

TANGENZIALE EST ESTERNA DI MILANO

CODICE C.U.P. I21B05000290007
CODICE C.I.G. 017107578C

PROGETTO ESECUTIVO

LOTTO C

INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESISTICO - AMBIENTALE, RIPRISTINO E COMPENSAZIONI

PROGETTO SPECIALE AMBIENTALE N. 5 "LAMBRO-MELEGNANO" PASSERELLA CICLOPEDONALE "FIUME LAMBRO" RELAZIONE DI CALCOLO PALI DI FONDAZIONE

IL PROGETTISTA



SINA S.p.A.

Dott. Ing. Mario Moretti
Ordine Ingegneri di Milano
n. A25141



CONSORZIO COSTRUTTORI TEEM
IL DIRETTORE TECNICO

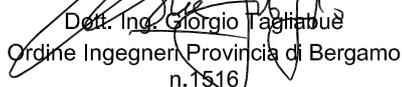


Dott. Ing. Rocco Magri

RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE



Dott. Ing. Pietro Mazzoli
Ordine Ingegneri di Parma
n. 821



Dott. Ing. Giorgio Tagliabue
Ordine Ingegneri Provincia di Bergamo
n. 1516

IL CONCEDENTE



IL CONCESSIONARIO



IL DIRETTORE DEI LAVORI

EM./REV.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORAZIONE PROGETTUALE	CONTR.	APPROV.
A	29/04/2014	EMISSIONE	A. Contardi	A. Contardi	M. Moretti

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

NUM. PROGR.	FASE	LOTTO	ZONA	OPERA	TRATTO OPERA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVA	REV.
C4134	E	C	EC4	MAJ05	0	IA	RC	007	A

DATA: 29/04/2014

SCALA: 1:100

INDICE

1.	INTRODUZIONE	3
2.	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	4
3.	VERIFICA DEI MICROPALI DELLE SPALLE.....	5
3.1.	Calcolo delle sollecitazioni massime	5
3.2.	Calcolo della resistenza della sezione del micropalo	7
3.3.	Verifiche dei micropali	9
4.	VERIFICA DEI MICROPALI DELLE PILE.....	15
4.1.	Calcolo delle sollecitazioni massime	15
4.2.	Calcolo della resistenza della sezione del micropalo	18
4.3.	Verifiche dei micropali	20

1. INTRODUZIONE

La presente relazione illustra tutte le verifiche strutturali e geotecniche relative alle fondazioni su pali della passerella ciclopedonale sul fiume Lambro.

Le pile e le spalle di tale opera sono infatti fondate su un totale di 78 micropali in cemento armato, 18 per pila e 21 per spalla.

Ogni micropalo delle pile è costituito da un tubo di armatura in acciaio di diametro esterno pari a 88.9 mm e spessore di 9.52 mm, immerso in un palo di calcestruzzo di 22 cm di diametro esterno. La parte di micropalo immersa nel terreno è lunga 11 m.

I tubi di acciaio dei micropali delle spalle sono invece di diametro esterno pari a 139.7 mm e spessore di 9.17 mm. La lunghezza è sempre pari a 11 m e il diametro esterno del palo in calcestruzzo è sempre di 22 cm.

Per una descrizione precisa del posizionamento dei micropali dell'opera si rimanda all'apposito elaborato grafico di progetto.

2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

I calcoli sviluppati nei capitoli seguenti sono stati svolti nel rispetto della normativa vigente; in particolare sono state osservate le prescrizioni contenute nella seguente norma:

- D.M. 14.01.08: Norme tecniche per le costruzioni.
- Circolare Ministero Infrastrutture 02.02.09 n. 617: Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni

Per quanto non specificato nella suddetta norma sono state seguite le indicazioni riportate nei seguenti documenti:

- D.M. 14.09.05: Norme tecniche per le costruzioni.
- UNI EN 1990:2006: Eurocodice - Criteri generali di progettazione strutturale.
- UNI EN 1991-1-1:2004: Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-1: Azioni in generale - Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi per gli edifici.
- UNI EN 1991-2:2005: Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 2: Carichi da traffico sui ponti.
- UNI EN 1992-1-1:2005: Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 1992-2:2006: Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 2: Ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi.
- UNI EN 1993-1-1:2005: Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI ENV 1993-1-4:1999: Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-4: Regole generali - Criteri supplementari per acciai inossidabili.
- UNI ENV 1993-1-5:2001: Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-5: Regole generali - Regole supplementari per lastre ortotrope in assenza di carichi trasversali.
- UNI EN 1993-1-8:2005: Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti.
- UNI EN 1993-1-9:2005: Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-9: Fatica.
- UNI ENV 1993-2:2002: Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 2: Ponti di acciaio.
- UNI ENV 1993-5:2002: Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 5: Pali e palancole.
- UNI EN 1994-1-1:2005: Eurocodice 4 - Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 1994-2:2006: Eurocodice 4 - Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo - Parte 2: Regole generali e regole per i ponti.
- UNI EN 1997-1:2005: Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali.
- UNI EN 1998-1:2005: Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici.
- UNI EN 1998-2:2006: Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 2: Ponti.
- UNI EN 1998-5:2005: Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- UNI EN 206-1:2001: Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità
- UNI 11104:2004: Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1

3. VERIFICA DEI MICROPALI DELLE SPALLE

3.1. Calcolo delle sollecitazioni massime

Risultanti carichi esterni

Combinazioni di carico

		F_x	F_y	F_z	M_{xx}	M_{yy}	M_{zz}
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
STR (A1)	1	237.35	16.88	-789.54	-28.13	1111.03	0.00
	2	287.90	22.53	-1165.67	-31.21	1406.47	0.00
	3	287.90	22.53	-1128.54	-31.21	1389.77	0.00
	4	237.35	0.00	-826.67	0.00	1127.74	0.00
GEO (A2)	5	214.75	14.63	-789.54	-43.53	1093.63	0.00
	6	265.01	21.79	-1111.81	-32.66	1355.46	0.00
	7	265.01	21.79	-1083.34	-32.66	1342.65	0.00
	8	214.75	0.00	-818.01	0.00	1106.43	0.00
E (SLV)	9	331.72	20.01	-821.23	-17.53	1705.29	0.00
	10	239.36	70.94	-821.23	-61.69	1565.65	0.00
Rare	11	182.58	11.25	-789.54	-18.75	1066.46	0.00
	12	216.28	12.26	-1040.29	-17.62	1263.43	0.00
	13	216.28	12.26	-1015.54	-17.62	1252.29	0.00
	14	182.58	0.00	-814.29	0.00	1077.60	0.00

N.B. l'asse z è verticale ed è diretto verso l'alto.

Geometria della palificata

Numero totale di pali	n	21
Numero totale di pali da considerare per la resistenza orizzontale del terreno	dir. x	7
	dir. y	3

A favore di sicurezza si considera che i carichi orizzontali siano sopportati da una sola fila di pali, trascurando completamente il contributo di tutti gli altri pali.

Posizione dei pali

		x	y	x^2	y^2
		[m]	[m]	[m ²]	[m ²]
1		-0.80	2.4	0.64	5.76
2		0.00	2.4	0.00	5.76
3		0.80	2.4	0.64	5.76
4		-0.80	1.6	0.64	2.56
5		0.00	1.6	0.00	2.56
6		0.80	1.6	0.64	2.56
7		-0.80	0.8	0.64	0.64
8		0.00	0.8	0.00	0.64
9		0.80	0.8	0.64	0.64
10		-0.80	0	0.64	0.00
11		0.00	0	0.00	0.00

12	0.80	0	0.64	0.00
13	-0.80	-0.8	0.64	0.64
14	0.00	-0.8	0.00	0.64
15	0.80	-0.8	0.64	0.64
16	-0.80	-1.6	0.64	2.56
17	0.00	-1.6	0.00	2.56
18	0.80	-1.6	0.64	2.56
19	-0.80	-2.4	0.64	5.76
20	0.00	-2.4	0.00	5.76
21	0.80	-2.4	0.64	5.76

Posizione del baricentro x_g 0.00 m

y_g 0.00 m

Momenti d'inerzia I_{xx} 53.76 m²

I_{yy} 8.96 m²

Posizioni dei pali più esterni rispetto al baricentro

		1	3	19	21
x	[m]	-0.80	0.80	-0.80	0.80
y	[m]	2.40	2.40	-2.40	-2.40

Forze applicate al singolo palo

Azioni in testa ai pali più esterni

(nell'ipotesi di fondazione molto più rigida rispetto ai pali)

		N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	T
		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
STR (A1)	1	60	-138	63	-136	34
	2	69	-182	71	-180	42
	3	69	-179	72	-176	42
	4	61	-140	61	-140	34
GEO (A2)	5	58	-137	62	-133	31
	6	67	-175	70	-173	39
	7	67	-173	70	-170	39
	8	60	-138	60	-138	31
E (SLV)	9	112	-192	114	-191	48
	10	98	-182	103	-176	42
Rare	11	57	-134	58	-132	26
	12	62	-163	64	-162	31
	13	63	-161	64	-159	31
	14	57	-135	57	-135	26

Valori massimi dell'azione assiale	A1	massima compressione	182 kN
		minima compressione	-72 kN
	A2	massima compressione	192 kN
		minima compressione	-114 kN
Valore massimo del taglio	A1		47.9 kN
	A2		41.6 kN

3.2. Calcolo della resistenza della sezione del micropalo

Materiali e requisiti

Calcestruzzo

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	30.0 N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	24.9 N/mm ²
Resistenza ultima di calcolo	f_{cd}	14.1 N/mm ²
Resistenza a trazione media	f_{ctm}	2.6 N/mm ²
Modulo elastico	E_c	31447 N/mm ²

Acciaio da carpenteria

Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	275 N/mm ²
Resistenza ultima di calcolo	f_{yd}	262 N/mm ²
Modulo elastico	E_s	210000 N/mm ²

Rapporto tra i moduli elastici in esercizio

n	15
-----	----

Geometria della sezione

Diametro del tubo di acciaio	d	13.97 cm
Spessore del tubo	t	9 mm
Area del tubo	A	37.6 cm ²
	W	115.2 cm ³
	ε	0.92
Classe del tubolare		1

(Eurocodice 3 1993-1-1 cap. 5.5.)

Massimo diametro computabile per il calcestruzzo

22.4 cm

(Eurocodice 4 1994-1-1 cap. 6.7.3.1.)

Diametro nominale di perforazione del palo

d_{nom}	22 cm
-----------	-------

Diametro effettivo nei calcoli

20 cm

(Eurocodice 2 1992-1-1 cap. 2.3.4.2.)

Verifiche agli stati limite ultimi:

Verifica a rottura per pressoflessione:

n. comb.	Sollecitazioni		Resistenza della sezione		
	N_s [kN]	M_s [kNm]	$M_{r,el}$ [kNm]	$M_{r,pl}$ [kNm]	M_s/M_r
	-192.0	-	21.3	48.9	0.000
	-132.0	-	22.2	48.8	0.000

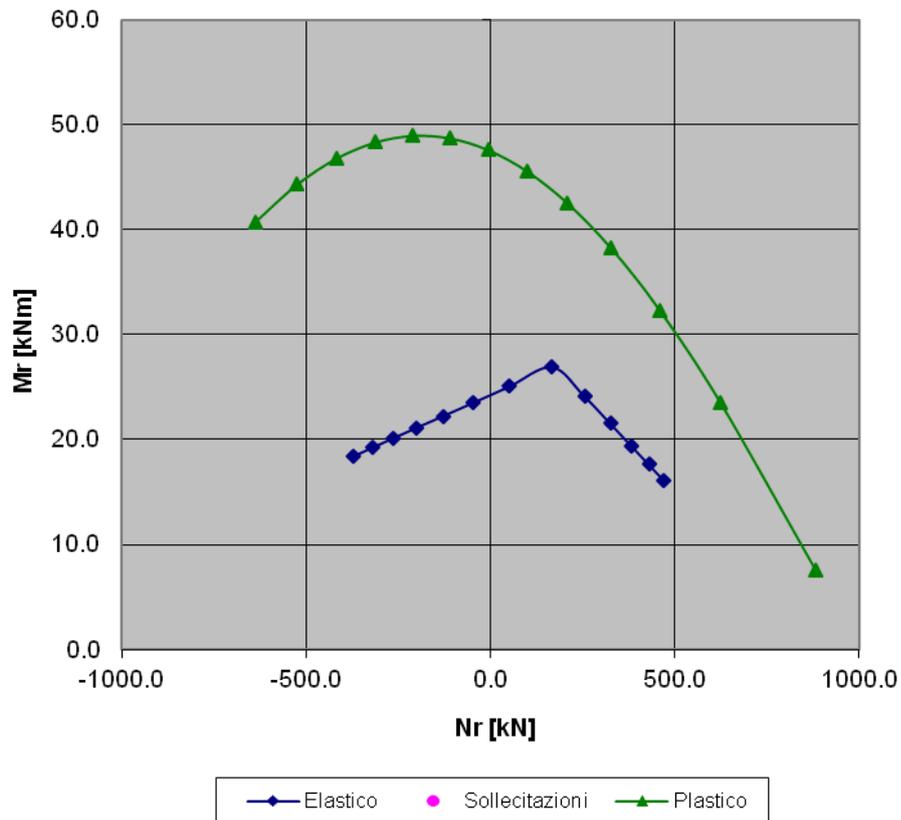
La verifica viene effettuata utilizzando il metodo elastico e il metodo plastico

(Eurocodice 4 1994-1-1 cap. 6.2.1.)

x/d	Metodo elastico		Metodo plastico	
	N_r [kNm]	M_r [kNm]	N_r [kNm]	M_r [kNm]
0.20	470.9	16.1	881.3	7.5
0.25	430.7	17.6	621.9	23.6

0.30	382.7	19.4	458.3	32.3
0.35	325.0	21.6	326.8	38.2
0.40	255.1	24.2	209.2	42.5
0.45	167.5	26.9	99.3	45.6
0.50	51.6	25.1	-6.2	47.6
0.55	-45.5	23.5	-109.3	48.7
0.60	-128.4	22.2	-211.3	49.0
0.65	-200.5	21.1	-313.7	48.3
0.70	-263.8	20.1	-417.6	46.8
0.75	-320.1	19.2	-524.8	44.3
0.80	-370.5	18.4	-637.7	40.7

Diagramma di rottura



3.3. Verifiche dei micropali

Caratteristiche dei pali

I pali utilizzati sono pali trivellati di piccolo diametro (micropali)

Diametro di perforazione del palo	D	22 cm
Lunghezza del palo	L	11 m
Intervallo di profondità in cui si trova il palo		1 m
	H_{max}	12 m
Lunghezza del tratto iniziale in cui si considera ancora non agente l'attrito		2 m
Profondità da cui si considera che cominci ad agire l'attrito	H_{min}	3 m

Caratteristiche del terreno

Strati di terreno:

Strato	Tipo	h_1 [m]	h_2 [m]	ϕ'_k [gradi]	c'_k [kN/m ²]	c_{uk} [kN/m ²]
1	Limo	0	5	28	5	0
2	Limo	5	10	28	5	0
3	Sabbia fine	10	25	32	0	0

Strato	γ_d [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	K_{pk}	ϕ'_d [gradi]	K_{pd}
1	19	19	2.77	23.0	2.29
2	20	20	2.77	23.0	2.29
3	20	20	3.25	26.6	2.62

Profondità della falda 7 m

Prove effettuate nel terreno:

	N_{SPT}	n. prova			
		1	2	3	4
Strato	1	5			
	2	10			
	3	15			

Numero di prove in sito effettuate 1

Coefficienti di riduzione ξ_3 1.7

ξ_4 1.7

(DM 14/01/08, cap. 6.4.3.1.1.)

Verifica della portanza del palo (carichi verticali)

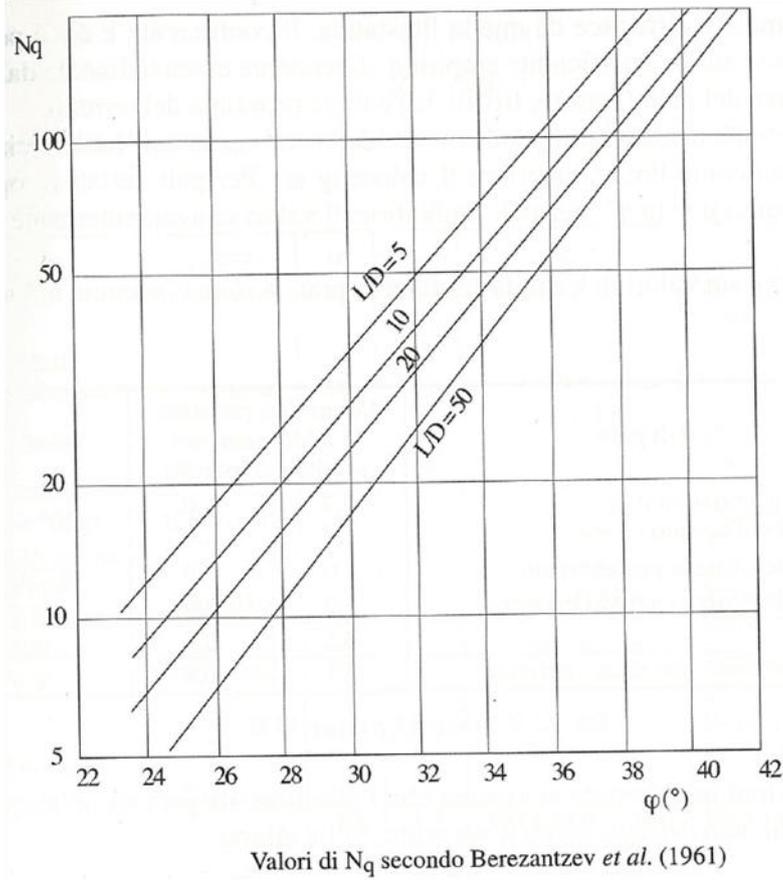
Pressioni verticali nel terreno

Strato	h_1 [m]	h_2 [m]	σ_v		σ'_v	
			[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
1	0	5	0	95	0	95

2	5	10	95	195	95	165
3	10	25	195	495	165	315

Pressione efficace alla quota della punta del palo σ'_{vL} 185.0 kN/m²
 Spinta dell'acqua σ_{wL} 50.0 kN/m²

Resistenza alla punta
(Berezantzev *et al.*)



		L/D		50.0	
		M1	M2		
angolo di attrito	ϕ_d	32.0	26.6	gradi	
	N_q	24.6	7.9		
coesione drenata	c'_d	0	0	kN/m ²	
coesione non drenata	c_{ud}	0	0	kN/m ²	
	N_c	38	14		
resistenza unitaria	p	4601	1507	kN/m ²	
area della punta				0.04	m ²
resistenza totale		175	57	kN	

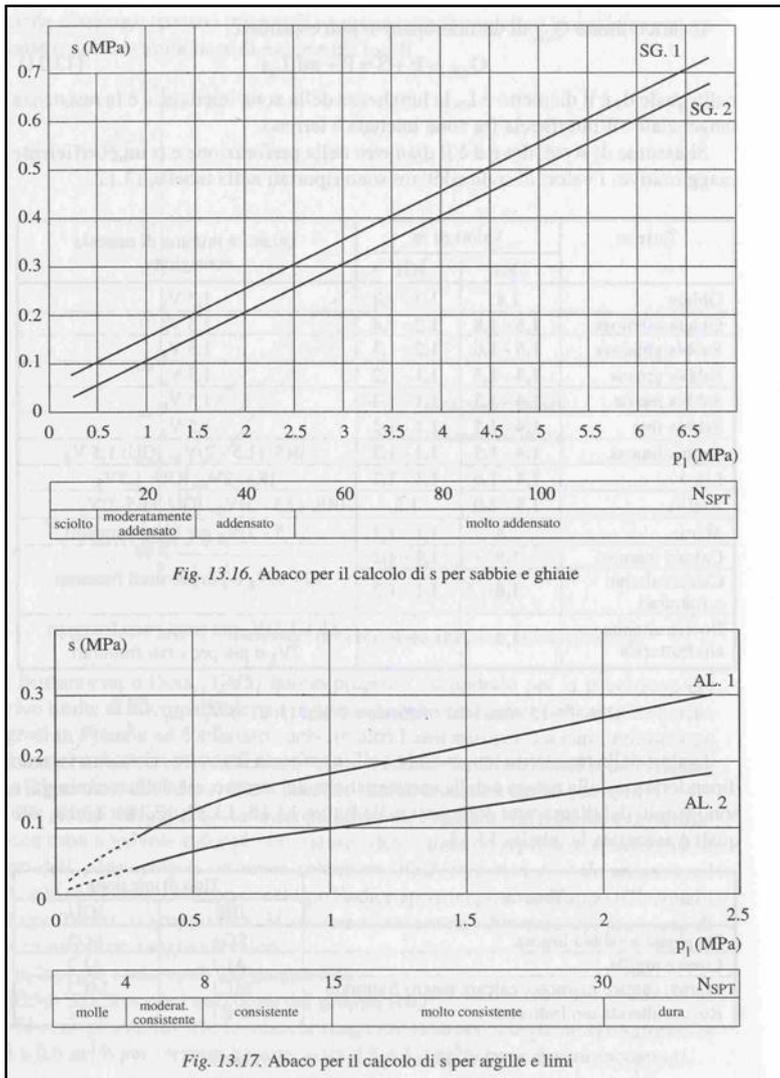
Resistenza laterale

metodo di Bustamante e Doix (empirico)

Valori ricavati dagli abachi (Fondazioni, C. Viggiani):

Strato	Δh	α	τ			
			1	2	3	4
	[m]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	2.0	1.1	0.04	0	0	0
2	5.0	1.1	0.08	0	0	0
3	2.0	1.1	0.08	0	0	0

Tali valori sono validi per pali di tipo IGU (getto dell'intero palo in un'unica soluzione, bassa pressione di iniezione)



Portanza laterale per ogni prova effettuata:

Strato	Q_s				$Q_{s,min}$	$Q_{s,med}$
	1	2	3	4		
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
1	67				67	67
2	304				304	304
3	114				114	114
Totale	485				485	485

Carico laterale limite caratteristico

R_{sk}

285 kN

Peso proprio del palo

Area di calcestruzzo

0.04 m²

Peso specifico calcestruzzo

24 kN/m³

Area di acciaio

0.004 m²

Peso specifico acciaio

78.5 kN/m³

Peso al metro

1.23 kN/m

Peso totale

13.5 kN

Verifica globale

Coefficienti di sicurezza pali trivellati

(DM 14/01/08 cap. 6.4.3.1.1.)

	R1	R2
Base	1.00	1.70
Attrito laterale (compressione)	1.00	1.45
Attrito laterale (trazione)	1.00	1.60

Verifica A1 "+" M1 "+" R1

compressione

trazione

Verifica A2 "+" M2 "+" R2

compressione

trazione

E_d	R_d
195.5	460.0
58.5	285.1
205.5	230.3
100.5	178.2

Verifica della portanza del palo (carichi orizzontali)

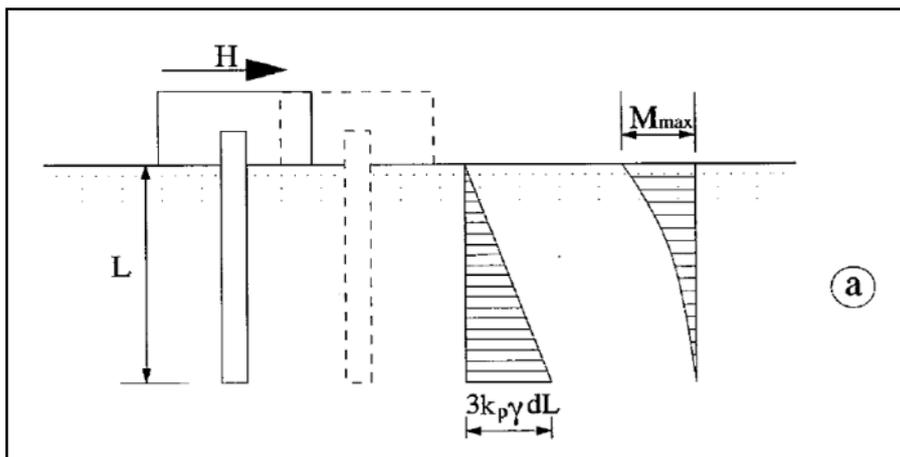
metodo di Broms: interfaccia palo-terreno di tipo rigido-perfettamente plastico

M_y

48 kNm

L

11 m



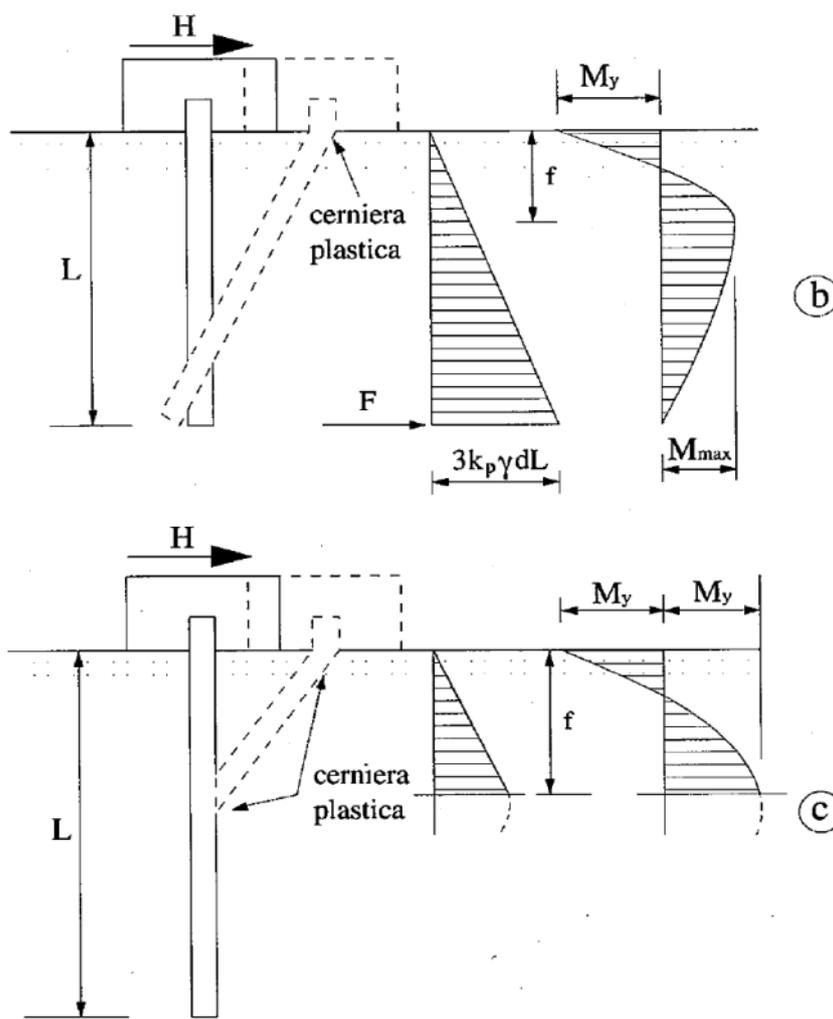


Fig. 13.33. Pali impediti di ruotare in testa, terreni incoerenti:
a) palo "corto"; b) palo "intermedio"; c) palo "lungo"

terreni incoerenti

K_{pk}	2.86
K_{pd}	2.35
γ	20 kN/m ³

palo corto

H

M1	M2	
2241	1840	kN

M_{max}

16433	13493	kNm
-------	-------	-----

palo intermedio

H

751	618	kN
-----	-----	----

f

6.37	6.37	m
------	------	---

M_{max}

3142	2576	kNm
------	------	-----

palo lungo

f

1.98	2.12	m
------	------	---

H

73	68	kN
----	----	----

Meccanismo adottato:

R

palo lungo	palo lungo	
73	68	kN

Coefficienti di sicurezza
(DM 14/01/08 cap. 6.4.3.1.2.)

R1	R2
1.00	1.60

Verifica A1 "+" M1 "+" R1
Verifica A2 "+" M2 "+" R2

E _d	R _d
47.9	72.7
41.6	42.5

4. VERIFICA DEI MICROPALI DELLE PILE

4.1. Calcolo delle sollecitazioni massime

Risultanti carichi esterni

Combinazioni di carico

		F_x	F_y	F_z	M_{xx}	M_{yy}	M_{zz}
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
STR (A1)	1	-17.8	0.0	-2786.1	0.0	-142.5	0.0
	2	-13.2	0.0	-4177.8	-317.8	-104.3	0.0
	3	-19.1	0.0	-3129.2	639.6	-153.0	0.0
	4	-17.2	55.3	-3014.7	569.5	-137.9	0.0
	5	-17.2	55.3	-3014.7	569.5	-137.9	0.0
	6	-12.9	33.2	-4314.9	23.9	-101.5	0.0
	7	-18.7	33.2	-3266.3	981.3	-150.2	0.0
	8	-15.4	55.3	-3571.3	442.4	-122.6	0.0
	9	-17.7	55.3	-3151.9	825.4	-142.1	0.0
GEO (A2)	10	-12.8	0.0	-2352.9	0.0	-102.4	0.0
	11	-8.9	0.0	-3538.4	-270.8	-69.8	0.0
	12	-13.9	0.0	-2645.2	544.8	-111.3	0.0
	13	-12.3	48.0	-2551.0	493.6	-98.3	0.0
	14	-12.3	48.0	-2551.0	493.6	-98.3	0.0
	15	-8.6	28.8	-3657.3	25.4	-67.4	0.0
	16	-13.6	28.8	-2764.0	841.0	-108.9	0.0
	17	-10.7	48.0	-3025.2	385.3	-85.3	0.0
	18	-12.7	47.9	-2667.9	711.5	-101.9	0.0
E (SLV)	19	71.8	8.4	-2087.6	-77.6	184.5	0.0
	20	-63.8	-8.4	-2069.5	77.6	-442.4	0.0
	21	24.4	28.1	-2082.5	-258.9	-35.0	0.0
	22	-16.3	-28.1	-2074.6	258.9	-222.9	0.0
	23	24.4	8.4	-2088.9	-77.6	-35.0	0.0
	24	-16.3	-8.4	-2068.2	77.6	-222.9	0.0
Rare	25	-10.0	0.0	-3116.8	-235.4	-79.1	0.0
	26	-14.3	0.0	-2340.0	473.8	-115.2	0.0
	27	-13.0	36.9	-2238.3	379.7	-104.4	0.0
	28	-13.0	36.9	-2238.3	379.7	-104.4	0.0
	29	-9.8	22.1	-3208.2	-7.6	-77.3	0.0
	30	-14.1	22.1	-2431.4	701.6	-113.4	0.0
	31	-11.7	36.9	-2650.6	285.5	-93.0	0.0
	32	-13.4	36.9	-2339.9	569.2	-107.5	0.0

N.B. l'asse z è verticale ed è diretto verso l'alto.

Geometria della palificata

Numero totale di pali n 18
 Numero totale di pali da considerare per la dir. x n 6

resistenza orizzontale del terreno

dir. y

3

Posizione dei pali

	x	y	x ²	y ²
	[m]	[m]	[m ²]	[m ²]
1	-0.80	2.625	0.64	6.89
2	0.00	2.625	0.00	6.89
3	0.80	2.625	0.64	6.89
4	-0.80	1.575	0.64	2.48
5	0.00	1.575	0.00	2.48
6	0.80	1.575	0.64	2.48
7	-0.80	0.525	0.64	0.28
8	0.00	0.525	0.00	0.28
9	0.80	0.525	0.64	0.28
10	-0.80	-0.525	0.64	0.28
11	0.00	-0.525	0.00	0.28
12	0.80	-0.525	0.64	0.28
13	-0.80	-1.575	0.64	2.48
14	0.00	-1.575	0.00	2.48
15	0.80	-1.575	0.64	2.48
16	-0.80	-2.625	0.64	6.89
17	0.00	-2.625	0.00	6.89
18	0.80	-2.625	0.64	6.89

Posizione del baricentro

x_g 0.00 m

y_g 0.00 m

Momenti d'inerzia

I_{xx} 57.88 m²

I_{yy} 7.68 m²

Posizioni dei pali più esterni rispetto al baricentro

		1	3	16	18
x	[m]	-0.80	0.80	-0.80	0.80
y	[m]	2.63	2.63	-2.63	-2.63

Forze applicate al singolo palo

Azioni in testa ai pali più esterni

(nell'ipotesi di fondazione molto più rigida rispetto ai pali)

		N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	T
		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
STR (A1)	1	-170	-140	-170	-140	3
	2	-257	-236	-229	-207	2
	3	-161	-129	-219	-187	3
	4	-156	-127	-208	-179	19
	5	-156	-127	-208	-179	19
	6	-249	-228	-251	-230	11
	7	-153	-121	-242	-210	11
	8	-191	-166	-231	-206	19
	9	-152	-123	-227	-198	19
GEO (A2)	10	-141	-120	-141	-120	2
	11	-216	-202	-192	-177	1
	12	-134	-111	-183	-160	2
	13	-130	-109	-174	-154	16

	14	-130	-109	-174	-154	16
	15	-209	-195	-211	-197	10
	16	-127	-104	-203	-180	10
	17	-159	-142	-194	-177	16
	18	-127	-105	-191	-170	16
E (SLV)	19	-100	-139	-93	-132	12
	20	-158	-65	-165	-72	11
	21	-131	-124	-108	-100	10
	22	-127	-80	-150	-104	10
	23	-123	-116	-116	-109	5
	24	-135	-88	-142	-95	4
Rare	25	-192	-176	-171	-154	2
	26	-121	-97	-163	-139	2
	27	-118	-96	-152	-131	12
	28	-118	-96	-152	-131	12
	29	-187	-171	-186	-170	8
	30	-115	-91	-179	-155	8
	31	-144	-125	-170	-151	12
	32	-115	-93	-167	-145	12

Valori massimi dell'azione assiale	A1	massima	
		compressione	257 kN
	A2	minima	
		compressione	121 kN
Valore massimo del taglio	A1	massima	
		compressione	216 kN
	A2	minima	
		compressione	65 kN
	A1		18.7 kN
	A2		16.1 kN

4.2. Calcolo della resistenza della sezione del micropalo

Materiali e requisiti

Calcestruzzo

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	30.0 N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	24.9 N/mm ²
Resistenza ultima di calcolo	f_{cd}	14.1 N/mm ²
Resistenza a trazione media	f_{ctm}	2.6 N/mm ²
Modulo elastico	E_c	31447 N/mm ²

Acciaio da carpenteria

Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	275 N/mm ²
Resistenza ultima di calcolo	f_{yd}	262 N/mm ²
Modulo elastico	E_s	210000 N/mm ²

Rapporto tra i moduli elastici in esercizio

n	15
-----	----

Geometria della sezione

Diametro del tubo di acciaio	d	13.97 cm
Spessore del tubo	t	6.2 mm
Area del tubo	A	26.0 cm ²
	W	83.1 cm ³
	ε	0.92
Classe del tubolare		1

(Eurocodice 3 1993-1-1 cap. 5.5.)

Massimo diametro computabile per il calcestruzzo

22.4 cm

(Eurocodice 4 1994-1-1 cap. 6.7.3.1.)

Diametro nominale di perforazione del palo

d_{nom} 22 cm

Diametro effettivo nei calcoli

20 cm

(Eurocodice 2 1992-1-1 cap. 2.3.4.2.)

Verifiche agli stati limite ultimi:

Verifica a rottura per pressoflessione:

n. comb.	Sollecitazioni		Resistenza della sezione		
	N_s [kN]	M_s [kNm]	$M_{r,el}$ [kNm]	$M_{r,pl}$ [kNm]	M_s/M_r
	0.0		19.3	34.9	0.000
	0.0		19.3	34.9	0.000

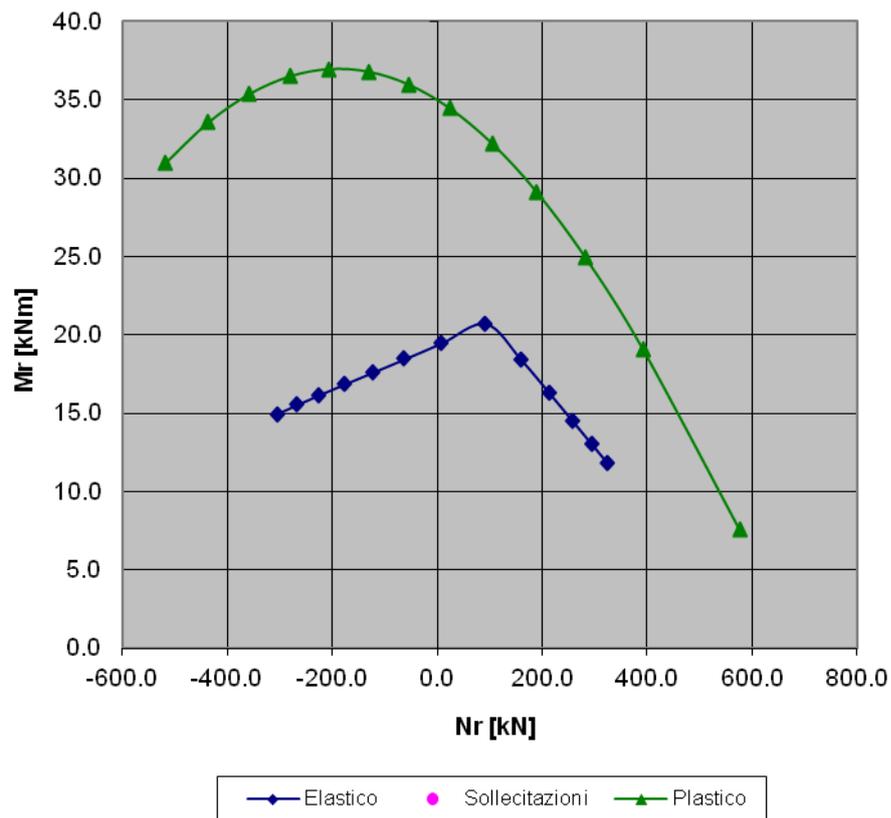
La verifica viene effettuata utilizzando il metodo elastico e il metodo plastico

(Eurocodice 4 1994-1-1 cap. 6.2.1.)

x/d	Metodo elastico		Metodo plastico	
	N_r [kNm]	M_r [kNm]	N_r [kNm]	M_r [kNm]
0.20	323.2	11.8	577.5	7.5

0.25	293.4	13.0	392.9	19.0
0.30	257.3	14.5	282.4	24.9
0.35	213.4	16.3	189.3	29.1
0.40	159.5	18.4	104.4	32.2
0.45	91.8	20.7	24.1	34.4
0.50	8.1	19.5	-53.6	35.9
0.55	-62.8	18.4	-129.8	36.8
0.60	-123.8	17.6	-205.4	36.9
0.65	-177.3	16.8	-281.1	36.5
0.70	-224.8	16.1	-357.9	35.3
0.75	-267.3	15.5	-436.6	33.5
0.80	-305.7	14.9	-518.7	30.9

Diagramma di rottura



4.3. Verifiche dei micropali

Caratteristiche dei pali

I pali utilizzati sono pali trivellati di piccolo diametro (micropali)

Diametro di perforazione del palo	D	22 cm
Lunghezza del palo	L	11 m
Intervallo di profondità in cui si trova il palo		1 m
	H_{max}	12 m
Lunghezza del tratto iniziale in cui si considera ancora non agente l'attrito		2 m
Profondità da cui si considera che cominci ad agire l'attrito	H_{min}	3 m

Caratteristiche del terreno

Strati di terreno:

Strato	Tipo	h_1 [m]	h_2 [m]	ϕ'_k [gradi]	c'_k [kN/m ²]	c_{uk} [kN/m ²]
1	Limo	0	4	28	5	0
2	Limo	4	9	28	5	0
3	Sabbia fine	9	25	32	0	0

Strato	γ_d [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	K_{pk}	ϕ'_d [gradi]	K_{pd}
1	19	19	2.77	23.0	2.29
2	20	20	2.77	23.0	2.29
3	20	20	3.25	26.6	2.62

Profondità della falda 1 m

Prove effettuate nel terreno:

Strato	N _{SPT}	n. prova			
		1	2	3	4
	1	5			
	2	10			
	3	15			

Numero di prove in sito effettuate 1

Coefficienti di riduzione ξ_3 1.7

ξ_4 1.7

(DM 14/01/08, cap. 6.4.3.1.1.)

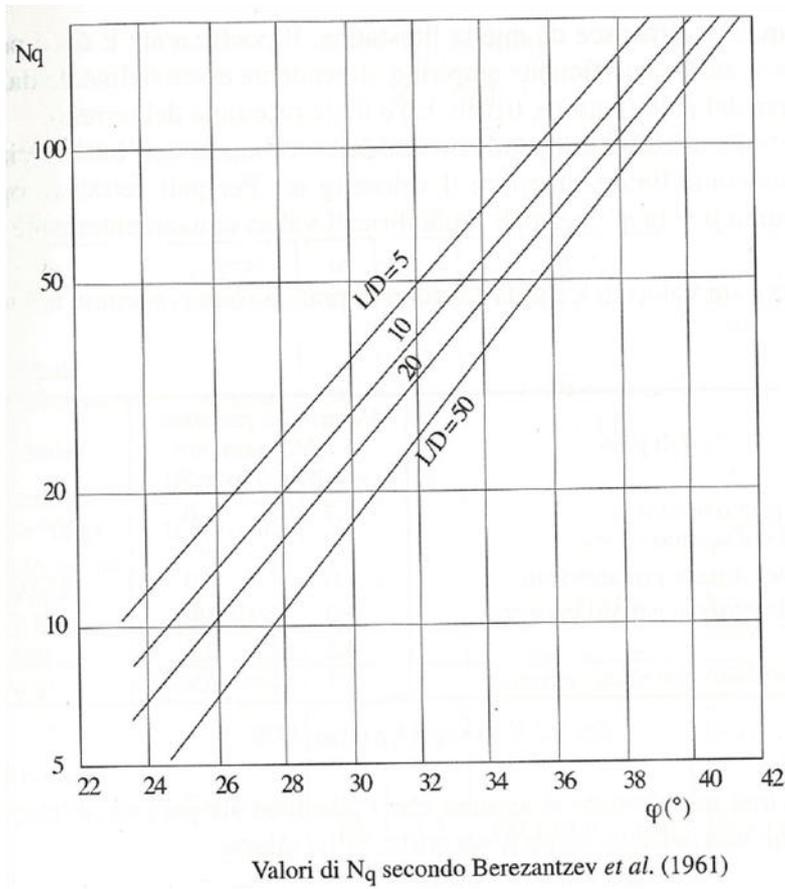
Verifica della portanza del palo (carichi verticali)

Pressioni verticali nel terreno

Strato	h_1 [m]	h_2 [m]	σ_v		σ'_v	
			[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
1	0	4	0	76	0	46
2	4	9	76	176	46	96
3	9	25	176	496	96	256

Pressione efficace alla quota della punta del palo σ'_{vL} 126.0 kN/m²
 Spinta dell'acqua σ_{wL} 110.0 kN/m²

Resistenza alla punta
(Berezantzev et al.)



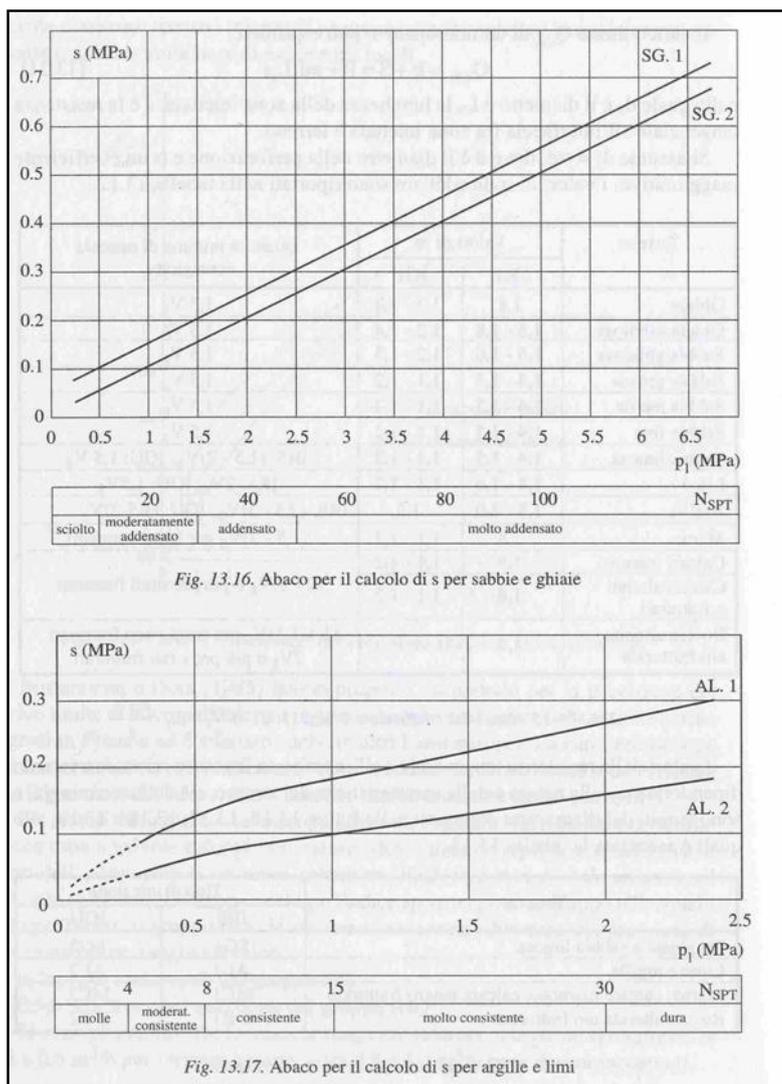
		L/D		
		50.0		
		M1	M2	
angolo di attrito	ϕ_d	32.0	26.6	gradi
	N_q	24.6	7.9	
coesione drenata	c'_d	0	0	kN/m ²
coesione non drenata	c_{ud}	0	0	kN/m ²
	N_c	38	14	
resistenza unitaria	p	3209	1103	kN/m ²
area della punta		0.04		m ²
resistenza totale		122	42	kN

Resistenza laterale

metodo di Bustamante e Doix (empirico)
 Valori ricavati dagli abachi (Fondazioni, C. Viggiani):

Strato	Δh	α	τ			
			1	2	3	4
			[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	1.0	1.1	0.04	0	0	0
2	5.0	1.1	0.08	0	0	0
3	3.0	1.1	0.08	0	0	0

Tali valori sono validi per pali di tipo IGU (getto dell'intero palo in un'unica soluzione, bassa pressione di iniezione)



Portanza laterale per ogni prova effettuata:

Strato	Q _s				Q _{s,min}	Q _{s,med}
	1	2	3	4		
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
1	33				33	33
2	304				304	304
3	171				171	171
Totale	508				508	508

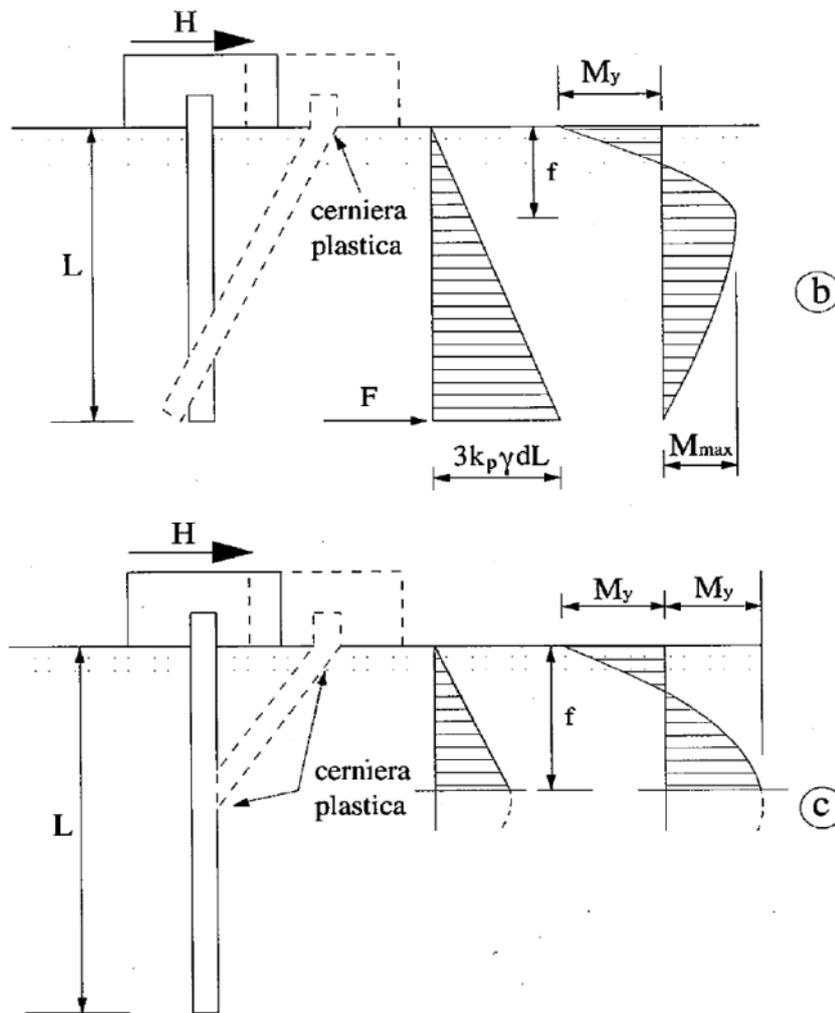


Fig. 13.33. Pali impediti di ruotare in testa, terreni incoerenti:
a) palo "corto"; b) palo "intermedio"; c) palo "lungo"

terreni incoerenti

K_{pk}	2.90
K_{pd}	2.38
γ	20 kN/m ³

palo corto

H

M1	M2	
2286	1872	kN

M_{max}

16764	13729	kNm
-------	-------	-----

palo intermedio

H

765	627	kN
-----	-----	----

f

6.36	6.37	m
------	------	---

M_{max}

3212	2628	kNm
------	------	-----

palo lungo

f

1.75	1.88	m
------	------	---

H

58	54	kN
----	----	----

Meccanismo adottato:

R

palo lungo	palo lungo	
58	54	kN

Coefficienti di sicurezza

(DM 14/01/08 cap. 6.4.3.1.2.)

R1	R2
1.00	1.60

CCT

Doc. N.
C4133

CODIFICA DOCUMENTO
C4133_E_C_AC4_MAJ05_0_IA_RC_007_A

REV.
A

FOGLIO
25 di 25

Verifica A1 "+" M1 "+" R1

Verifica A2 "+" M2 "+" R2

E_d	R_d
18.7	58.1
16.1	34.0