

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA
TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

VI05 - Viadotto su Torrente Rio Carenda da km 83+644 e 63+667

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI05

SCALA:

-

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

I V 0 1 0 0 D 0 9 C L V I 0 5 0 3 0 0 2 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autore	Data
A	Emissione esecutiva	G.Grimaldi	Feb.2022	L.Utzeri	Feb.2022	G.Fadda	Feb.2022	Autore	Data

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili e Gestione delle Infrastrutture
Dott. Ing. Angelo Vitozzi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Genova
N° A20783

File: IV0100D09CLVI0503002A.doc

n. Elab.: X

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	2 di 43

INDICE

1	PREMESSA	3
2	DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA E DELLE OPERE DI FONDAZIONE	4
3	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	7
3.1	NORMATIVA	7
3.2	ELABORATI DI RIFERIMENTO	7
4	MATERIALI	8
4.1	CALCESTRUZZO PER PALI	8
4.2	ACCIAIO PER C.A.....	8
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	9
6	CRITERI DI VERIFICA GEOTECNICA.....	10
6.1	CRITERI DI VERIFICA GENERALI	10
6.2	CRITERI DI VERIFICA PER LE FONDAZIONI SU PALI	10
6.3	CRITERI DI CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE VERTICALE.....	11
6.4	CRITERI DI CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE ORIZZONTALE	15
7	CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALE.....	18
7.1	CRITERI DI VERIFICA GENERALI	18
7.2	INTERAZIONE PALO-TERRENO E CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI.....	19
8	ANALISI E VERIFICHE SPALLE	20
8.1	SOLLECITAZIONI DI VERIFICA	20
8.2	VERIFICA DI PORTATA VERTICALE	26
8.3	VERIFICA DI PORTATA TRASVERSALE	36
8.4	VERIFICHE STRUTTURALI.....	43

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0503 002	REV. A	FOGLIO 3 di 43

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la relazione geotecnica e di calcolo delle opere di fondazione del viadotto Rio Carenda tra le progressive chilometriche 83+644 e 83+667, in asse appoggi, nell'ambito del progetto di raddoppio della linea Genova-Ventimiglia, tratta finale Ligure-Andora.

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	4 di 43

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI05**

2 DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA E DELLE OPERE DI FONDAZIONE

Il viadotto in esame è composto da un solo impalcato a doppio binario che si sviluppa su 1 campata di luce pari a 25.00m.

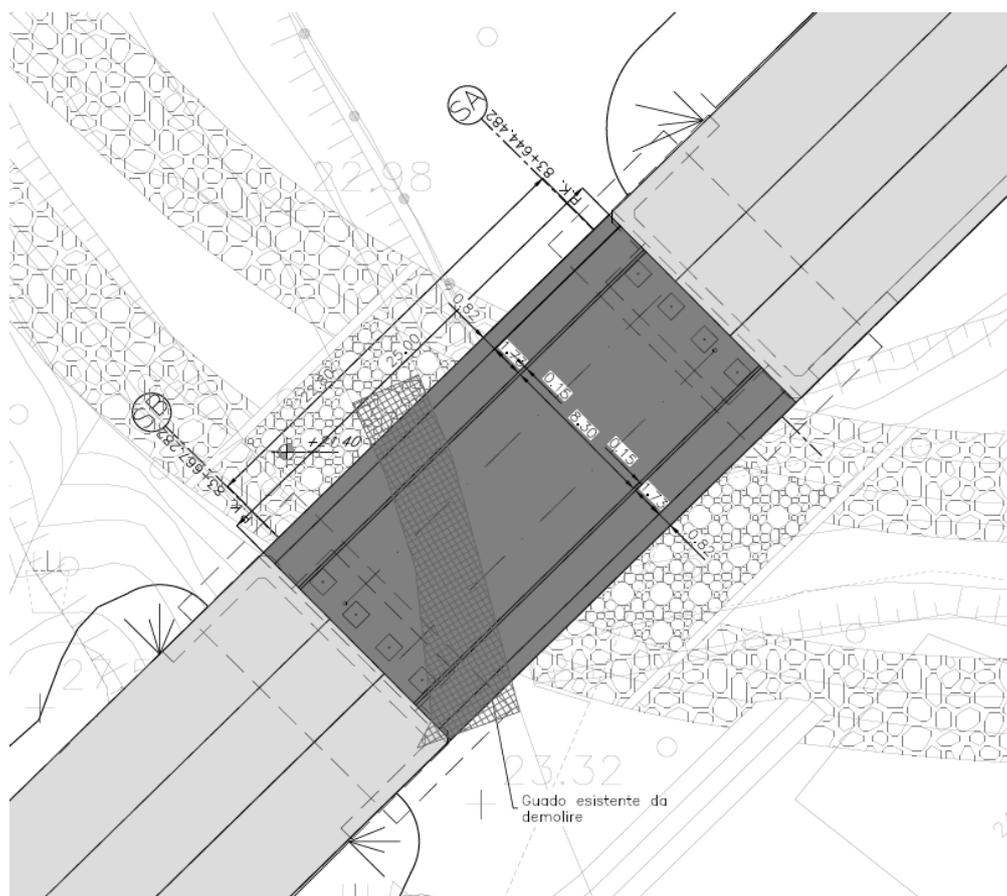


Figura 1: planimetria generale

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	5 di 43

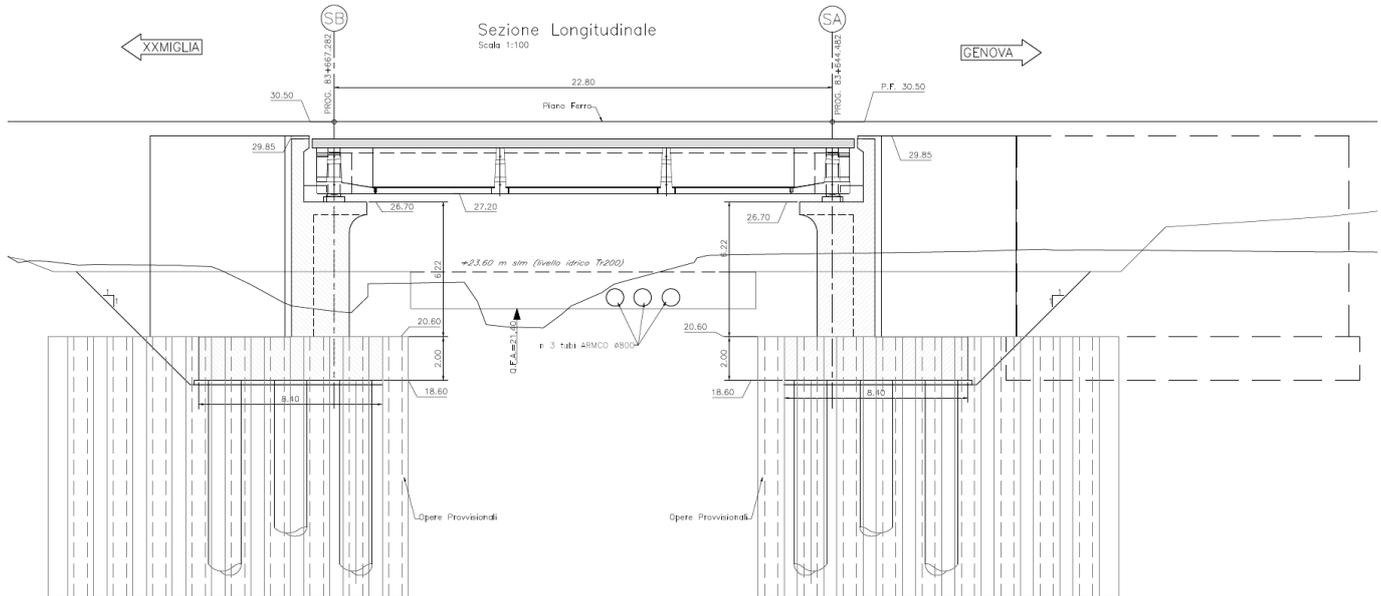


Figura 2: prospetto longitudinale

La luce di 25.00m viene superata mediante due impalcati in struttura in cemento armato precompresso.

L'impalcato è costituito da 4 travi in C.A.P. a cassoncino prefabbricate solidarizzate da 4 traversi, rispettivamente due di testata e due di campata, prefabbricati e una soletta superiore in C.A. gettata in opera con una larghezza complessiva pari a 13.70 m su cui gravano 2 binari posti ad interasse pari a 4 m. L'impalcato è caratterizzato da un armamento di tipo tradizionale su ballast.

Le spalle appoggiano su un plinto di fondazione a pianta rettangolare di dimensioni pari a 15.9 x 8.40 m e altezza 2.00m. Le elevazioni della spalla sono caratterizzate da un muro frontale di testata di lunghezza pari a 13.80 m con spessore pari a 1.00 m con dei ringrossi di spessore 2.65 m, un muro paraghiaia con spessore pari a 0.55 m e due muri andatori di spessore pari a 0.80 m. Le spalle sono fondate su undici pali di fondazione $\varnothing 1500$ di lunghezza pari a 29 m per la spalla fissa e 22 m per la spalla mobile.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	6 di 43

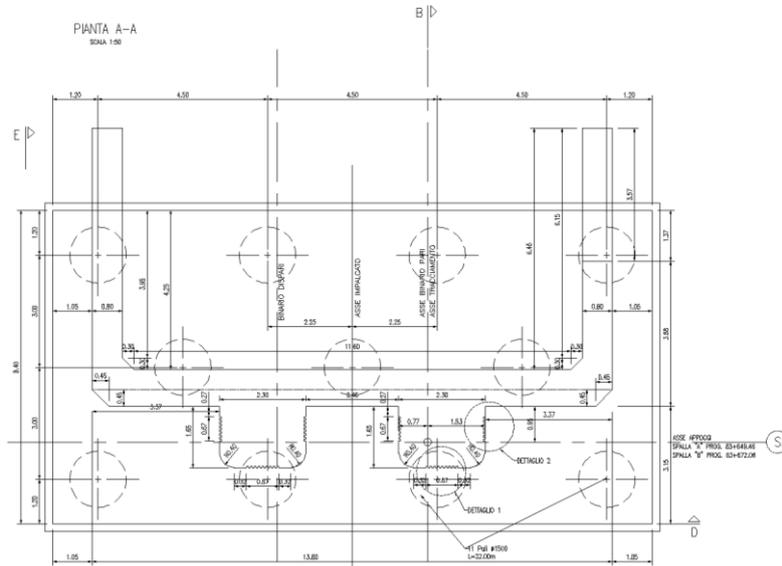


Figura 2: pianta fondazioni

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	8 di 43

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
$f_{ctm} =$	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 – VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	9 di 43

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

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

n. verticali	2								
z _w (m slm)	+16								
Unità	Descrizione	Prof top m TOP*	γ kN/mc	φ °	c' kPa	c _u kPa	E MPa	V _s m/s	v
-	-								-
2	Ghiaia con sabbia limosa e sabbia limosa debolente ghiaiosa, mediamente addensata, con locale presenza di clasti	0	20	34	0	-	40	180	0.3
CMV-c	Conglomerati coesivi costituiti prevalentemente da argilla limosa e limo argilloso debolmente sabbioso, consistenti	7.5	19.5	26	5	100	15	480	0.25
CMV	Conglomerati poligenici a tratti poco cementati o alterati, con livelli a componente sabbioso ghiaiosa e limosa argillosa	13	20	36	0	-	70	600	0.3
* m da testa palo									
Cat. Sottosuolo	E	MASW10							

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0503 002	REV. A

6 CRITERI DI VERIFICA GEOTECNICA

6.1 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).

6.2 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 2- 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 3- 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 2. 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 – VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0503 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 (*)	γ	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,25	1,25	1,25

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

Figura 3. Coefficienti parziali per le 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 2- 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 3- Tab. 6.4.VI di NTC18).

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

Figura 4. 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.

6.3 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</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI05</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>VI0503 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>12 di 43</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 = 0.7 in compressione e 0.5 in trazione;

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</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI05</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>VI0503 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>13 di 43</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:

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

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

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:

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);

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0503 002	REV. A

$\sigma'v$ = 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 $q_{b,lim}$ 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).

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:

$$Q_d = Q_{LL} / F_{SL} + W'_p$$

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),

F_{SL} = 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:

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

 <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 – VI05</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>VI0503 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>15 di 43</p>

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

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

6.4 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:

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

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

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

dove :

H = carico limite orizzontale del palo;

c_u = resistenza non drenata del terreno;

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	16 di 43

M_y = momento di plasticizzazione del palo;

L = lunghezza del palo;

d = diametro del palo.

In terreni incoerenti si ha:

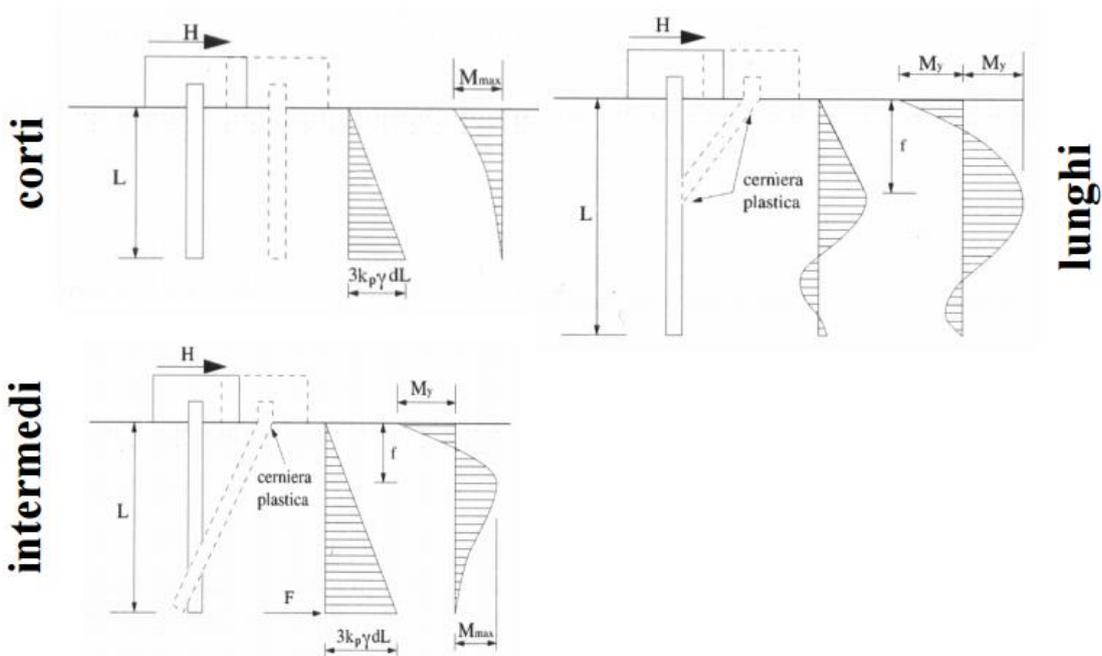
Palo corto:
$$H = 1.5k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d}\right)^2$$

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

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

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.

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	17 di 43

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.

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

dove:

R_d = resistenza di progetto del palo

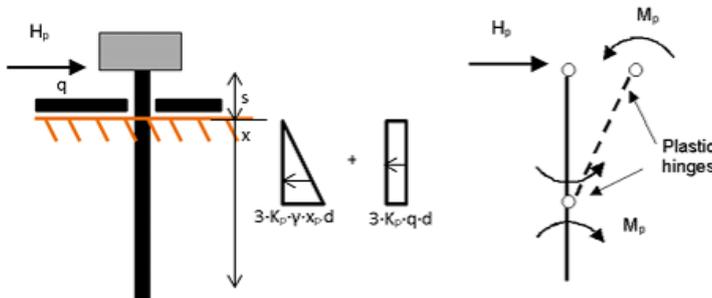
H = valore limite in funzione del meccanismo attivato (ridotto per effetto gruppo);

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 – VI05</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>VI0503 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>18 di 43</p>

7 CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALE

7.1 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 $\sigma_s < 0.75 f_{yk}$.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0503 002	REV. A	FOGLIO 19 di 43

7.2 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 – VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	20 di 43

8 ANALISI E VERIFICHE SPALLE

8.1 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	-9312	1047	45722	-8457	-29489	448
RARA02	-8548	1036	38810	-8355	-16065	980
RARA03	-9376	1150	43177	-9501	-27509	145
RARA04	-9210	1105	40994	-8654	-24042	292
RARA05	-6300	1072	36174	-8530	-7492	1014
RARA06	-7064	974	43315	-7732	-21145	376
RARA07	-8710	994	43863	-7893	-25141	502
RARA08	-8098	984	38334	-7811	-14401	928
RARA09	-8698	1904	44162	-15501	-25339	1378

SPALLA FISSA SLU-SLV

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLU01	-12870	1576	63094	-12724	-42395	705
SLU02	-11762	1559	53073	-12575	-22929	1476
SLU03	-12962	1725	59405	-14236	-39525	265
SLU04	-11996	1494	60402	-11869	-36094	779
SLU05	-11110	1481	52385	-11750	-20521	1396
SLU06	-12097	-270	56635	2410	-33208	-1376
SLU07	-11996	1494	60402	-11869	-36094	779
SLU08	-11978	2860	60850	-23281	-36390	2093
SLV01	-23298	-3422	36134	16948	-92431	3403
SLV02	-23298	-3422	38651	16948	-91099	3403
SLV03	-23298	3383	36134	-16657	-92431	-3679
SLV04	-23298	3383	38651	-16658	-91099	-3679
SLV05	9457	-3422	36134	16948	68397	3416
SLV06	9457	-3422	38651	16948	69729	3416
SLV07	9457	3383	36134	-16657	68397	-3667
SLV08	9457	3383	38651	-16658	69729	-3667
SLV09	-11834	-11361	36134	56155	-36141	11671

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	21 di 43

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLV10	-11834	-11361	38651	56154	-34809	11671
SLV11	-2007	-11361	36134	56155	12107	11674
SLV12	-2007	-11361	38651	56154	13439	11674
SLV13	-11834	11322	36134	-55864	-36141	-11938
SLV14	-11834	11322	38651	-55864	-34809	-11938
SLV15	-2007	11322	36134	-55864	12107	-11934
SLV16	-2007	11322	38651	-55864	13439	-11934
SLV17	-11834	-3422	33198	16950	-37696	3408
SLV18	-11834	3383	33198	-16656	-37696	-3675
SLV19	-2007	-3422	33198	16950	10553	3411
SLV20	-2007	3383	33198	-16656	10553	-3671
SLV21	-11834	-3422	41588	16946	-33255	3408
SLV22	-11834	3383	41588	-16659	-33255	-3675
SLV23	-2007	-3422	41588	16946	14993	3411
SLV24	-2007	3383	41588	-16659	14993	-3671

SPALLA MOBILE SLE

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
RARA01	8566	456	43929	-3641	21350	-431
RARA02	8566	1036	38810	-8354	16214	-987
RARA03	8566	1032	43194	-8132	20579	-983
RARA04	8566	1011	42683	-8345	20070	-962
RARA05	6318	1073	36174	-8536	7642	-1024
RARA06	6318	383	41523	-2918	13006	-362
RARA07	8116	521	42429	-4043	18660	-494
RARA08	8116	985	38334	-7813	14551	-938
RARA09	8116	1431	42728	-11649	18957	-1365

SPALLA MOBILE SLU-SLV

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLU01	11789	718	60494	-5741	30601	-680
SLU02	11789	1559	53072	-12575	23154	-1486
SLU03	11789	1553	59429	-12253	29483	-1481

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	22 di 43

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLU04	11137	809	58323	-6287	26703	-768
SLU05	11137	1482	52385	-11754	20746	-1412
SLU06	11137	-406	56655	3993	24996	395
SLU07	11137	809	58323	-6287	26703	-768
SLU08	11137	2174	58771	-17696	27149	-2075
SLV01	-2421	-3510	35790	17665	-34611	-3437
SLV02	-2421	-3510	38278	17665	-35973	-3437
SLV03	-2421	3235	35790	-15446	-34611	3703
SLV04	-2421	3235	38278	-15447	-35973	3703
SLV05	15956	-3510	35790	17665	55360	-3430
SLV06	15956	-3510	38278	17665	53998	-3430
SLV07	15956	3235	35790	-15446	55360	3710
SLV08	15956	3235	38278	-15447	53998	3710
SLV09	4011	-11379	35790	56296	-3121	-11765
SLV10	4011	-11379	38278	56295	-4483	-11765
SLV11	9524	-11379	35790	56296	23870	-11763
SLV12	9524	-11379	38278	56295	22508	-11763
SLV13	4011	11104	35790	-54077	-3121	12036
SLV14	4011	11104	38278	-54078	-4483	12036
SLV15	9524	11104	35790	-54077	23870	12038
SLV16	9524	11104	38278	-54078	22508	12038
SLV17	4011	-3510	32887	17667	-1532	-3435
SLV18	4011	3235	32887	-15445	-1532	3706
SLV19	9524	-3510	32887	17667	25460	-3433
SLV20	9524	3235	32887	-15445	25460	3708
SLV21	4011	-3510	41181	17663	-6073	-3435
SLV22	4011	3235	41181	-15448	-6073	3706
SLV23	9524	-3510	41181	17663	20918	-3432
SLV24	9524	3235	41181	-15448	20918	3708

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

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	23 di 43

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI05**

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

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 = 26.7 MN/m³

D = diametro del palo = 1.5 m

Le sollecitazioni di verifica risultano pertanto:

SPALLA FISSA SLE

Load	N	M _x	M _y	V _x	V _y	V	M _t
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
RARA01	45722	11233	54166	9312	1047	9371	448
RARA02	38810	11100	38717	8548	1036	8611	980
RARA03	43177	12548	52355	9376	1150	9446	145
RARA04	40994	11582	48450	9210	1105	9276	292
RARA05	36174	11371	24187	6300	1072	6391	1014
RARA06	43315	10313	39865	7064	974	7131	376
RARA07	43863	10526	48222	8710	994	8766	502
RARA08	38334	10419	35862	8098	984	8158	928
RARA09	44162	20546	48388	8698	1904	8904	1378

SPALLA FISSA SLU-SLV

Load	N	M _x	M _y	V _x	V _y	V	M _t
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
SLU01	63094	16900	76500	12870	1576	12966	705
SLU02	53073	16707	54099	11762	1559	11865	1476
SLU03	59405	18807	73875	12962	1725	13077	265
SLU04	60402	15829	67884	11996	1494	12089	779
SLU05	52385	15674	49963	11110	1481	11208	1396
SLU06	56635	3126	65266	12097	270	12100	1376
SLU07	60402	15829	67884	11996	1494	12089	779
SLU08	60850	30860	68133	11978	2860	12315	2093

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	24 di 43

SLV01	36134	26016	154170	23298	3422	23548	3403
SLV02	38651	26015	152838	23298	3422	23548	3403
SLV03	36134	25622	154170	23298	3383	23542	3679
SLV04	38651	25623	152838	23298	3383	23542	3679
SLV05	36134	26016	93458	9457	3422	10057	3416
SLV06	38651	26015	94790	9457	3422	10057	3416
SLV07	36134	25622	93458	9457	3383	10044	3667
SLV08	38651	25623	94790	9457	3383	10044	3667
SLV09	36134	86261	67500	11834	11361	16404	11671
SLV10	38651	86260	66168	11834	11361	16404	11671
SLV11	36134	86261	17426	2007	11361	11537	11674
SLV12	38651	86260	18758	2007	11361	11537	11674
SLV13	36134	85867	67500	11834	11322	16378	11938
SLV14	38651	85868	66168	11834	11322	16378	11938
SLV15	36134	85867	17426	2007	11322	11499	11934
SLV16	38651	85868	18758	2007	11322	11499	11934
SLV17	33198	26017	69055	11834	3422	12318	3408
SLV18	33198	25621	69055	11834	3383	12308	3675
SLV19	33198	26017	15872	2007	3422	3967	3411
SLV20	33198	25621	15872	2007	3383	3934	3671
SLV21	41588	26014	64614	11834	3422	12318	3408
SLV22	41588	25624	64614	11834	3383	12308	3675
SLV23	41588	26014	20312	2007	3422	3967	3411
SLV24	41588	25624	20312	2007	3383	3934	3671

SPALLA MOBILE SLE

Load	N	Mx	My	Vx	Vy	V	Mt
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
RARA01	8566	456	43929	-3641	21350	-431	8566
RARA02	8566	1036	38810	-8354	16214	-987	8566
RARA03	8566	1032	43194	-8132	20579	-983	8566
RARA04	8566	1011	42683	-8345	20070	-962	8566
RARA05	6318	1073	36174	-8536	7642	-1024	6318
RARA06	6318	383	41523	-2918	13006	-362	6318
RARA07	8116	521	42429	-4043	18660	-494	8116
RARA08	8116	985	38334	-7813	14551	-938	8116
RARA09	8116	1431	42728	-11649	18957	-1365	8116

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	25 di 43

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI05**
SPALLA MOBILE SLU-SLV

Load	N	Mx	My	Vx	Vy	V	Mt
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
SLU01	60494	7644	61841	11789	718	11811	680
SLU02	53072	16707	54394	11789	1559	11891	1486
SLU03	59429	16369	60723	11789	1553	11891	1481
SLU04	58323	8430	56216	11137	809	11166	768
SLU05	52385	15680	50258	11137	1482	11235	1412
SLU06	56655	5069	54508	11137	406	11144	395
SLU07	58323	8430	56216	11137	809	11166	768
SLU08	58771	23456	56662	11137	2174	11347	2075
SLV01	35790	26967	41026	2421	3510	4264	3437
SLV02	38278	26966	42388	2421	3510	4264	3437
SLV03	35790	24018	41026	2421	3235	4040	3703
SLV04	38278	24019	42388	2421	3235	4040	3703
SLV05	35790	26967	97643	15956	3510	16337	3430
SLV06	38278	26966	96280	15956	3510	16337	3430
SLV07	35790	24018	97643	15956	3235	16280	3710
SLV08	38278	24019	96280	15956	3235	16280	3710
SLV09	35790	86451	13751	4011	11379	12065	11765
SLV10	38278	86450	15113	4011	11379	12065	11765
SLV11	35790	86451	49109	9524	11379	14839	11763
SLV12	38278	86450	47747	9524	11379	14839	11763
SLV13	35790	83501	13751	4011	11104	11806	12036
SLV14	38278	83502	15113	4011	11104	11806	12036
SLV15	35790	83501	49109	9524	11104	14629	12038
SLV16	38278	83502	47746	9524	11104	14629	12038
SLV17	32887	26968	12161	4011	3510	5330	3435
SLV18	32887	24017	12161	4011	3235	5153	3706
SLV19	32887	26968	50698	9524	3510	10150	3433
SLV20	32887	24017	50698	9524	3235	10058	3708
SLV21	41181	26965	16702	4011	3510	5330	3435
SLV22	41181	24020	16702	4011	3235	5153	3706
SLV23	41181	26965	46157	9524	3510	10150	3432
SLV24	41181	24020	46157	9524	3235	10058	3708

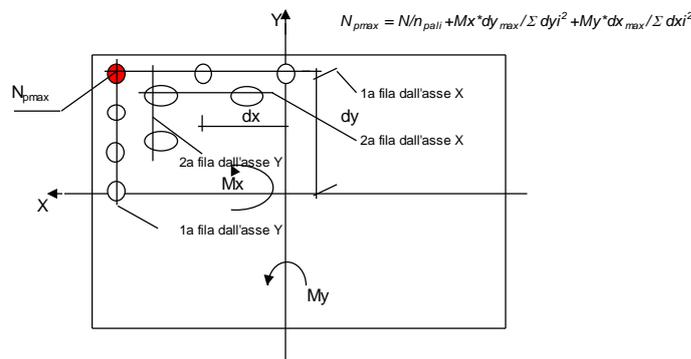
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	26 di 43

8.2 Verifica di portata verticale

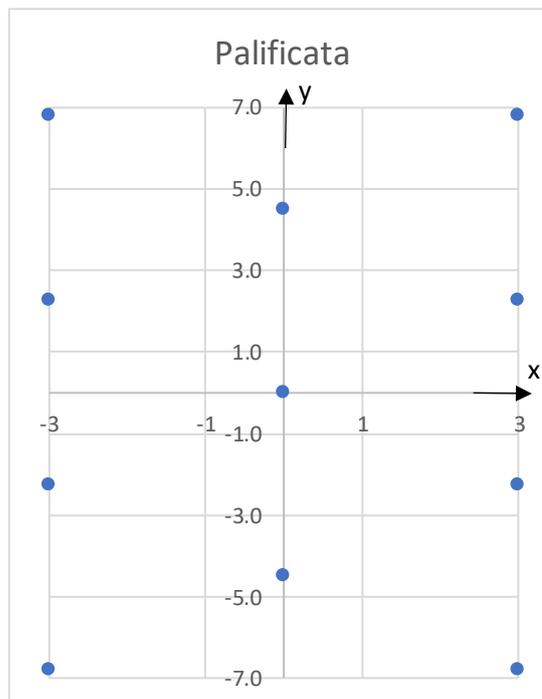
Nota la disposizione geometrica dei pali di fondazione, si può determinare l'azione verticale agente sul singolo palo tramite la seguente distribuzione elastica.



SPALLA FISSA E MOBILE – DISTRIBUZIONE PALI

Distribuzione elastica delle sollecitazioni nei pali

p	x	y
1	-3	-6.8
2	3	-6.8
3	0	-4.5
4	-3	-2.3
5	3	-2.3
6	0	0.0
7	-3	2.3
8	3	2.3
9	0	4.5
10	-3	6.8
11	3	6.8



PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	27 di 43

SPALLA FISSA SLE

Load	AZIONE VERTICALE NEI PALI [kN]												
Comb	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	MAX	MIN
RARA01	1589	6103	3951	1797	6311	4157	2002	6516	4362	2210	6724	6724	1589
RARA02	1608	4834	3325	1813	5040	3528	2017	5243	3731	2222	5449	5449	1608
RARA03	1396	5759	3695	1629	5992	3925	1859	6222	4155	2091	6454	6454	1396
RARA04	1387	5425	3515	1602	5639	3727	1814	5852	3939	2028	6066	6066	1387
RARA05	1966	3982	3080	2177	4192	3289	2385	4400	3497	2595	4611	4611	1966
RARA06	1991	5313	3749	2182	5504	3938	2371	5693	4127	2562	5884	5884	1991
RARA07	1687	5706	3795	1882	5900	3988	2075	6093	4180	2270	6288	6288	1687
RARA08	1702	4691	3294	1895	4884	3485	2086	5075	3676	2279	5268	5268	1702
RARA09	1430	5462	3638	1810	5843	4015	2187	6219	4391	2567	6599	6599	1430
	1991	6103	3951	2182	6311	4157	2385	6516	4391	2595	6724	6724	1991
	1387	3982	3080	1602	4192	3289	1814	4400	3497	2028	4611	4611	1387

SPALLA FISSA SLU-SLV

Load	AZIONE VERTICALE NEI PALI [kN]												
Comb	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	MAX	MIN
SLU01	2081	8456	5426	2394	8769	5736	2703	9078	6045	3016	9391	9391	2081
SLU02	2108	6617	4519	2418	6926	4825	2724	7232	5131	3033	7541	7541	2108
SLU03	1802	7958	5056	2150	8306	5400	2495	8651	5745	2843	8999	8999	1802
SLU04	2225	7882	5201	2518	8175	5491	2808	8465	5781	3101	8758	8758	2225
SLU05	2247	6410	4475	2537	6701	4762	2824	6988	5049	3114	7278	7278	2247
SLU06	2343	7782	5091	2401	7839	5149	2458	7897	5206	2516	7955	7955	2343
SLU07	2225	7882	5201	2518	8175	5491	2808	8465	5781	3101	8758	8758	2225
SLU08	1839	7517	4967	2410	8088	5532	2976	8653	6097	3547	9225	9225	1839
SLV01	-3859	8989	2808	-3377	9470	3285	-2901	9947	3761	-2419	#####	10429	-3859
SLV02	-3574	9162	3037	-3093	9644	3514	-2616	10120	3990	-2135	#####	10602	-3574
SLV03	-3848	9000	2816	-3373	9474	3285	-2904	9943	3754	-2430	#####	10418	-3848
SLV04	-3564	9173	3044	-3089	9647	3514	-2620	10117	3983	-2145	#####	10591	-3564
SLV05	-1329	6459	2808	-847	6941	3285	-371	7417	3761	111	7899	7899	-1329
SLV06	-1156	6743	3037	-674	7225	3514	-198	7702	3990	284	8183	8183	-1156
SLV07	-1318	6470	2816	-844	6944	3285	-375	7414	3754	100	7888	7888	-1318
SLV08	-1145	6754	3044	-670	7229	3514	-201	7698	3983	273	8172	8172	-1145
SLV09	-1915	3710	1705	-318	5308	3285	1262	6887	4865	2860	8485	8485	-1915
SLV10	-1631	3884	1934	-33	5481	3514	1547	7061	5094	3144	8658	8658	-1631
SLV11	172	1624	1705	1769	3221	3285	3349	4801	4865	4946	6398	6398	172
SLV12	345	1908	1934	1942	3505	3514	3522	5085	5094	5119	6683	6683	345
SLV13	-1904	3721	1712	-314	5311	3285	1259	6884	4858	2849	8474	8474	-1904
SLV14	-1620	3894	1941	-30	5484	3514	1543	7057	5086	3133	8647	8647	-1620
SLV15	182	1635	1712	1773	3225	3285	3345	4797	4858	4935	6387	6387	182
SLV16	356	1919	1941	1946	3509	3514	3518	5082	5086	5109	6672	6672	356
SLV17	-579	5175	2541	-98	5657	3018	379	6133	3494	861	6615	6615	-579
SLV18	-568	5186	2549	-94	5661	3018	375	6130	3487	850	6604	6604	-568
SLV19	1637	2959	2541	2118	3441	3018	2595	3918	3494	3077	4399	4399	1637
SLV20	1648	2970	2549	2122	3445	3018	2591	3914	3487	3066	4388	4388	1648
SLV21	369	5753	3304	850	6235	3781	1327	6711	4257	1808	7193	7193	369
SLV22	379	5764	3311	854	6238	3781	1323	6708	4250	1798	7182	7182	379
SLV23	2214	3907	3304	2696	4389	3781	3173	4865	4257	3654	5347	5347	2214
SLV24	2225	3918	3311	2700	4392	3781	3169	4862	4250	3644	5336	5336	2225
	2343	9173	5426	2700	9647	5736	3522	10120	6097	5119	#####	10602	2343
	-3859	1624	1705	-3377	3221	3018	-2904	3914	3487	-2430	4388	4388	-3859

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	28 di 43

SPALLA MOBILE SLE

Load Comb	AZIONE VERTICALE NEI PALI [kN]											MAX	MIN
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
RARA01	2024	5695	3905	2114	5785	3994	2203	5873	4082	2292	5963	5963	2024
RARA02	1600	4842	3325	1805	5048	3528	2008	5251	3731	2214	5457	5457	1600
RARA03	1823	5429	3728	2024	5631	3927	2223	5830	4126	2424	6031	6031	1823
RARA04	1793	5357	3678	1997	5561	3880	2199	5763	4082	2403	5967	5967	1793
RARA05	1958	3990	3080	2168	4200	3289	2377	4409	3497	2587	4619	4619	1958
RARA06	2426	4906	3703	2499	4978	3775	2571	5050	3847	2644	5123	5123	2426
RARA07	2033	5381	3758	2134	5481	3857	2233	5581	3956	2334	5681	5681	2033
RARA08	1694	4699	3294	1887	4892	3485	2078	5083	3676	2271	5276	5276	1694
RARA09	1771	5143	3602	2057	5429	3884	2340	5712	4167	2626	5998	5998	1771
	2426	5695	3905	2499	5785	3994	2571	5873	4167	2644	6031	6031	2426
	1600	3990	3080	1805	4200	3289	2008	4409	3497	2214	4619	4619	1600

SPALLA MOBILE SLU-SLV

Load Comb	AZIONE VERTICALE NEI PALI [kN]											MAX	MIN
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
SLU01	2711	7865	5359	2853	8006	5499	2993	8146	5639	3134	8288	8288	2711
SLU02	2096	6629	4519	2405	6938	4825	2711	7244	5131	3021	7554	7554	2096
SLU03	2419	7480	5103	2723	7783	5403	3022	8083	5702	3325	8386	8386	2419
SLU04	2726	7411	5148	2883	7567	5302	3037	7722	5456	3193	7878	7878	2726
SLU05	2234	6422	4475	2525	6713	4762	2812	7000	5049	3102	7290	7290	2234
SLU06	2739	7281	5058	2833	7375	5150	2926	7468	5243	3020	7562	7562	2739
SLU07	2726	7411	5148	2883	7567	5302	3037	7722	5456	3193	7878	7878	2726
SLU08	2333	7055	4913	2767	7489	5343	3197	7918	5772	3631	8353	8353	2333
SLV01	798	4217	2760	1297	4716	3254	1791	5210	3748	2291	5709	5709	798
SLV02	967	4500	2986	1467	4999	3480	1961	5493	3974	2460	5992	5992	967
SLV03	880	4298	2814	1324	4743	3254	1764	5183	3694	2209	5628	5628	880
SLV04	1049	4581	3040	1494	5026	3480	1934	5466	3920	2378	5911	5911	1049
SLV05	-1561	6576	2760	-1062	7075	3254	-568	7569	3748	-68	8068	8068	-1561
SLV06	-1278	6745	2986	-779	7245	3480	-285	7738	3974	214	8238	8238	-1278
SLV07	-1480	6657	2814	-1035	7102	3254	-595	7542	3694	-150	7987	7987	-1480
SLV08	-1197	6827	3040	-752	7272	3480	-312	7711	3920	133	8156	8156	-1197
SLV09	288	1434	1670	1889	3035	3254	3472	4618	4837	5073	6219	6219	288
SLV10	458	1717	1897	2059	3318	3480	3642	4901	5063	5243	6502	6502	458
SLV11	-1185	2907	1670	416	4508	3254	1999	6091	4837	3600	7692	7692	-1185
SLV12	-902	3077	1897	699	4678	3480	2282	6261	5063	3883	7862	7862	-902
SLV13	370	1516	1724	1916	3062	3254	3445	4591	4783	4992	6137	6137	370
SLV14	539	1799	1951	2085	3345	3480	3615	4874	5009	5161	6420	6420	539
SLV15	-1103	2989	1724	443	4535	3254	1972	6064	4783	3518	7611	7611	-1103
SLV16	-821	3158	1951	726	4705	3480	2255	6234	5009	3801	7780	7780	-821
SLV17	1737	2750	2496	2236	3249	2990	2730	3743	3484	3229	4243	4243	1737
SLV18	1818	2832	2550	2263	3277	2990	2703	3716	3430	3148	4161	4161	1818
SLV19	131	4356	2496	630	4855	2990	1124	5349	3484	1624	5849	5849	131
SLV20	213	4437	2550	657	4882	2990	1097	5322	3430	1542	5767	5767	213
SLV21	2302	3693	3250	2801	4193	3744	3295	4687	4238	3794	5186	5186	2302
SLV22	2383	3775	3304	2828	4220	3744	3268	4660	4184	3713	5104	5104	2383
SLV23	1074	4921	3250	1574	5420	3744	2067	5914	4238	2567	6413	6413	1074
SLV24	1156	5002	3304	1601	5447	3744	2040	5887	4184	2485	6332	6332	1156
	2739	7865	5359	2883	8006	5499	3642	8146	5772	5243	8386	8386	8386
	-1561	1434	1670	-1062	3035	2990	-595	3716	3430	-150	4161	4161	-1561

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0503 002	REV. A	FOGLIO 29 di 43

La massima azione di compressione è pari a 10602 kN per la spalla fissa e 8386 kN per la spalla mobile.

La massima azione di trazione è pari a 3859 kN per la spalla fissa e 1561 kN per la spalla mobile..

La massima azione in esercizio è pari a 6724 kN per la spalla fissa e 6031 kN per la spalla mobile..

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

- 29 m per la spalla fissa

- 22 m per la spalla mobile

da intradosso platea di fondazione.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	30 di 43

Portata verticale palo singolo SPALLA FISSA - VI05 quote da p.c. a +23.60 m slm

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

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

$$z_{tp} := 5\text{m}$$

$$L_p := 29\text{m}$$

$$z_w := 7.6\text{m}$$

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

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

$$z_1 := 0\text{m} \quad z_2 := 2\text{m} \quad z_3 := 12.5\text{m} \quad z_4 := 18\text{m}$$

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

$$\gamma_t(z) := \begin{cases} 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 19.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

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

$$\phi(z) := \begin{cases} 28^\circ & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 34^\circ & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 26^\circ & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 36^\circ & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

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

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	31 di 43

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

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

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

$$N_{qstar}(z) := \begin{cases} 7 & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 18 & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 7 & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 20 & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

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

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

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

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

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	32 di 43

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

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

$$z_{bp} := z_{tp} + L_p = 34 \text{ m}$$

$$Q_{dC}(z_{bp}) = 1.091 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

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

$$Q_{dSLE}(z_{bp}) = 1.208 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

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

$$Q_{dT}(z_{bp}) = 7.123 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Verifica a compressione

$$Ed = 10602 \text{ kN} < Rd = 10910 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

Verifica a trazione

$$Ed = 3859 \text{ kN} < Rd = 7123 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

Verifica in esercizio

$$Ed = 6724 \text{ kN} < Rd = 12080 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	33 di 43

Portata verticale palo singolo SPALLA MOBILE - VI05 quote da p.c. a +23.60 m slm

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

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

$$z_{tp} := 5\text{m}$$

$$L_p := 22\text{m}$$

$$z_w := 7.6\text{m}$$

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

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

$$z_1 := 0\text{m} \quad z_2 := 2\text{m} \quad z_3 := 12.5\text{m} \quad z_4 := 18\text{m}$$

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

$$\gamma_t(z) := \begin{cases} 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 19.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

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

$$\phi(z) := \begin{cases} 28^\circ & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 34^\circ & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 26^\circ & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 36^\circ & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

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

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	34 di 43

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

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

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

$$N_{qstar}(z) := \begin{cases} 7 & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 18 & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 7 & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 20 & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

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

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

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

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

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	35 di 43

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

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

$$z_{bp} := z_{tp} + L_p = 27 \text{ m}$$

$$Q_{dC}(z_{bp}) = 8.687 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

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

$$Q_{dSLE}(z_{bp}) = 8.121 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

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

$$Q_{dT}(z_{bp}) = 4.666 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Verifica a compressione

$$Ed = 8386 \text{ kN} < Rd = 8687 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

Verifica a trazione

$$Ed = 1561 \text{ kN} < Rd = 4666 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

Verifica in esercizio

$$Ed = 6031 \text{ kN} < Rd = 8121 \text{ kN}$$

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 – VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0503 002	REV. A

8.3 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 = 20 per spalla fissa e 12 per spalla mobile

M_t = momento torcente

B = distanza tra i pali d'angolo in direzione longitudinale = 14.4 per spalla fissa e 7.2 per spalla mobile

L = distanza tra i pali d'angolo in direzione trasversale = 10.5 per spalla fissa e 10.5 per spalla mobile

n_{pfx} = numero dei pali in una fila perimetrale in direzione x = 5 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	848	96	853
RARA02	780	96	786
RARA03	853	105	859
RARA04	838	101	844
RARA05	576	99	584
RARA06	643	89	650
RARA07	793	91	799
RARA08	739	91	745
RARA09	795	175	814
		max	859
		min	584

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	37 di 43

SPALLA FISSA SLU-SLV

	Vx/palo kN	Vy/palo kN	V/palo kN
SLU01	1172	144	1181
SLU02	1074	144	1083
SLU03	1179	157	1190
SLU04	1093	137	1102
SLU05	1014	137	1023
SLU06	1104	27	1104
SLU07	1093	137	1102
SLU08	1095	263	1127
SLV01	2128	316	2152
SLV02	2128	316	2152
SLV03	2129	313	2152
SLV04	2129	313	2152
SLV05	870	316	926
SLV06	870	316	926
SLV07	871	313	926
SLV08	871	313	926
SLV09	1112	1051	1530
SLV10	1112	1051	1530
SLV11	218	1051	1073
SLV12	218	1051	1073
SLV13	1113	1048	1528
SLV14	1113	1048	1528
SLV15	219	1048	1070
SLV16	219	1048	1070
SLV17	1086	316	1131
SLV18	1087	313	1131
SLV19	193	316	371
SLV20	194	313	368
SLV21	1086	316	1131
SLV22	1087	313	1131
SLV23	193	316	371
SLV24	194	313	368
		max	2152
		min	368

SPALLA MOBILE SLE

	Vx/palo kN	Vy/palo kN	V/palo kN
RARA01	780	42	781
RARA02	782	96	788
RARA03	782	95	788
RARA04	782	93	787
RARA05	578	99	586
RARA06	575	35	577
RARA07	739	48	741
RARA08	741	91	746
RARA09	742	132	754
		max	788
		min	577

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	38 di 43

SPALLA MOBILE SLU-SLV

	Vx/palo kN	Vy/palo kN	V/palo kN
SLU01	1074	66	1076
SLU02	1076	144	1086
SLU03	1076	143	1086
SLU04	1015	75	1018
SLU05	1017	137	1026
SLU06	1014	38	1014
SLU07	1015	75	1018
SLU08	1019	201	1038
SLV01	231	324	398
SLV02	231	324	398
SLV03	231	300	379
SLV04	231	300	379
SLV05	1461	324	1497
SLV06	1461	324	1497
SLV07	1462	300	1492
SLV08	1462	300	1492
SLV09	401	1053	1126
SLV10	401	1053	1126
SLV11	902	1053	1386
SLV12	902	1053	1386
SLV13	402	1028	1104
SLV14	402	1028	1104
SLV15	903	1028	1368
SLV16	903	1028	1368
SLV17	375	324	496
SLV18	376	300	481
SLV19	876	324	935
SLV20	877	300	927
SLV21	375	324	496
SLV22	376	300	481
SLV23	876	324	935
SLV24	877	300	927
		max	1497
		min	379

La massima azione di taglio è pari a 2152 kN per la spalla fissa e 1497 kN per la spalla mobile.

Di seguito si riporta il calcolo del momento plastico; si considera:

azione assiale nulla

armatura 26+26 ϕ 30 SPALLA FISSA

armatura 26 ϕ 30 SPALLA MOBILE

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

copriferro pari a 6cm+1.2cm+1.5cm=8.7cm SPALLA MOBILE

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	39 di 43

SPALLA FISSA

Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare

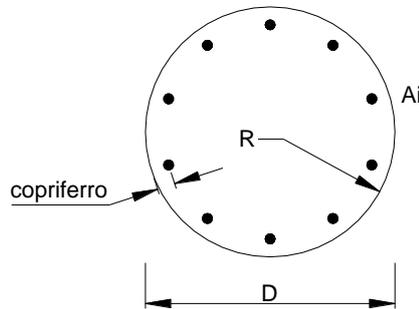
Diametro = 1500 (mm)
Raggio = 750 (mm)
Sforzo Normale = 0 (kN)

Caratteristiche dei Materiali

calcestruzzo

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

$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 14.17$ (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)
52	ϕ 30	36757	151
0	ϕ 0	0	0
0	ϕ 0	0	0

Calcolo

Momento di Plasticizzazione

$M_y = 7062.4$ (kN m)

Inserisci

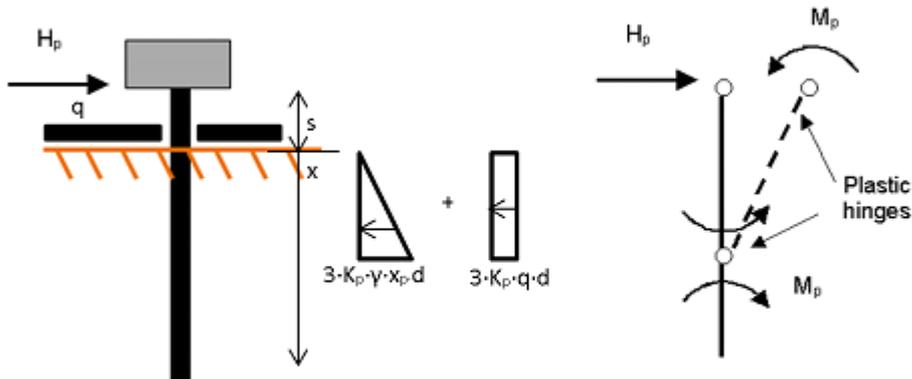
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	40 di 43

Resistenza laterale palo muri - condizioni drenate SPALLA FISSA

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



$$K_p := 3.537 \quad \gamma := 15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad d := 1.5\text{m} \quad M_p := 7062\text{kN}\cdot\text{m} \quad q := 60\text{kPa} \quad s := 0\text{m}$$

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

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

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

$$x_p := \begin{cases} b \leftarrow 0.1\text{m} & = 4.176\text{-m} \\ \text{while } |f_{\text{Broms}}(b)| > 1\text{-kN}\cdot\text{m} \\ \quad \left| db \leftarrow \frac{-f_{\text{Broms}}(b)}{d_{\text{Broms}}(b)} \right. \\ \quad b \leftarrow b + db \\ \quad b \end{cases}$$

$$H_{\text{lim}} := \frac{3}{2} \cdot \gamma \cdot x_p^2 \cdot K_p \cdot d + q \cdot 3 \cdot K_p \cdot x_p \cdot d = 6.07 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$H_{\text{Rd}} := \frac{E \cdot H_{\text{lim}}}{\gamma_T \cdot \xi_3} = 2.197 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$HRd = 2197 \text{ kN} > 2152 \text{ kN}$$

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	41 di 43

SPALLA MOBILE

Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare

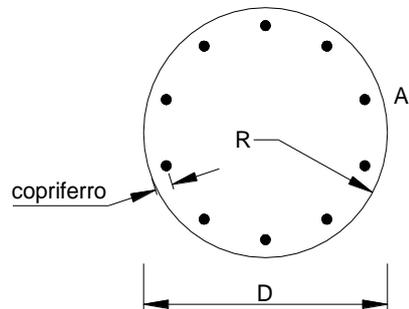
Diametro = 1500 (mm)
Raggio = 750 (mm)
Sforzo Normale = 0 (kN)

Caratteristiche dei Materiali

calcestruzzo

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

$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 14.17$ (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)
26	φ 30	18378	87
0	φ 0	0	0
0	φ 0	0	0

Calcolo

Momento di Plasticizzazione

$M_y = 4116.8$ (kN m)

Inserisci

PROGETTO DEFINITIVO

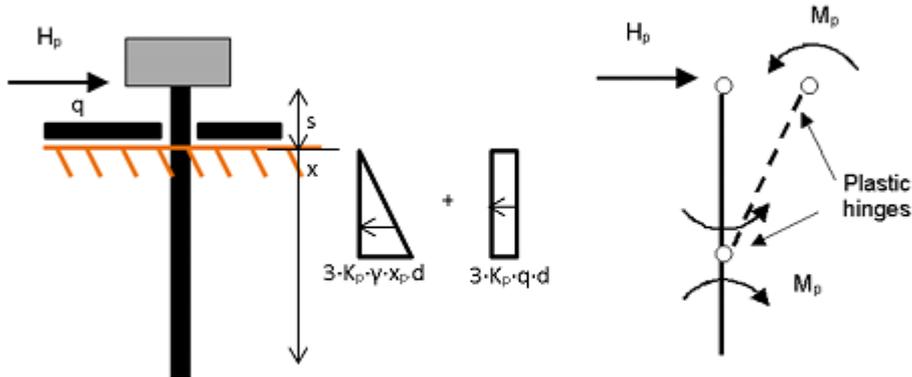
Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	42 di 43

Resistenza laterale palo muri - condizioni drenate

SPALLA MOBILE

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



$K_p := 3.537$
 $\gamma := 15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
 $d := 1.5\text{m}$
 $M_p := 4116\text{kN}\cdot\text{m}$
 $q := 60\text{kPa}$
 $s := 0\text{m}$

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

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

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

$$x_p := \begin{cases} b \leftarrow 0.1\text{m} & = 3.33\text{-m} \\ \text{while } |f_{\text{Broms}}(b)| > 1\text{-kN}\cdot\text{m} \\ \quad \left| \begin{array}{l} db \leftarrow \frac{-f_{\text{Broms}}(b)}{d_{\text{Broms}}(b)} \\ b \leftarrow b + db \end{array} \right. \\ b \end{cases}$$

$$H_{\text{lim}} := \frac{3}{2} \cdot \gamma \cdot x_p^2 \cdot K_p \cdot d + q \cdot 3 \cdot K_p \cdot x_p \cdot d = 4.503 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$H_{\text{Rd}} := \frac{E \cdot H_{\text{lim}}}{\gamma_T \cdot \xi_3} = 1.63 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

HRd = 1630 kN > 1497 kN

La verifica è soddisfatta.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	43 di 43

8.4 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.

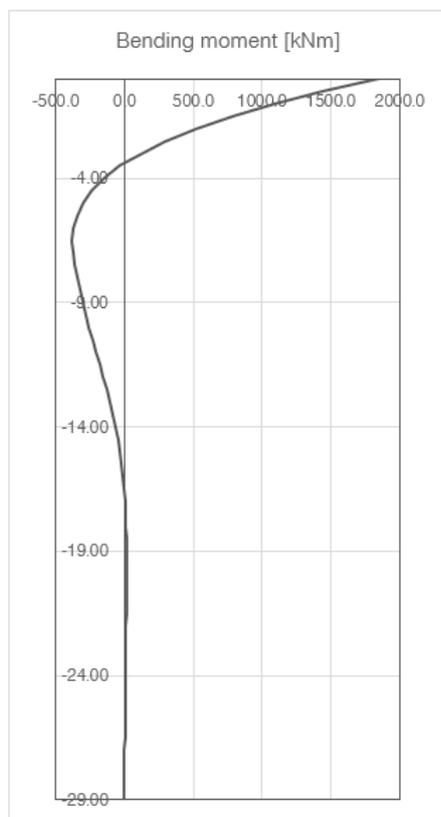
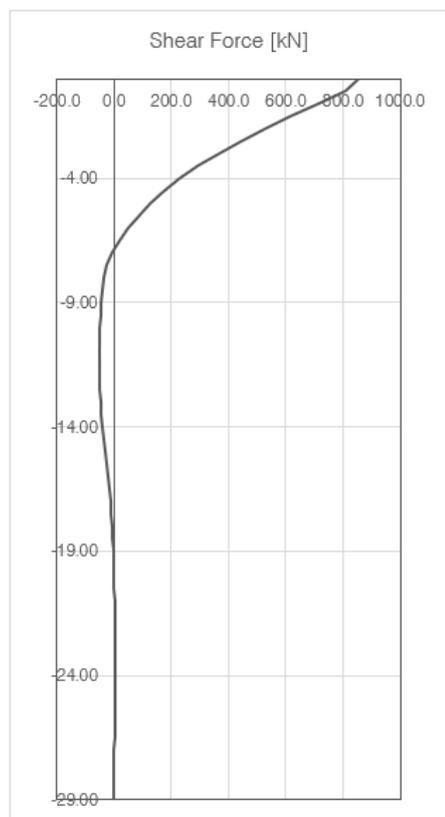
Calcolo delle sollecitazioni – SPALLA FISSA

SLE

$N = 1387 \text{ kN}$ (minima compressione)

$V = 859 \text{ kN}$

$M = 1852 \text{ kNm}$



PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI05**

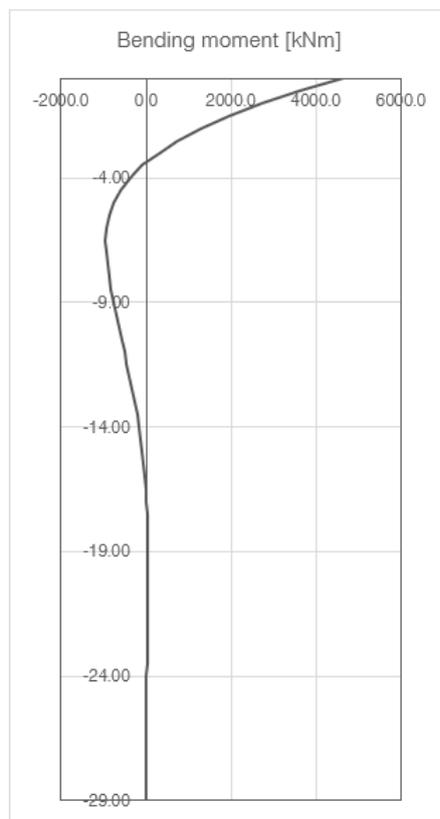
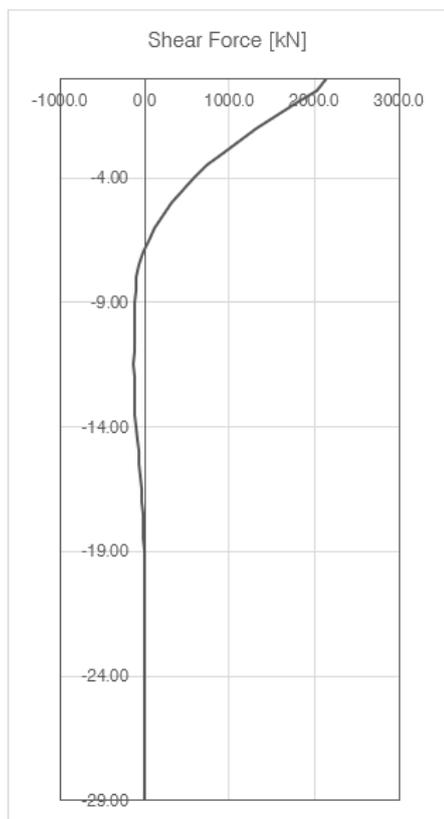
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	44 di 43

SLU-SLV

$N = 3859 \text{ kN}$ (trazione)

$V = 2152 \text{ kN}$

$M = 4639 \text{ kNm}$



Verifiche – SPALLA FISSA

Descrizione armatura

Tratto 1

Da testa palo a 12 m

Armatura longitudinale: 26+26 ϕ 30

Spirale: ϕ 16 / 10

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0503 002	REV. A

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: VI05 – SPALLA FISSA**

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:
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 fid:		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:	52 ϕ 30	(367.6 cm ²)

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	46 di 43

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	-3859.00	4639.00	2152.00	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	1387.00	1852.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 13.6 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 4.2 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	-3859.00	4639.00	-3859.11	5644.46	1.217	40.3	---	---	367.6 (53.0)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrip. 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 corrip. 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 corrip. a es max (sistema rif. X, Y, O sez.)

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni - VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	47 di 43

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	75.0	0.00198	59.9	-0.01009	-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	2152.00	3223.78	4212.92	123.3 107.1	2.500	1.000	20.5

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	6.16	-75.0	0.00	75.0	-99.2	59.9	37.8	5734	148.4	----

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	-0.00060	0.00046		0.50	0.60	0.000298 (0.000298)	659	0.196 (990.00)	1394.51

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	48 di 43

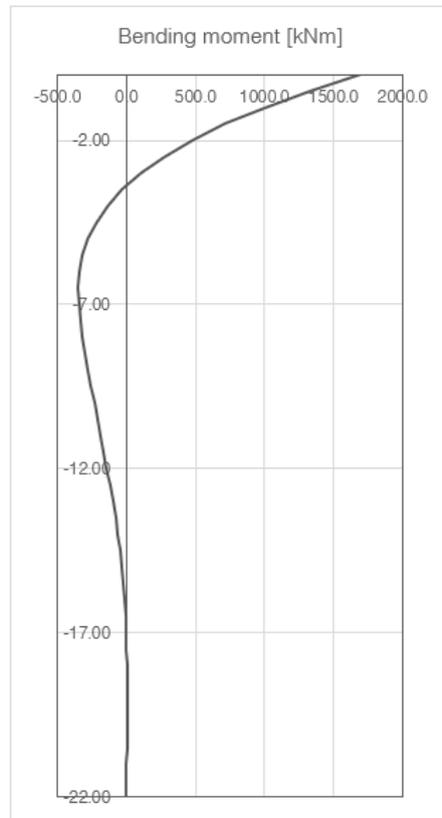
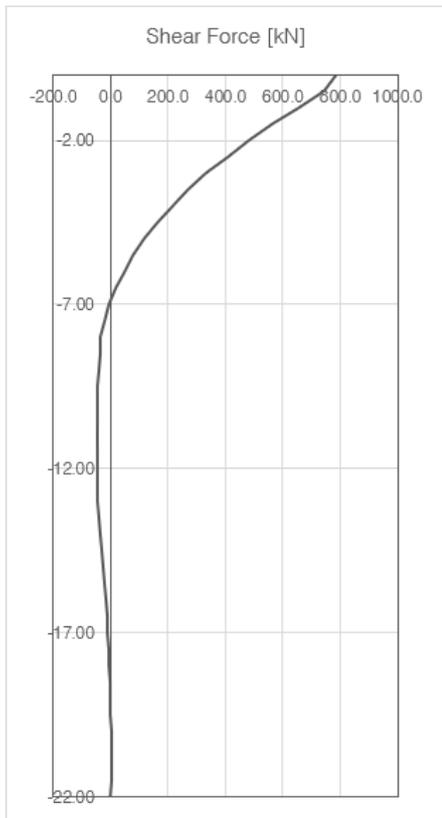
Calcolo delle sollecitazioni – SPALLA MOBILE

SLE

$N = 1600 \text{ kN}$ (minima compressione)

$V = 788 \text{ kN}$

$M = 1699 \text{ kNm}$



PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI05**

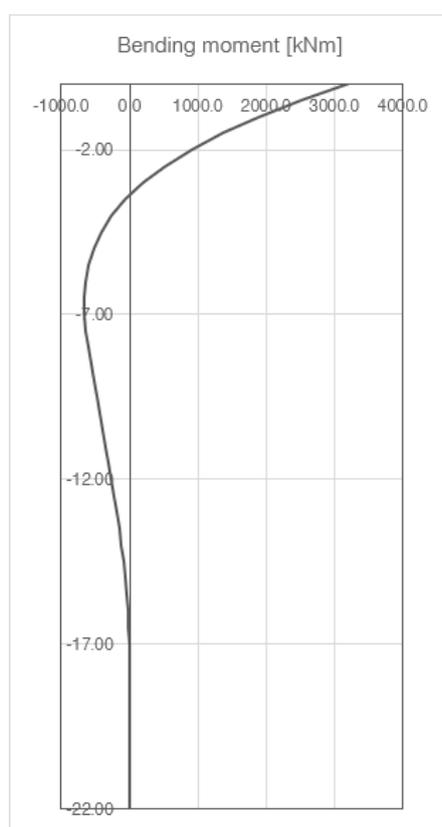
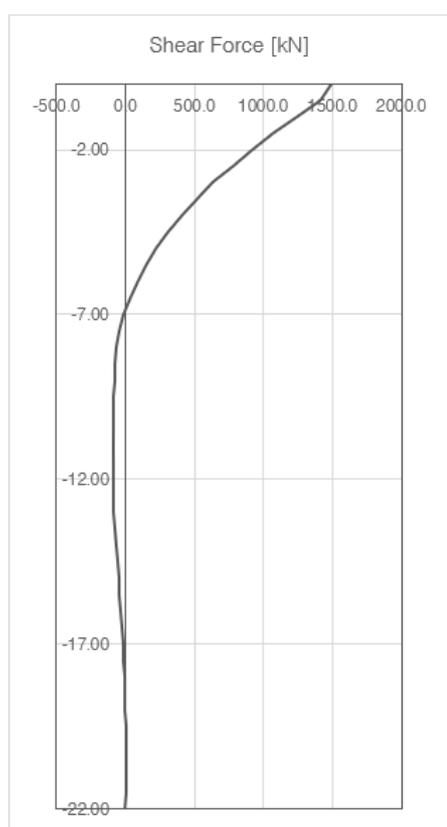
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	49 di 43

SLU-SLV

$N = 1561 \text{ kN}$ (trazione)

$V = 1497 \text{ kN}$

$M = 3227 \text{ kNm}$



Verifiche – SPALLA MOBILE

Descrizione armatura

Tratto 1

Da testa palo a 12 m

Armatura longitudinale: 26 ϕ 30

Spirale: ϕ 12 / 10

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0503 002	REV. A

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: VI05 - SPALLA MOBILE**

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:
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:	26 ϕ 30	(183.8 cm ²)

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	51 di 43

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	-1561.00	3227.00	1497.00	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	1600.00	1699.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	13.0	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	-1561.00	3227.00	-1561.06	3385.30	1.049	48.2	---	---	183.8 (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 – VI05**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0503 002	A	52 di 43

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	75.0	0.00237	66.3	-0.01493	-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	1497.00	3276.37	2632.29	112.8	119.0	2.500	1.000	12.9

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	7.08	-75.0	0.00	75.0	-137.6	66.3	21.8	3824	77.8	----

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	-0.00076	0.00053		0.50	0.60	0.000413 (0.000413)	496	0.205 (990.00)	1302.50

 <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 – VI05</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>VI0503 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>53 di 43</p>

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

$$\sigma_c = N_{Ed} / A = 6.023 \text{ MPa} < 6.375 \text{ MP} \rightarrow \text{verifica soddisfatta}$$

$$N_{Ed} = 10602 \text{ kN}$$

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