

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 (Ordine degli Ingg. di Torino e Provincia n° 4683 W)	ING. RENATO DEL PRETE Ing. Renato Del Prete Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073	DOTT. GEOL. DANILO GALLO Dott. Geol. Danilo Gallo Ordine dei Geologi della Regione Puglia n° 588	INTEGRAZIONE PRESTAZIONI Ing. Renato Del Prete	PROGETTISTA Ing. Valerio Bajetti (I.T. S.r.l.)
			PROGETTAZIONE STRADALE Ing. Gaetano Ranieri (Ga&M S.r.l.)	PROGETTAZIONE IDRAULICA Ing. Fabrizio Bajetti (I.T. S.r.l.)
 Ing. Valerio Bajetti Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211	 Prof. Ing. Luigi Monterisi Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1771	 Ing. Gabriele Incechhi Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-12102	PROGETTAZIONE OPERE D'ARTE MAGGIORI Ing. Renato Vaira (Studio Corona S.r.l.)	PROGETTAZIONE OPERE D'ARTE MINORI Ing. Nicola Ligas (I.T. S.r.l.)
			COMPUTI Ing. Valerio Bajetti (I.T. S.r.l.)	CANTIERISTICA Ing. Gaetano Ranieri (Ga&M S.r.l.)
 Prof. Ing. Matteo Ranieri Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1137	 Arch. Nicoletta Frattini Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433	 Ing. Giocchino Angarano Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970	GEOLOGIA Dott. Danilo Gallo	GEOTECNICA Ing. Gianfranco Sodero (Studio Corona S.r.l.)
			AMBIENTE Dott. Emilio Macchi (ECOPLAN S.r.l.)	SICUREZZA Ing. Gaetano Ranieri (Ga&M S.r.l.)
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

HG04		H - PROGETTO STRUTTURALE OPERE PRINCIPALI			
		PO02 - PONTE SUL BREMBIOLO 03 ALLA PROG. 7+190			
		RELAZIONE DI CALCOLO GEOTECNICA - PALI DI FONDAZIONE			
CODICE PROGETTO PROGETTO LIV. PROG. N. PROG. COMI E 1701		NOME FILE HG04-P00PO02STRRE04_B.dwg		REVISIONE B	SCALA: -----
CODICE ELAB. P00 PO02 STRRE04					
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, tra le Pk. 7+169.31 e Pk. 7+211.31 della Variante di Casalpusterlengo alla S.S. n. 9 "Via Emilia". L'opera in oggetto presenta uno schema statico di trave semplicemente appoggiata con luce 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

β : coefficiente come da tabella seguente

	Coefficiente β [MN/m ³]	
	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 ³]		
	minimo	massimo
$c_u \leq 100$ kN/m ²	12.2	24.5
$c_u \leq 200$ kN/m ²	24.5	48.9
$c_u > 200$ 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 2.20 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:

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

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:

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

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

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

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

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

S_h : tensione orizzontale (efficace) lungo il palo:

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

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

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

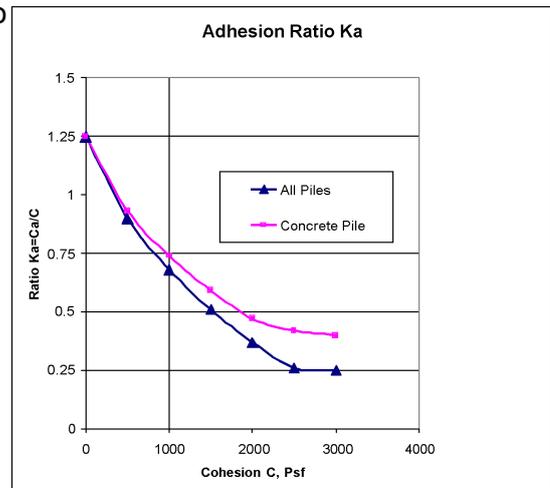
$$C_a = K_c \times K_a \times C$$

$K_c = 1$: fattore di adesione

K_a : rapporto di adesione (vedi figura a lato)

P: perimetro palo

ΔL : 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 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	PALO 5	M _{Sd} [kNm]	V _{Sd} [kN]
	N _{Sd,1} [kN]	N _{Sd,2} [kN]	N _{Sd,3} [kN]	N _{Sd,4} [kN]	N _{Sd,5} [kN]		
SLE - QUASI PERMANENTE	1608.81	1722.01	1835.21	1948.41	2061.61	-7.36	424.73
SLE - FREQUENTE 01	1537.83	1838.81	2139.79	2440.76	2741.74	439.91	602.55
SLE - FREQUENTE 02	1928.86	2069.40	2209.94	2350.48	2491.02	440.36	602.72
SLE - FREQUENTE 03	2166.81	2177.00	2187.20	2197.40	2207.59	440.29	602.69
SLE - FREQUENTE 04	2285.72	2207.05	2128.38	2049.72	1971.05	440.07	602.61
SLE - FREQUENTE 05	1656.98	1753.58	1850.17	1946.77	2043.36	-6.84	424.94
SLE - CARATTERISTICA 01	1507.24	1874.27	2241.31	2608.35	2975.38	589.12	661.89
SLE - CARATTERISTICA 02	2028.61	2181.73	2334.85	2487.97	2641.09	589.72	662.12
SLE - CARATTERISTICA 03	2345.87	2325.20	2304.53	2283.86	2263.19	589.62	662.08
SLE - CARATTERISTICA 04	2504.42	2365.27	2226.11	2086.95	1947.80	589.34	661.97
SLE - CARATTERISTICA 05	1480.97	1802.90	2124.82	2446.75	2768.68	439.56	602.37
SLE - CARATTERISTICA 06	1872.00	2033.49	2194.98	2356.47	2517.95	440.00	602.55
SLE - CARATTERISTICA 07	2109.94	2141.09	2172.24	2203.38	2234.53	439.93	602.52
SLE - CARATTERISTICA 08	2228.86	2171.14	2113.42	2055.70	1997.98	439.72	602.44
SLE - CARATTERISTICA 09	1480.33	1802.58	2124.82	2447.07	2769.31	319.08	555.11
SLE - CARATTERISTICA 10	1871.36	2033.17	2194.98	2356.78	2518.59	319.53	555.28
SLE - CARATTERISTICA 11	2109.31	2140.77	2172.24	2203.70	2235.17	319.45	555.26
SLE - CARATTERISTICA 12	2228.22	2170.82	2113.42	2056.02	1998.62	319.24	555.17
SLE - CARATTERISTICA 13	1543.10	1843.94	2144.77	2445.61	2746.45	440.27	602.83
SLE - CARATTERISTICA 14	1934.13	2074.53	2214.93	2355.33	2495.72	440.72	603.01
SLE - CARATTERISTICA 15	2172.07	2182.13	2192.19	2202.24	2212.30	440.65	602.98
SLE - CARATTERISTICA 16	2290.99	2212.18	2133.37	2054.56	1975.76	440.43	602.89
SLU - STR 01	2093.72	2584.94	3076.15	3567.36	4058.58	803.43	896.78
SLU - STR 02	2797.58	3000.01	3202.43	3404.85	3607.28	804.23	897.10
SLU - STR 03	3225.88	3193.69	3161.50	3129.30	3097.11	804.10	897.05
SLU - STR 04	3439.93	3247.78	3055.63	2863.48	2671.33	803.71	896.89
SLU - STR 05	2048.25	2482.08	2915.90	3349.72	3783.55	601.41	816.38
SLU - STR 06	2576.14	2793.38	3010.61	3227.84	3445.07	602.02	816.62
SLU - STR 07	2897.37	2938.64	2979.91	3021.18	3062.45	601.92	816.58
SLU - STR 08	3057.90	2979.20	2900.51	2821.81	2743.11	601.63	816.47
SLU - STR 09	2047.29	2481.60	2915.90	3350.20	3784.51	420.70	745.50
SLU - STR 10	2575.19	2792.90	3010.61	3228.32	3446.03	421.30	745.73
SLU - STR 11	2896.41	2938.16	2979.91	3021.66	3063.41	421.20	745.70
SLU - STR 12	3056.94	2978.73	2900.51	2822.29	2744.07	420.91	745.58
SLU - STR 13	2141.44	2543.63	2945.82	3348.01	3750.20	602.49	817.10
SLU - STR 14	2669.34	2854.94	3040.53	3226.13	3411.73	603.09	817.33
SLU - STR 15	2990.56	3000.20	3009.83	3019.47	3029.11	602.99	817.30
SLU - STR 16	3151.10	3040.76	2930.43	2820.10	2709.77	602.70	817.18
SLV 01	1609.08	1739.64	1870.19	2000.75	2131.30	1142.20	929.84
SLV 02	1569.41	1699.73	1830.06	1960.39	2090.71	1176.09	929.76
SLV 03	1660.59	1757.09	1853.58	1950.08	2046.57	1142.14	929.76
SLV 04	1620.92	1717.18	1813.45	1909.72	2005.98	1176.03	929.68
SLV 05	1596.70	1726.83	1856.97	1987.11	2117.24	-438.65	228.81
SLV 06	1557.02	1686.93	1816.84	1946.75	2076.65	-404.76	228.73
SLV 07	1648.21	1744.28	1840.36	1936.44	2032.52	-438.71	229.01
SLV 08	1608.53	1704.38	1800.23	1896.08	1991.93	-404.82	228.93
SLV 09	1544.65	1714.80	1884.94	2055.09	2225.23	325.74	610.09
SLV 10	1504.98	1674.89	1844.81	2014.72	2184.64	359.63	610.01
SLV 11	1540.94	1710.96	1880.97	2050.99	2221.01	-148.52	415.77
SLV 12	1501.26	1671.05	1840.84	2010.63	2180.42	-114.63	415.68
SLV 13	1716.35	1772.96	1829.58	1886.19	1942.80	325.54	609.93
SLV 14	1676.68	1733.06	1789.44	1845.83	1902.21	359.43	609.86
SLV 15	1712.63	1769.12	1825.61	1882.10	1938.59	-148.72	415.81
SLV 16	1672.96	1729.22	1785.48	1841.74	1898.00	-114.83	415.75
SLV 17	1651.03	1781.71	1912.39	2043.06	2173.74	286.13	578.99
SLV 18	1702.54	1799.16	1895.78	1992.39	2089.01	286.07	578.93
SLV 19	1647.32	1777.87	1908.42	2038.97	2169.52	-188.13	368.66
SLV 20	1698.83	1795.32	1891.81	1988.30	2084.79	-188.19	368.67
SLV 21	1518.79	1648.70	1778.61	1908.52	2038.44	399.10	578.71
SLV 22	1570.29	1666.15	1762.00	1857.85	1953.71	399.04	578.67
SLV 23	1515.07	1644.86	1774.64	1904.43	2034.22	-75.16	368.39
SLV 24	1566.58	1662.31	1758.03	1853.76	1949.49	-75.22	368.42

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	2 061.61	1 608.81	-7.36	424.73
SLE - FREQUENTI	2 741.74	1 537.83	440.36	602.72
SLE - CARATTERISTICHE	2 975.38	1 480.33	589.72	662.12
SLU - STR	4 058.58	2 047.29	804.23	897.10
SLV	2 225.23	1 501.26	1 176.09	929.84

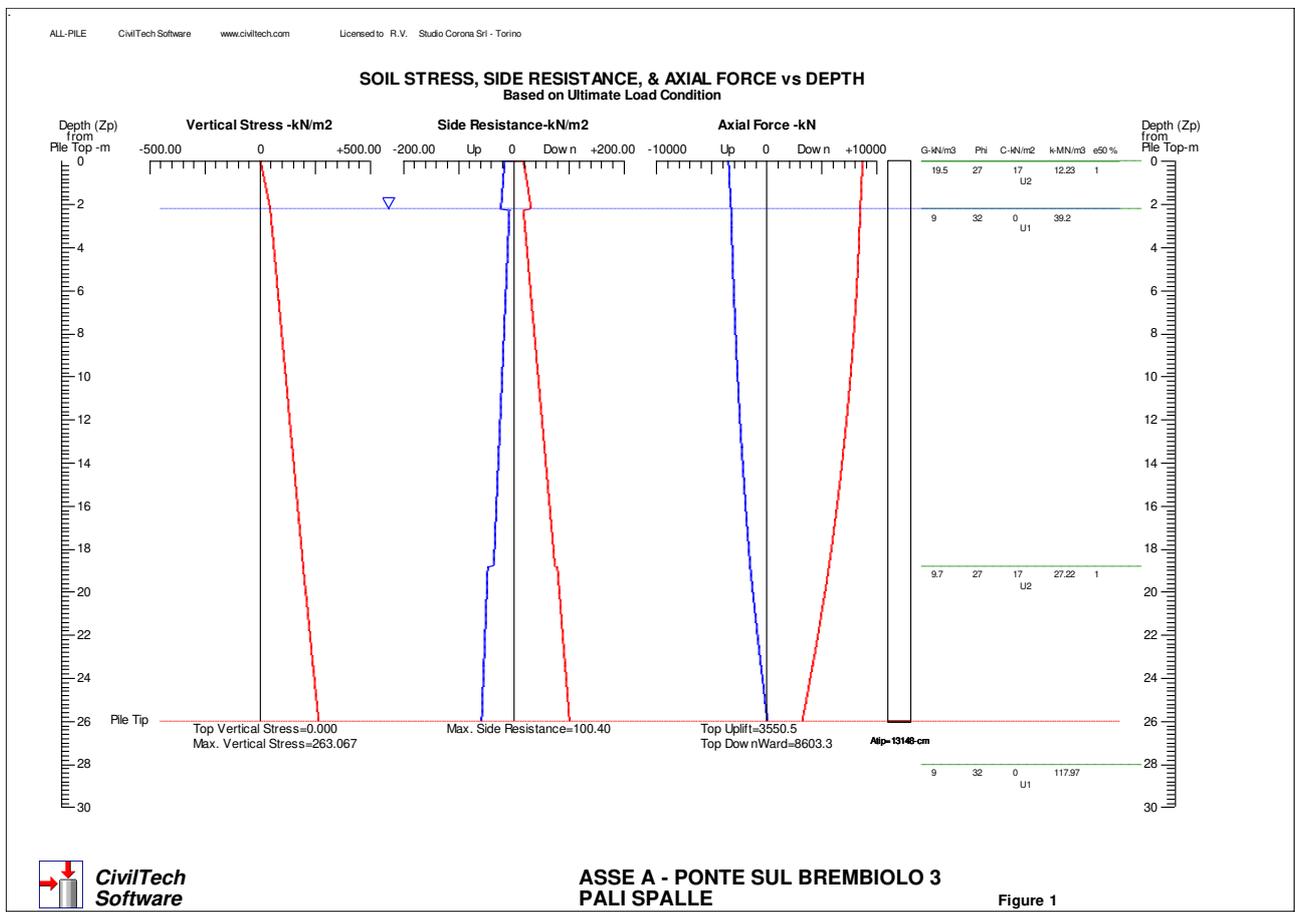
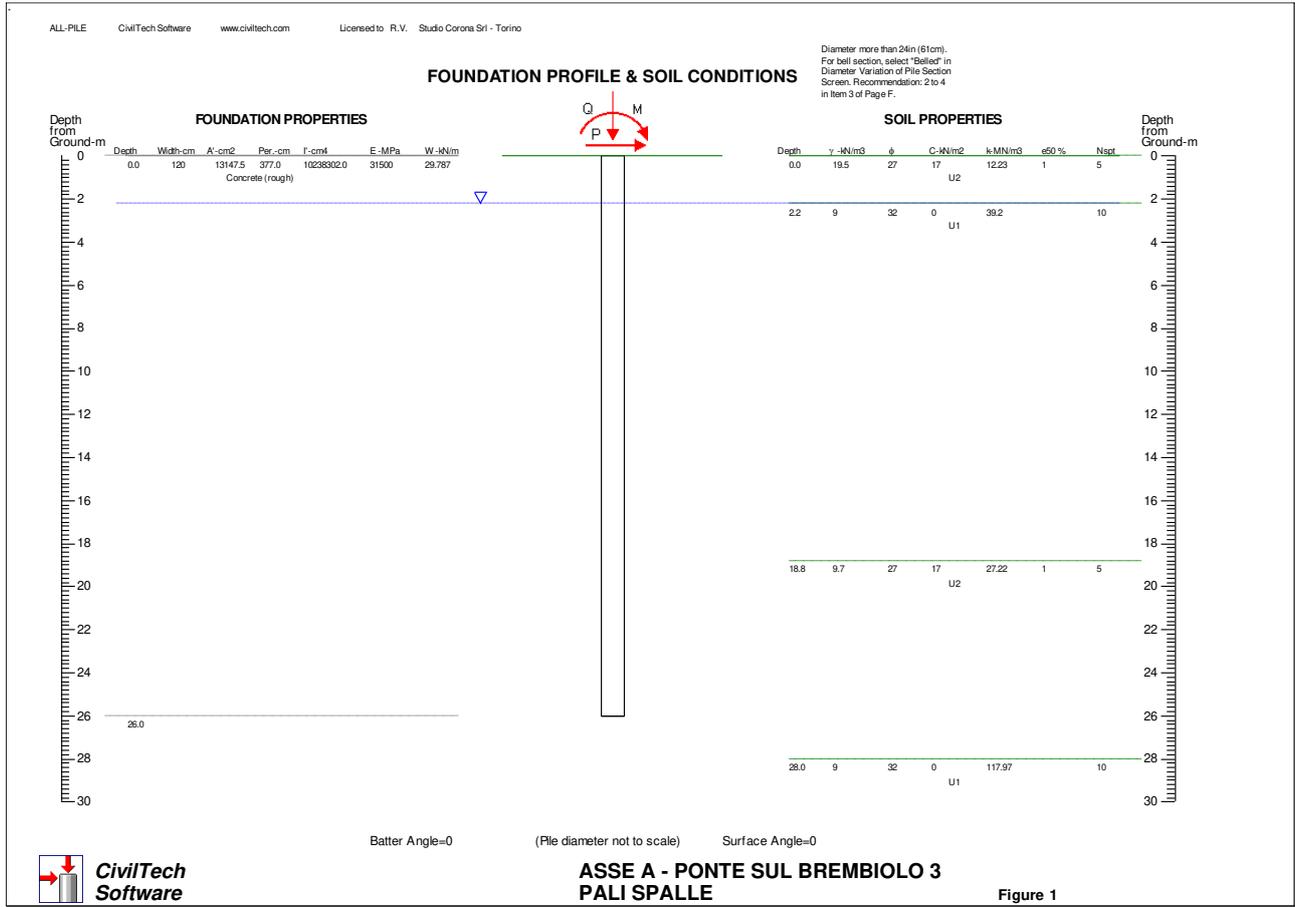
6.2 CALCOLO DELLE CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE E DEFORMAZIONE DEL PALO

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.

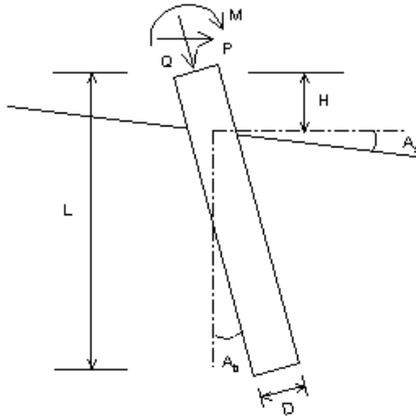
Seguono i diagrammi risultanti dalle analisi verticale e laterale del palo.

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= 4058.6 -kN
 Shear Load, P= 424.7 -kN
 Moment, M= -7.4 -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:

Depth -m	Gamma -kN/m3	Phi	C -kN/m2	K -MN/m3	e50 or Dr %	Nspt
0	19.5	27	17	12.23	1	5
2.2	9	32	0	39.2	60	10
18.8	9.7	27	17	27.22	1	5
28	9	32	0	117.97	60	10
35.2	9.7	27	17	46.69	1	5

Pile Data:

Depth -m	Width -cm	Area -cm2	Per. -cm	I -cm4	E -MPa	Weight -kN/m
0.0	120	13147.5	377.0	10238302.0	1500	29.787
26.0						

Vertical capacity:

Weight above Ground= 0.00 Total Weight= 511.12-kN *Soil Weight is not included
 Side Resistance (Down)= 5466.051-kN Side Resistance (Up)= 3039.361-kN
 Tip Resistance (Down)= 3137.278-kN Tip Resistance (Up)= 0.000-kN
 Total Ultimate Capacity (Down)= 8603.328-kN Total Ultimate Capacity (Up)= 3550.482-kN
 Total Allowable Capacity (Down)= 4097.059-kN Total Allowable Capacity (Up)= 1958.436-kN
 OK! Qallow > Q

Settlement Calculation:

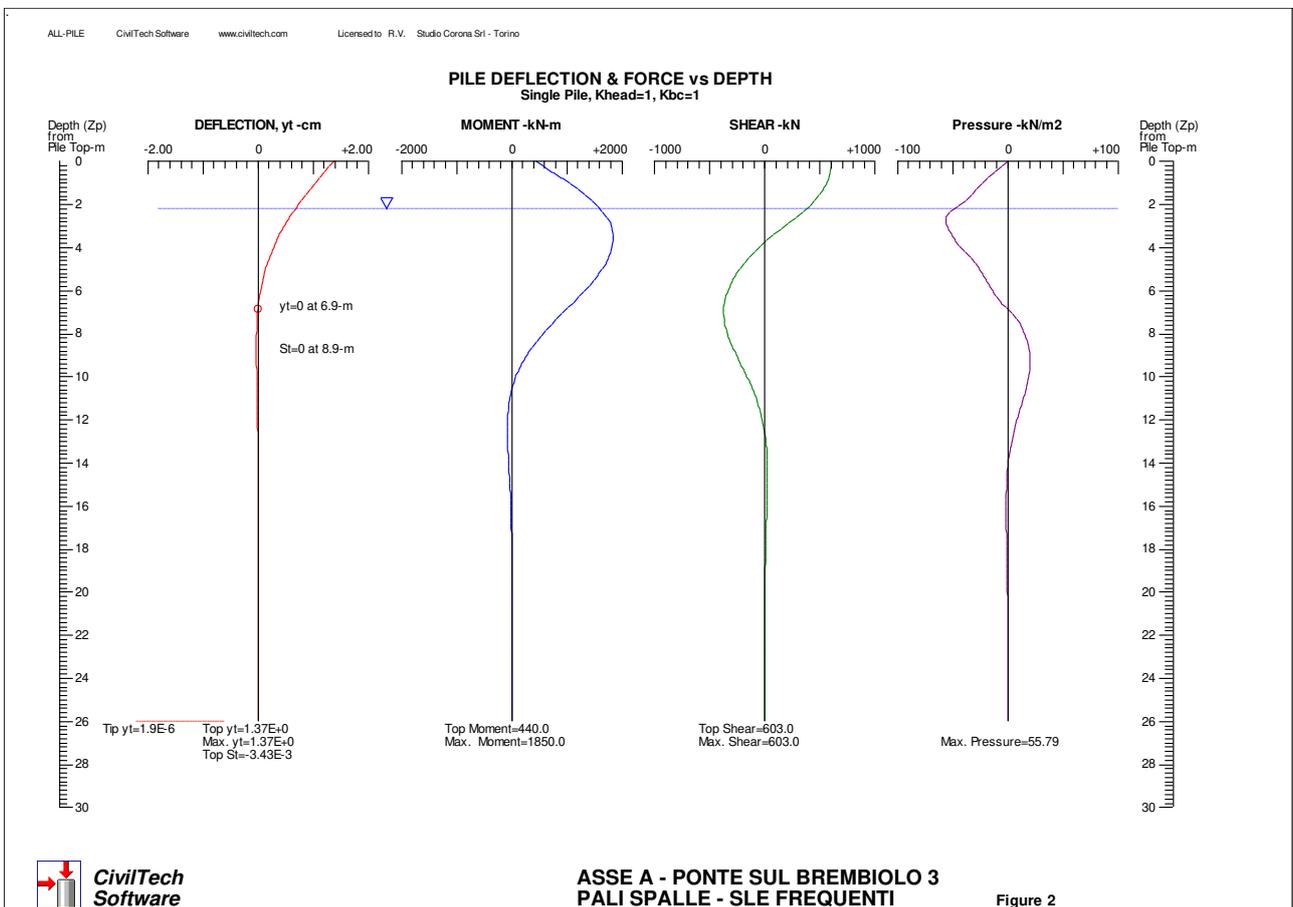
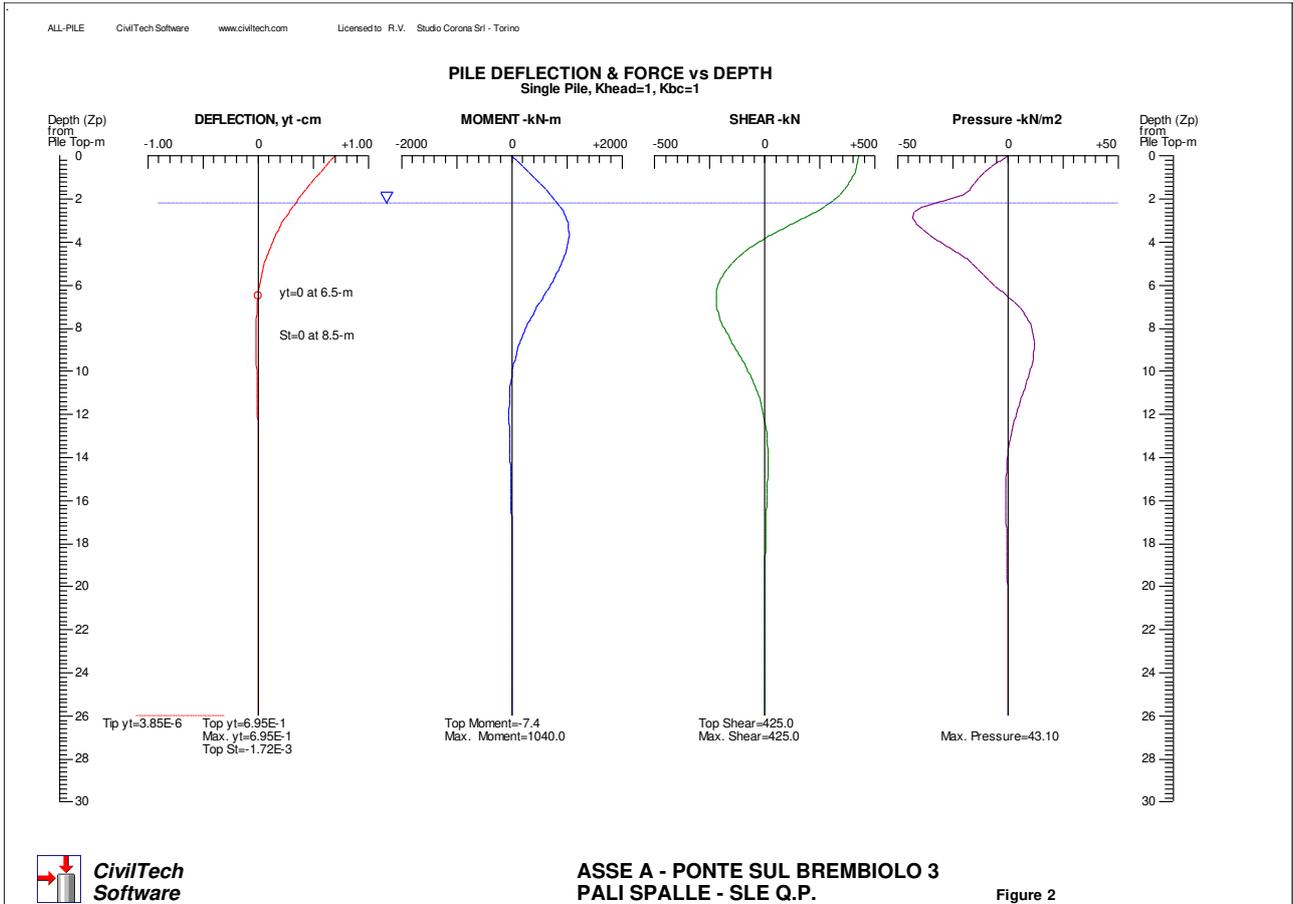
At Q= 4058.60-kN Settlement= 0.48234-cm
 At Xallow= 2.00-cm Qallow= 6678.00732-kN

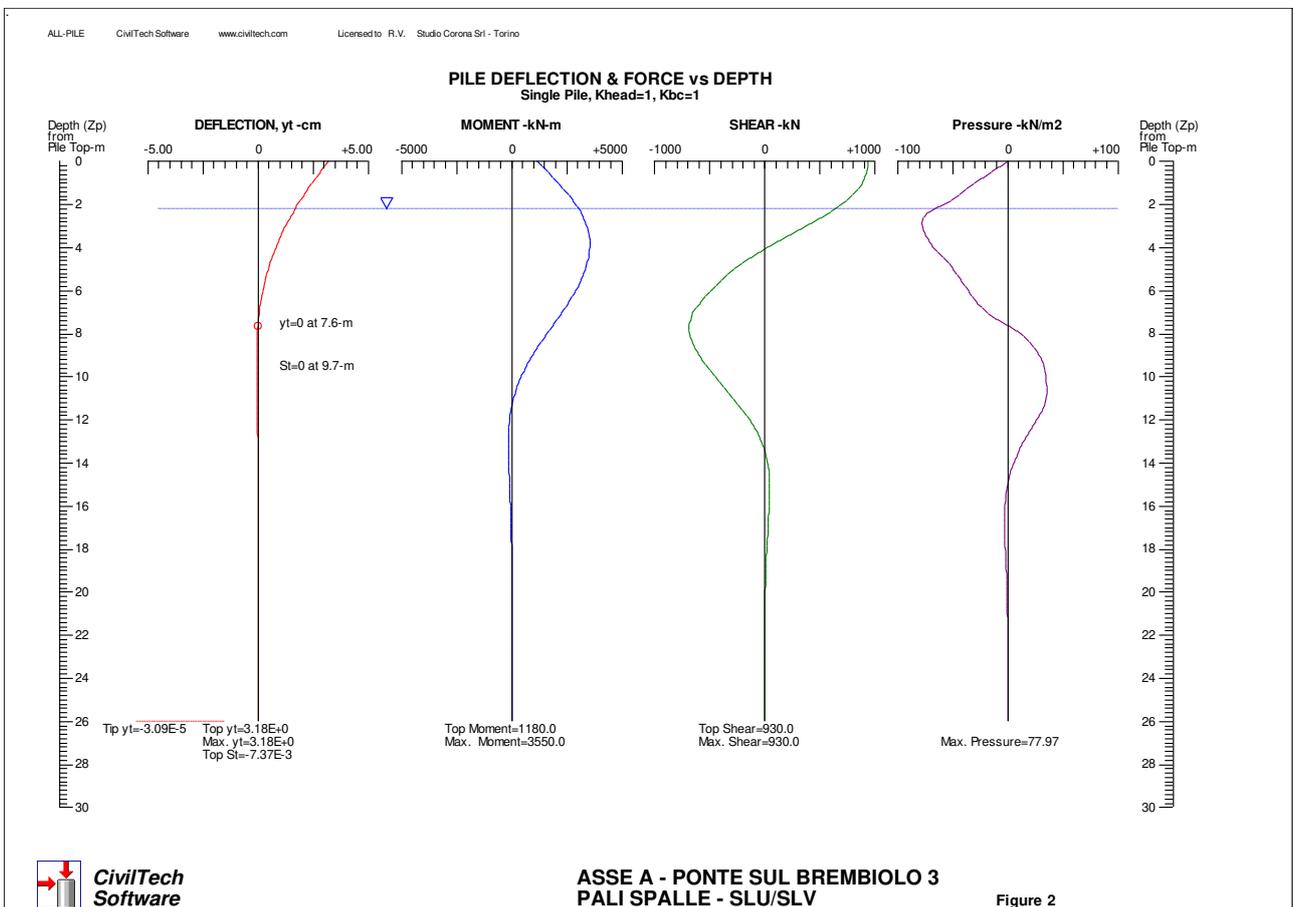
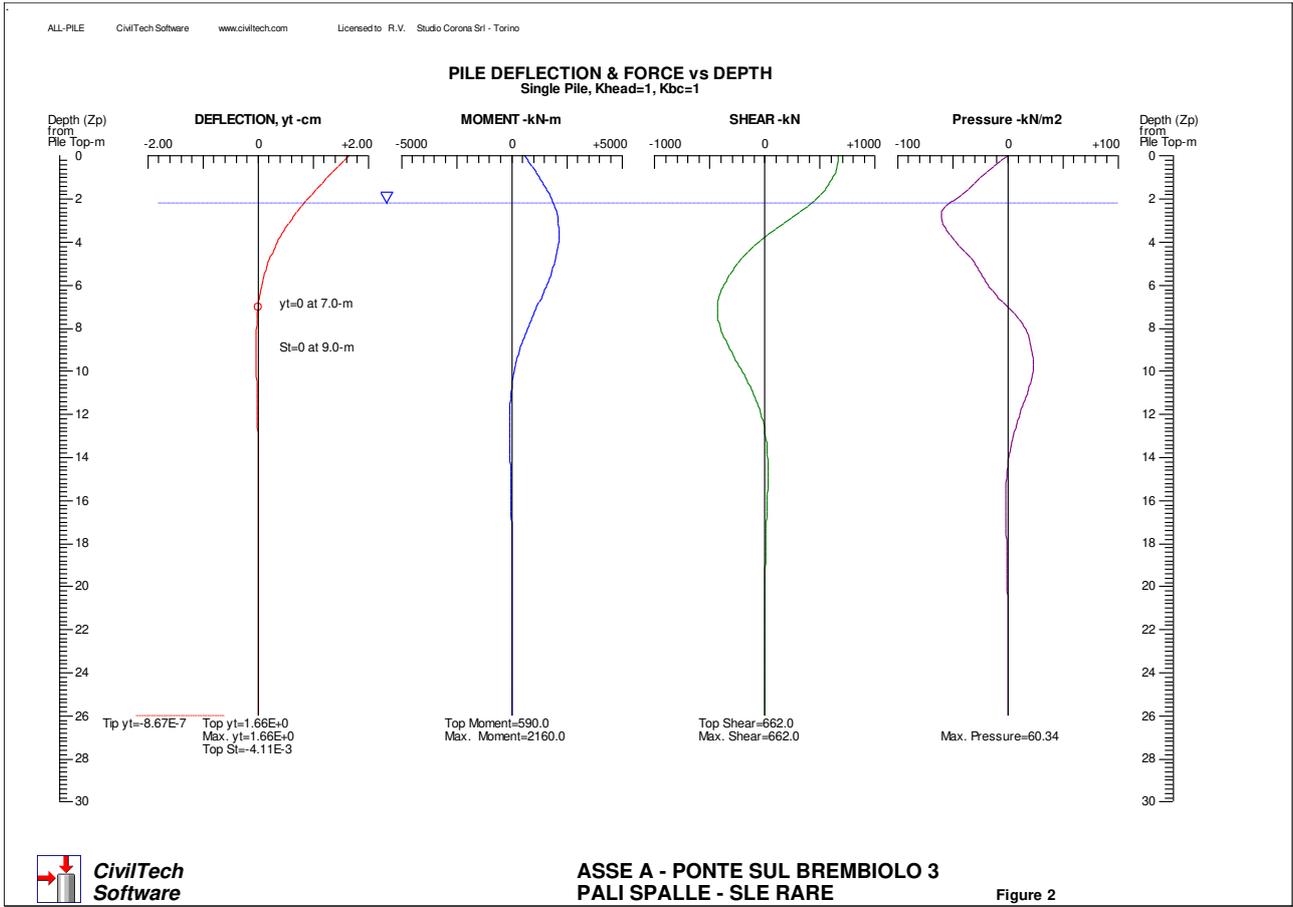
Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 99999.



**CivilTech
Software**

**ASSE A - PONTE SUL BREMBIOLO 3
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: $N_{sd} = 4058.6 \text{ kN}$
- Resistenza di progetto: $R_{sd} = 4097.1 \text{ kN}$ ($R_{sd} > N_{sd}$)
- Cedimento verticale: $DZ = 4.82 \text{ mm}$ (<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 $Z_p = 2.60 \text{ m}$ e vale:

$$R_{sd} / P_d = 200.8 / 77 = 2.61 \quad (>1: \text{verificato})$$

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/m ²)	Slope	Terreno	Gamma (kN/m ³)	C' (kN/m ²)	Ap	σv (kN/m ²)	R_Sd (kN/m ²)	Verifica ? R/P > 1
0	3.18	1180	930	0	-0.00737	U2	19.5	17	2.6629	0	0	0
0.3	2.99	1430	928.8	-7.8	-0.00731	U2	19.5	17	2.6629	5.85	96.462	12.367
0.5	2.8	1680	921.8	-15.6	-0.00704	U2	19.5	17	2.6629	9.75	110.560	7.087
0.8	2.61	1920	905.1	-23.4	-0.00731	U2	19.5	17	2.6629	15.6	131.706	5.628
1	2.43	2160	876.6	-30.9	-0.00692	U2	19.5	17	2.6629	19.5	145.804	4.719
1.3	2.25	2380	837.5	-37.8	-0.00692	U2	19.5	17	2.6629	25.35	166.951	4.417
1.6	2.08	2600	790.7	-44	-0.0063	U2	19.5	17	2.6629	31.2	188.097	4.275
1.8	1.91	2790	735.2	-52.1	-0.00654	U2	19.5	17	2.6629	35.1	202.195	3.881
2.1	1.75	2970	667.6	-63.2	-0.00615	U2	19.5	17	2.6629	40.95	223.342	3.534
2.4	1.6	3140	587.6	-72.5	-0.00577	U1	9	0	3.2546	43.65	192.846	2.660
2.6	1.45	3270	498	-77	-0.00556	U1	9	0	3.2546	45.45	200.799	2.608
2.9	1.31	3380	402.7	-78	-0.00538	U1	9	0	3.2546	48.15	212.727	2.727
3.2	1.18	3460	306.3	-76.9	-0.005	U1	9	0	3.2546	50.85	224.656	2.921
3.4	1.05	3510	211.4	-74.6	-0.005	U1	9	0	3.2546	52.65	232.608	3.118
3.7	0.93	3540	118.4	-71.6	-0.0043	U1	9	0	3.2546	55.35	244.537	3.415
3.9	0.82	3550	27.9	-67.8	-0.00423	U1	9	0	3.2546	57.15	252.489	3.724
4.2	0.72	3530	-58.7	-63.1	-0.00396	U1	9	0	3.2546	59.85	264.418	4.190
4.5	0.63	3490	-139.7	-57.9	-0.00369	U1	9	0	3.2546	62.55	276.346	4.773
4.7	0.54	3430	-213.9	-53.1	-0.00326	U1	9	0	3.2546	64.35	284.299	5.354
5	0.46	3350	-281.6	-49.1	-0.00312	U1	9	0	3.2546	67.05	296.228	6.033
5.3	0.38	3260	-344.6	-45.6	-0.00281	U1	9	0	3.2546	69.75	308.156	6.758
5.5	0.32	3150	-403.4	-42.1	-0.00248	U1	9	0	3.2546	71.55	316.109	7.509
5.8	0.26	3030	-456.7	-38.6	-0.00231	U1	9	0	3.2546	74.25	328.037	8.498
6	0.2	2890	-505	-35	-0.00204	U1	9	0	3.2546	76.05	335.990	9.600
6.3	0.16	2750	-550.1	-31.4	-0.00181	U1	9	0	3.2546	78.75	347.918	11.080
6.6	0.12	2590	-591.8	-27.4	-0.00152	U1	9	0	3.2546	81.45	359.847	13.133
6.8	0.08	2420	-628	-22.9	-0.00139	U1	9	0	3.2546	83.25	367.799	16.061
7.1	0.05	2250	-656.2	-17.1	-0.00118	U1	9	0	3.2546	85.95	379.728	22.206
7.3	0.02	2060	-676	-9.2	-0.00099	U1	9	0	3.2546	87.75	387.680	42.139
7.6	0	1880	-687.1	-0.1	-0.00079	U1	9	0	3.2546	90.45	399.609	3996.049
7.9	-0.02	1690	-688.3	8.4	-0.00067	U1	9	0	3.2546	93.15	411.538	48.993
8.1	-0.03	1510	-679.3	15.2	-0.00053	U1	9	0	3.2546	94.95	419.830	9.199
8.4	-0.04	1330	-662.2	20.4	-0.0004	U1	9	0	3.2546	97.65	433.806	7.049
8.7	-0.05	1160	-638.9	24.5	-0.00029	U1	9	0	3.2546	100.35	447.782	6.032
8.9	-0.05	997	-609.7	27.7	-0.0002	U1	9	0	3.2546	102.15	455.433	5.431
9.2	-0.06	844	-575.3	30.2	-0.00012	U1	9	0	3.2546	104.85	464.409	5.113
9.4	-0.06	702	-537.6	32.2	-0.00005	U1	9	0	3.2546	106.65	473.060	4.878
9.7	-0.06	570	-497.8	33.6	0.00001	U1	9	0	3.2546	109.35	482.036	4.793
10	-0.06	449	-456	34.6	0.00005	U1	9	0	3.2546	112.05	491.013	4.769
10.2	-0.05	340	-413.1	35.2	0.0001	U1	9	0	3.2546	113.85	499.990	4.763
10.5	-0.05	242	-369.8	35.4	0.00012	U1	9	0	3.2546	115.65	508.967	4.849
10.8	-0.05	157	-326.2	35.3	0.00014	U1	9	0	3.2546	117.45	517.944	4.975
11	-0.04	82.7	-282.3	34.7	0.00015	U1	9	0	3.2546	119.25	526.921	5.137
11.3	-0.04	20.5	-239.2	33.4	0.00016	U1	9	0	3.2546	121.05	535.898	5.456
11.6	-0.03	-30.3	-198.2	31.2	0.00016	U1	9	0	3.2546	122.85	544.875	5.969
11.8	-0.03	-70.5	-159.8	28.4	0.00016	U1	9	0	3.2546	124.65	553.852	6.650
12.1	-0.03	-101	-124.4	25.3	0.00016	U1	9	0	3.2546	126.45	562.829	7.622
12.3	-0.02	-124	-92.7	22.1	0.00015	U1	9	0	3.2546	128.25	571.806	8.846
12.6	-0.02	-138	-65	19	0.00013	U1	9	0	3.2546	130.05	580.783	10.499
12.9	-0.02	-147	-40.9	16	0.00013	U1	9	0	3.2546	131.85	589.760	12.716
13.1	-0.01	-151	-20.3	13.2	0.00011	U1	9	0	3.2546	133.65	598.737	15.614
13.4	-0.01	-150	-3.2	10.7	0.0001	U1	9	0	3.2546	135.45	607.714	19.633
13.7	-0.01	-145	10.6	8.3	0.00009	U1	9	0	3.2546	137.25	616.691	25.789
13.9	-0.01	-138	21.4	6.2	0.00008	U1	9	0	3.2546	139.05	625.668	34.952
14.2	0	-129	29.6	4.4	0.00007	U1	9	0	3.2546	140.85	634.645	50.154
14.4	0	-119	35.4	2.8	0.00005	U1	9	0	3.2546	142.65	643.622	79.761
14.7	0	-107	39.2	1.4	0.00004	U1	9	0	3.2546	144.45	652.600	126.362
15	0	-95.7	41.3	0.3	0.00004	U1	9	0	3.2546	146.25	661.577	200.940
15.2	0	-84	41.9	-0.6	0.00003	U1	9	0	3.2546	148.05	670.554	389.889
15.5	0	-72.6	41.4	-1.4	0.00002	U1	9	0	3.2546	149.85	679.531	689.935
15.8	0	-61.7	39.9	-1.9	0.00001	U1	9	0	3.2546	151.65	688.508	127.308
16	0	-51.4	37.7	-2.3	0.00001	U1	9	0	3.2546	153.45	697.485	237.320
16.3	0	-42	35	-2.6	0.00001	U1	9	0	3.2546	155.25	706.462	407.332
16.5	0	-33.4	32	-2.7	0	U1	9	0	3.2546	157.05	715.439	657.344
16.8	0	-25.8	28.7	-2.8	0	U1	9	0	3.2546	158.85	724.416	997.356
17.1	0	-19.2	25.3	-2.8	0	U1	9	0	3.2546	160.65	733.393	1497.368
17.3	0	-13.5	21.9	-2.7	0	U1	9	0	3.2546	162.45	742.370	2247.380
17.6	0	-8.6	18.7	-2.5	0	U1	9	0	3.2546	164.25	751.347	3247.392
17.9	0	-4.7	15.5	-2.4	-0.00001	U1	9	0	3.2546	166.05	760.324	4547.404
18.1	0	-1.5	12.6	-2.2	-0.00001	U1	9	0	3.2546	167.85	769.301	6247.416
18.4	0	1	9.9	-1.9	-0.00001	U1	9	0	3.2546	169.65	778.278	8347.428
18.6	0	2.8	7.6	-1.6	-0.00001	U1	9	0	3.2546	171.45	787.255	10847.440
18.9	0	4	5.7	-1.2	-0.00001	U2	9.7	17	2.6629	173.25	796.232	13847.452
19.2	0	4.9	4	-1	-0.00001	U2	9.7	17	2.6629	175.05	805.209	17347.464
19.4	0	5.5	2.7	-0.8	-0.00001	U2	9.7	17	2.6629	176.85	814.186	21347.476
19.7	0	5.8	1.7	-0.7	0	U2	9.7	17	2.6629	178.65	823.163	25847.488
20	0	5.9	0.8	-0.5	0	U2	9.7	17	2.6629	180.45	832.140	31347.500
20.2	0	5.9	0.1	-0.4	0	U2	9.7	17	2.6629	182.25	841.117	37347.512
20.5	0	5.7	-0.5	-0.3	0	U2	9.7	17	2.6629	184.05	850.094	44347.524
20.8	0	5.4	-0.9	-0.2	0	U2	9.7	17	2.6629	185.85	859.071	52847.536
21	0	5	-1.2	-0.2	0	U2	9.7	17	2.6629	187.65	868.048	63347.548
21.3	0	4.6	-1.4	-0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	189.45	877.025	75347.560
21.5	0	4.2	-1.6	0	0	U2	9.7	17	2.6629	191.25	886.002	88347.572
21.8	0	3.7	-1.6	0	0	U2	9.7	17	2.6629	193.05	894.979	102847.584
22.1	0	3.2	-1.7	0	0	U2	9.7	17	2.6629	194.85	903.956	119347.596
22.3	0	2.8	-1.6	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	196.65	912.933	137347.608
22.6	0	2.4	-1.5	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	198.45	921.910	157347.620
22.9	0	2	-1.5	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	200.25	930.887	179347.632
23.1	0	1.6	-1.3	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	202.05	939.864	203347.644
23.4	0	1.3	-1.2	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	203.85	948.841	229347.656
23.6	0	1	-1.1	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	205.65	957.818	257347.668
23.9	0	0.8	-0.9	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	207.45	966.795	287347.680
24.2	0	0.6	-0.8	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	209.25	975.772	319347.692
24.4	0	0.4	-0.7	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	211.05	984.749	353347.704
24.7	0	0.3	-0.5	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	212.85	993.726	389347.716
25	0	0.2	-0.4	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	214.65	1002.703	427347.728
25.2	0	0.1	-0.3	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	216.45	1011.680	4673

6.5 VERIFICHE DI DEFORMAZIONE PALO

- Cedimento verticale: $DZ = 4.82 \text{ mm}$ ($< 20 \text{ mm}$: ammissibile)
- Deformazione orizzontale massima: $DZ = 31.8 \text{ mm}$ ($< 50 \text{ mm}$: 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:	$N_{Sd} = 4059 \text{ kN}$			
Momento flettente:	$M_{Sd} = 3550 \text{ kN.m}$	$M_{Rd} = 4846 \text{ kN.m}$	\rightarrow	Verificato: $M_{Rd} > M_{Sd}$
Sforzo tagliante:	$V_{Sd} = 930 \text{ kN}$	$V_{Rd} = 2985 \text{ kN}$	\rightarrow	Verificato: $V_{Rd} > V_{Sd}$

6.6.1.2 Minimo sforzo assiale

	Sollecitazioni	Resistenze		
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 1501 \text{ kN}$			
Momento flettente:	$M_{Sd} = 3550 \text{ kN.m}$	$M_{Rd} = 4498 \text{ kN.m}$	\rightarrow	Verificato: $M_{Rd} > M_{Sd}$
Sforzo tagliante:	$V_{Sd} = 930 \text{ kN}$	$V_{Rd} = 2593 \text{ kN}$	\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:	$N_{Sd} = 2975 \text{ kN}$			
Momento flettente:	$M_{Sd} = 2160 \text{ kN.m}$			
Tensione massima cls.:	$s_c = 13.39 \text{ N/mm}^2$	\rightarrow	Verificato: $s_c < s_1 = 15 \text{ N/mm}^2$	
Tensione massima ferri:	$s_f = 173.82 \text{ N/mm}^2$	\rightarrow	Verificato: $s_f < s_3 = 360 \text{ N/mm}^2$	

6.6.2.2 Minimo sforzo assiale

	Sollecitazioni			
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 1480 \text{ kN}$			
Momento flettente:	$M_{Sd} = 2160 \text{ kN.m}$			
Tensione massima cls.:	$s_c = 13.14 \text{ N/mm}^2$	\rightarrow	Verificato: $s_c < s_1 = 15 \text{ N/mm}^2$	
Tensione massima ferri:	$s_f = 227.95 \text{ N/mm}^2$	\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:	$N_{Sd} = 2742 \text{ kN}$	
Momento flettente:	$M_{Sd} = 1850 \text{ kN.m}$	
Tensione massima cls.:	$s_c = 11.50 \text{ N/mm}^2$	
Tensione massima ferri:	$s_f = 142.30 \text{ N/mm}^2$	
Apertura fessure:	$w = 0.267 \text{ mm}$	→ Verificato: $w < w_3 = 0.4 \text{ mm}$

6.6.3.2 Minimo sforzo assiale

	Sollecitazioni	
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 1538 \text{ kN}$	
Momento flettente:	$M_{Sd} = 1850 \text{ kN.m}$	
Tensione massima cls.:	$s_c = 11.31 \text{ N/mm}^2$	
Tensione massima ferri:	$s_f = 185.09 \text{ N/mm}^2$	
Apertura fessure:	$w = 0.361 \text{ mm}$	→ 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:	$N_{Sd} = 2062 \text{ kN}$	
Momento flettente:	$M_{Sd} = 1040 \text{ kN.m}$	
Tensione massima cls.:	$s_c = 6.53 \text{ N/mm}^2$	→ Verificato: $s_c < s_2 = 11.25 \text{ N/mm}^2$
Tensione massima ferri:	$s_f = 63.38 \text{ N/mm}^2$	
Apertura fessure:	$w = 0.077 \text{ mm}$	→ Verificato: $w < w_2 = 0.3 \text{ mm}$

6.6.4.2 Minimo sforzo assiale

	Sollecitazioni	
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 1609 \text{ kN}$	
Momento flettente:	$M_{Sd} = 1040 \text{ kN.m}$	
Tensione massima cls.:	$s_c = 6.47 \text{ N/mm}^2$	→ Verificato: $s_c < s_2 = 11.25 \text{ N/mm}^2$
Tensione massima ferri:	$s_f = 77.74 \text{ N/mm}^2$	
Apertura fessure:	$w = 0.109 \text{ mm}$	→ 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-3 SPALLE

Descrizione Sezione: PONTE SUL BREMBIOLO 3 - 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 gen. Ascissa del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre gen.
Ycentro gen. Ordinata del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre gen.
Raggio 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	405858	355000	0	93000	0
2	150126	355000	0	93000	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	297538	216000	0
2	148033	216000	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	274174	185000	0
2	153783	185000	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	206161	104000	0
2	160881	104000	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.							

1.365	1	S	405858	355000	0	554064	484643	0
1.267	2	S	150126	355000	0	190200	449771	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 efficace							
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	0.00041	0.0	60.0	0.00286	0.0	49.3	-0.00307
2	0.00350	-0.00043	0.0	60.0	0.00268	0.0	49.3	-0.00485

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	0.000060121	-0.000107260		
2	0.000000000	0.000076354	-0.001081261		

ARMATURE A TAGLIO

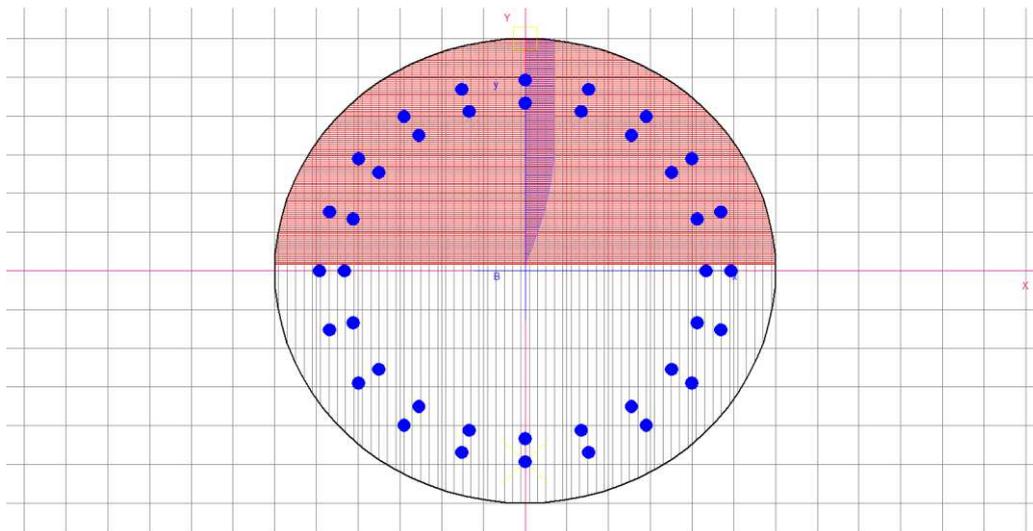
Diametro staffe:	14 mm	
Passo staffe:	20.0 cm	[Passo massimo di normativa = 25.0 cm]
N.Bracci staffe:	2	

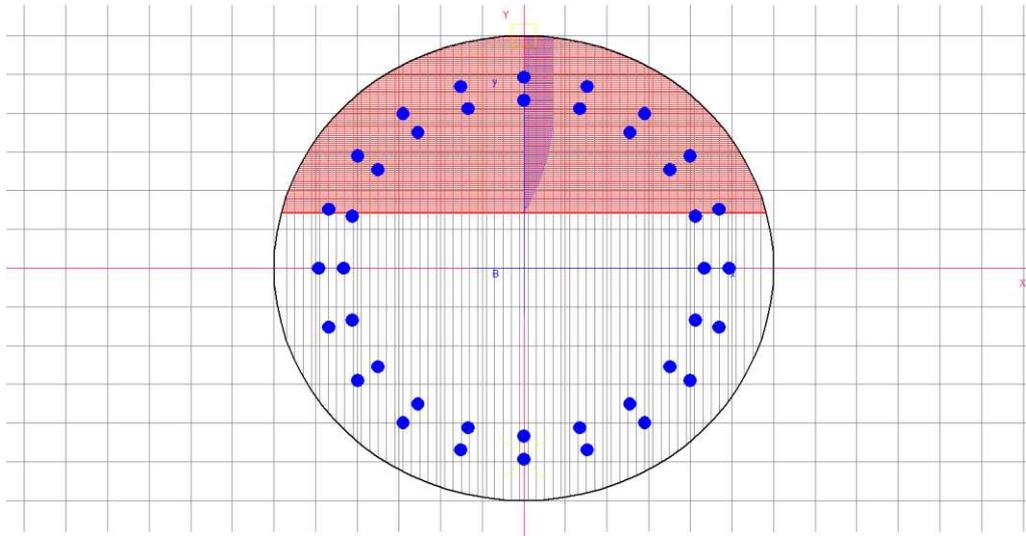
METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

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

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.[cm²/m]
 A_Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di
 combinaz.[cm²/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	93000	298497	132602	97.8	111.1	21.80°	1.250	10.8
15.4(0.0)									
2	S	93000	259300	133408	98.4	109.6	21.80°	1.094	10.7
15.4(0.0)									

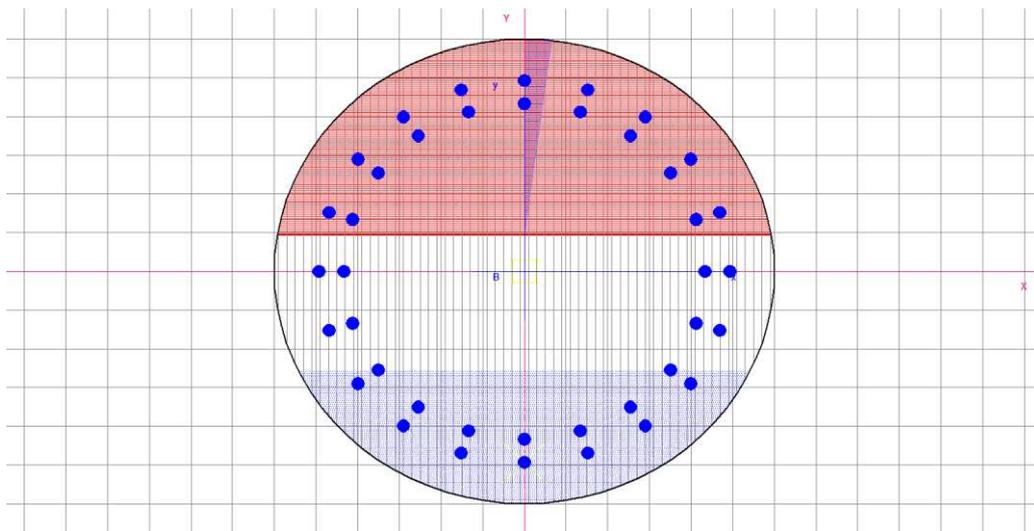
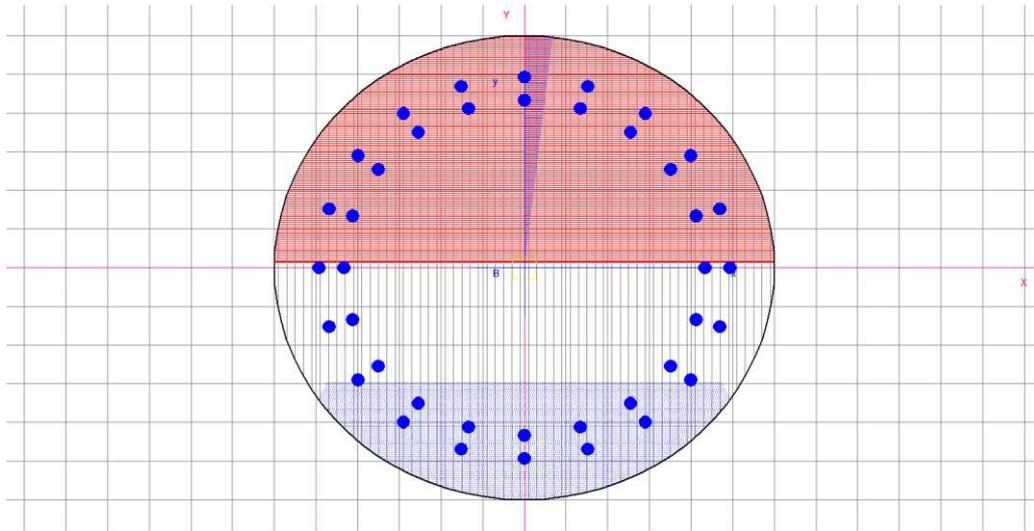




COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 Sc max Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm²]
 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/cm²]
 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 [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

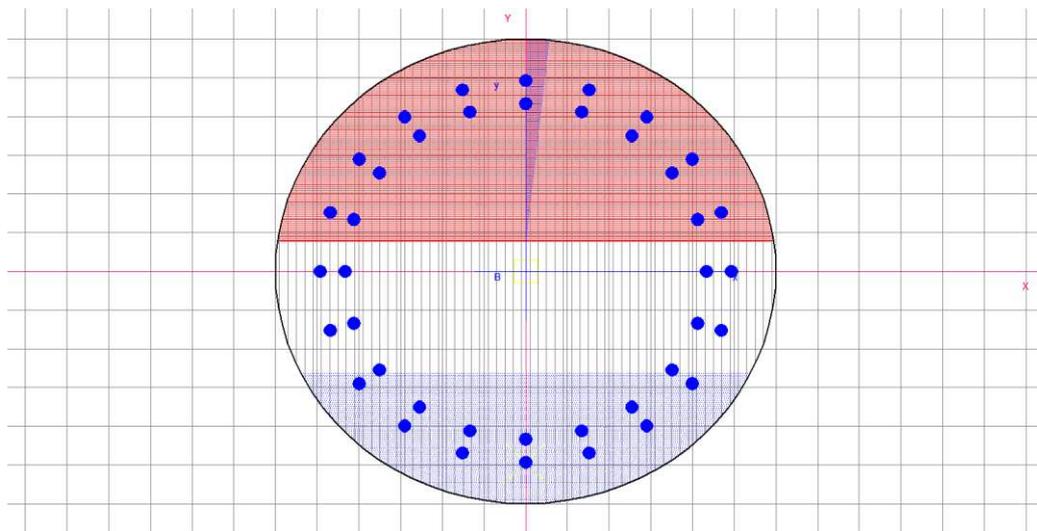
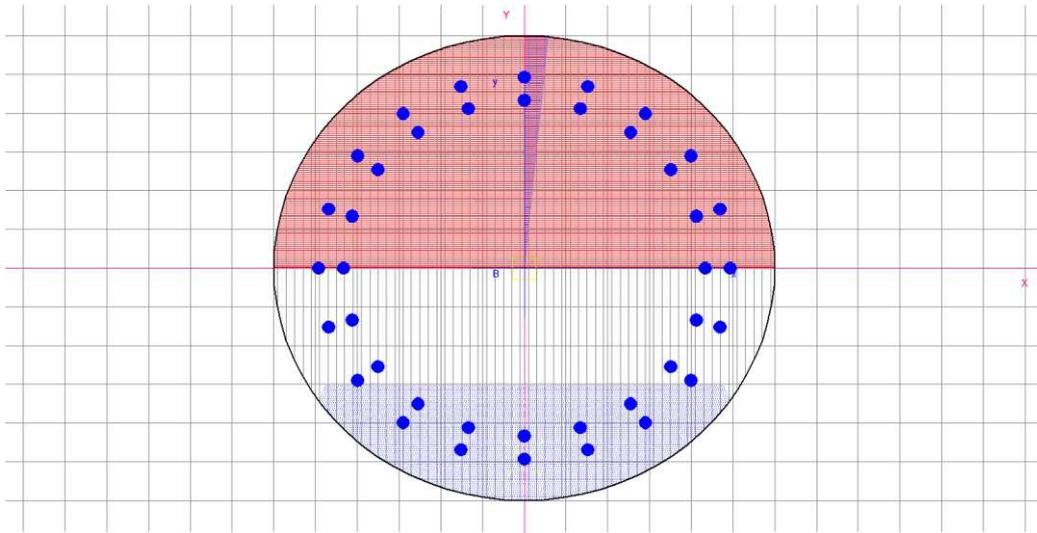
N.Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min
1	S	133.9	0.0	0.0	-1738	0.0	-49.3
2	S	131.4	0.0	0.0	-2279	0.0	-49.3



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.

N.Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.
1	S	115.0	0.0	0.0	-1423	0.0	-49.3	2193	257
0.164	0.267								
2	S	113.1	0.0	0.0	-1851	0.0	-49.3	2636	261
0.174	0.361								



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.

N.Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.
1	S	65.3	0.0	0.0	-634	0.0	-49.3	1904	246
0.154	0.077								
2	S	64.7	0.0	0.0	-777	0.0	-49.3	2146	255
0.163	0.109								

