



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
Mario Emiliani

Il Responsabile Scientifico

Prof. Ing. Gianfranco Totani

Gianfranco Totani

Il Direttore del Dipartimento

Prof. Ing. Dante Galeota

Dante Galeota



GEOSYSTEM®
MINIPALOTECHNOLOGY

è un marchio



® Sistema innovativo coperto da brevetto italiano



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI L'AQUILA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE - ARCHITETTURA ED
AMBIENTALE

Laboratorio Prove Materiali, Strutture e Terreno

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.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI L'AQUILA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE - ARCHITETTURA ED
AMBIENTALE

Laboratorio Prove Materiali, Strutture e 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 variegatae 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 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 recupero degli edifici in muratura danneggiati dal sisma

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



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI L'AQUILA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE - ARCHITETTURA ED AMBIENTALE

Laboratorio Prove Materiali, Strutture e Terreno

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 rigidezza 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)



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI L'AQUILA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE - ARCHITETTURA ED AMBIENTALE

Laboratorio Prove Materiali, Strutture e Terreno

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).

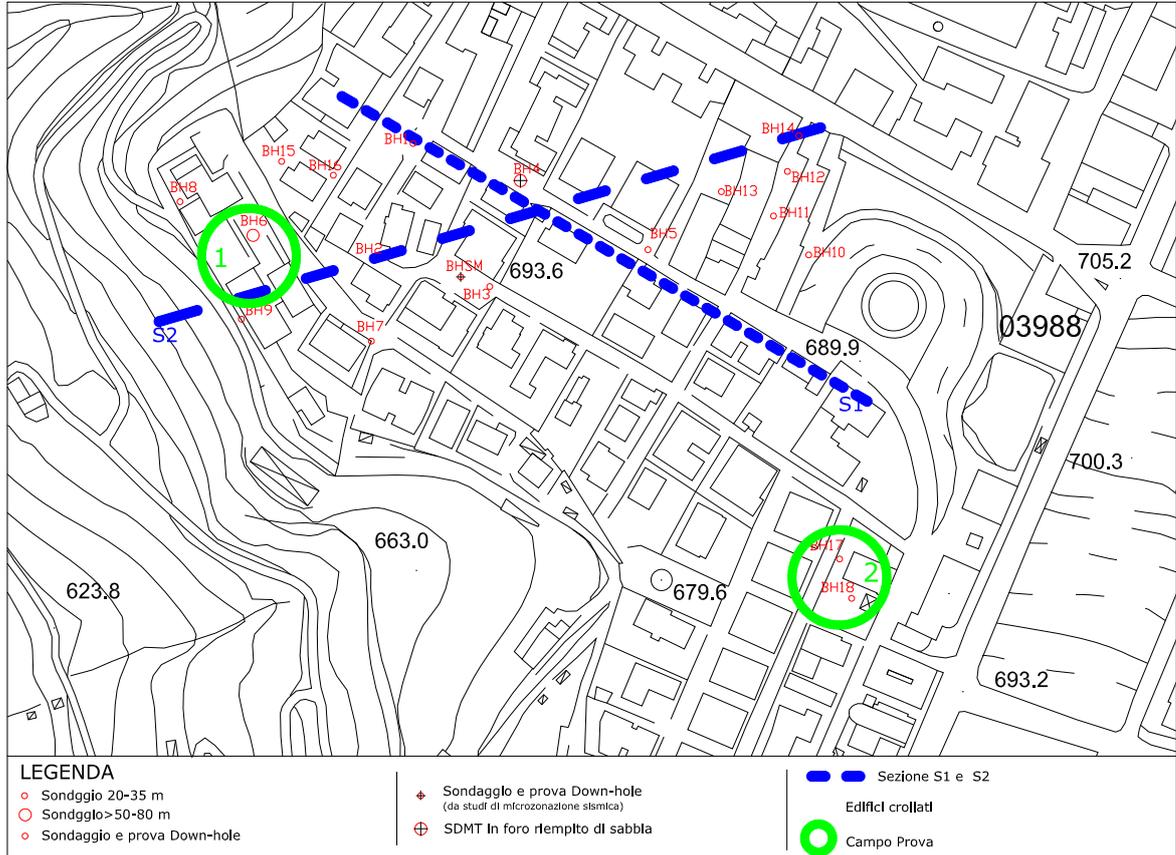


Figura 2 – Indagini nell'area dei campi prova.

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 carbonati che. 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



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI L'AQUILA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE - ARCHITETTURA ED AMBIENTALE

Laboratorio Prove Materiali, Strutture e Terreno

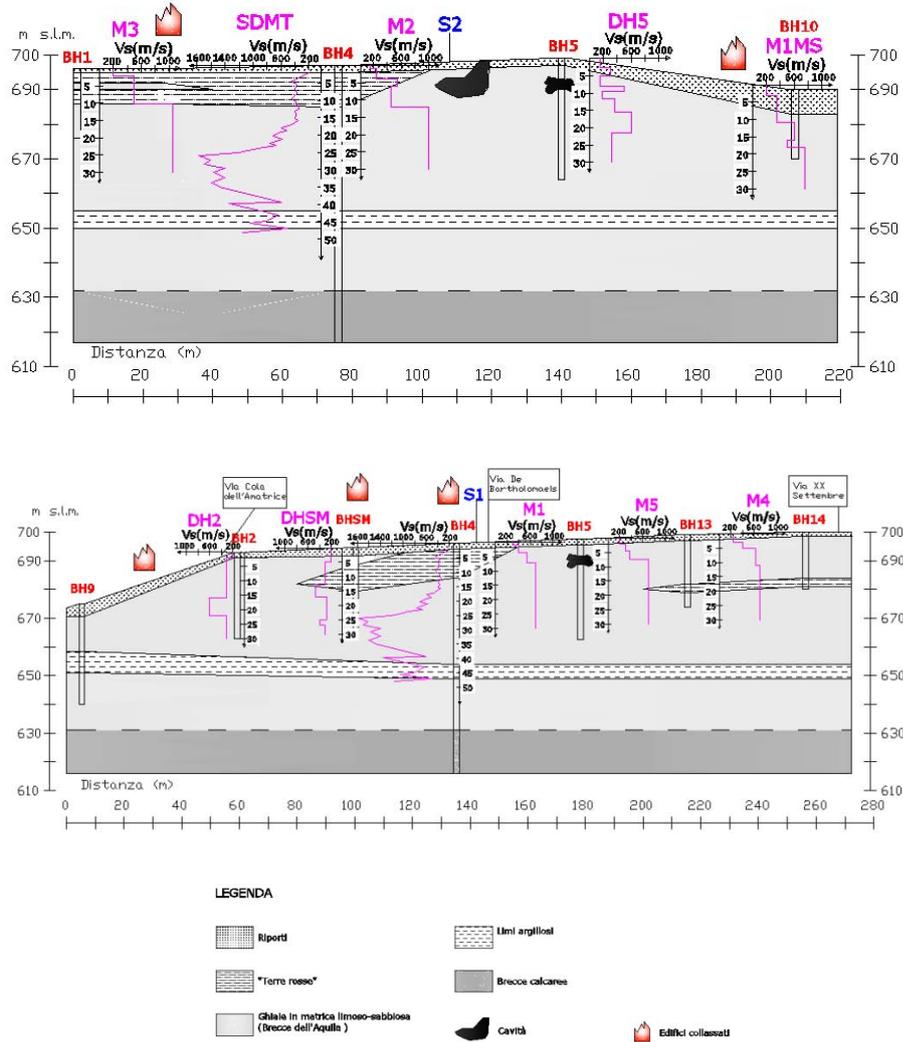


Figura 3 – sezioni stratigrafiche e geotecniche rappresentative

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.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI L'AQUILA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE - ARCHITETTURA ED AMBIENTALE

Laboratorio Prove Materiali, Strutture e Terreno

4.2.1. Campo prova 1



Opera	Profondità raggiunta	Tipo Carotaggio	All'estimato Foro
Edifici di civile abitazione	50 m	continuo d 101 mm	
Località	Quota Ass. P.C.	Inizio/Fine Esecuzione	Coordinate
Via Cola dell'Amatrice-L'Aquila		Febbraio 2011	

Profondità (m)	Litologia	Descrizione	Spessore strati (m)	%Carotaggio	S.P.T. (n° Colpi)	Debiti Terz. (g/cm ³)	Compiuti	Falda
1		MATERIALE DI RIPIORTO costituito da frammenti eterogenei ed eterometrici in matrice sabbioso-limosa. Si riscontra la presenza di frammenti di laterizio.	2.50	%C=70	Rif.			
2		In testa allo strato conglomerato bituminoso.			3.00 PC			
3								
4								
5					36-30			
6					6.00 PC			
7								
8					Rif.			
9					9.00 PC			
10								
11					Rif.			
12					12.00 PC			
13								
14					40-Rif.			
15		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 frazione grossolana.	28.20	%C=90	15.00 PC			
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32		LIMO SABBIOSO e SABBIA LIMOSA di colore nocciola-avana.	4.70	%C=100				
33		(segue)						
34								
35								
36		SABBIA LIMOSA e LIMO SABBIOSO ARGILLOSO di colore grigio	2.60	%C=100				
37								
38								
39		LIMO SABBIOSO e SABBIA LIMOSA di colore nocciola-avana.	5.20	%C=100	25-31-Rif.			
40					40.00 PC			
41								
42								
43								
44		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 frazione grossolana.	6.80	%C=60				
45								
46								
47								
48								
49								
50								



Fig. xx Campo prova 1 - Caratterizzazione lito-stratigrafica e geotecnica



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI L'AQUILA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE - ARCHITETTURA ED AMBIENTALE

Laboratorio Prove Materiali, Strutture e Terreno

4.2.2. Campo prova 2



Opera		Profondità raggiunta	Tipo Carotaggio		Allestimento Foro			
Edifici di civile abitazione		15 m	continuo di 101 mm		Coordinate			
Località		Quota Abs. P.C.	Inizio/Fine Escavazione					
Via F. Corridoni, 3 - L'Aquila			Maggio 2011					
Profondità (m)	Litologia	Descrizione	Spessore strati (m)	%Carotaggio	S.P.T. (n° Colp.)	Prodotto Tip. (g/cm³)	Comprimi	Falda
1		MATERIALE DI RIPIERTO costituito da sabbia limosa con inclusi diffusi minuti frammenti eterogenei. Presenti resti vegetali e frammenti di laterizio.	5.00	%C=90	4-4.4			5.90
2					3.00 PC			
3								
4								
5								
6		BRECCIE CALCAREE costituite da frammenti di natura calcarea, spigolosi e subarrotondati, eterometrici (Dmed=1 cm, Dmax=5-6 cm), in più o meno abbondante matrice sabbiosa debolmente limosa di colore avana.	10.00	%C=80	12-29-38			
7					6.00 PC			
8								
9					16-36-Rif			
10					9.00 PC			
11								
12					9-25-48			
13					12.00 PC			
14								
15								
16								



Opera		Profondità raggiunta	Tipo Carotaggio		Allestimento Foro			
Edifici di civile abitazione		15 m	continuo di 101 mm		Coordinate			
Località		Quota Abs. P.C.	Inizio/Fine Escavazione					
Via F. Corridoni - L'Aquila			Maggio 2011					
Profondità (m)	Litologia	Descrizione	Spessore strati (m)	%Carotaggio	S.P.T. (n° Colp.)	Prodotto Tip. (g/cm³)	Comprimi	Falda
1		RIPORTO. Frammenti calcarei e di laterizi in matrice sabbiosa limosa bruna. Resti vegetali	1.00	%C=80	11-23-46			6.10
2					3.00 PC			
3		BRECCIE CALCAREE. Frammenti calcarei, spigolosi e subarrotondati, eterometrici (Dmed=1 cm, Dmax=5-6 cm), in più o meno abbondante matrice sabbiosa debolmente limosa di colore biancastro-avana. Nel tratto 1.00-2.40 m la matrice è prevalentemente limosa di colore bruno.	13.30	%C=70	24-48-R			
4					6.00 PC			
5								
6								
7								
8								
9								
10		SABBIA LIMOSA e LIMO SABBIOSO, colore nocciola verdastro.	0.70	%C=90	20-39-Rif			
11					9.00 PC			
12								
13								
14								
15								
16								

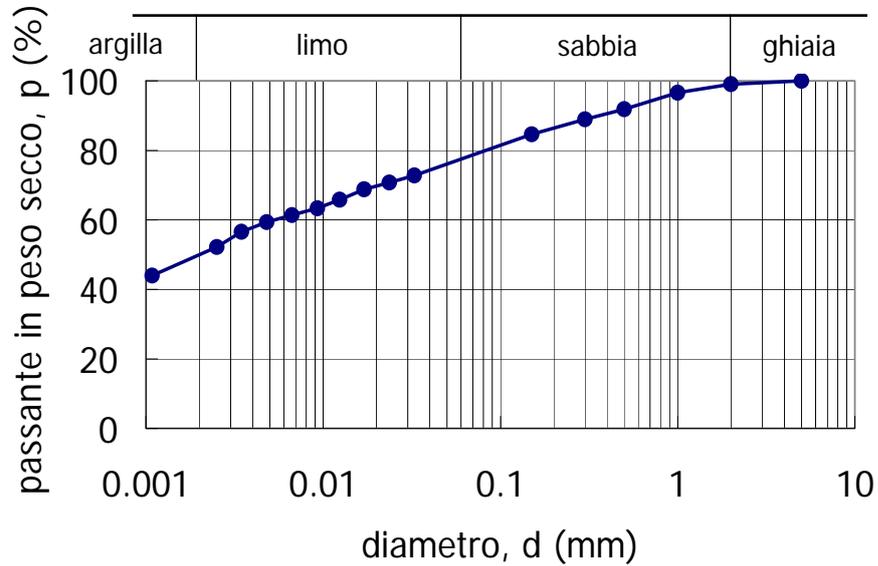




UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI L'AQUILA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE - ARCHITETTURA ED AMBIENTALE

Laboratorio Prove Materiali, Strutture e Terreno



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



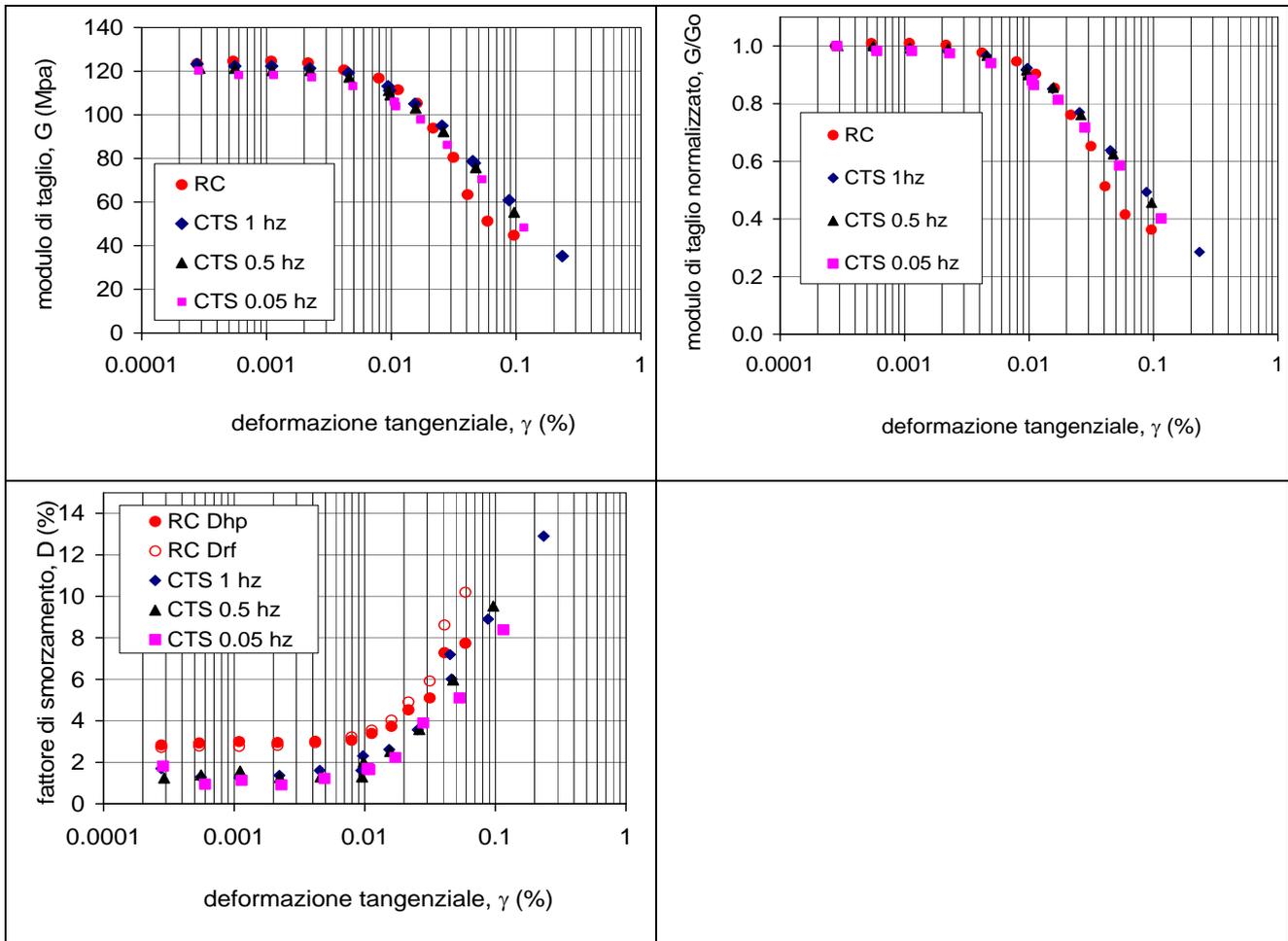
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI L'AQUILA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE - ARCHITETTURA ED AMBIENTALE

Laboratorio Prove Materiali, Strutture e Terreno

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





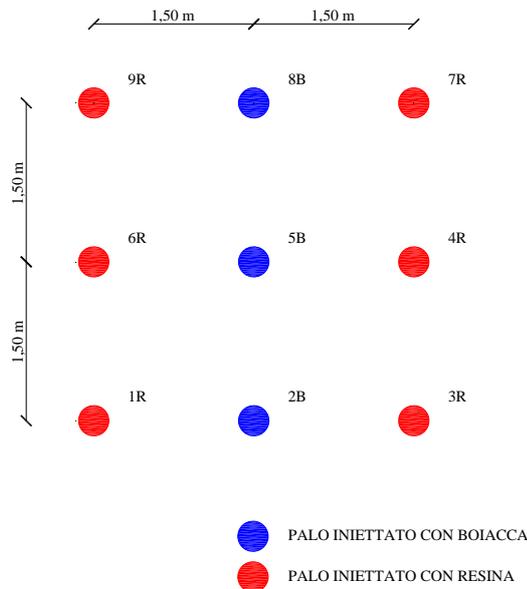
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI L'AQUILA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE - ARCHITETTURA ED AMBIENTALE

Laboratorio Prove Materiali, Strutture e Terreno

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.



I pali hanno tutti la lunghezza di 6 m e sono stati realizzati seguendo il procedimento proposto dalla Edil-System, dettagliatamente descritto nel punto successivo. Alcuni di essi sono stati iniettati con boiaccia 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 boiaccia di cemento.

4.4. Modalità esecutive dei minipali

I minipali sono stati eseguiti attraverso l'inserimento di barre di acciaio cave (la prima della quale porta alla punta xxxxxx di perforazione) di lunghezza di 1 m unite attraverso manicotti di giunzione. Attraverso tubi di iniezione in rame è stata fatta l'iniezione o con betoncino o con resine poliuretaniche.

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 200 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.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI L'AQUILA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE - ARCHITETTURA ED AMBIENTALE

Laboratorio Prove Materiali, Strutture e Terreno

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

La figura seguente mostra il martinetto e la struttura di contrasto utilizzata. 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.





UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI L'AQUILA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE - ARCHITETTURA ED AMBIENTALE

Laboratorio Prove Materiali, Strutture e Terreno

5.2. Dispositivi per la misura dei cedimenti.

Sono stati utilizzati cinque comparatori centesimali, con corsa massima di 50 mm. disposti per misurare lo spostamento in testa del palo sottoposto a prova e dei quattro 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 di 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

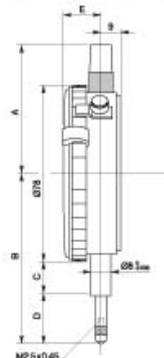


Campo di misura	Unità di formato	N°	Scala	Un giro di lancetta	Forza di misura max.	Forza di misura min.	Istres. forza di misura	Massa	Note
1	0,001	3109 SB-10	0-100-0	0,2	1,5	0,4	0,9	245	1 2 3 4
10	0,01	3046 SB	0-100/(100-0)	1,0	1,4	0,4	0,6	237	1 2 3 4
10	0,01	3047 SB	0-50-0	1,0	1,4	0,4	0,6	237	1 2 3 4

Sigla SB fondello piatto - Sigla S fondello con asola (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 1983		DIN EN 60 463 / DIN 878 2006						
	Limiti di accuratezza del display					Ripetibilità errore di indicazione	Esteresa errore di indicazione		
f_r µm	f_{pm} µm	f_r µm	ogni 1/10 di giro	ogni 1/2 giro	ogni 1 giro			5 µm	1 µm
3109 SB-10	3	5	2	2,5	4	4,5	5	1	2
3046 SB	15	17	3	5,0	9	10,0	15	3	3
3047 SB	15	17	3	5,0	9	10,0	15	3	3





UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI L'AQUILA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE - ARCHITETTURA ED AMBIENTALE

Laboratorio Prove Materiali, Strutture e Terreno

6. Programma di carico

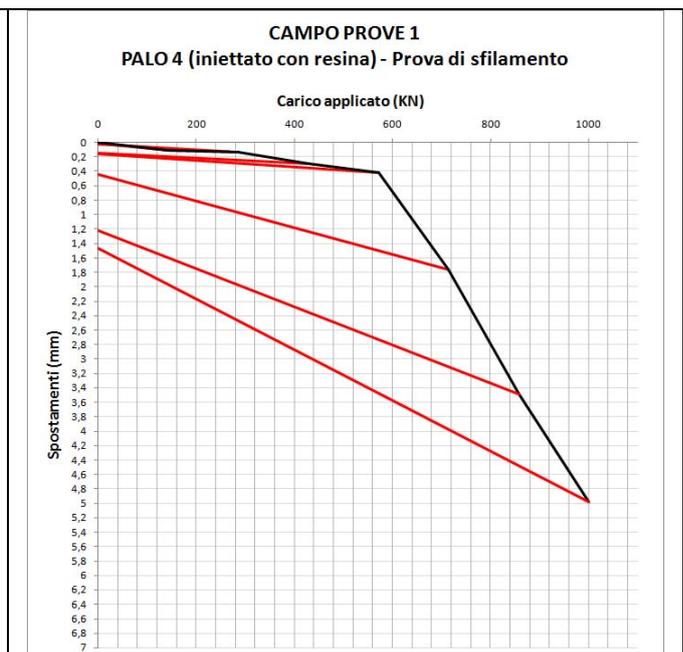
Sono stati applicati gradini di carico successivi aumentando di volta in volta la pressione alla pompa idraulica del martinetto di 100 bar. In corrispondenza di ciascun gradino di carico sono stati eseguite le misure dei cedimenti della testa del palo di prova attendendo il tempo necessario per la sua 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

7. Risultati

Nei grafici che seguono sono riportati i risultati per i due campo prove. Con il tratto nero è indicata la curva 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		
BAR	PALO CARICO B	PALO A CONTROLLO	PALO C CONTROLLO		kN	Kg
	mm	mm	mm			
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	71450
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



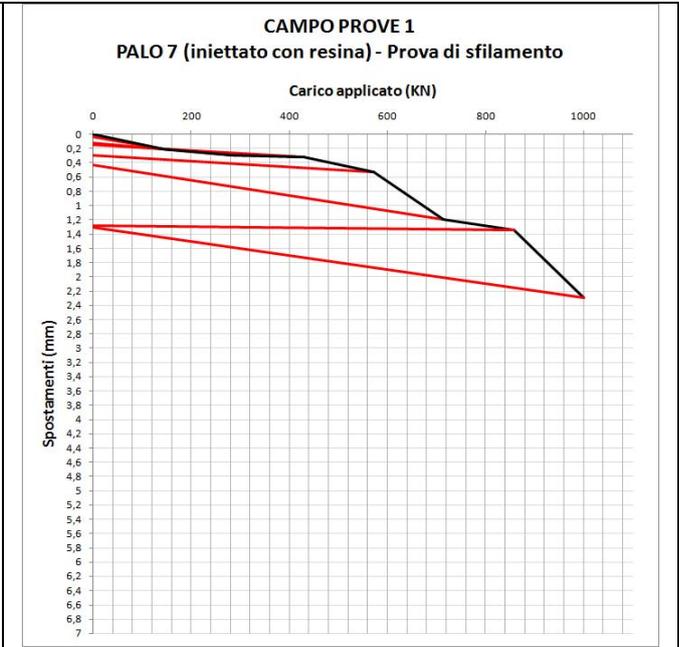


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI L'AQUILA

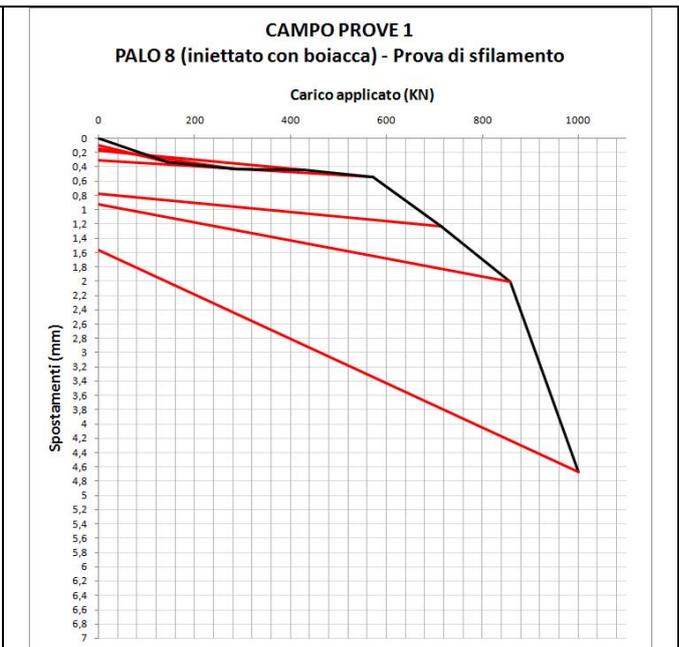
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE - ARCHITETTURA ED AMBIENTALE

Laboratorio Prove Materiali, Strutture e Terreno

CAMPO PROVE 1						
TIPOLOGIA PROVA						
SFILAMENTO			INFISSIONE		CARICO	
X						
PALO CARICO N° 7 INIETTATO CON RESINA						
TIPOLOGIA MARTINETTO						
BAR	PALO CARICO B	PALO A CONTROLLO	1000 BAR	1000 BAR	kN	Kg
	mm	mm	mm	mm		
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



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



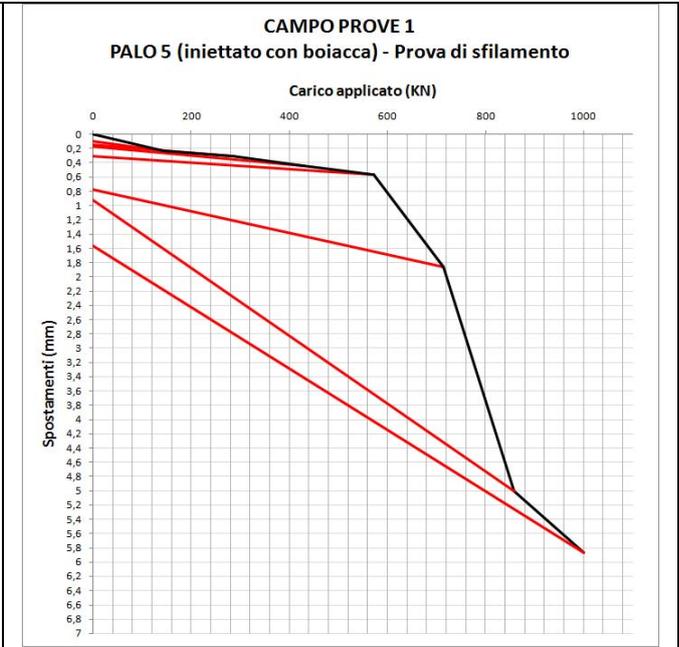


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI L'AQUILA

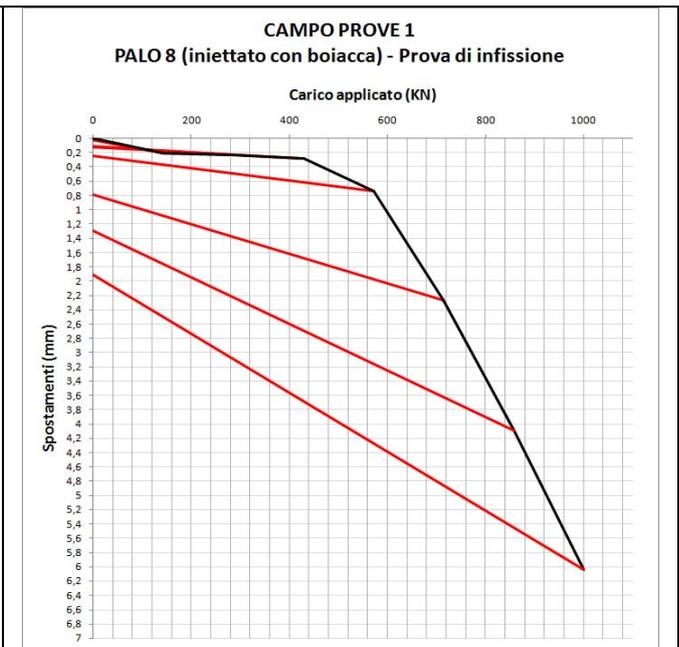
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE - ARCHITETTURA ED AMBIENTALE

Laboratorio Prove Materiali, Strutture e Terreno

CAMPO PROVE 1						
TIPOLOGIA PROVA						
SFILAMENTO		INFISSIONE				
X						
PALO N° 5 INIETTATO CON BOIACCA						
TIPOLOGIA MARTINETTO				1000		BAR
PALO CARICO B		PALO A CONTROLLO		PALO C CONTROLLO		CARICO
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



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



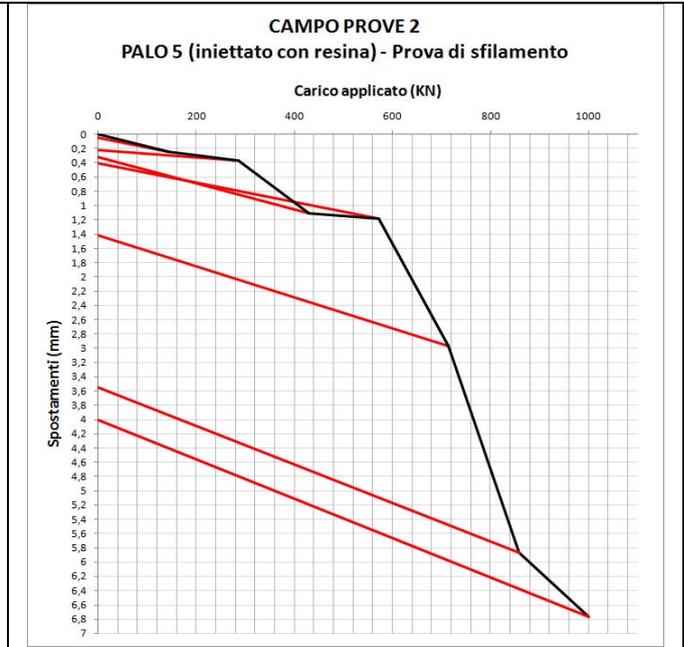


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI L'AQUILA

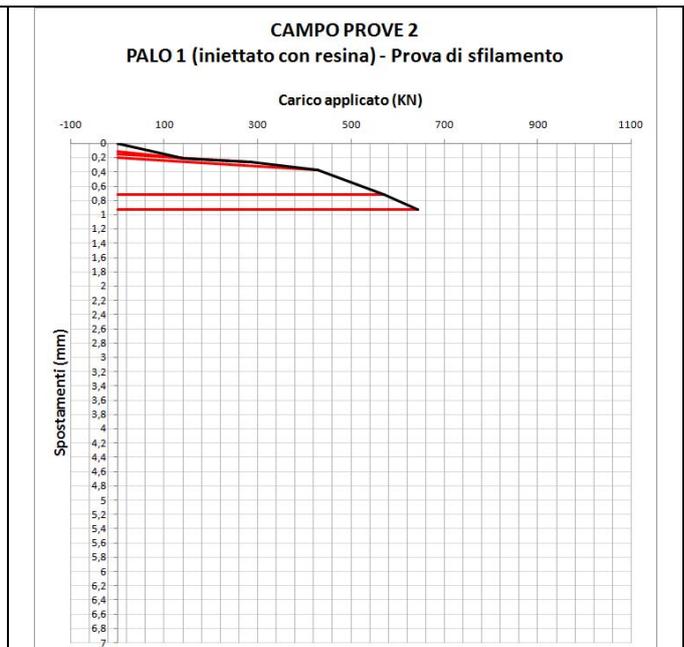
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE - ARCHITETTURA ED AMBIENTALE

Laboratorio Prove Materiali, Strutture e Terreno

CAMPO PROVE 2							
TIPOLOGIA PROVA							
SFILAMENTO				INFISSIONE			
X							
TIPOLOGIA MARTINETTO				1000	BAR	CARICO	
PALO N° 5 INIETTATO CON RESINA							
BAR	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	0	
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	



CAMPO PROVE 2							
TIPOLOGIA PROVA							
SFILAMENTO				INFISSIONE			
X							
TIPOLOGIA MARTINETTO				1000	BAR	CARICO	
PALO N° 1 INIETTATO CON RESINA							
BAR	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	





UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI L'AQUILA

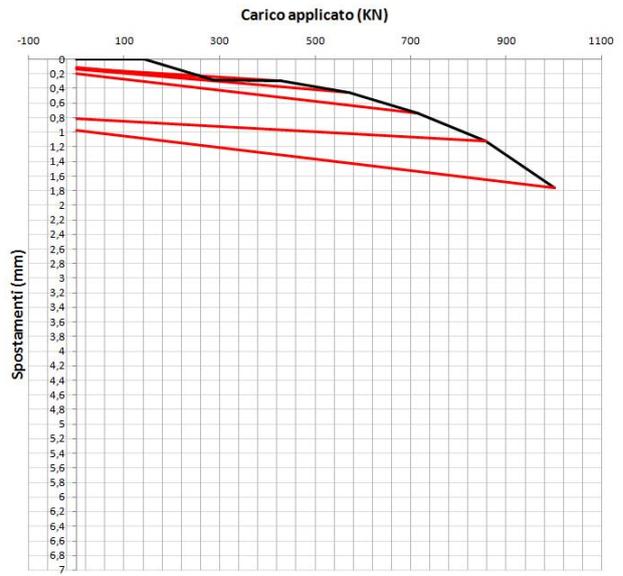
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE - ARCHITETTURA ED AMBIENTALE

Laboratorio Prove Materiali, Strutture e Terreno

CAMPO PROVE 2

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

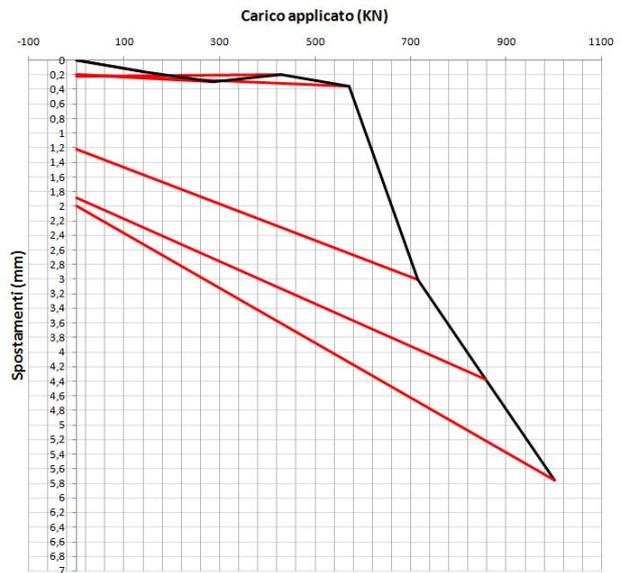
CAMPO PROVE 2 PALO 2 (iniettato con boiacca) - Prova di sfilamento



CAMPO PROVE 2

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

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





UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI L'AQUILA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE - ARCHITETTURA ED
AMBIENTALE

Laboratorio Prove Materiali, Strutture e Terreno

8. 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 quale miglioramento del terreno stesso in termini di riempimento dei vuoti tra i granuli, di cementazione tra i granuli stessi e quindi di aumento di consistenza globale.

9. Commenti e considerazioni finali

La sperimentazione condotta ha consentito di documentare il comportamento dei minipali Geo-System eseguiti nella parte superficiale della formazione delle breccie dell'Aquila. I risultati evidenziano la potenzialità della tecnologia quale intervento per il consolidamento del sistema terreno-fondazioni.

Il risultato più significativo è l'elevata portata laterale del sistema minipalo-terreno sottoposto ad infissione o a sfilamento. Pali di lunghezza $L = 6$ m. possono essere caricati fino a circa 600 kN senza subire cedimenti (cedimento inferiore a 0,5mm) e fino a 1000kN accettando un cedimento di 5-6 mm.