

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DEFINITIVO

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

VI03 - Viadotto su Torrente Varatello da km 77+423 e 77+468

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni VI03

SCALA:

-

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

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

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autore	Rev.	Data
A	Emissione esecutiva	G.Grimaldi	Feb.2022	L.Utzeri	Feb.2022	G.Fadda	Feb.2022	Autore	Rev.	Data
								ITALFERR S.p.A.		
								U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti		
								Dot. Ing. Angelo Vitozzi		
								Ordine degli Ingegneri della Provincia di Genova		
								N° A20783		

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	2 di 51

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	9
4.1	CALCESTRUZZO PER PALI.....	9
4.2	ACCIAIO PER C.A.....	9
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	10
6	CRITERI DI VERIFICA GEOTECNICA.....	11
6.1	CRITERI DI VERIFICA GENERALI.....	11
6.2	CRITERI DI VERIFICA PER LE FONDAZIONI SU PALI	11
6.3	CRITERI DI CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE VERTICALE.....	12
6.4	CRITERI DI CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE ORIZZONTALE.....	17
7	CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALE.....	20
7.1	CRITERI DI VERIFICA GENERALI.....	20
7.2	INTERAZIONE PALO-TERRENO E CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI.....	21
8	ANALISI E VERIFICHE SPALLE.....	22
8.1	SOLLECITAZIONI DI VERIFICA	22
8.2	VERIFICA DI PORTATA VERTICALE.....	28
8.3	VERIFICA DI PORTATA LATERALE	40
8.4	VERIFICHE STRUTTURALI.....	46

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni - VI03	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0303 002	REV. A	FOGLIO 3 di 51

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la relazione geotecnica e di calcolo delle opere di fondazione del viadotto sul Varatello tra le progressive chilometriche 77+390 e 77+617 nell'ambito del progetto di raddoppio della linea Genova-Ventimiglia, tratta finale Ligure-Andora.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	4 di 51

2 DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA E DELLE OPERE DI FONDAZIONE

Il viadotto in esame si sviluppa su una campata a doppio binario di luce pari a 46 m.

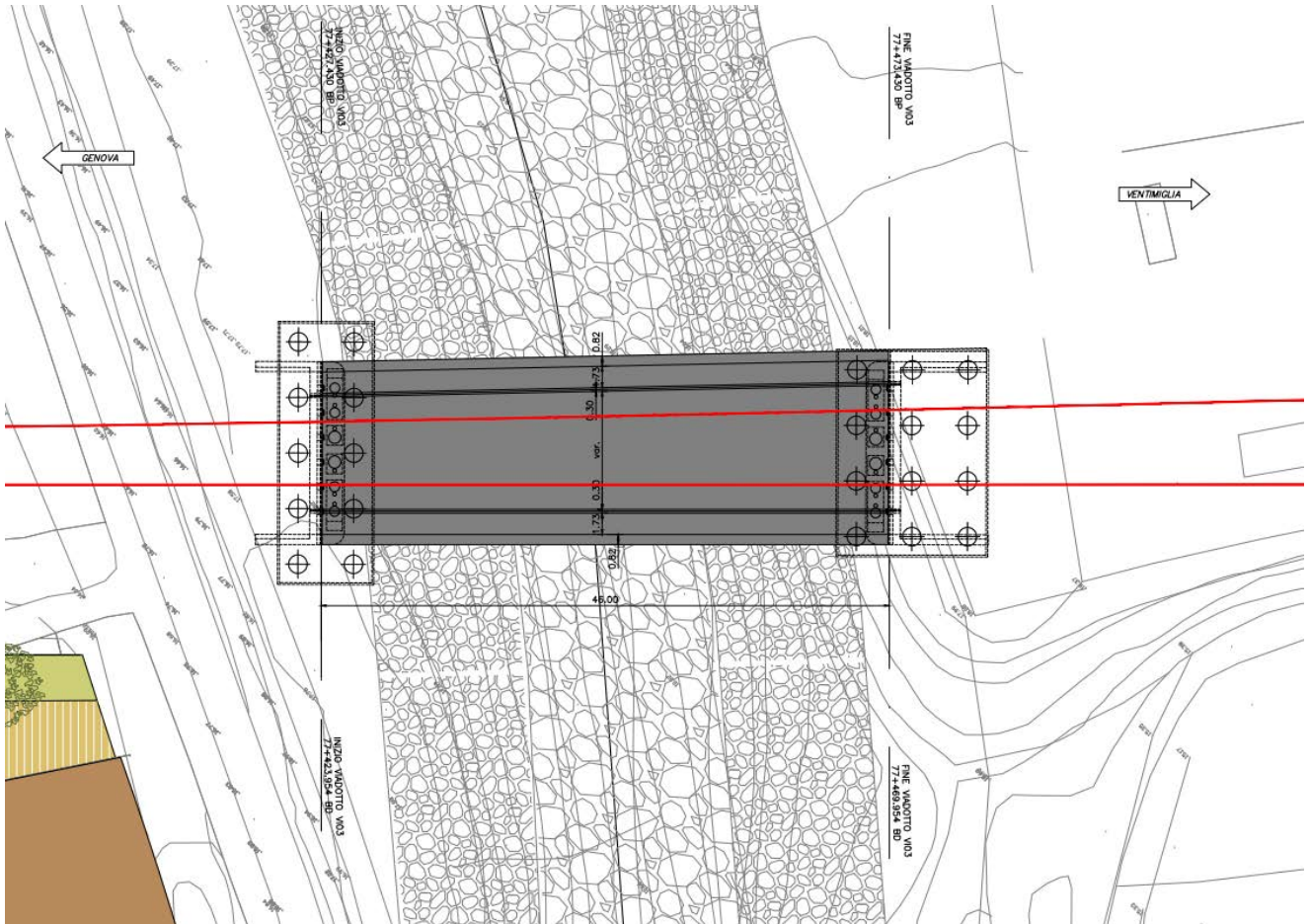


Figura 1: planimetria generale

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI03

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	5 di 51

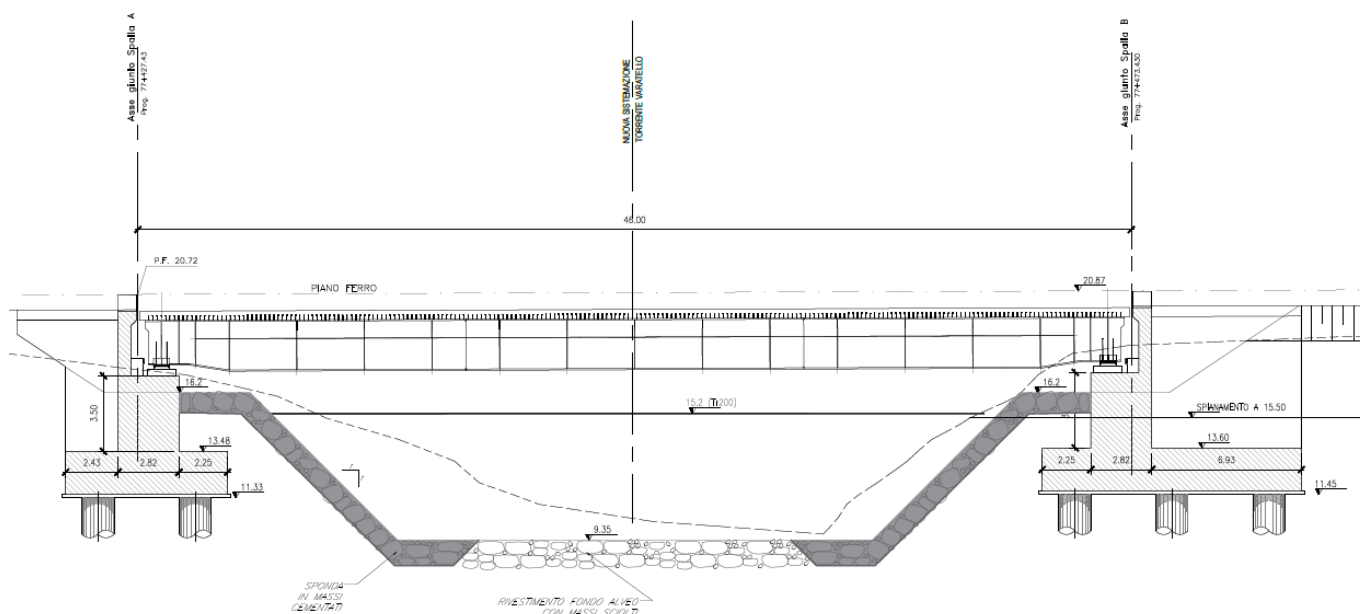


Figura 2: prospetto longitudinale

La luce di 46.00 m viene superata mediante un impalcato in struttura mista acciaio-calcestruzzo realizzato da sei travi in acciaio a doppio T collaboranti con una soletta di calcestruzzo per mezzo di connettori a taglio disposti sulla piattabanda superiore. Le travi hanno un'altezza di 2.37 m che si riduce a 2.07 m in corrispondenza degli appoggi. La singola trave è realizzata mediante la giunzione di tre conci. Per migliorare la ripartizione trasversale dei carichi le sei travi sono collegate da diaframmi reticolari. La controventatura di piano posta in corrispondenza della piattabanda superiore ha lo scopo di assicurare la stabilità delle travi durante le fasi di varo e di getto della soletta. L'ispezionabilità è consentita mediante la posa di grigliati sulle piattabande inferiori delle travi e la predisposizione di passi d'uomo sui diaframmi a parete piena. Il sollevamento dell'impalcato per l'eventuale sostituzione degli appoggi può essere eseguito mediante martinetti posti in corrispondenza del diaframma di testata che, a tale scopo, presenta opportuni irrigidimenti. L'impalcato a doppio binario è caratterizzato da un armamento di tipo tradizionale su ballast.

La spalla A su cui poggia l'impalcato in struttura mista acciaio-calcestruzzo ha un plinto di fondazione a pianta rettangolare di dimensioni pari a 7.50 x 21.00 m e spessore 2.00 m. Il muro di testata spesso 2.82m è alto 3.50. Il muro paraghia è spesso 0.60m e alto 2.98m. . La spalla è fondata su dieci pali \varnothing 1500 di lunghezza 26 m.

La spalla B su cui poggia l'impalcato in struttura mista acciaio-calcestruzzo ha un plinto di fondazione a pianta rettangolare di dimensioni pari a 12.00x16.50m e spessore 2.00 m. Il muro di testata spesso 2.82m è alto 3.50. Il muro paraghia è spesso 0.60m e alto 3.00m. . La spalla è fondata su dodici pali \varnothing 1500 di lunghezza 36 m.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	6 di 51

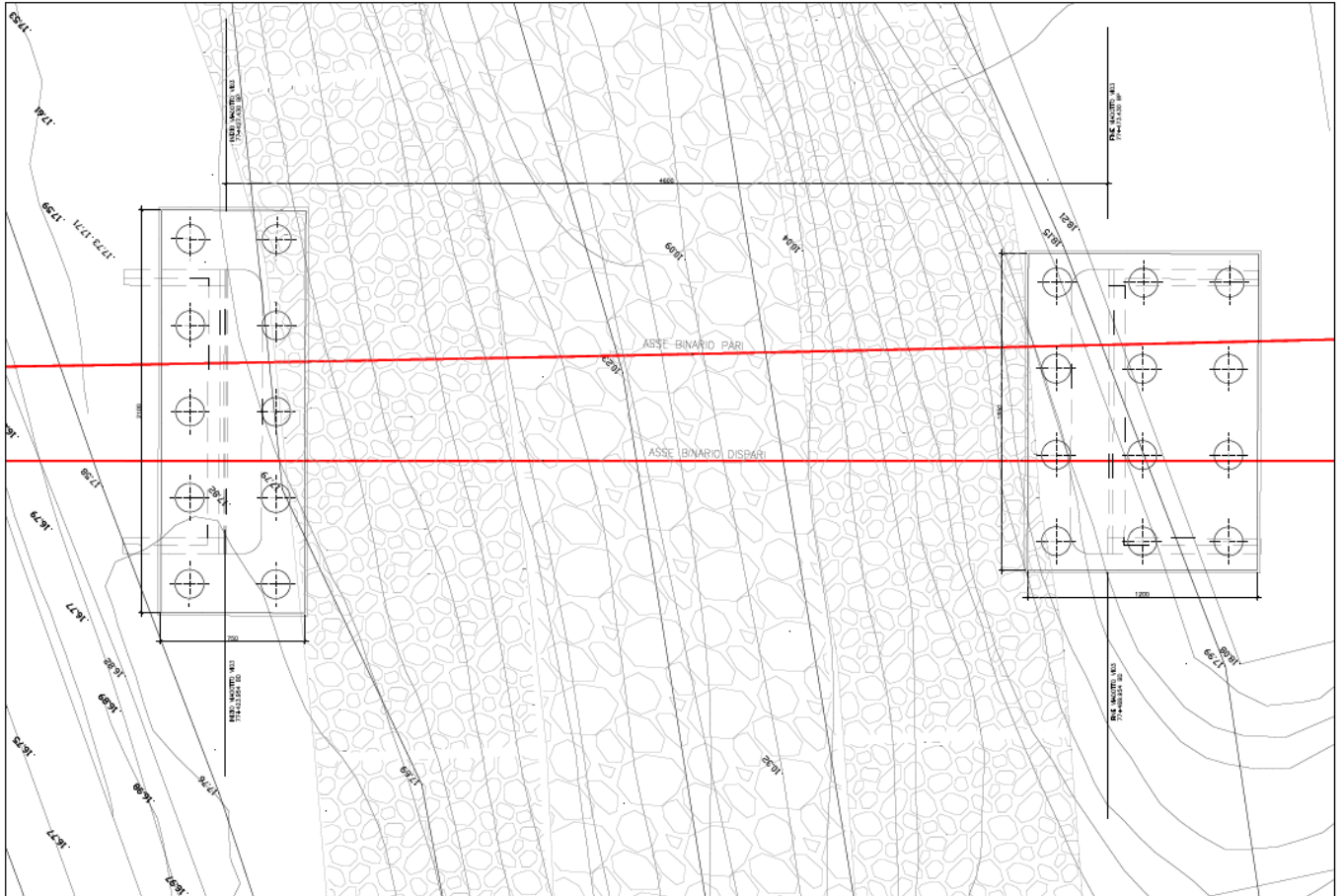


Figura 2: pianta fondazioni

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni - VI03</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0303 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 7 di 51</p>

3 **NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

3.1 **Normativa**

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

3.2 **Elaborati di riferimento**

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	9 di 51

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 - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	10 di 51

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

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

n. verticali	1								
z _w (m pc)	5								
Unità	Descrizione	Prof top m TOP*	γ kN/mc	φ °	c' kPa	cu kPa	E MPa	Vs m/s	v -
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Sabbia ghiaiosa limosa da poco a mediamente addensata	0	19.5	32	0	-	30	220	0.3
3	Alternanza di limo sabbioso debolmente argilloso e sabbia limosa	8	20	26	10	40	8	220	0.25
2	Sabbia ghiaiosa limosa da poco a mediamente addensata	9.5	19.5	32	0	-	30	220	0.3
3	Alternanza di limo sabbioso debolmente argilloso e sabbia limosa	12.5	20	26	10	40	8	220	0.25
2	Sabbia ghiaiosa limosa da poco a mediamente addensata	19.5	19.5	32	0	-	30	220	0.3
3	Limo debolmente sabbioso debolmente argilloso	29.5	20	26	10	90	8	220	0.25
CMV	Limo sabbioso con presenza di clasti e frammenti fossiferi	41.5	19	33	0	-	>50	400	0.3
* m da testa palo									
Cat. Sottosuolo	C	MASW15							

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni - VI03	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0303 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 - VI03	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0303 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:

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

 <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 - VI03</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>VI0303 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>13 di 51</p>

dove:

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

 <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 - VI03</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>VI0303 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>14 di 51</p>

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

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

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.

$\tau_{i,max}$ = 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:

 <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 - VI03</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>VI0303 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>15 di 51</p>

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

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);

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).

 <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 - VI03</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>VI0303 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>16 di 51</p>

Roccia

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

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

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:

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	17 di 51

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;

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 - VI03

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	18 di 51

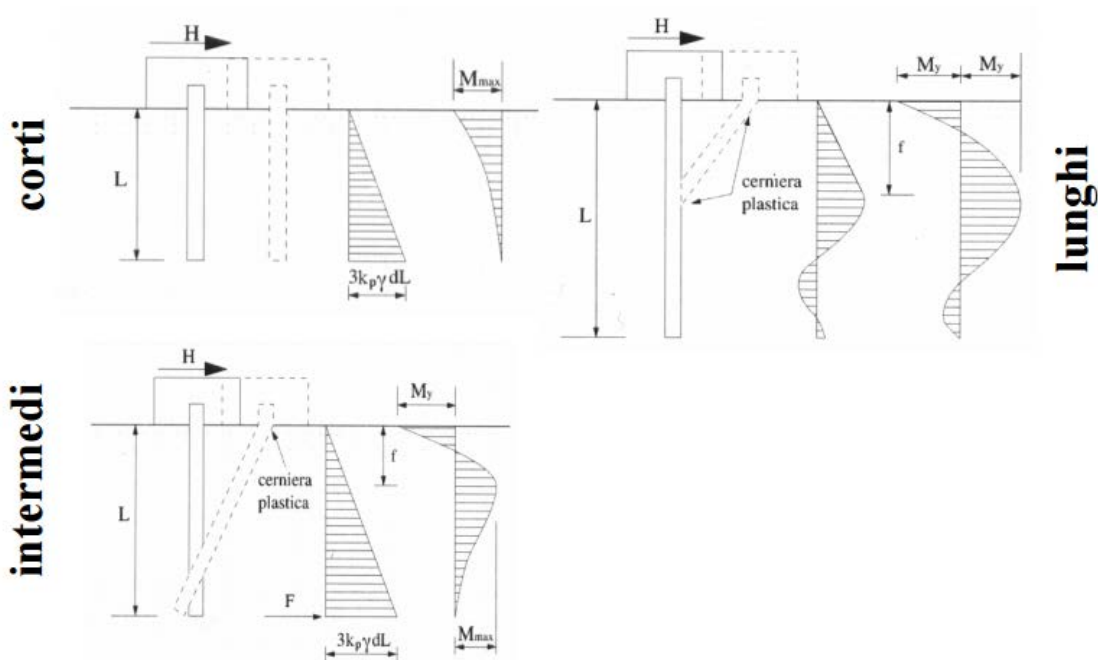
Palo corto:
$$H = 1.5k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d} \right)^2$$

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

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

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 - VI03

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	19 di 51

R_d = resistenza di progetto del palo

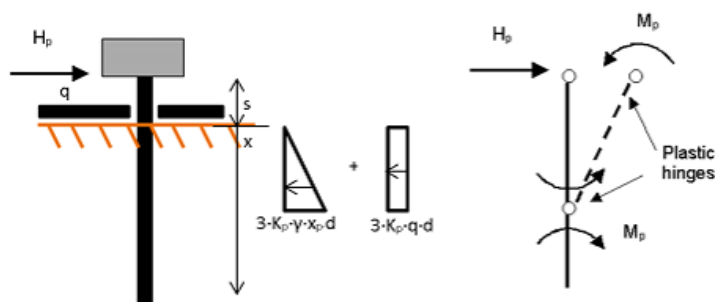
H = valore limite in funzione del meccanismo attivato (ridotto per effetto gruppo);

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 - VI03</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>VI0303 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>20 di 51</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 coaso assumendo al massimo $q = 1.5$)

Verifiche SLE

Le verifiche a fessurazione sono state condotte considerando:

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

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

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

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

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

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

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

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni - VI03</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>VI0303 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>21 di 51</p>

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 - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	22 di 51

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	6106	164	55137	13159	31035	-928
RARA02	5099	175	48861	14273	11066	-975
RARA03	7101	221	55183	12900	36601	-1028
RARA04	6701	185	53828	13300	31287	-951
RARA05	3751	136	45827	14789	8300	-871
RARA06	5352	9	51244	14446	29557	-512
RARA07	5635	577	53379	11448	26728	-1949
RARA08	4830	586	48358	12340	10753	-1987
RARA09	6432	623	53415	11241	31182	-2029

SPALLA FISSA SLU-SLV

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLU01	8479	254	76012	17568	45658	-1328
SLU02	7019	270	66912	19183	16703	-1397
SLU03	9922	337	76078	17192	53729	-1473
SLU04	8187	33	74282	19426	40071	-781
SLU05	7019	45	67001	20719	16907	-836
SLU06	9342	99	74334	19125	46529	-897
SLU07	8478	-609	75713	21635	44965	797
SLU08	5063	203	62520	19988	12709	-1224
SLV01	-4945	-4388	46337	28249	-18583	-202
SLV02	-4945	-4388	47968	28249	-13736	-202
SLV03	-4945	4330	46337	830	-18583	-748
SLV04	-4945	4330	47968	830	-13736	-748
SLV05	13388	-4388	46337	28249	36957	-202
SLV06	13388	-4388	47968	28249	41804	-202
SLV07	13388	4330	46337	830	36957	-748
SLV08	13388	4330	47968	830	41804	-748
SLV09	1471	-14559	46337	60238	856	435

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	23 di 51

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLV10	1471	-14559	47968	60238	5703	435
SLV11	6971	-14559	46337	60238	17518	435
SLV12	6971	-14559	47968	60238	22365	435
SLV13	1471	14500	46337	-31159	856	-1385
SLV14	1471	14500	47968	-31159	5703	-1385
SLV15	6971	14500	46337	-31159	17518	-1385
SLV16	6971	14500	47968	-31159	22365	-1385
SLV17	1471	-4388	44435	28249	-4799	-202
SLV18	1471	4330	44435	830	-4799	-748
SLV19	6971	-4388	44435	28249	11863	-202
SLV20	6971	4330	44435	830	11863	-748
SLV21	1471	-4388	49870	28249	11358	-202
SLV22	1471	4330	49870	830	11358	-748
SLV23	6971	-4388	49870	28249	28020	-202
SLV24	6971	4330	49870	830	28020	-748

SPALLA MOBILE SLE

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
RARA01	-5250	-389	41824	509	2202	-44
RARA02	-5250	-400	35647	2819	2587	-64
RARA03	-5250	-310	41778	127	2206	-33
RARA04	-5250	-355	40462	805	2288	-43
RARA05	-3861	-440	33543	3537	6639	-74
RARA06	-3861	-531	38808	2220	6311	-73
RARA07	-4972	-364	40273	832	3085	-44
RARA08	-4972	-373	35333	2680	3393	-60
RARA09	-4972	-301	40237	526	3088	-35

SPALLA MOBILE SLU-SLV

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLU01	-7227	-577	57937	844	2492	-67
SLU02	-7227	-593	48981	4194	3050	-94
SLU03	-7227	-463	57871	290	2498	-50

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	24 di 51

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLU04	-7227	-805	56235	3434	2598	-111
SLU05	-7227	-818	49070	6114	3045	-133
SLU06	-7227	-713	56182	2991	2603	-98
SLU07	-7227	-577	57632	844	2507	-67
SLU08	-5213	-660	45938	5306	8925	-110
SLV01	-12699	-2947	33695	10103	-25999	793
SLV02	-12699	-2947	35624	10103	-26498	793
SLV03	-12699	2897	33695	-10748	-25999	-793
SLV04	-12699	2897	35624	-10748	-26498	-793
SLV05	4421	-2947	33695	10103	38062	793
SLV06	4421	-2947	35624	10103	37563	793
SLV07	4421	2897	33695	-10748	38062	-793
SLV08	4421	2897	35624	-10748	37563	-793
SLV09	-6707	-9764	33695	34429	-3578	2642
SLV10	-6707	-9764	35624	34429	-4077	2642
SLV11	-1571	-9764	33695	34429	15641	2642
SLV12	-1571	-9764	35624	34429	15142	2642
SLV13	-6707	9714	33695	-35074	-3578	-2642
SLV14	-6707	9714	35624	-35074	-4077	-2642
SLV15	-1571	9714	33695	-35074	15641	-2642
SLV16	-1571	9714	35624	-35074	15142	-2642
SLV17	-6707	-2947	31444	10103	-2995	793
SLV18	-6707	2897	31444	-10748	-2995	-793
SLV19	-1571	-2947	31444	10103	16223	793
SLV20	-1571	2897	31444	-10748	16223	-793
SLV21	-6707	-2947	37875	10103	-4659	793
SLV22	-6707	2897	37875	-10748	-4659	-793
SLV23	-1571	-2947	37875	10103	14560	793
SLV24	-1571	2897	37875	-10748	14560	-793

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 - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	25 di 51

$$\lambda := \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot J_p}{k \cdot D}} = 5.615 \text{ m}$$

con:

E = modulo di elasticità del palo = 30 MN

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

 K = coefficiente di Winkler = E'/D = 20 MN/m³

D = diametro del palo = 1.5 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	55137	13621	48193	6106	164	6108	928
RARA02	48861	14766	25395	5099	175	5102	975
RARA03	55183	13522	56556	7101	221	7105	1028
RARA04	53828	13820	50117	6701	185	6704	951
RARA05	45827	15169	18839	3751	136	3753	871
RARA06	51244	14471	44597	5352	9	5352	512
RARA07	53379	13071	42563	5635	577	5665	1949
RARA08	48358	13987	24325	4830	586	4865	1987
RARA09	53415	12991	49254	6432	623	6462	2029

SPALLA FISSA SLU-SLV

Load	N	Mx	My	Vx	Vy	V	Mt
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
SLU01	76012	18281	69483	8479	254	8483	1328
SLU02	66912	19942	36426	7019	270	7024	1397
SLU03	76078	18137	81611	9922	337	9928	1473
SLU04	74282	19518	63076	8187	33	8187	781
SLU05	67001	20847	36631	7019	45	7019	836
SLU06	74334	19403	72778	9342	99	9342	897
SLU07	75713	23346	68789	8478	609	8500	797
SLU08	62520	20559	26937	5063	203	5068	1224

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI03

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	26 di 51

SLV01	46337	40581	32479	4945	4388	6611	202
SLV02	47968	40581	27632	4945	4388	6611	202
SLV03	46337	12996	32479	4945	4330	6572	748
SLV04	47968	12996	27632	4945	4330	6572	748
SLV05	46337	40581	74577	13388	4388	14089	202
SLV06	47968	40581	79424	13388	4388	14089	202
SLV07	46337	12996	74577	13388	4330	14070	748
SLV08	47968	12996	79424	13388	4330	14070	748
SLV09	46337	101150	4991	1471	14559	14633	435
SLV10	47968	101150	9838	1471	14559	14633	435
SLV11	46337	101150	37107	6971	14559	16142	435
SLV12	47968	101150	41954	6971	14559	16142	435
SLV13	46337	71906	4991	1471	14500	14575	1385
SLV14	47968	71906	9838	1471	14500	14575	1385
SLV15	46337	71906	37107	6971	14500	16089	1385
SLV16	47968	71906	41954	6971	14500	16089	1385
SLV17	44435	40581	8934	1471	4388	4629	202
SLV18	44435	12996	8934	1471	4330	4573	748
SLV19	44435	40581	31453	6971	4388	8238	202
SLV20	44435	12996	31453	6971	4330	8206	748
SLV21	49870	40581	15492	1471	4388	4629	202
SLV22	49870	12996	15492	1471	4330	4573	748
SLV23	49870	40581	47609	6971	4388	8238	202
SLV24	49870	12996	47609	6971	4330	8206	748

SPALLA MOBILE SLE

Load	N	Mx	My	Vx	Vy	V	Mt
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
RARA01	41824	1602	16955	5250	389	5265	44
RARA02	35647	3943	17340	5250	400	5265	64
RARA03	41778	998	16959	5250	310	5259	33
RARA04	40462	1803	17040	5250	355	5262	43
RARA05	33543	4773	17489	3861	440	3886	74
RARA06	38808	3712	17162	3861	531	3898	73
RARA07	40273	1855	17057	4972	364	4986	44
RARA08	35333	3727	17365	4972	373	4986	60
RARA09	40237	1371	17060	4972	301	4981	35

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	27 di 51

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni - VI03**
SPALLA MOBILE SLU-SLV

Load	N	Mx	My	Vx	Vy	V	Mt
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
SLU01	57937	2467	22799	7227	577	7250	67
SLU02	48981	5861	23357	7227	593	7251	94
SLU03	57871	1590	22804	7227	463	7241	50
SLU04	56235	5697	22905	7227	805	7271	111
SLU05	49070	8412	23351	7227	818	7273	133
SLU06	56182	4995	22909	7227	713	7262	98
SLU07	57632	2467	22814	7227	577	7250	67
SLU08	45938	7160	23573	5213	660	5255	110
SLV01	33695	18383	61685	12699	2947	13037	793
SLV02	35624	18383	62184	12699	2947	13037	793
SLV03	33695	18887	61685	12699	2897	13026	793
SLV04	35624	18887	62184	12699	2897	13026	793
SLV05	33695	18383	50486	4421	2947	5313	793
SLV06	35624	18383	49987	4421	2947	5313	793
SLV07	33695	18887	50486	4421	2897	5285	793
SLV08	35624	18887	49987	4421	2897	5285	793
SLV09	33695	61865	22425	6707	9764	11846	2642
SLV10	35624	61865	22924	6707	9764	11846	2642
SLV11	33695	61865	20056	1571	9764	9889	2642
SLV12	35624	61865	19557	1571	9764	9889	2642
SLV13	33695	62369	22425	6707	9714	11804	2642
SLV14	35624	62369	22924	6707	9714	11804	2642
SLV15	33695	62369	20056	1571	9714	9840	2642
SLV16	35624	62369	19557	1571	9714	9840	2642
SLV17	31444	18383	21843	6707	2947	7326	793
SLV18	31444	18887	21843	6707	2897	7306	793
SLV19	31444	18383	20638	1571	2947	3339	793
SLV20	31444	18887	20638	1571	2897	3295	793
SLV21	37875	18383	23506	6707	2947	7326	793
SLV22	37875	18887	23506	6707	2897	7306	793
SLV23	37875	18383	18974	1571	2947	3339	793
SLV24	37875	18887	18974	1571	2897	3295	793

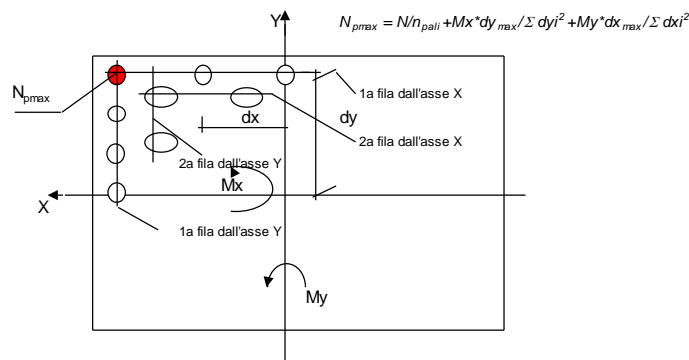
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI03

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	28 di 51

8.2 Verifica di portata verticale

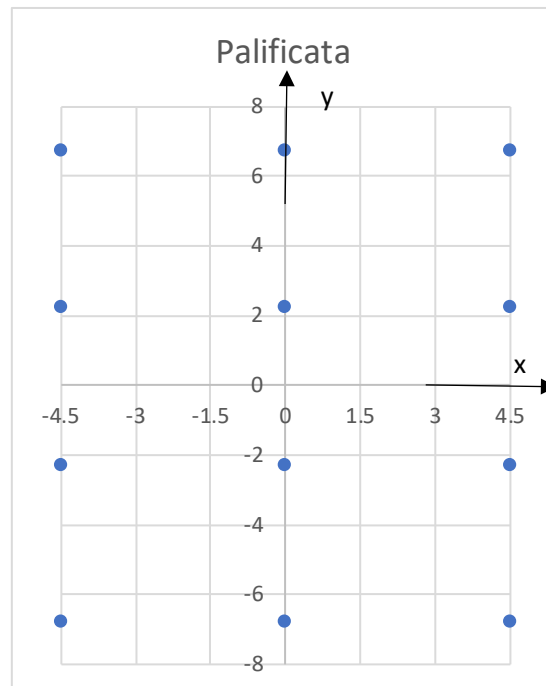
Nota la disposizione geometrica dei pali di fondazione, si può determinare l'azione verticale agente sul singolo palo tramite la seguente distribuzione elastica.



SPALLA FISSA – DISTRIBUZIONE PALI

Distribuzione elastica delle sollecitazioni nei pali

p	x	y
1	-4.5	-6.75
2	0	-6.75
3	4.5	-6.75
4	-4.5	-2.25
5	0	-2.25
6	4.5	-2.25
7	-4.5	2.25
8	0	2.25
9	4.5	2.25
10	-4.5	6.75
11	0	6.75
12	4.5	6.75



PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	29 di 51

SPALLA FISSA SLE

Load Comb	AZIONE VERTICALE NEI PALI [kN]												MAX	MIN
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
RARA01	2953	4292	5631	3155	4494	5833	3357	4696	6034	3559	4897	6236	6236	2953
RARA02	3038	3744	4449	3257	3962	4668	3476	4181	4887	3694	4400	5105	5105	3038
RARA03	2727	4298	5869	2927	4498	6069	3128	4699	6270	3328	4899	6470	6470	2727
RARA04	2786	4179	5571	2991	4383	5775	3196	4588	5980	3401	4793	6185	6185	2786
RARA05	2959	3482	4005	3183	3707	4230	3408	3931	4455	3633	4156	4679	4679	2959
RARA06	2710	3949	5188	2924	4163	5402	3139	4378	5616	3353	4592	5831	5831	2710
RARA07	2975	4158	5340	3169	4351	5534	3363	4545	5727	3556	4739	5921	5921	2975
RARA08	3043	3719	4395	3251	3926	4602	3458	4133	4809	3665	4341	5016	5016	3043
RARA09	2794	4163	5531	2987	4355	5723	3179	4548	5916	3372	4740	6108	6108	2794
	3043	4298	5869	3257	4498	6069	3476	4699	6270	3694	4899	6470	6470	3043
	2710	3482	4005	2924	3707	4230	3128	3931	4455	3328	4156	4679	4679	2710

SPALLA FISSA SLU-SLV

AZIONE VERTICALE NEI PALI [kN]													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	MAX	MIN
3998	5928	7858	4269	6199	8129	4540	6470	8400	4811	6741	8671	8671	3998
4121	5133	6145	4416	5428	6440	4712	5724	6736	5007	6019	7031	7031	4121
3670	5937	8204	3939	6206	8472	4207	6474	8741	4476	6743	9010	9010	3670
4004	5756	7509	4293	6046	7798	4583	6335	8087	4872	6624	8376	8376	4004
4103	5120	6138	4412	5429	6447	4720	5738	6755	5029	6047	7064	7064	4103
3742	5763	7785	4029	6051	8072	4317	6338	8360	4604	6626	8647	8647	3742
3880	5791	7701	4226	6136	8047	4572	6482	8393	4917	6828	8739	8739	3880
4005	4753	5501	4309	5058	5806	4614	5362	6111	4919	5667	6415	6415	4005
2057	2960	3862	2659	3561	4463	3260	4162	5064	3861	4763	5665	5665	2057
2328	3096	3863	2929	3697	4464	3530	4298	5065	4132	4899	5667	5667	2328
2670	3573	4475	2863	3765	4667	3055	3958	4860	3248	4150	5052	5052	2670
2941	3708	4476	3133	3901	4669	3326	4094	4861	3519	4286	5054	5054	2941
888	2960	5031	1489	3561	5632	2090	4162	6234	2692	4763	6835	6835	888
889	3096	5302	1490	3697	5903	2092	4298	6504	2693	4899	7105	7105	889
1501	3573	5644	1694	3765	5837	1886	3958	6029	2079	4150	6222	6222	1501
1502	3708	5915	1695	3901	6107	1887	4094	6300	2080	4286	6492	6492	1502
1475	1614	1752	2974	3112	3251	4472	4611	4749	5971	6109	6248	6248	1475
1476	1750	2023	2975	3248	3521	4473	4747	5020	5972	6245	6518	6518	1476
583	1614	2644	2081	3112	4143	3580	4611	5641	5078	6109	7140	7140	583
584	1750	2915	2083	3248	4413	3581	4747	5912	5080	6245	7410	7410	584
2125	2264	2402	3190	3329	3467	4255	4394	4533	5321	5459	5598	5598	2125
2126	2399	2673	3191	3465	3738	4257	4530	4803	5322	5595	5868	5868	2126
1233	2264	3294	2298	3329	4360	3363	4394	5425	4429	5459	6490	6490	1233
1234	2399	3565	2299	3465	4630	3365	4530	5695	4430	5595	6761	6761	1234
2553	2801	3049	3154	3402	3650	3755	4003	4252	4357	4605	4853	4853	2553
3166	3414	3662	3358	3607	3855	3551	3799	4047	3744	3992	4240	4240	3166
1927	2801	3675	2529	3402	4276	3130	4003	4877	3731	4605	5478	5478	1927
2540	3414	4288	2733	3607	4480	2925	3799	4673	3118	3992	4865	4865	2540
2824	3254	3684	3425	3855	4286	4026	4456	4887	4627	5058	5488	5488	2824
3437	3867	4297	3629	4060	4490	3822	4252	4682	4014	4445	4875	4875	3437
1932	3254	4577	2533	3855	5178	3134	4456	5779	3735	5058	6380	6380	1932
2545	3867	5190	2737	4060	5382	2930	4252	5575	3122	4445	5767	5767	2545
4121	5937	8204	4416	6206	8472	4720	6482	8741	5972	6828	9010	9010	4121
583	1614	1752	1489	3112	3251	1886	3799	4047	2079	3992	4240	4240	583

PROGETTO DEFINITIVO

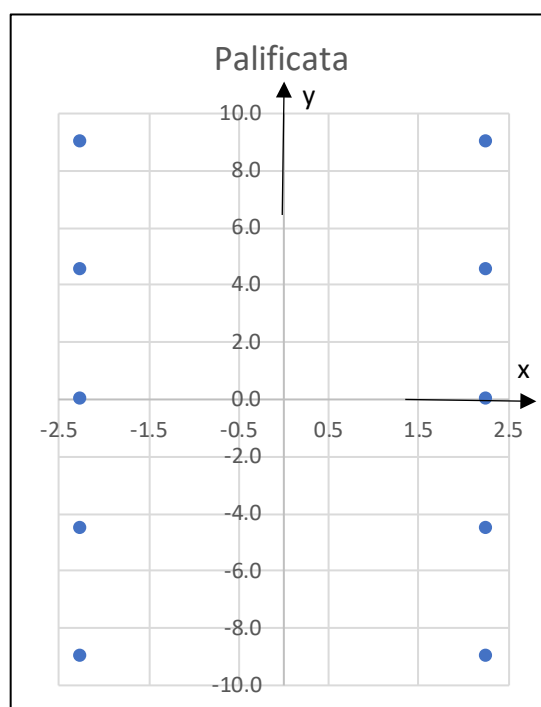
Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI03

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	30 di 51

SPALLA MOBILE – DISTRIBUZIONE PALI

Distribuzione elastica delle sollecitazioni nei pali

p	x	y
1	-2.25	-9.0
2	2.25	-9.0
3	-2.25	-4.5
4	2.25	-4.5
5	-2.25	0.0
6	2.25	0.0
7	-2.25	4.5
8	2.25	4.5
9	-2.25	9.0
10	2.25	9.0



SPALLA MOBILE SLE

Load Comb	AZIONE VERTICALE NEI PALI [kN]										MAX	MIN
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
RARA01	3393	4900	3411	4918	3429	4936	3447	4954	3464	4972	4972	3393
RARA02	2706	4248	2750	4292	2794	4335	2838	4379	2882	4423	4423	2706
RARA03	3402	4909	3413	4920	3424	4932	3435	4943	3446	4954	4954	3402
RARA04	3249	4763	3269	4784	3289	4804	3309	4824	3329	4844	4844	3249
RARA05	2471	4026	2524	4079	2577	4132	2630	4185	2683	4238	4238	2471
RARA06	3036	4561	3077	4602	3118	4644	3159	4685	3201	4726	4726	3036
RARA07	3228	4744	3249	4765	3269	4785	3290	4806	3310	4827	4827	3228
RARA08	2679	4222	2720	4264	2761	4305	2803	4346	2844	4388	4388	2679
RARA09	3235	4751	3250	4767	3265	4782	3281	4797	3296	4812	4812	3235
	3402	4909	3413	4920	3429	4936	3447	4954	3464	4972	4972	3402
	2471	4026	2524	4079	2577	4132	2630	4185	2683	4238	4238	2471

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	31 di 51

SPALLA MOBILE SLU-SLV

Load Comb	AZIONE VERTICALE NEI PALI [kN]										MAX	MIN
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
SLU01	4726	6752	4753	6780	4780	6807	4808	6834	4835	6862	6862	4726
SLU02	3730	5806	3795	5871	3860	5936	3925	6001	3990	6066	6066	3730
SLU03	4738	6765	4756	6783	4774	6801	4791	6818	4809	6836	6836	4738
SLU04	4479	6515	4542	6578	4605	6641	4669	6705	4732	6768	6768	4479
SLU05	3682	5758	3776	5851	3869	5945	3963	6038	4056	6132	6132	3682
SLU06	4489	6525	4545	6581	4600	6636	4656	6692	4711	6747	6747	4489
SLU07	4694	6722	4722	6750	4749	6777	4777	6805	4804	6832	6832	4694
SLU08	3387	5482	3467	5562	3546	5641	3626	5721	3705	5801	5801	3387
SLV01	219	5703	424	5907	628	6111	832	6315	1036	6520	6520	219
SLV02	390	5918	594	6122	799	6326	1003	6530	1207	6735	6735	390
SLV03	208	5691	418	5901	628	6111	838	6321	1048	6531	6531	208
SLV04	379	5906	589	6116	799	6326	1009	6536	1218	6746	6746	379
SLV05	717	5205	921	5409	1126	5613	1330	5818	1534	6022	6022	717
SLV06	932	5376	1137	5580	1341	5784	1545	5988	1749	6193	6193	932
SLV07	706	5194	916	5403	1126	5613	1336	5823	1545	6033	6033	706
SLV08	921	5364	1131	5574	1341	5784	1551	5994	1761	6204	6204	921
SLV09	998	2991	1685	3679	2373	4366	3060	5054	3748	5741	5741	998
SLV10	1169	3206	1856	3894	2544	4581	3231	5269	3918	5956	5956	1169
SLV11	1103	2886	1791	3573	2478	4261	3166	4948	3853	5636	5636	1103
SLV12	1318	3057	2006	3744	2693	4432	3381	5119	4068	5806	5806	1318
SLV13	987	2980	1680	3673	2373	4366	3066	5059	3759	5752	5752	987
SLV14	1158	3195	1851	3888	2544	4581	3237	5274	3930	5967	5967	1158
SLV15	1092	2875	1785	3568	2478	4261	3171	4954	3864	5647	5647	1092
SLV16	1307	3046	2000	3739	2693	4432	3386	5125	4079	5818	5818	1307
SLV17	1765	3707	1969	3911	2174	4115	2378	4319	2582	4524	4524	1765
SLV18	1754	3695	1964	3905	2174	4115	2383	4325	2593	4535	4535	1754
SLV19	1819	3653	2023	3857	2227	4062	2431	4266	2636	4470	4470	1819
SLV20	1807	3642	2017	3852	2227	4062	2437	4272	2647	4481	4481	1807
SLV21	2334	4424	2539	4628	2743	4832	2947	5036	3151	5241	5241	2334
SLV22	2323	4412	2533	4622	2743	4832	2953	5042	3162	5252	5252	2323
SLV23	2536	4222	2740	4427	2944	4631	3148	4835	3353	5039	5039	2536
SLV24	2524	4211	2734	4421	2944	4631	3154	4841	3364	5051	5051	2524
	4738	6765	4756	6783	4780	6807	4808	6834	4835	6862	6862	4738
	208	2875	418	3568	628	4062	832	4266	1036	4470	4470	208

La massima azione di compressione per la spalla fissa è pari a 9010 kN.

La massima azione di compressione per la spalla mobile è pari a 6862 kN.

Non vi è trazione per la spalla fissa.

Non vi è trazione per la spalla mobile.

La massima azione in esercizio per la spalla fissa è pari a 6470 kN.

La massima azione in esercizio per la spalla mobile è pari a 4972 kN.

Di seguito si riporta il calcolo delle portate considerando:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni - VI03	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0303 002	REV. A	FOGLIO 32 di 51

- per la spalla fissa una lunghezza del palo di 36 m da intradosso platea di fondazione
- per la spalla mobile una lunghezza del palo di 26 m da intradosso platea di fondazione

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	33 di 51

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI03**
Portata verticale palo singolo - VI03 - SPALLA FISSA

 quote da p.c. assunto
a quota +16.2 m slm

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

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

$$z_{tp} := 4.70\text{m}$$

$$L_p := 36\text{m}$$

$$z_w := 4.70\text{m}$$

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

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

$$z_1 := 0\text{m} \quad z_2 := 2\text{m} \quad z_3 := 12.7\text{m} \quad z_4 := 14.2\text{m} \quad z_5 := 17.2\text{m} \quad z_6 := 24.2\text{m} \quad z_7 := 34.2\text{m}$$

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

$$\gamma_t(z) := \begin{cases} 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 19.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 19.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_5 \leq z \leq z_6 \\ 19.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_6 \leq z \leq z_7 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z \geq z_7 \end{cases}$$

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

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	34 di 51

$$\phi(z) := \begin{cases} 28^\circ & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 32^\circ & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 26^\circ & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 32^\circ & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 26^\circ & \text{if } z_5 \leq z \leq z_6 \\ 32^\circ & \text{if } z_6 \leq z \leq z_7 \\ 26^\circ & \text{if } z \geq z_7 \end{cases}$$

$$c_u(z) := \begin{cases} 0\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 40\text{kPa} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 40\text{kPa} & \text{if } z_5 \leq z \leq z_6 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z_6 \leq z \leq z_7 \\ 90\text{kPa} & \text{if } z \geq z_7 \end{cases}$$

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

$$\tau_{LC}(z) := \begin{cases} \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pV}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pV}(z)) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pV}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pV}(z)) & \text{if } z_5 \leq z \leq z_6 \\ \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_6 \leq z \leq z_7 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pV}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pV}(z)) & \text{if } z \geq z_7 \end{cases}$$

$$\tau_{LT}(z) := \begin{cases} \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pV}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pV}(z)) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pV}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pV}(z)) & \text{if } z_5 \leq z \leq z_6 \\ \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_6 \leq z \leq z_7 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pV}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pV}(z)) & \text{if } z \geq z_7 \end{cases}$$

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	35 di 51

$$N_{qstar}(z) := \begin{cases} 10 & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 15 & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 10 & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 15 & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 10 & \text{if } z_5 \leq z \leq z_6 \\ 15 & \text{if } z_6 \leq z \leq z_7 \\ 10 & \text{if } z \geq z_7 \end{cases}$$

$$q_{blim}(z) := \begin{cases} 4300kPa & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 3800kPa & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 3800kPa & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 4300kPa & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 3800kPa & \text{if } z_5 \leq z \leq z_6 \\ 4300kPa & \text{if } z_6 \leq z \leq z_7 \\ 3800kPa & \text{if } z \geq z_7 \end{cases}$$

$$q_{BL}(z) := \begin{cases} \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \max(9 \cdot c_u(z) + \sigma_v(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ \max(9 \cdot c_u(z) + \sigma_v(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_5 \leq z \leq z_6 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_6 \leq z \leq z_7 \\ \max(9 \cdot c_u(z) + \sigma_v(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z \geq z_7 \end{cases}$$

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

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

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

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

$$z_{bp} := z_{tp} + L_p = 40.7 \, \text{m}$$

$$Q_{dC}(z_{bp}) = 9.079 \times 10^3 \, \text{kN}$$

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

$$Q_{dSLE}(z_{bp}) = 1.211 \times 10^4 \, \text{kN}$$

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

$$Q_{dT}(z_{bp}) = 7.407 \times 10^3 \, \text{kN}$$

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni - VI03</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>VI0303 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>36 di 51</p>

Verifica a compressione SPALLA FISSA

$Ed = 9010 \text{ kN} < Rd = 9079 \text{ kN}$

verifica soddisfatta

Verifica a trazione SPALLA FISSA

Non vi è trazione

Verifica in esercizio SPALLA FISSA

$Ed = 6470 \text{ kN} < Rd = 12110 \text{ kN}$

verifica soddisfatta

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	37 di 51

Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI03

Portata verticale palo singolo - VI03 - SPALLA MOBILE quote da p.c. assunto
a quota +16.2 m slm

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

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

$$z_{tp} := 4.70\text{m}$$

$$L_p := 26\text{m}$$

$$z_w := 4.70\text{m}$$

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

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

$$z_1 := 0\text{m} \quad z_2 := 2\text{m} \quad z_3 := 12.7\text{m} \quad z_4 := 14.2\text{m} \quad z_5 := 17.2\text{m} \quad z_6 := 24.2\text{m} \quad z_7 := 34.2\text{m}$$

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

$$\gamma_t(z) := \begin{cases} 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 19.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 19.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_5 \leq z \leq z_6 \\ 19.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_6 \leq z \leq z_7 \\ 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z \geq z_7 \end{cases}$$

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

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	38 di 51

$$\phi(z) := \begin{cases} 28^\circ & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 32^\circ & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 26^\circ & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 32^\circ & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 26^\circ & \text{if } z_5 \leq z \leq z_6 \\ 32^\circ & \text{if } z_6 \leq z \leq z_7 \\ 26^\circ & \text{if } z \geq z_7 \end{cases}$$

$$c_u(z) := \begin{cases} 0\text{kPa} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 40\text{kPa} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 40\text{kPa} & \text{if } z_5 \leq z \leq z_6 \\ 0\text{kPa} & \text{if } z_6 \leq z \leq z_7 \\ 90\text{kPa} & \text{if } z \geq z_7 \end{cases}$$

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

$$\tau_{LC}(z) := \begin{cases} \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pV}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pV}(z)) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pV}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pV}(z)) & \text{if } z_5 \leq z \leq z_6 \\ \min(k_c \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_6 \leq z \leq z_7 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pV}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pV}(z)) & \text{if } z \geq z_7 \end{cases}$$

$$\tau_{LT}(z) := \begin{cases} \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pV}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pV}(z)) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pV}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pV}(z)) & \text{if } z_5 \leq z \leq z_6 \\ \min(k_t \cdot \tan(\phi(z)) \cdot \sigma_{pV}(z), 150\text{kPa}) & \text{if } z_6 \leq z \leq z_7 \\ \max(\min(\alpha(z) \cdot c_u(z), 100\text{kPa}, 0.25 \cdot \sigma_{pV}(z)), 0.23 \cdot \sigma_{pV}(z)) & \text{if } z \geq z_7 \end{cases}$$

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	39 di 51

$$N_{qstar}(z) := \begin{cases} 10 & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 15 & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 10 & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 15 & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 10 & \text{if } z_5 \leq z \leq z_6 \\ 15 & \text{if } z_6 \leq z \leq z_7 \\ 10 & \text{if } z \geq z_7 \end{cases}$$

$$q_{blim}(z) := \begin{cases} 4300kPa & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 3800kPa & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 3800kPa & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 4300kPa & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ 3800kPa & \text{if } z_5 \leq z \leq z_6 \\ 4300kPa & \text{if } z_6 \leq z \leq z_7 \\ 3800kPa & \text{if } z \geq z_7 \end{cases}$$

$$q_{BL}(z) := \begin{cases} \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ \max(9 \cdot c_u(z) + \sigma_v(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_4 \leq z \leq z_5 \\ \max(9 \cdot c_u(z) + \sigma_v(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_5 \leq z \leq z_6 \\ \min(N_{qstar}(z) \cdot \sigma_{pv}(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z_6 \leq z \leq z_7 \\ \max(9 \cdot c_u(z) + \sigma_v(z), q_{blim}(z)) & \text{if } z \geq z_7 \end{cases}$$

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

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

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

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

$$z_{bp} := z_{tp} + L_p = 30.7 \text{ m}$$

$$Q_{dC}(z_{bp}) = 7.122 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

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

$$Q_{dSLE}(z_{bp}) = 7.757 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

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

$$Q_{dT}(z_{bp}) = 4.707 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni - VI03</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>VI0303 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>40 di 51</p>

Verifica a compressione SPALLA MOBILE

$$Ed = 6862 \text{ kN} < Rd = 7122 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

Verifica a trazione SPALLA MOBILE

Non vi è trazione

Verifica in esercizio SPALLA MOBILE

$$Ed = 4972 \text{ kN} < Rd = 7757 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

8.3 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 = 12 per spalla fissa e 10 per spalla mobile

M_t = momento torcente

B = distanza tra i pali d'angolo in direzione longitudinale = 9 m per spalla fissa e 4.5 m per spalla mobile

L = distanza tra i pali d'angolo in direzione trasversale = 13.5 m per spalla fissa e 1 m per spalla mobile

n_{pfx} = numero dei pali in una fila perimetrale in direzione x = 3 per spalla fissa e 2 per spalla mobile

n_{pfy} = numero dei pali in una fila perimetrale in direzione y = 4 per spalla fissa e 5 per spalla mobile

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

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	41 di 51

SPALLA FISSA SLE

	Vx/palo kN	Vy/palo kN	V/palo kN
RARA01	510	15	510
RARA02	426	16	427
RARA03	593	20	594
RARA04	560	16	560
RARA05	314	12	314
RARA06	447	1	447
RARA07	472	50	475
RARA08	405	51	408
RARA09	539	54	541
		max	594
		min	314

SPALLA FISSA SLU-SLV

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	42 di 51

	Vx/palo kN	Vy/palo kN	V/palo kN
SLU01	708	23	709
SLU02	587	24	587
SLU03	829	30	829
SLU04	683	4	683
SLU05	586	5	586
SLU06	780	9	780
SLU07	708	52	709
SLU08	424	18	424
SLV01	412	366	551
SLV02	412	366	551
SLV03	413	362	549
SLV04	413	362	549
SLV05	1116	366	1174
SLV06	1116	366	1174
SLV07	1117	362	1174
SLV08	1117	362	1174
SLV09	123	1214	1220
SLV10	123	1214	1220
SLV11	582	1214	1346
SLV12	582	1214	1346
SLV13	125	1210	1216
SLV14	125	1210	1216
SLV15	583	1210	1343
SLV16	583	1210	1343
SLV17	123	366	386
SLV18	124	362	382
SLV19	581	366	687
SLV20	582	362	685
SLV21	123	366	386
SLV22	124	362	382
SLV23	581	366	687
SLV24	582	362	685
		max	1346
		min	382

SPALLA MOBILE SLE

	Vx/palo kN	Vy/palo kN	V/palo kN
RARA01	525	39	527
RARA02	525	40	527
RARA03	525	31	526
RARA04	525	36	526
RARA05	386	44	389
RARA06	386	53	390
RARA07	497	36	499
RARA08	497	37	499
RARA09	497	30	498
		max	527
		min	389

SPALLA MOBILE SLU-SLV

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	43 di 51

	Vx/palo kN	Vy/palo kN	V/palo kN
SLU01	723	58	725
SLU02	723	59	725
SLU03	723	46	724
SLU04	723	81	727
SLU05	723	82	728
SLU06	723	71	726
SLU07	723	58	725
SLU08	522	66	526
SLV01	1272	296	1306
SLV02	1272	296	1306
SLV03	1272	291	1305
SLV04	1272	291	1305
SLV05	445	296	534
SLV06	445	296	534
SLV07	445	291	531
SLV08	445	291	531
SLV09	679	980	1192
SLV10	679	980	1192
SLV11	165	980	993
SLV12	165	980	993
SLV13	679	975	1188
SLV14	679	975	1188
SLV15	165	975	989
SLV16	165	975	989
SLV17	673	296	735
SLV18	673	291	733
SLV19	160	296	336
SLV20	160	291	332
SLV21	673	296	735
SLV22	673	291	733
SLV23	160	296	336
SLV24	160	291	332
		max	1306
		min	332

La massima azione di taglio è pari a 1346 kN.

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

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	44 di 51

Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare

Diametro = 1500 (mm)

Raggio = 750 (mm)

Sforzo Normale = 0 (kN)

Caratteristiche dei Materiali

calcestruzzo

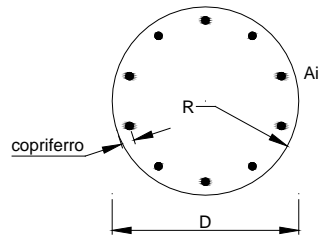
Rck = 30 (Mpa)

fck = 25 (Mpa)

γ_c = 1.5

α_{cc} = 0.85

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



Acciaio

tipo di acciaio

f_{yk} = 450 (Mpa)

γ_s = 1.15

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

E_s = 206000 (Mpa)

ϵ_{ys} = 0.190%

ϵ_{uk} = 10.000%

Armature

numero	diametro (mm)	area (mm ²)	copriferro (mm)
30	φ 30	21206	91
0	φ 0	0	0
0	φ 0	0	0

Calcolo

Momento di Plasticizzazione

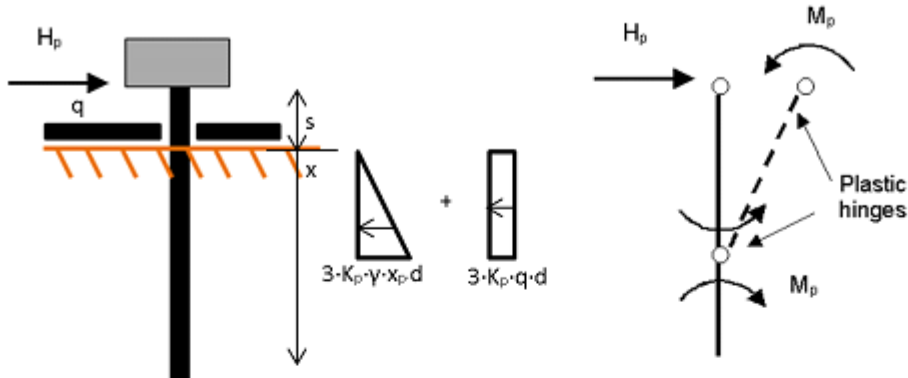
$M_y = 4657.8$ (kN m)

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	45 di 51

Resistenza laterale palo muri - condizioni drenate

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



$$K_p := 3.255 \quad \gamma := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad d := 1.5\text{m} \quad M_p := 4567\text{kN}\cdot\text{m} \quad q := 40\text{kPa} \quad s := 0\text{m}$$

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

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

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

$$x_p := \begin{cases} b \leftarrow 0.1\text{m} & = 4.268\text{-m} \\ \text{while } |f_{\text{Broms}}(b)| > 1 \cdot \text{kN}\cdot\text{m} \\ \quad \left| \begin{array}{l} db \leftarrow \frac{-f_{\text{Broms}}(b)}{d_{\text{Broms}}(b)} \\ b \leftarrow b + db \end{array} \right. \\ b \end{cases}$$

$$H_{\text{lim}} := \frac{3}{2} \cdot \gamma \cdot x_p^2 \cdot K_p \cdot d + q \cdot 3 \cdot K_p \cdot x_p \cdot d = 3.835 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$H_{\text{Rd}} := \frac{E \cdot H_{\text{lim}}}{\gamma_T \cdot \xi_3} = 1.388 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$H_{\text{Rd}} = 1388 \text{ kN} > 1346 \text{ kN}$$

La verifica è soddisfatta.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	46 di 51

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.

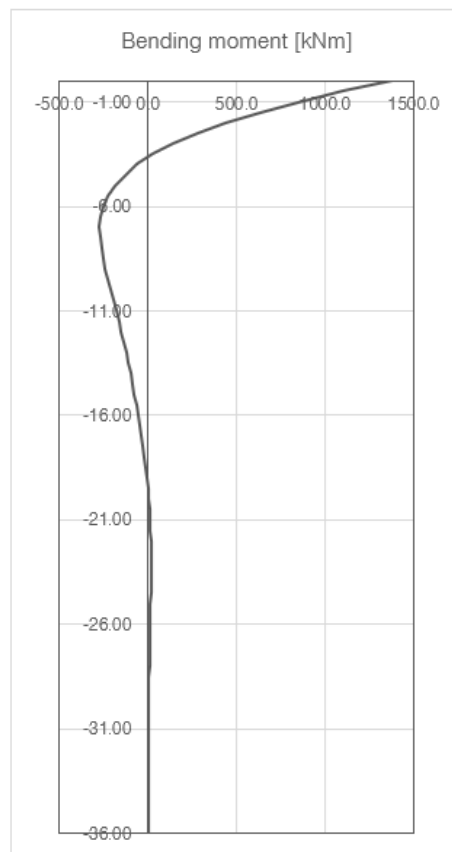
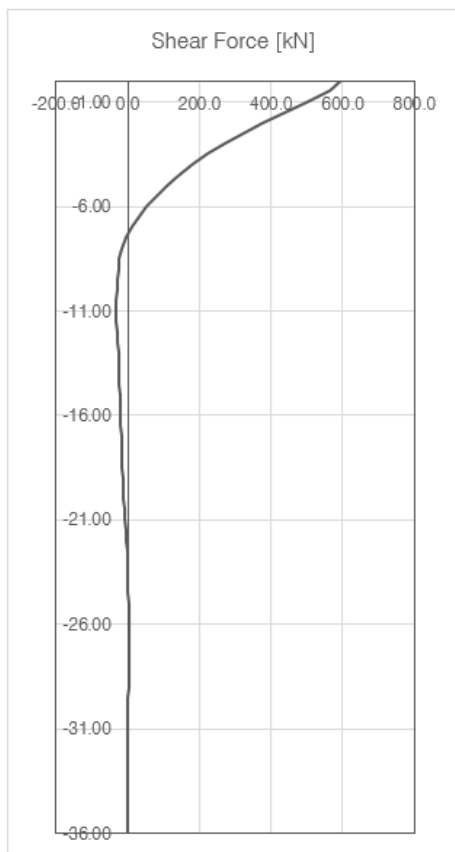
Calcolo delle sollecitazioni

SLE

$N = 2471$ kN (minima compressione)

$V = 594$ kN

$M = 1380$ kNm



PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI03**

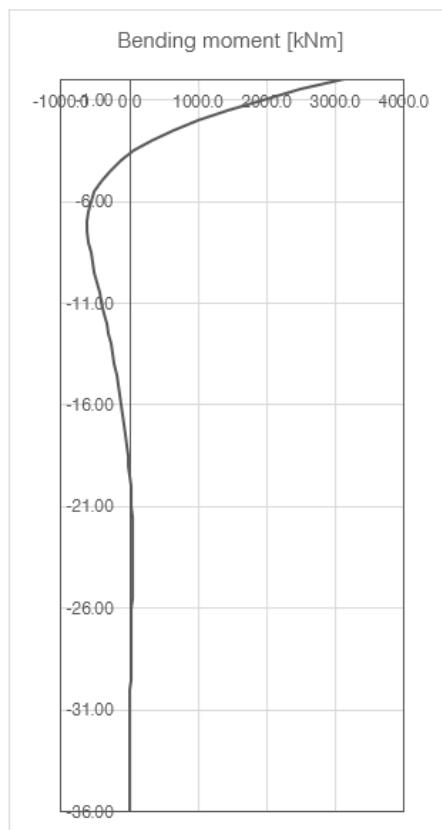
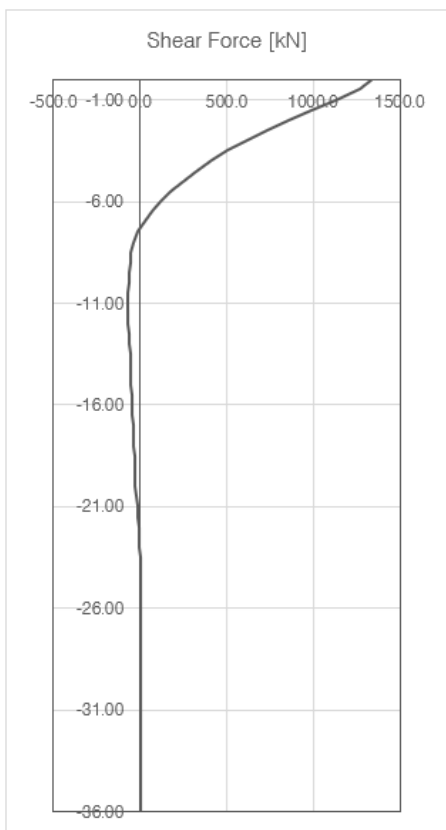
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	47 di 51

SLU-SLV

$N = 208 \text{ kN}$ (minima compressione)

$V = 1346 \text{ kN}$

$M = 3128 \text{ kNm}$



Verifiche

Descrizione armatura

Tratto 1

Da testa palo a 12 m

Armatura longitudinale: 30 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 - VI03	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0303 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: VI03

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

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

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

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Diametro sezione: 150.0 cm

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	49 di 51

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	208.00	3128.00	1346.00	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	2471.00	1380.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.6 cm
Interfero netto minimo barre longitudinali: 10.8 cm
Interfero 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	208.00	3128.00	207.85	4746.60	1.517	38.1	---	---	212.1 (53.0)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
Yc max Ordinata in cm della fibra 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.)

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione geotecnica e di calcolo delle
 fondazioni - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	50 di 51

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.)					
N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	75.0	0.00264	65.9	-0.00986	-65.9

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	1346.00	3477.25	4377.20	126.9 111.3	2.500	1.008	12.4	

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	5.31	-75.0	0.00	75.0	-54.8	65.9	22.8	3448	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]										

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione geotecnica e di calcolo delle
fondazioni - VI03**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0303 002	A	51 di 51

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00032	0.00040		0.50	0.60	0.000164 (0.000164)	485 0.080 (990.00)		1703.31

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

$$\sigma_c = N_{Ed} / A = 5.12 \text{ MPa} < 6.375 \text{ MP} \rightarrow \text{verifica soddisfatta}$$

$$N_{Ed} = 9010 \text{ kN}$$

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