

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DEFINITIVO

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

VI01 - Viadotto su Torrente Bottasano da km 69+453 e 69+478

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI01

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 1 0 3 0 0 2 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
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 Vitozzi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Genova N° A20783 2022

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI01**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 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
	MATERIALI.....	8
3.3	CALCESTRUZZO PER PALI	8
3.4	ACCIAIO PER C.A.....	8
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	9
5	CRITERI DI VERIFICA GEOTECNICA.....	10
5.1	CRITERI DI VERIFICA GENERALI	10
5.2	CRITERI DI VERIFICA PER LE FONDAZIONI SU PALI	10
5.3	CRITERI DI CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE VERTICALE.....	11
5.4	CRITERI DI CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE ORIZZONTALE	16
6	CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALE.....	19
6.1	CRITERI DI VERIFICA GENERALI	19
6.2	INTERAZIONE PALO-TERRENO E CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI.....	20
7	ANALISI E VERIFICHE SPALLE	21
7.1	SOLLECITAZIONI DI VERIFICA	21
7.2	VERIFICA DI PORTATA VERTICALE.....	27
7.3	VERIFICA DI PORTATA LATERALE	33
7.4	VERIFICHE STRUTTURALI.....	38

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0103 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 sul Torrente Bottasano tra le progressive chilometriche 69+453 e 69+478 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	VI0103 002	A	4 di 43

Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI01

2 DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA E DELLE OPERE DI FONDAZIONE

Il viadotto in esame è composto da due viadotti a singolo binario affiancati che si sviluppano su 1 campata di luce pari a 25.00m.

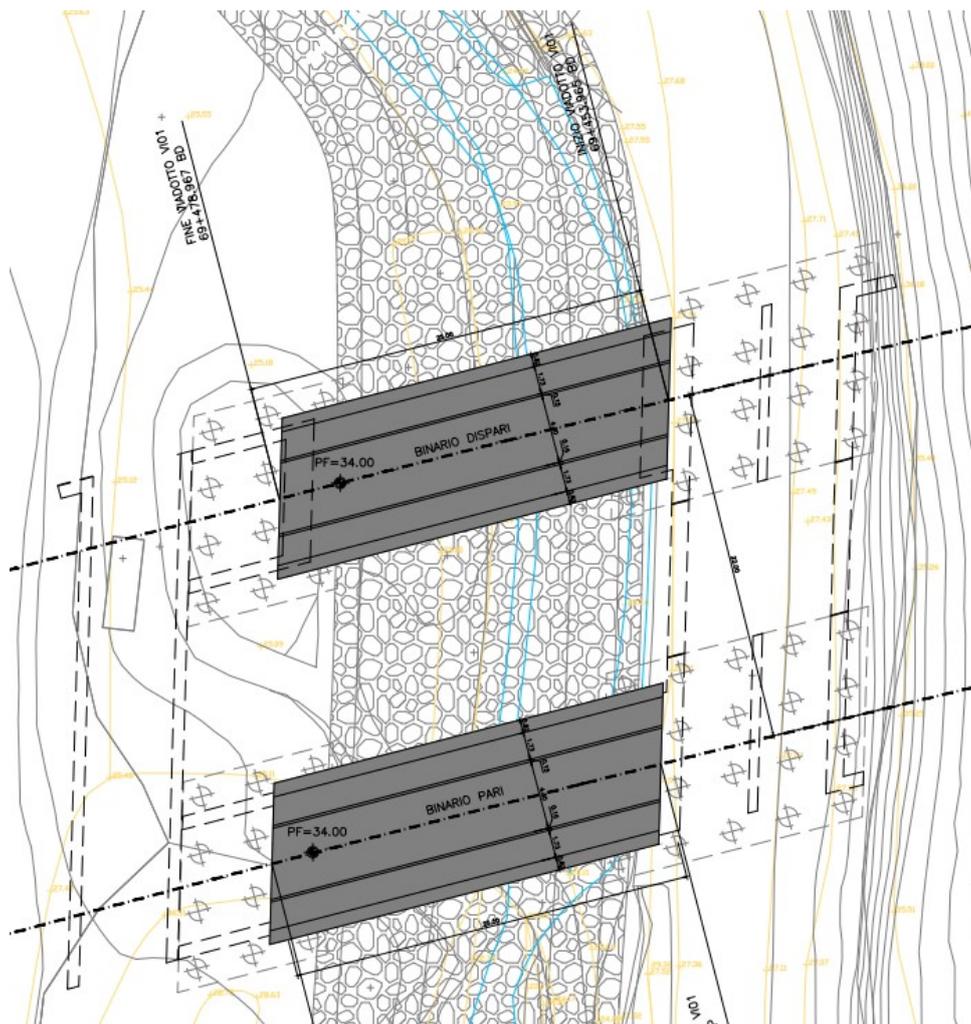


Figura 1: planimetria generale

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	5 di 43

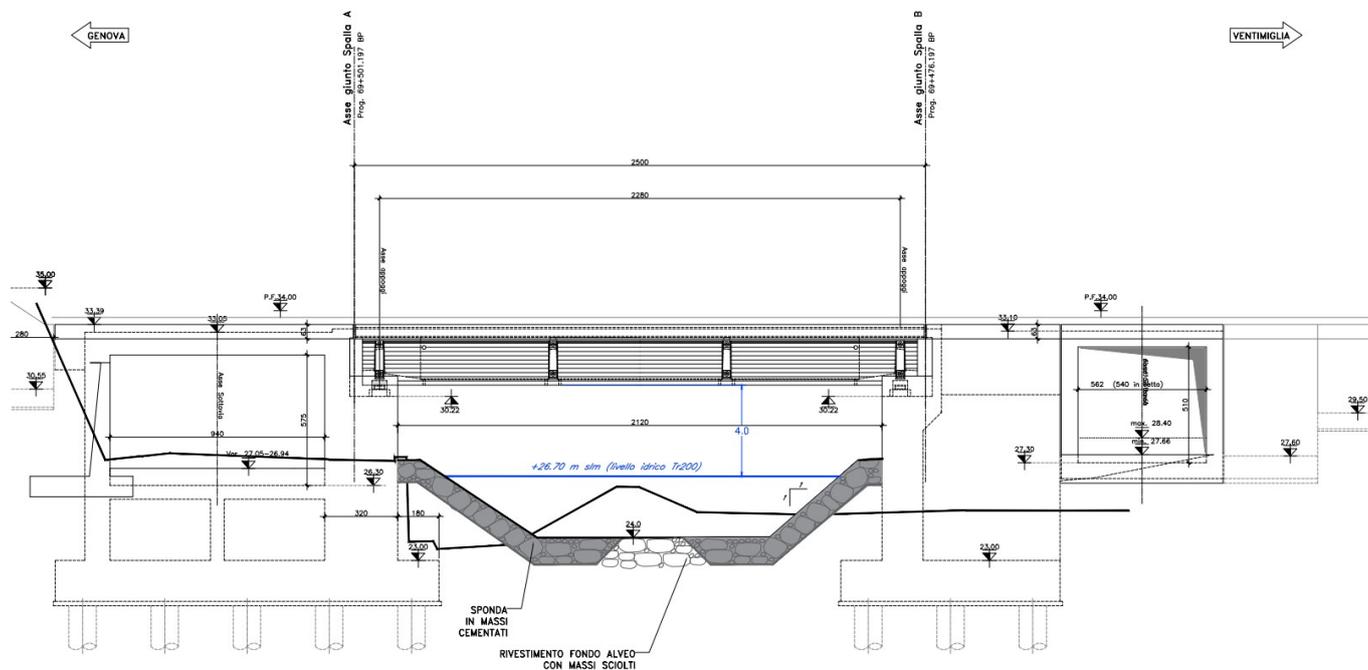


Figura 2: prospetto longitudinale

La luce di 25.00m viene superata mediante due impalcati a singolo binario in cemento armato precompresso affiancati. Ciascun impalcato da 25.00m è costituito da 2 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 è pari 9.7 m. Ogni impalcato a singolo binario è caratterizzato da un armamento di tipo tradizionale su ballast.

Le spalle S1 hanno forma scatolare e poggiano su un plinto di fondazione a pianta rettangolare di dimensioni pari a 13.20 x 16.80 m e altezza 1.80 m. Le elevazioni della spalla sono caratterizzate da un muro frontale di testata di dimensioni 9.00 x 7.22 m con di spessore costante pari a 3.20 m, un muro paraghiaia alto 2.88 m con spessore pari a 1.10 m, una soletta di copertura di spessore costante pari a 1.80 m e un muro di contenimento posteriore di spessore costante pari a 1.10 m. Completa la geometria scatolare della spalla un muro intermedio di spessore costante pari a 0.60 m che funge da appoggio centrale alla soletta intermedia di spessore pari a 0.60 m che rappresenta il piano di appoggio per la sistemazione della viabilità interferente. La spalla è fondata su venti pali di fondazione $\varnothing 1200$ di lunghezza 22 m.

Le spalle S2 poggiano su un plinto di fondazione a pianta rettangolare di dimensioni pari a 9.60x13.20m e altezza 1.80 m. Le elevazioni della spalla sono caratterizzate da un muro frontale di testata di dimensioni 9.00 x 7.22 m con di spessore costante pari a 1.80 m, ad eccezione della zona di raccordo con paraghiaia dove lo spessore varia fino a raggiungere i 2.20 m, un muro paraghiaia alto 2.88 m con spessore pari a 0.40 m e due muri andatori di spessore costante pari a 0.80 m e altezza massima pari a 10.20 m. La spalla è fondata su dodici pali di fondazione $\varnothing 1200$ di lunghezza 22 m.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI01**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	8 di 43

MATERIALI

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

3.3 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		

3.4 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 – VI01**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	9 di 43

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

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

n. verticali	2								
z _w (m pc)	4								
Unità	Descrizione	Prof top m TOP*	γ kN/mc	φ °	c' kPa	E MPa	V_s m/s	v	σ_{cm} MPa
-	-								
2	Ghiaia eterometrica, talora sabbiosa e limosa	0	18.5	34	0	30-50 per z<10m TOP 50 per z>10m TOP	300	0.3	-
SPM	Alternanza di calcari e dolomie grigie di San Pietro dei Monti	15**	28	33	400	2500	1000	0.2	9
* m da testa palo									
Cat. Sottosuolo	E								

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0103 002	REV. A

5 CRITERI DI VERIFICA GEOTECNICA

5.1 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).

5.2 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
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50
ξ_s	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34

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 – VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0103 002	REV. A

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad conti
	γ_R	(R3)	(R3)	(R3)
Base	γ_b	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,15	1,15	1,1
Totale (*)	γ	1,15	1,30	1,2
Laterale in trazione	γ_t	1,25	1,25	1,2

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.

5.3 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 – VI01</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>VI0103 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:

$$\tau_i = \beta \cdot \sigma'_v \leq \tau_{l,max}$$

dove:

σ'_v = tensione verticale efficace litostatica,

$\tau_{l,max}$ = 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</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI01</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>VI0103 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:

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

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

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 – VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0103 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:

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

essendo:

Nq^* = 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 Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI01</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0103 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 15 di 43</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:

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

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:

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

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

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI01**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	16 di 43

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

5.4 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;

M_y = momento di plasticizzazione del palo;

L = lunghezza del palo;

d = diametro del palo.

In terreni incoerenti si ha:

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	17 di 43

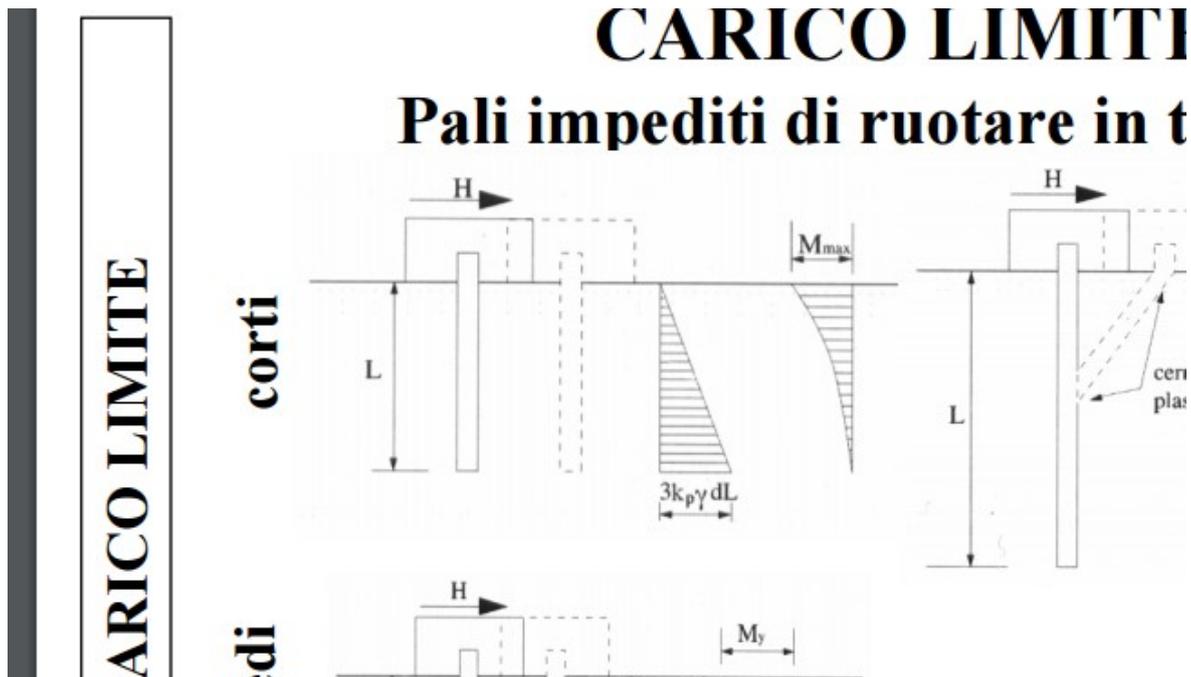
Palo corto:
$$H = 1.5k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d} \right)^2$$

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.

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:

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI01**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	18 di 43

R_d = resistenza di progetto del palo

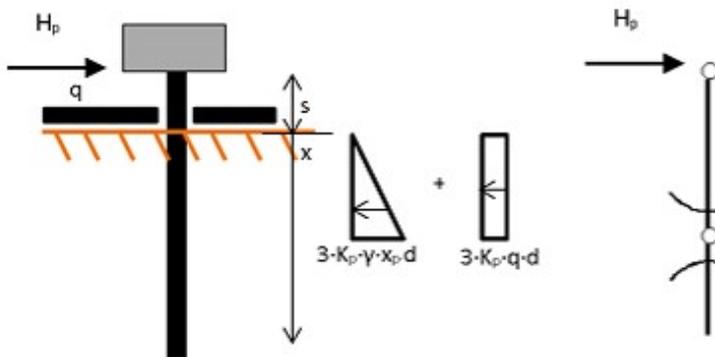
H = valore limite in funzione del meccanismo attivato (ridotto per effetto gruppo);

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.



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

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0103 002	REV. A

6 CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALE

6.1 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 – VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0103 002	REV. A	FOGLIO 20 di 43

6.2 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 – VI01**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	21 di 43

7 ANALISI E VERIFICHE SPALLE

7.1 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	7983	-2514	53746	16159	50394	-20789
RARA02	7521	-2506	51785	15811	36477	-21112
RARA03	8372	-2677	52807	18356	49024	-19858
RARA04	8221	-2581	53384	17137	50638	-20362
RARA05	5108	-2027	46119	14023	26569	-13145
RARA06	5570	-1734	48209	11178	41265	-14161
RARA07	7408	-2349	52259	15007	45851	-19551
RARA08	7039	-2343	50690	14729	34717	-19810
RARA09	7304	-2913	52247	20016	44877	-16877

SPALLA FISSA SLU-SLV

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLU01	11041	-3523	73922	22657	71173	-28466
SLU02	10371	-3511	71078	22153	50993	-28935
SLU03	11605	-3759	72560	25842	69185	-27116
SLU04	10208	-3280	71767	20942	64599	-26690
SLU05	9672	-3271	69492	20539	48455	-27065
SLU06	10893	-2390	70599	14258	64578	-30807
SLU07	10208	-3280	71767	20942	64599	-26690
SLU08	10052	-4126	71749	28455	63137	-22678
SLV01	-12080	-3908	45817	20068	-44574	-11428
SLV02	-12080	-3908	49150	20375	-43679	-11434
SLV03	-12080	711	45817	-968	-44802	-14862
SLV04	-12080	711	49150	-660	-43907	-14867
SLV05	23759	-3908	45817	21417	107390	-19736
SLV06	23759	-3908	49150	21725	108286	-19741
SLV07	23759	711	45817	382	107162	-23169
SLV08	23759	711	49150	689	108057	-23174
SLV09	463	-9298	45817	45082	8880	-10330

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni - VI01**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	22 di 43

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLV10	463	-9298	49150	45389	9775	-10335
SLV11	11215	-9298	45817	45486	54469	-12822
SLV12	11215	-9298	49150	45794	55365	-12827
SLV13	463	6101	45817	-25037	8119	-21776
SLV14	463	6101	49150	-24729	9014	-21781
SLV15	11215	6101	45817	-24632	53708	-24268
SLV16	11215	6101	49150	-24325	54603	-24273
SLV17	463	-3908	41928	20181	7569	-14330
SLV18	463	711	41928	-854	7341	-17764
SLV19	11215	-3908	41928	20586	53158	-16822
SLV20	11215	711	41928	-449	52930	-20256
SLV21	463	-3908	53039	21206	10553	-14347
SLV22	463	711	53039	171	10325	-17781
SLV23	11215	-3908	53039	21611	56142	-16839
SLV24	11215	711	53039	576	55914	-20273

SPALLA MOBILE SLE

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
RARA01	6199	-2228	36977	13109	30659	-5694
RARA02	6199	-2217	35005	12748	26801	-5723
RARA03	6199	-2086	35574	13078	27502	-5950
RARA04	6199	-2173	35663	13942	27656	-5768
RARA05	4323	-1451	32795	7231	18239	-4137
RARA06	4323	-1768	34866	10871	22143	-3461
RARA07	5824	-2138	36178	12642	28213	-5245
RARA08	5824	-2129	34600	12354	25126	-5268
RARA09	5824	-2058	36167	11766	28236	-5415

SPALLA MOBILE SLU-SLV

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLU01	8556	-3112	50575	18568	43093	-7787
SLU02	8556	-3096	47716	18045	37498	-7828
SLU03	8556	-2906	48541	18524	38515	-8158

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI01**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	23 di 43

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLU04	8012	-2985	49418	17936	39548	-7127
SLU05	8012	-2972	47130	17518	35072	-7160
SLU06	8012	-2818	47711	17877	35727	-7429
SLU07	8012	-2985	49418	17936	39548	-7127
SLU08	8012	-2865	49402	16623	39583	-7382
SLV01	-2131	-4210	32454	19995	-12854	-4793
SLV02	-2131	-4210	34491	20034	-13298	-4793
SLV03	-2131	1374	32454	-7423	-13120	-4795
SLV04	-2131	1374	34491	-7384	-13565	-4795
SLV05	11528	-4210	32454	20090	54584	-4901
SLV06	11528	-4210	34491	20129	54139	-4901
SLV07	11528	1374	32454	-7328	54317	-4903
SLV08	11528	1374	34491	-7289	53873	-4903
SLV09	2649	-10725	32454	52015	11061	-4828
SLV10	2649	-10725	34491	52054	10616	-4828
SLV11	6747	-10725	32454	52044	31292	-4861
SLV12	6747	-10725	34491	52083	30847	-4861
SLV13	2649	7889	32454	-39377	10172	-4835
SLV14	2649	7889	34491	-39338	9727	-4835
SLV15	6747	7889	32454	-39349	30403	-4867
SLV16	6747	7889	34491	-39309	29959	-4867
SLV17	2649	-4210	30078	19982	11268	-4831
SLV18	2649	1374	30078	-7435	11002	-4832
SLV19	6747	-4210	30078	20011	31500	-4863
SLV20	6747	1374	30078	-7407	31233	-4865
SLV21	2649	-4210	36867	20113	9786	-4831
SLV22	2649	1374	36867	-7305	9520	-4833
SLV23	6747	-4210	36867	20141	30017	-4863
SLV24	6747	1374	36867	-7277	29751	-4865

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 - VI01**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	24 di 43

$$\lambda := \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot J_p}{k \cdot D}} = 4.4$$

con:

E = modulo di elasticità del palo = 30 MN

J_{palo} = momento d'inerzia del palo = 0.102 m⁴

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

D = diametro del palo = 1.2 m

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	53746	21815	68356	7983	2514	8370	20789
RARA02	51785	21450	53400	7521	2506	7928	21112
RARA03	52807	24379	67861	8372	2677	8790	19858
RARA04	53384	22944	69136	8221	2581	8617	20362
RARA05	46119	18585	38063	5108	2027	5496	13145
RARA06	48209	15080	53799	5570	1734	5834	14161
RARA07	52259	20293	62520	7408	2349	7772	19551
RARA08	50690	20001	50554	7039	2343	7418	19810
RARA09	52247	26570	61311	7304	2913	7864	16877

SPALLA FISSA SLU-SLV

Load	N	Mx	My	Vx	Vy	V	Mt
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
SLU01	73922	30583	96015	11041	3523	11590	28466
SLU02	71078	30054	74328	10371	3511	10950	28935
SLU03	72560	34301	95297	11605	3759	12199	27116
SLU04	71767	28322	87566	10208	3280	10722	26690
SLU05	69492	27899	70216	9672	3271	10210	27065
SLU06	70599	19636	89087	10893	2390	11152	30807
SLU07	71767	28322	87566	10208	3280	10722	26690
SLU08	71749	37738	85753	10052	4126	10865	22678

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI01**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	25 di 43

SLV01	45817	28861	71755	12080	3908	12697	11428
SLV02	49150	29169	70860	12080	3908	12697	11434
SLV03	45817	2568	71983	12080	711	12101	14862
SLV04	49150	2261	71088	12080	711	12101	14867
SLV05	45817	30211	160848	23759	3908	24078	19736
SLV06	49150	30518	161744	23759	3908	24078	19741
SLV07	45817	1982	160620	23759	711	23770	23169
SLV08	49150	2290	161515	23759	711	23770	23174
SLV09	45817	66001	9923	463	9298	9309	10330
SLV10	49150	66309	10818	463	9298	9309	10335
SLV11	45817	66406	79704	11215	9298	14568	12822
SLV12	49150	66714	80599	11215	9298	14568	12827
SLV13	45817	38764	9161	463	6101	6118	21776
SLV14	49150	38456	10057	463	6101	6118	21781
SLV15	45817	38359	78942	11215	6101	12767	24268
SLV16	49150	38051	79837	11215	6101	12767	24273
SLV17	41928	28975	8612	463	3908	3936	14330
SLV18	41928	2455	8384	463	711	849	17764
SLV19	41928	29379	78393	11215	3908	11877	16822
SLV20	41928	2050	78164	11215	711	11238	20256
SLV21	53039	30000	11596	463	3908	3936	14347
SLV22	53039	1771	11367	463	711	849	17781
SLV23	53039	30405	81377	11215	3908	11877	16839
SLV24	53039	2176	81148	11215	711	11238	20273

SPALLA MOBILE SLE

Load	N	Mx	My	Vx	Vy	V	Mt
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
RARA01	36977	18122	44607	6199	2228	6587	5694
RARA02	35005	17736	40749	6199	2217	6584	5723
RARA03	35574	17771	41450	6199	2086	6541	5950
RARA04	35663	18831	41604	6199	2173	6569	5768
RARA05	32795	10496	27965	4323	1451	4560	4137
RARA06	34866	14849	31870	4323	1768	4670	3461
RARA07	36178	17452	41316	5824	2138	6204	5245
RARA08	34600	17143	38230	5824	2129	6201	5268
RARA09	36167	16396	41340	5824	2058	6177	5415

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	26 di 43

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI01**
SPALLA MOBILE SLU-SLV

Load	N	Mx	My	Vx	Vy	V	Mt
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
SLU01	50575	25570	62345	8556	3112	9105	7787
SLU02	47716	25012	56750	8556	3096	9099	7828
SLU03	48541	25063	57767	8556	2906	9036	8158
SLU04	49418	24652	57576	8012	2985	8550	7127
SLU05	47130	24205	53100	8012	2972	8546	7160
SLU06	47711	24216	53755	8012	2818	8493	7429
SLU07	49418	24652	57576	8012	2985	8550	7127
SLU08	49402	23069	57611	8012	2865	8509	7382
SLV01	32454	29468	17649	2131	4210	4719	4793
SLV02	34491	29507	18094	2131	4210	4719	4793
SLV03	32454	10515	17916	2131	1374	2536	4795
SLV04	34491	10476	18361	2131	1374	2536	4795
SLV05	32454	29562	80521	11528	4210	12272	4901
SLV06	34491	29601	80076	11528	4210	12272	4901
SLV07	32454	10420	80254	11528	1374	11609	4903
SLV08	34491	10381	79810	11528	1374	11609	4903
SLV09	32454	76147	17021	2649	10725	11048	4828
SLV10	34491	76186	16577	2649	10725	11048	4828
SLV11	32454	76175	46472	6747	10725	12671	4861
SLV12	34491	76214	46028	6747	10725	12671	4861
SLV13	32454	57128	16133	2649	7889	8322	4835
SLV14	34491	57089	15688	2649	7889	8322	4835
SLV15	32454	57099	45584	6747	7889	10381	4867
SLV16	34491	57060	45139	6747	7889	10381	4867
SLV17	30078	29455	17229	2649	4210	4974	4831
SLV18	30078	10527	16962	2649	1374	2984	4832
SLV19	30078	29484	46680	6747	4210	7953	4863
SLV20	30078	10499	46414	6747	1374	6885	4865
SLV21	36867	29585	15747	2649	4210	4974	4831
SLV22	36867	10397	15480	2649	1374	2984	4833
SLV23	36867	29614	45198	6747	4210	7953	4863
SLV24	36867	10369	44931	6747	1374	6885	4865

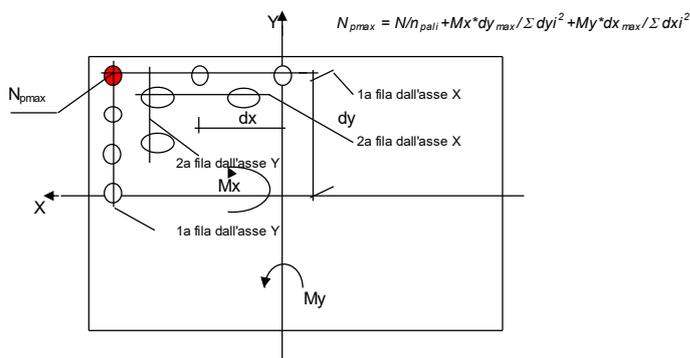
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI01**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	27 di 43

7.2 Verifica di portata verticale

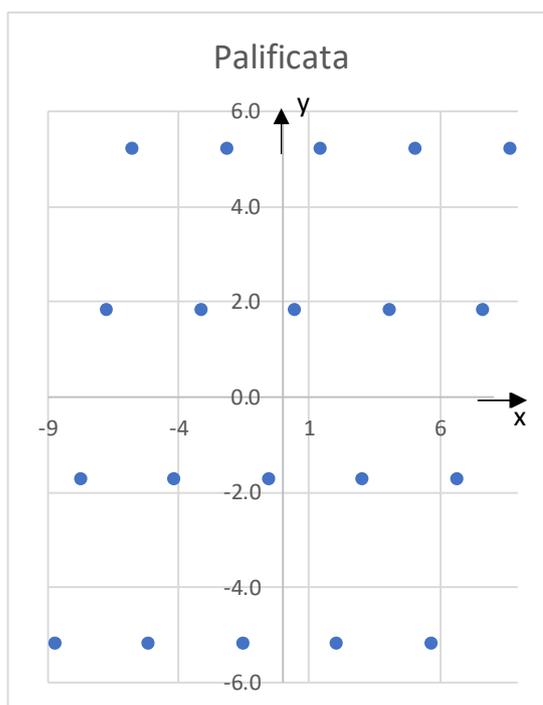
Nota la disposizione geometrica dei pali di fondazione, si può determinare l'azione verticale agente sul singolo palo tramite la seguente distribuzione elastica.



SPALLA FISSA – DISTRIBUZIONE PALI

Distribuzione elastica delle sollecitazioni nei pali

p	x	y
1	-8.7	-5.2
2	-5.1	-5.2
3	-1.5	-5.2
4	2.1	-5.2
5	5.7	-5.2
6	-7.7	-1.8
7	-4.1	-1.8
8	-0.5	-1.8
9	3.1	-1.8
10	6.7	-1.8
11	-6.7	1.8
12	-3.1	1.8
13	0.5	1.8
14	4.1	1.8
15	7.7	1.8
16	-5.7	5.2
17	-2.1	5.2
18	1.5	5.2
19	5.1	5.2
20	8.7	5.2



PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI01**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	28 di 43

SPALLA FISSA 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	17	18	19	20		
RARA01	1217	1670	2123	2576	3029	1592	2045	2498	2951	3404	1975	2427	2880	2880	3786	2346	2799	3252	3705	4157	4157	1217
RARA02	1365	1719	2072	2426	2780	1708	2062	2416	2770	3123	2059	2413	2766	2766	3474	2399	2752	3106	3460	3814	3814	1365
RARA03	1134	1584	2033	2483	2932	1537	1987	2437	2886	3336	1949	2399	2848	2848	3747	2348	2798	3248	3697	4147	4147	1134
RARA04	1167	1625	2083	2541	2999	1557	2015	2473	2931	3389	1954	2412	2870	2870	3786	2339	2797	3255	3713	4171	4171	1167
RARA05	1376	1629	1881	2133	2385	1659	1911	2163	2415	2668	1947	2200	2452	2452	2956	2227	2479	2731	2983	3235	3235	1376
RARA06	1289	1646	2002	2359	2715	1561	1917	2274	2630	2986	1837	2193	2550	2550	3263	2106	2462	2819	3175	3532	3532	1289
RARA07	1262	1677	2091	2505	2919	1609	2024	2438	2852	3266	1963	2377	2791	2791	3620	2307	2721	3135	3549	3963	3963	1262
RARA08	1381	1716	2050	2385	2720	1702	2037	2372	2707	3042	2030	2365	2700	2700	3370	2349	2684	3019	3353	3688	3688	1381
RARA09	1173	1579	1985	2392	2798	1590	1996	2402	2808	3214	2015	2421	2827	2827	3640	2427	2833	3239	3645	4052	4052	1173
	1381	1719	2123	2576	3029	1708	2062	2498	2951	3404	2059	2427	2880	2880	3786	2427	2833	3255	3713	4171	4171	1381
	1134	1579	1881	2133	2385	1537	1911	2163	2415	2668	1837	2193	2452	2452	2956	2106	2462	2731	2983	3235	3235	1134

SPALLA FISSA SLU-SLV

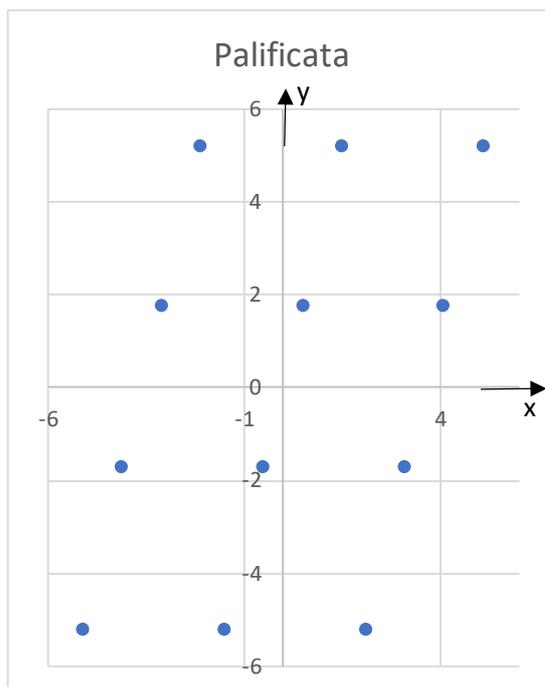
Load Comb	AZIONE VERTICALE NEI PALI [kN]																				MAX	MIN
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
SLU01	1632	2268	2904	3540	4176	2158	2794	3430	4067	4703	2695	3331	3967	3967	5239	3216	3852	4488	5124	5760	5760	1632
SLU02	1846	2339	2831	3324	3816	2326	2819	3311	3804	4296	2817	3309	3801	3801	4786	3292	3784	4277	4769	5262	5262	1846
SLU03	1511	2143	2774	3406	4037	2079	2710	3342	3973	4604	2658	3289	3920	3920	5183	3219	3851	4482	5113	5745	5745	1511
SLU04	1699	2279	2859	3439	4019	2183	2763	3344	3924	4504	2678	3258	3838	3838	4998	3158	3738	4318	4898	5478	5478	1699
SLU05	1870	2335	2800	3265	3731	2318	2783	3248	3713	4179	2775	3240	3706	3706	4636	3219	3684	4149	4614	5079	5079	1870
SLU06	1765	2356	2946	3536	4126	2154	2744	3334	3924	4515	2549	3139	3729	3729	4909	2934	3524	4114	4704	5294	5294	1765
SLU07	1699	2279	2859	3439	4019	2183	2763	3344	3924	4504	2678	3258	3838	3838	4998	3158	3738	4318	4898	5478	5478	1699
SLU08	1565	2133	2701	3269	3837	2154	2722	3290	3858	4426	2755	3323	3891	3891	5028	3338	3906	4474	5042	5610	5610	1565
SLV01	645	1120	1596	2071	2546	1107	1582	2058	2533	3008	1578	2054	2529	2529	3480	2035	2511	2986	3461	3937	3937	645
SLV02	821	1290	1760	2229	2698	1284	1754	2223	2693	3162	1758	2227	2697	2697	3635	2217	2686	3155	3625	4094	4094	821
SLV03	1094	1571	2048	2525	3002	1256	1733	2210	2687	3163	1419	1895	2372	2372	3326	1580	2057	2534	3011	3488	3488	1094
SLV04	1280	1751	2222	2693	3164	1437	1908	2379	2850	3321	1594	2065	2536	2536	3478	1751	2222	2693	3164	3635	3635	1280
SLV05	-805	261	1326	2392	3458	-164	902	1968	3033	4099	488	1553	2619	2619	4750	1124	2190	3255	4321	5386	5386	-805
SLV06	-658	414	1485	2557	3628	-11	1060	2132	3203	4275	645	1717	2788	2788	4931	1287	2358	3430	4501	5573	5573	-658
SLV07	-315	749	1813	2877	3942	3	1067	2132	3196	4260	322	1386	2450	2450	4579	640	1704	2768	3832	4897	4897	-315
SLV08	-168	902	1972	3042	4112	156	1226	2296	3366	4436	480	1550	2620	2620	4760	803	1873	2943	4013	5083	5083	-168
SLV09	995	1061	1127	1192	1258	1768	1833	1899	1965	2031	2562	2628	2693	2693	2825	3324	3389	3455	3521	3586	3586	995
SLV10	1142	1214	1286	1357	1429	1920	1992	2063	2135	2207	2719	2791	2863	2863	3006	3486	3558	3629	3701	3773	3773	1142
SLV11	-129	399	927	1455	1983	777	1305	1833	2361	2889	1704	2232	2760	2760	3816	2599	3127	3655	4183	4711	4711	-129
SLV12	18	552	1086	1620	2154	929	1463	1997	2531	3065	1861	2395	2929	2929	3997	2761	3295	3829	4363	4897	4897	18
SLV13	1477	1537	1598	1659	1719	1936	1997	2058	2118	2179	2409	2470	2530	2530	2652	2862	2923	2984	3044	3105	3105	1477
SLV14	1634	1701	1767	1834	1901	2092	2159	2225	2292	2359	2563	2629	2696	2696	2829	3014	3081	3148	3214	3281	3281	1634
SLV15	366	889	1412	1935	2458	950	1473	1996	2519	3042	1546	2069	2592	2592	3638	2123	2646	3169	3692	4215	4215	366
SLV16	524	1053	1582	2111	2640	1106	1635	2163	2692	3221	1700	2229	2758	2758	3816	2275	2804	3333	3862	4391	4391	524
SLV17	1459	1517	1574	1631	1688	1806	1863	1921	1978	2035	2163	2220	2277	2277	2391	2505	2562	2619	2676	2733	2733	1459
SLV18	1920	1975	2031	2086	2142	1963	2019	2074	2130	2186	2008	2063	2119	2119	2230	2051	2106	2162	2217	2273	2273	1920
SLV19	335	855	1374	1893	2413	815	1335	1854	2373	2893	1305	1824	2344	2344	3382	1780	2299	2819	3338	3857	3857	335
SLV20	810	1327	1845	2363	2881	977	1495	2013	2530	3048	1145	1663	2181	2181	3216	1312	1830	2347	2865	3383	3383	810
SLV21	1950	2026	2103	2180	2257	2314	2391	2467	2544	2621	2688	2765	2841	2841	2995	3047	3124	3201	3277	3354	3354	1950
SLV22	2439	2515	2590	2665	2741	2481	2556	2631	2707	2782	2522	2598	2673	2673	2824	2563	2639	2714	2789	2864	2864	2439
SLV23	825	1365	1904	2443	2982	1323	1862	2401	2940	3479	1830	2369	2908	2908	3986	2322	2861	3400	3939	4478	4478	825
SLV24	1315	1853	2390	2928	3466	1489	2027	2565	3102	3640	1664	2202	2740	2740	3815	1838	2376	2913	3451	3989	3989	1315
	2439	2515	2946	3540	4176	2481	2819	3430	4067	4703	2817	3331	3967	3967	5239	3486	3906	4488	5124	5760	5760	2439
	-805	261	927	1192	1258	-164	902	1833	1965	2031	322	1386	2119	2119	2230	640	1704	2162	2217	2273	2273	-805

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni – VI01**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	29 di 43

SPALLA MOBILE – DISTRIBUZIONE PALI
Distribuzione elastica delle sollecitazioni nei pali

p	x	y
1	-5.1	-5.2
2	-1.5	-5.2
3	2.1	-5.2
4	-4.1	-1.7
5	-0.5	-1.7
6	3.1	-1.7
7	-3.1	1.75
8	0.5	1.75
9	4.1	1.75
10	-2.1	5.2
11	1.5	5.2
12	5.1	5.2
12	119	180


SPALLA MOBILE SLE

Load	AZIONE VERTICALE NEI PALI [kN]												MAX	MIN
Comb	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
RARA01	641	1994	3348	1369	2722	4076	2092	3445	4799	2815	4168	5522	5522	641
RARA02	654	1890	3126	1342	2578	3814	2025	3261	4497	2708	3944	5180	5180	654
RARA03	670	1928	3185	1365	2622	3879	2055	3312	4569	2744	4002	5259	5259	670
RARA04	640	1902	3164	1357	2619	3881	2068	3330	4592	2780	4041	5303	5303	640
RARA05	1228	2076	2925	1668	2516	3364	2104	2953	3801	2541	3389	4238	4238	1228
RARA06	1107	2074	3041	1664	2631	3598	2217	3184	4151	2770	3737	4704	4704	1107
RARA07	735	1989	3242	1423	2676	3929	2105	3358	4612	2788	4041	5294	5294	735
RARA08	746	1905	3065	1401	2560	3720	2051	3211	4371	2702	3862	5021	5021	746
RARA09	764	2018	3272	1431	2685	3939	2093	3347	4601	2756	4010	5264	5264	764
	1228	2076	3348	1668	2722	4076	2217	3445	4799	2815	4168	5522	5522	1228
	640	1890	2925	1342	2516	3364	2025	2953	3801	2541	3389	4238	4238	640

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI01**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	30 di 43

SPALLA MOBILE SLU-SLV

Load	AZIONE VERTICALE NEI PALI [kN]													MAX	MIN
Comb	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
SLU01	797	2688	4579	1819	3711	5602	2835	4726	6617	3850	5741	7632	7632	797	
SLU02	815	2537	4258	1780	3501	5223	2737	4458	6180	3694	5416	7137	7137	815	
SLU03	839	2591	4344	1813	3565	5317	2780	4532	6284	3747	5499	7251	7251	839	
SLU04	932	2679	4425	1896	3643	5389	2854	4600	6347	3811	5558	7304	7304	932	
SLU05	947	2558	4168	1865	3475	5086	2776	4386	5997	3687	5298	6908	6908	947	
SLU06	967	2597	4228	1890	3521	5151	2807	4438	6068	3724	5355	6985	6985	967	
SLU07	932	2679	4425	1896	3643	5389	2854	4600	6347	3811	5558	7304	7304	932	
SLU08	975	2723	4470	1909	3656	5404	2836	4584	6331	3763	5511	7259	7259	975	
SLV01	1095	1631	2166	1817	2352	2887	2530	3065	3601	3243	3778	4314	4314	1095	
SLV02	1245	1794	2342	1971	2519	3068	2688	3237	3786	3406	3955	4504	4504	1245	
SLV03	1631	2174	2718	1986	2530	3073	2339	2882	3426	2691	3235	3778	3778	1631	
SLV04	1783	2340	2897	2141	2698	3255	2496	3053	3610	2852	3409	3966	3966	1783	
SLV05	-1609	833	3276	-356	2086	4529	889	3331	5774	2133	4576	7018	7018	-1609	
SLV06	-1422	1007	3436	-172	2257	4686	1070	3499	5928	2312	4741	7170	7170	-1422	
SLV07	-1045	1389	3824	-166	2268	4702	709	3144	5578	1585	4020	6454	6454	-1045	
SLV08	-855	1566	3987	19	2440	4861	890	3311	5732	1762	4183	6604	6604	-855	
SLV09	-226	291	807	1398	1914	2430	3000	3516	4032	4602	5118	5635	5635	-226	
SLV10	-38	465	968	1582	2085	2588	3182	3684	4187	4781	5283	5786	5786	-38	
SLV11	-1492	-82	1327	380	1790	3199	2231	3641	5050	4082	5491	6901	6901	-1492	
SLV12	-1304	92	1488	565	1961	3357	2413	3809	5205	4260	5657	7053	7053	-1304	
SLV13	362	851	1341	1608	2097	2587	2838	3328	3817	4069	4558	5047	5047	362	
SLV14	552	1028	1504	1793	2269	2745	3019	3495	3971	4245	4721	5197	5197	552	
SLV15	-903	480	1862	591	1974	3356	2069	3451	4834	3547	4929	6312	6312	-903	
SLV16	-713	656	2025	776	2145	3515	2250	3619	4988	3723	5092	6462	6462	-713	
SLV17	916	1438	1961	1633	2156	2679	2343	2865	3388	3052	3575	4097	4097	916	
SLV18	1474	1988	2503	1821	2336	2850	2166	2680	3195	2510	3025	3539	3539	1474	
SLV19	-351	1065	2481	616	2032	3448	1574	2990	4406	2532	3948	5364	5364	-351	
SLV20	209	1617	3025	804	2212	3620	1396	2804	4212	1988	3396	4804	4804	209	
SLV21	1541	2019	2497	2249	2727	3204	2948	3426	3904	3648	4126	4603	4603	1541	
SLV22	2107	2576	3046	2439	2909	3378	2769	3239	3708	3099	3568	4038	4038	2107	
SLV23	275	1646	3017	1231	2602	3973	2179	3550	4921	3128	4499	5870	5870	275	
SLV24	842	2205	3568	1422	2785	4148	1999	3362	4725	2577	3940	5302	5302	842	
	2107	2723	4579	2439	3711	5602	3182	4726	6617	4781	5741	7632	7632	7632	
	-1609	-82	807	-356	1790	2430	709	2680	3195	1585	3025	3539	3539	-1609	

La massima azione di compressione è pari a 7632 kN.

La massima azione di trazione è pari a 1609 kN.

La massima azione in esercizio è pari a 5522 kN.

Di seguito si riporta il calcolo delle portate considerando una lunghezza del palo di 20 m da intradosso platea di fondazione.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI01**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	31 di 43

Portata verticale palo singolo - VI01 quote da p.c. medio assunto a +23.5 m slm

$$\phi_p := 1.2\text{m}$$

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

$$z_{tp} := 2.5\text{m}$$

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

$$z_w := 4\text{m}$$

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

$$\xi_3 := 1.7 \quad \gamma_s := 1.15 \quad \gamma_b := 1.35 \quad \gamma_{st} := 1.25$$

$$z_1 := 0\text{m} \quad z_2 := 2.5\text{m} \quad z_3 := 17.5\text{m}$$

$$k := 0.5$$

$$\gamma_t(z) := \begin{cases} 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 28 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z \geq z_3 \end{cases}$$

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

$$\phi(z) := \begin{cases} 25^\circ & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 34^\circ & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 33^\circ & \text{if } z \geq z_3 \end{cases}$$

$$\text{UCS}(z) := \begin{cases} 0 & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 0 & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 9\text{MPa} & \text{if } z \geq z_3 \end{cases}$$

$$\tau_L(z) := \begin{cases} \min(k \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(k \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pv}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min\left(1 \cdot \sqrt{\frac{\text{UCS}(z)}{p_a}} \cdot p_a, 300\text{kPa}\right) & \text{if } z \geq z_3 \end{cases}$$

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI01**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	32 di 43

$$N_{qstar}(z) := \begin{cases} 10 & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 15 & \text{if } z \geq z_2 \end{cases}$$

$$q_{blim}(z) := \begin{cases} 4300\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 4300\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 7300\text{kPa} & \text{if } z \geq z_3 \end{cases}$$

$$q_{BL}(z) := \begin{cases} \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \min\left(15 \cdot \sqrt{\frac{UCS(z)}{p_a}} \cdot p_a, q_{blim}(z)\right) & \text{if } z \geq z_3 \end{cases}$$

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

$$Q_{LL}(z) := \int_{z_{tp}}^z \pi \cdot \phi_p \cdot \tau_L(z) dz$$

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

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

$$z_{bp} := z_{tp} + L_p = 24.5 \text{ m}$$

$$Q_{dC}(z_{bp}) = 8.188 \times 10^3 \cdot \text{kN} \quad \text{resistenza a compressione}$$

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

$$Q_{dSLE}(z_{bp}) = 8.153 \times 10^3 \cdot \text{kN} \quad \text{resistenza in esercizio}$$

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

$$Q_{dT}(z_{bp}) = 5.418 \times 10^3 \cdot \text{kN} \quad \text{resistenza a trazione}$$

 <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 – VI01</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>VI0103 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>33 di 43</p>

Verifica a compressione

$$Ed = 7632 \text{ kN} < Rd = 8188 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

Verifica a trazione

$$Ed = 1609 \text{ kN} < Rd = 5418 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

Verifica in esercizio

$$Ed = 5522 \text{ kN} < Rd = 8153 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

7.3 Verifica di portata laterale

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.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI01**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	34 di 43

SPALLA FISSA SLE

	Vx/palo kN	Vy/palo kN	V/palo kN
RARA01	413	143	437
RARA02	390	143	415
RARA03	432	150	457
RARA04	425	146	449
RARA05	264	112	287
RARA06	288	98	304
RARA07	383	134	406
RARA08	365	134	389
RARA09	376	160	409
		max	457
		min	287

SPALLA FISSA SLU-SLV

	Vx/palo kN	Vy/palo kN	V/palo kN
SLU01	571	200	605
SLU02	538	199	574
SLU03	598	210	634
SLU04	528	186	560
SLU05	501	186	535
SLU06	565	145	583
SLU07	528	186	560
SLU08	518	225	564
SLV01	612	205	645
SLV02	612	205	645
SLV03	614	48	616
SLV04	614	48	616
SLV05	1201	212	1220
SLV06	1201	212	1220
SLV07	1203	55	1205
SLV08	1203	55	1205
SLV09	30	473	474
SLV10	30	473	474
SLV11	569	475	742
SLV12	569	475	742
SLV13	38	323	325
SLV14	38	323	325
SLV15	577	325	662
SLV16	577	325	662
SLV17	33	207	210
SLV18	35	50	61
SLV19	572	209	609
SLV20	574	52	577
SLV21	33	207	210
SLV22	35	50	61
SLV23	572	209	609
SLV24	574	52	577
		max	1220
		min	61

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI01**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	35 di 43

SPALLA MOBILE SLE

	Vx/palo kN	Vy/palo kN	V/palo kN
RARA01	529	195	564
RARA02	529	194	564
RARA03	530	184	561
RARA04	529	191	563
RARA05	369	128	391
RARA06	368	153	398
RARA07	497	187	531
RARA08	497	186	531
RARA09	497	180	529
		max	564
		min	391

SPALLA MOBILE SLU-SLV

	Vx/palo kN	Vy/palo kN	V/palo kN
SLU01	730	272	779
SLU02	730	271	779
SLU03	731	256	774
SLU04	683	261	731
SLU05	683	260	731
SLU06	684	247	727
SLU07	683	261	731
SLU08	684	251	729
SLV01	188	359	405
SLV02	188	359	405
SLV03	188	122	225
SLV04	188	122	225
SLV05	971	359	1036
SLV06	971	359	1036
SLV07	971	123	979
SLV08	971	123	979
SLV09	231	902	931
SLV10	231	902	931
SLV11	573	902	1068
SLV12	573	902	1068
SLV13	231	665	705
SLV14	231	665	705
SLV15	573	665	878
SLV16	573	665	878
SLV17	231	359	427
SLV18	231	123	262
SLV19	573	359	676
SLV20	573	123	586
SLV21	231	359	427
SLV22	231	123	262
SLV23	573	359	676
SLV24	573	123	586
		max	1068
		min	225

La massima azione di taglio è pari a 1220 kN.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI01**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	36 di 43

Di seguito si riporta il calcolo del momento plastico.

Conservativamente si considera:

azione assiale nulla

armatura 30Ø30

copriferro pari a 6cm+1.6cm+1.5cm=9.1cm

Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare

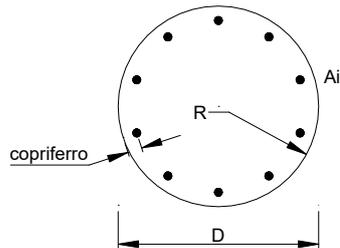
Diametro = 1200 (mm)
Raggio = 600 (mm)
Sforzo Normale = 0 (kN)

Caratteristiche dei Materiali

calcestruzzo

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

$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 14.17$ (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)
30	Ø 30	21206	91
0	Ø 0	0	0
0	Ø 8	0	30

Calcolo

Momento di Plasticizzazione

$M_y = 3448.8$ (kN m)

Inserisci

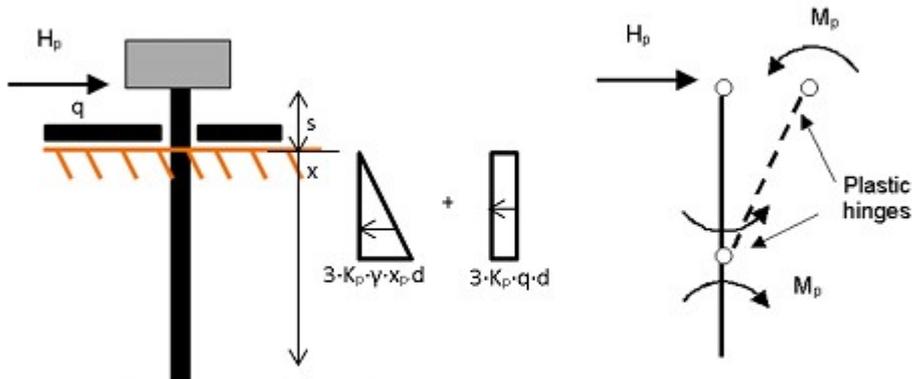
PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI01**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	37 di 43

Resistenza laterale palo muri - condizioni drenate

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



$$K_p := 3.537 \quad \gamma := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad d := 1.2\text{m} \quad M_p := 3448\text{kN}\cdot\text{m} \quad q := 55\text{kPa} \quad s := 0\text{m}$$

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

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

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

$$x_p := \begin{cases} b \leftarrow 0.1\text{m} & = 3.689\text{-m} \\ \text{while } |f_{\text{Broms}}(b)| > 1\text{-kN}\cdot\text{m} \\ \quad \left| db \leftarrow \frac{-f_{\text{Broms}}(b)}{d_{\text{Broms}}(b)} \right. \\ \quad b \leftarrow b + db \\ \quad b \end{cases}$$

$$H_{\text{lim}} := \frac{3}{2} \cdot \gamma \cdot x_p^2 \cdot K_p \cdot d + q \cdot 3 \cdot K_p \cdot x_p \cdot d = 3.45 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$H_{\text{Rd}} := \frac{E \cdot H_{\text{lim}}}{\gamma_T \cdot \xi_3} = 1.249 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$HRd = 1249 \text{ kN} > 1220 \text{ kN}$$

La verifica è soddisfatta.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI01**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	38 di 43

7.4 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 4.

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

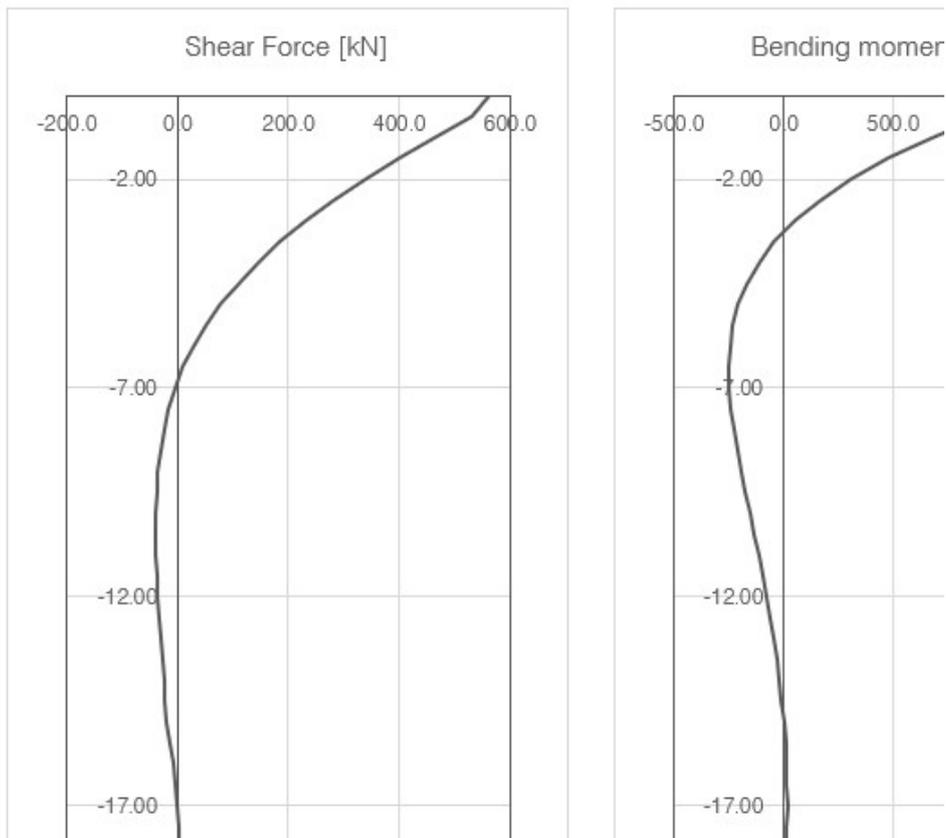
Calcolo delle sollecitazioni

SLE

$N = 640 \text{ kN}$ (minima compressione)

$V = 564 \text{ kN}$

$M = 1174 \text{ kNm}$



PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI01**

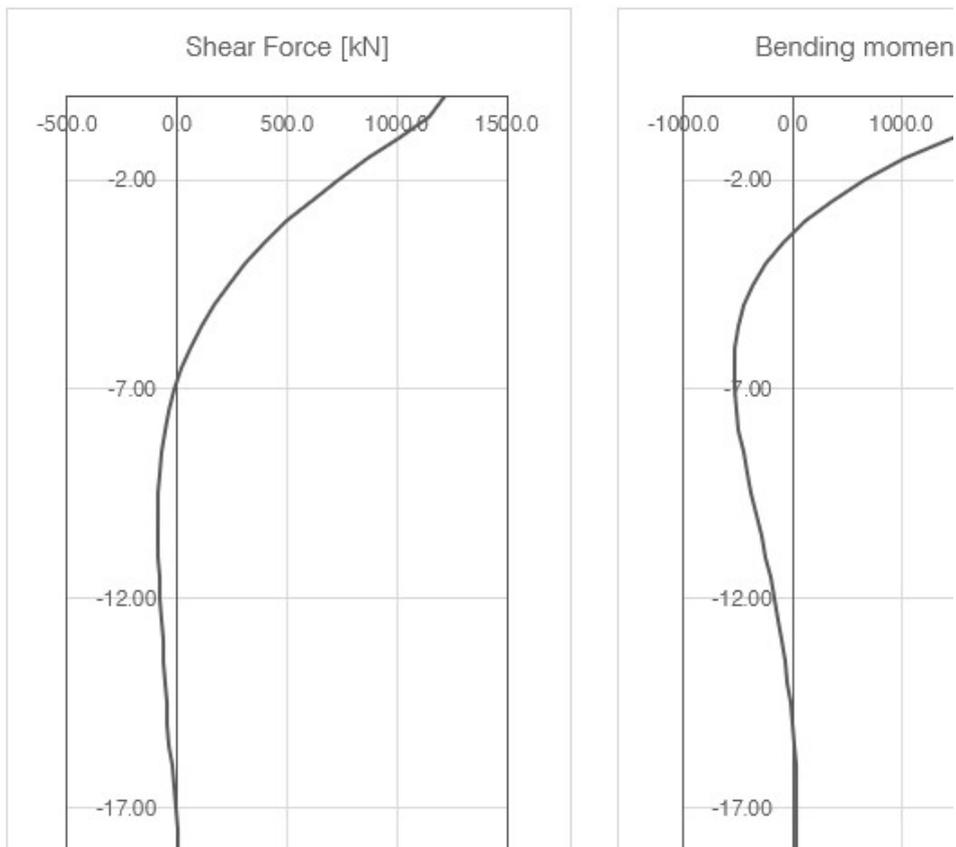
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	39 di 43

SLU-SLV

$N = 1609 \text{ kN}$ (trazione)

$V = 1220 \text{ kN}$

$M = 2540 \text{ kNm}$



Verifiche

Descrizione armatura

Tratto 1

Da testa palo a 12 m

Armatura longitudinale: 30 \varnothing 30

Spirale: \varnothing 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 – VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0103 002	REV. A

Tratto 2

Da 12 m a base palo

Armatura longitudinale: 24 \varnothing 26

Spirale: \varnothing 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: VI01

(Percorso File: C:\LAVORI\21_73_EDIN_Viadotti\VI01\Fondazioni\VI01.sez)

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: 120.0 cm

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni – VI01**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	41 di 43

Barre circonferenza: 30Ø30 (212.1 cm²)
Coprif.(dal baric. barre): 9.1 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	-1609.00	2540.00	1220.00	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	640.00	1174.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.6 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.6 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 [cm²]. (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	-1609.00	2540.00	-1609.22	2967.12	1.168	31.9	---	---	212.1 (33.9)

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 – VI01**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0103 002	A	42 di 43

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	60.0	0.00237	50.9	-0.01032	-50.9

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	1220.00	2149.69	3470.52	99.8 88.2	2.500	1.000	14.1

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	7.48	-60.0	0.00	60.0	-151.7	50.9	22.8	3147	91.9	---

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	-0.00087	0.00056		0.50	0.60	0.000455 (0.000455)	433	0.197 (990.00)	670.19

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0103 002	REV. A	FOGLIO 43 di 43

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

$$\sigma_c = N_{Ed} / A = 6.345 \text{ MPa} < 6.375 \text{ MP} \rightarrow \text{verifica soddisfatta}$$

$$N_{Ed} = 7170 \text{ kN (SLV ENV)}$$

$$A = 1.13 \text{ m}^2$$