

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	PROGETTISTA
			Ing. Renato Del Prete	Ing. Valerio Bajetti <small>(I.T. S.r.l.)</small>
			PROGETTAZIONE STRADALE	PROGETTAZIONE IDRAULICA
 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>	PROGETTAZIONE OPERE D'ARTE MAGGIORI	PROGETTAZIONE OPERE D'ARTE MINORI
			Ing. Renato Vaira <small>(Studio Corona S.r.l.)</small>	Ing. Nicola Ligas <small>(I.T. S.r.l.)</small>
			COMPUTI	CANTIERISTICA
 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 Incoronazione Trapani n. 4 - 70126 Bari</small> Ing. Gioacchino Angarano <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970</small>	GEOLOGIA	GEOTECNICA
			Dott. Danilo Gallo	Ing. Gianfranco Sodero <small>(Studio Corona S.r.l.)</small>
			AMBIENTE	SICUREZZA
Dott. Emilio Macchi <small>(ECOPLAN S.r.l.)</small>	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;">HP05</h1>	<h2 style="font-size: 1.5em;">H - PROGETTO STRUTTURALE OPERE PRINCIPALI</h2> <h3 style="font-size: 1.2em;">CV02 - CAVALCAVIA ASSE 80</h3> <h4 style="font-size: 1.1em;">RELAZIONE DI CALCOLO GEOTECNICA - PALI DI FONDAZIONE</h4>
---------------------------------------	---

CODICE PROGETTO PROGETTO LIV. PROG. N. PROG. COMI E 1701	NOME FILE HP05-P80CV02STRRE05_B.dwg CODICE ELAB. P80CV02STRRE05	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.	3
3.3	Caratteristiche di durabilità e copriferri.....	3
4	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE.....	3
5	GENERALITÀ SULLE VERIFICHE GEOTECNICHE E STRUTTURALI DEI PALI	5
5.1	Verifiche di resistenza assiale (verticale)	5
5.2	Verifiche di resistenza ai carichi trasversali (orizzontali).....	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
7	PALI PILE	26
7.1	Sollecitazioni di progetto alla testa dei pali.....	26
7.2	Calcolo delle caratteristiche di sollecitazione e deformazione del palo.....	27
7.3	Verifica dei pali soggetti a carico verticale.....	31
7.4	Pali soggetti a carico orizzontale - Verifica di resistenza del terreno	31
7.5	Verifiche di deformazione palo.....	34
7.6	Verifiche strutturali palo	34
7.6.1	Verifiche di resistenza allo stato limite ultimo	34
7.6.2	Verifiche tensionali allo stato limite di esercizio – Combinazioni rare	34
7.6.3	Verifiche di fessurazione.....	35
7.6.4	Tabulato di calcolo.....	35

1 PREMESSA

La presente relazione riporta i calcoli statici e geotecnici necessari per la progettazione esecutiva dei pali di fondazione del Cavalcavia sull'asse 80, intersecante alla Pk. 6+539,97 la Variante di Casalpusterlengo alla S.S. n. 9 "Via Emilia".

L'opera in oggetto presenta uno schema statico di trave continua su tre campate aventi luci tra gli assi di appoggio pari a 31+38+31 m.

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

- Spalle:

- numero pali: $N = 4$
- interasse trasv.: $l_t = 3.60 \text{ m}$
- lunghezza: $L = 26.00 \text{ m}$

- Pile:

- numero pali: $N = 8$
- interasse trasv.: $l_t = 3.60 \text{ m}$
- interasse long.: $l_l = 3.60 \text{ m}$
- lunghezza: $L = 21.00 \text{ m}$

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

2 NORMATIVA

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

- **Legge n°1086 del 05/11/1971**

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

- **Legge n°64 del 02/02/1974:**

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

- **Decreto Ministeriale 14/01/2008**

"Norme tecniche per le costruzioni"

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

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

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 (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: $\varphi = 27^\circ$
- Coesione drenata: $c' = 17 \text{ kN/m}^2$
- Coefficiente di reazione laterale (Bowles): c_u : coesione non drenata

$K_h \text{ [MN/m}^3\text{]}$		
	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

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

- Peso specifico: $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito interno: $\varphi = 35^\circ$ (trascurato per portanza laterale)
- Coesione drenata: $c' = 0$
- Coefficiente di reazione laterale: $K_h = \frac{\beta \cdot Z}{D}$ in cui:

Z: profondità

D: diametro del palo

β : coefficiente come da tabella seguente

Coefficiente $\beta \text{ [MN/m}^3\text{]}$		
	Secco / umido	Saturo
Rilevato stradale	0.672	0.448

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

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

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

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

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

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

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

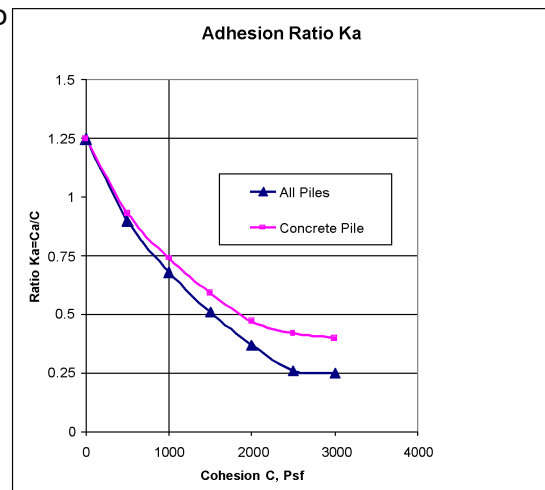
$$C_a = K_c \times K_a \times C$$

$K_c = 1$: 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) $EI \frac{d^4 Y}{dZ^4} + Q \frac{d^2 Y}{dZ^2} - R - P_q = 0$
- 2) $EI \left(\frac{d^3 Y}{dZ^3} \right) + Q \left(\frac{dY}{dZ} \right) - T = 0$
- 3) $EI \left(\frac{d^2 Y}{dZ^2} \right) - M = 0$
- 4) $\frac{dY}{dZ} - S_t = 0$

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.

COMBINAZIONI DI CARICO		N _{Sd,1} [kN]	N _{Sd,2} [kN]	N _{Sd,3} [kN]	N _{Sd,4} [kN]	M _{Sd} [kNm]	V _{Sd} [kN]
SLE - QUASI PERMANENTI	GEN Q.P.(max)	1 681.88	1 681.88	1 681.88	1 681.88	-676.02	208.53
	GEN Q.P.(min)	1 656.98	1 656.98	1 656.98	1 656.98	-676.02	184.06
SLE - FREQUENTI	GEN FREQ Mobili(max)	1 884.22	2 131.25	2 378.27	2 625.30	-458.67	324.68
	GEN FREQ Vento(max)	1 674.49	1 679.43	1 684.38	1 689.33	-458.68	322.34
	GEN FREQ Termico(max)	1 684.37	1 684.37	1 684.37	1 684.37	-458.68	325.02
	GEN FREQ Mobili(min)	2 027.52	1 780.50	1 533.47	1 286.45	-458.68	291.37
	GEN FREQ Vento(min)	1 664.38	1 659.43	1 654.49	1 649.54	-458.68	297.87
	GEN FREQ Termico(min)	1 654.49	1 654.49	1 654.49	1 654.49	-458.68	295.68
SLE - RARE	GEN RARA Mobili(max)	1 961.49	2 378.87	2 796.24	3 213.61	-386.22	366.86
	GEN RARA Vento(max)	1 849.73	2 121.50	2 393.26	2 665.02	-386.22	371.16
	GEN RARA Frenam(max)	1 892.24	2 139.26	2 386.29	2 633.31	-386.22	415.02
	GEN RARA Termico(max)	1 874.49	2 136.35	2 398.22	2 660.08	-386.22	377.14
	GEN RARA Mobili(min)	2 280.48	1 863.11	1 445.73	1 028.36	-386.23	325.70
	GEN RARA Vento(min)	2 062.01	1 790.25	1 518.49	1 246.73	-386.23	333.62
	GEN RARA Frenam(min)	2 019.51	1 772.48	1 525.46	1 278.43	-386.23	276.92
	GEN RARA Termico(min)	2 037.26	1 775.39	1 513.53	1 251.66	-386.23	319.76
SLU - STR	GEN SLU Mobili(max)	2 696.22	3 261.90	3 827.58	4 393.26	-518.21	493.53
	GEN SLU Vento(max)	2 543.13	2 913.72	3 284.30	3 654.89	-518.21	500.45
	GEN SLU Frenamento(max)	2 606.05	2 939.54	3 273.02	3 606.50	-518.21	557.81
	GEN SLU Termico(max)	2 577.27	2 933.01	3 288.76	3 644.50	-518.21	505.89
	GEN SLU Mobili(min)	3 137.99	2 572.31	2 006.63	1 440.95	-518.22	442.43
	GEN SLU Vento(min)	2 845.28	2 474.69	2 104.10	1 733.52	-518.22	454.29
	GEN SLU Frenamento(min)	2 782.35	2 448.87	2 115.38	1 781.90	-518.22	375.78
	GEN SLU Termico(min)	2 811.14	2 455.39	2 099.65	1 743.90	-518.22	435.82
SLV	GEN SLV Long(max)	1 621.52	1 643.33	1 665.14	1 686.95	-271.65	603.41
		1 590.06	1 611.87	1 633.68	1 655.49	-229.06	603.41
		1 651.70	1 653.39	1 655.08	1 656.77	-271.65	599.18
		1 620.24	1 621.93	1 623.62	1 625.31	-229.06	599.18
	GEN SLV Trasv(max)	1 533.84	1 606.53	1 679.22	1 751.90	-569.62	405.24
		1 502.39	1 575.07	1 647.76	1 720.45	-527.03	405.24
		1 533.84	1 606.53	1 679.22	1 751.90	-741.34	325.36
		1 502.39	1 575.07	1 647.76	1 720.45	-698.75	325.36
	GEN SLV Vert(max)	1 681.46	1 703.28	1 725.10	1 746.92	-619.31	335.15
		1 711.65	1 713.35	1 715.04	1 716.74	-619.31	327.47
		1 681.46	1 703.28	1 725.10	1 746.92	-791.03	232.04
		1 711.65	1 713.35	1 715.04	1 716.74	-791.03	220.80
	GEN SLV Long(min)	1 569.69	1 568.00	1 566.31	1 564.62	-844.05	58.62
		1 538.23	1 536.54	1 534.85	1 533.17	-801.46	58.62
		1 599.87	1 578.06	1 556.25	1 534.44	-844.05	92.34
		1 568.42	1 546.60	1 524.79	1 502.98	-801.46	92.34
	GEN SLV Trasv(min)	1 687.55	1 614.86	1 542.17	1 469.49	-569.62	324.60
		1 656.09	1 583.40	1 510.72	1 438.03	-527.03	324.60
		1 687.55	1 614.86	1 542.17	1 469.49	-741.34	264.63
		1 656.09	1 583.40	1 510.72	1 438.03	-698.75	264.63
	GEN SLV Vert(min)	1 478.29	1 476.59	1 474.89	1 473.19	-477.34	218.52
		1 508.47	1 486.65	1 464.83	1 443.01	-477.34	229.87
		1 478.29	1 476.59	1 474.89	1 473.19	-649.06	111.97
		1 508.47	1 486.65	1 464.83	1 443.01	-649.06	132.76

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

COMBINAZIONE MASSIMI/MINIMI	$N_{sd,MAX}$ [kN]	$N_{sd,MIN}$ [kN]	M_{sd} [kNm]	V_{sd} [kN]
SLE - QUASI PERMANENTE	1 681.88	1 656.98	-676.02	208.53
SLE - FREQUENTE	2 625.30	1 286.45	-458.67	325.02
SLE - RARA	3 213.61	1 028.36	-386.22	415.02
SLU - STR	4 393.26	1 440.95	-518.21	557.81
SLV	1 751.90	1 438.03	-229.06	603.41

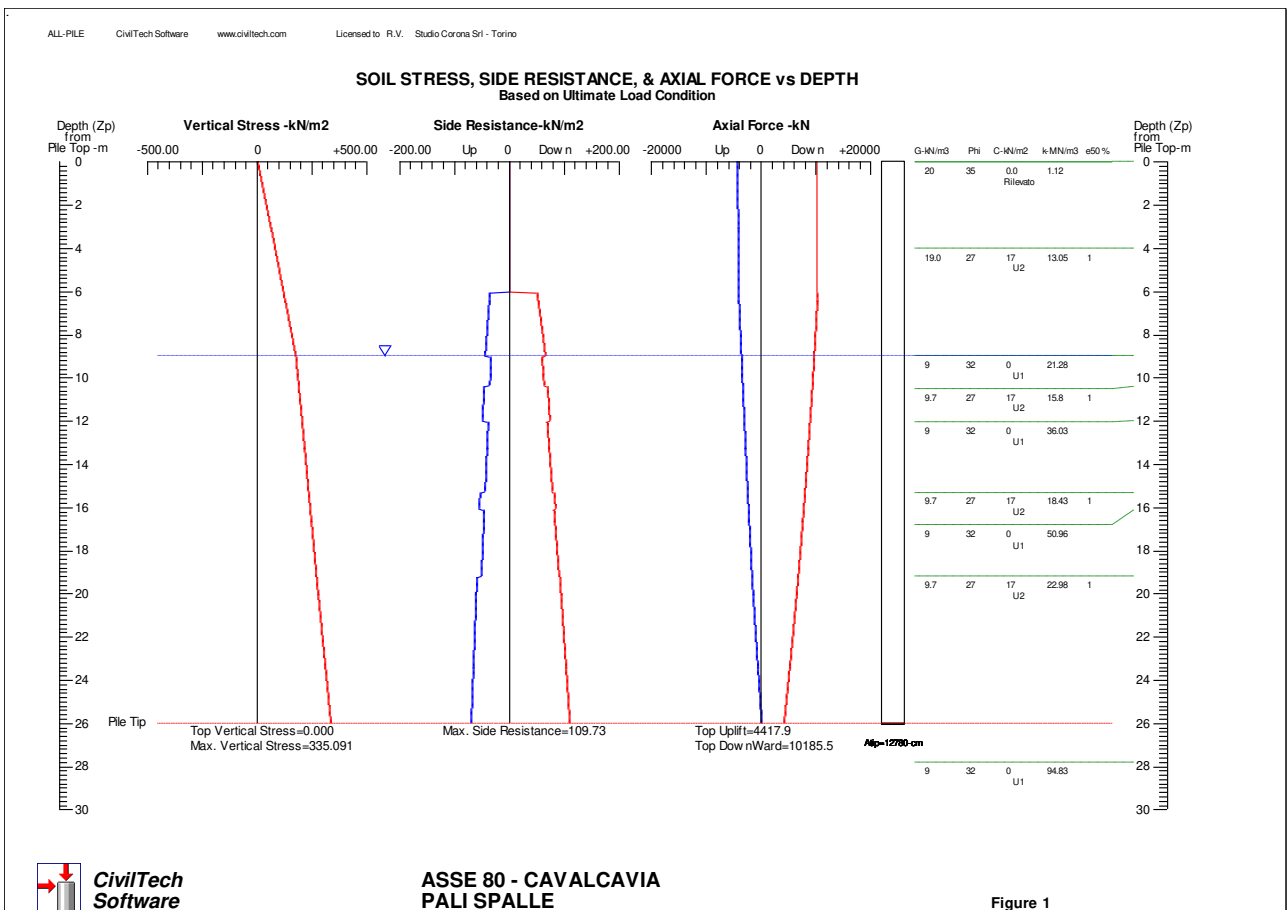
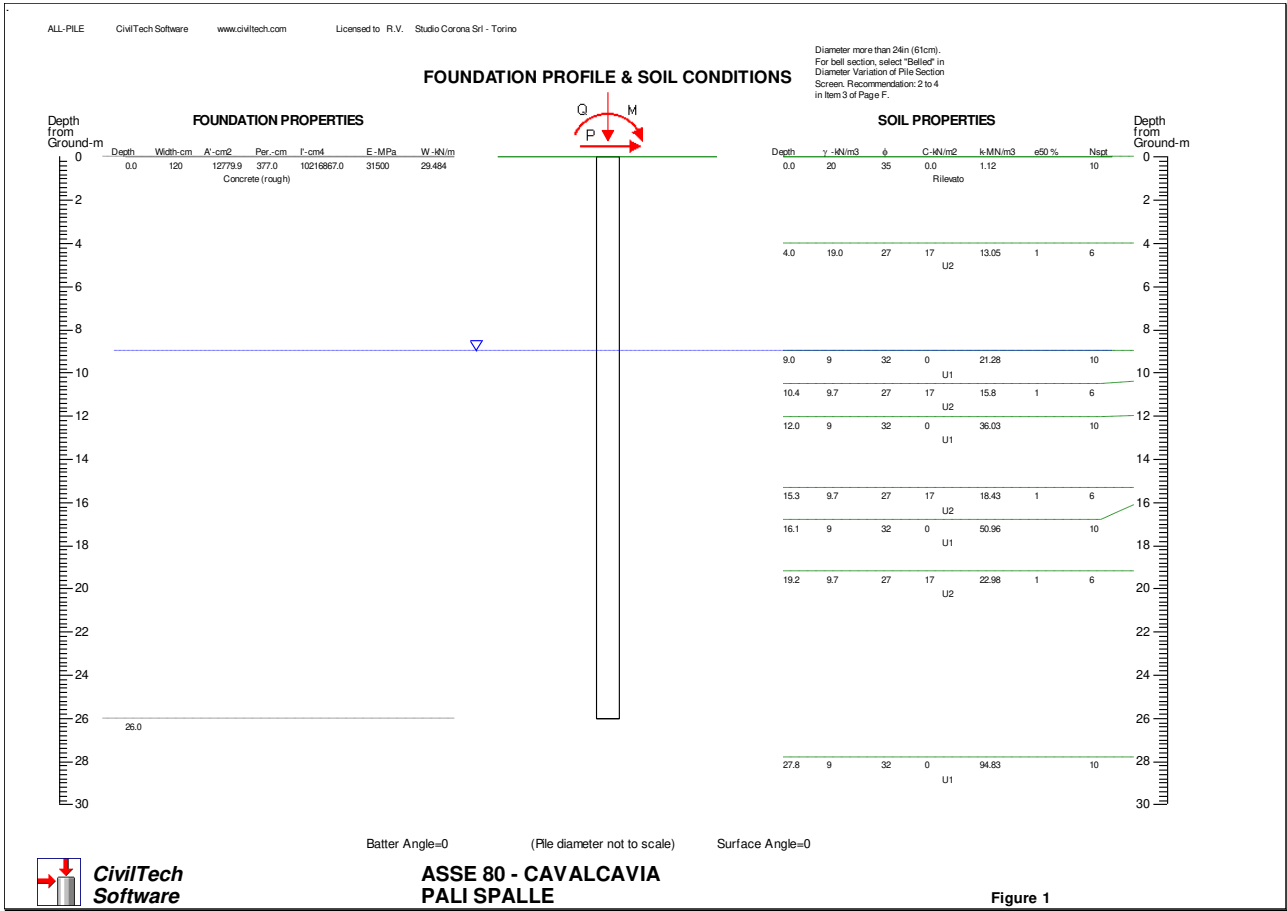
6.2 CALCOLO DELLE CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE E DEFORMAZIONE DEL PALO

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

La testa del palo risulta a 4 m di altezza sul rilevato; si trascura la portanza per attrito laterale per il tratto incamiciato con lamierino, pari a 6 m.

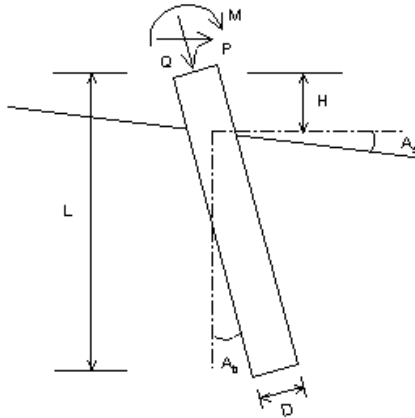
Seguono i diagrammi risultanti dalle analisi verticale e laterale del palo.

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



VERTICAL ANALYSIS

Figure 1



Loads:

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

Vertical Load, Q= 4393.3 -kN
 Shear Load, P= 557.8 -kN
 Moment, M= -518.2 -kN-m

Profile:

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

* Zero Friction *

Zero Friction Start: 0 -m End: 6 -m

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

Soil Data:

Depth -m	Gamma -kN/m3	Phi	C -kN/m2	K -MN/m3	e50 or Dr %	Nspt
0	20	35	0.0	1.12	30	10
4	19.0	27	17	13.05	1	6
9	9	32	0	21.28	60	10
10.4	9.7	27	17	15.8	1	6
12	9	32	0	36.03	60	10
15.3	9.7	27	17	18.43	1	6
16.1	9	32	0	50.96	60	10
19.2	9.7	27	17	22.98	1	6
27.8	9	32	0	94.83	60	10
31	9.7	27	17	31.39	1	6

Pile Data:

Depth -m	Width -cm	Area -cm2	Per. -cm	I -cm4	E -MPa	Weight -kN/m
0.0	120	12779.9	377.0	10216867.0	31500	29.484
26.0						

Vertical capacity:

Weight above Ground= 0.00 Total Weight= 578.32-kN *Soil Weight is not included
 Side Resistance (Down)= 6135.778-kN Side Resistance (Up)= 3839.604-kN
 Tip Resistance (Down)= 4049.762-kN Tip Resistance (Up)= 0.000-kN
 Total Ultimate Capacity (Down)= 10185.540-kN Total Ultimate Capacity (Up)= 4417.926-kN
 Total Allowable Capacity (Down)= 4828.655-kN Total Allowable Capacity (Up)= 2406.705-kN
 OK! Qallow > Q

Settlement Calculation:

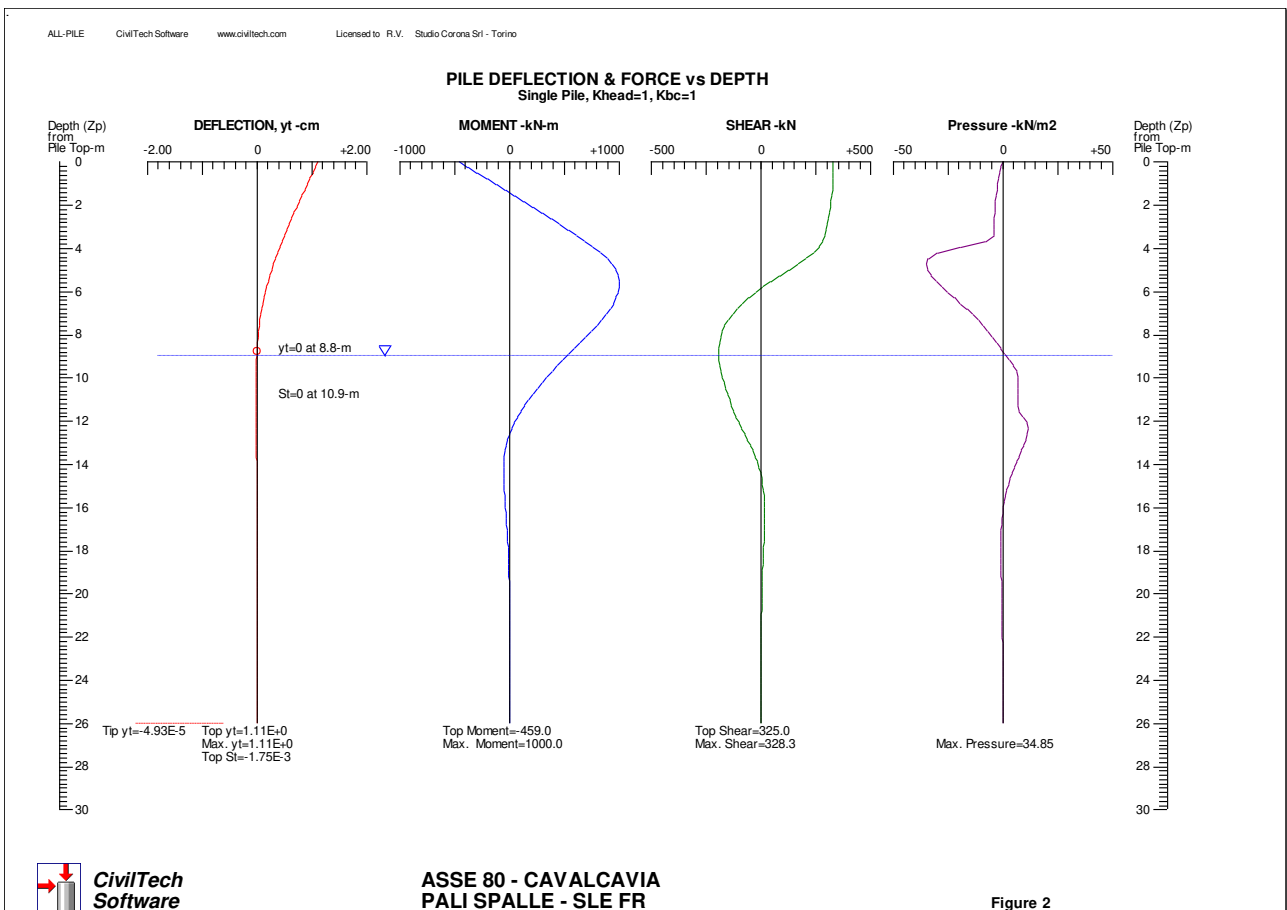
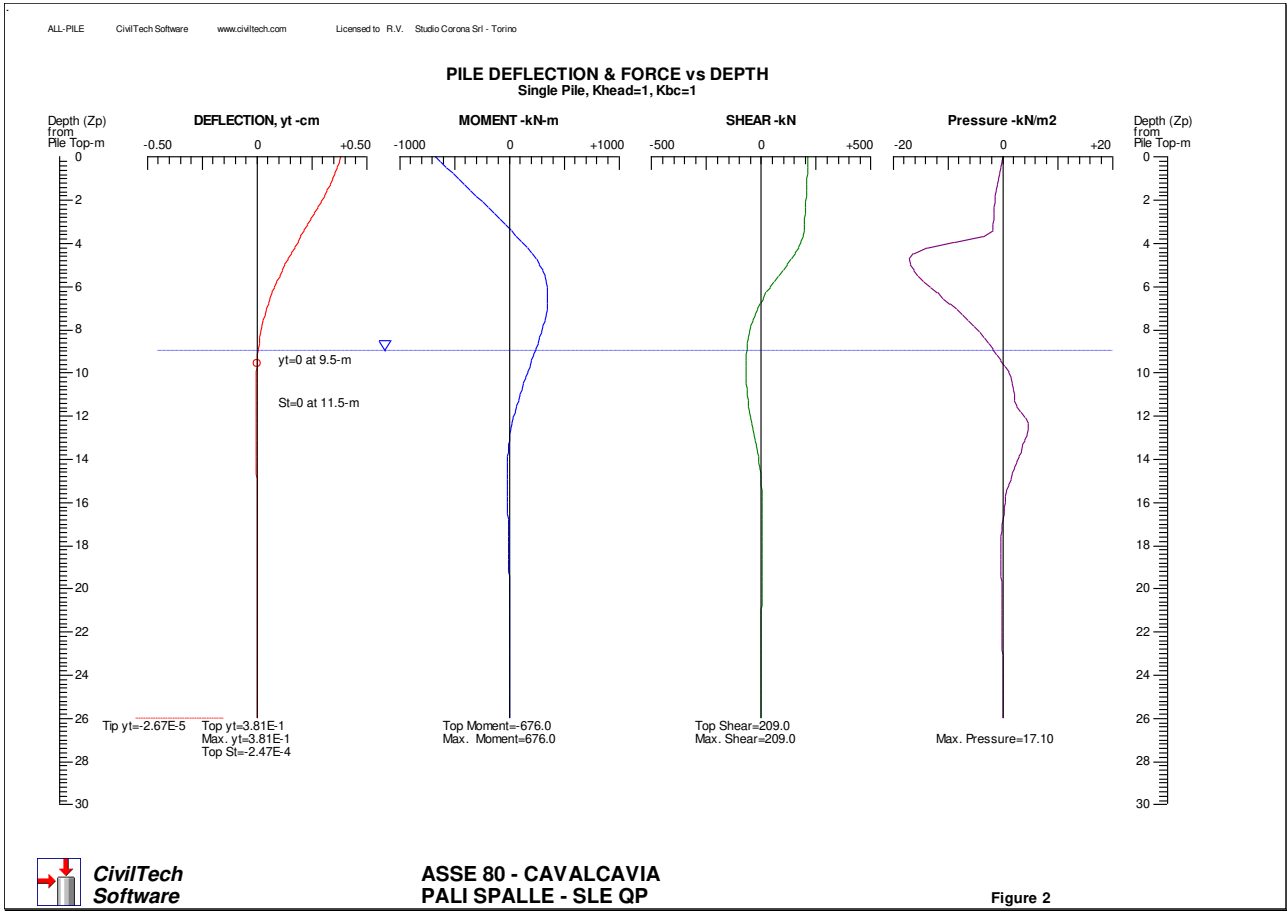
At Q= 4393.26-kN Settlement= 0.48949-cm
 At Xallow= 2.00-cm Qallow= 7675.25342-kN

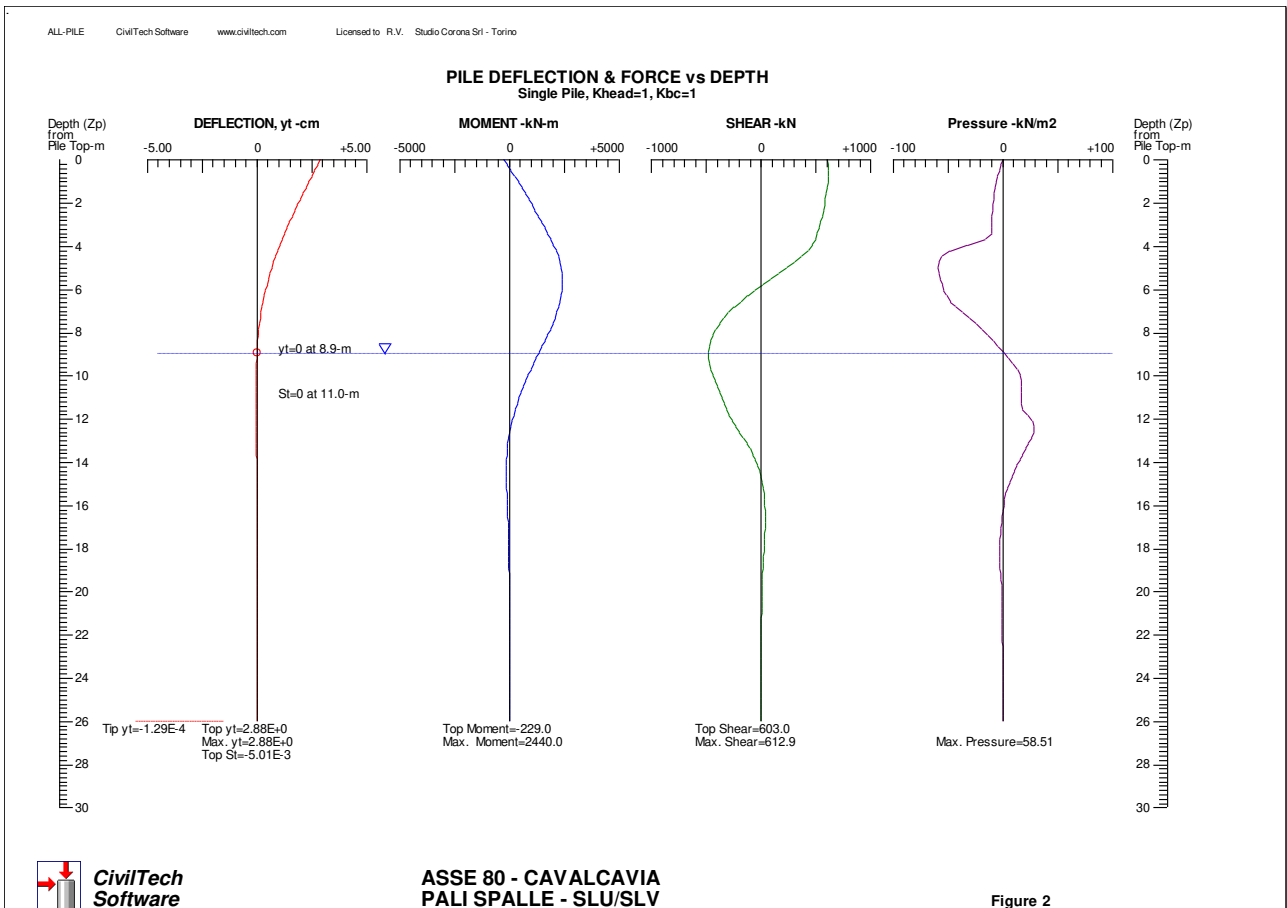
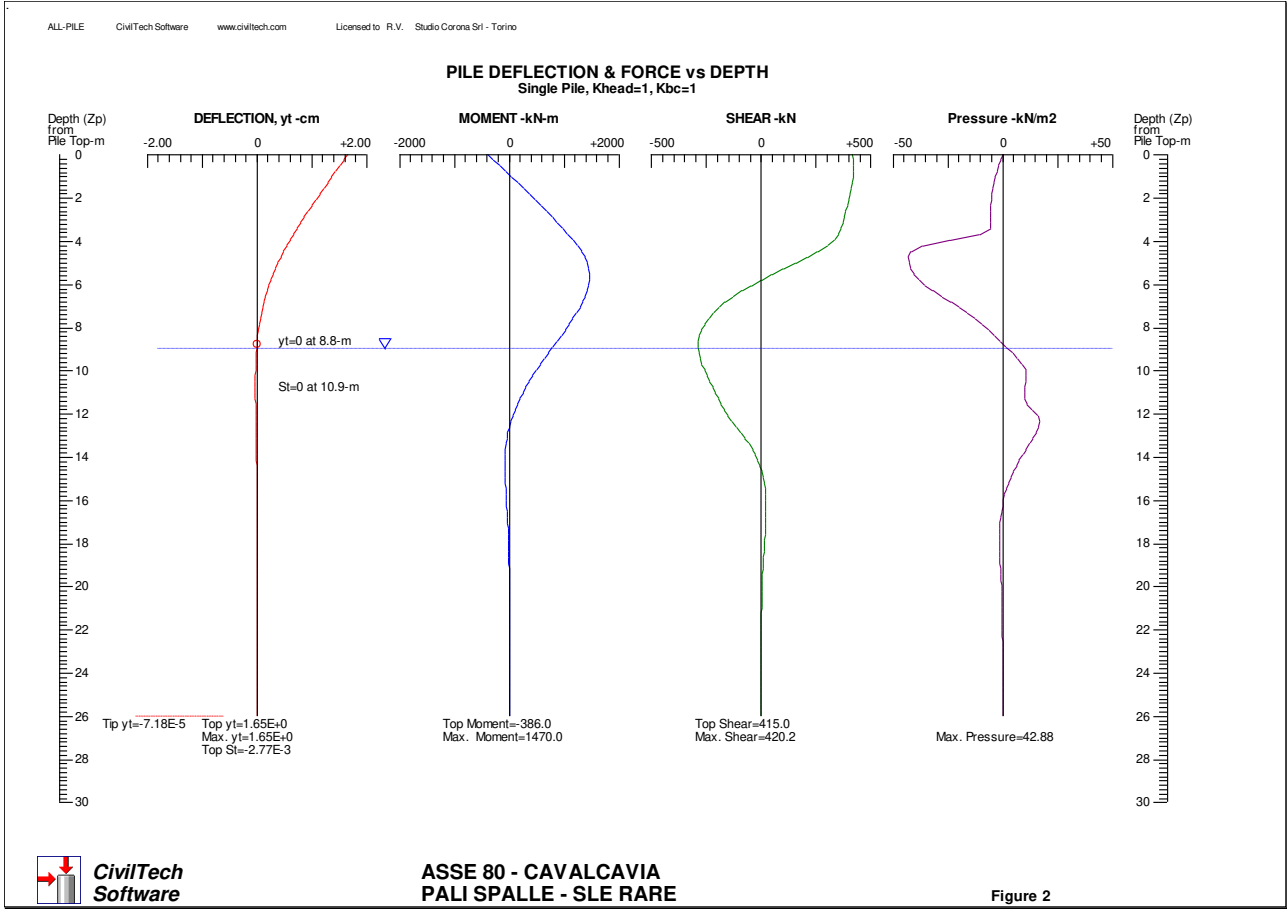
Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 99999.



**CivilTech
Software**

**ASSE 80 - CAVALCAVIA
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: $N_{sd} = 4393.3 \text{ kN}$
- Resistenza di progetto: $R_{sd} = 4828.6 \text{ kN}$ ($R_{sd} > N_{sd}$)
- Cedimento verticale: $DZ = 4.90 \text{ mm}$ (<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; si nota che per il rilevato si è tenuto conto dell'inclinazione 2:3 ($\varepsilon = -33.69^\circ$) del terreno nel calcolo della spinta passiva.

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

$$R_{sd} / P_d = 92.91 / 33.1 = 2.807 \quad (>1: \text{verificato})$$

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)	lp	σv (kN/m ²)	R_Sd (kN/m ²)	Verifica ? R/P > 1
0	2.88	-229	603	0	-0.00501	Rilevato	20	0	0.8775	0	0	0
0.3	2.75	-64.8	609.1	-1.6	-0.005	Rilevato	20	0	0.8775	6	7.147	4.467
0.5	2.62	98.9	612.9	-3.1	-0.00481	Rilevato	20	0	0.8775	10	11.912	3.842
0.8	2.49	262	612.7	-4.4	-0.005	Rilevato	20	0	0.8775	16	19.059	4.332
1	2.36	423	608.3	-5.6	-0.005	Rilevato	20	0	0.8775	20	23.824	4.254
1.3	2.23	582	601.1	-6.7	-0.005	Rilevato	20	0	0.8775	26	30.971	4.622
1.6	2.1	739	592.8	-7.6	-0.00481	Rilevato	20	0	0.8775	32	38.118	5.015
1.8	1.97	893	584.2	-8.3	-0.005	Rilevato	20	0	0.8775	36	42.882	5.167
2.1	1.84	1040	575.2	-8.9	-0.005	Rilevato	20	0	0.8775	42	50.029	5.621
2.4	1.72	1190	565	-9.4	-0.00462	Rilevato	20	0	0.8775	48	57.176	6.083
2.6	1.6	1340	553.1	-9.7	-0.00444	Rilevato	20	0	0.8775	52	61.941	6.386
2.9	1.48	1480	539	-9.9	-0.00462	Rilevato	20	0	0.8775	58	69.088	6.979
3.2	1.37	1620	524.4	-9.9	-0.00423	Rilevato	20	0	0.8775	64	76.235	7.701
3.4	1.26	1750	511.3	-9.9	-0.00423	Rilevato	20	0	0.8775	68	81.000	8.182
3.7	1.15	1880	495.4	-16.3	-0.00407	Rilevato	20	0	0.8775	74	88.147	5.408
3.9	1.05	2010	467.6	-33.1	-0.00385	Rilevato	20	0	0.8775	78	92.912	2.807
4.2	0.95	2140	422.9	-49	-0.00392	U2	19.5	17	2.6629	83.85	378.416	7.723
4.5	0.85	2240	364.2	-56.2	-0.00365	U2	19.5	17	2.6629	89.7	399.563	7.110
4.7	0.76	2320	296.9	-58.3	-0.0033	U2	19.5	17	2.6629	93.6	413.661	7.095
5	0.68	2380	224.9	-58.5	-0.00327	U2	19.5	17	2.6629	99.45	434.807	7.433
5.3	0.6	2420	151.1	-57.9	-0.00308	U2	19.5	17	2.6629	105.3	455.954	7.875
5.5	0.52	2440	77.7	-56.7	-0.00274	U2	19.5	17	2.6629	109.2	470.051	8.290
5.8	0.46	2440	5.9	-55.1	-0.00265	U2	19.5	17	2.6629	115.05	491.198	8.915
6	0.39	2420	-64.5	-53.4	-0.00246	U2	19.5	17	2.6629	118.95	505.296	9.462
6.3	0.33	2390	-132.6	-51.1	-0.00227	U2	19.5	17	2.6629	124.8	526.442	10.302
6.6	0.28	2330	-196.3	-47.2	-0.002	U2	19.5	17	2.6629	130.65	547.589	11.601
6.8	0.23	2260	-253.4	-41.8	-0.00185	U2	19.5	17	2.6629	134.55	561.687	13.437
7.1	0.19	2180	-302.7	-35.8	-0.00169	U2	19.5	17	2.6629	140.4	582.833	16.280
7.3	0.15	2080	-345.5	-29.7	-0.0015	U2	19.5	17	2.6629	144.3	596.931	20.099
7.6	0.11	1980	-383.8	-23.7	-0.0013	U2	19.5	17	2.6629	150.15	618.077	26.079
7.9	0.08	1870	-416.3	-18.1	-0.00117	U2	19.5	17	2.6629	156	639.224	35.316
8.1	0.06	1750	-440.8	-12.9	-0.00102	U2	19.5	17	2.6629	159.9	217.774	16.882
8.4	0.03	1620	-458.8	-8.1	-0.00087	U2	19.5	17	2.6629	165.75	224.823	27.756
8.7	0.01	1500	-472.2	-3.6	-0.00071	U2	19.5	17	2.6629	171.6	231.872	64.409
8.9	0	1370	-479.4	1	-0.00062	U2	19.5	17	2.6629	175.5	236.571	236.568
9.2	-0.01	1240	-478.4	5.7	-0.0005	U1	9	0	3.2546	178.2	262.430	46.040
9.4	-0.03	1110	-470.4	10	-0.0004	U1	9	0	3.2546	180	265.081	26.508
9.7	-0.03	990	-457.5	13.6	-0.0003	U1	9	0	3.2546	182.7	269.057	19.784
10	-0.04	872	-441	16	-0.00023	U1	9	0	3.2546	185.4	273.033	17.065
10.2	-0.04	760	-422.6	16.7	-0.00016	U1	9	0	3.2546	187.2	275.684	16.508
10.5	-0.05	654	-403.4	16.6	-0.00009	U2	9.7	17	2.6629	190.11	254.175	15.312
10.8	-0.05	553	-383.5	16.7	-0.00004	U2	9.7	17	2.6629	193.02	257.681	15.430
11	-0.05	458	-362.7	16.7	0.00001	U2	9.7	17	2.6629	194.96	260.019	15.570
11.3	-0.05	368	-341.6	16.6	0.00004	U2	9.7	17	2.6629	197.87	263.525	15.875
11.6	-0.04	284	-319.7	18.4	0.00007	U2	9.7	17	2.6629	200.78	267.031	14.513
11.8	-0.04	205	-294.5	23.4	0.0001	U2	9.7	17	2.6629	202.72	269.369	11.511
12.1	-0.04	131	-264.8	27.8	0.00012	U1	9	0	3.2546	205.42	302.516	10.882
12.3	-0.03	68.6	-231.7	29	0.00013	U1	9	0	3.2546	207.22	305.167	10.523
12.6	-0.03	16.9	-197.5	28.1	0.00013	U1	9	0	3.2546	209.92	309.143	11.002
12.9	-0.03	-25.1	-163.9	26.1	0.00013	U1	9	0	3.2546	212.62	313.119	11.997
13.1	-0.02	-58.2	-132	23.7	0.00013	U1	9	0	3.2546	214.42	315.770	13.324
13.4	-0.02	-83.4	-102.6	21.1	0.00013	U1	9	0	3.2546	217.12	319.746	15.154
13.7	-0.02	-102	-76.1	18.4	0.00011	U1	9	0	3.2546	219.82	323.722	17.594
13.9	-0.02	-114	-52.7	15.8	0.00011	U1	9	0	3.2546	221.62	326.373	20.657
14.2	-0.01	-121	-32.4	13.4	0.0001	U1	9	0	3.2546	224.32	330.349	24.653
14.4	-0.01	-123	-15.2	11.1	0.00009	U1	9	0	3.2546	226.12	333.000	30.000
14.7	-0.01	-122	-0.8	9	0.00008	U1	9	0	3.2546	228.82	336.976	37.442
15	-0.01	-118	10.7	6.9	0.00007	U1	9	0	3.2546	231.52	340.952	49.413
15.2	0	-111	19.3	4.7	0.00006	U1	9	0	3.2546	233.32	343.603	73.107
15.5	0	-103	25.4	2.9	0.00005	U2	9.7	17	2.6629	236.23	309.746	106.809
15.8	0	-94.6	29.6	1.8	0.00004	U2	9.7	17	2.6629	239.14	313.253	174.028
16	0	-85.5	32.3	1	0.00004	U2	9.7	17	2.6629	241.08	315.590	315.587
16.3	0	-76.1	33.9	0.3	0.00003	U1	9	0	3.2546	243.78	359.007	1196.651
16.5	0	-66.5	34.5	-0.4	0.00002	U1	9	0	3.2546	245.58	361.658	904.123
16.8	0	-57.1	34.1	-1.1	0.00002	U1	9	0	3.2546	248.28	365.634	332.392
17.1	0	-48	32.9	-1.6	0.00001	U1	9	0	3.2546	250.98	369.611	231.005
17.3	0	-39.6	31	-2.1	0.00001	U1	9	0	3.2546	252.78	372.261	177.267
17.6	0	-31.8	28.6	-2.4	0.00001	U1	9	0	3.2546	255.48	376.238	156.765
17.9	0	-24.9	25.8	-2.5	0	U1	9	0	3.2546	258.18	380.214	152.085
18.1	0	-18.9	22.7	-2.6	0	U1	9	0	3.2546	259.98	382.865	147.255
18.4	0	-13.7	19.5	-2.6	0	U1	9	0	3.2546	262.68	386.841	148.784
18.6	0	-9.5	16.3	-2.6	0	U1	9	0	3.2546	264.48	389.492	149.804
18.9	0	-6.1	13.3	-2.3	0	U1	9	0	3.2546	267.18	393.468	171.072
19.2	0	-3.5	10.6	-1.8	0	U1	9	0	3.2546	269.88	397.444	220.801
19.4	0	-1.7	8.3	-1.4	0	U2	9.7	17	2.6629	271.82	352.630	251.877
19.7	0	-0.2	6.5	-1.1	0	U2	9.7	17	2.6629	274.73	356.136	323.757
20	0	1	5.1	-0.9	0	U2	9.7	17	2.6629	277.64	359.643	399.598
20.2	0	1.9	3.9	-0.7	0	U2	9.7	17	2.6629	279.58	361.980	517.107
20.5	0	2.6	2.9	-0.6	0	U2	9.7	17	2.6629	282.49	365.486	609.134
20.8	0	3.1	2.1	-0.5	0	U2	9.7	17	2.6629	285.4	368.993	737.971
21	0	3.4	1.4	-0.5	0	U2	9.7	17	2.6629	287.34	371.330	742.646
21.3	0	3.5	0.8	-0.4	0	U2	9.7	17	2.6629	290.25	374.837	937.069
21.5	0	3.6	0.3	-0.3	0	U2	9.7	17	2.6629	292.19	377.174	1257.206
21.8	0	3.5	-0.1	-0.3	0	U2	9.7	17	2.6629	295.1	380.681	1268.893
22.1	0	3.4	-0.4	-0.2	0	U2	9.7	17	2.6629	298.01	384.187	1920.839
22.3	0	3.2	-0.7	-0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	299.95	386.525	3864.860
22.6	0	2.9	-0.9	-0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	302.86	390.031	3899.920
22.9	0	2.6	-1	-0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	305.77	393.537	3934.980
23.1	0	2.3	-1.1	0	0	U2	9.7	17	2.6629	307.71	395.875	9999.000
23.4	0	2	-1.1	0	0	U2	9.7	17	2.6629	310.62	399.381	9999.000
23.6	0	1.7	-1.1	0	0	U2	9.7	17	2.6629	312.56	401.719	9999.000
23.9	0	1.4	-1.1	0	0	U2	9.7	17	2.6629	315.47	405.225	9999.000
24.2	0	1.1	-1	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	318.38	408.732	4086.906
24.4	0	0.8	-1	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	320.32	411.069	4110.280
24.7	0	0.6	-0.9	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	323.23	414.575	4145.340
25	0	0.4	-0.7	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	326.14	418.082	4180.400
25.2	0	0.2	-0.6	0.1	0	U2	9.7	17	2.6629	328.08	420.419	4203.773
25.5	0	0.1	-0.4									

6.5 VERIFICHE DI DEFORMAZIONE PALO

- Cedimento verticale: $DZ = 4.89 \text{ mm}$ ($< 20 \text{ mm}$: ammissibile)
- Deformazione orizzontale massima: $DZ = 28.8 \text{ mm}$ ($< 50 \text{ mm}$: 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.: $16 \text{ } \varnothing 30, r = 60 - 8 - 1.2 - 3/2 = 49.3 \text{ cm}$
 $16 \text{ } \varnothing 30, r = 49.3 - 2 \times 3 = 43.3 \text{ cm}$
- 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:	$N_{Sd} = 4393.3 \text{ kN}$			
Momento flettente:	$M_{Sd} = 2440.0 \text{ kN.m}$	$M_{Rd} = 4171.8 \text{ kN.m}$	\rightarrow	Verificato: $M_{Rd} > M_{Sd}$
Sforzo tagliante:	$V_{Sd} = 612.9 \text{ kN}$	$V_{Rd} = 2985.0 \text{ kN}$	\rightarrow	Verificato: $V_{Rd} > V_{Sd}$

6.6.1.2 Minimo sforzo assiale

	Sollecitazioni	Resistenze		
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 1440.9 \text{ kN}$			
Momento flettente:	$M_{Sd} = 2440.0 \text{ kN.m}$	$M_{Rd} = 3743.4 \text{ kN.m}$	\rightarrow	Verificato: $M_{Rd} > M_{Sd}$
Sforzo tagliante:	$V_{Sd} = 612.9 \text{ kN}$	$V_{Rd} = 2568.7 \text{ kN}$	\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:	$N_{Sd} = 3213.6 \text{ kN}$			
Momento flettente:	$M_{Sd} = 1470.0 \text{ kN.m}$			
Tensione massima cls.:	$s_c = 10.11 \text{ N/mm}^2$	\rightarrow	Verificato: $s_c < s_1 = 15 \text{ N/mm}^2$	
Tensione massima ferri:	$s_f = 94.3 \text{ N/mm}^2$	\rightarrow	Verificato: $s_f < s_3 = 360 \text{ N/mm}^2$	

6.6.2.2 Minimo sforzo assiale

	Sollecitazioni			
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 1082.4 \text{ kN}$			
Momento flettente:	$M_{Sd} = 1470.0 \text{ kN.m}$			
Tensione massima cls.:	$s_c = 10.03 \text{ N/mm}^2$	\rightarrow	Verificato: $s_c < s_1 = 15 \text{ N/mm}^2$	
Tensione massima ferri:	$s_f = 183.9 \text{ N/mm}^2$	\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:		$N_{Sd} = 2625.3 \text{ kN}$		
Momento flettente:		$M_{Sd} = 1000.0 \text{ kN.m}$		
Tensione massima cls.:		$s_c = 6.91 \text{ N/mm}^2$		
Tensione massima ferri:		$s_f = 49.9 \text{ N/mm}^2$		
Apertura fessure:		$w = 0.138 \text{ mm}$	→	Verificato: $w < w_3 = 0.4 \text{ mm}$

6.6.3.2 Minimo sforzo assiale

		Sollecitazioni		
Sforzo assiale:		$N_{Sd} = 1286.4 \text{ kN}$		
Momento flettente:		$M_{Sd} = 1000.0 \text{ kN.m}$		
Tensione massima cls.:		$s_c = 6.86 \text{ N/mm}^2$		
Tensione massima ferri:		$s_f = 99.9 \text{ N/mm}^2$		
Apertura fessure:		$w = 0.167 \text{ mm}$	→	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:		$N_{Sd} = 1681.9 \text{ kN}$		
Momento flettente:		$M_{Sd} = 676.0 \text{ kN.m}$		
Tensione massima cls.:		$s_c = 4.66 \text{ N/mm}^2$	→	Verificato: $s_c < s_2 = 11.25 \text{ N/mm}^2$
Tensione massima ferri:		$s_f = 36.6 \text{ N/mm}^2$		
Apertura fessure:		$w = 0.142 \text{ mm}$	→	Verificato: $w < w_2 = 0.3 \text{ mm}$

6.6.4.2 Minimo sforzo assiale

		Sollecitazioni		
Sforzo assiale:		$N_{Sd} = 1657.0 \text{ kN}$		
Momento flettente:		$M_{Sd} = 676.0 \text{ kN.m}$		
Tensione massima cls.:		$s_c = 4.66 \text{ N/mm}^2$	→	Verificato: $s_c < s_2 = 11.25 \text{ N/mm}^2$
Tensione massima ferri:		$s_f = 37.4 \text{ N/mm}^2$		
Apertura fessure:		$w = 0.143 \text{ mm}$	→	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: SV ASSE 80 SPALLE

Descrizione Sezione: CAVALCAVIA ASSE 80 - PALI SPALLE
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
 Tipologia sezione: Sezione generica
 Normativa di riferimento: N.T.C.
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
 Condizioni Ambientali: Poco aggressive
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inertza
 Riferimento alla sismicità: Zona non sismica
 Posizione sezione nell'asta: In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C25/30
 Resis. compr. di calcolo 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	439330	244000	0	61290	0
2	144090	244000	0	61290	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	321360	147000	0
2	108240	147000	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
 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	262530	100000	0
2	128640	100000	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	168190	67600	0
2	165700	67600	0

RISULTATI DEL CALCOLO

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

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia

Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	439330	244000	0	439344	417175	0	1.710
2	S	144090	244000	0	144105	374343	0	1.534

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
ef min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)
ef max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xf max	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
Yf max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max	Xf max	Yf max
1	0.00350	0.00014	0.0	60.0	0.00280	0.0	49.3	-0.00365	0.0	-49.3
2	0.00350	-0.00076	0.0	60.0	0.00261	0.0	49.3	-0.00555	0.0	-49.3

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

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

N.Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000065396	-0.000423786		
2	0.000000000	0.000082768	-0.001466089		

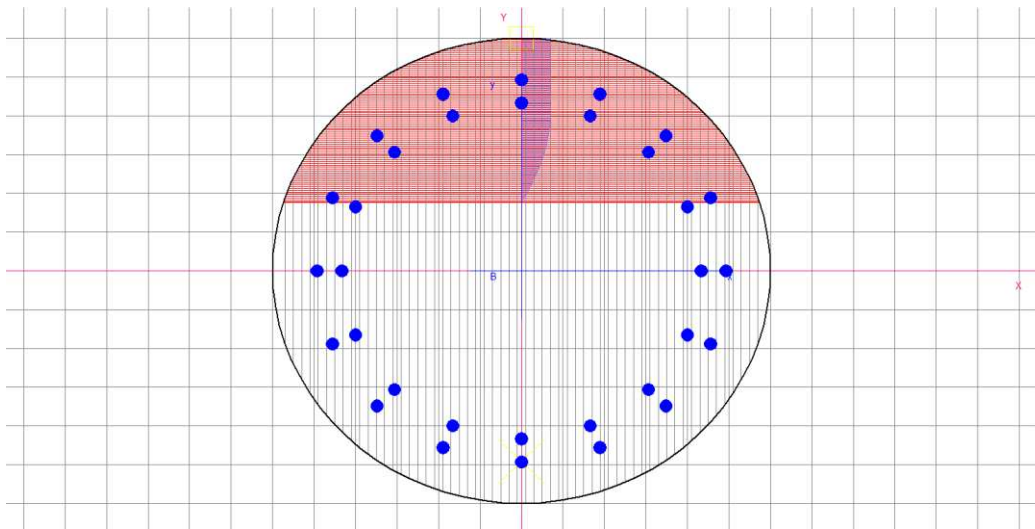
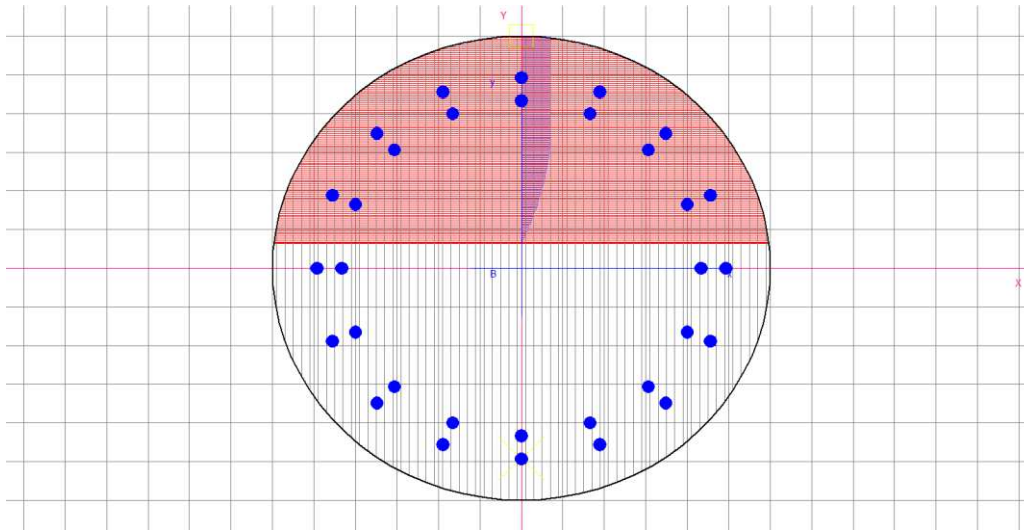
ARMATURE A TAGLIO

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

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Vsdu	Taglio agente [daN] = proiezz. di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
Vcd	Taglio resistente ultimo [daN] lato conglomerato compresso
Vwd	Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe
Dmed	Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro. E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Teta	Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm ² /m]
A_Eff	Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm ² /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)

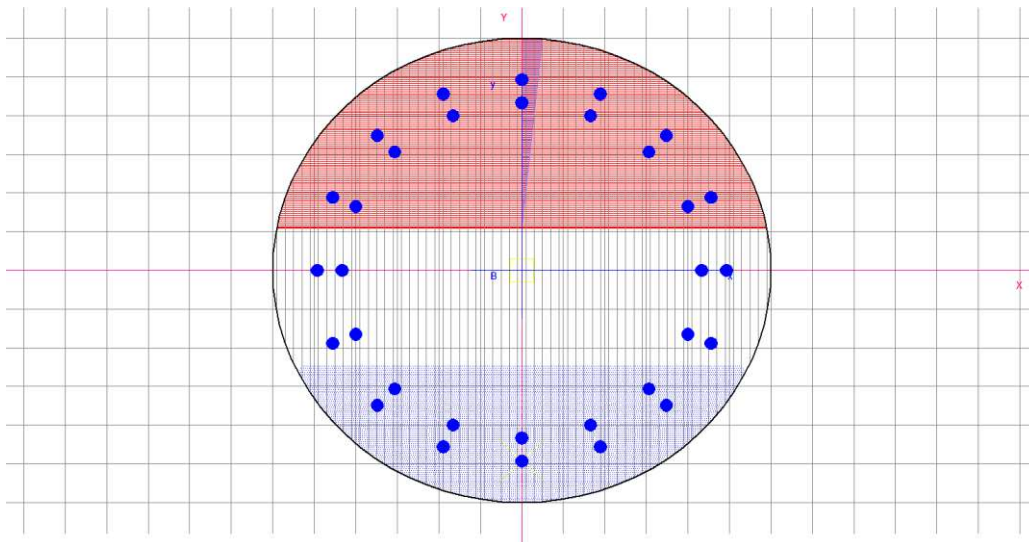
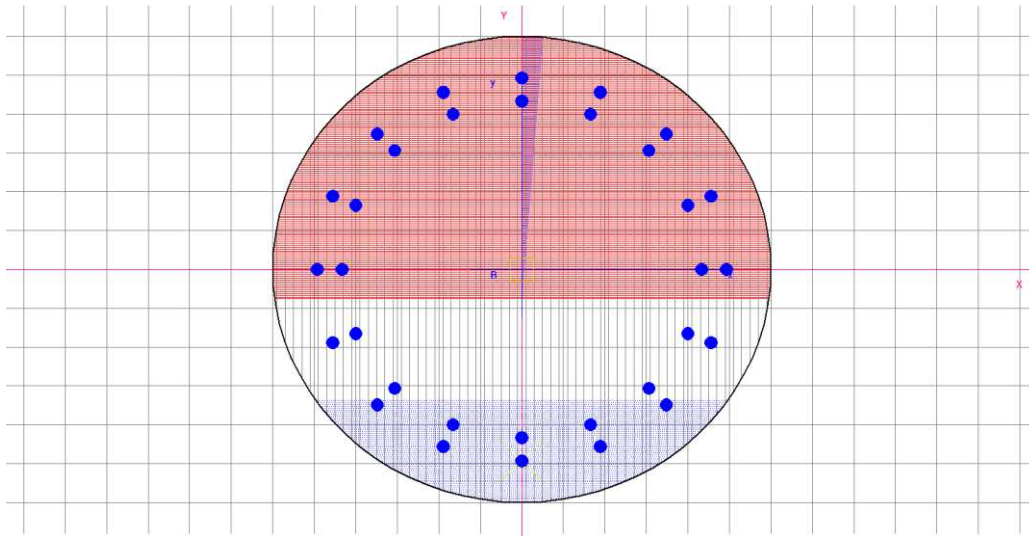
N.Comb.	Ver	Vsdu	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Teta	Acw	Ast	A_Eff
1	S	61290	298497	97422	97.8	111.1	21.80°	1.250	7.1	11.3(0.0)
2	S	61290	256871	98431	98.9	108.5	21.80°	1.090	7.0	11.3(0.0)



COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

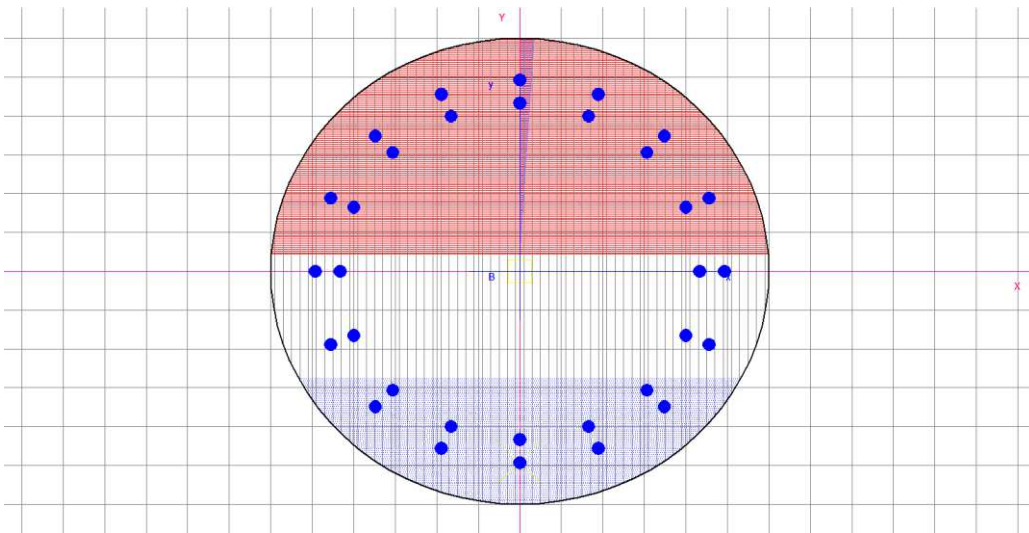
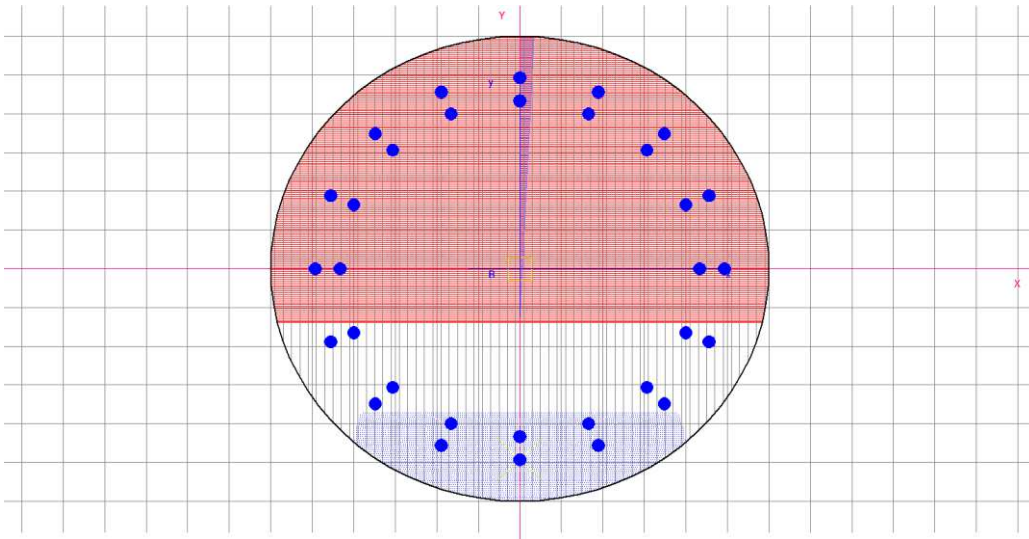
Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 Sc max Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm²]
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione 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	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	101.1	0.0	0.0	-943	0.0	-49.3	1855	255	0.150	0.122
2	S	100.3	0.0	0.0	-1839	0.0	-49.3	2796	279	0.175	0.330



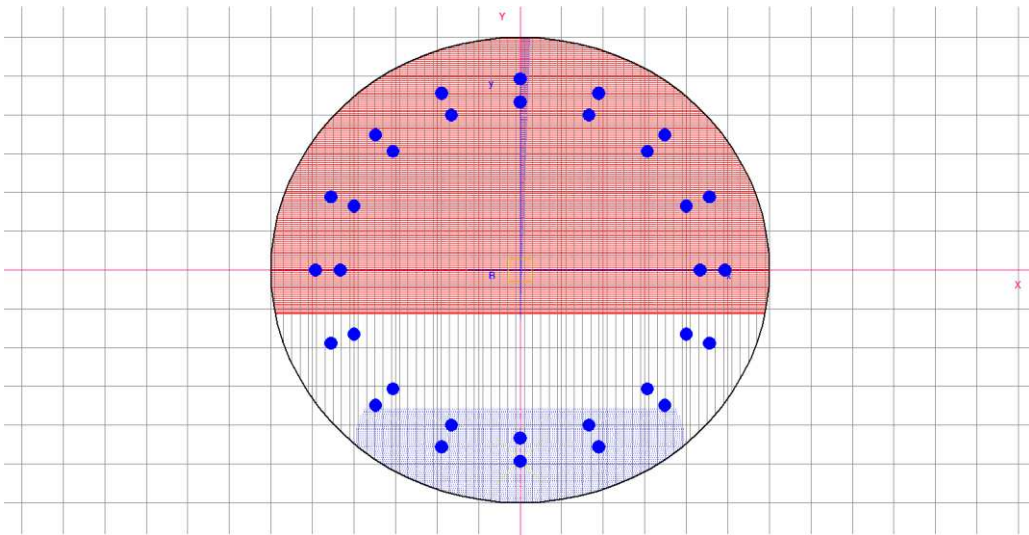
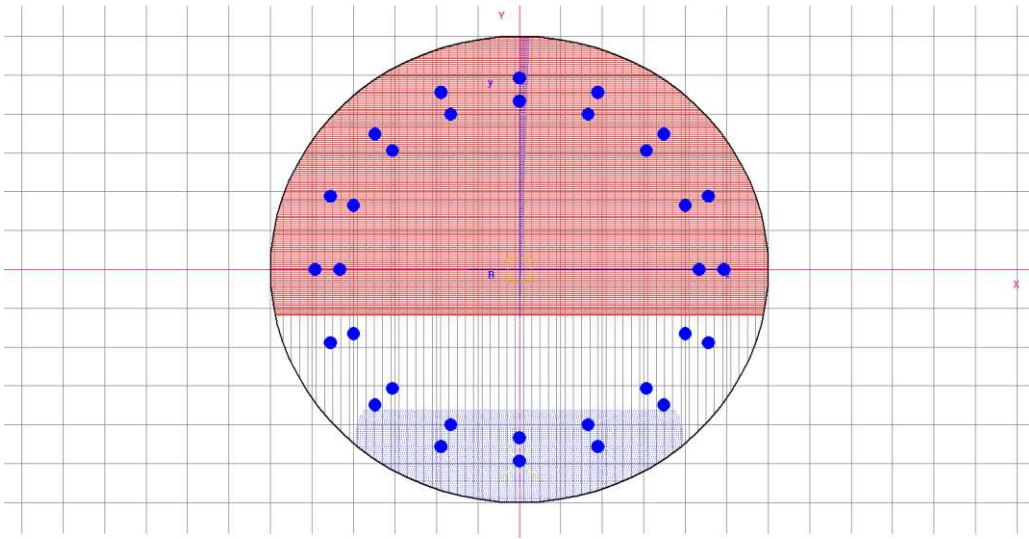
COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N.Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	69.1	0.0	0.0	-499	0.0	-49.3	1444	252	0.138	0.051
2	S	68.6	0.0	0.0	-999	0.0	-49.3	2475	266	0.167	0.156



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	46.6	0.0	0.0	-366	0.0	-49.3	1520	257	0.142	0.030
2	S	46.6	0.0	0.0	-374	0.0	-49.3	1558	259	0.143	0.031



7 PALI PILE

7.1 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.

COMBINAZIONI DI CARICO			N _{Sd,1} [kN]	N _{Sd,2} [kN]	N _{Sd,3} [kN]	N _{Sd,4} [kN]	N _{Sd,5} [kN]	N _{Sd,6} [kN]	N _{Sd,7} [kN]	N _{Sd,8} [kN]	V _{Sd} [kN]
SLE - QUASI PERMANENTI	GEN Q.P.(max)	-	1 737.81	1 737.81	1 737.81	1 737.81	1 709.24	1 709.24	1 709.24	1 709.24	3.62
	GEN Q.P.(min)	-	1 752.06	1 752.06	1 752.06	1 752.06	1 682.54	1 682.54	1 682.54	1 682.54	8.81
SLE - FREQUENTI	GEN FREQ Mobili(max)	-	1 800.35	1 889.18	1 978.00	2 066.83	1 795.22	1 884.05	1 972.88	2 061.70	1.06
	GEN FREQ Vento(max)	-	1 717.80	1 731.14	1 744.48	1 757.82	1 689.24	1 702.58	1 715.92	1 729.26	8.22
	GEN FREQ Termico(max)	-	1 736.38	1 736.38	1 736.38	1 736.38	1 711.91	1 711.91	1 711.91	1 711.91	3.10
	GEN FREQ Mobili(min)	-	1 893.61	1 804.78	1 715.95	1 627.13	1 807.47	1 718.65	1 629.82	1 540.99	10.95
	GEN FREQ Vento(min)	-	1 772.06	1 758.72	1 745.38	1 732.04	1 702.55	1 689.21	1 675.87	1 662.53	11.49
	GEN FREQ Termico(min)	-	1 753.48	1 753.48	1 753.48	1 753.48	1 679.88	1 679.88	1 679.88	1 679.88	9.33
SLE - RARE	GEN RARA Mobili(max)	-	1 790.27	2 002.14	2 214.01	2 425.89	1 798.06	2 009.93	2 221.80	2 433.67	23.72
	GEN RARA Vento(max)	-	1 698.92	1 854.44	2 009.95	2 165.47	1 697.89	1 853.41	2 008.92	2 164.44	37.75
	GEN RARA Frenam(max)	-	1 692.24	1 781.06	1 869.89	1 958.72	1 905.23	1 994.06	2 082.88	2 171.71	27.01
	GEN RARA Termico(max)	-	1 733.22	1 862.06	1 990.90	2 119.75	1 748.57	1 877.41	2 006.25	2 135.09	23.07
	GEN RARA Mobili(min)	-	2 081.93	1 870.05	1 658.18	1 446.31	1 987.01	1 775.14	1 563.27	1 351.39	26.58
	GEN RARA Vento(min)	-	1 995.04	1 839.52	1 684.00	1 528.49	1 904.81	1 749.29	1 593.77	1 438.25	39.44
	GEN RARA Frenam(min)	-	2 001.72	1 912.89	1 824.07	1 735.24	1 697.47	1 608.64	1 519.81	1 430.99	38.58
	GEN RARA Termico(min)	-	1 960.74	1 831.90	1 703.05	1 574.21	1 854.13	1 725.28	1 596.44	1 467.60	26.66
	GEN SLU Mobili(max)	-	2 455.86	2 747.89	3 039.92	3 331.95	2 468.02	2 760.05	3 052.08	3 344.12	35.35
	GEN SLU Vento(max)	-	2 326.54	2 546.49	2 766.44	2 986.40	2 326.80	2 546.75	2 766.70	2 986.65	56.50
SLU - STR	GEN SLU Frenamento(max)	-	2 332.52	2 452.44	2 572.35	2 692.27	2 621.71	2 741.62	2 861.54	2 981.46	36.67
	GEN SLU Termico(max)	-	2 379.70	2 559.64	2 739.58	2 919.52	2 399.62	2 579.55	2 759.49	2 939.43	34.44
	GEN SLU Mobili(min)	-	2 865.03	2 573.00	2 280.97	1 988.94	2 745.92	2 453.89	2 161.86	1 869.83	38.41
	GEN SLU Vento(min)	-	2 753.74	2 533.79	2 313.83	2 093.88	2 640.94	2 420.99	2 201.04	1 981.09	58.28
	GEN SLU Frenamento(min)	-	2 747.76	2 627.84	2 507.93	2 388.01	2 346.04	2 226.12	2 106.20	1 986.29	50.94
	GEN SLU Termico(min)	-	2 700.57	2 520.64	2 340.70	2 160.76	2 568.13	2 388.19	2 208.25	2 028.31	38.23
	GEN SLV Long(max)	1	791.75	857.85	923.95	990.05	1 605.05	1 671.15	1 737.25	1 803.35	187.18
GEN SLV Long(max)	2	770.46	836.56	902.66	968.76	1 583.77	1 649.87	1 715.97	1 782.07	187.18	
GEN SLV Long(max)	3	807.48	863.09	918.70	974.31	1 620.79	1 676.40	1 732.01	1 787.62	178.32	
GEN SLV Long(max)	4	786.20	841.81	897.42	953.03	1 599.51	1 655.11	1 710.72	1 766.33	178.32	
GEN SLV Trasv(max)	1	854.30	1 064.22	1 274.14	1 484.06	1 087.21	1 297.13	1 507.05	1 716.97	200.41	
GEN SLV Trasv(max)	2	833.02	1 042.94	1 252.86	1 462.78	1 065.93	1 275.85	1 485.77	1 695.69	200.41	
GEN SLV Trasv(max)	3	880.53	1 090.45	1 300.37	1 510.29	1 060.99	1 270.90	1 480.82	1 690.74	193.11	
GEN SLV Trasv(max)	4	859.25	1 069.17	1 279.09	1 489.00	1 039.70	1 249.62	1 459.54	1 669.46	193.11	
GEN SLV Vert(max)	1	1 111.06	1 179.41	1 247.76	1 316.11	1 360.92	1 429.27	1 497.62	1 565.96	87.31	
GEN SLV Vert(max)	2	1 126.80	1 184.66	1 242.51	1 300.37	1 376.66	1 434.51	1 492.37	1 550.23	65.38	
GEN SLV Vert(max)	3	1 137.29	1 205.64	1 273.99	1 342.33	1 334.69	1 403.04	1 471.39	1 539.74	63.92	
GEN SLV Vert(max)	4	1 153.03	1 210.88	1 268.74	1 326.60	1 350.43	1 408.29	1 466.14	1 524.00	27.14	
GEN SLV Long(min)	1	1 760.85	1 705.24	1 649.63	1 594.02	849.47	793.86	738.25	682.64	190.70	
GEN SLV Long(min)	2	1 739.56	1 683.95	1 628.35	1 572.74	828.19	772.58	716.97	661.36	190.70	
GEN SLV Long(min)	3	1 776.58	1 710.48	1 644.38	1 578.28	865.21	799.11	733.01	666.91	199.01	
GEN SLV Long(min)	4	1 755.30	1 689.20	1 623.10	1 557.00	843.92	777.82	711.72	645.62	199.01	
GEN SLV Trasv(min)	1	1 687.80	1 477.88	1 267.96	1 058.04	1 409.27	1 199.35	989.44	779.52	194.31	
GEN SLV Trasv(min)	2	1 666.52	1 456.60	1 246.68	1 036.76	1 387.99	1 178.07	968.15	758.23	194.31	
GEN SLV Trasv(min)	3	1 714.03	1 504.11	1 294.19	1 084.27	1 383.05	1 173.13	963.21	753.29	204.17	
GEN SLV Trasv(min)	4	1 692.74	1 482.82	1 272.91	1 062.99	1 361.76	1 151.84	941.92	732.00	204.17	
GEN SLV Vert(min)	1	1 394.02	1 336.16	1 278.31	1 220.45	1 098.55	1 040.69	982.83	924.98	37.35	
GEN SLV Vert(min)	2	1 409.76	1 341.41	1 273.06	1 204.71	1 114.28	1 045.94	977.59	909.24	68.88	
GEN SLV Vert(min)	3	1 420.25	1 362.39	1 304.53	1 246.68	1 072.32	1 014.46	956.60	898.75	77.40	
GEN SLV Vert(min)	4	1 435.98	1 367.64	1 299.29	1 230.94	1 088.06	1 019.71	951.36	883.01	96.64	

Nella tabella successiva sono riepilogati i valori massimi e minimi delle azioni agenti sui pali di fondazione (involuppati per le due pile):

COMBINAZIONE MASSIMI/MINIMI	N _{Sd,MAX} [kN]	N _{Sd,MIN} [kN]	V _{Sd} [kN]
SLE - QUASI PERMANENTE	1 752.06	1 682.54	8.81
SLE - FREQUENTE	2 066.83	1 540.99	11.49
SLE - RARA	2 433.67	1 351.39	39.44
SLU - STR	3 344.12	1 869.83	58.28
SLV	1 803.35	645.62	204.17

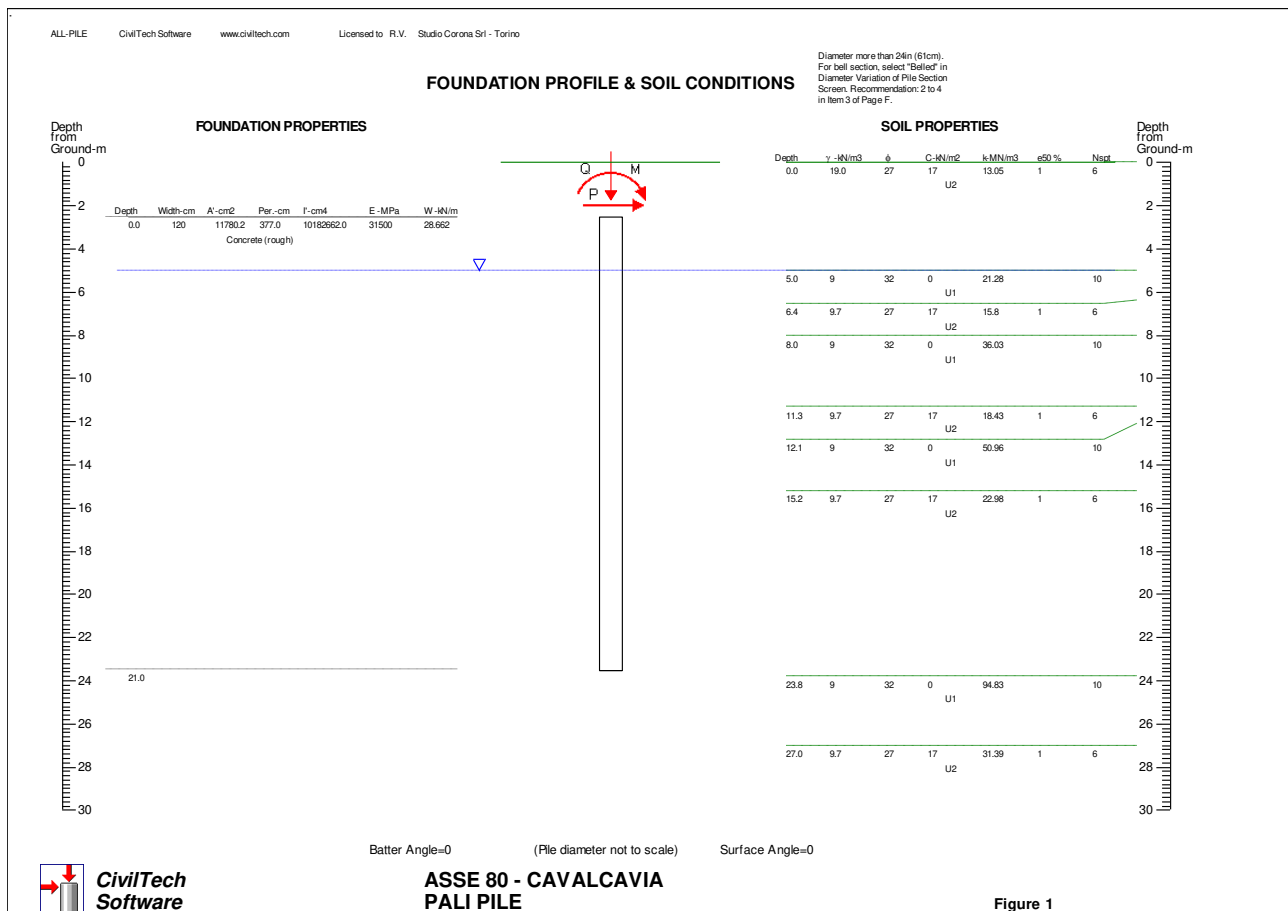
7.2 CALCOLO DELLE CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE E DEFORMAZIONE DEL PALO

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

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

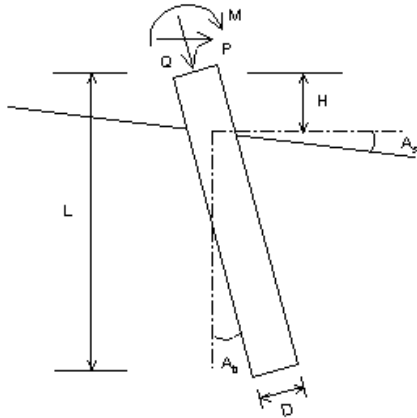
Seguono i diagrammi risultanti dalle analisi verticale e laterale del palo.

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



VERTICAL ANALYSIS

Figure 1



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= 3344.1 -kN
 Shear Load, P= 204.2 -kN
 Slope Restrain St= 0.00 -cm/-cm

Profile:

Pile Length, L= 21.0 -m
 Top Height, H= -2.5 -m
 Slope Angle, As= 0
 Batter Angle, Ab= 0
 Fixed Head Condition

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	19.0	27	17	13.05	1	6
5	9	32	0	21.28	60	10
6.4	9.7	27	17	15.8	1	6
8	9	32	0	36.03	60	10
11.3	9.7	27	17	18.43	1	6
12.1	9	32	0	50.96	60	10
15.2	9.7	27	17	22.98	1	6
23.8	9	32	0	94.83	60	10
27	9.7	27	17	31.39	1	6

Pile Data:

Depth -m	Width -cm	Area -cm2	Per. -cm	I -cm4	E -MPa	Weight -kN/m
0.0	120	11780.2	377.0	10182662.0	1500	28.662
21.0						

Vertical capacity:

Weight above Ground= 0.00 Total Weight= 396.06-kN *Soil Weight is not included
 Side Resistance (Down)= 4788.154-kN Side Resistance (Up)= 3098.277-kN
 Tip Resistance (Down)= 3372.669-kN Tip Resistance (Up)= 0.000-kN
 Total Ultimate Capacity (Down)= 8160.824-kN Total Ultimate Capacity (Up)= 3494.334-kN
 Total Allowable Capacity (Down)= 3860.455-kN Total Allowable Capacity (Up)= 1871.427-kN
 OK! Qallow > Q

Settlement Calculation:

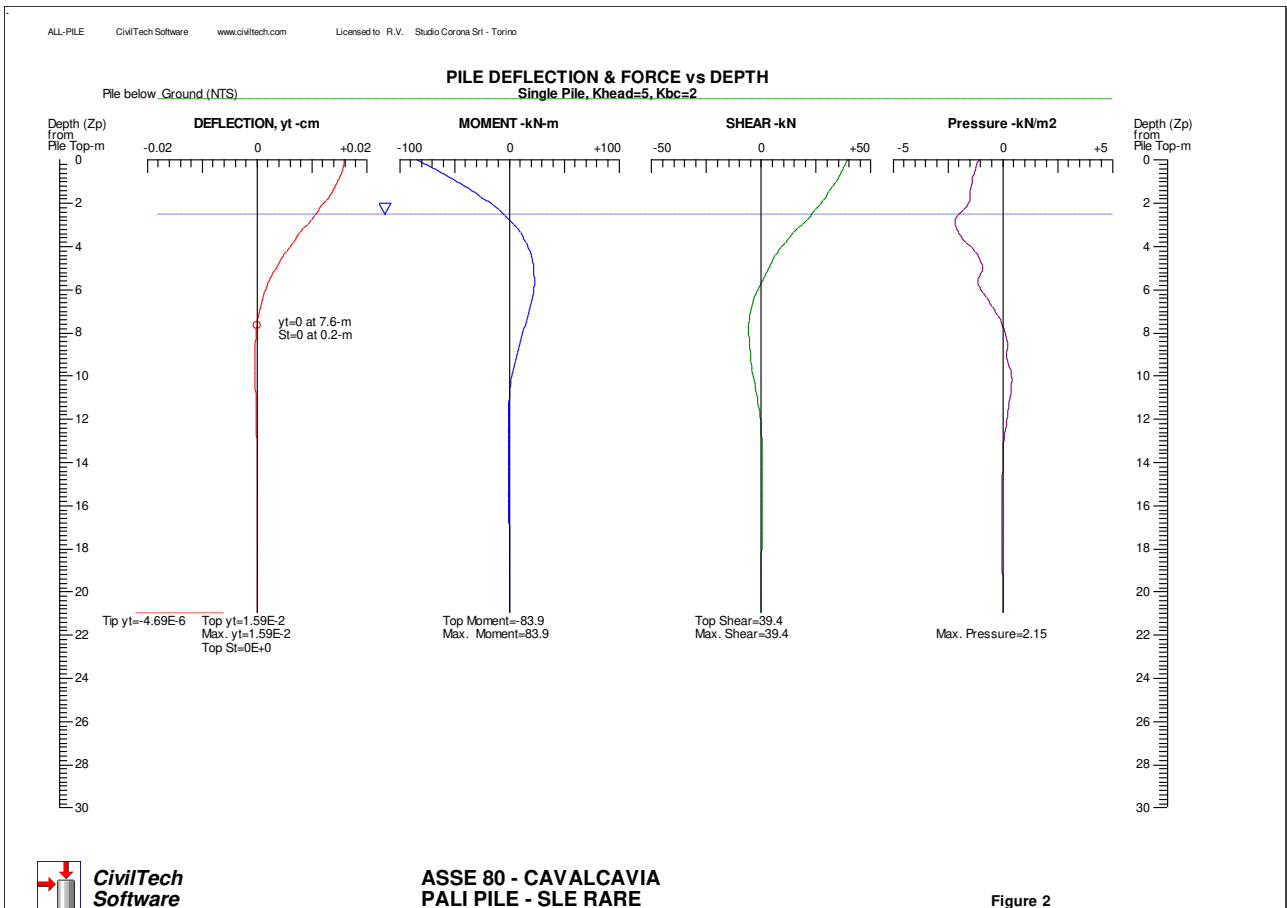
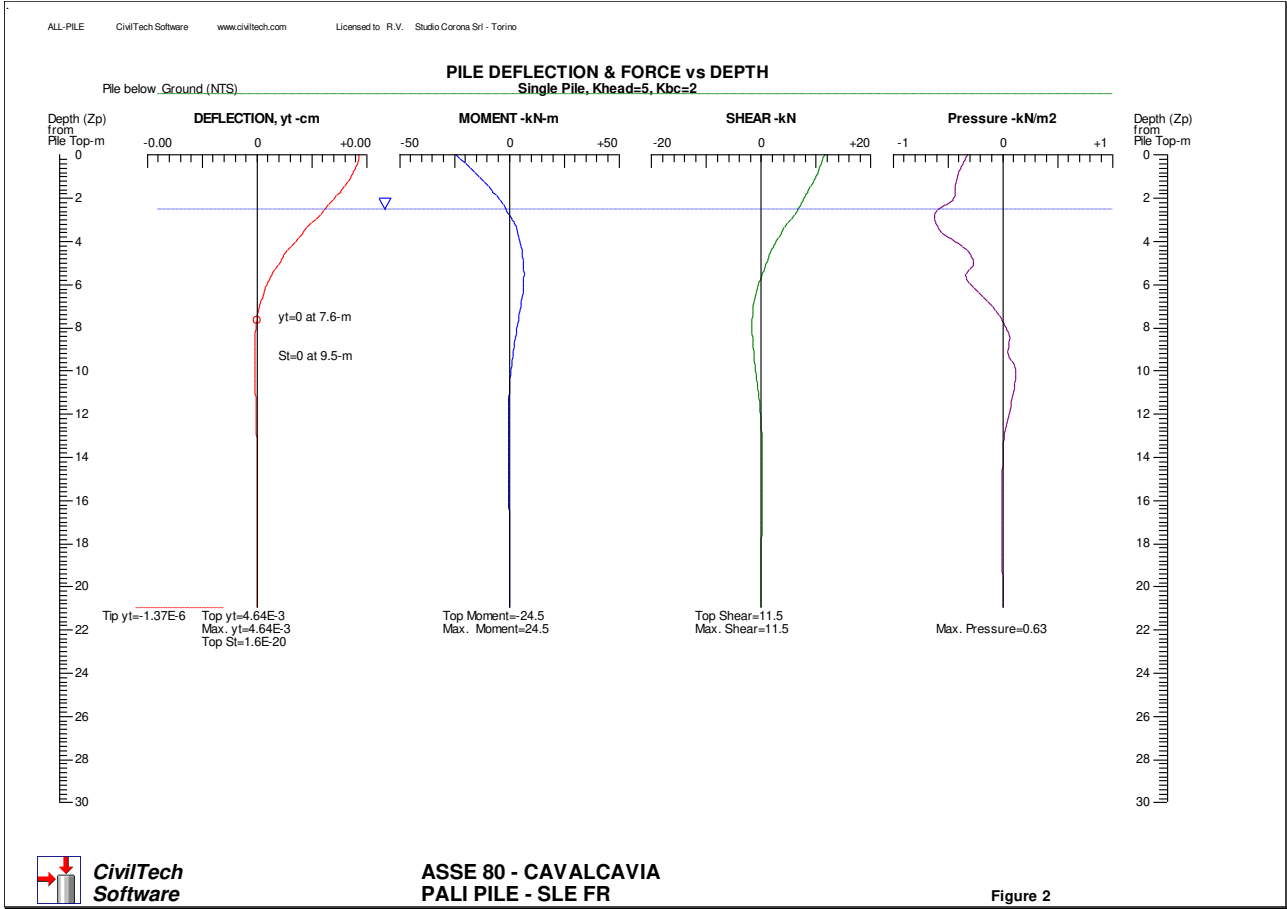
At Q= 3344.12-kN Settlement= 0.45224-cm
 At Xallow= 2.00-cm Qallow= 6063.08496-kN

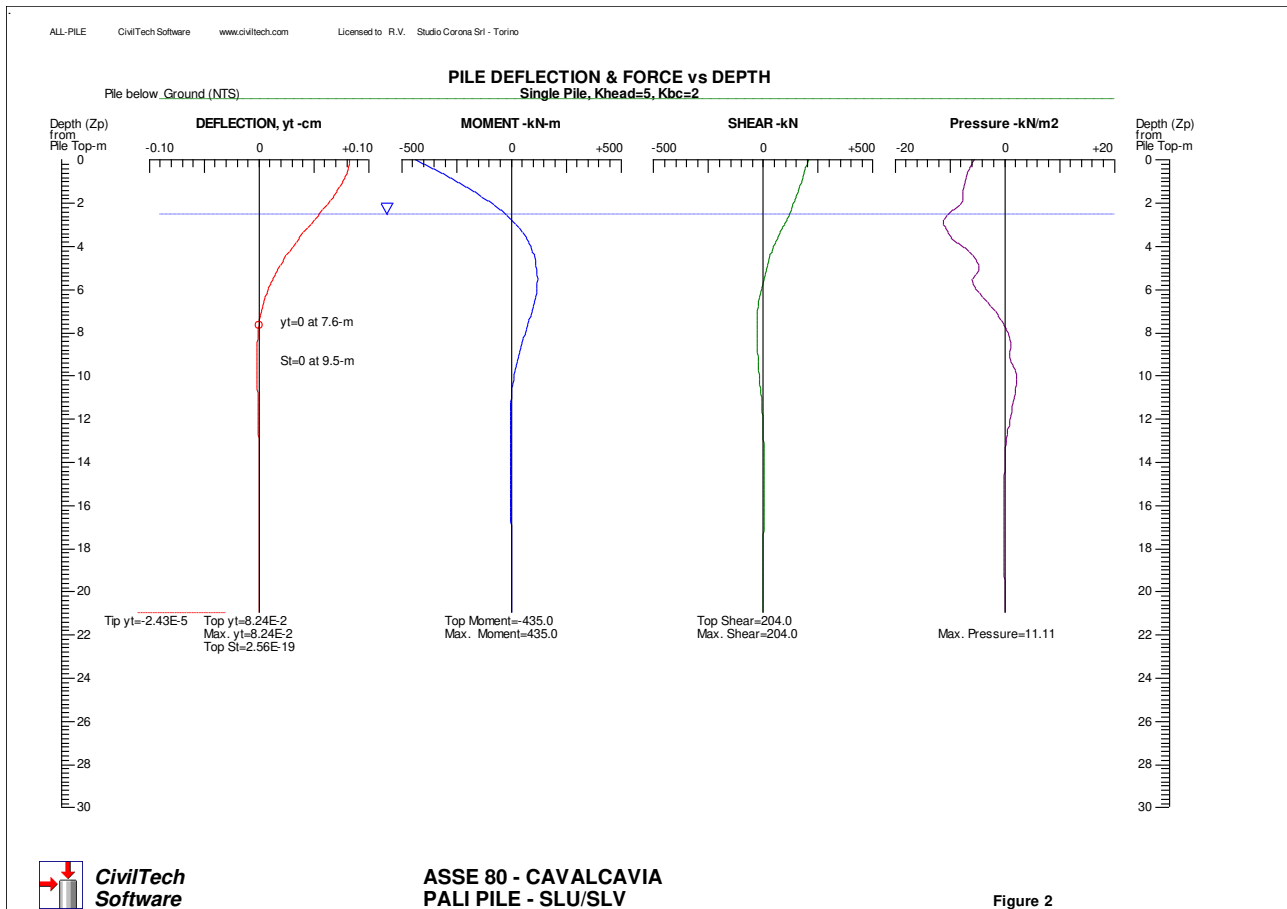
Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 99999.



**CivilTech
Software**

**ASSE 80 - CAVALCAVIA
PALI PILE**





7.3 VERIFICA DEI PALI SOGGETTI A CARICO VERTICALE

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

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

Si ottiene:

- Sforzo verticale di progetto: $N_{sd} = 3344.1 \text{ kN}$
- Resistenza di progetto: $R_{sd} = 3860.4 \text{ kN}$ ($R_{sd} > N_{sd}$)
- Cedimento verticale: $DZ = 4.52 \text{ mm}$ (< 20 mm: ammissibile)

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

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

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

La resistenza di progetto del terreno si ottiene dalla formula:

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

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

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 $Z_p = 0.00$ m e vale:

$$R_{sd} / P_d = 89.69 / 5.6 = 16.02 \quad (>1: \text{verificato})$$

7.5 VERIFICHE DI DEFORMAZIONE PALO

- Cedimento verticale: $DZ = 4.52 \text{ mm}$ ($< 20 \text{ mm}$: ammissibile)
- Deformazione orizzontale massima: $DZ = 0.9 \text{ mm}$ ($< 50 \text{ mm}$: ammissibile)

7.6 VERIFICHE STRUTTURALI PALO

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

La sezione ha le seguenti caratteristiche:

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

7.6.1 VERIFICHE DI RESISTENZA ALLO STATO LIMITE ULTIMO

7.6.1.1 Massimo sforzo assiale

	Sollecitazioni	Resistenze		
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 3344.1 \text{ kN}$			
Momento flettente:	$M_{Sd} = 435 \text{ kN.m}$	$M_{Rd} = 2041 \text{ kN.m}$	\rightarrow	Verificato: $M_{Rd} > M_{Sd}$
Sforzo tagliante:	$V_{Sd} = 204.0 \text{ kN}$	$V_{Rd} = 2849 \text{ kN}$	\rightarrow	Verificato: $V_{Rd} > V_{Sd}$

7.6.1.2 Minimo sforzo assiale

	Sollecitazioni	Resistenze		
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 645.6 \text{ kN}$			
Momento flettente:	$M_{Sd} = 435 \text{ kN.m}$	$M_{Rd} = 1219 \text{ kN.m}$	\rightarrow	Verificato: $M_{Rd} > M_{Sd}$
Sforzo tagliante:	$V_{Sd} = 204.0 \text{ kN}$	$V_{Rd} = 2230 \text{ kN}$	\rightarrow	Verificato: $V_{Rd} > V_{Sd}$

7.6.2 VERIFICHE TENSIONALI ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO – COMBINAZIONI RARE

7.6.2.1 Massimo sforzo assiale

	Sollecitazioni		
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 2433.7 \text{ kN}$		
Momento flettente:	$M_{Sd} = 83.9 \text{ kN.m}$		
Tensione massima cls.:	$s_c = 2.47 \text{ N/mm}^2$	\rightarrow	Verificato: $s_c < s_1 = 15 \text{ N/mm}^2$
Tensione massima ferri:	$s_f = -24.64 \text{ N/mm}^2$	\rightarrow	Verificato: $s_f < s_3 = 360 \text{ N/mm}^2$

Nota: sezione interamente reagente

7.6.2.2 Minimo sforzo assiale

	Sollecitazioni		
Sforzo assiale:	$N_{Sd} = 1351.4 \text{ kN}$		
Momento flettente:	$M_{Sd} = 83.9 \text{ kN.m}$		
Tensione massima cls.:	$s_c = 1.57 \text{ N/mm}^2$	\rightarrow	Verificato: $s_c < s_1 = 15 \text{ N/mm}^2$
Tensione massima ferri:	$s_f = -11.18 \text{ N/mm}^2$	\rightarrow	Verificato: $s_f < s_3 = 360 \text{ N/mm}^2$

Nota: sezione interamente reagente

7.6.3 VERIFICHE DI FESSURAZIONE

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

7.6.4 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: SV ASSE 80 PILE

Descrizione Sezione: CAVALCAVIA ASSE 80 - PALI PILE
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
 Tipologia sezione: Sezione generica
 Normativa di riferimento: N.T.C.
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
 Condizioni Ambientali: Poco aggressive
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia
 Riferimento alla sismicità: Zona non sismica
 Posizione sezione nell'asta: In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C25/30
 Resis. compr. di calcolo f_{cd} : 141.60 daN/cm²
 Resis. compr. ridotta f_{cd}' : 70.80 daN/cm²
 Def.unit. max resistenza ec_2 : 0.0020
 Def.unit. ultima ecu : 0.0035
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo
 Modulo Elastico Normale E_c : 314750 daN/cm²
 Coeff. di Poisson : 0.20
 Resis. media a trazione f_{ctm} : 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

ACCIAIO - Tipo: B450C
 Resist. caratt. snervam. f_{yk} : 4500.0 daN/cm²
 Resist. caratt. rottura f_{tk} : 4500.0 daN/cm²
 Resist. snerv. di calcolo f_{yd} : 3913.0 daN/cm²
 Resist. ultima di calcolo f_{td} : 3913.0 daN/cm²
 Deform. ultima di calcolo E_{pu} : 0.068
 Modulo Elastico E_f : 2100000 daN/cm²
 Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito
 Coeff. Aderenza ist. $\beta_1*\beta_2$: 1.00 daN/cm²
 Coeff. Aderenza diff. $\beta_1*\beta_2$: 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	49.60	16	20

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	334410	43500	0	20400	0
2	64560	43500	0	20400	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	243370	8390	0
2	135140	8390	0

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 9.4 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 17.4 cm
Copriferro netto minimo staffe: 8.2 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	S	334410	43500	0	334408	204090	0	4.692
2	S	64560	43500	0	64570	121895	0	2.802

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

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

Yf max Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max	Xf max	Yf max
1	0.00350	-0.00073	0.0	60.0	0.00264	0.0	49.6	-0.00552	0.0	-49.6
2	0.00350	-0.00398	0.0	60.0	0.00199	0.0	49.6	-0.01245	0.0	-49.6

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

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

N.Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000082341	-0.001440447		
2	0.000000000	0.000145540	-0.005232395		

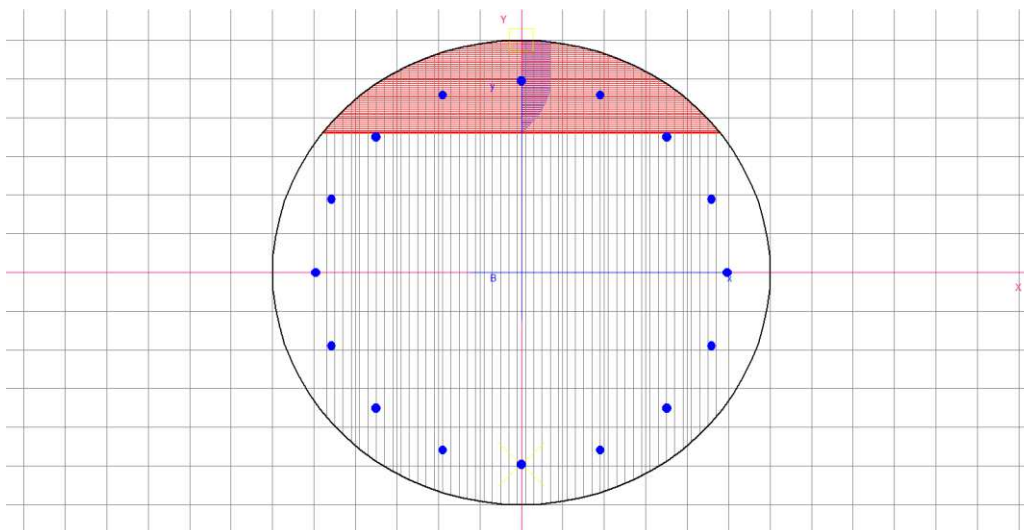
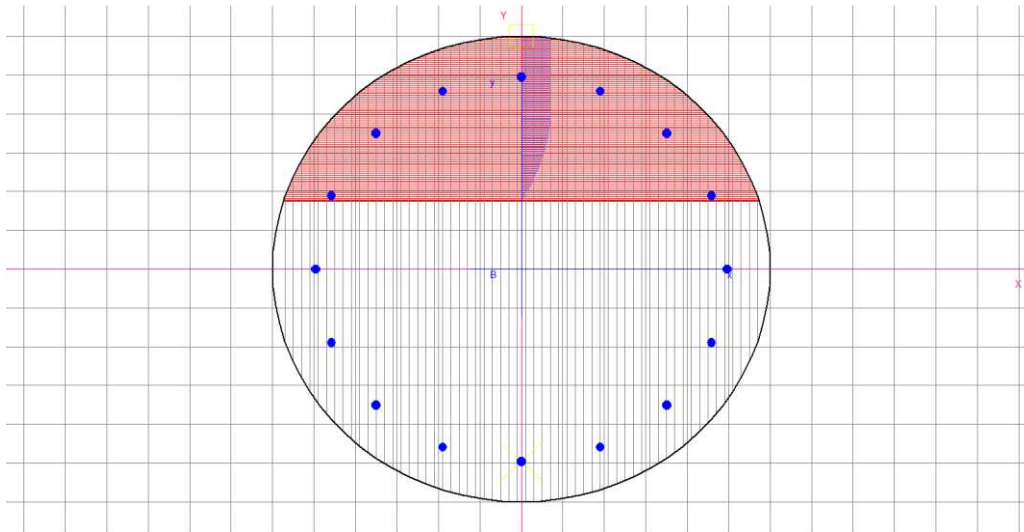
ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 12 mm
 Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 24.0 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	A_Eff
1	S	20400	284878	98431	98.9	108.5	21.80°	1.209	2.3	11.3(0.0)
2	S	20400	222984	102887	103.3	94.4	21.80°	1.040	2.2	11.3(0.0)



COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 Sc max Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/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	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	24.7	0.0	0.0	246	0.0	-49.6	0	0		0.000
2	S	15.7	0.0	0.0	112	0.0	-49.6	0	0		0.000

