



***ELEMENTI COMPRESSI CON TECNOLOGIA
TFEG: dalla ricerca alla progettazione***

Milano, 19 Dicembre 2008

PhD Ing. Giancarlo MIGLIARO

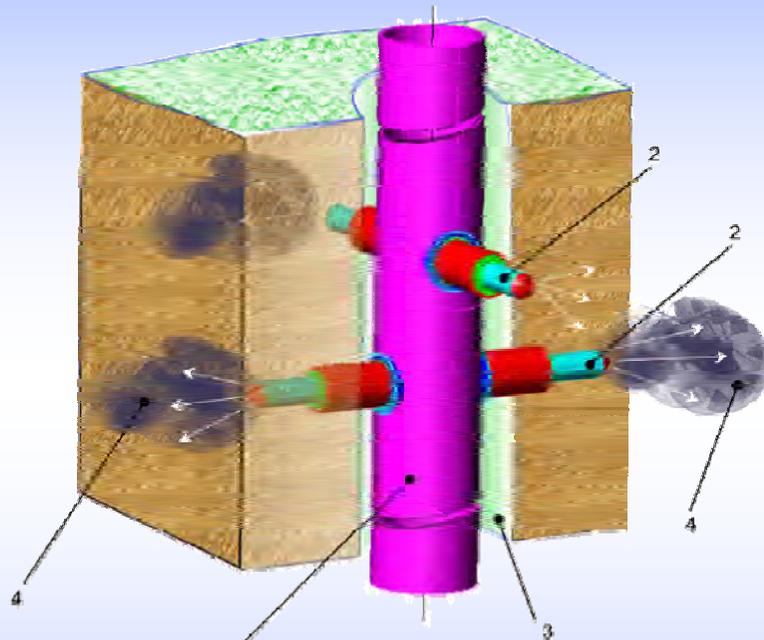
WORKSHOP ROCKSOIL SpA

JobSoil
INNOVATION & RESEARCH



BREVETTO PER LE FONDAZIONI PROFONDE

LA TECNOLOGIA



TFEG

THRIVING FRICTION by EXTRUDING GEAR

Trasferimento di Forze ad Estrusione Guidata

Il metodo consiste nell'inserire, lungo il fusto del *palo, micropalo o tirante*, dei setti di acciaio ai quali viene affidato il compito di aumentare le superfici di contatto Palo/Suolo.

I setti, vengono disposti a quote progettualmente prestabilite ed infissi a pressione tramite l'utilizzo di appositi circuiti idraulici .



LA RICERCA

Passato

- **Micropali**: campi sperimentali di Teano (CE) e San Giovanni a Teduccio (NA)c
- **Tiranti**: campi sperimentali Roma EUR, Salerno, San Giuliano di Puglia ecc.
- Simulazione agli elementi finiti
- Formulazioni di modelli **“semplici”**

Futuro-Presente

- Collaborazione con Università di Salerno 
- Modellazione in centrifuga e simulazione di laboratorio a “scala ridotta”
- Nuova “semplice” formulazione basata sulla teoria della plasticità

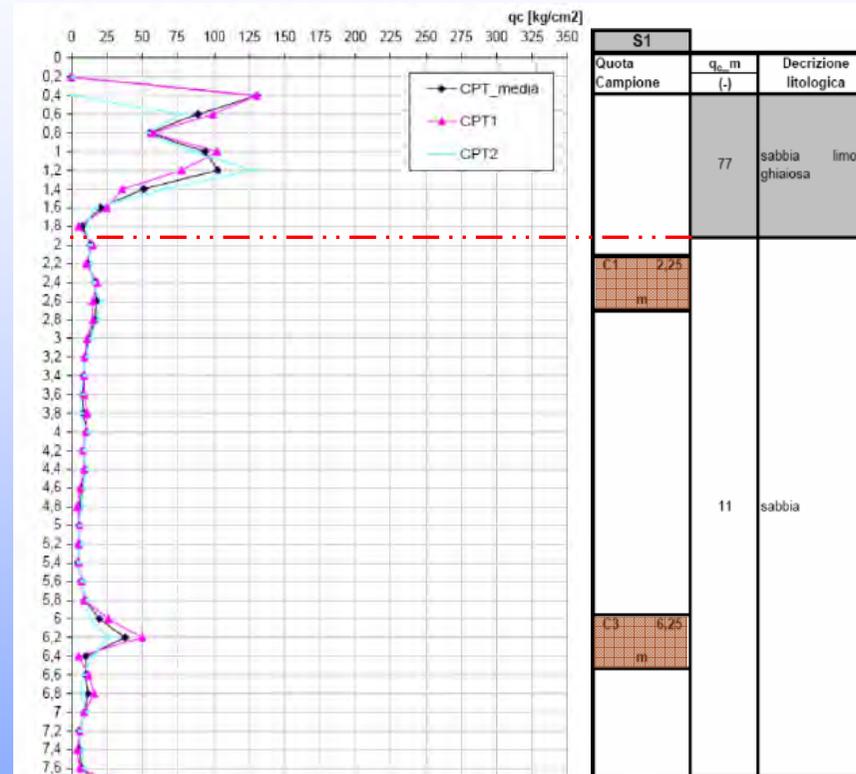


BREVETTO PER LE FONDAZIONI PROFONDE

Campo sperimentale S.G.T.

Campo sperimentale finanziato dal *M.I.U.R.*
di durata pari a 18 mesi

- Definizione del modello geotecnico di sottosuolo mediante:
 - 2CPT
 - Sondaggio a carotaggio continuo con prelievo di 7 campioni indisturbati
- Regime delle pressioni neutre:
 - Assenza di falda



SEGUE



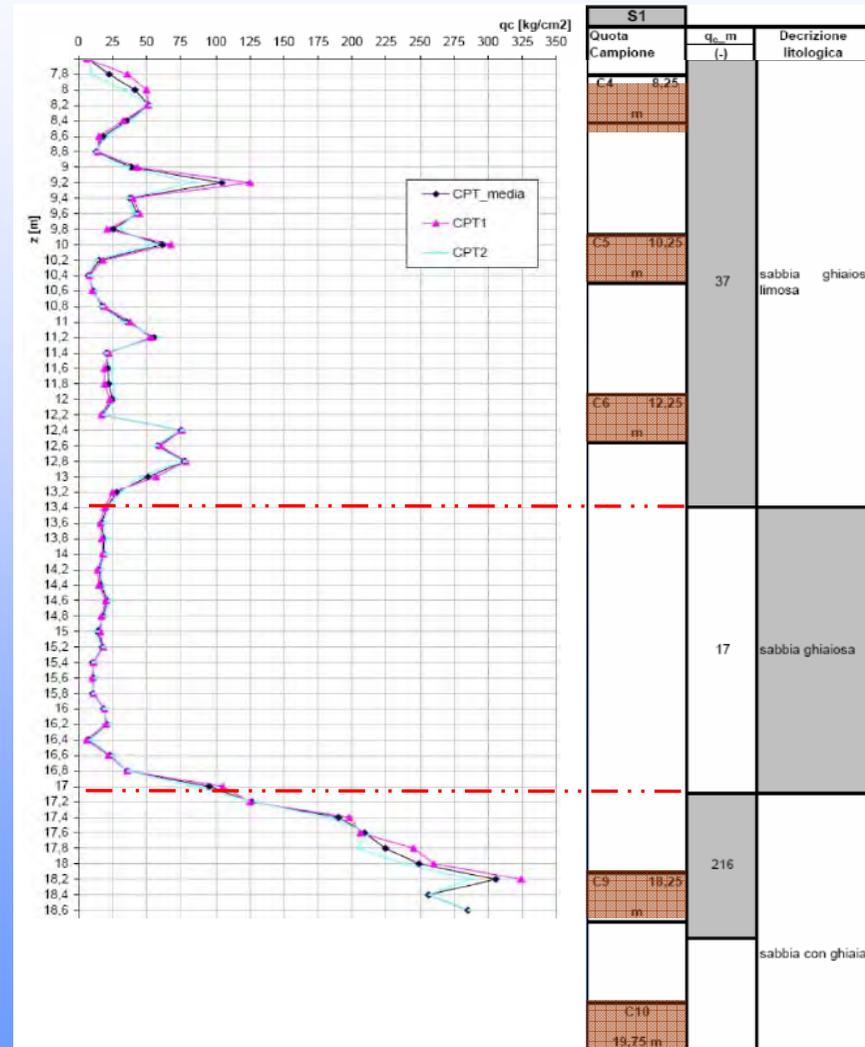


BREVETTO PER LE FONDAZIONI PROFONDE

Campo sperimentale S.G.T.

Campo sperimentale finanziato dal *M.I.U.R.*
di durata pari a 18 mesi

- Definizione del modello geotecnico di sottosuolo mediante:
 - 2CPT
 - Sondaggio a carotaggio continuo con prelievo di 7 campioni indisturbati
- Regime delle pressioni neutre:
 - Assenza di falda



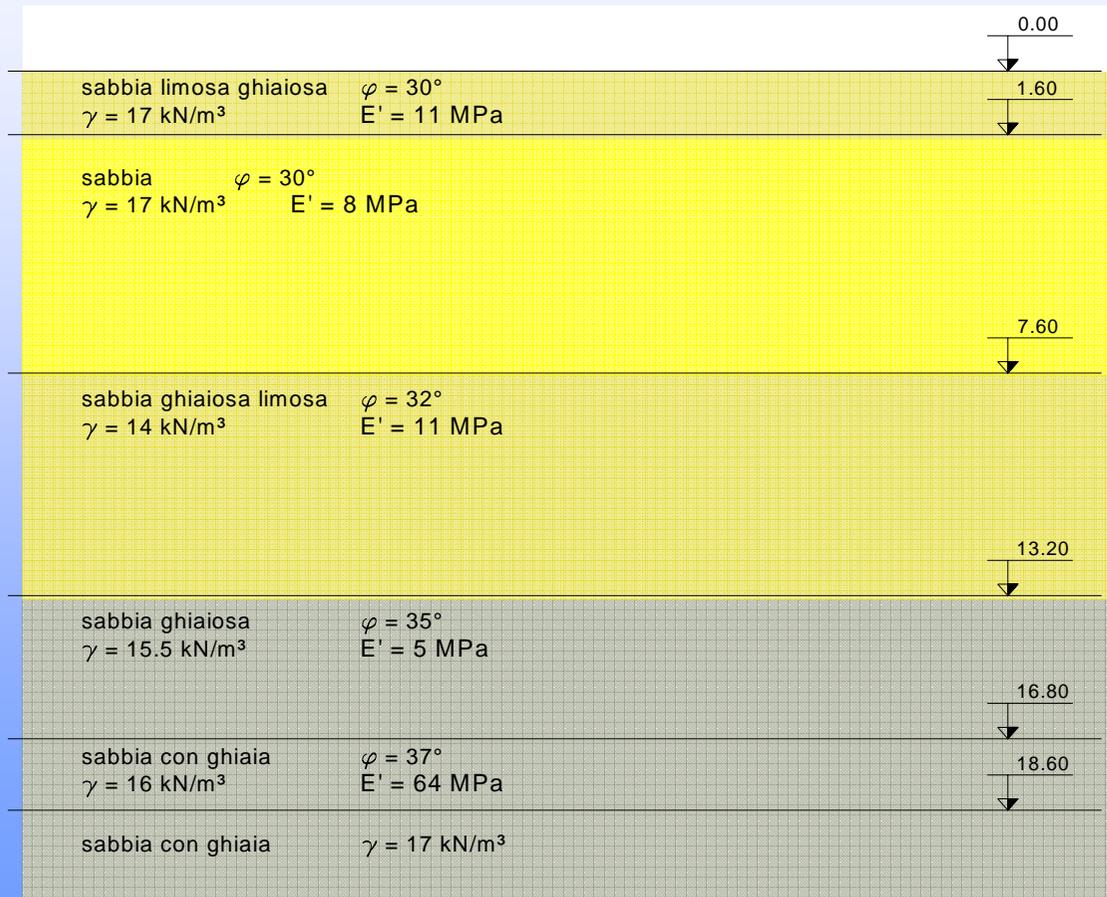


Campo sperimentale S.G.T.

Modello geotecnico di sottosuolo

*Litologie variabili da
sabbie limose a sabbie con
ghiaie scarsamente
addensati.*

*Stratigrafie molto
omogenea nell'area
investigata*



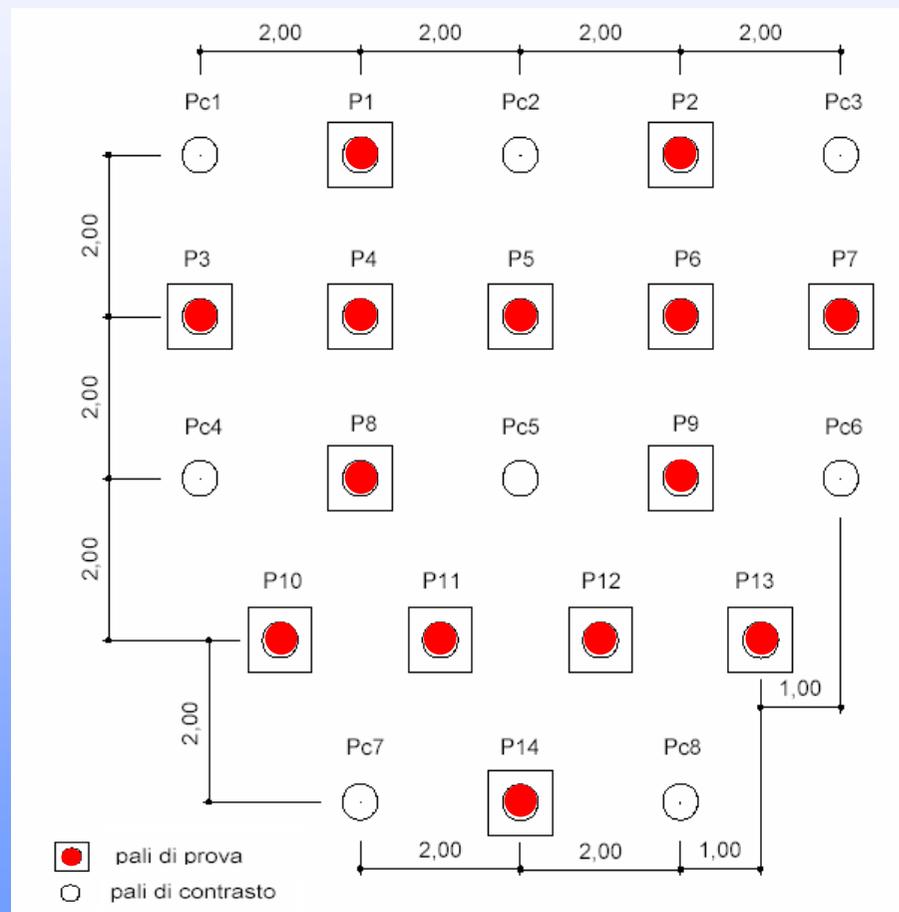


BREVETTO PER LE FONDAZIONI PROFONDE

Campo sperimentale S.G.T.

Micropali D=220 mm

PROVA n°	L(m)	Numero TFEG	Z _{TFEG} (m)	P _{ult} (kN)
3	3,7	0		210
2	3,7	1	1	396
10	3,7	2	1-3,5	448
11	6,2	0		274
4	6,2	1	6	341
8	6,2	2	1-6	495
12	8,2	0		398
14	8,2	1	8	375
5	8,2	2	1- 8	433
6	8,2	3	1-6-8	520
7	10,2	0		471
1	10,2	1	10	511
9	10,2	2	8-10	625
13	10,2	3	1-8-10	657



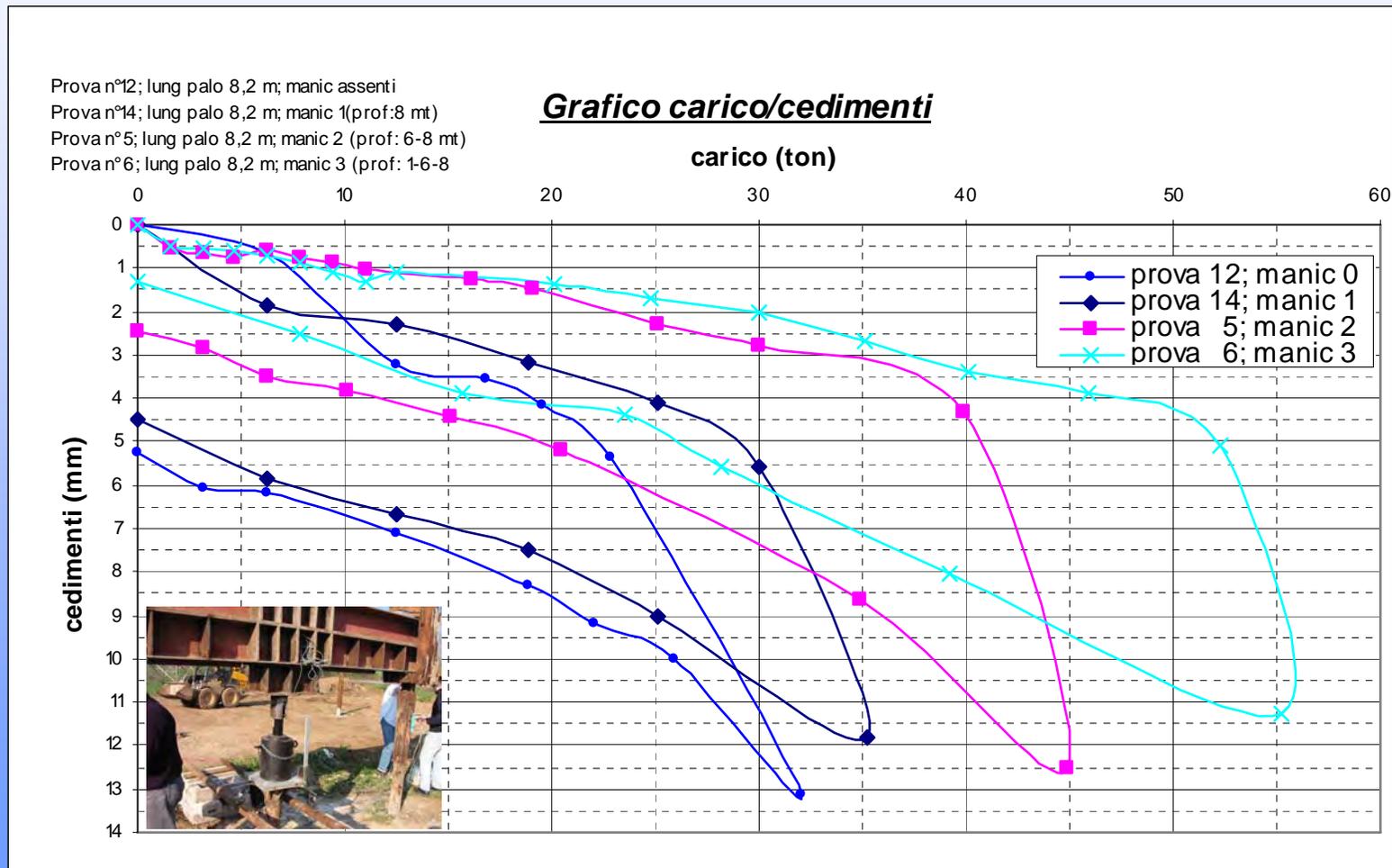
*Incremento della capacità portante del sistema variabile tra **35-150%***



BREVETTO PER LE FONDAZIONI PROFONDE

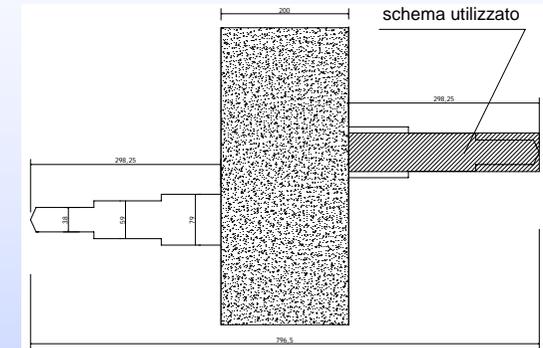
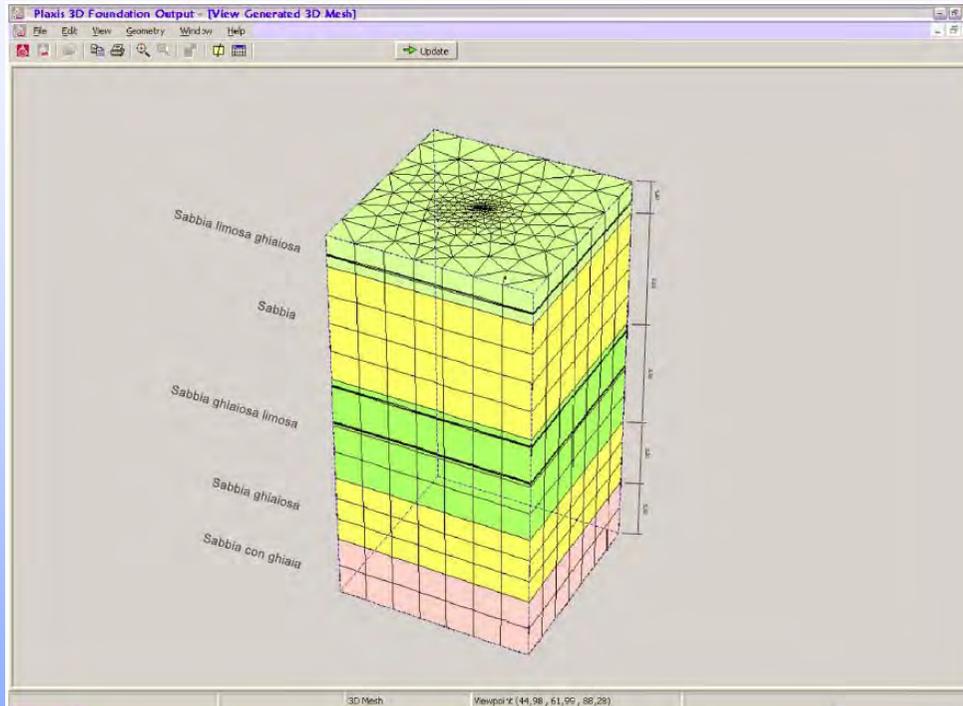
Campo sperimentale S.G.T.

Incremento di portanza e di rigidità del dispositivo TFEG



FEM CAMPO S.G.T.

Plaxis 3D Foundation



Dispositivo TFEG+PALO

Elastico lineare

Legame costitutivo terreno:

Mohr Coulomb elastico perfettamente plastico

Menichelli 2007- Roma III

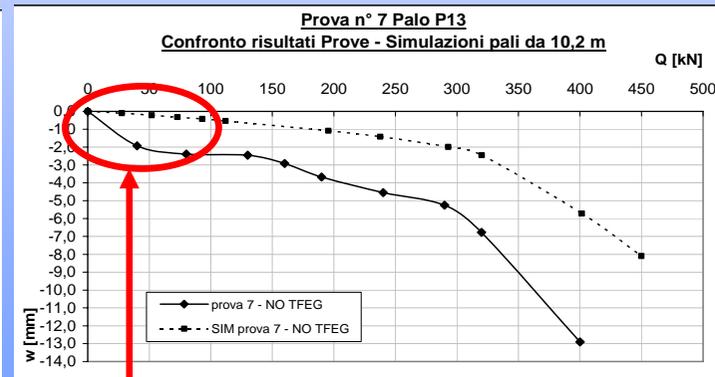
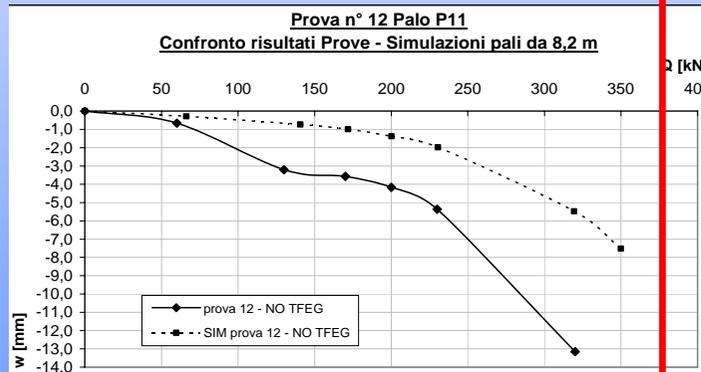
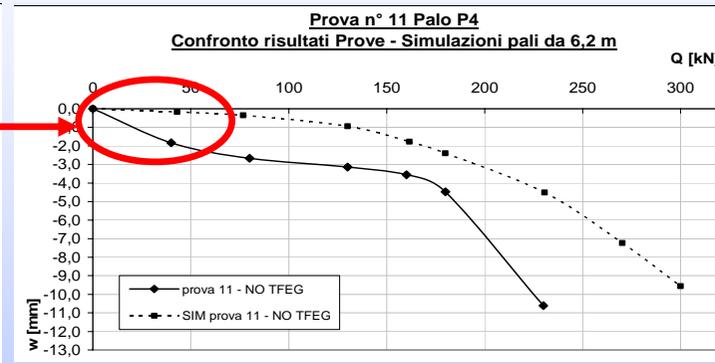
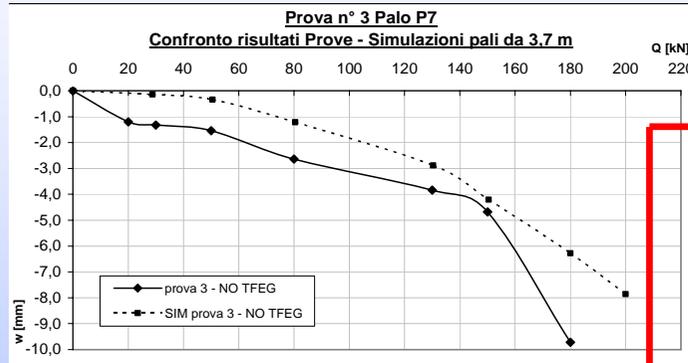
strato n°	definizione strato	γ	$E(a)$	ϕ	ν	R	c	profondità [m] da pc
		[kN/m ³]	[Mpa]	[°]	[-]	[-]	[kPa]	
1	Sabbia limosa ghiaiosa	16	22	33	0,3	0,5	42	1,6
2	Sabbia	17	400	37	0,3	1	0,1	7,6
3	Sabbia ghiaiosa limosa	14	500	34	0,3	1	2	13,2
4	Sabbia ghiaiosa	15,5	500	35	0,3	1	0,1	16,8
5	Sabbia con ghiaia	16	640	37	0,3	1	0,1	20



FEM CAMPO S.G.T.

Plaxis 3D Foundation: SIMULAZIONE PROVA DI CARICO MICROPALI SENZA TFEG

Simulazioni FEM
Mohr Coulomb EPP



Elevata pendenza della curva dovuta ad assestamenti strumentali e cedimento del terreno superficiale.

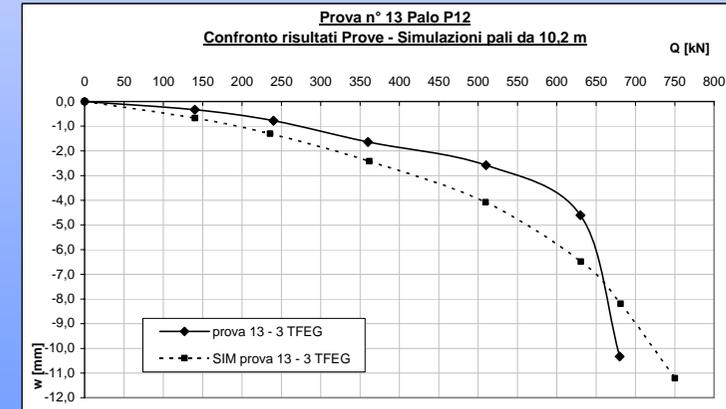
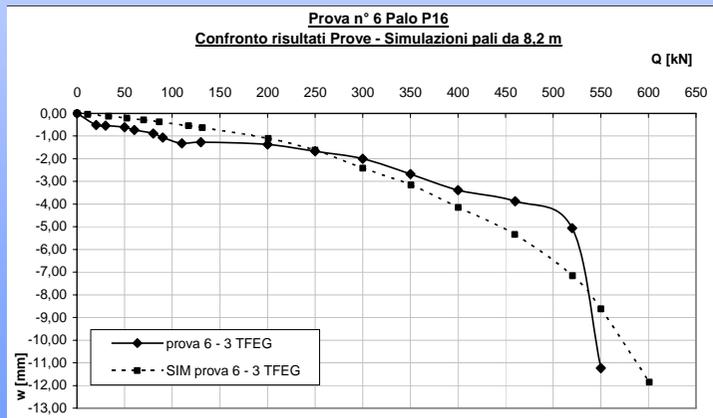
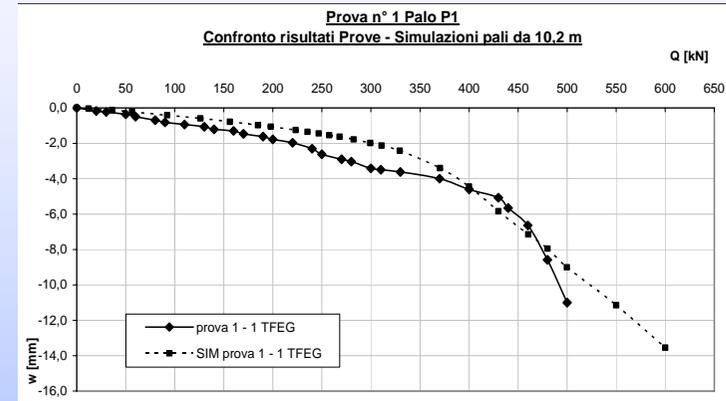
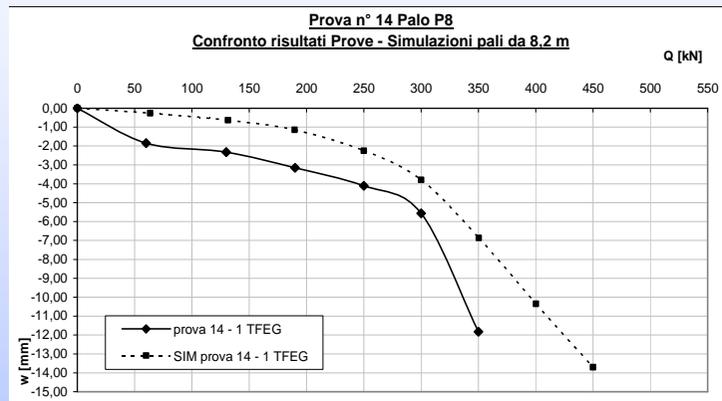


FEM CAMPO S.G.T.

Plaxis 3D Foundation: SIMULAZIONE PROVA DI CARICO PALI *CON TFEG*

Simulazioni FEM

Mohr Coulomb EPP





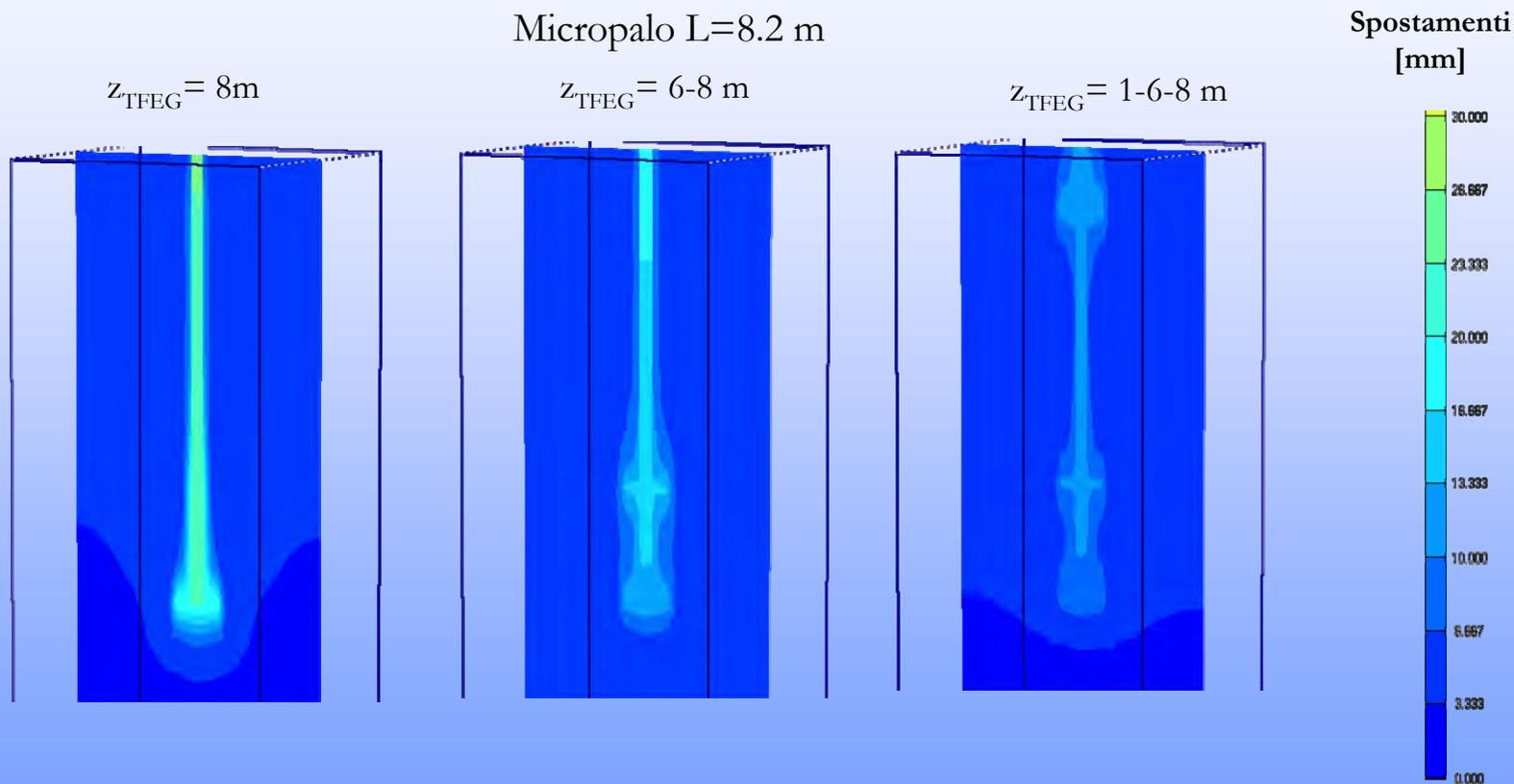
BREVETTO PER LE FONDAZIONI PROFONDE

FEM CAMPO S.G.T.

Plaxis 3D Foundation: CAMPI SPOSTAMENTI PALI CON TFEF

Simulazioni FEM

Mohr Coulomb EPP



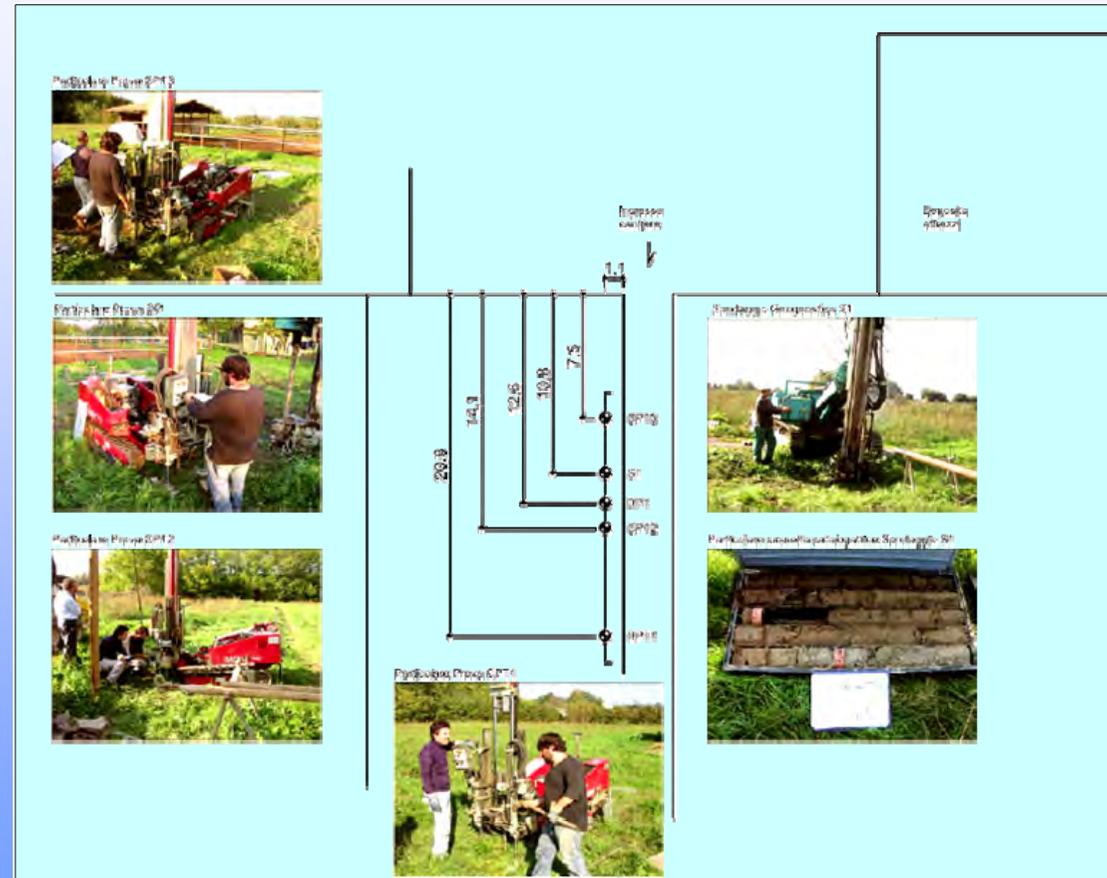


Campo sperimentale Teano

Campo sperimentale realizzato in collaborazione con l'Università Federico II di Napoli

- Definizione del modello geotecnico di sottosuolo mediante:
 - 3CPT
 - DP
 - Sondaggio a carotaggio continuo

- Regime delle pressioni neutre:
 - Assenza di falda





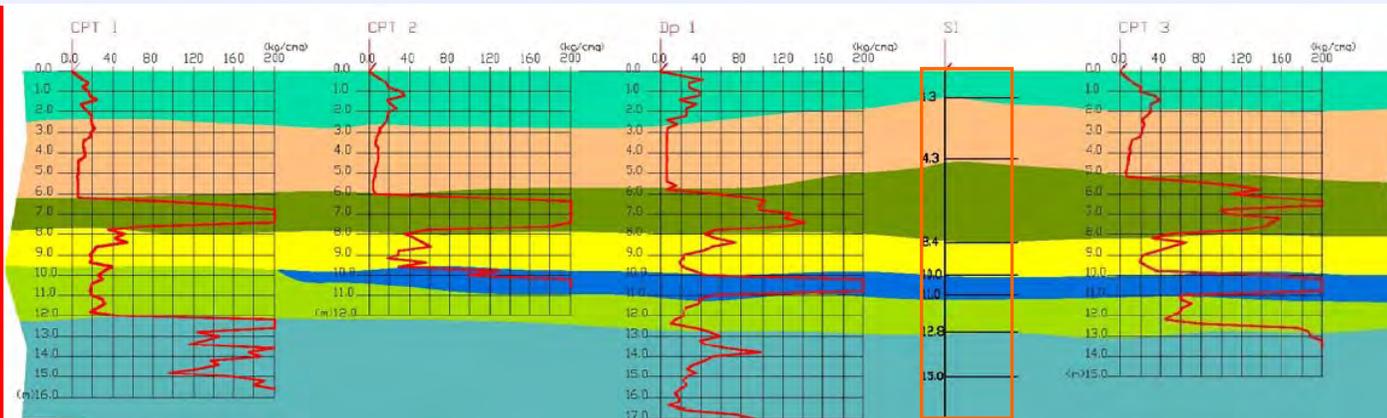
BREVETTO PER LE FONDAZIONI PROFONDE

Campo sperimentale Teano

Modello geotecnico di sottosuolo

S1

litologia	descrizione
1.3	terreno veget.
	limo debol. sabbioso
4.3	sabbia fine con limo beige.
8.4	sabbia con pomici, maroniti.
10.0	sabb. limosa, grigia
11.0	pomici e lapilli.
12.9	sabbia media con scorie laviche.
20.0	



STRATO		γ	E'	Φ'
		[kN/m ³]	[MPa]	[°]
1	Limo sabbioso con resti vegetali	16	3	25
2	Limo debolmente sabbioso	16	2	27
3	Sabbia fine con limo	16	28	30
4	Sabbia con pomici	15	8	30
5	Sabbia limosa	19	4	27
6	Pomici e lapilli	11	14	30
7	Sabbia media con pomici e scorie	16	51	35
8	Sabbia media con scorie laviche	16	34	35

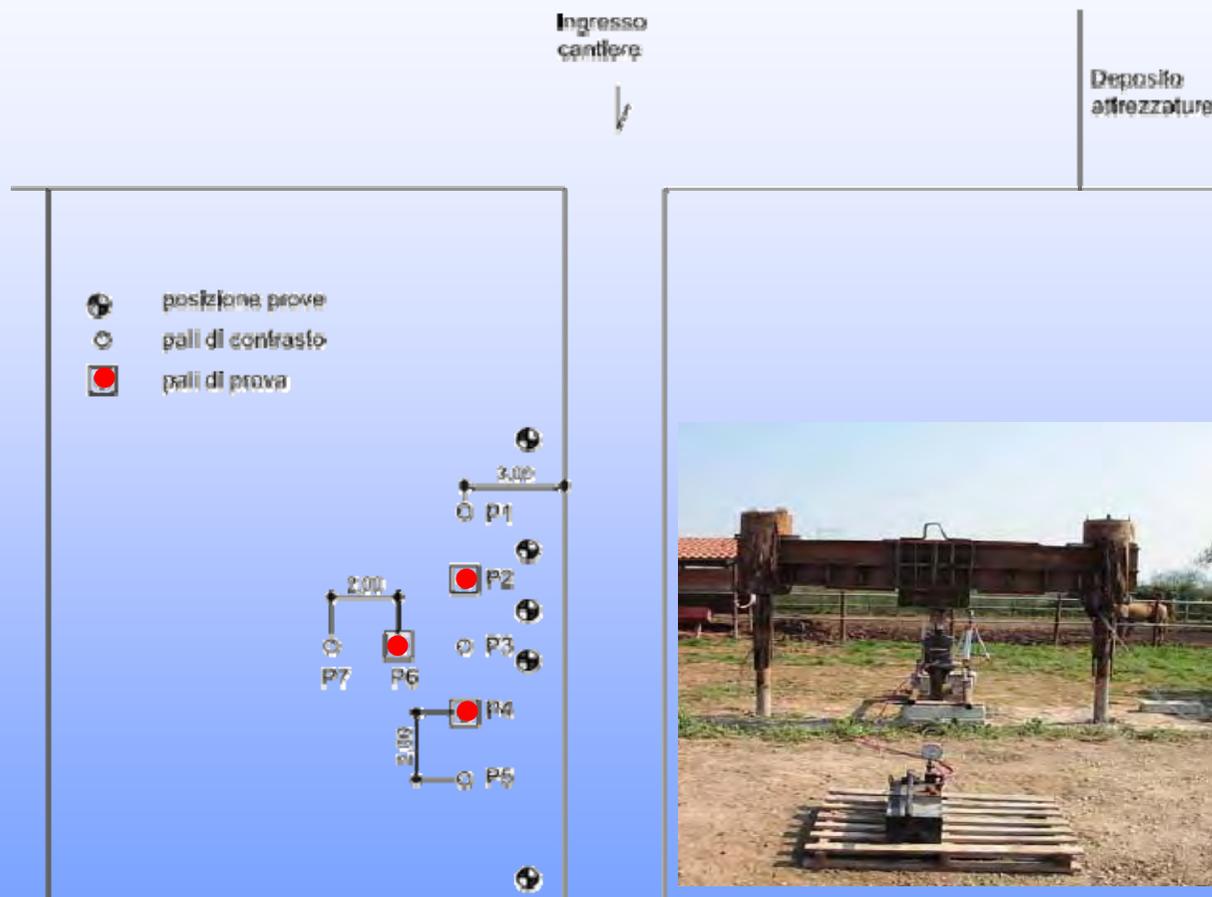


Campo sperimentale Teano

Ubicazione pali di prova

- Palo **P2** realizzato **senza** dispositivo TFEG
- Palo **P6** realizzato **con** dispositivo TFEG

Geometria palo		
Diametro	200	mm
Lunghezza	8	m
Prova N°1		
TFEG assente		
Prova N°2		
TFEG presente		
Quota TFEG	8	m
Apertura TFEG	80	cm
Strumenti di acquisizione		
Strain-Gauges ogni 100 cm		
Comparatori centesimali con trasduttori digitali		





Campo sperimentale Teano

Risultati prove di carico

- Prova di carico 1 su palo **P2** **senza** dispositivo **TFEG** ($Q_{lim}=50$ ton)
- Prova di carico 2 su palo **P6** **con** dispositivo **TFEG**

La prova di carico n°2 è stata realizzata in due fasi (carico-scarico-ricarico)

Interruzione della prova per rottura del palo di trazione ($Q_{lim}>90$ ton)

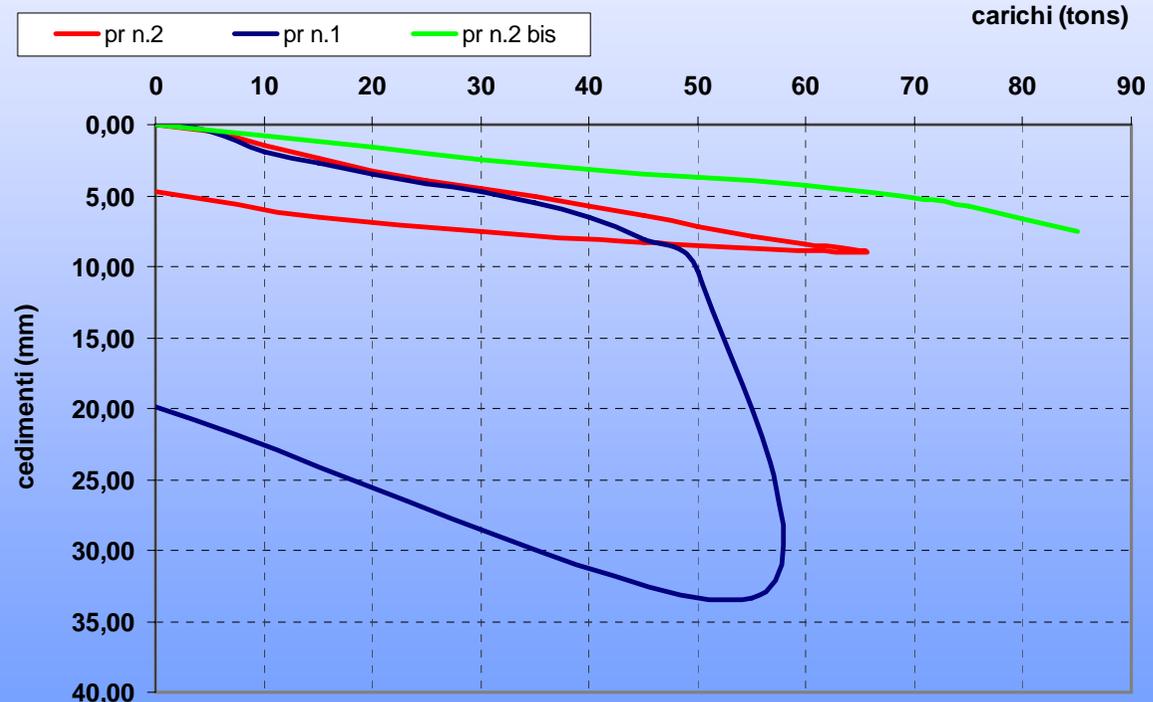
Prova di carico confronto prove n. 1, 2, 2bis

Grafico carichi-cedimenti

Cantiere: Campo sperimentale "Manicotto TFEG"

Località: Teano (CE)

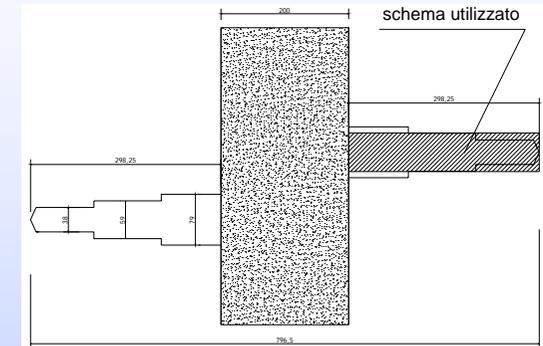
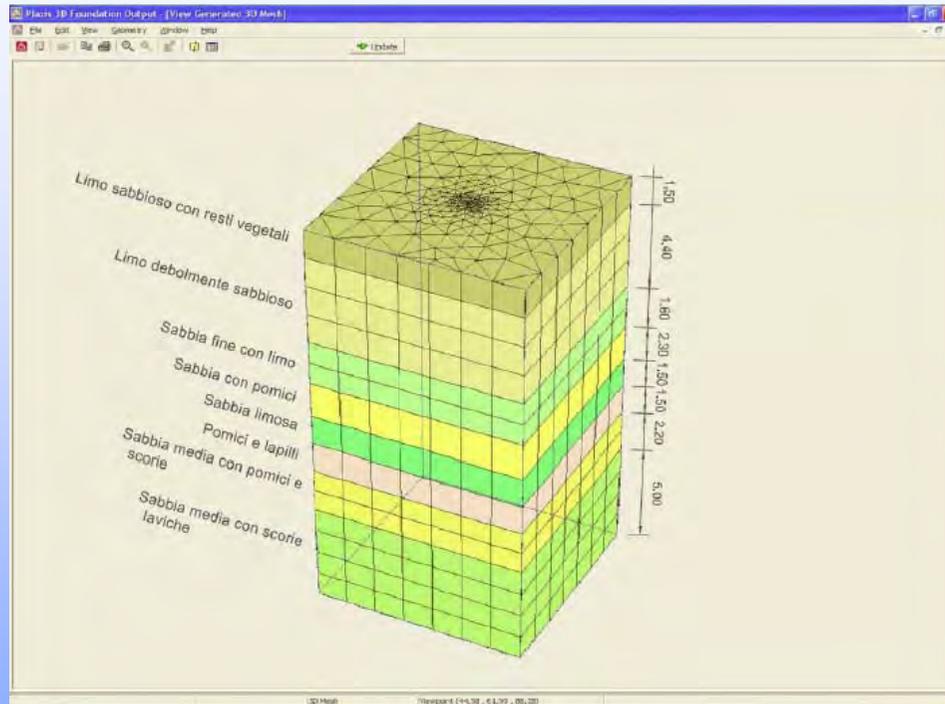
Geoprove S.a.s.



Mod. n. 002 del 26/09/06

FEM CAMPO TEANO

Plaxis 3D Foundation



Dispositivo TFEG+PALO

Elastico lineare

Legame costitutivo terreno:

Mohr Coulomb elastico perfettamente plastico

Menichelli 2007- Roma III

strato n°	definizione strato	γ	E	Φ	ν	R	c	profondità
		[kN/m ³]	[Mpa]	[°]	[-]	[-]	[kPa]	[m] da pc
1	Limo sabbioso con resti vegetali	16	30	30	0,3	0,5	70	1,5
2	Limo debolmente sabbioso	16	20	30	0,3	1	70	5,9
3	Sabbia fine con limo	16	280	31	0,3	1	40	7,5
4	Sabbia con pomici	15	80	30	0,3	1	0,1	9,8
5	Sabbia limosa	19	40	27	0,3	1	0,1	11,3
6	Pomici e lapilli	11	140	30	0,3	1	0,1	12,8
7	Sabbia media con pomici e scorie	16	510	35	0,3	1	0,1	15
8	Sabbia media con scorie laviche	16	340	35	0,3	1	0,1	20



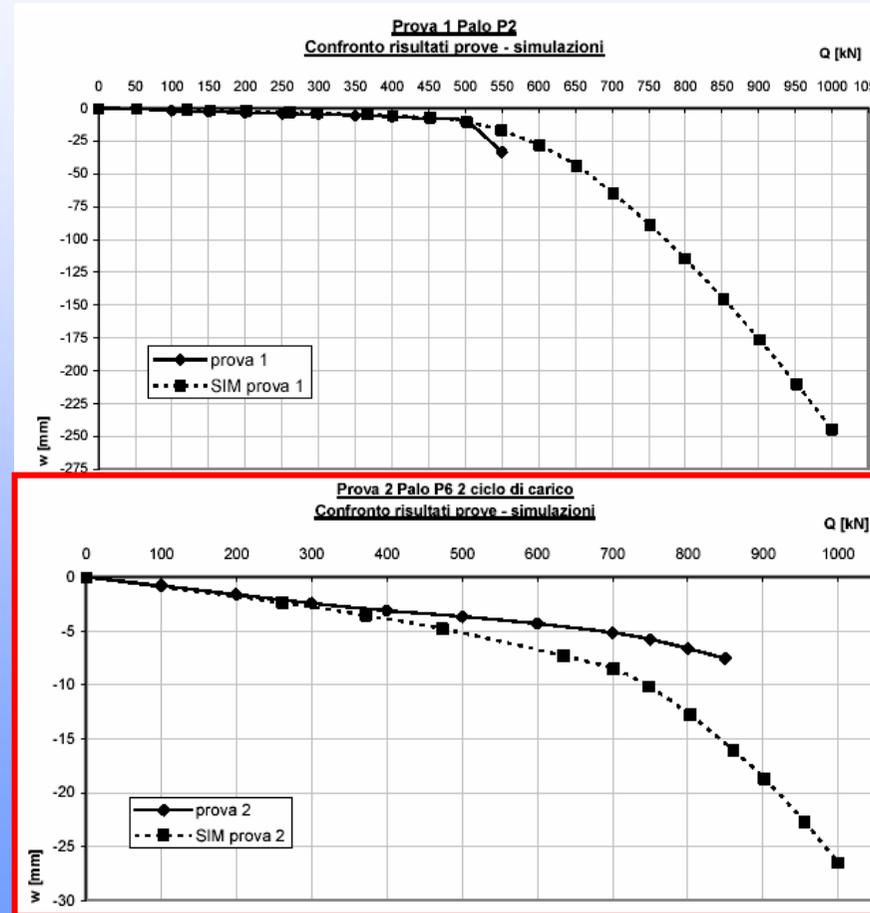
BREVETTO PER LE FONDAZIONI PROFONDE

FEM CAMPO TEANO

Plaxis 3D Foundation: SIMULAZIONE PROVA DI CARICO MICROPALI CON e SENZA TFE

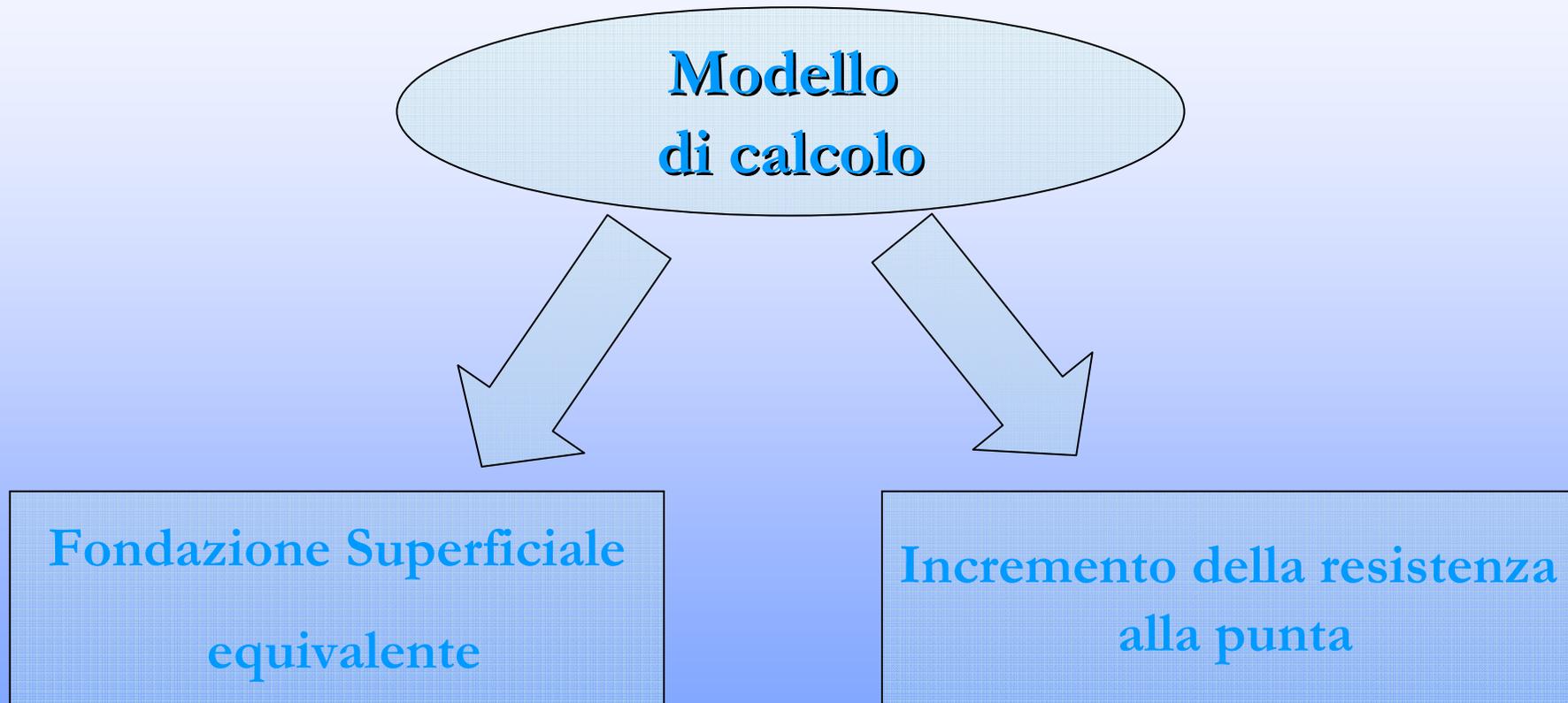
Simulazioni FEM

Mohr Coulomb EPP





Formulazioni pratiche



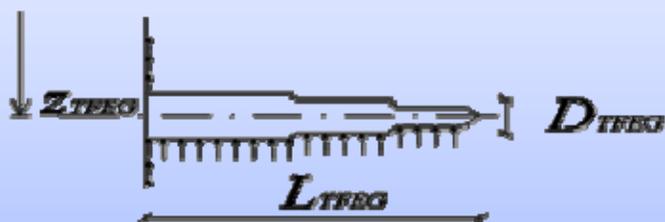


BREVETTO PER LE FONDAZIONI PROFONDE

Formulazioni pratiche

Fondazione superficiale equivalente (FSE)

Il contributo alla capacità portante fornita dal dispositivo TFEG è valutata attraverso il calcolo della portanza della fondazione superficiale equivalente secondo la formulazione classica di Brinch – Hansen.



IPOSTESI DI BASE

- *si trascura qualsiasi effetto del meccanismo di infissione*
- *si trascura l'effetto della deformabilità palo – terreno*
- *si trascura la deformabilità dell'elemento estruso*
- *schematizzazione del problema di tipo piano*
- *Superfici di rottura che si arrestano a quota z_{TFEG}*

C.D.

$$\Delta P = Q_{lim} = (N_q \sigma'_{vz_{TFEG}} + N_c c' + N_\gamma D_{TFEG} / 2) A_{TFEG}$$

C.U.

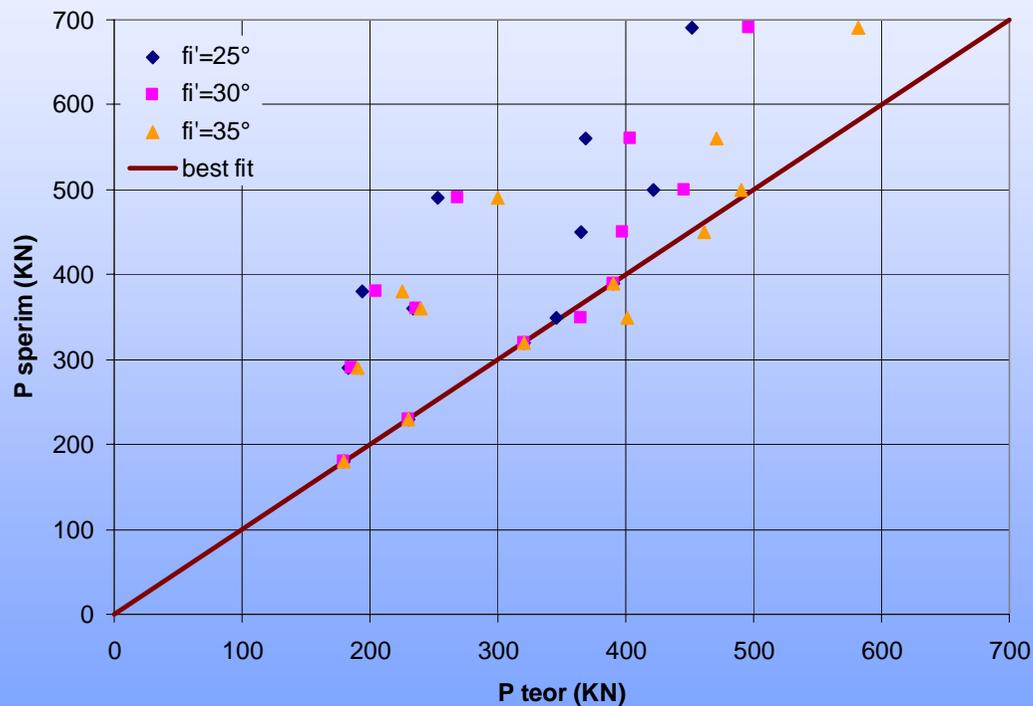
$$\Delta P = Q_{lim} = (\sigma_{vz_{TFEG}} + N_c c_u) A_{TFEG}$$



Formulazioni pratiche

Fondazione superficiale equivalente (FSE)

Correlazione dati sperimentali



Campo Sperimentale di San Giovanni a Teduccio (NA)

Semplificazione stratigrafica

Peso unità di volume: 16 kN/m³

Angolo di attrito : 25-35°

Assenza di coesione

E' stata condotta un analisi parametrica considerando vari parametri di resistenza (ϕ)

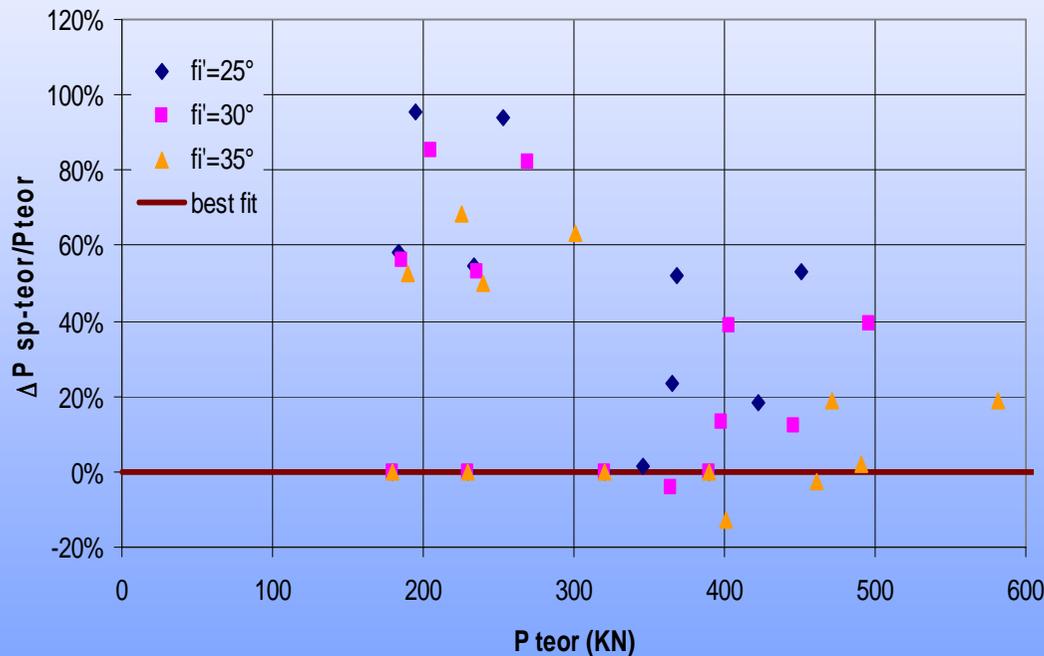
Il carico limite previsto dal modello risulta minore di quello calcolato con la FSE



Formulazioni pratiche

Fondazione Superficiale Equivalente (FSE)

Confronto con le previsioni



Campo Sperimentale di San Giovanni a Teduccio (NA)

Semplificazione stratigrafica

Peso unità di volume: 16 kN/m³

Angolo di attrito : 25-35°

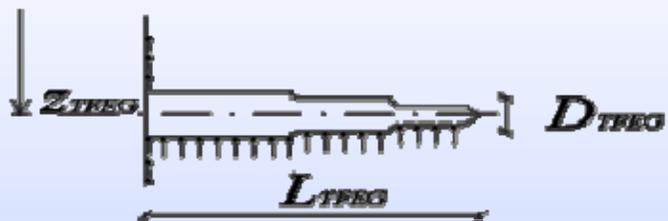
Assenza di coesione

La stima del carico limite con il modello della FSE comporta una sottostima del portanza reale del compresa tra 90% e -15%



Formulazioni pratiche

Incremento di Resistenza alla Punta (IRP)



(Bustamante-Gianeselli, 1982)

$$Q_p = Q_b + Q_l = (q_p A_p) + (F_p A_l)$$

$$q_p = K_c q_{ca}$$

$$F_p = \frac{1}{L} \int_0^L q_c \alpha$$

- q_{ca} valore medio q_c a $L \pm 1.5 D$
- K_c funzione del terreno e tipol. palo (tabellato)
- α funzione del terreno e tipol. palo (tabellato)

Si assimila la punta del sistema fornita come somma del palo e del dispositivo TFEG

$$P = Q_{lim} = q_p * A_{sistema}$$

$$A_{sistema} = A_{Palo} + \sum_i D_{TFEG,i} * L_{TFEG,i}$$

con K_c relativo al sistema di pali infissi

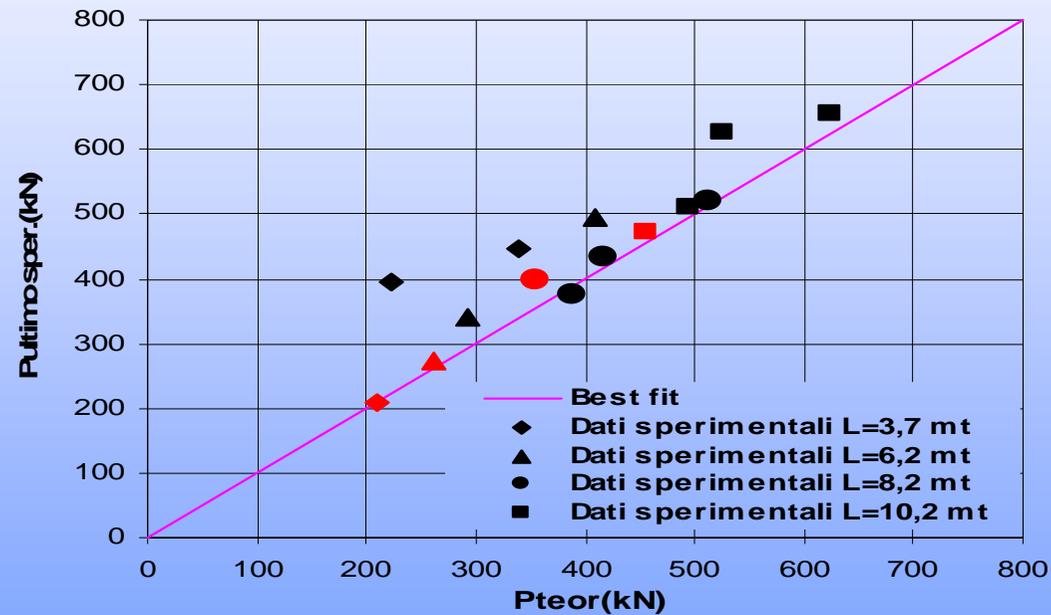
Sperimentalmente si è osservato che tale formulazione comporta una sottostima dell'effettiva efficacia del sistema nel caso di singolo dispositivo come si osserva dai grafici seguenti.



Formulazioni pratiche

Incremento di Resistenza alla Punta (IRP)

Correlazione dati sperimentali



In rosso vengono riportati i dati relativi ai micropali senza TFEG (bontà della correlazione)

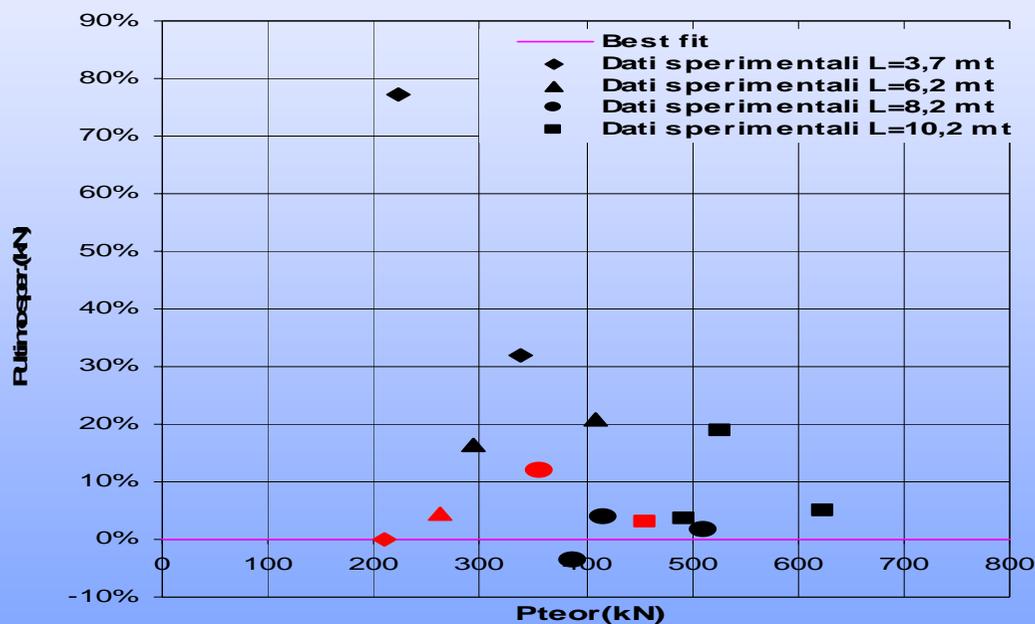


BREVETTO PER LE FONDAZIONI PROFONDE

Formulazioni pratiche

Incremento di Resistenza alla Punta (IRP)

Correlazione dati sperimentali



La stima del carico limite con B&G comporta una sottostima del portanza reale del compresa tra 70% e -5%

Una migliore correlazione si ottiene considerando il numero di dispositivi presente (1 o + TFEG)

Tale formulazione è stata verificante anche per il campo sperimentale di Teano e con le prove di progetto realizzati per la Prysmian Cable (ex Pirelli).



Sollecitazioni dinamiche

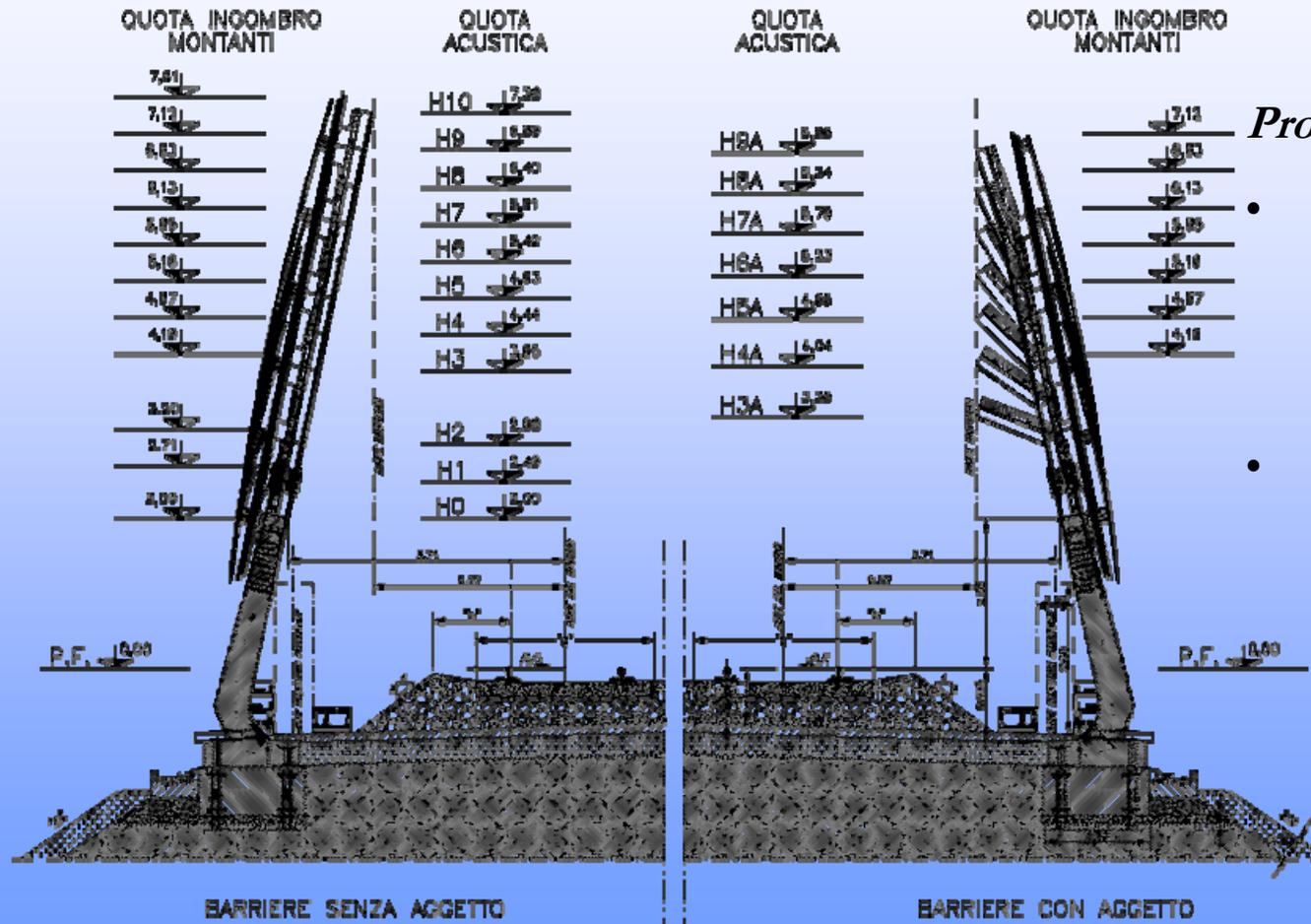
Proposta progettuale RFI

- Esecuzione di barriere antirumore in prossimità dell'asse ferroviario
- Esecuzione dei lavori durante le interruzioni di servizio
- Sollecitazioni cicliche dovute al vento ed al passaggio dei convogli
- Volontà di verificare il comportamento del TFEG sotto azioni dinamiche
- Campo sperimentale ENEA - RFI



BREVETTO PER LE FONDAZIONI PROFONDE

Sollecitazioni dinamiche



Progettazione RFI

- *Barriere antirumore di altezza variabile tra 2-7.5 m per velocità max treno di 200 km/h*
- *Pannellatura fonoriflettente o fonoassorbente inclinata di 12° verso i binari*



BREVETTO PER LE FONDAZIONI PROFONDE

Sollecitazioni dinamiche

Proposta RFI

Scenari progettuali

$$N_{SPT}=15$$

$$N_{SPT}=20$$

$$N_{SPT}=30$$

Interasse longitudinale 1.5 m

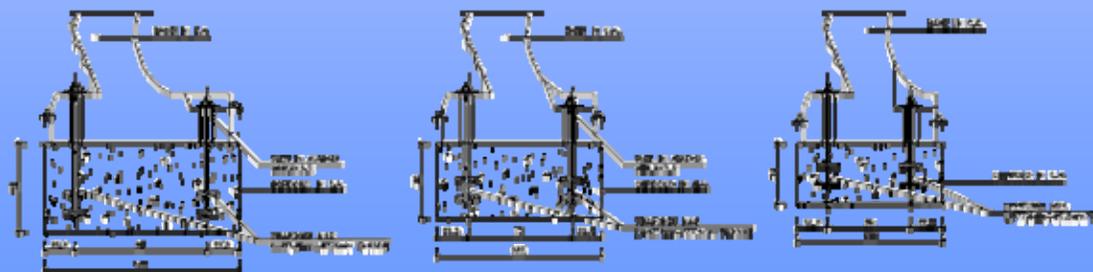
Interasse trasversale 0.5-0.9 m

BARRIERA TIPO	SEZIONE CORDOLO	MICROPALI- tecnologia INS				
		Perforazione	Tubolare di armatura	Lunghezza Micropali [m]		
				$N_{SPT} = 15$	$N_{SPT} = 20$	$N_{SPT} = 30$
H8-H10	140X68	φ 225	177.8x10	12.00	10.00	8.00
H3-H7	120X58	φ 225	177.8x8	11.00	9.50	8.50
H0-H2	105X48	φ 225	177.8x6.3	8.00	7.00	7.00

Sollecitazioni micropali per H7 ed H10

i [m]	Qp [ton]	Hp [ton]
0.7	46	2.7
	-27	2.7

i [m]	Qp [ton]	Hp [ton]
0.9	53	3.4
	-30	3.4



Sollecitazioni dinamiche



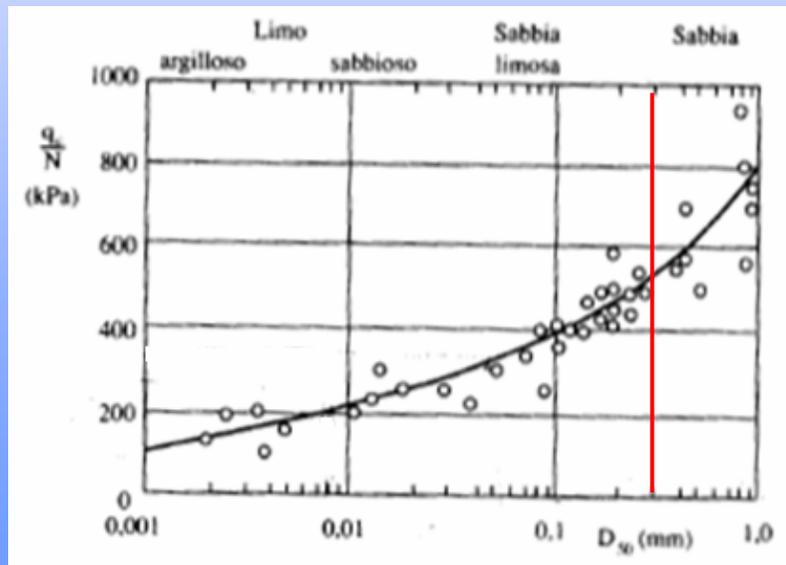
Proposta RFI

Scenari progettuali

$$N_{SPT}=15$$

$$N_{SPT}=20$$

$$N_{SPT}=30$$



Scelta progettuale : IGU

Terreno	Valori di α	
	IRS	IGU
Ghiaia	1,8	1,3 - 1,4
Ghiaia sabbiosa	1,6 - 1,8	1,2 - 1,4
Sabbia ghiaiosa	1,5 - 1,6	1,2 - 1,3
Sabbia grossa	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2
Sabbia media	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2
Sabbia fine	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2
Sabbia limosa	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2
Limo	1,4 - 1,6	1,1 - 1,2
Argilla	1,8 - 2,0	1,2
Marne	1,8	1,1 - 1,2
Calcari marnosi	1,8	1,1 - 1,2
Calcari alterati o fratturati	1,8	1,1 - 1,2
Roccia alterata e/o fratturata	1,2	1,1



Sollecitazioni dinamiche

Proposta RFI

Determinazione resistenza per carichi orizzontali (Broms)

$$\phi' = \sqrt{15N_{SPT} + 15}$$

Road Bridge Specification

Schematizzazione geotecnica

Scenario	γ [kN/m ³]	N _{SPT}	ϕ [°]
SCEN1	18	15	30
SCEN2	18	20	32
SCEN3	18	30	36

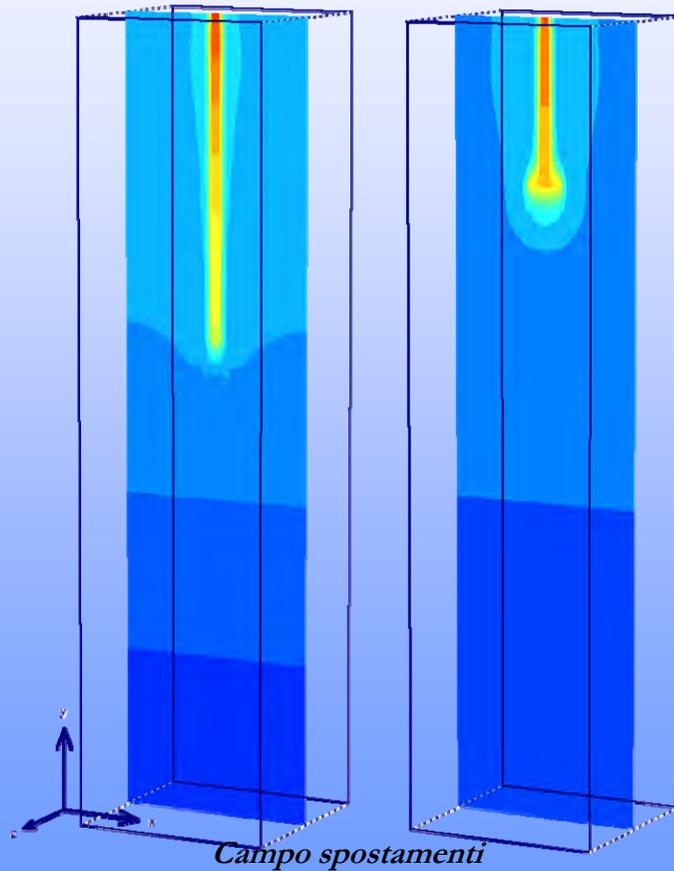
Confronto proposta RFI - JobSoil

			Lunghezza in ml.											
			Micropali IRS (no TFEG)			Micropali proposti IGU+TFEG			Delta in ml.			Delta in %		
Bar. tipo	ϕ Perf.	ϕ armatura	N _{SPT} 15	N _{SPT} 20	N _{SPT} 30	N _{SPT} 5	N _{SPT} 0	N _{SPT} 30	N _{SPT} 15	N _{SPT} 20	N _{SPT} 30	N _{SPT} 15	N _{SPT} 20	N _{SPT} 30
H 10	$\phi 225$	177.8x10	12	10	8	9	5	4	-3	-5	-4	25%	50%	50%
H 7	$\phi 225$	177.8x8	11	9,5	8,5	7	4	4	-4	-5.5	-4.5	36%	58%	53%

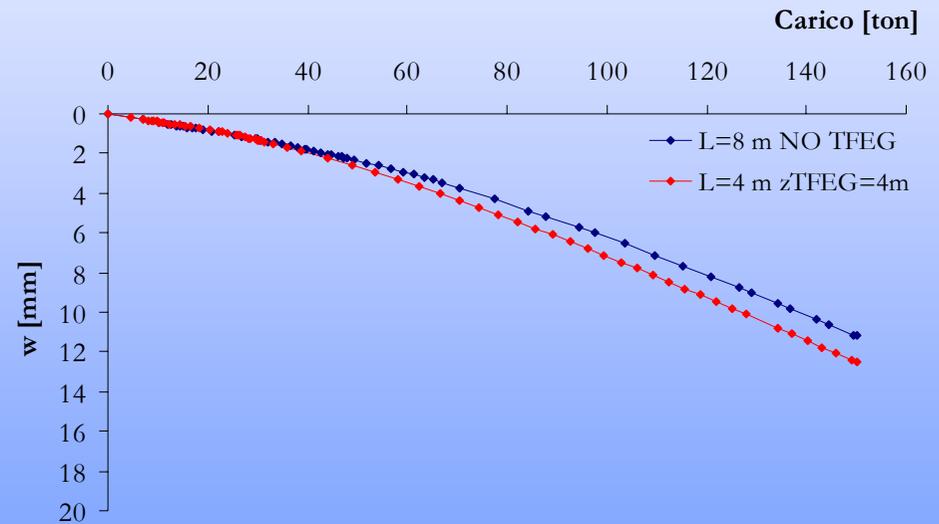


Sollecitazioni dinamiche

Scenario progettuale $N_{SPT}=30$



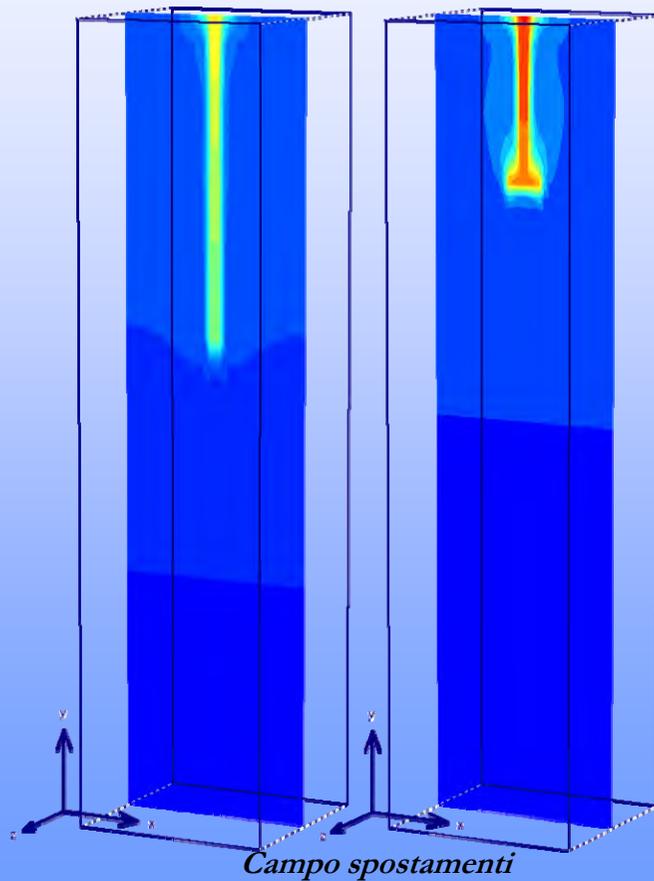
Simulazione prove di compressione



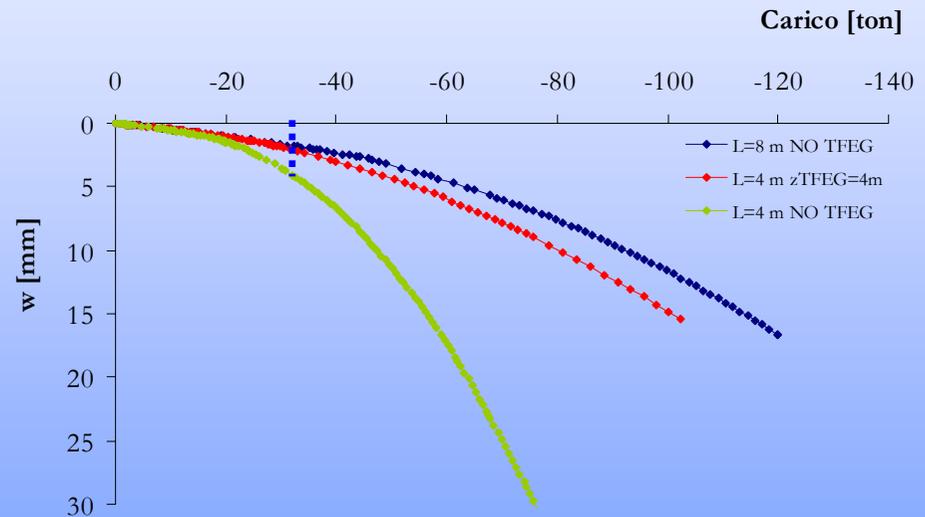


Sollecitazioni dinamiche

Scenario progettuale $N_{SPT}=30$



Simulazione prove di trazione





*Grazie per la vostra
attenzione e ...*

Buon Natale