

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. RENATO DEL PRETE Ing. Renato Del Prete <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073</small>	DOTT. GEOL. DANILO GALLO Dott. Geol. Danilo Gallo <small>Ordine dei Geologi della Regione Puglia n° 588</small>	INTEGRAZIONE PRESTAZIONI Ing. Renato Del Prete	PROGETTISTA Ing. Valerio Bajetti <small>(I.T. S.r.l.)</small>	
	PROGETTAZIONE STRADALE Ing. Gaetano Ranieri <small>(Ga&M S.r.l.)</small>	PROGETTAZIONE IDRAULICA Ing. Fabrizio Bajetti <small>(I.T. S.r.l.)</small>			
	PROGETTAZIONE OPERE D'ARTE MAGGIORI Ing. Renato Vaira <small>(Studio Corona S.r.l.)</small>	PROGETTAZIONE OPERE D'ARTE MINORI 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>	SETAC 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>	COMPUTI Ing. Valerio Bajetti <small>(I.T. S.r.l.)</small>	CANTIERISTICA Ing. Gaetano Ranieri <small>(Ga&M S.r.l.)</small>	
	UNING SOCIETÀ DESIGNATA GA&M Prof. Ing. Matteo Ranieri <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1137</small>	ECOPLAN <small>Società di Ingegneria e Architettura</small> Arch. Nicoletta Frattini <small>Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433</small>	ARKE' INGEGNERIA s.r.l. <small>Via Impugnazione Proponenza 4 - 70126 Bari</small> Ing. Gioacchino Angarano <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970</small>	GEOLOGIA Dott. Danilo Gallo	GEOTECNICA Ing. Gianfranco Sodero <small>(Studio Corona S.r.l.)</small>
	AMBIENTE Dott. Emilio Macchi <small>(ECOPLAN S.r.l.)</small>	SICUREZZA Ing. Gaetano Ranieri <small>(Ga&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;">HM04</h1>	<h2 style="margin: 0;">H - PROGETTO STRUTTURALE OPERE PRINCIPALI</h2> <h3 style="margin: 0;">PO03 - PONTE SUL BREMBIOLO 02 SU ASSE 02.02</h3> <h4 style="margin: 0;">RELAZIONE DI CALCOLO SPALLE</h4>
---------------------------------------	---

CODICE PROGETTO PROGETTO LIV. PROG. N. PROG. <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> COMI E 1701 </div>	NOME FILE HM04-S02PO03STRRE04_B.dwg CODICE ELAB. S02PO03STRRE04	REVISIONE B	SCALA: -----
---	--	--------------------	---------------------

D					
C					
B	EMISSIONE A SEGUITO DI ISTRUTTORIA	LUGLIO 2018	ING. NICOLA LIGAS	PROF. ING. LUIGI MONTERISI	ING. VALERIO BAJETTI
A	EMISSIONE	DICEMBRE 2017	ING. NICOLA LIGAS	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
5.3	Verifiche di deformazione	8
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
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

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 posto sull' asse 2 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 delle spalle sono trivellati in cls. armato, di diametro 1200 mm e hanno la seguente disposizione:

- numero pali: $N = 4$
- 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: $\phi = 32^\circ$
- Coesione drenata: $c' = 0$
- Coefficiente di reazione laterale: $K_h = \frac{\beta \cdot Z}{D}$ in cui:

Z: profondità

D: diametro del palo

β : coefficiente come da tabella seguente

Coefficiente β [MN/m ³]	Coefficiente β [MN/m ³]	
	Secco / umido	Saturo
Sabbia soffice (Dr < 30%)	2.24	1.24
Sabbia media (30 < Dr < 70%)	6.72	4.48
Sabbia e ghiaia (Dr > 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: $\phi = 27^\circ$
- Coesione drenata: $c' = 17 \text{ kN/m}^2$
- Coefficiente di reazione laterale (Bowles): c_u : coesione non drenata

K_h [MN/m ³]

	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 ²]	K_h [MN/m ³]
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 1.5 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 γ_R : segue estratto Tabella 6.4.II, NTC 2008, con i coefficienti parziali adottati evidenziati.

Tabella 6.4.II – Coefficienti parziali γ_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	γ_b	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	γ_t	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	γ_{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): ξ_4 : segue estratto Tabella 6.4.IV, NTC 2008, con i coefficienti parziali adottati evidenziati.

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_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

Φ (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:

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

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:

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

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

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

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

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

S_h : tensione orizzontale (efficace) lungo il palo:

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

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

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

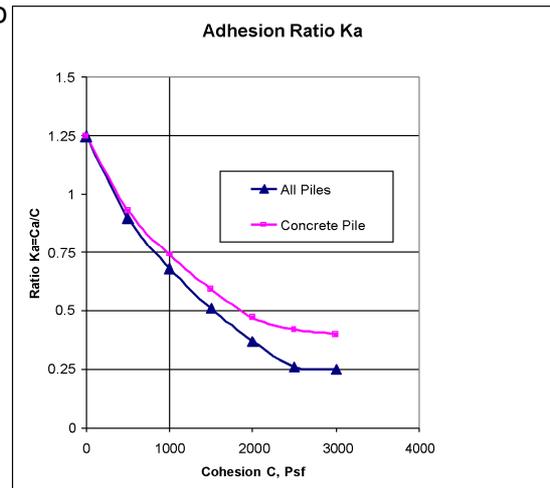
$$C_a = K_c \times K_a \times C$$

$K_c = 1$: fattore di adesione

K_a : rapporto di adesione (vedi figura a lato)

P : perimetro palo

ΔL : lunghezza tratto di palo



Il cedimento del palo viene calcolato secondo Reese e O'Neil (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 γ_T : segue estratto Tabella 6.4.VI, NTC 2008, con i coefficienti parziali adottati evidenziati.

Tabella 6.4.VI - Coefficienti parziali γ_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	M _{Sd} [kNm]	V _{Sd} [kN]
	N _{Sd,1} [kN]	N _{Sd,2} [kN]	N _{Sd,3} [kN]	N _{Sd,4} [kN]		
SLE - QUASI PERMANENTE	1861.17	1850.06	1838.95	1827.84	-561.41	381.48
SLE - FREQUENTE 01	2461.64	2309.57	2157.49	2005.42	-159.08	543.94
SLE - FREQUENTE 02	2282.19	2294.82	2307.44	2320.06	-159.97	543.53
SLE - FREQUENTE 03	1968.18	2151.67	2335.15	2518.63	-159.31	543.83
SLE - FREQUENTE 04	1925.65	1903.05	1880.46	1857.86	-165.42	541.05
SLE - FREQUENTE 05	1922.11	1901.87	1881.64	1861.41	-560.20	382.11
SLE - CARATTERISTICA 01	2651.17	2459.19	2267.22	2075.24	-24.97	598.57
SLE - CARATTERISTICA 02	2411.90	2439.53	2467.15	2494.77	-26.16	598.03
SLE - CARATTERISTICA 03	1993.23	2248.66	2504.09	2759.52	-25.28	598.43
SLE - CARATTERISTICA 04	1936.51	1917.17	1897.84	1878.50	-33.43	594.73
SLE - CARATTERISTICA 05	2386.53	2253.03	2119.53	1986.02	-160.29	543.92
SLE - CARATTERISTICA 06	2207.09	2238.28	2269.48	2300.67	-161.18	543.51
SLE - CARATTERISTICA 07	1893.08	2095.13	2297.18	2499.23	-160.52	543.81
SLE - CARATTERISTICA 08	1850.54	1846.52	1842.49	1838.47	-166.63	541.04
SLE - CARATTERISTICA 09	2386.55	2253.04	2119.52	1986.01	-290.46	484.82
SLE - CARATTERISTICA 10	2207.10	2238.29	2269.47	2300.65	-291.35	484.42
SLE - CARATTERISTICA 11	1893.09	2095.14	2297.18	2499.22	-290.69	484.72
SLE - CARATTERISTICA 12	1850.56	1846.52	1842.49	1838.45	-296.80	481.94
SLE - CARATTERISTICA 13	2465.42	2321.33	2177.23	2033.14	-158.68	545.59
SLE - CARATTERISTICA 14	2285.97	2306.58	2327.18	2347.79	-159.57	545.18
SLE - CARATTERISTICA 15	1971.96	2163.43	2354.89	2546.35	-158.91	545.48
SLE - CARATTERISTICA 16	1929.43	1914.81	1900.20	1885.59	-165.02	542.71
SLU - STR 01	3632.71	3370.64	3108.57	2846.51	-26.57	811.17
SLU - STR 02	3309.71	3344.09	3378.48	3412.87	-28.18	810.43
SLU - STR 03	2744.49	3086.42	3428.36	3770.29	-26.99	810.98
SLU - STR 04	2667.93	2638.92	2609.91	2580.91	-37.99	805.98
SLU - STR 05	3262.56	3081.73	2900.89	2720.06	-209.49	737.29
SLU - STR 06	3020.31	3061.82	3103.32	3144.83	-210.70	736.74
SLU - STR 07	2596.40	2868.56	3140.73	3412.90	-209.81	737.15
SLU - STR 08	2538.97	2532.94	2526.90	2520.86	-218.06	733.40
SLU - STR 09	3262.58	3081.74	2900.89	2720.04	-404.75	648.67
SLU - STR 10	3020.33	3061.82	3103.32	3144.81	-405.96	648.12
SLU - STR 11	2596.42	2868.57	3140.72	3412.87	-405.06	648.53
SLU - STR 12	2539.00	2532.94	2526.89	2520.84	-413.31	644.79
SLU - STR 13	3380.89	3184.17	2987.45	2790.74	-207.07	739.94
SLU - STR 14	3138.63	3164.26	3189.88	3215.51	-208.28	739.40
SLU - STR 15	2714.72	2971.00	3227.29	3483.57	-207.39	739.80
SLU - STR 16	2657.30	2635.38	2613.46	2591.54	-215.64	736.06
SLV 01	1867.19	1878.83	1890.46	1902.10	470.70	854.82
SLV 02	1823.45	1835.10	1846.75	1858.40	524.76	854.73
SLV 03	1914.37	1881.04	1847.71	1814.37	470.60	854.72
SLV 04	1870.62	1837.31	1803.99	1770.68	524.67	854.63
SLV 05	1851.72	1862.82	1873.91	1885.00	-995.53	183.88
SLV 06	1807.98	1819.09	1830.19	1841.30	-941.46	183.80
SLV 07	1898.90	1865.02	1831.15	1797.28	-995.63	184.10
SLV 08	1855.15	1821.30	1787.44	1753.58	-941.56	184.02
SLV 09	1806.74	1870.65	1934.55	1998.46	-270.56	562.51
SLV 10	1763.00	1826.92	1890.84	1954.76	-216.49	562.43
SLV 11	1802.10	1865.84	1929.58	1993.33	-710.42	380.43
SLV 12	1758.36	1822.11	1885.87	1949.63	-656.36	380.35
SLV 13	1963.99	1878.01	1792.03	1706.05	-270.88	562.29
SLV 14	1920.24	1834.28	1748.32	1662.35	-216.81	562.21
SLV 15	1959.35	1873.21	1787.06	1700.92	-710.74	380.43
SLV 16	1915.60	1829.48	1743.35	1657.22	-656.68	380.36
SLV 17	1912.81	1924.24	1935.67	1947.09	-333.75	526.64
SLV 18	1959.99	1926.45	1892.91	1859.37	-333.84	526.57
SLV 19	1908.17	1919.44	1930.70	1941.97	-773.62	325.12
SLV 20	1955.35	1921.65	1887.95	1854.24	-773.71	325.12
SLV 21	1767.00	1778.48	1789.96	1801.43	-153.52	526.35
SLV 22	1814.17	1780.69	1747.20	1713.71	-153.62	526.28
SLV 23	1762.36	1773.67	1784.99	1796.31	-593.39	324.84
SLV 24	1809.53	1775.88	1742.23	1708.58	-593.48	324.84

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	1 861.17	1 827.84	-561.41	381.48
SLE - FREQUENTI	2 518.63	1 857.86	-560.20	543.94
SLE - CARATTERISTICHE	2 759.52	1 838.45	-296.80	598.57
SLU - STR	3 770.29	2 520.84	-413.31	811.17
SLV	1 998.46	1 657.22	524.76	854.82

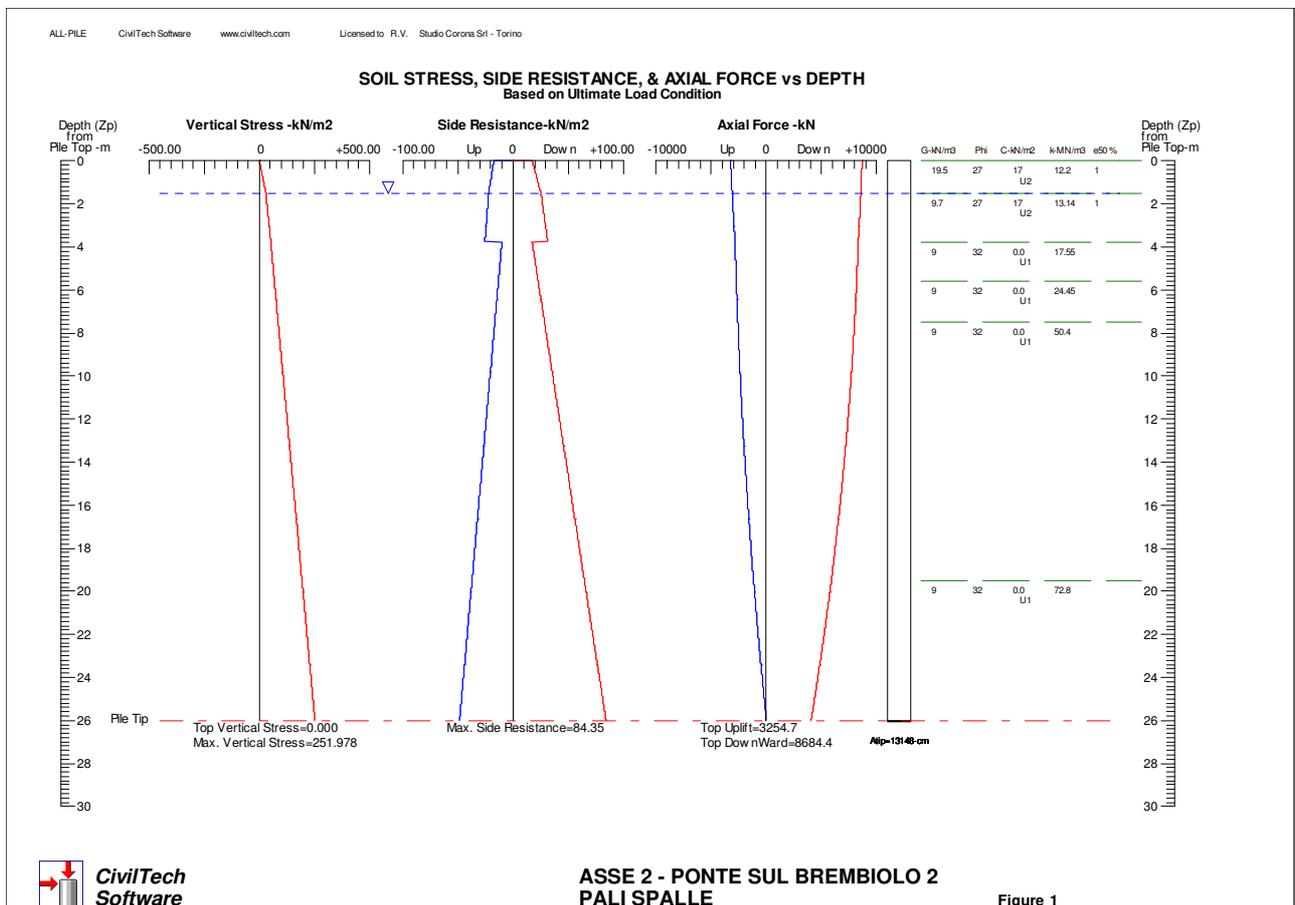
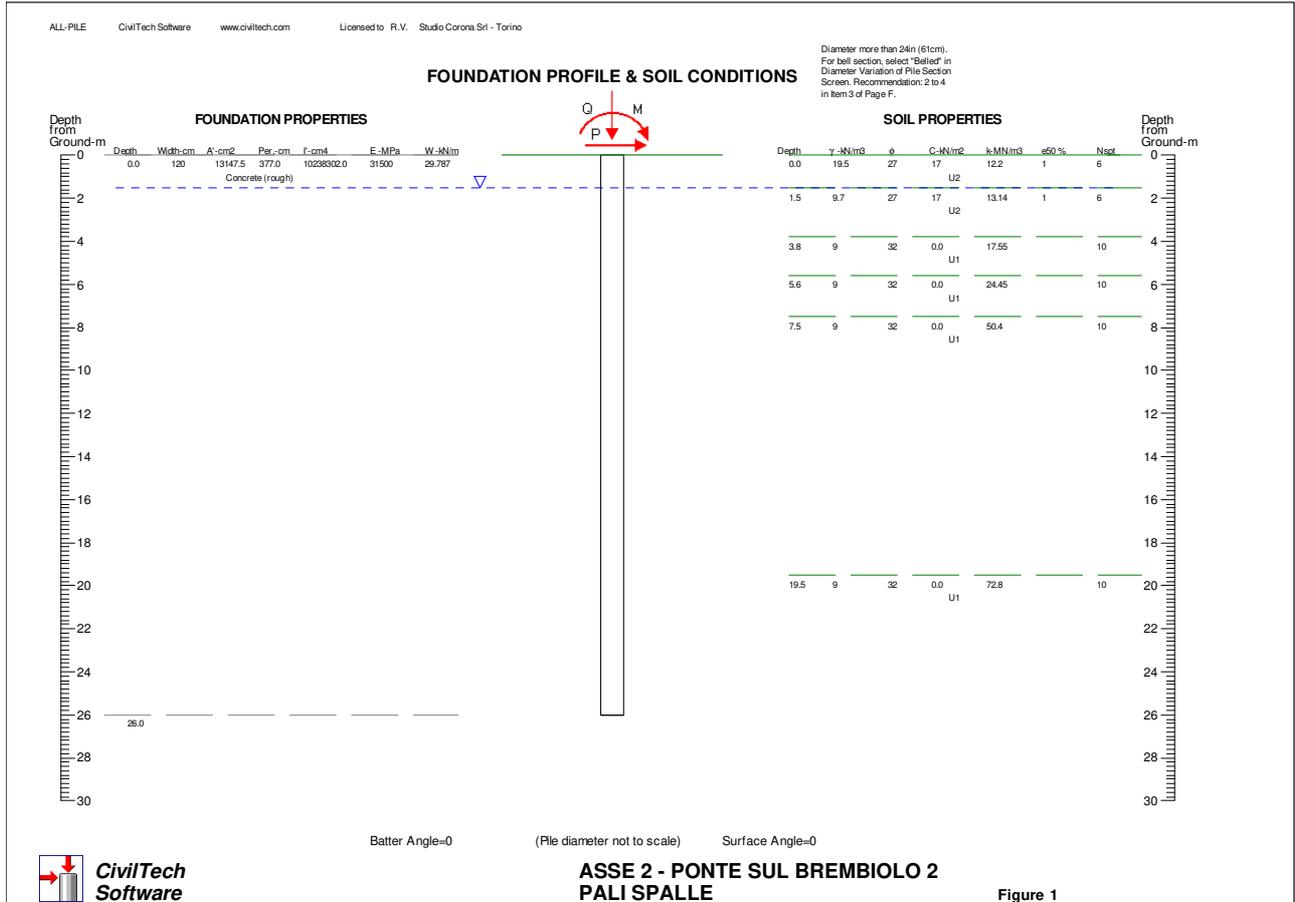
6.2 CALCOLO DELLE CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE E DEFORMAZIONE DEL PALO

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.

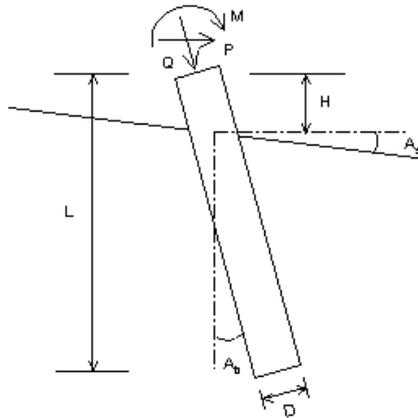
Seguono i diagrammi risultanti dalle analisi verticale e laterale del palo.

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: Cyclic
 Number of Cycles: 2
 Vertical Load, Q= 3770.3 -kN
 Shear Load, P= 854.8 -kN
 Moment, M= 524.8 -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 -m	Gamma -kN/m ³	Phi	C -kN/m ²	K -MN/m ³	e50 or Dr %	Nspt	Depth -m	Width -cm	Area -cm ²	Per. -cm	I -cm ⁴	E -MPa	Weight -kN/m
0	19.5	27	17	12.2	1	6	0.0	120	13147.5	377.0	10238302.0	1500	29.787
1.5	9.7	27	17	13.14	1	6	26.0						
3.8	9	32	0.0	17.55	60	10							
5.6	9	32	0.0	24.45	60	10							
7.5	9	32	0.0	50.4	60	10							
19.5	9	32	0.0	72.8	60	10							

Vertical capacity:

Weight above Ground= 0.00 Total Weight= 503.04-kN *Soil Weight is not included
 Side Resistance (Down)= 4630.146-kN Side Resistance (Up)= 2751.701-kN
 Tip Resistance (Down)= 4054.236-kN Tip Resistance (Up)= 0.000-kN
 Total Ultimate Capacity (Down)= 8684.382-kN Total Ultimate Capacity (Up)= 3254.737-kN
 Total Allowable Capacity (Down)= 4077.784-kN Total Allowable Capacity (Up)= 1813.370-kN
 OK! Qallow > Q

Settlement Calculation:

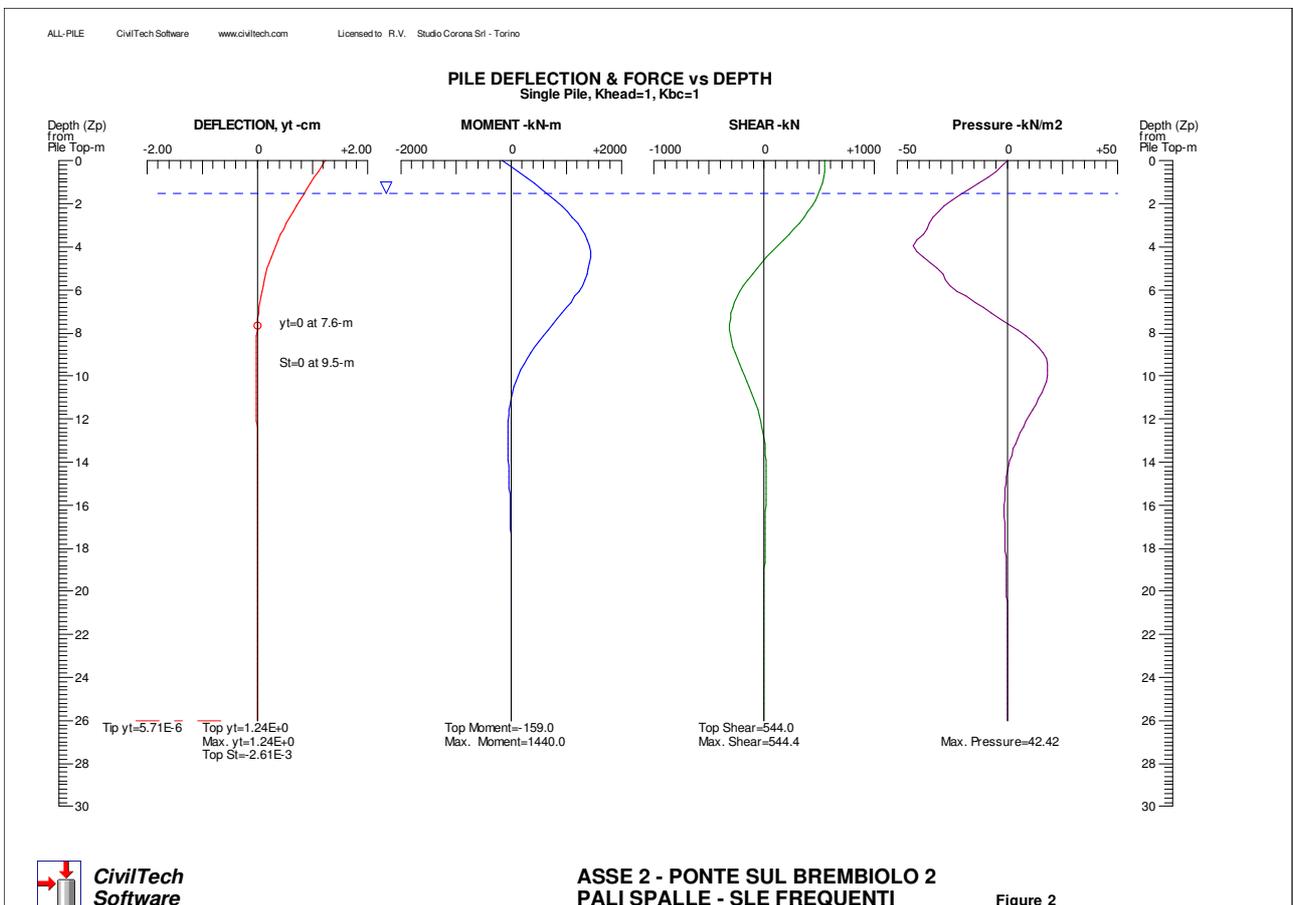
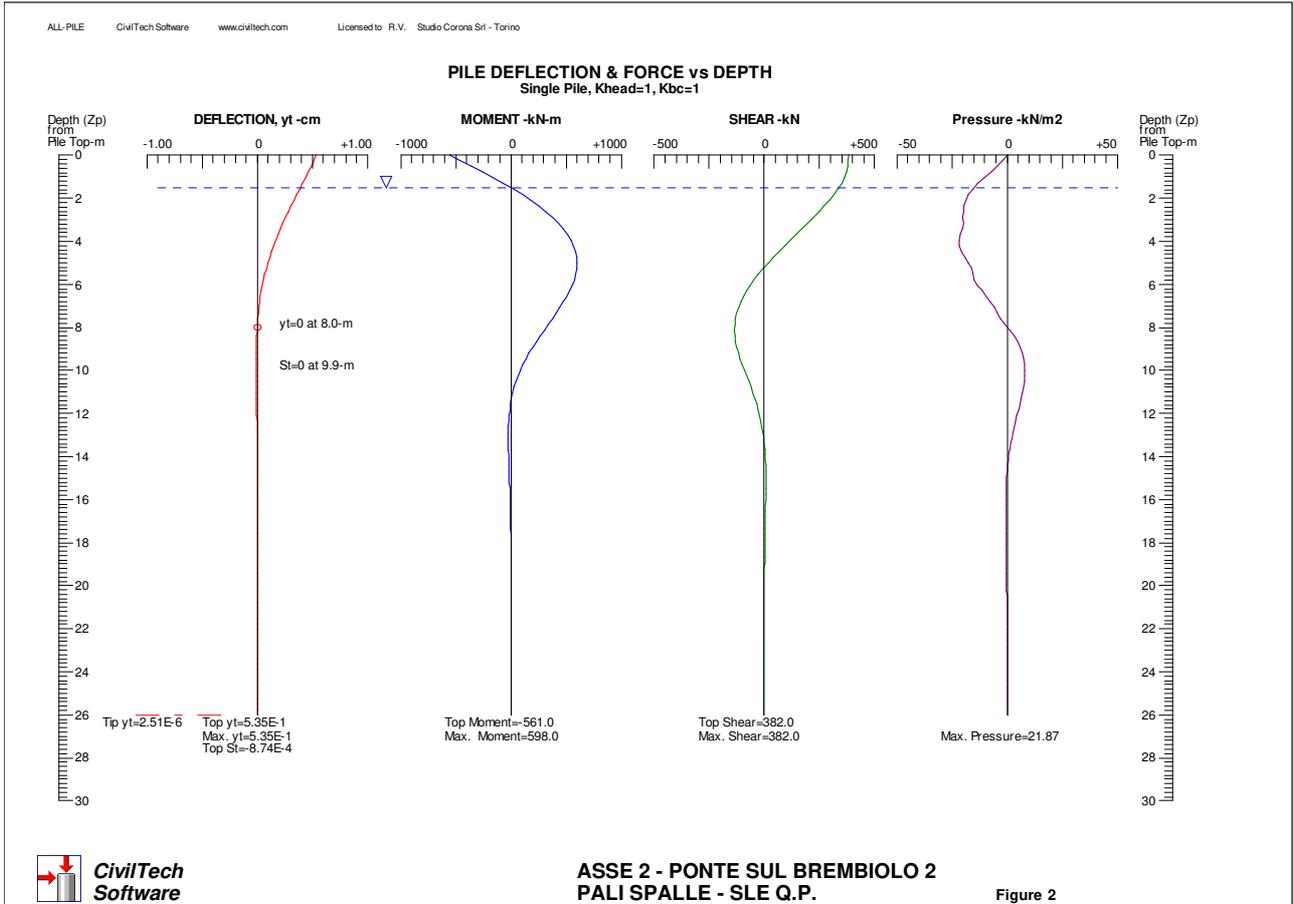
At Q= 3770.30-kN Settlement= 0.64798-cm
 At Xallow= 2.00-cm Qallow= 5739.69043-kN

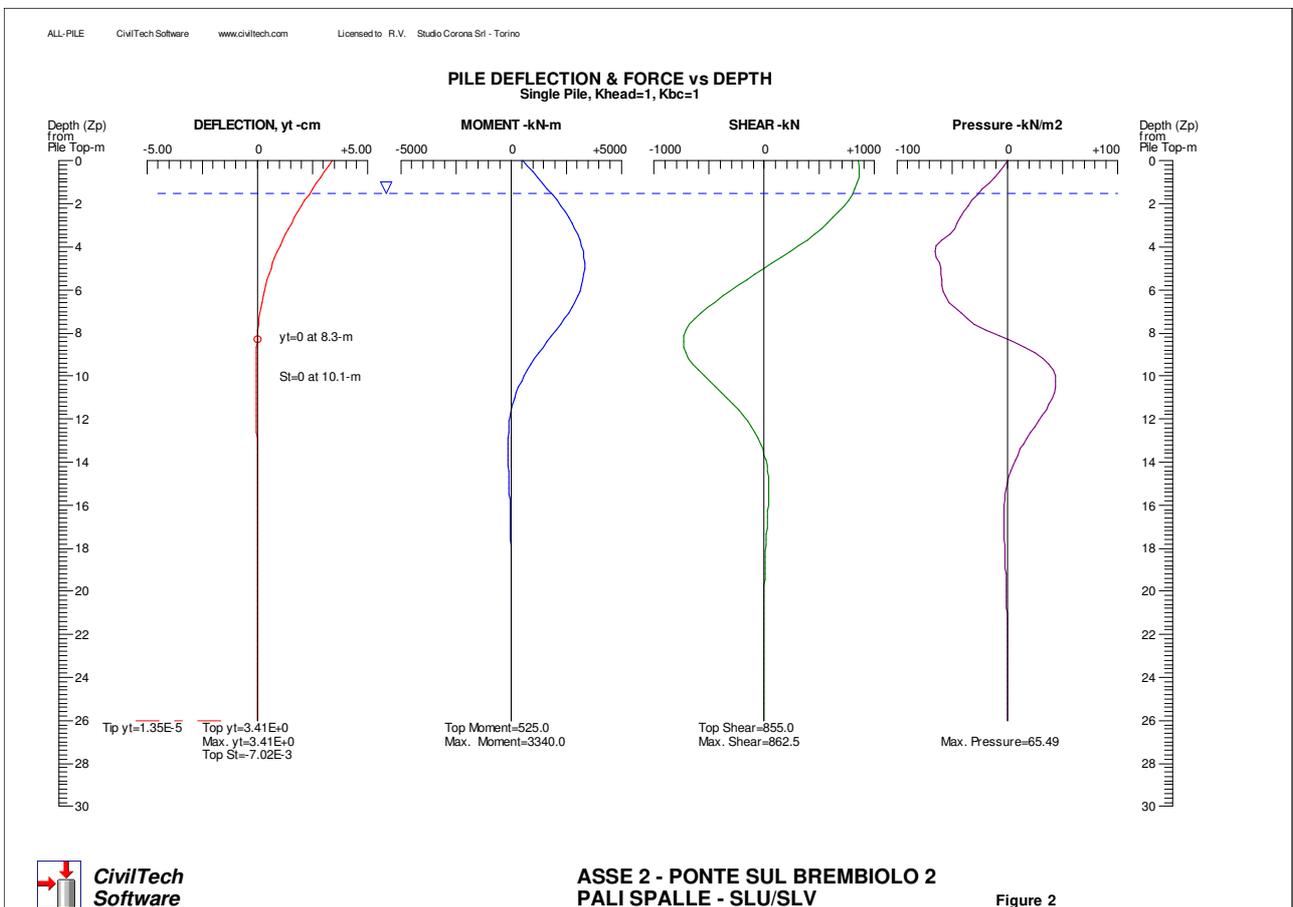
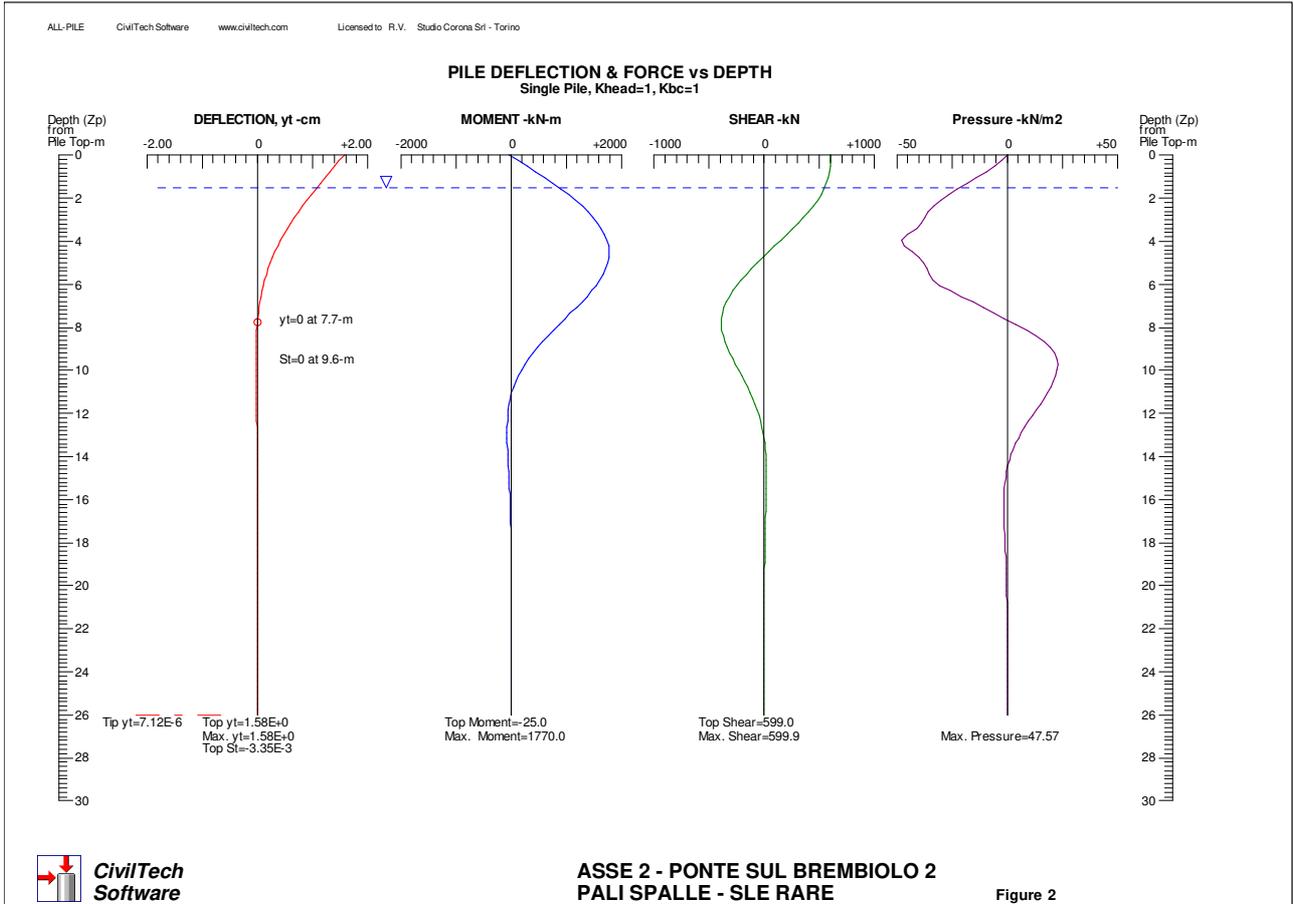
Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 99999.



**CivilTech
Software**

**ASSE 2 - PONTE SUL BREMBIOLO 2
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: $N_{sd} = 3770.3 \text{ kN}$
- Resistenza di progetto: $R_{sd} = 4077.8 \text{ kN}$ ($R_{sd} > N_{sd}$)
- Cedimento verticale: $DZ = 6.48 \text{ mm}$ (<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

λ_p : coefficiente di spinta passiva

σ_v : pressione geostatica efficace

c' : coesione drenata

Segue il tabulato del calcolo svolto.

Il minimo coefficiente di sicurezza (resistenza / pressione) si ottiene a $Z_p = 3.90 \text{ m}$ e vale:

$$R_{sd} / P_d = 222.8 / 64.3 = 3.46 \quad (>1: \text{verificato})$$

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/m3)	C' (kN/m2)	Ap	ov (kN/m2)	R_Sd (kN/m2)	Verifica ? R/P > 1
0	3.41	525	855	0	-0.00702	U2	19.5	17	2.6629	0	0	0.000
0.3	3.23	756	861.4	-3	-0.00692	U2	19.5	17	2.6629	5.85	96.462	32.154
0.5	3.04	987	862.5	-6.7	-0.00704	U2	19.5	17	2.6629	9.75	110.560	16.501
0.8	2.86	1220	855.8	-11.3	-0.00692	U2	19.5	17	2.6629	15.6	131.706	11.655
1	2.69	1440	841.9	-16.5	-0.00654	U2	19.5	17	2.6629	19.5	145.804	8.837
1.3	2.51	1660	822.5	-22	-0.00692	U2	19.5	17	2.6629	25.35	166.951	7.589
1.6	2.34	1870	796.6	-27.1	-0.0063	U2	9.7	17	2.6629	28.26	177.470	6.549
1.8	2.17	2080	762.2	-31.5	-0.00654	U2	9.7	17	2.6629	30.2	184.483	5.857
2.1	2.01	2270	720.3	-35.5	-0.00615	U2	9.7	17	2.6629	33.11	195.002	5.493
2.4	1.85	2450	673.9	-39.1	-0.00615	U2	9.7	17	2.6629	36.02	205.521	5.256
2.6	1.7	2610	624	-42.4	-0.00556	U2	9.7	17	2.6629	37.96	212.533	5.013
2.9	1.56	2770	570.9	-45.2	-0.00538	U2	9.7	17	2.6629	40.87	223.052	4.935
3.2	1.41	2900	515.2	-47.4	-0.00577	U2	9.7	17	2.6629	43.78	233.571	4.928
3.4	1.28	3020	455.3	-51.3	-0.005	U2	9.7	17	2.6629	45.72	240.584	4.690
3.7	1.15	3130	388.1	-58.5	-0.00481	U2	9.7	17	2.6629	48.63	251.103	4.292
3.9	1.03	3220	313.5	-64.3	-0.00462	U1	9	0	3.2546	50.43	222.800	3.465
4.2	0.92	3280	233.5	-65.5	-0.00438	U1	9	0	3.2546	53.13	234.729	3.584
4.5	0.81	3320	151.2	-63.7	-0.00412	U1	9	0	3.2546	55.83	246.657	3.872
4.7	0.71	3340	70.8	-61.5	-0.00374	U1	9	0	3.2546	57.63	254.610	4.140
5	0.62	3330	-6.6	-60.2	-0.00358	U1	9	0	3.2546	60.33	266.538	4.428
5.3	0.53	3310	-83.7	-59.6	-0.00331	U1	9	0	3.2546	63.03	278.467	4.672
5.5	0.45	3270	-161.9	-59.3	-0.00293	U1	9	0	3.2546	64.83	286.420	4.830
5.8	0.38	3210	-239	-58.7	-0.00277	U1	9	0	3.2546	67.53	298.348	5.083
6	0.31	3120	-312.9	-57.6	-0.0025	U1	9	0	3.2546	69.33	306.301	5.318
6.3	0.25	3020	-384	-55.8	-0.00227	U1	9	0	3.2546	72.03	318.229	5.703
6.6	0.2	2900	-452.1	-52.7	-0.00193	U1	9	0	3.2546	74.73	330.158	6.265
6.8	0.16	2760	-516.2	-47.3	-0.00177	U1	9	0	3.2546	76.53	338.110	7.148
7.1	0.12	2610	-576.2	-41.1	-0.00154	U1	9	0	3.2546	79.23	350.039	8.517
7.3	0.08	2440	-631.8	-36.1	-0.00132	U1	9	0	3.2546	81.03	357.991	9.917
7.6	0.05	2260	-679.5	-29.5	-0.00108	U1	9	0	3.2546	83.73	369.920	12.540
7.9	0.03	2060	-713.9	-19	-0.00093	U1	9	0	3.2546	86.43	381.849	20.097
8.1	0.01	1860	-732.8	-6.7	-0.00077	U1	9	0	3.2546	88.23	329.934	19.393
8.4	-0.01	1660	-738.5	5.6	-0.00061	U1	9	0	3.2546	90.93	133.910	23.912
8.7	-0.02	1460	-733.3	16.5	-0.00046	U1	9	0	3.2546	93.63	137.886	8.357
8.9	-0.03	1270	-716.2	25.6	-0.00036	U1	9	0	3.2546	95.43	140.537	5.490
9.2	-0.04	1080	-686.7	32.8	-0.00025	U1	9	0	3.2546	98.13	144.513	4.406
9.4	-0.04	906	-647.4	38.1	-0.00017	U1	9	0	3.2546	99.93	147.164	3.863
9.7	-0.04	745	-601.3	41.7	-0.00009	U1	9	0	3.2546	102.63	151.140	3.624
10	-0.04	599	-550.7	43.8	-0.00003	U1	9	0	3.2546	105.33	155.116	3.541
10.2	-0.04	467	-497.5	44.7	0.00002	U1	9	0	3.2546	107.13	157.767	3.529
10.5	-0.04	350	-443.5	44.3	0.00006	U1	9	0	3.2546	109.83	161.743	3.651
10.8	-0.04	248	-389.4	43.1	0.00009	U1	9	0	3.2546	112.53	165.720	3.845
11	-0.04	161	-336.1	41	0.00011	U1	9	0	3.2546	114.33	168.370	4.107
11.3	-0.03	87.9	-285	38.4	0.00012	U1	9	0	3.2546	117.03	172.347	4.488
11.6	-0.03	27.4	-237.3	35.4	0.00013	U1	9	0	3.2546	119.73	176.323	4.981
11.8	-0.03	-21.2	-193.4	32.1	0.00013	U1	9	0	3.2546	121.53	178.974	5.575
12.1	-0.02	-59.2	-153.3	28.6	0.00013	U1	9	0	3.2546	124.23	182.950	6.397
12.3	-0.02	-87.7	-117.3	25.1	0.00012	U1	9	0	3.2546	126.03	185.601	7.394
12.6	-0.02	-108	-85.6	21.7	0.00011	U1	9	0	3.2546	128.73	189.577	8.736
12.9	-0.01	-121	-58.2	18.4	0.00011	U1	9	0	3.2546	131.43	193.553	10.519
13.1	-0.01	-128	-34.8	15.2	0.0001	U1	9	0	3.2546	133.23	196.204	12.908
13.4	-0.01	-130	-15.2	12.3	0.00009	U1	9	0	3.2546	135.93	200.180	16.275
13.7	-0.01	-128	0.8	9.7	0.00008	U1	9	0	3.2546	138.63	204.156	21.047
13.9	0	-123	13.4	7.3	0.00007	U1	9	0	3.2546	140.43	206.807	28.330
14.2	0	-115	22.8	5.2	0.00006	U1	9	0	3.2546	143.13	210.783	40.535
14.4	0	-106	29.5	3.4	0.00005	U1	9	0	3.2546	144.93	213.434	62.775
14.7	0	-96.3	34.2	1.9	0.00004	U1	9	0	3.2546	147.63	217.410	114.426
15	0	-85.6	36.9	0.6	0.00003	U1	9	0	3.2546	150.33	221.386	368.977
15.2	0	-74.9	38	-0.4	0.00002	U1	9	0	3.2546	152.13	224.037	560.092
15.5	0	-64.3	37.8	-1.2	0.00002	U1	9	0	3.2546	154.83	228.013	190.011
15.8	0	-54.2	36.6	-1.8	0.00001	U1	9	0	3.2546	157.53	231.990	128.883
16	0	-44.8	34.5	-2.2	0.00001	U1	9	0	3.2546	159.33	234.640	106.655
16.3	0	-36.2	32	-2.5	0	U1	9	0	3.2546	162.03	238.617	95.447
16.5	0	-28.4	29.1	-2.6	0	U1	9	0	3.2546	163.83	241.267	92.795
16.8	0	-21.5	26	-2.7	0	U1	9	0	3.2546	166.53	245.244	90.831
17.1	0	-15.5	22.8	-2.6	0	U1	9	0	3.2546	169.23	249.220	95.854
17.3	0	-10.4	19.6	-2.5	0	U1	9	0	3.2546	171.03	251.871	100.748
17.6	0	-6.2	16.5	-2.3	0	U1	9	0	3.2546	173.73	255.847	111.238
17.9	0	-2.7	13.7	-2.1	0	U1	9	0	3.2546	176.43	259.823	123.725
18.1	0	0	11	-1.9	-0.00001	U1	9	0	3.2546	178.23	262.474	138.144
18.4	0	2.2	8.7	-1.7	-0.00001	U1	9	0	3.2546	180.93	266.450	156.735
18.6	0	3.7	6.6	-1.4	-0.00001	U1	9	0	3.2546	182.73	269.101	192.215
18.9	0	4.8	4.8	-1.2	0	U1	9	0	3.2546	185.43	273.077	227.564
19.2	0	5.6	3.3	-1	0	U1	9	0	3.2546	188.13	277.053	277.053
19.4	0	6	2	-0.9	0	U1	9	0	3.2546	189.93	279.704	310.782
19.7	0	6.1	0.8	-0.8	0	U1	9	0	3.2546	192.63	283.680	354.600
20	0	6	-0.1	-0.6	0	U1	9	0	3.2546	195.33	287.657	479.427
20.2	0	5.7	-0.9	-0.4	0	U1	9	0	3.2546	197.13	290.307	725.767
20.5	0	5.2	-1.4	-0.3	0	U1	9	0	3.2546	199.83	294.284	980.942
20.8	0	4.6	-1.8	-0.1	0	U1	9	0	3.2546	202.53	298.260	2982.568
21	0	4	-2	0	0	U1	9	0	3.2546	204.33	300.911	9999.000
21.3	0	3.4	-2.1	0	0	U1	9	0	3.2546	207.03	304.887	9999.000
21.5	0	2.8	-2	0.1	0	U1	9	0	3.2546	208.83	307.538	3075.345
21.8	0	2.3	-1.9	0.1	0	U1	9	0	3.2546	211.53	311.514	3115.107
22.1	0	1.8	-1.8	0.2	0	U1	9	0	3.2546	214.23	315.490	1577.442
22.3	0	1.4	-1.6	0.2	0	U1	9	0	3.2546	216.03	318.141	1590.696
22.6	0	1	-1.4	0.2	0	U1	9	0	3.2546	218.73	322.117	1610.577
22.9	0	0.7	-1.2	0.2	0	U1	9	0	3.2546	221.43	326.093	1630.458
23.1	0	0.4	-1	0.2	0	U1	9	0	3.2546	223.23	328.744	1643.712
23.4	0	0.3	-0.8	0.1	0	U1	9	0	3.2546	225.93	332.720	3327.169
23.6	0	0.1	-0.6	0.1	0	U1	9	0	3.2546	227.73	335.371	3353.677
23.9	0	0	-0.4	0.1	0	U1	9	0	3.2546	230.43	339.347	3393.439
24.2	0	0	-0.3	0.1	0	U1	9	0	3.2546	233.13	343.323	3433.201
24.4	0	-0.1	-0.2	0.1	0	U1	9	0	3.2546	234.93	345.974	3459.708
24.7	0	-0.1	-0.1	0.1	0	U1	9	0	3.2546	237.63	349.950	3499.470
25	0	-0.1	0	0	0	U1	9	0	3.2546	240.33	353.927	9999.000
25.2	0	-0.1	0	0	0	U1	9	0	3.2546	242.13	356.578	9999.000
25.5	0	0	0	0	0	U1	9	0	3.2546	244.83	360.554	9999.000
25.7	0	0	0	0	0	U1	9					

6.5 VERIFICHE DI DEFORMAZIONE PALO

- Cedimento verticale: $DZ = 6.48 \text{ mm}$ ($< 20 \text{ mm}$: ammissibile)
- Deformazione orizzontale massima: $DZ = 34.1 \text{ mm}$ ($< 50 \text{ mm}$: 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.: $16 \text{ } \varnothing 30, r = 60 - 8 - 1.2 - 3/2 = 49.3 \text{ cm}$
 $16 \text{ } \varnothing 30, r = 49.3 - 2 \times 3 = 43.3 \text{ cm}$
- 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:	$N_{Sd} = 3770 \text{ kN}$			
Momento flettente:	$M_{Sd} = 3340 \text{ kN.m}$	$M_{Rd} = 4195 \text{ kN.m}$	\rightarrow	Verificato: $M_{Rd} > M_{Sd}$
Sforzo tagliante:	$V_{Sd} = 863 \text{ kN}$	$V_{Rd} = 2950 \text{ kN}$	\rightarrow	Verificato: $V_{Rd} > V_{Sd}$

6.6.1.2 Minimo sforzo assiale

	Sollecitazioni	Resistenze		
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 1657 \text{ kN}$			
Momento flettente:	$M_{Sd} = 3340 \text{ kN.m}$	$M_{Rd} = 3826 \text{ kN.m}$	\rightarrow	Verificato: $M_{Rd} > M_{Sd}$
Sforzo tagliante:	$V_{Sd} = 863 \text{ kN}$	$V_{Rd} = 2616 \text{ kN}$	\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:	$N_{Sd} = 2760 \text{ kN}$			
Momento flettente:	$M_{Sd} = 1770 \text{ kN.m}$			
Tensione massima cls.:	$s_c = 12.15 \text{ N/mm}^2$	\rightarrow	Verificato: $s_c < s_1 = 15 \text{ N/mm}^2$	
Tensione massima ferri:	$s_f = 156.16 \text{ N/mm}^2$	\rightarrow	Verificato: $s_f < s_3 = 360 \text{ N/mm}^2$	

6.6.2.2 Minimo sforzo assiale

	Sollecitazioni			
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 1838 \text{ kN}$			
Momento flettente:	$M_{Sd} = 1770 \text{ kN.m}$			
Tensione massima cls.:	$s_c = 12.12 \text{ N/mm}^2$	\rightarrow	Verificato: $s_c < s_1 = 15 \text{ N/mm}^2$	
Tensione massima ferri:	$s_f = 196.46 \text{ N/mm}^2$	\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:	$N_{Sd} = 2519 \text{ kN}$	
Momento flettente:	$M_{Sd} = 1440 \text{ kN.m}$	
Tensione massima cls.:	$s_c = 9.89 \text{ N/mm}^2$	
Tensione massima ferri:	$s_f = 115.93 \text{ N/mm}^2$	
Apertura fessure:	$w = 0.212 \text{ mm}$	→ Verificato: $w < w_3 = 0.4 \text{ mm}$

6.6.3.2 Minimo sforzo assiale

	Sollecitazioni	
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 1858 \text{ kN}$	
Momento flettente:	$M_{Sd} = 1440 \text{ kN.m}$	
Tensione massima cls.:	$s_c = 9.87 \text{ N/mm}^2$	
Tensione massima ferri:	$s_f = 143.60 \text{ N/mm}^2$	
Apertura fessure:	$w = 0.269 \text{ mm}$	→ 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:	$N_{Sd} = 1861 \text{ kN}$	
Momento flettente:	$M_{Sd} = 598 \text{ kN.m}$	
Tensione massima cls.:	$s_c = 4.18 \text{ N/mm}^2$	→ Verificato: $s_c < s_2 = 11.25 \text{ N/mm}^2$
Tensione massima ferri:	$s_f = 21.87 \text{ N/mm}^2$	
Apertura fessure:	$w = 0.018 \text{ mm}$	→ Verificato: $w < w_2 = 0.3 \text{ mm}$

6.6.4.2 Minimo sforzo assiale

	Sollecitazioni	
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 1829 \text{ kN}$	
Momento flettente:	$M_{Sd} = 598 \text{ kN.m}$	
Tensione massima cls.:	$s_c = 4.17 \text{ N/mm}^2$	→ Verificato: $s_c < s_2 = 11.25 \text{ N/mm}^2$
Tensione massima ferri:	$s_f = 22.70 \text{ N/mm}^2$	
Apertura fessure:	$w = 0.019 \text{ mm}$	→ 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-2 SPALLE

(Percorso File: D:\Documenti_Lavori\A819 -Casalbusterlengo\Ponti
 Brembiolo\PALI\BR-2 SPALLE.sez)

Descrizione Sezione: PONTE SUL BREMBIOLO 2 - PALI SPALLE
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
 Tipologia sezione: Sezione generica
 Normativa di riferimento: N.T.C.
 Percorso sollecitazione: A rapporto M/N 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/cm²
 Resis. compr. ridotta fcd' : 70.80 daN/cm²
 Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020
 Def.unit. ultima ecu : 0.0035
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo
 Modulo Elastico Normale Ec : 314750 daN/cm²
 Coeff. di Poisson : 0.20
 Resis. media a trazione fctm : 25.60 daN/cm²
 Coeff. Omogen. S.L.E. : 15.0
 Combinazioni Rare in Esercizio (Tens.Limite):
 Sc Limite : 150.00 daN/cm²
 Apert.Fess.Limite : Non prevista
 Combinazioni Frequenti in Esercizio (Tens.Limite):
 Sc Limite : 150.00 daN/cm²
 Apert.Fess.Limite : 0.400 mm
 Combinazioni Quasi Permanenti in Esercizio (Tens.Limite):
 Sc Limite : 112.50 daN/cm²
 Apert.Fess.Limite : 0.300 mm

ACCIAIO - Tipo: B450C
 Resist. caratt. snervam. fyk : 4500.0 daN/cm²
 Resist. caratt. rottura ftk : 4500.0 daN/cm²
 Resist. snerv. di calcolo fyd : 3913.0 daN/cm²
 Resist. ultima di calcolo ftd : 3913.0 daN/cm²
 Deform. ultima di calcolo Epu : 0.068
 Modulo Elastico Ef : 2100000 daN/cm²
 Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito
 Coeff. Aderenza ist. β1*β2 : 1.00 daN/cm²
 Coeff. Aderenza diff. β1*β2 : 0.50 daN/cm²
 Comb.Rare Sf Limite : 3600.0 daN/cm²

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	377029	334000	0	86250	0
2	165722	334000	0	86250	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	275962	177000	0
2	183845	177000	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	251863	144000	0
2	185786	144000	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	186117	59800	0
2	182784	59800	0

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 9.2 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 3.0 cm
 Copriferro netto minimo staffe: 7.8 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 ≥ 1.000

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

1.256	1	S	377029	334000	0	473606	419539	0
1.146	2	S	165722	334000	0	189817	382615	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	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	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	0.00021	0.0	60.0	0.00282	0.0	49.3	-0.00348
2	0.00350	-0.00059	0.0	60.0	0.00265	0.0	49.3	-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							

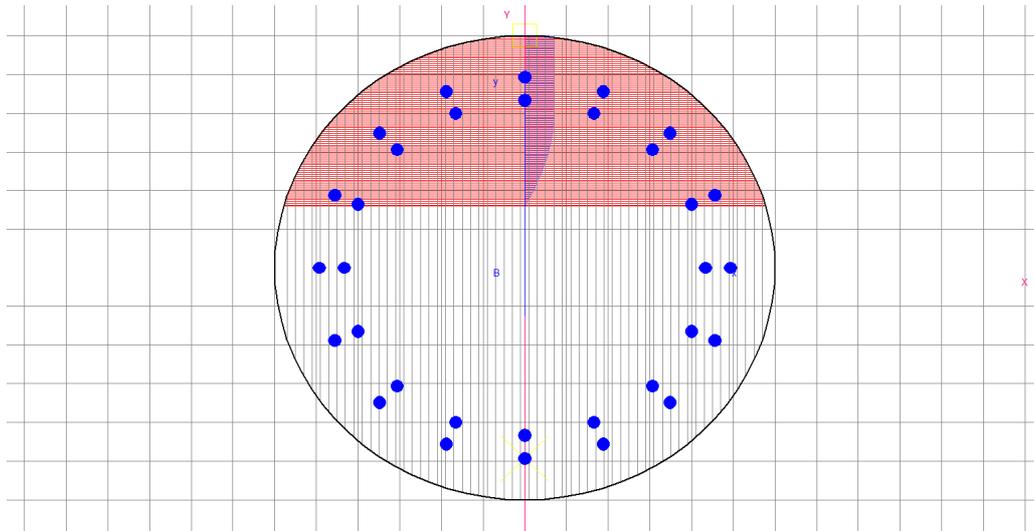
N.Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000063891	-0.000333472		
2	0.000000000	0.000079620	-0.001277225		

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe:	14 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

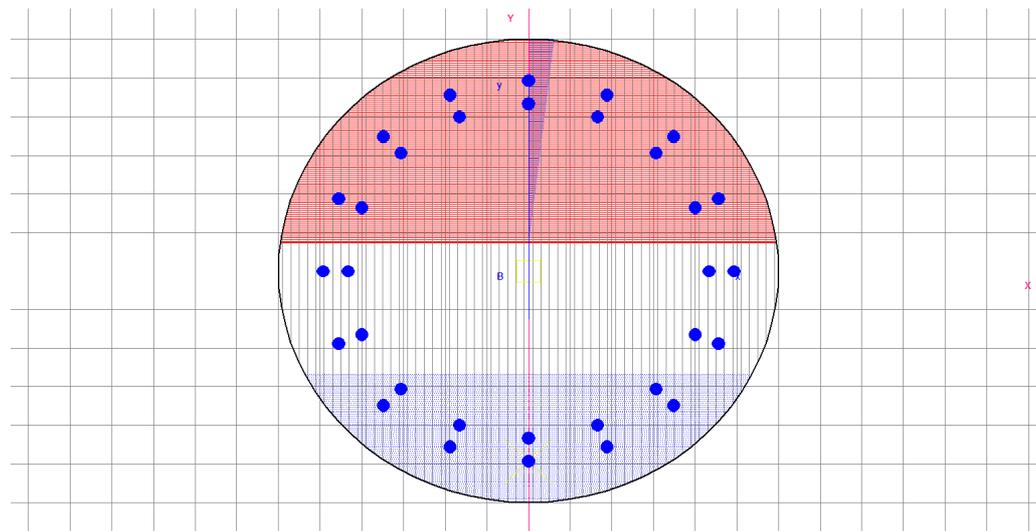
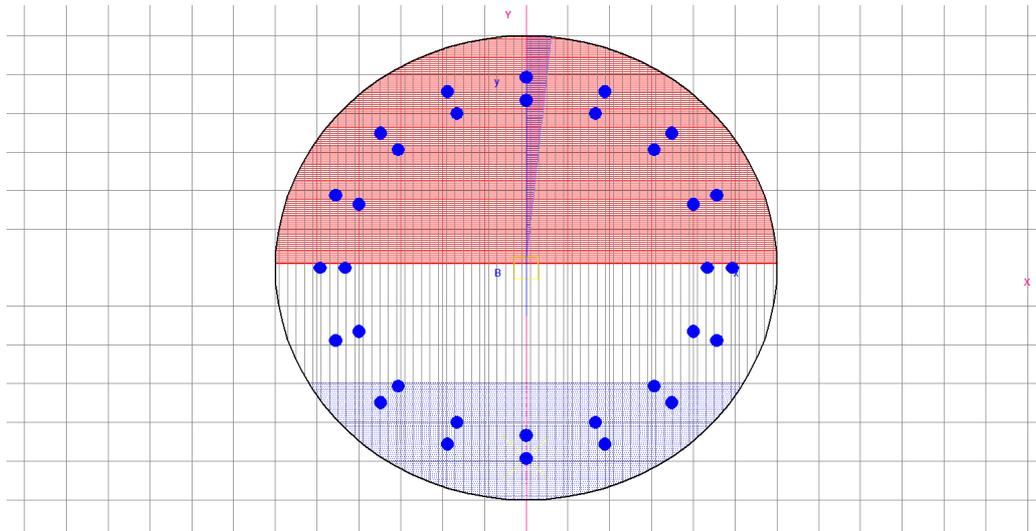
Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata	
Vsdu	Taglio agente [daN] = proiez. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro	



COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

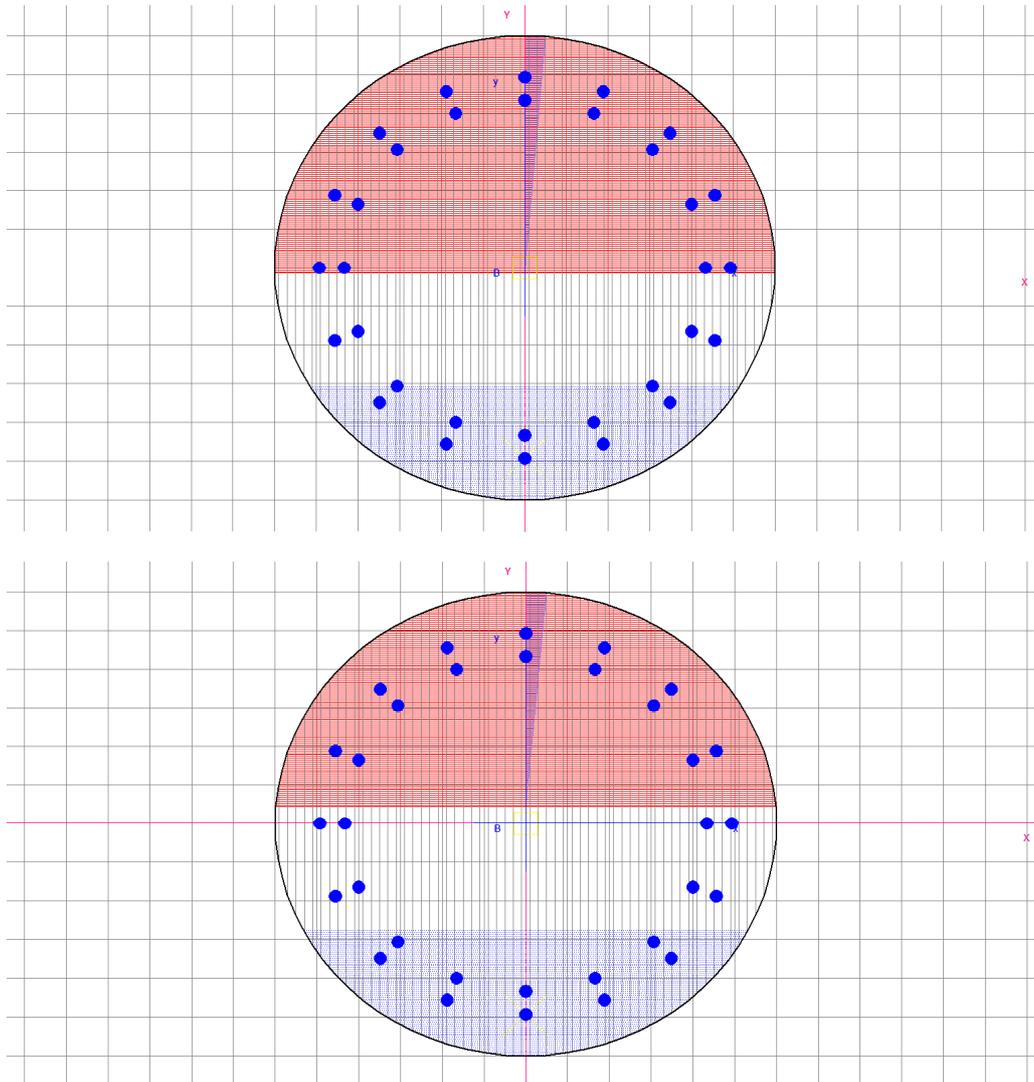
Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 Sc max Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato
 [daN/cm²]
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif.
 X, Y, 0)
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif.
 X, Y, 0)
 Sf min Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm²]
 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 [cm²] 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	121.5	0.0	0.0	-1562	0.0	-49.3
2	S	121.2	0.0	0.0	-1965	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	98.9	0.0	0.0	-1159	0.0	-49.3	2160	269
0.159	0.212								
2	S	98.7	0.0	0.0	-1436	0.0	-49.3	2475	266
0.167	0.269								



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	41.8	0.0	0.0	-219	0.0	-49.3	1173	258
0.125	0.018								
2	S	41.7	0.0	0.0	-227	0.0	-49.3	1212	260
0.125	0.019								

