

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DEFINITIVO

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

VI04 - Viadotto su Torrente Varatello da km 77+516 e 77+616

Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI04

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 4 0 5    0 0 2    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Aut. Autorizzanti
A	Emissione esecutiva	G.Grimaldi	Feb.2022	L.Utzeri	Feb.2022	G.Fadda	Feb.2022	ITALFERR S.p.A. U.O. Opere Civili e Gestione delle Infrastrutture Dott. Ing. Angelo Vittozzi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma N° A2/7832

File: IV0100D09CLVI0405002A.doc

n. Elab.: X

**PROGETTO DEFINITIVO**
**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
 fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	2 di 64

**INDICE**

1	PREMESSA .....	4
2	DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA E DELLE OPERE DI FONDAZIONE .....	5
3	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	8
3.1	NORMATIVA .....	8
3.2	ELABORATI DI RIFERIMENTO .....	8
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 TRASVERSALE .....	35
8.4	VERIFICHE STRUTTURALI.....	40
9	ANALISI E VERIFICHE PILE.....	46
9.1	SOLLECITAZIONI DI VERIFICA .....	46

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	3 di 64

9.2	VERIFICA DI PORTATA VERTICALE.....	49
9.3	VERIFICA DI PORTATA TRASVERSALE.....	54
9.4	VERIFICHE STRUTTURALI.....	59

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	4 di 64

## **1 PREMESSA**

Il presente documento costituisce la relazione geotecnica e di calcolo delle opere di fondazione del viadotto sul Torrente Varatello tra le progressive chilometriche 77+516 e 77+616 nell'ambito del progetto di raddoppio della linea Genova-Ventimiglia, tratta finale Ligure-Andora.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	5 di 64

## 2 DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA E DELLE OPERE DI FONDAZIONE

Il viadotto in esame si sviluppa su 4 campate di luce pari a 25.00 m. Delle 4 campate due sono risolte con due impalcati a singolo binario mentre le altre due sono risolte con un impalcato a doppio binario.

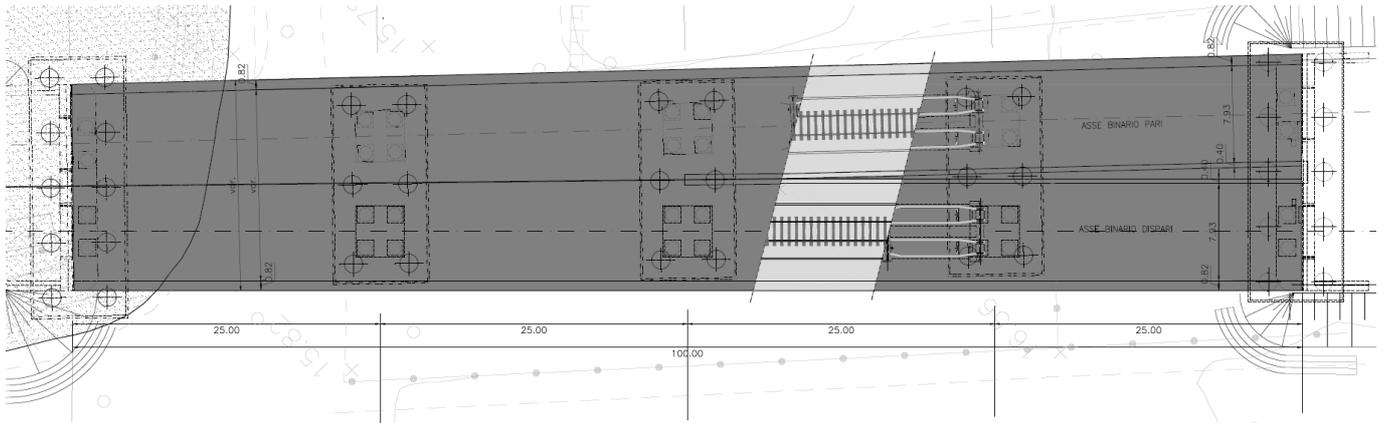


Figura 1: planimetria generale

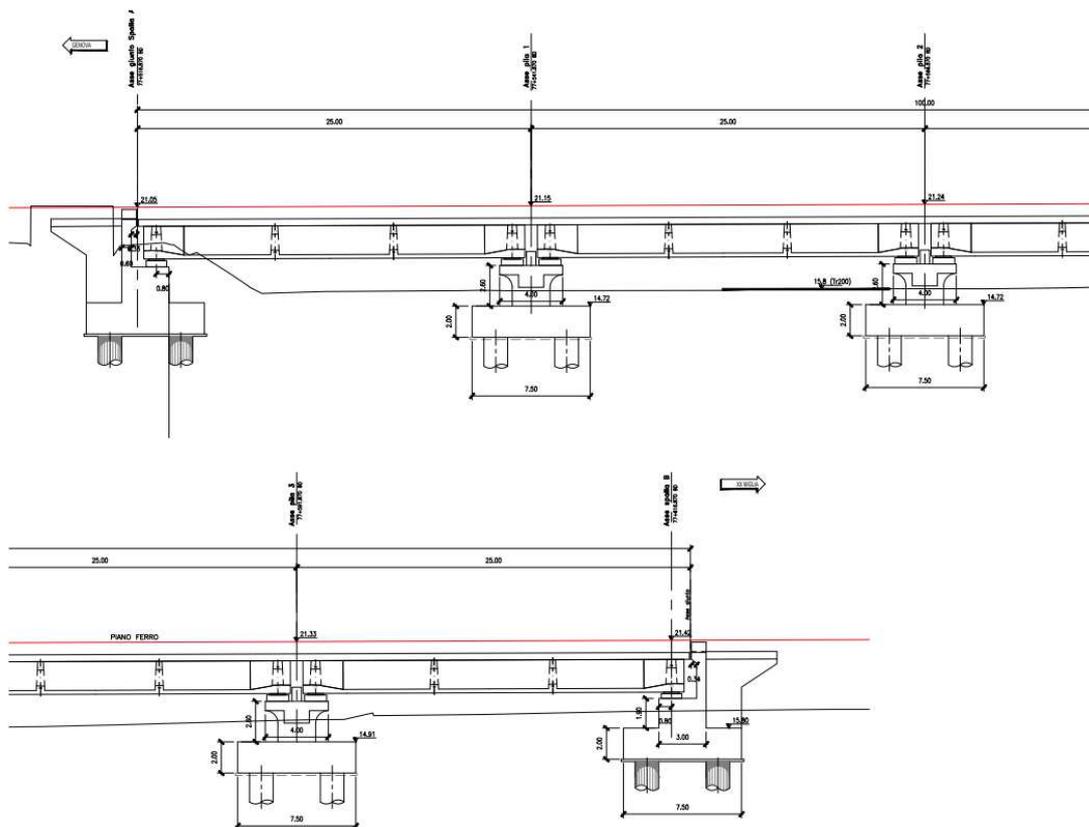


Figura 2: prospetto longitudinale

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04**

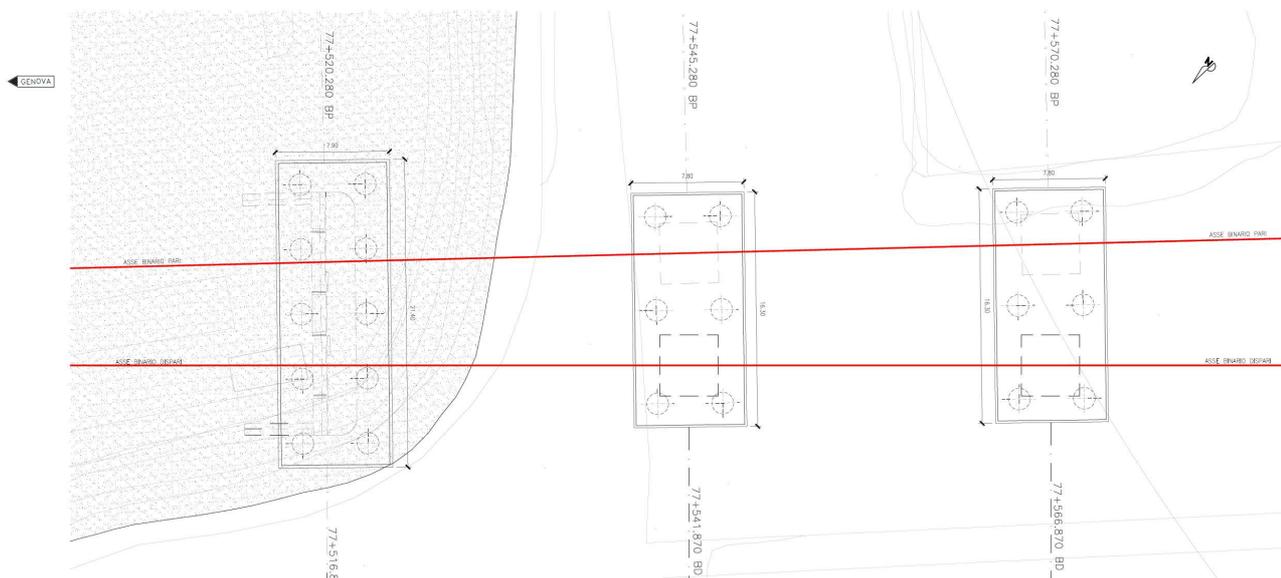
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	6 di 64

La luce di 25.00 m viene superata mediante impalcato in cemento armato precompresso. Ciascun impalcato a singolo binario da 25.00 m 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 anch'essi e una soletta superiore in C.A. gettata in opera, mentre quelli a doppio binario sono realizzati con la stessa modalità fatta eccezione per il numero di travi che passa a quattro. Ogni impalcato è caratterizzato da un armamento di tipo tradizionale su ballast.

La spalla A ha un plinto di fondazione a pianta rettangolare di dimensioni pari a 7.50 x 21.00 m e spessore 2.00 m. Le elevazioni sono caratterizzate da un muro frontale di testata spesso 3.00 m e alto 2.30, un muro paraghia spesso 0.60 m e due muri andatori di spessore pari a 0.90 m. La spalla è fondata su dieci pali  $\phi 1500$  di lunghezza 24 m.

La spalla B ha un plinto di fondazione a pianta rettangolare di dimensioni pari a 7.50 x 21.00 m e spessore 2.00 m. Le elevazioni sono caratterizzate da un muro frontale di testata spesso 3.00 m e alto 1.90, un muro paraghia spesso 0.60 m e due muri andatori di spessore pari a 0.90 m. La spalla è fondata su dieci pali  $\phi 1500$  di lunghezza 24 m.

Le pile del viadotto sono composte da due fusti distinti a sezione rettangolare di dimensioni 230x240 cm in cui gli angoli sono raccordati da un tratto circolare di raggio 40 cm. Il plinto di fondazione, comune ai due fusti, ha le dimensioni in pianta di 16.00x7.50m ed un'altezza di 2.00m. Il plinto di fondazione poggia su una palificata costituita da 6 pali  $\phi 1500$  di lunghezza 26 m.



PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	7 di 64



**Figura 2: pianta fondazioni**

**PROGETTO DEFINITIVO**
**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
 fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	8 di 64

### 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

Viadotto su Torrente Varatello da Km 77+389 a Km 77+619																						
Relazione descrittiva viadotto VI04	-	I	V	0	1	0	0	D	0	9	R	H	V	I	0	4	0	0	0	0	1	B
Relazione di calcolo spalla A	-	I	V	0	1	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	4	0	4	0	0	1	A
Relazione di calcolo spalla B	-	I	V	0	1	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	4	0	4	0	0	2	A
Relazione di calcolo pila tipo	-	I	V	0	1	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	4	0	5	0	0	1	A
Relazione geotecnica e di calcolo fondazioni	-	I	V	0	1	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	4	0	5	0	0	2	A
Relazione di calcolo impalcato c.a.p.binario singolo L=25m (P3-SPB)	-	I	V	0	1	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	4	0	8	0	0	2	A
Relazione di calcolo opere provvisionali	-	I	V	0	1	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	4	0	3	0	0	1	A
Carpenteria impalcato c.a.p. binario singolo L=25m (P3-SPB)	1:50	I	V	0	1	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	4	0	8	0	0	1	B
Carpenteria spalla A TAV.1/2	1:50	I	V	0	1	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	4	0	4	0	0	1	A
Carpenteria spalla A TAV.2/2	-	I	V	0	1	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	4	0	4	0	0	2	A
Carpenteria spalla B TAV.1/2	1:50	I	V	0	1	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	4	0	4	0	0	3	A
Carpenteria spalla B TAV.2/2	-	I	V	0	1	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	4	0	4	0	0	4	A
Carpenteria pila P1	1:50	I	V	0	1	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	4	0	5	0	0	1	A
Carpenteria pila P2	1:50	I	V	0	1	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	4	0	5	0	0	2	A
Carpenteria pila P3	1:50	I	V	0	1	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	4	0	5	0	0	3	A
Opere provvisionali	-	I	V	0	1	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	4	0	3	0	0	1	A
Particolari, dettagli e finiture	varie	I	V	0	1	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	4	0	0	0	0	1	B
Schema di vincolo appoggi e giunti	-	I	V	0	1	0	0	D	0	9	D	Z	V	I	0	4	0	7	0	0	1	A
Prospetto longitudinale BINARIO DISPARI	1:100	I	V	0	1	0	0	D	0	9	A	Z	V	I	0	4	0	0	0	0	1	B
Prospetto longitudinale BINARIO PARI	1:100	I	V	0	1	0	0	D	0	9	A	Z	V	I	0	4	0	0	0	0	2	B
Planimetria generale dell'intervento	1:200	I	V	0	1	0	0	D	0	9	P	9	V	I	0	4	0	0	0	0	1	B
Planimetria opere di fondazione	1:100	I	V	0	1	0	0	D	0	9	P	A	V	I	0	4	0	3	0	0	1	B
Planimetria scavi ed opere provvisionali	1:100	I	V	0	1	0	0	D	0	9	P	A	V	I	0	4	0	3	0	0	2	B
Carpenteria trave in c.a.p.	varie	I	V	0	1	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	4	0	8	0	0	1	B

**PROGETTO DEFINITIVO**
**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
 fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	9 di 64

## 4 MATERIALI

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

### 4.1 Calcestruzzo per pali

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

### 4.2 Acciaio per c.a.

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

**PROGETTO DEFINITIVO**
**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
 fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	10 di 64

## 5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

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

n. verticali	2									
z <sub>w</sub> (m pc)	5									
Unità	Descrizione	Prof top m TOP*	γ kN/mc	φ °	c' kPa	cu kPa	E MPa	Vs m/s	v	
-	-									
2	Ghiaia eterometrica sabbiosa localmente limosa, sabbia e ghiaia in matrice limosa, da mediamente addensata a addensata, con presenza di clasti poligenici	0	19.5	31	0	-	30	220	0.3	
3	Limo da debolmente sabbioso o limo argilloso sabbioso, localmente ghiaioso, da mediamente consistente a consistente	6.5	19	26	10	100	20	220	0.3	
CMV	Conglomerati costituiti prevalentemente da sabbia limosa debolmente ghiaiosa e limo sabbioso debolmente ghiaioso, molto addensati	11.5	20.5	33	5	-	40	400	0.3	
ORV	Argilla limosa e limo argilloso, debolmente sabbioso, consistente e con intercalazioni sabbiose	28	20	31	15	140	>50	600	0.25	
* m da testa palo										
Cat. Sottosuolo	C		MASW15							

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione geotecnica e di calcolo delle</b> <b>fondazioni – VI04</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0405 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  $\gamma_F$ .

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  $\xi_3$ , 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  $\gamma_R$  (cfr. Figura 3- Tab. 6.4.II di NTC18).

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

Figura 2. Fattori di correlazione per la determinazione della resistenza caratteristica per le fondazioni su pali

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione geotecnica e di calcolo delle</b> <b>fondazioni – VI04</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0405 002	REV. A

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

<sup>(1)</sup> 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  $\xi_3$ , 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  $\gamma_R$  (cfr. Figura 3- Tab. 6.4.VI di NTC18).

<b>Coefficiente parziale (R3)</b> $\gamma_T = 1,3$
---

**Figura 4. Coefficienti parziali per le fondazioni su pali – carico trasversale**

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

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

### 6.3 Criteri di calcolo della capacità portante verticale

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

#### Determinazione della resistenza di progetto a compressione

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

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

dove:

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI04</b></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>VI0405 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>13 di 64</p>

$Q_{ll}$  = portata laterale limite,

$Q_{bl}$  = portata di base limite,

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

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

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

### Portata laterale

La portata laterale limite viene valutata con la seguente relazione:

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

dove:

$D$  = diametro palo,

$\tau_i$  = 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).

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

$k$  = coefficiente di pressione laterale = 0.5;

$\phi$  = angolo di resistenza al taglio.

### Depositi coesivi

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

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI04</b></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>VI0405 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>14 di 64</p>

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

Dove:

$c_u$  = resistenza al taglio in condizioni non drenate

$\alpha$  = 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:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione geotecnica e di calcolo delle</b> <b>fondazioni – VI04</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0405 002	REV. A

$A_p$  = area della base del palo,

$q_{bl}$  = portata limite specifica di base.

Depositi incoerenti

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

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

essendo:

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

$\sigma'_v$  = tensione verticale efficace;

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

**Tabella 1 – Valori di  $q_{blim}$  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];

$\sigma_v$  = 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><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione geotecnica e di calcolo delle</b> <b>fondazioni – VI04</b></p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0405 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 16 di 64</p>

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

dove:

UCS = resistenza a compressione monoassiale della roccia

$p_a$  = pressione atmosferica

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

### Determinazione della resistenza di progetto a trazione

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

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

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

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione geotecnica e di calcolo delle</b> <b>fondazioni – VI04</b></p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0405 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 17 di 64</p>

$\Phi = \arctg (D/i)$  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.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	18 di 64

Palo corto:

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

Palo intermedio:

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

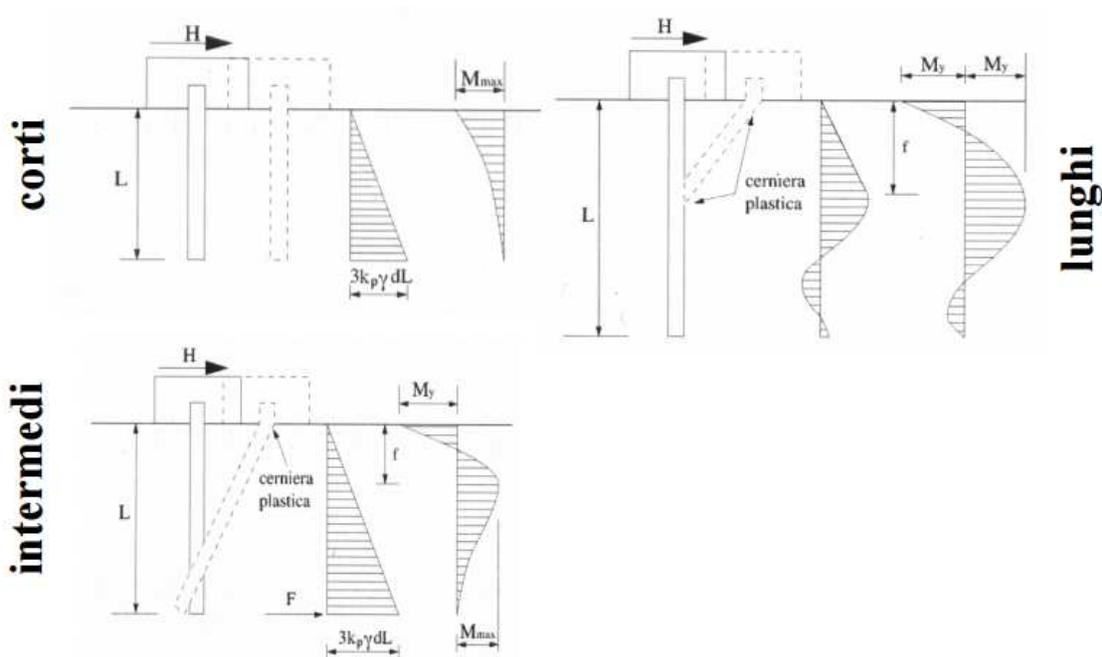
Palo lungo:

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

In terreni incoerenti si ha:

Dove, oltre ai termini già definiti,

$k_p$  = coefficiente di spinta passiva.



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

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

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

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

dove:

**PROGETTO DEFINITIVO**
**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
 fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	19 di 64

$R_d$  = resistenza di progetto del palo

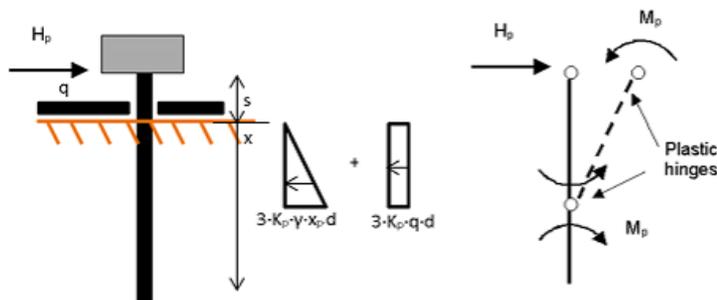
$H$  = valore limite in funzione del meccanismo attivato (ridotto per effetto gruppo);

$\xi$  = fattore di correlazione in funzione delle verticali indagate;

$\gamma_T$  = 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.



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

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

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

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

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

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI04</b></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>VI0405 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>20 di 64</p>

## 7 CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALE

### 7.1 Criteri di verifica generali

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

#### Verifiche SLU

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

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

#### Verifiche SLE

Le verifiche a fessurazione sono state condotte considerando:

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

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

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

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

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

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

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

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione geotecnica e di calcolo delle</b> <b>fondazioni – VI04</b></p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0405 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 21 di 64</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 – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	22 di 64

## 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	-6668	-371	43744	-2286	-4794	-5
RARA02	-5837	-364	39099	-2314	-1278	-5
RARA03	-7499	-321	41284	-2498	-8355	-4
RARA04	-7167	-352	42757	-2366	-6927	-4
RARA05	-3790	-424	32186	-708	6251	-5
RARA06	-5120	-522	36072	-296	11947	-6
RARA07	-6093	-348	41417	-2114	3088	-4
RARA08	-5428	-342	37701	-2137	228	-4
RARA09	-6757	-308	39449	-2283	5911	-4

#### SPALLA FISSA SLU-SLV

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLU01	-9290	-550	60554	-3011	-7572	-7
SLU02	-8085	-541	53818	-3052	-2474	-7
SLU03	-10495	-478	56986	-3318	-12735	-6
SLU04	-9049	-771	59257	-2077	-6556	-10
SLU05	-8085	-764	53868	-2110	-2477	-9
SLU06	-10013	-713	56402	-2323	-10686	-9
SLU07	-9290	-550	60554	-3011	-7573	-7
SLU08	-5116	-636	43798	-687	8443	-8
SLV01	-17068	-2529	33276	4095	-27360	789
SLV02	-17068	-2529	35362	3965	-26501	789
SLV03	-17068	2483	33276	-9313	-27360	-2362
SLV04	-17068	2483	35362	-9444	-26501	-2362
SLV05	8669	-2529	33276	4095	36012	2361
SLV06	8669	-2529	35362	3965	36870	2361
SLV07	8669	2483	33276	-9313	36012	-790
SLV08	8669	2483	35362	-9444	36870	-790
SLV09	-8060	-8377	33276	19739	-5180	5016

**PROGETTO DEFINITIVO**
**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
 fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	23 di 64

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLV10	-8060	-8377	35362	19608	-4321	5016
SLV11	-339	-8377	33276	19739	13832	5487
SLV12	-339	-8377	35362	19608	14690	5487
SLV13	-8060	8330	33276	-24956	-5180	-5488
SLV14	-8060	8330	35362	-25087	-4321	-5488
SLV15	-339	8330	33276	-24956	13832	-5016
SLV16	-339	8330	35362	-25087	14690	-5016
SLV17	-8060	-2529	30844	4248	-6182	1339
SLV18	-8060	2483	30844	-9160	-6182	-1812
SLV19	-339	-2529	30844	4248	12830	1811
SLV20	-339	2483	30844	-9160	12830	-1340
SLV21	-8060	-2529	37795	3812	-3319	1339
SLV22	-8060	2483	37795	-9597	-3319	-1812
SLV23	-339	-2529	37795	3812	15692	1811
SLV24	-339	2483	37795	-9597	15692	-1340

**SPALLA MOBILE SLE**

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
RARA01	5837	-362	43788	-2324	1249	4
RARA02	5837	-365	39099	-2313	1278	5
RARA03	5837	-303	41369	-2572	1264	4
RARA04	5837	-338	42826	-2426	1255	4
RARA05	3790	-424	32186	-709	-6251	5
RARA06	3790	-507	36141	-357	-6275	6
RARA07	5428	-340	41452	-2145	-251	4
RARA08	5428	-343	37701	-2135	-228	4
RARA09	5428	-293	39517	-2343	-239	4

**SPALLA MOBILE SLU-SLV**

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLU01	8085	-537	60617	-3066	2432	7
SLU02	8085	-541	53818	-3049	2474	7
SLU03	8085	-452	57110	-3426	2454	6

**PROGETTO DEFINITIVO**
**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
 fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	24 di 64

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLU04	8085	-761	59308	-2122	2444	9
SLU05	8085	-764	53868	-2109	2478	9
SLU06	8085	-693	56502	-2410	2461	9
SLU07	8085	-537	60617	-3066	2432	7
SLU08	5116	-636	43798	-689	-8443	8
SLV01	-2949	-2528	33285	4088	-21974	-2010
SLV02	-2949	-2528	35371	3957	-22832	-2010
SLV03	-2949	2485	33285	-9320	-21974	1141
SLV04	-2949	2485	35371	-9451	-22832	1141
SLV05	11348	-2528	33285	4088	13322	-1141
SLV06	11348	-2528	35371	3957	12463	-1141
SLV07	11348	2485	33285	-9320	13322	2010
SLV08	11348	2485	35371	-9451	12463	2010
SLV09	2055	-8375	33285	19731	-9620	-5382
SLV10	2055	-8375	35371	19600	-10479	-5382
SLV11	6344	-8375	33285	19731	968	-5121
SLV12	6344	-8375	35371	19600	110	-5121
SLV13	2055	8332	33285	-24964	-9620	5122
SLV14	2055	8332	35371	-25095	-10479	5122
SLV15	6344	8332	33285	-24964	968	5382
SLV16	6344	8332	35371	-25095	110	5382
SLV17	2055	-2528	30852	4241	-8619	-1706
SLV18	2055	2485	30852	-9168	-8619	1445
SLV19	6344	-2528	30852	4241	1970	-1445
SLV20	6344	2485	30852	-9168	1970	1706
SLV21	2055	-2528	37803	3805	-11481	-1706
SLV22	2055	2485	37803	-9604	-11481	1445
SLV23	6344	-2528	37803	3805	-892	-1445
SLV24	6344	2485	37803	-9604	-892	1706

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 – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	25 di 64

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

con:

E = modulo di elasticità del palo = 30 MN

 $J_{\text{palo}} =$  momento d'inerzia del palo = 0.249 m<sup>4</sup>

 K= coefficiente di Winkler = E'/D = 25 MN/m<sup>3</sup>

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	43744	3325	23465	6668	371	6679	5
RARA02	39099	3334	17622	5837	364	5848	5
RARA03	41284	3396	29353	7499	321	7506	4
RARA04	42757	3352	26995	7167	352	7176	4
RARA05	32186	1896	16863	3790	424	3814	5
RARA06	36072	1757	26282	5120	522	5146	6
RARA07	41417	3087	20147	6093	348	6102	4
RARA08	37701	3095	15426	5428	342	5438	4
RARA09	39449	3145	24832	6757	308	6764	4

**SPALLA FISSA SLU-SLV**

Load	N	Mx	My	Vx	Vy	V	Mt
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
SLU01	60554	4552	33584	9290	550	9306	7
SLU02	53818	4566	25111	8085	541	8103	7
SLU03	56986	4656	42121	10495	478	10506	6
SLU04	59257	4237	31893	9049	771	9082	10
SLU05	53868	4248	25115	8085	764	8121	9
SLU06	56402	4320	38723	10013	713	10038	9
SLU07	60554	4552	33585	9290	550	9306	7
SLU08	43798	2468	22769	5116	636	5156	8

**PROGETTO DEFINITIVO**
**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
 fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	26 di 64

SLV01	33276	11178	75150	17068	2529	17254	789
SLV02	35362	11047	74291	17068	2529	17254	789
SLV03	33276	16265	75150	17068	2483	17248	2362
SLV04	35362	16396	74291	17068	2483	17248	2362
SLV05	33276	11178	60285	8669	2529	9031	2361
SLV06	35362	11047	61144	8669	2529	9031	2361
SLV07	33276	16265	60285	8669	2483	9018	790
SLV08	35362	16396	61144	8669	2483	9018	790
SLV09	33276	43194	27748	8060	8377	11625	5016
SLV10	35362	43063	26889	8060	8377	11625	5016
SLV11	33276	43194	14780	339	8377	8384	5487
SLV12	35362	43063	15639	339	8377	8384	5487
SLV13	33276	48281	27748	8060	8330	11591	5488
SLV14	35362	48412	26889	8060	8330	11591	5488
SLV15	33276	48281	14780	339	8330	8337	5016
SLV16	35362	48412	15639	339	8330	8337	5016
SLV17	30844	11330	28749	8060	2529	8448	1339
SLV18	30844	16112	28749	8060	2483	8434	1812
SLV19	30844	11330	13779	339	2529	2552	1811
SLV20	30844	16112	13779	339	2483	2506	1340
SLV21	37795	10894	25887	8060	2529	8448	1339
SLV22	37795	16549	25887	8060	2483	8434	1812
SLV23	37795	10894	16641	339	2529	2552	1811
SLV24	37795	16549	16641	339	2483	2506	1340

**SPALLA MOBILE SLE**

Load	N	Mx	My	Vx	Vy	V	Mt
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
RARA01	43788	3337	17593	5837	362	5848	4
RARA02	39099	3334	17623	5837	365	5849	5
RARA03	41369	3421	17608	5837	303	5845	4
RARA04	42826	3372	17599	5837	338	5847	4
RARA05	32186	1896	16862	3790	424	3814	5
RARA06	36141	1777	16887	3790	507	3824	6
RARA07	41452	3098	15449	5428	340	5438	4
RARA08	37701	3095	15426	5428	343	5439	4
RARA09	39517	3165	15437	5428	293	5436	4

**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	27 di 64

**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
 fondazioni – VI04**
**SPALLA MOBILE SLU-SLV**

Load	N	Mx	My	Vx	Vy	V	Mt
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
SLU01	60617	4571	25070	8085	537	8103	7
SLU02	53818	4565	25112	8085	541	8103	7
SLU03	57110	4693	25092	8085	452	8098	6
SLU04	59308	4252	25082	8085	761	8121	9
SLU05	53868	4247	25116	8085	764	8121	9
SLU06	56502	4349	25099	8085	693	8115	9
SLU07	60617	4571	25070	8085	537	8103	7
SLU08	43798	2469	22769	5116	636	5156	8
SLV01	33285	11165	30231	2949	2528	3884	2010
SLV02	35371	11034	31090	2949	2528	3884	2010
SLV03	33285	16277	30231	2949	2485	3856	1141
SLV04	35371	16408	31090	2949	2485	3856	1141
SLV05	33285	11165	45096	11348	2528	11626	1141
SLV06	35371	11034	44237	11348	2528	11626	1141
SLV07	33285	16277	45096	11348	2485	11617	2010
SLV08	35371	16408	44237	11348	2485	11617	2010
SLV09	33285	43182	15374	2055	8375	8624	5382
SLV10	35371	43051	16233	2055	8375	8624	5382
SLV11	33285	43182	18731	6344	8375	10507	5121
SLV12	35371	43051	17873	6344	8375	10507	5121
SLV13	33285	48294	15374	2055	8332	8582	5122
SLV14	35371	48425	16233	2055	8332	8582	5122
SLV15	33285	48294	18731	6344	8332	10472	5382
SLV16	35371	48425	17873	6344	8332	10472	5382
SLV17	30852	11318	14372	2055	2528	3257	1706
SLV18	30852	16125	14372	2055	2485	3224	1445
SLV19	30852	11318	19733	6344	2528	6829	1445
SLV20	30852	16125	19733	6344	2485	6813	1706
SLV21	37803	10882	17234	2055	2528	3257	1706
SLV22	37803	16561	17234	2055	2485	3224	1445
SLV23	37803	10882	18655	6344	2528	6829	1445
SLV24	37803	16561	18655	6344	2485	6813	1706

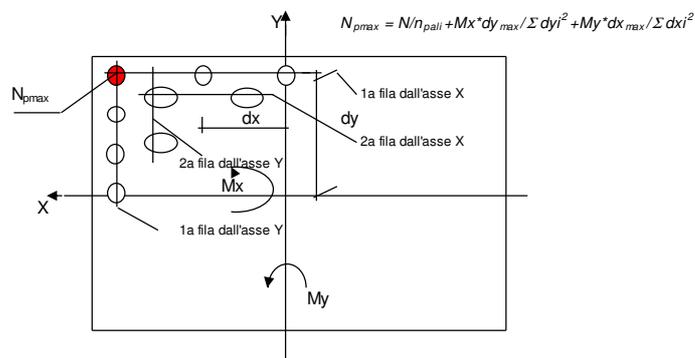
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	28 di 64

## 8.2 Verifica di portata verticale

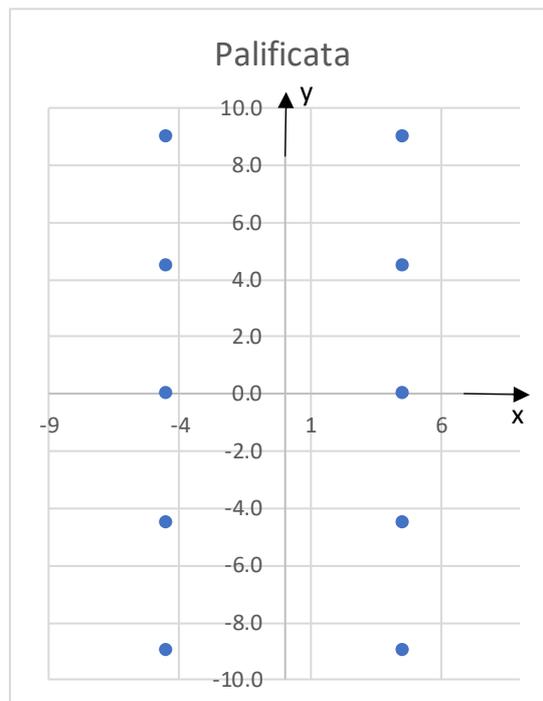
Nota la disposizione geometrica dei pali di fondazione, si può determinare l'azione verticale agente sul singolo palo tramite la seguente distribuzione elastica.



## SPALLA FISSA E MOBILE – DISTRIBUZIONE PALI

### Distribuzione elastica delle sollecitazioni nei pali

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



**PROGETTO DEFINITIVO**
**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
 fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	29 di 64

**SPALLA FISSA SLE**

Load Comb	AZIONE VERTICALE NEI PALI [kN]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MAX	MIN
RARA01	3779	4822	3816	4859	3853	4896	3890	4933	3927	4970	4970	3779
RARA02	3444	4227	3481	4264	3518	4301	3555	4339	3592	4376	4376	3444
RARA03	3401	4705	3438	4743	3476	4781	3514	4818	3552	4856	4856	3401
RARA04	3601	4801	3639	4838	3676	4876	3713	4913	3750	4950	4950	3601
RARA05	2802	3551	2823	3572	2844	3593	2865	3614	2886	3635	3635	2802
RARA06	2984	4152	3004	4172	3023	4191	3043	4211	3062	4230	4230	2984
RARA07	3625	4521	3660	4555	3694	4589	3728	4624	3763	4658	4658	3625
RARA08	3359	4044	3393	4078	3427	4113	3462	4147	3496	4182	4182	3359
RARA09	3323	4427	3358	4462	3393	4497	3428	4532	3463	4567	4567	3323
	3779	4822	3816	4859	3853	4896	3890	4933	3927	4970	4970	3779
	2802	3551	2823	3572	2844	3593	2865	3614	2886	3635	3635	2802

**SPALLA FISSA SLU-SLV**

Load Comb	AZIONE VERTICALE NEI PALI [kN]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MAX	MIN
SLU01	5208	6700	5258	6751	5309	6802	5360	6852	5410	6903	6903	5208
SLU02	4722	5838	4773	5889	4824	5940	4874	5991	4925	6041	6041	4722
SLU03	4659	6531	4711	6583	4763	6635	4814	6686	4866	6738	6738	4659
SLU04	5123	6540	5170	6587	5217	6634	5264	6681	5311	6729	6729	5123
SLU05	4734	5851	4782	5898	4829	5945	4876	5992	4923	6039	6039	4734
SLU06	4684	6405	4732	6453	4780	6501	4828	6549	4876	6597	6597	4684
SLU07	5208	6701	5258	6751	5309	6802	5360	6852	5410	6903	6903	5208
SLU08	3819	4831	3846	4858	3874	4886	3901	4913	3929	4941	4941	3819
SLV01	1409	4749	1533	4873	1658	4998	1782	5122	1906	5246	5246	1409
SLV02	1640	4942	1763	5064	1885	5187	2008	5310	2131	5433	5433	1640
SLV03	1296	4636	1477	4817	1658	4998	1838	5178	2019	5359	5359	1296
SLV04	1521	4823	1703	5005	1885	5187	2067	5369	2250	5551	5551	1521
SLV05	1740	4419	1864	4543	1988	4667	2112	4792	2236	4916	4916	1740
SLV06	1932	4649	2055	4772	2177	4895	2300	5018	2423	5140	5140	1932
SLV07	1627	4306	1807	4487	1988	4667	2169	4848	2349	5029	5029	1627
SLV08	1813	4531	1995	4713	2177	4895	2360	5077	2542	5259	5259	1813
SLV09	1751	2984	2231	3464	2711	3944	3191	4424	3671	4904	4904	1751
SLV10	1982	3177	2460	3655	2939	4134	3417	4612	3896	5091	5091	1982
SLV11	2039	2696	2519	3176	2999	3656	3479	4136	3959	4616	4616	2039
SLV12	2232	2927	2710	3405	3189	3884	3667	4362	4146	4841	4841	2232
SLV13	1638	2871	2175	3408	2711	3944	3247	4481	3784	5017	5017	1638
SLV14	1863	3058	2401	3596	2939	4134	3477	4672	4014	5210	5210	1863
SLV15	1926	2583	2463	3120	2999	3656	3536	4193	4072	4729	4729	1926
SLV16	2113	2808	2651	3346	3189	3884	3727	4422	4264	4960	4960	2113
SLV17	2194	3471	2320	3597	2445	3723	2571	3849	2697	3975	3975	2194
SLV18	2087	3365	2266	3544	2445	3723	2625	3902	2804	4081	4081	2087
SLV19	2526	3139	2652	3265	2778	3391	2904	3516	3030	3642	3642	2526
SLV20	2420	3032	2599	3212	2778	3391	2957	3570	3136	3749	3749	2420
SLV21	2962	4113	3083	4234	3204	4355	3325	4476	3446	4597	4597	2962
SLV22	2836	3987	3020	4171	3204	4355	3388	4539	3572	4722	4722	2836
SLV23	3168	3907	3289	4028	3410	4149	3531	4270	3652	4391	4391	3168
SLV24	3042	3782	3226	3965	3410	4149	3594	4333	3777	4517	4517	3042
	5208	6701	5258	6751	5309	6802	5360	6852	5410	6903	6903	5208
	1296	2583	1477	3120	1658	3391	1782	3516	1906	3642	3642	1296

**PROGETTO DEFINITIVO**
**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
 fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	30 di 64

**SPALLA MOBILE SLE**

Load Comb	AZIONE VERTICALE NEI PALI [kN]										MAX	MIN
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
RARA01	3914	4696	3951	4733	3988	4770	4025	4807	4062	4844	4844	3914
RARA02	3444	4227	3481	4264	3518	4302	3555	4339	3592	4376	4376	3444
RARA03	3670	4452	3708	4490	3746	4528	3784	4566	3822	4604	4604	3670
RARA04	3817	4599	3854	4636	3892	4674	3929	4711	3966	4749	4749	3817
RARA05	2802	3551	2823	3572	2844	3593	2865	3614	2886	3635	3635	2802
RARA06	3199	3950	3219	3970	3239	3989	3259	4009	3278	4029	4029	3199
RARA07	3733	4420	3768	4454	3802	4489	3836	4523	3871	4557	4557	3733
RARA08	3359	4044	3393	4078	3427	4113	3462	4147	3496	4182	4182	3359
RARA09	3538	4224	3573	4260	3609	4295	3644	4330	3679	4365	4365	3538
	3914	4696	3951	4733	3988	4770	4025	4807	4062	4844	4844	3914
	2802	3551	2823	3572	2844	3593	2865	3614	2886	3635	3635	2802

**SPALLA MOBILE SLU-SLV**

Load Comb	AZIONE VERTICALE NEI PALI [kN]										MAX	MIN
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
SLU01	5403	6517	5454	6568	5505	6619	5555	6670	5606	6720	6720	5403
SLU02	4722	5838	4773	5889	4824	5940	4874	5991	4925	6041	6041	4722
SLU03	5049	6164	5101	6216	5153	6269	5206	6321	5258	6373	6373	5049
SLU04	5279	6394	5326	6441	5373	6488	5421	6535	5468	6583	6583	5279
SLU05	4734	5851	4781	5898	4829	5945	4876	5992	4923	6039	6039	4734
SLU06	4996	6111	5044	6160	5092	6208	5141	6256	5189	6305	6305	4996
SLU07	5403	6517	5454	6568	5505	6619	5555	6670	5606	6720	6720	5403
SLU08	3819	4831	3846	4858	3874	4886	3901	4913	3929	4941	4941	3819
SLV01	2409	3752	2533	3876	2657	4000	2781	4124	2905	4248	4248	2409
SLV02	2601	3983	2724	4105	2846	4228	2969	4351	3091	4473	4473	2601
SLV03	2295	3639	2476	3819	2657	4000	2838	4181	3018	4362	4362	2295
SLV04	2482	3863	2664	4046	2846	4228	3028	4410	3211	4593	4593	2482
SLV05	2078	4083	2202	4207	2326	4331	2450	4455	2575	4579	4579	2078
SLV06	2309	4275	2431	4397	2554	4520	2677	4643	2799	4765	4765	2309
SLV07	1965	3969	2146	4150	2326	4331	2507	4512	2688	4692	4692	1965
SLV08	2189	4155	2372	4338	2554	4520	2736	4702	2919	4885	4885	2189
SLV09	2027	2711	2507	3190	2987	3670	3467	4150	3946	4630	4630	2027
SLV10	2220	2941	2698	3419	3176	3898	3655	4376	4133	4854	4854	2220
SLV11	1953	2785	2432	3265	2912	3745	3392	4225	3872	4704	4704	1953
SLV12	2183	2978	2662	3456	3140	3934	3618	4413	4097	4891	4891	2183
SLV13	1914	2597	2450	3134	2987	3670	3523	4207	4060	4743	4743	1914
SLV14	2100	2822	2638	3360	3176	3898	3714	4436	4252	4974	4974	2100
SLV15	1839	2672	2376	3208	2912	3745	3449	4281	3985	4818	4818	1839
SLV16	2064	2858	2602	3396	3140	3934	3678	4472	4216	5010	5010	2064
SLV17	2514	3153	2640	3279	2766	3405	2892	3530	3017	3656	3656	2514
SLV18	2408	3046	2587	3225	2766	3405	2945	3584	3124	3763	3763	2408
SLV19	2395	3272	2521	3398	2647	3524	2772	3650	2898	3775	3775	2395
SLV20	2288	3165	2468	3345	2647	3524	2826	3703	3005	3882	3882	2288
SLV21	3156	3922	3276	4042	3397	4163	3518	4284	3639	4405	4405	3156
SLV22	3029	3795	3213	3979	3397	4163	3581	4347	3765	4531	4531	3029
SLV23	3124	3953	3245	4074	3366	4195	3487	4316	3608	4437	4437	3124
SLV24	2998	3827	3182	4011	3366	4195	3550	4379	3734	4563	4563	2998
	5403	6517	5454	6568	5505	6619	5555	6670	5606	6720	6720	5403
	1839	2597	2146	3134	2326	3405	2450	3530	2575	3656	3656	1839

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI04</b></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>VI0405 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>31 di 64</p>

La massima azione di compressione è pari a 6955 kN.

Non vi è trazione.

La massima azione in esercizio è pari a 4675 kN.

Di seguito si riporta il calcolo delle portate considerando una lunghezza del palo di 24 m da intradosso platea di fondazione.

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	32 di 64

Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04

**Portata verticale palo singolo - VI04** quote da p.c. a +16.80 m slm

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

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

$$z_{tp} := 3\text{m}$$

$$L_p := 24\text{m}$$

$$z_w := 5\text{m}$$

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

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

$$z_1 := 0\text{m} \quad z_2 := 3\text{m} \quad z_3 := 9.5\text{m} \quad z_4 := 14.5\text{m}$$

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

$$\gamma_t(z) := \begin{cases} 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 19.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 20.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

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

$$\phi(z) := \begin{cases} 28^\circ & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 31^\circ & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 26^\circ & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 33^\circ & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

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

**PROGETTO DEFINITIVO**
**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
 fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	33 di 64

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

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

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

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

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

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

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

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

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	34 di 64

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

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

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

$$Q_{dC}(z_{bp}) = 7.083 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

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

$$Q_{dSLE}(z_{bp}) = 7.558 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

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

$$Q_{dT}(z_{bp}) = 4.361 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Verifica a compressione

$$Ed = 6903 \text{ kN} < Rd = 7083 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

Verifica a trazione

Non vi è trazione

Verifica in esercizio

$$Ed = 4970 \text{ kN} < Rd = 7558 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione geotecnica e di calcolo delle</b> <b>fondazioni – VI04</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0405 002	REV. A

### 8.3 Verifica di portata trasversale

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

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

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

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

$V_x/\text{palo}$  = taglio agente su palo singolo in direzione x (longitudinale)

$V_y/\text{palo}$  = taglio agente su palo singolo in direzione y (trasversale)

$V/\text{palo}$  = taglio agente su palo singolo

$n_{p,\text{tot}}$  = numero totale di pali = 10 per spalla fissa e 10 per spalla mobile

$M_t$  = momento torcente

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

$L$  = distanza tra i pali d'angolo in direzione trasversale = 18 m per spalla fissa e 18 m per spalla mobile

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

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

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

#### SPALLA FISSA SLE

	$V_x/\text{palo}$ kN	$V_y/\text{palo}$ kN	$V/\text{palo}$ kN
RARA01	667	37	668
RARA02	584	36	585
RARA03	750	32	751
RARA04	717	35	718
RARA05	379	42	381
RARA06	512	52	515
RARA07	609	35	610
RARA08	543	34	544
RARA09	676	31	676
		max	751
		min	381

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	36 di 64

**SPALLA FISSA SLU-SLV**

	Vx/palo kN	Vy/palo kN	V/palo kN
SLU01	929	55	931
SLU02	809	54	810
SLU03	1050	48	1051
SLU04	905	77	908
SLU05	809	76	812
SLU06	1001	71	1004
SLU07	929	55	931
SLU08	512	64	516
SLV01	1709	254	1728
SLV02	1709	254	1728
SLV03	1714	251	1732
SLV04	1714	251	1732
SLV05	874	256	911
SLV06	874	256	911
SLV07	869	249	904
SLV08	869	249	904
SLV09	821	844	1178
SLV10	821	844	1178
SLV11	51	844	846
SLV12	51	844	846
SLV13	823	840	1176
SLV14	823	840	1176
SLV15	49	839	841
SLV16	49	839	841
SLV17	810	255	849
SLV18	812	251	849
SLV19	39	255	258
SLV20	38	250	253
SLV21	810	255	849
SLV22	812	251	849
SLV23	39	255	258
SLV24	38	250	253
		max	1732
		min	253

**SPALLA MOBILE SLE**

	Vx/palo kN	Vy/palo kN	V/palo kN
RARA01	584	36	585
RARA02	584	36	585
RARA03	584	30	585
RARA04	584	34	585
RARA05	379	42	381
RARA06	379	51	382
RARA07	543	34	544
RARA08	543	34	544
RARA09	543	29	544
		max	585
		min	381

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	37 di 64

**SPALLA MOBILE SLU-SLV**

	Vx/palo kN	Vy/palo kN	V/palo kN
SLU01	809	54	810
SLU02	809	54	810
SLU03	809	45	810
SLU04	809	76	812
SLU05	809	76	812
SLU06	809	69	811
SLU07	809	54	810
SLU08	512	64	516
SLV01	301	255	395
SLV02	301	255	395
SLV03	298	250	389
SLV04	298	250	389
SLV05	1138	254	1166
SLV06	1138	254	1166
SLV07	1141	251	1168
SLV08	1141	251	1168
SLV09	222	844	873
SLV10	222	844	873
SLV11	650	844	1065
SLV12	650	844	1065
SLV13	221	840	868
SLV14	221	840	868
SLV15	651	840	1063
SLV16	651	840	1063
SLV17	211	255	331
SLV18	210	250	327
SLV19	639	255	688
SLV20	640	251	687
SLV21	211	255	331
SLV22	210	250	327
SLV23	639	255	688
SLV24	640	251	687
		max	1168
		min	327

La massima azione di taglio è pari a 1732 kN.

Di seguito si riporta il calcolo del momento plastico.

Conservativamente si considera:

azione assiale di minima compressione pari a 1296 kN

armatura 30ø30

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

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	38 di 64

Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04

**Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare**

Diametro = 1500 (mm)

Raggio = 750 (mm)

Sforzo Normale = 1296 (kN)

**Caratteristiche dei Materiali**

calcestruzzo

C25/30

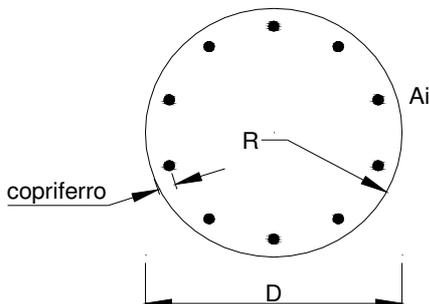
Rck = 30 (Mpa)

fck = 25 (Mpa)

$\gamma_c$  = 1.5

$\alpha_{cc}$  = 0.85

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



**Acciaio**

tipo di acciaio

B450C

fyk = 450 (Mpa)

$\gamma_s$  = 1.15

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

Es = 206000 (Mpa)

$\epsilon_{ys}$  = 0.190%

$\epsilon_{uk}$  = 10.000%

**Armature**

numero	diametro (mm)	area (mm <sup>2</sup> )	copriferro (mm)
30	φ 30	21206	91
0	φ 0	0	0
0	φ 0	0	0

Calcolo

**Momento di Plasticizzazione**

My = 5164.5 (kN m)

Inserisci

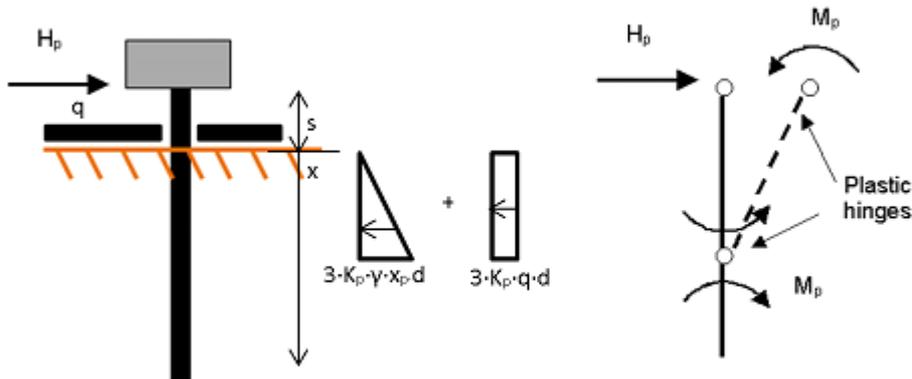
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni - VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	39 di 64

### Resistenza laterale palo muri - condizioni drenate

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



$$K_p := 3.124 \quad \gamma := 14 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad d := 1.5\text{m} \quad M_p := 5164\text{kN}\cdot\text{m} \quad q := 60\text{kPa} \quad s := 0\text{m}$$

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

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

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

$$x_p := \begin{cases} b \leftarrow 0.1\text{m} & = 3.903\text{-m} \\ \text{while } |f_{\text{Broms}}(b)| > 1\text{-kN}\cdot\text{m} \\ \quad \left| \begin{array}{l} db \leftarrow \frac{-f_{\text{Broms}}(b)}{d_{\text{Broms}}(b)} \\ b \leftarrow b + db \end{array} \right. \\ b \end{cases}$$

$$H_{\text{lim}} := \frac{3}{2} \cdot \gamma \cdot x_p^2 \cdot K_p \cdot d + q \cdot 3 \cdot K_p \cdot x_p \cdot d = 4.792 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$H_{\text{Rd}} := \frac{E \cdot H_{\text{lim}}}{\gamma_T \cdot \xi_3} = 1.735 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

$$HRd = 1735 \text{ kN} > 1732 \text{ kN}$$

La verifica è soddisfatta.

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	40 di 64

### 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.

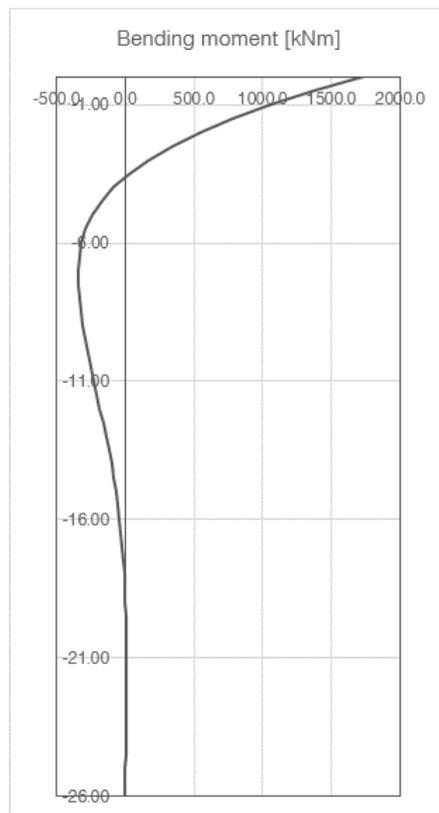
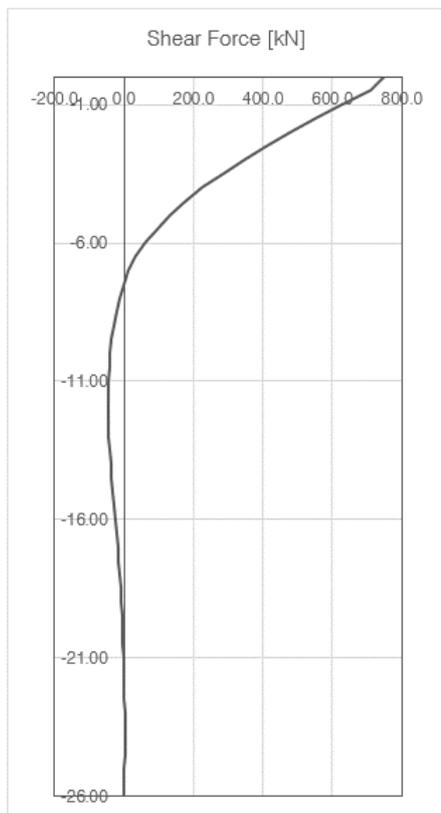
#### Calcolo delle sollecitazioni

##### SLE

$N = 2802 \text{ kN}$  (minima compressione)

$V = 751 \text{ kN}$

$M = 1734 \text{ kNm}$



**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04**

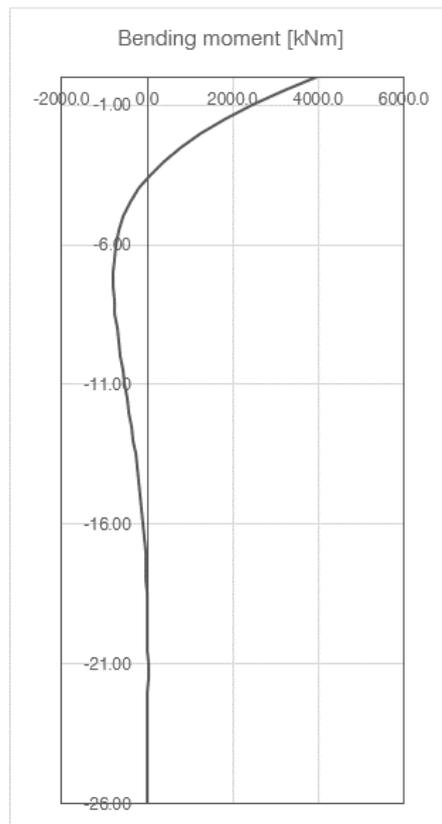
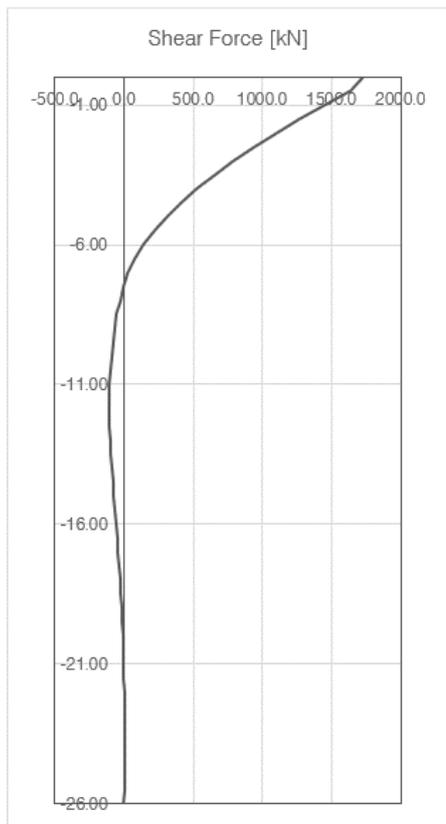
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	41 di 64

SLU-SLV

$N = 1296 \text{ kN}$  (minima compressione)

$V = 1732 \text{ kN}$

$M = 4000 \text{ kNm}$



**Verifiche**

Descrizione armatura

Tratto 1

Da testa palo a 12 m

Armatura longitudinale: 30  $\phi$  30

Spirale:  $\phi$  16 / 10

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	42 di 64

Tratto 2

Da 12 m a base palo

Armatura longitudinale: 28  $\phi$  28

Spirale:  $\phi$  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: VI04**

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 fid:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 * \beta_2$ :	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 * \beta_2$ :	0.50
Comb.Rare - Sf Limite:	360.0 MPa	

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE**

Diametro sezione:	150.0	cm
Barre circonferenza:	30 $\phi$ 30	(212.1 cm <sup>2</sup> )
Coprif.(dal baric. barre):	9.1	cm

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	43 di 64

**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	1296.00	4000.00	1732.00	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	2802.00	1734.00
---	---------	---------

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.6	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	10.8	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	1296.00	4000.00	1296.06	5167.08	1.292	33.5	---	---	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 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.)					
N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max

**PROGETTO DEFINITIVO**
**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
 fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	44 di 64

1	0.00350	75.0	0.00273	65.9	-0.00839	-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<sup>2</sup>/m [Area Staffe Minima NTC = 2.3 cm<sup>2</sup>/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<sup>2</sup>/m]

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	bw z	Ctg	Acw	Ast	
1	S	1732.00	3628.97	4274.02	130.1	108.6	2.500	1.052	16.3

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

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

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	6.70	-75.0	0.00	75.0	-78.7	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]

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00045	0.00050		0.50	0.60	0.000236 (0.000236)	485	0.114 (990.00)	1613.39

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Relazione geotecnica e di calcolo delle</b> <b>fondazioni – VI04</b></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>VI0405 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>45 di 64</p>

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

$$\sigma_c = N_{Ed} / A = 3.93 \text{ MPa} < 6.375 \text{ MP} \rightarrow \text{verifica soddisfatta}$$

$$N_{Ed} = 6903 \text{ kN}$$

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

**PROGETTO DEFINITIVO**
**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
 fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	46 di 64

## 9 ANALISI E VERIFICHE PILE

### 9.1 Sollecitazioni di verifica

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

#### PILE SLE

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
RARA01	-841	-733	27302	2198	-2524	0
RARA02	0	-729	21182	2187	0	0
RARA03	-1662	-624	25637	1872	-4986	0
RARA04	-1335	-690	27302	2069	-4006	0
RARA05	0	-848	20881	2544	0	0
RARA06	-1335	-1029	27457	3087	-4006	0
RARA07	-673	-688	25986	2064	-2019	0
RARA08	0	-685	21090	2055	0	0
RARA09	-1330	-601	24654	1803	-3989	0
RARA10	-421	-621	24014	12647	-1262	1380
RARA11	-841	-625	24014	1875	-2524	0
RARA12	-831	-566	23181	9753	-2493	2726
RARA13	-1662	-575	23138	1725	-4986	0

#### PILE SLU-SLV

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLU01	-1220	-1088	38185	3264	-3660	0
SLU02	0	-1082	29311	3247	0	0
SLU03	-2410	-930	35771	2791	-7230	0
SLU04	-976	-1532	36511	4596	-2928	0
SLU05	0	-1527	29412	4582	0	0
SLU06	-1928	-1406	34580	4217	-5784	0
SLU07	-1220	-1088	38185	3264	-3661	0
SLU08	0	-1272	28883	3817	0	0
SLU09	-610	-926	33417	18414	-1830	2001
SLU10	-1220	-932	33417	2796	-3660	0
SLU11	-1205	-847	32210	14219	-3615	3953
SLU12	-2410	-859	32148	2578	-7230	0
SLV01	4732	1411	21808	4435	13976	0

**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	47 di 64

**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
 fondazioni – VI04**

Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Comb	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
SLV02	4732	-1500	21808	-4166	13976	0
SLV03	1302	4806	21808	14469	3839	0
SLV04	-1638	4806	21808	14469	-4849	0
SLV05	-5068	-1500	21808	-4166	-14986	0
SLV06	-5068	1411	21808	4435	-14986	0
SLV07	-1638	-4896	21808	-14200	-4849	0
SLV08	1302	-4896	21808	-14200	3839	0

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

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

dove  $\lambda$  è la lunghezza caratteristica del palo ed è stata stimata mediante la seguente relazione:

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

con:

$E$  = modulo di elasticità del palo = 30 MN

$J_{\text{palo}}$  = momento d'inerzia del palo = 0.249 m<sup>4</sup>

$K$  = coefficiente di Winkler =  $E'/D$  = 25 MN/m<sup>3</sup>

$D$  = diametro del palo = 1.5 m

Le sollecitazioni di verifica risultano pertanto:

**PILE SLE**

Load	N	Mx	My	Vx	Vy	V	Mt
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
RARA01	27302	4257	4889	841	733	1116	0
RARA02	21182	4235	0	0	729	729	0
RARA03	25637	3625	9657	1662	624	1775	0
RARA04	27302	4007	7758	1335	690	1503	0
RARA05	20881	4928	0	0	848	848	0
RARA06	27457	5978	7758	1335	1029	1686	0

**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	48 di 64

**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
 fondazioni – VI04**

Load	N	Mx	My	Vx	Vy	V	Mt
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
RARA07	25986	3997	3911	673	688	962	0
RARA08	21090	3979	1	0	685	685	0
RARA09	24654	3492	7725	1330	601	1459	0
RARA10	24014	14391	2444	421	621	750	1380
RARA11	24014	3632	4889	841	625	1048	0
RARA12	23181	11345	4828	831	566	1006	2726
RARA13	23138	3342	9657	1662	575	1759	0

**PILE SLU-SLV**

Load	N	Mx	My	Vx	Vy	V	Mt
Comb	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kNm
SLU01	38185	6320	7089	1220	1088	1635	0
SLU02	29311	6288	1	0	1082	1082	0
SLU03	35771	5405	14003	2410	930	2583	0
SLU04	36511	8900	5671	976	1532	1816	0
SLU05	29412	8874	1	0	1527	1527	0
SLU06	34580	8167	11202	1928	1406	2386	0
SLU07	38185	6320	7090	1220	1088	1635	0
SLU08	28883	7392	1	0	1272	1272	0
SLU09	33417	21015	3544	610	926	1109	2001
SLU10	33417	5415	7089	1220	932	1535	0
SLU11	32210	16598	7001	1205	847	1473	3953
SLU12	32148	4993	14003	2410	859	2559	0
SLV01	21808	8398	27272	4732	1411	4937	0
SLV02	21808	8381	27272	4732	1500	4964	0
SLV03	21808	27974	7497	1302	4806	4979	0
SLV04	21808	27974	9453	1638	4806	5078	0
SLV05	21808	8381	29228	5068	1500	5286	0
SLV06	21808	8398	29228	5068	1411	5261	0
SLV07	21808	27957	9453	1638	4896	5162	0
SLV08	21808	27957	7497	1302	4896	5066	0

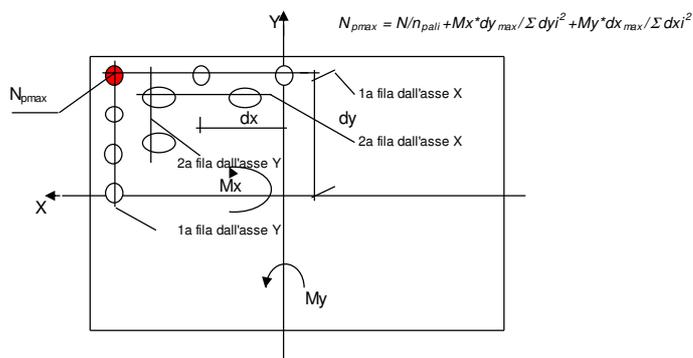
**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	49 di 64

## 9.2 Verifica di portata verticale

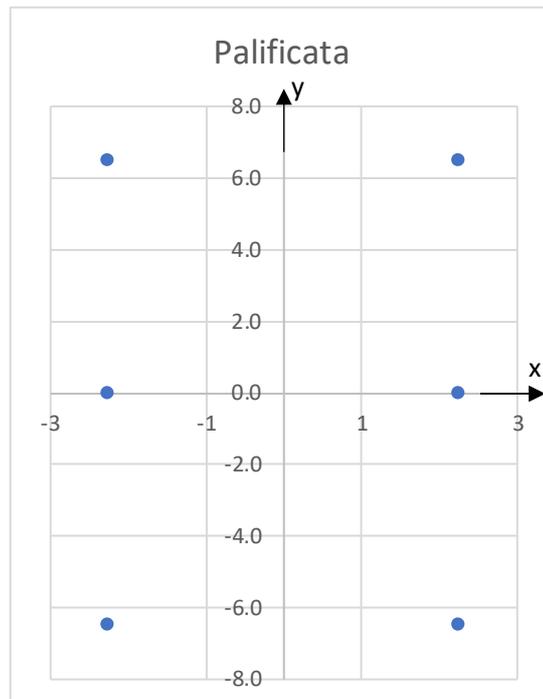
Nota la disposizione geometrica dei pali di fondazione, si può determinare l'azione verticale agente sul singolo palo tramite la seguente distribuzione elastica.



## PILE – DISTRIBUZIONE PALI

### Distribuzione elastica delle sollecitazioni nei pali

p	x	y
1	-2.25	-6.5
2	2.25	-6.5
3	-2.25	0.0
4	2.25	0.0
5	-2.25	6.5
6	2.25	6.5



**PROGETTO DEFINITIVO**
**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
 fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	50 di 64

**PILE SLE**

Load Comb	AZIONE VERTICALE NEI PALI [kN]							
	1	2	3	4	5	6	MAX	MIN
RARA01	4024	4749	4188	4912	4352	5076	5076	4024
RARA02	3367	3367	3530	3530	3693	3693	3693	3367
RARA03	3418	4849	3557	4988	3697	5128	5128	3418
RARA04	3821	4971	3976	5125	4130	5279	5279	3821
RARA05	3291	3291	3480	3480	3670	3670	3670	3291
RARA06	3772	4921	4001	5151	4231	5381	5381	3772
RARA07	3888	4467	4041	4621	4195	4774	4774	3888
RARA08	3362	3362	3515	3515	3668	3668	3668	3362
RARA09	3403	4547	3537	4681	3671	4816	4816	3403
RARA10	3268	3630	3821	4183	4375	4737	4737	3268
RARA11	3500	4225	3640	4364	3780	4504	4504	3500
RARA12	3070	3785	3506	4221	3942	4658	4658	3070
RARA13	3013	4443	3141	4572	3270	4700	4700	3013
	4024	4971	4188	5151	4375	5381	5381	4024
	3013	3291	3141	3480	3270	3668	3668	3013

**PILE SLU-SLV**

Load Comb	AZIONE VERTICALE NEI PALI [kN]							
	1	2	3	4	5	6	MAX	MIN
SLU01	5596	6646	5839	6889	6082	7132	7132	5596
SLU02	4643	4643	4885	4885	5127	5127	5127	4643
SLU03	4717	6791	4925	6999	5132	7207	7207	4717
SLU04	5323	6163	5665	6505	6007	6848	6848	5323
SLU05	4561	4561	4902	4902	5243	5243	5243	4561
SLU06	4619	6279	4934	6593	5248	6907	6907	4619
SLU07	5596	6646	5839	6889	6082	7132	7132	5596
SLU08	4529	4530	4814	4814	5098	5098	5098	4529
SLU09	4499	5024	5307	5832	6115	6640	6640	4499
SLU10	4836	5886	5044	6095	5253	6303	6303	4836
SLU11	4211	5249	4850	5887	5488	6525	6525	4211
SLU12	4129	6203	4321	6395	4513	6587	6587	4129
SLV01	1291	5332	1614	5655	1937	5978	5978	1291
SLV02	1292	5332	1614	5655	1937	5977	5977	1292
SLV03	2003	3114	3079	4190	4155	5266	5266	2003
SLV04	1858	3259	2934	4335	4010	5411	5411	1858
SLV05	1147	5477	1470	5800	1792	6122	6122	1147
SLV06	1147	5477	1470	5800	1793	6123	6123	1147
SLV07	1859	3260	2934	4335	4010	5410	5410	1859
SLV08	2004	3115	3079	4190	4155	5265	5265	2004
	5596	6791	5839	6999	6115	7207	7207	5596
	1147	3114	1470	4190	1792	5098	5098	1147

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI04</b></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>VI0405 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>51 di 64</p>

La massima azione di compressione è pari a 7207 kN.

Non vi è trazione.

La massima azione in esercizio è pari a 5381 kN.

Di seguito si riporta il calcolo delle portate considerando 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	VI0405 002	A	52 di 64

Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04

**Portata verticale palo singolo - VI04** quote da p.c. a +16.80 m slm

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

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

$$z_{tp} := 3\text{m}$$

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

$$z_w := 5\text{m}$$

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

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

$$z_1 := 0\text{m} \quad z_2 := 3\text{m} \quad z_3 := 9.5\text{m} \quad z_4 := 14.5\text{m}$$

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

$$\gamma_t(z) := \begin{cases} 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 19.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 20.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

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

$$\phi(z) := \begin{cases} 28^\circ & \text{if } z_1 \leq z \leq z_2 \\ 31^\circ & \text{if } z_2 \leq z \leq z_3 \\ 26^\circ & \text{if } z_3 \leq z \leq z_4 \\ 33^\circ & \text{if } z \geq z_4 \end{cases}$$

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

**PROGETTO DEFINITIVO**
**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	53 di 64

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

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

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

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

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

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

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

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

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	54 di 64

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

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

$$z_{bp} := z_{tp} + L_p = 29 \text{ m}$$

$$Q_{dC}(z_{bp}) = 7.718 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

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

$$Q_{dSLE}(z_{bp}) = 8.689 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

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

$$Q_{dT}(z_{bp}) = 4.942 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Verifica a compressione

$$Ed = 7207 \text{ kN} < Rd = 7718 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

Verifica a trazione

Non vi è trazione

Verifica in esercizio

$$Ed = 5381 \text{ kN} < Rd = 8689 \text{ kN}$$

verifica soddisfatta

**9.3 Verifica di portata trasversale**

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

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	55 di 64

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

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

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

$V_x/\text{palo}$  = taglio agente su palo singolo in direzione x (longitudinale)

$V_y/\text{palo}$  = taglio agente su palo singolo in direzione y (trasversale)

$V/\text{palo}$  = taglio agente su palo singolo

$n_{p,\text{tot}}$  = numero totale di pali = 6

$M_t$  = momento torcente

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

L = distanza tra i pali d'angolo in direzione trasversale = 13 m

$n_{pfx}$  = numero dei pali in una fila perimetrale in direzione x = 2

$n_{pfy}$  = numero dei pali in una fila perimetrale in direzione y = 3

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

**PILE SLE**

	$V_x/\text{palo}$ kN	$V_y/\text{palo}$ kN	$V/\text{palo}$ kN
RARA01	140	122	186
RARA02	0	121	121
RARA03	277	104	296
RARA04	223	115	250
RARA05	0	141	141
RARA06	223	171	281
RARA07	112	115	160
RARA08	0	114	114
RARA09	222	100	243
RARA10	73	105	128
RARA11	140	104	175
RARA12	144	98	175
RARA13	277	96	293
		max	296
		min	114

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	56 di 64

**PILE SLU-SLV**

Vx/palo kN	Vy/palo kN	V/palo kN
203	181	272
0	180	180
402	155	431
163	255	303
0	255	255
321	234	398
203	181	272
0	212	212
106	157	189
203	155	256
209	147	256
402	143	426
789	235	823
789	250	827
217	801	830
273	801	846
845	250	881
845	235	877
273	816	860
217	816	844

max 881  
min 180

La massima azione di taglio è pari a 881 kN.

Di seguito si riporta il calcolo del momento plastico.

Conservativamente si considera:

azione assiale di minima compressione pari a 1147 kN

armatura 30ø30

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

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	57 di 64

**Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare**

Diametro = 1500 (mm)

Raggio = 750 (mm)

Sforzo Normale = 1147 (kN)

**Caratteristiche dei Materiali**

calcestruzzo

C25/30

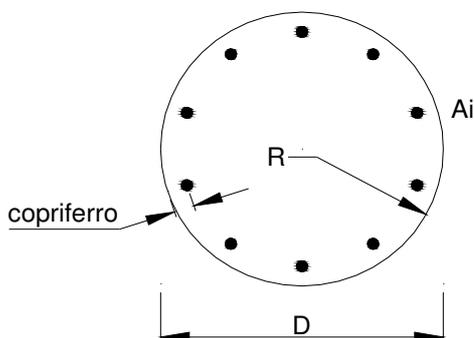
Rck = 30 (Mpa)

fck = 25 (Mpa)

$\gamma_c$  = 1.5

$\alpha_{cc}$  = 0.85

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



**Acciaio**

tipo di acciaio

B450C

fyk = 450 (Mpa)

$\gamma_s$  = 1.15

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

Es = 206000 (Mpa)

$\epsilon_{ys} = 0.190\%$

$\epsilon_{uk} = 10.000\%$

**Armature**

numero	diametro (mm)	area (mm <sup>2</sup> )	copriferro (mm)
30	$\phi$ 28	18473	86
0	$\phi$ 0	0	0
0	$\phi$ 0	0	0

Calcolo

**Momento di Plasticizzazione**

My = 4613.9 (kN m)

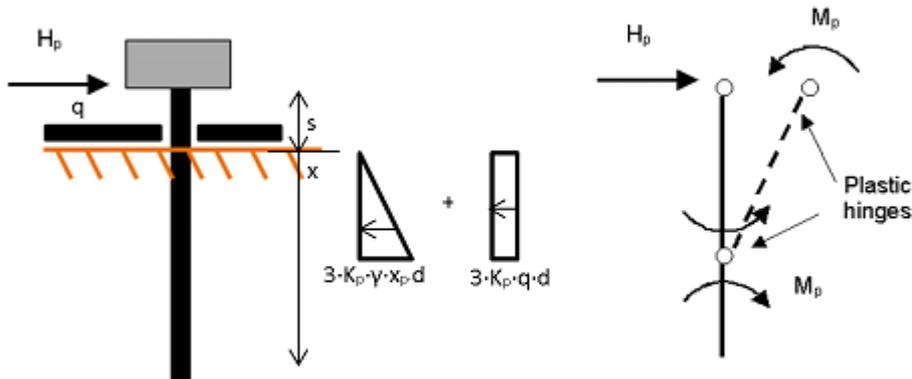
Inserisci

**PROGETTO DEFINITIVO**
**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
 fondazioni - VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	58 di 64

**Resistenza laterale palo muri - condizioni drenate**

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



$$K_p := 3.124 \quad \gamma := 14 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad d := 1.5\text{m} \quad M_p := 4613\text{kN}\cdot\text{m} \quad q := 60\text{kPa} \quad s := 0\text{m}$$

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

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

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

$$x_p := \begin{cases} b \leftarrow 0.1\text{m} & = 3.722\text{-m} \\ \text{while } |f_{\text{Broms}}(b)| > 1\text{-kN}\cdot\text{m} \\ \quad \left| \begin{array}{l} db \leftarrow \frac{-f_{\text{Broms}}(b)}{d_{\text{Broms}}(b)} \\ b \leftarrow b + db \end{array} \right. \\ b \end{cases}$$

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

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

$$HRd = 1630 \text{ kN} > 881 \text{ kN}$$

La verifica è soddisfatta.

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	59 di 64

## 9.4 Verifiche strutturali

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

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

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

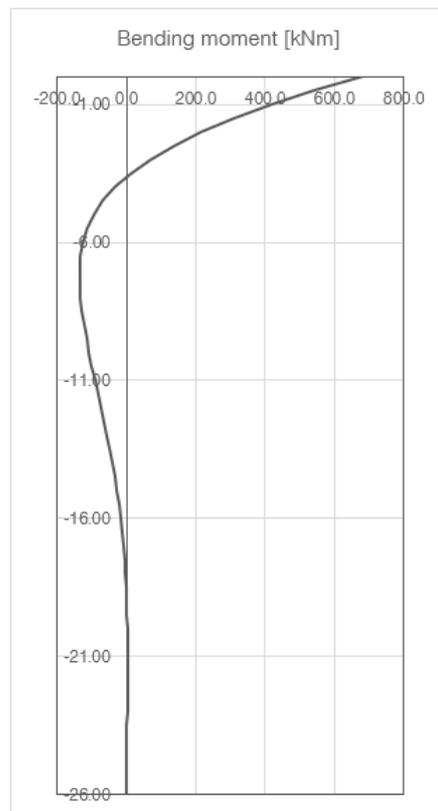
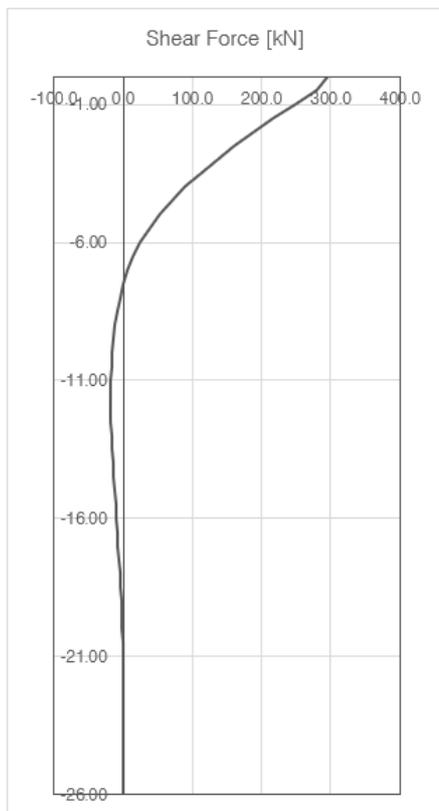
### Calcolo delle sollecitazioni

#### SLE

$N = 3013 \text{ kN}$  (minima compressione)

$V = 296 \text{ kN}$

$M = 684 \text{ kNm}$



**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04**

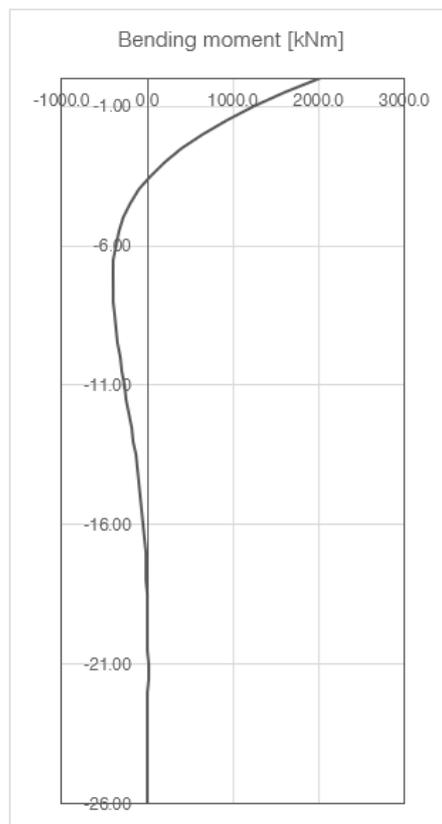
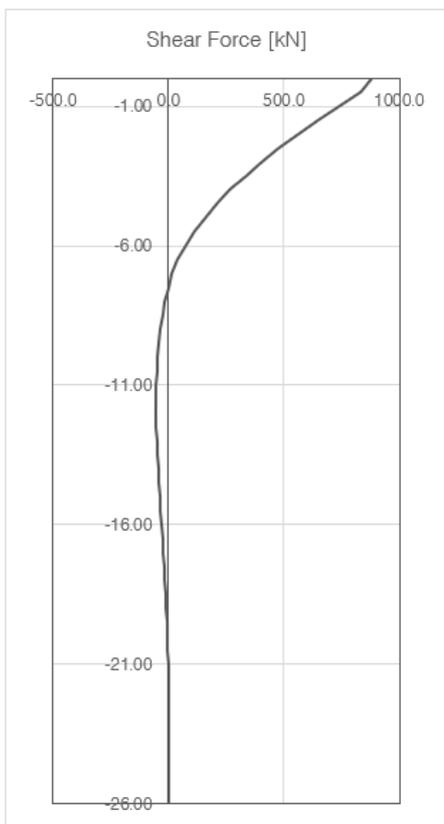
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	60 di 64

SLU-SLV

$N = 1147 \text{ kN}$  (minima compressione)

$V = 881 \text{ kN}$

$M = 2035 \text{ kNm}$



**Verifiche**

Descrizione armatura

Tratto 1

Da testa palo a 12 m

Armatura longitudinale: 30  $\varnothing$  28

Spirale:  $\varnothing$  12 / 10

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	61 di 64

Tratto 2

Da 12 m a base palo

Armatura longitudinale: 30  $\varnothing$  28

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: VI04**

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

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

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

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE**

Diametro sezione: 150.0 cm

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	62 di 64

Barre circonferenza: 30Ø28 (184.7 cm<sup>2</sup>)  
Coprif.(dal baric. barre): 8.6 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	1147.00	2035.00	881.00	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	3013.00	684.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 11.1 cm  
Interferro massimo barre longitudinali: 0.0 cm [deve essere < 0.0]  
Copriferro netto minimo staffe: 6.0 cm

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

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata									
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)									
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico									
N Ult	Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)									
Mx rd	Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico									
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000									
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.									
As Tot.	Area complessiva armature long. pilastro [cm <sup>2</sup> ]. (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	1147.00	2035.00	1146.97	4613.93	2.267	36.0	---	---	184.7 (53.0)

**DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

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

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione geotecnica e di calcolo delle  
fondazioni – VI04**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0405 002	A	63 di 64

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	75.0	0.00273	66.4	-0.00919	-66.4

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

Diametro staffe/legature:	12	mm	
Passo staffe:	10.0	cm	[Passo massimo di normativa = 25.0 cm]
N.Bracci staffe:	2		
Area staffe/m :	22.6	cm <sup>2</sup> /m	[Area Staffe Minima NTC = 2.3 cm <sup>2</sup> /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 <sup>2</sup> /m]

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	bw z	Ctg	Acw	ASt
1	S	881.00	3628.20	2445.50	128.6 110.5	2.500	1.046	8.1

**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 <sup>2</sup> ] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm <sup>2</sup> ] 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	3.13	-75.0	0.00	75.0	0.0	66.4	0.0	0	0.0	---

**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	0.00000	0.00000		----	----	----	----	----	9561.37

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni – VI04</b></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>VI0405 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>64 di 64</p>

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

$$\sigma_c = N_{Ed} / A = 4.10 \text{ MPa} < 6.375 \text{ MP} \rightarrow \text{verifica soddisfatta}$$

$$N_{Ed} = 7207 \text{ kN}$$

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