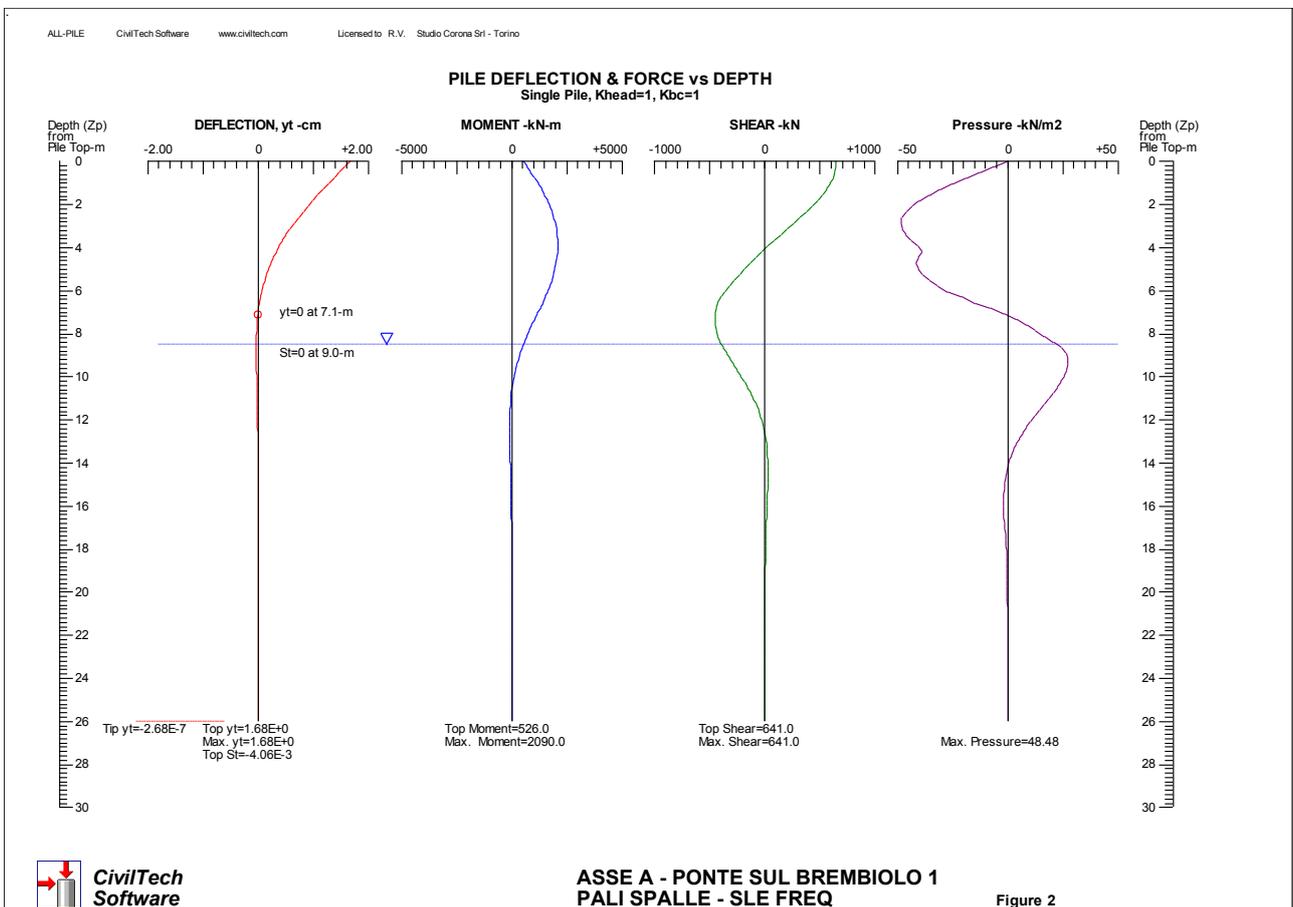
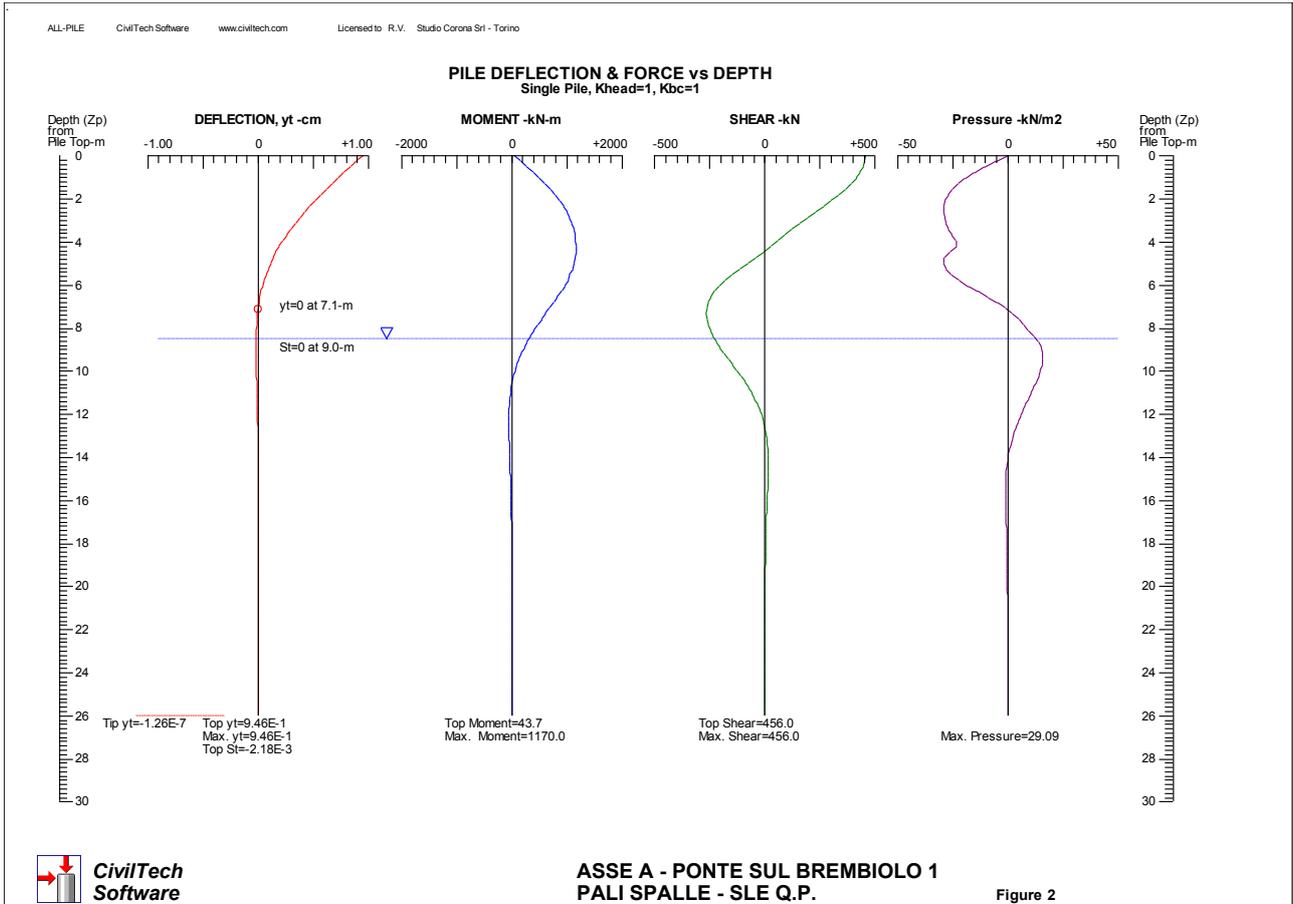
At Q= 4093.49-kN Settlement= 0.54085-cm  
 At Xallow= 2.00-cm Qallow= 7909.67529-kN

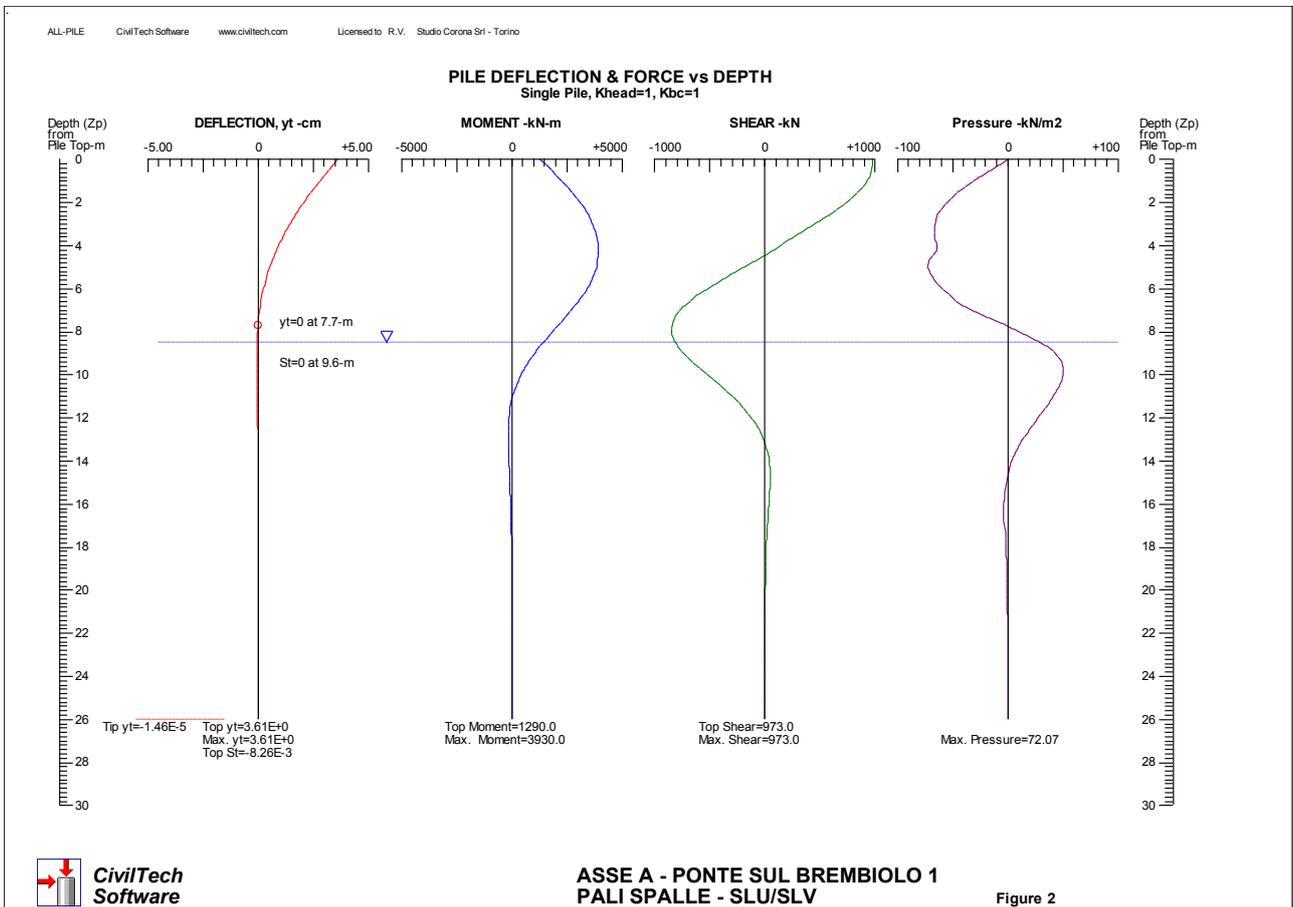
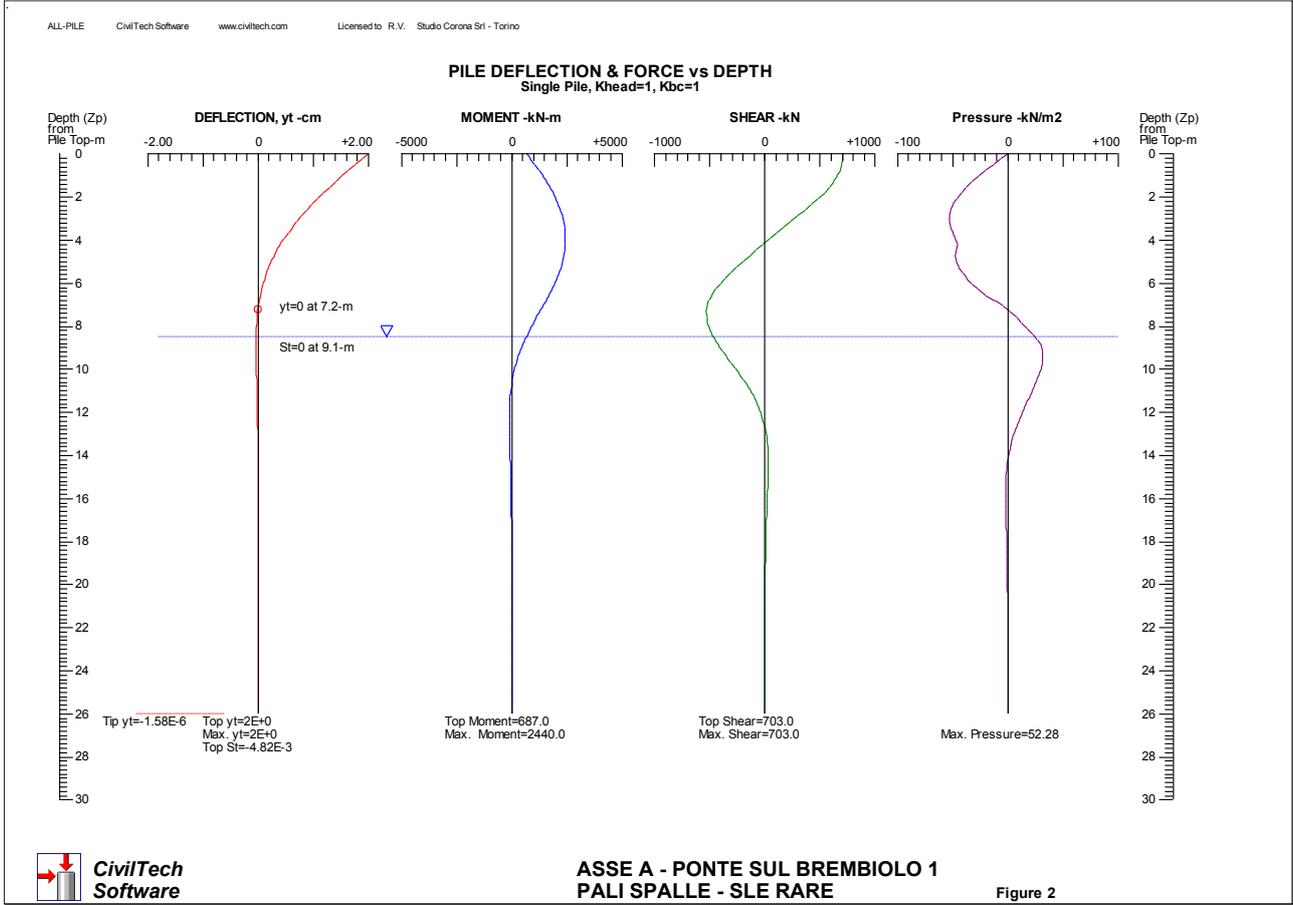
Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 99999.



**CivilTech  
Software**

**ASSE A - PONTE SUL BREMBIOLO 1  
PALI SPALLE**





### 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:  $N_{sd} = 4093.5 \text{ kN}$
- Resistenza di progetto:  $R_{sd} = 5583.8 \text{ kN}$  ( $R_{sd} > N_{sd}$ )
- Cedimento verticale:  $DZ = 5.41 \text{ mm}$  (<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.

Il minimo coefficiente di sicurezza (resistenza / pressione) si ottiene a  $Z_p = 1.80 \text{ m}$  e vale:

$$R_{sd} / P_d = 202.2 / 51.8 = 3.90 \quad (>1: \text{verificato})$$

Zp - Depth from pile Top  
 yt - Pile top deflection  
 Moment - Internal moment in pile shaft  
 Shear - Internal shear force in pile shaft  
 Pressure - Soil-Pile interactive pressure (Arching is considered)  
 Slope - Deflection slope at pile top

Zp (m)	yt (cm)	Moment (kN.m)	Shear (kN)	Pressure (kN/m2)	Slope	Terreno	Gamma (kN/mc)	C' (kN/m2)	Kp	Sigma_V (kN/m2)	R_Sd (kN/m2)	Verifica ? R/P > 1
0	3.61	1290	973	0	-0.00826	U2	19.5	17	2.6629	0	0	0
0.3	3.4	1560	972.4	-8.2	-0.00808	U2	19.5	17	2.6629	5.85	96.462	11.76
0.5	3.19	1820	966	-16.4	-0.00778	U2	19.5	17	2.6629	9.75	110.560	6.74
0.8	2.98	2070	949.8	-24.5	-0.00808	U2	19.5	17	2.6629	15.6	131.706	5.38
1	2.77	2320	921.2	-32.3	-0.00808	U2	19.5	17	2.6629	19.5	145.804	4.51
1.3	2.58	2560	881.8	-39.5	-0.00731	U2	19.5	17	2.6629	25.35	166.951	4.23
1.6	2.38	2780	833.6	-46	-0.00741	U2	19.5	17	2.6629	31.2	188.097	4.09
1.8	2.19	2990	776.4	-51.8	-0.00731	U2	19.5	17	2.6629	35.1	202.195	3.90
2.1	2.01	3180	710.7	-56.7	-0.00692	U2	19.5	17	2.6629	40.95	223.342	3.94
2.4	1.84	3350	637.9	-60.7	-0.00654	U2	19.5	17	2.6629	46.8	244.488	4.03
2.6	1.67	3500	559.5	-63.7	-0.0063	U2	19.5	17	2.6629	50.7	258.586	4.06
2.9	1.51	3630	477.2	-65.6	-0.00615	U2	19.5	17	2.6629	56.55	279.732	4.26
3.2	1.36	3730	394	-66.5	-0.00577	U2	19.5	17	2.6629	62.4	300.879	4.52
3.4	1.22	3810	311.7	-66.5	-0.00538	U2	19.5	17	2.6629	66.3	314.977	4.74
3.7	1.08	3870	229.9	-65.7	-0.00519	U2	19.5	17	2.6629	72.15	336.123	5.12
3.9	0.95	3910	148.1	-64.2	-0.00481	U2	19.5	17	2.6629	76.05	350.221	5.46
4.2	0.84	3930	65.7	-64.2	-0.00454	U2	19.5	17	2.6629	81.9	371.367	5.78
4.5	0.73	3920	-19	-68	-0.00427	U2	19.5	17	2.6629	87.75	392.514	5.77
4.7	0.63	3900	-107.7	-71.6	-0.00374	U1	19	0	3.2546	91.55	404.469	5.65
5	0.53	3850	-199.4	-72.1	-0.00362	U1	19	0	3.2546	97.25	429.651	5.96
5.3	0.45	3770	-291	-70.3	-0.00327	U1	19	0	3.2546	102.95	454.834	6.47
5.5	0.37	3670	-379	-66.9	-0.00285	U1	19	0	3.2546	106.75	471.622	7.05
5.8	0.3	3540	-462.2	-62.6	-0.00269	U1	19	0	3.2546	112.45	496.805	7.94
6	0.24	3400	-541.3	-57.9	-0.00235	U1	19	0	3.2546	116.25	513.594	8.87
6.3	0.18	3240	-615.9	-52.8	-0.00212	U1	19	0	3.2546	121.95	538.776	10.20
6.6	0.14	3050	-682.9	-46.8	-0.00174	U1	19	0	3.2546	127.65	563.959	12.05
6.8	0.1	2850	-739.4	-39.1	-0.00157	U1	19	0	3.2546	131.45	580.747	14.85
7.1	0.06	2640	-784.7	-28.9	-0.00134	U1	19	0	3.2546	137.15	605.930	20.97
7.3	0.03	2420	-819	-17	-0.00112	U1	19	0	3.2546	140.95	622.718	36.63
7.6	0.01	2190	-841.6	-5.3	-0.00088	U1	19	0	3.2546	146.65	647.901	122.25
7.9	-0.01	1960	-850.3	5.4	-0.00074	U1	19	0	3.2546	152.35	673.084	124.65
8.1	-0.03	1730	-844.4	15.7	-0.00057	U1	19	0	3.2546	156.15	698.267	14.65
8.4	-0.04	1510	-825.7	26.3	-0.00043	U1	19	0	3.2546	161.85	723.450	9.06
8.7	-0.05	1290	-795.8	35.4	-0.0003	U1	9	0	3.2546	164.55	748.633	6.85
8.9	-0.05	1090	-755.1	42	-0.0002	U1	9	0	3.2546	166.35	773.816	5.83
9.2	-0.05	899	-704.6	46.4	-0.00011	U1	9	0	3.2546	169.05	798.999	5.37
9.4	-0.05	727	-647.6	49.3	-0.00003	U1	9	0	3.2546	170.85	824.182	5.10
9.7	-0.05	571	-587	50.6	0.00002	U1	9	0	3.2546	173.55	849.365	5.05
10	-0.05	433	-524.5	50.6	0.00007	U1	9	0	3.2546	176.25	874.548	5.13
10.2	-0.05	312	-462.2	49.4	0.00011	U1	9	0	3.2546	178.95	899.731	5.31
10.5	-0.05	207	-401.8	47.3	0.00013	U1	9	0	3.2546	180.75	924.914	5.63
10.8	-0.04	119	-343.7	44.6	0.00015	U1	9	0	3.2546	183.45	950.097	6.06
11	-0.04	44.9	-288.3	41.3	0.00016	U1	9	0	3.2546	185.25	975.280	6.61
11.3	-0.03	-15	-236.6	37.7	0.00016	U1	9	0	3.2546	187.95	1000.463	7.34
11.6	-0.03	-62.3	-189.4	33.9	0.00016	U1	9	0	3.2546	190.65	1025.646	8.28
11.8	-0.03	-98.3	-147	30	0.00015	U1	9	0	3.2546	192.45	1050.829	9.45
12.1	-0.02	-124	-109.3	26.1	0.00015	U1	9	0	3.2546	195.15	1076.012	11.01
12.3	-0.02	-142	-76.3	22.3	0.00014	U1	9	0	3.2546	196.95	1101.195	13.01
12.6	-0.01	-152	-47.9	18.7	0.00012	U1	9	0	3.2546	199.65	1126.378	15.72
12.9	-0.01	-156	-24	15.3	0.00012	U1	9	0	3.2546	202.35	1151.561	19.48
13.1	-0.01	-155	-4.4	12.2	0.0001	U1	9	0	3.2546	204.15	1176.744	24.64
13.4	-0.01	-150	11.2	9.4	0.00009	U1	9	0	3.2546	206.85	1201.927	32.41
13.7	0	-142	23.4	6.9	0.00007	U1	9	0	3.2546	209.55	1227.110	44.72
13.9	0	-132	32.5	4.7	0.00006	U1	9	0	3.2546	211.35	1252.293	66.22
14.2	0	-121	39	2.8	0.00005	U1	9	0	3.2546	214.05	1277.476	112.58
14.4	0	-108	43	1.2	0.00004	U1	9	0	3.2546	215.85	1302.659	264.90
14.7	0	-95.3	45.1	-0.1	0.00003	U1	9	0	3.2546	218.55	1327.842	3218.49
15	0	-82.6	45.3	-1.1	0.00003	U1	9	0	3.2546	221.25	1353.025	296.21
15.2	0	-70.4	44.2	-1.9	0.00002	U1	9	0	3.2546	223.95	1378.208	172.88
15.5	0	-58.9	42	-2.6	0.00001	U1	9	0	3.2546	225.75	1403.391	127.87
15.8	0	-48.3	39.1	-3	0.00001	U1	9	0	3.2546	228.45	1428.574	112.14
16	0	-38.7	35.5	-3.3	0	U1	9	0	3.2546	230.25	1453.757	102.75
16.3	0	-30.2	31.5	-3.4	0	U1	9	0	3.2546	232.95	1478.940	100.90
16.5	0	-23	27.4	-3.5	0	U1	9	0	3.2546	234.75	1504.123	98.77
16.8	0	-16.9	23.3	-3.3	0	U1	9	0	3.2546	237.45	1529.306	105.97
17.1	0	-12	19.5	-2.7	0	U1	9	0	3.2546	240.15	1554.489	130.99
17.3	0	-8.2	16.2	-2.2	0	U2	9.7	17	2.6629	242.09	1579.672	144.00
17.6	0	-5	13.4	-1.8	-0.00001	U2	9.7	17	2.6629	245	1604.855	177.95
17.9	0	-2.3	11	-1.5	-0.00001	U2	9.7	17	2.6629	247.91	1630.038	215.88
18.1	0	0	9	-1.4	-0.00001	U2	9.7	17	2.6629	249.85	1655.221	232.97
18.4	0	1.7	7.2	-1.2	-0.00001	U2	9.7	17	2.6629	252.76	1680.404	274.72
18.6	0	3.1	5.7	-1.1	-0.00001	U2	9.7	17	2.6629	254.7	1705.587	301.82
18.9	0	4.2	4.3	-0.9	-0.00001	U2	9.7	17	2.6629	257.61	1730.770	372.79
19.2	0	4.9	3.1	-0.8	-0.00001	U2	9.7	17	2.6629	260.52	1755.953	423.77
19.4	0	5.4	2.1	-0.7	-0.00001	U2	9.7	17	2.6629	262.46	1781.136	487.64
19.7	0	5.6	1.3	-0.6	0	U2	9.7	17	2.6629	265.37	1806.319	574.76
20	0	5.7	0.5	-0.5	0	U2	9.7	17	2.6629	268.28	1831.502	696.73
20.2	0	5.6	-0.1	-0.4	0	U2	9.7	17	2.6629	270.22	1856.685	876.75
20.5	0	5.4	-0.5	-0.3	0	U2	9.7	17	2.6629	273.13	1881.868	1180.69
20.8	0	5.1	-0.9	-0.2	0	U2	9.7	17	2.6629	276.04	1907.051	1788.56
21	0	4.8	-1.2	-0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	277.98	1932.234	3600.49
21.3	0	4.4	-1.3	-0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	280.89	1957.417	3635.55
21.5	0	4	-1.5	0	0	U2	9.7	17	2.6629	282.83	1982.600	9999.00
21.8	0	3.5	-1.5	0	0	U2	9.7	17	2.6629	285.74	2007.783	9999.00
22.1	0	3.1	-1.5	0	0	U2	9.7	17	2.6629	288.65	2032.966	9999.00
22.3	0	2.7	-1.5	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	290.59	2058.149	3752.43
22.6	0	2.3	-1.4	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	293.5	2083.332	3787.49
22.9	0	1.9	-1.3	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	296.41	2108.515	3822.55
23.1	0	1.6	-1.2	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	298.35	2133.698	3845.93
23.4	0	1.3	-1.1	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	301.26	2158.881	3880.99
23.6	0	1	-1	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	303.2	2184.064	3904.37
23.9	0	0.8	-0.9	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	306.11	2209.247	3939.43
24.2	0	0.6	-0.8	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	309.02	2234.430	3974.49
24.4	0	0.5	-0.6	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	310.96	2259.613	3997.87
24.7	0	0.3	-0.5	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	313.87	2284.796	4032.93
25	0	0.2	-0.4	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	316.78	2309.979	4068.00
25.2	0	0.1	-0.3	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	318.72	2335.162	4091.37
25.5	0	0.1	-0.3	0.1								

## 6.5 VERIFICHE DI DEFORMAZIONE PALO

- Cedimento verticale:  $DZ = 5.41 \text{ mm}$  ( $< 20 \text{ mm}$ : ammissibile)
- Deformazione orizzontale massima:  $DZ = 36.1 \text{ mm}$  ( $< 50 \text{ mm}$ : 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.:  $20 \text{ } \varnothing 30, r = 60 - 8 - 1.2 - 3/2 = 49.3 \text{ cm}$   
 $20 \text{ } \varnothing 30, r = 49.3 - 2 \times 3 = 43.3 \text{ cm}$
- 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:	$N_{Sd} = 4093.5 \text{ kN}$			
Momento flettente:	$M_{Sd} = 3930.0 \text{ kN.m}$	$M_{Rd} = 4810.7 \text{ kN.m}$	$\rightarrow$	Verificato: $M_{Rd} > M_{Sd}$
Sforzo tagliante:	$V_{Sd} = 973.0 \text{ kN}$	$V_{Rd} = 2985.0 \text{ kN}$	$\rightarrow$	Verificato: $V_{Rd} > V_{Sd}$

#### 6.6.1.2 Minimo sforzo assiale

	Sollecitazioni	Resistenze		
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 1503.0 \text{ kN}$			
Momento flettente:	$M_{Sd} = 3930.0 \text{ kN.m}$	$M_{Rd} = 4476.6 \text{ kN.m}$	$\rightarrow$	Verificato: $M_{Rd} > M_{Sd}$
Sforzo tagliante:	$V_{Sd} = 973.0 \text{ kN}$	$V_{Rd} = 2593.2 \text{ kN}$	$\rightarrow$	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:	$N_{Sd} = 3001.2 \text{ kN}$		
Momento flettente:	$M_{Sd} = 2440.0 \text{ kN.m}$		
Tensione massima cls.:	$s_c = 14.86 \text{ N/mm}^2$	$\rightarrow$	Verificato: $s_c < s_1 = 15 \text{ N/mm}^2$
Tensione massima ferri:	$s_f = 206.95 \text{ N/mm}^2$	$\rightarrow$	Verificato: $s_f < s_3 = 360 \text{ N/mm}^2$

#### 6.6.2.2 Minimo sforzo assiale

	Sollecitazioni		
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 1482.5 \text{ kN}$		
Momento flettente:	$M_{Sd} = 2440.0 \text{ kN.m}$		
Tensione massima cls.:	$s_c = 14.57 \text{ N/mm}^2$	$\rightarrow$	Verificato: $s_c < s_1 = 15 \text{ N/mm}^2$
Tensione massima ferri:	$s_f = 262.45 \text{ N/mm}^2$	$\rightarrow$	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:	$N_{Sd} = 2767.6 \text{ kN}$	
Momento flettente:	$M_{Sd} = 2090.0 \text{ kN.m}$	
Tensione massima cls.:	$s_c = 12.76 \text{ N/mm}^2$	
Tensione massima ferri:	$s_f = 170.44 \text{ N/mm}^2$	
Apertura fessure:	$w = 0.303 \text{ mm}$	→ Verificato: $w < w_3 = 0.4 \text{ mm}$

#### 6.6.3.2 Minimo sforzo assiale

	Sollecitazioni	
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 1540.0 \text{ kN}$	
Momento flettente:	$M_{Sd} = 2090.0 \text{ kN.m}$	
Tensione massima cls.:	$s_c = 12.54 \text{ N/mm}^2$	
Tensione massima ferri:	$s_f = 214.62 \text{ N/mm}^2$	
Apertura fessure:	$w = 0.392 \text{ mm}$	→ 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:	$N_{Sd} = 2087.5 \text{ kN}$	
Momento flettente:	$M_{Sd} = 1170.0 \text{ kN.m}$	
Tensione massima cls.:	$s_c = 7.22 \text{ N/mm}^2$	→ Verificato: $s_c < s_2 = 11.25 \text{ N/mm}^2$
Tensione massima ferri:	$s_f = 77.72 \text{ N/mm}^2$	
Apertura fessure:	$w = 0.106 \text{ mm}$	→ Verificato: $w < w_2 = 0.3 \text{ mm}$

#### 6.6.4.2 Minimo sforzo assiale

	Sollecitazioni	
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 1611.0 \text{ kN}$	
Momento flettente:	$M_{Sd} = 1170.0 \text{ kN.m}$	
Tensione massima cls.:	$s_c = 7.15 \text{ N/mm}^2$	→ Verificato: $s_c < s_2 = 11.25 \text{ N/mm}^2$
Tensione massima ferri:	$s_f = 93.30 \text{ N/mm}^2$	
Apertura fessure:	$w = 0.141 \text{ mm}$	→ 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: BR-1 SPALLE

Descrizione Sezione: PONTE SUL BREMBIOLO 1 - 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 barre gen.	Ascissa del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre gen.
Ycentro barre gen.	Ordinata del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre gen.
Raggio barre gen.	Raggio in cm della circonferenza lungo cui sono disposte le barre gen.
N.Barre Diam.	Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonfer. 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	20	30
2	0.00	0.00	43.30	20	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	409349	393000	0	97300	0
2	150297	393000	0	97300	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	300124	244000	0
2	148254	244000	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	276760	209000	0
2	154004	209000	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	208747	117000	0
2	161101	117000	0

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 8.5 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.							

1.224	1	S	409349	393000	0	409367	481066	0
1.139	2	S	150297	393000	0	150280	447657	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	0.00011	0.0	60.0	0.00284	0.0	50.0	-0.00374
2	0.00350	-0.00057	0.0	60.0	0.00271	0.0	50.0	-0.00520

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	0.000065830	-0.000449785		
2	0.000000000	0.000079063	-0.001243796		

ARMATURE A TAGLIO

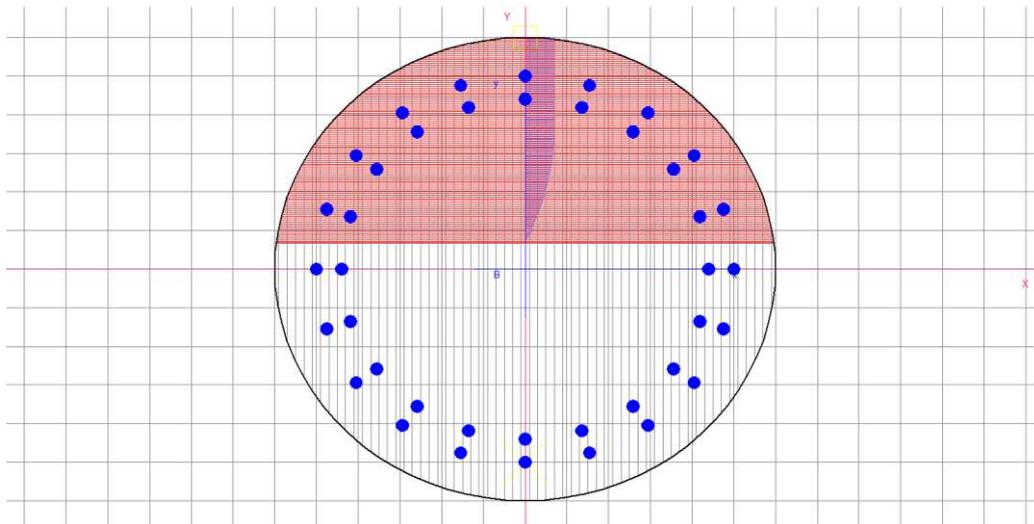
Diametro staffe:	12 mm	
Passo staffe:	20.0 cm	[Passo massimo di normativa = 25.0 cm]
N.Bracci staffe:	2	

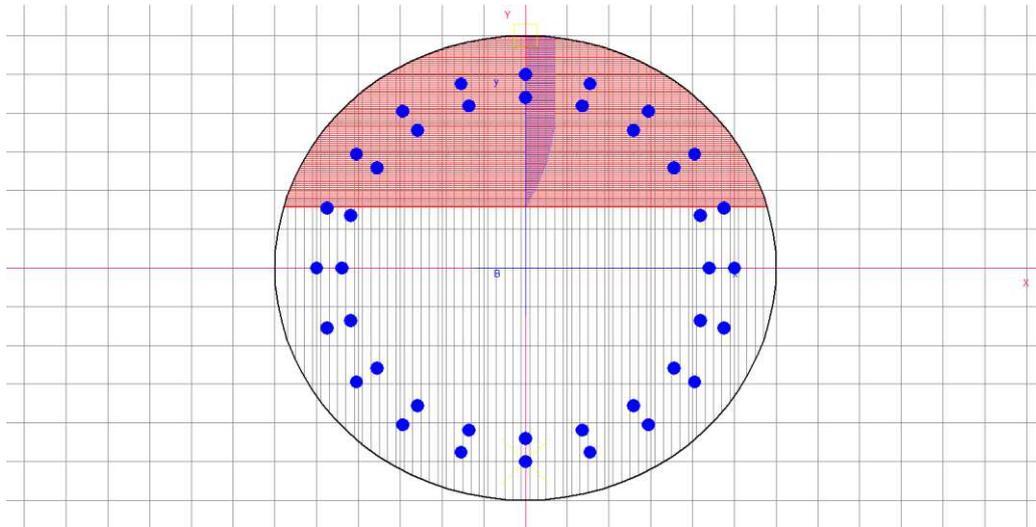
METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Vsdu	Taglio agente [daN] = proiez. 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	97300	298497	97422	97.8	111.1	21.80°	1.250	11.3
11.3(0.0)									
2	S	97300	259325	98014	98.4	109.6	21.80°	1.094	11.2
11.3(0.0)									

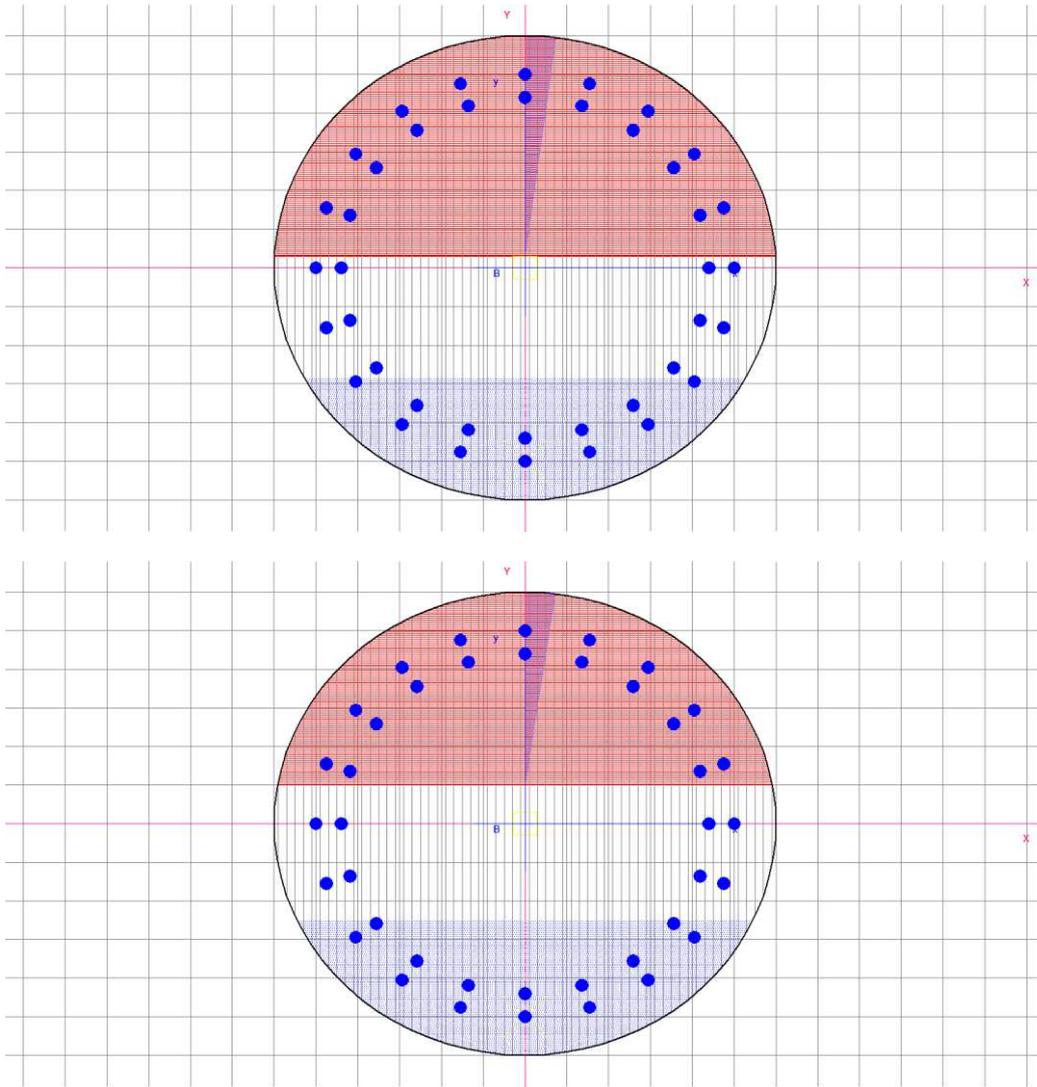




COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

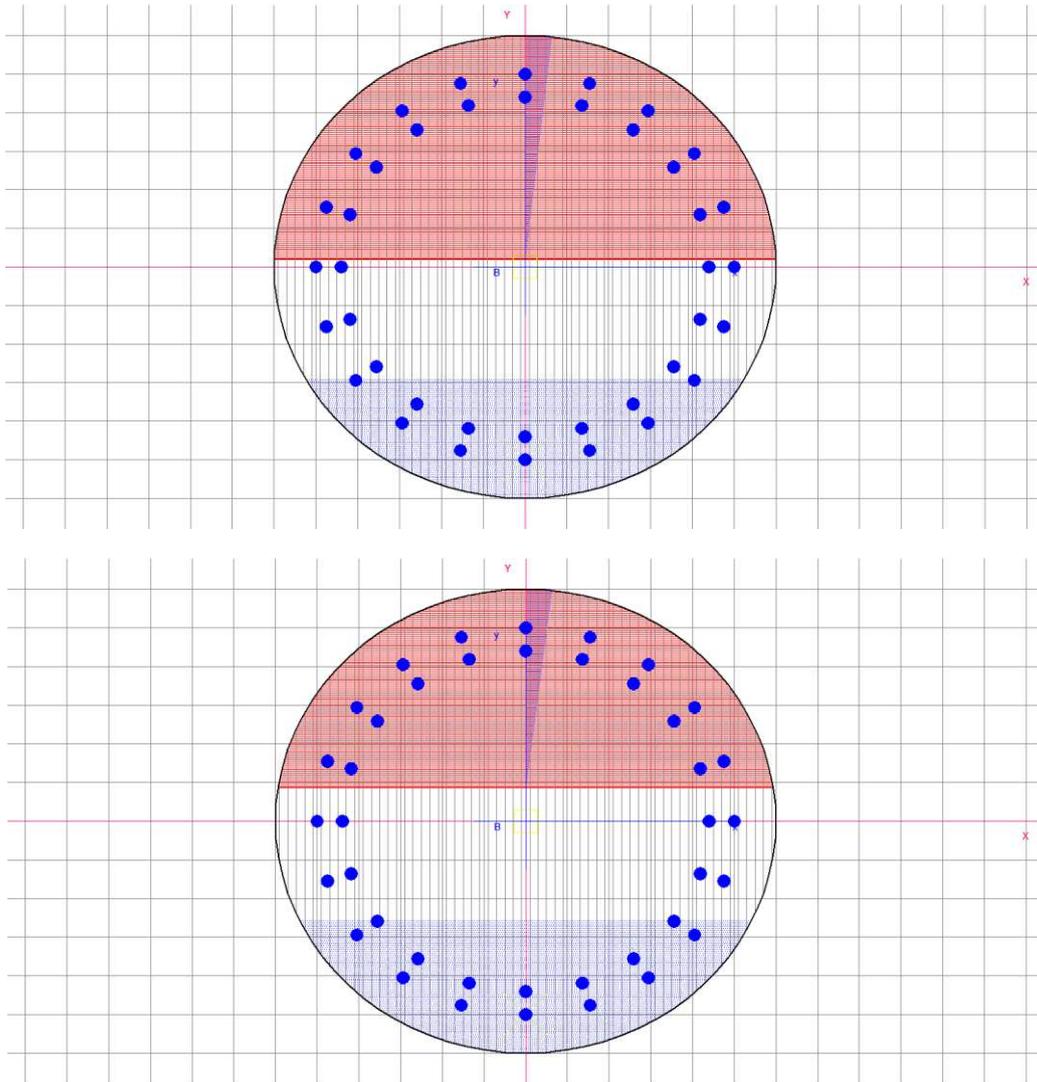
Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 Sc max Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato  
 [daN/cm<sup>2</sup>]  
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif.  
 X,Y,O)  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif.  
 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	148.6	0.0	0.0	-2069	0.0	-49.3
2	S	145.7	0.0	0.0	-2624	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	127.6	0.0	0.0	-1704	0.0	-49.3	2316	237
0.168	0.303								
2	S	125.4	0.0	0.0	-2146	0.0	-49.3	2690	240
0.177	0.392								



COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI 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	72.2	0.0	0.0	-777	0.0	-49.3	2001	236
0.160	0.106								
2	S	71.5	0.0	0.0	-933	0.0	-49.3	2241	246
0.167	0.141								

