



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELL'AQUILA
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile-Architettura e Ambientale

PROVE DI CARICO IN VERA GRANDEZZA

SU

“MINIPALI GEO-SYSTEM®”

CERTIFICATO DI PROVA

Il Tecnico sperimentatore

P.I. Mario Emiliani

Il Responsabile Scientifico

Prof. Ing. Gianfranco Totani

Il Direttore del Dipartimento

Prof. Ing. Dante Galeota

® Sistema innovativo coperto da brevetto italiano



SOMMARIO

Nel presente rapporto vengono presentati e certificati i risultati ottenuti in due campi 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 dell'area meridionale del centro abitato della città dell'Aquila.

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.

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 variegate cause.

2. La tecnologia minipalo Geo-System®

Si riporta integralmente quanto descritto dalla Edilsystem: "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 rotopercussione."

"La riduzione della dimensione dei minipali è compensata dall'iniezione nel terreno di resine poliuretatiche bicomponenti 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 o boiaccia cementizia espansiva.

3. Il recupero degli edifici in muratura danneggiati dal sisma

Gli spostamenti e i cedimenti delle strutture di fondazioni degli edifici in muratura della città di L' Aquila in seguito all'azione sismica del 6 Aprile 2009 sono stati causa dei drastici danneggiamenti alle strutture in elevazione.

Un miglioramento del comportamento di tali edifici in riguardo alle azioni sismiche può essere ottenuto eliminando le carenze nella continuità/collegamento delle fondazioni esistenti.

La tecnologia "minipali Geo-system®" accoppiata alla realizzazione di elementi strutturali orizzontali (quali cordoli e travi armate collegati strutturalmente con i pannelli murari) consente di aumentare la rigidità delle strutture murarie di fondazione rendendole capaci di resistere anche a trazione.

4. I campi prova: ubicazione, caratterizzazione lito-stratigrafica e geotecnica

4.1. Ubicazione

I campi prova sono stati approntati nell'area meridionale del centro abitato della città dell'Aquila a valle di via XX Settembre, area fortemente danneggiata dal terremoto del 6 aprile 2009.

In tale area (vedi *Figura 1*) sono stati edificati tra gli anni 1950 e 1965, a scopo residenziale, numerosi edifici sia in muratura che in cemento armato. Molti di essi sono collassati o hanno riportati moltissimi danni causando parecchie decine di vittime. Negli undici edifici collassati in questa area si sono avute 135 vittime pari al 44% del totale delle vittime dell'intero cratere sismico.



Figura 1 - Ubicazione dei campi prova (1 e 2)

L'area è stata estensivamente investigata di recente attraverso indagini geotecniche dirette quali sondaggi a carotaggio continuo, prove in sito e prove di laboratorio su campioni prelevati durante le perforazioni di sondaggio (vedi Figura 2).

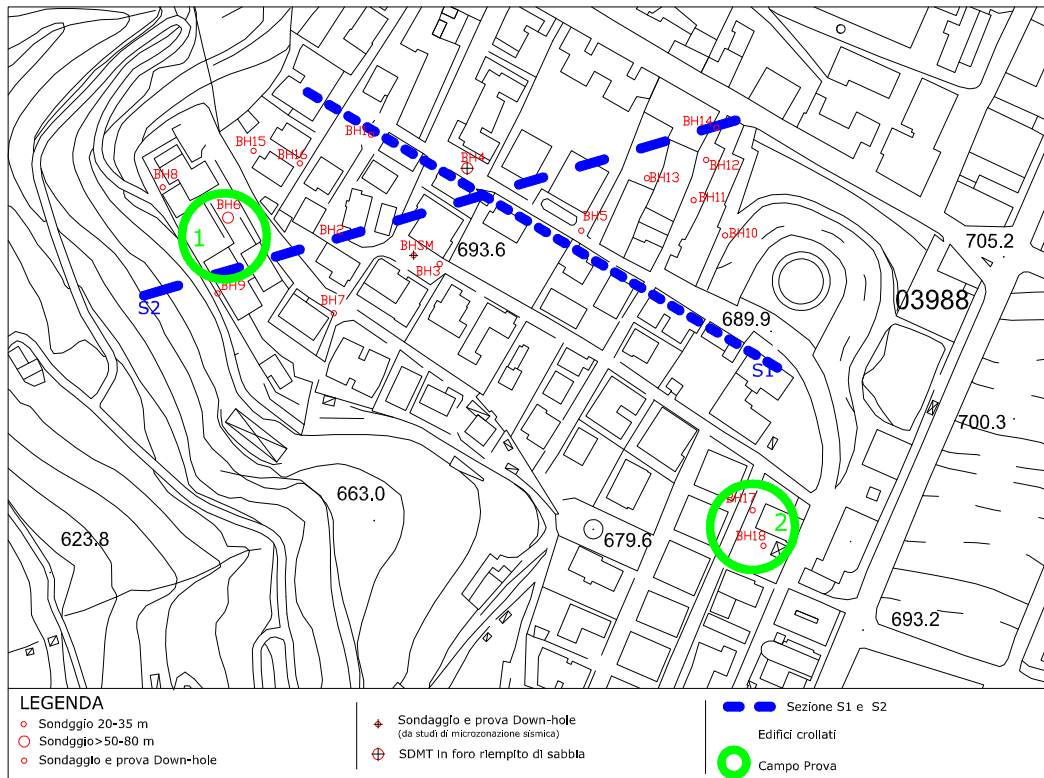
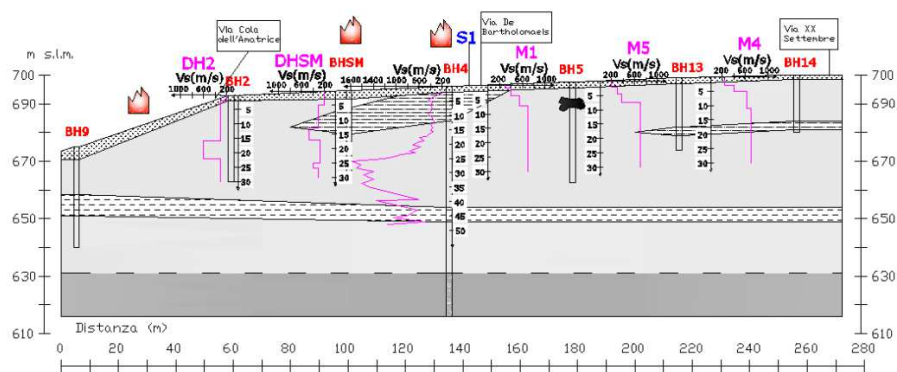
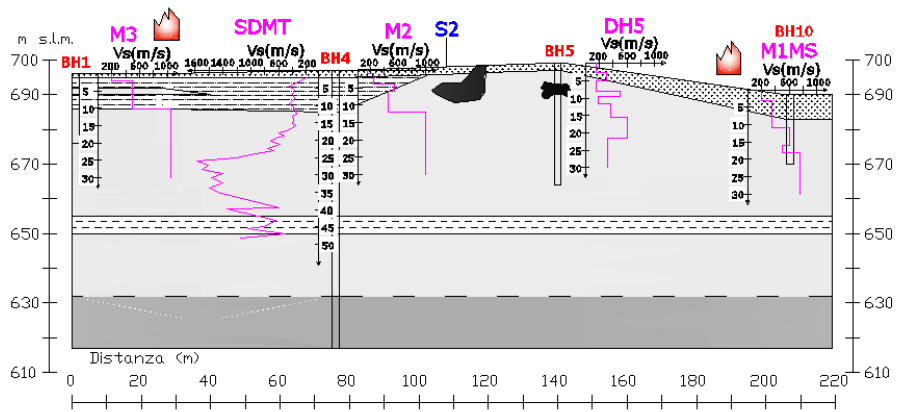


Figura 2 – Indagini nell’area dei campi prova.

Il sottosuolo è costituito da depositi conosciuti come breccie aquilane aventi spessori massimi di 80-100m. che appoggiano su un deposito lacustre di sedimenti a grana fine-media di spessore di 250-270m. che a sua volta poggia su substrato rigido costituito da rocce carbonatiche. La porzione più superficiale del sottosuolo in questa area è irregolarmente condizionata da eterogeneità legate alla presenza di:

- strati limoso-argillosi a luoghi interposti entro le breccie;
- lenti e banchi di terreni residuali a grana fine, conosciuti come terre rosse, frequentemente rilevati nei primi 8-10 m. alla sommità delle breccie;
- materiale di riporto antropico (materiale di scavo, frammenti di laterizio, macerie di varia provenienza, ecc.) con spessori che possono raggiungere a luoghi di 8-10 m. al di sopra delle breccie o al di sopra delle terre rosse.

Sezioni stratigrafiche rappresentative di tale complessità, alla scala dei manufatti, sono mostrati in Figura 3.



LEGENDA

- Riporti
- Limi argillosi
- "Torre rosso"
- Breccie calcaree
- Ghiaia in matrice limoso-sabbiosa (Breccie dell'Aquila)
- Cavità
- Edifici crollati

Figura 3 – sezioni stratigrafiche e geotecniche rappresentative

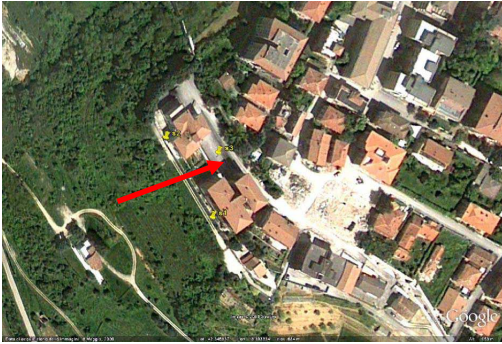
4.2. Caratterizzazione lito-stratigrafica e geotecnica

Informazioni sulla natura del sottosuolo, sulla stratigrafia e sulle proprietà geotecniche dei terreni che lo costituiscono derivano da:

- sondaggi a carotaggio continuo;
- prove penetrometriche SPT;
- prove dilatometriche DMT;
- analisi di laboratorio su campioni prelevati.

Di seguito vengono riportati i risultati della caratterizzazione geotecnica nei due campi prova.

4.2.1. Campo prova 1



Opera		Profondità raggiunta	Tipo Carotaggio		All'estimato Foro			
Edifici di civile abitazione		50 m	continuo di 101 mm		Coordinate			
Località		Quota Ass. P.C.	Inizio/Fine Esecuzione					
Via Cola dell'Amatrice-L'Aquila			Febbraio 2011					
Profondità (m)	Litologia	Descrizione	Spessore strati (m)	%Carotaggio	S.P.T. (n° Colpi)	Profilo Test Magnan	Campioni	Falda
1	[Pattern: Breccie calcaree]	MATERIALE DI RIPORTO costituito da frammenti eterogenei ed eterometrici in matrice sabbioso-limosa. Si riscontra la presenza di frammenti di laterizio. In testa allo strato conglomerato bituminoso.	2.50	%C=70	Rif.			
2					3.00 PC			
3								
4					36-30			
5					6.00 PC			
6								
7								
8					Rif.			
9					9.00 PC			
10								
11					Rif.			
12					12.00 PC			
13								
14								
15	[Pattern: Breccie calcaree]	BRECCIE CALCAREE costituite da frammenti calcarei, spigolosi e subarrotondati, eterometrici (D _{max} >= 3-5 cm), in più o meno abbondante matrice sabbiosa o sabbioso-limosa di colore biancastro o avana, a tratti del tutto assente e a tratti prevalente sulla trazione grossolana.	28.20	%C=90	40-Rif.			
16					15.00 PC			
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25	[Pattern: Limo sabbioso]	LIMO SABBIOSO e SABBIA LIMOSA di colore nocciola-avana.	4.70	%C=100				
26					(segue)			
27	[Pattern: Sabbia limosa]	SABBIA LIMOSA e LIMO SABBIOSO ARGILLOSO di colore grigio.	2.60	%C=100				
28								
29	[Pattern: Limo sabbioso]	LIMO SABBIOSO e SABBIA LIMOSA di colore nocciola-avana.	5.20	%C=100	25-31-Rif.			
30					40.00 PC			
31								
32								
33	[Pattern: Breccie calcaree]	BRECCIE CALCAREE costituite da frammenti calcarei, spigolosi e subarrotondati, eterometrici (D _{max} >= 5-7 cm), in più o meno abbondante matrice sabbiosa o sabbioso-limosa di colore biancastro o avana, a tratti del tutto assente e a tratti prevalente sulla trazione grossolana.	6.80	%C=60				
34								
35								
36								
37								
38								
39								
40								
41								
42								
43								
44								
45								
46								
47								
48								
49								
50								



Fig. 04 Campo prova 1 – Caratterizzazione lito-stratigrafica e geotecnica

4.2.2. Campo prova 2



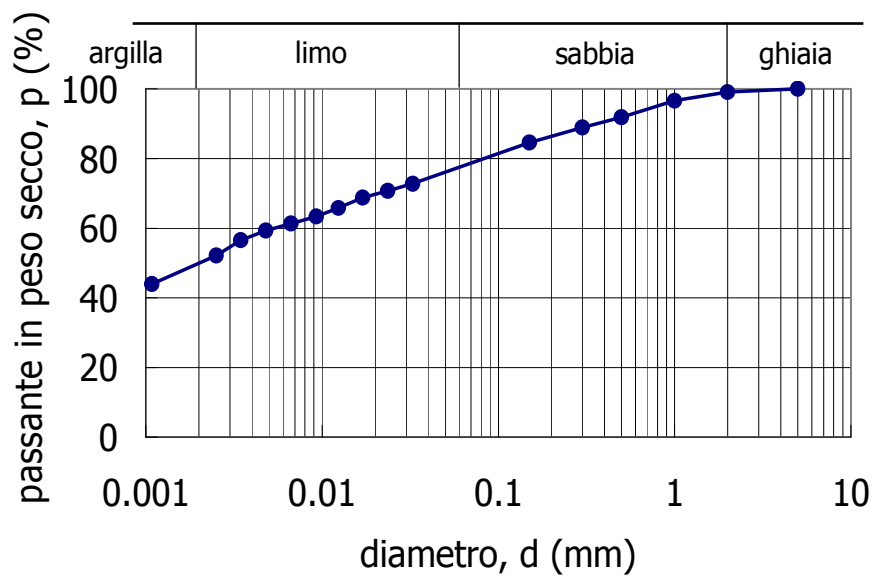
Profondità (m)	Litologia	Descrizione	Spessore strati (m)	%Carotaggio	S.P.T. (n° Colp)	Push Test (kg/cm²)	Campioni	Falda
1		MATERIALE DI RIPORTO costituito da sabbia limosa con inclusi diffusi minuti frammenti eterogenei. Presenti resti vegetali e frammenti di laterizio.	5.00	%C=90	4.4-4			
2					3.00 PC			
3								
4								
5								5.90
6					12-29-38			
7					6.00 PC			
8					16-36-Rif.			
9		BRECCIE CALCAREE costituite da frammenti di natura calcarea, spigolosi e subarrotondati, eterometrici (D _{med} =1 cm, D _{max} =5-6 cm), in più o meno abbondante matrice sabbiosa debolmente limosa di colore avana.	10.00	%C=90	9.00 PC			
10					9.25-48			
11					12.00 PC			
12								
13								
14								
15								
16								



Profondità (m)	Litologia	Descrizione	Spessore strati (m)	%Carotaggio	S.P.T. (n° Colp)	Push Test (kg/cm²)	Campioni	Falda
1		RIPORTO. Frammenti calcarei e di laterizi in matrice sabbioso limosa bruna. Resti vegetali	1.00	%C=80				
2					11-23-46			
3					3.00 PC			
4								
5		BRECCIE CALCAREE. Frammenti calcarei, spigolosi e subarrotondati, eterometrici (D _{med} =1 cm, D _{max} =5-6 cm), in più o meno abbondante matrice sabbiosa debolmente limosa di colore biancastro-avana.	13.30	%C=70	24-48-R			6.10
6					6.00 PC			
7								
8		Nel tratto 1.00-2.40 m la matrice è prevalentemente limosa di colore bruno.			20-39-Rif.			
9					9.00 PC			
10								
11								
12								
13								
14		SABBIA LIMOSA e LIMO SABBIOSO, colore nocciola verdastro.	0.70	%C=90				
15								
16								



Fig. 05 Campo prova 2 – Caratterizzazione lito-stratigrafica e geotecnica



ghiaia	sabbia	limo	argilla	D_{60}	D_{10}
%	%	%	%	(mm)	(mm)
0	22.5	27.5	50	0.0065	-

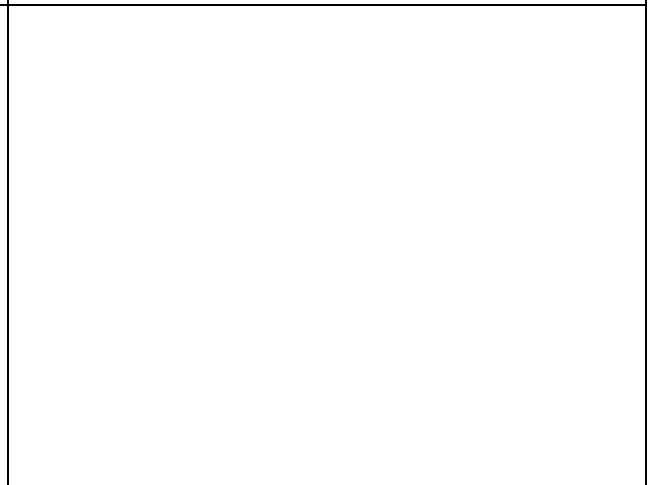
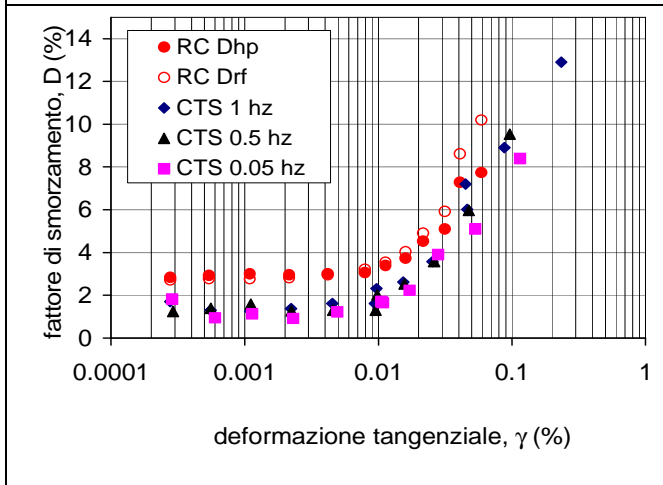
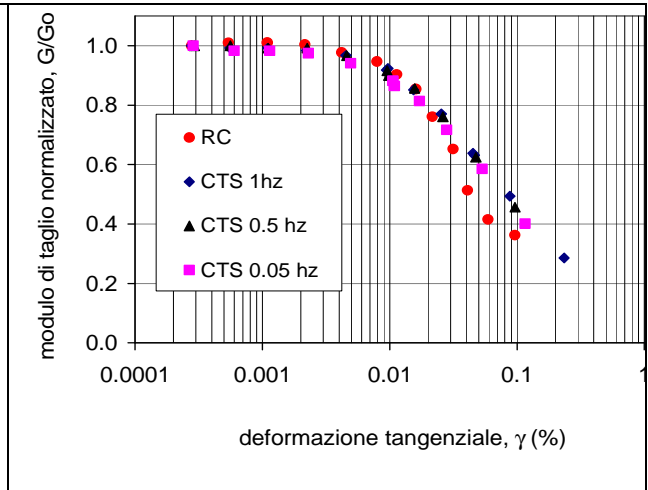
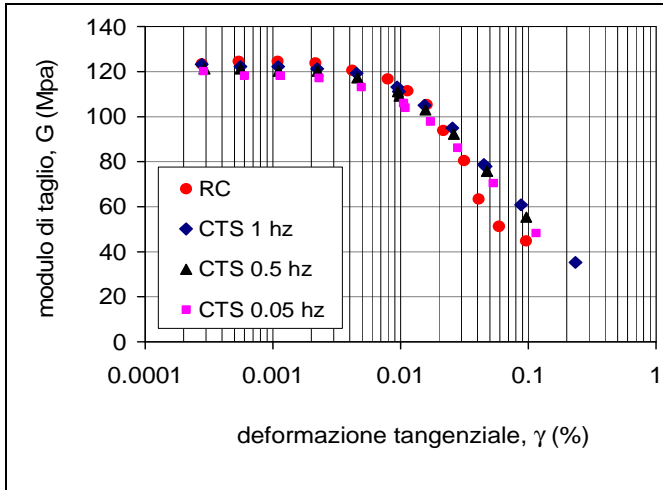
Classificazione: *Argilla con limo sabbiosa*

Limiti di Atterberg

w_p	w_l	I_p
(%)	(%)	(%)
22.4	53.5	31.1

Caratteristiche fisiche generali del campione

D	H	V	γ	w	γ_d	e	S_r	p'
(mm)	(mm)	(cm ³)	(kN/m ³)	(%)	(kN/m ³)		(%)	(kPa)
35.43	72.23	71.18	19.10	25.23	15.25	0.73	0.92	100



4.3. Disposizione dei minipali

I due campi prova consistono ognuno di nove minipali Geo-System® tipo Rm 38/16 disposti secondo la maglia indicata in figura.

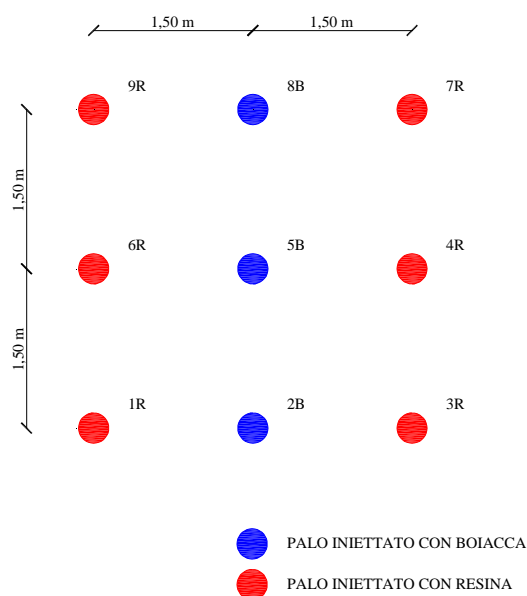
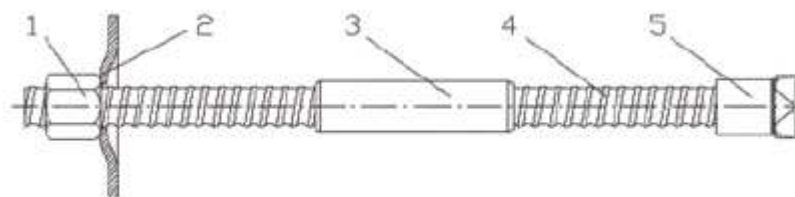


Fig. 06 Campo prova 1,2 – disposizione dei minipali

I pali hanno tutti la lunghezza di 6,00 m. e sono stati realizzati seguendo il procedimento proposto dalla Edilsystem, dettagliatamente descritto nel punto successivo. Alcuni di essi sono stati iniettati con boiacca di cemento ed altri con resina. Nella figura la lettera R simboleggia il minipalo iniettato con resina e la lettera B il minipalo iniettato con boiacca di cemento.

4.4. Modalità esecutive dei minipali

I minipali, sono stati eseguiti attraverso l'inserimento mediante roto-percussione di barre di acciaio cave (la prima della quale porta la punta di perforazione) di lunghezza di 1,00 m collegate attraverso manicotti di giunzione. Alla testa del palo è stato realizzato un tappo mediante colatura di boiacca, per evitare il ritorno in superficie del materiale iniettato. Infine attraverso tubi in rame è stata effettuata l'iniezione con boiacca di cemento o con resina poliuretana.



(1) Dado di ancoraggio (2) Piastra (3) Manicotto (4) Barra (5) Punta

Fig. 07 Schema minipalo Geo-System® tipo Rm 38

Modello		Rm32/24	Rm32/20	Rm32/15	Rm38/16	Rm51/29
Filetto tipo		R 32	R 32	R 32	R 38	R 51
Diametro est	mm	32	32	32	38	51
Diametro int	mm	24	20	14	16	28
Sezione	mm ² /q	367	455	569	819	1220
Carico di rottura	kn	250	300	415	540	840
Limite elastico	kn	200	250	350	450	700
Peso	kg/m	2,9	3,6	4,5	6,2	9,5

Tab. 01 caratteristiche del minipalo utilizzato nei campi di prova

5. Attrezzature e dispositivi per le prove di carico

5.1. Dispositivi per l'applicazione e per la misura del carico

Il carico è stato applicato mediante martinetto idraulico, con corsa di 260 mm. 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. Martinetto e pompa idraulica sono stati entrambi preventivamente tarati prima di dare inizio al programma di prova.



Foto 1 . Dispositivi per l'applicazione e la misura del carico

Il martinetto utilizzato è un martinetto cavo modello CRI-FO le cui caratteristiche sono riassunte nella tabella seguente

Modello	Corsa (mm)	Forza Max (kN)	Sezione (cm ²)	Volume (cm ³)	Massa (Kg)
CRI30/260-FO	260	295,3	42,2	1097	26,4

Tab. 02 caratteristiche del martinetto utilizzato per le prove di infissione (compressione) e sfilamento (trazione)

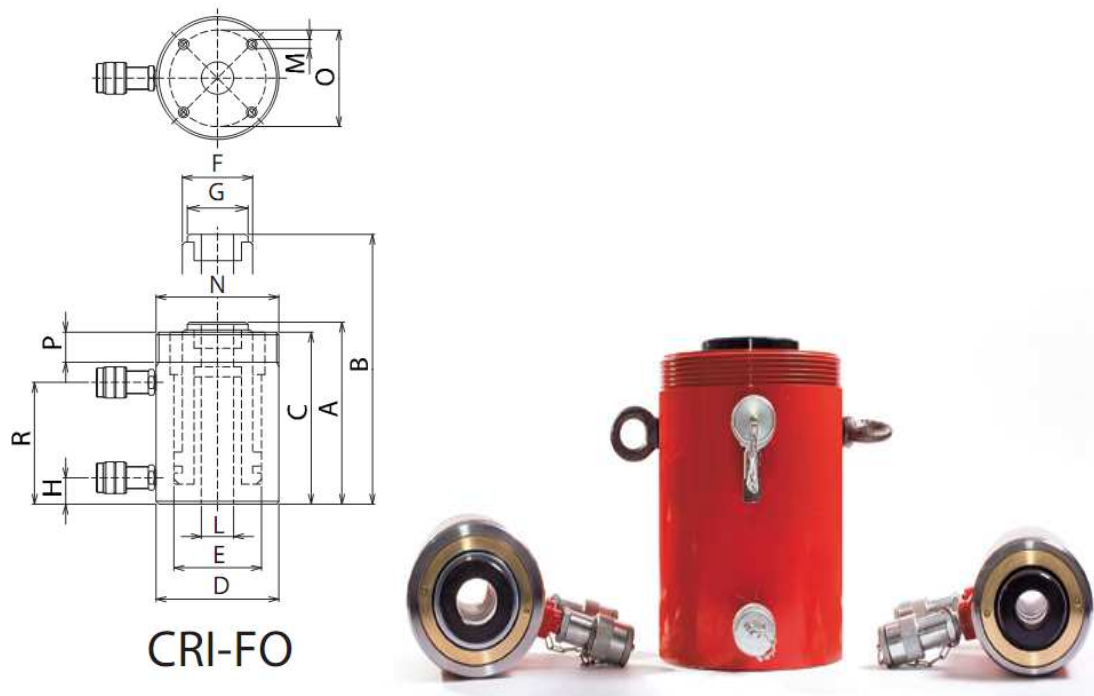


Fig. 08 martinetto utilizzato per l'esecuzione delle prove carico di infissione (compressione) e sfilamento (trazione)

Le foto seguenti mostrano il martinetto e la struttura di contrasto utilizzata per l'esecuzione delle prove nei due campi. Essa 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.



Foto 2 . Prova di carico tramite infissione (compressione) Campo 1



Foto 3 . Prova di carico tramite sfilamento (trazione) Campo 1



Foto 4 . prova di carico tramite infissione (compressione) Campo 2



Foto 5 . Prova di carico tramite sfilamento (trazione) Campo 2

5.2. Dispositivi per la misura dei cedimenti.

Sono stati utilizzati tre comparatori centesimali, con corsa massima di 50 mm. disposti per misurare lo spostamento in testa del palo sottoposto a prova e dei due pali utilizzati per il contrasto della struttura di prova. 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. I comparatori utilizzati sono dei comparatori analogici del tipo raffigurato nella figura seguente.

Comparatori analogici

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	Uno giro di lancetta	Forza di misura-max N	Forza di misura-min N	Isteresi forza di misura N	Massa g	Note
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	

Stigla SB fondello piatto - Stigla S-fondello con asta (specificare in sede di ordine)

N°	A mm	B mm	C mm	D mm	E 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 1583		DIN EN ISO 4637 / DIN 878 2006				
	Limite di accuratezza del display						
	f_1 µm	f_2 µm	f_3 µm	ogni 1/10 di giro	ogni 1/10 di giro	ogni 1 giro	Scalatura di misura
3109 SB-10	3	5	2	2,5	4	4,5	5
3046 SB	15	17	1	5,0	9	10,0	15
3047 SB	15	17	3	5,0	9	10,0	15

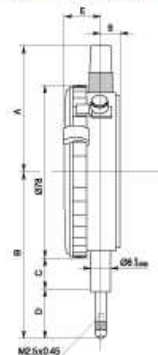


Fig. 09 dispositivi per la misura dei cedimenti

6. Programma di carico

Sono stati applicati gradini di carico successivi aumentando di volta in volta la pressione alla pompa idraulica del martinetto di 100 bar. In corrispondenza di ciascun gradino di carico sono state eseguite le misure dei cedimenti della testa del palo di prova attendendo il tempo necessario per la sua stabilizzazione. Contemporaneamente sono stati tenuti sotto controllo gli altri comparatori per accertarsi della immobilità dei pali di contrasto. Ad ogni gradino di carico è seguito lo scarico fino a riportare a 0 bar la pressione alla pompa idraulica e quindi a 0 kN la forza trasmessa al palo dal martinetto. Sono stati eseguiti normalmente gradini di carico nella sequenza riportata in tabella

Pressione misurata al manometro della pompa idraulica (bar)	Forza trasferita al palo mediante il martinetto (kN)
0	0
100	142,9
0	0
200	285,8
0	0
300	428,7
0	0
400	571,6
0	0
500	714,5
0	0
600	857,4
0	0
700	1000,3
0	0
800	1143,2
0	0

Tab. 03 programma di carico

7. Risultati

I risultati mostrati di seguito si riferiscono alle prove di carico (infissione e sfilamento) eseguite su minipalo Geo-System® tipo Rm 38 di lunghezza $L = 6,00$ m.

Nei grafici con i tratti neri sono indicate le curve carico-cedimento, mentre con i tratti rossi sono indicati gli scarichi relativi ai vari gradini di carico.

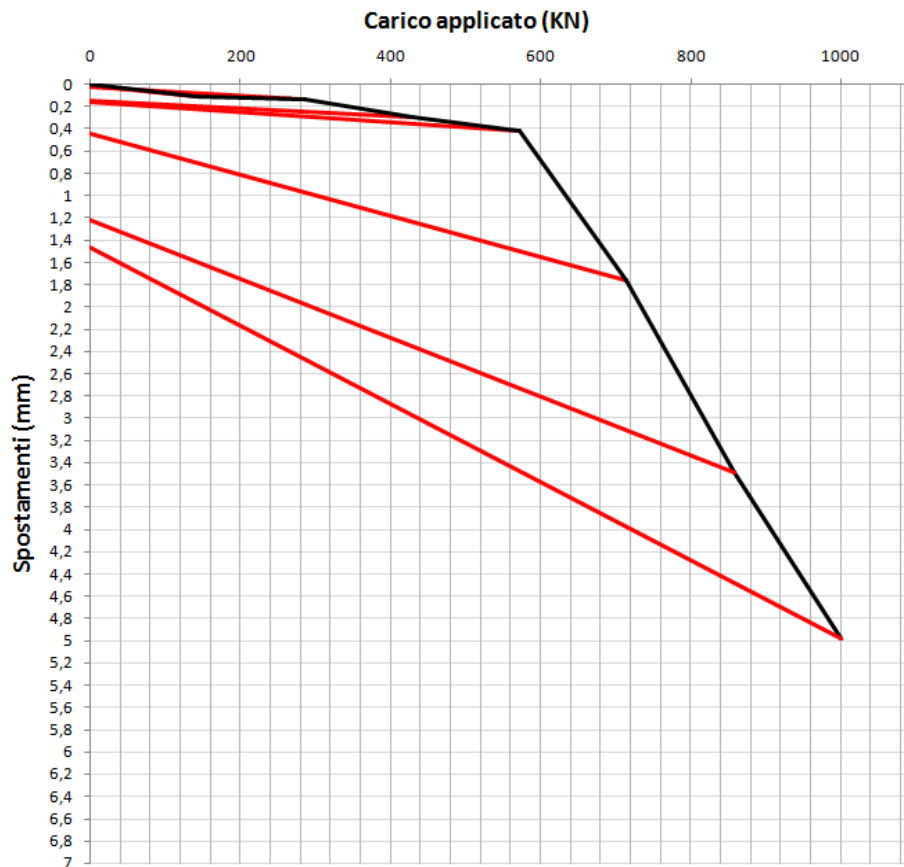
CAMPO PROVE 1

TIPOLOGIA PROVA					
SFILAMENTO			INFISSIONE		CARICO
X					
PALO CARICO N° 4 INIETTATO CON RESINA					
TIPOLOGIA MARTINETTO			1000	BAR	
	PALO CARICO B	PALO A CONTROLLO	PALO C CONTROLLO		
BAR	mm	mm	mm	kN	Kg
0	0,000	0,000	0,000	0	0
100	0,111	0,009	0,000	142,9	14290
0	0,004	0,000	0,000	0	0
200	0,134	0,011	0,021	285,8	28580
0	0,023	0,012	0,000	0	0
300	0,294	0,010	0,055	428,7	42870
0	0,144	0,034	0,033	0	0
400	0,411	0,039	0,012	571,6	57160
0	0,158	0,157	0,032	0	0
500	1,762	0,165	0,000	714,5	0
0	0,439	0,201	0,000	0	0
600	3,491	0,199	0,133	857,4	85740
0	1,221	0,199	0,134	0	0
700	4,987	0,199	0,136	1000,3	100030
0	1,468	0,231	0,132	0	0
800	6,982	0,236	0,132	1143,2	114320
0	5,021	0,253	0,199	0	0

Lunghezza minipalo: L= 6,00m

CAMPO PROVE 1

PALO 4 (iniettato con resina) - Prova di sfilamento



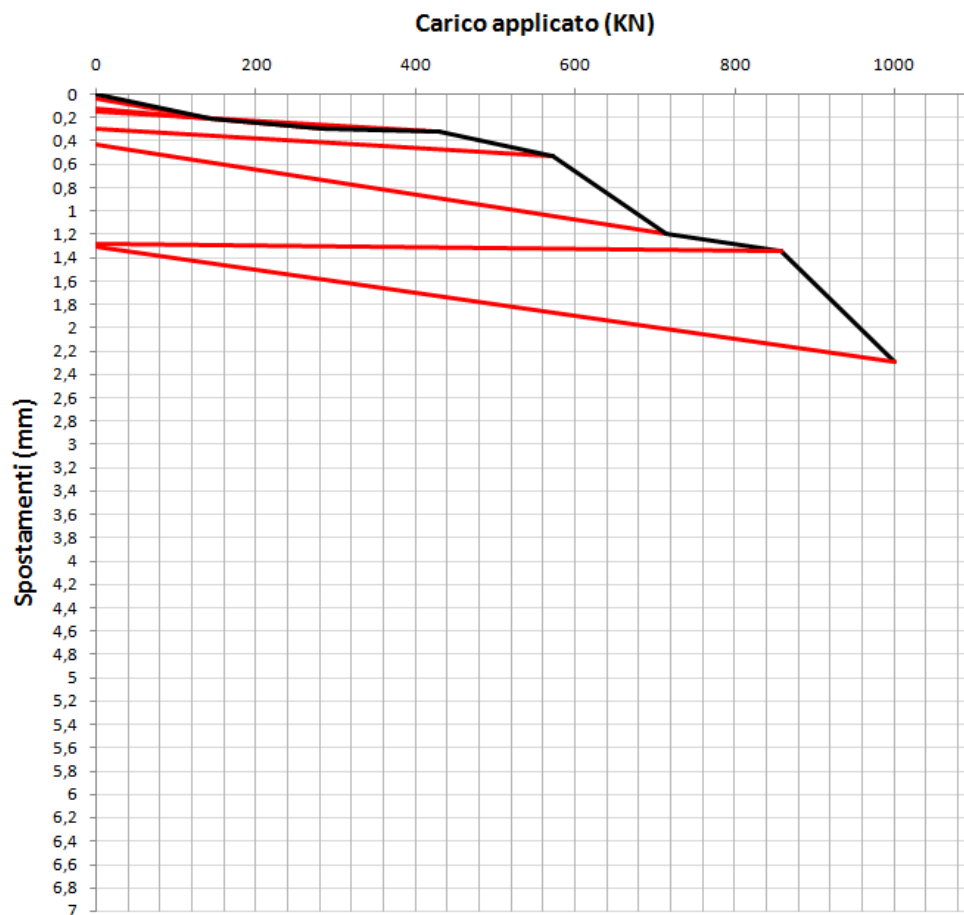
CAMPO PROVE 1

TIPOLOGIA PROVA					
SFILAMENTO			INFISSIONE		CARICO
X					
PALO CARICO N° 7 INIETTATO CON RESINA					
TIPOLOGIA MARTINETTO					
	PALO CARICO B		PALO A CONTROLLO		1000 BAR
BAR	mm	mm	mm	mm	kN / Kg
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0 / 0
100	0,211	0,002	0,005	0,005	142,9 / 14290
0	0,032	0,000	0,001	0,001	0 / 0
200	0,296	0,011	0,022	0,022	285,8 / 28580
0	0,121	0,000	0,013	0,013	0 / 0
300	0,321	0,015	0,012	0,012	428,7 / 42870
0	0,141	0,019	0,012	0,012	0 / 0
400	0,527	0,011	0,019	0,019	571,6 / 57160
0	0,298	0,018	0,021	0,021	0 / 0
500	1,191	0,101	0,000	0,000	714,5 / 0
0	0,433	0,101	0,000	0,000	0 / 0
600	1,343	0,100	0,110	0,110	857,4 / 85740
0	1,276	0,109	0,100	0,100	0 / 0
700	2,291	0,104	0,111	0,111	1000,3 / 100030
0	1,299	0,104	0,106	0,106	0 / 0
800	2,428	0,100	0,108	0,108	1143,2 / 114320
0	2,021	0,103	0,110	0,110	0 / 0

Lunghezza minipalo: L= 6,00m

CAMPO PROVE 1

PALO 7 (iniettato con resina) - Prova di sfilamento



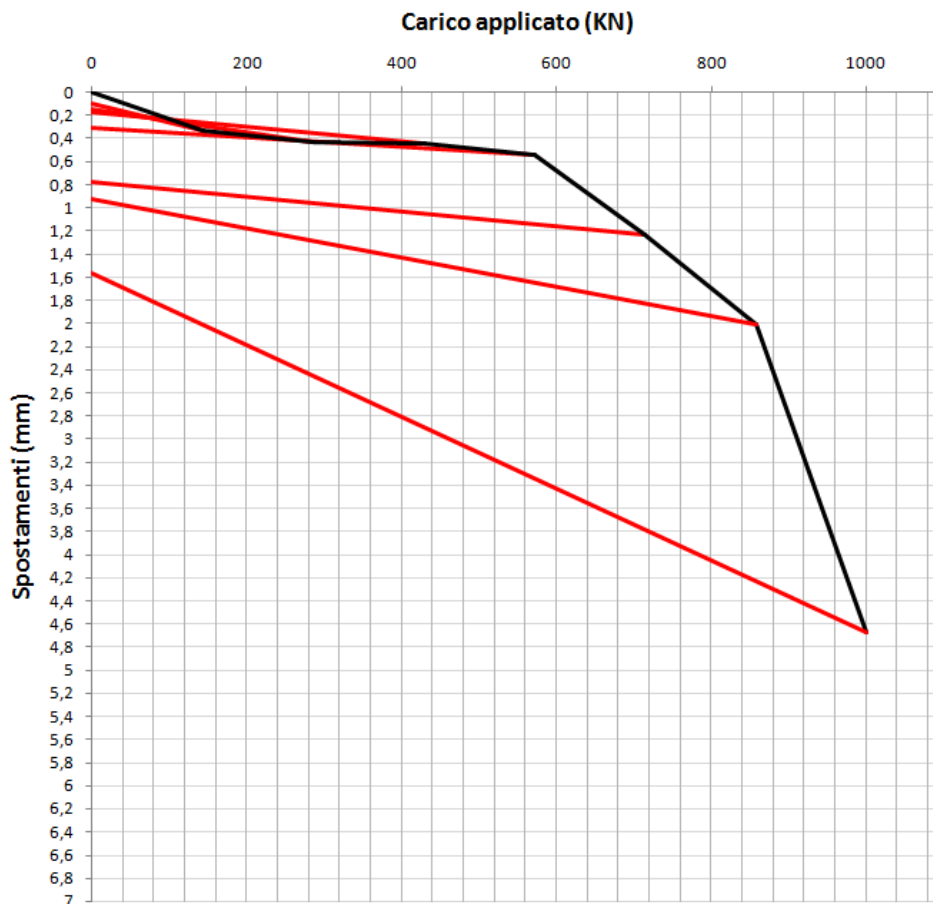
CAMPO PROVE 1

TIPOLOGIA PROVA					
SFILAMENTO			INFISSIONE		CARICO
X					
PALO N° 8 INIETTATO CON BOIACCA					
TIPOLOGIA MARTINETTO					
	1000	BAR			
	PALO CARICO B	PALO A CONTROLLO	PALO C CONTROLLO		
BAR	mm	mm	mm	kN	Kg
0	0,000	0,000	0,000	0	0
100	0,331	0,009	0,000	142,9	14290
0	0,094	0,000	0,000	0	0
200	0,426	0,011	0,021	285,8	28580
0	0,151	0,012	0,000	0	0
300	0,439	0,010	0,055	428,7	42870
0	0,171	0,034	0,033	0	0
400	0,538	0,039	0,012	571,6	57160
0	0,310	0,065	0,032	0	0
500	1,231	0,083	0,101	714,5	71450
0	0,770	0,099	0,108	0	0
600	2,003	0,100	0,201	857,4	85740
0	0,923	0,100	0,188	0	0
700	4,676	0,112	0,183	1000,3	100030
0	1,559	0,122	0,182	0	0
800	5,908	0,132	0,162	1143,2	114320
0	3,205	0,123	0,162	0	0

Lunghezza minipalo: L= 6,00m

CAMPO PROVE 1

PALO 8 (iniettato con boiacca) - Prova di sfilamento



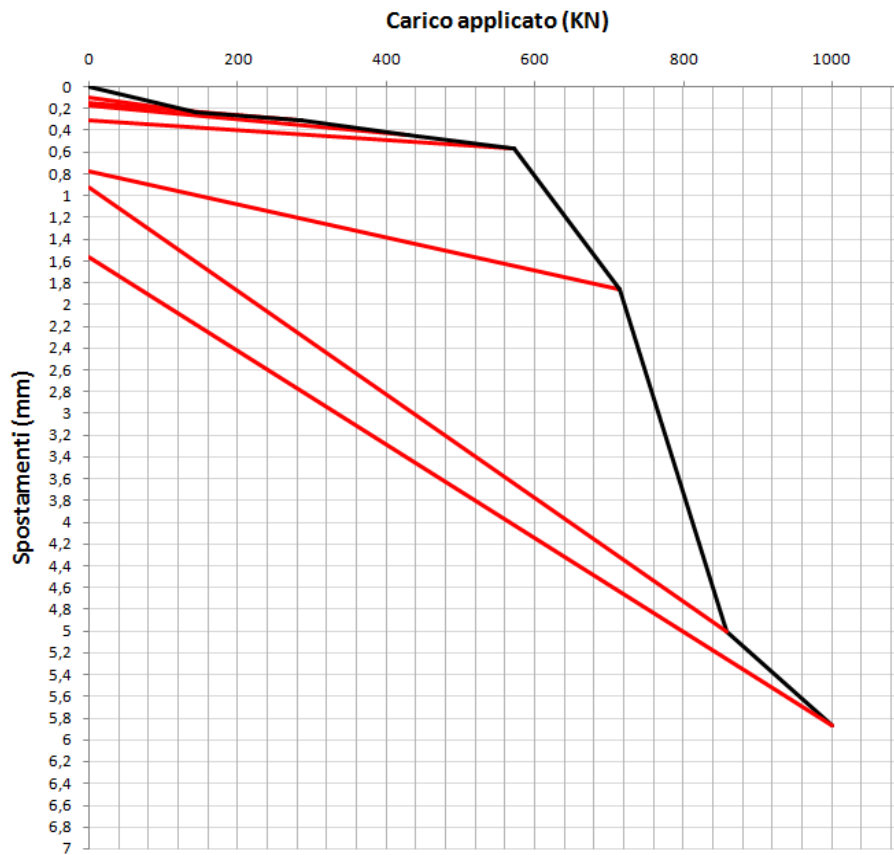
CAMPO PROVE 1

TIPOLOGIA PROVA								
SFILAMENTO				INFISSIONE				
X								
PALO N° 5 INIETTATO CON BOIACCA								
TIPOLOGIA MARTINETTO				1000		BAR		CARICO
PALO CARICO B		PALO A CONTROLLO		PALO C CONTROLLO				
BAR	mm	mm	mm	mm	kN	Kg		
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0	0		
100	0,231	0,018	0,000	0,000	142,9	14290		
0	0,084	0,000	0,000	0,000	0	0		
200	0,311	0,015	0,011	0,011	285,8	28580		
0	0,134	0,000	0,010	0,010	0	0		
300	0,436	0,010	0,029	0,029	428,7	42870		
0	0,155	0,034	0,033	0,033	0	0		
400	0,560	0,039	0,015	0,015	571,6	57160		
0	0,331	0,100	0,016	0,016	0	0		
500	1,861	0,177	0,190	0,190	714,5	71450		
0	0,679	0,316	0,198	0,198	0	0		
600	5,011	0,400	0,200	0,200	857,4	85740		
0	1,531	0,518	0,198	0,198	0	0		
700	5,867	0,512	0,190	0,190	1000,3	100030		
0	1,695	0,562	0,190	0,190	0	0		
800	5,191	0,565	0,190	0,190	1143,2	114320		
0	4,821	0,567	0,199	0,199	0	0		

Lunghezza minipalo: L= 6,00m

CAMPO PROVE 1

PALO 5 (iniettato con boiacca) - Prova di sfilamento



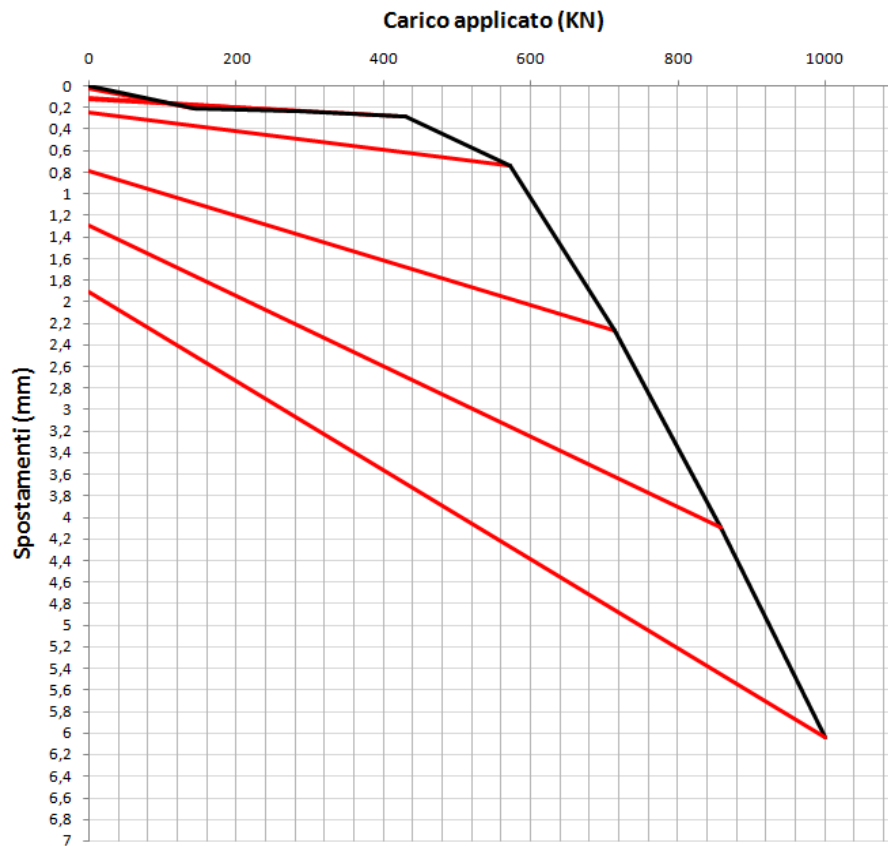
CAMPO PROVE 1

SFILAMENTO		INFISSIONE					
		X					
PALO N° 8 INIETTATO CON BOIACCA						CARICO	
TIPOLOGIA MARTINETTO				1000	BAR		
	PALO CARICO B	PALO A CONTROLLO		PALO C CONTROLLO			
BAR	mm	mm		mm		kN	Kg
0	0,000	0,011		0,000		0	0
100	0,212	0,019		0,000		142,9	14290
0	0,021	0,004		0,000		0	0
200	0,234	0,001		0,021		285,8	28580
0	0,112	0,012		0,000		0	0
300	0,276	0,000		0,000		428,7	42870
0	0,122	0,021		0,000		0	0
400	0,735	0,019		0,000		571,6	57160
0	0,243	0,018		0,023		0	0
500	2,270	0,177		0,031		714,5	71450
0	0,792	0,316		0,030		0	0
600	4,091	0,400		0,031		857,4	85740
0	1,287	0,518		0,032		0	0
700	6,040	0,512		0,031		1000,3	100030
0	1,912	0,532		0,031		0	0
800	7,191	0,562		0,039		1143,2	114320
0	5,440	0,523		0,040		0	0

Lunghezza minipalo: L= 6,00m

CAMPO PROVE 1

PALO 8 (iniettato con boiacca) - Prova di infissione



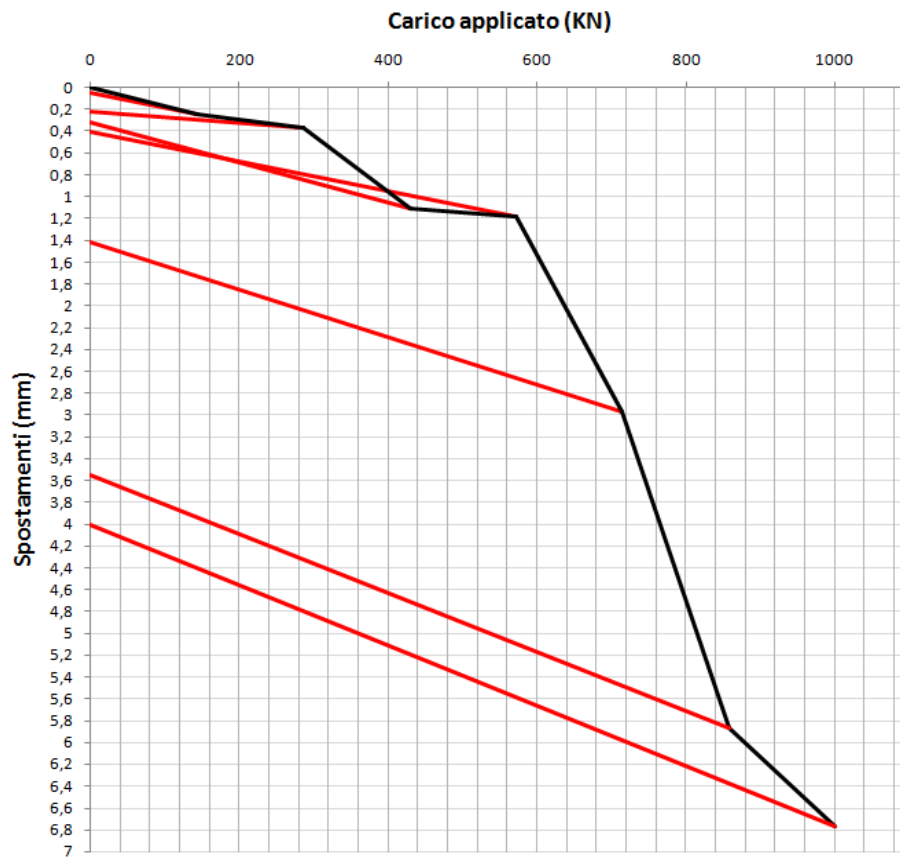
CAMPO PROVE 2

TIPOLOGIA PROVA							
SFILAMENTO				INFISSIONE			
X							
TIPOLOGIA MARTINETTO				1000	BAR	CARICO	
PALO N° 5 INIETTATO CON RESINA							
BAR	mm	mm	mm	mm	kN	Kg	
0	0,000		0,000		0,000	0	0
100	0,247		0,012		0,000	142,9	14290
0	0,043		0,001		0,100	0	0
200	0,365		0,000		0,133	285,8	28580
0	0,216		0,000		0,116	0	0
300	1,110		0,097		0,213	428,7	42870
0	0,313		0,098		0,264	0	0
400	1,176		0,100		0,271	571,6	57160
0	0,409		0,100		0,299	0	0
500	2,967		0,101		0,311	714,5	71450
0	1,410		0,200		0,305	0	0
600	4,011		0,417		0,322	857,4	85740
0	3,550		0,721		0,344	0	0
700	6,772		0,790		0,359	1000,3	100030
0	4,010		0,810		0,355	0	0
800	9,254		0,815		0,388	1143,2	114320
0	6,333		0,816		0,401	0	0

Lunghezza minipalo: L= 6,00m

CAMPO PROVE 2

PALO 5 (iniettato con resina) - Prova di sfilamento



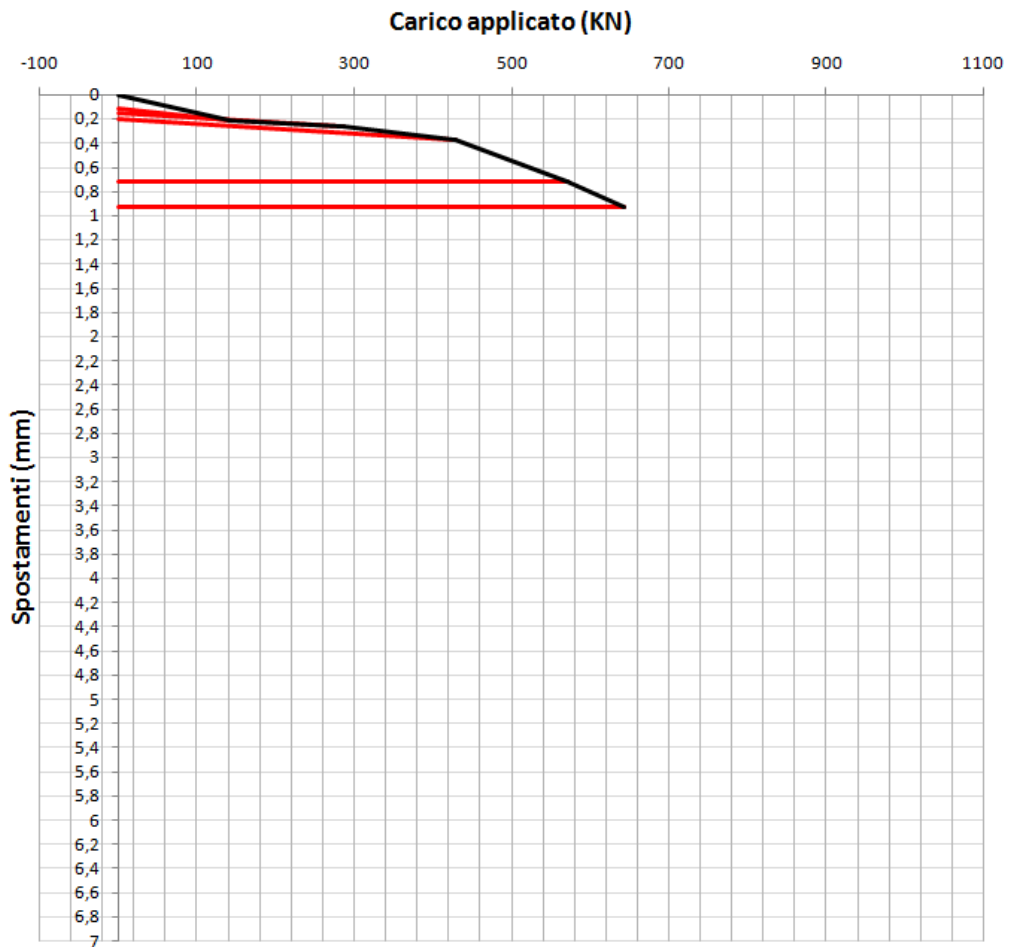
CAMPO PROVE 2

TIPOLOGIA PROVA										
SFILAMENTO					INFISSIONE					
X										
PALO N° 1 INIETTATO CON RESINA										
TIPOLOGIA MARTINETTO					1000	BAR	CARICO			
BAR	mm		mm		mm	mm	kN	Kg		
0	0,000		0,000			0,000	0	0		
100	0,216		0,001			0,000	142,9	14290		
0	0,111		0,000			0,000	0	0		
200	0,269		0,003			0,000	285,8	28580		
0	0,154		0,000			0,022	0	0		
300	0,372		0,000			0,024	428,7	42870		
0	0,199		0,000			0,010	0	0		
400	0,721		0,017			0,019	571,6	57160		
0	0,200		0,019			0,000	0	0		
450	0,937		0,015			0,000	643,05	64305		
0	0,385		0,023			0,000	0	0		
500	ESPULSIONE DEL VITONE DI CONTRASTO							714,5	71450	

Lunghezza minipalo: L= 6,00m

CAMPO PROVE 2

PALO 1 (iniettato con resina) - Prova di sfilamento



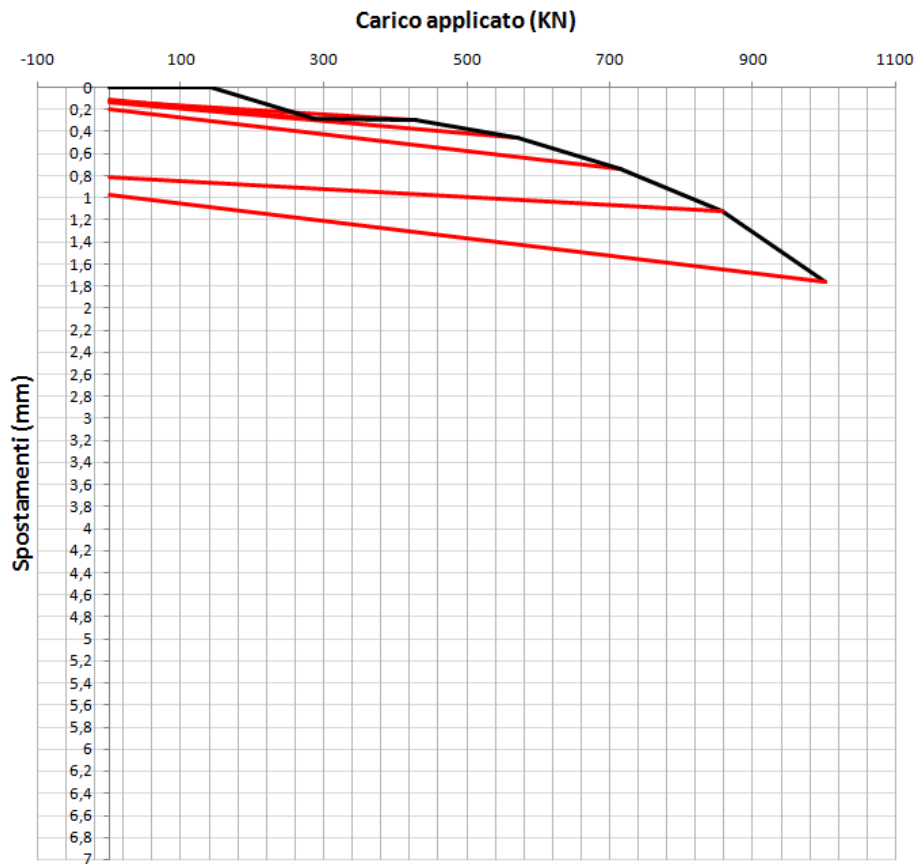
CAMPO PROVE 2

TIPOLOGIA PROVA									
SFILAMENTO					INFISSIONE				
X									
PALO N° 2 INIETTATO CON BOIACCA									
TIPOLOGIA MARTINETTO					1000	BAR	CARICO		
BAR	mm	mm	mm	mm		mm	kN	Kg	
0	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0	0	
100	0,000	0,009	0,000	0,000		0,000	142,9	14290	
0	0,000	0,016	0,000	0,000		0,000	0	0	
200	0,277	0,007	0,000	0,000		0,000	285,8	28580	
0	0,108	0,005	0,000	0,023		0,023	0	0	
300	0,296	0,008	0,000	0,000		0,000	428,7	42870	
0	0,122	0,000	0,000	0,011		0,011	0	0	
400	0,455	0,015	0,000	0,016		0,016	571,6	57160	
0	0,139	0,014	0,000	0,021		0,021	0	0	
500	0,732	0,022	0,000	0,034		0,034	714,5	71450	
0	0,198	0,023	0,000	0,079		0,079	0	0	
600	1,121	0,054	0,000	0,101		0,101	857,4	85740	
0	0,812	0,061	0,000	0,099		0,099	0	0	
700	1,761	0,071	0,000	0,111		0,111	1000,3	100030	
0	0,967	0,100	0,000	0,111		0,111	0	0	
800	3,690	0,102	0,000	0,122		0,122	1143,2	114320	
0	2,881	0,130	0,000	0,120		0,120	0	0	

Lunghezza minipalo: L= 6,00m

CAMPO PROVE 2

PALO 2 (iniettato con boiacca) - Prova di sfilamento

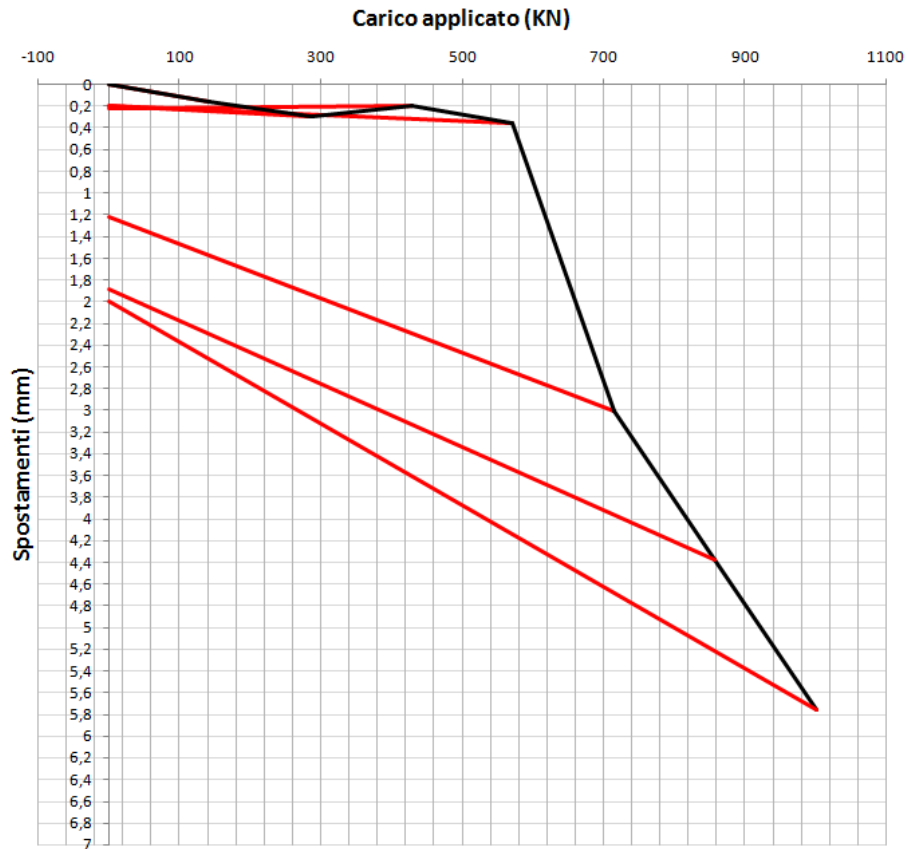


CAMPO PROVE 2

TIPOLOGIA PROVA								
SFILAMENTO			INFISSIONE					
X								
PALO N° 3 INIETTATO CON RESINA								
TIPOLOGIA MARTINETTO						CARICO		
BAR	mm	mm	1000	BAR	mm	kN	Kg	
0	0,000	0,000		0,000		0	0	
100	0,159	0,000		0,005		142,9	14290	
0	0,000	0,005		0,006		0	0	
200	0,292	0,013		0,007		285,8	28580	
0	0,197	0,013		0,012		0	0	
300	0,199	0,012		0,018		428,7	42870	
0	0,217	0,015		0,015		0	0	
400	0,354	0,013		0,014		571,6	57160	
0	0,199	0,018		0,019		0	0	
500	3,012	0,019		0,021		714,5	71450	
0	1,213	0,016		0,030		0	0	
600	4,380	0,076		0,089		857,4	85740	
0	1,890	0,120		0,102		0	0	
700	5,761	0,201		0,101		1000,3	100030	
0	1,998	0,421		0,131		0	0	
800	8,329	0,576		0,142		1143,2	114320	
0	4,910	0,582		0,140		0	0	

Lunghezza minipalo: L= 6,00m

CAMPO PROVE 2 PALO 3 (iniettato con resina) - Prova di infissione



Osservazioni dirette sui terreni consolidati

Al termine della sperimentazione è stato eseguito uno scavo a cielo aperto per ispezionare il terreno circostante i minipali. La relativa documentazione fotografica evidenzia l'effetto delle iniezioni: miglioramento del terreno dovuto al riempimento dei vuoti tra i granuli, ed alla cementazione tra i granuli stessi. E' evidente l'aumento di consistenza globale del terreno circostante i minipali..



Foto 6,7 . Campo prova 1 : Scavo a fine prova sul minipalo 4R iniettato con resina



Foto 7,8 . Campo prova 1 : Scavo a fine prova sul minipalo 8B iniettato con boiaccia

8. Commenti e considerazioni finali

La sperimentazione condotta ha consentito di documentare il comportamento dei minipali Geo-System® tipo Rm 38 di lunghezza $L = 6,00$ m eseguiti nella parte superficiale della formazione delle breccie dell'Aquila. I risultati evidenziano la potenzialità della tecnologia quale mezzo per il consolidamento del sistema terreno-fondazioni.

Il sistema minipalo-terreno sia se sottoposto ad infissione (compressione) che a sfilamento (trazione). Mostra un'elevata portata laterale.

In particolare, pali lunghezza $L = 6,00$ m. se vengono caricati fino a circa 600 kN subiscono cedimenti inferiori a 0,5mm, e se caricati fino a 1000kN subiscono cedimenti che non superano i 5-6 mm.

Per la tipologia di terreno su cui sono state effettuate le prove, (ghiaie e ciottoli in più o meno abbondante matrice sabbiosa-limoso), in fase di calcolo e/o di verifica, può essere utilizzato il valore del limite elastico relativo alle caratteristiche del minipalo secondo le indicazioni riportate nella Tab. 1.