
SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

International Master Course in Civil Engineering

ABSTRACT

TESI DI LAUREA

in
Geotechnical Engineering

**NUMERICAL INVESTIGATION OF STIFFNESS EFFECTS ON
LATERALLY LOADED MONOPILES**

AUTORI

Elena Paolazzi

Chiara Latini

RELATORI

Varvara Zania
(Technical University of Denmark)

Guido Gottardi
(Università di Bologna)

Pali di fondazione soggetti a carico laterale

Modelli Numerici 3D

Lo scopo del lavoro è quello di investigare gli effetti della rigidità dei pali e delle caratteristiche del terreno sul comportamento del sistema palo-terreno.

Vengono esaminati pali cilindrici d'acciaio rigidi e flessibili infissi in terreni sabbiosi.

Il problema viene affrontato sia da un punto di vista sperimentale che attraverso una modellazione ad elementi finiti. In laboratorio si costruiscono dei modelli in scala ridotta testati in centrifuga geotecnica che garantisce l'equivalenza delle tensioni. Parallelamente si creano dei modelli numerici, che tengono conto del comportamento non lineare del terreno, atti a simulare ciò che avviene in laboratorio. Dal confronto dei risultati ottenuti con i due metodi è possibile studiare deformazioni ultime e tensioni che si sviluppano sottoponendo il palo ad un carico laterale eccentrico.

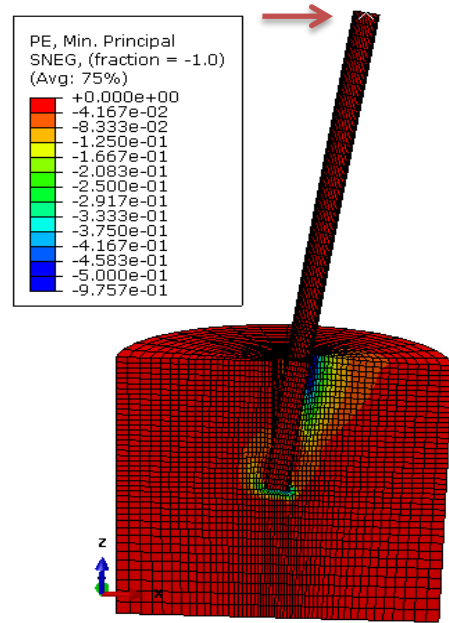


Fig.1 : Meccanismo di rottura pali flessibili

Metodologia (modelli numerici)

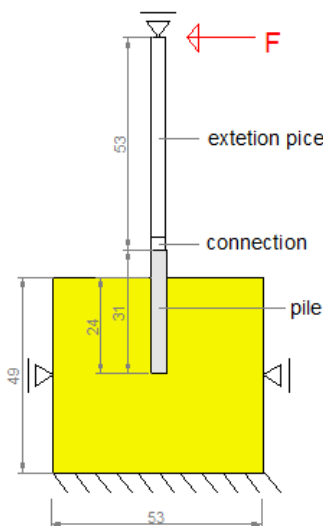


Fig.2 : Geometria e Schema statico

Lo schema statico e la geometria del problema sono illustrati nella figura a fianco. Il palo d'acciaio di diametro 4 cm è infisso nel suolo sabbioso per 24 cm, la forza è applicata a 15 diametri (60 cm) dal terreno. Il modello è costruito in scala ridotta perché in uno stadio successivo dell'analisi viene aumentato il campo gravitazionale di 25 volte in modo tale da simulare fedelmente gli esperimenti di laboratorio. Le tensioni e deformazioni ottenute sono quindi di un palo di 1 m di diametro e 21 m di altezza.

Si utilizzano pali a sezione piena e pali cavi ($t = D/6 = 6\text{mm}$) con base chiusa e aperta (hollow plugged and unplugged); che hanno diverse rigidzze ed presentano comportamenti rigidi o flessibili. Per studiare gli effetti delle caratteristiche del suolo si variano l'angolo di resistenza al taglio e il coefficiente d'attrito sull'interfaccia palo-terreno.

Il suolo viene discretizzato con Brick – elements, aumentando il numero di elementi in corrispondenza dell'interfaccia di contatto. Il palo viene discretizzato con Shell-elements se è cavo e Brick – elements quando è a sezione piena. Gli elementi appartenenti alla superficie di contatto devono essere di uguale numero e legati con l'algoritmo di tipo contact-pair.

		Suolo	Palo
Densità	ρ [tn/m ³]	1.7	7.8
Comportamento Elastico			
Modulo di Young	E [kPa]	60 000	209 000 000
Coeff. di Possion		0.3	0.3
Comportamento Plastico MohrCulomb			
Friction Angle	ϕ	33° - 36°	
Coeff. di attrito	k	2/3 ϕ - ϕ	
Dailation Angle	ψ	8°	
Coesione	c [kPa]	6	

L'analisi richiede alcune fasi preliminari: prima dell'applicazione della forza laterale è necessario stabilire un'equilibrio geostatico nel terreno tra le tensioni e l'azione gravitazionale g (9.81m/s²); poi viene aumentata l'azione gravitazionale fino a 25g ed infine si applica la forza laterale in due step di carico.

Risultati e Conclusioni

Il risultati della ricerca dimostrano che il meccanismo di rottura del suolo è complesso, infatti sono presenti spostamenti di slittamento e formazione di deformazioni plastiche (evidenziate in Fig. 1 nei colori arancione- blu).

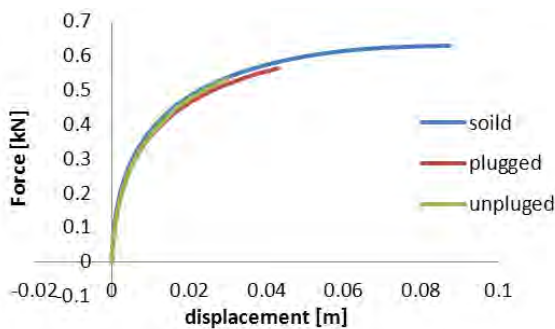


Fig.3 : Curve Forza-Spostamento suolo 1 ($\phi=33^\circ \delta = 2/3 \phi$) da FEM

Dalla trattazione numerica gli effetti della rigidità del palo risultano trascurabili sulla capacità portante (Fig. 3), anche se pali rigidi e flessibili presentano differenti configurazioni deformate. I pali a sezione piena e i pali cavi a base aperta ruotano attorno ad un punto fisso a circa 4 diametri dal livello del suolo, esponendo comportamento rigido. I pali cavi a base chiusa presentano una leggera variazione di inclinazione che aumenta con l'altezza del palo.

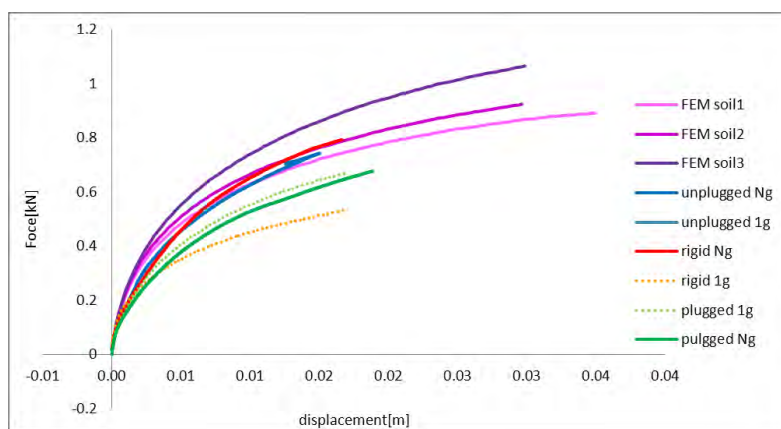


Fig.4 : Curve Forza-Spostamento da Centrifuga Geotecnica e FEM

I risultati di laboratorio invece testimoniano una variazione di capacità portante a seconda del tipo di palo. Per esempio i pali a sezione piena (linea rossa Fig.4) hanno capacità portante maggiore. Questa differenza può essere dovuta all'installazione del palo nel terreno (modellata in laboratorio ma non nei modelli numerici) che altera il suolo e quindi anche la sua capacità portante.

Le curve pressione-spostamento orizzontale (p-y curves) a differenti profondità sono state calcolate a partire dagli output del Modello FE e confrontate con quelle fornite dal American Petroleum Institute (A.P.I.).

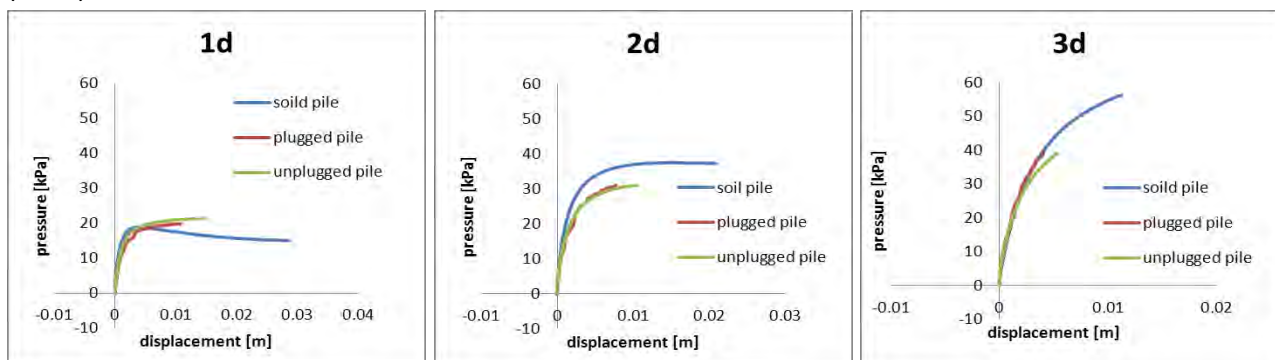


Fig.5 : Curve p-y suolo 1 ($\phi=33^\circ \delta = 2/3 \phi$) a 4 cm (1diametro), 8 cm (2d), 12 cm (3d)

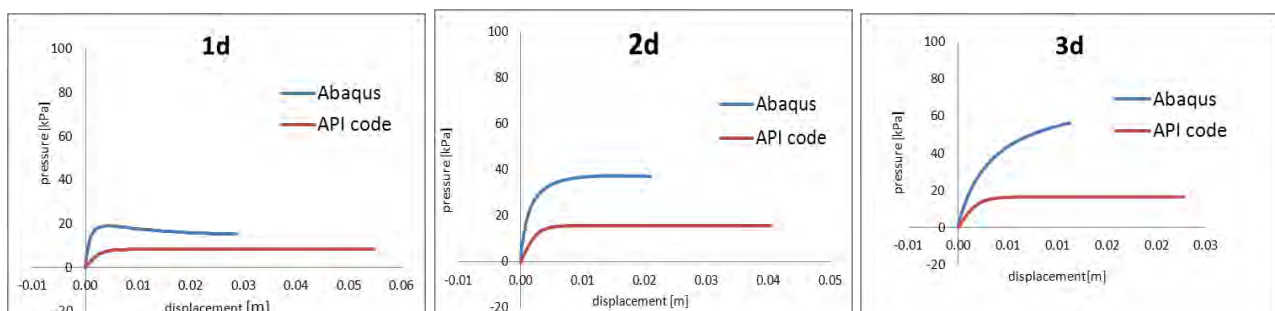


Fig.6 : Curve p-y suolo 1 ($\phi=33^\circ \delta = 2/3 \phi$) palo a sezione piena (linea blu) e codice A.P.I.

Dai grafici di confronto tra i diversi tipi di palo (Fig.5) si osserva che l'andamento delle pressioni nel terreno risulta relativamente differente a seconda che i pali siano rigidi (linea blu) o flessibili (linee rossa e verde). Il metodo di calcolo utilizzato più comunemente per progettare pali soggetti a carico laterale è basato sulle curve p-y fornite dal codice A.P.I. che non differiscono a seconda della rigidità del palo o del metodo di installazione. I grafici di Fig. 6 dimostrano che le curve fornite dal codice sottostimano i valori della pressione nel terreno rispetto a quelli ottenute dal Modello ad Elementi Finiti.

La ricerca continuerà per ottenere curve pressione-spostamento anche dagli esperimenti in laboratorio.