

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DEFINITIVO

**RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA
TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

VI06 - Viadotto su Torrente Neva da km 84+888 a 85+348

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI06

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

I V 0 I 0 0 D 0 9 C L V I 0 6 0 3 0 0 2 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Aut. Autorizzanti
A	Emissione esecutiva	G.Grimaldi	Feb.2022	L.Utzeri	Feb.2022	G.Fadda	Feb.2022	ITALFERR S.p.A. U.O. Opere Civili e Gestione delle Infrastrutture Dott. Ing. Angelo Vittozzi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma N° A207832

File: IV0100D09CLVI0603002A.doc

n. Elab.: X

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	2 di 64

INDICE

1	PREMESSA	4
2	DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA E DELLE OPERE DI FONDAZIONE	5
3	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	9
3.1	NORMATIVA	9
3.2	ELABORATI DI RIFERIMENTO	10
4	MATERIALI.....	11
4.1	CALCESTRUZZO PER PALI	11
4.2	ACCIAIO PER C.A.....	11
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	12
6	PROFONDITÀ DI SCALZAMENTO	12
7	CRITERI DI VERIFICA GEOTECNICA.....	13
7.1	CRITERI DI VERIFICA GENERALI	13
7.2	CRITERI DI VERIFICA PER LE FONDAZIONI SU PALI	13
7.3	CRITERI DI CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE VERTICALE.....	14
7.4	CRITERI DI CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE ORIZZONTALE	19
8	CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALE.....	22
8.1	CRITERI DI VERIFICA GENERALI	22
8.2	INTERAZIONE PALO-TERRENO E CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI.....	23
9	ANALISI E VERIFICHE SPALLE	24
9.1	SOLLECITAZIONI DI VERIFICA	24
9.2	VERIFICA DI PORTATA VERTICALE.....	30
9.3	VERIFICA DI PORTATA TRASVERSALE	40
9.4	VERIFICHE STRUTTURALI.....	47
10	ANALISI E VERIFICHE PILE.....	53

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	3 di 64

10.1	SOLLECITAZIONI DI VERIFICA	53
10.2	VERIFICA DI PORTATA VERTICALE	56
10.3	VERIFICA DI PORTATA TRASVERSALE	90
10.4	VERIFICHE STRUTTURALI.....	96

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	4 di 64

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la relazione geotecnica e di calcolo delle opere di fondazione del viadotto sul Torrente Varatello tra le progressive chilometriche 84+888 e 85+348 nell'ambito del progetto di raddoppio della linea Genova-Ventimiglia, tratta finale Ligure-Andora.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	5 di 64

2 DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA E DELLE OPERE DI FONDAZIONE

Il viadotto in esame si sviluppa su 10 campate a doppio binario con luci comprese tra 43.50 e 48.0 m.

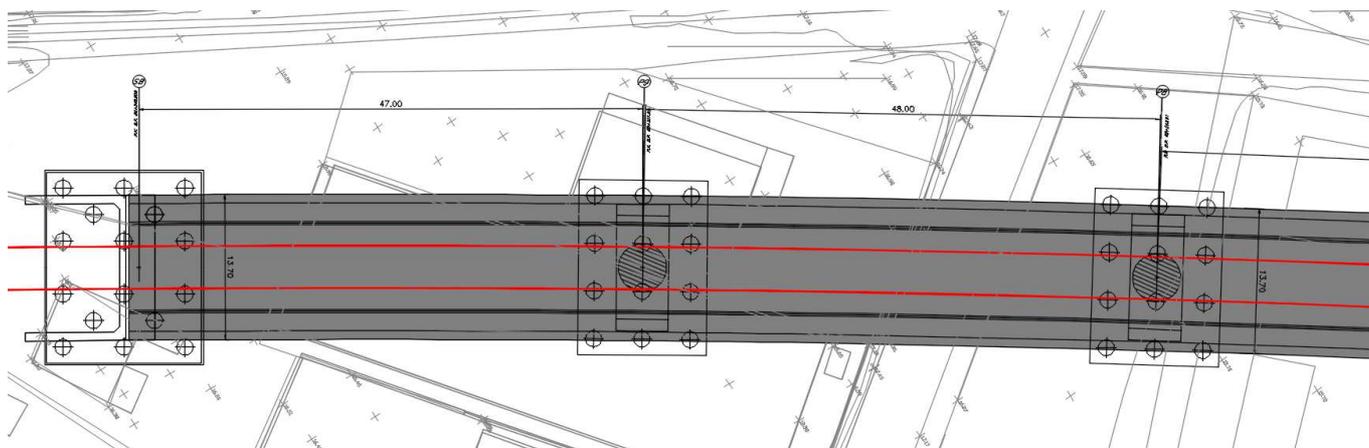


Figura 2-1: planimetria generale tra spalla B e Pila 8

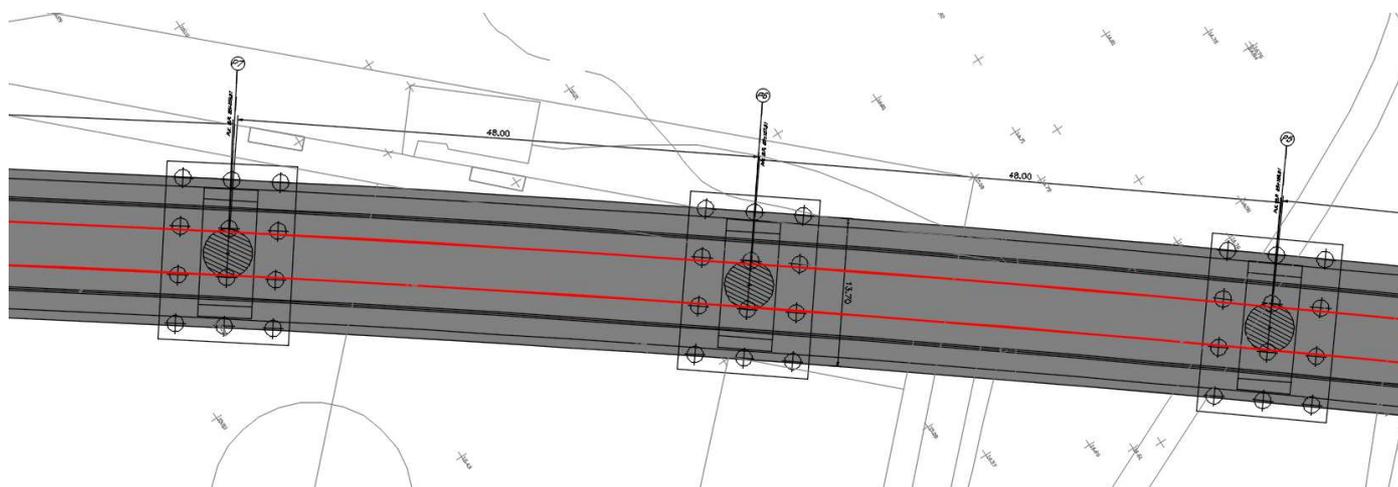


Figura 2: planimetria generale tra Pila 7 e Pila 5

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	6 di 64

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**



Figura 3: planimetria generale tra Pila4 e Pila 2

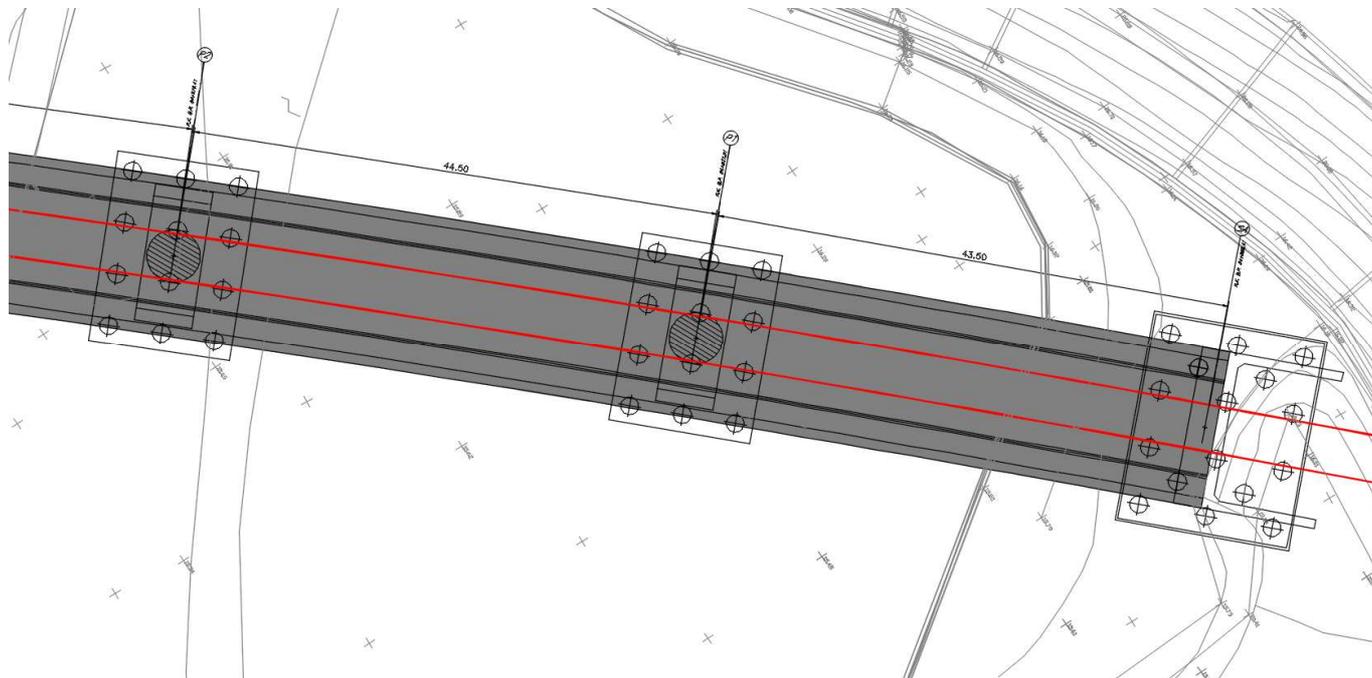


Figura 4: planimetria generale tra Pila2 e Spalla A

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI06</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IV01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>VI0603 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>7 di 64</p>

L'impalcato è in struttura mista acciaio-calcestruzzo realizzato da quattro travi in acciaio a doppio T collaboranti con una soletta di calcestruzzo per mezzo di connettori a taglio disposti sulla piattabanda superiore. Le travi hanno un'altezza di 3.75 m che si riduce in corrispondenza degli appoggi. La singola trave è realizzata mediante la giunzione di tre conci. La controventatura di piano posta in corrispondenza della piattabanda superiore ha lo scopo di assicurare la stabilità delle travi durante le fasi di varo e di getto della soletta. L'ispezionabilità è consentita mediante la posa di grigliati sulle piattabande inferiori delle travi e la predisposizione di passi d'uomo sui diaframmi a parete piena. Il sollevamento dell'impalcato per l'eventuale sostituzione degli appoggi può essere eseguito mediante martinetti posti in corrispondenza del diaframma di testata che, a tale scopo, presenta opportuni irrigidimenti. L'impalcato a doppio binario è caratterizzato da un armamento di tipo tradizionale su ballast.

Le spalle su cui poggia l'impalcato in struttura mista acciaio-calcestruzzo hanno un plinto di fondazione a pianta rettangolare di dimensioni pari a 14.40 x 18.00 m e spessore 3.00m.

Il muro di testata spesso ha lunghezza pari a 13.70 m e spessore pari a 3.25m. Il muro paraghia è spesso 0.60m.

La spalla è fondata su 16 pali $\phi 1500$ di lunghezza 27 m.

Le pile hanno un'altezza del fusto variabile e un pulvino di dimensioni in pianta 11.90 x 4.90 e altezza 3m. La sezione del fusto è circolare di diametro $\phi 4.50$ m. Tutte le pile sono fondate su 12 pali, con un plinto di dimensioni 16.50 x 12.00 x 3.00m delle seguenti lunghezze:

- 30 m per la pila P1
- 37 m per le pile P2
- 45 m per le pile P3 P4
- 35 m per le pile P5 P6 P7
- 32 m per le pile P8 P9

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	8 di 64

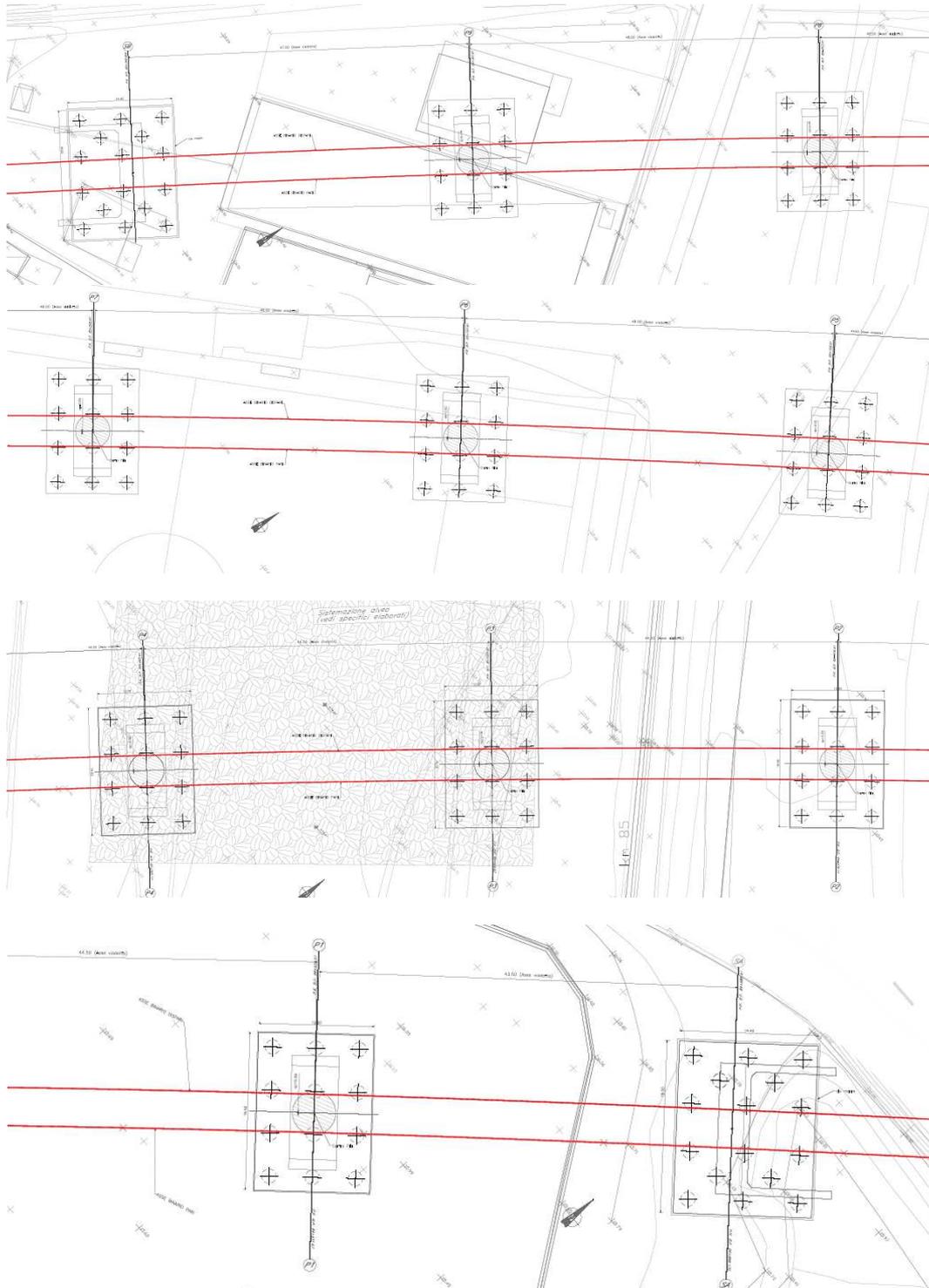


Figura 2: pianta fondazioni

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI06</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IV01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>VI0603 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>9 di 64</p>

3 **NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

3.1 **Normativa**

- Rif. [1] Ministero delle Infrastrutture, DM 17 gennaio 2018, «Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”»
- Rif. [2] Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP., Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- Rif. [3] Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 001 - Specifica per la progettazione e l’esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario
- Rif. [4] Istruzione RFI DTC INC CS SP IFS 001 - Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie
- Rif. [5] Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 002 - Specifica per la progettazione e l’esecuzione di cavalcavia e passerelle pedonali sulla sede ferroviaria
- Rif. [6] Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 Novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione europea

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	11 di 64

4 MATERIALI

Si riportano di seguito i materiali previsti per la realizzazione delle strutture, suddivisi per elemento costruttivo.

4.1 Calcestruzzo per pali

Classe	C25/30		
$R_{ck} =$	30	MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck} =$	25	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{cm} =$	36	MPa	valor medio resistenza cilindrica
$\alpha_{cc} =$	0.85		coef. rid. Per carichi di lunga durata
$\gamma_M =$	1.5	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
$f_{cd} =$	14.17	MPa	resistenza di progetto
$f_{ctm} =$	2.56	MPa	resistenza media a trazione semplice
$f_{ctfm} =$	3.07	MPa	resistenza media a trazione per flessione
$f_{ctk} =$	1.80	MPa	valore caratteristico resistenza a trazione
$E_{cm} =$	32300	MPa	Modulo elastico di progetto
$\nu =$	0.2		Coefficiente di Poisson
$G_c =$	13458	MPa	Modulo elastico Tangenziale di progetto
Classe di esposizione ambientale			XC2
Copriferro minimo			60 mm

4.2 Acciaio per c.a.

B450C			
$f_{yk} \geq$	450	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$f_{tk} \geq$	540	MPa	tensione caratteristica di rottura
$(f_t/f_y)_k \geq$	1,15		
$(f_t/f_y)_k <$	1,35		
$g_s =$	1,15	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
$f_{yd} =$	391,3	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$E_s =$	200000	MPa	Modulo elastico di progetto
$\epsilon_{yd} =$	0,196%		deformazione di progetto a snervamento
$\epsilon_{uk} = (A_{gt})_k$	7,50%		deformazione caratteristica ultima

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	12 di 64

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Di seguito si riporta la stratigrafia di progetto con i relativi parametri geotecnici.

										STRATIGRAFIE DI RIFERIMENTO SPALLE E PILE					
										SA e P1		P2, P3 e P4		P5, P6, P7, P8, P9 e SB	
Unità	Descrizione	γ	ϕ	c'	cu	E	Vs	v		Unità	Prof top	Unità	Prof top	Unità	Prof top
-	-	kN/mc	°	kPa	kPa	MPa	m/s	-		-	m TOP'	-	m TOP'	-	m TOP'
2	Limo con sabbia fine moderatamente consistente	20	34	0	-	40	210	0.25		2	0	2	0	3	0
3	Sabbia con limo ghiaiosa addensata e ghiaia con sabbia limosa	20	25	5	50	5	400	0.3		CMVc	9	CMV	15	2	2
CMV-c	Limo argilloso debolmente sabbioso da consistente a duro	20.5	25	10	100	14	800	0.25		CMV	16	CMVc	28	CMV	15
CMV	Conglomerato con clasti poligenici ed eterometrici i matrice limo-sabbiosa	20	35	0	-	50	800	0.3				CMV	33		
* m da testa palo															
Cat. Sottosuolo	B	MASW9													

6 PROFONDITÀ DI SCALZAMENTO

Di seguito si riportano le profondità di scalzamento.

ID PILA	Forma pila	D (m) [pila]	L (m) [pila]	h (m)	v (m/s)	Ys (m) Pila	Yp (m) profondità estradosso plinto	Ys > Yp	B (m) [plinto]	L (m) [plinto]	Ys (m) Pila	Plinto TR200
P2	circolare	4.5	4.5	1.5	1.2	4.1	1.5	si	12.0	16.5	6.70	
P3	circolare	4.5	4.5	4.3	3.5	7.3	2.8	si	14.6	19.1	14.10	
P4	circolare	4.5	4.5	4.8	3.7	7.6	2.5	si	14.6	19.1	14.80	
P5	circolare	4.5	4.5	3	1.1	4.9	1.5	si	12.0	16.5	8.00	
P6	circolare	4.5	4.5	2.3	1.3	4.6	1.0	si	12.0	16.5	7.80	
P7	circolare	4.5	4.5	2	1.1	4.4	1.0	si	12.0	16.5	7.30	
P8	circolare	4.5	4.5	1.5	0.5	2	1.0	si	12.0	16.5	3.80	
P9	circolare	4.5	4.5	0.5	0.1	0.85	1.0	no	12.0	16.5	0.85	

Figura 6-1: Profondità di scalzamento per Tr = 200 anni

ID PILA	Forma pila	D (m) [pila]	L (m) [pila]	h (m)	v (m/s)	Ys (m) Pila	Yp (m) profondità estradosso plinto	Ys > Yp	B (m) [plinto]	L (m) [plinto]	Ys (m) Pila	Plinto TR = 1
P3	circolare	4.5	4.5	1.8	2.6	5.4	2.8	si	14.6	19.1	11.10	
P4	circolare	4.5	4.5	3.2	2.6	5.6	2.5	si	14.6	19.1	11.20	

Figura 6-2: Profondità di scalzamento per Tr = 1 anno

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI06	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0603 002	REV. A

7 CRITERI DI VERIFICA GEOTECNICA

7.1 Criteri di verifica generali

Tutte le analisi sono state effettuate con riferimento alle prescrizioni contenute nelle Norme Tecniche delle costruzioni del 17/01/2018 e nelle Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" pubblicate il 21.01.2019.

Le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) consistono, in generale, nel verificare il rispetto della condizione:

$$E_d < R_d$$

dove con E_d si indica il valore di progetto delle azioni, o degli effetti delle azioni, e con R_d il valore di progetto delle resistenze.

La verifica di tale condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali definiti rispettivamente per la azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

7.2 Criteri di verifica per le fondazioni su pali

Relativamente alle fondazioni su pali, viene adottato il seguente approccio:

Approccio 2): A1 + M1 + R3

Il valore di progetto delle azioni (E_d) è stato ricavato dal calcolo strutturale con riferimento alle combinazioni statiche SLU-STR e sismiche SLV, a partire dai valori caratteristici (permanenti e variabili) opportunamente amplificati mediante i coefficienti parziali γ_F .

Il valore di progetto della resistenza del palo (R_d) nei confronti dei carichi assiali è stato ottenuto a partire dai valori di calcolo delle resistenze limite medie lungo il fusto ($R_{lat,cal}$) e alla base ($R_{b,cal}$), ridotti mediante il coefficiente riduttivo ξ_3 , funzione del numero di verticali indagate (cfr. Figura 7-1- tab. 6.4.IV di NTC18), per ottenere i valori caratteristici ($R_{lat,k}$ e $R_{b,k}$) ai quali sono stati poi applicati i coefficienti parziali di sicurezza γ_R (cfr. Figura 7-2- Tab. 6.4.II di NTC18).

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Figura 7-1. Fattori di correlazione per la determinazione della resistenza caratteristica per le fondazioni su pali

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI06	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0603 002	REV. A

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	γ_R	(R3)	(R3)	(R3)
Base	γ_b	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,15	1,15	1,15
Totale ⁽¹⁾	γ	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,25	1,25	1,25

⁽¹⁾ da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Figura 7-2. Coefficienti parziali per le fondazioni su pali – carico assiale

Il valore di progetto della resistenza del palo (R_d) nei confronti dei carichi trasversali è stato ottenuto a partire dai valori di calcolo delle resistenze limite medie lungo il fusto ($R_{lat,cal}$) e alla base ($R_{b,cal}$), ridotti mediante il coefficiente riduttivo ξ_3 , funzione del numero di verticali indagate (cfr. Figura 7-1- tab. 6.4.IV di NTC18), per ottenere i valori caratteristici ($R_{lat,k}$ e $R_{b,k}$) ai quali sono stati poi applicati i coefficienti parziali di sicurezza γ_R (cfr. Figura 7-2- Tab. 6.4.VI di NTC18).

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

Figura 7-3. Coefficienti parziali per le fondazioni su pali – carico trasversale

Si verificherà inoltre che la risposta del palo in esercizio sia di tipo “elastico”; verificando un adeguato coefficiente di sicurezza sulla portata ultima per attrito laterale come segue:

$N_{max,SLE} < Q_{II} / 1.25$ la massima sollecitazione assiale allo SLE RARA dovrà essere inferiore alla portata laterale limite del palo con un fattore di sicurezza di 1.25.

7.3 Criteri di calcolo della capacità portante verticale

Le resistenze di calcolo delle palificate di fondazione per le verifiche agli stati limite ultimi di collasso sotto azioni verticali ($R_{c,cal}$) ed orizzontali ($R_{tr,cal}$) sono valutate a partire dai valori di resistenza di calcolo del palo singolo, tenendo opportunamente conto, attraverso un coefficiente di efficienza stabilito di volta in volta, dell’interazione tra pali.

Determinazione della resistenza di progetto a compressione

La portata di progetto di un palo trivellato (eseguito con completa asportazione del terreno) “Qd” può essere espressa dalla seguente relazione:

$$Q_d = Q_{II} / F_{SL} + Q_{bl} / F_{SB} - W \cdot p$$

dove:

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI06</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0603 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 15 di 64</p>

Q_{ll} = portata laterale limite,

Q_{bl} = portata di base limite,

$W'p$ = peso efficace del palo (al netto del peso del terreno asportato: peso calcestruzzo-peso terreno),

F_{SL} = fattore di sicurezza per la portata laterale a compressione ($=\xi_3 \cdot \gamma_s$).

F_{SB} = fattore di sicurezza per la portata di base ($=\xi_3 \cdot \gamma_b$).

Portata laterale

La portata laterale limite viene valutata con la seguente relazione:

$$Q_{ll} = \pi \cdot D \cdot \sum_i (\tau_i \cdot h_i)$$

dove:

D = diametro palo,

τ_i = tensione di adesione laterale limite nello strato i -esimo,

h_i = altezza dello strato i -esimo.

Depositi incoerenti

Per i depositi incoerenti, la tensione tangenziale ultima lungo il fusto del palo, in accordo ad esempio a Burland [1973], Reese & O'Neill [1988], Chen & Kulhawy [1994], O'Neill & Hassan [1994], può essere valutata con riferimento alla seguente espressione:

$$\tau_i = \beta \cdot \sigma'v \leq \tau_{i,max}$$

dove:

$\sigma'v$ = tensione verticale efficace litostatica,

$\tau_{i,max}$ = valore massimo dell'adesione laterale limite palo-terreno (pari a 150 kPa per terreni incoerenti).

β = coefficiente empirico $\beta = k \cdot \tan \phi$, essendo

k = coefficiente di pressione laterale = 0.5;

ϕ = angolo di resistenza al taglio.

Depositi coesivi

Per i terreni coesivi superficiali (alluvionali) la tensione tangenziale è stata valutata con la seguente espressione:

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI06</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0603 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 16 di 64</p>

$$\tau_i = \alpha \cdot c_u \leq \tau_{l,max}$$

Dove:

c_u = resistenza al taglio in condizioni non drenate

α = parametro empirico assunto come da Indicazione AGI:

$\alpha = 0.90$ per $c_u \leq 25$ kPa;

$\alpha = 0.80$ per $25 \leq c_u \leq 50$ kPa;

$\alpha = 0.60$ per $50 \leq c_u \leq 75$ kPa;

$\alpha = 0.40$ per $c_u \geq 75$ kPa.

$\tau_{l,max}$ = valore massimo dell'adesione laterale limite palo-terreno (pari a 100 kPa per terreni coesivi alluvionali).

Inoltre per i terreni coesivi alluvionali è stata anche eseguita una verifica in tensioni efficaci; in particolare si è controllato che:

$$\tau_i > 0.23 \cdot \sigma'_v$$

$$\tau_i < 0.25 \cdot \sigma'_v$$

Roccia

Si fa riferimento alle formulazioni riportate nel noto volume “Piling Engineering” di Randolph et al, in accordo al quale:

$$\tau_i = [(UCS/2)/p_a]^{0.5}$$

dove:

UCS = resistenza a compressione monoassiale della roccia

p_a = pressione atmosferica

Nel caso in esame si limita conservativamente la tensione tangenziale a 300 kPa.

Portata di base

Per la valutazione della portata di base limite sono state utilizzate le seguenti relazioni:

$$Q_{bl} = A_p \cdot q_{bl}$$

dove:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI06	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0603 002	REV. A

A_p = area della base del palo,

q_{bl} = portata limite specifica di base.

Depositi incoerenti

Nei terreni incoerenti, la pressione di base del palo associabile a cedimenti pari al 10% del diametro del palo, viene valutata con la relazione di Berezantzev (1965) indicata nelle Raccomandazioni AGI:

$$q_b = N_q^* \cdot \sigma'_v \leq q_{b,lim}$$

essendo:

N_q^* = coefficiente in funzione dell'angolo di resistenza al taglio del terreno (Raccomandazioni AGI);

σ'_v = tensione verticale efficace;

$q_{b,lim}$ = pressione ultima di base massima consigliabile. Nel caso in esame si è fatto riferimento a quanto indicato da Gwizdala, 1984, vedasi seguente tabella.

Tabella 1 – Valori di q_{blim} secondo Gwizdala [1984]

	$q_{b,lim}$ (kPa)
GHIAIE	7300
SABBIE	5800
SABBIE LIMOSE	4300

Depositi coesivi

La portata di base limite nei terreni coesivi viene valutata con la seguente relazione:

$$q_b = 9 \cdot c_u + \sigma_v \leq q_{b,lim}$$

dove:

c_u = resistenza al taglio non drenata [kPa];

σ_v = tensione totale verticale;

$q_{b,lim}$ = pressione ultima di base massima consigliabile (3800 kN in accordo a Engling e Reese, 1974).

Roccia

Si fa riferimento alle formulazioni riportate nel noto volume “Piling Engineering” di Randolph et al, in accordo al quale:

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI06</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IV01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>VI0603 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>18 di 64</p>

$$q_b = 15 \cdot p_a \cdot (UCS/p_a)^{0.5}$$

dove:

UCS = resistenza a compressione monoassiale della roccia

p_a = pressione atmosferica

Nel caso in esame si limita conservativamente la portata unitaria alla base a 7300 kPa, come per le ghiaie in accordo a Gwizdala [1984].

Determinazione della resistenza di progetto a trazione

La portata a trazione di progetto di un palo trivellato (eseguito con completa asportazione del terreno) “ Q_d ” può essere espressa dalla seguente relazione:

$$Q_d = Q_{LL} / FS_L + W'_P$$

dove:

Q_{LL} = portata laterale limite (da determinarsi in conformità a quanto già descritto nel precedente paragrafo),

W'_P = peso efficace del palo (alleggerito se sotto falda),

FS_L = fattore di sicurezza per la portata laterale a trazione ($= \gamma_{st} \cdot \xi_3$).

Verifica a carico limite verticale di una palificata

La valutazione del carico limite verticale di una palificata è eseguito come di seguito indicato:

$$R_{d,G} = N \cdot E \cdot R_{d, \text{singolo palo}}$$

La resistenza a carico verticale della palificata è data dal prodotto della resistenza del palo singolo per il numero N di pali del gruppo e per il fattore E di efficienza della palificata.

L'esperienza (Vesic, 1968) ha mostrato che per palificate in terreni incoerenti, l'efficienza risulta non minore dell'unità, quindi si può assumere $E = 1$ (per terreni incoerenti).

Per palificate in terreni coesivi, invece, l'efficienza risulta minore dell'unità e può essere valutata ad esempio con la formulazione empirica di Converse Labarre, di seguito esplicitata.

$$E = 1 - (\Phi / 90) \cdot [(n - 1) \cdot m + (m - 1) \cdot n] / (m \cdot n)$$

Dove:

E = efficienza della palificata

N = numero di pali per fila

M = numero di file

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI06	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0603 002	REV. A

$\Phi = \arctg (D/i)$ con D= diametro pali, i = interasse pali.

Nota in presenza di pile soggette a scalzamento

Nel caso di pila soggetta a scalzamento, le pressioni litostatiche efficaci sono calcolate con riferimento alla quota del fondo eroso, introducendo nel contempo un coefficiente moltiplicativo delle pressioni verticali che tenga conto in modo approssimato del fatto che queste risentono solo parzialmente del presunto alleggerimento: tale coefficiente viene posto pari a $(\sigma'_{v0} / \sigma'_v)n$ con σ'_{v0} = pressione verticale efficace in assenza di erosione, σ'_v = pressione verticale efficace in presenza di erosione e $n = 0.25$ (in favore di sicurezza)

7.4 Criteri di calcolo della capacità portante orizzontale

Per la verifica del carico limite orizzontale si fa riferimento alla teoria di Broms per il caso di pali con rotazione in testa impedita.

Le equazioni con cui si determina il carico limite a forze orizzontali dei pali sono definite di seguito al variare del tipo di meccanismo considerato.

In terreni coesivi si ha:

$$\text{Palo corto:} \quad H = 9c_u d^2 \left(\frac{L}{d} - 1.5 \right)$$

$$\text{Palo intermedio:} \quad H = -9c_u d^2 \left(\frac{L}{d} + 1.5 \right) + 9c_u d^2 \sqrt{2 \left(\frac{L}{d} \right)^2 + \frac{4}{9} \frac{M_y}{c_u d^3} + 4.5}$$

$$\text{Palo lungo:} \quad H = -13.5c_u d^2 + c_u d^2 \sqrt{182.25 + 36 \frac{M_y}{c_u d^3}}$$

dove :

H = carico limite orizzontale del palo;

c_u = resistenza non drenata del terreno;

M_y = momento di plasticizzazione del palo;

L = lunghezza del palo;

d = diametro del palo.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	20 di 64

Palo corto:

$$H = 1.5k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d} \right)^2$$

Palo intermedio:

$$H = \frac{1}{2} k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d} \right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

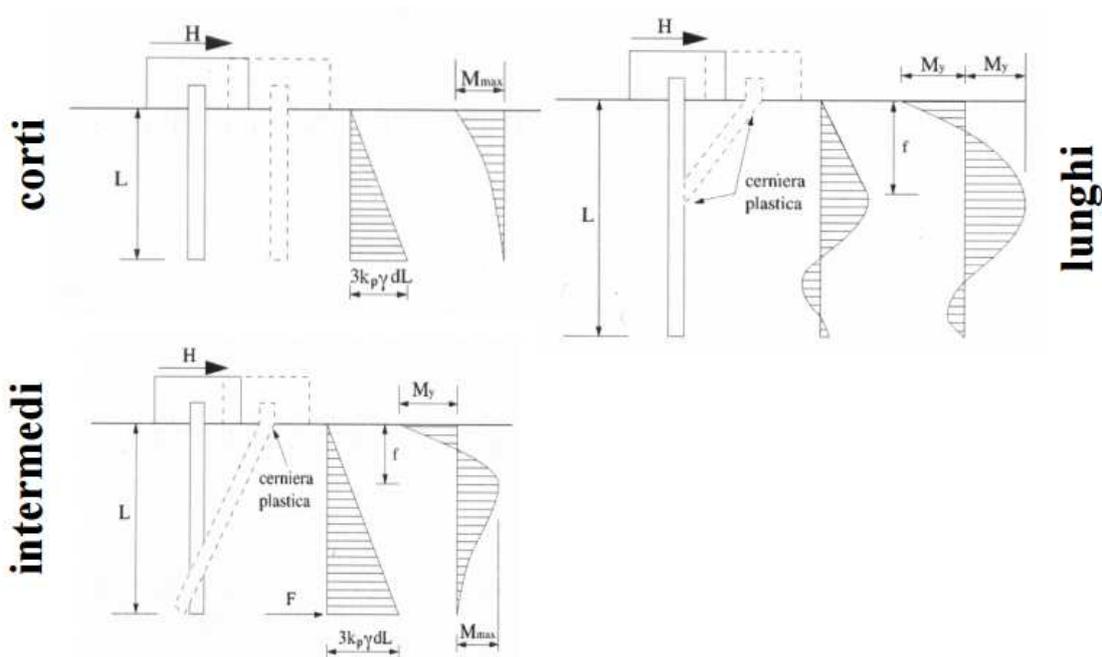
Palo lungo:

$$H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{\left(3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4} \right)^2}$$

In terreni incoerenti si ha:

Dove, oltre ai termini già definiti,

k_p = coefficiente di spinta passiva.



Nel caso in esame si è in presenza del caso di palo lungo.

Il valore di H dovrà essere confrontato con il massimo valore del taglio agente sul palo al variare delle combinazioni (Ed). Per le verifiche a carico limite orizzontale si considera cautelativamente un coefficiente di gruppo 0.8.

Il valore determinato con la teoria di Broms dovrà essere ridotto secondo quanto prevede la normativa vigente.

$$R_d = H / (\xi \cdot \gamma_r) > E_d$$

dove:

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	21 di 64

R_d = resistenza di progetto del palo

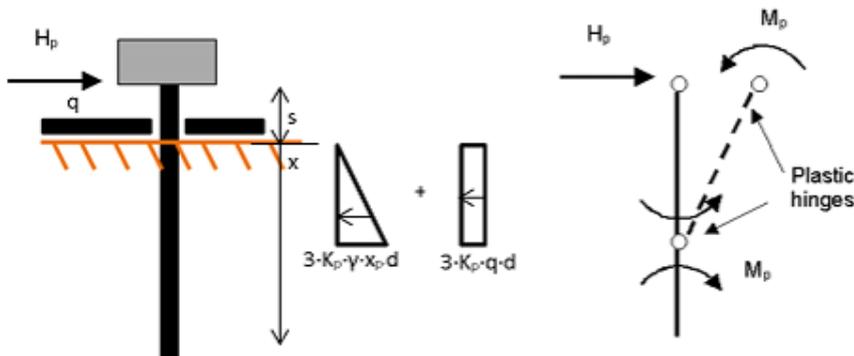
H = valore limite in funzione del meccanismo attivato (ridotto per effetto gruppo);

ξ = fattore di correlazione in funzione delle verticali indagate;

γ_T = fattore parziale per pali soggetti a carichi orizzontali

E_d = taglio di progetto sollecitante il palo.

In presenza di sovraccarico laterale la formulazione nell'ipotesi di palo lungo in terreno granulare, quale il presente caso, può essere estesa come segue.



$$f_{\text{Broms}}(x) := \frac{3}{2} \cdot \gamma \cdot x^2 \cdot K_p \cdot d \cdot \left(s + \frac{2}{3} \cdot x \right) + q \cdot 3 \cdot K_p \cdot x \cdot d \cdot \left(s + \frac{x}{2} \right) - 2 \cdot M_p$$

$$d_{\text{Broms}}(x) := 3 \cdot K_p \cdot d \cdot (q + \gamma \cdot x) \cdot (s + x)$$

$$x_p := \begin{cases} b \leftarrow 0.1\text{m} \\ \text{while } |f_{\text{Broms}}(b)| > 1 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \\ \quad db \leftarrow \frac{-f_{\text{Broms}}(b)}{d_{\text{Broms}}(b)} \\ \quad b \leftarrow b + db \\ \quad b \end{cases}$$

$$H_{\text{lim}} := \frac{3}{2} \cdot \gamma \cdot x_p^2 \cdot K_p \cdot d + q \cdot 3 \cdot K_p \cdot x_p \cdot d$$

$$H_{Rd} := \frac{E \cdot H_{\text{lim}}}{\gamma_T \cdot \xi_3}$$

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI06</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IV01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>VI0603 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>22 di 64</p>

8 CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALE

8.1 Criteri di verifica generali

In ottemperanza al D.M. del 17.01.2018 (Norme tecniche per le costruzioni), i calcoli sono condotti con il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

Verifiche SLU

Si verifica la resistenza strutturale del palo in accordo all'approccio 2 (A1+M1+R3) secondo la teoria del c.a. e le disposizioni riportate in NTC 2018, con particolare riferimento al §7.2.5 secondo il quale:

- a taglio $E_d \leq R_d/1.3$
- lo sforzo resistente a compressione del calcestruzzo è limitato a $0.45 f_{cd}$
- $M_{Ed} (q=1.0) \leq 1.5 R_d$ (condizione implicitamente soddisfatta in questo caso assumendo al massimo $q = 1.5$)

Verifiche SLE

Le verifiche a fessurazione sono state condotte considerando:

Verifica di formazione delle fessure: la verifica si esegue per la sezione interamente reagente determinando il momento di prima fessurazione e confrontandolo con quello sollecitante; se risulta $M_{cr} < M_{Ed}$ la verifica si considera soddisfatta, altrimenti si procede alla verifica di apertura delle fessure.

Verifica di apertura delle fessure: l'apertura convenzionale delle fessure è calcolata con le modalità indicate nell'Eurocodice 2-1, come indicato dal D. M. Min. II. TT. del 14 gennaio 2008, e valutata con le sollecitazioni relative alla Combinazioni Rara della normativa vigente sui ponti ferroviari. Le massime aperture ammissibili sono:

- condizioni ambientali aggressive e molto aggressive: $w_k \leq w_3 = 0.20 \text{ mm}$
- condizioni ambientali ordinarie: $w_k \leq w_3 = 0.30 \text{ mm}$

In ottemperanza a quanto prescritto dal Manuale di progettazione - Parte II/sezione II, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture si applica come limite di apertura delle fessure $w_k \leq w_3 = 0.20 \text{ mm}$.

Verifica delle tensioni di esercizio: si verifica che le tensioni di lavoro presenti nel calcestruzzo siano inferiori ai seguenti limiti:

- combinazione QP $\sigma_c < 0.40 f_{ck}$;
- combinazione Rara $\sigma_c < 0.55 f_{ck}$,

e che le tensioni di lavoro presenti nell'acciaio siano $\sigma_s < 0.75 f_{yk}$.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI06</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IV01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>VI0603 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>23 di 64</p>

8.2 Interazione palo-terreno e calcolo delle sollecitazioni

Le sollecitazioni nei pali di fondazione vengono calcolate secondo lo schema statico di trave su suolo elastico alla Winkler con rotazione impedita in testa, di lunghezza complessiva pari alla lunghezza effettiva dei pali ed aventi la medesima inerzia del palo e larghezza pari al diametro del palo.

Per quanto riguarda il comportamento dei pali alle azioni orizzontali, si fa riferimento ad un modulo di reazione orizzontale del terreno variabile con la profondità, assunto pari a $k(z)=E(z)/d$.

Si considera la testa del palo coincidente con l'intradosso della platea di fondazione.

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	24 di 64

9 ANALISI E VERIFICHE SPALLE

9.1 Sollecitazioni di verifica

Nella seguente tabella si riportano le sollecitazioni derivanti dall'analisi strutturale.

SPALLA FISSA SLE

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
RARA01	13991	-799	83694	9620	18825	1329
RARA02	12821	-771	77238	9442	-864	1376
RARA03	15013	-571	83778	7306	28579	912
RARA04	14603	-707	83746	8685	24668	1148
RARA05	10023	-525	73646	7999	-12283	1063
RARA06	11805	-917	80631	11885	13888	1573
RARA07	13197	-702	81656	8656	12564	1191
RARA08	12261	-680	76491	8513	-3187	1228
RARA09	14015	-520	81723	6804	20367	857

SPALLA FISSA SLU-SLV

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLU01	19285	-1174	114758	14189	29551	1959
SLU02	17588	-1134	105397	13931	1002	2027
SLU03	20767	-844	114880	10833	43695	1354
SLU04	18946	-1349	112964	17590	23951	2397
SLU05	17589	-1316	105475	17384	1111	2451
SLU06	20132	-1084	113061	14906	35266	1912
SLU07	19285	-1174	114758	14189	29551	1959
SLU08	13532	-788	100196	11998	-15545	1595
SLV01	-17027	-4897	73143	24910	-151555	-3807
SLV02	-17027	-4897	77506	24910	-154664	-3807
SLV03	-17027	4703	73143	-22982	-151555	4084
SLV04	-17027	4703	77506	-22982	-154664	4084
SLV05	38659	-4897	73143	24910	141639	-3807
SLV06	38659	-4897	77506	24910	138529	-3807
SLV07	38659	4703	73143	-22982	141639	4084
SLV08	38659	4703	77506	-22982	138529	4084
SLV09	2463	-16097	73143	80785	-48937	-13013

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	25 di 64

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLV10	2463	-16097	77506	80785	-52046	-13013
SLV11	19169	-16097	73143	80785	39021	-13013
SLV12	19169	-16097	77506	80785	35912	-13013
SLV13	2463	15903	73143	-78856	-48937	13290
SLV14	2463	15903	77506	-78856	-52046	13290
SLV15	19169	15903	73143	-78856	39021	13290
SLV16	19169	15903	77506	-78856	35912	13290
SLV17	2463	-4897	68053	24910	-45309	-3807
SLV18	2463	4703	68053	-22982	-45309	4084
SLV19	19169	-4897	68053	24910	42649	-3807
SLV20	19169	4703	68053	-22982	42649	4084
SLV21	2463	-4897	82595	24910	-55674	-3807
SLV22	2463	4703	82595	-22982	-55674	4084
SLV23	19169	-4897	82595	24910	32284	-3807
SLV24	19169	4703	82595	-22982	32284	4084

SPALLA MOBILE SLE

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
RARA01	-14930	-793	92867	8987	-25702	-1309
RARA02	-14930	-765	86581	8783	-17297	-1265
RARA03	-14930	-565	92783	6400	-25590	-932
RARA04	-14930	-703	92817	7966	-25635	-1160
RARA05	-11883	-515	83233	6038	-2425	-855
RARA06	-11883	-909	89945	10381	-11399	-1502
RARA07	-14321	-696	90863	7914	-20944	-1149
RARA08	-14321	-674	85834	7751	-14220	-1115
RARA09	-14321	-514	90796	5844	-20854	-848

SPALLA MOBILE SLU-SLV

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLU01	-20461	-1165	127180	13212	-38154	-1923
SLU02	-20461	-1125	118065	12917	-25967	-1860
SLU03	-20461	-835	127058	9461	-37992	-1377

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	26 di 64

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLU04	-20461	-1334	125800	15280	-36304	-2205
SLU05	-20461	-1301	118508	15043	-26554	-2155
SLU06	-20461	-1069	125702	12278	-36173	-1769
SLU07	-20461	-1165	127180	13212	-38154	-1923
SLU08	-16043	-773	113230	9057	-4428	-1282
SLV01	-28377	-5200	81960	29482	-100530	4002
SLV02	-28377	-5200	86580	29482	-97004	4002
SLV03	-28377	5006	81960	-27336	-100530	-4320
SLV04	-28377	5006	86580	-27336	-97004	-4320
SLV05	3391	-5200	81960	29482	85208	4002
SLV06	3391	-5200	86580	29482	88734	4002
SLV07	3391	5006	81960	-27336	85208	-4320
SLV08	3391	5006	86580	-27336	88734	-4320
SLV09	-17258	-17107	81960	95770	-35522	13712
SLV10	-17258	-17107	86580	95770	-31996	13712
SLV11	-7728	-17107	81960	95770	20200	13712
SLV12	-7728	-17107	86580	95770	23726	13712
SLV13	-17258	16913	81960	-93624	-35522	-14030
SLV14	-17258	16913	86580	-93624	-31996	-14030
SLV15	-7728	16913	81960	-93624	20200	-14030
SLV16	-7728	16913	86580	-93624	23726	-14030
SLV17	-17258	-5200	76570	29482	-39635	4002
SLV18	-17258	5006	76570	-27336	-39635	-4320
SLV19	-7728	-5200	76570	29482	16086	4002
SLV20	-7728	5006	76570	-27336	16086	-4320
SLV21	-17258	-5200	91970	29482	-27882	4002
SLV22	-17258	5006	91970	-27336	-27882	-4320
SLV23	-7728	-5200	91970	29482	27839	4002
SLV24	-7728	5006	91970	-27336	27839	-4320

Ai momenti sopra illustrati viene sommato il contributo dovuto al taglio agente in testa ai pali come segue:

$$M=V \cdot \lambda/2$$

dove l è la lunghezza caratteristica del palo ed è stata stimata mediante la seguente relazione:

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	27 di 64

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot J_p}{k \cdot D}} = 5.225 \text{ m}$$

con:

E = modulo di elasticità del palo = 40 MN

J_{palo} = momento d'inerzia del palo = 0.249 m⁴

K = coefficiente di Winkler = E'/D = 25 MN/m³

D = diametro del palo = 1.5 m

Per la spalla B (spalla mobile) il momenti sono calcolati considerando un braccio pari a ($\lambda/2 + 2$ m), trascurando il contributo dei primi 2 m di terreno da testa palo caratterizzato da un basso modulo elastico.

Le sollecitazioni di verifica risultano pertanto:

SPALLA FISSA SLE

Load	N	Mx	My	Vx	Vy	V	Mt
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
RARA01	83694	11709	55411	13991	799	14014	1329
RARA02	77238	11458	34392	12821	771	12844	1376
RARA03	83778	8799	67838	15013	571	15024	912
RARA04	83746	10534	62855	14603	707	14620	1148
RARA05	73646	9372	38493	10023	525	10037	1063
RARA06	80631	14283	44759	11805	917	11841	1573
RARA07	81656	10492	47075	13197	702	13216	1191
RARA08	76491	10291	35251	12261	680	12280	1228
RARA09	81723	8164	57017	14015	520	14025	857

SPALLA FISSA SLU-SLV

Load	N	Mx	My	Vx	Vy	V	Mt
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
SLU01	114758	17259	79981	19285	1174	19321	1959
SLU02	105397	16895	46996	17588	1134	17625	2027
SLU03	114880	13040	98000	20767	844	20784	1354
SLU04	112964	21117	73495	18946	1349	18994	2397
SLU05	105475	20826	47107	17589	1316	17638	2451
SLU06	113061	17742	87910	20132	1084	20161	1912

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	28 di 64

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

Load	N	Mx	My	Vx	Vy	V	Mt
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
SLU07	114758	17259	79981	19285	1174	19321	1959
SLU08	100196	14057	50929	13532	788	13554	1595
SLV01	73143	37716	196080	17027	4897	17717	3807
SLV02	77506	37716	199190	17027	4897	17717	3807
SLV03	73143	35281	196080	17027	4703	17665	4084
SLV04	77506	35281	199190	17027	4703	17665	4084
SLV05	73143	37716	242731	38659	4897	38968	3807
SLV06	77506	37716	239622	38659	4897	38968	3807
SLV07	73143	35281	242731	38659	4703	38944	4084
SLV08	77506	35281	239622	38659	4703	38944	4084
SLV09	73143	122878	55378	2463	16097	16284	13013
SLV10	77506	122878	58487	2463	16097	16284	13013
SLV11	73143	122878	89147	19169	16097	25031	13013
SLV12	77506	122878	86038	19169	16097	25031	13013
SLV13	73143	120444	55378	2463	15903	16093	13290
SLV14	77506	120444	58487	2463	15903	16093	13290
SLV15	73143	120444	89147	19169	15903	24907	13290
SLV16	77506	120444	86038	19169	15903	24907	13290
SLV17	68053	37716	51750	2463	4897	5481	3807
SLV18	68053	35281	51750	2463	4703	5309	4084
SLV19	68053	37716	92775	19169	4897	19784	3807
SLV20	68053	35281	92775	19169	4703	19737	4084
SLV21	82595	37716	62115	2463	4897	5481	3807
SLV22	82595	35281	62115	2463	4703	5309	4084
SLV23	82595	37716	82410	19169	4897	19784	3807
SLV24	82595	35281	82410	19169	4703	19737	4084

SPALLA MOBILE SLE

Load	N	Mx	My	Vx	Vy	V	Mt
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
RARA01	92867	11061	64745	14930	793	14952	1309
RARA02	86581	10784	56340	14930	765	14950	1265
RARA03	92783	7877	64633	14930	565	14941	932
RARA04	92817	9804	64679	14930	703	14947	1160
RARA05	83233	7385	33500	11883	515	11895	855
RARA06	89945	12758	42474	11883	909	11918	1502

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	29 di 64

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

Load	N	Mx	My	Vx	Vy	V	Mt
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
RARA07	90863	9735	58393	14321	696	14338	1149
RARA08	85834	9513	51670	14321	674	14337	1115
RARA09	90796	7188	58304	14321	514	14330	848

SPALLA MOBILE SLU-SLV

Load	N	Mx	My	Vx	Vy	V	Mt
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
SLU01	127180	16260	91659	20461	1165	20494	1923
SLU02	118065	15858	79472	20461	1125	20492	1860
SLU03	127058	11643	91497	20461	835	20478	1377
SLU04	125800	18768	89809	20461	1334	20504	2205
SLU05	118508	18446	80059	20461	1301	20502	2155
SLU06	125702	15075	89678	20461	1069	20489	1769
SLU07	127180	16260	91659	20461	1165	20494	1923
SLU08	113230	11078	46379	16043	773	16061	1282
SLV01	81960	43080	174735	28377	5200	28849	4002
SLV02	86580	43080	171209	28377	5200	28849	4002
SLV03	81960	40428	174735	28377	5006	28815	4320
SLV04	86580	40428	171209	28377	5006	28815	4320
SLV05	81960	43080	94076	3391	5200	6208	4002
SLV06	86580	43080	97602	3391	5200	6208	4002
SLV07	81960	40428	94076	3391	5006	6047	4320
SLV08	86580	40428	97602	3391	5006	6047	4320
SLV09	81960	140505	80651	17258	17107	24300	13712
SLV10	86580	140505	77126	17258	17107	24300	13712
SLV11	81960	140505	40407	7728	17107	18771	13712
SLV12	86580	140505	43933	7728	17107	18771	13712
SLV13	81960	137853	80651	17258	16913	24164	14030
SLV14	86580	137853	77126	17258	16913	24164	14030
SLV15	81960	137853	40407	7728	16913	18595	14030
SLV16	86580	137853	43933	7728	16913	18595	14030
SLV17	76570	43080	84765	17258	5200	18024	4002
SLV18	76570	40428	84765	17258	5006	17969	4320
SLV19	76570	43080	36294	7728	5200	9314	4002
SLV20	76570	40428	36294	7728	5006	9208	4320
SLV21	91970	43080	73012	17258	5200	18024	4002

PROGETTO DEFINITIVO

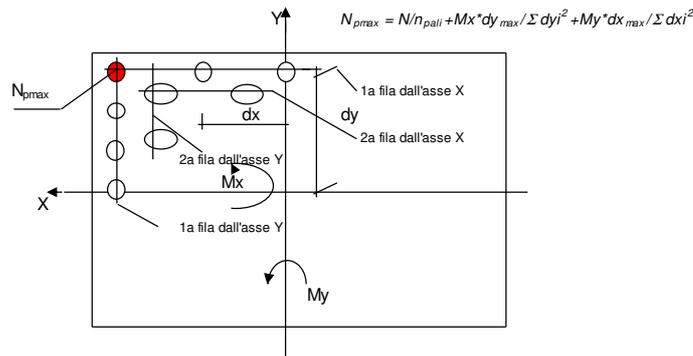
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	30 di 64

Load	N	Mx	My	Vx	Vy	V	Mt
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
SLV22	91970	40428	73012	17258	5006	17969	4320
SLV23	91970	43080	48047	7728	5200	9314	4002
SLV24	91970	40428	48047	7728	5006	9208	4320

9.2 Verifica di portata verticale

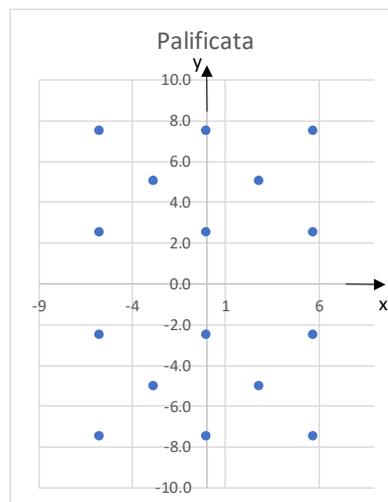
Nota la disposizione geometrica dei pali di fondazione, si può determinare l'azione verticale agente sul singolo palo tramite la seguente distribuzione elastica.



SPALLA FISSA E MOBILE – DISTRIBUZIONE PALI

Distribuzione elastica delle sollecitazioni nei pali

p	x	y
1	-5.7	-7.5
2	0	-7.5
3	5.7	-7.5
4	-2.85	-5.0
5	2.85	-5.0
6	-5.7	-2.5
7	0	-2.5
8	5.7	-2.5
9	-5.7	7.5
10	0	7.5
11	5.7	7.5
12	-2.85	5.0
13	2.85	5.0
14	-5.7	2.5
15	0	2.5
16	5.7	2.5



PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	31 di 64

SPALLA FISSA SLE

Load	AZIONE VERTICALE NEI PALI [kN]																MAX	MIN
Comb	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
RARA01	3966	5046	6126	4568	5648	4089	5169	6249	4336	5416	6496	4814	5894	5894	5293	6373	6496	3966
RARA02	3976	4646	5317	4372	5042	4097	4767	5437	4338	5008	5679	4613	5283	5283	4888	5558	5679	3976
RARA03	3775	5097	6420	4482	5805	3867	5190	6512	4053	5375	6697	4668	5990	5990	5282	6605	6697	3775
RARA04	3843	5068	6293	4511	5736	3953	5179	6404	4175	5400	6626	4732	5958	5958	5290	6515	6626	3843
RARA05	3705	4455	5205	4129	4879	3803	4554	5304	4000	4751	5501	4326	5077	5077	4652	5403	5501	3705
RARA06	3941	4814	5686	4453	5325	4092	4964	5837	4392	5265	6137	4754	5626	5626	5115	5987	6137	3941
RARA07	4020	4938	5855	4534	5452	4131	5048	5966	4351	5269	6187	4755	5673	5673	5159	6076	6187	4020
RARA08	3931	4618	5305	4329	5016	4039	4727	5414	4256	4943	5630	4545	5233	5233	4835	5522	5630	3931
RARA09	3867	4979	6090	4466	5577	3953	5065	6176	4125	5237	6348	4638	5749	5749	5151	6262	6348	3867
	4020	5097	6420	4568	5805	4131	5190	6512	4392	5416	6697	4814	5990	5990	5293	6605	6697	4020
	3705	4455	5205	4129	4879	3803	4554	5304	4000	4751	5501	4326	5077	5077	4652	5403	5501	3705

SPALLA FISSA SLU-SLV

Load	AZIONE VERTICALE NEI PALI [kN]																MAX	MIN
Comb	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
SLU01	5341	6900	8459	6211	7770	5522	7082	8641	5886	7445	9004	6575	8134	8134	7263	8822	9004	5341
SLU02	5404	6321	7237	5951	6868	5582	6498	7415	5938	6854	7770	6307	7223	7223	6676	7592	7770	5404
SLU03	5064	6974	8884	6088	7998	5201	7111	9022	5476	7386	9296	6362	8272	8272	7249	9159	9296	5064
SLU04	5294	6727	8159	6122	7554	5516	6949	8382	5961	7394	8826	6566	7999	7999	7171	8604	8826	5294
SLU05	5345	6263	7182	5914	6832	5564	6483	7401	6003	6921	7839	6352	7271	7271	6702	7620	7839	5345
SLU06	5073	6786	8500	6023	7736	5259	6973	8687	5633	7346	9060	6396	8110	8110	7160	8873	9060	5073
SLU07	5341	6900	8459	6211	7770	5522	7082	8641	5886	7445	9004	6575	8134	8134	7263	8822	9004	5341
SLU08	5048	6040	7033	5618	6611	5195	6188	7181	5491	6484	7477	5914	6907	6907	6336	7329	7477	5048
SLV01	154	3976	7798	2263	6086	551	4373	8195	1345	5167	8989	3057	6880	6880	4770	8592	8989	154
SLV02	366	4249	8131	2506	6389	763	4646	8528	1557	5440	9322	3300	7183	7183	5043	8925	9322	366
SLV03	192	4014	7837	2289	6111	564	4386	8208	1306	5129	8951	3032	6854	6854	4757	8579	8951	192
SLV04	404	4287	8170	2531	6414	776	4658	8541	1518	5401	9284	3274	7157	7157	5030	8913	9284	404
SLV05	-756	3976	8708	1809	6540	-359	4373	8195	1345	5167	9899	2603	7334	7334	4770	9502	9899	-756
SLV06	-422	4249	8920	2112	6783	-25	4646	9317	769	5440	####	2906	7577	7577	5043	9714	10111	-422
SLV07	-717	4014	8746	1834	6566	-346	4386	9117	397	5129	9860	2577	7309	7309	4757	9489	9860	-717
SLV08	-384	4287	8958	2137	6808	-13	4658	9329	730	5401	####	2880	7551	7551	5030	9701	10072	-384
SLV09	1552	2631	3711	2738	3818	2845	3925	5004	5432	6512	7591	5325	6405	6405	5218	6298	7591	1552
SLV10	1764	2904	4044	2981	4121	3057	4197	5337	5644	6784	7924	5568	6708	6708	5491	6631	7924	1764
SLV11	893	2631	4369	2409	4147	2187	3925	5662	4774	6512	8249	4996	6734	6734	5218	6956	8249	893
SLV12	1227	2904	4581	2712	4389	2520	4197	5875	5107	6784	8461	5299	6976	6976	5491	7168	8461	1227
SLV13	1590	2670	3749	2764	3843	2858	3938	5017	5394	6473	7553	5300	6379	6379	5205	6285	7553	1590
SLV14	1802	2942	4082	3006	4146	3070	4210	5350	5606	6746	7886	5542	6682	6682	5478	6618	7886	1802
SLV15	932	2670	4407	2435	4172	2200	3938	5675	4735	6473	8211	4970	6708	6708	5205	6943	8211	932
SLV16	1265	2942	4620	2738	4415	2533	4210	5887	5069	6746	8423	5273	6951	6951	5478	7155	8423	1265
SLV17	2649	3658	4667	3352	4361	3046	4055	5064	3840	4849	5858	4146	5155	5155	4452	5461	5858	2649
SLV18	2687	3696	4705	3378	4386	3059	4068	5076	3802	4810	5819	4120	5129	5129	4439	5448	5819	2687
SLV19	1849	3658	5466	2952	4761	2246	4055	5863	3040	4849	6657	3746	5555	5555	4452	6260	6657	1849
SLV20	1888	3696	5505	2978	4786	2259	4068	5876	3002	4810	6619	3720	5529	5529	4439	6247	6619	1888
SLV21	3356	4567	5778	4160	5371	3753	4964	6175	4547	5758	6969	4954	6165	6165	5361	6572	6969	3356
SLV22	3394	4605	5816	4185	5396	3766	4977	6187	4508	5719	6930	4928	6139	6139	5348	6559	6930	3394
SLV23	2960	4567	6173	3962	5568	3357	4964	6570	4151	5758	7364	4756	6362	6362	5361	6967	7364	2960
SLV24	2999	4605	6212	3988	5594	3370	4977	6583	4113	5719	7326	4730	6337	6337	5348	6954	7326	2999
	5404	6974	8958	6211	7998	5582	7111	9329	6003	7445	####	6575	8272	8272	7263	9714	10111	5404
	-756	2631	3711	1809	3818	-359	3925	5004	397	4810	5819	2577	5129	5129	4439	5448	5819	-756

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	32 di 64

SPALLA MOBILE SLE

Load Comb	AZIONE VERTICALE NEI PALI [kN]																MAX	MIN
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
RARA01	4367	5630	6892	5057	6319	4484	5746	7008	4717	5979	7241	5290	6552	6552	5862	7125	7241	4367
RARA02	4143	5241	6339	4749	5847	4256	5355	6453	4483	5582	6680	4976	6074	6074	5468	6566	6680	4143
RARA03	4415	5675	6934	5086	6346	4498	5757	7017	4663	5923	7183	5252	6512	6512	5840	7100	7183	4415
RARA04	4385	5646	6907	5067	6328	4489	5749	7010	4695	5956	7217	5274	6535	6535	5853	7113	7217	4385
RARA05	4432	5085	5739	4798	5451	4510	5163	5816	4666	5319	5972	4953	5606	5606	5241	5894	5972	4432
RARA06	4592	5420	6248	5073	5901	4726	5554	6382	4995	5823	6651	5342	6170	6170	5689	6517	6651	4592
RARA07	4387	5525	6664	5007	6146	4489	5628	6766	4694	5833	6971	5212	6351	6351	5730	6868	6971	4387
RARA08	4207	5214	6222	4761	5768	4307	5315	6322	4508	5515	6522	4961	5968	5968	5415	6422	6522	4207
RARA09	4425	5561	6698	5031	6167	4500	5637	6773	4652	5788	6925	5182	6319	6319	5713	6849	6925	4425
	4592	5675	6934	5086	6346	4726	5757	7017	4995	5979	7241	5342	6552	6552	5862	7125	7241	4592
	4143	5085	5739	4749	5451	4256	5163	5816	4483	5319	5972	4953	5606	5606	5241	5894	5972	4143

SPALLA MOBILE SLU-SLV

Load Comb	AZIONE VERTICALE NEI PALI [kN]																MAX	MIN
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
SLU01	5905	7692	9479	6884	8671	6076	7863	9650	6419	8205	9992	7227	9013	9013	8034	9821	9992	5905
SLU02	5580	7129	8678	6438	7987	5746	7296	8845	6080	7629	9179	6771	8321	8321	7463	9012	9179	5580
SLU03	5974	7757	9541	6927	8710	6096	7880	9663	6341	8125	9909	7172	8955	8955	8002	9786	9909	5974
SLU04	5815	7566	9317	6790	8540	6013	7764	9514	6408	8159	9909	7185	8935	8935	7961	9712	9909	5815
SLU05	5555	7115	8676	6432	7993	5749	7310	8870	6137	7698	9259	6821	8381	8381	7504	9064	9259	5555
SLU06	5870	7618	9366	6824	8572	6029	7777	9525	6346	8094	9843	7141	8889	8889	7936	9684	9843	5870
SLU07	5905	7692	9479	6884	8671	6076	7863	9650	6419	8205	9992	7227	9013	9013	8034	9821	9992	5905
SLU08	5998	6902	7806	6508	7412	6115	7019	7923	6348	7252	8156	6741	7646	7646	7135	8039	8156	5998
SLV01	1036	4442	7848	2966	6372	1490	4896	8302	2397	5803	9209	3873	7279	7279	5349	8755	9209	1036
SLV02	1394	4731	8068	3289	6626	1847	5184	8522	2754	6091	9429	4196	7533	7533	5638	8975	9429	1394
SLV03	1078	4484	7890	2994	6400	1504	4910	8316	2355	5761	9167	3845	7251	7251	5335	8741	9167	1078
SLV04	1435	4773	8110	3317	6654	1861	5198	8536	2712	6050	9387	4168	7505	7505	5624	8961	9387	1435
SLV05	2608	4442	6276	3752	5586	3062	4896	6730	3969	5803	7637	4659	6493	6493	5349	7183	7637	2608
SLV06	2828	4731	6634	4006	5909	3282	5184	7087	4189	6091	7994	4913	6816	6816	5638	7541	7994	2828
SLV07	2650	4484	6318	3780	5614	3076	4910	6744	3927	5761	7595	4631	6465	6465	5335	7169	7595	2650
SLV08	2870	4773	6675	4034	5937	3296	5198	7101	4147	6050	7952	4885	6788	6788	5624	7527	7952	2870
SLV09	1332	2904	4476	2857	4430	2811	4383	5955	5769	7341	8913	5815	7388	7388	5862	7434	8913	1332
SLV10	1689	3193	4696	3181	4684	3168	4672	6175	6126	7630	9133	6139	7642	7642	6151	7654	9133	1689
SLV11	2116	2904	3692	3250	4037	3595	4383	5171	6553	7341	8129	6208	6995	6995	5862	6650	8129	2116
SLV12	2336	3193	4049	3504	4360	3815	4672	5528	6773	7630	8486	6462	7318	7318	6151	7007	8486	2336
SLV13	1374	2946	4518	2885	4457	2825	4397	5969	5727	7299	8871	5787	7360	7360	5848	7420	8871	1374
SLV14	1731	3235	4738	3208	4712	3182	4686	6189	6084	7588	9091	6111	7614	7614	6137	7640	9091	1731
SLV15	2158	2946	3734	3278	4065	3609	4397	5185	6511	7299	8087	6180	6967	6967	5848	6636	8087	2158
SLV16	2378	3235	4091	3532	4388	3829	4686	5542	6731	7588	8444	6434	7291	7291	6137	6993	8444	2378
SLV17	2453	4105	5758	3506	5158	2907	4559	6211	3813	5466	7118	4413	6065	6065	5012	6665	7118	2453
SLV18	2495	4147	5800	3534	5186	2920	4573	6225	3772	5424	7076	4385	6037	6037	4998	6651	7076	2495
SLV19	3398	4105	4813	3978	4686	3851	4559	5266	4758	5466	6173	4885	5593	5593	5012	5720	6173	3398
SLV20	3440	4147	4855	4006	4714	3865	4573	5280	4716	5424	6131	4857	5565	5565	4998	5706	6131	3440
SLV21	3645	5068	6491	4583	6006	4098	5521	6945	5005	6428	7852	5490	6913	6913	5975	7398	7852	3645
SLV22	3687	5110	6533	4611	6034	4112	5535	6959	4963	6386	7810	5462	6885	6885	5961	7384	7810	3687
SLV23	4131	5068	6004	4826	5763	4585	5521	6458	5492	6428	7365	5733	6670	6670	5975	6911	7365	4131
SLV24	4173	5110	6046	4854	5791	4599	5535	6472	5450	6386	7323	5705	6642	6642	5961	6897	7323	4173
	5998	7757	9541	6927	8710	6115	7880	9663	6773	8205	9992	7227	9013	9013	8034	9821	9992	5998
	1036	2904	3692	2857	4037	1490	4383	5171	2355	5424	6131	3845	5565	5565	4998	5706	6131	1036

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI06</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IV01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>VI0603 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>33 di 64</p>

La massima azione di compressione è pari a 9992 kN per la spalla mobile (Spalla B) e 10111 kN per la spalla fissa (spalla A).

La massima azione di trazione è pari a 0 kN per la spalla mobile (Spalla B) e 756 kN per la spalla fissa (spalla A).

La massima azione di compressione in esercizio è pari a 6697 kN per la spalla mobile (Spalla B) e 7241 kN per la spalla fissa (spalla A).

Di seguito si riporta il calcolo delle portate considerando una lunghezza del palo

- di 30 m per la spalla mobile (spalla B)
- di 30 m per la spalla fissa (spalla A)

da intradosso platea di fondazione.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	34 di 64

Portata verticale palo singolo - VI06 - SPALLA FISSA

quote da p.c. assunto
a quota +16.8 m slm

$$\phi_p := 1.5\text{m}$$

$$\gamma_{ca} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$z_{tp} := 4.20\text{m}$$

$$L_p := 30\text{m}$$

$$z_w := 4.30\text{m}$$

$$\gamma_w := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\xi_3 := 1.70 \quad \gamma_s := 1.15 \quad \gamma_b := 1.35 \quad \gamma_{st} := 1.25$$

$$z_1 := 0\text{m} \quad z_2 := 2.8\text{m} \quad z_3 := 13.2\text{m} \quad z_4 := 20.2\text{m}$$

$$k_c := 0.7 \quad k_t := 0.5$$

$$\gamma_t(z) := \begin{cases} 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 20.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$\sigma_v(z) := \gamma_t(z) \cdot z \quad \sigma_{pv}(z) := \begin{cases} \gamma_t(z) \cdot z & \text{if } z < z_w \\ \gamma_t(z) \cdot z_w + (\gamma_t(z) - \gamma_w) \cdot (z - z_w) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\phi(z) := \begin{cases} 28^\circ & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 34^\circ & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 25^\circ & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 35^\circ & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$c_u(z) := \begin{cases} 0\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 100\text{kPa} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	35 di 64

$$\alpha(z) := \begin{cases} 0.9 & \text{if } c_u(z) \leq 25\text{kPa} \\ 0.8 & \text{if } 25\text{kPa} \leq c_u(z) \leq 50\text{kPa} \\ 0.6 & \text{if } 50\text{kPa} \leq c_u(z) \leq 75\text{kPa} \\ 0.4 & \text{if } c_u(z) \geq 75\text{kPa} \end{cases}$$

$$\tau_{Lc}(z) := \begin{cases} \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pv}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pv}(z)) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$\tau_{Lt}(z) := \begin{cases} \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pv}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pv}(z)) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$N_{qstar}(z) := \begin{cases} 10 & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 18 & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 10 & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 18 & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$q_{blim}(z) := \begin{cases} 4300\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 4300\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 3800\text{kPa} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 5800\text{kPa} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$q_{BL}(z) := \begin{cases} \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \max(9 \cdot c_u(z) + \sigma_v(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$W_{pp}(z) := \gamma_{ca} \cdot \pi \cdot \frac{\phi_p^2}{4} \cdot (z - z_{tp})$$

$$Q_{LLc}(z) := \int_{z_{tp}}^z \pi \cdot \phi_p \cdot \tau_{Lc}(z) dz \quad Q_{LLt}(z) := \int_{z_{tp}}^z \pi \cdot \phi_p \cdot \tau_{Lt}(z) dz$$

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	36 di 64

$$Q_{BL}(z) := \frac{\pi \cdot \phi_p^2}{4} \cdot q_{BL}(z)$$

$$Q_{dC}(z) := \frac{Q_{LLc}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_s} + \frac{Q_{BL}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_b} - W_{pp}(z)$$

$$z_{bp} := z_{tp} + L_p = 34.2 \text{ m}$$

$$Q_{dC}(z_{bp}) = 1.016 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{dSLE}(z) := \frac{Q_{LLc}(z)}{1.25}$$

$$Q_{dSLE}(z_{bp}) = 1.098 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{dT}(z) := \frac{Q_{LLt}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_{st}} + W_{pp}(z)$$

$$Q_{dT}(z_{bp}) = 6.404 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Verifica a compressione

$$Ed = 10111 \text{ kN} < Rd = 10160 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

Verifica a trazione

$$Ed = 756 \text{ kN} < Rd = 6404 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

Verifica in esercizio

$$Ed = 7241 \text{ kN} < Rd = 10980 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	37 di 64

Portata verticale palo singolo - VI06 - SPALLA MOBILE

 quote da p.c. assunto
 a quota +16.8 m slm

$$\phi_p := 1.5\text{m}$$

$$\gamma_{ca} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$z_{tp} := 4.20\text{m}$$

$$L_p := 30\text{m}$$

$$z_w := 4.30\text{m}$$

$$\gamma_w := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\xi_3 := 1.70 \quad \gamma_s := 1.15 \quad \gamma_b := 1.35 \quad \gamma_{st} := 1.25$$

$$z_1 := 0\text{m} \quad z_2 := 1.80\text{m} \quad z_3 := 6.20\text{m} \quad z_4 := 19.2\text{m}$$

$$k_c := 0.7 \quad k_t := 0.5$$

$$\gamma_t(z) := \begin{cases} 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$\sigma_v(z) := \gamma_t(z) \cdot z \quad \sigma_{pv}(z) := \begin{cases} \gamma_t(z) \cdot z & \text{if } z < z_w \\ \gamma_t(z) \cdot z_w + (\gamma_t(z) - \gamma_w) \cdot (z - z_w) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\phi(z) := \begin{cases} 28^\circ & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 25^\circ & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 34^\circ & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 35^\circ & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$c_u(z) := \begin{cases} 0\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 50\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	38 di 64

$$\alpha(z) := \begin{cases} 0.9 & \text{if } c_u(z) \leq 25\text{kPa} \\ 0.8 & \text{if } 25\text{kPa} \leq c_u(z) \leq 50\text{kPa} \\ 0.6 & \text{if } 50\text{kPa} \leq c_u(z) \leq 75\text{kPa} \\ 0.4 & \text{if } c_u(z) \geq 75\text{kPa} \end{cases}$$

$$\tau_{Lc}(z) := \begin{cases} \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pv}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pv}(z)) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$\tau_{Lt}(z) := \begin{cases} \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pv}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pv}(z)) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$N_{qstar}(z) := \begin{cases} 10 & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 10 & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 18 & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 18 & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$q_{blim}(z) := \begin{cases} 4300\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 3800\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 4300\text{kPa} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 5800\text{kPa} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$q_{BL}(z) := \begin{cases} \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \max(9 \cdot c_u(z) + \sigma_v(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$W_{pp}(z) := \gamma_{ca} \cdot \pi \cdot \frac{\phi_p^2}{4} \cdot (z - z_{tp})$$

$$Q_{LLc}(z) := \int_{z_{tp}}^z \pi \cdot \phi_p \cdot \tau_{Lc}(z) \, dz \quad Q_{LLt}(z) := \int_{z_{tp}}^z \pi \cdot \phi_p \cdot \tau_{Lt}(z) \, dz$$

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	39 di 64

$$Q_{BL}(z) := \frac{\pi \cdot \phi_p^2}{4} \cdot q_{BL}(z)$$

$$Q_{dC}(z) := \frac{Q_{LLc}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_s} + \frac{Q_{BL}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_b} - W_{pp}(z)$$

$$z_{bp} := z_{tp} + L_p = 31.2 \text{ m}$$

$$Q_{dC}(z_{bp}) = 1.09 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{dSLE}(z) := \frac{Q_{LLc}(z)}{1.25}$$

$$Q_{dSLE}(z_{bp}) = 1.213 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{dT}(z) := \frac{Q_{LLt}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_{st}} + W_{pp}(z)$$

$$Q_{dT}(z_{bp}) = 6.694 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Verifica a compressione

$$E_d = 9992 \text{ kN} < R_d = 10900 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

Verifica a trazione

Non vi è trazione

Verifica in esercizio

$$E_d = 6697 \text{ kN} < R_d = 12130 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI06	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0603 002	REV. A

9.3 Verifica di portata trasversale

Nota la disposizione geometrica dei pali di fondazione, si può determinare l'azione tangenziale agente sul singolo palo tramite la seguente distribuzione elastica.

$$V_x/\text{palo} = V_x / n_{p,\text{tot}} + [M_t / (2 \cdot B \cdot L)] / n_{pfx}$$

$$V_y/\text{palo} = V_y / n_{p,\text{tot}} + [M_t / (2 \cdot B \cdot L)] / n_{pfy}$$

$$V/\text{palo} = [(V_x/\text{palo})^2 + (V_y/\text{palo})^2]^{0.5}$$

V_x/palo = taglio agente su palo singolo in direzione x (longitudinale)

V_y/palo = taglio agente su palo singolo in direzione y (trasversale)

V/palo = taglio agente su palo singolo

$n_{p,\text{tot}}$ = numero totale di pali = 16 per spalla fissa e 16 per spalla mobile

M_t = momento torcente

B = distanza tra i pali d'angolo in direzione longitudinale = 11.4 m per spalla fissa e 11.4 m per spalla mobile

L = distanza tra i pali d'angolo in direzione trasversale = 15 m per spalla fissa e 15 m per spalla mobile

n_{pfx} = numero dei pali in una fila perimetrale in direzione x = 3 per spalla fissa e 3 per spalla mobile

n_{pfy} = numero dei pali in una fila perimetrale in direzione y = 4 per spalla fissa e 4 per spalla mobile

Di seguito si riporta il calcolo della massima azione di taglio.

SPALLA FISSA SLE

	V_x/palo kN	V_y/palo kN	V/palo kN
RARA01	876	51	877
RARA02	803	49	804
RARA03	939	36	940
RARA04	914	45	915
RARA05	627	34	628
RARA06	739	58	742
RARA07	826	45	827
RARA08	768	43	769
RARA09	877	33	877
		max	940
		min	628

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	41 di 64

SPALLA FISSA SLU-SLV

	Vx/palo kN	Vy/palo kN	V/palo kN
SLU01	1207	75	1210
SLU02	1101	72	1104
SLU03	1299	54	1300
SLU04	1186	86	1190
SLU05	1102	84	1105
SLU06	1260	69	1262
SLU07	1207	75	1210
SLU08	847	50	849
SLV01	1068	309	1112
SLV02	1068	309	1112
SLV03	1068	297	1109
SLV04	1068	297	1109
SLV05	2420	309	2440
SLV06	2420	309	2440
SLV07	2420	297	2438
SLV08	2420	297	2438
SLV09	167	1016	1029
SLV10	167	1016	1029
SLV11	1211	1016	1580
SLV12	1211	1016	1580
SLV13	167	1004	1017
SLV14	167	1004	1017
SLV15	1211	1004	1573
SLV16	1211	1004	1573
SLV17	158	309	347
SLV18	158	297	336
SLV19	1202	309	1241
SLV20	1202	297	1238
SLV21	158	309	347
SLV22	158	297	336
SLV23	1202	309	1241
SLV24	1202	297	1238
		max	2440
		min	336

SPALLA MOBILE SLE

	Vx/palo kN	Vy/palo kN	V/palo kN
RARA01	934	51	936
RARA02	934	49	936
RARA03	934	36	935
RARA04	934	45	935
RARA05	744	33	744
RARA06	744	58	746
RARA07	896	44	897
RARA08	896	43	897
RARA09	896	33	896
		max	936
		min	744

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	42 di 64

SPALLA MOBILE SLU-SLV

	Vx/palo kN	Vy/palo kN	V/palo kN
SLU01	1281	74	1283
SLU02	1281	72	1283
SLU03	1280	53	1281
SLU04	1281	85	1284
SLU05	1281	83	1284
SLU06	1281	68	1282
SLU07	1281	74	1283
SLU08	1004	49	1005
SLV01	1777	328	1807
SLV02	1777	328	1807
SLV03	1778	316	1806
SLV04	1778	316	1806
SLV05	216	328	393
SLV06	216	328	393
SLV07	216	316	383
SLV08	216	316	383
SLV09	1092	1079	1535
SLV10	1092	1079	1535
SLV11	496	1079	1188
SLV12	496	1079	1188
SLV13	1092	1067	1527
SLV14	1092	1067	1527
SLV15	497	1067	1177
SLV16	497	1067	1177
SLV17	1083	328	1131
SLV18	1083	316	1128
SLV19	487	328	587
SLV20	487	316	581
SLV21	1083	328	1131
SLV22	1083	316	1128
SLV23	487	328	587
SLV24	487	316	581
		max	1807
		min	383

La massima azione di taglio è pari a 2440 kN per la spalla fissa e 1807 per la spalla mobile.

Di seguito si riporta il calcolo del momento plastico.

Conservativamente si considera:

azione assiale nulla per la spalla fissa e 4143 kN di minima compressione per la spalla mobile

armatura 26+26 ϕ 30

copriferro pari a 6cm+1.6cm+3.0+3.0cm+1.5cm=15.1cm

Per la spalla mobile si trascura il contributo dei primi 2 m di terreno (assunto solo come sovraccarico laterale).

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	43 di 64

SPALLA FISSA

Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare

Diametro = 1500 (mm)

Raggio = 750 (mm)

Sforzo Normale = 0 (kN)

Caratteristiche dei Materiali

calcestruzzo

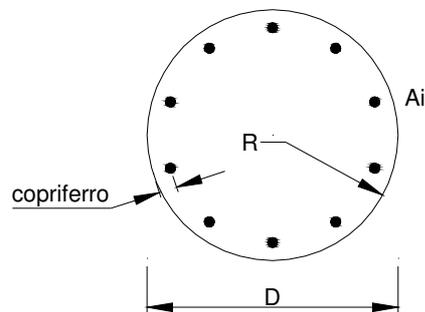
Rck = 30 (Mpa)

fck = 25 (Mpa)

γ_c = 1.5

α_{cc} = 0.85

$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 14.17$ (Mpa)



Acciaio

tipo di acciaio

f_{yk} = 450 (Mpa)

γ_s = 1.15

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391.3$ (Mpa)

E_s = 206000 (Mpa)

ϵ_{ys} = 0.190%

ϵ_{uk} = 10.000%

Armature

numero	diametro (mm)	area (mm ²)	copri ferro (mm)
60	φ 30	42412	151
0	φ 0	0	30
0	φ 8	0	30

Calcolo

Momento di Plasticizzazione

$M_y = 7980.6$ (kN m)

Inserisci

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	44 di 64

SPALLA MOBILE

Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare

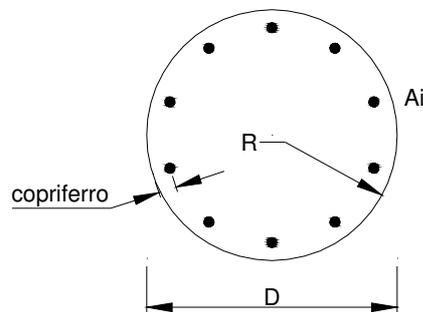
Diametro = 1500 (mm)
Raggio = 750 (mm)
Sforzo Normale = 4143 (kN)

Caratteristiche dei Materiali

calcestruzzo

Rck = 30 (Mpa)
fck = 25 (Mpa)
 $\gamma_c = 1.5$
 $\alpha_{cc} = 0.85$

$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 14.17$ (Mpa)



Acciaio

tipo di acciaio

$f_{yk} = 450$ (Mpa)
 $\gamma_s = 1.15$
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391.3$ (Mpa)

$E_s = 206000$ (Mpa)

$\epsilon_{ys} = 0.190\%$
 $\epsilon_{uk} = 10.000\%$

Armature

numero	diametro (mm)	area (mm ²)	copriferro (mm)
60	ϕ 30	42412	151
0	ϕ 0	0	0
0	ϕ 0	0	0

Calcolo

Momento di Plasticizzazione

$M_y = 8938.0$ (kN m)

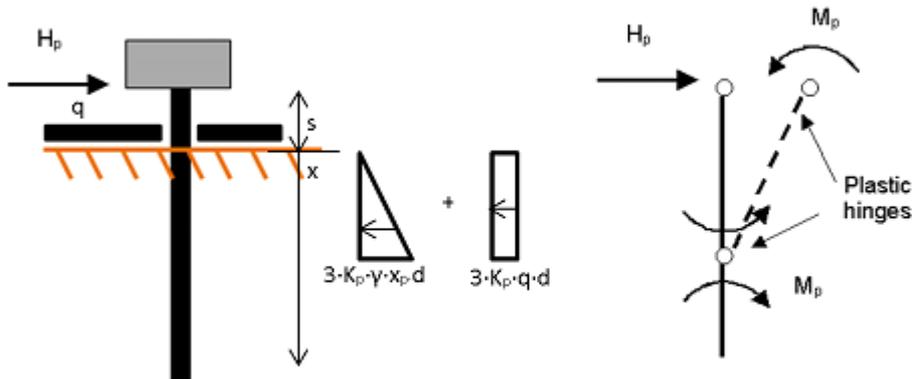
Inserisci

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni - VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	45 di 64

Resistenza laterale palo muri - condizioni drenate
SPALLA FISSA

Broms (1969) - Palo lungo con rotazione impedita in testa



$$K_p := 3.537 \quad \gamma := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad d := 1.5\text{m} \quad M_p := 7980\text{kN}\cdot\text{m} \quad q := 80\text{kPa} \quad s := 0\text{m}$$

$$\xi_3 := 1.7 \quad \gamma_T := 1.3 \quad E := 0.8$$

$$f_{\text{Broms}}(x) := \frac{3}{2} \cdot \gamma \cdot x^2 \cdot K_p \cdot d \cdot \left(s + \frac{2}{3} \cdot x \right) + q \cdot 3 \cdot K_p \cdot x \cdot d \cdot \left(s + \frac{x}{2} \right) - 2 \cdot M_p$$

$$d_{\text{Broms}}(x) := 3 \cdot K_p \cdot d \cdot (q + \gamma \cdot x) \cdot (s + x)$$

$$x_p := \begin{cases} b \leftarrow 0.1\text{m} & = 4.296\text{-m} \\ \text{while } |f_{\text{Broms}}(b)| > 1\text{-kN}\cdot\text{m} \\ \quad \left| db \leftarrow \frac{-f_{\text{Broms}}(b)}{d_{\text{Broms}}(b)} \right. \\ \quad b \leftarrow b + db \\ \quad b \end{cases}$$

$$H_{\text{lim}} := \frac{3}{2} \cdot \gamma \cdot x_p^2 \cdot K_p \cdot d + q \cdot 3 \cdot K_p \cdot x_p \cdot d = 6.94 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$H_{\text{Rd}} := \frac{E \cdot H_{\text{lim}}}{\gamma_T \cdot \xi_3} = 2.512 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$HRd = 2512 \text{ kN} > 2440 \text{ kN}$$

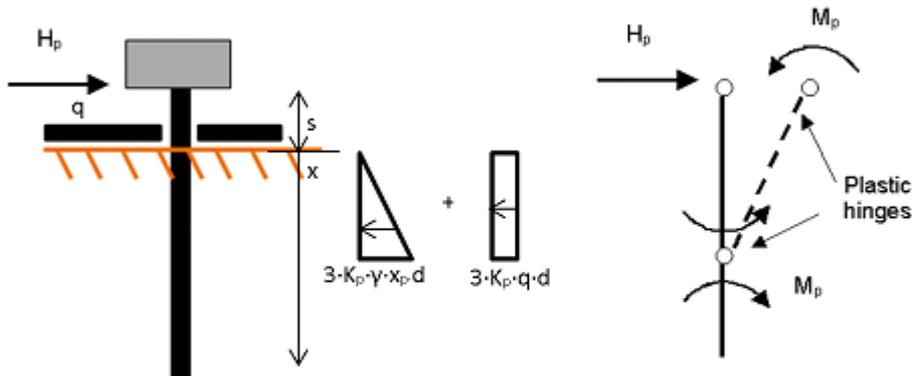
La verifica è soddisfatta.

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	46 di 64

Resistenza laterale palo muri - condizioni drenate
SPALLA MOBILE

Broms (1969) - Palo lungo con rotazione impedita in testa



$$K_p := 3.537 \quad \gamma := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad d := 1.5\text{m} \quad M_p := 8938\text{kN}\cdot\text{m} \quad q := 100\text{kPa} \quad s := 2\text{m}$$

$$\xi_3 := 1.7 \quad \gamma_T := 1.3 \quad E := 0.8$$

$$f_{\text{Broms}}(x) := \frac{3}{2} \cdot \gamma \cdot x^2 \cdot K_p \cdot d \cdot \left(s + \frac{2}{3} \cdot x \right) + q \cdot 3 \cdot K_p \cdot x \cdot d \cdot \left(s + \frac{x}{2} \right) - 2 \cdot M_p$$

$$d_{\text{Broms}}(x) := 3 \cdot K_p \cdot d \cdot (q + \gamma \cdot x) \cdot (s + x)$$

$$x_p := \begin{cases} b \leftarrow 0.1\text{m} & = 2.832\text{-m} \\ \text{while } |f_{\text{Broms}}(b)| > 1\text{-kN}\cdot\text{m} \\ \quad \left| db \leftarrow \frac{-f_{\text{Broms}}(b)}{d_{\text{Broms}}(b)} \right. \\ \quad b \leftarrow b + db \\ \quad b \end{cases}$$

$$H_{\text{lim}} := \frac{3}{2} \cdot \gamma \cdot x_p^2 \cdot K_p \cdot d + q \cdot 3 \cdot K_p \cdot x_p \cdot d = 5.145 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$H_{\text{Rd}} := \frac{E \cdot H_{\text{lim}}}{\gamma_T \cdot \xi_3} = 1.862 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$H_{\text{Rd}} = 1862 \text{ kN} > 1807 \text{ kN}$$

La verifica è soddisfatta.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	47 di 64

9.4 Verifiche strutturali

Le sollecitazioni nei pali di fondazione vengono calcolate secondo lo schema statico di trave su suolo elastico alla Winkler con rotazione impedita in testa, di lunghezza complessiva pari alla lunghezza effettiva dei pali ed aventi la medesima inerzia del palo e larghezza pari al diametro del palo.

Per quanto riguarda il comportamento dei pali alle azioni orizzontali, si fa riferimento ad un modulo di reazione orizzontale del terreno variabile con la profondità, assunto pari a $k(z)=E(z)/d$ con $E(z)$ in accordo al capitolo 5.

Si considera la testa del palo coincidente con l'intradosso della platea di fondazione.

In presenza della medesima sezione di palo ed armature, la verifica è conservativamente condotta, quale condizione di inviluppo, con riferimento ai massimi carichi ed alla stratigrafia della spalla mobile (spalla B).

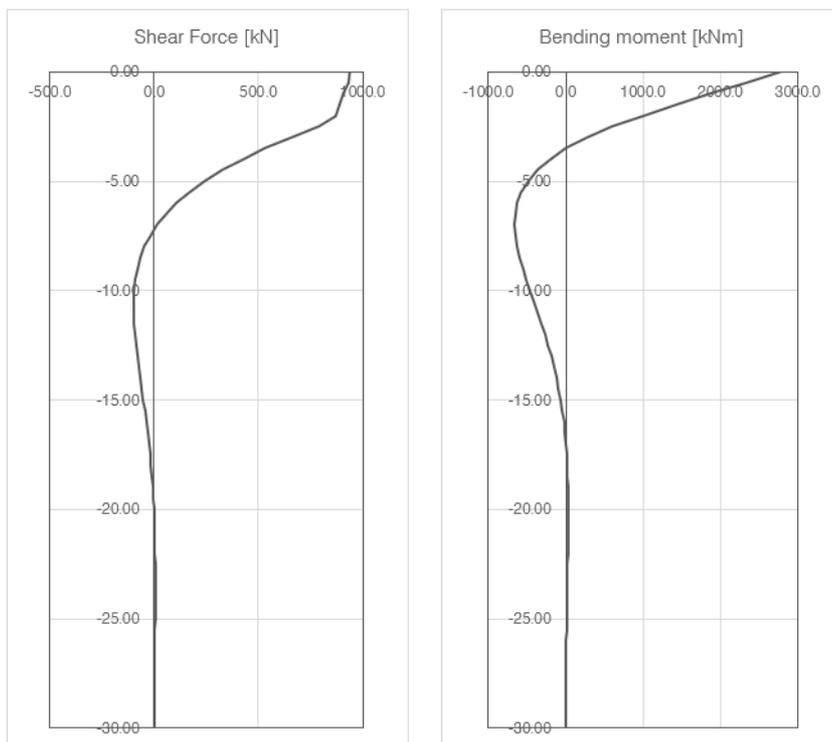
Calcolo delle sollecitazioni

SLE

$N = 3705$ kN (minimia compressione)

$V = 940$ kN

$M = 2792$ kNm



PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

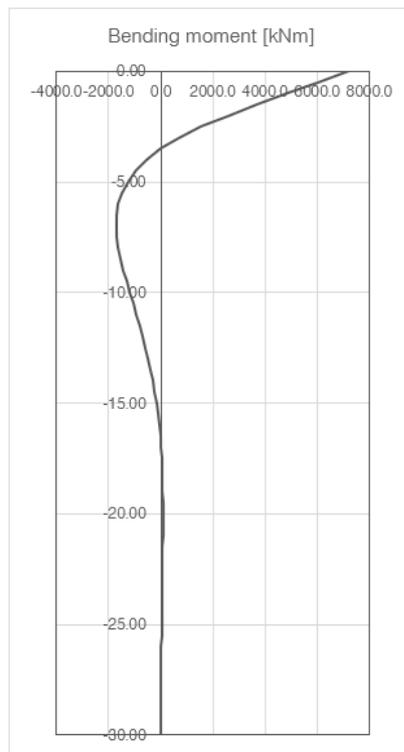
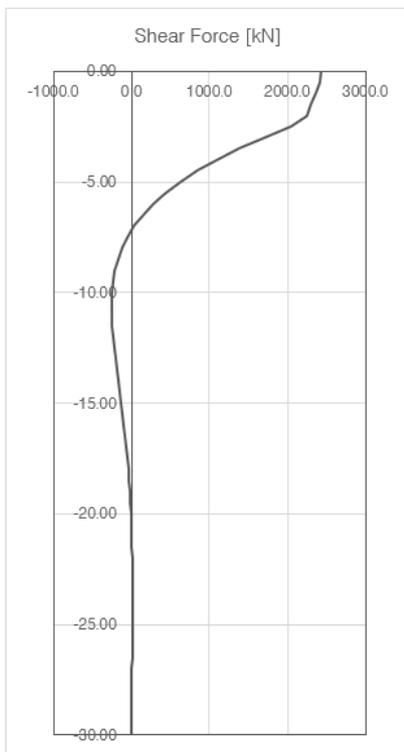
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	48 di 64

SLU-SLV

$N = 756 \text{ kN}$ (trazione)

$V = 2440 \text{ kN}$

$M = 7248 \text{ kNm}$



Verifiche

Descrizione armatura

Tratto 1

Da testa palo a 12 m

Armatura longitudinale: 26+26 ϕ 30

Spirale: ϕ 16 / 10

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	49 di 64

Tratto 2

Da 12 m a base palo

Armatura longitudinale: 26 ϕ 30

Spirale: ϕ 12 / 20

Di seguito si riporta la verifica con riferimento al primo tratto, maggiormente sollecitato; poiché il decremento delle armature nel secondo tratto è inferiore al decremento delle sollecitazioni, il soddisfacimento delle verifiche nel primo tratto comporta l'implicito soddisfacimento delle verifiche nel secondo tratto.

DATI GENERALI SEZIONE CIRCOLARE DI PALO IN C.A.

NOME SEZIONE: VI06

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di Palo
Forma della sezione:	Circolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Comb. non sismiche

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resistenza compress. di progetto fcd:	14.16 MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	7.08 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.56 MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	15.0 MPa
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istant. $\beta_1*\beta_2$:	1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$:	0.50	
Comb.Rare - Sf Limite:	360.0 MPa	

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Diametro sezione:	150.0	cm
Barre circonferenza:	60 ϕ 30	(424.1 cm ²)

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	50 di 64

Coprif.(dal baric. barre): 15.1 cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	-756.00	7248.00	2440.00	0.00

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0.00	2792.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 13.6 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 3.3 cm
 Interferro massimo barre longitudinali: 0.0 cm [deve essere < 0.0]
 Copriferro netto minimo staffe: 12.0 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata									
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)									
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico									
N Ult	Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)									
Mx rd	Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico									
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000									
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X, Y, O sez.									
As Tot.	Area complessiva armature long. pilastro [cm ²]. (tra parentesi l'area minima di normativa)									
N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tot.
1	S	-756.00	7248.00	-756.10	7755.74	1.070	29.0	---	---	424.1 (53.0)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X, Y, O sez.)
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X, Y, O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X, Y, O sez.)

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	51 di 64

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	75.0	0.00235	59.9	-0.00677	-59.9

ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

Diametro staffe/legature:	16	mm	
Passo staffe:	10.0	cm	[Passo massimo di normativa = 25.0 cm]
N.Bracci staffe:	2		
Area staffe/m :	40.2	cm ² /m	[Area Staffe Minima NTC = 2.3 cm ² /m]

VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata		
Ved	Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)		
Vrd	Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]		
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]		
Vwd	Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]		
bw z	Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro Braccio coppia interna		
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo		
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione		
Ast	Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm ² /m]		

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	bw z	Ctg	Acw	ASt	
1	S	2440.00	3241.55	3947.59	132.3	100.4	2.500	1.000	24.9

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata		
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa]		
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)		
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa]		
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)		
Ss min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa]		
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)		
Dw Eff.	Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre		
Ac eff.	Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)		
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)		

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	8.32	-75.0	0.00	75.0	-184.5	59.9	37.8	6391	190.9	----

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	Esito verifica		
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata		
e2	Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata		
K2	= 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e2) in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC		
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2		
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es		
srm	Distanza massima in mm tra le fessure		
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.		
M fess.	Momento di prima fessurazione [kNm]		

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00110	0.00062		0.50	0.60	0.000617 (0.000554)	633	0.391 (990.00)	1237.79

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI06</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IV01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>VI0603 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>52 di 64</p>

In accordo al §7.2.5 di NTC si verifica che la pressione normale media sia inferiore a $0.45 \cdot f_{cd}$.

$$\sigma_c = N_{Ed} / A = 5.75 \text{ MPa} < 6.375 \text{ MP} \rightarrow \text{verifica soddisfatta}$$

$$N_{Ed} = 10111 \text{ kN}$$

$$A = 1.76 \text{ m}^2$$

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	53 di 64

10 ANALISI E VERIFICHE PILE

10.1 Sollecitazioni di verifica

Nella seguente tabella si riportano le sollecitazioni derivanti dall'analisi strutturale.

PILE SLE

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
RARA01	-1160	-1584	60560	19246	-14094	0
RARA02	0	-1516	51968	18419	0	0
RARA03	-2240	-856	60560	10400	-27216	0
RARA04	-1840	-1394	60560	16937	-22356	0
RARA05	0	-1000	50488	12150	0	0
RARA06	-1840	-1794	60560	21797	-22356	0
RARA07	-928	-1387	58546	16854	-11275	0
RARA08	0	-1333	51672	16194	0	0
RARA09	-1792	-805	58546	9778	-21773	0
RARA10	-1160	-1100	55524	13365	-14094	0
RARA11	0	-1084	55524	13171	0	0
RARA12	-2240	-600	55524	7290	-27216	0
RARA13	-560	-856	55524	10400	-6804	0
RARA_SCALZ	-928	-1842	58546	17108	-11275	0

PILE SLU-SLV

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLU01	-1682	-2327	84204	28271	-20436	0
SLU02	0	-2228	71745	27073	0	0
SLU03	-3248	-1271	84204	15445	-39463	0
SLU04	-1346	-2641	81283	32094	-16349	0
SLU05	0	-2563	71316	31135	0	0
SLU06	-2598	-1797	81283	21833	-31571	0
SLU07	-1682	-2327	84204	28271	-20436	0
SLU08	0	-1500	69599	18225	0	0
SLU09	-1682	-1625	76902	19744	-20436	0
SLU10	0	-1602	76902	19462	0	0
SLU11	-3248	-900	76902	10935	-39463	0
SLU12	-812	-1271	76902	15445	-9866	0

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	54 di 64

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLV01	10343	2980	52503	39789	121692	0
SLV02	10343	-3373	52503	-35006	121692	0
SLV03	2940	10391	52503	127049	34534	0
SLV04	-3404	10391	52503	127049	-40172	0
SLV05	-10807	-3373	52503	-35006	-127329	0
SLV06	-10807	2980	52503	39789	-127329	0
SLV07	-3404	-10785	52503	-122267	-40172	0
SLV08	2940	-10785	52503	-122267	34534	0
SLU_SCALZ01	-841	-3343	76902	18557	-10218	0
SLU_SCALZ02	-1346	-3608	81283	25184	-16349	0

Ai momenti sopra illustrati viene sommato il contributo dovuto al taglio agente in testa ai pali come segue:

$$M = V \cdot (\lambda/2 + H_{\text{scalzamento}})$$

dove l è la lunghezza caratteristica del palo ed è stata stimata mediante la seguente relazione:

$$\lambda := \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot J_p}{k \cdot D}} = 5.225 \text{ m}$$

con:

E = modulo di elasticità del palo = 40 MN

J_{palo} = momento d'inerzia del palo = 0.249 m⁴

K = coefficiente di Winkler = $E'/D = 25 \text{ MN/m}^3$

D = diametro del palo = 1.5 m

$H_{\text{scalzamento}}$ = 9 m per Tr200 e 5.4 m Tr1

Le sollecitazioni di verifica risultano pertanto:

PILE SLE

Load	N	Mx	My	Vx	Vy	V	Mt
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
RARA01	60560	23388	17127	1160	1584	1963	0
RARA02	51968	22384	0	0	1516	1516	0

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	55 di 64

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

Load	N	Mx	My	Vx	Vy	V	Mt
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
RARA03	60560	12639	33074	2240	856	2398	0
RARA04	60560	20582	27168	1840	1394	2308	0
RARA05	50488	14765	0	0	1000	1000	0
RARA06	60560	26488	27168	1840	1794	2570	0
RARA07	58546	20482	13702	928	1387	1669	0
RARA08	51672	19679	0	0	1333	1333	0
RARA09	58546	11883	26459	1792	805	1964	0
RARA10	55524	16242	17127	1160	1100	1599	0
RARA11	55524	16005	0	0	1084	1084	0
RARA12	55524	8859	33074	2240	600	2319	0
RARA13	55524	12639	8268	560	856	1023	0
RARA_SCALZ	58546	31873	18713	928	1842	2063	0

PILE SLU-SLV

Load	N	Mx	My	Vx	Vy	V	Mt
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
SLU01	84204	34355	24835	1682	2327	2871	0
SLU02	71745	32899	0	0	2228	2228	0
SLU03	84204	18769	47957	3248	1271	3488	0
SLU04	81283	39001	19868	1346	2641	2964	0
SLU05	71316	37836	0	0	2563	2563	0
SLU06	81283	26532	38365	2598	1797	3159	0
SLU07	84204	34355	24835	1682	2327	2871	0
SLU08	69599	22148	0	0	1500	1500	0
SLU09	76902	23993	24835	1682	1625	2339	0
SLU10	76902	23651	0	0	1602	1602	0
SLU11	76902	13289	47957	3248	900	3370	0
SLU12	76902	18769	11989	812	1271	1508	0
SLV01	52503	47580	148738	10343	2980	10763	0
SLV02	52503	43827	148738	10343	3373	10879	0
SLV03	52503	154222	42224	2940	10391	10799	0
SLV04	52503	154222	49075	3404	10391	10935	0
SLV05	52503	43827	155589	10807	3373	11321	0
SLV06	52503	47580	155589	10807	2980	11210	0
SLV07	52503	150469	49075	3404	10785	11309	0
SLV08	52503	150469	42224	2940	10785	11178	0

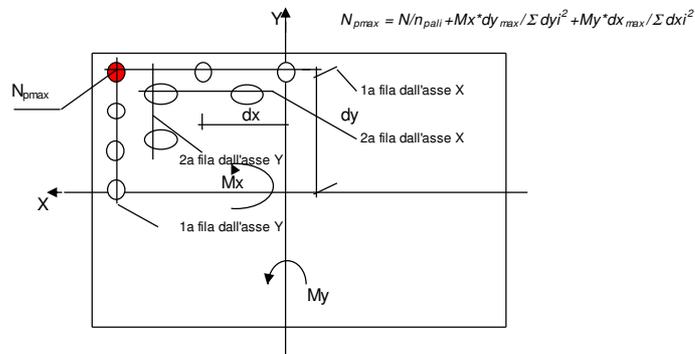
PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	56 di 64

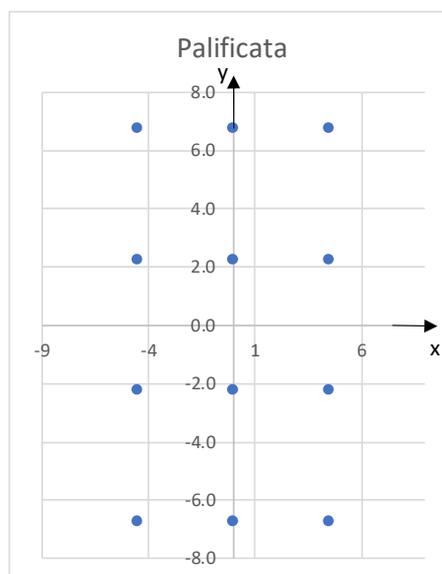
SLU_SCALZ01	76902	57381	19986	841	3343	3447	0
SLU_SCALZ02	81283	67095	31978	1346	3608	3851	0

10.2 Verifica di portata verticale

Nota la disposizione geometrica dei pali di fondazione, si può determinare l'azione verticale agente sul singolo palo tramite la seguente distribuzione elastica.


PILE – DISTRIBUZIONE PALI
Distribuzione elastica delle sollecitazioni nei pali

p	x	y
1	-4.5	-6.8
2	0	-6.8
3	4.5	-6.8
4	-4.5	-2.3
5	0	-2.3
6	4.5	-2.3
7	-4.5	6.8
8	0	6.8
9	4.5	6.8
10	-4.5	2.3
11	0	2.3
12	4.5	2.3



PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	57 di 64

PILE SLE

Load Comb	AZIONE VERTICALE NEI PALI [kN]												MAX	MIN
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
RARA01	4051	4527	5003	4398	4873	5349	5091	5566	6042	4744	5220	5696	6042	4051
RARA02	3833	3833	3833	4165	4165	4165	4828	4828	4828	4497	4497	4497	4828	3833
RARA03	3847	4766	5685	4034	4953	5872	4409	5328	6246	4222	5140	6059	6246	3847
RARA04	3835	4589	5344	4140	4894	5649	4749	5504	6259	4445	5199	5954	6259	3835
RARA05	3879	3879	3879	4098	4098	4098	4535	4535	4535	4317	4317	4317	4535	3879
RARA06	3703	4458	5213	4096	4850	5605	4881	5635	6390	4488	5243	5998	6390	3703
RARA07	4043	4424	4804	4347	4727	5108	4953	5334	5715	4650	5031	5411	5715	4043
RARA08	3869	3869	3869	4160	4160	4160	4743	4743	4743	4452	4452	4452	4743	3869
RARA09	3880	4615	5350	4056	4791	5526	4408	5143	5878	4232	4967	5702	5878	3880
RARA10	3790	4266	4742	4031	4507	4982	4512	4988	5464	4272	4747	5223	5464	3790
RARA11	4271	4271	4271	4508	4508	4508	4983	4983	4983	4746	4746	4746	4983	4271
RARA12	3511	4430	5349	3643	4561	5480	3905	4824	5743	3774	4693	5611	5743	3511
RARA13	4116	4346	4576	4304	4533	4763	4678	4908	5138	4491	4721	4950	5138	4116
RARA Scalz	3651	4171	4690	4123	4643	5163	5067	5587	6107	4595	5115	5635	6107	3651
	4271	4766	5685	4508	4953	5872	5091	5635	6390	4746	5243	6059	6390	4271
	3511	3833	3833	3643	4098	4098	3905	4535	4535	3774	4317	4317	4535	3511

PILE SLU-SLV

Load Comb	AZIONE VERTICALE NEI PALI [kN]												MAX	MIN
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
SLU01	5564	6254	6943	6073	6762	7452	7091	7780	8470	6582	7271	7961	8470	5564
SLU02	5248	5248	5248	5735	5735	5735	6710	6710	6710	6222	6222	6222	6710	5248
SLU03	5268	6600	7932	5546	6878	8210	6102	7434	8766	5824	7156	8488	8766	5268
SLU04	5355	5907	6459	5933	6485	7037	7088	7640	8192	6511	7062	7614	8192	5355
SLU05	5102	5102	5102	5663	5663	5663	6784	6784	6784	6223	6223	6223	6784	5102
SLU06	5118	6184	7250	5511	6577	7643	6297	7363	8429	5904	6970	8036	8429	5118
SLU07	5564	6254	6943	6073	6762	7452	7091	7780	8470	6582	7271	7961	8470	5564
SLU08	5308	5308	5308	5636	5636	5636	6292	6292	6292	5964	5964	5964	6292	5308
SLU09	5185	5875	6565	5541	6231	6921	6252	6942	7631	5896	6586	7276	7631	5185
SLU10	5883	5883	5883	6233	6233	6233	6934	6934	6934	6584	6584	6584	6934	5883
SLU11	4781	6113	7445	4978	6310	7642	5372	6704	8036	5175	6507	7839	8036	4781
SLU12	5658	5991	6324	5936	6269	6602	6493	6826	7159	6214	6547	6881	7159	5658
SLV01	-814	3318	7450	-109	4023	8154	1301	5433	9564	596	4728	8859	9564	-814
SLV02	-730	3401	7533	-81	4051	8182	1218	5349	9481	568	4700	8831	9481	-730
SLV03	-225	948	2121	2060	3233	4406	6630	7802	8975	4345	5518	6690	8975	-225
SLV04	-415	948	2311	1870	3233	4596	6439	7802	9166	4154	5518	6881	9166	-415
SLV05	-921	3401	7723	-271	4051	8373	1027	5349	9671	378	4700	9022	9671	-921
SLV06	-1004	3318	7640	-299	4023	8345	1111	5433	9754	406	4728	9050	9754	-1004
SLV07	-332	1031	2395	1897	3261	4624	6356	7719	9082	4127	5490	6853	9082	-332
SLV08	-141	1031	2204	2088	3261	4434	6546	7719	8892	4317	5490	6663	8892	-141
SLU Scalz1	4578	5133	5688	5428	5983	6539	7128	7684	8239	6278	6834	7389	8239	4578
SLU Scalz2	4394	5283	6171	5388	6277	7165	7376	8265	9153	6382	7271	8159	9153	4394
	5883	6600	7932	6233	6878	8373	7376	8265	9754	6584	7271	9050	9754	5883
	-1004	948	2121	-299	3233	4406	1027	5349	6292	378	4700	5964	6292	-1004

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI06</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0603 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 58 di 64</p>

La massima azione di compressione è pari a:

- 9754 kN in assenza di scalzamento
- 9153 kN in presenza di scalzamento

La massima azione di trazione è pari a:

- 1004 kN in assenza di scalzamento
- 0 kN in presenza di scalzamento

La massima azione di compressione in esercizio è pari a:

- 6390 kN in assenza di scalzamento
- 6107 kN in presenza di scalzamento

Sono assunte le seguenti ipotesi:

- Pile non in alveo:
 - o Falda a p.c. in presenza di scalzamento
 - o Falda a quota +12.5 m slm (-4.30 m da p.c.) in assenza di scalzamento
- Pile in alveo:
 - o Falda a p.c. in presenza ed in assenza di scalzamento

Di seguito si riporta il calcolo delle portate considerando una lunghezza del palo di:

- 30 m per la pila P1
- 37 m per le pile P2
- 45 m per le pile P3 P4
- 35 m per le pile P5 P6 P7
- 32 m per le pile P8 P9

da intradosso platea di fondazione.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	59 di 64

Portata verticale palo singolo - VI06 - PILA P1

quote da p.c. assunto
a quota +16.8 m slm

$$\phi_p := 1.5\text{m}$$

$$\gamma_{ca} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$z_{tp} := 4.20\text{m}$$

$$L_p := 30\text{m}$$

$$z_w := 4.30\text{m}$$

$$\gamma_w := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\xi_3 := 1.70 \quad \gamma_s := 1.15 \quad \gamma_b := 1.35 \quad \gamma_{st} := 1.25$$

$$z_1 := 0\text{m} \quad z_2 := 2.8\text{m} \quad z_3 := 13.2\text{m} \quad z_4 := 20.2\text{m}$$

$$k_c := 0.7 \quad k_t := 0.5$$

$$\gamma_t(z) := \begin{cases} 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 20.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$\sigma_v(z) := \gamma_t(z) \cdot z \quad \sigma_{pv}(z) := \begin{cases} \gamma_t(z) \cdot z & \text{if } z < z_w \\ \gamma_t(z) \cdot z_w + (\gamma_t(z) - \gamma_w) \cdot (z - z_w) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\phi(z) := \begin{cases} 28^\circ & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 34^\circ & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 25 & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 35^\circ & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$c_u(z) := \begin{cases} 0\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 100\text{kPa} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	60 di 64

$$\alpha(z) := \begin{cases} 0.9 & \text{if } c_u(z) \leq 25\text{kPa} \\ 0.8 & \text{if } 25\text{kPa} \leq c_u(z) \leq 50\text{kPa} \\ 0.6 & \text{if } 50\text{kPa} \leq c_u(z) \leq 75\text{kPa} \\ 0.4 & \text{if } c_u(z) \geq 75\text{kPa} \end{cases}$$

$$\tau_{LC}(z) := \begin{cases} \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pV}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pV}(z)) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$\tau_{Lt}(z) := \begin{cases} \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pV}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pV}(z)) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$N_{qstar}(z) := \begin{cases} 10 & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 18 & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 10 & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 18 & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$q_{blim}(z) := \begin{cases} 4300\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 4300\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 3800\text{kPa} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 5800\text{kPa} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$q_{BL}(z) := \begin{cases} \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pV}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pV}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \max(9 \cdot c_u(z) + \sigma_v(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pV}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$W_{pp}(z) := \gamma_{ca} \cdot \pi \cdot \frac{\phi_p^2}{4} \cdot (z - z_{tp})$$

$$Q_{LLc}(z) := \int_{z_{tp}}^z \pi \cdot \phi_p \cdot \tau_{LC}(z) \, dz \quad Q_{LLt}(z) := \int_{z_{tp}}^z \pi \cdot \phi_p \cdot \tau_{Lt}(z) \, dz$$

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	61 di 64

$$Q_{BL}(z) := \frac{\pi \cdot \phi_p^2}{4} \cdot q_{BL}(z)$$

$$Q_{dC}(z) := \frac{Q_{LLc}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_s} + \frac{Q_{BL}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_b} - W_{pp}(z)$$

$$z_{bp} := z_{tp} + L_p = 34.2 \text{ m}$$

$$Q_{dC}(z_{bp}) = 1.016 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{dSLE}(z) := \frac{Q_{LLc}(z)}{1.25}$$

$$Q_{dSLE}(z_{bp}) = 1.098 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{dT}(z) := \frac{Q_{LLt}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_{st}} + W_{pp}(z)$$

$$Q_{dT}(z_{bp}) = 6.404 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Verifica a compressione

$$E_d = 9754 \text{ kN} < R_d = 10160 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

Verifica a trazione

$$E_d = 1004 \text{ kN} < R_d = 6404 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

Verifica in esercizio

$$E_d = 6390 \text{ kN} < R_d = 10980 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	62 di 64

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

Portata verticale palo singolo - VI06 - PILA P2

quote da p.c. assunto
a quota +16.8 m slm

$\phi_p := 1.5m$ in presenza di scalzamento
 $H_{scalz} := 2.90m$ altezza di palo scalzato

$$\gamma_{ca} := 25 \frac{kN}{m^3}$$

$$z_{tp} := 3.8m + H_{scalz} = 6.7m \text{ scalzamento totale}$$

$$L_p := 37m - H_{scalz} = 34.1m$$

$$z_w := 0m$$

$$\gamma_w := 10 \frac{kN}{m^3}$$

$$\xi_3 := 1.70 \quad \gamma_s := 1.15 \quad \gamma_b := 1.35 \quad \gamma_{st} := 1.25$$

$$z_1 := 0m \quad z_2 := 2.8m \quad z_3 := 17.80m \quad z_4 := 30.80m \quad z_5 := 35.80m$$

$$k_c := 0.7 \quad k_t := 0.5$$

$$\gamma_t(z) := \begin{cases} 19 \frac{kN}{m^3} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 20 \frac{kN}{m^3} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 20 \frac{kN}{m^3} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 20.5 \frac{kN}{m^3} & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 20 \frac{kN}{m^3} & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$\sigma_v(z) := \gamma_t(z) \cdot z$$

$$\sigma_{pv}(z) := \begin{cases} \gamma_t(z) \cdot z & \text{if } z < z_w \\ \gamma_t(z) \cdot z_w + (\gamma_t(z) - \gamma_w) \cdot (z - z_w) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{vS}(z) := \begin{cases} 0kPa & \text{if } z \leq z_{tp} \\ \gamma_t(z) \cdot (z - z_{tp}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{pvS}(z) := \begin{cases} 0kPa & \text{if } z \leq z_{tp} \\ (\gamma_t(z) - \gamma_w) \cdot (z - z_{tp}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	63 di 64

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

$$\text{coeff}(z) := \begin{cases} 0 & \text{if } z \leq z_{tp} \\ \left(\frac{\sigma_{pV}(z)}{\sigma_{pVS}(z)} \right)^{0.25} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\phi(z) := \begin{cases} 28^\circ & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 34^\circ & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 35^\circ & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 25^\circ & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 35^\circ & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$c_u(z) := \begin{cases} 0\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 100\text{kPa} & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$\alpha(z) := \begin{cases} 0.9 & \text{if } c_u(z) \leq 25\text{kPa} \\ 0.8 & \text{if } 25\text{kPa} \leq c_u(z) \leq 50\text{kPa} \\ 0.6 & \text{if } 50\text{kPa} \leq c_u(z) \leq 75\text{kPa} \\ 0.4 & \text{if } c_u(z) \geq 75\text{kPa} \end{cases}$$

$$\tau_{Lc}(z) := \begin{cases} \min(k_c \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pVS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(k_c \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pVS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(k_c \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pVS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}), 0.25 \cdot \sigma_{pV}(z), 0.23 \cdot \sigma_{pV}(z)) & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ \min(k_c \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pVS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$\tau_{Lt}(z) := \begin{cases} \min(k_t \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pVS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(k_t \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pVS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(k_t \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pVS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}), 0.25 \cdot \sigma_{pV}(z), 0.23 \cdot \sigma_{pV}(z)) & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ \min(k_t \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pVS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$N_{qstar}(z) := \begin{cases} 10 & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 18 & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 18 & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 10 & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 18 & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	64 di 64

$$q_{blim}(z) := \begin{cases} 4300\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 4300\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 5800\text{kPa} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 3800\text{kPa} & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 5800\text{kPa} & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$q_{BL}(z) := \begin{cases} \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \max(9 \cdot c_u(z) + \sigma_v(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$W_{pp}(z) := \gamma_{ca} \cdot \pi \cdot \frac{\phi_p^2}{4} \cdot (z - z_{tp} + H_{scalz})$$

$$Q_{LLc}(z) := \int_{z_{tp}}^z \pi \cdot \phi_p \cdot \tau_{Lc}(z) dz \quad Q_{LLt}(z) := \int_{z_{tp}}^z \pi \cdot \phi_p \cdot \tau_{Lt}(z) dz$$

$$Q_{BL}(z) := \frac{\pi \cdot \phi_p^2}{4} \cdot q_{BL}(z)$$

$$Q_{dC}(z) := \frac{Q_{LLc}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_s} + \frac{Q_{BL}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_b} - W_{pp}(z)$$

$$z_{bp} := z_{tp} + L_p = 40.8\text{m}$$

$$Q_{dC}(z_{bp}) = 9.38 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{dSLE}(z) := \frac{Q_{LLc}(z)}{1.25}$$

$$Q_{dSLE}(z_{bp}) = 1.024 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{dT}(z) := \frac{Q_{LLt}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_{st}} + W_{pp}(z)$$

$$Q_{dT}(z_{bp}) = 6.292 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI06</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0603 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 65 di 64</p>

Verifica a compressione

$Ed = 9153 \text{ kN} < Rd = 9380 \text{ kN}$

verifica soddisfatta

Verifica a trazione

Non vi è trazione

Verifica in esercizio

$Ed = 6107 \text{ kN} < Rd = 10240 \text{ kN}$

verifica soddisfatta

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	66 di 64

Portata verticale palo singolo - VI06 - PILA P2

quote da p.c. assunto
a quota +16.8 m slm

$$\phi_p := 1.5\text{m}$$

in assenza di scalzamento

$$\gamma_{ca} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$z_{tp} := 3.80\text{m}$$

$$L_p := 37\text{m}$$

$$z_w := 4.30\text{m}$$

$$\gamma_w := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\xi_3 := 1.70 \quad \gamma_s := 1.15 \quad \gamma_b := 1.35 \quad \gamma_{st} := 1.25$$

$$z_1 := 0\text{m} \quad z_2 := 2.8\text{m} \quad z_3 := 17.80\text{m} \quad z_4 := 30.80\text{m} \quad z_5 := 35.80\text{m}$$

$$k_c := 0.7 \quad k_t := 0.5$$

$$\gamma_t(z) := \begin{cases} 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 20.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$\sigma_v(z) := \gamma_t(z) \cdot z \quad \sigma_{pv}(z) := \begin{cases} \gamma_t(z) \cdot z & \text{if } z < z_w \\ \gamma_t(z) \cdot z_w + (\gamma_t(z) - \gamma_w) \cdot (z - z_w) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\phi(z) := \begin{cases} 28^\circ & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 34^\circ & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 35^\circ & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 25^\circ & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 35^\circ & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	67 di 64

$$c_u(z) := \begin{cases} 0\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 100\text{kPa} & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$\alpha(z) := \begin{cases} 0.9 & \text{if } c_u(z) \leq 25\text{kPa} \\ 0.8 & \text{if } 25\text{kPa} \leq c_u(z) \leq 50\text{kPa} \\ 0.6 & \text{if } 50\text{kPa} \leq c_u(z) \leq 75\text{kPa} \\ 0.4 & \text{if } c_u(z) \geq 75\text{kPa} \end{cases}$$

$$\tau_{Lc}(z) := \begin{cases} \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pv}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pv}(z)) & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$\tau_{Lt}(z) := \begin{cases} \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pv}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pv}(z)) & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$N_{qstar}(z) := \begin{cases} 10 & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 18 & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 18 & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 10 & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 18 & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$q_{blim}(z) := \begin{cases} 4300\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 4300\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 5800\text{kPa} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 3800\text{kPa} & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 5800\text{kPa} & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$q_{BL}(z) := \begin{cases} \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \max(9 \cdot c_u(z) + \sigma_v(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	68 di 64

$$W_{pp}(z) := \gamma_{ca} \cdot \pi \cdot \frac{\phi_p^2}{4} \cdot (z - z_{tp})$$

$$Q_{LLc}(z) := \int_{z_{tp}}^z \pi \cdot \phi_p \cdot \tau_{Lc}(z) dz \quad Q_{LLt}(z) := \int_{z_{tp}}^z \pi \cdot \phi_p \cdot \tau_{Lt}(z) dz$$

$$Q_{BL}(z) := \frac{\pi \cdot \phi_p^2}{4} \cdot q_{BL}(z)$$

$$Q_{dC}(z) := \frac{Q_{LLc}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_s} + \frac{Q_{BL}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_b} - W_{pp}(z)$$

$$z_{bp} := z_{tp} + L_p = 40.8 \text{ m}$$

$$Q_{dC}(z_{bp}) = 1.241 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{dSLE}(z) := \frac{Q_{LLc}(z)}{1.25}$$

$$Q_{dSLE}(z_{bp}) = 1.497 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{dT}(z) := \frac{Q_{LLt}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_{st}} + W_{pp}(z)$$

$$Q_{dT}(z_{bp}) = 8.737 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Verifica a compressione

$$Ed = 9754 \text{ kN} < Rd = 12410 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

Verifica a trazione

$$Ed = 1004 \text{ kN} < Rd = 8737 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

Verifica in esercizio

$$Ed = 6390 \text{ kN} < Rd = 14970 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	69 di 64

Portata verticale palo singolo - VI06 - PILE P3-P4

quote da p.c. assunto
a quota +16.8 m slm

$\phi_p := 1.5\text{m}$ in presenza di scalzamento
 $H_{\text{scalz}} := 9\text{m}$ altezza di palo scalzato

$$\gamma_{\text{ca}} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$z_{\text{tp}} := 5.8\text{m} + H_{\text{scalz}} = 14.8\text{m} \quad \text{scalzamento totale}$$

$$L_p := 45\text{m} - H_{\text{scalz}} = 36\text{m}$$

$$z_w := 0\text{m}$$

$$\gamma_w := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\xi_3 := 1.70 \quad \gamma_s := 1.15 \quad \gamma_b := 1.35 \quad \gamma_{\text{st}} := 1.25$$

$$z_1 := 0\text{m} \quad z_2 := 2.8\text{m} \quad z_3 := 17.80\text{m} \quad z_4 := 30.80\text{m} \quad z_5 := 35.80\text{m}$$

$$k_c := 0.7 \quad k_t := 0.5$$

$$\gamma_t(z) := \begin{cases} 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 20.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$\sigma_v(z) := \gamma_t(z) \cdot z$$

$$\sigma_{\text{pv}}(z) := \begin{cases} \gamma_t(z) \cdot z & \text{if } z < z_w \\ \gamma_t(z) \cdot z_w + (\gamma_t(z) - \gamma_w) \cdot (z - z_w) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{\text{vS}}(z) := \begin{cases} 0\text{kPa} & \text{if } z \leq z_{\text{tp}} \\ \gamma_t(z) \cdot (z - z_{\text{tp}}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{\text{pvS}}(z) := \begin{cases} 0\text{kPa} & \text{if } z \leq z_{\text{tp}} \\ (\gamma_t(z) - \gamma_w) \cdot (z - z_{\text{tp}}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	70 di 64

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

$$\text{coeff}(z) := \begin{cases} 0 & \text{if } z \leq z_{tp} \\ \left(\frac{\sigma_{pv}(z)}{\sigma_{pvS}(z)} \right)^{0.25} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\phi(z) := \begin{cases} 28^\circ & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 34^\circ & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 35^\circ & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 25^\circ & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 35^\circ & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$c_u(z) := \begin{cases} 0\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 100\text{kPa} & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$\alpha(z) := \begin{cases} 0.9 & \text{if } c_u(z) \leq 25\text{kPa} \\ 0.8 & \text{if } 25\text{kPa} \leq c_u(z) \leq 50\text{kPa} \\ 0.6 & \text{if } 50\text{kPa} \leq c_u(z) \leq 75\text{kPa} \\ 0.4 & \text{if } c_u(z) \geq 75\text{kPa} \end{cases}$$

$$\tau_{Lc}(z) := \begin{cases} \min(k_c \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pvS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(k_c \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pvS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(k_c \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pvS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pv}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pv}(z)) & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ \min(k_c \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pvS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$\tau_{Lt}(z) := \begin{cases} \min(k_t \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pvS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(k_t \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pvS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(k_t \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pvS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pv}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pv}(z)) & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ \min(k_t \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pvS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$N_{qstar}(z) := \begin{cases} 10 & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 18 & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 18 & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 10 & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 18 & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	71 di 64

$$q_{blim}(z) := \begin{cases} 4300\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 4300\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 5800\text{kPa} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 3800\text{kPa} & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 5800\text{kPa} & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$q_{BL}(z) := \begin{cases} \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \max(9 \cdot c_u(z) + \sigma_v(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$W_{pp}(z) := \gamma_{ca} \cdot \pi \cdot \frac{\phi_p^2}{4} \cdot (z - z_{tp} + H_{scalz})$$

$$Q_{LLc}(z) := \int_{z_{tp}}^z \pi \cdot \phi_p \cdot \tau_{Lc}(z) dz \quad Q_{LLt}(z) := \int_{z_{tp}}^z \pi \cdot \phi_p \cdot \tau_{Lt}(z) dz$$

$$Q_{BL}(z) := \frac{\pi \cdot \phi_p^2}{4} \cdot q_{BL}(z)$$

$$Q_{dC}(z) := \frac{Q_{LLc}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_s} + \frac{Q_{BL}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_b} - W_{pp}(z)$$

$$z_{bp} := z_{tp} + L_p = 50.8\text{m}$$

$$Q_{dC}(z_{bp}) = 1.054 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{dSLE}(z) := \frac{Q_{LLc}(z)}{1.25}$$

$$Q_{dSLE}(z_{bp}) = 1.261 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{dT}(z) := \frac{Q_{LLt}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_{st}} + W_{pp}(z)$$

$$Q_{dT}(z_{bp}) = 7.828 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI06</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IV01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>VI0603 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>72 di 64</p>

Verifica a compressione

$$Ed = 9153 \text{ kN} < Rd = 10054 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

Verifica a trazione

Non vi è trazione

Verifica in esercizio

$$Ed = 6107 \text{ kN} < Rd = 12610 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	73 di 64

Portata verticale palo singolo - VI06 - PILE P5-P6-P7

quote da p.c. assunto
a quota +16.8 m slm

$$\phi_p := 1.5\text{m}$$

in presenza di scalzamento

$$H_{\text{scalz}} := 3.80\text{m} \text{ altezza di palo scalzato}$$

$$\gamma_{\text{ca}} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$z_{\text{tp}} := 4.20\text{m} + H_{\text{scalz}} = 8\text{m} \text{ scalzamento totale}$$

$$L_p := 35\text{m} - H_{\text{scalz}} = 31.2\text{m}$$

$$z_w := 0\text{m}$$

$$\gamma_w := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\xi_3 := 1.70 \quad \gamma_s := 1.15 \quad \gamma_b := 1.35 \quad \gamma_{\text{st}} := 1.25$$

$$z_1 := 0\text{m} \quad z_2 := 1.80\text{m} \quad z_3 := 6.20\text{m} \quad z_4 := 19.2\text{m}$$

$$k_c := 0.7 \quad k_t := 0.5$$

$$\gamma_t(z) := \begin{cases} 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$\sigma_v(z) := \gamma_t(z) \cdot z$$

$$\sigma_{\text{pv}}(z) := \begin{cases} \gamma_t(z) \cdot z & \text{if } z < z_w \\ \gamma_t(z) \cdot z_w + (\gamma_t(z) - \gamma_w) \cdot (z - z_w) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{\text{vS}}(z) := \begin{cases} 0\text{kPa} & \text{if } z \leq z_{\text{tp}} \\ \gamma_t(z) \cdot (z - z_{\text{tp}}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{\text{pvS}}(z) := \begin{cases} 0\text{kPa} & \text{if } z \leq z_{\text{tp}} \\ (\gamma_t(z) - \gamma_w) \cdot (z - z_{\text{tp}}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{coeff}(z) := \begin{cases} 0 & \text{if } z \leq z_{\text{tp}} \\ \left(\frac{\sigma_{\text{pv}}(z)}{\sigma_{\text{pvS}}(z)} \right)^{0.25} & \text{otherwise} \end{cases}$$

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	74 di 64

$$\phi(z) := \begin{cases} 28^\circ & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 25^\circ & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 34^\circ & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 35^\circ & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$c_u(z) := \begin{cases} 0\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 50\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$\alpha(z) := \begin{cases} 0.9 & \text{if } c_u(z) \leq 25\text{kPa} \\ 0.8 & \text{if } 25\text{kPa} \leq c_u(z) \leq 50\text{kPa} \\ 0.6 & \text{if } 50\text{kPa} \leq c_u(z) \leq 75\text{kPa} \\ 0.4 & \text{if } c_u(z) \geq 75\text{kPa} \end{cases}$$

$$\tau_{Lc}(z) := \begin{cases} \min(k_c \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pVS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pV}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pV}(z)) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(k_c \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pVS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(k_c \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pVS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$\tau_{Lt}(z) := \begin{cases} \min(k_t \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pVS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pV}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pV}(z)) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(k_t \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pVS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(k_t \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pVS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$N_{qstar}(z) := \begin{cases} 10 & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 10 & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 18 & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 18 & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$q_{blim}(z) := \begin{cases} 4300\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 3800\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 4300\text{kPa} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 5800\text{kPa} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	75 di 64

$$q_{BL}(z) := \begin{cases} \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \max(9 \cdot c_u(z) + \sigma_v(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$W_{pp}(z) := \gamma_{ca} \cdot \pi \cdot \frac{\phi_p^2}{4} \cdot (z - z_{tp} + H_{scalz})$$

$$Q_{LLc}(z) := \int_{z_{tp}}^z \pi \cdot \phi_p \cdot \tau_{Lc}(z) dz \quad Q_{LLt}(z) := \int_{z_{tp}}^z \pi \cdot \phi_p \cdot \tau_{Lt}(z) dz$$

$$Q_{BL}(z) := \frac{\pi \cdot \phi_p^2}{4} \cdot q_{BL}(z)$$

$$Q_{dC}(z) := \frac{Q_{LLc}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_s} + \frac{Q_{BL}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_b} - W_{pp}(z)$$

$$z_{bp} := z_{tp} + L_p = 39.2 \text{ m}$$

$$Q_{dC}(z_{bp}) = 9.185 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{dSLE}(z) := \frac{Q_{LLc}(z)}{1.25}$$

$$Q_{dSLE}(z_{bp}) = 9.799 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{dT}(z) := \frac{Q_{LLt}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_{st}} + W_{pp}(z)$$

$$Q_{dT}(z_{bp}) = 5.686 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI06</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0603 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 76 di 64</p>

Verifica a compressione

$Ed = 9153 \text{ kN} < Rd = 9185 \text{ kN}$

verifica soddisfatta

Verifica a trazione

Non vi è trazione

Verifica in esercizio

$Ed = 6107 \text{ kN} < Rd = 9799 \text{ kN}$

verifica soddisfatta

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	77 di 64

Portata verticale palo singolo - VI06 - PILE P3-P4

quote da p.c. assunto
a quota +16.8 m slm

$\phi_p := 1.5\text{m}$ in assenza di scalzamento

$$\gamma_{ca} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$z_{tp} := 4.20\text{m}$$

$$L_p := 45\text{m}$$

$$z_w := 4.30\text{m}$$

$$\gamma_w := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\xi_3 := 1.70 \quad \gamma_s := 1.15 \quad \gamma_b := 1.35 \quad \gamma_{st} := 1.25$$

$$z_1 := 0\text{m} \quad z_2 := 2.8\text{m} \quad z_3 := 17.80\text{m} \quad z_4 := 30.80\text{m} \quad z_5 := 35.80\text{m}$$

$$k_c := 0.7 \quad k_t := 0.5$$

$$\gamma_t(z) := \begin{cases} 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 20.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$\sigma_v(z) := \gamma_t(z) \cdot z \quad \sigma_{pv}(z) := \begin{cases} \gamma_t(z) \cdot z & \text{if } z < z_w \\ \gamma_t(z) \cdot z_w + (\gamma_t(z) - \gamma_w) \cdot (z - z_w) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\phi(z) := \begin{cases} 28^\circ & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 34^\circ & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 35^\circ & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 25^\circ & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 35^\circ & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	78 di 64

$$c_u(z) := \begin{cases} 0\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 100\text{kPa} & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$\alpha(z) := \begin{cases} 0.9 & \text{if } c_u(z) \leq 25\text{kPa} \\ 0.8 & \text{if } 25\text{kPa} \leq c_u(z) \leq 50\text{kPa} \\ 0.6 & \text{if } 50\text{kPa} \leq c_u(z) \leq 75\text{kPa} \\ 0.4 & \text{if } c_u(z) \geq 75\text{kPa} \end{cases}$$

$$\tau_{Lc}(z) := \begin{cases} \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pv}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pv}(z)) & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$\tau_{Lt}(z) := \begin{cases} \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pv}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pv}(z)) & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$N_{qstar}(z) := \begin{cases} 10 & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 18 & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 18 & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 10 & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 18 & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$q_{blim}(z) := \begin{cases} 4300\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 4300\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 5800\text{kPa} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 3800\text{kPa} & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 5800\text{kPa} & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

$$q_{BL}(z) := \begin{cases} \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \max(9 \cdot c_u(z) + \sigma_v(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z \geq z_5 \end{cases}$$

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	79 di 64

$$W_{pp}(z) := \gamma_{ca} \cdot \pi \cdot \frac{\phi_p^2}{4} \cdot (z - z_{tp})$$

$$Q_{LLc}(z) := \int_{z_{tp}}^z \pi \cdot \phi_p \cdot \tau_{Lc}(z) dz \quad Q_{LLt}(z) := \int_{z_{tp}}^z \pi \cdot \phi_p \cdot \tau_{Lt}(z) dz$$

$$Q_{BL}(z) := \frac{\pi \cdot \phi_p^2}{4} \cdot q_{BL}(z)$$

$$Q_{dC}(z) := \frac{Q_{LLc}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_s} + \frac{Q_{BL}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_b} - W_{pp}(z)$$

$$z_{bp} := z_{tp} + L_p = 49.2 \text{ m}$$

$$Q_{dC}(z_{bp}) = 1.505 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{dSLE}(z) := \frac{Q_{LLc}(z)}{1.25}$$

$$Q_{dSLE}(z_{bp}) = 1.967 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{dT}(z) := \frac{Q_{LLt}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_{st}} + W_{pp}(z)$$

$$Q_{dT}(z_{bp}) = 1.186 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

Verifica a compressione

$$Ed = 9754 \text{ kN} < Rd = 15050 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

Verifica a trazione

$$Ed = 1004 \text{ kN} < Rd = 11860 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

Verifica in esercizio

$$Ed = 6390 \text{ kN} < Rd = 19670 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	80 di 64

Portata verticale palo singolo - VI06 - PILE P5-P6-P7

quote da p.c. assunto
a quota +16.8 m slm

$\phi_p := 1.5\text{m}$ in assenza di scalzamento
 $H_{\text{scalz}} := 0\text{m}$

$\gamma_{\text{ca}} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

$z_{\text{tp}} := 4.20\text{m}$

$L_p := 35\text{m}$

$z_w := 4.30\text{m}$

$\gamma_w := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

$\xi_3 := 1.70 \quad \gamma_s := 1.15 \quad \gamma_b := 1.35 \quad \gamma_{\text{st}} := 1.25$

$z_1 := 0\text{m} \quad z_2 := 1.80\text{m} \quad z_3 := 6.20\text{m} \quad z_4 := 19.2\text{m}$

$k_c := 0.7 \quad k_t := 0.5$

$$\gamma_t(z) := \begin{cases} 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$\sigma_v(z) := \gamma_t(z) \cdot z \quad \sigma_{pv}(z) := \begin{cases} \gamma_t(z) \cdot z & \text{if } z < z_w \\ \gamma_t(z) \cdot z_w + (\gamma_t(z) - \gamma_w) \cdot (z - z_w) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\phi(z) := \begin{cases} 28^\circ & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 25^\circ & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 34^\circ & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 35^\circ & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$c_u(z) := \begin{cases} 0\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 50\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	81 di 64

$$\alpha(z) := \begin{cases} 0.9 & \text{if } c_u(z) \leq 25\text{kPa} \\ 0.8 & \text{if } 25\text{kPa} \leq c_u(z) \leq 50\text{kPa} \\ 0.6 & \text{if } 50\text{kPa} \leq c_u(z) \leq 75\text{kPa} \\ 0.4 & \text{if } c_u(z) \geq 75\text{kPa} \end{cases}$$

$$\tau_{Lc}(z) := \begin{cases} \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pv}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pv}(z)) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$\tau_{Lt}(z) := \begin{cases} \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pv}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pv}(z)) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$N_{qstar}(z) := \begin{cases} 10 & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 10 & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 18 & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 18 & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$q_{blim}(z) := \begin{cases} 4300\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 3800\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 4300\text{kPa} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 5800\text{kPa} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$q_{BL}(z) := \begin{cases} \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \max(9 \cdot c_u(z) + \sigma_v(z) \cdot q_{blim}(z)) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$W_{pp}(z) := \gamma_{ca} \cdot \pi \cdot \frac{\phi_p^2}{4} \cdot (z - z_{tp})$$

$$Q_{LLc}(z) := \int_{z_{tp}}^z \pi \cdot \phi_p \cdot \tau_{Lc}(z) dz \quad Q_{LLt}(z) := \int_{z_{tp}}^z \pi \cdot \phi_p \cdot \tau_{Lt}(z) dz$$

$$Q_{BL}(z) := \frac{\pi \cdot \phi_p^2}{4} \cdot q_{BL}(z)$$

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	82 di 64

$$Q_{BL}(z) := \frac{\pi \cdot \phi_p^2}{4} \cdot q_{BL}(z)$$

$$Q_{dC}(z) := \frac{Q_{LLc}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_s} + \frac{Q_{BL}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_b} - W_{pp}(z)$$

$$z_{bp} := z_{tp} + L_p = 39.2 \text{ m}$$

$$Q_{dC}(z_{bp}) = 1.248 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{dSLE}(z) := \frac{Q_{LLc}(z)}{1.25}$$

$$Q_{dSLE}(z_{bp}) = 1.496 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{dT}(z) := \frac{Q_{LLt}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_{st}} + W_{pp}(z)$$

$$Q_{dT}(z_{bp}) = 8.505 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Verifica a compressione

$$E_d = 9754 \text{ kN} < R_d = 12480 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

Verifica a trazione

$$E_d = 1004 \text{ kN} < R_d = 8505 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

Verifica in esercizio

$$E_d = 6390 \text{ kN} < R_d = 14960 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	83 di 64

Portata verticale palo singolo - VI06 - PILE P8-P9

quote da p.c. assunto
a quota +16.8 m slm

$$\phi_p := 1.5\text{m}$$

in presenza di scalzamento

$$H_{\text{scalz}} := 0\text{m} \quad \text{altezza di palo scalzato}$$

$$\gamma_{\text{ca}} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$z_{\text{tp}} := 3.80\text{m} + H_{\text{scalz}} = 3.8\text{m} \quad \text{scalzamento totale}$$

$$L_p := 32\text{m} - H_{\text{scalz}} = 32\text{m}$$

$$z_w := 0\text{m}$$

$$\gamma_w := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\xi_3 := 1.70 \quad \gamma_s := 1.15 \quad \gamma_b := 1.35 \quad \gamma_{\text{st}} := 1.25$$

$$z_1 := 0\text{m} \quad z_2 := 1.80\text{m} \quad z_3 := 6.20\text{m} \quad z_4 := 19.2\text{m}$$

$$k_c := 0.7 \quad k_t := 0.5$$

$$\gamma_t(z) := \begin{cases} 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$\sigma_v(z) := \gamma_t(z) \cdot z$$

$$\sigma_{\text{pv}}(z) := \begin{cases} \gamma_t(z) \cdot z & \text{if } z < z_w \\ \gamma_t(z) \cdot z_w + (\gamma_t(z) - \gamma_w) \cdot (z - z_w) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{\text{vS}}(z) := \begin{cases} 0\text{kPa} & \text{if } z \leq z_{\text{tp}} \\ \gamma_t(z) \cdot (z - z_{\text{tp}}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{\text{pvS}}(z) := \begin{cases} 0\text{kPa} & \text{if } z \leq z_{\text{tp}} \\ (\gamma_t(z) - \gamma_w) \cdot (z - z_{\text{tp}}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{coeff}(z) := \begin{cases} 0 & \text{if } z \leq z_{\text{tp}} \\ \left(\frac{\sigma_{\text{pv}}(z)}{\sigma_{\text{pvS}}(z)} \right)^{0.25} & \text{otherwise} \end{cases}$$

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	84 di 64

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

$$\phi(z) := \begin{cases} 28^\circ & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 25^\circ & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 34^\circ & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 35^\circ & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$c_u(z) := \begin{cases} 0\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 50\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$\alpha(z) := \begin{cases} 0.9 & \text{if } c_u(z) \leq 25\text{kPa} \\ 0.8 & \text{if } 25\text{kPa} \leq c_u(z) \leq 50\text{kPa} \\ 0.6 & \text{if } 50\text{kPa} \leq c_u(z) \leq 75\text{kPa} \\ 0.4 & \text{if } c_u(z) \geq 75\text{kPa} \end{cases}$$

$$\tau_{Lc}(z) := \begin{cases} \min(k_c \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pVS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pV}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pV}(z)) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(k_c \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pVS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(k_c \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pVS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$\tau_{Lt}(z) := \begin{cases} \min(k_t \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pVS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pV}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pV}(z)) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(k_t \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pVS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(k_t \cdot \text{coeff}(z) \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pVS}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$N_{qstar}(z) := \begin{cases} 10 & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 10 & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 18 & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 18 & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$q_{blim}(z) := \begin{cases} 4300\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 3800\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 4300\text{kPa} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 5800\text{kPa} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	85 di 64

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

$$q_{BL}(z) := \begin{cases} \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \max(9 \cdot c_u(z) + \sigma_v(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$W_{pp}(z) := \gamma_{ca} \cdot \pi \cdot \frac{\phi_p^2}{4} \cdot (z - z_{tp} + H_{scalz})$$

$$Q_{LLc}(z) := \int_{z_{tp}}^z \pi \cdot \phi_p \cdot \tau_{Lc}(z) dz \quad Q_{LLt}(z) := \int_{z_{tp}}^z \pi \cdot \phi_p \cdot \tau_{Lt}(z) dz$$

$$Q_{BL}(z) := \frac{\pi \cdot \phi_p^2}{4} \cdot q_{BL}(z)$$

$$Q_{dC}(z) := \frac{Q_{LLc}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_s} + \frac{Q_{BL}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_b} - W_{pp}(z)$$

$$z_{bp} := z_{tp} + L_p = 35.8 \text{ m}$$

$$Q_{dC}(z_{bp}) = 9.353 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{dSLE}(z) := \frac{Q_{LLc}(z)}{1.25}$$

$$Q_{dSLE}(z_{bp}) = 9.855 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{dT}(z) := \frac{Q_{LLt}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_{st}} + W_{pp}(z)$$

$$Q_{dT}(z_{bp}) = 5.594 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	86 di 64

Verifica a compressione

$$Ed = 9153 \text{ kN} < Rd = 9353 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

Verifica a trazione

Non vi è trazione

Verifica in esercizio

$$Ed = 6107 \text{ kN} < Rd = 9855 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	87 di 64

Portata verticale palo singolo - VI06 - PILE P8-P9

quote da p.c. assunto
a quota +16.8 m slm

$$\phi_p := 1.5\text{m}$$

in assenza di scalzamento

$$\gamma_{ca} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$z_{tp} := 3.80\text{m}$$

$$L_p := 30\text{m}$$

$$z_w := 4.30\text{m}$$

$$\gamma_w := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\xi_3 := 1.70 \quad \gamma_s := 1.15 \quad \gamma_b := 1.35 \quad \gamma_{st} := 1.25$$

$$z_1 := 0\text{m} \quad z_2 := 1.80\text{m} \quad z_3 := 6.20\text{m} \quad z_4 := 19.2\text{m}$$

$$k_c := 0.7 \quad k_t := 0.5$$

$$\gamma_t(z) := \begin{cases} 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$\sigma_v(z) := \gamma_t(z) \cdot z \quad \sigma_{pv}(z) := \begin{cases} \gamma_t(z) \cdot z & \text{if } z < z_w \\ \gamma_t(z) \cdot z_w + (\gamma_t(z) - \gamma_w) \cdot (z - z_w) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\phi(z) := \begin{cases} 28^\circ & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 25^\circ & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 34^\circ & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 35^\circ & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$c_u(z) := \begin{cases} 0\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 50\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	88 di 64

$$\alpha(z) := \begin{cases} 0.9 & \text{if } c_u(z) \leq 25\text{kPa} \\ 0.8 & \text{if } 25\text{kPa} \leq c_u(z) \leq 50\text{kPa} \\ 0.6 & \text{if } 50\text{kPa} \leq c_u(z) \leq 75\text{kPa} \\ 0.4 & \text{if } c_u(z) \geq 75\text{kPa} \end{cases}$$

$$\tau_{LC}(z) := \begin{cases} \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pV}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pV}(z)) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$\tau_{Lt}(z) := \begin{cases} \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pV}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pV}(z)) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$N_{qstar}(z) := \begin{cases} 10 & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 10 & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 18 & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 18 & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$q_{blim}(z) := \begin{cases} 4300\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 3800\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 4300\text{kPa} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 5800\text{kPa} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$q_{BL}(z) := \begin{cases} \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pV}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \max(9 \cdot c_u(z) + \sigma_v(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pV}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pV}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

$$W_{pp}(z) := \gamma_{ca} \cdot \pi \cdot \frac{\phi_p^2}{4} \cdot (z - z_{tp})$$

$$Q_{LLc}(z) := \int_{z_{tp}}^z \pi \cdot \phi_p \cdot \tau_{LC}(z) \, dz \quad Q_{LLt}(z) := \int_{z_{tp}}^z \pi \cdot \phi_p \cdot \tau_{Lt}(z) \, dz$$

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	89 di 64

$$Q_{BL}(z) := \frac{\pi \cdot \phi_p^2}{4} \cdot q_{BL}(z)$$

$$Q_{dC}(z) := \frac{Q_{LLc}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_s} + \frac{Q_{BL}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_b} - W_{pp}(z)$$

$$z_{bp} := z_{tp} + L_p = 33.8 \text{ m}$$

$$Q_{dC}(z_{bp}) = 1.077 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{dSLE}(z) := \frac{Q_{LLc}(z)}{1.25}$$

$$Q_{dSLE}(z_{bp}) = 1.193 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{dT}(z) := \frac{Q_{LLt}(z)}{\xi_3 \cdot \gamma_{st}} + W_{pp}(z)$$

$$Q_{dT}(z_{bp}) = 6.592 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Verifica a compressione

$$E_d = 9754 \text{ kN} < R_d = 10770 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

Verifica a trazione

$$E_d = 1004 \text{ kN} < R_d = 6592 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

Verifica in esercizio

$$E_d = 6390 \text{ kN} < R_d = 11930 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI06</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IV01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>VI0603 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>90 di 64</p>

10.3 Verifica di portata trasversale

Nota la disposizione geometrica dei pali di fondazione, si può determinare l'azione tangenziale agente sul singolo palo tramite la seguente distribuzione elastica.

$$V_x/\text{palo} = V_x / n_{p,\text{tot}} + [M_t / (2 \cdot B \cdot L)] / n_{pfx}$$

$$V_y/\text{palo} = V_y / n_{p,\text{tot}} + [M_t / (2 \cdot B \cdot L)] / n_{pfy}$$

$$V/\text{palo} = [(V_x/\text{palo})^2 + (V_y/\text{palo})^2]^{0.5}$$

V_x/palo = taglio agente su palo singolo in direzione x (longitudinale)

V_y/palo = taglio agente su palo singolo in direzione y (trasversale)

V/palo = taglio agente su palo singolo

$n_{p,\text{tot}}$ = numero totale di pali = 12

M_t = momento torcente

B = distanza tra i pali d'angolo in direzione longitudinale = 9 m

L = distanza tra i pali d'angolo in direzione trasversale = 13.5 m

n_{pfx} = numero dei pali in una fila perimetrale in direzione x = 3

n_{pfy} = numero dei pali in una fila perimetrale in direzione y = 4

Di seguito si riporta il calcolo della massima azione di taglio.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	91 di 64

PILE SLE

	Vx/palo kN	Vy/palo kN	V/palo kN
RARA01	97	132	164
RARA02	0	126	126
RARA03	187	71	200
RARA04	153	116	192
RARA05	0	83	83
RARA06	153	150	214
RARA07	77	116	139
RARA08	0	111	111
RARA09	149	67	164
RARA10	97	92	133
RARA11	0	90	90
RARA12	187	50	193
RARA13	47	71	85
RARA Scalz	77	154	172
		max	214
		min	83

PILE SLU-SLV

	Vx/palo kN	Vy/palo kN	V/palo kN
SLU01	140	194	239
SLU02	0	186	186
SLU03	271	106	291
SLU04	112	220	247
SLU05	0	214	214
SLU06	217	150	263
SLU07	140	194	239
SLU08	0	125	125
SLU09	140	135	195
SLU10	0	133	133
SLU11	271	75	281
SLU12	68	106	126
SLV01	862	248	897
SLV02	862	281	907
SLV03	245	866	900
SLV04	284	866	911
SLV05	901	281	943
SLV06	901	248	934
SLV07	284	899	942
SLV08	245	899	932
SLU Scalz1	70	279	287
SLU Scalz2	112	301	321
		max	943
		min	125

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI06</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0603 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 92 di 64</p>

La massima azione di taglio è pari a:

- 943 kN in assenza di scalzamento
- 321 kN in presenza di scalzamento

Di seguito si riporta il calcolo del momento plastico.

Conservativamente si considera:

azione assiale nulla

armatura 30ø30

copriferro pari a $6\text{cm}+1.2\text{cm}+1.5\text{cm}=8.7\text{cm}$

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	93 di 64

Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare

Diametro = 1500 (mm)

Raggio = 750 (mm)

Sforzo Normale = 0 (kN)

Caratteristiche dei Materiali

calcestruzzo

C25/30

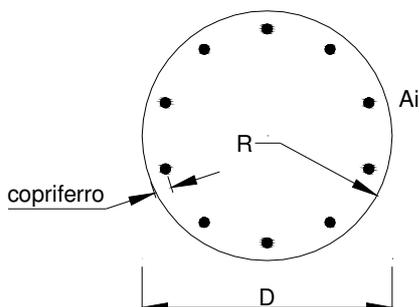
Rck = 30 (Mpa)

fck = 25 (Mpa)

γ_c = 1.5

α_{cc} = 0.85

$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 14.17$ (Mpa)



Acciaio

tipo di acciaio

B450C

fyk = 450 (Mpa)

γ_s = 1.15

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391.3$ (Mpa)

Es = 206000 (Mpa)

ϵ_{ys} = 0.190%

ϵ_{uk} = 10.000%

Armature

numero	diametro (mm)	area (mm ²)	copri ferro (mm)
40	φ 30	28274	87
0	φ 0	0	0
0	φ 8	0	30

Calcolo

Momento di Plasticizzazione

My = 6028.5 (kN m)

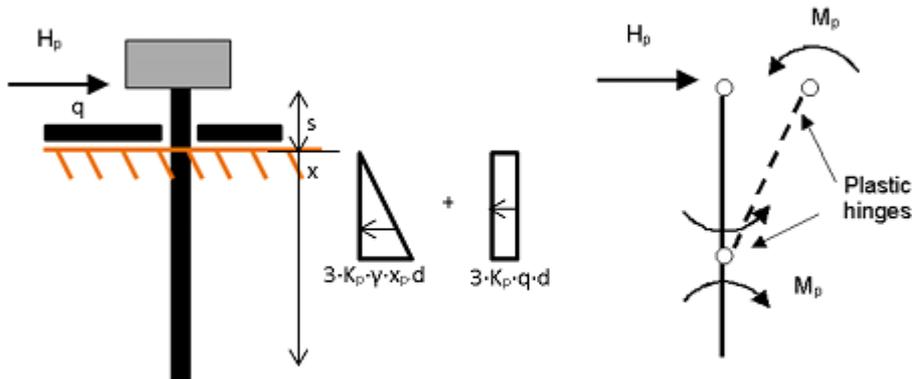
Inserisci

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	94 di 64

Resistenza laterale palo muri - condizioni drenate in assenza di scalzamento

Broms (1969) - Palo lungo con rotazione impedita in testa



$$K_p := 3.537 \quad \gamma := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad d := 1.5\text{m} \quad M_p := 6000\text{kN}\cdot\text{m} \quad q := 70\text{kPa} \quad s := 0\text{m}$$

$$\xi_3 := 1.7 \quad \gamma_T := 1.3 \quad E := 0.8$$

$$f_{\text{Broms}}(x) := \frac{3}{2} \cdot \gamma \cdot x^2 \cdot K_p \cdot d \cdot \left(s + \frac{2}{3} \cdot x \right) + q \cdot 3 \cdot K_p \cdot x \cdot d \cdot \left(s + \frac{x}{2} \right) - 2 \cdot M_p$$

$$d_{\text{Broms}}(x) := 3 \cdot K_p \cdot d \cdot (q + \gamma \cdot x) \cdot (s + x)$$

$$x_p := \begin{cases} b \leftarrow 0.1\text{m} & = 3.956\text{-m} \\ \text{while } |f_{\text{Broms}}(b)| > 1\text{-kN}\cdot\text{m} \\ \quad \left| \begin{array}{l} db \leftarrow \frac{-f_{\text{Broms}}(b)}{d_{\text{Broms}}(b)} \\ b \leftarrow b + db \end{array} \right. \\ b \end{cases}$$

$$H_{\text{lim}} := \frac{3}{2} \cdot \gamma \cdot x_p^2 \cdot K_p \cdot d + q \cdot 3 \cdot K_p \cdot x_p \cdot d = 5.652 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$H_{\text{Rd}} := \frac{E \cdot H_{\text{lim}}}{\gamma_T \cdot \xi_3} = 2.046 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$H_{\text{Rd}} = 2046 \text{ kN} > 943 \text{ kN}$$

La verifica è soddisfatta.

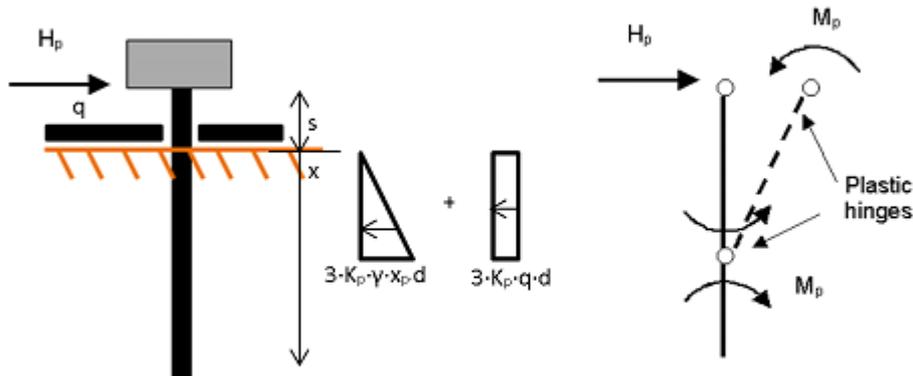
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	95 di 64

Resistenza laterale palo muri - condizioni drenate in presenza di scalzamento

Broms (1969) - Palo lungo con rotazione impedita in testa



$$K_p := 3.537 \quad \gamma := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad d := 1.5\text{m} \quad M_p := 6000\text{kN}\cdot\text{m} \quad q := 0\text{kPa} \quad s := 8\text{m}$$

$$\xi_3 := 1.7 \quad \gamma_T := 1.3 \quad E := 0.8$$

$$f_{\text{Broms}}(x) := \frac{3}{2} \cdot \gamma \cdot x^2 \cdot K_p \cdot d \cdot \left(s + \frac{2}{3} \cdot x \right) + q \cdot 3 \cdot K_p \cdot x \cdot d \cdot \left(s + \frac{x}{2} \right) - 2 \cdot M_p$$

$$d_{\text{Broms}}(x) := 3 \cdot K_p \cdot d \cdot (q + \gamma \cdot x) \cdot (s + x)$$

$$x_p := \begin{cases} b \leftarrow 0.1\text{m} & = 3.785\text{-m} \\ \text{while } |f_{\text{Broms}}(b)| > 1\text{-kN}\cdot\text{m} \\ \quad \left| db \leftarrow \frac{-f_{\text{Broms}}(b)}{d_{\text{Broms}}(b)} \right. \\ \quad b \leftarrow b + db \\ \quad b \end{cases}$$

$$H_{\text{lim}} := \frac{3}{2} \cdot \gamma \cdot x_p^2 \cdot K_p \cdot d + q \cdot 3 \cdot K_p \cdot x_p \cdot d = 1.14 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$H_{\text{Rd}} := \frac{E \cdot H_{\text{lim}}}{\gamma_T \cdot \xi_3} = 412.779 \cdot \text{kN}$$

$$HRd = 412 \text{ kN} > 321 \text{ kN}$$

La verifica è soddisfatta.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	96 di 64

10.4 Verifiche strutturali

Le sollecitazioni nei pali di fondazione vengono calcolate secondo lo schema statico di trave su suolo elastico alla Winkler con rotazione impedita in testa, di lunghezza complessiva pari alla lunghezza effettiva dei pali ed aventi la medesima inerzia del palo e larghezza pari al diametro del palo.

Per quanto riguarda il comportamento dei pali alle azioni orizzontali, si fa riferimento ad un modulo di reazione orizzontale del terreno variabile con la profondità, assunto pari a $k(z)=E(z)/d$ con $E(z)$ in accordo al capitolo 5.

Si considera la testa del palo coincidente con l'intradosso della platea di fondazione.

Ai fini delle verifiche, quale condizione di involuppo, si assumono i carichi maggiori e la stratigrafia delle pile in alveo con scalzamento.

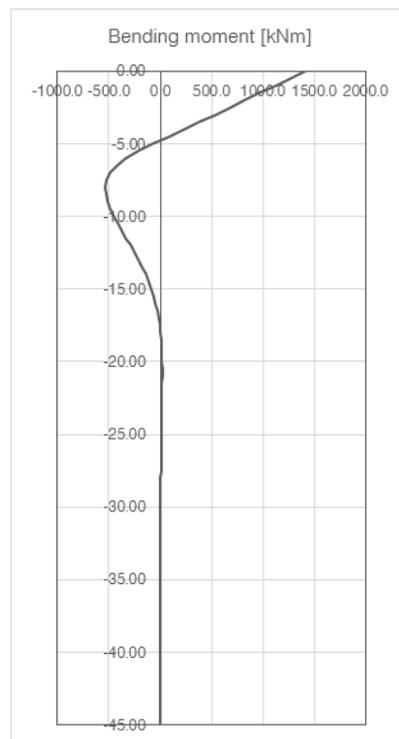
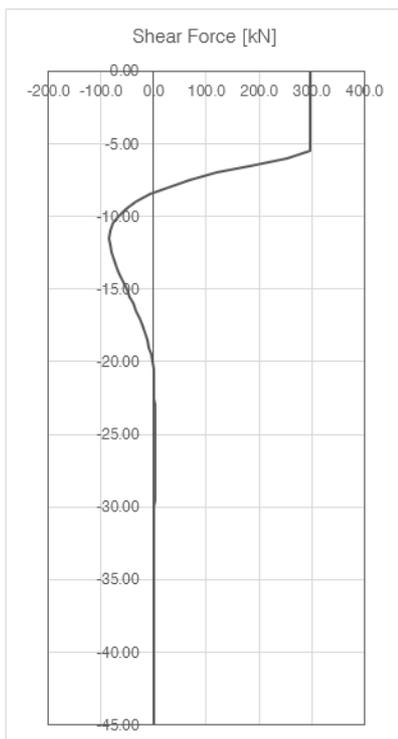
Calcolo delle sollecitazioni

SLE

$N = 0$ kN (conservativamente)

$V = 296$ kN

$M = 1420$ kNm



PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

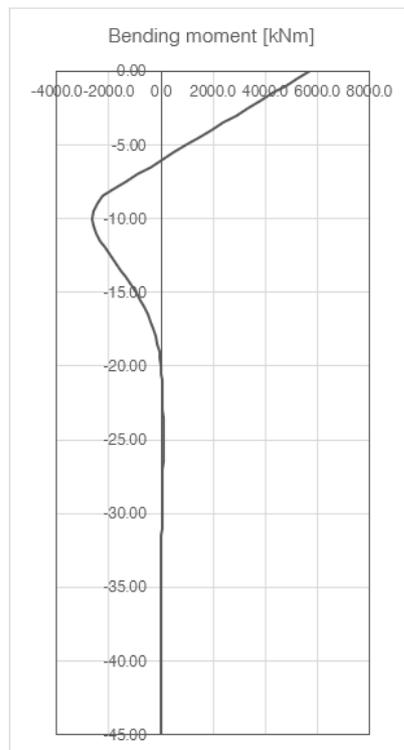
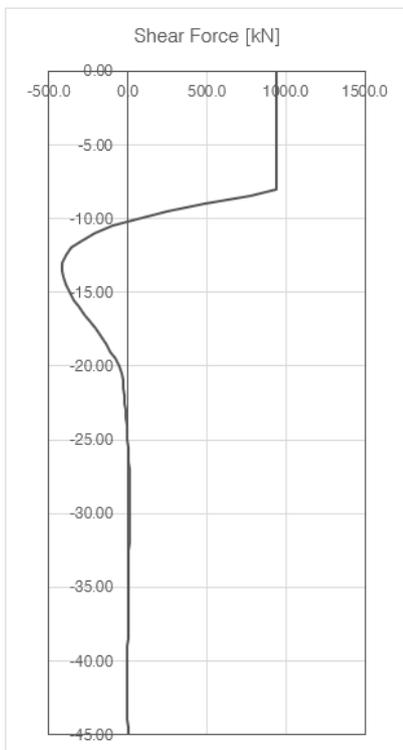
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	97 di 64

SLU-SLV

$N = 0 \text{ kN}$ (conservativamente)

$V = 943 \text{ kN}$

$M = 5703 \text{ kNm}$



Verifiche

Descrizione armatura

Tratto 1

Da testa palo a 12 m

Armatura longitudinale: 36 \varnothing 30

Spirale: \varnothing 12 / 10

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	98 di 64

Tratto 2

Da 12 m a base palo

Armatura longitudinale: 28 ϕ 30

Spirale: ϕ 12 / 20

Di seguito si riporta la verifica con riferimento al primo tratto, maggiormente sollecitato; poiché il decremento delle armature nel secondo tratto è inferiore al decremento delle sollecitazioni, il soddisfacimento delle verifiche nel primo tratto comporta l'implicito soddisfacimento delle verifiche nel secondo tratto.

DATI GENERALI SEZIONE CIRCOLARE DI PALO IN C.A.

NOME SEZIONE: VI06

Descrizione Sezione:

Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di Palo
Forma della sezione:	Circolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Comb. non sismiche

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resistenza compress. di progetto fcd:	14.16 MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	7.08 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.56 MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	15.0 MPa

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 * \beta_2$:	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 * \beta_2$:	0.50
Comb.Rare - Sf Limite:	360.0 MPa	

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Diametro sezione:	150.0	cm
Barre circonferenza:	40 ϕ 30	(282.7 cm ²)

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	99 di 64

Coprif.(dal baric. barre): 8.7 cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	5703.00	943.00	0.00

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	0.00	1420.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	7.4	cm
Interferro massimo barre longitudinali:	0.0	cm [deve essere < 0.0]
Copriferro netto minimo staffe:	6.0	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata									
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)									
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico									
N Ult	Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)									
Mx rd	Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico									
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000									
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X, Y, O sez.									
As Tot.	Area complessiva armature long. pilastro [cm ²]. (tra parentesi l'area minima di normativa)									
N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tot.
1	S	0.00	5703.00	-0.08	6033.39	1.058	34.8	---	---	282.7 (53.0)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X, Y, O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X, Y, O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X, Y, O sez.)

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI06**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0603 002	A	100 di 64

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	75.0	0.00274	66.3	-0.00880	-66.3

ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

Diametro staffe/legature:	12	mm	
Passo staffe:	10.0	cm	[Passo massimo di normativa = 25.0 cm]
N.Bracci staffe:	2		
Area staffe/m :	22.6	cm ² /m	[Area Staffe Minima NTC = 2.3 cm ² /m]

VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrd	Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]
bw z	Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro Braccio coppia interna
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm ² /m]

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	bw z	Ctg	Acw	ASt	
1	S	943.00	3450.72	2433.17	128.5	110.0	2.500	1.000	8.8

FS = VRd/VEd = 2.58 > 1.3

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([MPa])
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Ss min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [MPa]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di calcestruzzo [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	4.70	-75.0	0.00	75.0	-129.1	66.3	21.8	4299	134.3	----

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2	Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e2) in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm	Distanza massima in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00071	0.00035		0.50	0.60	0.000387 (0.000387)	408	0.158 (990.00)	1166.40

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI06</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IV01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>VI0603 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>101 di 64</p>

In accordo al §7.2.5 di NTC si verifica che la pressione normale media sia inferiore a $0.45 \cdot f_{cd}$.

$$\sigma_c = N_{Ed} / A = 5.54 \text{ MPa} < 6.375 \text{ MP} \rightarrow \text{verifica soddisfatta}$$

$$N_{Ed} = 9754 \text{ kN}$$

$$A = 1.76 \text{ m}^2$$