

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO
NODO DI CATANIA**

U.O. INFRASTRUTTURE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

**INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA
DELL'AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL
TRATTO DI LINEA INTERESSATO.**

MACROFASE FUNZIONALE 2

LOTTO 3

Bretella PA-CT - OPERE CIVILI

Galleria artificiale - GA03 farfalla stradale NV06 intersezione con ramo Palermo Siracusa km 0+750 circa - Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

SCALA:

-

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

RS3H 03 D 78 CL GA0300 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	L.Nani	Marzo 2020	C. Toraldo <i>Catania Toraldo</i>	Marzo 2020	S. Vanfiori <i>S. Vanfiori</i>	Marzo 2020	

File: RS3H.0.3.D.78.CL.GA.03.0.0.002.A

n. Elab.:

Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10876



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	2 di 47

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	4
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
3	DESCRIZIONE DELLE OPERE	5
4	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	6
4.1	INDAGINI DI RIFERIMENTO	6
4.2	STRATIGRAFIA, PARAMETRI DI PROGETTO, FALDA	6
5	CAPACITA' PORTANTE ASSIALE DEI PALI	9
5.1	VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE PALI	14
6	ANALISI A CARICO LIMITE ORIZZONTALE	15
6.1	METODOLOGIE DI CALCOLO	15
6.2	VERIFICA A CARICO LIMITE ORIZZONTALE	16
7	VALUTAZIONE DEL MOMENTO ADIMENSIONALE LUNGO IL PALO	21
8	VALUTAZIONE DELL'INTERAZIONE PALO-TERRENO IN PRESENZA DI ATTRITO NEGATIVO	22
8.1	CURVE CARICO-CEDIMENTO PALO IN PRESENZA DI ATTRITO NEGATIVO E VERIFICA DEI CEDIMENTI	22
8.1.1	<i>Determinazione delle curve carico-cedimento</i>	22
9	VERIFICA DEI CEDIMENTI DELLE PALIFICATE	26
10	APPENDICE A: CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI - TABULATI DI CALCOLO PAL	28
10.1	PORTATA DI PROGETTO D1200 MM - COMPRESSIONE	28
10.2	PORTATA DI PROGETTO D1200 MM - TRAZIONE	38



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA
INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO
DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	3 di 47

1 INTRODUZIONE

Nel presente documento si riporta il dimensionamento delle palificate di fondazione dell'opera GA03 relative al Progetto Definitivo del lotto 3 della direttrice ferroviaria Messina – Catania – Palermo, nodo di catania, interrimento linea per il prolungamento della pista dell'aeroporto di Fontanarossa.

Quindi nel presente elaborato verranno affrontati i seguenti aspetti:

- Inquadramento geotecnico: stratigrafia, parametri geotecnici di calcolo, falda, problematiche liquefazione;
- Determinazione della portata di progetto dei pali di fondazione in presenza di terreno liquefacibile;
- Determinazione del carico limite orizzontale in presenza di terreno liquefacibile;
- Valutazione del parametro alfa per la determinazione del momento flettente lungo il palo in presenza di terreno liquefacibile;
- Verifica cedimenti palificate.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA
INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO
DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	4 di 47

2 NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

L'interpretazione dei risultati e la redazione della presente relazione sono stati effettuati nel rispetto della Normativa in vigore e di alcune Raccomandazioni.

I principali riferimenti normativi sono i seguenti:

[N.1]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);

[N.2]. Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l'Applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;

[N.3]. Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea. Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione Europea.

[N.4]. Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010 – Eurocodice 1 – Parte 2

[N.5]. RFI DTC SI MA IFS 001 C del 21-12-18 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili

2.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Inoltre si fa riferimento ai seguenti documenti:

D.1. 'RS3H 03 D78 RHGE0005001– Relazione geotecnica generale.

D.2. 'RS3H 03 D78 RHGE0005002 – Relazione sugli interventi di mitigazione liquefazione.

D.3. 'RS3H 03 D78 RHGE0005003 – Rilevati stradali - Relazione di stabilità e calcolo cedimenti.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	5 di 47

3 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Le opere oggetto del presente documento sono le palificate dell'opera GA03, in particolare per le fondazioni si prevedono pali trivellati di grande diametro $D=1200$ mm.

Per il dimensionamento delle fondazioni di queste opere è stata appositamente redatta la presente relazione di calcolo in quanto le fondazioni ricadono in terreno con strato di sabbia potenzialmente liquefacibile (vedasi D.2).

Per il dimensionamento delle palificate ubicate in corrispondenza di strati potenzialmente liquefacibili, si procede nel seguente modo:

- Valutazione della capacità portante assiale ed orizzontale dei pali, trascurando il contributo di portata laterale e di base nello strato liquefacibile;
- Valutazione del momento adimensionale lungo il palo e del parametro alfa, considerando reazione del terreno nulla, nello strato liquefacibile;
- Valutazione dell'interazione palo-terreno in presenza di attrito negativo (dato dal terreno nello strato potenzialmente liquefacibile e del terreno sovrastante fino a testa palo) e quindi determinazione della curva carico cedimento in presenza di attrito negativo, al fine di verificare che i cedimenti ai carichi di esercizio siano compatibili con la funzionalità delle sovrastrutture anche in presenza di attrito negativo.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA
INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO
DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	6 di 47

4 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

4.1 INDAGINI DI RIFERIMENTO

In corrispondenza delle opere sono state eseguite le seguenti indagini:

- Sondaggio SD27;
- Prova penetrometrica statica CPT6.

Inoltre per la caratterizzazione geotecnica dei terreni sono stati presi a riferimento anche i dati di laboratorio dei campioni prelevati nei sondaggi eseguiti nelle vicinanze (SD19, SD26, SD34) che hanno interessato le stesse unità geotecniche, al solo fine di meglio tarare i parametri geotecnici di progetto, con particolare riferimento ai valori della resistenza in condizioni non drenate dei livelli coesivi.

4.2 STRATIGRAFIA, PARAMETRI DI PROGETTO, FALDA

Il dimensionamento delle palificate in oggetto è stato condotto con riferimento alla seguente stratigrafia, in accordo alla relazione geotecnica generale (D.1).

Profondità da p.c. [m]	Unità geotecnica
Da 0.0 a 3.0	Unità U1
Da 3.0 a 5.5	Unità U1a
Da 5.5 a 9.0 (*)	Unità U1 – strato liquefacibile
Da 9.0 a 14.5	Unità U2a
Da 14.5 a 19.5	Unità U2
Da 19.5 a 22.0	Unità U2a
Da 22.0 a 30.5	Unità U2b
Da 30.5 a 32.5	Unità U2a
Da 32.5 a 44.0	Unità U2
Da 44.0 a 50.0	Unità U3

Dalle analisi di liquefazione eseguite nell'apposito documento (D.2), lo strato di sabbia (unità U1) tra 5.5 e 9.0 m è potenzialmente liquefacibile e quindi i dimensionamenti delle palificate verranno eseguiti tenendo conto di questo aspetto, come di seguito specificato.

Il livello di falda desunto dalle letture piezometriche a disposizione è assunto a quota +12 m s.l.m. considerando le letture dei piezometri disponibili (SD17: falda a +12.17 m s.l.m.; SD26 falda a +11.45 m s.l.m.). Considerando che il p.c. locale è mediamente a quota +16 m s.l.m., si assume la falda a profondità di 4

m da p.c. locale.

I parametri geotecnici di progetto sono riportati di seguito. Questi valori sono stati individuati principalmente sulla base dei risultati delle indagini eseguite per le opere (SD27, CPT6) e tarati con i risultati delle prove di laboratorio dei sondaggi nelle vicinanze (SD19, SD26, SD34) che interessano le stesse unità geotecniche.

Unità geotecnica	γ (kN/m ³)	ϕ (°)	(N _{SPT}) _m	cu (kPa)	Per portata di base (*)
Unità U1	19.0	29	13	-	Nq=18; qb ≤ 4300 kPa
Unità U1a	19.5	21	14	75	-
Unità U2	19.5	29	30	-	Nq=18; qb ≤ 4300 kPa
Unità U2a	19.5	20	25	60 (9.0<z<14.5m) 125 (19.5<z<22.0m) 125 (30.5<z<32.5m)	-
Unità U2b	19.5	33	45	-	Nq=22; qb ≤ 4300 kPa
Unità U3	20.5	20	33	110	-

(*) in accordo alle metodologie indicate nella relazione geotecnica generale (D.1).

Nella seguente figura si riportano i valori della resistenza al taglio non drenata ottenuta dalle varie prove a disposizione (triassiali TX-UU di laboratorio, Pocket Penetrometer, SPT, CPT); nella figura è riportata anche la retta della normal consolidazione ($c_u, n_c = 0.23 \cdot \sigma'_v$).

Resistenza al taglio in condizioni non drenate

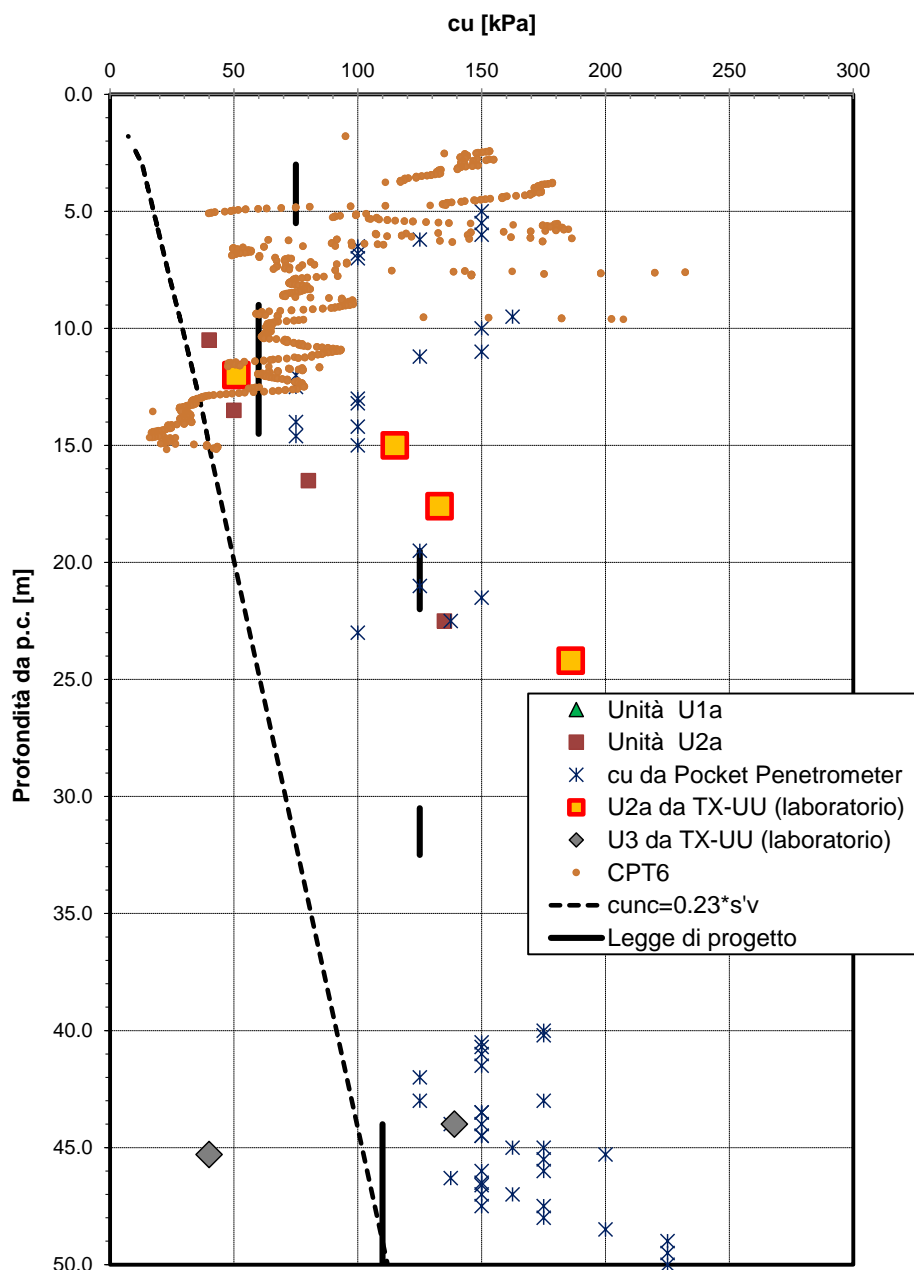


Figura 1 – Resistenza al taglio non drenata



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA
 INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
 LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	9 di 47

5 CAPACITA' PORTANTE ASSIALE DEI PALI

La valutazione della capacità portante dei pali è stata condotta usando le metodologie indicate nella relazione geotecnica generale (D.1) a cui si rimanda per i dettagli ed i parametri geotecnici dichiarati al precedente paragrafo. I tabulati di calcolo in Appendice A riportano tutte i dati di input ed output completi del calcolo eseguito.

Inoltre per la valutazione della portanza dei pali si è assunto:

- testa palo a 3.0 m da p.c.
- falda a 4.0 m da p.c.;
- strato liquefacibile tra 5.5 e 9.0 m di profondità da p.c.. In questo strato è stata annullata la portata laterale e di base.

La capacità portante è stata valutata per pali di grande diametro $D=1200$ mm considerando l'Approccio (A1+M1+R3) di normativa e quindi con i seguenti coefficienti parziali sulle resistenze di base e laterale:

- N . 1 verticali di indagine, da cui $\xi_4 = 1.70$;
- F_{SL} = fattore di sicurezza per la portata laterale a compressione ($=\xi_4 \cdot \gamma_s = 1.96$);
- F_{SLt} = fattore di sicurezza per la portata laterale a trazione ($=\xi_4 \cdot \gamma_{st} = 2.13$);
- F_{SB} = fattore di sicurezza per la portata di base ($=\xi_4 \cdot \gamma_b = 2.30$).

Per la verifica di capacità portante del palo si dovranno verificare le seguenti due condizioni:

- $N_{max,SLU} < Q_d$, la massima sollecitazione assiale (sia statica, che sismica) allo SLU dovrà essere inferiore alla portata di progetto del palo, che nel caso particolare è valutata in presenza di strato liquefacibile (riportata nelle seguenti tabelle);
- $N_{max,SLE} < Q_{ll} / 1.25$, la massima sollecitazione assiale allo SLE RARA dovrà essere inferiore alla portata laterale limite del palo (Q_{ll} , riportata nelle seguenti tabelle) con un fattore di sicurezza di 1.25.

Tabella 1 – Capacità portante palo $D=1200$ mm (compressione)

LINEA FS MESSINA - CATANIA-PALERMO lotto3
 Palo $D=1200$ mm - A1+M1+R3

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

L_p m	Q_{ll} kN	Q_{bl} kN	W_p kN	Q_u kN	Q_d kN
.00	0.	467.	0.	467.	203.
.50	47.	406.	5.	449.	196.
1.00	96.	345.	9.	433.	190.
1.50	146.	230.	14.	363.	161.
2.00	195.	115.	18.	292.	132.
2.50	239.	0.	23.	216.	99.
3.00	245.	0.	27.	218.	98.
3.50	245.	0.	32.	213.	93.
4.00	245.	0.	36.	209.	89.
4.50	245.	0.	41.	204.	84.
5.00	245.	0.	45.	200.	80.
5.50	245.	0.	50.	195.	75.
6.00	251.	0.	54.	197.	74.
6.50	292.	126.	59.	360.	145.
7.00	340.	252.	63.	529.	220.
7.50	387.	378.	68.	698.	294.
8.00	435.	504.	72.	867.	369.
8.50	482.	631.	77.	1036.	443.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	10 di 47

9.00	530.	757.	81.	1205.	518.
9.50	577.	883.	86.	1374.	592.
10.00	625.	894.	90.	1428.	617.
10.50	672.	905.	95.	1482.	641.
11.00	720.	916.	100.	1536.	666.
11.50	773.	927.	104.	1596.	693.
12.00	860.	1399.	109.	2150.	938.
12.50	955.	1870.	113.	2712.	1187.
13.00	1052.	2342.	118.	3277.	1437.
13.50	1152.	2653.	122.	3683.	1619.
14.00	1254.	2964.	127.	4092.	1802.
14.50	1359.	2962.	131.	4190.	1850.
15.00	1466.	2646.	136.	3977.	1763.
15.50	1576.	2330.	140.	3766.	1677.
16.00	1688.	2015.	145.	3558.	1593.
16.50	1799.	1699.	149.	3348.	1507.
17.00	1886.	1710.	154.	3442.	1552.
17.50	1968.	1721.	158.	3531.	1594.
18.00	2051.	1732.	163.	3619.	1636.
18.50	2133.	1743.	167.	3708.	1679.
19.00	2224.	1754.	172.	3806.	1725.
19.50	2367.	2198.	176.	4389.	1987.
20.00	2522.	2642.	181.	4983.	2255.
20.50	2680.	3086.	185.	5581.	2524.
21.00	2840.	3531.	190.	6181.	2794.
21.50	3004.	3975.	195.	6784.	3066.
22.00	3170.	4419.	199.	7390.	3340.
22.50	3340.	4863.	204.	7999.	3615.
23.00	3512.	4863.	208.	8167.	3698.
23.50	3687.	4863.	213.	8337.	3783.
24.00	3865.	4863.	217.	8511.	3869.
24.50	4046.	4446.	222.	8270.	3776.
25.00	4230.	4028.	226.	8032.	3683.
25.50	4417.	3611.	231.	7797.	3593.
26.00	4606.	3194.	235.	7564.	3503.
26.50	4799.	2776.	240.	7335.	3416.
27.00	4994.	2359.	244.	7109.	3329.
27.50	5178.	1941.	249.	6870.	3237.
28.00	5275.	1952.	253.	6974.	3287.
28.50	5358.	1963.	258.	7063.	3329.
29.00	5440.	1974.	262.	7152.	3372.
29.50	5535.	1985.	267.	7253.	3420.
30.00	5704.	2397.	271.	7829.	3681.
30.50	5888.	2808.	276.	8420.	3949.
31.00	6075.	3219.	280.	9013.	4219.
31.50	6264.	3630.	285.	9609.	4489.
32.00	6456.	4041.	290.	10207.	4761.
32.50	6650.	4452.	294.	10808.	5035.
33.00	6847.	4863.	299.	11411.	5309.
33.50	7046.	4863.	303.	11606.	5406.
34.00	7247.	4863.	308.	11803.	5504.
34.50	7452.	4863.	312.	12003.	5604.
35.00	7658.	4863.	317.	12205.	5705.
35.50	7867.	4863.	321.	12409.	5807.
36.00	8079.	4863.	326.	12616.	5910.
36.50	8293.	4863.	330.	12826.	6015.
37.00	8509.	4863.	335.	13038.	6121.
37.50	8728.	4863.	339.	13252.	6228.
38.00	8949.	4466.	344.	13072.	6164.
38.50	9173.	4070.	348.	12895.	6101.
39.00	9400.	3673.	353.	12720.	6040.
39.50	9629.	3276.	357.	12548.	5980.
40.00	9860.	2880.	362.	12378.	5921.
40.50	10094.	2483.	366.	12211.	5863.
41.00	10310.	2086.	371.	12025.	5796.
41.50	10403.	2098.	375.	12125.	5844.
42.00	10475.	2110.	380.	12205.	5882.
42.50	10548.	2121.	385.	12285.	5919.
43.00	10621.	2133.	389.	12364.	5957.
43.50	10693.	2144.	394.	12444.	5994.
44.00	10766.	2156.	398.	12523.	6032.
44.50	10838.	2168.	403.	12603.	6069.
45.00	10911.	2179.	407.	12683.	6107.
45.50	10983.	2191.	412.	12762.	6145.
46.00	11056.	2202.	416.	12842.	6182.
46.50	11129.	2214.	421.	12922.	6220.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	11 di 47

47.00 11201. 2225. 425. 13001. 6257.

L_p = Lunghezza utile del palo
 Q_{l1} = Portata laterale limite
 Q_{b1} = Portata di base limite
 W_p = Peso efficace del palo
 Q_u = Portata totale limite
 Q_d = Portata di progetto = $Q_{l1}/FS_{,l} + Q_{b1}/FS_{,b} - W_p$

Tabella 2 – Capacità portante palo D=1200 mm (trazione)

LINEA FS MESSINA - CATANIA-PALERMO lotto3
Palo D=1200 mm - A1+M1+R3 trazione

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

L_p m	Q_{l1} kN	Q_{b1} kN	W_p kN	Q_u kN	Q_d kN
.00	0.	0.	0.	0.	0.
.50	47.	0.	-8.	55.	31.
1.00	96.	0.	-17.	113.	62.
1.50	146.	0.	-25.	171.	94.
2.00	195.	0.	-34.	229.	126.
2.50	239.	0.	-42.	281.	155.
3.00	245.	0.	-51.	296.	166.
3.50	245.	0.	-59.	304.	174.
4.00	245.	0.	-68.	313.	183.
4.50	245.	0.	-76.	321.	191.
5.00	245.	0.	-85.	330.	200.
5.50	245.	0.	-93.	338.	208.
6.00	251.	0.	-102.	353.	220.
6.50	292.	0.	-110.	403.	248.
7.00	340.	0.	-119.	459.	278.
7.50	387.	0.	-127.	515.	309.
8.00	435.	0.	-136.	571.	340.
8.50	482.	0.	-144.	627.	371.
9.00	530.	0.	-153.	683.	401.
9.50	577.	0.	-161.	739.	432.
10.00	625.	0.	-170.	795.	463.
10.50	672.	0.	-178.	851.	494.
11.00	720.	0.	-187.	907.	525.
11.50	773.	0.	-195.	968.	558.
12.00	860.	0.	-204.	1063.	607.
12.50	955.	0.	-212.	1167.	660.
13.00	1052.	0.	-221.	1273.	714.
13.50	1152.	0.	-229.	1381.	770.
14.00	1254.	0.	-238.	1492.	826.
14.50	1359.	0.	-246.	1605.	884.
15.00	1466.	0.	-254.	1721.	943.
15.50	1576.	0.	-263.	1839.	1003.
16.00	1688.	0.	-271.	1960.	1064.
16.50	1799.	0.	-280.	2079.	1124.
17.00	1886.	0.	-288.	2174.	1174.
17.50	1968.	0.	-297.	2265.	1221.
18.00	2051.	0.	-305.	2356.	1268.
18.50	2133.	0.	-314.	2447.	1315.
19.00	2224.	0.	-322.	2546.	1366.
19.50	2367.	0.	-331.	2698.	1442.
20.00	2522.	0.	-339.	2861.	1523.
20.50	2680.	0.	-348.	3028.	1606.
21.00	2840.	0.	-356.	3197.	1690.
21.50	3004.	0.	-365.	3369.	1775.
22.00	3170.	0.	-373.	3544.	1862.
22.50	3340.	0.	-382.	3721.	1950.
23.00	3512.	0.	-390.	3902.	2039.
23.50	3687.	0.	-399.	4086.	2130.
24.00	3865.	0.	-407.	4272.	2222.
24.50	4046.	0.	-416.	4462.	2315.
25.00	4230.	0.	-424.	4654.	2410.
25.50	4417.	0.	-433.	4849.	2506.
26.00	4606.	0.	-441.	5047.	2604.
26.50	4799.	0.	-450.	5248.	2702.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	12 di 47

27.00	4994.	0.	-458.	5452.	2803.
27.50	5178.	0.	-467.	5644.	2897.
28.00	5275.	0.	-475.	5750.	2952.
28.50	5358.	0.	-483.	5841.	2999.
29.00	5440.	0.	-492.	5932.	3046.
29.50	5535.	0.	-500.	6035.	3099.
30.00	5704.	0.	-509.	6213.	3187.
30.50	5888.	0.	-517.	6406.	3282.
31.00	6075.	0.	-526.	6601.	3378.
31.50	6264.	0.	-534.	6799.	3475.
32.00	6456.	0.	-543.	6999.	3574.
32.50	6650.	0.	-551.	7201.	3673.
33.00	6847.	0.	-560.	7407.	3774.
33.50	7046.	0.	-568.	7614.	3876.
34.00	7247.	0.	-577.	7824.	3979.
34.50	7452.	0.	-585.	8037.	4084.
35.00	7658.	0.	-594.	8252.	4189.
35.50	7867.	0.	-602.	8469.	4296.
36.00	8079.	0.	-611.	8689.	4403.
36.50	8293.	0.	-619.	8912.	4512.
37.00	8509.	0.	-628.	9137.	4623.
37.50	8728.	0.	-636.	9364.	4734.
38.00	8949.	0.	-645.	9594.	4846.
38.50	9173.	0.	-653.	9827.	4960.
39.00	9400.	0.	-662.	10061.	5075.
39.50	9629.	0.	-670.	10299.	5191.
40.00	9860.	0.	-679.	10539.	5308.
40.50	10094.	0.	-687.	10781.	5426.
41.00	10310.	0.	-696.	11005.	5536.
41.50	10403.	0.	-704.	11107.	5588.
42.00	10475.	0.	-713.	11188.	5631.
42.50	10548.	0.	-721.	11269.	5673.
43.00	10621.	0.	-729.	11350.	5716.
43.50	10693.	0.	-738.	11431.	5758.
44.00	10766.	0.	-746.	11512.	5801.
44.50	10838.	0.	-755.	11593.	5843.
45.00	10911.	0.	-763.	11674.	5886.
45.50	10983.	0.	-772.	11755.	5928.
46.00	11056.	0.	-780.	11836.	5971.
46.50	11129.	0.	-789.	11917.	6014.
47.00	11201.	0.	-797.	11998.	6056.

Lp = Lunghezza utile del palo
 Ql1 = Portata laterale limite
 Qbl = Portata di base limite
 Wp = Peso efficace del palo
 Qu = Portata totale limite
 Qd = Portata di progetto = $Ql1/FS,l + Qbl/FS,b - Wp$

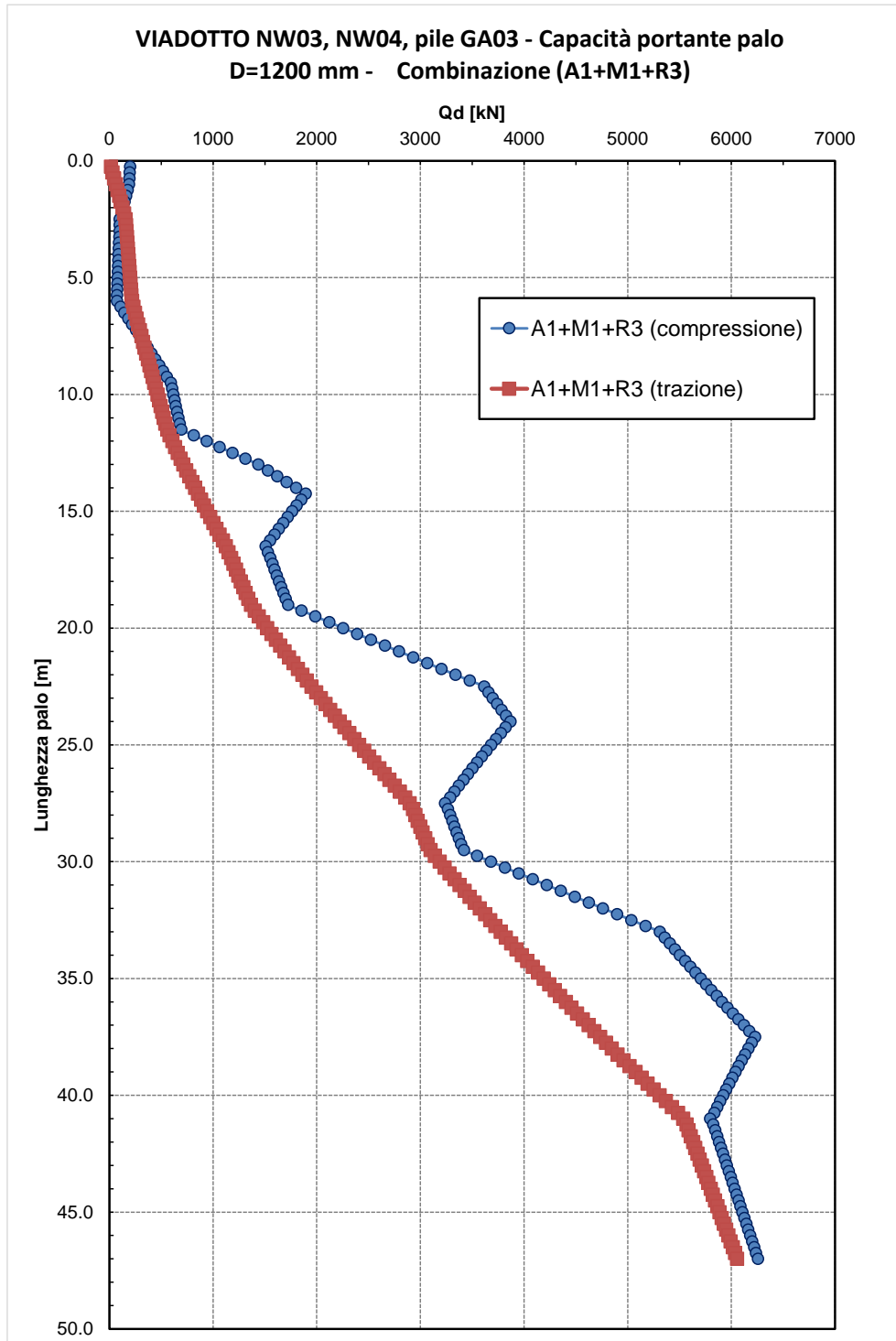


Figura 2 – Portata di progetto



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	14 di 47

5.1 VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE PALI

Nella seguente tabella si riportano le verifiche di capacità portante per i pali delle palificate in esame. Dalla tabella si evince che le verifiche di capacità portante sono soddisfatte in quanto la portata di progetto è sempre maggiore della massima sollecitazione assiale ($N_{max} < Q_d$), inoltre si verifica che la massima sollecitazione assiale in esercizio $N_{max,SLE}$ sia inferiore a $Q_{ll} / 1.25$.

Palificata	$N_{max,c}$ [kN]	Q_d [kN]	$N_{max,t}$ [kN]	$Q_{d,t}$ [kN]	$N_{max,SLE}$ [kN]	Q_{ll} [kN]	L_{palo} [m]
GA03	5788	5910	-	4403	3592	8079	36.0

Dove:

$N_{max,c}$ = massima sollecitazione assiale di compressione (SLU/SLV)

$N_{max,t}$ = massima sollecitazione assiale di trazione (SLU/SLV)

Q_d = portata di progetto a compressione

$Q_{d,t}$ = portata di progetto a trazione

$N_{max,SLE}$ = massima sollecitazione assiale di esercizio (SLE)

Q_{ll} = portata laterale limite



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA
INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO
DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	15 di 47

6 ANALISI A CARICO LIMITE ORIZZONTALE

Nel caso in esame la verifica a carico limite orizzontale del palo deve tenere in considerazione la presenza di terreni potenzialmente liquefacibili.

6.1 METODOLOGIE DI CALCOLO

Per la verifica del carico limite orizzontale per i pali di fondazione situati nelle zone dove è stata riscontrata la presenza di lenti sabbiose potenzialmente liquefacibili, la teoria di Broms resta applicabile, ma non sono più utilizzabili le soluzioni semplificate, disponibili in forma chiusa e/o con abachi adimensionali. Quindi per questi casi, è stata eseguita una apposita verifica con programma FEM non lineare, considerando nello spessore di terreno liquefacibile una pressione orizzontale limite nulla e negli altri strati di terreno curve P-Y non lineari, definibili lungo il fusto del palo e resistenze variabili. Per terreni incoerenti, la pressione orizzontale limite viene valutata: $P = N\phi \cdot k_p \cdot \sigma'v$; dove k_p è il coefficiente di spinta passiva del terreno, $N\phi$ è assunto pari a 3 (Broms, 1964) in accordo ad osservazioni sperimentali in terreni con angoli di restenza al taglio compresi tra 30 e 40°. Per terreni coesivi la pressione orizzontale limite viene valutata: $P = Np \cdot cu \cdot D$; dove $Np = 9$ (Broms 1964 ed anche Matlock 1970), cu resistenza al taglio non drenata. La legge P-Y di mobilitazione non lineare, di tipo iperbolico (Matrock, 1970), meglio descrive il comportamento dei terreni in esame.

Il palo, in testa è stato vincolato alla rotazione ($\phi=0$ rotazione impedita) e viene applicato a testa palo, un carico orizzontale (H) via via incrementato, mobilitando man mano la resistenza laterale disponibile fino a raggiungere il momento di prima plasticizzazione della sezione lungo il palo.

Quindi nel seguito sono riportate le verifiche a carico limite orizzontale per le palificate in presenza di liquefazione considerando:

- in presenza di liquefazione il carico orizzontale massimo per la verifica è quello massimo tra le condizioni statiche SLU e sismiche SLV.

La verifica a carico limite orizzontale consiste quindi nel verificare che il massimo carico orizzontale (V_{pd}) sia inferiore al limite di progetto (H_d), così valutato:

$$H_d = H_k / (\xi_3 \cdot \gamma_T) \geq V_{pd}$$

dove:

H_k = valore limite in funzione del meccanismo attivato valutato con teoria di Broms;

ξ_3 = fattore di correlazione in funzione delle verticali indagate;

γ_T = fattore parziale per pali soggetti a carichi orizzontali.

V_{pd} = massima sollecitazione orizzontale di progetto.

In particolare il fattore di sicurezza di normativa per la verifica a carico orizzontale è $FS = \gamma_T \cdot \xi_3 = 1.30 \cdot 1.70 = 2.21$. Inoltre per le verifiche a carico limite orizzontale si considera cautelativamente un coefficiente di gruppo 0.8), includendo anche il fattore di effetto gruppo si ha $FS_g = 2.76$.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	16 di 47

6.2 VERIFICA A CARICO LIMITE ORIZZONTALE

L'analisi a carico limite orizzontale per pali che ricadono in terreni con strati potenzialmente liquefacibili è stata svolta per i pali $D=1200$ mm considerando la stratigrafia ed i parametri geotecnici definiti per l'opera nel precedente paragrafo 4.2. Negli strati liquefacibili, la resistenza del terreno è stata assunta pari a zero.

La verifica a carico limite è stata svolta incrementando il carico orizzontale man mano fino ad un carico massimo (H_k) ottenuto moltiplicando il taglio massimo (V_{pd}) per il fattore di sicurezza di normativa ed includendo anche un fattore di effetto gruppo di 0.8. In particolare il fattore di sicurezza di normativa per la verifica a carico orizzontale è $FS = \gamma_T \cdot \xi_4 = 1.30 \cdot 1.70 = 2.21$ (da normativa vigente per verifica A1+M1+R3), includendo anche il fattore di effetto gruppo si ha $FS_g = 2.76$.

Quindi per le palificate in esame si ha:

- GA03: palo $D=1200$ mm $L_{palo} = 36.0$ m $V_{pd} = 1131$ kN, l'analisi è stata svolta incrementando il carico orizzontale man mano fino ad un carico massimo: $H_k = 3125$ kN per verifica in presenza di liquefazione.

Nella Figura 3, Figura 4 sono mostrate le curve P-Y con cui è stato modellato il palo di lunghezza 35.0 m suddividendolo in conci di 0.50 m; in particolare si riporta la curva P-Y alle generiche quote di 5 e 8 m da testa palo. Nella Figura 5 è mostrato l'andamento lungo il palo delle pressioni orizzontali mobilitate e della pressione limite. In Figura 6 è mostrato l'andamento del taglio massimo ed in Figura 7 l'andamento del momento lungo il palo. Il momento massimo a testa palo è 6700 kNm. L'armatura del palo di progetto dovrà essere tale da avere un momento di plasticizzazione maggiore del momento massimo graficato in Figura 7 ($30+26\phi 32 M_{pl}=6702$ kNm).

Le verifiche a carico limite orizzontale per le palificate in presenza di terreno liquefacibile sono soddisfatte, in quanto risulta sempre la massima azione di taglio di progetto inferiore all'azione di taglio resistente ($V_{pd} = 1131 \leq H_d = H_k / FS_g = 3125 / 2.76$ kN).

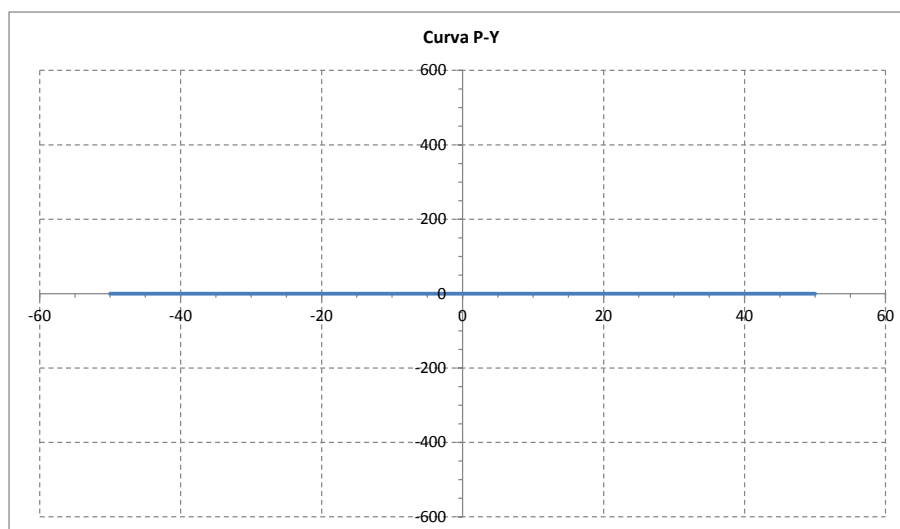


Figura 3 – curva P-Y a quota 5.0 m da testa palo – GA03 con liquefazione (strato liquefacibile, reazione nulla)

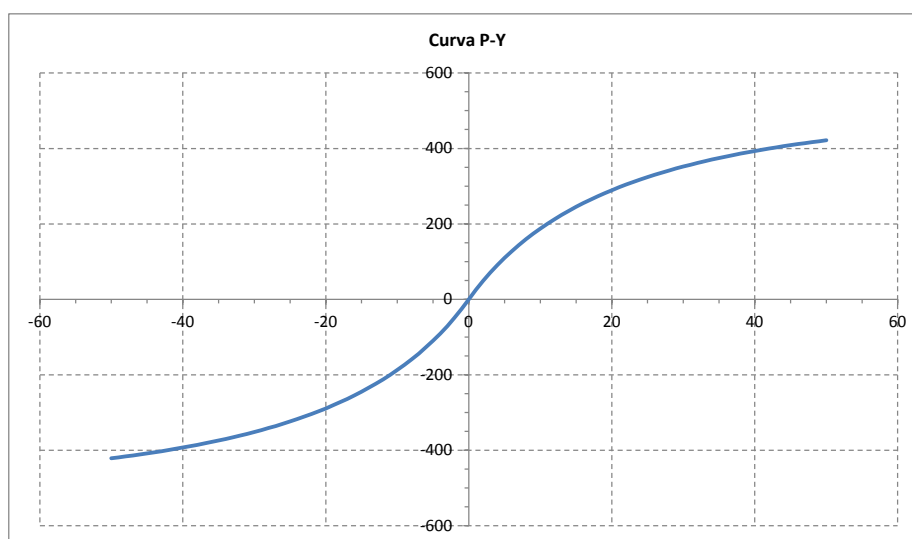


Figura 4 – curva P-Y a quota 8 m da testa palo – GA03 con liquefazione

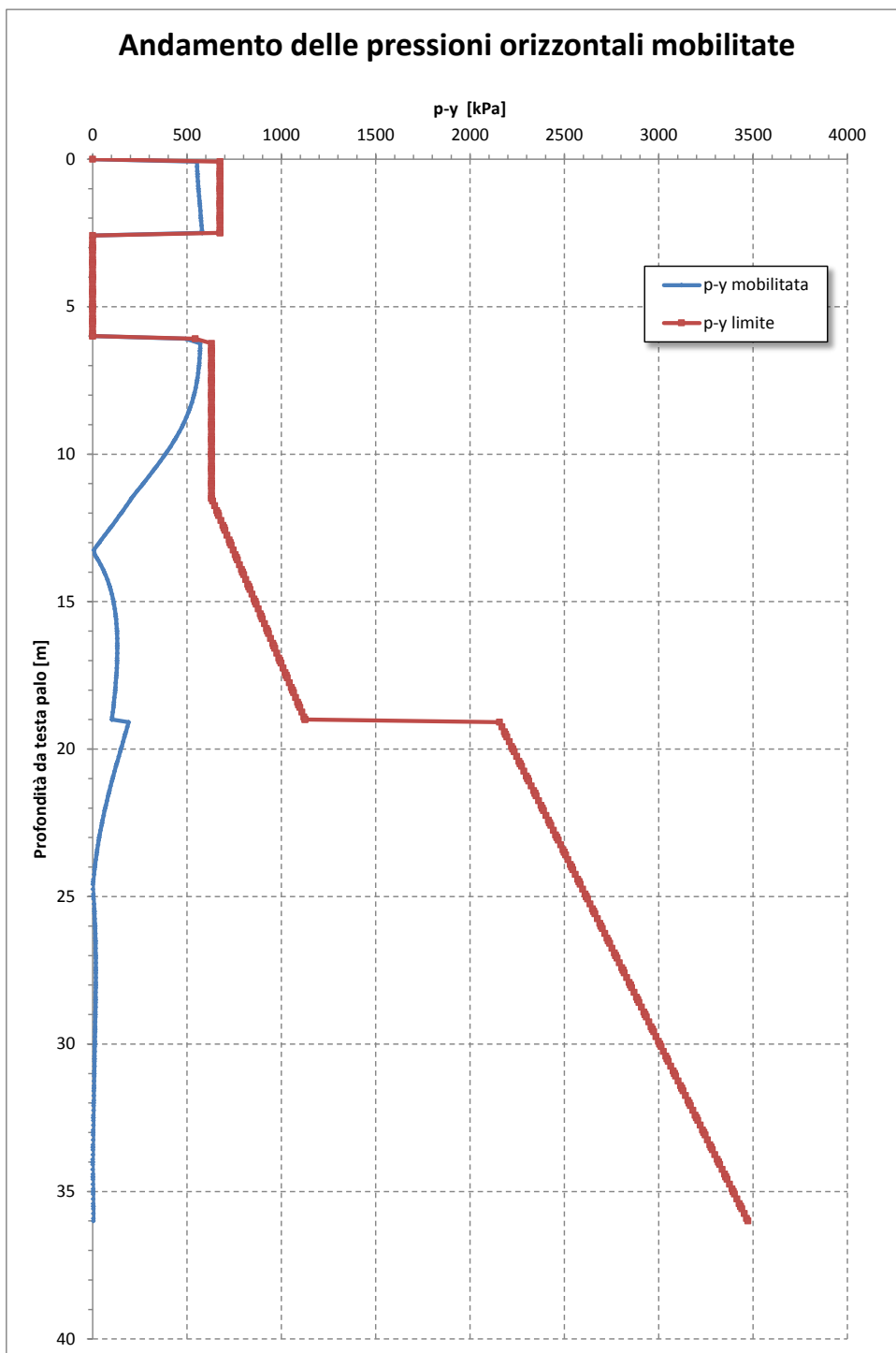


Figura 5 – Andamento pressioni orizzontali - GA03 con liquefazione

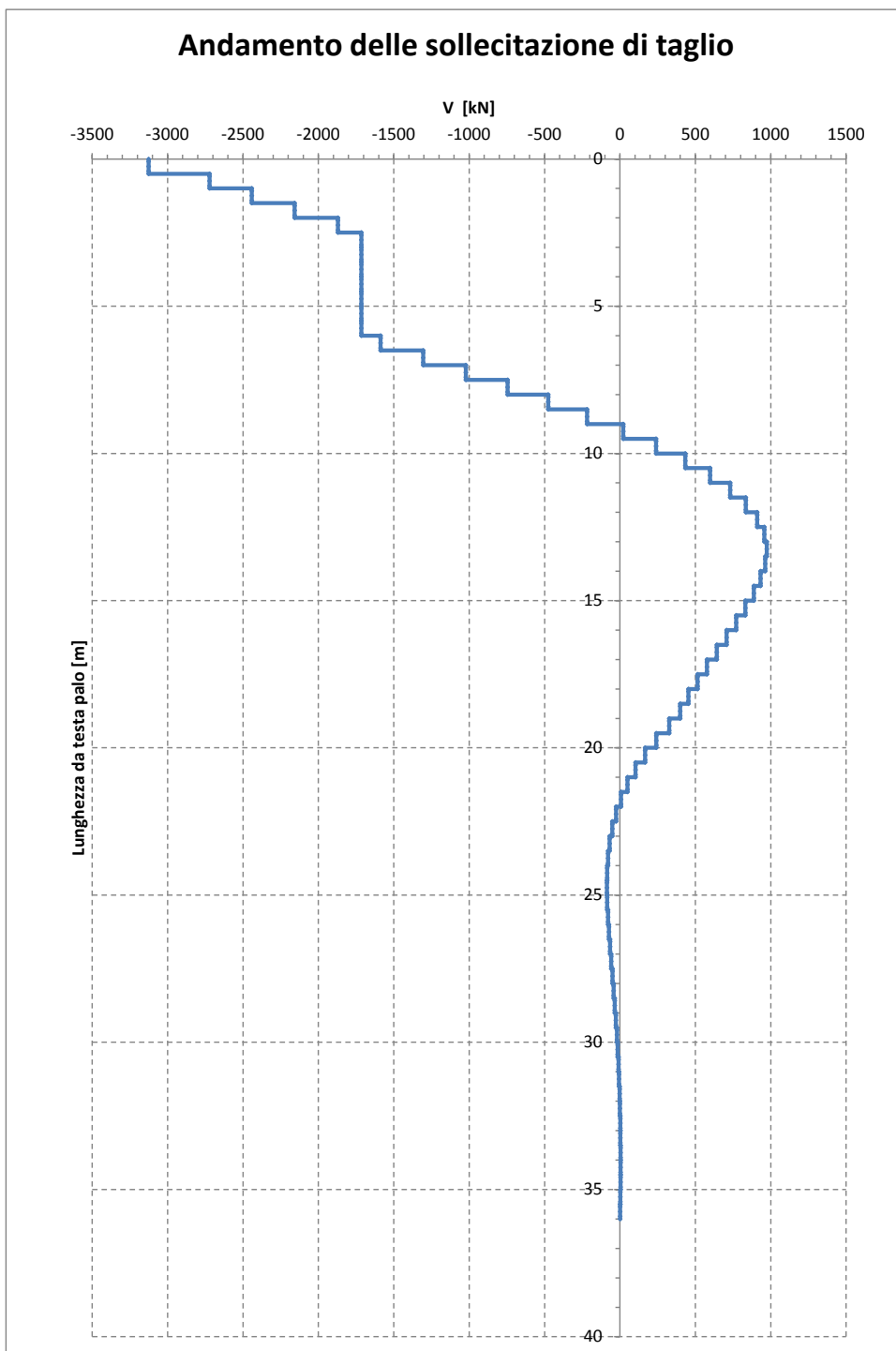


Figura 6 – Andamento del taglio lungo il palo - GA03 con liquefazione

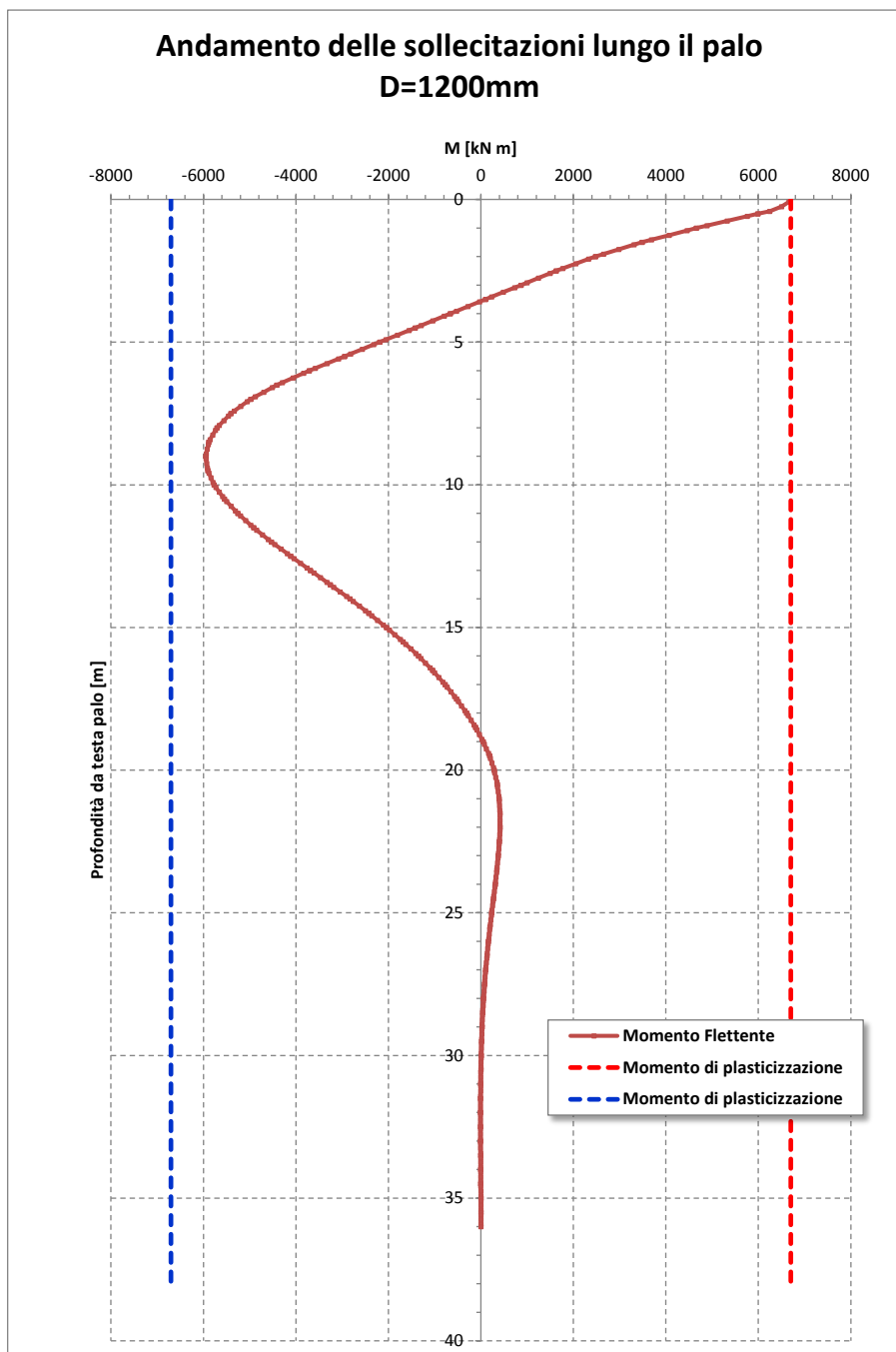


Figura 7 – Andamento del momento lungo il palo - GA03 con liquefazione



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	21 di 47

7 VALUTAZIONE DEL MOMENTO ADIMENSIONALE LUNGO IL PALO

Per ricavare il momento adimensionalizzato lungo il fusto del palo si ricorre al metodo di Matlock e Reese (1956), che utilizzando il metodo delle differenze finite, hanno risolto il problema del palo soggetto ad un carico orizzontale, mediante l'impiego di parametri adimensionali, ottenuti esprimendo l'equazione della linea elastica attraverso equazioni differenziali funzione del tipo di sollecitazione agente.

Nel caso in esame, 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 le palificate in presenza di terreno liquefacibile il valore del parametro alfa ($\alpha_m = M/T$ a testa palo) è stato desunto dall'analisi FEM, eseguita al precedente capitolo per la verifica a carico limite orizzontale, dove è stata implementata la stratigrafia ed i parametri geotecnici di progetto del sito. In particolare dal rapporto M/T a testa palo si definisce un valore del parametro alfa:

$$\alpha_m = -2.2 \text{ m} \quad \text{palo } D=1200 \text{ mm } L_{\text{palo}}=36 \text{ m per terreni con liquefazione}$$

8 VALUTAZIONE DELL'INTERAZIONE PALO-TERRENO IN PRESENZA DI ATTRITO NEGATIVO

Per le palificate in esame, nel presente capitolo si riporta la valutazione dell'interazione palo-terreno in presenza di attrito negativo (dato dal terreno nello strato potenzialmente liquefacibile e del terreno sovrastante fino a testa palo) e quindi determinazione della curva carico cedimento in presenza di attrito negativo, al fine di verificare che i cedimenti ai carichi di esercizio siano compatibili con la funzionalità delle sovrastrutture anche in presenza di attrito negativo.

8.1 CURVE CARICO-CEDIMENTO PALO IN PRESENZA DI ATTRITO NEGATIVO E VERIFICA DEI CEDIMENTI

Individuati i cedimenti del terreno indotti dallo strato liquefacibile e lo spessore di terreno compressibile, è stata determinata la curva carico-cedimento del palo isolato attraverso il programma di calcolo APAL, che utilizza il metodo delle curve di trasferimento riferite al fusto ed alla base dei pali sviluppate da Reese e O'Neill, tipo curve t-s bilineari per l'attrito laterale e curve q-s per la portanza di base (iperboliche).

8.1.1 Determinazione delle curve carico-cedimento

La valutazione della curva carico-cedimento del palo isolato è stata effettuata con il programma APAL che utilizza il metodo delle curve di trasferimento riferite al fusto ed alla base dei pali sviluppate da Reese e O'Neill (curve t-s e q-s). In base a tale metodo:

- il palo è schematizzato con un elemento cilindrico, suddiviso in conci, caratterizzato da un modulo elastico E_p ;
- il legame tra palo e terreno viene schematizzato come indicato in Figura 8; le curve di trasferimento per adesione laterale sono di tipo bilaterale, definite dal valore limite della τ nel punto considerato e dallo spostamento relativo limite tra palo e terreno. Lo spostamento limite è stato assunto per i terreni in esame pari a 5 mm, in accordo con numerose risultanze sperimentali disponibili in bibliografia (vedasi Figura 9).
- La curva di trasferimento per la base è di tipo iperbolico (vedasi Figura 9). Si ipotizza che la portata di base limite venga raggiunta per una frazione k del diametro D del palo. L'interpolazione delle curve per le sabbie (Duncan e Champ) e per le argille (Burland – Whitaker) risulta soddisfacente adottando le seguenti relazioni:

$$P_b = [Q_{bl} / 0.9 \cdot E_{si} \cdot s] / [(Q_{bl} / 0.9) + (E_{si} \cdot s)]$$

Dove:

$$E_{si} = (Q_{bl} / 0.9) / C \cdot k \cdot D$$

$Q_{bl} / 0.9$ = portata limite teorica asintotica

s = spostamento generico

C = coefficiente caratteristico della curva

D = diametro del palo.

La curva di base è dunque definita dalla portata limite, dal coefficiente k che determina lo spostamento limite e da C (assunto 0.09 per le sabbie e 0.13 per le argille) che influenza la forma della curva iperbolica.

I valori di tensione laterale limite e di portata di base limite adottati per la definizione delle curve carico-cedimento, sono quelli utilizzati per la capacità portante dei pali (vedasi Appendice A).

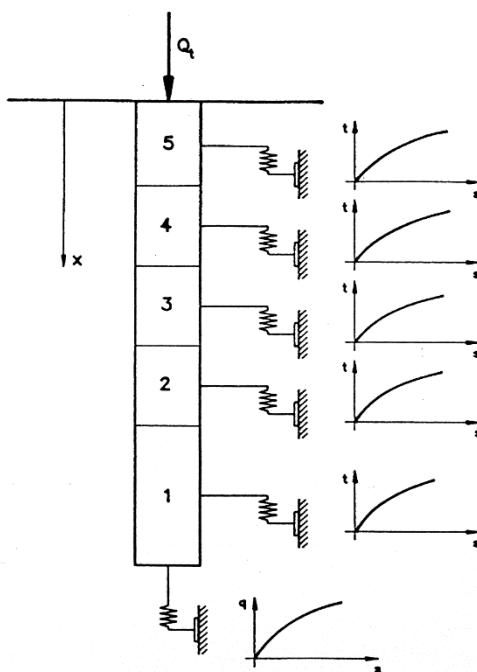


Figura 8 –Legame ideale palo-terreno

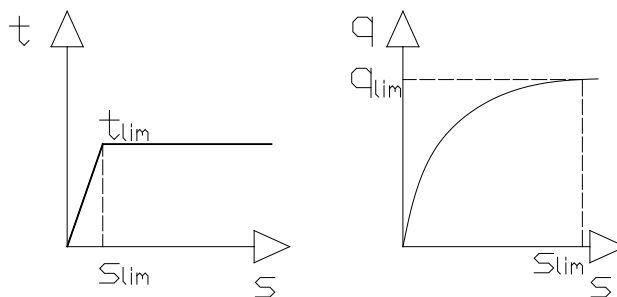


Figura 9 –curve di trasferimento (laterale e base)

La curva carico-cedimento del palo isolato è stata determinata assegnando diversi valori di carico in sommità e ottenendo i corrispondenti valori di cedimento.

Per la determinazione della curva carico-cedimento in presenza di attrito negativo si è proceduto nel seguente modo:

- determinazione della curva carico-cedimento assumendo il diagramma di cedimento valutato in presenza di liquefazione;
- tale diagramma di cedimenti è stato applicato a partire da testa palo;
- l'andamento delle tensioni tangenziali, assunte lungo il fusto del palo a partire dal p.c., è quello utilizzato per il calcolo della portanza dei pali (vedasi Appendice A).
- determinazione del cedimento, a carico nullo, considerando il diagramma di cedimento;
- costruzione della curva carico-cedimento. Tale curva carico-cedimento verrà utilizzata al fine di verificare che in presenza del massimo carico assiale agente sul palo in SLE il cedimento sia compatibile con la funzionalità delle sovrastrutture.

Le valutazioni sono state svolte prendendo a riferimento i risultati delle analisi di liquefazione delle verticali di indagine in corrispondenza dell'opera (CPT6 e SD27), riportate nel documento D.2, a cui si rimanda per i dettagli. Nella seguente figura si riporta l'andamento dell'ipotetico cedimento indotto dalla liquefazione, utilizzato per la valutazione dei cedimenti del palo in presenza di attrito negativo.

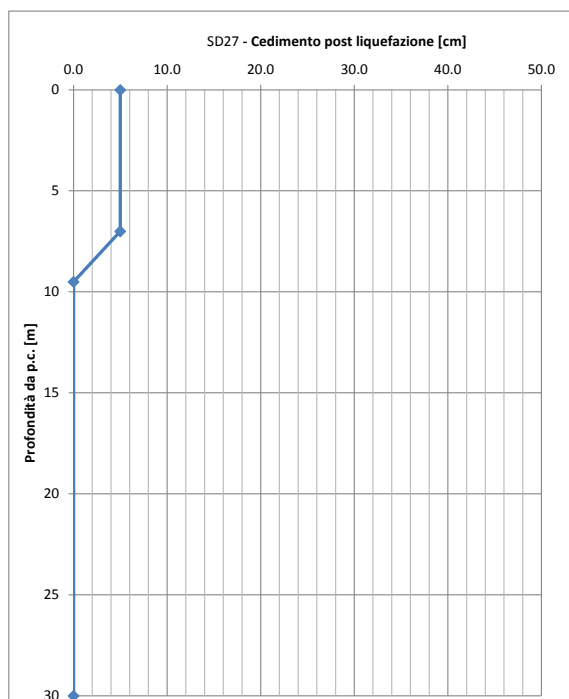


Figura 10 – indagini CPT6/SD26

Nelle seguenti figure si riportano le curve carico – cedimento del palo isolato in assenza ed in presenza di attrito negativo per le palificate in esame per lunghezza palo (preliminare) 34 m e diametro D=1200 mm.

NW03, NW04, GA03
Curva carico-cedimento palo D=1200 mm

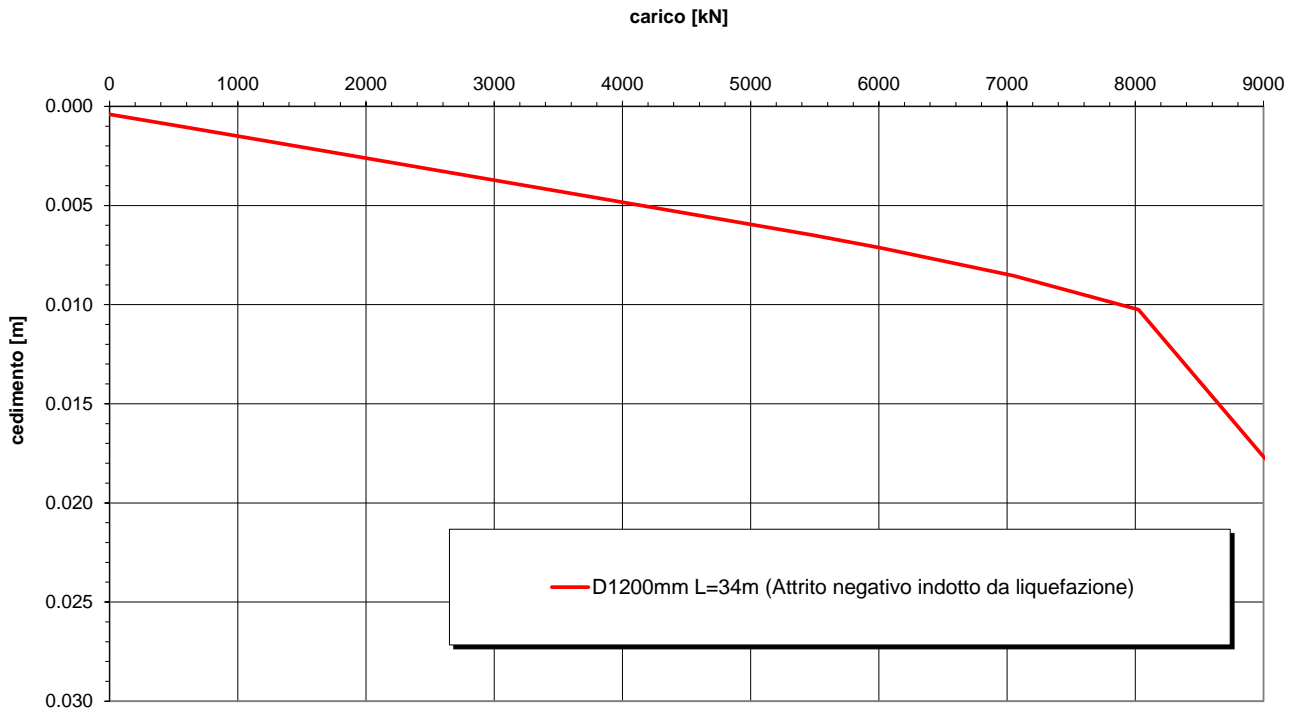


Figura 11 –curva carico-cedimento singolo palo in presenza di potenziale liquefazione – D=1200 mm

La verifica dei cedimenti consiste nell'assicurarsi che per la lunghezza utile di palo definita, i cedimenti del palo sotto i carichi di esercizio, siano compatibili con la funzionalità delle sovrastrutture.

Dalle relazioni di calcolo dei viadotti si stima un massimo carico assiale in condizioni SLE, agente sul singolo palo D=1200 mm di 3592 kN. Entrando nella precedente figura con tale, in condizioni di attrito negativo (dovuto al fenomeno di liquefazione), si ottengono cedimenti del singolo palo (s) dell'ordine di 4 mm e quindi compatibili con la funzionalità delle sovrastrutture.

9 VERIFICA DEI CEDIMENTI DELLE PALIFICATE

Per una valutazione semplificata dei cedimenti della palificata si è proceduto con la metodologia di seguito indicata.

Il cedimento del singolo palo (w) è stimato con la curva carico-cedimento (valutata in presenza di liquefazione) riportata in Figura 11.

Il cedimento del gruppo di pali è stimato moltiplicando il cedimento del singolo palo isolato per un coefficiente di amplificazione (R_g dipendente da fattori essenzialmente geometrici quali, s =interasse pali, n = numero pali della palificata, L =lunghezza pali) con le seguenti formulazioni empiriche (di Mandolini et al. 1997):

$$w_{\text{gruppo}} = w \cdot n \cdot R_g$$

dove

w =cedimento singolo palo,

n = numero pali

R_g = fattore correttivo.

Il fattore R_g è determinato con la formulazione di Mandolini et al. (1997), illustrata nella seguente figura.

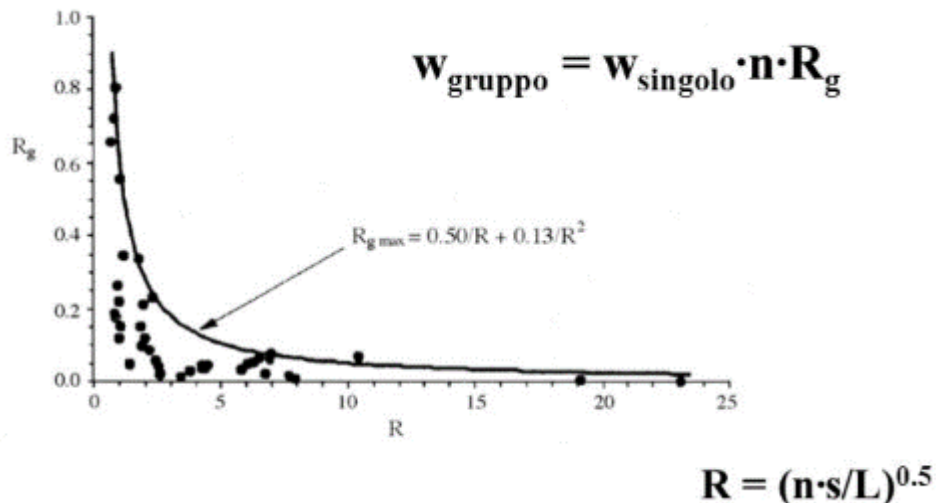


Figura 12 –Mandolini et al. 1997

Nella seguente tabella si riporta la stima dei cedimenti per le palificate in esame.

GA03 palificata	
Dati	
Diametro	120 [cm]
Lunghezza	35 [m]
n	54 [-]
Q _{esercizio}	3592 [kN]
Cedimento Palo singolo (da curva carico-cedimento)	
w	0.40 [cm]
Cedimento Palo di gruppo	
R	2.777 [-]
R _g	0.197 [-]
w _{gruppo} [m]	4.3 [cm]

Una volta calcolati i cedimenti per ogni singolo elemento (per il cedimento delle fondazioni delle pile NW03 e NW04 si rimanda a apposito documento), si verifica che il cedimento differenziale tra palificate adiacenti sia inferiore al limite di seguito indicato con riferimento ai carichi di esercizio (SLE permanenti con valore caratteristico).

$$d \leq L_{med} / 1000 \quad \text{per travi appoggiate}$$

Dove: L_{med} = luce media delle campate afferenti sulla fondazione in esame.

Tabella 3 – Verifica cedimenti pali

	cedimento [cm]	cedimento differenziale [mm]	L _{med} [m]	cedimento limite [mm]
P1-NW04	2.7	-	24.2	24.2
Spalla B-GA03	4.3	16	24.2	24.2
Spalla C-GA03	4.3	16	24.6	24.6
P2-NW03	2.7	-	25.0	25.0

Come si evince dalla tabella precedente i cedimenti differenziali delle palificate risultano inferiori al cedimento limite della luce afferente; l'ipotesi progettuale risulta pertanto verificata.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	28 di 47

10 APPENDICE A: CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI - TABULATI DI CALCOLO PALI

10.1 PORTATA DI PROGETTO D1200 MM - COMPRESSIONE

*** P A L ***

Programma per l'analisi della capacità portante
assiale di un palo di fondazione

(C) G.Guiducci - Studio SINTESI (RN - Italy)
ottobre 2006

pag. / 2

LINEA FS MESSINA - CATANIA-PALERMO lotto3
Palo D=1200 mm - A1+M1+R3

Quota testa palo da p.c.	=	3.00 m
Quota falda da p.c.	=	4.00 m
Peso di volume del palo	=	8.00 kN/m ³
Fattore di sicurezza portata laterale	=	1.96 (FS,l)
Fattore di sicurezza portata di base	=	2.30 (FS,b)

Elemento cilindrico, Diametro fusto = 1200. mm

Criterio per la determinazione della portata di base in uno strato "i"
quando la $Q_{b,i}$ ad esso attribuibile è superiore a quella degli
strati adiacenti:

La base del palo deve essere situata almeno: $3.0 * 1.200 = 3.60$ m
entro lo strato se quello sovrastante è più debole

La base del palo deve essere situata almeno: $3.0 * 1.200 = 3.60$ m
sopra lo strato sottostante se esso è più debole

La variazione di Q_b viene assunta lineare dal passaggio di strato



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	29 di 47

pag. / 3

LINEA FS MESSINA - CATANIA-PALERMO lotto3
Palo D=1200 mm - A1+M1+R3

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

Strato 1 "U1 " (Incoerente) da .00 a 3.00 m

Gn = 19.0 kN/m3 Ge = 9.0 kN/m3

Tau = K * tan(delta) * S'v
K = .50 delta = 29.0 deg

Qb = 18.0 * S'v < 4300. kPa

Strato 2 "U1a " (Coesivo) da 3.00 a 5.50 m

Gn = 19.5 kN/m3 Ge = 9.5 kN/m3

Tau = alfa * Cu Criterio alfa(Cu) nel seguito

Qb = 9.0 * Cu + Sv

Cu variabile lin. da 75.0 a 75.0 kPa

Strato 3 "U1 " (Incoerente) da 5.50 a 9.00 m

Gn = 19.0 kN/m3 Ge = 9.0 kN/m3

Tau variabile lin. da .0 a .0 kPa

Qb variabile lin. da 0. a 0. kPa

pag. / 4

LINEA FS MESSINA - CATANIA-PALERMO lotto3
Palo D=1200 mm - A1+M1+R3

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

Strato 4 "U2a " (Coesivo) da 9.00 a 14.50 m

Gn = 19.5 kN/m3 Ge = 9.5 kN/m3

Tau = alfa * Cu Criterio alfa(Cu) nel seguito

Qb = 9.0 * Cu + Sv

Cu variabile lin. da 60.0 a 60.0 kPa

Strato 5 "U2 " (Incoerente) da 14.50 a 19.50 m

Gn = 19.5 kN/m3 Ge = 9.5 kN/m3

Tau = K * tan(delta) * S'v



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	30 di 47

$$K = .50 \quad \text{delta} = 29.0 \text{ deg}$$
$$Q_b = 18.0 * S'v < 4300. \text{ kPa}$$

Strato 6 "U2a " (Coesivo) da 19.50 a 22.00 m

$$G_n = 19.5 \text{ kN/m}^3 \quad G_e = 9.5 \text{ kN/m}^3$$
$$\text{Tau} = \text{alfa} * C_u \quad \text{Criterio } \text{alfa}(C_u) \text{ nel seguito}$$
$$Q_b = 9.0 * C_u + S_v$$
$$C_u \text{ variabile lin. da } 125.0 \text{ a } 125.0 \text{ kPa}$$

pag./ 5

LINEA FS MESSINA - CATANIA-PALERMO lotto3
Palo D=1200 mm - A1+M1+R3

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

Strato 7 "U2b " (Incoerente) da 22.00 a 30.50 m

$$G_n = 19.5 \text{ kN/m}^3 \quad G_e = 9.5 \text{ kN/m}^3$$
$$\text{Tau} = K * \tan(\text{delta}) * S'v$$
$$K = .50 \quad \text{delta} = 33.0 \text{ deg}$$
$$Q_b = 22.0 * S'v < 4300. \text{ kPa}$$

Strato 8 "U2a " (Coesivo) da 30.50 a 32.50 m

$$G_n = 19.5 \text{ kN/m}^3 \quad G_e = 9.5 \text{ kN/m}^3$$
$$\text{Tau} = \text{alfa} * C_u \quad \text{Criterio } \text{alfa}(C_u) \text{ nel seguito}$$
$$Q_b = 9.0 * C_u + S_v$$
$$C_u \text{ variabile lin. da } 125.0 \text{ a } 125.0 \text{ kPa}$$

Strato 9 "U2 " (Incoerente) da 32.50 a 44.00 m

$$G_n = 19.5 \text{ kN/m}^3 \quad G_e = 9.5 \text{ kN/m}^3$$
$$\text{Tau} = K * \tan(\text{delta}) * S'v$$
$$K = .50 \quad \text{delta} = 29.0 \text{ deg}$$
$$Q_b = 18.0 * S'v < 4300. \text{ kPa}$$

pag./ 6

LINEA FS MESSINA - CATANIA-PALERMO lotto3
Palo D=1200 mm - A1+M1+R3

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	31 di 47

Strato 10"U3 " (Coesivo) da 44.00 a 50.00 m

Gn = 20.5 kN/m3 Ge = 10.5 kN/m3

Tau = alfa * Cu Criterio alfa(Cu) nel seguito

Qb = 9.0 * Cu + Sv

Cu variabile lin. da 110.0 a 110.0 kPa

pag. / 7

LINEA FS MESSINA - CATANIA-PALERMO lotto3
Palo D=1200 mm - A1+M1+R3

MOLTIPLICATORI per i parametri di calcolo

strato	Molt. Tau	Molt. Qb	Molt. Cu
1 "U1 "	1.00	1.00	-
2 "U1a "	1.00	1.00	1.00
3 "U1 "	1.00	1.00	-
4 "U2a "	1.00	1.00	1.00
5 "U2 "	1.00	1.00	-
6 "U2a "	1.00	1.00	1.00
7 "U2b "	1.00	1.00	-
8 "U2a "	1.00	1.00	1.00
9 "U2 "	1.00	1.00	-
10"U3 "	1.00	1.00	1.00

NOTA: i moltiplicatori non influenzano le limitazioni superiori o inferiori dei parametri

Per terreni coesivi: Criterio Tau = alfa * Cu

Cu kPa	alfa
.0	.70
25.0	.70
40.0	.58
50.0	.50
60.0	.42
70.0	.34
70.1	.35
300.0	.35



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	32 di 47

pag. / 8

LINEA FS MESSINA - CATANIA-PALERMO lotto3
Palo D=1200 mm - A1+M1+R3

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

zz m	S'v kPa	Sv kPa	Cu kPa	Tau/S'v -	Tau kPa	qb kPa
3.00	57.0	57.0	--	.37	21.0	413.
3.50	66.8	66.8	75.0	.39	26.3	359.
4.00	76.5	76.5	75.0	.34	26.3	305.
4.50	81.3	86.3	75.0	.32	26.3	204.
5.00	86.0	96.0	75.0	.31	26.3	102.
5.50	90.8	105.8	75.0	.14	13.1	0.
6.00	95.3	115.3	--	.00	.0	0.
6.50	99.8	124.8	--	.00	.0	0.
7.00	104.3	134.3	--	.00	.0	0.
7.50	108.8	143.8	--	.00	.0	0.
8.00	113.3	153.3	--	.00	.0	0.
8.50	117.8	162.8	--	.00	.0	0.
9.00	122.3	172.3	--	.10	12.6	0.
9.50	127.0	182.0	60.0	.20	25.2	112.
10.00	131.8	191.8	60.0	.19	25.2	223.
10.50	136.5	201.5	60.0	.18	25.2	335.
11.00	141.3	211.3	60.0	.18	25.2	446.
11.50	146.0	221.0	60.0	.17	25.2	558.
12.00	150.8	230.8	60.0	.17	25.2	669.
12.50	155.5	240.5	60.0	.16	25.2	781.
13.00	160.3	250.3	60.0	.16	25.2	790.
13.50	165.0	260.0	60.0	.15	25.2	800.
14.00	169.8	269.8	60.0	.15	25.2	810.
14.50	174.5	279.5	60.0	.21	36.8	820.
15.00	179.3	289.3	--	.28	49.7	1237.
15.50	184.0	299.0	--	.28	51.0	1654.
16.00	188.8	308.8	--	.28	52.3	2071.
16.50	193.5	318.5	--	.28	53.6	2346.
17.00	198.3	328.3	--	.28	54.9	2621.
17.50	203.0	338.0	--	.28	56.3	2619.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	33 di 47

pag. / 9

LINEA FS MESSINA - CATANIA-PALERMO lotto3
Palo D=1200 mm - A1+M1+R3

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

zz m	S'v kPa	Sv kPa	Cu kPa	Tau/S'v -	Tau kPa	qb kPa
18.00	207.8	347.8	--	.28	57.6	2340.
18.50	212.5	357.5	--	.28	58.9	2060.
19.00	217.3	367.3	--	.28	60.2	1781.
19.50	222.0	377.0	--	.24	52.6	1502.
20.00	226.8	386.8	125.0	.19	43.8	1512.
20.50	231.5	396.5	125.0	.19	43.8	1522.
21.00	236.3	406.3	125.0	.19	43.8	1531.
21.50	241.0	416.0	125.0	.18	43.8	1541.
22.00	245.8	425.8	125.0	.25	61.8	1551.
22.50	250.5	435.5	--	.32	81.3	1944.
23.00	255.3	445.3	--	.32	82.9	2336.
23.50	260.0	455.0	--	.32	84.4	2729.
24.00	264.8	464.8	--	.32	86.0	3122.
24.50	269.5	474.5	--	.32	87.5	3515.
25.00	274.3	484.3	--	.32	89.1	3907.
25.50	279.0	494.0	--	.32	90.6	4300.
26.00	283.8	503.8	--	.32	92.1	4300.
26.50	288.5	513.5	--	.32	93.7	4300.
27.00	293.3	523.3	--	.32	95.2	4300.
27.50	298.0	533.0	--	.32	96.8	3931.
28.00	302.8	542.8	--	.32	98.3	3562.
28.50	307.5	552.5	--	.32	99.8	3193.
29.00	312.3	562.3	--	.32	101.4	2824.
29.50	317.0	572.0	--	.32	102.9	2455.
30.00	321.8	581.8	--	.32	104.5	2086.
30.50	326.5	591.5	--	.23	74.9	1717.
31.00	331.3	601.3	125.0	.13	43.8	1726.
31.50	336.0	611.0	125.0	.13	43.8	1736.
32.00	340.8	620.8	125.0	.13	43.8	1746.
32.50	345.5	630.5	125.0	.20	69.8	1756.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	34 di 47

pag. / 10

LINEA FS MESSINA - CATANIA-PALERMO lotto3
Palo D=1200 mm - A1+M1+R3

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

zz m	S'v kPa	Sv kPa	Cu kPa	Tau/S'v -	Tau kPa	qb kPa
33.00	350.3	640.3	--	.28	97.1	2119.
33.50	355.0	650.0	--	.28	98.4	2483.
34.00	359.8	659.8	--	.28	99.7	2846.
34.50	364.5	669.5	--	.28	101.0	3210.
35.00	369.3	679.3	--	.28	102.3	3573.
35.50	374.0	689.0	--	.28	103.7	3937.
36.00	378.8	698.8	--	.28	105.0	4300.
36.50	383.5	708.5	--	.28	106.3	4300.
37.00	388.3	718.3	--	.28	107.6	4300.
37.50	393.0	728.0	--	.28	108.9	4300.
38.00	397.8	737.8	--	.28	110.2	4300.
38.50	402.5	747.5	--	.28	111.6	4300.
39.00	407.3	757.3	--	.28	112.9	4300.
39.50	412.0	767.0	--	.28	114.2	4300.
40.00	416.8	776.8	--	.28	115.5	4300.
40.50	421.5	786.5	--	.28	116.8	4300.
41.00	426.3	796.3	--	.28	118.1	3949.
41.50	431.0	806.0	--	.28	119.5	3599.
42.00	435.8	815.8	--	.28	120.8	3248.
42.50	440.5	825.5	--	.28	122.1	2897.
43.00	445.3	835.3	--	.28	123.4	2546.
43.50	450.0	845.0	--	.28	124.7	2196.
44.00	454.8	854.8	--	.18	82.3	1845.
44.50	460.0	865.0	110.0	.08	38.5	1855.
45.00	465.3	875.3	110.0	.08	38.5	1865.
45.50	470.5	885.5	110.0	.08	38.5	1876.
46.00	475.8	895.8	110.0	.08	38.5	1886.
46.50	481.0	906.0	110.0	.08	38.5	1896.
47.00	486.3	916.3	110.0	.08	38.5	1906.
47.50	491.5	926.5	110.0	.08	38.5	1917.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	35 di 47

pag. / 11

LINEA FS MESSINA - CATANIA-PALERMO lotto3
Palo D=1200 mm - A1+M1+R3

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

zz	S'v	Sv	Cu	Tau/S'v	Tau	qb
m	kPa	kPa	kPa	-	kPa	kPa
48.00	496.8	936.8	110.0	.08	38.5	1927.
48.50	502.0	947.0	110.0	.08	38.5	1937.
49.00	507.3	957.3	110.0	.08	38.5	1947.
49.50	512.5	967.5	110.0	.08	38.5	1958.
50.00	517.8	977.8	110.0	.07	38.5	1968.

zz = Profondita' da piano campagna
S'v = Tensione verticale efficace
Sv = Tensione verticale totale
Cu = Coesione non drenata
Tau = Tensione di adesione laterale limite
qb = Portata di base limite unitaria



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	36 di 47

pag. / 12

LINEA FS MESSINA - CATANIA-PALERMO lotto3
Palo D=1200 mm - A1+M1+R3

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Q11 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
.00	0.	467.	0.	467.	203.
.50	47.	406.	5.	449.	196.
1.00	96.	345.	9.	433.	190.
1.50	146.	230.	14.	363.	161.
2.00	195.	115.	18.	292.	132.
2.50	239.	0.	23.	216.	99.
3.00	245.	0.	27.	218.	98.
3.50	245.	0.	32.	213.	93.
4.00	245.	0.	36.	209.	89.
4.50	245.	0.	41.	204.	84.
5.00	245.	0.	45.	200.	80.
5.50	245.	0.	50.	195.	75.
6.00	251.	0.	54.	197.	74.
6.50	292.	126.	59.	360.	145.
7.00	340.	252.	63.	529.	220.
7.50	387.	378.	68.	698.	294.
8.00	435.	504.	72.	867.	369.
8.50	482.	631.	77.	1036.	443.
9.00	530.	757.	81.	1205.	518.
9.50	577.	883.	86.	1374.	592.
10.00	625.	894.	90.	1428.	617.
10.50	672.	905.	95.	1482.	641.
11.00	720.	916.	100.	1536.	666.
11.50	773.	927.	104.	1596.	693.
12.00	860.	1399.	109.	2150.	938.
12.50	955.	1870.	113.	2712.	1187.
13.00	1052.	2342.	118.	3277.	1437.
13.50	1152.	2653.	122.	3683.	1619.
14.00	1254.	2964.	127.	4092.	1802.
14.50	1359.	2962.	131.	4190.	1850.
15.00	1466.	2646.	136.	3977.	1763.
15.50	1576.	2330.	140.	3766.	1677.
16.00	1688.	2015.	145.	3558.	1593.
16.50	1799.	1699.	149.	3348.	1507.
17.00	1886.	1710.	154.	3442.	1552.
17.50	1968.	1721.	158.	3531.	1594.
18.00	2051.	1732.	163.	3619.	1636.
18.50	2133.	1743.	167.	3708.	1679.
19.00	2224.	1754.	172.	3806.	1725.
19.50	2367.	2198.	176.	4389.	1987.
20.00	2522.	2642.	181.	4983.	2255.
20.50	2680.	3086.	185.	5581.	2524.
21.00	2840.	3531.	190.	6181.	2794.
21.50	3004.	3975.	195.	6784.	3066.
22.00	3170.	4419.	199.	7390.	3340.
22.50	3340.	4863.	204.	7999.	3615.
23.00	3512.	4863.	208.	8167.	3698.
23.50	3687.	4863.	213.	8337.	3783.
24.00	3865.	4863.	217.	8511.	3869.
24.50	4046.	4446.	222.	8270.	3776.
25.00	4230.	4028.	226.	8032.	3683.
25.50	4417.	3611.	231.	7797.	3593.
26.00	4606.	3194.	235.	7564.	3503.
26.50	4799.	2776.	240.	7335.	3416.
27.00	4994.	2359.	244.	7109.	3329.
27.50	5178.	1941.	249.	6870.	3237.
28.00	5275.	1952.	253.	6974.	3287.
28.50	5358.	1963.	258.	7063.	3329.
29.00	5440.	1974.	262.	7152.	3372.
29.50	5535.	1985.	267.	7253.	3420.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	37 di 47

30.00	5704.	2397.	271.	7829.	3681.
30.50	5888.	2808.	276.	8420.	3949.
31.00	6075.	3219.	280.	9013.	4219.
31.50	6264.	3630.	285.	9609.	4489.
32.00	6456.	4041.	290.	10207.	4761.
32.50	6650.	4452.	294.	10808.	5035.
33.00	6847.	4863.	299.	11411.	5309.
33.50	7046.	4863.	303.	11606.	5406.
34.00	7247.	4863.	308.	11803.	5504.
34.50	7452.	4863.	312.	12003.	5604.
35.00	7658.	4863.	317.	12205.	5705.
35.50	7867.	4863.	321.	12409.	5807.
36.00	8079.	4863.	326.	12616.	5910.
36.50	8293.	4863.	330.	12826.	6015.
37.00	8509.	4863.	335.	13038.	6121.
37.50	8728.	4863.	339.	13252.	6228.
38.00	8949.	4466.	344.	13072.	6164.
38.50	9173.	4070.	348.	12895.	6101.
39.00	9400.	3673.	353.	12720.	6040.
39.50	9629.	3276.	357.	12548.	5980.
40.00	9860.	2880.	362.	12378.	5921.
40.50	10094.	2483.	366.	12211.	5863.
41.00	10310.	2086.	371.	12025.	5796.
41.50	10403.	2098.	375.	12125.	5844.
42.00	10475.	2110.	380.	12205.	5882.
42.50	10548.	2121.	385.	12285.	5919.
43.00	10621.	2133.	389.	12364.	5957.
43.50	10693.	2144.	394.	12444.	5994.
44.00	10766.	2156.	398.	12523.	6032.
44.50	10838.	2168.	403.	12603.	6069.
45.00	10911.	2179.	407.	12683.	6107.
45.50	10983.	2191.	412.	12762.	6145.
46.00	11056.	2202.	416.	12842.	6182.
46.50	11129.	2214.	421.	12922.	6220.
47.00	11201.	2225.	425.	13001.	6257.

Lp = Lunghezza utile del palo
 Ql1 = Portata laterale limite
 Qb1 = Portata di base limite
 Wp = Peso efficace del palo
 Qu = Portata totale limite
 Qd = Portata di progetto = $Ql1/FS,l + Qb1/FS,b - Wp$



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	38 di 47

10.2 PORTATA DI PROGETTO D1200 MM - TRAZIONE

*** P A L ***
Programma per l'analisi della capacita' portante
assiale di un palo di fondazione

(C) G.Guiducci - Studio SINTESI (RN - Italy)
ottobre 2006

pag. / 2

LINEA FS MESSINA - CATANIA-PALERMO lotto3
Palo D=1200 mm - A1+M1+R3 trazione

Quota testa palo da p.c. = 3.00 m
Quota falda da p.c. = 4.00 m
Peso di volume del palo = -15.00 kN/m³
Fattore di sicurezza portata laterale = 2.13 (FS,l)
Fattore di sicurezza portata di base = 1.00 (FS,b)

Elemento cilindrico, Diametro fusto = 1200. mm

Criterio per la determinazione della portata di base in uno strato "i"
quando la $Q_{b,i}$ ad esso attribuibile e' superiore a quella degli
strati adiacenti:

La base del palo deve essere situata almeno: $3.0 * 1.200 = 3.60$ m
entro lo strato se quello sovrastante e' piu' debole

La base del palo deve essere situata almeno: $3.0 * 1.200 = 3.60$ m
sopra lo strato sottostante se esso e' piu' debole

La variazione di Q_b viene assunta lineare dal passaggio di strato



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA
INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO
DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	39 di 47

pag. / 3

LINEA FS MESSINA - CATANIA-PALERMO lotto3
Palo D=1200 mm - A1+M1+R3 trazione

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

Strato 1 "U1 " (Incoerente) da .00 a 3.00 m

Gn = 19.0 kN/m3 Ge = 9.0 kN/m3

Tau = K * tan(delta) * S'v
K = .50 delta = 29.0 deg

Qb variabile lin. da 0. a 0. kPa

Strato 2 "U1a " (Coesivo) da 3.00 a 5.50 m

Gn = 19.5 kN/m3 Ge = 9.5 kN/m3

Tau = alfa * Cu Criterio alfa(Cu) nel seguito

Qb variabile lin. da 0. a 0. kPa

Cu variabile lin. da 75.0 a 75.0 kPa

Strato 3 "U1 " (Incoerente) da 5.50 a 9.00 m

Gn = 19.0 kN/m3 Ge = 9.0 kN/m3

Tau variabile lin. da .0 a .0 kPa

Qb variabile lin. da 0. a 0. kPa

pag. / 4

LINEA FS MESSINA - CATANIA-PALERMO lotto3
Palo D=1200 mm - A1+M1+R3 trazione

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

Strato 4 "U2a " (Coesivo) da 9.00 a 14.50 m

Gn = 19.5 kN/m3 Ge = 9.5 kN/m3

Tau = alfa * Cu Criterio alfa(Cu) nel seguito

Qb variabile lin. da 0. a 0. kPa

Cu variabile lin. da 60.0 a 60.0 kPa

Strato 5 "U2 " (Incoerente) da 14.50 a 19.50 m

Gn = 19.5 kN/m3 Ge = 9.5 kN/m3

Tau = K * tan(delta) * S'v



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA
INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO
DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	40 di 47

$K = .50$ $\text{delta} = 29.0 \text{ deg}$
Qb variabile lin. da 0. a 0. kPa

Strato 6 "U2a " (Coesivo) da 19.50 a 22.00 m
Gn = 19.5 kN/m3 Ge = 9.5 kN/m3
Tau = $\text{alfa} * \text{Cu}$ Criterio $\text{alfa}(\text{Cu})$ nel seguito
Qb variabile lin. da 0. a 0. kPa
Cu variabile lin. da 125.0 a 125.0 kPa

pag. / 5

LINEA FS MESSINA - CATANIA-PALERMO lotto3
Palo D=1200 mm - A1+M1+R3 trazione

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO

Strato 7 "U2b " (Incoerente) da 22.00 a 30.50 m
Gn = 19.5 kN/m3 Ge = 9.5 kN/m3
Tau = $K * \tan(\text{delta}) * S'v$
 $K = .50$ $\text{delta} = 33.0 \text{ deg}$
Qb variabile lin. da 0. a 0. kPa

Strato 8 "U2a " (Coesivo) da 30.50 a 32.50 m
Gn = 19.5 kN/m3 Ge = 9.5 kN/m3
Tau = $\text{alfa} * \text{Cu}$ Criterio $\text{alfa}(\text{Cu})$ nel seguito
Qb variabile lin. da 0. a 0. kPa
Cu variabile lin. da 125.0 a 125.0 kPa

Strato 9 "U2 " (Incoerente) da 32.50 a 44.00 m
Gn = 19.5 kN/m3 Ge = 9.5 kN/m3
Tau = $K * \tan(\text{delta}) * S'v$
 $K = .50$ $\text{delta} = 29.0 \text{ deg}$
Qb variabile lin. da 0. a 0. kPa

pag. / 6

LINEA FS MESSINA - CATANIA-PALERMO lotto3
Palo D=1200 mm - A1+M1+R3 trazione

DEFINIZIONE PARAMETRI E CRITERI DI CALCOLO PER GLI STRATI DI TERRENO



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	41 di 47

Strato 10"U2a " (Coesivo) da 44.00 a 50.00 m

Gn = 20.5 kN/m3 Ge = 10.5 kN/m3

Tau = alfa * Cu Criterio alfa(Cu) nel seguito

Qb variabile lin. da 0. a 0. kPa

Cu variabile lin. da 110.0 a 110.0 kPa

pag. / 7

LINEA FS MESSINA - CATANIA-PALERMO lotto3
Palo D=1200 mm - A1+M1+R3 trazione

MOLTIPLICATORI per i parametri di calcolo

strato	Molt. Tau	Molt. Qb	Molt. Cu
1 "U1 "	1.00	1.00	-
2 "U1a "	1.00	1.00	1.00
3 "U1 "	1.00	1.00	-
4 "U2a "	1.00	1.00	1.00
5 "U2 "	1.00	1.00	-
6 "U2a "	1.00	1.00	1.00
7 "U2b "	1.00	1.00	-
8 "U2a "	1.00	1.00	1.00
9 "U2 "	1.00	1.00	-
10"U2a "	1.00	1.00	1.00

NOTA: i moltiplicatori non influenzano le limitazioni superiori o inferiori dei parametri

Per terreni coesivi: Criterio Tau = alfa * Cu

Cu kPa	alfa
.0	.70
25.0	.70
40.0	.58
50.0	.50
60.0	.42
70.0	.34
70.1	.35
300.0	.35



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	42 di 47

pag. / 8

LINEA FS MESSINA - CATANIA-PALERMO lotto3
Palo D=1200 mm - Al+M1+R3 trazione

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

zz m	S'v kPa	Sv kPa	Cu kPa	Tau/S'v -	Tau kPa	qb kPa
3.00	57.0	57.0	--	.37	21.0	0.
3.50	66.8	66.8	75.0	.39	26.3	0.
4.00	76.5	76.5	75.0	.34	26.3	0.
4.50	81.3	86.3	75.0	.32	26.3	0.
5.00	86.0	96.0	75.0	.31	26.3	0.
5.50	90.8	105.8	75.0	.14	13.1	0.
6.00	95.3	115.3	--	.00	.0	0.
6.50	99.8	124.8	--	.00	.0	0.
7.00	104.3	134.3	--	.00	.0	0.
7.50	108.8	143.8	--	.00	.0	0.
8.00	113.3	153.3	--	.00	.0	0.
8.50	117.8	162.8	--	.00	.0	0.
9.00	122.3	172.3	--	.10	12.6	0.
9.50	127.0	182.0	60.0	.20	25.2	0.
10.00	131.8	191.8	60.0	.19	25.2	0.
10.50	136.5	201.5	60.0	.18	25.2	0.
11.00	141.3	211.3	60.0	.18	25.2	0.
11.50	146.0	221.0	60.0	.17	25.2	0.
12.00	150.8	230.8	60.0	.17	25.2	0.
12.50	155.5	240.5	60.0	.16	25.2	0.
13.00	160.3	250.3	60.0	.16	25.2	0.
13.50	165.0	260.0	60.0	.15	25.2	0.
14.00	169.8	269.8	60.0	.15	25.2	0.
14.50	174.5	279.5	60.0	.21	36.8	0.
15.00	179.3	289.3	--	.28	49.7	0.
15.50	184.0	299.0	--	.28	51.0	0.
16.00	188.8	308.8	--	.28	52.3	0.
16.50	193.5	318.5	--	.28	53.6	0.
17.00	198.3	328.3	--	.28	54.9	0.
17.50	203.0	338.0	--	.28	56.3	0.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	43 di 47

pag. / 9

LINEA FS MESSINA - CATANIA-PALERMO lotto3
Palo D=1200 mm - A1+M1+R3 trazione

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

zz m	S'v kPa	Sv kPa	Cu kPa	Tau/S'v -	Tau kPa	qb kPa
18.00	207.8	347.8	--	.28	57.6	0.
18.50	212.5	357.5	--	.28	58.9	0.
19.00	217.3	367.3	--	.28	60.2	0.
19.50	222.0	377.0	--	.24	52.6	0.
20.00	226.8	386.8	125.0	.19	43.8	0.
20.50	231.5	396.5	125.0	.19	43.8	0.
21.00	236.3	406.3	125.0	.19	43.8	0.
21.50	241.0	416.0	125.0	.18	43.8	0.
22.00	245.8	425.8	125.0	.25	61.8	0.
22.50	250.5	435.5	--	.32	81.3	0.
23.00	255.3	445.3	--	.32	82.9	0.
23.50	260.0	455.0	--	.32	84.4	0.
24.00	264.8	464.8	--	.32	86.0	0.
24.50	269.5	474.5	--	.32	87.5	0.
25.00	274.3	484.3	--	.32	89.1	0.
25.50	279.0	494.0	--	.32	90.6	0.
26.00	283.8	503.8	--	.32	92.1	0.
26.50	288.5	513.5	--	.32	93.7	0.
27.00	293.3	523.3	--	.32	95.2	0.
27.50	298.0	533.0	--	.32	96.8	0.
28.00	302.8	542.8	--	.32	98.3	0.
28.50	307.5	552.5	--	.32	99.8	0.
29.00	312.3	562.3	--	.32	101.4	0.
29.50	317.0	572.0	--	.32	102.9	0.
30.00	321.8	581.8	--	.32	104.5	0.
30.50	326.5	591.5	--	.23	74.9	0.
31.00	331.3	601.3	125.0	.13	43.8	0.
31.50	336.0	611.0	125.0	.13	43.8	0.
32.00	340.8	620.8	125.0	.13	43.8	0.
32.50	345.5	630.5	125.0	.20	69.8	0.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	44 di 47

pag. / 10

LINEA FS MESSINA - CATANIA-PALERMO lotto3
Palo D=1200 mm - Al+M1+R3 trazione

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

zz m	S'v kPa	Sv kPa	Cu kPa	Tau/S'v -	Tau kPa	qb kPa
33.00	350.3	640.3	--	.28	97.1	0.
33.50	355.0	650.0	--	.28	98.4	0.
34.00	359.8	659.8	--	.28	99.7	0.
34.50	364.5	669.5	--	.28	101.0	0.
35.00	369.3	679.3	--	.28	102.3	0.
35.50	374.0	689.0	--	.28	103.7	0.
36.00	378.8	698.8	--	.28	105.0	0.
36.50	383.5	708.5	--	.28	106.3	0.
37.00	388.3	718.3	--	.28	107.6	0.
37.50	393.0	728.0	--	.28	108.9	0.
38.00	397.8	737.8	--	.28	110.2	0.
38.50	402.5	747.5	--	.28	111.6	0.
39.00	407.3	757.3	--	.28	112.9	0.
39.50	412.0	767.0	--	.28	114.2	0.
40.00	416.8	776.8	--	.28	115.5	0.
40.50	421.5	786.5	--	.28	116.8	0.
41.00	426.3	796.3	--	.28	118.1	0.
41.50	431.0	806.0	--	.28	119.5	0.
42.00	435.8	815.8	--	.28	120.8	0.
42.50	440.5	825.5	--	.28	122.1	0.
43.00	445.3	835.3	--	.28	123.4	0.
43.50	450.0	845.0	--	.28	124.7	0.
44.00	454.8	854.8	--	.18	82.3	0.
44.50	460.0	865.0	110.0	.08	38.5	0.
45.00	465.3	875.3	110.0	.08	38.5	0.
45.50	470.5	885.5	110.0	.08	38.5	0.
46.00	475.8	895.8	110.0	.08	38.5	0.
46.50	481.0	906.0	110.0	.08	38.5	0.
47.00	486.3	916.3	110.0	.08	38.5	0.
47.50	491.5	926.5	110.0	.08	38.5	0.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	45 di 47

pag. / 11

LINEA FS MESSINA - CATANIA-PALERMO lotto3
Palo D=1200 mm - A1+M1+R3 trazione

STAMPA parametri per valutazione capacita' portante

zz	S'v	Sv	Cu	Tau/S'v	Tau	qb
m	kPa	kPa	kPa	-	kPa	kPa
48.00	496.8	936.8	110.0	.08	38.5	0.
48.50	502.0	947.0	110.0	.08	38.5	0.
49.00	507.3	957.3	110.0	.08	38.5	0.
49.50	512.5	967.5	110.0	.08	38.5	0.
50.00	517.8	977.8	110.0	.07	38.5	0.

zz = Profondita' da piano campagna
S'v = Tensione verticale efficace
Sv = Tensione verticale totale
Cu = Coesione non drenata
Tau = Tensione di adesione laterale limite
qb = Portata di base limite unitaria



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	46 di 47

pag. / 12

LINEA FS MESSINA - CATANIA-PALERMO lotto3
Palo D=1200 mm - A1+M1+R3 trazione

STAMPA capacita' portante e relativi contributi

Lp m	Q11 kN	Qb1 kN	Wp kN	Qu kN	Qd kN
.00	0.	0.	0.	0.	0.
.50	47.	0.	-8.	55.	31.
1.00	96.	0.	-17.	113.	62.
1.50	146.	0.	-25.	171.	94.
2.00	195.	0.	-34.	229.	126.
2.50	239.	0.	-42.	281.	155.
3.00	245.	0.	-51.	296.	166.
3.50	245.	0.	-59.	304.	174.
4.00	245.	0.	-68.	313.	183.
4.50	245.	0.	-76.	321.	191.
5.00	245.	0.	-85.	330.	200.
5.50	245.	0.	-93.	338.	208.
6.00	251.	0.	-102.	353.	220.
6.50	292.	0.	-110.	403.	248.
7.00	340.	0.	-119.	459.	278.
7.50	387.	0.	-127.	515.	309.
8.00	435.	0.	-136.	571.	340.
8.50	482.	0.	-144.	627.	371.
9.00	530.	0.	-153.	683.	401.
9.50	577.	0.	-161.	739.	432.
10.00	625.	0.	-170.	795.	463.
10.50	672.	0.	-178.	851.	494.
11.00	720.	0.	-187.	907.	525.
11.50	773.	0.	-195.	968.	558.
12.00	860.	0.	-204.	1063.	607.
12.50	955.	0.	-212.	1167.	660.
13.00	1052.	0.	-221.	1273.	714.
13.50	1152.	0.	-229.	1381.	770.
14.00	1254.	0.	-238.	1492.	826.
14.50	1359.	0.	-246.	1605.	884.
15.00	1466.	0.	-254.	1721.	943.
15.50	1576.	0.	-263.	1839.	1003.
16.00	1688.	0.	-271.	1960.	1064.
16.50	1799.	0.	-280.	2079.	1124.
17.00	1886.	0.	-288.	2174.	1174.
17.50	1968.	0.	-297.	2265.	1221.
18.00	2051.	0.	-305.	2356.	1268.
18.50	2133.	0.	-314.	2447.	1315.
19.00	2224.	0.	-322.	2546.	1366.
19.50	2367.	0.	-331.	2698.	1442.
20.00	2522.	0.	-339.	2861.	1523.
20.50	2680.	0.	-348.	3028.	1606.
21.00	2840.	0.	-356.	3197.	1690.
21.50	3004.	0.	-365.	3369.	1775.
22.00	3170.	0.	-373.	3544.	1862.
22.50	3340.	0.	-382.	3721.	1950.
23.00	3512.	0.	-390.	3902.	2039.
23.50	3687.	0.	-399.	4086.	2130.
24.00	3865.	0.	-407.	4272.	2222.
24.50	4046.	0.	-416.	4462.	2315.
25.00	4230.	0.	-424.	4654.	2410.
25.50	4417.	0.	-433.	4849.	2506.
26.00	4606.	0.	-441.	5047.	2604.
26.50	4799.	0.	-450.	5248.	2702.
27.00	4994.	0.	-458.	5452.	2803.
27.50	5178.	0.	-467.	5644.	2897.
28.00	5275.	0.	-475.	5750.	2952.
28.50	5358.	0.	-483.	5841.	2999.
29.00	5440.	0.	-492.	5932.	3046.
29.50	5535.	0.	-500.	6035.	3099.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NODO DI CATANIA

INTERRAMENTO LINEA PER IL PROLUNGAMENTO DELLA PISTA DELL' AEROPORTO DI FONTANAROSSA E PER LA MESSA A STI DEL TRATTO DI LINEA INTERESSATO.

MACROFASE FUNZIONALE 2
LOTTO 03

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3H	03	D 78	CL GA0300 002	A	47 di 47

30.00	5704.	0.	-509.	6213.	3187.
30.50	5888.	0.	-517.	6406.	3282.
31.00	6075.	0.	-526.	6601.	3378.
31.50	6264.	0.	-534.	6799.	3475.
32.00	6456.	0.	-543.	6999.	3574.
32.50	6650.	0.	-551.	7201.	3673.
33.00	6847.	0.	-560.	7407.	3774.
33.50	7046.	0.	-568.	7614.	3876.
34.00	7247.	0.	-577.	7824.	3979.
34.50	7452.	0.	-585.	8037.	4084.
35.00	7658.	0.	-594.	8252.	4189.
35.50	7867.	0.	-602.	8469.	4296.
36.00	8079.	0.	-611.	8689.	4403.
36.50	8293.	0.	-619.	8912.	4512.
37.00	8509.	0.	-628.	9137.	4623.
37.50	8728.	0.	-636.	9364.	4734.
38.00	8949.	0.	-645.	9594.	4846.
38.50	9173.	0.	-653.	9827.	4960.
39.00	9400.	0.	-662.	10061.	5075.
39.50	9629.	0.	-670.	10299.	5191.
40.00	9860.	0.	-679.	10539.	5308.
40.50	10094.	0.	-687.	10781.	5426.
41.00	10310.	0.	-696.	11005.	5536.
41.50	10403.	0.	-704.	11107.	5588.
42.00	10475.	0.	-713.	11188.	5631.
42.50	10548.	0.	-721.	11269.	5673.
43.00	10621.	0.	-729.	11350.	5716.
43.50	10693.	0.	-738.	11431.	5758.
44.00	10766.	0.	-746.	11512.	5801.
44.50	10838.	0.	-755.	11593.	5843.
45.00	10911.	0.	-763.	11674.	5886.
45.50	10983.	0.	-772.	11755.	5928.
46.00	11056.	0.	-780.	11836.	5971.
46.50	11129.	0.	-789.	11917.	6014.
47.00	11201.	0.	-797.	11998.	6056.

Lp = Lunghezza utile del palo
 Ql1 = Portata laterale limite
 Qb1 = Portata di base limite
 Wp = Peso efficace del palo
 Qu = Portata totale limite
 Qd = Portata di progetto = $Ql1/FS,l + Qb1/FS,b - Wp$