

**S.S 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE"**  
**TRATTO SPOLETO - ACQUASPARTA**  
**1° stralcio: Madonna di Baiano-Firenzuola**

**PROGETTO ESECUTIVO**

COD. **PG143**

**PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA**

**IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:**

Dott. Ing. Nando Granieri  
 Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

**IL PROGETTISTA:**

Dott. Ing. David Carlacchini  
 Ordine degli Ingegneri della Prov. di Terni n° Terni n° A1245

**IL GEOLOGO:**

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini  
 Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108

**IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:**

Dott. Ing. Filippo Pambianco  
 Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

**Il Responsabile di Progetto**

Arch. Pianificatore Marco Colazza

**Il Responsabile del Procedimento**

Dott. Ing.  
 Alessandro Micheli

PROTOCOLLO

DATA

**IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:**

**MANDATARIA:**

**MANDANTI:**



Dott.Ing. N.Granieri  
 Dott.Arch. N.Kamenicky  
 Dott.Ing. V.Truffini  
 Dott.Arch. A.Bracchini  
 Dott.Ing. F.Durastanti  
 Dott.Ing. E.Bartolucci  
 Dott.Geol. G.Cerquiglini  
 Geom. S.Scopetta  
 Dott.Ing. L.Sbrenna  
 Dott.Ing. E.Sellari  
 Dott.Ing. L.Dinelli  
 Dott.Ing. L.Nani  
 Dott.Ing. F.Pambianco  
 Dott. Agr. F.Berti Nulli

Dott. Ing. D.Carlacchini  
 Dott. Ing. S.Sacconi  
 Dott. Ing. C.Consorti  
 Dott. Ing. E.Loffredo  
 Dott. Ing. C.Chierichini

Dott. Ing. V.Rotisciani  
 Dott. Ing. F.Macchioni  
 Geom. C.Vischini  
 Dott. Ing. V.Piunno  
 Dott. Ing. G.Pulli  
 Geom. C.Sugaroni



**08.VIADOTTI E PONTI**  
**08.01 VIADOTTO MARROGGIA**

**Relazione di calcolo Pali di fondazione**

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	ANNO	<i>T00VI01STRRE05B</i>		
DTPG143	E	23	CODICE ELAB. T00VI01STRRE05	B	-
B	Rev. A seguito istr. ANAS		Set 2023	C.Consorti	D.Carlacchini
A	Emissione		Ago 2023	C.Consorti	D.Carlacchini
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO
					APPROVATO

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>RIFERIMENTI TECNICI E NORMATIVI .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....</b>	<b>5</b>
3.1	SPECIFICHE DEI MATERIALI UTILIZZATI .....	5
<b>4</b>	<b>MODELLO GEOTECNICO.....</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>CRITERI DI CALCOLO FONDAZIONI PROFONDE.....</b>	<b>10</b>
5.1	VERIFICHE GEOTECNICHE DI STATO LIMITE ULTIMO (SLU/SLV).....	11
5.1.1	Resistenza nei confronti dei carichi assiali e verifica.....	13
5.1.2	Resistenza nei confronti dei carichi trasversali e verifica.....	15
5.2	VERIFICHE GEOTECNICHE DI STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLE) - CEDIMENTI VERTICALI).....	16
5.3	VALUTAZIONE DELLE SOLLECITAZIONI NEI PALI .....	17
5.4	VERIFICHE STRUTTURALI DEGLI ELEMENTI IN C.A. ....	18
5.4.1	Verifiche per gli stati ultimi a presso-flessione .....	18
5.4.2	Verifiche per gli stati ultimi a presso-flessione .....	18
5.4.3	Verifiche per gli stati ultimi di esercizio .....	19
<b>6</b>	<b>SOLLECITAZIONI IN FONDAZIONE.....</b>	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>RISULTATI DELLE VERIFICHE DELLE FONDAZIONI PROFONDE SU PALI.....</b>	<b>23</b>
7.1	SPALLA SP1 .....	23
7.1.1	Geometria dell'opera e modello geotecnico.....	23
7.1.2	Azioni di calcolo.....	23
7.1.3	Verifiche geotecniche SLU/SLV nei confronti dei carichi assiali .....	24
7.1.4	Verifiche geotecniche SLU/SLV nei confronti dei carichi trasversali .....	24
7.1.5	Verifiche geotecniche SLE – valutazione cedimenti.....	25
7.1.6	Verifiche strutturali dei pali SLU/SLV.....	26
7.1.7	Verifiche strutturali dei pali SLE / fessurazione .....	29
7.2	PILE 1 - 2 - 3 - 4.....	34
7.2.1	Geometria dell'opera e modello geotecnico.....	34
7.2.2	Azioni di calcolo.....	34
7.2.3	Verifiche geotecniche SLU/SLV nei confronti dei carichi assiali .....	35
7.2.4	Verifiche geotecniche SLU/SLV nei confronti dei carichi trasversali .....	35
7.2.5	Verifiche geotecniche SLE – valutazione cedimenti.....	36
7.2.6	Verifiche strutturali dei pali SLU/SLV.....	37
7.2.7	Verifiche strutturali dei pali SLE / fessurazione .....	40
7.3	PILE 5 - 6 - 7 .....	45
7.3.1	Geometria dell'opera e modello geotecnico.....	45
7.3.2	Azioni di calcolo.....	45
7.3.3	Verifiche geotecniche SLU/SLV nei confronti dei carichi assiali .....	46
7.3.4	Verifiche geotecniche SLU/SLV nei confronti dei carichi trasversali .....	46
7.3.5	Verifiche geotecniche SLE – valutazione cedimenti.....	47
7.3.6	Verifiche strutturali dei pali SLU/SLV.....	48
7.3.7	Verifiche strutturali dei pali SLE / fessurazione .....	51
7.4	PILE 8 - 9 - 10 - 11 - 12 - 13 - 14 - 15 - 16.....	56
7.4.1	Geometria dell'opera e modello geotecnico.....	56
7.4.2	Azioni di calcolo.....	56
7.4.3	Verifiche geotecniche SLU/SLV nei confronti dei carichi assiali .....	57

7.4.4	Verifiche geotecniche SLU/SLV nei confronti dei carichi trasversali .....	57
7.4.5	Verifiche geotecniche SLE – valutazione cedimenti.....	59
7.4.6	Verifiche strutturali dei pali SLU/SLV.....	60
7.4.7	Verifiche strutturali dei pali SLE / fessurazione .....	63
<b>7.5</b>	<b>PILE 17 - 18 - 19 - 20.....</b>	<b>68</b>
7.5.1	Geometria dell'opera e modello geotecnico.....	68
7.5.2	Azioni di calcolo.....	68
7.5.3	Verifiche geotecniche SLU/SLV nei confronti dei carichi assiali .....	69
7.5.4	Verifiche geotecniche SLU/SLV nei confronti dei carichi trasversali .....	69
7.5.5	Verifiche geotecniche SLE – valutazione cedimenti.....	70
7.5.6	Verifiche strutturali dei pali SLU/SLV.....	71
7.5.7	Verifiche strutturali dei pali SLE / fessurazione .....	74
<b>8</b>	<b>ALLEGATO A - CARICO LIMITE NEI CONFRONTI DEI CARICHI ASSIALI .....</b>	<b>79</b>
8.1	SPALLA 1 .....	79
8.2	PILE 1 ÷ 4 .....	81
8.3	PILE 5 ÷ 7 .....	82
8.4	PILE 8 ÷ 16 .....	84
8.5	PILE 17 ÷ 20 .....	85
<b>9</b>	<b>ALLEGATO B - CARICO LIMITE NEI CONFRONTI DEI CARICHI TRASVERSALI .....</b>	<b>86</b>
9.1	SPALLA 1 .....	86
9.2	PILE 1 ÷ 4 .....	87
9.3	PILE 5 ÷ 7 .....	88
9.4	PILE 8 ÷ 16 .....	89
9.5	PILE 17 ÷ 20 .....	90
<b>10</b>	<b>ALLEGATO C – COMPORTAMENTO DEI PALI SOTTOPOSTI A CARICHI ASSIALI. 91</b>	
10.1	SPALLA 1 .....	91
10.2	PILE 1 ÷ 4 .....	92
10.3	PILE 5 E 6 .....	93
10.1	PILA 7 .....	94
10.2	PILE 8 ÷ 16 .....	95
10.3	PILE 17 ÷ 20 .....	97

## 1 PREMESSA

La presente relazione di calcolo riguarda il dimensionamento e la verifica dei pali di fondazione delle pile e della spalla 1 del Viadotto V01 – “Marroggia 1”, da realizzarsi nell’ambito dell’iniziativa afferente alla realizzazione della “Strada delle Tre Valli Umbre”, nel tratto Eggi – Acquasparta.

Il viadotto, nel suo complesso, presenta una lunghezza totale, valutata tra gli assi delle spalle d’estremità (SP1, SP2), pari a 933.5 metri, ed è composta da tre “tratti” di lunghezza rispettivamente pari a 310.85, 311.8 m e 310.85 m (misure valutate tra gli assi sostegni), separati giunti di dilatazione posti in corrispondenza di pile-spalle intermedie.

L’andamento planimetrico del tracciato, nella zona interessata dal viadotto, è caratterizzato da una leggera curva, di raggio costante pari a 1504 m, seguito da un tratto pressochè rettilineo.

## 2 RIFERIMENTI TECNICI E NORMATIVI

- D.M. 17/01/2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni” (pubblicato sulla G.U. n. 42 – Suppl. Ordinario n. 8 – del 20 febbraio 2018).
- Decreto Ministero Lavori Pubblici 11/03/1988 – “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.”
- Circolare Ministero Lavori Pubblici n. 30483 del 24/09/1988 – D.M. 11.3.88. “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.”

### 3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Le caratteristiche dei materiali sono ricavate con riferimento alle indicazioni contenute nei capitoli 4 e 11 del D.M. 17 gennaio 2018. Nelle tabelle che seguono sono indicate le principali caratteristiche e i riferimenti dei paragrafi del D.M. citato.

#### 3.1 Specifiche dei materiali utilizzati

Nelle tabelle a seguire vengono sintetizzate le principali caratteristiche dei materiali utilizzati.

Tabella 1 \_ Classi materiali utilizzati.

ELEMENTO	CALCESTRUZZO
Pali di fondazione	C32/40
ELEMENTO	ACCIAIO PER BARRE
Pali di fondazione	B450C

Tabella 2 \_ Specifiche tecniche materiali.

Calcestruzzo per paratia di pali	
Classe di resistenza	C32/40
Valore caratteristico resistenza cubica a 28 giorni	$R_{ck} = 40$ MPa
Valore caratteristico resistenza cilindrica a 28 giorni	$f_{ck} = 32$ MPa
Resistenza a compressione cilindrica media	$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 40$ MPa
Resistenza a trazione assiale	$f_{ctm} = 0.30 * f_{ck}^{2/3} = 3.02$ MPa
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = 0.85 f_{ck}/1.5 = 18.13$ MPa
Modulo di Young a 28 giorni	$E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3} = 33346$ MPa
Tensione massima di compressione in esercizio	$\sigma_{c,max} = 0.60f_{ck} = 19.2$ MPa (comb. Caratteristica) $\sigma_{c,max} = 0.45f_{ck} = 14.4$ MPa (comb. Quasi perm.)
Verifiche a fessurazione	$\sigma_t = f_{ctm} / 1.2 = 2.52$ MPa
Classe di esposizione	XA2
Condizioni ambientali	Aggressive
Copriferro minimo $c_{min}$	85 mm

<b>Acciaio per barre d'armatura</b>	
Tipo	B450C
Tensione caratteristica di rottura	$f_{uk} = 540 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$
Resistenza di progetto	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 391,3 \text{ MPa}$
Modulo di Young	$E = 210000 \text{ MPa}$
Tensione massima di compressione in esercizio	$\sigma_{s,max} = 0,80f_{yk} = 360 \text{ MPa}$

#### 4 MODELLO GEOTECNICO

Per quello che concerne la caratterizzazione geotecnica dell'area, si fa riferimento a quanto riportato all'interno della relazione geotecnica di caratterizzazione (T00GE05GETRE01) ed ai profili geotecnici generali e di dettaglio (T00GE05GETFG01/FG02 e T00VI02STRFG01) ai quali si rimanda per maggiori dettagli.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori dei parametri geotecnici definiti per le unità geotecniche interessate dalle fondazioni.

Tabella 3 \_ Valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi.

Unità geotecnica	$\gamma$	$c'$	$\phi'$	$c_u$	$E'$
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[kPa]	[MPa]
<b>All</b>	18 ÷ 19	0	38 ÷ 42	-	25 ÷ 50
<b>Bi1</b>	19 ÷ 21	5 ÷ 25	25 ÷ 35	100 ÷ 300	100 ÷ 300

Unità geotecnica	$\gamma$	$\sigma_c$	GSI	mi	$E'$
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[-]	[kPa]	[MPa]
<b>Bi2</b>	22 ÷ 24	2 - 12	28 - 50	12	300 ÷ 600

La posizione della falda è ubicata ad una profondità dalla testa dei pali variabile tra 0 m e 2.5 m.

Si evidenzia che nel calcolo delle resistenze dei pali, la stratigrafia lungo il fusto e la quota di partenza per il calcolo delle pressioni litostatiche sono state assunte coincidenti con la quota di intradosso dei plinti di fondazione.

Ai fini del calcolo della capacità portante dei pali mediante le formule statiche (vedi cap.5), la caratterizzazione dell'unità litoide Bi2 è stata effettuata anche con riferimento al criterio di rottura di Mohr-Coulomb, linearizzando il criterio di resistenza di Hoek-Brown.

Nel dettaglio è possibile ottenere i valori di  $c'$  e  $\phi'$  attraverso le seguenti relazioni (cfr. E. Hoek, C. Carranza-Torres & B. Corkum, 2002):

$$\phi' = \sin^{-1} \left[ \frac{6am_b(s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a)+6am_b(s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1}} \right]$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci} [(1+2a)s + (1-a)m_b \sigma'_{3n}] (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + [6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}] / [(1+a)(2+a)]}}$$

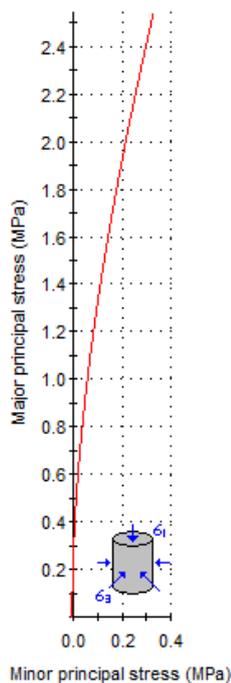
in cui  $\sigma'_{3n} = \sigma'_{3max} / \sigma_{ci}$ .

Nella tabella a seguire si riportano i valori di input utilizzati per la linearizzazione precedentemente descritta; per la valutazione della  $\sigma'_{3max}$  è stata considerata una profondità di 15 m, assumendo  $k_0 = 1$ ; per il fattore di disturbo è stato assunto  $D = 0$  (in ragione della modalità di scavo dei pali).

Tabella 4 \_ Parametri di input per il calcolo del valore di coesione e resistenza al taglio equivalenti ( $c'$  e  $\phi'$ )

Unità geotecnica	$\sigma_c$	GSI	mi	D	$\sigma'_{3max}$
	[kPa]	[-]	[kPa]	[-]	[MPa]
<b>Bi2</b>	11	40	12	0	0.33

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 11 MPa  
GSI = 40 mi = 12 Disturbance factor = 0

Hoek-Brown Criterion

mb = 1.408 s = 0.0013 a = 0.511

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.124 MPa friction angle = 46.44 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.010 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.364 MPa  
global strength = 1.682 MPa  
modulus of deformation = 1865.08 MPa

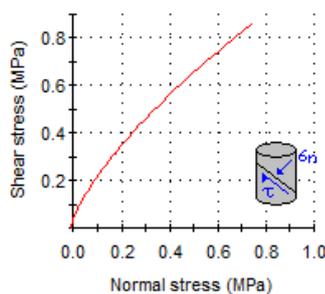


Figura 1 \_ Linearizzazione criterio di Hoek e Brown.

Nella tabella seguente si riportano quindi i valori dei parametri di resistenza definiti nel criterio di Mohr-Coulomb ( $c'$  e  $\phi'$ ); rispetto ai valori ottenuti dalla linearizzazione (cfr. *Figura 1*) sono stati considerati valori più bassi.

Tabella 5\_ Valore di coesione e resistenza al taglio equivalenti.

Unità geotecnica	$\gamma$	$c'$	$\phi'$
	(kN/m <sup>3</sup> )	[kPa]	[°]
<b>Bi2</b>	22	100	40

In corrispondenza della zona di faglia, sono stati adottati per l'unità in oggetto (Bi2\*) valori dei parametri di resistenza al taglio ulteriormente ridotti:

Tabella 6\_ Valore di coesione e resistenza al taglio equivalenti.

Unità geotecnica	$\gamma$	$c'$	$\phi'$
	(kN/m <sup>3</sup> )	[kPa]	[°]
<b>Bi2*</b>	22	75	35

## 5 CRITERI DI CALCOLO FONDAZIONI PROFONDE

Nel presente capitolo vengono illustrati i criteri di calcolo adottati per la valutazione del comportamento delle fondazioni su pali trivellati di grande diametro.

La scelta tipologica ed il dimensionamento delle fondazioni delle opere d'arte sono stati effettuati a valle della caratterizzazione geologica e geotecnica dei terreni in corrispondenza dei quali è prevista l'opera.

In particolare, sia per le spalle che per le pile sono state previste fondazioni profonde costituite da pali trivellati di diametro D e lunghezza L, come di seguito sintetizzato. Durante la realizzazione dei pali, si prevede l'utilizzo di fanghi polimerici biodegradabili per sostenere il foro.

Tabella 7 \_ Sintesi geometria palificate (numero, diametro e lunghezze).

V01	Numero di pali	Diametro pali	Lunghezza pali
	[-]	[m]	[m]
<b>SPALLA SP1 (o SPA)</b>	16	1.2	20
PILE da 1 a 4	6	1.2	25
PILE 5 e 6	6	1.2	30
PILA 7	9	1.2	30
PILE da 8 a 13	6	1.2	22
PILA 14	9	1.2	22
PILE 15 e 16	6	1.2	22
PILE da 17 a 20	6	1.2	30
<b>SPALLA SP2 (o SPB)</b>	125	1.5	30

La descrizione di dettaglio delle geometrie delle opere di fondazione è riportata nelle relazioni strutturali e negli elaborati grafici specialistici.

Di seguito si illustrano i criteri di calcolo adottati e i risultati delle verifiche geotecniche e strutturali delle fondazioni, in termini di SLU e di SLE.

## 5.1 Verifiche geotecniche di Stato Limite Ultimo (SLU/SLV)

Con riferimento alle prescrizioni delle NTC2018 (NTC18), le verifiche di stato limite ultimo (SLU/SLV) sono state condotte nel rispetto della seguente condizione:

$$F_d < R_d$$

dove  $F_d$  indica il valore di progetto delle azioni, o degli effetti delle azioni, e  $R_d$  indica il valore di progetto delle resistenze, utilizzando l'approccio **A1 + M1 + R3**.

Le azioni di progetto,  $F_d$ , o altresì gli effetti delle azioni, sono valutabili a partire dalle azioni caratteristiche adottando per i coefficienti parziali  $\gamma_F$  i valori specificati nella tabella seguente (Tabella 6.2.I delle NTC18):

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

Figura 2 \_ Coefficienti parziali per le azioni o gli effetti delle azioni (tab. 6.2.I delle NTC18).

Nello specifico, i valori di progetto delle azioni ( $F_d$ ) sono stati ricavati direttamente dal calcolo strutturale con riferimento alle combinazioni statiche SLU-STR e sismiche SLV.

I valori di progetto delle resistenze del palo nei confronti dei carichi assiali ( $R_d$ ) e trasversali ( $R_{T,d}$ ) sono ottenuti dai valori di calcolo delle resistenze limite medie (lungo il fusto,  $R_{lat,cal}$ , ed alla base,  $R_{b,cal}$ , nei confronti dei carichi assiali;  $R_{T,cal}$ , nei confronti dei carichi trasversali) applicando il fattore di correlazione  $\xi_3$ , funzione del numero di verticali indagate (cfr. Figura 5 : tab. 6.4.VI del NTC08), così da ottenere i valori caratteristici ( $R_{lat,k}$  e  $R_{b,k}$ , nei confronti dei carichi assiali;  $R_{T,k}$ , nei confronti dei carichi trasversali) ed i coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_R$  (cfr. Figura 3 e Figura 4: Tab. 6.4.II e Tab. 6.4.VI delle NTC2018).

Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	$\gamma_R$	(R3)	(R3)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,15	1,15	1,15
Totale (*)	$\gamma$	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,25	1,25	1,25

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

Figura 3 \_ Coefficienti parziali per le resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali (tab. 6.4.II delle NTC18).

Tab. 6.4.VI - Coefficiente parziale  $\gamma_T$  per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali

Coefficiente parziale (R3)
$\gamma_T = 1,3$

Figura 4 \_ Coefficiente parziale per la resistenza caratteristica a carico trasversale dei pali (tab. 6.4.VI delle NTC18).

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

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

Figura 5 \_ Fattori di correlazione per determinare la resistenza caratteristica dei pali (tab. 6.4.IV delle NTC18).

Per il caso in esame è stato assunto cautelativamente un valore di  $\xi_3 = 1.70$ , corrispondente ad un numero minimo di verticali indagate pari a 1.

Per le verifiche nei confronti dei carichi assiali, le verifiche sono state condotte nei confronti dei valori massimi, medi e minimi (se di trazione), dell'azione di progetto ( $F_d$ ) ottenuti a partire dai corrispondenti valori delle azioni assiali in testa ai pali (N), ai quali è stato aggiunto (o sottratto nel caso delle azioni di trazione) il valore del peso proprio del palo  $W_p$  opportunamente amplificato:

- $F_d = N_{ed,comp} + \gamma_{G1} \cdot W_p$  , in compressione (con  $\gamma_{G1} = 1.0$  in condizioni sismiche, SLV);
- $F_d = N_{ed,traz} - \gamma_{G1} \cdot W_p$  , in trazione (con  $\gamma_{G1} = 1.0$ ).

## 5.1.1 Resistenza nei confronti dei carichi assiali e verifica

### Palo singolo

Il valore di calcolo della resistenza del singolo palo di diametro D e lunghezza L nei confronti dei carichi assiali,  $R_{cal}$ , è stato determinato ricorrendo alle seguenti espressioni ("formule statiche", AGI 1984) delle capacità portanti unitarie mobilitate lateralmente,  $r_{lat}$ , ed alla base,  $r_b$ .

I calcoli della capacità portante sono stati condotti utilizzando i fogli di calcolo contenuti in "Geotecnica con Excel" (edito da DEI).

#### - per terreni a grana fine (*calcolo in TT : Tensioni Totali*)

$$r_{lat}(z) = \alpha \cdot c_u(z) \quad ; \quad r_b = Nc \cdot c_u + \sigma_{v0}(z = L) \quad , \text{ con}$$

$\sigma_{v0}(z)$  = tensione totale verticale alla profondità z;

$c_u(z)$  = coesione non drenata del terreno alla profondità z;

$\alpha$  = coefficiente di adesione laterale (suggerito da Viggiani e riportato in Figura 6);

$Nc = 9$  = coefficiente di capacità portante alla base del palo.

pali trivellati	$c_u$ (kPa)	$\alpha$ (-)
	<25	0,7
	25 ÷ 70	0,7 - 0,008 ( $c_u - 25$ )
	≥ 70	0,35

Figura 6 \_ Valori di  $\alpha$  proposti da Viggiani, per pali trivellati.

#### - per terreni a grana grossa (*calcolo in TE : Tensioni Efficaci*)

$$r_{lat} = k \cdot \sigma'_{v0} \cdot \tan \varphi' \quad ; \quad r_b = Nq \cdot \sigma'_{v0} \text{ (per } z = L) \quad , \text{ con}$$

$\sigma'_{v0}(z)$  = tensione efficace verticale alla profondità z;

$\varphi'$  = angolo di attrito del terreno;

k = coefficiente di spinta laterale (rapporto tra le tensioni efficaci orizzontale e verticale) = 0.5;

$Nq$  = fattore di capacità portante alla base.

Per il valore del coefficiente di capacità portante alla base, in particolare, si è fatto riferimento agli abachi forniti da Berezantzev (1965) per pali di grande diametro, che forniscono un valore ridotto  $Nq^*$ , in funzione dell'angolo di attrito  $\varphi'$ , valutato all'insorgere delle deformazioni plastiche.

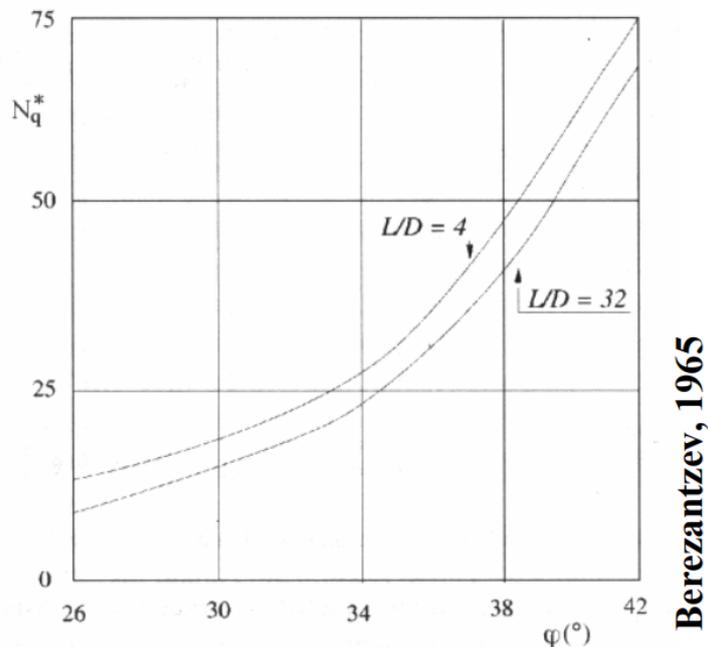


Figura 7 \_Valori di  $N_q^*$  per pali di grande diametro (Berezantzev, 1965).

Per la resistenza limite unitaria alla base, è stato assunto un valore massimo  $q_{b,lim} = 10000$  kPa.

Dai valori delle resistenze unitarie, per integrazione lungo la superficie laterale ed alla base, si ottengono i valori globali, corrispondenti ai valori di calcolo delle resistenze limite:

$$R_{lat,cal} = \int_L r_{lat} d(z)$$

$$R_{b,cal} = (\pi \cdot D^2 / 4) r_b$$

A partire dai valori di calcolo,  $R_{lat,cal}$  e  $R_{b,cal}$ , i valori caratteristici,  $R_{lat,k}$  e  $R_{b,k}$ , e di progetto,  $R_d$ , sono stati ricavati applicando i coefficienti parziali  $\xi$  e  $\gamma_R$ , precedentemente definiti.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori di progetto dei parametri geotecnici e dei coefficienti utilizzati nei calcoli.

Tabella 8 \_Parametri geotecnici e coefficienti utilizzati nei calcoli, per terreni a grana fine.

Unità geotecnica	Tipologia di terreno	$\alpha$	cu
		[-]	[kPa]
<b>Bi1</b>	<b>Grana fine</b>	0.35	200

Tabella 9 \_ Parametri geotecnici e coefficienti utilizzati nei calcoli, per terreni a grana grossa.

Unità geotecnica	Tipologia di terreno	$c'$	$\phi'$	K	$\mu$	$\beta$
		[kPa]	[°]	[-]	[-]	[-]
All	Grana grossa	0	38	0.50	0.78	0.39
Bi2	Grana grossa	0	40		0.84	0.42
Bi2*	Grana grossa	0	35		0.7	0.35

### **Gruppo di pali**

Nel caso di pali in gruppo, per la determinazione della resistenza limite di calcolo del gruppo di pali è stato considerato un fattore di efficienza  $\eta$ , assunto pari a 0.7. La verifica allo stato limite ultimo (SLU) dei pali in gruppo è stata condotta considerando lo sforzo normale medio agente sui pali.

#### **5.1.2 Resistenza nei confronti dei carichi trasversali e verifica**

Le verifiche dei pali nei confronti delle azioni trasversali sono state effettuate utilizzando la teoria di Broms (1964), considerando un meccanismo di rottura a palo lungo incastrato in testa (formazione di due cerniere plastiche).

La resistenza del terreno è stata quindi valutata secondo le seguenti espressioni:

$$p_{inc}(z) = 9 \cdot c_u \cdot D \quad , \text{ per terreni a grana fine;}$$

$$p_{inc}(z) = 3 \cdot k_p \cdot \gamma' \cdot D \quad , \text{ per terreni a grana grossa;}$$

dove

D : diametro del palo;

$K_p$  : coefficiente di spinta passiva;

$\gamma'$  : peso di volume efficace;

$c_u$  = coesione non drenata del terreno.

Imponendo l'equilibrio alla traslazione e alla rotazione intorno alla testa del palo, in funzione anche del momento di plasticizzazione  $M_y$  dell'elemento strutturale, viene quindi determinato il valore di calcolo della resistenza limite orizzontale,  $R_{T,cal}$ .

A partire dal valore di calcolo  $R_{T,cal}$ , i valori caratteristici,  $R_{T,k}$ , e di progetto,  $R_{T,d}$ , della resistenza limite orizzontale sono stati ricavati applicando i coefficienti parziali  $\xi$  e  $\gamma_R$ , precedentemente definiti.

## 5.2 Verifiche geotecniche di Stato Limite di Esercizio (SLE) - cedimenti verticali)

La valutazione del cedimento  $w$  del singolo palo è stata condotta utilizzando la seguente espressione semplificata:

$$w = \beta \cdot F_{ck} / (E \cdot L)$$

dove

$L$  = lunghezza del palo;

$D$  = diametro del palo;

$F_{ck}$  = carico caratteristico agente (valore caratteristico del carico assiale, in condizioni SLE)

$E$  = modulo elastico del terreno;

$\beta = 0.5 + \text{Log}(L/D)$  = “coefficiente di influenza”, adimensionale, funzione del rapporto  $L/D$  e del modello di sottosuolo utilizzato (formulazione proposta da Poulos e Davis, 1981).

Il cedimento medio della palificata,  $w_g$ , è stato quindi valutato a partire dal valore del cedimento del palo isolato,  $w$ , moltiplicando tale valore per un coefficiente di amplificazione  $R_s = n \cdot R_g$ , legato alla geometria della fondazione, con  $n$  = numero di pali ed  $R_g$  (“coefficiente di riduzione del gruppo”) ottenuto come segue:

$$R_g = 0.5 / R + 0.13 / R^2 \quad (\text{Mandolini et al., 1997})$$

$$R = (n \cdot i / L) \cdot 0.5 \quad (\text{Randolph e Clancy, 1993, Mandolini, 1994})$$

in cui  $i$  = interasse dei pali.

### 5.3 Valutazione delle sollecitazioni nei pali

Nel caso di pali soggetti a carichi orizzontali il terreno viene simulato come un mezzo alla Winkler, modellato quindi come un letto di molle di rigidezza  $k_h$  variabile con la profondità in funzione della stratigrafia.

Per i terreni coesivi sovraconsolidati è stato assunto un valore della rigidezza  $k_h$  costante la profondità. Nello specifico, nell'unità geotecnica Bi1, costituita da argille marnose quindi di natura coesiva, il valore di  $k_h$  è stato determinato con la seguente formulazione (Broms, 1964):

$$k_h = (170 \div 800) c_u / D$$

Considerando un valore della  $c_u = 200$  kPa, per  $D = 1.2$  m, si ottiene un valore minimo della  $k_h = 28000$  kN/m<sup>3</sup>; cautelativamente è stato assunto un valore  $k_h = 20000$  kN/m<sup>3</sup>.

Per i terreni incoerenti, è stato assunto un valore di rigidezza variabile linearmente con la profondità, definito mediante la seguente espressione (Matlock and Reese, 1956):

$$k_h = n_h \frac{z}{d}$$

Per l'unità All, costituita da alluvioni a prevalente grana grossa, da addensate a molto addensate, il valore di  $n_h$  è stato valutato mediante la seguente espressione:

$$n_h = \frac{A\gamma}{1.35}$$

dove  $\gamma$  è il peso dell'unità di volume del terreno (immerso, nel caso si trovi sotto falda) ed il parametro A, tenuto conto dello stato di addensamento del materiale (da addensato a molto addensato), è stato assunto pari a 3000 (Viggiani, 1999).

Per l'unità Bi2, sempre sotto falda, a favore di sicurezza, è stato assunto lo stesso valore di  $n_h$  ottenuto per l'unità All.

Nella tabella a seguire si riportano i valori di  $n_h$  e  $k_h$  utilizzati per le diverse unità geotecniche.

Tabella 10 \_Definizione coefficienti utilizzati nei calcoli per terreni a grana grossa.

Unità geotecnica	Tipologia di terreno		$n_h$	$k_h$
			[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]
All	incoerente	sopra falda	45000	-
		sotto falda	20000	-
Bi1	coesivo		-	20000
Bi2	Incoerente (sempre sotto falda)		20000	-

## 5.4 Verifiche strutturali degli elementi in c.a.

Le strutture in c.a. sono state oggetto di verifiche strutturali agli Stati Limite Ultimi (SLU).

### SLU di tipo strutturale (STR)

Raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

Le verifiche di resistenza delle sezioni sono eseguite secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

I coefficienti di sicurezza adottati sono i seguenti:

- coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo: 1.50;
- coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio in barre: 1.15;

Il paragrafo in oggetto illustra nel dettaglio i criteri generali adottati per le verifiche strutturali e geotecniche condotte nel progetto. Ulteriori dettagli di carattere specifico, laddove impiegati, sono dichiarati e motivati nelle relative risultanze delle verifiche.

Per le sezioni in cemento armato si effettuano:

- verifiche per gli stati limite ultimi a presso-flessione;
- verifiche per gli stati limite ultimi a taglio;
- verifiche per gli stati limite di esercizio.

### 5.4.1 Verifiche per gli stati ultimi a presso-flessione

Allo stato limite ultimo, le verifiche a flessione o presso-flessione sono condotte confrontando (per le sezioni più significative) le resistenze ultime e le sollecitazioni massime agenti, valutando di conseguenza il corrispondente fattore di sicurezza.

### 5.4.2 Verifiche per gli stati ultimi a presso-flessione

La verifica allo stato limite ultimo per azioni di taglio è condotta secondo quanto prescritto dal DM17/01/2018, per elementi con armatura a taglio verticali.

Si fa, pertanto, riferimento ai seguenti valori della resistenza di calcolo:

- resistenza di calcolo dell'elemento privo di armatura a taglio:

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d; (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w d \right\}$$

- valore di progetto dello sforzo di taglio che può essere sopportato dall'armatura a taglio alla tensione di snervamento:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \cdot \sin \alpha$$

- valore di progetto del massimo sforzo di taglio che può essere sopportato dall'elemento, limitato dalla rottura delle bielle compresse:

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2 \theta)$$

Quindi la resistenza a taglio sarà la minore tra quelle definite in precedenza:

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

### 5.4.3 Verifiche per gli stati ultimi di esercizio

La verifica allo stato limite di esercizio consiste nel controllare, con riferimento alle sollecitazioni di calcolo corrispondenti alle Combinazioni di Esercizio il tasso di Lavoro nei Materiali e l'ampiezza delle fessure attese, secondo quanto di seguito specificato:

- Verifiche alle tensioni

La verifica delle tensioni in esercizio consiste nel controllare il rispetto dei limiti tensionali previsti per il calcestruzzo e per l'acciaio per ciascuna delle combinazioni di carico "caratteristica" e "quasi permanente", come riportato nel paragrafo 4.1.2.2.5.1 della NTC-2018. Nello specifico i limiti sono di seguito elencati:

- per il calcestruzzo:

$$\sigma_{c,max} = 0,60 f_{ck} \text{ (comb. caratteristica)}$$

$$\sigma_{c,max} = 0,45 f_{ck} \text{ (comb. quasi perm.)}$$

- per l'acciaio:

$$\sigma_{s,max} = 0,80 f_{yk} \text{ (comb. caratteristica)}$$

- Verifiche a fessurazione

La verifica di fessurazione consiste nel controllare l'ampiezza dell'apertura delle fessure sotto combinazione di carico frequente e combinazione quasi permanente. Essendo la struttura a contatto col terreno si considerano condizioni ambientali aggressive; le armature di acciaio ordinario sono ritenute poco sensibili [NTC – Tabella 4.1.IV]

In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio, l'apertura limite delle fessure è riportata a seguire:

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	$w_k$	Stato limite	$w_k$
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Figura 8 – Tab. 4.1.IV e Tab. 4.1.III della NTC-2018.

Nel caso in esame i limiti da rispettare sono:

$w_1 = 0.2$  mm (combinazione quasi permanente);

$w_2 = 0.3$  mm (combinazione frequente).

La verifica dell'ampiezza di fessurazione ( $w$ ) è stata condotta utilizzando la procedura illustrata al punto C4.1.2.2.4 della Circolare 21 Gennaio 2019, n. 7. Il valore caratteristico di apertura delle fessure  $w_k$  nella zona di efficacia delle armature non deve superare il valore prefissato riportato in Figura 8 (cfr. Tab 4.1.IV, NTC2018). Il valore caratteristico di calcolo è dato da:

$$w_k = 1.7w_m$$

in cui  $w_m$  rappresenta il valore medio dell'apertura calcolata in base alla deformazione unitaria media delle barre d'armatura  $\varepsilon_{sm}$  e alla distanza media tra le fessure  $s_{rm}$ , come di seguito espresso:

$w_m = \varepsilon_{sm} \cdot s_{rm}$  , dove

$$s_{rm} = \left( k_3 c + k_1 k_2 k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} \right) / 1.7$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot f_{ctm} / \rho_{eff} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})}{E_s} \geq 0.6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

in cui

- $\sigma_s$  = tensione dell'armatura tesa considerando la sezione fessurata;
- $E_s$  = modulo elastico dell'acciaio;
- $f_{ctm}$  = valore medio della resistenza a trazione assiale;
- $\alpha_e = E_s/E_{cm}$ ;
- $\rho_{eff} = A_s/A_{c,eff}$  = rapporto tra le aree dell'armatura nella zona efficace e della zona stessa;
- $A_{c,eff}$  = area efficace di calcestruzzo teso attorno all'armatura, di altezza  $h_{c,eff}$ , dove  $h_{c,eff}$  è il valore minore tra  $2.5(h-d)$ ,  $(h-x)/3$ ,  $h/2$ ;
- $K_t$  = fattore dipendente dalla durata del carico e vale:
  - 0.6 per carichi di breve durata,
  - 0.4 per carichi di lunga durata
- $\phi$  = diametro delle barre,
- $c$  = copriferro netto,
- $k_1$  = coefficiente relativo alla qualità di aderenza delle barre e vale:
  - $k_1 = 0.8$ , per barre ad aderenza migliorata,
  - $k_1 = 1.6$ , per barre lisce;
- $k_2$  = coefficiente che tiene conto della distribuzione delle tensioni in regime non fessurato, e vale:
  - $k_2 = 0.5$ , nel caso di flessione,
  - $k_2 = 1$  nel caso di trazione pura;
  - $k_2 = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)/(2\varepsilon_1)$ , nel caso di trazione eccentrica o nel caso si consideri una sola parte della sezione, essendo  $\varepsilon_1$  e  $\varepsilon_2$  rispettivamente la più grande e la più piccola deformazione di trazione all'estremità della sezione considerata, calcolata considerando la sezione fessurata.
- $k_3 = 3.4$ ;
- $k_4 = 0.425$ .

## 6 SOLLECITAZIONI IN FONDAZIONE.

I valori delle sollecitazioni in fondazione derivano dall'analisi strutturale, effettuata ipotizzando un comportamento strutturale non dissipativo. Il dimensionamento delle armature dei pali è stato eseguito escludendo la possibilità di raggiungimento della capacità dei pali.

Con riferimento in particolare alle fondazioni delle pile, dal calcolo strutturale sono stati ottenuti i valori delle sollecitazioni globali determinate alla quota di intradosso dei plinti; i valori delle azioni sui singoli pali, sono stati quindi ottenuti mediante il metodo della ripartizione a piastra rigida, considerando plinto e sovrastuttura come un blocco infinitamente rigido.

Per le fondazioni delle spalle i carichi sui singoli pali sono stati ottenuti direttamente dal calcolo strutturale.

Si rimanda quindi alle specifiche relazioni strutturali ed allegati di calcolo per il dettaglio sulle azioni (T00VI01STRRE03, per le pile; T00VI01STRRE01 e T00VI01STRRE14 per la spalla 1).

## 7 RISULTATI DELLE VERIFICHE DELLE FONDAZIONI PROFONDE SU PALI

### 7.1 SPALLA SP1

#### 7.1.1 Geometria dell'opera e modello geotecnico

Nelle tabelle a seguire sono descritte sinteticamente le caratteristiche della palificata, la stratigrafia di progetto ed il modello geotecnico di calcolo utilizzati per le verifiche.

Tabella 11\_ V01 – Spalle SP1: caratteristiche palificata.

V01	Numero di pali	Diametro pali	Lunghezza pali
	[-]	[m]	[m]
SPALLA SP1	16	1.2	20

Tabella 12\_ V01 – Spalle SP1: modello geotecnico di calcolo.

V01	z	Unità	$\gamma$	$\phi'$	$c'$	$c_u$	$E'$
SPALLA SP1	[m da t.p.]	geotecnica	[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[kPa]	[kPa]	[Mpa]
	0 ÷ 15	BI1	20	-	-	200	200
	15 ÷ 20	BI2	22	40	0	-	400

La quota della falda è stata assunta alla profondità di 0 m da testa palo.

#### 7.1.2 Azioni di calcolo

Nella tabella a seguire sono riportati i valori delle azioni di progetto determinati in testa ai singoli pali, nelle diverse combinazioni (SLE, SLU ed SLV), a partire dalle azioni globali ottenute dal calcolo strutturale. Nello specifico, per ogni combinazione sono riportati i valori massimi e minimi dei carichi assiali ( $N_{max}$ ,  $N_{min}$ ) e trasversali ( $T_{max}$ ); per le azioni assiali, N, sono positivi i valori di compressione, mentre i valori negativi indicano azioni di trazione.

Tabella 13\_ V01 – Spalle SP1: Azioni di calcolo.

SLE RARA			SLE FREQUENTE			SLE QUASI PERMANENTE			SLU STR				SLV			
Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmed [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmed [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]
2865	1046	766	2709	1078	721	2490	1092	644	2593	3800	987	1034	1643	4086	-476	1937

### 7.1.3 Verifiche geotecniche SLU/SLV nei confronti dei carichi assiali

Nella tabella a seguire vengono riportate le azioni di progetto SLU/SLV.

Tabella 14 \_ V01 – Spalle SP1: Azioni di calcolo SLU/SLV.

SLU STR				SLV			
Nmed [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]		Nmed [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	
2593	3800	987		1643	4086	-476	

Nella tabella a seguire si riporta una sintesi delle verifiche effettuate.

Tabella 15 \_ V01 – Spalle SP1: Sintesi delle verifiche nei confronti dei carichi assiali (SLU/SLV).

Opera: V01	Azioni assiali							Resistenza e verifica del palo singolo				Resistenza e verifica del palo in gruppo	
	N <sub>max</sub>	N <sub>med</sub>	N <sub>max, traz</sub>	W <sub>p</sub>	F <sub>d</sub>	F <sub>d, med</sub>	F <sub>d, traz</sub>	R <sub>L, cal</sub>	R <sub>B, cal</sub>	R <sub>c, d</sub>	R <sub>c, d</sub> / F <sub>d</sub>	R' <sub>d</sub> = η R <sub>c, d</sub>	R' <sub>d</sub> / F <sub>d, med</sub>
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[-]	[kN]	[-]
SPALLA 1	4086	2593	-476	565	4652	3328	89	5382	11310	7681	1.65	5377	1.61

### 7.1.4 Verifiche geotecniche SLU/SLV nei confronti dei carichi trasversali

Nella tabella a seguire vengono riportate le azioni di progetto SLU/SLV:

Tabella 16 \_ V01 – Spalle SP1: Azioni di calcolo SLU/SLV.

SLU STR		SLV	
Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]
987	1034	-476	1937

La verifica è stata condotta nei confronti del valore massimo della sollecitazione trasversale,  $F_{T,d} = T_{max}$ . Nella tabella a seguire si riporta una sintesi delle verifiche effettuate.

Tabella 17 \_ V01 – Spalle SP1: Sintesi verifica geotecnica nei confronti delle azioni trasversali (SLU/SLV).

Opera: VI01	Azione trasversale	Verifica				
	F <sub>T,d</sub>	Armatura longitudinale	M <sub>y</sub>	R <sub>T, cal</sub>	R <sub>T, d</sub>	R <sub>T, d</sub> / F <sub>T, d</sub>
	[kN]	[-]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kN]
SPALLA 1	1937	30 φ 32 + 25 φ 32	6134	4374	1979	1.02

### 7.1.5 Verifiche geotecniche SLE – valutazione cedimenti

Nella tabella seguente sono riportati i risultati dei calcoli dei cedimenti dei pali, considerati come isolati e con riferimento alla palificata, sollecitati a carico assiale in condizioni SLE.

In tabella,  $N_{med,max}$  rappresenta il valore massimo dell'azione assiale media in testa ai pali, determinato in condizioni di esercizio. Con riferimento a tale valore, sono stati determinati i corrispondenti valori del cedimento del singolo palo,  $w_i$ , e del gruppo di pali,  $w_g$ .

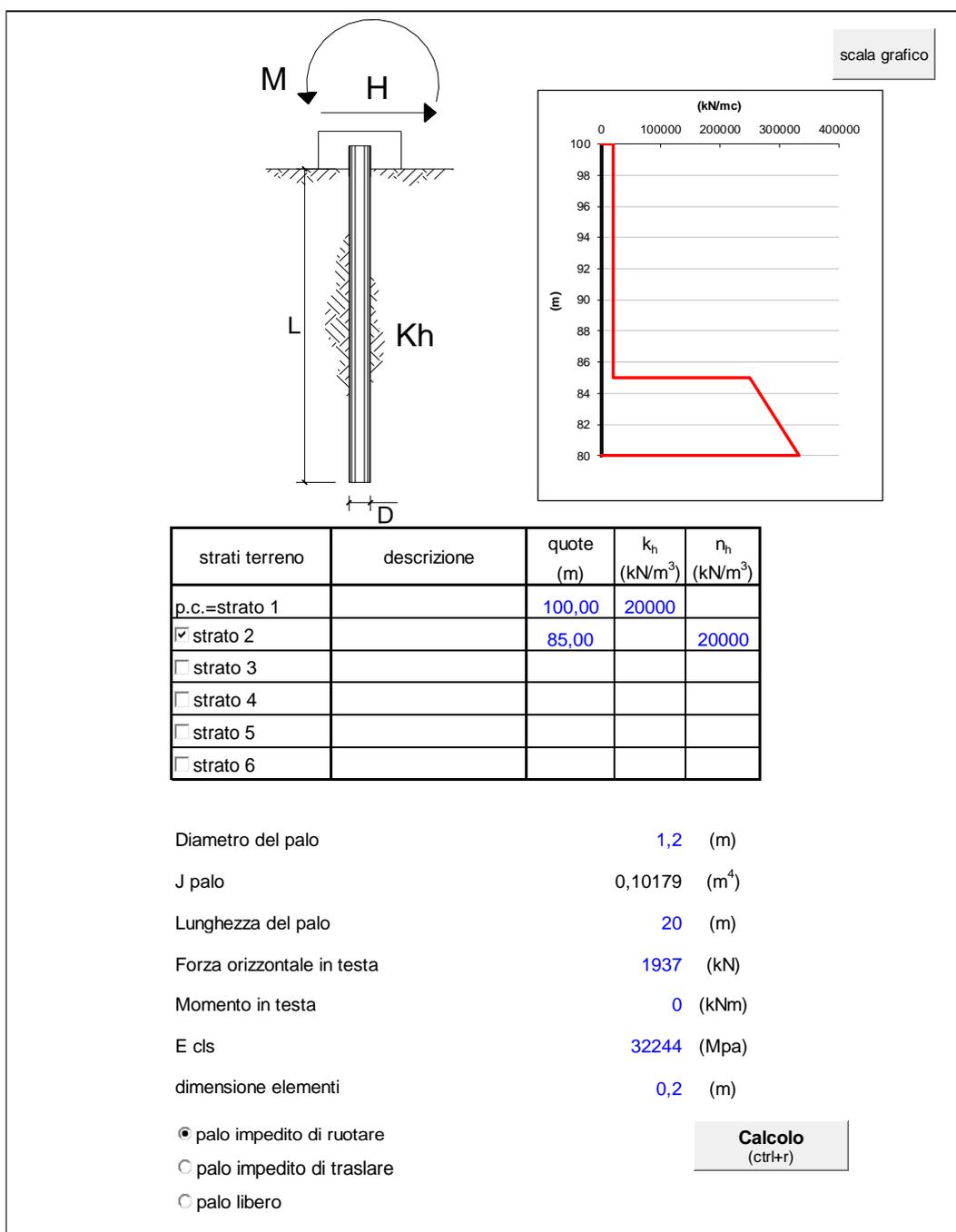
Tabella 18 \_ V01 – Spalla SP1: Sintesi calcolo dei cedimenti (SLE)

Opera: V01	Geometria palificata					Azioni assiali e cedimenti del singolo palo e della palificata		
	np	D	L	R	Rg	$N_{max}$	$w_{i,max}$	$w_{g,max}$
Fondazioni	[-]	[m]	[m]	[-]	[-]	[kN]	[mm]	[mm]
<b>SPALLA SP1</b>	12	1.20	20	1.47	0.40	2865	1.23	5.93

### 7.1.6 Verifiche strutturali dei pali SLU/SLV

Nel caso di pali, soggetti a carichi orizzontali, il terreno viene simulato come mezzo alla Winkler, modellato quindi come un letto di molle di rigidità  $k_h$  variabili in funzione delle diverse unità geotecniche e i cui valori sono riportati nel paragrafo 5.3.

A seguire si riporta l'andamento del taglio e del momento sollecitante lungo l'intero palo, determinati per un valore di progetto dell'azione orizzontale  $F_{T,d} = 1937$  kN.



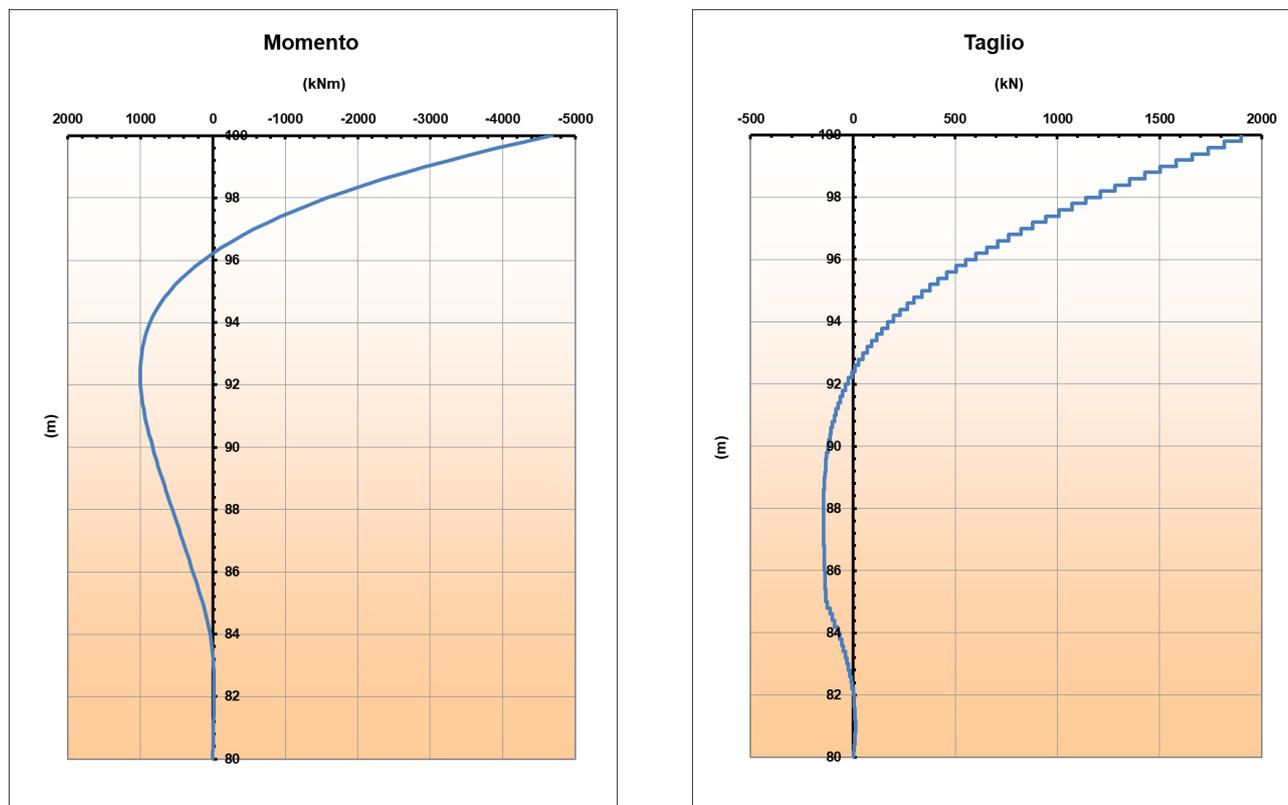


Figura 9 – Andamento del momento e del taglio lungo il palo.

Nella tabella che segue si riportano i valori delle sollecitazioni massime agenti (momento flettente  $M_{Ed}$  e taglio  $T_{Ed}$ ) e delle azioni resistenti (momento  $M_{Rd}$  e taglio  $T_{Rd}$  resistenti), determinati per le corrispondenti armature di verifica, longitudinale e trasversale.

Tabella 19\_ V01 – Spalle SP1: armatura longitudinale e valori di progetto di sollecitazioni e resistenze (M e T).

SLU/SLV			
$M_{Ed}$ (kNm)	$M_{Rd}$ (kNm)	FS	Armatura longitudinale
4675	6134	1.3	30 $\emptyset$ 32 + 25 $\emptyset$ 32
$T_{Ed}$ (kN)	$T_{Rd}$ (kN)	FS	Armatura trasversale
1937	2643	1.3	$\emptyset$ 14/10 (2 bracci)

In tutti i casi risulta  $M_{Rd} > M_{Ed}$  e  $T_{Rd} > T_{Ed}$ , dunque le verifiche risultano soddisfatte.

Viadotto Marroggia (V01)  
RELAZIONE di CALCOLO PALI DI FONDAZIONE

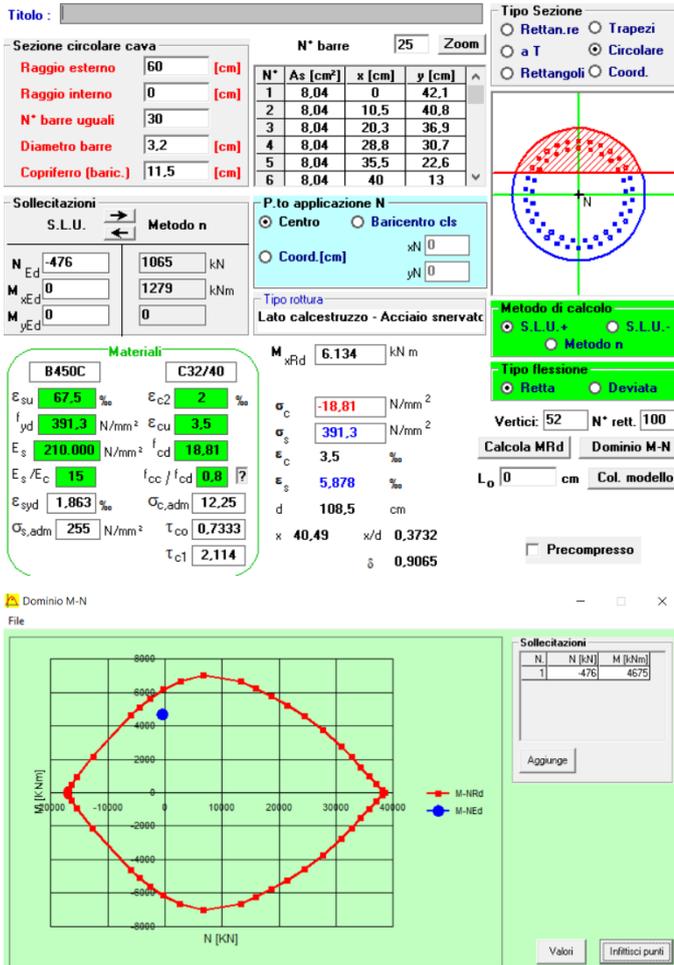


Figura 10 – Calcolo momento e taglio resistenti,  $M_{rd}$  e  $T_{rd}$ .

Verifica a taglio per sezioni circolari armate a taglio			
	C32/40		Classe di resistenza
$R_{ck}$	40	Mpa	Valore caratteristico resistenza cubica a 28 giorni
$f_{ck}$	32	Mpa	Valore caratteristico resistenza cilindrica a 28 giorni
$f_{cd}$	18,13	Mpa	Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni
$\alpha_{cc}$	0,85	-	Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata
$\gamma_c$	1,5	-	Coefficiente parziale di sicurezza
$\Phi$	1200	mm	diametro sezione circolare
A	1130973	mm <sup>2</sup>	Area sezione circolare
c	115	mm	copriferro (asse barra)
$A_{eq}$	918926	mm <sup>2</sup>	Area sezione rettangolare equivalente
d	909	mm	altezza utile equivalente
$b_w$	1011	mm	larghezza equivalente
$h_{eq}$	1118,46	mm	altezza equivalente
N	-476000	N	sforzo assiale dovuto ai carichi o precompressione
$\sigma_{cp}$	-0,421	N/mm <sup>2</sup>	
$\alpha_{cp}$	0,98		
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>	Tensione caratteristica di snervamento
$f_{yd}$	391	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza di progetto
$\sigma_w$	14	mm	diametro staffe (spille)
$A\sigma_w$	154	mm <sup>2</sup>	Area staffa (spilla)
z	818	mm	0,9 d
$s_w$	100	mm	passo spirale
n° bracci	2		
$\theta$	21,8	°	angolo di inclinazione biella compressa
$\cot(\theta)$	2,50		deve essere compreso tra 1 e 2,5
$\alpha$	90	°	angolo di inclinazione armatura rispetto asse palo
$\cot(\alpha)$	0,00		
$A_{s,w}/s_w$	3,079	mm <sup>2</sup> /mm	
$V_{Rsd}$	2463	kN	Taglio resistente per "taglio trazione"
$V_{Rcd}$	2526	kN	Taglio resistente per "taglio compressione"

### 7.1.7 Verifiche strutturali dei pali SLE / fessurazione

Analogamente a quanto fatto per le verifiche strutturali dei pali SLU/SLV, si è proceduto a valutare l'andamento del momento sollecitante lungo il palo a partire dalle sollecitazioni agenti in testa, nelle diverse combinazioni di calcolo SLE, riportate in tabella seguente.

Tabella 20 \_ V01 – Spalle SP1: Azioni di calcolo SLE.

SLE RARA			SLE FREQUENTE			SLE QUASI PERMANENTE		
Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]
2865	<b>1046</b>	<b>766</b>	2709	<b>1078</b>	<b>721</b>	2490	<b>1092</b>	<b>644</b>

Nelle figure a seguire si riportano gli andamenti del momento sollecitante per le combinazioni caratteristiche/rara – frequente - quasi permanente.

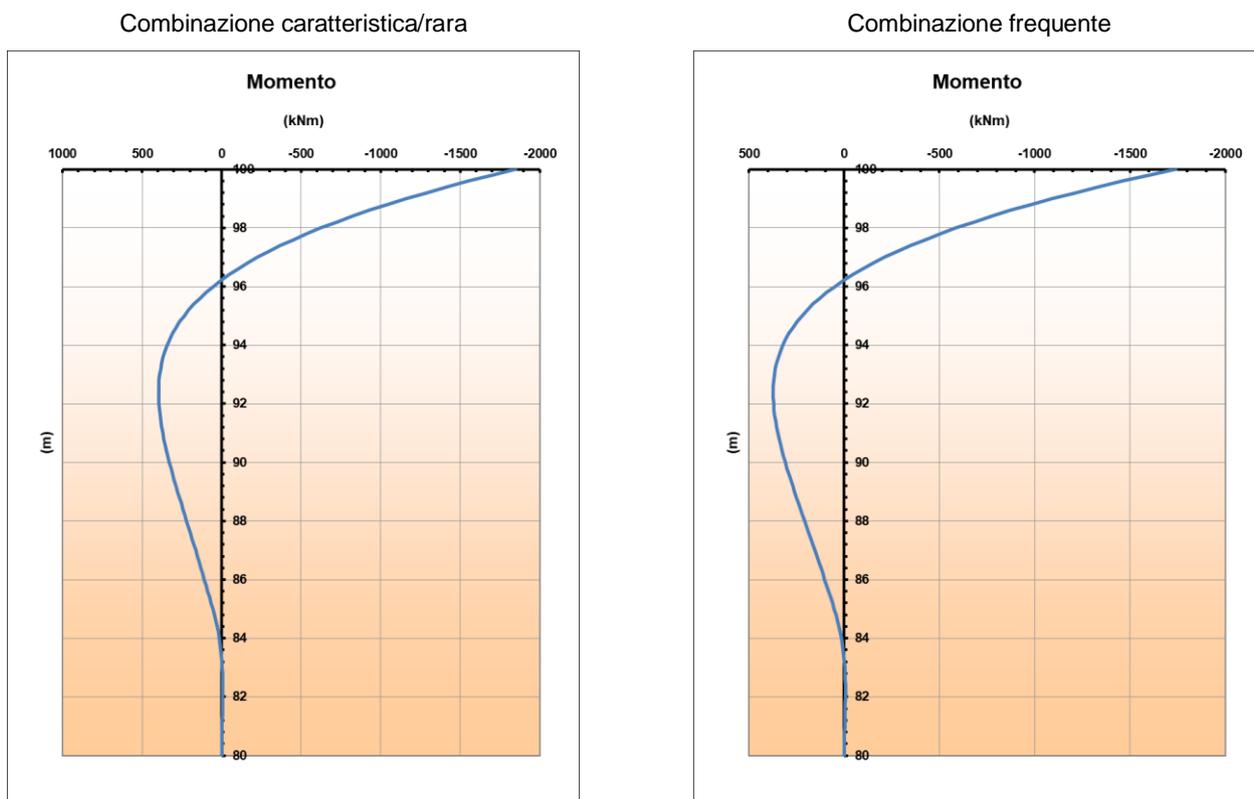


Figura 11 – Andamento momento lungo il palo, in condizioni SLE quasi rara (sx) e frequente (dx).

Combinazione quasi permanente

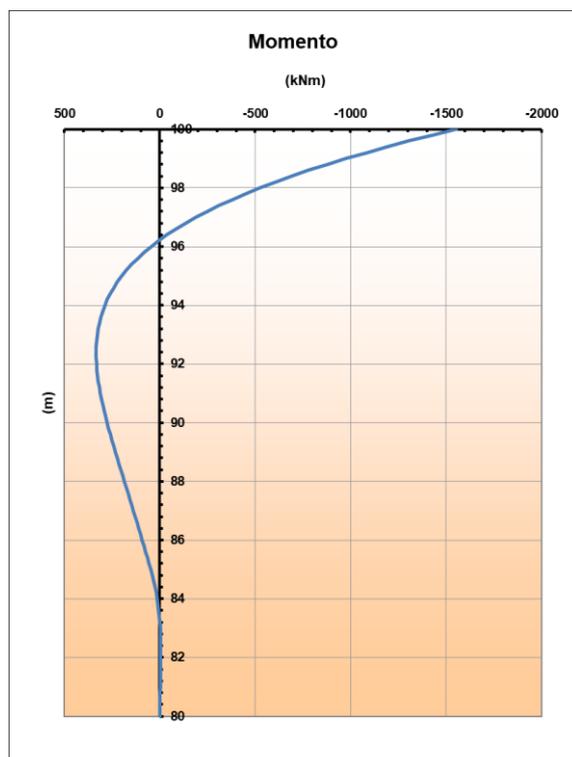


Figura 12 – Andamento momento lungo il palo, in condizioni SLE quasi permanenti.

Per ogni combinazione SLE, si riportano di seguito le sollecitazioni massime agenti, le tensioni nell'acciaio e nel cls e, laddove previsto, il valore massimo di apertura delle fessure (le verifiche sono state condotte assumendo  $N = N_{\min}$ ).

• **Verifica fessurazione SLE- caratteristica/rara**

Titolo : \_\_\_\_\_

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 60 [cm]  
Raggio interno: 0 [cm]  
N° barre uguali: 30  
Diametro barre: 3.2 [cm]  
Copriferro (baric.): 11.5 [cm]

N° barre: 25 Zoom

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	8.04	0	42.1
2	8.04	10.5	40.8
3	8.04	20.3	36.9
4	8.04	28.8	30.7
5	8.04	35.5	22.6
6	8.04	40	13

Tipo Sezione:  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 1046 kN  
M<sub>xEd</sub>: 0 1849 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0 0

P.to applicazione N:  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Metodo di calcolo:  
 S.L.U. +  S.L.U. -  
 Metodo n

Materiali: B450C C32/40

ε<sub>su</sub>: 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub>: 2 ‰  
f<sub>yd</sub>: 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub>: 3.5 ‰  
E<sub>s</sub>: 210.000 N/mm² f<sub>cd</sub>: 18.81 ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0.8  
ε<sub>syd</sub>: 1.863 ‰ σ<sub>c,adm</sub>: 12.25  
σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm² τ<sub>co</sub>: 0.7333  
τ<sub>c1</sub>: 2.114

σ<sub>c</sub>: -8.92 N/mm²  
σ<sub>s</sub>: 139.3 N/mm²  
ε<sub>s</sub>: 0.6633 ‰  
d: 108.5 cm  
x: 53.16 x/d: 0.49  
δ: 1

Vertici: 52  
Verifica  
N° iterazioni: 3  
 Precompresso

SLE - caratteristica/rara			
M <sub>Ed</sub> (kNm)	σ <sub>s</sub> (MPa)	σ <sub>c</sub> (MPa)	Armatura longitudinale
1849	139.3	8.92	30 Ø 32 + 25 Ø 32

Risulta quindi:

$\sigma_c < \sigma_{c,max} = 0.60f_{ck} = 19.2 \text{ MPa}$  e  $\sigma_s < \sigma_{s,max} = 0.80f_{yk} = 360 \text{ MPa}$ .

La sezione è compressa, quindi la verifica a fessurazione risulta automaticamente soddisfatta.

• **Verifica fessurazione SLE- frequente**

SLE - frequente			
$M_{Ed}$ (kNm)	$\sigma_s$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	Armatura longitudinale
1740	128.8	8.423	30 $\emptyset$ 32 + 25 $\emptyset$ 32

Risulta quindi:

$\sigma_c < \sigma_{c,max} = 0.60f_{ck} = 19.2 \text{ MPa}$  e  $\sigma_s < \sigma_{s,max} = 0,80f_{yk} = 360 \text{ MPa}$

**TITOLO :** STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE - Rif. NTC 2018

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 60 [cm]  
Raggio interno: 0 [cm]  
N° barre uguali: 30  
Diametro barre: 3,2 [cm]  
Copriferro (baric.): 11,5 [cm]

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

$N_{Ed}$ : 0  
 $M_{xEd}$ : 0  
 $M_{yEd}$ : 0

1078 kN  
1740 kNm  
0

**Materiali**

B450C C32/40

$E_{su}$ : 67.5 %  
 $f_{yd}$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s$ : 210.000 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s/E_c$ : 15  
 $\epsilon_{syd}$ : 1.863 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>

$E_{c2}$ : 2 ‰  
 $E_{cu}$ : 3.5  
 $f_{cd}$ : 18.81  
 $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8  
 $\sigma_{c,adm}$ : 12.25  
 $\tau_{co}$ : 0.7333  
 $\tau_{c1}$ : 2.114

$\sigma_c$ : 8.423 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$ : 128.8 N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_s$ : 0.6135 ‰  
d: 108,5 cm  
x: 53,72 x/d: 0.4951  
 $\delta$ : 1

Vertici: 52  
Verifica  
N° iterazioni: 3  
 Precompresso

**Geometria della sezione**

Altezza della sezione: D = 1200 [mm]  
Altezza utile della sezione: d = 1055,9 [mm]  
Armatura tesa ordinaria  
Numero di ferri tesi presenti nella sezione:  $n_{f1}$  = 30 [-]  
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione:  $\phi_{f1}$  = 32 [mm]  
Copriferro (netto barra):  $c_1$  = 99 [mm]  
Area dei ferri tesi presenti nella sezione:  $A_{St1}$  = 24127 [mm<sup>2</sup>]  
Armatura tesa di infittimento  
Numero di ferri tesi presenti nella sezione:  $n_{f2}$  = 25 [-]  
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione:  $\phi_{f2}$  = 32 [mm]  
Copriferro (netto barra):  $c_2$  = 163 [mm]  
Area dei ferri tesi presenti nella sezione:  $A_{St2}$  = 20106 [mm<sup>2</sup>]

**Caratteristiche dei materiali**

Resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo:  $f_{ck}$  = 32 [MPa]  
Resistenza a trazione media del calcestruzzo:  $f_{ctm}$  = 3,02 [MPa]  
Modulo di elasticità del calcestruzzo:  $E_{cm}$  = 33346 [MPa]  
Resistenza a snervamento dell'acciaio:  $f_{yk}$  = 450 [MPa]  
Modulo di elasticità dell'acciaio:  $E_s$  = 210000 [MPa]

**Caratteristiche delle sollecitazioni**

Momento: M = 1740,00 [kNm]  
Sforzo normale: N = 1078,00 [kN]  
Asse neutro della sezione:  $y_{an}$  = 53,72 [mm]  
Tensione massima nell'armatura tesa:  $\sigma_{s,max}$  = 128,8 [MPa]  
Tensione nel calcestruzzo:  $\sigma_{c,max}$  = 8,4 [MPa]

**DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE**

Tensione media delle armature presenti nella zona tesa:  $\sigma_{s,med}$  = 128,8 [MPa]  
Altezza efficace:  $h_{c,eff}$  = 220,93 [mm]  
Coefficiente di omogeneizzazione:  $\alpha_e$  = 6,3 [-]  
Fattore di durata del carico:  $k_1$  = 0,4 [-]  
Area totale delle armature presenti nella zona tesa:  $A_s$  = 8846,72 [mm<sup>2</sup>]  
Area efficace tesa di calcestruzzo:  $A_{c,eff}$  = 143002,63 [mm<sup>2</sup>]  
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso:  $\rho_{eff}$  = 0,0619  
Resistenza media di trazione del calcestruzzo:  $f_{ct,m}$  = 3,02 [MPa]  
Deformazione unitaria media delle barre:  $\epsilon_{sm}$  = 0,0 [-]  
Diametro equivalente delle barre:  $\phi_{eq}$  = 32,00 [mm]  
Spaziatura tra le barre: s = 69,39 [mm]  
Spaziatura massima di riferimento:  $s_{max,rif}$  = 575,00 [mm]  
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione:  $k_1$  = 0,80,  $k_2$  = 0,50,  $k_3$  = 3,40,  $k_4$  = 0,425  
Distanza media tra le fessure:  $\Delta s_m$  = 249,73 [mm]  
Ampiezza limite delle fessure:  $w_{k,lim}$  = 0,30 [mm]  
Ampiezza delle fessure (di calcolo):  $w_k$  = 0,205 [mm]

Risulta quindi:

$w_k = 0.205 \text{ mm} < w_{lim} = 0.3 \text{ mm.}$

• **Verifica fessurazione SLE- quasi permanente**

SLE – quasi permanente			
$M_{Ed}$ (kNm)	$\sigma_s$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	Armatura longitudinale
1555	112.1	7.565	30 Ø 32 + 25 Ø 32

Risulta quindi:

$\sigma_c < \sigma_{c,max} = 0.45f_{ck} = 14.4 \text{ MPa}$  e  $\sigma_s < \sigma_{s,max} = 0,80f_{yk} = 360 \text{ MPa}$

**Titolo:** [ ]

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 60 [cm]  
Raggio interno: 0 [cm]  
N° barre uguali: 30  
Diametro barre: 3.2 [cm]  
Copriferro (baric.): 11.5 [cm]

**Sollecitazioni**  
S.L.U. Metodo n  
N<sub>Ed</sub>: 1092 kN  
M<sub>xEd</sub>: 1555 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0

**Materiali**  
B450C C32/40  
E<sub>su</sub>: 67.5 % E<sub>c2</sub>: 2 %  
f<sub>yd</sub>: 391.3 N/mm<sup>2</sup> E<sub>cu</sub>: 3.5  
E<sub>s</sub>: 210.000 N/mm<sup>2</sup> f<sub>cd</sub>: 18.81  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0.8  
E<sub>syd</sub>: 1.863 % σ<sub>c,adm</sub>: 12.25  
σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub>: 0.7333  
τ<sub>c1</sub>: 2.114

**N° barre** 25 Zoom

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	8.04	0	42.1
2	8.04	10.5	40.8
3	8.04	20.3	36.9
4	8.04	28.8	30.7
5	8.04	35.5	22.6
6	8.04	40	13

**P.to applicazione N**  
Centro Baricentro cls  
Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Metodo di calcolo**  
S.L.U. S.L.U. Metodo n

**Verifica**  
Vertici: 52  
N° iterazioni: 3  
Precompresso

**STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE - Rif. NTC 2018**

**Geometria della sezione**

Altezza della sezione D: 1200 [mm]  
Altezza utile della sezione d: 1055.9 [mm]  
Armatura tesa ordinaria  
Numero di ferri tesi presenti nella sezione n<sub>r1</sub>: 30 [-]  
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione φ<sub>r1</sub>: 32 [mm]  
Copriferro (netto barra) c<sub>1</sub>: 99 [mm]  
Area dei ferri tesi presenti nella sezione A<sub>sf,1</sub>: 24127 [mm²]  
Armatura tesa di infittimento  
Numero di ferri tesi presenti nella sezione n<sub>r2</sub>: 25 [-]  
Diametro dei ferri tesi presenti nella sezione φ<sub>r2</sub>: 32 [mm]  
Copriferro (netto barra) c<sub>2</sub>: 163 [mm]  
Area dei ferri tesi presenti nella sezione A<sub>sf,2</sub>: 20106 [mm²]

**Caratteristiche dei materiali**

Resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo f<sub>ck</sub>: 32 [MPa]  
Resistenza a trazione media del calcestruzzo f<sub>ctm</sub>: 3.02 [MPa]  
Modulo di elasticità del calcestruzzo E<sub>cm</sub>: 33346 [MPa]  
Resistenza a snervamento dell'acciaio f<sub>yk</sub>: 450 [MPa]  
Modulo di elasticità dell'acciaio E<sub>s</sub>: 210000 [MPa]

**Caratteristiche delle sollecitazioni**

Momento M: 1555.00 [kNm]  
Storzo normale N: 1092.00 [kN]  
Asse neutro della sezione y<sub>a,n</sub>: 54.59 [mm]  
Tensione massima nell'armatura tesa σ<sub>s,max</sub>: 112.1 [MPa]  
Tensione nel calcestruzzo σ<sub>c,max</sub>: 7.6 [MPa]

**DETERMINAZIONE DELL'AMPIEZZA DELLE FESSURE**

Tensione media delle armature presenti nella zona tesa σ<sub>s,med</sub>: 112.1 [MPa]  
Altezza efficace h<sub>c,eff</sub>: 218.03 [mm]  
Coefficiente di omogeneizzazione α<sub>e</sub>: 6.3 [-]  
Fattore di durata del carico k<sub>1</sub>: 0.4 [-]  
Area totale delle armature presenti nella zona tesa A<sub>s</sub>: 8846.72 [mm²]  
Area efficace tesa di calcestruzzo A<sub>c,eff</sub>: 140311.99 [mm²]  
Rapporto tra l'area di acciaio teso e quella di calcestruzzo teso ρ<sub>eff</sub>: 0,0631  
Resistenza media di trazione del calcestruzzo f<sub>ct,m</sub>: 3.02 [MPa]  
Deformazione unitaria media delle barre ε<sub>sm</sub>: 0.0 [-]  
Diametro equivalente delle barre φ<sub>eq</sub>: 32.00 [mm]  
Spaziatura tra le barre s: 69.39 [mm]  
Spaziatura massima di riferimento s<sub>max,rif</sub>: 575.00 [mm]  
Coefficienti k per il calcolo dell'ampiezza di fessurazione  
k<sub>1</sub>: 0.80  
k<sub>2</sub>: 0.50  
k<sub>3</sub>: 3.40  
k<sub>4</sub>: 0.425  
Distanza media tra le fessure Δ<sub>sm</sub>: 248.75 [mm]  
Ampiezza limite delle fessure w<sub>k,lim</sub>: 0.20 [mm]  
Ampiezza delle fessure (di calcolo) w<sub>k</sub>: 0,172 [mm]

Risulta quindi:

$w_k = 0.172 \text{ mm} < w_{lim} = 0.2 \text{ mm.}$

## 7.2 PILE 1 - 2 - 3 - 4

### 7.2.1 Geometria dell'opera e modello geotecnico

Nelle tabelle a seguire sono descritte sinteticamente le caratteristiche della palificata, la stratigrafia di progetto ed il modello geotecnico di calcolo utilizzati per le verifiche.

Tabella 21 \_ V01 – Pile 1 ÷ 4: caratteristiche palificata.

V01	Numero di pali	Diametro pali	Lunghezza pali
	[-]	[m]	[m]
PILE 1 ÷ 4	6	1.2	25

Tabella 22 \_ V01 – Pile 1 ÷ 4: modello geotecnico di calcolo.

V01	z	Unità	$\gamma$	$\phi'$	$c'$	$c_u$	$E'$
PILE 1 ÷ 4	[m da t.p.]	geotecnica	[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[kPa]	[kPa]	[Mpa]
	0 ÷ 5	All	18.5	38	0	-	30
	5 ÷ 15	Bis-1	20	-	-	200	200
	15 ÷ 25	Bis-2	22	40	0	-	400

La quota della falda è stata assunta alla profondità di 0 m da testa palo.

### 7.2.2 Azioni di calcolo

Nella tabella a seguire sono riportati i valori delle azioni di progetto determinati in testa ai singoli pali, nelle diverse combinazioni (SLE, SLU ed SLV), a partire dalle azioni globali ottenute dal calcolo strutturale. Nello specifico, per ogni combinazione sono riportati i valori massimi e minimi dei carichi assiali ( $N_{max}$ ,  $N_{min}$ ) e trasversali ( $T_{max}$ ); per le azioni assiali, N, sono positivi i valori di compressione, mentre i valori negativi indicano azioni di trazione.

Tabella 23 \_ V01 – Pile 1 ÷ 4: Azioni di calcolo.

PIL E	SLE RARA			SLE FREQUENTE			SLE QUASI PERMANENTE			SLU STR				SLV			
	Nma x [kN]	Nmi n [kN]	Tmax x [kN]	Nma x [kN]	Nmi n [kN]	Tmax x [kN]	Nma x [kN]	Nmi n [kN]	Tmax x [kN]	Nme d [kN]	Nma x [kN]	Nmi n [kN]	Tmax x [kN]	Nme d [kN]	Nma x [kN]	Nmi n [kN]	Tmax x [kN]
-																	
1	3988	1657	92	3180	2090	46	2684	2117	40	4041	5279	1168	154	2512	4748	-66	346
2	4190	1497	112	3303	2292	27	2781	2329	24	4287	5737	993	168	2659	6028	-968	396
3	4115	1547	117	3160	2398	10	2643	2419	9	4258	5634	1075	176	2662	6056	-981	387
4	4118	1545	117	3163	2396	10	2645	2430	9	4258	5639	1069	176	2667	6130	-1003	385

### 7.2.3 Verifiche geotecniche SLU/SLV nei confronti dei carichi assiali

Nelle tabelle seguenti si riportano le azioni di progetto SLU/SLV e la sintesi delle verifiche.

Tabella 24 \_ V01 – Pile 1 ÷ 4: Azioni di calcolo SLU/SLV.

PILE	SLU STR				SLV			
	Nmed [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmed [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]
1	4041	5279	1168	154	2512	4748	-66	346
2	4287	5737	993	168	2659	6028	-968	396
3	4258	5634	1075	176	2662	6056	-981	387
4	4258	5639	1069	176	2667	6130	-1003	385

Tabella 25 \_ V01 – Pile 1 ÷ 4: Sintesi delle verifiche nei confronti dei carichi assiali (SLU/SLV).

Opera: V01	Azioni assiali							Resistenza e verifica del palo singolo						Resistenza e verifica del palo in gruppo	
	N <sub>max</sub>	N <sub>med</sub>	N <sub>max, traz</sub>	W <sub>p</sub>	F <sub>d</sub>	F <sub>d, traz</sub>	F <sub>d, med</sub>	R <sub>L, cal</sub>	R <sub>B, cal</sub>	R <sub>c, d</sub>	R <sub>t, d</sub>	R <sub>c, d</sub> / F <sub>d</sub>	R <sub>t, d</sub> / F <sub>d, traz</sub>	R' <sub>d</sub> = η R <sub>c, d</sub>	R' <sub>d</sub> / F <sub>d, med</sub>
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[-]	[-]	[kN]	[-]
<b>PILE 1 ÷ 4</b>	6130	4287	-1003	707	6837	-296	5206	5998	11310	7996	2823	1.17	9.5	5597	1.08

### 7.2.4 Verifiche geotecniche SLU/SLV nei confronti dei carichi trasversali

Nella tabella a seguire vengono riportate le azioni di progetto SLU/SLV:

Tabella 26 \_ V01 – Pile 1 ÷ 4: Azioni di calcolo SLU/SLV.

PILE	SLU STR		SLV	
	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]
1	1168	154	-66	346
2	993	168	-968	396
3	1075	176	-981	387
4	1069	176	-1003	385

La verifica è stata condotta nei confronti del valore massimo della sollecitazione trasversale,  $F_{T,d} = T_{max}$ . Nella tabella a seguire si riporta una sintesi delle verifiche effettuate.

Tabella 27 \_ V01 – Pile 1 ÷ 4: Sintesi verifica geotecnica nei confronti delle azioni trasversali (SLU/SLV).

Opera: V01	Azione trasversale	Verifica				
		F <sub>T, d</sub>	Armatura longitudinale	My	R <sub>T, cal</sub>	R <sub>T, d</sub>
	[kN]	[-]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kN]
<b>PILE 1÷4</b>	396	30 φ 26	2367	1479	669	1.69

### 7.2.5 Verifiche geotecniche SLE – valutazione cedimenti

Nella tabella seguente sono riportati i risultati dei calcoli dei cedimenti dei pali, considerati come isolati e con riferimento alla palificata, sollecitati a carico assiale in condizioni SLE.

In tabella,  $N_{med,max}$  rappresenta il valore massimo dell'azione assiale media in testa ai pali, determinato in condizioni di esercizio. Con riferimento a tale valore, sono stati determinati i corrispondenti valori del cedimento del singolo palo,  $w_i$ , e del gruppo di pali,  $w_g$ .

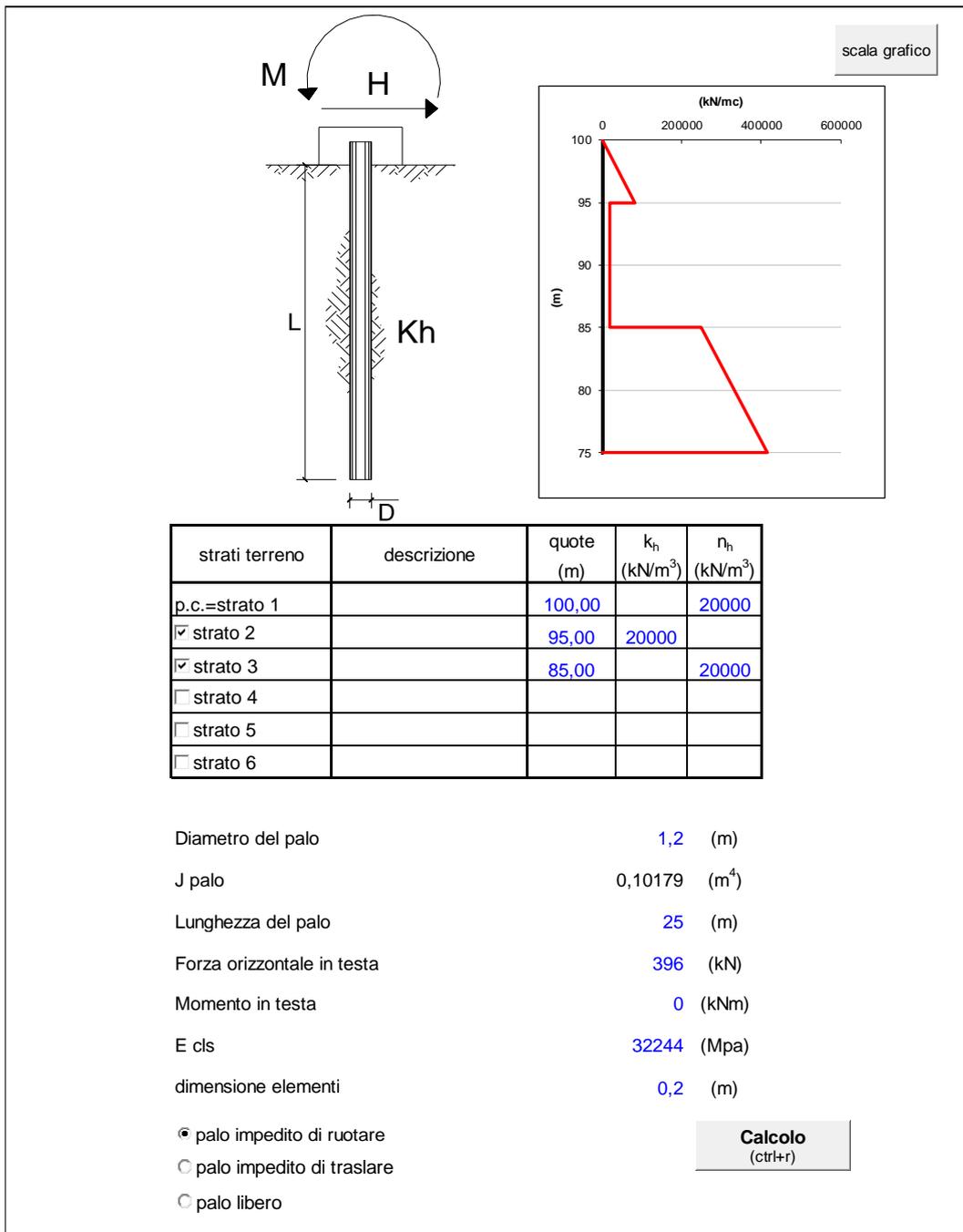
Tabella 28 \_ V01 – Pile P1 ÷ P4: Sintesi calcolo dei cedimenti (SLE)

Opera: V01	Geometria palificata					Azioni assiali e cedimenti del singolo palo e della palificata		
	np	D	L	R	Rg	$N_{max}$	$w_{i,max}$	$w_{g,max}$
Fondazioni	[-]	[m]	[m]	[-]	[-]	[kN]	[mm]	[mm]
<b>PILE 1 ÷ 4</b>	6	1.20	25	0.93	0.69	3176	1.37	5.65

### 7.2.6 Verifiche strutturali dei pali SLU/SLV

Nel caso di pali, soggetti a carichi orizzontali, il terreno viene simulato come mezzo alla Winkler, modellato quindi come un letto di molle di rigidezza  $k_h$  variabili in funzione delle diverse unità geotecniche e i cui valori sono riportati nel paragrafo 5.3.

A seguire si riporta l'andamento del taglio e del momento sollecitante lungo l'intero palo, determinati per un valore di progetto dell'azione orizzontale  $F_{T,d} = 396$  kN.



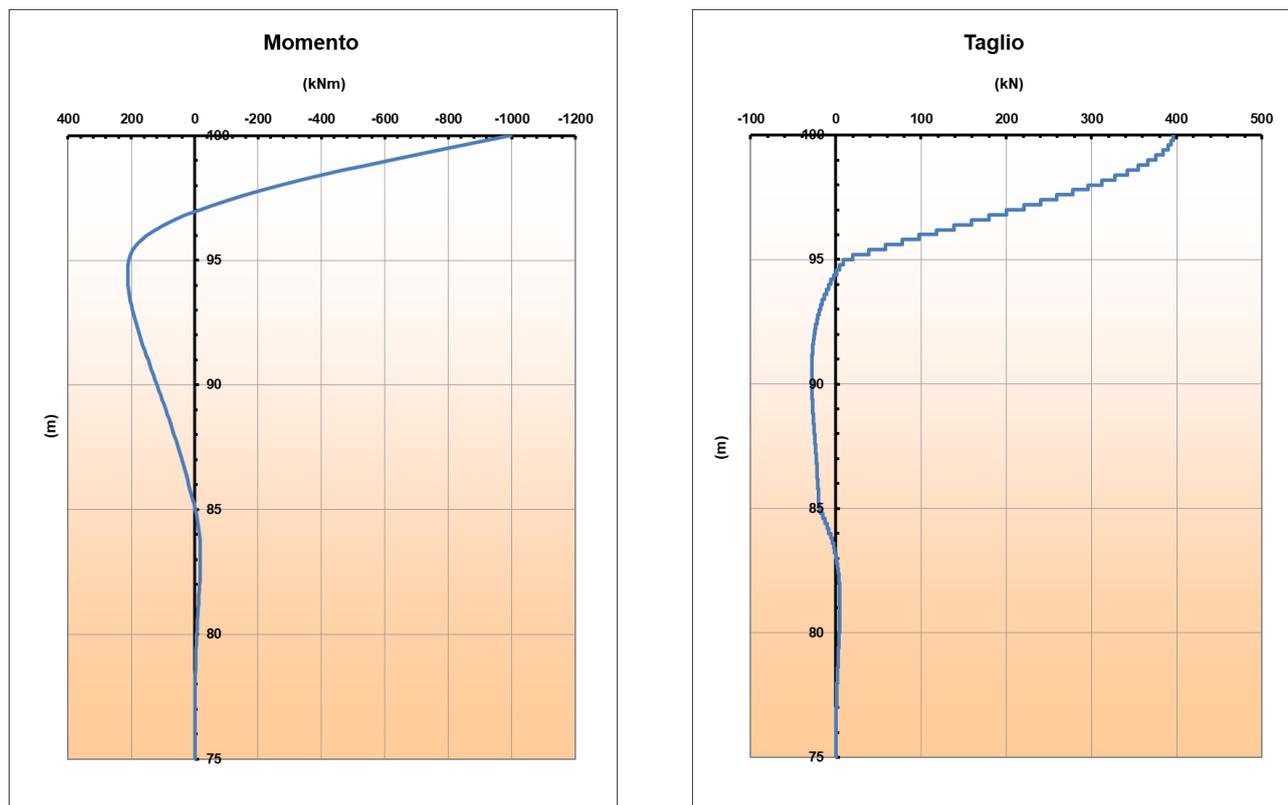


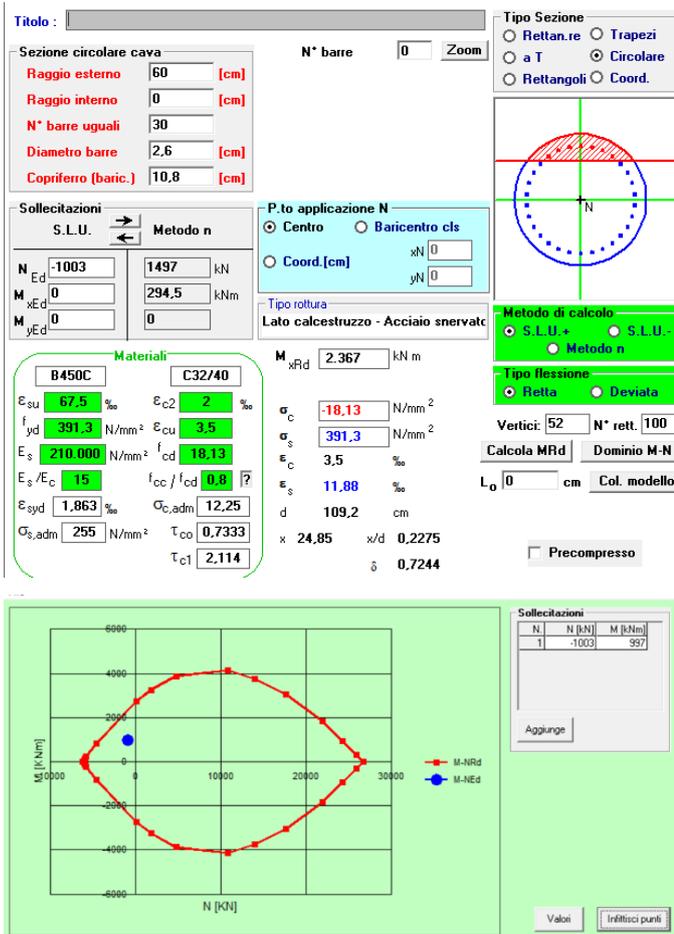
Figura 13 – Andamento del momento e del taglio lungo il palo.

Nella tabella che segue si riportano i valori delle sollecitazioni massime agenti (momento flettente  $M_{Ed}$  e taglio  $T_{Ed}$ ) e delle azioni resistenti (momento  $M_{Rd}$  e taglio  $T_{Rd}$  resistenti), determinati per le corrispondenti armature di verifica, longitudinale e trasversale.

Tabella 29 \_ V01 – Pile 1 ÷ 4: armatura longitudinale e valori di progetto di sollecitazioni e resistenze (M e T).

SLU/SLV			
$M_{Ed}$ (kNm)	$M_{Rd}$ (kNm)	FS	Armatura longitudinale
997	2367	2.4	30 Ø 26
$T_{Ed}$ (kN)	$T_{Rd}$ (kN)	FS	Armatura trasversale
396	842	2.1	Ø 10/15 (2 bracci)

In tutti i casi risulta  $M_{Rd} > M_{Ed}$  e  $T_{Rd} > T_{Ed}$ , dunque le verifiche risultano soddisfatte.



Verifica a taglio per sezioni circolari armate a taglio		
	C32/40	Classe di resistenza
$R_{ck}$	40	Mpa
$f_{ck}$	32	Mpa
$f_{cd}$	18,13	Mpa
$\alpha_{cc}$	0,85	-
$\gamma_c$	1,5	-
$\Phi$	1200	mm
A	1130973	mm <sup>2</sup>
c	108	mm
$A_{eq}$	923499	mm <sup>2</sup>
d	913	mm
$b_w$	1011	mm
$h_{eq}$	1118,38	mm
N	-1003000	N
$\sigma_{cp}$	-0,887	N/mm <sup>2</sup>
$\alpha_{cp}$	0,95	
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$	391	N/mm <sup>2</sup>
$\phi_w$	10	mm
$A_{\phi_w}$	79	mm <sup>2</sup>
z	822	mm
$s_w$	150	mm
n° bracci	2	
$\theta$	21,8	°
$\cot(\theta)$	2,50	
$\alpha$	90	°
$\cot(\alpha)$	0,00	
$A_{sw} / s_w$	1,047	mm <sup>2</sup> /mm
$V_{Rsd}$	842	kN
$V_{Rcd}$	2471	kN
		Taglio resistente per "taglio trazione"
		Taglio resistente per "taglio compressione"

Figura 14 – Calcolo momento e taglio resistenti,  $M_{rd}$  e  $T_{rd}$ .

### 7.2.7 Verifiche strutturali dei pali SLE / fessurazione

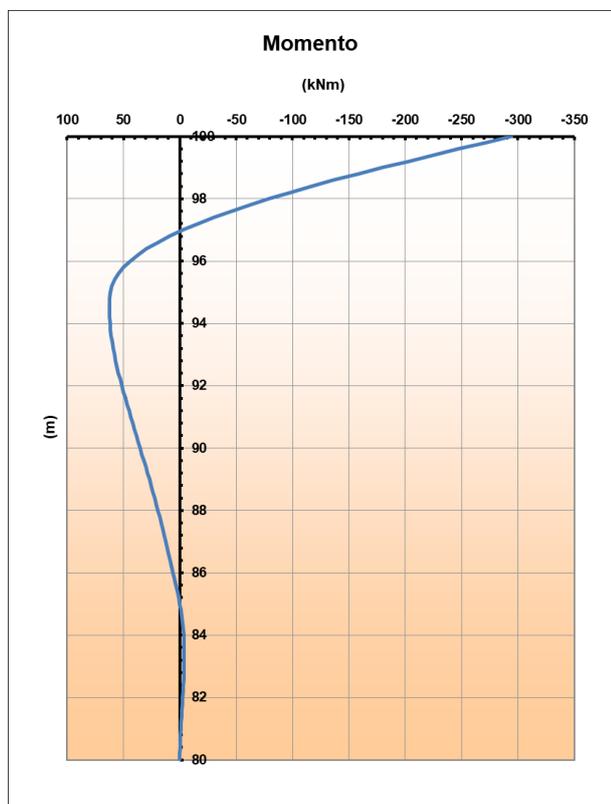
Analogamente a quanto fatto per le verifiche strutturali dei pali SLU/SLV, si è proceduto a valutare l'andamento del momento sollecitante lungo il palo a partire dalle sollecitazioni agenti in testa, nelle diverse combinazioni di calcolo SLE, riportate in tabella seguente.

Tabella 30 \_ V01 – Pile 1 ÷ 4: Azioni di calcolo SLE.

PILE	SLE RARA			SLE FREQUENTE			SLE QUASI PERMANENTE		
	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]
1	3988	1657	92	3180	<b>2090</b>	<b>46</b>	2684	<b>2117</b>	<b>40</b>
2	4190	<b>1497</b>	112	3303	2292	27	2781	2329	24
3	4115	1547	117	3160	2398	10	2643	2419	9
4	4118	1545	<b>117</b>	3163	2396	10	2645	2430	9

Nelle figure a seguire si riportano gli andamenti del momento sollecitante per le combinazioni caratteristiche/rara – frequente - quasi permanente.

Combinazione caratteristica/rara



Combinazione frequente

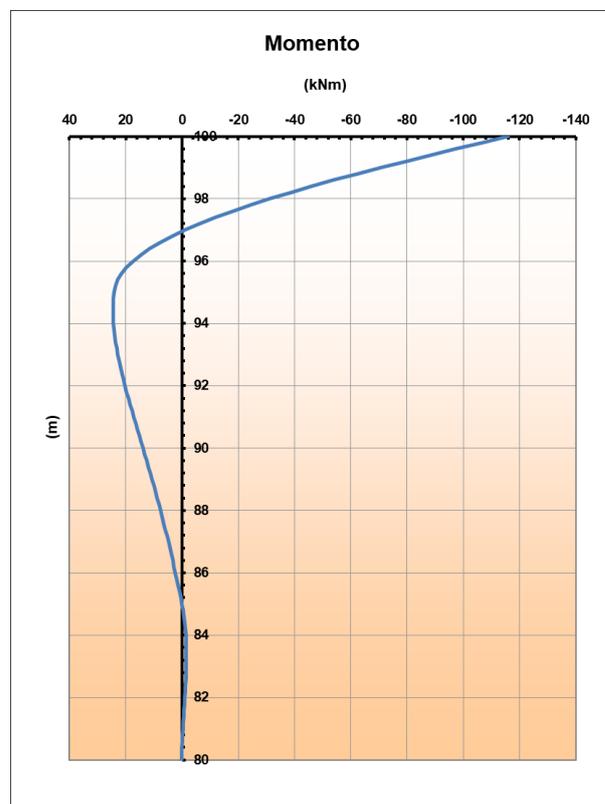
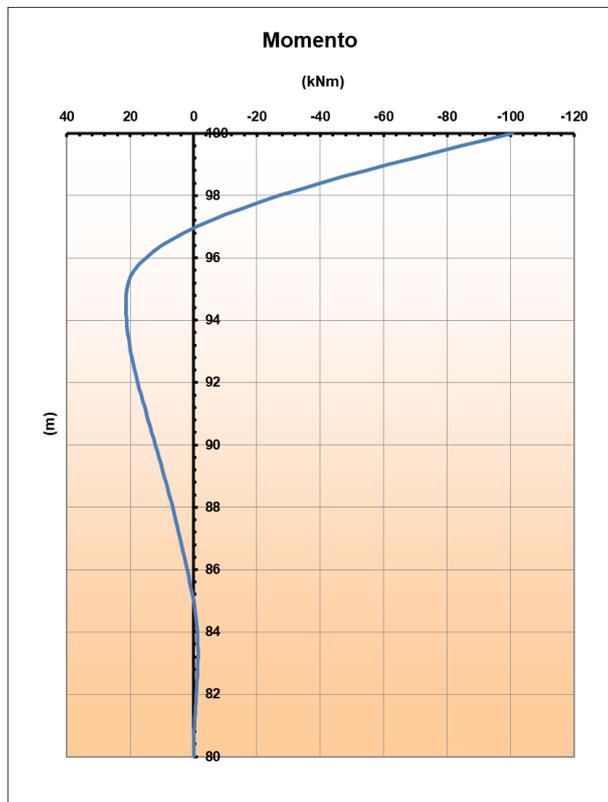


Figura 15 – Andamento momento lungo il palo, in condizioni SLE quasi rara (sx) e frequente (dx).

Combinazione quasi permanente



- *Figura 16 – Andamento momento lungo il palo, in condizioni SLE quasi permanenti.*

Per ogni combinazione SLE, si riportano di seguito le sollecitazioni massime agenti, le tensioni nell'acciaio e nel cls e, laddove previsto, il valore massimo di apertura delle fessure (le verifiche sono state condotte assumendo  $N = N_{\min}$ ).

• **Verifica fessurazione SLE- caratteristica/rara**

Titolo : \_\_\_\_\_

Sezione circolare cava

Raggio esterno 60 [cm]  
Raggio interno 0 [cm]  
N° barre uguali 30  
Diametro barre 2,6 [cm]  
Copriferro (baric.) 10,8 [cm]

N° barre 0 Zoom

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni  
S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> -1003 1497 kN  
M<sub>xEd</sub> 0 294,5 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Materiali  
B450C C32/40

ε<sub>su</sub> 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 391,3 N/mm<sup>2</sup> ε<sub>cu</sub> 3,5 ‰  
E<sub>s</sub> 210.000 N/mm<sup>2</sup> f<sub>cd</sub> 18,13  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0,8 [?]  
ε<sub>syd</sub> 1,863 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 12,25  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub> 0,7333  
τ<sub>c1</sub> 2,114

σ<sub>c</sub> -2,465 N/mm<sup>2</sup>  
σ<sub>s</sub> 0,5615 N/mm<sup>2</sup>  
ε<sub>s</sub> 0,002674 ‰  
d 109,2 cm  
x 107,6 w/d 0,985  
δ 1

Vertici: 52  
Verifica  
N° iterazioni: 2  
 Precompresso

SLE - caratteristica/rara			
M <sub>Ed</sub> (kNm)	σ <sub>s</sub> (MPa)	σ <sub>c</sub> (MPa)	Armatura longitudinale
294.5	0.56	2.465	30 Ø 26

Risulta quindi:

$\sigma_c < \sigma_{c,max} = 0.60f_{ck} = 19.2 \text{ MPa}$  e  $\sigma_s < \sigma_{s,max} = 0,80f_{yk} = 360 \text{ MPa}$ .

La sezione è compressa, quindi la verifica a fessurazione risulta automaticamente soddisfatta.

• **Verifica fessurazione SLE- frequente**

Titolo : \_\_\_\_\_

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 60 [cm]  
Raggio interno: 0 [cm]  
N° barre uguali: 30  
Diametro barre: 2,6 [cm]  
Copriferro (baric.): 10,8 [cm]

N° barre: 0 Zoom

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni  
S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 2090 kN  
M<sub>xEd</sub>: 0 115,8 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0 0

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord [cm] xN: 0 yN: 0

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Materiali

B450C C32/40

E<sub>su</sub>: 67,5 ‰ E<sub>c2</sub>: 2 ‰  
f<sub>yd</sub>: 391,3 N/mm<sup>2</sup> E<sub>cu</sub>: 3,5 ‰  
E<sub>s</sub>: 210.000 N/mm<sup>2</sup> f<sub>cd</sub>: 18,13  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0,8 [?]  
E<sub>syd</sub>: 1,863 ‰ σ<sub>c,adm</sub>: 12,25  
σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub>: 0,7333  
τ<sub>c1</sub>: 2,114

σ<sub>c</sub>: -2,062 N/mm<sup>2</sup>  
ε<sub>s</sub>: -0,07794 ‰

Vertici: 52  
Verifica  
N° iterazioni: 0

Precompresso

SLE - frequente			
M <sub>Ed</sub> (kNm)	σ <sub>s</sub> (MPa)	σ <sub>c</sub> (MPa)	Armatura longitudinale
115.8	-	2.062	30 Ø 26

Risulta quindi:

$$\sigma_c < \sigma_{c,max} = 0.60f_{ck} = 19.2 \text{ MPa} \text{ e } \sigma_s < \sigma_{s,max} = 0,80f_{yk} = 360 \text{ MPa}$$

La sezione è compressa, quindi la verifica a fessurazione risulta automaticamente soddisfatta.

• **Verifica fessurazione SLE- quasi permanente**

Titolo : \_\_\_\_\_

Sezione circolare cava

Raggio esterno 60 [cm]  
Raggio interno 0 [cm]  
N° barre uguali 30  
Diametro barre 2,6 [cm]  
Copriferro (baric.) 10,8 [cm]

N° barre 0 Zoom

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni  
S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> -1003 2090 kN  
M<sub>xEd</sub> 0 100,69 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Materiali

B450C		C32/40	
$\epsilon_{su}$	67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$	2 ‰
$f_{yd}$	391,3 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$	3,5 ‰
$E_s$	210.000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$	18,13
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_{cd}$	0,8
$\epsilon_{syd}$	1,863 ‰	$\sigma_{c,adm}$	12,25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$	0,7333
		$\tau_{c1}$	2,114

$\sigma_c$  -1,993 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_s$  -0,08202 ‰

Vertici: 52  
Verifica  
N° iterazioni: 0  
 Precompresso

SLE – quasi permanente			
M <sub>Ed</sub> (kNm)	$\sigma_s$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	Armatura longitudinale
100,7	-	1,993	30 Ø 26

Risulta quindi:

$\sigma_c < \sigma_{c,max} = 0,45f_{ck} = 14,4$  MPa e  $\sigma_s < \sigma_{s,max} = 0,80f_{yk} = 360$  MPa.

La sezione è compressa, quindi la verifica a fessurazione risulta automaticamente soddisfatta.

### 7.3 PILE 5 - 6 - 7

#### 7.3.1 Geometria dell'opera e modello geotecnico

Nelle tabelle a seguire sono descritte sinteticamente le caratteristiche della palificata ed il modello geotecnico di calcolo utilizzato per le verifiche.

Per l'unità BIS2, considerando la preenza della faglia, è stato assunto cautaletivamente un valore dell'angolo di atrito  $\phi' = 35^\circ$ , inferiore a quello caratteristico assunto per i tratti fuori faglia.

Tabella 31 \_ V01 – Pile 5 ÷ 7: caratteristiche palificata.

V01	Numero di pali	Diametro pali	Lunghezza pali
	[-]	[m]	[m]
PILE 5 e 6	6	1.2	30
PILA 7	9	1.2	30

Tabella 32 \_ V01 – Pile 5 ÷ 7: modello geotecnico di calcolo.

V01	z	Unità	$\gamma$	$\phi'$	c'	$c_u$	E'
PILE 5 ÷ 7	[m da t.p.]	geotecnica	[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[kPa]	[kPa]	[Mpa]
	0 ÷ 2	All	18.5	38	0	-	30
	2 ÷ 13	Bis-1	20	-	-	200	200
	13 ÷ 30	Bis-2*	22	35	0	-	400

La quota della falda è stata assunta alla profondità di 0 m da testa palo.

#### 7.3.2 Azioni di calcolo

Nella tabella a seguire sono riportati i valori delle azioni di progetto determinati in testa ai singoli pali, nelle diverse combinazioni (SLE, SLU ed SLV), a partire dalle azioni globali ottenute dal calcolo strutturale. Nello specifico, per ogni combinazione sono riportati i valori massimi e minimi dei carichi assiali ( $N_{max}$ ,  $N_{min}$ ) e trasversali ( $T_{max}$ ); per le azioni assiali, N, sono positivi i valori di compressione, mentre i valori negativi indicano azioni di trazione.

Tabella 33 \_ V01 – Pile 5 ÷ 7: Azioni di calcolo.

PILE	SLE RARA			SLE FREQUENTE			SLE QUASI PERMANENTE			SLU STR				SLV			
	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmed [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmed [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]
-																	
5	4196	1490	113	3307	2290	28	2784	2328	24	4287	5745	983	169	2676	6235	-1012	404
6	4221	1366	106	3434	2111	45	2943	2161	39	4245	5774	834	157	2726	7162	-1931	456
7	2677	1214	66	2172	1720	1	1861	1774	1	2938	3703	911	99	1939	4249	-644	351

### 7.3.3 Verifiche geotecniche SLU/SLV nei confronti dei carichi assiali

Nelle tabelle seguenti sono riportate una sintesi delle azioni di progetto SLU/SLV e delle verifiche effettuate.

Tabella 34 \_ V01 – Pile 5 ÷ 7: Azioni di calcolo SLU/SLV.

PILE	SLU STR				SLV			
	Nmed [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmed [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]
5	4287	5745	983	169	2676	6235	-1012	404
6	4245	5774	834	157	2726	7162	-1931	456
7	2938	3703	911	99	1939	4249	-644	351

Tabella 35 \_ V01 – Pile 5 ÷ 7: Sintesi delle verifiche nei confronti dei carichi assiali (SLU/SLV).

Opera: V01	Azioni assiali							Resistenza e verifica del palo singolo						Resistenza e verifica del palo in gruppo	
	N <sub>max</sub>	N <sub>med</sub>	N <sub>max, traz</sub>	W <sub>p</sub>	F <sub>d</sub>	F <sub>d, traz</sub>	F <sub>d, med</sub>	R <sub>L, cal</sub>	R <sub>B, cal</sub>	R <sub>c, d</sub>	R <sub>t, d</sub>	R <sub>c, d</sub> / F <sub>d</sub>	R <sub>t, d</sub> / F <sub>d, traz</sub>	R' <sub>d</sub> = η R <sub>c, d</sub>	R' <sub>d</sub> / F <sub>d, med</sub>
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[-]	[-]	[kN]	[-]
<b>PILE 5 ÷ 7</b>	7162	4287	-1931	848	8011	-1083	5390	8066	10484	8694	3796	1.1	3.5	6086	1.13

### 7.3.4 Verifiche geotecniche SLU/SLV nei confronti dei carichi trasversali

Nella tabella a seguire vengono riportate le azioni di progetto determinati SLU/SLV.

Tabella 36 \_ V01 – Pile 5 ÷ 7: Azioni di calcolo SLU/SLV.

PILE	SLU STR		SLV	
	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]
1	983	169	-1012	404
2	834	157	-1931	456
3	911	99	-644	351

La verifica è stata condotta nei confronti del valore massimo della sollecitazione trasversale,  $F_{T,d} = T_{max}$ . Nella tabella a seguire si riporta una sintesi delle verifiche effettuate.

Tabella 37 \_ V01 – Pile 5÷7: Sintesi verifica geotecnica nei confronti delle azioni trasversali (SLU/SLV)

Opera: VI01	Azione trasversale	Verifica				
	F <sub>T,d</sub>	Armatura longitudinale	My	R <sub>T, cal</sub>	R <sub>T, d</sub>	R <sub>T, d</sub> /F <sub>T, d</sub>
	[kN]	[-]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kN]
<b>Pile 5 ÷ 7</b>	456	30 φ 26	2003	1802	815	1.8

### 7.3.5 Verifiche geotecniche SLE – valutazione cedimenti

Nella tabella seguente sono riportati i risultati dei calcoli dei cedimenti dei pali, considerati come isolati e con riferimento alla palificata, sollecitati a carico assiale in condizioni SLE.

In tabella,  $N_{med,max}$  rappresenta il valore massimo dell'azione assiale media in testa ai pali, determinato in condizioni di esercizio. Con riferimento a tale valore, sono stati determinati i corrispondenti valori del cedimento del singolo palo,  $w_i$ , e del gruppo di pali,  $w_g$ .

Tabella 38 \_ V01 – Pile P5 e P6: Sintesi calcolo dei cedimenti (SLE)

Opera: V01	Geometria palificata					Azioni assiali e cedimenti del singolo palo e della palificata		
	np	D	L	R	Rg	$N_{max}$	$w_{i,max}$	$w_{g,max}$
Fondazioni	[-]	[m]	[m]	[-]	[-]	[kN]	[mm]	[mm]
<b>PILE 5 e 6</b>	6	1.20	30	0.85	0.77	3177	1.06	4.89

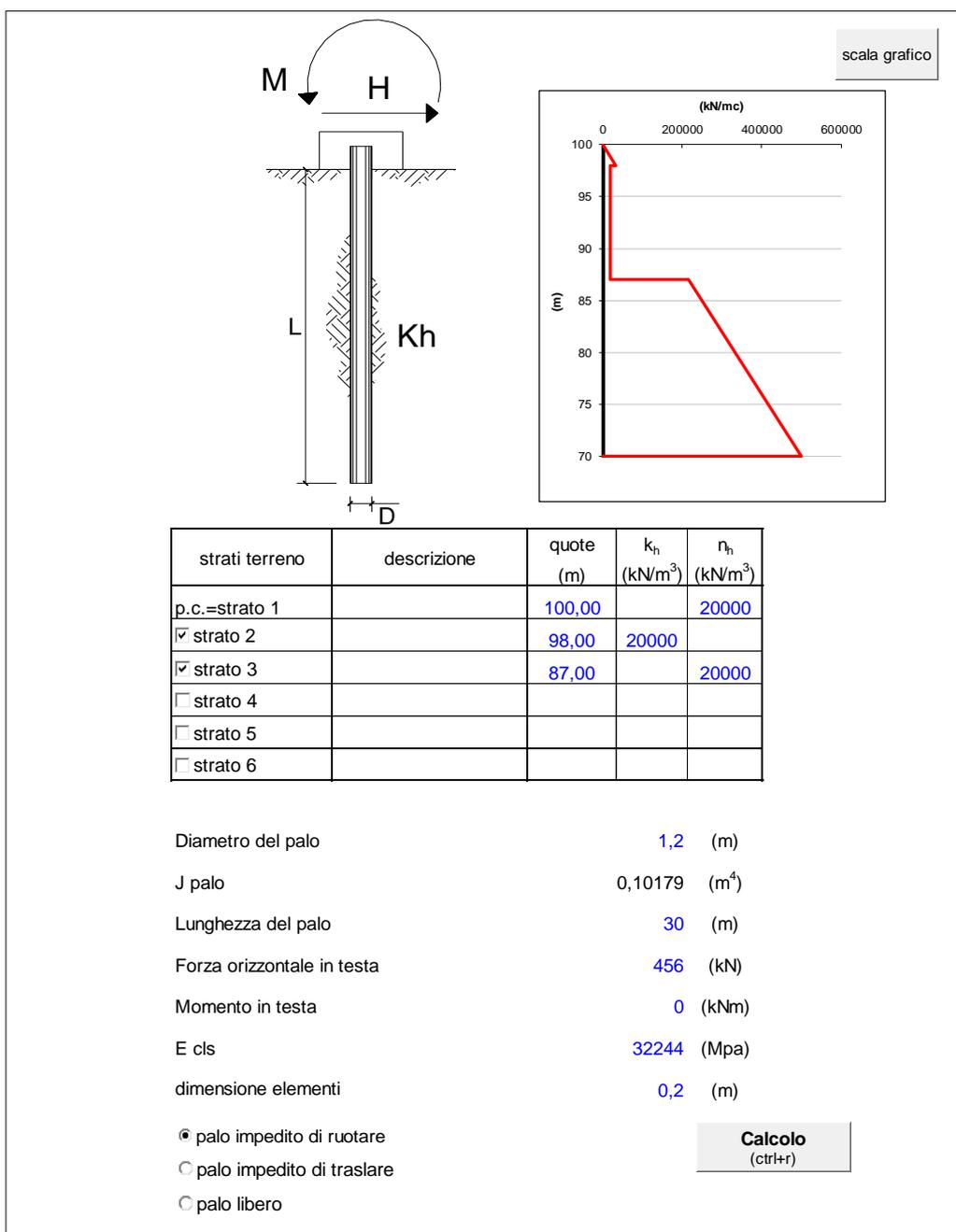
Tabella 39 \_ V01 – Pila P7: Sintesi calcolo dei cedimenti (SLE)

Opera: V01	Geometria palificata					Azioni assiali e cedimenti del singolo palo e della palificata		
	np	D	L	R	Rg	$N_{max}$	$w_{i,max}$	$w_{g,max}$
Fondazioni	[-]	[m]	[m]	[-]	[-]	[kN]	[mm]	[mm]
<b>PILA 7</b>	9	1.20	30	1.04	0.60	3177	1.06	5.74

### 7.3.6 Verifiche strutturali dei pali SLU/SLV

Nel caso di pali, soggetti a carichi orizzontali, il terreno viene simulato come mezzo alla Winkler, modellato quindi come un letto di molle di rigidezza  $k_h$  variabili in funzione delle diverse unità geotecniche e i cui valori sono riportati nel paragrafo 5.3.

A seguire si riporta l'andamento del taglio e del momento sollecitante lungo l'intero palo, determinati per un valore di progetto dell'azione orizzontale  $F_{T,d} = 456$  kN.



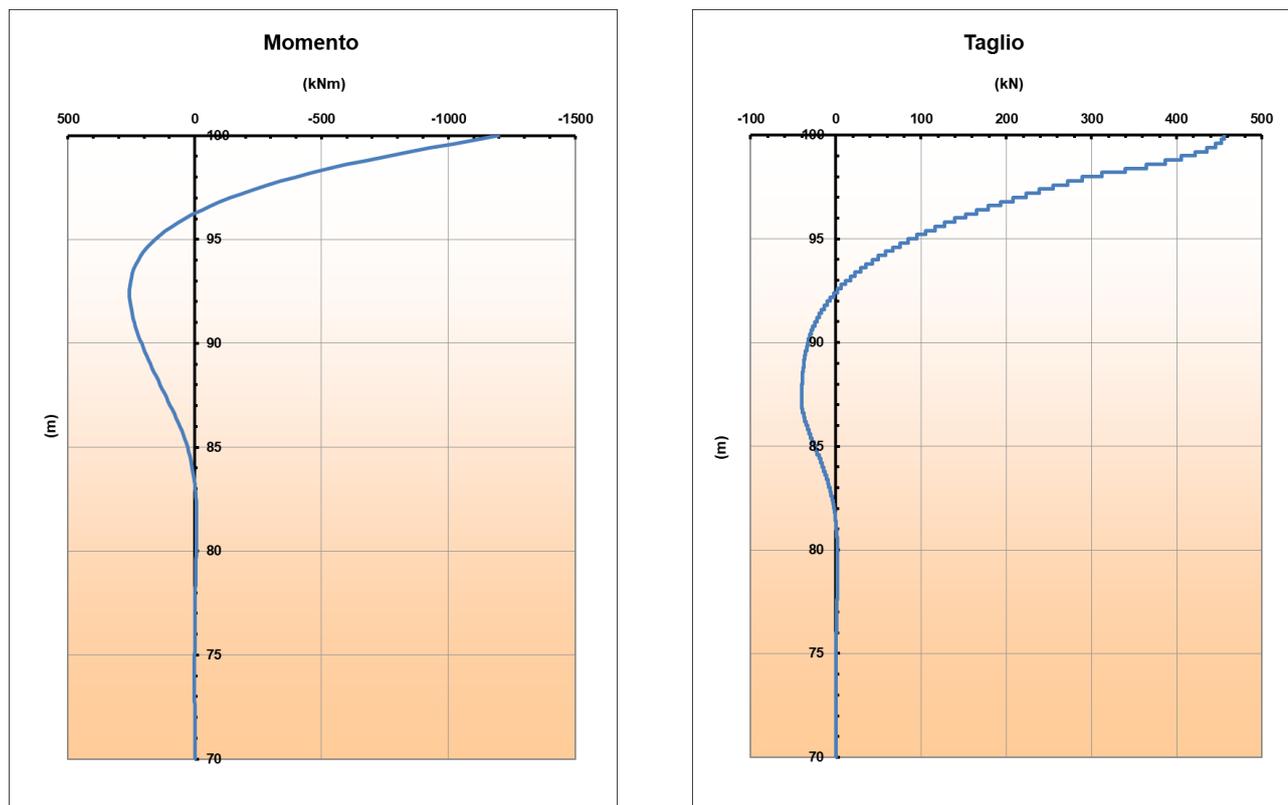


Figura 17 – Andamento del momento e del taglio lungo il palo.

Nella tabella che segue si riportano i valori delle sollecitazioni massime agenti (momento flettente  $M_{Ed}$  e taglio  $T_{Ed}$ ) e delle azioni resistenti (momento  $M_{Rd}$  e taglio  $T_{Rd}$  resistenti), determinati per le corrispondenti armature di verifica, longitudinale e trasversale.

Tabella 40 \_ V01 – Pile 5 ÷ 7: armatura longitudinale e valori di progetto di sollecitazioni e resistenze (M e T).

SLU/SLV			
$M_{Ed}$ (kNm)	$M_{Rd}$ (kNm)	FS	Armatura longitudinale
1199	2003	1.7	30 Ø 26
$T_{Ed}$ (kN)	$T_{Rd}$ (kN)	FS	Armatura trasversale
456	842	1.8	Ø 10/15 (2 bracci)

In tutti i casi risulta  $M_{Rd} > M_{Ed}$  e  $T_{Rd} > T_{Ed}$ , dunque le verifiche risultano soddisfatte.

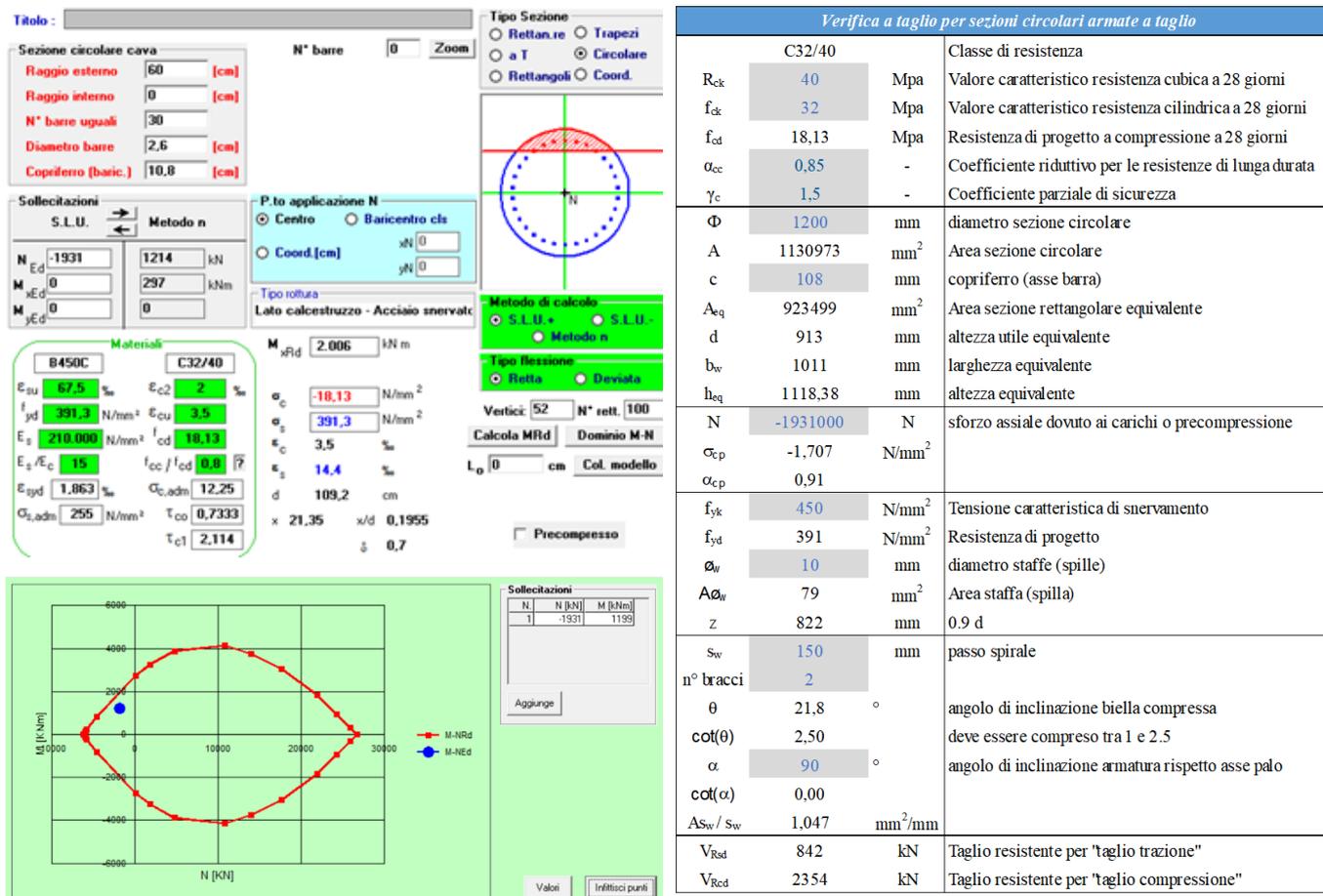


Figura 18 – Calcolo momento e taglio resistenti,  $M_{rd}$  e  $T_{rd}$ .

### 7.3.7 Verifiche strutturali dei pali SLE / fessurazione

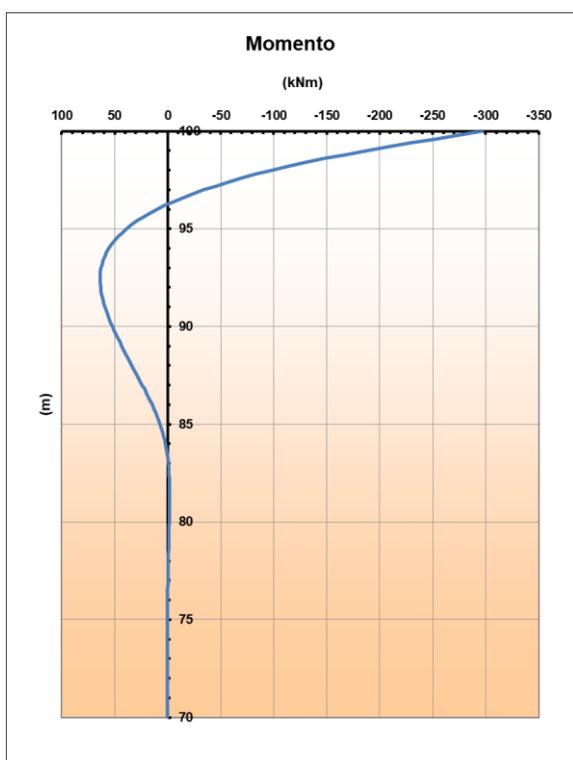
Analogamente a quanto fatto per le verifiche strutturali dei pali SLU/SLV, si è proceduto a valutare l'andamento del momento sollecitante lungo il palo a partire dalle sollecitazioni agenti in testa, nelle diverse combinazioni di calcolo SLE, riportate in tabella seguente.

Tabella 41 \_ V01 – Pile 5 ÷ 7: Azioni di calcolo SLE.

PILE	SLE RARA			SLE FREQUENTE			SLE QUASI PERMANENTE		
	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]
5	4196	1490	113	3307	2290	28	2784	2328	24
6	4221	1366	106	3434	2111	45	2943	2161	39
7	2677	1214	66	2172	1720	1	1861	1774	1

Nelle figure a seguire si riportano gli andamenti del momento sollecitante per le combinazioni caratteristiche/rara – frequente - quasi permanente.

Combinazione caratteristica/rara



Combinazione frequente

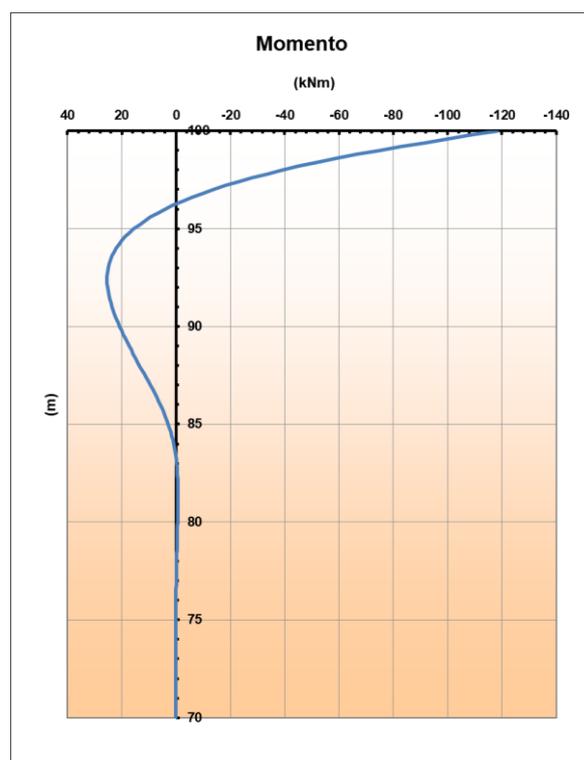


Figura 19 – Andamento momento lungo il palo, in condizioni SLE quasi rara (sx) e frequente (dx).

Combinazione quasi permanente

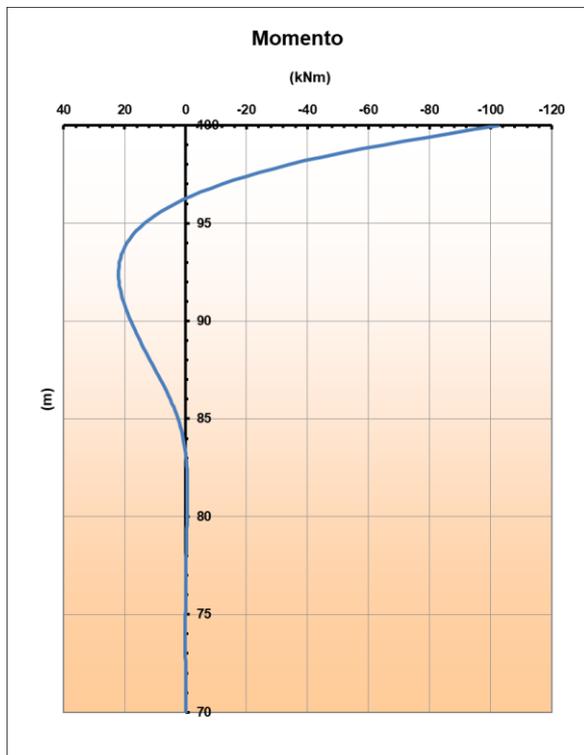


Figura 20 – Andamento momento lungo il palo, in condizioni SLE quasi permanenti.

Per ogni combinazione SLE, si riportano di seguito le sollecitazioni massime agenti, le tensioni nell'acciaio e nel cls e, laddove previsto, il valore massimo di apertura delle fessure (le verifiche sono state condotte assumendo  $N = N_{\min}$ ).

• **Verifica fessurazione SLE- caratteristica/rara**

Titolo : \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 60 [cm]  
Raggio interno: 0 [cm]  
N° barre uguali: 30  
Diametro barre: 2,6 [cm]  
Copriferro (baric.): 10,8 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: -1931 1214 kN  
M<sub>xEd</sub>: 0 297 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0 0

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Materiali**

B450C C32/40

ε<sub>su</sub>: 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub>: 2 ‰  
f<sub>yd</sub>: 391,3 N/mm<sup>2</sup> ε<sub>cu</sub>: 3,5 ‰  
E<sub>s</sub>: 210.000 N/mm<sup>2</sup> f<sub>cd</sub>: 18,13  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0,8  
ε<sub>syd</sub>: 1,863 ‰ σ<sub>c,adm</sub>: 12,25  
σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub>: 0,7333  
τ<sub>c1</sub>: 2,114

σ<sub>c</sub>: -2,321 N/mm<sup>2</sup>  
σ<sub>s</sub>: 5,129 N/mm<sup>2</sup>  
ε<sub>s</sub>: 0,02442 ‰  
d: 109,2 cm  
x: 95,18 x/d: 0,8716  
δ: 1

Vertici: 52  
Verifica  
N° iterazioni: 3  
 Precompresso

SLE - caratteristica/rara			
M <sub>Ed</sub> (kNm)	σ <sub>s</sub> (MPa)	σ <sub>c</sub> (MPa)	Armatura longitudinale
297	5.129	2.321	30 Ø 26

Risulta quindi:

$$\sigma_c < \sigma_{c,max} = 0.60f_{ck} = 19.2 \text{ MPa} \text{ e } \sigma_s < \sigma_{s,max} = 0,80f_{yk} = 360 \text{ MPa}.$$

La sezione è compressa, quindi la verifica a fessurazione risulta automaticamente soddisfatta.

• **Verifica fessurazione SLE- frequente**

Titolo : \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 60 [cm]  
Raggio interno: 0 [cm]  
N° barre uguali: 30  
Diametro barre: 2,6 [cm]  
Copriferro (baric.): 10,8 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipo Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.  Metodo n   
 N<sub>Ed</sub>: 0 1720 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 0 118,3 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0 0

**P.to applicazione N**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Materiali**  
 B450C C32/40  
 ε<sub>su</sub>: 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub>: 2 ‰  
 f<sub>yd</sub>: 391,3 N/mm<sup>2</sup> ε<sub>cu</sub>: 3,5 ‰  
 E<sub>s</sub>: 210.000 N/mm<sup>2</sup> f<sub>cd</sub>: 18,13  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0,8  
 ε<sub>syd</sub>: 1,863 ‰ σ<sub>c,adm</sub>: 12,25  
 σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub>: 0,7333  
 τ<sub>c1</sub>: 2,114

σ<sub>c</sub>: -1,803 N/mm<sup>2</sup>  
 ε<sub>s</sub>: -0,05794 ‰

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Vertici: 52  
 Verifica  
 N° iterazioni: 0  
 Precompresso

SLE - frequente			
M <sub>Ed</sub> (kNm)	σ <sub>s</sub> (MPa)	σ <sub>c</sub> (MPa)	Armatura longitudinale
118.3	-	1.803	30 Ø 26

Risulta quindi:

$$\sigma_c < \sigma_{c,max} = 0.60f_{ck} = 19.2 \text{ MPa} \text{ e } \sigma_s < \sigma_{s,max} = 0,80f_{yk} = 360 \text{ MPa.}$$

La sezione è compressa, quindi la verifica a fessurazione risulta automaticamente soddisfatta.

• **Verifica fessurazione SLE- quasi permanente**

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 60 [cm]  
Raggio interno: 0 [cm]  
N° barre uguali: 30  
Diametro barre: 2,6 [cm]  
Copriferro (baric.): 10,8 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipo Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.  Metodo n   
 N<sub>Ed</sub>: -1931 1774 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 0 102,25 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0 0

**P.to applicazione N**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Materiali**

B450C		C32/40	
ε <sub>su</sub>	67,5 ‰	ε <sub>c2</sub>	2 ‰
f <sub>yd</sub>	391,3 N/mm <sup>2</sup>	ε <sub>cu</sub>	3,5 ‰
E <sub>s</sub>	210.000 N/mm <sup>2</sup>	f <sub>cd</sub>	18,13
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub>	15	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub>	0,8
ε <sub>syd</sub>	1,863 ‰	σ <sub>c,adm</sub>	12,25
σ <sub>s,adm</sub>	255 N/mm <sup>2</sup>	τ <sub>co</sub>	0,7333
		τ <sub>c1</sub>	2,114

σ<sub>c</sub>: -1,769 N/mm<sup>2</sup>  
ε<sub>s</sub>: -0,06509 ‰

Vertici: 52  
Verifica  
N° iterazioni: 0  
 Precompresso

SLE – quasi permanente			
M <sub>Ed</sub> (kNm)	σ <sub>s</sub> (MPa)	σ <sub>c</sub> (MPa)	Armatura longitudinale
102.25	-	1.769	30 Ø 26

Risulta quindi:

$$\sigma_c < \sigma_{c,max} = 0,45f_{ck} = 14,4 \text{ MPa} \text{ e } \sigma_s < \sigma_{s,max} = 0,80f_{yk} = 360 \text{ MPa}.$$

La sezione è compressa, quindi la verifica a fessurazione risulta automaticamente soddisfatta.

## 7.4 PILE 8 - 9 - 10 - 11 - 12 - 13 - 14 - 15 - 16

### 7.4.1 Geometria dell'opera e modello geotecnico

Nelle tabelle a seguire sono descritte sinteticamente le caratteristiche della palificata, la stratigrafia di progetto ed il modello geotecnico di calcolo utilizzati per le verifiche.

Tabella 42 \_ V01 – Pile 1 ÷ 4: caratteristiche palificata.

V01	Numero di pali	Diametro pali	Lunghezza pali
	[-]	[m]	[m]
PILE 8 ÷ 13 e 15 - 16	6	1.2	22
PILA 14	9	1.2	22

Tabella 43 \_ V01 – Pile 1 ÷ 4: modello geotecnico di calcolo.

V01	z	Unità	$\gamma$	$\phi'$	c'	$c_u$	E'
PILE 1 ÷ 4	[m da t.p.]	geotecnica	[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[kPa]	[kPa]	[Mpa]
	0 ÷ 5	All	18.5	38	0	-	30
	5 ÷ 15	Bis-1	20	-	-	200	200
	15 ÷ 22	Bis-2	22	40	0	-	400

La quota della falda è stata assunta alla profondità di 2.5 m da testa palo.

### 7.4.2 Azioni di calcolo

Nella tabella a seguire sono riportati i valori delle azioni di progetto determinati in testa ai singoli pali, nelle diverse combinazioni (SLE, SLU ed SLV), a partire dalle azioni globali ottenute dal calcolo strutturale. Nello specifico, per ogni combinazione sono riportati i valori massimi e minimi dei carichi assiali ( $N_{max}$ ,  $N_{min}$ ) e trasversali ( $T_{max}$ ); per le azioni assiali, N, sono positivi i valori di compressione, mentre i valori negativi indicano azioni di trazione.

Tabella 44 \_ V01 – Pile 8 ÷ 16: Azioni di calcolo.

PILE	SLE RARA			SLE FREQUENTE			SLE QUASI PERMANENTE			SLU STR				SLV			
	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmed [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmed [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]
8	3983	1654	93	3173	2087	46	2677	2116	40	4040	5252	1144	155	2562	4747	-65	361
9	4044	1787	76	3156	2231	28	2631	2272	24	4146	5416	1187	167	2592	4414	454	269
10	3747	1836	70	2929	2214	10	2403	2253	9	3986	5030	1620	105	2465	3719	927	248
11	3776	1835	70	2945	2227	10	2419	2280	9	4005	5071	1612	105	2478	3887	804	253
12	3934	1805	76	3089	2207	28	2563	2248	25	4085	5272	1533	112	2540	4200	693	273
13	3855	1703	92	3084	2083	46	2588	2119	40	3978	5136	1421	136	2520	4359	404	311
14	2286	1181	64	1953	1507	1	1648	1553	1	2635	3148	965	96	1708	2757	417	224
15	3801	1729	91	3030	2053	46	2612	2076	40	3976	5171	1432	133	2451	4204	458	306
16	3815	1801	77	2989	2181	28	2472	2224	24	4032	5207	1618	114	2457	3862	833	257

### 7.4.3 Verifiche geotecniche SLU/SLV nei confronti dei carichi assiali

Nelle tabelle a seguire vengono riportate le azioni di progetto SLU/SLV ed una sintesi delle verifiche effettuate.

Tabella 45 \_ V01 – Pile 8 ÷ 16: Azioni di calcolo SLU/SLV.

PILE	SLU STR			SLV			
	Nmed [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Nmed [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	
8	4040	5252	1144	2562	4747	-65	
9	4146	5416	1187	2592	4414	454	
10	3986	5030	1620	2465	3719	927	
11	4005	5071	1612	2478	3887	804	
12	4085	5272	1533	2540	4200	693	
13	3978	5136	1421	2520	4359	404	
14	2635	3148	965	1708	2757	417	
15	3976	5171	1432	2451	4204	458	
16	4032	5207	1618	2457	3862	833	

Tabella 46 \_ V01 – Pile 8 ÷ 16: Sintesi delle verifiche nei confronti dei carichi assiali (SLU/SLV).

Opera: V01	Azioni assiali							Resistenza e verifica del palo singolo					Resistenza e verifica del palo in gruppo	
	N <sub>max</sub>	N <sub>med</sub>	N <sub>max,traz</sub>	W <sub>p</sub>	F <sub>d</sub>	F <sub>d,traz</sub>	F <sub>d,med</sub>	R <sub>L,cal</sub>	R <sub>B,cal</sub>	R <sub>c,d</sub>	R <sub>t,d</sub>	R <sub>c,d</sub> / F <sub>d</sub>	R' <sub>d</sub> = η R <sub>c,d</sub>	R' <sub>d</sub> / F <sub>d,med</sub>
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[-]	[kN]	[-]
PILE 8 ÷ 16	5416	4146	-65	622	6224	557	4955	5253	11310	7615	2472	1.22	5330	1.1

### 7.4.4 Verifiche geotecniche SLU/SLV nei confronti dei carichi trasversali

Nelle tabelle a seguire vengono riportate le azioni di progetto SLU/SLV.

Tabella 47 \_ V01 – Pile 8 ÷ 16: Azioni di calcolo SLU/SLV.

PILE	SLU STR		SLV	
	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]
8	1144	155	-65	361
9	1187	167	454	269
10	1620	105	927	248
11	1612	105	804	253
12	1533	112	693	273
13	1421	136	404	311
14	965	96	417	224
15	1432	133	458	306
16	1618	114	833	257

La verifica è stata condotta nei confronti del valore massimo della sollecitazione trasversale,  $F_{T,d} = T_{max}$ . Nella tabella a seguire si riporta una sintesi delle verifiche effettuate.

Tabella 48 \_ V01 – Pile 8÷16: Sintesi verifica geotecnica nei confronti delle azioni trasversali (SLU/SLV)

Opera: VI01	Azione trasversale	Verifica				
	$F_{T,d}$	Armatura longitudinale	$M_y$	$R_{T,cal}$	$R_{T,d}$	$R_{T,d}/F_{T,d}$
	[kN]	[-]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kN]
<b>Pile 10÷14</b>	361	30 $\phi$ 26	2702	2074	938	2.6

#### 7.4.5 Verifiche geotecniche SLE – valutazione cedimenti

Nella tabella seguente sono riportati i risultati dei calcoli dei cedimenti dei pali, considerati come isolati e con riferimento alla palificata, sollecitati a carico assiale in condizioni SLE.

In tabella,  $N_{med,max}$  rappresenta il valore massimo dell'azione assiale media in testa ai pali, determinato in condizioni di esercizio. Con riferimento a tale valore, sono stati determinati i corrispondenti valori del cedimento del singolo palo,  $w_i$ , e del gruppo di pali,  $w_g$ .

Tabella 49 \_ V01 – Pile P8 ÷ 13 e P15 e P16: Sintesi calcolo dei cedimenti (SLE)

Opera: V01	Geometria palificata					Azioni assiali e cedimenti del singolo palo e della palificata		
	np	D	L	R	Rg	$N_{max}$	$w_{i,max}$	$w_{g,max}$
Fondazioni	[-]	[m]	[m]	[-]	[-]	[kN]	[mm]	[mm]
<b>PILE 8 ÷ 13 e 15 + 16</b>	6	1.20	22	0.99	0.64	3072	1.49	5.70

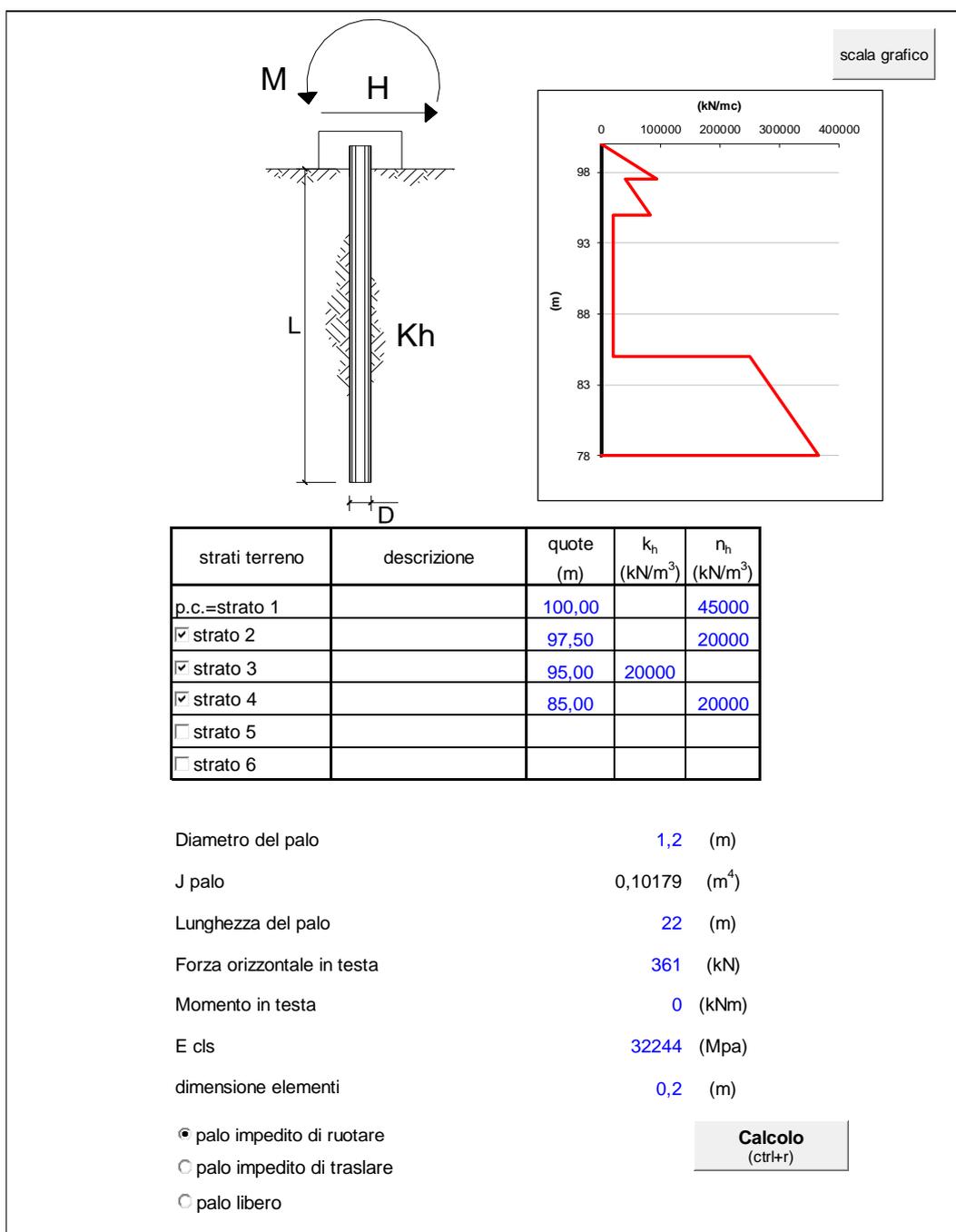
Tabella 50 \_ V01 – Pila P14: Sintesi calcolo dei cedimenti (SLE)

Opera: V01	Geometria palificata					Azioni assiali e cedimenti del singolo palo e della palificata		
	np	D	L	R	Rg	$N_{max}$	$w_{i,max}$	$w_{g,max}$
Fondazioni	[-]	[m]	[m]	[-]	[-]	[kN]	[mm]	[mm]
<b>PILA 14</b>	9	1.20	22	1.21	0.50	3072	1.49	6.72

### 7.4.6 Verifiche strutturali dei pali SLU/SLV

Nel caso di pali, soggetti a carichi orizzontali, il terreno viene simulato come mezzo alla Winkler, modellato quindi come un letto di molle di rigidezza  $k_h$  variabili in funzione delle diverse unità geotecniche e i cui valori sono riportati nel paragrafo 5.3.

A seguire si riporta l'andamento del taglio e del momento sollecitante lungo l'intero palo, determinati per un valore di progetto dell'azione orizzontale  $F_{T,d} = 361$  kN.



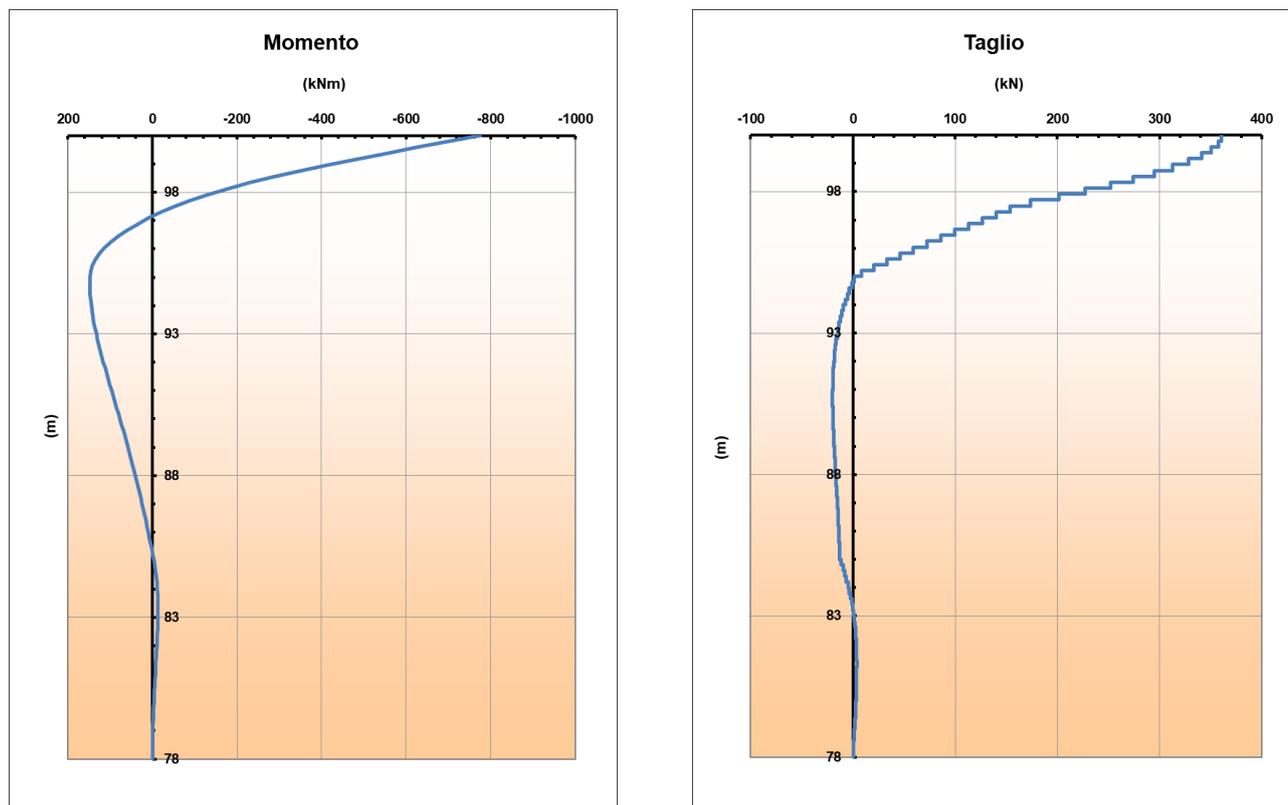


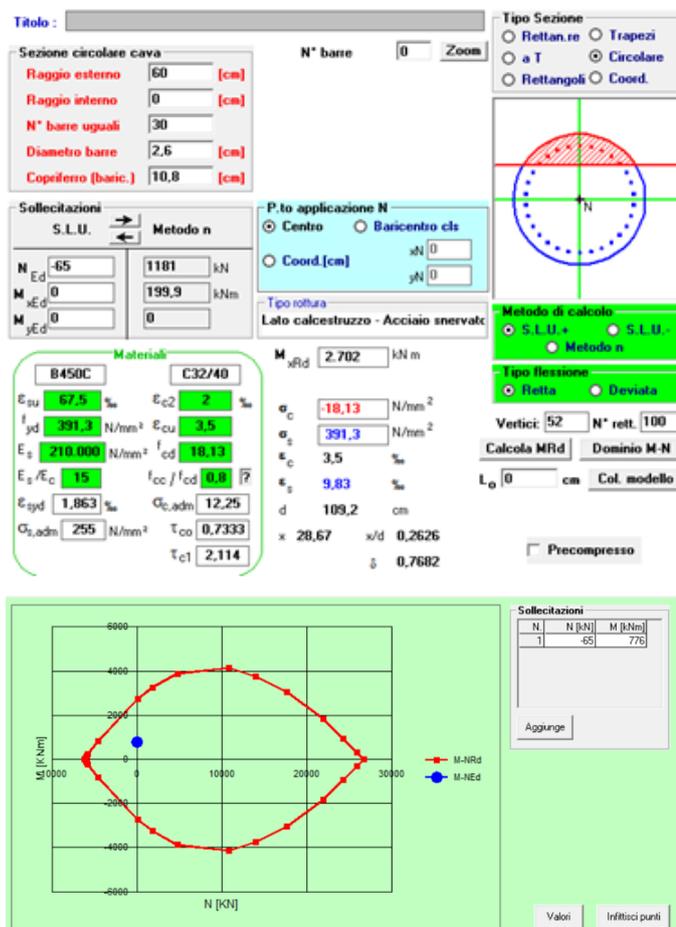
Figura 21 – Andamento del momento e del taglio lungo il palo.

Nella tabella che segue si riportano i valori delle sollecitazioni massime agenti (momento flettente  $M_{Ed}$  e taglio  $T_{Ed}$ ) e delle azioni resistenti (momento  $M_{Rd}$  e taglio  $T_{Rd}$  resistenti), determinati per le corrispondenti armature di verifica, longitudinale e trasversale.

Tabella 51 \_ V01 – Pile 8 ÷ 16: armatura longitudinale e valori di progetto di sollecitazioni e resistenze (M e T).

SLU/SLV			
$M_{Ed}$ (kNm)	$M_{Rd}$ (kNm)	FS	Armatura longitudinale
776	2702	3.5	30 Ø 26
$T_{Ed}$ (kN)	$T_{Rd}$ (kN)	FS	Armatura trasversale
361	842	2.3	Ø 10/15 (2 bracci)

In tutti i casi risulta  $M_{Rd} > M_{Ed}$  e  $T_{Rd} > T_{Ed}$ , dunque le verifiche risultano soddisfatte.



Verifica a taglio per sezioni circolari armate a taglio		
	C32/40	Classe di resistenza
$R_{ck}$	40	Mpa
$f_{ck}$	32	Mpa
$f_{cd}$	18,13	Mpa
$\alpha_{cc}$	0,85	-
$\gamma_c$	1,5	-
$\Phi$	1200	mm
A	1130973	mm <sup>2</sup>
c	108	mm
$A_{eq}$	923499	mm <sup>2</sup>
d	913	mm
$b_w$	1011	mm
$l_{eq}$	1118,38	mm
N	-65000	N
$\sigma_{cp}$	-0,057	N/mm <sup>2</sup>
$\alpha_{cp}$	1,00	
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$	391	N/mm <sup>2</sup>
$\phi_w$	10	mm
$A_{\phi_w}$	79	mm <sup>2</sup>
z	822	mm
$s_w$	150	mm
n° bracci	2	
$\theta$	21,8	°
$\cot(\theta)$	2,50	
$\alpha$	90	°
$\cot(\alpha)$	0,00	
$A_{sw}/s_w$	1,047	mm <sup>2</sup> /mm
$V_{Rsd}$	842	kN
$V_{Rcd}$	2590	kN

Figura 22 – Calcolo momento resistente  $M_{Rd}$  e taglio resistente  $T_{Rd}$ .

### 7.4.7 Verifiche strutturali dei pali SLE / fessurazione

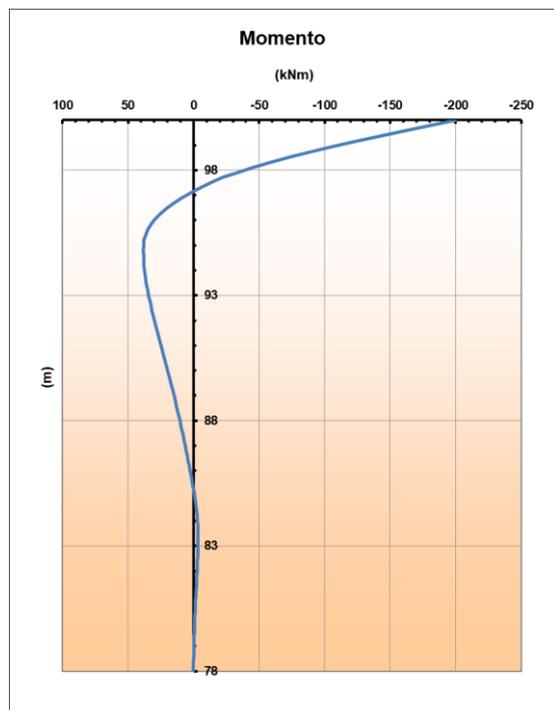
Analogamente a quanto fatto per le verifiche strutturali dei pali SLU/SLV, si è proceduto a valutare l'andamento del momento sollecitante lungo il palo a partire dalle sollecitazioni agenti in testa, nelle diverse combinazioni di calcolo SLE, riportate in tabella seguente.

Tabella 52 \_ V01 – Pile 8 ÷ 16: Azioni di calcolo SLE.

PILE	SLE RARA			SLE FREQUENTE			SLE QUASI PERMANENTE		
	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]
8	3983	1654	<b>93</b>	3173	2087	46	2677	2116	40
9	4044	1787	76	3156	2231	28	2631	2272	24
10	3747	1836	70	2929	2214	10	2403	2253	9
11	3776	1835	70	2945	2227	10	2419	2280	9
12	3934	1805	76	3089	2207	28	2563	2248	25
13	3855	1703	92	3084	2083	46	2588	2119	<b>40</b>
14	2286	<b>1181</b>	64	1953	<b>1507</b>	1	1648	<b>1553</b>	1
15	3801	1729	91	3030	2053	<b>46</b>	2612	2076	40
16	3815	1801	77	2989	2181	28	2472	2224	24

Nelle figure a seguire si riportano gli andamenti del momento sollecitante per le combinazioni caratteristiche/rara – frequente - quasi permanente.

Combinazione caratteristica/rara



Combinazione frequente

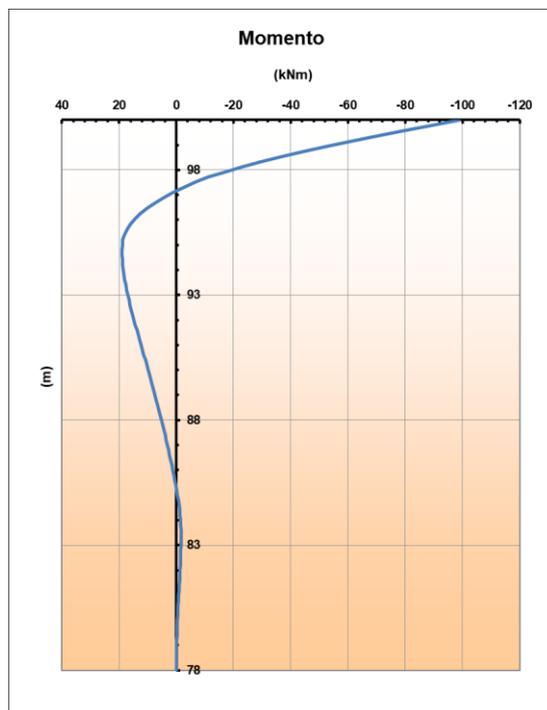


Figura 23 – Andamento momento lungo il palo, in condizioni SLE quasi rara (sx) e frequente (dx).

Combinazione quasi permanente

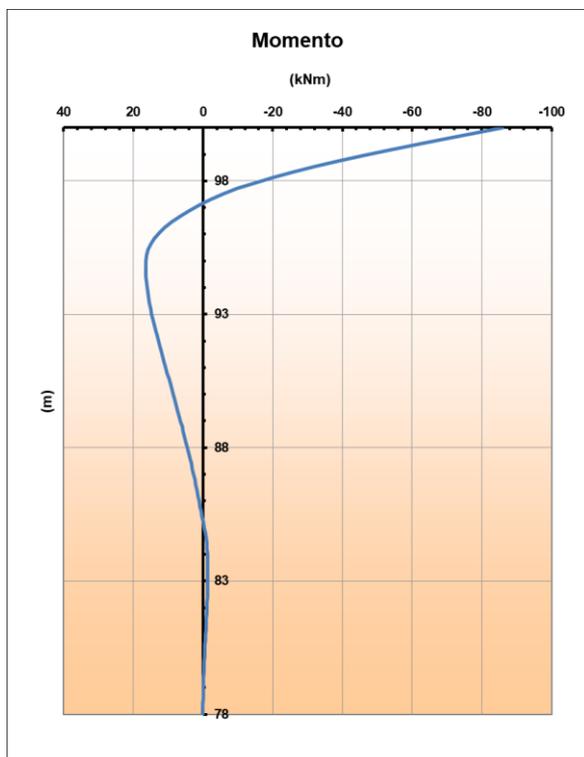


Figura 24 – Andamento momento lungo il palo, in condizioni SLE quasi permanenti.

Per ogni combinazione SLE, si riportano di seguito le sollecitazioni massime agenti, le tensioni nell'acciaio e nel cls e, laddove previsto, il valore massimo di apertura delle fessure (le verifiche sono state condotte assumendo  $N = N_{\min}$ ).

• **Verifica fessurazione SLE- caratteristica/rara**

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 60 [cm]  
Raggio interno: 0 [cm]  
N° barre uguali: 30  
Diametro barre: 2,6 [cm]  
Copriferro (baric.): 10,8 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipo Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.  Metodo n  
 N Ed: -65 1181 kN  
 M xEd: 0 199,9 kNm  
 M yEd: 0 0

**P.to applicazione N**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Materiali**

B450C C32/40  
 $\epsilon_{su}$ : 67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391,3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ : 3,5 ‰  
 $E_s$ : 210.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$ : 18,13  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0,8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1,863 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 12,25  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$ : 0,7333  
 $\tau_{c1}$ : 2,114

$\sigma_c$ : -1,785 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$ : -1,617 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_s$ : -0,007702 ‰  
 d: 109,2 cm  
 x: 116,2 x/d: 1,064  
 $\delta$ : 1

Vertici: 52  
 Verifica  
 N° iterazioni: 2  
 Precompresso

SLE - caratteristica/rara			
M <sub>Ed</sub> (kNm)	$\sigma_s$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	Armatura longitudinale
199.9	-	1.785	30 Ø 26

Risulta quindi:

$$\sigma_c < \sigma_{c,max} = 0.60f_{ck} = 19.2 \text{ MPa} \text{ e } \sigma_s < \sigma_{s,max} = 0,80f_{yk} = 360 \text{ MPa.}$$

La sezione è compressa, quindi la verifica a fessurazione risulta automaticamente soddisfatta.

• **Verifica fessurazione SLE- frequente**

Titolo : \_\_\_\_\_

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 60 [cm]  
Raggio interno: 0 [cm]  
N° barre uguali: 30  
Diametro barre: 2,6 [cm]  
Copriferro (baric.): 10,8 [cm]

N° barre: 0 Zoom

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni  
S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 1507 kN  
M<sub>xEd</sub>: 0 98,9 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0 0

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Materiali

B450C C32/40

$\epsilon_{su}$ : 67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391,3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ : 3,5 ‰  
 $E_s$ : 210.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$ : 18,13 ‰  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0,8 [?]  
 $\epsilon_{syd}$ : 1,863 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 12,25  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$ : 0,7333  
 $\tau_{c1}$ : 2,114

$\sigma_c$ : -1,558 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_s$ : -0,05204 ‰

Vertici: 52  
Verifica  
N° iterazioni: 0  
 Precompresso

SLE - frequente			
M <sub>Ed</sub> (kNm)	$\sigma_s$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	Armatura longitudinale
89.9	-	1.558	30 Ø 26

Risulta quindi:

$\sigma_c < \sigma_{c,max} = 0,60f_{ck} = 19,2$  MPa e  $\sigma_s < \sigma_{s,max} = 0,80f_{yk} = 360$  MPa.

La sezione è compressa, quindi la verifica a fessurazione risulta automaticamente soddisfatta.

• **Verifica fessurazione SLE- quasi permanente**

Titolo : \_\_\_\_\_

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 60 [cm]  
Raggio interno: 0 [cm]  
N\* barre uguali: 30  
Diametro barre: 2,6 [cm]  
Copriferro (baric.): 10,8 [cm]

N\* barre: 0 Zoom

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni  
S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 1553 kN  
M<sub>xEd</sub>: 0 86 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0 0

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Materiali  
B450C C32/40  
ε<sub>su</sub>: 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub>: 2 ‰  
f<sub>yd</sub>: 391,3 N/mm<sup>2</sup> ε<sub>cu</sub>: 3,5 ‰  
E<sub>s</sub>: 210.000 N/mm<sup>2</sup> f<sub>cd</sub>: 18,13  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0,8  
ε<sub>syd</sub>: 1,863 ‰ σ<sub>c,adm</sub>: 12,25  
σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub>: 0,7333  
τ<sub>c1</sub>: 2,114

σ<sub>c</sub>: -1,532 N/mm<sup>2</sup>  
ε<sub>s</sub>: -0,05793 ‰

Vertici: 52  
Verifica  
N\* iterazioni: 0  
 Precompresso

SLE – quasi permanente			
M <sub>Ed</sub> (kNm)	σ <sub>s</sub> (MPa)	σ <sub>c</sub> (MPa)	Armatura longitudinale
86	-	1.532	30 Ø 26

Risulta quindi:

$\sigma_c < \sigma_{c,max} = 0,45f_{ck} = 14,4 \text{ MPa}$  e  $\sigma_s < \sigma_{s,max} = 0,80f_{yk} = 360 \text{ MPa}$ .

La sezione è compressa, quindi la verifica a fessurazione risulta automaticamente soddisfatta.

## 7.5 PILE 17 - 18 - 19 - 20

### 7.5.1 Geometria dell'opera e modello geotecnico

Nelle tabelle a seguire sono descritte sinteticamente le caratteristiche della palificata, la stratigrafia di progetto ed il modello geotecnico di calcolo utilizzati per le verifiche.

Tabella 53 \_ V01 – Pile 17 ÷ 20: caratteristiche palificata.

V01	Numero di pali	Diametro pali	Lunghezza pali
	[-]	[m]	[m]
PILE 17 ÷ 20	6	1.2	30

Tabella 54 \_ V01 – Pile 17 ÷ 20: modello geotecnico di calcolo.

V01	z	Unità	$\gamma$	$\phi'$	$c'$	$c_u$	$E'$
PILE 17 ÷ 20	[m da t.p.]	geotecnica	[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[kPa]	[kPa]	[Mpa]
	0 ÷ 8	All	18.5	38	0	-	30
	8 ÷ 25	Bis-1	20	-	-	200	200
	25 ÷ 30	Bis-2	22	40	0	-	400

La quota della falda è stata assunta alla profondità di 5 m da testa palo.

### 7.5.2 Azioni di calcolo

Nella tabella a seguire sono riportati i valori delle azioni di progetto determinati in testa ai singoli pali, nelle diverse combinazioni (SLE, SLU ed SLV), a partire dalle azioni globali ottenute dal calcolo strutturale. Nello specifico, per ogni combinazione sono riportati i valori massimi e minimi dei carichi assiali ( $N_{max}$ ,  $N_{min}$ ) e trasversali ( $T_{max}$ ); per le azioni assiali, N, sono positivi i valori di compressione, mentre i valori negativi indicano azioni di trazione.

Tabella 55 \_ V01 – Pile 17 ÷ 20: Azioni di calcolo.

PILE	SLE RARA			SLE FREQUENTE			SLE QUASI PERMANENTE			SLU STR				SLV			
	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmax [kN]	
17	3745	1848	68	2907	2221	10	2395	2280	9	4004	5109	1629	102	2449	3965	719	288
18	3746	1827	68	2927	2206	10	2395	2275	9	3984	5103	1609	102	2437	3760	906	233
19	3805	1833	77	2996	2199	28	2470	2247	25	4012	5189	1592	114	2439	3795	959	255
20	3738	1749	91	2992	2092	46	2491	2120	41	3907	4917	1533	134	2429	3969	670	328

### 7.5.3 Verifiche geotecniche SLU/SLV nei confronti dei carichi assiali

Nelle tabelle seguenti sono riportate le azioni di progetto SLU/SLV e la sintesi delle verifiche.

Tabella 56 \_ V01 – Pile 17 ÷ 20: Azioni di calcolo SLU/SLV.

PILE	SLU STR				SLV			
	Nmed [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]		Nmed [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	
17	4004	5109	1629		2449	3965	719	
18	3984	5103	1609		2437	3760	906	
19	4012	5189	1592		2439	3795	959	
20	3907	4917	1533		2429	3969	670	

Tabella 57 \_ V01 – Pile 17 ÷ 20: Sintesi delle verifiche nei confronti dei carichi assiali (SLU/SLV).

Opera: V01	Azioni assiali					Resistenza e verifica del palo singolo				Resistenza e verifica del palo in gruppo	
	N <sub>max</sub>	N <sub>med</sub>	W <sub>p</sub>	F <sub>d</sub>	F <sub>d,med</sub>	R <sub>L,cal</sub>	R <sub>B,cal</sub>	R <sub>c,d</sub>	R <sub>c,d</sub> / F <sub>d</sub>	R' <sub>d</sub> = η R <sub>c,d</sub>	R' <sub>d</sub> / F <sub>d,med</sub>
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[-]	[kN]	[-]
<b>PILE 17 ÷ 20</b>	5189	4012	848	6292	5115	7807	11310	8921	1.4	6245	1.2

### 7.5.4 Verifiche geotecniche SLU/SLV nei confronti dei carichi trasversali

Nella tabella a seguire vengono riportate le azioni di progetto determinati SLU/SLV.

Tabella 58 \_ V01 – Pile 17 ÷ 20: Azioni di calcolo SLU/SLV.

PILE	SLU STR				SLV			
			Nmin [kN]	Tmax [kN]			Nmin [kN]	Tmax [kN]
17			1629	102			719	288
18			1609	102			906	233
19			1592	114			959	255
20			1533	134			670	328

La verifica è stata condotta nei confronti del valore massimo della sollecitazione trasversale,  $F_{T,d} = T_{max}$ . Nella tabella a seguire si riporta una sintesi delle verifiche effettuate.

Tabella 59 \_ V01 – Pile P17÷20: Sintesi verifica geotecnica nei confronti delle azioni trasversali (SLU/SLV)

Opera: VI01	Azione trasversale	Verifica				
	F <sub>T,d</sub>	Armatura longitudinale	M <sub>y</sub>	R <sub>T,cal</sub>	R <sub>T,d</sub>	R <sub>T,d</sub> /F <sub>T,d</sub>
	[kN]	[-]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kN]
<b>PILE 17÷20</b>	328	30 φ 26	2937	2212	1001	3.1

### 7.5.5 Verifiche geotecniche SLE – valutazione cedimenti

Nella tabella seguente sono riportati i risultati dei calcoli dei cedimenti dei pali, considerati come isolati e con riferimento alla palificata, sollecitati a carico assiale in condizioni SLE.

In tabella,  $N_{med,max}$  rappresenta il valore massimo dell'azione assiale media in testa ai pali, determinato in condizioni di esercizio. Con riferimento a tale valore, sono stati determinati i corrispondenti valori del cedimento del singolo palo,  $w_i$ , e del gruppo di pali,  $w_g$ .

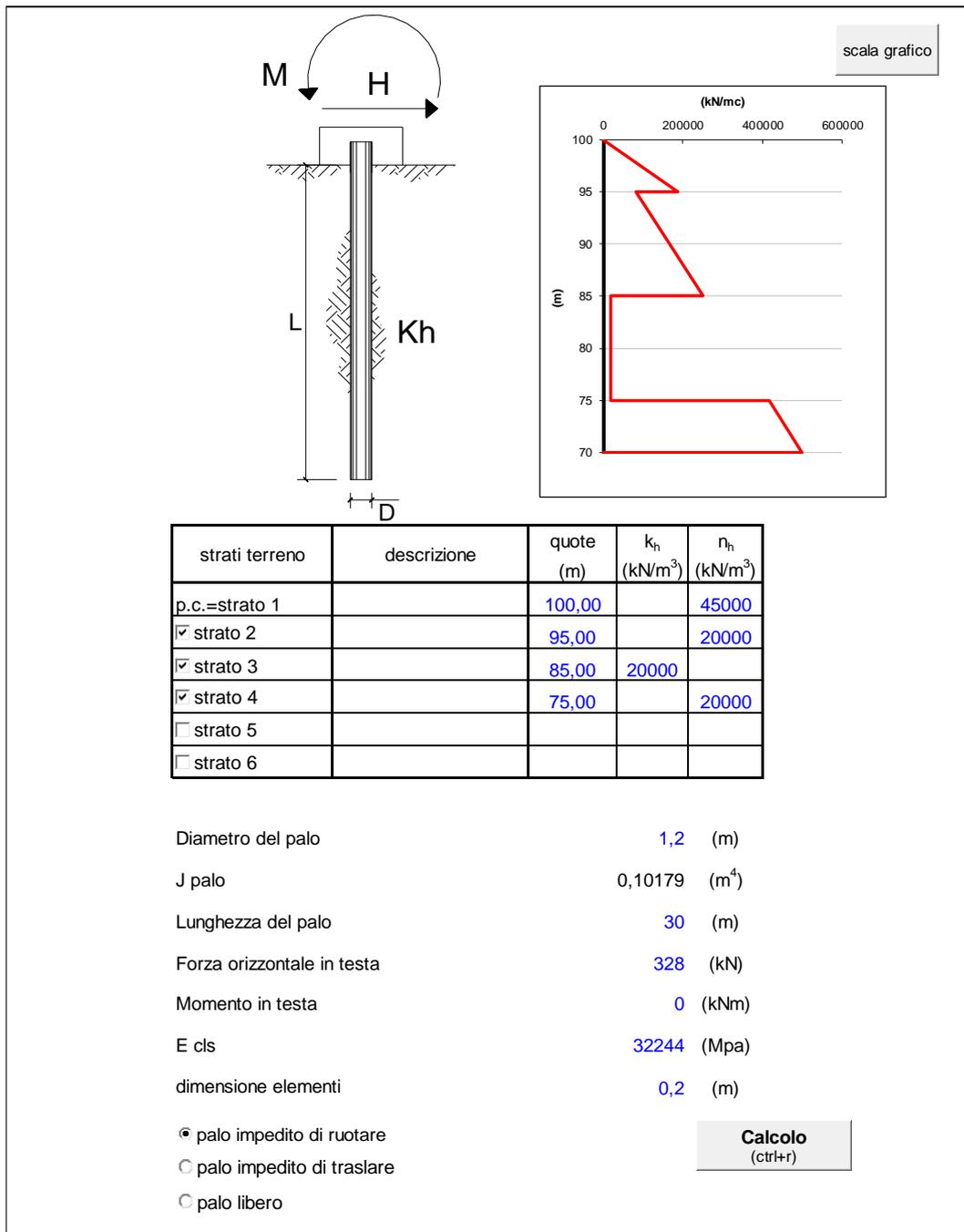
Tabella 60 \_ V01 – Pile P17 ÷ P20: Sintesi calcolo dei cedimenti (SLE)

Opera: V01	Geometria palificata					Azioni assiali e cedimenti del singolo palo e della palificata		
	np	D	L	R	Rg	$N_{max}$	$w_{i,max}$	$w_{g,max}$
Fondazioni	[-]	[m]	[m]	[-]	[-]	[kN]	[mm]	[mm]
<b>PILE 17 ÷ 20</b>	6	1.20	30	0.85	0.77	2973	1.19	5.50

### 7.5.6 Verifiche strutturali dei pali SLU/SLV

Nel caso di pali, soggetti a carichi orizzontali, il terreno viene simulato come mezzo alla Winkler, modellato quindi come un letto di molle di rigidezza  $k_h$  variabili in funzione delle diverse unità geotecniche e i cui valori sono riportati nel paragrafo 5.3.

A seguire si riporta l'andamento del taglio e del momento sollecitante lungo l'intero palo, determinati per un valore di progetto dell'azione orizzontale  $F_{T,d} = 328$  kN.



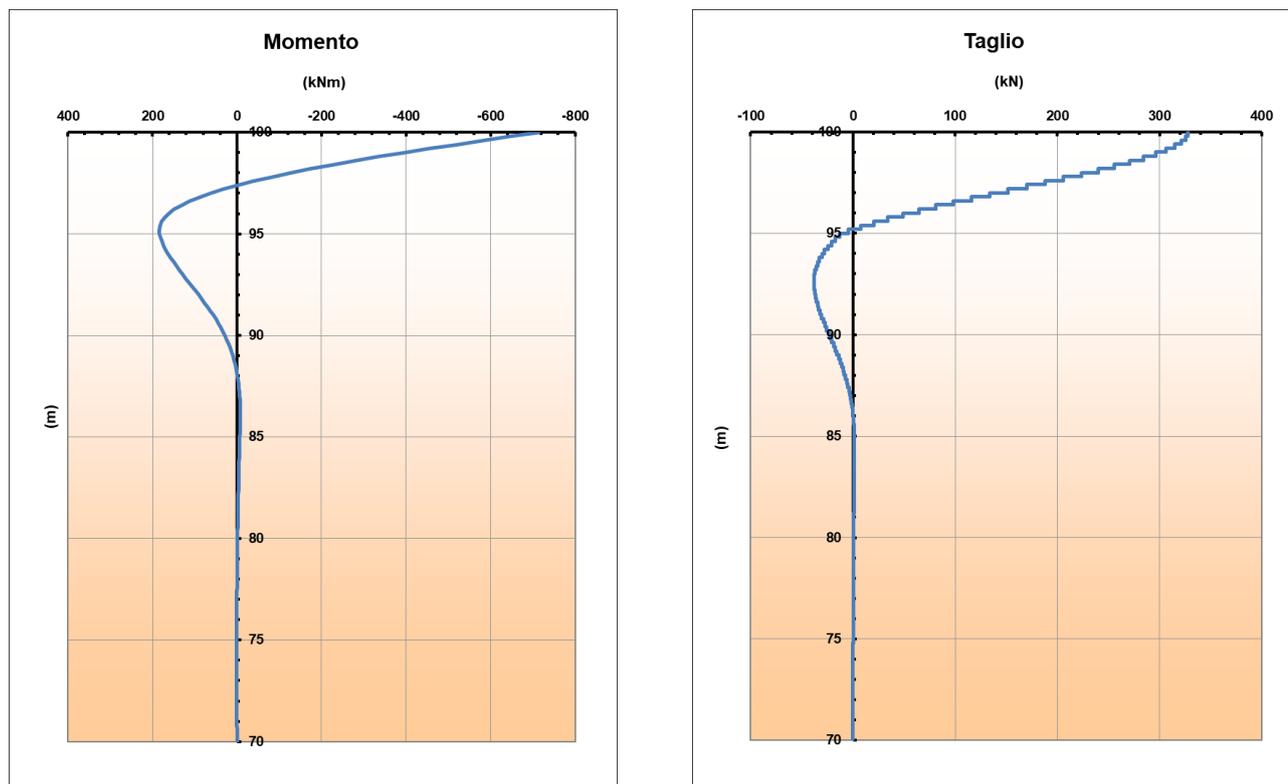


Figura 25 – Andamento del momento e del taglio lungo il palo.

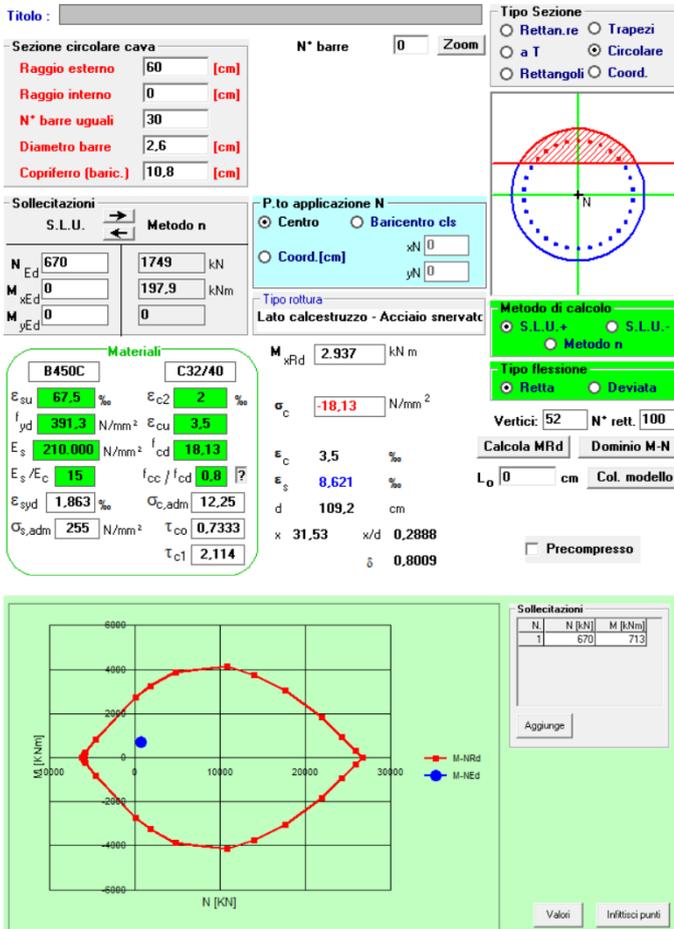
Nella tabella che segue si riportano i valori delle sollecitazioni massime agenti (momento flettente  $M_{Ed}$  e taglio  $T_{Ed}$ ) e delle azioni resistenti (momento  $M_{Rd}$  e taglio  $T_{Rd}$  resistenti), determinati per le corrispondenti armature di verifica, longitudinale e trasversale.

Tabella 61 \_ V01 – Pile 17 ÷ 20: armatura longitudinale e valori di progetto di sollecitazioni e resistenze (M e T).

SLU/SLV			
$M_{Ed}$ (kNm)	$M_{Rd}$ (kNm)	FS	Armatura longitudinale
713	2937	4.2	30 Ø 26
$T_{Ed}$ (kN)	$T_{Rd}$ (kN)	FS	Armatura trasversale
328	842	2.6	Ø 10/15 (2 bracci)

In tutti i casi risulta  $M_{Rd} > M_{Ed}$  e  $T_{Rd} > T_{Ed}$ , dunque le verifiche risultano soddisfatte.

Viadotto Marroggia (V01)  
RELAZIONE di CALCOLO PALI DI FONDAZIONE



Verifica a taglio per sezioni circolari armate a taglio			
	C32/40		Classe di resistenza
$R_{ck}$	40	Mpa	Valore caratteristico resistenza cubica a 28 giorni
$f_{ck}$	32	Mpa	Valore caratteristico resistenza cilindrica a 28 giorni
$f_{cd}$	18,13	Mpa	Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni
$\alpha_{cc}$	0,85	-	Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata
$\gamma_c$	1,5	-	Coefficiente parziale di sicurezza
$\Phi$	1200	mm	diametro sezione circolare
A	1130973	mm <sup>2</sup>	Area sezione circolare
c	108	mm	copriferro (asse barra)
$A_{eq}$	923499	mm <sup>2</sup>	Area sezione rettangolare equivalente
d	913	mm	altezza utile equivalente
$b_w$	1011	mm	larghezza equivalente
$h_{eq}$	1118,38	mm	altezza equivalente
N	670000	N	sforzo assiale dovuto ai carichi o precompressione
$\sigma_{cp}$	0,592	N/mm <sup>2</sup>	
$\alpha_{cp}$	1,03		
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>	Tensione caratteristica di snervamento
$f_{yd}$	391	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza di progetto
$\phi_w$	10	mm	diametro staffe (spille)
$A\phi_w$	79	mm <sup>2</sup>	Area staffa (spilla)
z	822	mm	0,9 d
$s_w$	150	mm	passo spirale
n° bracci	2		
$\theta$	21,8	°	angolo di inclinazione biella compressa
$\cot(\theta)$	2,50		deve essere compreso tra 1 e 2,5
$\alpha$	90	°	angolo di inclinazione armatura rispetto asse palo
$\cot(\alpha)$	0,00		
$A_{s_w}/s_w$	1,047	mm <sup>2</sup> /mm	
$V_{Rsd}$	842	kN	Taglio resistente per "taglio trazione"
$V_{Rcd}$	2683	kN	Taglio resistente per "taglio compressione"

Figura 26 – Calcolo momento e taglio resistenti,  $M_{rd}$  e  $T_{rd}$ .

### 7.5.7 Verifiche strutturali dei pali SLE / fessurazione

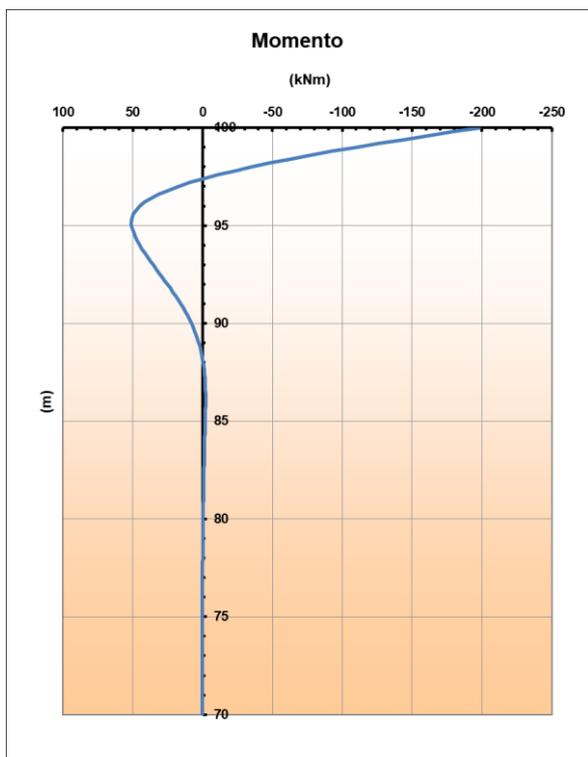
Analogamente a quanto fatto per le verifiche strutturali dei pali SLU/SLV, si è proceduto a valutare l'andamento del momento sollecitante lungo il palo a partire dalle sollecitazioni agenti in testa, nelle diverse combinazioni di calcolo SLE, riportate in tabella seguente.

Tabella 62 \_ V01 – Pile 17 ÷ 20: Azioni di calcolo SLE.

PILE	SLE RARA			SLE FREQUENTE			SLE QUASI PERMANENTE		
	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]	Nmax [kN]	Nmin [kN]	Tmax [kN]
17	3745	1848	68	2907	2221	10	2395	2280	9
18	3746	1827	68	2927	2206	10	2395	2275	9
19	3805	1833	77	2996	2199	28	2470	2247	25
20	3738	<b>1749</b>	<b>91</b>	2992	<b>2092</b>	<b>46</b>	2491	<b>2120</b>	<b>41</b>

Nelle figure a seguire si riportano gli andamenti del momento sollecitante per le combinazioni caratteristiche/rara – frequente - quasi permanente.

Combinazione caratteristica/rara



Combinazione frequente

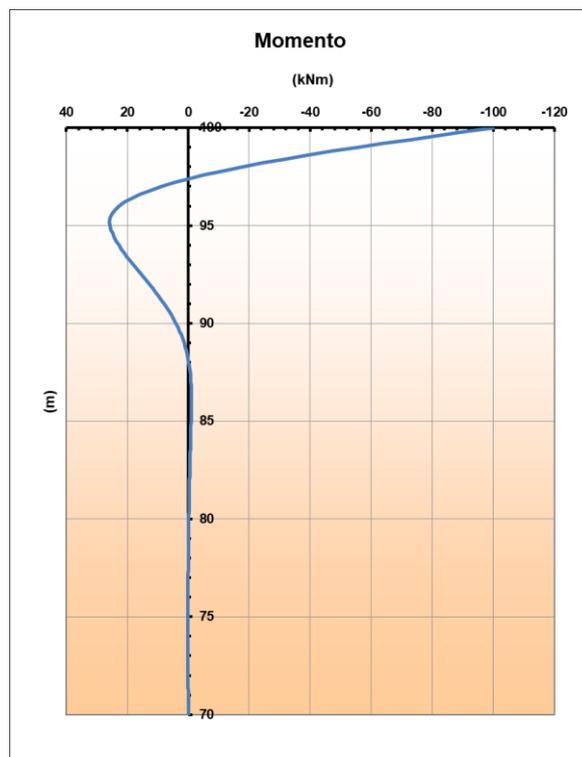


Figura 27 – Andamento momento lungo il palo, in condizioni SLE quasi rara (sx) e frequente (dx).

Combinazione quasi permanente

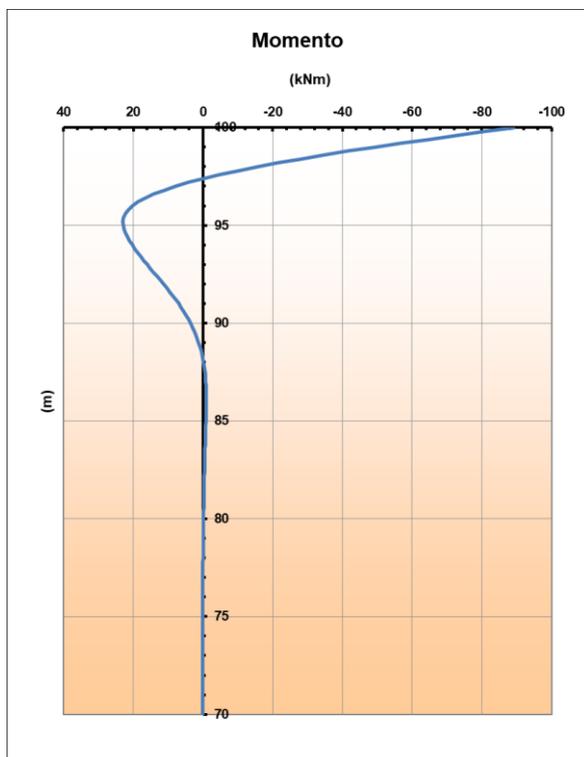


Figura 28 – Andamento momento lungo il palo, in condizioni SLE quasi permanenti.

Per ogni combinazione SLE, si riportano di seguito le sollecitazioni massime agenti, le tensioni nell'acciaio e nel cls e, laddove previsto, il valore massimo di apertura delle fessure (le verifiche sono state condotte assumendo  $N = N_{\min}$ ).

• **Verifica fessurazione SLE- caratteristica/rara**

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 60 [cm]  
Raggio interno: 0 [cm]  
N° barre uguali: 30  
Diametro barre: 2,6 [cm]  
Copriferro (baric.): 10,8 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipo Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.  Metodo n   
 N<sub>Ed</sub>: 670  1749 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 0  197,9 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0  0

**P.to applicazione N**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Materiali**

B450C	C32/40
E <sub>su</sub> : 67,5 ‰	E <sub>c2</sub> : 2 ‰
f <sub>yd</sub> : 391,3 N/mm <sup>2</sup>	E <sub>cu</sub> : 3,5 ‰
E <sub>s</sub> : 210.000 N/mm <sup>2</sup>	f <sub>cd</sub> : 18,13
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub> : 15	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub> : 0,8
E <sub>syd</sub> : 1,863 ‰	σ <sub>c,adm</sub> : 12,25
σ <sub>s,adm</sub> : 255 N/mm <sup>2</sup>	τ <sub>co</sub> : 0,7333
	τ <sub>c1</sub> : 2,114

σ<sub>c</sub>: -2,191 N/mm<sup>2</sup>  
ε<sub>s</sub>: -0,03797 ‰

Vertici: 52  
Verifica  
N° iterazioni: 0  
 Precompresso

SLE - caratteristica/rara			
M <sub>Ed</sub> (kNm)	σ <sub>s</sub> (MPa)	σ <sub>c</sub> (MPa)	Armatura longitudinale
197.9	-	2.19	30 Ø 26

Risulta quindi:

$$\sigma_c < \sigma_{c,max} = 0.60f_{ck} = 19.2 \text{ MPa} \text{ e } \sigma_s < \sigma_{s,max} = 0,80f_{yk} = 360 \text{ MPa}.$$

La sezione è compressa, quindi la verifica a fessurazione risulta automaticamente soddisfatta.

• **Verifica fessurazione SLE- frequente**

Titolo : \_\_\_\_\_

Sezione circolare cava

Raggio esterno 60 [cm]  
Raggio interno 0 [cm]  
N° barre uguali 30  
Diametro barre 2,6 [cm]  
Coprifero (baric.) 10,8 [cm]

N° barre 0 Zoom

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni  
S.L.U. Metodo n  
N<sub>Ed</sub> 0 2092 kN  
M<sub>xEd</sub> 0 100 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Materiali  
B450C C32/40  
E<sub>su</sub> 67.5 ‰ E<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 391,3 N/mm<sup>2</sup> E<sub>cu</sub> 3,5  
E<sub>s</sub> 210.000 N/mm<sup>2</sup> f<sub>cd</sub> 18,13  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0,8 ?  
ε<sub>syd</sub> 1,863 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 12,25  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub> 0,7333  
τ<sub>c1</sub> 2,114

σ<sub>c</sub> -1,991 N/mm<sup>2</sup>  
ε<sub>s</sub> -0,08231 ‰

Vertici: 52  
Verifica  
N° iterazioni: 0  
 Precompresso

SLE - frequente			
M <sub>Ed</sub> (kNm)	σ <sub>s</sub> (MPa)	σ <sub>c</sub> (MPa)	Armatura longitudinale
100	-	1.991	30 Ø 26

Risulta quindi:

$\sigma_c < \sigma_{c,max} = 0,60f_{ck} = 19,2 \text{ MPa}$  e  $\sigma_s < \sigma_{s,max} = 0,80f_{yk} = 360 \text{ MPa}$ .

La sezione è compressa, quindi la verifica a fessurazione risulta automaticamente soddisfatta.

• **Verifica fessurazione SLE- quasi permanente**

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 60 [cm]  
Raggio interno: 0 [cm]  
N° barre uguali: 30  
Diametro barre: 2,6 [cm]  
Copriferro (baric.): 10,8 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipo Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.  Metodo n   
 N<sub>Ed</sub>: 0 2120 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 0 89,2 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0 0

**P.to applicazione N**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+  S.L.U.  
 Metodo n

**Materiali**  
 B450C C32/40  
 ε<sub>su</sub>: 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub>: 2 ‰  
 f<sub>yd</sub>: 391,3 N/mm<sup>2</sup> ε<sub>cu</sub>: 3,5 ‰  
 E<sub>s</sub>: 210.000 N/mm<sup>2</sup> f<sub>cd</sub>: 18,13  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0,8  
 ε<sub>syd</sub>: 1,863 ‰ σ<sub>c,adm</sub>: 12,25  
 σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub>: 0,7333  
 τ<sub>c1</sub>: 2,114

σ<sub>c</sub>: -1,962 N/mm<sup>2</sup>  
 ε<sub>s</sub>: -0,08669 ‰

Vertici: 52  
 Verifica  
 N° iterazioni: 0  
 Precompresso

SLE – quasi permanente			
M <sub>Ed</sub> (kNm)	σ <sub>s</sub> (MPa)	σ <sub>c</sub> (MPa)	Armatura longitudinale
89.2	-	1.962	30 Ø 26

Risulta quindi:

$$\sigma_c < \sigma_{c,max} = 0,45f_{ck} = 14,4 \text{ MPa} \text{ e } \sigma_s < \sigma_{s,max} = 0,80f_{yk} = 360 \text{ MPa}.$$

La sezione è compressa, quindi la verifica a fessurazione risulta automaticamente soddisfatta.

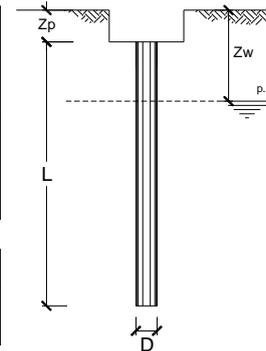
## 8 ALLEGATO A - CARICO LIMITE NEI CONFRONTI DEI CARICHI ASSIALI

### 8.1 Spalla 1

**DATI DI INPUT:**

Diametro del Palo (D):	1,20	(m)	Area del Palo (Ap):	1,131	(m <sup>2</sup> )
Quota testa Palo dal p.c. (z <sub>p</sub> ):	0,00	(m)	Quota falda dal p.c. (z <sub>a</sub> ):	0,00	(m)
Carico Assiale Permanente (G):	4652	(kN)	Carico Assiale variabile (Q):		(kN)
Numero di strati	3		Lpalo =	20,00	(m)

coefficienti parziali	azioni		resistenza laterale e di base			
	permanenti	variabili	γ <sub>b</sub>	γ <sub>s</sub>	γ <sub>staz</sub>	
Metodo di calcolo	γ <sub>G</sub>	γ <sub>Q</sub>				
SUD	A1+M1+R1	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00
	A2+M1+R2	1,00	1,30	1,70	1,45	1,60
	A1+M1+R3	1,30	1,50	1,35	1,15	1,25
	SISMA	1,00	1,00	1,35	1,15	1,25
DM88	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
definiti dal progettista	1,00	1,00	1,35	1,15	1,25	



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ <sub>3</sub>	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,00	1,00
ξ <sub>4</sub>	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21	1,00	1,00

Strato	Spess	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m <sup>3</sup> )	c <sub>med</sub> (kPa)	φ <sub>med</sub> (°)	c <sub>u med</sub> (kPa)
1	0,00	All	18,50		38,0	
2	15,00	BIS-1	20,00			200,0
3	5,00	BIS-2	22,00		40,0	

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
0,50	0,78		
0,00	0,00		0,35
0,50	0,84		

### RISULTATI

Strato	Spess	Tipo di terreno	Q <sub>si</sub>	N <sub>q</sub>	N <sub>c</sub>	q <sub>b</sub>	Q <sub>bm</sub>
			(kN)	(-)	(-)	(kPa)	(kN)
1	0,00	All	0,0				
2	15,00	BIS-1	3958,4				
3	5,00	BIS-2	1423,5	56,89	0,00	10000,0	11309,7

**CARICO ASSIALE AGENTE**

$$N_d = N_G + \gamma_G + N_Q \cdot \gamma_Q$$

$$N_d = 4652,0 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE**

$$\text{base } R_{b,cal} = 11309,7 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal} = 5381,9 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal} = 16691,6 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA**

$$R_{b,k} = (R_{b,cal} / \xi_3) = 6652,8 \text{ (kN)}$$

$$R_{s,k} = (R_{s,cal} / \xi_3) = 3165,8 \text{ (kN)}$$

$$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 9818,6 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO**

$$R_{c,d} = R_{b,k} / \gamma_b + R_{s,k} / \gamma_s$$

$$R_{c,d} = 7680,9 \text{ (kN)}$$

**RISULTATI**

Strato (-)	Spess (m)	Tipo di terreno	Qsi	Nq	Nc	qb	Qbm
			(kN)	(-)	(-)	(kPa)	(kN)
1	0,00	All	0,0				
2	15,00	BIS-1	3958,4				
3	5,00	BIS-2	1423,5	56,89	0,00	10000,0	11309,7

**CARICO ASSIALE AGENTE**

$$N_d = N_G \cdot \gamma_G + N_Q \cdot \gamma_Q$$

$$N_d = -476,0 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE**

$$\text{base } R_{b,cal} = ,0 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal} = 5381,9 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal} = 5381,9 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA**

$$R_{b,k} = (R_{b,cal} / \xi_3) = ,0 \text{ (kN)}$$

$$R_{s,k} = (R_{s,cal} / \xi_3) = 3165,8 \text{ (kN)}$$

$$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 3165,8 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO**

$$R_{c,d} = R_{b,k} / \gamma_b + R_{s,k} / \gamma_s$$

$$R_{t,d} = 2532,7 \text{ (kN)}$$

Viadotto Marroggia (V01)  
RELAZIONE di CALCOLO PALI DI FONDAZIONE

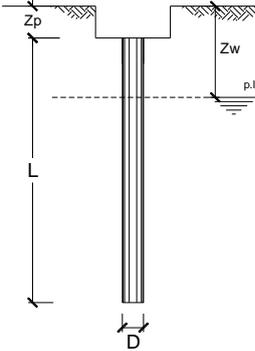
8.2 Pile 1 ÷ 4

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D):	1,20	(m)	Area del Palo (Ap):	1,131	(m <sup>2</sup> )
Quota testa Palo dal p.c. (z <sub>p</sub> ):	0,00	(m)	Quota falda dal p.c. (z <sub>f</sub> ):	0,00	(m)
Carico Assiale Permanente (G):	6837	(kN)	Carico Assiale variabile (Q):		(kN)
Numero di strati	3		Lpalo =	25,00	(m)

Metodo di calcolo	coefficienti parziali		azioni		resistenza laterale e di base		
	γ <sub>G</sub>	γ <sub>Q</sub>	γ <sub>G</sub>	γ <sub>Q</sub>	γ <sub>b</sub>	γ <sub>s</sub>	γ <sub>straz</sub>
A1+M1+R1	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
A2+M1+R2	1,00	1,30	1,70	1,45	1,60		
A1+M1+R3	1,30	1,50	1,35	1,15	1,25		
SISMA	1,00	1,00	1,35	1,15	1,25		
DM88	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
definiti dal progettista	1,10	1,20	1,50	1,30	1,30		

n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ <sub>3</sub>	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,00	1,00
ξ <sub>4</sub>	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21	1,00	1,00



Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m <sup>3</sup> )	C <sub>med</sub> (kPa)	φ <sub>med</sub> (°)	C <sub>u,med</sub> (kPa)
1	5,00	All	18,50		38,0	
2	10,00	BIS-1	20,00			200,0
3	10,00	BIS-2	22,00		40,0	

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
(-)	(-)	(-)	(-)
0,50	0,78		
0,00	0,00		0,35
0,50	0,84		

RISULTATI

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Q <sub>si</sub>	N <sub>q</sub>	N <sub>c</sub>	q <sub>b</sub>	Q <sub>bm</sub>
			(kN)	(-)	(-)	(kPa)	(kN)
1	5,00	All	156,5				
2	10,00	BIS-1	2638,9				
3	10,00	BIS-2	3202,9	55,89	0,00	10000,0	11309,7

CARICO ASSIALE AGENTE

$$N_d = N_G + \gamma_G + N_Q \cdot \gamma_Q$$

$$N_d = 6837,0 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE MEDIA

$$\text{base } R_{b,cal} = 11309,7 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal} = 5998,3 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal} = 17308,0 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

$$R_{b,k} = (R_{b,cal} / \xi_3) = 6652,8 \text{ (kN)}$$

$$R_{s,k} = (R_{s,cal} / \xi_3) = 3528,4 \text{ (kN)}$$

$$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 10181,2 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

$$R_{c,d} = R_{b,k} / \gamma_b + R_{s,k} / \gamma_s$$

$$R_{c,d} = 7996,2 \text{ (kN)}$$

Viadotto Marroggia (V01)  
RELAZIONE di CALCOLO PALI DI FONDAZIONE

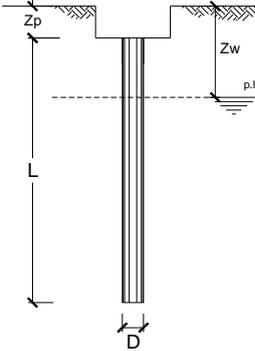
8.3 Pile 5 ÷ 7

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D):	1,20	(m)	Area del Palo (Ap):	1,131	(m <sup>2</sup> )
Quota testa Palo dal p.c. (z <sub>p</sub> ):	0,00	(m)	Quota falda dal p.c. (z <sub>f</sub> ):	0,00	(m)
Carico Assiale Permanente (G):	8011	(kN)	Carico Assiale variabile (Q):		(kN)
Numero di strati	3		Lpalo =	30,00	(m)

Metodo di calcolo	coefficienti parziali		azioni		resistenza laterale e di base		
	γ <sub>G</sub>	γ <sub>Q</sub>	permanenti	variabili	γ <sub>b</sub>	γ <sub>s</sub>	γ <sub>s, straz</sub>
A1+M1+R1	1,30	1,50	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00
A2+M1+R2	1,00	1,30	1,00	1,30	1,70	1,45	1,60
A1+M1+R3	1,30	1,50	1,30	1,50	1,35	1,15	1,25
SISMA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,35	1,15	1,25
DM88	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
definiti dal progettista	1,10	1,20	1,10	1,20	1,50	1,30	1,30

n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ <sub>3</sub>	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,00	1,00
ξ <sub>4</sub>	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21	1,00	1,00



Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m <sup>3</sup> )	c <sub>med</sub> (kPa)	φ <sub>med</sub> (°)	c <sub>u, med</sub> (kPa)
1	2,00	All	18,50		38,0	
2	11,00	BIS-1	20,00			200,0
3	17,00	BIS-2	22,00		35,0	

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
(-)	(-)	(-)	(-)
0,50	0,78		
0,00	0,00		0,35
0,50	0,70		

RISULTATI

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Q <sub>si</sub>	N <sub>q</sub>	N <sub>c</sub>	q <sub>b</sub>	Q <sub>bm</sub>
			(kN)	(-)	(-)	(kPa)	(kN)
1	2,00	All	25,0				
2	11,00	BIS-1	2902,8				
3	17,00	BIS-2	5138,2	28,01	0,00	9270,1	10484,2

CARICO ASSIALE AGENTE

$$N_d = N_G + \gamma_G + N_Q \cdot \gamma_Q$$

$$N_d = 8011,0 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE

base	R <sub>b, cal</sub> =	10484,2 (kN)
laterale	R <sub>s, cal</sub> =	8066,1 (kN)
totale	R <sub>c, cal</sub> =	18550,3 (kN)

CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

$$R_{b, k} = (R_{b, cal} / \xi_3) = 6167,2 \text{ (kN)}$$

$$R_{s, k} = (R_{s, cal} / \xi_3) = 4744,8 \text{ (kN)}$$

$$R_{c, k} = R_{b, k} + R_{s, k} = 10912,0 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

$$R_{c, d} = R_{b, k} / \gamma_b + R_{s, k} / \gamma_s$$

$$R_{c, d} = 8694,2 \text{ (kN)}$$

Viadotto Marroggia (V01)  
RELAZIONE di CALCOLO PALI DI FONDAZIONE

**RISULTATI**

Strato (-)	Spess (m)	Tipo di terreno	Qsi	Nq	Nc	qb	Qbm
			(kN)	(-)	(-)	(kPa)	(kN)
1	2,00	All	25,0				
2	11,00	BIS-1	2902,8				
3	17,00	BIS-2	5138,2	28,01	0,00	9270,1	10484,2

**CARICO ASSIALE AGENTE**

$$N_d = N_G + \gamma_G + N_Q + \gamma_Q$$

$$N_d = -1931,0 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE**

$$\text{base } R_{b,cal} = ,0 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,cal} = 8066,1 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c,cal} = 8066,1 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA**

$$R_{b,k} = (R_{b,cal}/\xi_s) = ,0 \text{ (kN)}$$

$$R_{s,k} = (R_{s,cal}/\xi_s) = 4744,8 \text{ (kN)}$$

$$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 4744,8 \text{ (kN)}$$

**CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO**

$$R_{c,d} = R_{b,k}/\gamma_b + R_{s,k}/\gamma_s$$

$$R_{t,d} = 3795,8 \text{ (kN)}$$

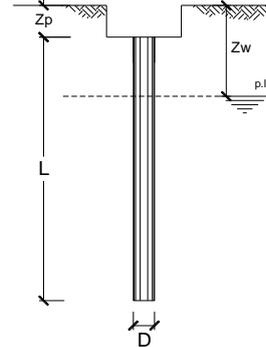
Viadotto Marroggia (V01)  
RELAZIONE di CALCOLO PALI DI FONDAZIONE

8.4 Pile 8 ÷ 16

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D):	1,20	(m)	Area del Palo (Ap):	1,131	(m <sup>2</sup> )
Quota testa Palo dal p.c. (z <sub>p</sub> ):	0,00	(m)	Quota falda dal p.c. (z <sub>a</sub> ):	2,50	(m)
Carico Assiale Permanente (G):	6224	(kN)	Carico Assiale variabile (Q):		(kN)
Numero di strati	3		Lpalo =	22,00	(m)

coefficienti parziali	azioni		resistenza laterale e di base			
	permanenti γ <sub>G</sub>	variabili γ <sub>Q</sub>	γ <sub>b</sub>	γ <sub>s</sub>	γ <sub>s, straz</sub>	
Metodo di calcolo						
U S	A1+M1+R1	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00
	A2+M1+R2	1,00	1,30	1,70	1,45	1,60
	A1+M1+R3	1,30	1,50	1,35	1,15	1,25
	SISMA	1,00	1,00	1,35	1,15	1,25
DM88	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
definiti dal progettista	1,00	1,00	1,35	1,15	1,25	



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ <sub>3</sub>	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,00	1,00
ξ <sub>4</sub>	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21	1,00	1,00

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m <sup>3</sup> )	c' med (kPa)	φ' med (°)	c <sub>u</sub> med (kPa)
1	5,00	All	18,50		38,0	
2	10,00	BIS-1	20,00			200,0
3	7,00	BIS-2	22,00		40,0	

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
(-)	(-)	(-)	(-)
0,50	0,78		
0,00	0,00		0,35
0,50	0,84		

RISULTATI

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Q <sub>si</sub>	N <sub>q</sub>	N <sub>c</sub>	q <sub>b</sub>	Q <sub>bm</sub>
			(kN)	(-)	(-)	(kPa)	(kN)
1	5,00	All	294,5				
2	10,00	BIS-1	2638,9				
3	7,00	BIS-2	2319,5	56,49	0,00	10000,0	11309,7

CARICO ASSIALE AGENTE

$$N_d = N_G \cdot \gamma_G + N_Q \cdot \gamma_Q$$

$$N_d = 6224,0 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE

$$\text{base } R_{b, \text{cal}} = 11309,7 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s, \text{cal}} = 5253,0 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c, \text{cal}} = 16562,7 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

$$R_{b, k} = (R_{b, \text{cal}} / \xi_3) = 6652,8 \text{ (kN)}$$

$$R_{s, k} = (R_{s, \text{cal}} / \xi_3) = 3090,0 \text{ (kN)}$$

$$R_{c, k} = R_{b, k} + R_{s, k} = 9742,8 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

$$R_{c, d} = R_{b, k} / \gamma_b + R_{s, k} / \gamma_s$$

$$R_{c, d} = 7614,9 \text{ (kN)}$$

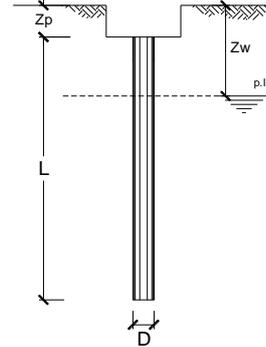
Viadotto Marroggia (V01)  
RELAZIONE di CALCOLO PALI DI FONDAZIONE

8.5 Pile 17 ÷ 20

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D):	1,20	(m)	Area del Palo (A <sub>p</sub> ):	1,131	(m <sup>2</sup> )
Quota testa Palo dal p.c. (z <sub>p</sub> ):	0,00	(m)	Quota falda dal p.c. (z <sub>f</sub> ):	5,00	(m)
Carico Assiale Permanente (G):	6292	(kN)	Carico Assiale variabile (Q):		(kN)
Numero di strati	3		L <sub>palo</sub> =	30,00	(m)

coefficienti parziali		azioni		resistenza laterale e di base		
Metodo di calcolo		permanenti γ <sub>G</sub>	variabili γ <sub>Q</sub>	γ <sub>b</sub>	γ <sub>s</sub>	γ <sub>s, straz</sub>
UD S	A1+M1+R1	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00
	A2+M1+R2	1,00	1,30	1,70	1,45	1,60
	A1+M1+R3	1,30	1,50	1,35	1,15	1,25
	SISMA	1,00	1,00	1,35	1,15	1,25
DM88		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
definiti dal progettista		1,00	1,00	1,35	1,15	1,25



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ <sub>3</sub>	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,00	1,00
ξ <sub>4</sub>	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21	1,00	1,00

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m <sup>3</sup> )	c' med (kPa)	φ' med (°)	c <sub>u</sub> med (kPa)
1	8,00	All	18,50		38,0	
2	17,00	BIS-1	20,00			200,0
3	5,00	BIS-2	22,00		40,0	

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
(-)	(-)	(-)	(-)
0,50	0,78		
0,00	0,00		0,35
0,50	0,84		

RISULTATI

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Q <sub>si</sub>	N <sub>q</sub>	N <sub>c</sub>	q <sub>b</sub>	Q <sub>bm</sub>
			(kN)	(-)	(-)	(kPa)	(kN)
1	8,00	All	805,6				
2	17,00	BIS-1	4486,2				
3	5,00	BIS-2	2514,8	54,90	0,00	10000,0	11309,7

CARICO ASSIALE AGENTE

$$N_d = N_G \cdot \gamma_G + N_Q \cdot \gamma_Q$$

$$N_d = 6292,0 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE

$$\text{base } R_{b, \text{cal}} = 11309,7 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s, \text{cal}} = 7806,6 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c, \text{cal}} = 19116,3 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

$$R_{b, k} = (R_{b, \text{cal}} / \xi_3) = 6652,8 \text{ (kN)}$$

$$R_{s, k} = (R_{s, \text{cal}} / \xi_3) = 4592,1 \text{ (kN)}$$

$$R_{c, k} = R_{b, k} + R_{s, k} = 11244,9 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

$$R_{c, d} = R_{b, k} / \gamma_b + R_{s, k} / \gamma_s$$

$$R_{c, d} = 8921,1 \text{ (kN)}$$

## 9 ALLEGATO B - CARICO LIMITE NEI CONFRONTI DEI CARICHI TRASVERSALI

### 9.1 Spalla 1

- Calcolo del momento di plasticizzazione  $M_y$  della sezione del palo:

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 60 [cm]  
Raggio interno: 0 [cm]  
N° barre uguali: 30  
Diametro barre: 3,2 [cm]  
Copriferro (baric.): 11,5 [cm]

N° barre: 25 Zoom

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	8,04	0	42,1
2	8,04	10,5	40,8
3	8,04	20,3	36,9
4	8,04	28,8	30,7
5	8,04	35,5	22,6
6	8,04	40	13

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

$N_{Ed}$ : -476 1065 kN  
 $M_{xEd}$ : 0 1279 kNm  
 $M_{yEd}$ : 0 0

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls  
 Coord. [cm] xN: 0 yN: 0

**Materiali**

B450C C32/40

$E_{su}$ : 67,5 ‰  $E_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391,3 N/mm²  $E_{cu}$ : 3,5 ‰  
 $E_s$ : 210.000 N/mm²  $f_{cd}$ : 18,81 ‰  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0,8 ?  
 $E_{syd}$ : 1,063 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 12,25 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm²  $\tau_{co}$ : 0,7333 ‰  
 $\tau_{c1}$ : 2,114 ‰

**M**  $M_{xRd}$ : 6,134 kNm  
 $\sigma_c$ : -18,81 N/mm²  
 $\sigma_s$ : 391,3 N/mm²  
 $\epsilon_s$ : 3,5 ‰  
 $\epsilon_s$ : 5,878 ‰  
d: 108,5 cm  
x: 40,49 x/d: 0,3732  
 $\delta$ : 0,9065

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.  
 Metodo n

**Tipo flessione**

Retta  Deviata

Vertici: 52 N° rett.: 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
 $L_0$ : 0 cm Col. modello

Precompresso

- Calcolo della resistenza ( $H_d = R_{T,d}$ ) del palo nei confronti delle azioni trasversali (Broms)

strati terreno	descrizione	quote (m)	$\gamma$ (kN/m³)	$\gamma'$ (kN/m³)	$\phi$ (°)	$k_p$	$c_u$ (kPa)
p.c.=strato 1		100,00	20	10		1,00	200
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2		85,00	22	12	40	4,60	
<input type="checkbox"/> strato 3						1,00	
<input type="checkbox"/> strato 4						1,00	
<input type="checkbox"/> strato 5						1,00	
<input type="checkbox"/> strato 6						1,00	

Quota falda: 100 (m)  
Diametro del palo D: 1,20 (m)  
Lunghezza del palo L: 20,00 (m)  
Momento di plasticizzazione palo  $M_y$ : 6134 (kNm)  
Step di calcolo: 0,01 (m)

palo impedito di ruotare  
 palo libero

**Calcolo (crt+?)**

Palo lungo H = 4374,0 (kN)  
Palo intermedio H = 15574,8 (kN)  
Palo corto H = 43434,1 (kN)  
Hlim = 4374,0 (kN) Palo lungo  
Hk = Hlim/ $E_s$  = 2572,9 (kN)  
Ha = Hk/ $\gamma_T$  = 1979,2 (kN)

## 9.2 Pile 1 ÷ 4

- Calcolo del momento di plasticizzazione  $M_y$  della sezione del palo:

**Titolo:** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 60 [cm]  
Raggio interno: 0 [cm]  
N° barre uguali: 30  
Diametro barre: 2,6 [cm]  
Copriferro (baric.): 10,8 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipo Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub>: -1003 1497 [kN]  
 M<sub>Ed</sub>: 0 294,5 [kNm]  
 M<sub>yEd</sub>: 0 0

**P.to applicazione N**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Materiali**  
 B450C C32/40  
 $\epsilon_{su}$ : 67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391,3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ : 3,5 ‰  
 $E_s$ : 210.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$ : 18,13 ‰  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0,8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1,863 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 12,25  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$ : 0,7333  
 $\tau_{c1}$ : 2,114

**P.to rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato  
 M<sub>xRd</sub>: 2,367 [kN m]  
 $\sigma_c$ : -18,13 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$ : 391,3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$ : 3,5 ‰  
 $\epsilon_s$ : 11,88 ‰  
 d: 109,2 cm  
 x: 24,85 x/d: 0,2275  
 $\delta$ : 0,7244

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviata

Vertici: 52 N° rett.: 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub>: 0 cm Col. modello

Precompresso

- Calcolo della resistenza ( $H_d = R_{T,d}$ ) del palo nei confronti delle azioni trasversali (Broms)

strati terreno	descrizione	quote (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	$k_p$	$c_u$ (kPa)
p.c.=strato 1		100,00	18,5	8,5	38	4,20	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2		95,00	20	10		1,00	200
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3		85,00	22	12	40	4,60	
<input type="checkbox"/> strato 4						1,00	
<input type="checkbox"/> strato 5						1,00	
<input type="checkbox"/> strato 6						1,00	

Quota falda	100 (m)
Diametro del palo D	1,20 (m)
Lunghezza del palo L	25,00 (m)
Momento di plasticizzazione palo $M_y$	2367 (kNm)
Step di calcolo	0,01 (m)

palo impedito di ruotare  
 palo libero

Palo lungo	H =	1478,8 (kN)	
Palo intermedio	H =	16412,2 (kN)	
Palo corto	H =	56734,0 (kN)	
	H <sub>lim</sub> =	1478,8 (kN)	Palo lungo
	$H_k = H_{lim}/\epsilon_s =$	869,9 (kN)	
	$H_d = H_k/\gamma_T =$	669,1 (kN)	

### 9.3 Pile 5 ÷ 7

- Calcolo del momento di plasticizzazione  $M_y$  della sezione del palo:

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 60 [cm]  
Raggio interno: 0 [cm]  
N° barre uguali: 30  
Diametro barre: 2,6 [cm]  
Copriferro (baric.): 10,8 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipo Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**  
S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: -1931 1214 kN  
M<sub>xEd</sub>: 0 297 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0 0

**P.to applicazione N**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Tipo rottura**  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**  
B450C C32/40

ε<sub>su</sub>: 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub>: 2 ‰  
f<sub>yd</sub>: 391,3 N/mm<sup>2</sup> ε<sub>cu</sub>: 3,5 ‰  
E<sub>s</sub>: 210.000 N/mm<sup>2</sup> f<sub>cd</sub>: 18,13 ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0,8  
ε<sub>syd</sub>: 1,863 ‰ σ<sub>c,adm</sub>: 12,25 ‰  
σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub>: 0,7333  
τ<sub>c1</sub>: 2,114

M<sub>xRd</sub>: 2,006 kN m  
σ<sub>c</sub>: -18,13 N/mm<sup>2</sup>  
σ<sub>s</sub>: 391,3 N/mm<sup>2</sup>  
ε<sub>c</sub>: 3,5 ‰  
ε<sub>s</sub>: 14,4 ‰  
d: 109,2 cm  
x: 21,35 x/d: 0,1955  
δ: 0,7

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviata

Vertici: 52 N° rett.: 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub>: 0 cm Col. modello

Precompresso

- Calcolo della resistenza ( $H_d = R_{T,d}$ ) del palo nei confronti delle azioni trasversali (Broms)

strati terreno	descrizione	quote (m)	γ (kN/m <sup>3</sup> )	γ' (kN/m <sup>3</sup> )	φ (°)	k <sub>p</sub>	c <sub>u</sub> (kPa)
p.c.=strato 1		100,00	18,5	8,5	38	4,20	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2		98,00	20	10		1,00	200
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3		87,00	22	12	35	3,69	
<input type="checkbox"/> strato 4						1,00	
<input type="checkbox"/> strato 5						1,00	
<input type="checkbox"/> strato 6						1,00	

Quota falda		100 (m)
Diametro del palo D		1,20 (m)
Lunghezza del palo L		30,00 (m)
Momento di plasticizzazione palo M <sub>y</sub>		2003 (kNm)
Step di calcolo		0,01 (m)

palo impedito di ruotare  
 palo libero

**Calcolo (ctri+)**

Palo lungo	H =	1801,7 (kN)	
Palo intermedio	H =	25406,7 (kN)	
Palo corto	H =	75734,3 (kN)	
	H <sub>lim</sub> =	1801,7 (kN)	Palo lungo
	H <sub>k</sub> = H <sub>lim</sub> /E <sub>s</sub> =	1059,8 (kN)	
	H <sub>d</sub> = H <sub>k</sub> /γ <sub>T</sub> =	815,2 (kN)	

### 9.4 Pile 8 ÷ 16

- Calcolo del momento di plasticizzazione  $M_y$  della sezione del palo:

**Titolo:** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 60 [cm]  
Raggio interno: 0 [cm]  
N° barre uguali: 30  
Diametro barre: 2,6 [cm]  
Copriferro (baric.): 10,8 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipo Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub>: -65 1181 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 0 199,9 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0 0

**P.to applicazione N**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Materiali**  
 B450C C32/40  
 ε<sub>su</sub>: 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub>: 2 ‰  
 f<sub>yd</sub>: 391,3 N/mm<sup>2</sup> ε<sub>cu</sub>: 3,5 ‰  
 E<sub>s</sub>: 210.000 N/mm<sup>2</sup> f<sub>cd</sub>: 18,13  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0,8  
 ε<sub>syd</sub>: 1,863 ‰ σ<sub>c,adm</sub>: 12,25  
 σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub>: 0,7333  
 τ<sub>c1</sub>: 2,114

**P.to rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato  
 M<sub>xRd</sub>: 2.702 kNm  
 σ<sub>c</sub>: -18,13 N/mm<sup>2</sup>  
 σ<sub>s</sub>: 391,3 N/mm<sup>2</sup>  
 ε<sub>c</sub>: 3,5 ‰  
 ε<sub>s</sub>: 9,83 ‰  
 d: 109,2 cm  
 x: 28,67 x/d: 0,2626  
 δ: 0,7682

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U. +  S.L.U. -  
 Metodo n

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviata

Vertici: 52 N° rett.: 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub>: 0 cm Col. modello

Precompresso

- Calcolo della resistenza ( $H_d = R_{T,d}$ ) del palo nei confronti delle azioni trasversali (Broms)

strati terreno	descrizione	quote (m)	γ (kN/m <sup>3</sup> )	γ' (kN/m <sup>3</sup> )	φ (°)	k <sub>p</sub>	c <sub>u</sub> (kPa)
p.c.=strato 1		100,00	18,5	8,5	38	4,20	
strato 2		95,00	20	10		1,00	200
strato 3		85,00	22	12	40	4,60	
strato 4						1,00	
strato 5						1,00	
strato 6						1,00	

Quota falda		97,5 (m)
Diametro del palo D		1,20 (m)
Lunghezza del palo L		22,00 (m)
Momento di plasticizzazione palo M <sub>y</sub>		2702 (kNm)
Step di calcolo		0,01 (m)

palo impedito di ruotare  
 palo libero

	Calcolo (ctrl+r)	
Palo lungo	H = 2074,0 (kN)	
Palo intermedio	H = 14640,3 (kN)	
Palo corto	H = 48906,2 (kN)	
	H <sub>lim</sub> = 2074,0 (kN)	Palo lungo
	H <sub>k</sub> = H <sub>lim</sub> /ε <sub>s3</sub> = 1220,0 (kN)	
	H <sub>d</sub> = H <sub>k</sub> /γ <sub>T</sub> = 938,4 (kN)	

### 9.5 Pile 17 ÷ 20

- Calcolo del momento di plasticizzazione  $M_y$  della sezione del palo:

**Titolo:** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 60 [cm]  
Raggio interno: 0 [cm]  
N° barre uguali: 30  
Diametro barre: 2,6 [cm]  
Copriferro (baric.): 10,8 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipo Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**  
S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 670 1749 kN  
M<sub>xEd</sub>: 0 197,9 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0 0

**P.to applicazione N**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Tipo rottura**  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**  
B450C C32/40  
E<sub>su</sub>: 67,5 ‰ E<sub>c2</sub>: 2 ‰  
f<sub>yd</sub>: 391,3 N/mm<sup>2</sup> E<sub>cu</sub>: 3,5 ‰  
E<sub>s</sub>: 210.000 N/mm<sup>2</sup> f<sub>cd</sub>: 18,13 ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>: 0,8 ‰  
E<sub>syd</sub>: 1,863 ‰ σ<sub>c,adm</sub>: 12,25 ‰  
σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub>: 0,7333 ‰  
τ<sub>cl</sub>: 2,114 ‰

M<sub>xRd</sub>: 2.937 kNm  
σ<sub>c</sub>: -18,13 N/mm<sup>2</sup>  
ε<sub>c</sub>: 3,5 ‰  
ε<sub>s</sub>: 8,621 ‰  
d: 109,2 cm  
x: 31,53 x/d: 0,2888  
δ: 0,8009

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviata

Vertici: 52 N° rett.: 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub>: 0 cm Col. modello

Precompresso

- Calcolo della resistenza ( $H_d = R_{T,d}$ ) del palo nei confronti delle azioni trasversali (Broms)

strati terreno	descrizione	quote (m)	γ (kN/m <sup>3</sup> )	γ' (kN/m <sup>3</sup> )	φ (°)	k <sub>p</sub>	c <sub>u</sub> (kPa)
p.c.=strato 1		100,00	18,5	8,5	38	4,20	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2		92,00	20	10		1,00	200
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3		75,00	22	12	40	4,60	
<input type="checkbox"/> strato 4						1,00	
<input type="checkbox"/> strato 5						1,00	
<input type="checkbox"/> strato 6						1,00	

Quota falda: 95 (m)  
Diametro del palo D: 1,20 (m)  
Lunghezza del palo L: 30,00 (m)  
Momento di plasticizzazione palo M<sub>y</sub>: 2937 (kNm)  
Step di calcolo: 0,01 (m)

palo impedito di ruotare  
 palo libero

**Calcolo (ctrl+r)**

Palo lungo H = 2211,8 (kN)  
Palo intermedio H = 21890,8 (kN)  
Palo corto H = 71322,2 (kN)

H<sub>lim</sub> = 2211,8 (kN) Palo lungo

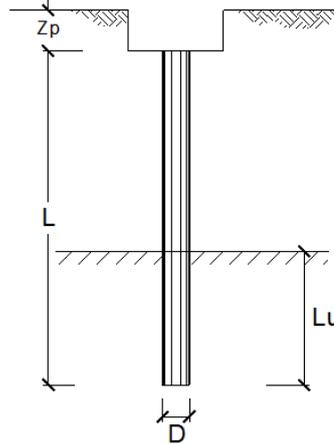
H<sub>k</sub> = H<sub>lim</sub>/5<sub>3</sub> = 1301,1 (kN)

H<sub>d</sub> = H<sub>k</sub>/γ<sub>T</sub> = 1000,8 (kN)

## 10 ALLEGATO C – COMPORTAMENTO DEI PALI SOTTOPOSTI A CARICHI ASSIALI

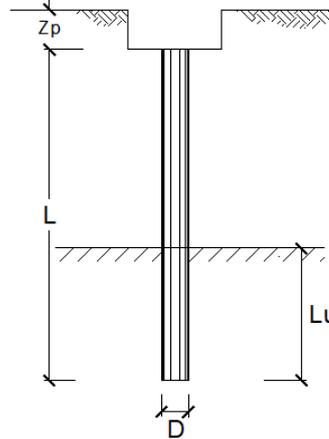
### 10.1 Spalla 1

<b>CALCOLO DEL CEDIMENTO DELLA PALIFICATA</b>	
<b>OPERA:</b>	SPALLA SP1
<b>DATI DI IMPUT:</b>	
Diametro del Palo (D):	1,20 (m)
Carico sul palo (P):	2865,0 (kN)
Lunghezza del Palo (L):	20,00 (m)
Lunghezza Utile del Palo (Lu):	20,00 (m)
Modulo di Deformazione (E):	200,00 (MPa)
Numero di pali della Palificata (n):	12 (-)
Spaziatura dei pali (s)	3,6 (m)
<b>CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:</b>	
$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{utile}$	
Coefficiente di forma	
$\beta = 0,5 + \text{Log}(L_{utile} / D):$	1,72 (-)
Cedimento del palo	
$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{utile}$	= 1,23 (mm)
<b>CEDIMENTO DELLA PALIFICATA:</b>	
$\delta_p = R_s \cdot \delta = n \cdot R_g \cdot \delta$	
Coefficiente di Gruppo	
$R_g = 0,5 / R + 0,13 / R^2$ (Viggiani, 1999)	
$R = (n \cdot s / L)^{0,5}$	R = 1,470
Cedimento della palificata	
$\delta_p = n \cdot R_g \cdot \delta =$	12 * 0,40 * 1,23 = 5,93 (mm)



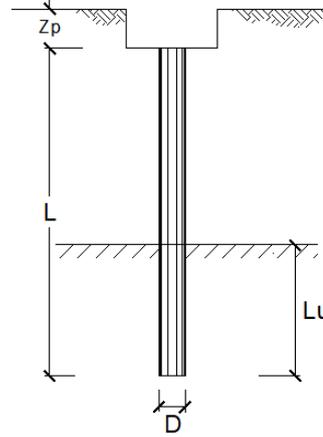
## 10.2 Pile 1 ÷ 4

<b>CALCOLO DEL CEDIMENTO DELLA PALIFICATA</b>	
<b>OPERA:</b>	PILE 1 ÷ 4
<b>DATI DI IMPUT:</b>	
Diametro del Palo (D):	1,20 (m)
Carico sul palo (P):	3176,0 (kN)
Lunghezza del Palo (L):	25,00 (m)
Lunghezza Utile del Palo (Lu):	20,00 (m)
Modulo di Deformazione (E):	200,00 (MPa)
Numero di pali della Palificata (n):	6 (-)
Spaziatura dei pali (s)	3,6 (m)
<b>CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:</b>	
$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{utile}$	
Coefficiente di forma	
$\beta = 0,5 + \text{Log}(L_{utile} / D):$	1,72 (-)
Cedimento del palo	
$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{utile}$	= 1,37 (mm)
<b>CEDIMENTO DELLA PALIFICATA:</b>	
$\delta_p = R_s \cdot \delta = n \cdot R_g \cdot \delta$	
Coefficiente di Gruppo	
$R_g = 0,5 / R + 0,13 / R^2$ (Viggiani, 1999)	
$R = (n \cdot s / L)^{0,5}$	R = 0,930
Cedimento della palificata	
$\delta_p = n \cdot R_g \cdot \delta =$	6 * 0,69 * 1,37 = 5,65 (mm)



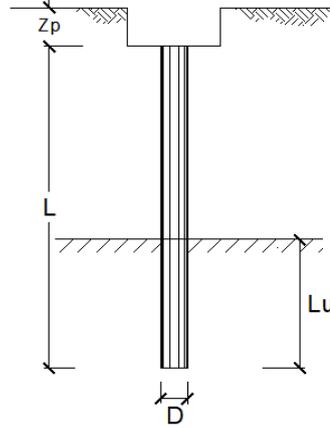
### 10.3 Pile 5 e 6

<b>CALCOLO DEL CEDIMENTO DELLA PALIFICATA</b>	
<b>OPERA:</b>	PILE 5 + 7
<b>DATI DI IMPUT:</b>	
Diametro del Palo (D):	1,20 (m)
Carico sul palo (P):	3177,0 (kN)
Lunghezza del Palo (L):	30,00 (m)
Lunghezza Utile del Palo (Lu):	28,00 (m)
Modulo di Deformazione (E):	200,00 (MPa)
Numero di pali della Palificata (n):	6 (-)
Spaziatura dei pali (s)	3,6 (m)
<b>CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:</b>	
$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{utile}$	
Coefficiente di forma	
$\beta = 0,5 + \text{Log}(L_{utile} / D):$	1,87 (-)
Cedimento del palo	
$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{utile}$	= 1,06 (mm)
<b>CEDIMENTO DELLA PALIFICATA:</b>	
$\delta_p = R_s \cdot \delta = n \cdot R_g \cdot \delta$	
Coefficiente di Gruppo	
$R_g = 0,5 / R + 0,13 / R^2$ (Viggiani, 1999)	
$R = (n \cdot s / L)^{0,5}$	R = 0,849
Cedimento della palificata	
$\delta_p = n \cdot R_g \cdot \delta =$	6 * 0,77 * 1,06 = 4,89 (mm)



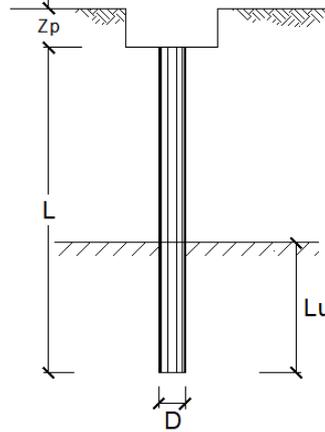
## 10.1 Pila 7

<b>CALCOLO DEL CEDIMENTO DELLA PALIFICATA</b>	
<b>OPERA:</b>	PILA 6
<b>DATI DI IMPUT:</b>	
Diametro del Palo (D):	1,20 (m)
Carico sul palo (P):	3177,0 (kN)
Lunghezza del Palo (L):	30,00 (m)
Lunghezza Utile del Palo (Lu):	28,00 (m)
Modulo di Deformazione (E):	200,00 (MPa)
Numero di pali della Palificata (n):	9 (-)
Spaziatura dei pali (s):	3,6 (m)
<b>CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:</b>	
$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{utile}$	
Coefficiente di forma	
$\beta = 0,5 + \text{Log}(L_{utile} / D):$	1,87 (-)
Cedimento del palo	
$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{utile}$	= 1,06 (mm)
<b>CEDIMENTO DELLA PALIFICATA:</b>	
$\delta_p = R_s \cdot \delta = n \cdot R_g \cdot \delta$	
Coefficiente di Gruppo	
$R_g = 0,5 / R + 0,13 / R^2$	(Viggiani, 1999)
$R = (n \cdot s / L)^{0,5}$	R = 1,039
Cedimento della palificata	
$\delta_p = n \cdot R_g \cdot \delta =$	9 * 0,60 * 1,06 = 5,74 (mm)



## 10.2 Pile 8 ÷ 16

<b>CALCOLO DEL CEDIMENTO DELLA PALIFICATA</b>	
<b>OPERA:</b>	PILE 8 ÷ 13 e 15 - 16
<b>DATI DI INPUT:</b>	
Diametro del Palo (D):	1,20 (m)
Carico sul palo (P):	3072,0 (kN)
Lunghezza del Palo (L):	22,00 (m)
Lunghezza Utile del Palo (Lu):	17,00 (m)
Modulo di Deformazione (E):	200,00 (MPa)
Numero di pali della Palificata (n):	6 (-)
Spaziatura dei pali (s)	3,6 (m)
<b>CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:</b>	
$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{utile}$	
Coefficiente di forma	
$\beta = 0,5 + \text{Log}(L_{utile} / D):$	1,65 (-)
Cedimento del palo	
$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{utile}$	= 1,49 (mm)
<b>CEDIMENTO DELLA PALIFICATA:</b>	
$\delta_p = R_s \cdot \delta = n \cdot R_g \cdot \delta$	
Coefficiente di Gruppo	
$R_g = 0,5 / R + 0,13 / R^2$ (Viggiani, 1999)	
$R = (n \cdot s / L)^{0,5}$	R = 0,991
Cedimento della palificata	
$\delta_p = n \cdot R_g \cdot \delta =$	6 * 0,64 * 1,49 = 5,70 (mm)

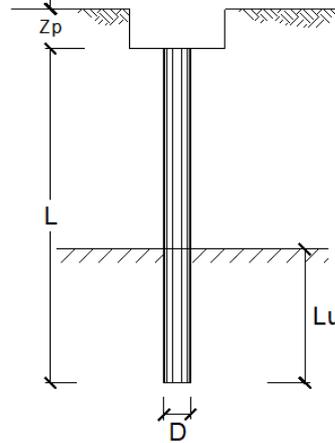


**CALCOLO DEL CEDIMENTO DELLA PALIFICATA**

**OPERA:** PILA 14

**DATI DI IMPUT:**

Diametro del Palo (D): 1,20 (m)  
Carico sul palo (P): 3072,0 (kN)  
Lunghezza del Palo (L): 22,00 (m)  
Lunghezza Utile del Palo (Lu): 17,00 (m)  
Modulo di Deformazione (E): 200,00 (MPa)  
Numero di pali della Palificata (n): 9 (-)  
Spaziatura dei pali (s): 3,6 (m)



**CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:**

$$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{utile}$$

Coefficiente di forma

$$\beta = 0,5 + \text{Log}(L_{utile} / D): 1,65 \quad (-)$$

Cedimento del palo

$$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{utile} = 1,49 \quad (\text{mm})$$

**CEDIMENTO DELLA PALIFICATA:**

$$\delta_p = R_s \cdot \delta = n \cdot R_g \cdot \delta$$

Coefficiente di Gruppo

$$R_g = 0,5 / R + 0,13 / R^2 \quad (\text{Viggiani, 1999})$$

$$R = (n \cdot s / L)^{0,5} \quad R = 1,214$$

Cedimento della palificata

$$\delta_p = n \cdot R_g \cdot \delta = 9 \cdot 0,50 \cdot 1,49 = 6,72 \quad (\text{mm})$$

### 10.3 Pile 17 ÷ 20

<b>CALCOLO DEL CEDIMENTO DELLA PALIFICATA</b>	
<b>OPERA:</b>	PILE 17 ÷ 20
<b>DATI DI IMPUT:</b>	
Diametro del Palo (D):	1,20 (m)
Carico sul palo (P):	2973,0 (kN)
Lunghezza del Palo (L):	30,00 (m)
Lunghezza Utile del Palo (Lu):	22,00 (m)
Modulo di Deformazione (E):	200,00 (MPa)
Numero di pali della Palificata (n):	6 (-)
Spaziatura dei pali (s)	3,6 (m)
<b>CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:</b>	
$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{utile}$	
Coefficiente di forma	
$\beta = 0,5 + \text{Log}(L_{utile} / D):$	1,76 (-)
Cedimento del palo	
$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{utile}$	= 1,19 (mm)
<b>CEDIMENTO DELLA PALIFICATA:</b>	
$\delta_p = R_s \cdot \delta = n \cdot R_g \cdot \delta$	
Coefficiente di Gruppo	
$R_g = 0,5 / R + 0,13 / R^2$ (Viggiani, 1999)	
$R = (n \cdot s / L)^{0,5}$	R = 0,849
Cedimento della palificata	
$\delta_p = n \cdot R_g \cdot \delta =$	6 * 0,77 * 1,19 = 5,50 (mm)

