



**Abruzzo Controlli Non Distruttivi s.r.l.**

*Sede legale: Via Carlo D'Andrea snc, località Monticchio*

*67100 L'Aquila*

*P. Iva: 01920420666*

*REA: AQ 131160 – R.I.: n.T155376418/2014*

*mail: danilo.ranalli@libero.it acnd@pec.it*



Cert n. QA/095/17

# RAPPORTO DI PROVA

## PROVE DI CARICO IN VERA GRANDEZZA SU “MINIPALI GEO-SYSTEM<sup>®</sup>”



GEOSYSTEM<sup>®</sup>  
MINIPALOTECHNOLOGY

è un marchio



## PREMESSA

Nel presente rapporto vengono presentati e certificati i risultati ottenuti in un campo prova in vera grandezza interessati dal sistema di fondazioni eseguite con pali di piccolo diametro abbinati al consolidamento del terreno mediante la tecnologia “Geo-System®”.

I risultati si riferiscono a prove di carico su singoli minipali Geo-System® eseguiti nei terreni di fondazione di un’area della frazione Tavernacce del Comune di Perugia (PG).

Le prove di carico sono di tipo assiale e sono state eseguite per:

- definire le curve carico-cedimento alla testa dei pali;
- individuare la portata limite dell’insieme palo-terreno.

## INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. LA TECNOLOGIA MINIPALO GEO-SYSTEM	3
3. IL CAMPO PROVA	
3.1 INQUADRAMENTOTIPOLOGIA E MODALITÀ DI INDAGINE	4
3.2 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE	4
3.3 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	5
3.4 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI	5
3.5 CARATTERISTICHE DELLE STRUTTURE DI FONDAZIONE	5
4. MODELLO DI CALCOLO: VERIFICHE GEOTECNICHE	7
6. SPECIFICHE DELLA PROVA	12
6. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	15
7. RISULTATI	
7.1 PROVA N°1	20
7.2 PROVA N°2	24
7.3 PROVA N°3	28
7.4 PROVA N°4	31
8.CONCLUSIONI	34

## 1. INTRODUZIONE

Il consolidamento delle fondazioni attraverso l'abbinamento di pali in acciaio di piccolo diametro auto perforanti con iniezioni di resine poliuretatiche espandenti nel terreno circostante consente di eliminare le cause dei cedimenti/spostamenti del terreno e il conseguente danneggiamento degli edifici e delle strutture sopra edificati.

Interventi di ridotta invasività ed eseguibili attraverso l'impiego di macchinari di ridotto ingombro sono necessari per adeguare/migliorare le fondazioni di edifici dissestati a causa di cedimenti/spostamenti delle stesse.

Il sistema minipalo Geo-System® della Edilsystem (coperto da brevetto italiano) è una soluzione innovativa che consente di risolvere in parte o in toto tutte quelle problematiche che si presentano quando si deve intervenire su edifici dissestati dalle più variegatae cause.

## 2. LA TECNOLOGIA MINIPALO GEO-SYSTEM

Il sistema di fondazione di tipo profondo eseguito con la tecnologia Geo-System® consiste nel realizzare pali di piccolo diametro per trasferire il carico e le sollecitazioni del sistema fondale superficiale a strati di terreno profondi e contemporaneamente procedere al consolidamento del terreno al di sotto delle fondazioni esistenti mediante l'ausilio di resine espandenti.

L'innovazione offerta dal minipalo Geo-System® consiste nello sfruttare al meglio i vantaggi di ciascuna tecnica eseguendo un intervento che combini resine poliuretatiche espandenti a pali in acciaio di ridotto diametro raggiungendo strati più profondi del terreno, attraverso l'impiego di macchinari di piccolo ingombro in modo da accedere anche a garages e scantinati. Il procedimento consiste nell'inserimento di barre di acciaio cave (anche auto perforanti) ad elevata resistenza attraverso l'impiego di macchinari a roto-percussione.

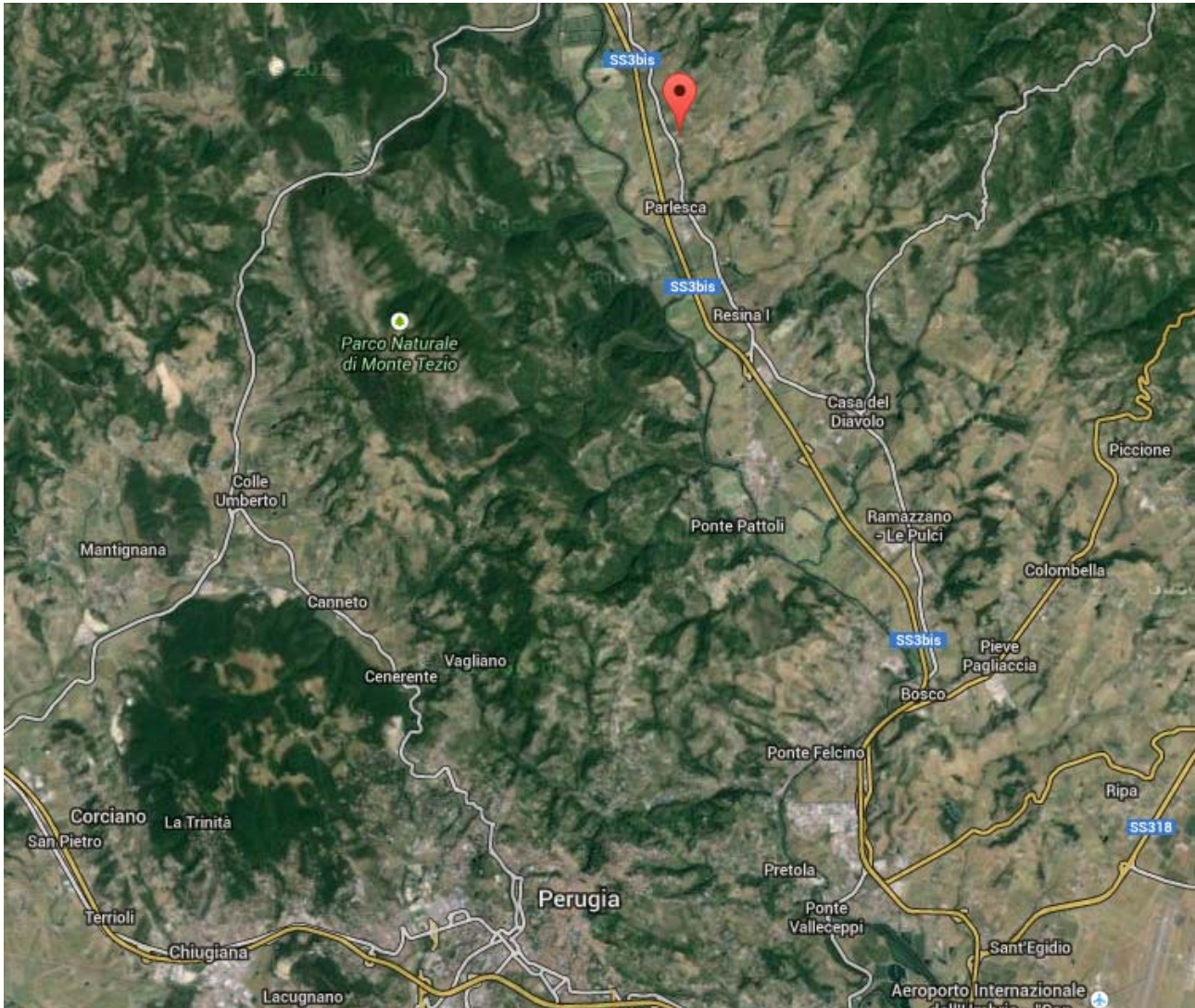
La riduzione della dimensione dei minipali è compensata dall'iniezione nel terreno di resine poliuretatiche bi componenti ad elevata resistenza, iniettate attraverso tubi muniti di apposite valvole all'interno della cavità delle barre in acciaio.

È da sottolineare che, con le stesse modalità sopra descritte, è possibile iniettare nel terreno al posto delle resine, una boiaccia di cemento adeguatamente preparata.

### 3. IL CAMPO PROVA

#### 3.1 INQUADRAMENTO

Il campo prova è stato approntato in un'area suburbana della frazione Tavernacce del Comune di Perugia (PG).



L'area in esame è stata investigata in relazione alla geologia e geomorfologia locale, attraverso rilevamenti di campagna generali e di dettaglio che hanno permesso la definizione delle caratteristiche geologiche, stratigrafiche, geomorfologiche, idrogeologiche dell'area.

In particolare, è stato eseguito un sondaggio penetrometrico dinamico (DPM) per la determinazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni.



### 3.2 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

Il sito oggetto dell'indagine è posto alla quota di circa 230 m s.l.m., sulla piana alluvionale del Fiume Tevere. L'area presenta in affioramento terreni alluvionali terrazzati pleistocenici del Fiume Tevere con buone caratteristiche geotecniche.

Le pendenze del versante sono localmente irrilevanti (0-5%). Nei pressi dell'area indagata non esistono fossi significativi (il Tevere scorre circa 300 m a W, ribassato di circa 10 m rispetto alla quota del sito e quindi senza alcun pericolo di esondazioni); il fosso della Noce presenta portate e dimensioni assai modeste.

### 3.3 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

Per la definizione delle caratteristiche geolitologiche locali si è fatto riferimento ai dati ottenuti durante i sopralluoghi effettuati ed all'effettuazione di n. 1 sondaggi penetrometrici dinamici.

L'area in indagine risulta caratterizzata dalla presenza in affioramento di terreni sciolti aventi granulometria in genere limo-sabbiosa e sabbio-ghiaiosa con buone caratteristiche geotecniche. La zona non è interessata da evenienze disgiuntive. La presenza di ghiaie e limi annulla il rischio di fenomeni di liquefazione in fase sismica.

### 3.4 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

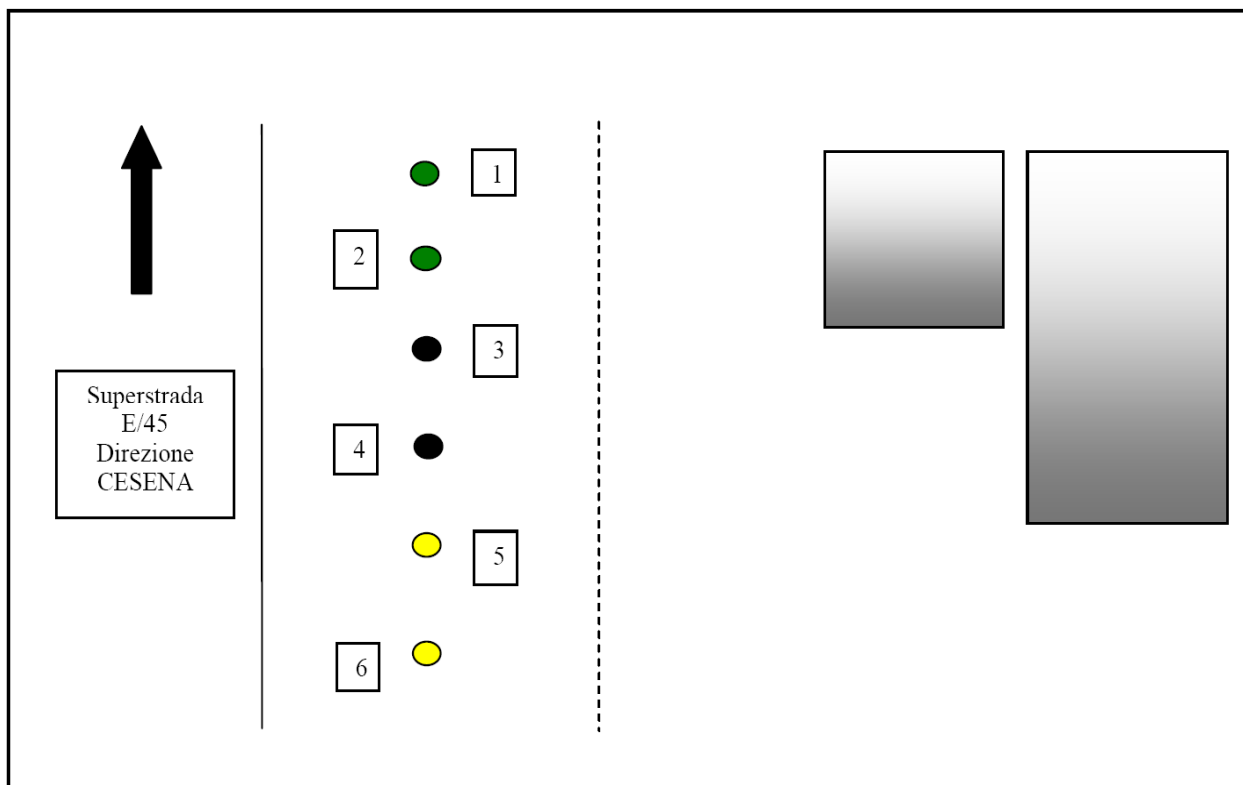
Sulla base del rilevamento geologico e del sondaggio penetrometrico dinamico effettuato, risulta la seguente schematizzazione stratigrafica:

- LIVELLO A (profondità da 0.00 a 1.10 m), limi pedogenizzati;
- LIVELLO B (profondità da 1.10 m a 3.10 m), limi sabbiosi con rari clasti;
- LIVELLO C (profondità da 3.1 m a 5.3 m), sabbie limose e limi con clasti in falda a partire da 3.5 m da p.c.;
- LIVELLO D (profondità da 5.3 m a 6.9 m), sabbie in falda con clasti;
- LIVELLO E (profondità da 6.9 m a 8.0 m), sabbie ghiaiose in falda;

### 3.5 CARATTERISTICHE DELLE STRUTTURE DI FONDAZIONE

Sono state realizzate prove su minipali con barra di armatura tipo 38/16, perforo Ø 76 mm, a profondità di 8,0 ml da piano campagna.

In particolare, sono state realizzate le strutture isolate di seguito elencate e rappresentate nello schema planimetrico.



- Minipalo numero 1, iniettato il 22/11/2012 a completa saturazione con cemento espansivo Draco per complessivi KG 200;
- Minipalo numero 2, iniettato il 22/11/2012 a completa saturazione con cemento espansivo Draco per complessivi KG 800;
- Minipalo numero 3, iniettato il 22/11/2012 a completa saturazione con cemento 32.5 per complessivi KG 120;
- Minipalo numero 4, iniettato il 22/11/2012 a completa saturazione con cemento 32.5 per complessivi KG 150;
- Minipalo numero 5, iniettato il 22/11/2012 a completa saturazione con resina Basf Meyco MP 355 A3 MRO per complessivi KG 45;
- Minipalo numero 6, iniettato il 22/11/2012 a completa saturazione con resina Basf Meyco MP 355 A3 MRO per complessivi KG 171.

#### 4. MODELLO DI CALCOLO: VERIFICHE GEOTECNICHE

### VERIFICHE ALLO SLU GEOTECNICO DEL TERRENO verifica SLU a compressione pali

**Tipo di fondazione:** palo trivellato  
**N° verticali di indagine:** 1

**Successione stratigrafica di progetto**

p.c.	Modello di terreno:	attritivo	Formule adottate per il calcolo:
	Y (kN/mc) :	19,1	$R_k = [(Q_{l,cal} / \gamma_s) + (Q_{p,cal} / \gamma_b)] / \zeta$ con: $Q_{l,cal}$ : resistenza laterale calcolata $Q_{p,cal}$ : resistenza di punta calcolata  Per terreni coesivi: $Q_{l,cal} = A_l \cdot c_a$ $Q_{p,cal} = 9 \cdot A_p \cdot c_u$  Per terreni attritivi: $Q_{l,cal} = A_l \cdot \sigma_v \cdot K \cdot \tan(\delta)$ $Q_{p,cal} = A_p \cdot q_p \cdot \theta \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q$
	$\phi$ (°) :	28	
	c' (kPa) :	0	
	cu (kPa) :	0	
- 3,1 m.	<b>Livello C</b>		
	Modello di terreno:	attritivo	con: $A_l$ : area laterale palo $A_p$ : area punta palo $c_a = (6,25 + 5c_u)^{0,5-2,5}$ (Vesic, 1975) $\sigma_v$ : pressione verticale efficace $K$ : coefficiente di spinta orizzontale $\delta$ = angolo attrito palo/terreno $q_p$ : pressione verticale efficace alla base del palo $\theta$ : fattore riduzione per effetto silos $N_q = \tan^2(45 + \phi/2) \cdot e^{\pi \cdot \tan \phi}$ (Prandtl, 1921) $s_q \cdot d_q$ : coeff. di forma e profondità
	Y (kN/mc) :	19,2	
	$\phi$ (°) :	29	
	c' (kPa) :	0	
	cu (kPa) :	0	
- 5,3 m.	<b>Livello D</b>		
	Modello di terreno:	attritivo	con: $A_l$ : area laterale palo $A_p$ : area punta palo $c_a = (6,25 + 5c_u)^{0,5-2,5}$ (Vesic, 1975) $\sigma_v$ : pressione verticale efficace $K$ : coefficiente di spinta orizzontale $\delta$ = angolo attrito palo/terreno $q_p$ : pressione verticale efficace alla base del palo $\theta$ : fattore riduzione per effetto silos $N_q = \tan^2(45 + \phi/2) \cdot e^{\pi \cdot \tan \phi}$ (Prandtl, 1921) $s_q \cdot d_q$ : coeff. di forma e profondità
	Y (kN/mc) :	19,3	
	$\phi$ (°) :	30	
	c' (kPa) :	0	
	cu (kPa) :	0	
- 6,9 m.	<b>Livello E</b>		
	Modello di terreno:	attritivo	con: $A_l$ : area laterale palo $A_p$ : area punta palo $c_a = (6,25 + 5c_u)^{0,5-2,5}$ (Vesic, 1975) $\sigma_v$ : pressione verticale efficace $K$ : coefficiente di spinta orizzontale $\delta$ = angolo attrito palo/terreno $q_p$ : pressione verticale efficace alla base del palo $\theta$ : fattore riduzione per effetto silos $N_q = \tan^2(45 + \phi/2) \cdot e^{\pi \cdot \tan \phi}$ (Prandtl, 1921) $s_q \cdot d_q$ : coeff. di forma e profondità
	Y (kN/mc) :	19,6	
	$\phi$ (°) :	33	
	c' (kPa) :	0	
	cu (kPa) :	0	

**Profondità falda (m dal p.c.):** 4

**Parametri di calcolo**

**Coefficienti parziali per i parametri del terreno** (tab. 6.2.II D.M. 14.01.08)

Parametro	c. p. M1	Valori di calcolo
$\tan \phi$	$\gamma_{\phi} = 1$	$\tan \phi_k = \tan \phi / \gamma_{\phi}$
c'	$\gamma_{c'} = 1$	$c'_k = c' / \gamma_{c'}$
$c_u$	$\gamma_{c_u} = 1$	$c_{u,k} = c_u / \gamma_{c_u}$
$\gamma$	$\gamma_{\gamma} = 1$	$\gamma = \gamma / \gamma_{\gamma}$

**Coefficienti parziali  $\gamma_r$  da applicare alle resistenze caratteristiche** (tab. 6.4.II D.M. 14.01.08)

Resistenza		Pali infissi			Pali trivellati		
		R1	R2	R3	R1	R2	R3
Base	$\gamma_b$	1,00	1,45	1,15	1,00	1,70	1,30
Laterale	$\gamma_s$	1,00	1,45	1,15	1,00	1,45	1,15

**Fattori  $\zeta$**  (Determinazione resistenza caratteristica in funzione delle verticali indagate, tab. 6.4.IV D.M. 14.01.08)

N° verticali	1	2	3	4	5	7	≥ 10
$\zeta_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\zeta_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

## VERIFICHE ALLO SLU GEOTECNICO DEL TERRENO

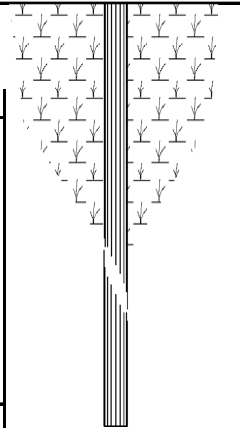
### verifica SLU a compressione pali

#### Parametri di calcolo

##### Calcolo del fattore di riduzione per effetto silo

Lunghezza palo (m)	Diametro palo (m)									
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
1,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
3,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
4,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
5,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
6,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
7,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
8,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
9,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
10,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

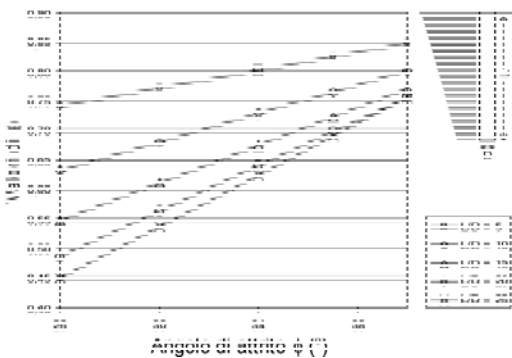
$\theta$  - fattore di riduzione per effetto silos  
**Il parametro NON viene considerato nel calcolo**



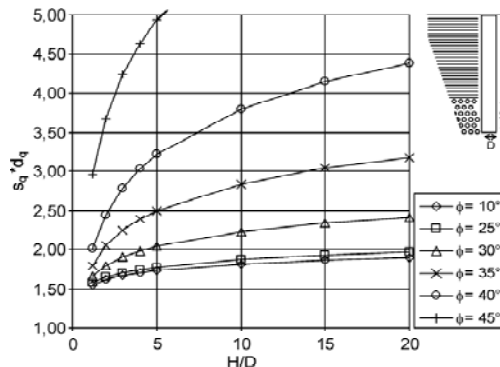
##### Calcolo dei coefficienti di forma e profondità

Lunghezza palo (m)	Diametro palo (m)									
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
1,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
3,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
4,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
5,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
6,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
7,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
8,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
9,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
10,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

$s_q \cdot d_q$  : coeff. di forma e profondità  
**Il parametro NON viene considerato nel calcolo**



Valori di  $\theta$  (Berezantev, 1961)



Valori di  $s_q \cdot d_q$  (Brinch Hansen)



## VERIFICHE ALLO SLU GEOTECNICO DEL TERRENO

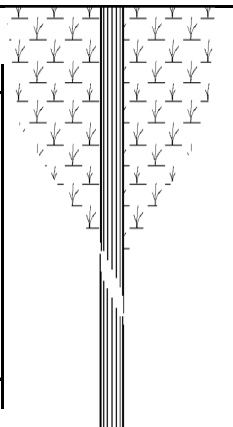
### verifica SLU pali per carichi laterali

**Tipo di fondazione:** palo trivellato  
**N° verticali di indagine:** 1

#### Calcolo dei carichi parziali

Lunghezza palo (m)	Diametro palo (m)									
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
2,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
3,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8
4,0	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4
5,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	1,9	2,1
6,0	0,3	0,6	0,9	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9
7,0	0,4	0,8	1,1	1,5	1,9	2,3	2,6	3,0	3,4	3,8
8,0	0,5	1,0	1,4	1,9	2,4	2,9	3,3	3,8	4,3	4,8
9,0	0,6	1,2	1,8	2,3	2,9	3,5	4,1	4,7	5,3	5,8
10,0	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6	6,3	7,0

*Ql - resistenza per attrito laterale (tonnellate)*



Lunghezza palo (m)	Diametro palo (m)									
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
2,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4
3,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7
4,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0
5,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1
6,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3
7,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,7	2,1
8,0	0,0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,1	1,5	1,9	2,3
9,0	0,0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,9	1,2	1,6	2,0	2,5
10,0	0,0	0,1	0,2	0,4	0,7	1,0	1,3	1,7	2,2	2,7

*Qp - resistenza di punta (tonnellate)*

#### Valori di calcolo dei coefficienti parziali

	R1	R2	R3
Valore parametro $\gamma_b$ :	1,00	1,70	1,15
Valore parametro $\gamma_s$ :	1,00	1,45	1,15

Valore di calcolo parametro  $\zeta$  : 1,70

## VERIFICHE ALLO SLU GEOTECNICO DEL TERRENO

### verifica SLU a compressione pali

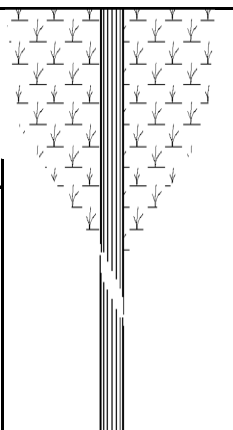
**Tipo di approccio:** 1 (D.M. 14.01.2008, cap. 6.4.3.1, corretto con Circolare 02.02.2009 n. 617)  
**Tipo di fondazione:** palo trivellato  
**N° verticali di indagine:** 1

#### Calcolo dei carichi ammissibili con applicazione dei coefficienti parziali M1+R1

Valore parametro  $\gamma_b$  : 1,00  
 Valore parametro  $\gamma_s$  : 1,00  
 Valore parametro  $\zeta$  : 1,70

Lunghezza palo (m)	Diametro palo (m)									
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
2,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5
3,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
4,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4
5,0	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,9
6,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5
7,0	0,2	0,5	0,8	1,1	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4
8,0	0,3	0,6	1,0	1,3	1,7	2,2	2,6	3,1	3,6	4,1
9,0	0,4	0,7	1,2	1,6	2,1	2,6	3,1	3,7	4,3	4,9
10,0	0,4	0,9	1,4	1,9	2,5	3,0	3,7	4,3	5,0	5,7

$R_k$  - Resistenza allo SLU (tonnellate)



#### Calcolo dei carichi ammissibili con applicazione dei coefficienti parziali M1+R2

Valore parametro  $\gamma_b$  : 1,70  
 Valore parametro  $\gamma_s$  : 1,45  
 Valore parametro  $\zeta$  : 1,70

Lunghezza palo (m)	Diametro palo (m)									
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
2,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3
3,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5
4,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
5,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2
6,0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,1	1,3	1,5
7,0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	1,9	2,2
8,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,1	1,3	1,6	1,9	2,2	2,6
9,0	0,2	0,4	0,7	1,0	1,3	1,6	1,9	2,3	2,6	3,0
10,0	0,3	0,5	0,8	1,1	1,5	1,8	2,2	2,6	3,1	3,5

$R_k$  - Resistenza allo SLU (tonnellate)

## VERIFICHE ALLO SLE GEOTECNICO DEL TERRENO

### verifica SLE a compressione pali

**Tipo di fondazione:** palo trivellato  
**N° verticali di indagine:** 1

#### Successione stratigrafica di progetto

	Livello	Modello di terreno:	Formule adottate per il calcolo:
p.c.	Livello B	attritivo	$s = [(s_f + s_p)]$ <p>con: <math>s_f</math> : cedimento del fusto  <math>s_p</math> : cedimento alla punta</p> $s_f : [2 \cdot N_f \cdot (1 + \nu)] / (\pi \cdot L \cdot E)$ $s_p : [2 \cdot N_p \cdot (1 - \nu) \cdot (1 + \nu)] / (0,5 \cdot \pi \cdot d \cdot E)$ <p>dove: <math>N_f</math> : aliquota carico sul fusto  <math>N_p</math> : aliquota carico sulla punta            L = lunghezza palo            d = diametro palo</p>
		E (MPa) : 20	
		$\nu$ : 0,4	
- 3,1 m.	Livello C	attritivo	
		E (MPa) : 20	
		$\nu$ : 0,4	
- 5,3 m.	Livello D	attritivo	
		E (MPa) : 20	
		$\nu$ : 0,4	
- 6,9 m.	- 6,9 m.	attritivo	
		E (MPa) : 20	
		$\nu$ : 0,4	

#### Valori di $R_k$ sui quali sono calcolati i cedimenti

		Diametro palo (m)									
		0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
Lunghezza palo (m)	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
	2,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3
	3,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5
	4,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
	5,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2
	6,0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,1	1,3	1,5
	7,0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	1,9	2,2
	8,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,1	1,3	1,6	1,9	2,2	2,6
	9,0	0,2	0,4	0,7	1,0	1,3	1,6	1,9	2,3	2,6	3,0
	10,0	0,3	0,5	0,8	1,1	1,5	1,8	2,2	2,6	3,1	3,5
		$R_k$ - Resistenza allo SLU (tonnellate)									

#### Valori dei cedimenti calcolati

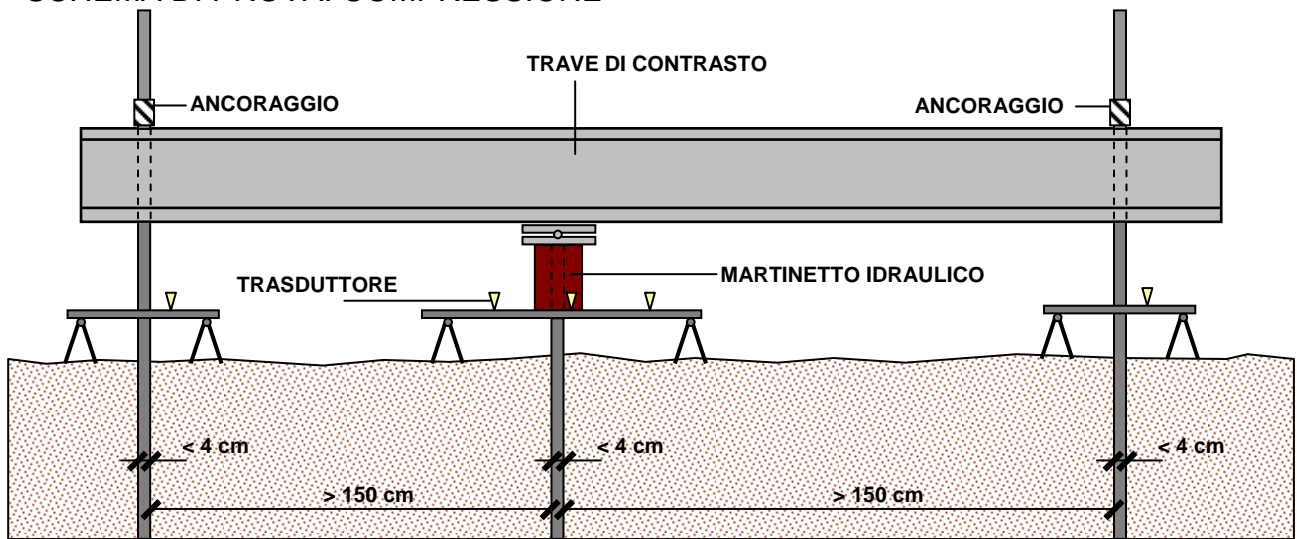
		Diametro palo (m)									
		0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
Lunghezza palo (m)	1,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5
	2,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	3,0	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4
	4,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
	5,0	0,2	0,4	0,6	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0	2,2
	6,0	0,3	0,5	0,8	1,1	1,3	1,6	1,9	2,1	2,4	2,7
	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	8,0	0,4	0,9	1,3	1,8	2,2	2,7	3,2	3,6	4,1	4,6
	9,0	0,5	1,0	1,4	1,9	2,4	2,9	3,4	3,9	4,4	5,0

## 5. SPECIFICHE DELLA PROVA

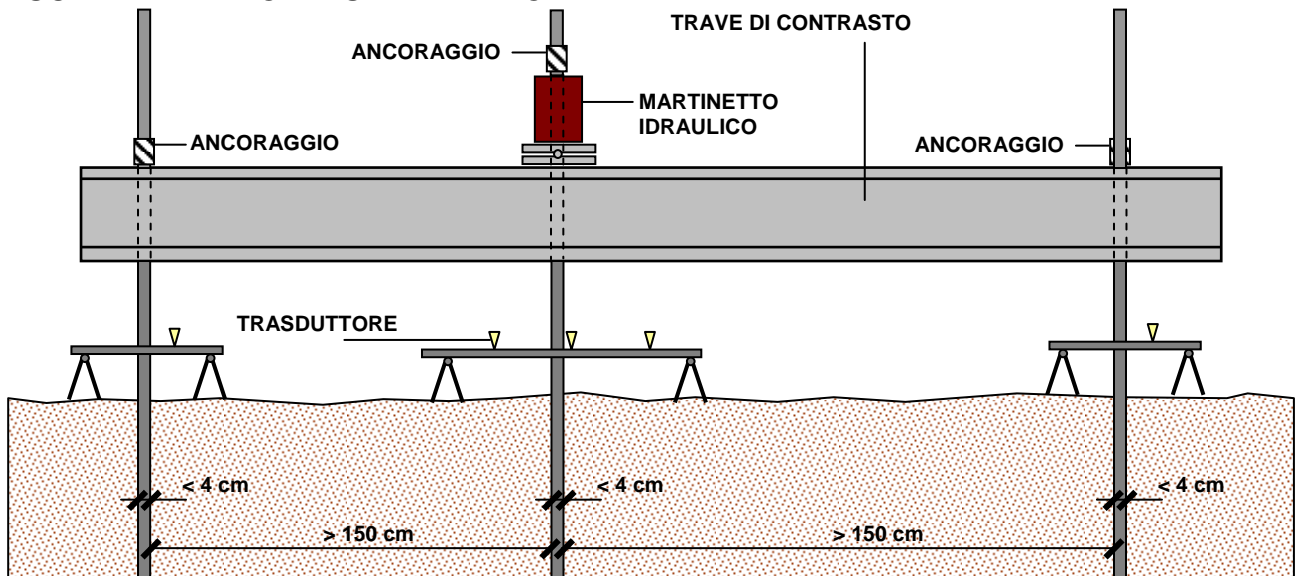
Il carico è stato applicato mediante martinetto idraulico contrastato da trave vincolata ai pali adiacenti a quello di prova. Martinetto e struttura di contrasto sono stati posizionati in modo da essere perfettamente centrati rispetto all'asse del palo. Il martinetto è stato azionato da una pompa idraulica esterna. Il martinetto e la pompa idraulica sono stati entrambi preventivamente tarati prima di dare inizio al programma di prova.

Sono state realizzate prove a compressione e sfilamento, secondo gli schemi di seguito riportati.

### SCHEMA DI PROVA: COMPRESSIONE



### SCHEMA DI PROVA: SFILAMENTO



È stato utilizzato un martinetto cavo, modello della serie CRI-FO (FPT Fluid Power Technology), le cui caratteristiche sono riassunte nella tabella seguente.



CAP ton	CORSA mm	MODELLO	FORZA max kN		SEZIONE cm²		VOLUME cm³		MASSA kg	DIMENSIONI in mm															
			Spinta	Trazione	Spinta	Trazione	Spinta	Trazione		A	B	C	D	E	F	G	H	L	M	N	O	P	R		
30	50	CRI-30/50-FO	295,3	29,4	42,2	19,6	211	99	11,7	177	227	165	115	86	70	64	27	33,5	2xM10	M115x2	65	20	120		
	100	CRI-30/100-FO	295,3	29,4	42,2	19,6	422	197	15,3	236	336	224	115	86	70	64	27	33,5	2xM10	M115x2	65	20	175		
	150	CRI-30/150-FO	295,3	29,4	42,2	19,6	633	295	18,3	286	436	274	115	86	70	64	27	33,5	2xM10	M115x2	65	20	225		
	260	CRI-30/260-FO	295,3	29,4	42,2	19,6	1097	510	26,4	418	678	406	115	86	70	64	27	33,5	2xM10	M115x2	65	20	335		
60	75	CRI-60/75-FO	589,6	77,8	84,2	51,8	632	389	31,6	227	302	215	170	125	95	92	37	54,5	4xM10	M170x4	90	25	158		
	160	CRI-60/160-FO	589,6	77,8	84,2	51,8	1348	830	41,6	312	472	300	170	125	95	92	37	54,5	4xM10	M170x4	90	25	243		
	260	CRI-60/260-FO	589,6	77,8	84,2	51,8	2191	1348	55,1	422	682	410	170	125	95	92	37	54,5	4xM10	M170x4	90	25	343		
100	75	CRI-100/75-FO	1000,6	130,7	142,9	87,1	654	65	265	340	253	225	165	127	122	42	78,5	4xM12	M225x4	130	30	191			
	150	CRI-100/150-FO	1000,6	130,7	142,9	87,1	2145	1308	80	340	490	328	225	165	127	122	42	78,5	4xM12	M225x4	130	30	266		
	260	CRI-100/260-FO	1000,6	130,7	142,9	87,1	3717	2266	105	460	720	448	225	165	127	122	42	78,5	4xM12	M225x4	130	30	376		
150	200	CRI-150/200-FO	1533,9	130,8	219,1	87,2	4383	1744	129	370	570	350	268	200	170	165	44	80,5	-	-	-	-	280		

Il sistema di contrasto utilizzato consiste di una struttura di travi in acciaio intelaiate. Tra il martinetto e la trave di contrasto è stato interposto un dispositivo di centramento del carico allo scopo di eliminare il pericolo di ovalizzazione del pistone.





Le misure di abbassamento della testa del palo di prova e delle teste dei pali di controllo sono state effettuata mediante cinque comparatori centesimali, corsa massima 50 mm. Sono stati utilizzati profilati metallici per ancorare mediante magneti i comparatori stessi. Il sistema di misura dei cedimenti è stato protetto dall'irraggiamento solare mediante telo sostenuto con un traliccio di tubi innocenti eliminando, così, l'influenza delle variazioni termiche.

Sono stati utilizzati comparatori analogici centesimali le cui caratteristiche sono riassunte nella tabella seguente.

**Serie 3**

Versione con Ø ghiera esterna 78 mm  
 Unità di formato: 0,01 e 0,001 mm

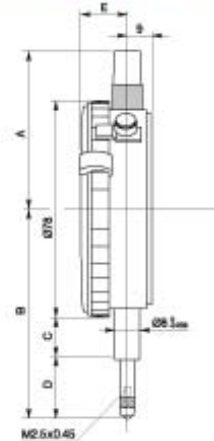


Campo di misura	Unità di formato	N°	Scala	Un giro di lancetta	Forza di misura-max	Forza di misura-min	Isteresi-forza di misura	Massa	Note
mm	mm			mm	N	N	N	g	
1	0,001	3109 SB-10	0-100-0	0,2	1,5	0,4	0,9	245	
10	0,01	3046 SB	0-100 (100-0)	1,0	1,4	0,4	0,6	237	
10	0,01	3047 SB	0-50-0	1,0	1,4	0,4	0,6	237	

Sigla SB fondello piatto - Sigla S fondello con asola (specificare in sede di ordini)

N°	A	B	C	D	E
	mm	mm	mm	mm	mm
3109 SB-10	56	79,0	25,0	15	17,0
3046 SB	56	75,5	15,5	21	16,5
3047 SB	56	75,5	15,5	21	16,5

N°	DIN 878 1983		DIN EN ISO 463 / DIN 878 2006			
	Limiti di accuratezza del display					
	f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	f <sub>3</sub>	ogni 1/10 di giro	ogni 1/2 giro	ogni 1 giro
	µm	µm	µm	µm	µm	µm
3109 SB-10	3	5	2	2,5	4	4,5
3046 SB	15	17	3	5,0	9	10,0
3047 SB	15	17	3	5,0	9	10,0



Sono stati applicati almeno n°3 cicli di carico e scarico, aumentando progressivamente la pressione alla pompa idraulica del martinetto secondo incrementi prestabiliti.

In corrispondenza dei ogni applicazione del carico sono stati misurati gli spostamenti delle teste del palo di prova e dei pali di controllo.

La durata degli incrementi è stata fissata nel corso della prova utilizzando il criterio di stabilizzazione del cedimento sotto un assegnato carico.

## 6. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



















## 7. RISULTATI

Di seguito si riportano per ogni singola prova:

- i valori tabellati di carichi applicati / cedimenti registrati per ogni ciclo di carico;
- il grafico dei cicli di carico eseguiti;
- il grafico della curva carico - cedimento

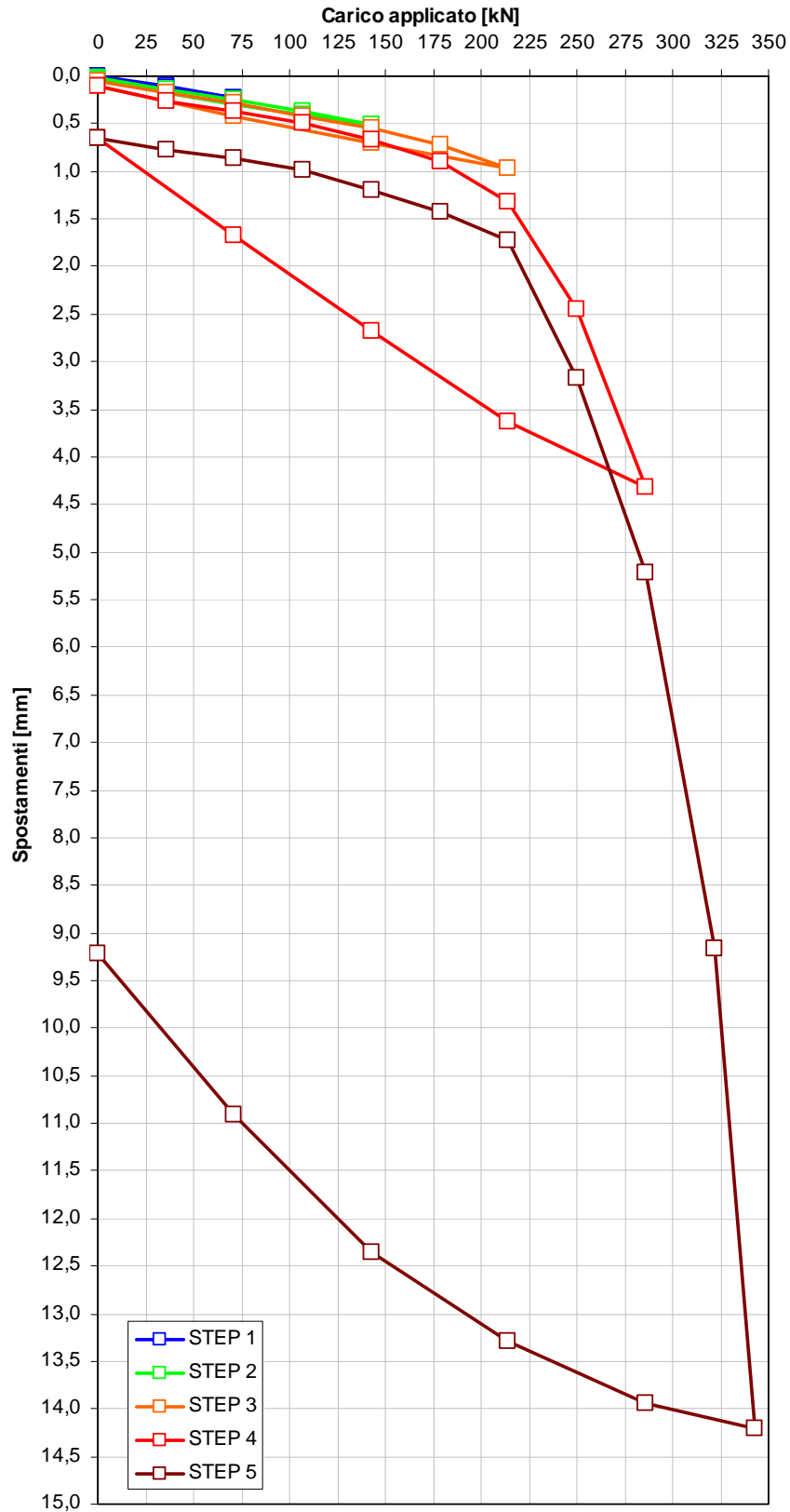
### 7.1 PROVA N°1

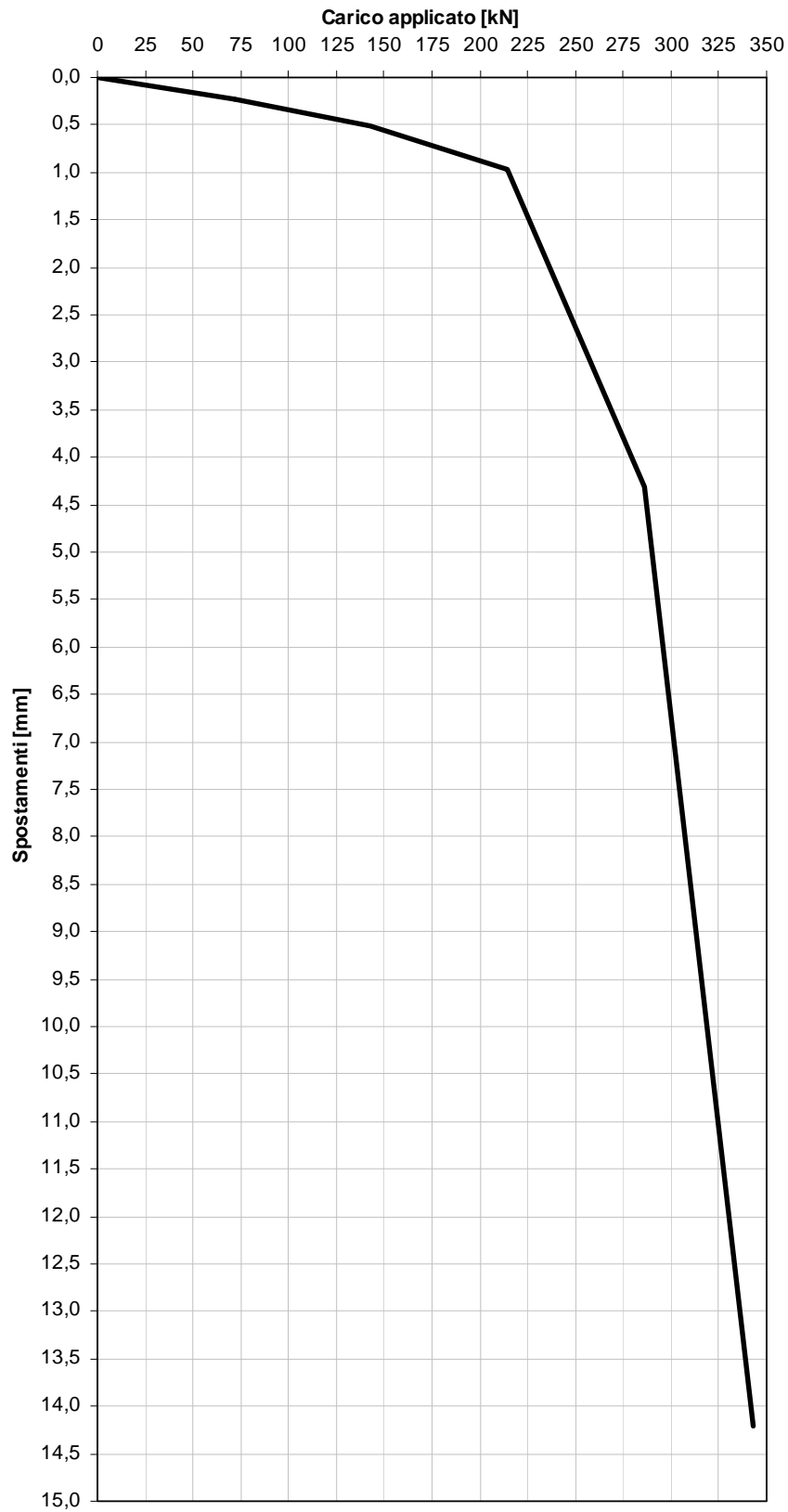
CAMPO PROVE		PERUGIA			
TIPO DI PROVA		SFILAMENTO			
ID PALO		CAMPIONE N°1 INIETTATO CON CEMENTO ESPANSIVO			
MARTINETTO	MODELLO	CRI-100/260FO			
	FORZA	SPINTA MAX	1000,6 kN	TRAZIONE MAX	130,7 kN

STEP DI CARICO	PRESSIONE		PALO A CONTROLLO	PALO B CARICO	PALO C CONTROLLO
	[bar]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]
STEP 1	0	0,0	0,00	0,00	0,00
STEP 1	25	35,7	0,00	0,10	0,00
STEP 1	50	71,5	0,00	0,23	0,00
STEP 1	25	35,7	0,00	0,13	0,00
STEP 1	0	0,0	0,00	0,02	0,00
STEP 2	0	0,0	0,00	0,02	0,00
STEP 2	25	35,7	0,00	0,14	0,00
STEP 2	50	71,5	0,00	0,25	0,00
STEP 2	75	107,2	0,00	0,37	0,00
STEP 2	100	142,9	0,00	0,51	0,00
STEP 2	75	107,2	0,00	0,41	0,00
STEP 2	50	71,5	0,00	0,30	0,00
STEP 2	25	35,7	0,00	0,17	0,00
STEP 2	0	0,0	0,00	0,04	0,00
STEP 3	0	0,0	0,00	0,05	0,00
STEP 3	25	35,7	0,00	0,18	0,00
STEP 3	50	71,5	0,00	0,29	0,00
STEP 3	75	107,2	0,00	0,42	0,00
STEP 3	100	142,9	0,00	0,55	0,00
STEP 3	125	178,6	0,10	0,72	0,00
STEP 3	150	214,4	0,10	0,97	0,00
STEP 3	100	142,9	0,10	0,70	0,00
STEP 3	50	71,5	0,10	0,42	0,00
STEP 3	0	0,0	0,00	0,10	0,00
STEP 4	0	0,0	0,00	0,10	0,00
STEP 4	25	35,7	0,00	0,26	0,00
STEP 4	50	71,5	0,00	0,37	0,00
STEP 4	75	107,2	0,00	0,50	0,00
STEP 4	100	142,9	0,00	0,67	0,00
STEP 4	125	178,6	0,00	0,90	0,00
STEP 4	150	214,4	0,10	1,32	0,10
STEP 4	175	250,1	0,00	2,46	0,00
STEP 4	200	285,8	0,10	4,32	0,10
STEP 4	150	214,4	0,10	3,63	0,10
STEP 4	100	142,9	0,10	2,68	0,10
STEP 4	50	71,5	0,10	1,67	0,10

STEP DI CARICO	PRESSIONE		PALO A CONTROLLO	PALO B CARICO	PALO C CONTROLLO
	[bar]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]
STEP 4	0	0,0	0,10	0,65	0,10
STEP 5	0	0,0	0,10	0,65	0,10
STEP 5	25	35,7	0,10	0,77	0,00
STEP 5	50	71,5	0,10	0,86	0,00
STEP 5	75	107,2	0,10	0,98	0,00
STEP 5	100	142,9	0,10	1,20	0,00
STEP 5	125	178,6	0,10	1,42	0,10
STEP 5	150	214,4	0,10	1,73	0,10
STEP 5	175	250,1	0,00	3,17	0,10
STEP 5	200	285,8	0,00	5,21	0,10
STEP 5	225	321,5	0,10	9,16	0,10
STEP 5	240	343,0	0,10	14,20	0,10
STEP 5	200	285,8	0,10	13,95	0,10
STEP 5	150	214,4	0,10	13,29	0,10
STEP 5	100	142,9	0,10	12,35	0,10
STEP 5	50	71,5	0,10	10,91	0,10
STEP 5	0	0,0	0,00	9,21	0,10

STEP DI CARICO	PRESSIONE		PALO A CONTROLLO	PALO B CARICO	PALO C CONTROLLO
	[bar]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]
STEP 1	0	0,0	0,00	0,00	0,00
STEP 1	50	71,5	0,00	0,23	0,00
STEP 2	100	142,9	0,00	0,51	0,00
STEP 3	150	214,4	0,10	0,97	0,00
STEP 4	200	285,8	0,10	4,32	0,10
STEP 5	240	343,0	0,10	14,20	0,10







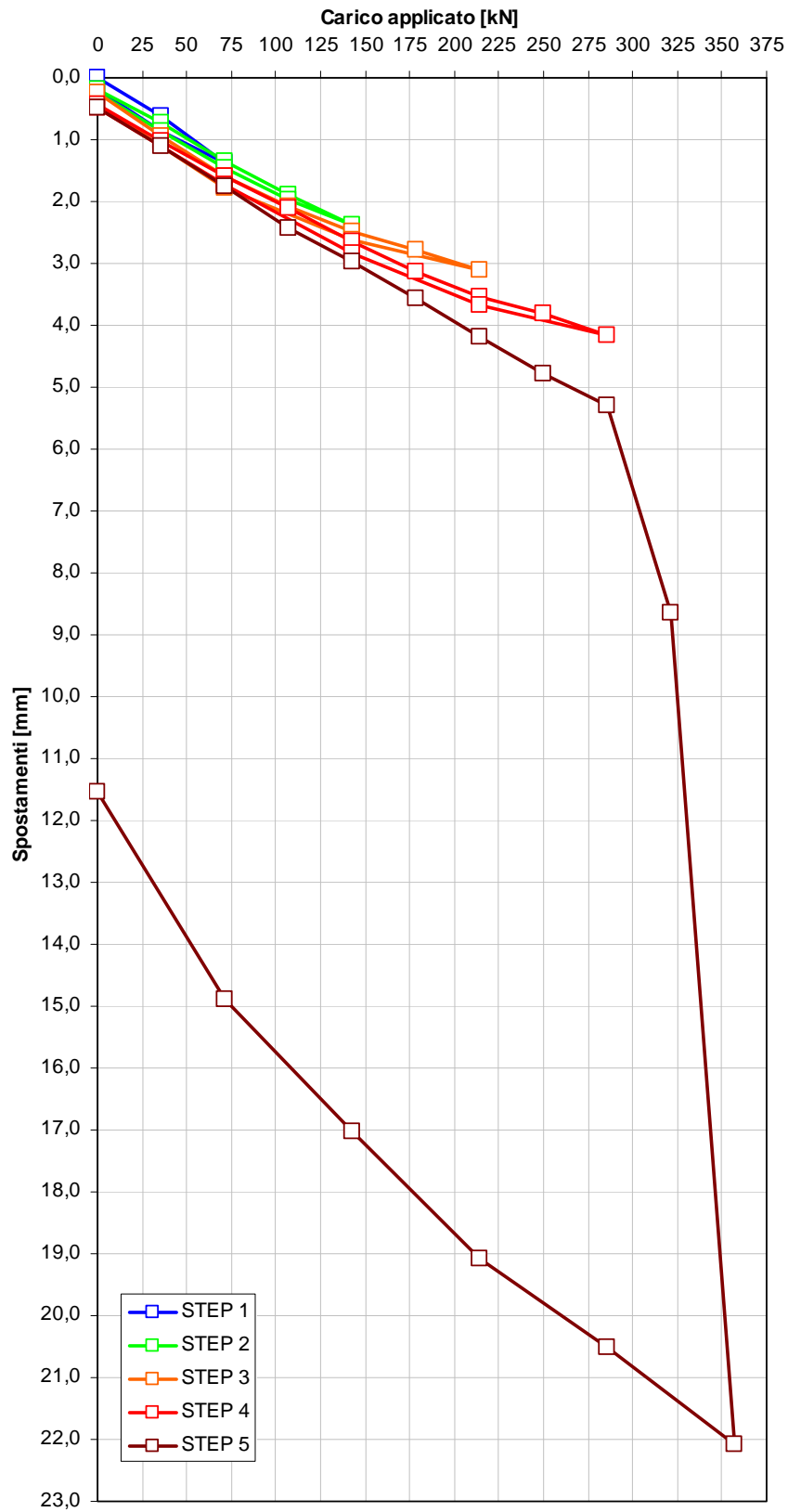
## 7.2 PROVA N°2

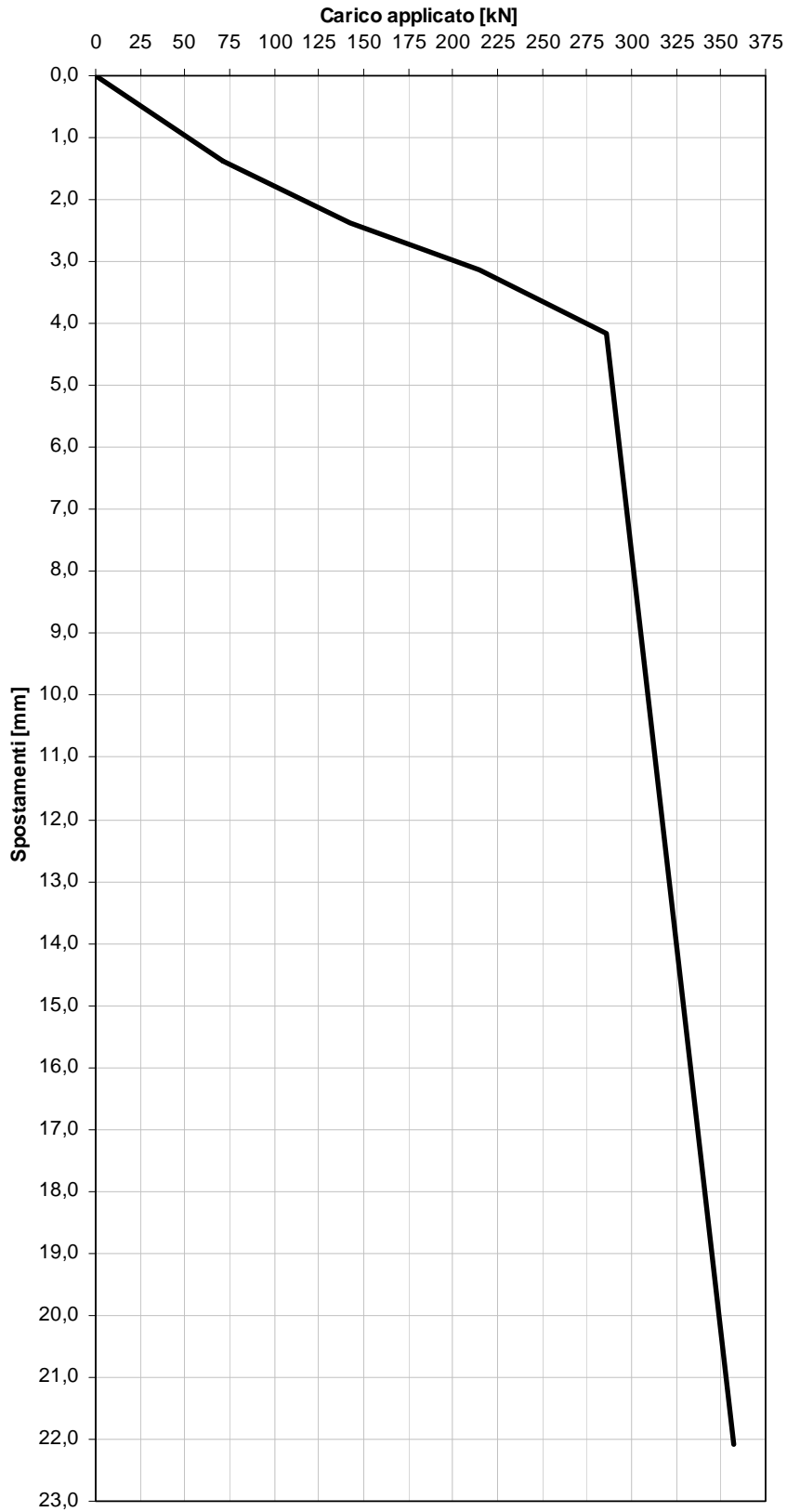
CAMPO PROVE <b>PERUGIA</b>					
TIPO DI PROVA <b>COMPRESSIONE</b>					
ID PALO <b>CAMPIONE N°2 INIETTATO CON CEMENTO ESPANSIVO</b>					
MARTINETTO	MODELLO	CRI-100/260FO			
	FORZA	SPINTA MAX	1000,6 kN	TRAZIONE MAX	130,7 kN

STEP DI CARICO	PRESSIONE		PALO A CONTROLLO	PALO B CARICO	PALO C CONTROLLO
	[bar]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]
STEP 1	0	0,0	0,00	0,00	0,00
STEP 1	25	35,7	0,00	0,63	0,00
STEP 1	50	71,5	0,00	1,37	0,00
STEP 1	25	35,7	0,00	0,86	0,00
STEP 1	0	0,0	0,00	0,19	0,00
STEP 2	0	0,0	0,00	0,19	0,00
STEP 2	25	35,7	0,00	0,74	0,00
STEP 2	50	71,5	0,00	1,34	0,00
STEP 2	75	107,2	0,00	1,88	0,00
STEP 2	100	142,9	0,00	2,37	0,00
STEP 2	75	107,2	0,00	1,98	0,00
STEP 2	50	71,5	0,00	1,47	0,00
STEP 2	25	35,7	0,00	0,88	0,00
STEP 2	0	0,0	0,00	0,23	0,00
STEP 3	0	0,0	0,00	0,23	0,00
STEP 3	25	35,7	0,00	0,95	0,00
STEP 3	50	71,5	0,00	1,59	0,00
STEP 3	75	107,2	0,00	2,08	0,00
STEP 3	100	142,9	0,00	2,48	0,00
STEP 3	125	178,6	0,00	2,78	0,00
STEP 3	150	214,4	0,00	3,12	0,00
STEP 3	100	142,9	0,00	2,61	0,00
STEP 3	50	71,5	0,00	1,77	0,00
STEP 3	0	0,0	0,00	0,44	0,00
STEP 4	0	0,0	0,00	0,44	0,00
STEP 4	25	35,7	0,00	1,04	0,00
STEP 4	50	71,5	0,00	1,59	0,00
STEP 4	75	107,2	0,00	2,10	0,00
STEP 4	100	142,9	0,00	2,65	0,00
STEP 4	125	178,6	0,00	3,13	0,00
STEP 4	150	214,4	0,00	3,54	0,00
STEP 4	175	250,1	0,00	3,80	0,00
STEP 4	200	285,8	0,00	4,16	0,00
STEP 4	150	214,4	0,00	3,69	0,00
STEP 4	100	142,9	0,00	2,83	0,00
STEP 4	50	71,5	0,00	1,72	0,00
STEP 4	0	0,0	0,00	0,48	0,00
STEP 5	0	0,0	0,00	0,48	0,00
STEP 5	25	35,7	0,00	1,10	0,00
STEP 5	50	71,5	0,00	1,75	0,00
STEP 5	75	107,2	0,00	2,44	0,00
STEP 5	100	142,9	0,00	2,98	0,00
STEP 5	125	178,6	0,00	3,58	0,00
STEP 5	150	214,4	0,00	4,19	0,00
STEP 5	175	250,1	0,00	4,78	0,00

STEP DI CARICO	PRESSIONE		PALO A CONTROLLO [mm]	PALO B CARICO [mm]	PALO C CONTROLLO [mm]
	[bar]	[kN]			
STEP 5	200	285,8	0,00	5,30	0,00
STEP 5	225	321,5	0,00	8,65	0,00
STEP 5	250	357,3	0,00	22,09	0,00
STEP 5	200	285,8	0,00	20,51	0,00
STEP 5	150	214,4	0,00	19,07	0,00
STEP 5	100	142,9	0,00	17,02	0,00
STEP 5	50	71,5	0,00	14,88	0,00
STEP 5	0	0,0	0,00	11,55	0,00

STEP DI CARICO	PRESSIONE		PALO A CONTROLLO [mm]	PALO B CARICO [mm]	PALO C CONTROLLO [mm]
	[bar]	[kN]			
STEP 1	0	0,0	0,00	0,00	0,00
STEP 1	50	71,5	0,00	1,37	0,00
STEP 2	100	142,9	0,00	2,37	0,00
STEP 3	150	214,4	0,00	3,12	0,00
STEP 4	200	285,8	0,00	4,16	0,00
STEP 5	250	357,3	0,00	22,09	0,00





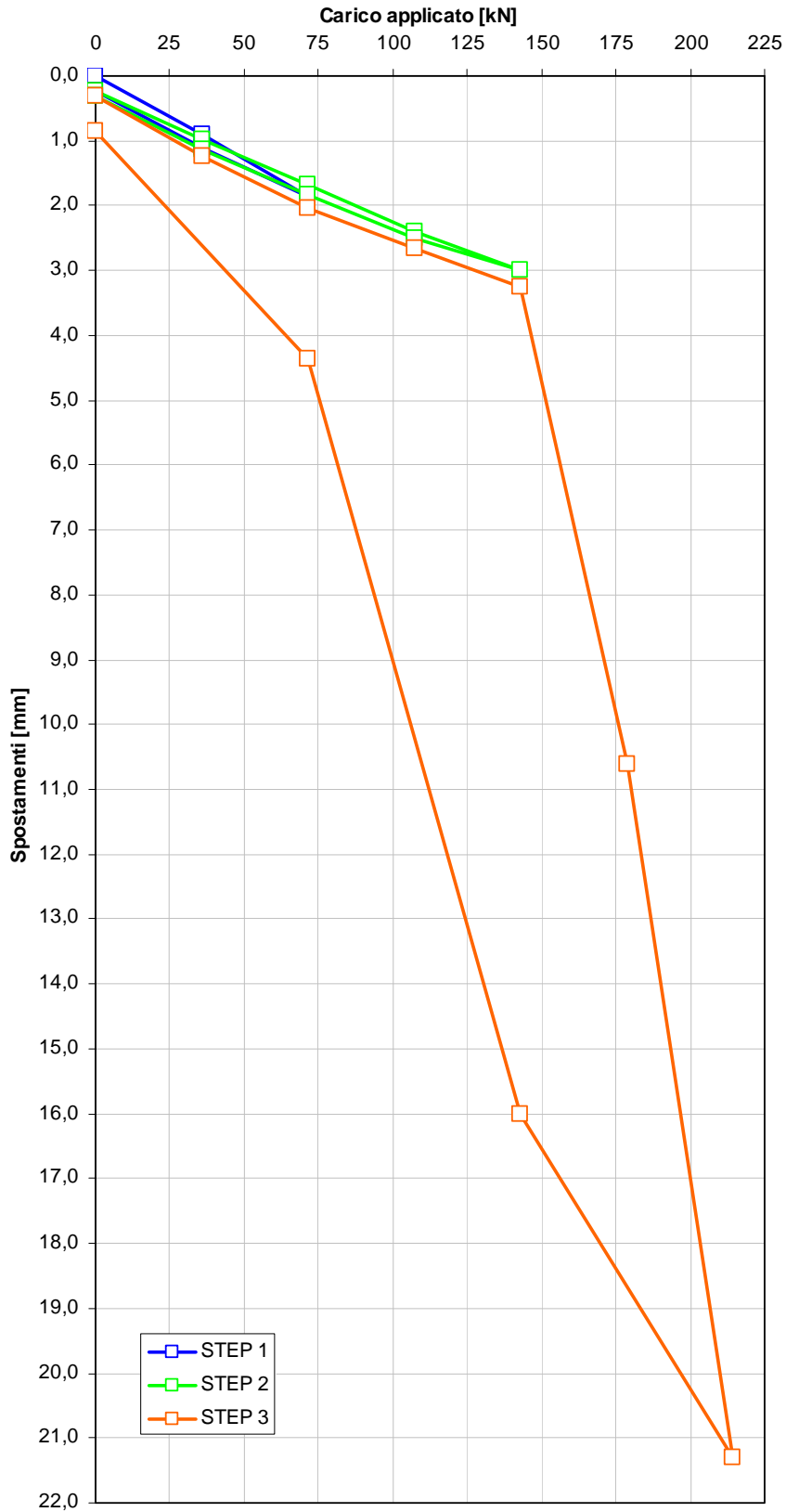
### 7.3 PROVA N°3

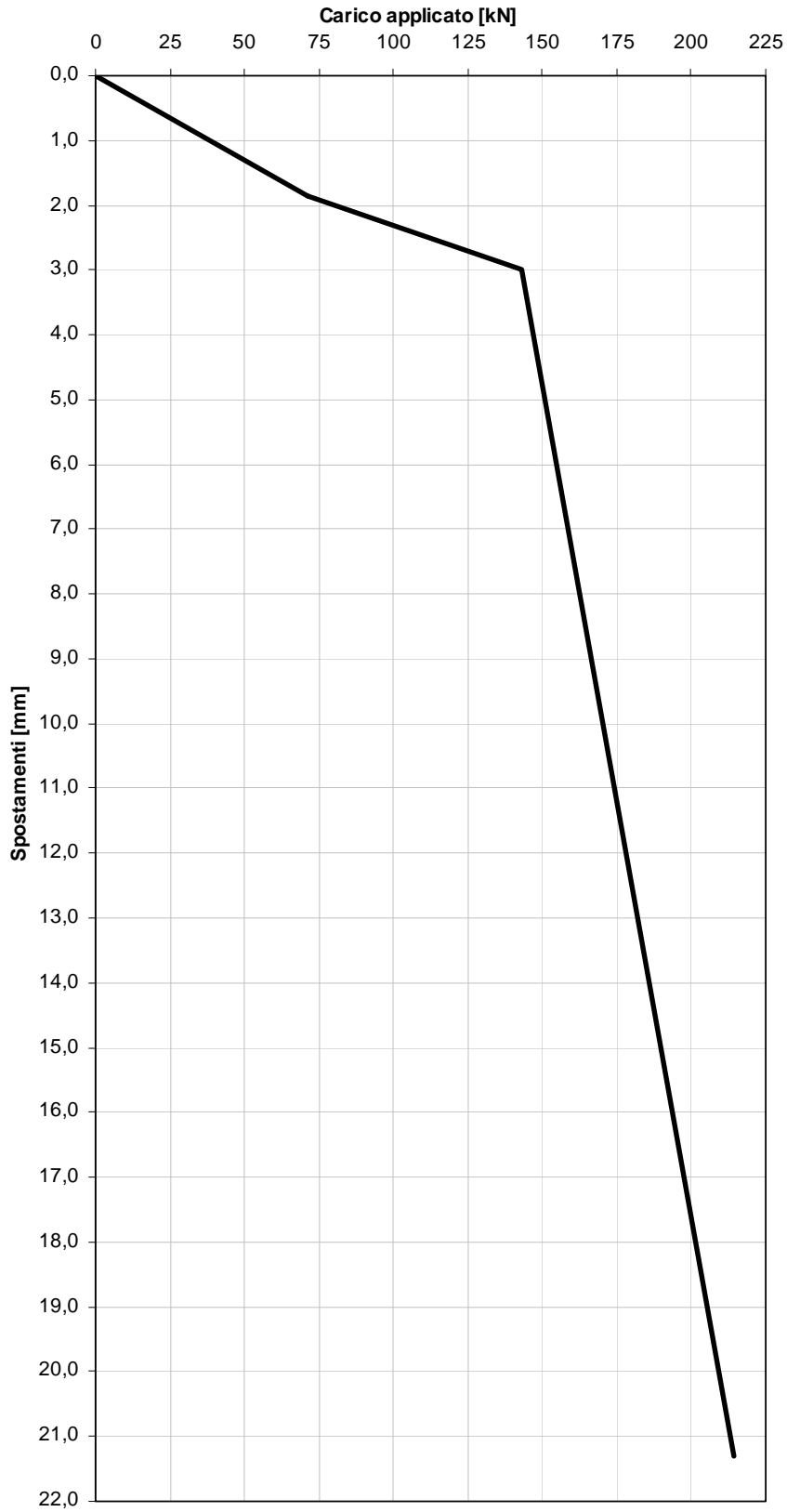
CAMPO PROVE <b>PERUGIA</b>					
TIPO DI PROVA <b>SFILAMENTO</b>					
ID PALO <b>CAMPIONE N°3 INIETTATO CON BOIACCA</b>					
MARTINETTO	MODELLO	CRI-100/260FO			
	FORZA	SPINTA MAX	1000,6 kN	TRAZIONE MAX	130,7 kN

STEP DI CARICO	PRESSIONE		PALO A CONTROLLO	PALO B CARICO	PALO C CONTROLLO
	[bar]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]
STEP 1	0	0,0	0,00	0,00	0,00
STEP 1	25	35,7	0,00	0,91	0,00
STEP 1	50	71,5	0,00	1,86	0,00
STEP 1	25	35,7	0,00	1,10	0,00
STEP 1	0	0,0	0,00	0,23	0,00
STEP 2	0	0,0	0,00	0,23	0,00
STEP 2	25	35,7	0,00	0,98	0,00
STEP 2	50	71,5	0,00	1,68	0,00
STEP 2	75	107,2	0,00	2,39	0,00
STEP 2	100	142,9	0,00	2,99	0,00
STEP 2	75	107,2	0,00	2,51	0,00
STEP 2	50	71,5	0,00	1,85	0,00
STEP 2	25	35,7	0,00	1,13	0,00
STEP 2	0	0,0	0,00	0,32	0,00
STEP 3	0	0,0	0,00	0,32	0,00
STEP 3	25	35,7	0,00	1,23	0,00
STEP 3	50	71,5	0,00	2,05	0,00
STEP 3	75	107,2	0,00	2,67	0,00
STEP 3	100	142,9	0,01	3,26	0,00
STEP 3	125	178,6	0,06	10,62	0,00
STEP 3	150	214,4	0,10	21,30	0,00
STEP 3	100	142,9	0,02	16,00	0,00
STEP 3	50	71,5	0,00	4,36	0,00
STEP 3	0	0,0	0,00	0,85	0,00

STEP DI CARICO	PRESSIONE		PALO A CONTROLLO	PALO B CARICO	PALO C CONTROLLO
	[bar]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]
STEP 1	0	0,0	0,00	0,00	0,00
STEP 1	50	71,5	0,00	1,86	0,00
STEP 2	100	142,9	0,00	2,99	0,00
STEP 3	150	214,4	0,10	21,30	0,00





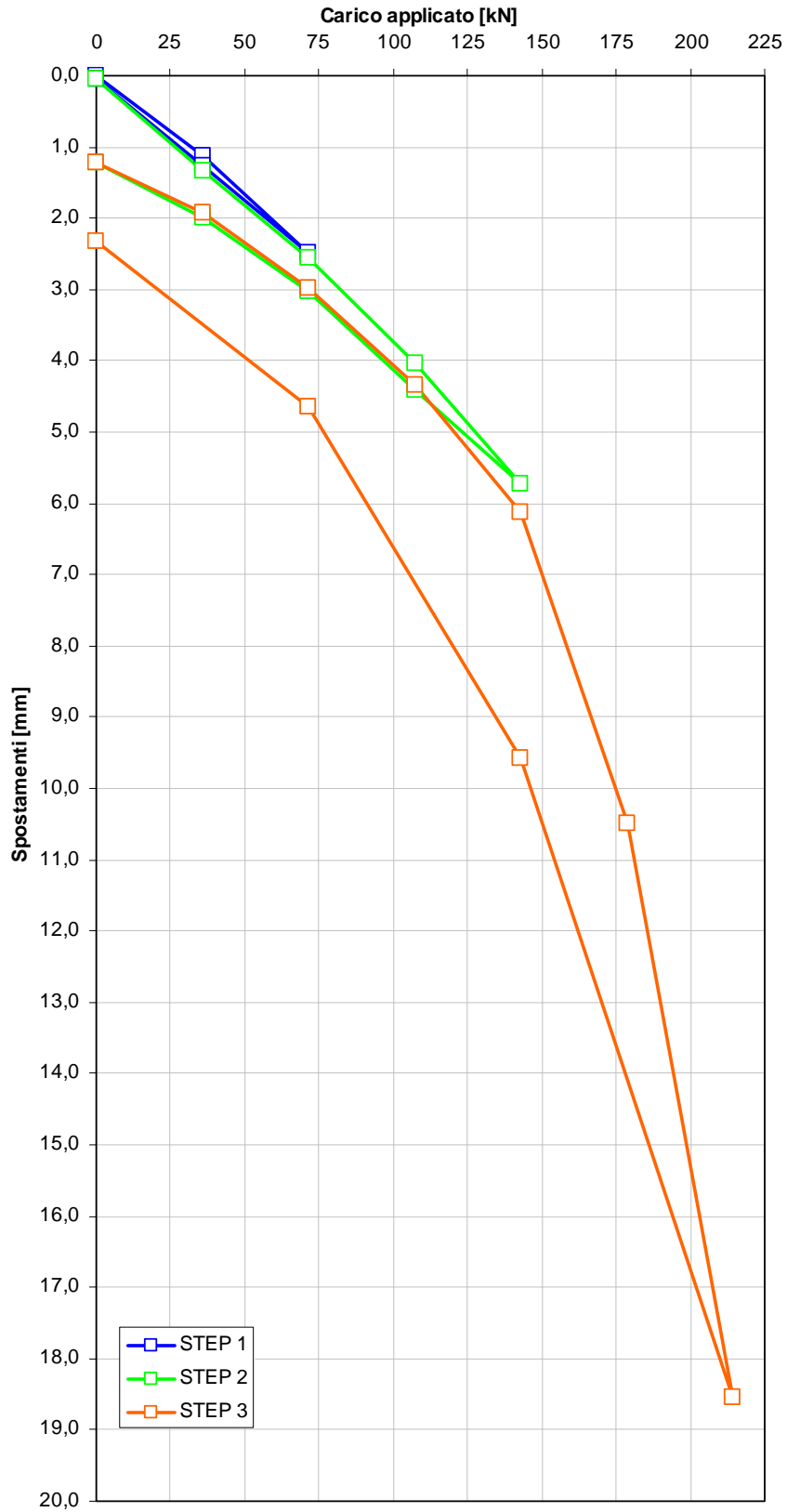


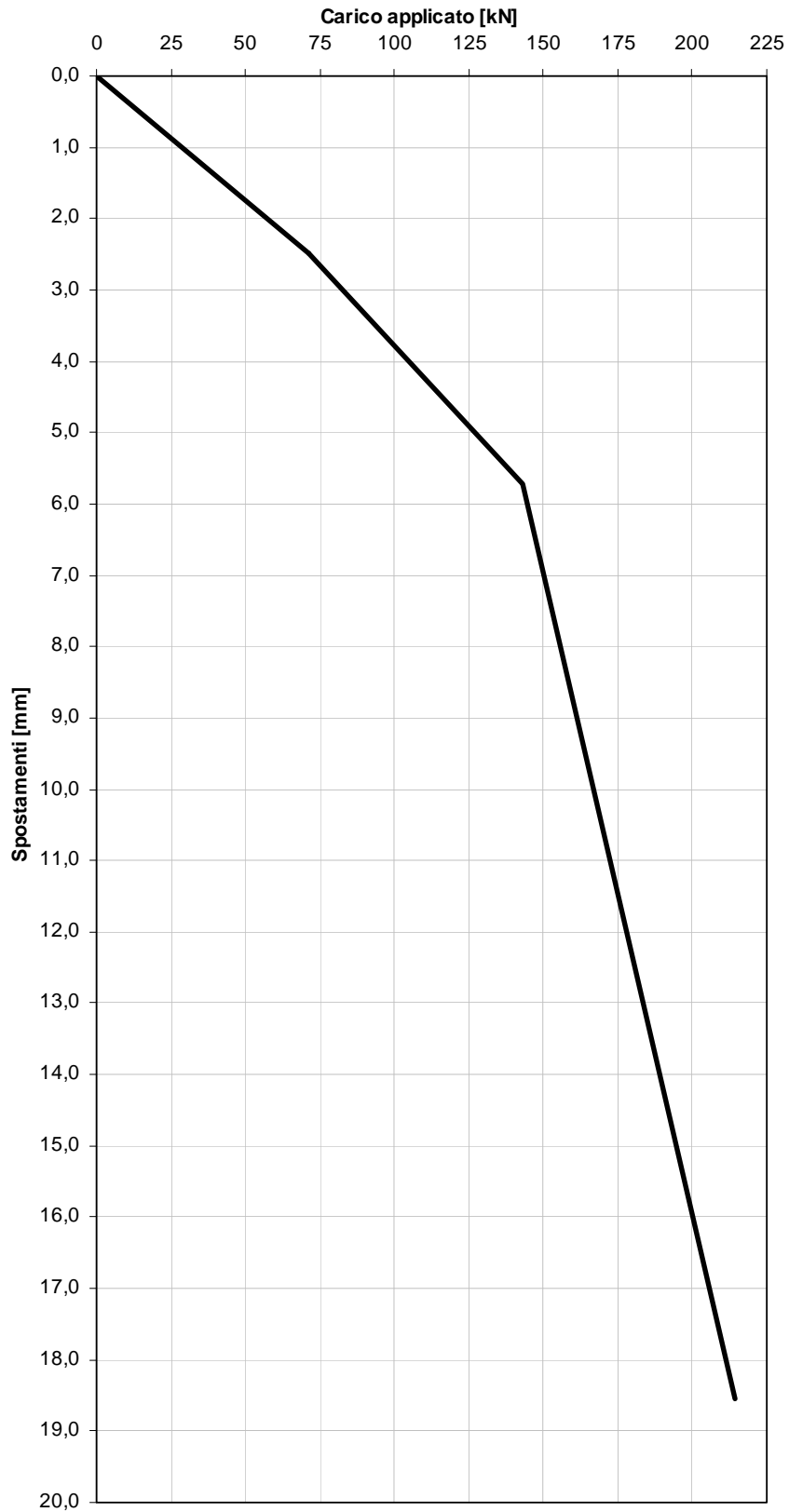
## 7.4 PROVA N°4

<b>CAMPO PROVE PERUGIA</b>					
<b>TIPO DI PROVA COMPRESSIONE</b>					
<b>ID PALO CAMPIONE N°5 INIETTATO CON RESINA</b>					
<b>MARTINETTO</b>	<b>MODELLO</b>	<b>CRI-100/260FO</b>			
	<b>FORZA</b>	<b>SPINTA MAX</b>	<b>1000,6 kN</b>	<b>TRAZIONE MAX</b>	<b>130,7 kN</b>

STEP DI CARICO	PRESSIONE		PALO A CONTROLLO	PALO B CARICO	PALO C CONTROLLO
	[bar]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]
STEP 1	0	0,0	0,00	0,00	0,00
STEP 1	25	35,7	0,00	1,12	0,05
STEP 1	50	71,5	0,00	2,49	0,08
STEP 1	25	35,7	0,00	1,26	0,03
STEP 1	0	0,0	0,00	0,04	0,00
STEP 2	0	0,0	0,00	0,04	0,00
STEP 2	25	35,7	0,00	1,33	0,00
STEP 2	50	71,5	0,03	2,56	0,00
STEP 2	75	107,2	0,05	4,05	0,02
STEP 2	100	142,9	0,08	5,72	0,05
STEP 2	75	107,2	0,03	4,41	0,03
STEP 2	50	71,5	0,01	3,03	0,01
STEP 2	25	35,7	0,00	2,00	0,00
STEP 2	0	0,0	0,00	1,21	0,00
STEP 3	0	0,0	0,00	1,21	0,00
STEP 3	25	35,7	0,00	1,92	0,00
STEP 3	50	71,5	0,00	2,98	0,01
STEP 3	75	107,2	0,02	4,34	0,03
STEP 3	100	142,9	0,05	6,12	0,05
STEP 3	125	178,6	0,03	10,49	0,02
STEP 3	150	214,4	0,10	18,54	0,00
STEP 3	100	142,9	0,00	9,58	0,00
STEP 3	50	71,5	0,00	4,65	0,00
STEP 3	0	0,0	0,00	2,32	0,00

STEP DI CARICO	PRESSIONE		PALO A CONTROLLO	PALO B CARICO	PALO C CONTROLLO
	[bar]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]
STEP 1	0	0,0	0,00	0,00	0,00
STEP 1	50	71,5	0,00	2,49	0,08
STEP 2	100	142,9	0,08	5,72	0,05
STEP 3	150	214,4	0,10	18,54	0,00







## 8. CONCLUSIONI

I risultati delle prove effettuate confermano le ipotesi iniziali di comportamento meccanico del minipalo per la determinata tipologia di terreni indagati.

In considerazione della presenza di stratificazioni a comportamento attritivo e di una sezione del palo non sufficiente a creare un'apprezzabile resistenza al carico di punta, la capacità portante della fondazione è data dal solo contributo laterale, ovvero dai fenomeni attritivi che si generano tra la superficie laterale del palo e il terreno circostante.

L'applicazione di un carico di compressione o di sfilamento produce quindi uno spostamento del minipalo, in profondità o in elevazione, che aumenta linearmente fino ad un valore massimo di carico, stabilito proprio dalla resistenza allo scorrimento tra il sistema di fondazione ed il terreno circostante.

Oltre tale limite le misure di spostamento raggiungono valori di un ordine di grandezza superiore a quello registrato nella fase "elastica".

Nel caso specifico, i risultati dei test effettuati si riassumono nei punti di seguito illustrati:

- le prove di compressione e sfilamento dei minipali iniettati con cemento espansivo hanno registrato valori massimi di carico di circa 29 t con spostamenti di circa 4 mm;

PROVA DI SFILAMENTO		PROVA DI COMPRESSIONE	
PRESSIONE [kN]	SPOSTAMENTO [bar]	PRESSIONE [kN]	SPOSTAMENTO [mm]
0,0	0,00	0,0	0,00
71,5	0,23	71,5	1,37
142,9	0,51	142,9	2,37
214,4	0,97	214,4	3,12
285,8	4,32	285,8	4,16
343,0	14,20	357,3	22,09

- la prova di sfilamento del minipalo iniettato con boiacca ha registrato valori massimi di carico di circa 14 t con spostamenti di circa 3 mm;

PROVA DI SFILAMENTO	
PRESSIONE [kN]	SPOSTAMENTO [mm]
0,0	0,00
71,5	1,86
142,9	2,99
214,4	21,30

- la prova di compressione del minipalo iniettato con resine ha registrato valori massimi di carico di circa 14 t con spostamenti di circa 6 mm;

PROVA DI COMPRESSIONE	
PRESSIONE [kN]	SPOSTAMENTO [mm]
0,0	0,00
71,5	2,49
142,9	5,72
214,4	18,54

L'utilizzo del cemento espansivo produce risultati migliorativi rispetto alle altre applicazioni, in quanto, a parità di tecnica di iniezione, il tipo di materiale impiegato si espande nel terreno creando sovrappressioni che aumentano la resistenza al taglio del sistema provato.

L'utilizzo della boiaccia, rispetto al sistema che prevede l'iniezione con resina poliuretanica, dimezza il valore dei cedimenti al carico massimo applicato. Un tale comportamento può essere determinato dal probabile aumento delle sbulbature per sostituzione della resina con il terreno circostante nelle fasi di iniezione, e conseguente aumento dei cedimenti per rottura del materiale legante.

In tutti i casi esaminati la metodologia costruttiva del minipalo porta comunque a prestazioni superiori a quelle attese con le normali procedure di calcolo.