

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:	PROGETTISTA:	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE
RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI	Prof. Ing. Marco Petrangeli <i>Marco Petrangeli</i>	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

VI04 – Viadotto MALTEMPO (dal km 19+741 al km 19+777)

Relazione geotecnica di calcolo delle fondazioni

APPALTATORE IMPRESA PIZZAROTTI & C. s.p.a. <i>Dott. Ing. Sabino Del Balzo</i> IL DIRETTORE TECNICO <i>Ing. Sabino DEL BALZO</i> 23/06/2020	SCALA: <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px; margin: 5px auto; text-align: center;">-</div>
--	---

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

I	F	2	6	1	2	E	Z	Z	C	L	V	I	0	4	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	Ing. Marco Petrangeli
B	Revisione a seguito istruttoria ITF	A. Tagliaferri	23/06/2020	G. Usai	23/06/2020	P. Grasso	23/06/2020	 <i>Marco Petrangeli</i> 23/06/2020

File: IF26.1.2.E.ZZ.CL.VI.0.4.0.3.002.B.doc

n. Elab.:

Indice

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	4
3	MATERIALI.....	5
3.1	CALCESTRUZZO PER I PALI DI FONDAZIONE	5
3.2	ACCIAIO PER BARRE DI ARMATURA	6
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SCHEMA DI CALCOLO	7
5	DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA.....	9
6	CARICHI AGENTI IN TESTA AI PALI DI FONDAZIONE.....	9
7	RISULTATI DELLE VERIFICHE GEOTECNICHE DEI PALI DI FONDAZIONE	12
7.1	VERIFICA A CARICO LIMITE VERTICALE DEL PALO SINGOLO	12
7.2	CALCOLO DEI CEDIMENTI VERTICALI DEL PALO SINGOLO E DELLA PALIFICATA	14
7.3	VERIFICA A CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEL PALO SINGOLO.....	16
7.4	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI AGENTI LUNGO IL FUSTO DEL PALO.....	17
8	APPENDICE	19
8.1	CALCOLO DEL CARICO LIMITE VERTICALE DEL PALO SINGOLO	19
8.2	CALCOLO DEI CEDIMENTI VERTICALI DEL PALO SINGOLO E DELLA PALIFICATA	25
8.3	CALCOLO DEL CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEL PALO SINGOLO	28
8.4	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI AGENTI LUNGO IL FUSTO DEL PALO.....	31

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO					
VI04 – Relazione geotecnica di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0403 002	REV. B	FOGLIO 3 di 36

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 VI04 – Viadotto Maltempo.

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:

- VI04 - Spalle: Relazione di calcolo (elaborato IF26.1.2.E.ZZ.CL.VI.04.0.4.001) – Doc Rif. [18];
- VI04 - Pila P1: Relazione di calcolo (elaborato IF26.1.2.E.ZZ.CL.VI.04.0.5.001) – Doc Rif. [19];

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO												
VI04 – Relazione geotecnica di calcolo delle fondazioni	<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>VI0403002</td> <td>B</td> <td>4 di 36</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	CL	VI0403002	B	4 di 36
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403002	B	4 di 36								

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] VI04 - Spalle: Relazione di calcolo (elaborato IF26.1.2.E.ZZ.CL.VI.04.0.4.001);
- [19] VI04 - Pila P1: Relazione di calcolo (elaborato IF26.1.2.E.ZZ.CL.VI.04.0.5.001);
- [20] “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

Calcestruzzo			
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	Copri ferro 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

Acciaio			
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
$\epsilon_{yd} =$	0.20%		Deformazione di progetto a snervamento
$\epsilon_{uk} = (A_{gt})_k =$	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 ξ relativo a 2 verticali di indagine.

Dai dati strumentali delle letture del piezometro posto in prossimità dell'opera (S-PE04), sintetizzati nella relazione geotecnica generale, si sono registrato valore compresi tra +34.60 m s.l.m. e +34.53 m s.l.m. (ovvero compresi tra circa 7.5 m e 9.5 m da p.c.), considerando una quota del p.c. variabile tra +44.00 e +42.00 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				
	ba1	TGC2	MDL1	MDL2	MDL3
γ_t (kN/m ³)	20	18	20	19.5	20
ϕ' (°)	38	35	40	33	-
c' (kPa)	0	0	0	0	-
c_u (kPa)	-	-	-	-	175 (10 < z < 20 m) 210 (20 < z < 35 m) 280 (z > 35 m)
E_{op} (MPa)	60	60	120	80	60 (10 ≤ z < 20 m) 80 (20 ≤ z < 35 m) 100 (z ≥ 35 m)

Stratigrafie di calcolo

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

SPALLA 1			
Strato	Descrizione	da (m s.l.m.)	a (m s.l.m.)
1	ba1	44.0 (p.c.)	37.0
2	TGC2	37.0	29.0
3	MDL1	29.0	27.5
4	MDL2	27.5	26.5
5	MDL3 (2)	26.5	9.0
6	MDL3 (3)	9.0	
Falda: 9.40 m da p.c. (+34.6 m s.l.m.)			

PILA 1			
Strato	Descrizione	da (m s.l.m.)	a (m s.l.m.)
1	ba1	42.0 (p.c.)	33.0
2	TGC2	33.0	27.0
3	MDL1	27.0	24.0
4	MDL2	24.0	23.0
5	MDL3 (2)	23.0	7.0
6	MDL3 (3)	7.0	
Falda: 7.40 m da p.c. (+34.6 m s.l.m.)			

SPALLA 2			
Strato	Descrizione	da (m s.l.m.)	a (m s.l.m.)
1	ba1	42.0 (p.c.)	33.0
2	TGC2	33.0	27.0
3	MDL1	27.0	24.0
4	MDL2	24.0	23.0
5	MDL3 (2)	23.0	
Falda: 7.40 m da p.c. (+34.6 m s.l.m.)			

(*) si indica con:

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

MDL3 (3) 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.

VI03						
Appoggio	Fondazione			n° pali	Φpali	Lpali
	B	L	H			
	(m)	(m)	(m)			
Spalla S1	9.6	15.45	1.8	12	1200	33
Pila 1	6.4	15.45	1.8	8	1200	34
Spalla S2	9.6	15.45	1.8	12	1200	33

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:

- VI04 - Spalle: Relazione di calcolo (elaborato IF26.1.2.E.ZZ.CL.VI.04.0.4.001) – Doc Rif. [18];
- VI04 - Pila P1: Relazione di calcolo (elaborato IF26.1.2.E.ZZ.CL.VI.04.0.5.001) – Doc Rif. [19].

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_x = momento esterno attorno all'asse x, accoppiato con H_y

H_y = forza orizzontale esterna nella direzione y, accoppiata con M_x

M_y = momento esterno attorno all'asse y, accoppiato con H_x

H_x = forza orizzontale esterna nella direzione x, accoppiata con M_y

Q_{ti} = forza verticale agente alla testa del palo i-esimo

y_i = distanza del palo i-esimo dall'asse baricentrico della palificata nella direzione y

x_i = distanza del palo i-esimo dall'asse baricentrico della palificata nella direzione x

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

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

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403002	B	10 di 36

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

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403002	B	11 di 36

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.

	N _{SLU_max} (kN)	N _{SLU_min} (kN)	N _{SLV_max} (kN)	N _{SLV_min} (kN)	T _{SLU/SLV_max} (kN)
SPALLA S1	4634	2926	4747	-580	1566
PILA 1	6361	1513	6407	-1141	857
SPALLA S2	3562	2914	3525	131	1309

con:

N_{SLU_max} = sforzo assiale max agente in testa al palo per la comb. statica A1+M1+R3;

N_{SLU_min} = sforzo assiale min agente in testa al palo per la comb. statica A1+M1+R3;

N_{SLV_max} = sforzo assiale max agente in testa al palo per la comb. sismica EQK+M1+R3;

N_{SLV_min} = sforzo assiale min agente in testa al palo per la comb. sismica EQK+M1+R3;

T_{SLU/SLV_max} = taglio massimo agente in testa al palo (massimo valore tra la comb. statica e sismica allo SLU/SLV).

	N _{SLE-qp_max} (kN)	N _{SLE-rara_max} (kN)	N _{SLE-rara_min} (kN)	T _{SLE_max} (kN)
SPALLA S1	2789	3308	2015	536
PILA 1	3040	4477	1667	212
SPALLA S2	2240	2535	2044	467

con:

N_{SLE-qp_max} = sforzo assiale max agente in testa al palo per la comb. statica SLE quasi perm.;

N_{SLE-rara_max} = sforzo assiale max agente in testa al palo per la comb. SLE rara;

N_{SLE-rara_min} = sforzo assiale min agente in testa al palo per la comb. SLE rara;

T_{SLE_max} = 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

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

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 _{pali} (m)	N _{SLU_max} (kN)	Q _{limite_compr} (kN)	FS (-)
SPALLA 1	33.0	4634	7110	1.53
PILA 1	34.0	6361	7209	1.13
SPALLA 2	33.0	3562	6314	1.77

	N _{SLV_max} (kN)	Q _{limite_compr} (kN)	FS (-)
	4747	7110	1.50
	6407	7209	1.13
	3525	6314	1.79

	L _{pali} (m)	N _{SLU_max_traz} (kN)	Q _{limite_traz} (kN)	FS (-)
SPALLA S1	33.0	-	-	-
PILA 1	34.0			
SPALLA S2	33.0	-	-	-

	N _{SLV_max_traz} (kN)	Q _{limite_traz} (kN)	FS (-)
	-580	-5505	9.48
	-1141	-5556	4.87
	-	-	-

con:

N_{SLU_max} = sforzo assiale max a compressione agente in testa al palo per la comb. statica A1+M1+R3;

N_{SLV_max} = sforzo assiale max a compressione agente in testa al palo per la comb. sismica EQK+M1+R3;

$N_{SLU_max_traz}$ = sforzo assiale max a trazione agente in testa al palo per la comb. statica A1+M1+R3;

$N_{SLV_max_traz}$ = sforzo assiale max a trazione agente in testa al palo per la comb. sismica EQK+M1+R3;

$Q_{limite_compr.}$ = carico limite del palo singolo a compressione allo SLU/SLV;

$Q_{limite_traz.}$ = carico limite del palo singolo a trazione allo SLU/SLV;

FS = coefficiente di sicurezza (≥ 1).

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

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403002	B	13 di 36

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. .

	L _{pali} (m)	N _{SLE-rara_max} (kN)	R _{s_laterale} (kN)	FS _{lat} (-)
SPALLA S1	33.0	3308	10730	3.24
PILA 1	34.0	4477	10902	2.44
SPALLA S2	33.0	2535	9857	3.89

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 (≥ 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	2995	2.7	17	3513	3.2	20	0.5	3
PILA 1	3246	2.9	19	4683	4.1	27	1.3	8
SPALLA S2	2441	1.9	12	2735	2.1	13	0.2	1

con:

δ_{palo} = cedimento verticale del palo singolo;

δ_{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.

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

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403002	B	15 di 36

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	2995	17	-	-
PILA 1	3246	19	2	22
SPALLA S2	2441	12	-7	12.5

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. [20]).

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 del palo.

	Armatura longitudinale								ρ_{long} (%)	ρ_{min} (%)
	Gabbia 1		Gabbia 2		Gabbia 3		Gabbia 4			
	n.	\emptyset (mm)	n.	\emptyset (mm)	n.	\emptyset (mm)	n.	\emptyset (mm)		
SPALLA 1	32+32	30	32	22	32	16	32	16	4.00%	1.00%
PILA 1	30+30	26	30	22	30	16	30	16	2.82%	1.00%
SPALLA 2	30+30	26	30	24	30	16	30	16	4.55%	1.00%

Le armature rispettano le quantità minime indicate dalla normativa.

Ai fini delle verifiche con la metodologia di Broms (secondo Doc. Rif. [20]) 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 1	6387	3230	2584	1566	1.65
PILA 1	4756	2760	2208	857	2.58
SPALLA 2	6387	2321	1857	1309	1.42

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 (≥ 1.00).

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO					
VI04 – Relazione geotecnica di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0403002	REV. B	FOGLIO 17 di 36

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;

α_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:

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

$$n_h = 10000 \text{ Kn/m}^3 \quad (\text{depositi incoerenti molto addensati: MDL1, MDL2})$$

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**

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

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403002	B	18 di 36

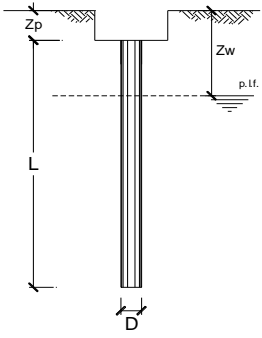
	\varnothing palo	T_{SLU/SLV_max}	α	M_{SLU/SLV_max}
	(mm)	(Kn)	(-)	(kNm)
SPALLA S1	1200	1566	2.05	3208
PILA	1200	857	2.07	1770
SPALLA S2	1200	1309	2.29	2995

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_p): 5.30 (m)
Area del palo (A_p): 1.131 (m²)
quota della falda dal p.c. (z_w): 7.40 (m)



CARICO ASSIALE DI COMPRESSIONE SUL SINGOLO PALO:
§6.4.3.1 D.M. 14/01/2008
Approccio 2: (A1+M1+R3)
Carico assiale di compressione di progetto
N_d (SLU) 4634 (kN)
N_d (SLV) 4747 (kN)
N_d (SLE) 3308 (kN)
N_d (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_d (SLU) (kN)
N_d (SLV) -580 (kN)

Numero di strati 6

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Strato	Stratigrafia		Spess.	Tipo di terreno	Parametri del terreno										
	da	a			γ	c'	φ'	c _u	α	a	τ _{lim}	N _q	q _{b, max}	k _{compr}	k _{traz}
(-)	(m)	(m)	(m)	(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(kPa)	(-)	(-)	(kPa)	(kPa)	(-)	(-)		
1	0.00	7.00	7.00	ba1	20	0	38				150		4300	0.6	0.5
2	7.00	15.00	8.00	TGC2	18	0	35				150		4300		
3	15.00	16.50	1.50	MDL1	20	0	40				150		5800		
4	16.50	17.50	1.00	MDL2	19.5	0	33				150		5800		
5	17.50	35.00	17.50	MDL3	20			210	0.4		100				
6	35.00	100.00	65.00	MDL3	20			280	0.4		100				

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 ₃	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
ξ ₄	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

n°2 verticali Peso del palo depurato W_{p,dep}

Lunghezza del palo (L _p)	33	(m)
Peso del palo depurato W _{p,dep}	205	(kN)
Peso palo alleggerito W _{p,all}	582	(kN)
Profondità punta palo:	38.3	(m)

CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

Resistenza alla base:	R _b =	3698	(kN)
Resistenza laterale a compressione:	R _{s, compr.} =	10730	(kN)
Resistenza laterale a trazione:	R _{s, traz.} =	10153	(kN)
Resistenza totale a compressione:	R _t = R _b + R _{s, compr.} =	14428	(kN)
Resistenza totale a trazione:	R _t = R _b + R _{s, traz.} =	10153	(kN)

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

Resistenza alla base:	R _{b,c} =	1660	(kN)
Resistenza laterale a compressione:	R _{s,c} =	5655	(kN)
Resistenza totale a compressione:	R _{d,c} = R _{b,c} + R _{s,c} + W _{p,dep} =	7110	(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 _{d,t} = R _{s,t} + W _{p,all} =	-5505	(kN)
-------------------------------	--	-------	------

VERIFICA A COMPRESSIONE

	N _{d,c} (kN)	R _{d,c} (kN)	FS (-)
SLU - (A1+M1+R3)	4634	7110	1.53
SLV - (EQK+M1+R3)	4747	7110	1.50

R_{d,c}/N_{d,c} ≥ 1

	N _c (kN)	R _{s,c} (kN)	FS (-)
SLE	3308	10730	3.24
SLD			

R_{s,c}/N_c ≥ 1.25

VERIFICA A TRAZIONE

	N _{d,t} (kN)	R _{d,t} (kN)	FS (-)
SLU - (A1+M1+R3)			
SLV - (EQK+M1+R3)	-580	-5505	9.48

R_{d,t}/N_{d,t} ≥ 1

VI04 – Relazione geotecnica di calcolo delle
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403002	B	20 di 36

DIAGRAMMI CAPACITA' PORTANTE A FORZE ASSIALI DI COMPRESIONE

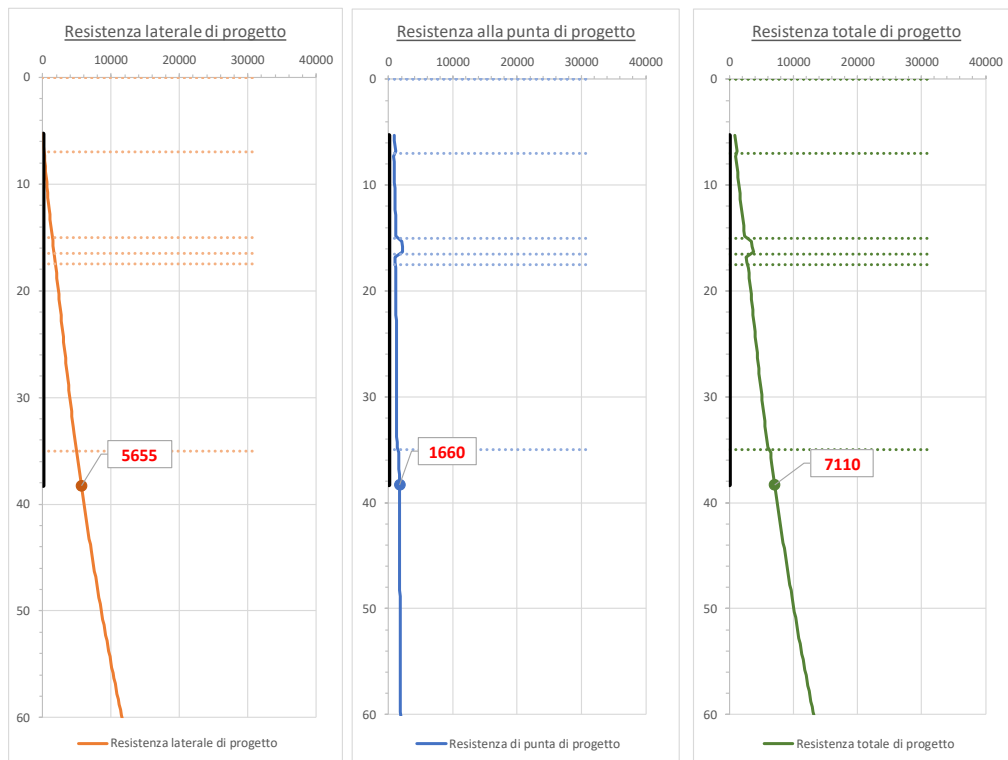
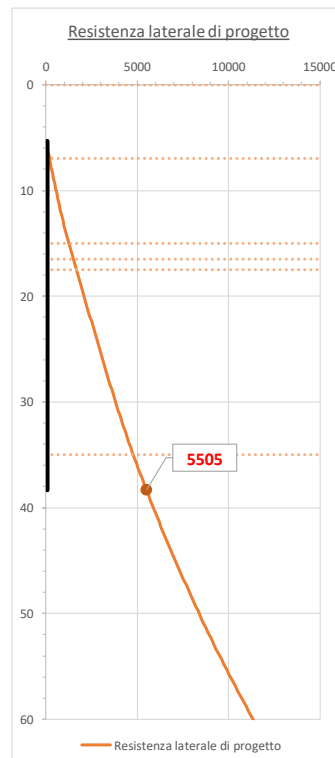


DIAGRAMMA CAPACITA' PORTANTE A FORZE ASSIALI DI TRAZIONE



VI04 – Relazione geotecnica di calcolo delle
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403002	B	21 di 36

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: PILA 1

Diametro del palo (D): 1.2 (m)
Quota testa palo dal p.c. (z_p): 5.10 (m)
Area del palo (A_p): 1.131 (m²)
quota della falda dal p.c. (z_w): 5.40 (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 _d (SLU)	6361	(kN)
N _d (SLV)	6407	(kN)
N _d (SLE)	4477	(kN)
N _d (SLD)		(kN)

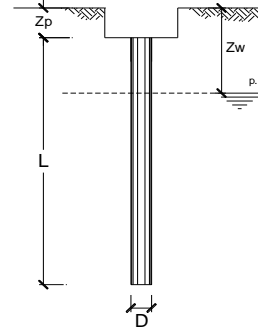
CARICO ASSIALE DI TRAZIONE SUL SINGOLO PALO:

§6.4.3.1 D.M. 14/01/2008

Approccio 2: (A1+M1+R3)

Carico assiale di trazione di progetto

N _d (SLU)		(kN)
N _d (SLV)	-1141	(kN)



Numero di strati 6

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Strato	Stratigrafia			Spess.	Tipo di terreno	Parametri del terreno						τ _{lim}	N _a	q _{b, max}	k _{comp}	k _{traz}
	da	a				γ	c'	φ'	c _u	α	a					
(-)	(m)	(m)	(m)			(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(kPa)	(-)	(-)	(kPa)	(-)	(kPa)	(-)	(-)
1	0.00	9.00	9.00	9.00	ba1	20	0	38				150		4300	0.6	0.5
2	9.00	15.00	6.00	6.00	TGC2	18	0	35				150		4300		
3	15.00	18.00	3.00	3.00	MDL1	20	0	40				150		5800		
4	18.00	19.00	1.00	1.00	MDL2	19.5	0	33				150		5800		
5	19.00	35.00	16.00	16.00	MDL3	20			210	0.4		100				
6	35.00	100.00	65.00	65.00	MDL3	20			280	0.4		100				

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 ₃	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
ξ ₄	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

n°2 verticali Peso del palo depurato W_{p,dep}

Lunghezza del palo (L _p)	34	(m)
Peso del palo depurato W _{p,dep}	206	(kN)
Peso palo alleggerito W _{p,all}	577	(kN)
Profondità punta palo:	39.1	(m)

CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

Resistenza alla base:	R _b =	3720	(kN)
Resistenza laterale a compressione:	R _{s,comp} =	10902	(kN)
Resistenza laterale a trazione:	R _{s,traz} =	10269	(kN)

Resistenza totale a compressione:	R _t = R _b + R _{s,comp} =	14622	(kN)
Resistenza totale a trazione:	R _t = R _b + R _{s,traz} =	10269	(kN)

CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

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

Resistenza alla base:	R _{b,c} =	1670	(kN)
Resistenza laterale a compressione:	R _{s,c} =	5745	(kN)
Resistenza totale a compressione:	R _{d,c} = R _{b,c} + R _{s,c} =	7209	(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 _{d,t} = R _{s,t} + W _{p,dep} =	-5556	(kN)
-------------------------------	--	-------	------

Strato	Spess. Strati_palo	F _{SL,comp}	F _{SL,traz}	F _{SB}
(-)	(m)	ξ ₃ * γ _s	ξ ₃ * γ _s	ξ ₃ * γ _b
1	3.90	1.9	2.1	2.2

F_{SL,comp}: Fattore di sicurezza per resistenza laterale - compressione

F_{SL,traz}: Fattore di sicurezza per resistenza laterale - trazione

F_{SB}: Fattore di sicurezza per resistenza alla base

2	6.00			
3	3.00			
4	1.00			
5	16.00			
6	4.10			

VERIFICA A COMPRESIONE

	N _{d,t} (kN)	R _{d,t} (kN)	FS (-)
SLU - (A1+M1+R3)	6361	7209	1.13
SLV - (EQK+M1+R3)	6407	7209	1.13

R_{d,t}/N_{d,t} ≥ 1

	N _c (kN)	R _{s,c} (kN)	FS (-)
SLE	4477	10902	2.44
SLD			-

R_{s,c}/N_c ≥ 1.25

VERIFICA A TRAZIONE

	N _{d,t} (kN)	R _{d,t} (kN)	FS (-)
SLU - (A1+M1+R3)			-
SLV - (EQK+M1+R3)	-1141	-5556	4.87

R_{d,t}/N_{d,t} ≥ 1

VI04 – Relazione geotecnica di calcolo delle
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403002	B	22 di 36

DIAGRAMMI CAPACITA' PORTANTE A FORZE ASSIALI DI COMPRESIONE

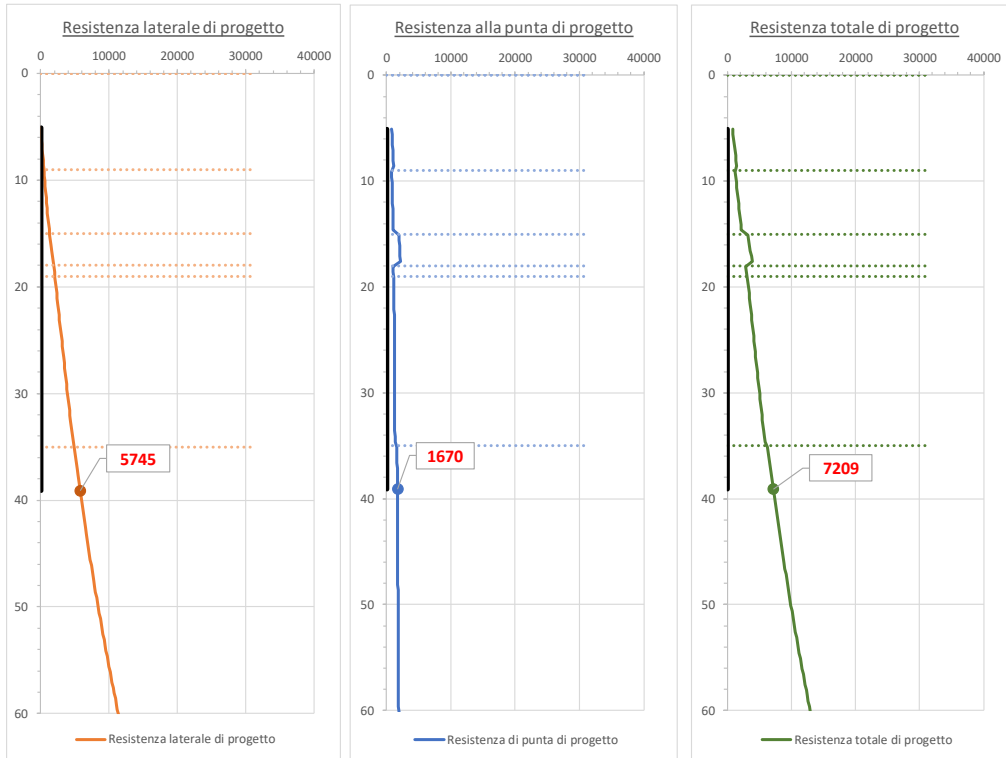
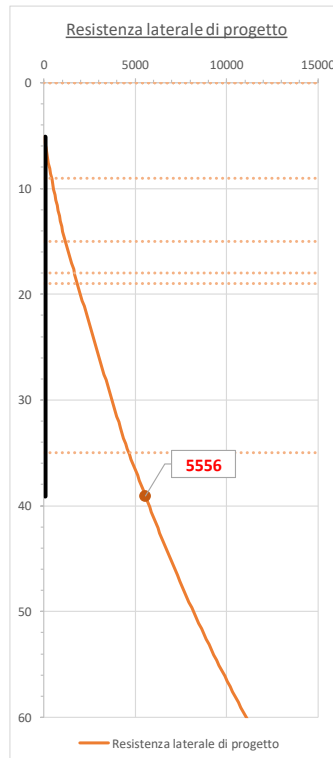


DIAGRAMMA CAPACITA' PORTANTE A FORZE ASSIALI DI TRAZIONE



VI04 – Relazione geotecnica di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403002	B	23 di 36

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 _p):	3.10	(m)
Area del palo (A _p):	1.131	(m ²)
quota della falda dal p.c. (z _w):	5.40	(m)

CARICO ASSIALE DI COMPRESSIONE SUL SINGOLO PALO:

§6.4.3.1 D.M. 14/01/2008

Approccio 2: (A1+M1+R3)

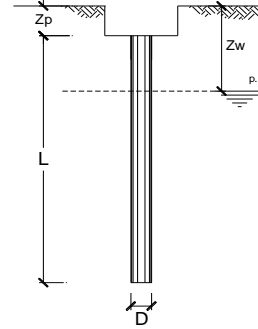
Carico assiale di compressione di progetto	N _d (SLU)	3562	(kN)
	N _d (SLV)	3525	(kN)
	N _d (SLE)	2535	(kN)
	N _d (SLD)		(kN)

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 _d (SLU)		(kN)
	N _d (SLV)		(kN)



Numero di strati 5

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Strato	Stratigrafia			Spess.	Tipo di terreno	Parametri del terreno							τ _{lim}	N _a	q _{b, max}	k _{comp}	k _{traz}
	da	a				γ	c'	φ'	c _u	α	a						
(-)	(m)	(m)	(m)			(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(kPa)	(-)	(-)	(kPa)	(-)	(kPa)	(-)	(-)	
1	0.00	9.00	9.00		ba1	20	0	38				150		4300	0.6	0.5	
2	9.00	15.00	6.00		TGC2	18	0	35				150		4300			
3	15.00	18.00	3.00		MDL1	20	0	40				150		5800			
4	18.00	19.00	1.00		MDL2	19.5	0	33				150		5800			
5	19.00	100.00	81.00		MDL3	20			210	0.4		100					

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 ₃	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
ξ ₄	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

n°2 verticali Peso del palo depurato W_{p, dep}

Lunghezza del palo (L _p)	33	(m)
Peso del palo depurato W _{p, dep}	201	(kN)
Peso palo alleggerito W _{p, all}	582	(kN)
Profondità punta palo:	36.1	(m)

CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

Resistenza alla base:	R _b =	2940	(kN)
Resistenza laterale a compressione:	R _{s, compr.} =	9857	(kN)
Resistenza laterale a trazione:	R _{s, traz.} =	9175	(kN)

Resistenza totale a compressione:	R _t = R _b + R _{s, compr.} =	12797	(kN)
Resistenza totale a trazione:	R _t = R _b + R _{s, traz.} =	9175	(kN)

CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

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

Resistenza alla base:	R _{b, c} =	1320	(kN)
Resistenza laterale a compressione:	R _{s, c} =	5195	(kN)
Resistenza totale a compressione:	R _{d, c} = R _{b, c} + R _{s, c} · W _{p, dep} =	6314	(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 _{d, t} = R _{s, t} + W _{p, dep} =	-5031	(kN)
-------------------------------	---	-------	------

Strato	Spess. Strati_palo	F _{SL, compr.}	F _{SL, traz.}	F _{SB}
(-)	(m)	ξ ₃ · γ _s	ξ ₃ · γ _s	ξ ₃ · γ _b
1	5.90	1.9	2.1	2.2

F_{SL, compr.}: Fattore di sicurezza per resistenza laterale - compressione

F_{SL, traz.}: Fattore di sicurezza per resistenza laterale - trazione

F_{SB}: Fattore di sicurezza per resistenza alla base

2	6.00			
3	3.00			
4	1.00			
5	17.10			

VERIFICA A COMPRESSIONE

	N _{d, c} (kN)	R _{d, c} (kN)	FS (-)
SLU - (A1+M1+R3)	3562	6314	1.77
SLV - (EQK+M1+R3)	3525	6314	1.79

R_{d, c}/N_{d, c} ≥ 1

	N _c (kN)	R _{s, c} (kN)	FS (-)
SLE	2535	9857	3.89
SLD			-

R_{s, c}/N_c ≥ 1.25

VERIFICA A TRAZIONE

	N _{d, t} (kN)	R _{d, t} (kN)	FS (-)
SLU - (A1+M1+R3)			-
SLV - (EQK+M1+R3)			-

R_{d, t}/N_{d, t} ≥ 1

VI04 – Relazione geotecnica di calcolo delle
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403002	B	24 di 36

DIAGRAMMI CAPACITA' PORTANTE A FORZE ASSIALI DI COMPRESIONE

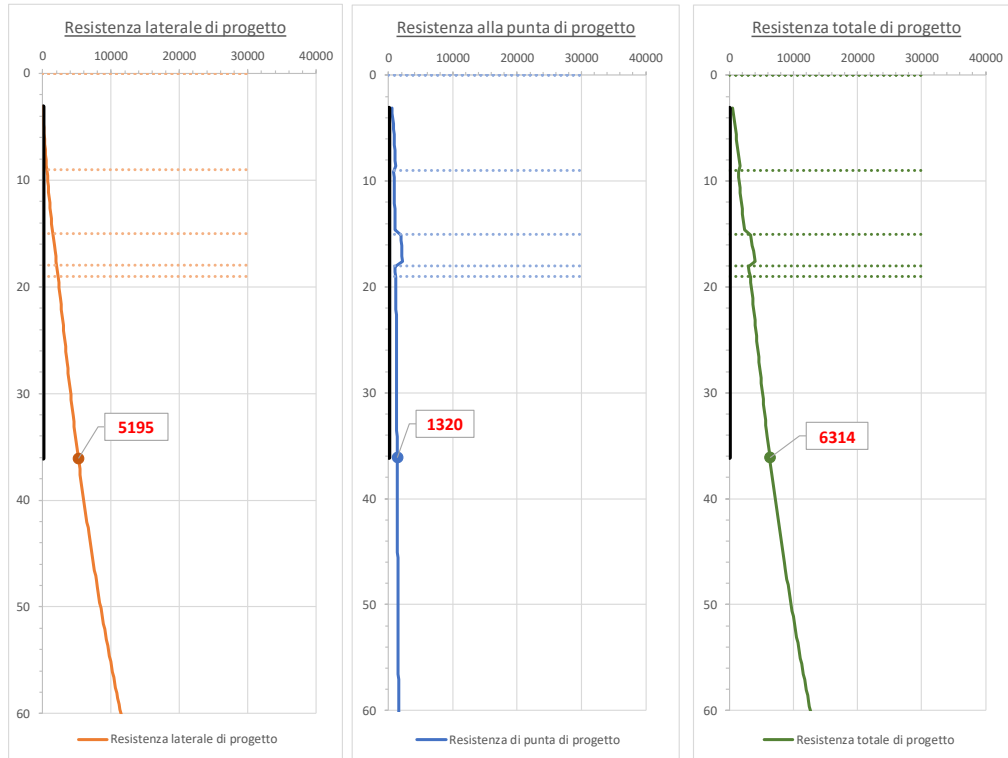
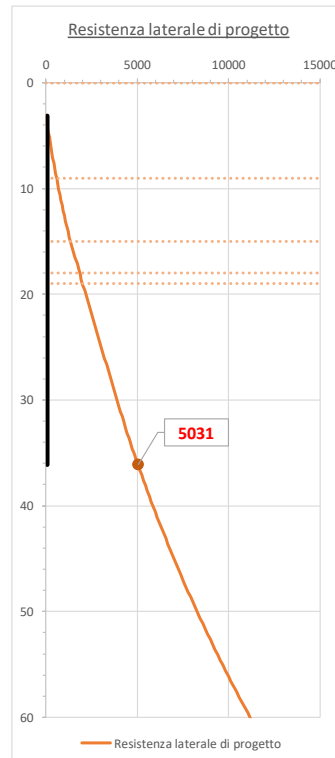


DIAGRAMMA CAPACITA' PORTANTE A FORZE ASSIALI DI TRAZIONE



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_{palo}):

Carico base palo (P_{base}):

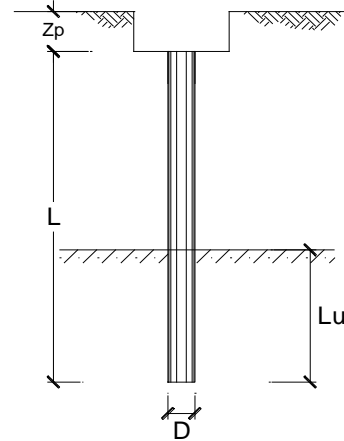
Modulo di Deformazione (E):

Numero di pali della Palificata (n):

Spaziatura dei pali (s)

Fine costr.	
SLE-QP	
1.20	(m)
2789	(kN)
33.0	(m)
33.0	(m)
205	(kN)
2995	(kN)
65	(MPa)
12	(-)
3.6	(m)

Esercizio	
SLE-RAR	
1.20	(m)
3308	(kN)
33.0	(m)
33.0	(m)
205	(kN)
3513	(kN)
65.0	(MPa)
12	(-)
3.6	(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	
1.94	(-)
2.7	(mm)

SLE-RAR	
1.94	(-)
3.2	(mm)

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

CEDIMENTO DELLA PALIFICATA:

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

Coefficiente di Gruppo

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

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

Cedimento della palificata

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

R =

SLE-QP	
1.144	
17	(mm)

SLE-RAR	
1.144	
20	(mm)

$$\Delta\delta_p = 3 \text{ (mm)}$$

CALCOLO DEL PALO SINGOLO E DELLA PALIFICATA

OPERA: PILA 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_{palo}):

Carico base palo (P_{base}):

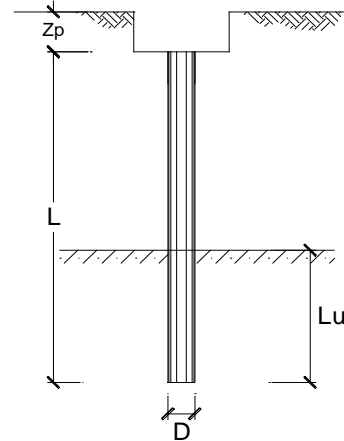
Modulo di Deformazione (E):

Numero di pali della Palificata (n):

Spaziatura dei pali (s)

Fine costr.	SLE-QP
1.20 (m)	1.20 (m)
3040 (kN)	3040 (kN)
34.0 (m)	34.0 (m)
34.0 (m)	34.0 (m)
206 (kN)	206 (kN)
3246 (kN)	3246 (kN)
65 (MPa)	65 (MPa)
12 (-)	12 (-)
3.6 (m)	3.6 (m)

Esercizio	SLE-RAR
1.20 (m)	1.20 (m)
4477 (kN)	4477 (kN)
34.0 (m)	34.0 (m)
34.0 (m)	34.0 (m)
206 (kN)	206 (kN)
4683 (kN)	4683 (kN)
65.0 (MPa)	65.0 (MPa)
12 (-)	12 (-)
3.6 (m)	3.6 (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
1.95 (-)
2.9 (mm)

SLE-RAR
1.95 (-)
4.1 (mm)

$$\Delta\delta = 1.3 \text{ (mm)}$$

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
1.127
19 (mm)

SLE-RAR
1.127
27 (mm)

$$\Delta\delta_p = 8 \text{ (mm)}$$

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_{palo}):

Carico base palo (P_{base}):

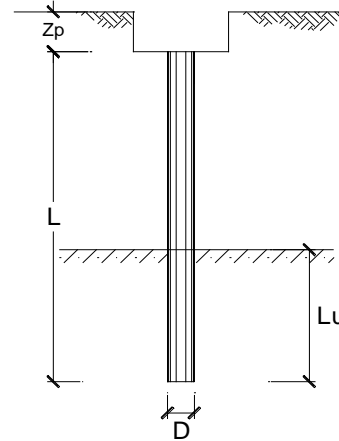
Modulo di Deformazione (E):

Numero di pali della Palificata (n):

Spaziatura dei pali (s)

Fine costr.	SLE-QP
1.20 (m)	1.20 (m)
2240 (kN)	2240 (kN)
33.0 (m)	33.0 (m)
33.0 (m)	33.0 (m)
201 (kN)	201 (kN)
2441 (kN)	2441 (kN)
75 (MPa)	75 (MPa)
12 (-)	12 (-)
4.0 (m)	4.0 (m)

Esercizio	SLE-RAR
1.20 (m)	1.20 (m)
2535 (kN)	2535 (kN)
33.0 (m)	33.0 (m)
33.0 (m)	33.0 (m)
201 (kN)	201 (kN)
2735 (kN)	2735 (kN)
75.0 (MPa)	75.0 (MPa)
12 (-)	12 (-)
4.0 (m)	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
1.94 (-)
1.9 (mm)

SLE-RAR
1.94 (-)
2.1 (mm)

$$\Delta\delta = 0.2 \text{ (mm)}$$

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
1.206
12 (mm)

SLE-RAR
1.206
13 (mm)

$$\Delta\delta_p = 1 \text{ (mm)}$$

8.3 CALCOLO DEL CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEL PALO SINGOLO

Hp. Broms	γ_R	1.3	Resistenza globale
A1+MI+R3	ξ_3	1.65	Verticali di indagine
	η	0.8	Efficienza palificata

Opera: SPALLA 1

Stratigrafia da testa palo

Unità	Nome	Tipo	γ	c'	φ'	K_p	C_U
			kN/mc	kPa	°	-	kPa
1	ba1	Incoerente	20		38	4.20	
2	TGC2	Incoerente	18	0	35	3.69	
3	MDL1	Incoerente	20	0	40	4.60	
4	MDL2	Incoerente	19.5	0	33	3.39	
5	MDL3	Coesivo	20			1.00	210
6	MDL3	Coesivo	20			1.00	280
7		Coesivo				1.00	
8		Incoerente				1.00	

d_{palo}	1.2	m
L_{palo}	33	m
$Z_{testa\ palo}$	5.3	m
Z_w	9.4	m
$\gamma_{Rinterro}$	20	kN/mc
q	106	kPa

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

M_{Rd}	6387	kNm
T_{Ed}	1566	kN

Stratigrafia da testa palo

Unità	Nome	Z_{ef}	spessore	s_v	u	s'_v	p
		m	m	kPa	kPa	kPa	kN/m
1	ba1	0	1.8	106	0	106	1604
		1.8		142	0	142	2149
		1.8		142	0	142	2149
		1.8		142	0	142	2149
2	TGC2	1.8	7.9	142	0	142	1886
		9.7		284.2	3	281.2	3736
3	MDL1	9.7	1.5	284.2	3	281.2	4656
		11.2		314.2	18	296.2	4904
4	MDL2	11.2	1	314.2	18	296.2	3617
		12.2		333.7	28	305.7	3733
5	MDL3	12.2	17.5	333.7	28	305.7	2268
		29.7		683.7	203	480.7	2268
6	MDL3	29.7	20	683.7	203	480.7	3024
		49.7		1083.7	403	680.7	3024
7	0	49.7		1083.7	403	680.7	0
		49.7		1083.7	403	680.7	0
8	0	49.7		1083.7	403	680.7	2451
		49.7		1083.7	403	680.7	2451

Meccanismo	T_{MAX}	M_{MAX}	a(*)	f(**)
	kN	kNm	m	m
Palo Corto	85760	1392750	-	-
Palo intermedio	37157	260270	23.27	-
Palo lungo	6928	6387	-	3.5

(*) a = profondità punto di rotazione

(**) f = profondità formazione seconda cerniera plastica

Resistenza di progetto	$T_{Rk,s}$ [kN]	6928	Resistenza caratteristica palo singolo
	$T_{Rd,s}$ [kN]	3230	Resistenza di progetto palo singolo
	$T_{Rd,g}$ [kN]	2584	Resistenza di progetto palificata

Verifica	T_{Ed} [kN]	1566	OK
	T_{Rd} [kN]	2584	
	FS	1.65	

VI04 – Relazione geotecnica di calcolo delle
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403002	B	29 di 36

<u>Hp. Broms</u>	γ_R	1.3	Resistenza globale
A1+M1+R3	ξ_3	1.65	Verticali di indagine
	η	0.8	Efficienza palificata

Opera: **PILA 1**

Stratigrafia da testa palo

Unità	Nome	Tipo	γ	c'	φ'	K_p	C_U
			kN/mc	kPa	°	-	kPa
1	ba1	Incoerente	20		38	4.20	
2	TGC2	Incoerente	18	0	35	3.69	
3	MDL1	Incoerente	20	0	40	4.60	
4	MDL2	Incoerente	19.5	0	33	3.39	
5	MDL3	Coesivo	20			1.00	210
6	MDL3	Coesivo	20			1.00	280
7		Coesivo				1.00	
8		Incoerente				1.00	

d_{palo}	1.2	m
L_{palo}	34	m
$z_{testa\ palo}$	5.1	m
z_w	7.4	m
$\gamma_{Rinterro}$	20	kN/mc
q	102	kPa

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

M_{Rd}	4756	kNm
T_{Ed}	857	kN

Stratigrafia da testa palo

Unità	Nome	z_{tr} m	spessore m	s_v kPa	u kPa	s'_v kPa	p kN/m
1	ba1	0	3.9	102	0	102	1544
		1.8		138	0	138	2088
		1.8		138	0	138	2088
		3.9		180	0	180	2724
2	TGC2	3.9	6	180	0	180	2391
		9.9		288	25	263	3494
3	MDL1	9.9	3	288	25	263	4354
		12.9		348	55	293	4851
4	MDL2	12.9	1	348	55	293	3578
		13.9		367.5	65	302.5	3694
5	MDL3	13.9	16	367.5	65	302.5	2268
		29.9		687.5	225	462.5	2268
6	MDL3	29.9	20	687.5	225	462.5	3024
		49.9		1087.5	425	662.5	3024
7	0	49.9		1087.5	425	662.5	0
		49.9		1087.5	425	662.5	0
8	0	49.9		1087.5	425	662.5	2385
		49.9		1087.5	425	662.5	2385

Meccanismo	T_{MAX}	M_{MAX}	$a^{(*)}$	$f^{(**)}$
	kN	kNm	m	m
Palo Corto	92200	1532610	-	-
Palo intermedio	40033	295693	23.75	-
Palo lungo	5919	4756	-	2.97

(*) a = profondità punto di rotazione

(**) f = profondità formazione seconda cerniera plastica

Resistenza di progetto	$T_{Rd,s}$ [kN]	5919	Resistenza caratteristica palo singolo
	$T_{Rd,s}$ [kN]	2760	Resistenza di progetto palo singolo
	$T_{Rd,g}$ [kN]	2208	Resistenza di progetto palificata

Verifica	T_{Ed} [kN]	857	OK
	T_{Rd} [kN]	2208	
	FS	2.58	

VI04 – Relazione geotecnica di calcolo delle fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403002	B	30 di 36

<u>Hp. Broms</u>	γ_R	1.3	Resistenza globale
A1+M1+R3	ξ_3	1.65	Verticali di indagine
	η	0.8	Efficienza palificata

Opera: **SPALLA 2**

Stratigrafia da testa palo

Unità	Nome	Tipo	γ	c'	φ'	K_p	C_U
			kN/mc	kPa	°	-	kPa
1	ba1	Incoerente	20		38	4.20	
2	TGC2	Incoerente	18	0	35	3.69	
3	MDL1	Incoerente	20	0	40	4.60	
4	MDL2	Incoerente	19.5	0	33	3.39	
5	MDL3	Coesivo	20			1.00	210
6	MDL3	Coesivo	20			1.00	280
7		Coesivo				1.00	
8		Incoerente				1.00	

d_{palo}	1.2	m
L_{palo}	33	m
$z_{testa\ palo}$	3.1	m
z_w	7.4	m
$\gamma_{Rinterro}$	20	kN/mc
q	62	kPa

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

M_{Rd}	4756	kNm
T_{Ed}	1309	kN

Stratigrafia da testa palo

Unità	Nome	z_{tr} m	spessore m	s_v kPa	u kPa	s'_v kPa	p kN/m
1	ba1	0	5.9	62	0	62	938
		1.8		98	0	98	1483
		1.8		98	0	98	1483
		5.9		180	0	180	2724
2	TGC2	5.9	6	180	0	180	2391
		11.9		288	45	243	3228
3	MDL1	11.9	3	288	45	243	4023
		14.9		348	75	273	4520
4	MDL2	14.9	1	348	75	273	3334
		15.9		367.5	85	282.5	3450
5	MDL3	15.9	16	367.5	85	282.5	2268
		31.9		687.5	245	442.5	2268
6	MDL3	31.9	20	687.5	245	442.5	3024
		51.9		1087.5	445	642.5	3024
7	0	51.9		1087.5	445	642.5	0
		51.9		1087.5	445	642.5	0
8	0	51.9		1087.5	445	642.5	2313
		51.9		1087.5	445	642.5	2313

Meccanismo	T_{MAX}	M_{MAX}	$a^{(*)}$	$f^{(**)}$
	kN	kNm	m	m
Palo Corto	83554	1382563	-	-
Palo intermedio	34086	264066	22.37	-
Palo lungo	4979	4756	-	3.42

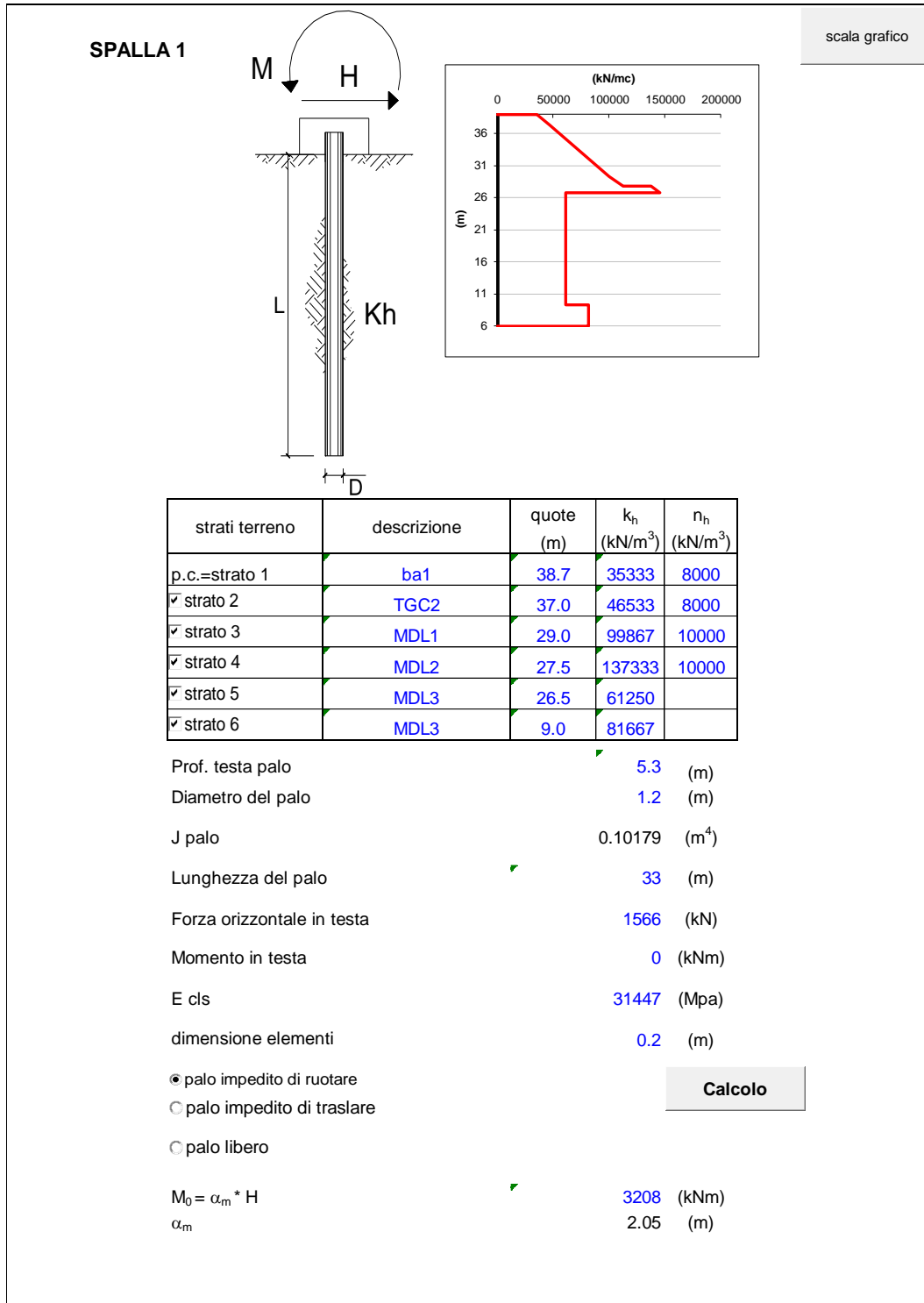
(*) a = profondità punto di rotazione

(**) f = profondità formazione seconda cerniera plastica

Resistenza di progetto	$T_{Rd,s}$ [kN]	4979	Resistenza caratteristica palo singolo
	$T_{Rd,s}$ [kN]	2321	Resistenza di progetto palo singolo
	$T_{Rd,g}$ [kN]	1857	Resistenza di progetto palificata

Verifica	T_{Ed} [kN]	1309	OK
	T_{Rd} [kN]	1857	
	FS	1.42	

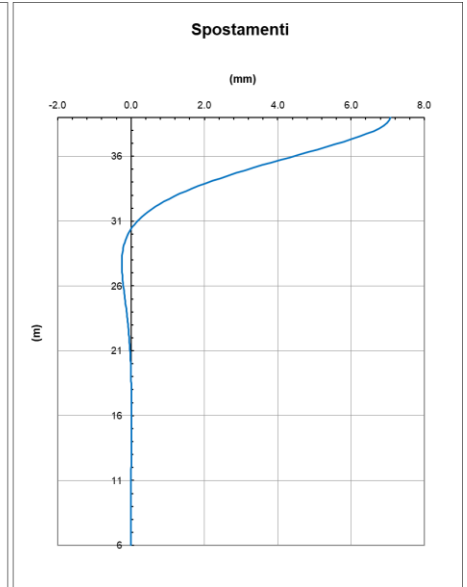
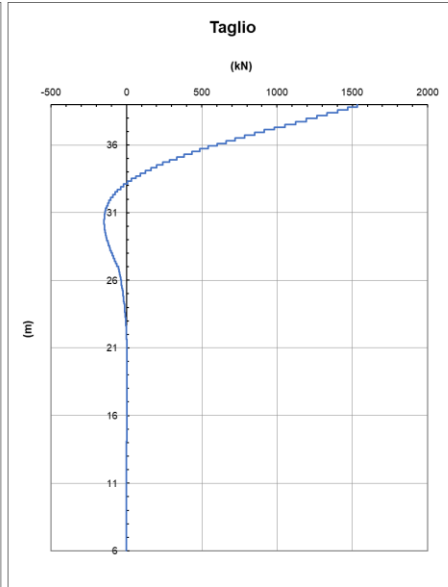
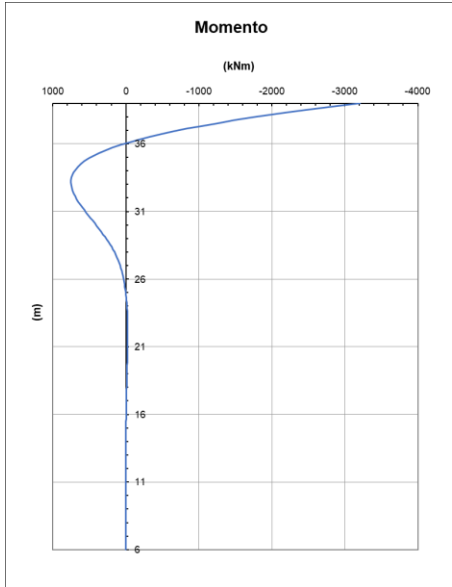
8.4 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI AGENTI LUNGO IL FUSTO DEL PALO



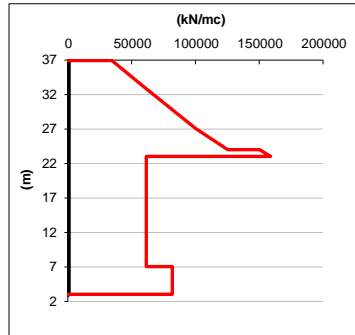
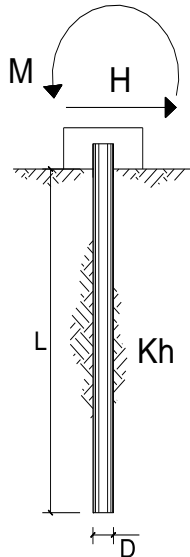
ITINERARIO NAPOLI – BARI
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO
1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE
PROGETTO ESECUTIVO

VI04 – Relazione geotecnica di calcolo delle
fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403002	B	32 di 36



PILA 1



scala grafico

strati terreno	descrizione	quote (m)	k_n (kN/m ³)	n_n (kN/m ³)
p.c.=strato 1	ba1	36.9	34000	8000
✓ strato 2	TGC2	33.0	60200	8000
✓ strato 3	MDL1	27.0	100200	10000
✓ strato 4	MDL2	24.0	150250	10000
✓ strato 5	MDL3	23.0	61250	
✓ strato 6	MDL3	7.0	81667	

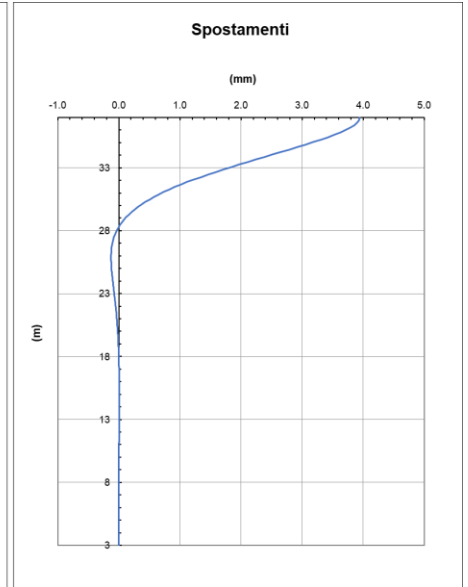
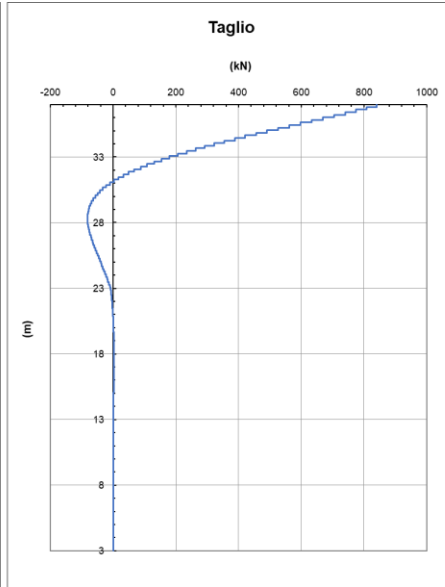
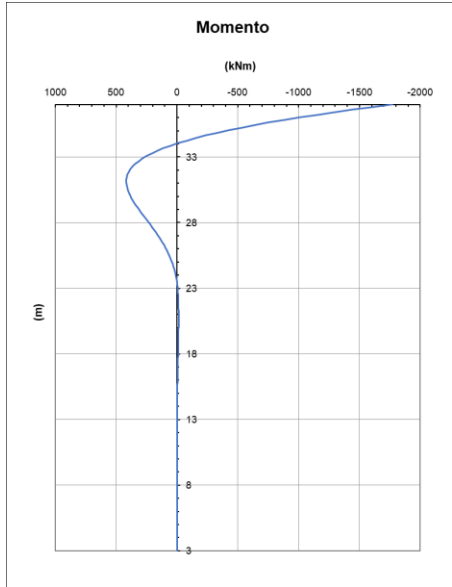
Prof. testa palo	5.1 (m)
Diametro del palo	1.2 (m)
J palo	0.10179 (m ⁴)
Lunghezza del palo	34 (m)
Forza orizzontale in testa	857 (kN)
Momento in testa	0 (kNm)
E cls	31447 (Mpa)
dimensione elementi	0.2 (m)
<input checked="" type="radio"/> palo impedito di ruotare	
<input type="radio"/> palo impedito di traslare	
<input type="radio"/> palo libero	
$M_0 = \alpha_m * H$	1770 (kNm)
α_m	2.07 (m)

Calcolo

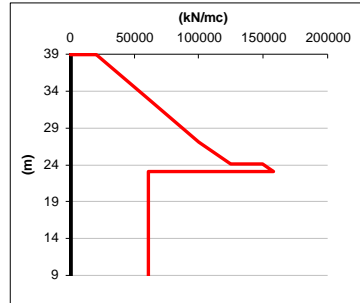
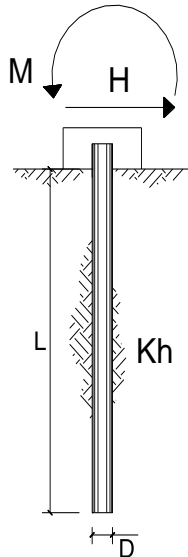
**ITINERARIO NAPOLI – BARI
RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO
II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO
1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE
PROGETTO ESECUTIVO**

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

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403002	B	34 di 36



SPALLA 2



scala grafico

strati terreno	descrizione	quote (m)	k_n (kN/m ³)	n_n (kN/m ³)
p.c.=strato 1	ba1	38.9	20667	8000
✓ strato 2	TGC2	33.0	59800	8000
✓ strato 3	MDL1	27.0	99800	10000
✓ strato 4	MDL2	24.0	149750	10000
✓ strato 5	MDL3	23.0	61250	
strato 6				

Prof. testa palo	3.1 (m)
Diametro del palo	1.2 (m)
J palo	0.10179 (m ⁴)
Lunghezza del palo	33 (m)
Forza orizzontale in testa	1309 (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	
$M_0 = \alpha_m * H$	2995 (kNm)
α_m	2.29 (m)

Calcolo

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

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

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	CL	VI0403002	B	36 di 36

