

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:	PROGETTISTA:	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE
RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI	Prof.Ing. Marco Petrangeli	Ing. Piergiorgio GRASSO
		Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche 

## PROGETTO ESECUTIVO

### ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE

VI02 – Viadotto a doppia campata dal km 17+634.43 al km 17+656.43

Relazione geotecnica di calcolo delle fondazioni

APPALTATORE <b>IMPRESA PIZZAROTTI &amp; C. S.p.A.</b> Dott. Ing. Sabino Del Balzo IL DIRETTORE TECNICO Ing. Sabino DEL BALZO  23/06/2020	SCALA:
	-

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

I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	C	L	V	I	0	2	0	3	0	0	2	B
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

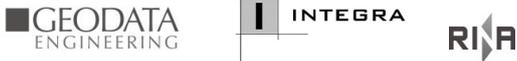
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	G. Liporace	24/02/2020	A. Tagliaferri	24/02/2020	P. Grasso	24/02/2020	Prof.Ing.Marco PETRANGELI
B	Revisione a seguito istruttoria ITF	A. Tagliaferri	23/06/2020	G. Usai	23/06/2020	P. Grasso	23/06/2020	  23/06/2020

File: IF26.1.2.E.ZZ.CL.VI.0.2.0.3.002.B.doc

n. Elab.:

## Indice

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>MATERIALI .....</b>	<b>5</b>
3.1	CALCESTRUZZO PER I PALI DI FONDAZIONE .....	5
3.2	ACCIAIO PER BARRE DI ARMATURA .....	6
<b>4</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SCHEMA DI CALCOLO .....</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA .....</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>CARICHI AGENTI IN TESTA AI PALI DI FONDAZIONE .....</b>	<b>9</b>
<b>7</b>	<b>RISULTATI DELLE VERIFICHE GEOTECNICHE DEI PALI DI FONDAZIONE .....</b>	<b>11</b>
7.1	VERIFICA A CARICO LIMITE VERTICALE DEL PALO SINGOLO .....	11
7.2	CALCOLO DEI CEDIMENTI VERTICALI DEL PALO SINGOLO E DELLA PALIFICATA .....	13
7.3	VERIFICA A CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEL PALO SINGOLO .....	15
7.4	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI AGENTI LUNGO IL FUSTO DEL PALO .....	16
<b>8</b>	<b>APPENDICE .....</b>	<b>18</b>
8.1	CALCOLO DEL CARICO LIMITE VERTICALE DEL PALO SINGOLO .....	18
8.2	CALCOLO DEI CEDIMENTI VERTICALI DEL PALO SINGOLO E DELLA PALIFICATA .....	22
8.3	CALCOLO DEL CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEL PALO SINGOLO .....	24
8.4	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI AGENTI LUNGO IL FUSTO DEL PALO .....	26

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>VI02 – Relazione geotecnica di calcolo delle fondazioni</b>	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0203002	REV. B	FOGLIO 3 di 29

## 1 PREMESSA

Il presente documento si inserisce nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici di progetto esecutivo del Raddoppio dell'Itinerario Ferroviario Napoli-Bari nella Tratta Canello–Benevento/ 2° Lotto Funzionale Frasso Telesino – Vitulano.

Nella presente relazione si riporta il dimensionamento geotecnico delle fondazioni profonde del viadotto VI02.

Per lo schema geotecnico di riferimento, in base al quale sono stati effettuati i calcoli di dimensionamento, si rimanda a:

- Relazione Geotecnica Generale di linea delle opere all'aperto (elaborato IF26.1.2.E.ZZ.RB.GE.00.0.5.001) – Doc Rif. [16].

Per i criteri di calcolo geotecnico utilizzati nell'analisi, si rimanda a:

- Relazione tecnico-descrittiva - Criteri di dimensionamento e verifica fondazioni superficiali e profonde (elaborato IF26.1.2.E.ZZ.RO.GE.00.0.5.001) – Doc Rif. [17].

Per ciò che riguarda i carichi trasmessi dalla sovrastruttura e agenti in testa ai singoli pali di fondazione, si rimanda a:

- VI02 - Spalle: Relazione di calcolo (elaborato IF26.1.2.E.ZZ.CL.VI.02.0.4.001) – Doc Rif. [18].

  	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>VI02 – Relazione geotecnica di calcolo delle fondazioni</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>VI0203002</td> <td>B</td> <td>4 di 29</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	VI0203002	B	4 di 29
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	VI0203002	B	4 di 29								

## 2 NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Di seguito si riportano i riferimenti delle normative prese in considerazione per lo sviluppo delle analisi e delle verifiche in oggetto:

- [1] Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n.30.
- [2] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- [3] DM 06.05.2008 – Integrazione al D.M. 14.01.2008 di approvazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.
- [4] RFI DTC INC PO SP IFS 001 A del 21.12.2011- Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario;
- [5] RFI DTC INC CS SP IFS 001 A del 21.12.2011 Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie;
- [6] RFI DTC INC CS LG IFS 001 A del 21.12.2011 Linee guida per il collaudo statico delle opere in terra;
- [7] RFI DTC INC PO SP IFS 002 A del 21.12.2011 Specifica per la progettazione e l'esecuzione di cavalcavia e passerelle pedonali;
- [8] 1299/2014/UE Specifiche tecniche d'interoperabilità per il sottosistema “Infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione Europea (18/11/2014);
- [9] UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali;
- [10] UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;
- [11] Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche – Associazione Geotecnica Italiana – Giugno 1977;
- [12] Raccomandazione AGI relative ai pali di fondazione – Associazione Geotecnica Italiana – Dicembre 1984;
- [13] Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio – Associazione Geotecnica Italiana – Giugno 1994;
- [14] Paolucci R., Pecker A. (1997), “Seismic bearing capacity of shallow strip foundation on dry soils”. Soils and Foundation, Vol. 37, N°3, pp.95-105;
- [15] Brinch Hansen J. (1970) "A revised and extended formula for bearing capacity" Bulletin n°28, Danish Geotechnical Institute, Copenhagen;
- [16] Relazione Geotecnica Generale di linea delle opere all'aperto (elaborato IF26.1.2.E.ZZ.RB.GE.00.0.5.001.A);
- [17] Criteri di dimensionamento e verifica fondazioni superficiali e profonde (elaborato IF26.1.2.E.ZZ.RO.GE.00.0.5.001);
- [18] VI02 - Spalle: Relazione di calcolo (elaborato IF26.1.2.E.ZZ.CL.VI.02.0.4.001).
- [19] “Head embedment in Broms pile lateral capacity theory for cohesionless soils” (Pasquale De Simone, 2012) - Computers and Geotechnics 43 (2012) 51–60.

### 3 MATERIALI

#### 3.1 CALCESTRUZZO PER I PALI DI FONDAZIONE

<b>Calcestruzzo</b>			
Classe	C25/30	▼	
$R_{ck} =$	30	Mpa	Resistenza caratteristica cubica
$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} =$	24.9	Mpa	Resistenza caratteristica cilindrica
$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	32.9	Mpa	Valore medio resistenza cilindrica
$\alpha_{cc} =$	0.85	-	Coeff. Rid. Per carichi di lunga durata
$\gamma_M =$	1.5	-	Coeff. parziale di sicurezza allo SLU
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_M =$	14.11	Mpa	Resistenza di progetto
$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} =$	2.56	Mpa	Resistenza media a trazione semplice
$f_{ctm} = 1.2 \cdot f_{ctm} =$	3.07	Mpa	Resistenza media a trazione per flessione
$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} =$	1.79	Mpa	Valore caratteristico resistenza a trazione (frattile 5%)
$\sigma_c = 0.55 \cdot f_{ck} =$	13.70	Mpa	Tensione max in esercizio in comb. rara (rif. §1.8.3.2.1 [3])
$\sigma_c = 0.40 \cdot f_{ck} =$	9.96	Mpa	Tensione max in esercizio in comb. quasi perm. (rif. §1.8.3.2.1 [3])
$E_{cm} = 22000 \cdot (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	31447	Mpa	Modulo elastico di progetto
$\nu =$	0.2	-	Coefficiente di Poisson
$G_c = E_{cm} / (2(1+\nu)) =$	13103	MPa	Modulo elastico tangenziale di progetto
Condizioni ambientali =	Ordinarie	▼	
Classe di esposizione =	XC2	▼	
$c =$	6.00	cm	Copriferro minimo
$w =$	0.30	mm	Apertura massima fessure in esercizio comb. frequente (rif. §1.8.3.2.4 [3])

### 3.2 ACCIAIO PER BARRE DI ARMATURA

<b>Acciaio</b>			
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	-	
$\gamma_s =$	1.15	-	Coeff. Parziale di sicurezza allo SLU
$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s =$	391.3	Mpa	Tensione caratteristica di snervamento
$E_s =$	210000	Mpa	Modulo elastico di progetto
$\varepsilon_{yd} =$	0.20%		Deformazione di progetto a snervamento
$\varepsilon_{uk} = (A_{gt})_k =$	7.50%		Deformazione caratteristica ultima
$\sigma_s = 0.80 \cdot f_{yk} =$	337.5	Mpa	Tensione in esercizio in comb. rara (rif. §1.8.3.2.1 [3])

## 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SCHEMA DI CALCOLO

Di seguito si riassumono le caratteristiche geotecniche e gli schemi stratigrafici delle formazioni presenti nel sottosuolo relativamente alle tratte omogenee individuate nella relazione geotecnica generale; nel dettaglio si farà riferimento alla Tratta 1 – da pk 16+600 a 20+474. Per ulteriori dettagli sulla determinazioni dei parametri di calcolo, si rimanda all stessa relazione.

Nel dimensionamento delle fondazioni profonde si assume, cautelativamente, nel calcolo un coefficiente  $\xi$  relativo a 1 verticali di indagine per le spalle.

Dai dati strumentali delle letture del piezometro posto in prossimità dell'opera (S-PE01), sintetizzati nella relazione geotecnica generale, si sono registrati valori compresi tra +29.99 m s.l.m. e +28.54 m s.l.m. (ovvero tra 12 e 13 m circa da p.c.), considerando una quota media del p.c. pari a +41.6 m s.l.m.

Ai fini delle verifiche dei pali di fondazione alle forze verticali, si assume un livello di falda a lungo termine pari al massimo valore misurato nel piezometro di riferimento incrementato cautelativamente di +2.00 m; per le verifiche a forze orizzontali (Metodo di Broms), dal momento che l'azione sismica è sempre quella dimensionante, si assume un livello di falda pari a quello massimo misurato.

### Parametri geotecnici di calcolo

Nella tabella che seguono si sintetizzano i valori dei paratri assunti alla base dei dimensionamenti.

Parametri	TRATTA 1 – da pk 16+600 a pk 20+474			
	Ra/b2 (*)	TGC2	MDL1	MDL3
$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	19.5	18	20	20
$\varphi'$ (°)	30	35	40	-
$c'$ (kPa)	0	0	0	-
$c_u$ (kPa)	-	-	-	175 (10 < z < 20 m) 210 (20 < z < 35 m) 280 (z > 35 m)
$E_{op}$ (MPa)	40	60	120	60 (10 ≤ z < 20 m) 80 (20 ≤ z < 35 m) 100 (z ≥ 35 m)

(\*) in via semplificativa, per i materiali superficiali, si considera una sola unità geotecnica Ra/b2, con parametri di resistenza e deformabilità medi delle due formazioni presenti. Si precisa che tale assunzione non condiziona i dimensionamenti in quanto la testa dei pali è posta sempre al di sotto di tale unità geotecnica.

**Stratigrafie di calcolo**

Di seguito di riportano le stratigrafie di calcolo dedotte da quanto riportato nel profilo geotecnico e sintetizzato nella relazione geotecnica generale.

<b>SPALLA 1</b>			
<b>Strato</b>	<b>Descrizione</b>	<b>da (m s.l.m.)</b>	<b>a (m s.l.m.)</b>
1	Ra/b2	41.6 (p.c.)	39.3
2	TGC2	39.3	23.1
3	MDL1	23.1	1.6
4	MDL3 (2)	1.6	
Falda: 11.6 m da p.c. (+29.99 m s.l.m.)			

<b>SPALLA 2</b>			
<b>Strato</b>	<b>Descrizione</b>	<b>da (m s.l.m.)</b>	<b>a (m s.l.m.)</b>
1	Ra/b2	41.6 (p.c.)	39.3
2	TGC2	39.3	23.1
3	MDL1	23.1	1.6
4	MDL3 (2)	1.6	
Falda: 11.6 m da p.c. (+29.99 m s.l.m.)			

(\*) si indica con:

MDL3 (2)                      20 < z < 35 m da p.c.

## 5 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

Le fondazioni profonde sono costituite da pali trivellati di grande diametro.

Nella tabella che segue si sintetizzano le dimensioni geometriche del plinto e dei pali di fondazione per i vari appoggi presenti.

VI01						
Appoggio	Fondazione			n° pali	Φpali	Lpali
	B	L	H			
	(m)	(m)	(m)			
Spalla S1	6.4	15.45	1.5	8	1200	27
Spalla S2	6.4	15.45	1.5	8	1200	27

## 6 CARICHI AGENTI IN TESTA AI PALI DI FONDAZIONE

I valori delle sollecitazioni di progetto agenti in testa ai pali ed utilizzati nelle verifiche fanno riferimento a quanto riportato nella:

- VI02 - Spalle: Relazione di calcolo (elaborato IF26.1.2.E.ZZ.CL.VI.02.0.4.001) – Doc Rif. [18];

Sulla base di quanto affermato nella *Relazione tecnico-descrittiva - Criteri di dimensionamento e verifica fondazioni superficiali e profonde* (elaborato IF26.12.E.ZZ.RO.GE.00.0.5.001.A) – Doc Rif. [17], il calcolo delle sollecitazioni agenti in testa ai pali è stata effettuato ipotizzando una ripartizione rigida delle stesse attraverso l'espressione:

$$Q_{ti} = \frac{Q}{n} \pm \left[ M_x \cdot \frac{y_i}{\sum_1^n y_i^2} \right] \pm \left[ M_y \cdot \frac{x_i}{\sum_1^n x_i^2} \right]$$

essendo:

Q = forza verticale esterna

M<sub>x</sub> = momento esterno attorno all'asse x, accoppiato con H<sub>y</sub>

H<sub>y</sub> = forza orizzontale esterna nella direzione y, accoppiata con M<sub>x</sub>

M<sub>y</sub> = momento esterno attorno all'asse y, accoppiato con H<sub>x</sub>

H<sub>x</sub> = forza orizzontale esterna nella direzione x, accoppiata con M<sub>y</sub>

Q<sub>ti</sub> = forza vettoriale agente alla testa del palo i-esimo

y<sub>i</sub> = distanza del palo i-esimo dall'asse baricentrico della palificata nella direzione y

x<sub>i</sub> = distanza del palo i-esimo dall'asse baricentrico della palificata nella direzione x

Nella tabella che segue si riassumono i valori delle sollecitazioni utilizzate nella analisi. Le combinazioni relative ai valori delle sollecitazioni riportate nel seguito sono mostrate nel dettaglio nelle relazioni di calcolo delle pile e delle spalle.

**VI02 – Relazione geotecnica di calcolo delle  
fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0203002	B	10 di 29

	N <sub>SLU_max</sub> (kN)	N <sub>SLU_min</sub> (kN)	N <sub>SLV_max</sub> (kN)	N <sub>SLV_min</sub> (kN)	T <sub>SLU/SLV_max</sub> (kN)
SPALLA S1	4797	2650	3995	330	1172
SPALLA S2	4901	2619	4500	-413	1489

con:

N<sub>SLU\_max</sub> = sforzo assiale max agente in testa al palo per la comb. statica A1+M1+R3;

N<sub>SLU\_min</sub> = sforzo assiale min agente in testa al palo per la comb. statica A1+M1+R3;

N<sub>SLV\_max</sub> = sforzo assiale max agente in testa al palo per la comb. sismica EQK+M1+R3;

N<sub>SLV\_min</sub> = sforzo assiale min agente in testa al palo per la comb. sismica EQK+M1+R3;

T<sub>SLU/SLV\_max</sub> = taglio massimo agente in testa al palo (massimo valore tra la comb. statica e sismica allo SLU/SLV).

	N <sub>SLE-qp_max</sub> (kN)	N <sub>SLE-rara_max</sub> (kN)	N <sub>SLE-rara_min</sub> (kN)	T <sub>SLE_max</sub> (kN)
SPALLA S1	3009	3438	1835	496
SPALLA S2	2911	3493	1817	551

con:

N<sub>SLE-qp\_max</sub> = sforzo assiale max agente in testa al palo per la comb. statica SLE quasi perm.;

N<sub>SLE-rara\_max</sub> = sforzo assiale max agente in testa al palo per la comb. SLE rara;

N<sub>SLE-rara\_min</sub> = sforzo assiale min agente in testa al palo per la comb. SLE rara;

T<sub>SLE\_max</sub> = taglio massimo agente in testa al palo (massimo valore tra le comb. allo SLE).

## 7 RISULTATI DELLE VERIFICHE GEOTECNICHE DEI PALI DI FONDAZIONE

### 7.1 VERIFICA A CARICO LIMITE VERTICALE DEL PALO SINGOLO

Le verifiche a carico limite verticale sono condotte facendo riferimento alle seguenti combinazioni di carico, così come previsto dalla normativa vigente – Doc. Rif. [1]:

- COMB. STATICA: Approccio 2 (A1+M1+R3)
- COMB. SISMICA: (EQK+M1+R3)

Nelle tabelle che seguono si riassumono i risultati ottenuti; per ulteriori dettagli si rimanda alle schede di verifica presenti in Appendice.

	L <sub>pali</sub> (m)	N <sub>SLU_max</sub> (kN)	Q <sub>limite_compr</sub> (kN)	FS (-)
SPALLA 1	27.0	4797	7950	1.66
SPALLA 2	27.0	4901	7787	1.59

N <sub>SLV_max</sub> (kN)	Q <sub>limite_compr</sub> (kN)	FS (-)
3995	7950	1.99
4500	7787	1.73

	L <sub>pali</sub> (m)	N <sub>SLU_max_traz</sub> (kN)	Q <sub>limite_traz</sub> (kN)	FS (-)
SPALLA S1	27.0	-	-	-
SPALLA S2	27.0	-	-	-

N <sub>SLV_max_traz</sub> (kN)	Q <sub>limite_traz</sub> (kN)	FS (-)
-	-	-
-413	-4586	11.10

con:

N<sub>SLU\_max</sub> = sforzo assiale max a compressione agente in testa al palo per la comb. statica A1+M1+R3;

N<sub>SLV\_max</sub> = sforzo assiale max a compressione agente in testa al palo per la comb. sismica EQK+M1+R3;

N<sub>SLU\_max\_traz</sub> = sforzo assiale max a trazione agente in testa al palo per la comb. statica A1+M1+R3;

N<sub>SLV\_max\_traz</sub> = sforzo assiale max a trazione agente in testa al palo per la comb. sismica EQK+M1+R3;

Q<sub>limite\_compr.</sub> = carico limite del palo singolo a compressione allo SLU/SLV;

Q<sub>limite\_traz.</sub> = carico limite del palo singolo a trazione allo SLU/SLV;

FS = coefficiente di sicurezza ( $\geq 1$ ).

In aggiunta alle verifiche sulla portanza dei pali allo SLU, si verifica che il rapporto tra la resistenza laterale caratteristica di calcolo ed il carico agente massimo per la combinazione SLE-rara sia maggiore di 1.25. Si rimanda alle schede di verifica presenti in Appendice per il dettaglio del calcolo. .

**VI02 – Relazione geotecnica di calcolo delle  
fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0203002	B	12 di 29

	L <sub>pali</sub> (m)	N <sub>SLE-rara_max</sub> (kN)	R <sub>s_laterale</sub> (kN)	FS <sub>lat</sub> (-)
SPALLA S1	27.0	3438	10321	3.00
SPALLA S2	27.0	3493	10006	2.86

con:

$N_{SLE-rara\_max}$  = sforzo assiale max a compressione agente in testa al palo per la comb. SLE rara;

$R_{s\_laterale}$  = resistenza laterale caratteristica del palo singolo;

$FS_{lat}$  = coefficiente di sicurezza ( $\geq 1.25$ ).

## 7.2 CALCOLO DEI CEDIMENTI VERTICALI DEL PALO SINGOLO E DELLA PALIFICATA

Il calcolo dei cedimenti del palo singolo e della palificata soggetta alle azioni caratteristiche massime (SLE) è condotto in accordo ai criteri indicati nell'elaborato IF26.12.E.ZZ.RO.GE.00.0.5.001 (Doc. Rif. [17] e sulla base delle prescrizioni della normativa vigente (Doc. Rif. [1] [2] [3] [7]).

Si valutano i cedimenti relativi alla fase di fine costruzione (coincidente con la combinazione allo SLE-qp), alla fase di esercizio dell'opera (coincidente con la combinazione allo SLE-rara) ed i rispettivi valori del cedimento netto tra le due fasi. Ai valori degli sforzi normali di compressione agenti in testa ai pali allo SLE, si aggiunge il peso proprio del palo, epurato del peso del volume di terreno asportato.

Come indicato al capitolo 4 del Doc. Rif. [17], il valore utilizzato del modulo elastico del terreno nel calcolo dei cedimenti si stima attraverso una media pesata dei valori del modulo di terreno nei vari strati che interessano lo sviluppo del palo.

Nella tabella che segue di riassumono i risultati delle analisi; per ulteriori dettagli si rimanda alle schede di verifica riportate in Appendice.

	FASE DI COSTRUZIONE			FASE DI ESERCIZIO			$\Delta\delta_{\text{palo}}$ (mm)	$\Delta\delta_{\text{palificata}}$ (mm)
	$N_{\text{SLE-qp\_max}}^*$ (kN)	$\delta_{\text{palo\_1}}$ (mm)	$\delta_{\text{palif\_1}}$ (mm)	$N_{\text{SLE-rara\_max}}^*$ (kN)	$\delta_{\text{palo\_2}}$ (mm)	$\delta_{\text{palif\_2}}$ (mm)		
SPALLA S1	3197	2.7	12	3626	3.1	14	0.4	2
SPALLA S2	3099	2.7	12	3682	3.2	14	0.5	2

con:

$\delta_{\text{palo}}$  = cedimento verticale del palo singolo;

$\delta_{\text{palif}}$  = cedimento verticale della palificata;

$\Delta\delta_{\text{palo}}$  =  $\delta_{\text{palo\_1}}$  -  $\delta_{\text{palo\_2}}$  = cedimento netto del palo singolo;

$\Delta\delta_{\text{palificata}}$  =  $\delta_{\text{palif\_1}}$  -  $\delta_{\text{palif\_2}}$  = cedimento netto della palificata;

$N_{\text{SLE-qp\_max}}^*$  = sforzo assiale max agente alla base del palo per la comb. statica SLE quasi perm.;

$N_{\text{SLE-rara\_max}}^*$  = sforzo assiale max agente alla base del palo per la comb. SLE rara.

**VI02 – Relazione geotecnica di calcolo delle  
fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0203002	B	14 di 29

Inoltre, sulla base di quanto prescritto nel §1.8.3.2.3 del Doc. Rif. [4], si riportano i valori dei cedimenti differenziali tra fondazioni adiacenti, calcolati considerando agenti tutte le azioni permanenti allo SLE.

	$N_{SLE-q_{p\_max}^*}$ (kN)	$\delta_{palificata}$ (mm)	$\Delta\delta_{diff}$ (mm)	$\Delta\delta_{diff\_limite}$ (mm)
SPALLA S1	3197	12	-	
SPALLA S2	3099	12	0	22

con:

$\delta_{palificata}$  = cedimento verticale della palificata per carico  $N_{SLE-q_{p\_max}^*}$ ;

$\Delta\delta_{diff}$  = cedimento differenziale fra fondazioni adiacenti;

$\Delta\delta_{diff\_limite} = L_{campata}/1000$ .

### 7.3 VERIFICA A CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEL PALO SINGOLO

Il carico limite orizzontale del palo viene eseguito facendo riferimento all'estensione alla teoria di Broms proposta in "Head embedment in Broms pile lateral capacity theory for cohesionless soils" (Pasquale De Simone, 2012) - Computers and Geotechnics 43 (2012) 51–60 (Doc. Rif. [19]).

La forza di progetto è quella massima proveniente dalle combinazioni allo SLU/SLV. Ai fini delle verifiche si assume un fattore riduttivo del carico limite del singolo palo, valutato pari a 0.8, per tener in conto dell'effetto gruppo della palificata.

Si riassumono le armature longitudinali necessarie a valutare il momento di plasticizzazione della sezione del palo, utilizzato per determinare il carico limite orizzontale.

	Armatura longitudinale								$\rho_{long}$ (%)	$\rho_{min}$ (%)
	Gabbia 1		Gabbia 2		Gabbia 3		Gabbia 4			
	n.	$\emptyset$ (mm)	n.	$\emptyset$ (mm)	n.	$\emptyset$ (mm)	n.	$\emptyset$ (mm)		
Spalla S1	30+30	24	30	24	30	16	-	-	2.40%	1.00%
Spalla S2	30+30	30	30	24	30	16	-	-	3.75%	1.00%

Le armature rispettano le quantità minime indicate dalla normativa.

\*\*\*\*\*

Ai fini delle verifiche con la metodologia di Broms (secondo Doc. Rif. [19]) e sulla base delle armature dei pali sintetizzate nella tabella precedente, si considera il momento resistente della sezione di palo valutato assumendo uno sforzo assiale nullo.

Come si evince dai successivi calcoli, il carico limite orizzontale del palo risulta sempre superiore al massimo carico orizzontale agente nella condizione maggiormente gravosa tra SLU/SLV. Le verifiche risultano dunque soddisfatte.

$$H_{d\_pal} = 0.8 * H_k / (\xi_3 * \gamma_T) \geq T_{SLU/SLV\_max}$$

Per ulteriori dettagli si rimanda alle schede di verifica riportate in Appendice.

Appoggio	$M_y$ (kNm)	$H_d = H_k / (\xi_3 * \gamma_T)$ (kN)	$H_{d\_pal} = H_d * 0.8$ (kN)	$T_{SLU/SLV\_max}$ (kN)	FS (-)
SPALLA S1	4158	1802	1442	1172	1.23
SPALLA S2	6041	2095	1676	1489	1.13

con:

$M_y$  = momento plastico del palo;

$H_d = H_k / (\xi_3 * \gamma_T)$  = carico limite orizzontale di progetto del singolo palo;

$H_{d\_pal} = H_d * 0.8$  = carico limite orizzontale di progetto della palificata (efficienza palificata  $\eta=0.8$ );

$T_{SLU/SLV\_max}$  = massimo carico orizzontale agente sul singolo palo allo SLU/SLV;

FS = coefficiente di sicurezza ( $\geq 1.00$ ).

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>VI02 – Relazione geotecnica di calcolo delle fondazioni</b>	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0203002	REV. B	FOGLIO 16 di 29

## 7.4 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI AGENTI LUNGO IL FUSTO DEL PALO

Per ricavare il momento adimensionalizzato lungo il fusto del palo si fa riferimento alla metodologia esposta nell'elaborato *Relazione tecnico-descrittiva - Criteri di dimensionamento e verifica fondazioni superficiali e profonde* (IF26.12.E.ZZ.RO.GE.00.0.5.001.A)

Considerando l'andamento del modulo di reazione orizzontale palo-terreno ( $E_{MR}$ , che verrà definito nel seguente paragrafo), si ricorre al metodo degli elementi finiti, adimensionalizzando la soluzione come segue:

$$M_0 = \alpha_m \cdot H_0$$

$$M(z) = M_0 \cdot M_{ad}(z)$$

essendo:

$H_0$  = azione tagliante in testa palo [F];

$M_0$  = azione flettente, conseguente ad  $H_0$ , in testa al palo;

$\alpha_m$  = rapporto momento taglio in testa palo nell'ipotesi di rotazione impedita [L];

$M_{ad}$  = momento flettente adimensionale lungo il fusto del palo.

Per quanto riguarda i depositi coesivi, si considera un coefficiente di reazione orizzontale del terreno, costante con la profondità, e valutato con la relazione:

$$k_h = (\xi \cdot c_u) / D = (350 \cdot c_u) / D$$

con:

$$\xi = 350;$$

D = diametro del palo

Per quanto riguarda invece i depositi incoerenti, si assumerà un valore del coefficiente orizzontale del terreno valutato secondo la relazione

$$k_h = n_h \cdot z$$

$n_h$  = gradiente del modulo di reazione del terreno;

z = profondità a partire dalla sommità del palo.

In valore del gradiente  $n_h$  sarà assunto pari a:

$$n_h = 8000 \text{ kN/m}^3 \quad (\text{depositi incoerenti mediamente addensati: ba2, ba3, TGC2,}$$

$$n_h = 10000 \text{ kN/m}^3 \quad (\text{depositi incoerenti molto addensati: MDL1})$$

Per ulteriori dettagli si rimanda alle schede di verifica riportate in Appendice.

I valori del momento flettente massimo, relativo al massimo taglio che agisce in testa al singolo palo, saranno utilizzati nelle verifiche strutturali dei pali stessi, riportate nelle relazioni delle pile e delle spalle.

**ITINERARIO NAPOLI – BARI  
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO  
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO  
1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE  
PROGETTO ESECUTIVO**

**VI02 – Relazione geotecnica di calcolo delle  
fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0203002	B	17 di 29

	$\varnothing$ palo	$T_{SLU/SLV\_max}$	$\alpha$	$M_{SLU/SLV\_max}$
	(mm)	(kN)	(-)	(kNm)
SPALLA S1	1200	1172	2.32	2716
SPALLA S2	1200	1489	2.41	3595

## 8 APPENDICE

### 8.1 CALCOLO DEL CARICO LIMITE VERTICALE DEL PALO SINGOLO

**CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI GRANDE DIAMETRO**  
ai sensi del D.M. 14/01/2008 - Approccio 2 (A1+M1+R3)  
OPERA: SPALLA 1

Diametro del palo (D): 1.2 (m)  
Quota testa palo dal p.c. (z<sub>p</sub>): 2.90 (m)  
Area del palo (A<sub>p</sub>): 1.131 (m<sup>2</sup>)  
quota della falda dal p.c. (z<sub>w</sub>): 9.60 (m)

**CARICO ASSIALE DI COMPRESSIONE SUL SINGOLO PALO:**  
§6.4.3.1 D.M. 14/01/2008  
Approccio 2: (A1+M1+R3)

N <sub>d</sub> (SLU)	4797	(kN)
N <sub>d</sub> (SLV)	3995	(kN)
N <sub>d</sub> (SLE)	3438	(kN)
N <sub>d</sub> (SLD)		(kN)

**CARICO ASSIALE DI TRAZIONE SUL SINGOLO PALO:**  
§6.4.3.1 D.M. 14/01/2008  
Approccio 2: (A1+M1+R3)

N <sub>d</sub> (SLU)		(kN)
N <sub>d</sub> (SLV)		(kN)

Numero di strati: 4

**CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI**

Strato	Stratigrafia		Spess.	Tipo di terreno	Parametri del terreno											
	da	a			γ	c'	φ'	c <sub>u</sub>	α	a	τ <sub>lim</sub>	N <sub>s</sub>	q <sub>b, max</sub>	k <sub>compr</sub>	k <sub>traz</sub>	
1	0.00	2.30	2.30	Ra/b2	19.5		30					150		4300	0.6	0.5
2	2.30	18.50	16.20	TGC2	18		34					150		4300		
3	18.50	40.00	21.50	MDL1	20		40					150		5800		
4	40.00	100.00	60.00	MDL3	20			280	0.4			100		4300		

**Fattori di correlazione per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate**

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	>= 10
ξ <sub>3</sub>	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
ξ <sub>4</sub>	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

n°1 verticale:  Peso del palo depurato W<sub>p,dep</sub>:

Lunghezza del palo (L <sub>p</sub> )	27	(m)
Peso del palo depurato W <sub>p,dep</sub>	188	(kN)
Peso palo alleggerito W <sub>p,all</sub>	532	(kN)
Profondità punta palo:	29.9	(m)

**CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA**

Resistenza alla base:	R <sub>b</sub> =	6560	(kN)
Resistenza laterale a compressione:	R <sub>s, compr.</sub> =	10321	(kN)
Resistenza laterale a trazione:	R <sub>s, traz.</sub> =	8929	(kN)
Resistenza totale a compressione:	R <sub>t</sub> = R <sub>b</sub> + R <sub>s, compr.</sub> =	16881	(kN)
Resistenza totale a trazione:	R <sub>t</sub> = R <sub>b</sub> + R <sub>s, traz.</sub> =	8929	(kN)

**CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO**  
Approccio 2: (A1+M1+R3) §6.4.3.1 D.M. 14/01/2008

Resistenza alla base:	R <sub>b,c</sub> =	2858	(kN)
Resistenza laterale a compressione:	R <sub>s,c</sub> =	5279	(kN)
Resistenza totale a compressione:	R <sub>d,c</sub> = R <sub>b,c</sub> + R <sub>s,c</sub> - W <sub>p,c</sub> =	7950	(kN)

**CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO A TRAZIONE**  
Approccio 2: (A1+M1+R3) §6.4.3.1 D.M. 14/01/2008

Resistenza totale a trazione:	R <sub>d,t</sub> = R <sub>s,t</sub> + W <sub>p,t</sub> =	-4734	(kN)
-------------------------------	----------------------------------------------------------	-------	------

**VERIFICA A COMPRESSIONE**

	N <sub>d,c</sub> (kN)	R <sub>d,c</sub> (kN)	FS (-)
SLU - (A1+M1+R3)	4797	7950	1.66
SLV - (EQK+M1+R3)	3995	7950	1.99

R<sub>d,u</sub>/N<sub>d,t</sub> ≥ 1

	N <sub>c</sub> (kN)	R <sub>s,c</sub> (kN)	FS (-)
SLE	3438	10321	3.00
SLD			

R<sub>s,d</sub>/N<sub>c</sub> ≥ 1.25

**VERIFICA A TRAZIONE**

	N <sub>d,t</sub> (kN)	R <sub>d,t</sub> (kN)	FS (-)
SLU - (A1+M1+R3)			
SLV - (EQK+M1+R3)			

R<sub>d,u</sub>/N<sub>d,t</sub> ≥ 1

VI02 – Relazione geotecnica di calcolo delle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0203002	B	19 di 29

DIAGRAMMI CAPACITA' PORTANTE A FORZE ASSIALI DI COMPRESSIONE

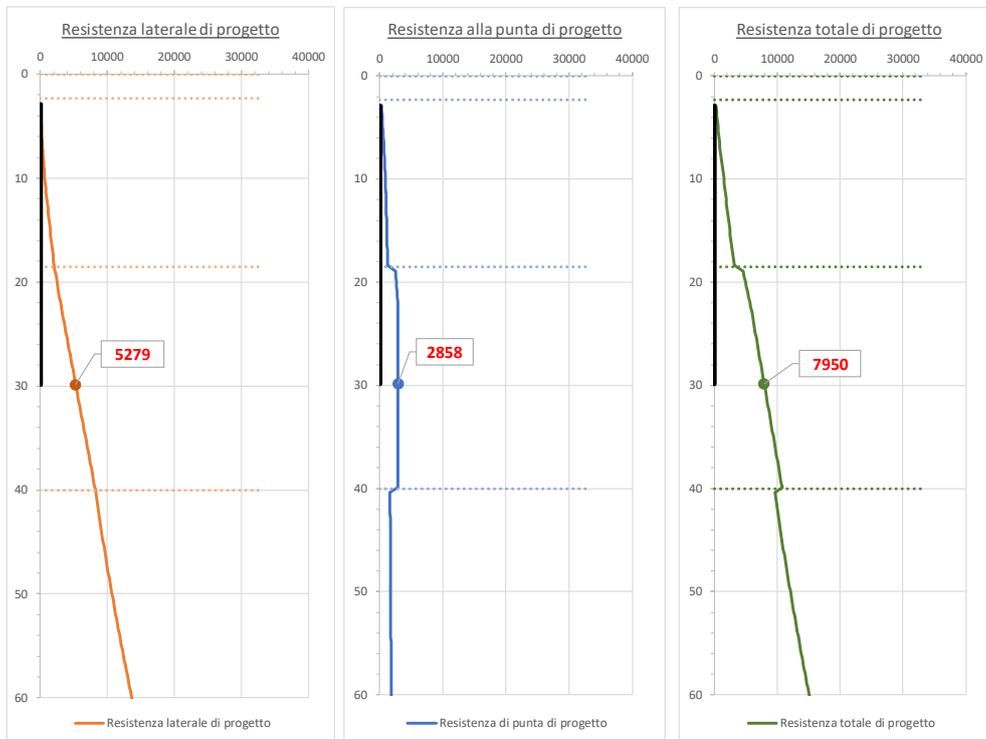
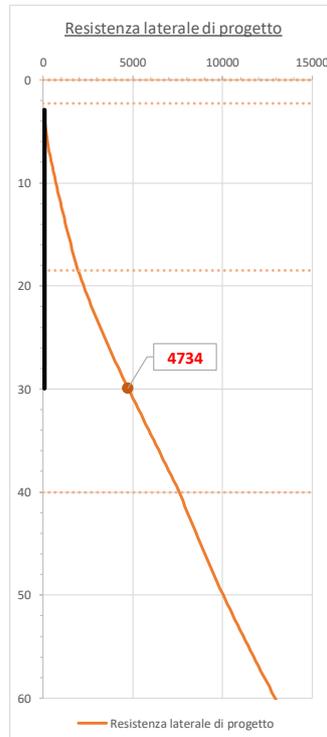


DIAGRAMMA CAPACITA' PORTANTE A FORZE ASSIALI DI TRAZIONE



VI02 – Relazione geotecnica di calcolo delle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0203002	B	20 di 29

**CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI GRANDE DIAMETRO**

ai sensi del D.M. 14/01/2008 - Approccio 2 (A1+M1+R3)

OPERA: SPALLA 2

Diametro del palo (D):	1.2	(m)
Quota testa palo dal p.c. (z <sub>p</sub> ):	2.30	(m)
Area del palo (A <sub>p</sub> ):	1.131	(m <sup>2</sup> )
quota della falda dal p.c. (z <sub>w</sub> ):	9.60	(m)

**CARICO ASSIALE DI COMPRESIONE SUL SINGOLO PALO:**

§6.4.3.1 D.M. 14/01/2008

Approccio 2: (A1+M1+R3)

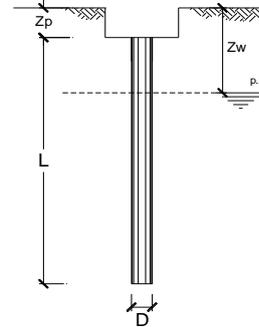
Carico assiale di compressione di progetto	N <sub>d</sub> (SLU)	4901	(kN)
	N <sub>d</sub> (SLV)	4500	(kN)
	N <sub>d</sub> (SLE)	3493	(kN)
	N <sub>d</sub> (SLD)		(kN)

**CARICO ASSIALE DI TRAZIONE SUL SINGOLO PALO:**

§6.4.3.1 D.M. 14/01/2008

Approccio 2: (A1+M1+R3)

Carico assiale di trazione di progetto	N <sub>d</sub> (SLU)		(kN)
	N <sub>d</sub> (SLV)	-413	(kN)



Numero di strati 4

**CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI**

Strato	Stratigrafia			Spess.	Tipo di terreno	Parametri del terreno						τ <sub>lim</sub>	N <sub>a</sub>	q <sub>b, max</sub>	k <sub>comp</sub>	k <sub>traz</sub>
	da	a				γ	c'	φ'	c <sub>u</sub>	α	a					
(-)	(m)	(m)	(m)			(kN/m <sup>3</sup> )	(kPa)	(°)	(kPa)	(-)	(-)	(kPa)	(-)	(kPa)	(-)	(-)
1	0.00	2.30	2.30		Ra/b2	19.5		30				150		4300	0.6	0.5
2	2.30	18.50	16.20		TGC2	18		34				150		4300		
3	18.50	40.00	21.50		MDL1	20		40				150		5800		
4	40.00	100.00	60.00		MDL3	20			280	0.4		100		4300		

Fattori di correlazione per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	>= 10
ξ <sub>3</sub>	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
ξ <sub>4</sub>	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

n°1 verticale  Peso del palo depurato W<sub>p, dep</sub>

Lunghezza del palo (L <sub>p</sub> )	27	(m)
Peso del palo depurato W <sub>p, dep</sub>	189	(kN)
Peso palo alleggerito W <sub>p, all</sub>	537	(kN)
Profondità punta palo:	29.3	(m)

**CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA**

Resistenza alla base:	R <sub>b</sub> =	6560	(kN)
Resistenza laterale a compressione:	R <sub>s, compr.</sub> =	10006	(kN)
Resistenza laterale a trazione:	R <sub>s, traz.</sub> =	8603	(kN)

Resistenza totale a compressione:	R <sub>t</sub> = R <sub>b</sub> + R <sub>s, compr.</sub> =	16566	(kN)
Resistenza totale a trazione:	R <sub>t</sub> = R <sub>b</sub> + R <sub>s, traz.</sub> =	8603	(kN)

**CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO**

Approccio 2: (A1+M1+R3) §6.4.3.1 D.M. 14/01/2008

Resistenza alla base:	R <sub>b, c</sub> =	2858	(kN)
Resistenza laterale a compressione:	R <sub>s, c</sub> =	5118	(kN)
Resistenza totale a compressione:	R <sub>d, c</sub> = R <sub>b, c</sub> + R <sub>s, c</sub> =	7777	(kN)

**CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO A TRAZIONE**

Approccio 2: (A1+M1+R3) §6.4.3.1 D.M. 14/01/2008

Resistenza totale a trazione:	R <sub>d, t</sub> = R <sub>s, t</sub> + W <sub>p, dep</sub> =	-4586	(kN)
-------------------------------	---------------------------------------------------------------	-------	------

Strato	Spess. Strati_palo	F <sub>SL, compr.</sub>	F <sub>SL, traz.</sub>	F <sub>SB</sub>
(-)	(m)	ξ <sub>3</sub> * γ <sub>s</sub>	ξ <sub>3</sub> * γ <sub>s</sub>	ξ <sub>3</sub> * γ <sub>b</sub>
1	0.00	2.0	2.1	2.3
2	16.20			
3	10.80			
4				

F<sub>SL, compr.</sub>: Fattore di sicurezza per resistenza laterale - compressione

F<sub>SL, traz.</sub>: Fattore di sicurezza per resistenza laterale - trazione

F<sub>SB</sub>: Fattore di sicurezza per resistenza alla base

**VERIFICA A COMPRESIONE**

	N <sub>d, c</sub> (kN)	R <sub>d, c</sub> (kN)	FS (-)
SLU - (A1+M1+R3)	4901	7787	1.59
SLV - (EQK+M1+R3)	4500	7787	1.73

R<sub>d, c</sub>/N<sub>d, c</sub> ≥ 1

	N <sub>c</sub> (kN)	R <sub>s, c</sub> (kN)	FS (-)
SLE	3493	10006	2.86
SLD			-

R<sub>s, c</sub>/N<sub>c</sub> ≥ 1.25

**VERIFICA A TRAZIONE**

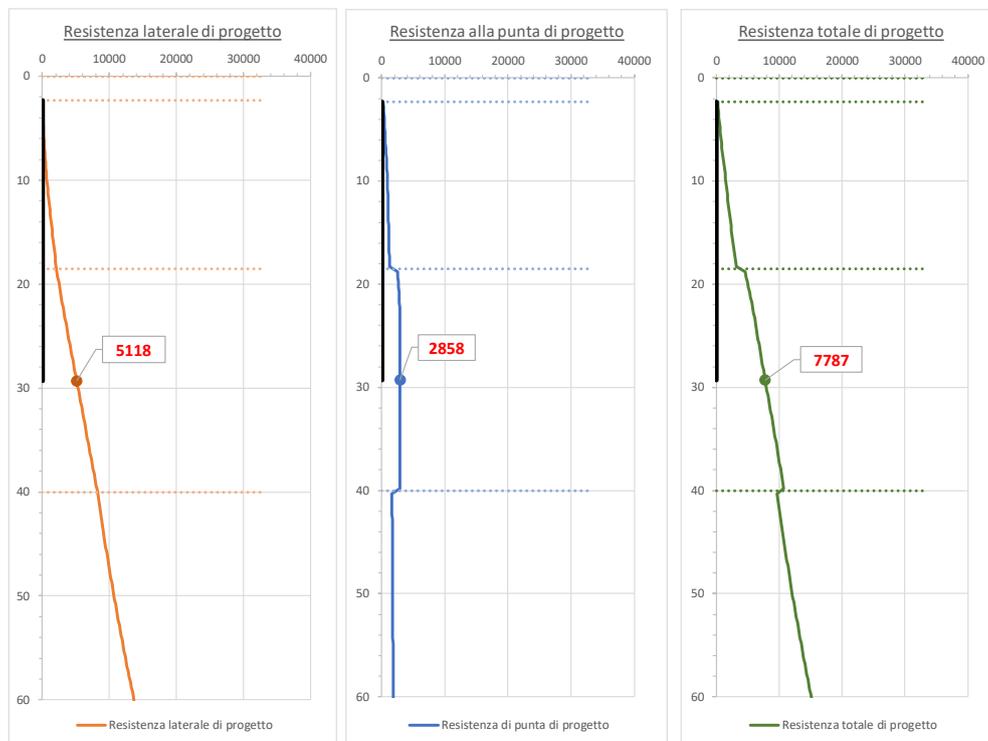
	N <sub>d, t</sub> (kN)	R <sub>d, t</sub> (kN)	FS (-)
SLU - (A1+M1+R3)			-
SLV - (EQK+M1+R3)	-413	-4586	11.10

R<sub>d, t</sub>/N<sub>d, t</sub> ≥ 1

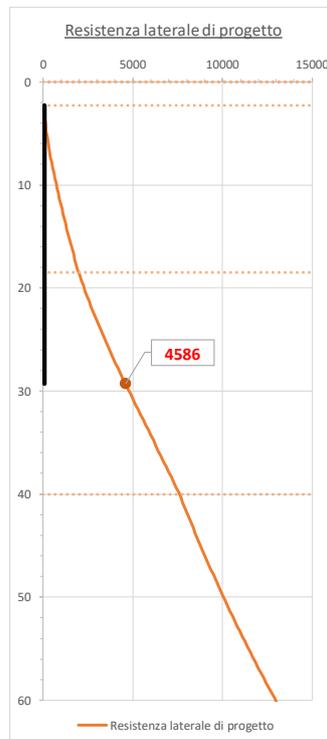
VI02 – Relazione geotecnica di calcolo delle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0203002	B	21 di 29

**DIAGRAMMI CAPACITA' PORTANTE A FORZE ASSIALI DI COMPRESIONE**



**DIAGRAMMA CAPACITA' PORTANTE A FORZE ASSIALI DI TRAZIONE**



## 8.2 CALCOLO DEI CEDIMENTI VERTICALI DEL PALO SINGOLO E DELLA PALIFICATA

### CALCOLO DEL PALO SINGOLO E DELLA PALIFICATA

OPERA: SPALLA 1

**DATI DI INPUT:**

Diametro del Palo (D):

Carico sul palo (P):

Lunghezza del Palo (L):

Lunghezza Utile del Palo (Lu):

Peso del Palo (P<sub>palo</sub>):

Carico base palo (P<sub>base</sub>):

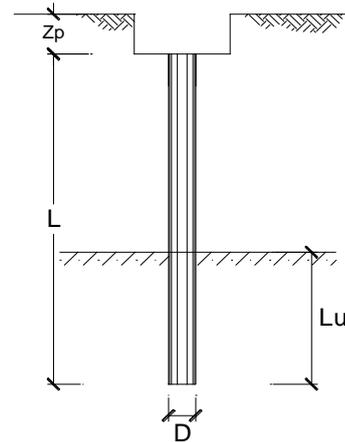
Modulo di Deformazione (E):

Numero di pali della Palificata (n):

Spaziatura dei pali (s)

Fine costr.	
SLE-QP	
1.20	(m)
3009	(kN)
27.0	(m)
27.0	(m)
188	(kN)
3197	(kN)
80	(MPa)
8	(-)
4.0	(m)

Esercizio	
SLE-RAR	
1.20	(m)
3438	(kN)
27.0	(m)
27.0	(m)
188	(kN)
3626	(kN)
80.0	(MPa)
8	(-)
4.0	(m)



**CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:**

$$\delta = \beta * P / E * L_{utile}$$

Coefficiente di forma

$$\beta = 0,5 + \text{Log}(L_{utile} / D):$$

Cedimento del palo

$$\delta = \beta * P / E * L_{utile}$$

SLE-QP	
1.85	(-)
2.7	(mm)

SLE-RAR	
1.85	(-)
3.1	(mm)

$$\Delta\delta = 0.4 \text{ (mm)}$$

**CEDIMENTO DELLA PALIFICATA:**

$$\delta_p = R_s * \delta = n * R_g * \delta$$

Coefficiente di Gruppo

$$R_g = 0,5 / R + 0,13 / R^2$$

$$R = (n * s / L)^{0,5}$$

Cedimento della palificata

$$\delta_p = n * R_g * \delta =$$

$$R =$$

SLE-QP	
1.089	
12	(mm)

SLE-RAR	
1.089	
14	(mm)

$$\Delta\delta_p = 2 \text{ (mm)}$$

**CALCOLO DEL PALO SINGOLO E DELLA PALIFICATA**

**OPERA:** SPALLA 2

**DATI DI INPUT:**

Diametro del Palo (D):

Carico sul palo (P):

Lunghezza del Palo (L):

Lunghezza Utile del Palo (Lu):

Peso del Palo (P<sub>palo</sub>):

Carico base palo (P<sub>base</sub>):

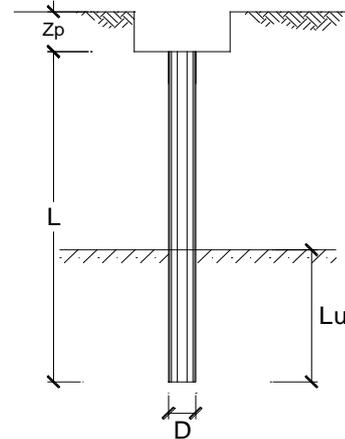
Modulo di Deformazione (E):

Numero di pali della Palificata (n):

Spaziatura dei pali (s)

Fine costr.	SLE-QP
1.20 (m)	1.20 (m)
2911 (kN)	2911 (kN)
27.0 (m)	27.0 (m)
27.0 (m)	27.0 (m)
189 (kN)	189 (kN)
3099 (kN)	3099 (kN)
80 (MPa)	80 (MPa)
8 (-)	8 (-)
4.0 (m)	4.0 (m)

Esercizio	SLE-RAR
1.20 (m)	1.20 (m)
3493 (kN)	3493 (kN)
27.0 (m)	27.0 (m)
27.0 (m)	27.0 (m)
189 (kN)	189 (kN)
3682 (kN)	3682 (kN)
80.0 (MPa)	80.0 (MPa)
8 (-)	8 (-)
4.0 (m)	4.0 (m)



**CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:**

$$\delta = \beta * P / E * Lutile$$

Coefficiente di forma

$$\beta = 0,5 + \text{Log}(Lutile / D):$$

Cedimento del palo

$$\delta = \beta * P / E * Lutile$$

SLE-QP
1.85 (-)
2.7 (mm)

SLE-RAR
1.85 (-)
3.2 (mm)

$$\Delta\delta = 0.5 \text{ (mm)}$$

**CEDIMENTO DELLA PALIFICATA:**

$$\delta p = R_s * \delta = n * R_g * \delta$$

Coefficiente di Gruppo

$$R_g = 0,5 / R + 0,13 / R^2$$

$$R = (n * s / L)^{0,5}$$

R =

SLE-QP
1.089
12 (mm)

SLE-RAR
1.089
14 (mm)

$$\Delta\delta_p = 2 \text{ (mm)}$$

### 8.3 CALCOLO DEL CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEL PALO SINGOLO

<b>Hp. Broms</b>	$\gamma_R$	<b>1.3</b>	Resistenza globale
A1+MI+R3	$\xi_3$	<b>1.7</b>	Verticali di indagine
	$\eta$	<b>0.8</b>	Efficienza palificata

Opera: SPALLA 1

Stratigrafia da testa palo

Unità	Nome	Tipo	$\gamma$	$c'$	$\varphi'$	$K_p$	$C_U$
			kN/mc	kPa	°	-	kPa
1	TGC2	Incoerente	18		34	3.54	
2	MDL1	Incoerente	20		40	4.60	
3	MDL3	Coesivo	20			1.00	280
4		Coesivo				1.00	
5		Coesivo				1.00	
6		Coesivo				1.00	
7		Coesivo				1.00	
8		Incoerente				1.00	

$d_{palo}$	1.2	m
$L_{palo}$	27	m
$z_{testa\ palo}$	2.9	m
$z_w$	11.6	m
$\gamma_{Rinterro}$	18	kN/mc
q	52.2	kPa

Per Broms modificato: possibilità di tener conto di un sovraccarico di monte

$M_{Rd}$	4158	kNm
$T_{Ed}$	1172	kN

Stratigrafia da testa palo

Unità	Nome	$z_{if}$	spessore	$s_v$	u	$s'_v$	p
		m	m	kPa	kPa	kPa	kN/m
1	TGC2	0	15.6	52.2	0	52.2	665
		1.8		84.6	0	84.6	1077
		1.8		84.6	0	84.6	1077
		15.6		333	40	293	3731
2	MDL1	15.6	21.5	333	40	293	4851
		37.1		763	255	508	8410
3	MDL3	37.1	20	763	255	508	3024
		57.1		1163	455	708	3024
4	0	57.1		1163	455	708	0
		57.1		1163	455	708	0
5	0	57.1		1163	455	708	0
		57.1		1163	455	708	0
6	0	57.1		1163	455	708	0
		57.1		1163	455	708	0
7	0	57.1		1163	455	708	0
		57.1		1163	455	708	0
8	0	57.1		1163	455	708	2549
		57.1		1163	455	708	2549

Meccanismo	$T_{MAX}$	$M_{MAX}$	a(*)	f(**)
	kN	kNm	m	m
Palo Corto	102720	1767420	-	-
Palo intermedio	29497	239636	21.09	-
Palo lungo	3983	4158	-	3.67

(\*) a = profondità punto di rotazione

(\*\*) f = profondità formazione seconda cerniera plastica

Resistenza di progetto	$T_{Rk,s}$ [kN]	3983	Resistenza caratteristica palo singolo
	$T_{Rd,s}$ [kN]	1802	Resistenza di progetto palo singolo
	$T_{Rd,g}$ [kN]	1442	Resistenza di progetto palificata

Verifica	$T_{Ed}$ [kN]	1172	OK
	$T_{Rd}$ [kN]	1442	
	FS	1.23	

ITINERARIO NAPOLI – BARI  
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO  
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO  
1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE  
PROGETTO ESECUTIVO

VI02 – Relazione geotecnica di calcolo delle  
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0203002	B	25 di 29

<b>Hp. Broms</b>	$\gamma_R$	<b>1.3</b>	Resistenza globale
A1+M1+R3	$\xi_3$	<b>1.7</b>	Verticali di indagine
	$\eta$	<b>0.8</b>	Efficienza palificata

Opera: SPALLA 2

Stratigrafia da testa palo

Unità	Nome	Tipo	$\gamma$	$c'$	$\varphi'$	$K_p$	$C_U$
			kN/mc	kPa	°	-	kPa
1	TGC2	Incoerente	18		34	3.54	
2	MDL1	Incoerente	20		40	4.60	
3	MDL3	Coesivo	20			1.00	280
4		Coesivo				1.00	
5		Coesivo				1.00	
6		Coesivo				1.00	
7		Coesivo				1.00	
8		Incoerente				1.00	

$d_{palo}$	1.2	m
$L_{palo}$	27	m
$Z_{testa\ palo}$	2.3	m
$Z_w$	11.6	m
$\gamma_{Rinterro}$	18	kN/mc
q	41.4	kPa

Per Broms modificato: possibilità di tener conto di un sovraccarico di monte

$M_{Ra}$	6041	kNm
$T_{Rd}$	1489	kN

Stratigrafia da testa palo

Unità	Nome	$Z_{ef}$	spessore	$s_v$	u	$s'_v$	p
		m	m	kPa	kPa	kPa	kN/m
1	TGC2	0	16.2	41.4	0	41.4	527
		1.8		73.8	0	73.8	940
		1.8		73.8	0	73.8	940
		16.2		333	46	287	3655
2	MDL1	16.2	21.5	333	46	287	4752
		37.7		763	261	502	8311
3	MDL3	37.7	20	763	261	502	3024
		57.7		1163	461	702	3024
4	0	57.7		1163	461	702	0
		57.7		1163	461	702	0
5	0	57.7		1163	461	702	0
		57.7		1163	461	702	0
6	0	57.7		1163	461	702	0
		57.7		1163	461	702	0
7	0	57.7		1163	461	702	0
		57.7		1163	461	702	0
8	0	57.7		1163	461	702	2527
		57.7		1163	461	702	2527

Meccanismo	$T_{MAX}$	$M_{MAX}$	a(*)	f(**)
	kN	kNm	m	m
Palo Corto	97679	1692678	-	-
Palo intermedio	27788	227221	21.18	-
Palo lungo	4631	6041	-	4.46

(\*) a = profondità punto di rotazione

(\*\*) f = profondità formazione seconda cerniera plastica

Resistenza di progetto	$T_{Rk,s}$ [kN]	4631	Resistenza caratteristica palo singolo
	$T_{Rd,s}$ [kN]	2095	Resistenza di progetto palo singolo
	$T_{Rd,e}$ [kN]	1676	Resistenza di progetto palificata

Verifica	$T_{Ed}$ [kN]	1489	OK
	$T_{Rd}$ [kN]	1676	
	FS	1.13	

## 8.4 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI AGENTI LUNGO IL FUSTO DEL PALO

**SPALLA 1**

scala grafico

strati terreno	descrizione	quote (m)	$k_h$ (kN/m <sup>3</sup> )	$n_h$ (kN/m <sup>3</sup> )
p.c.=strato 1	TGC2	38.7	193333	8000
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2	MDL1	23.1	123200	10000
<input type="checkbox"/> strato 3				
<input type="checkbox"/> strato 4				
<input type="checkbox"/> strato 5				
<input type="checkbox"/> strato 6				

Prof. testa palo 2.9 (m)

Diametro del palo 1.2 (m)

J palo 0.10179 (m<sup>4</sup>)

Lunghezza del palo 27 (m)

Forza orizzontale in testa 1172 (kN)

Momento in testa 0 (kNm)

E cls 31447 (Mpa)

dimensione elementi 0.2 (m)

palo impedito di ruotare

palo impedito di traslare

palo libero

**Calcolo**

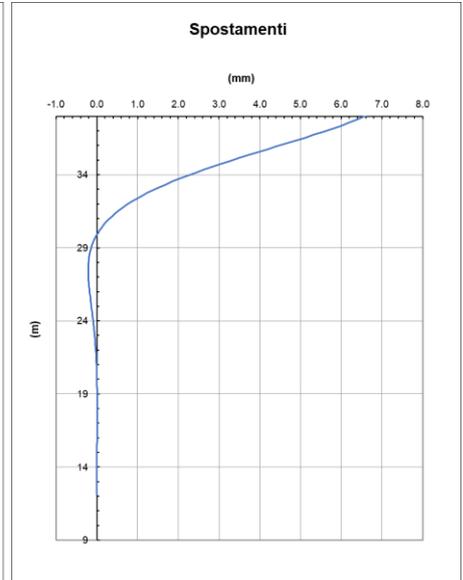
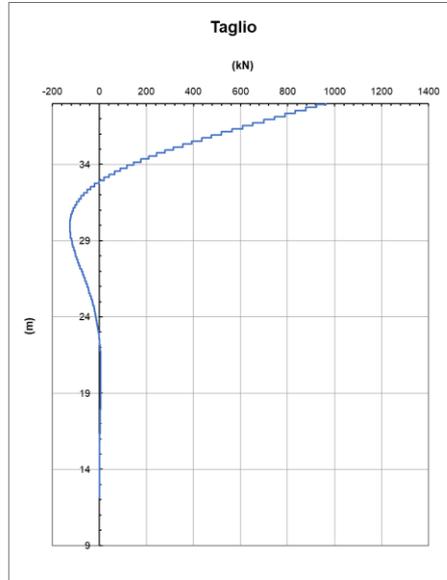
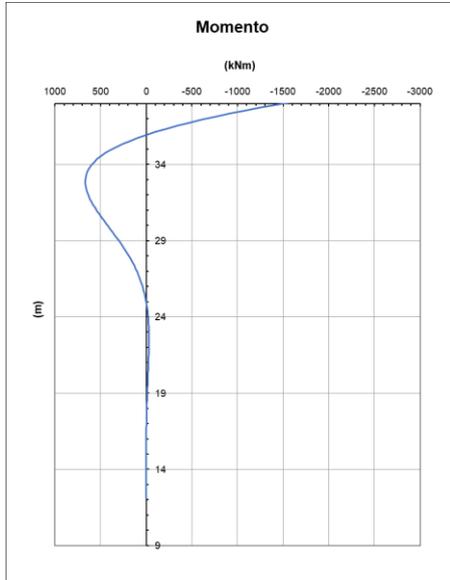
$M_0 = \alpha_m \cdot H$  2716 (kNm)

$\alpha_m$  2.32 (m)

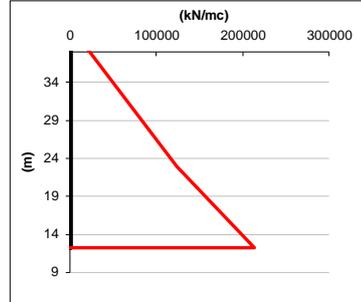
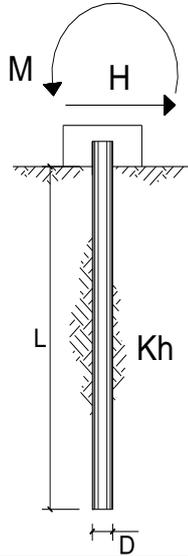
**ITINERARIO NAPOLI – BARI  
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO  
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO  
1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE  
PROGETTO ESECUTIVO**

**VI02 – Relazione geotecnica di calcolo delle  
fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0203002	B	27 di 29



SPALLA 2



scala grafico

strati terreno	descrizione	quote (m)	$k_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	$n_n$ (kN/m <sup>3</sup> )
p.c.=strato 1	TGC2	39.3	15333	8000
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2	MDL1	23.1	123200	10000
<input type="checkbox"/> strato 3				
<input type="checkbox"/> strato 4				
<input type="checkbox"/> strato 5				
<input type="checkbox"/> strato 6				

Prof. testa palo	2.3 (m)
Diametro del palo	1.2 (m)
J palo	0.10179 (m <sup>4</sup> )
Lunghezza del palo	27 (m)
Forza orizzontale in testa	1489 (kN)
Momento in testa	0 (kNm)
E cls	31447 (Mpa)
dimensione elementi	0.2 (m)
<input checked="" type="radio"/> palo impedito di ruotare	
<input type="radio"/> palo impedito di traslare	
<input type="radio"/> palo libero	
$M_0 = \alpha_m * H$	3595 (kNm)
$\alpha_m$	2.41 (m)

Calcolo

**ITINERARIO NAPOLI – BARI  
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO  
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO  
1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE  
PROGETTO ESECUTIVO**

**VI02 – Relazione geotecnica di calcolo delle  
fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0203002	B	29 di 29

