

Comportamento di un palo di grande diametro strumentato*

M. APPENDINO **

Ritengo che alcuni degli argomenti discussi dai relatori e affiorati nella discussione possono essere illustrati dalle elaborazioni dei risultati di una prova di carico eseguita su di un palo strumentato.

In particolare intendo richiamare l'attenzione sui seguenti tre punti:

- informazioni che si possono ottenere da un palo strumentato;
- impiego di un nuovo procedimento di calcolo non lineare derivato dalla soluzione di MINDLIN [1936] per l'analisi della interazione palo-terreno;
- possibilità di trasferire alla punta di un palo trivellato carichi elevati con piccoli spostamenti.

Le caratteristiche del palo e del terreno sono riassunte nella fig. 1.

Si tratta di un palo trivellato $\varnothing = 1,00$ m eseguito in un terreno costituito da uno strato di circa 30 m di argilla n. c. poggiante, dopo alcuni strati alternati di sabbia e limo, su una formazione di sabbia compatta. La lunghezza del palo è di circa 46 m. Alla punta del palo, dopo l'indurimento del calcestruzzo, è stata eseguita una serie di iniezioni di malta cementizia che hanno prodotto una condizione permanente di carico alla punta pari a circa 400 t.

Il palo è stato strumentato mediante strain gauges elettrici applicati su spezzoni di ferro d'armatura collegati alle staffe dell'armatura del

ciascuna sezione sono collocati due strain gauges in posizioni diametralmente opposte. La prova di carico è stata eseguita applicando incrementi di carico di 50 t fino al valore massimo di 900 t

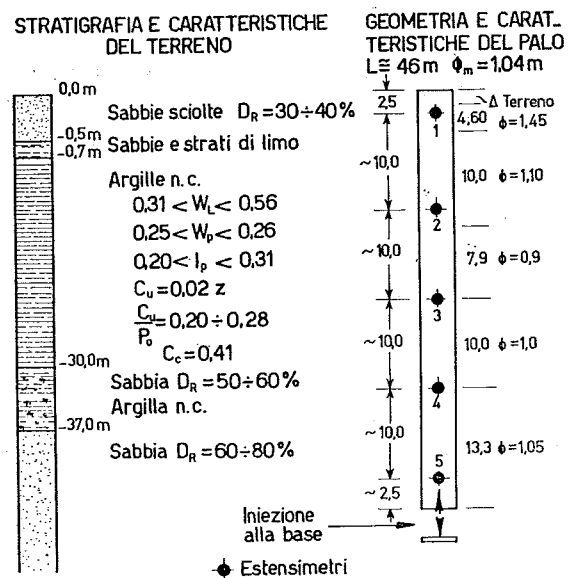


Fig. 1. - Caratteristiche del terreno e del palo.

palo. Essi sono disposti su 5 sezioni diverse; in ed è durata complessivamente 11 giorni (fig. 2). I carichi sono stati applicati mediante un martinetto idraulico da 1000 t comandato da una centralina oleodinamica dotata di automatismi per il controllo della pressione.

Nella fig. 3 è schematizzato il modello adottato per l'analisi della interazione tra palo e terreno. Il palo, deformabile longitudinalmente, è considerato immerso in uno strato elastico di spessore $5/4 l$ ($l =$ lunghezza del palo) avente modulo di deformazione variabile come indicato in figura e coefficiente di Poisson costante, pari a 0,3.

I valori del modulo di deformazione sono stati assunti in relazione allo stato di sollecitazione medio prodotto dal palo nel mezzo elastico.

I valori di aderenza massima fra le pareti del palo, ed il mezzo, pure indicati nella stessa fi-

* Contributo al « panel » sul tema: « Fondazioni profonde » all'XI Convegno di Geotecnica, Milano, marzo 1973.

I risultati riportati fanno parte di una serie di prove sperimentali eseguite dall'ENEL per lo studio della palificata della centrale di Porto Tolle. La strumentazione è stata progettata e seguita dagli ingg. Parvis ed Agostinetti (ENEL-C.P.C.T., Milano), mentre i controlli degli assestamenti ed il coordinamento delle prove di carico sono stati eseguiti dall'U.C.T. (ENEL-C.P.C.T., Milano). L'autore ringrazia il sig. Agostinetti per il suo contributo alla elaborazione dei dati sperimentali.

** Dott. ing. Mario APPENDINO, ENEL - Centro P.C.T., Milano.

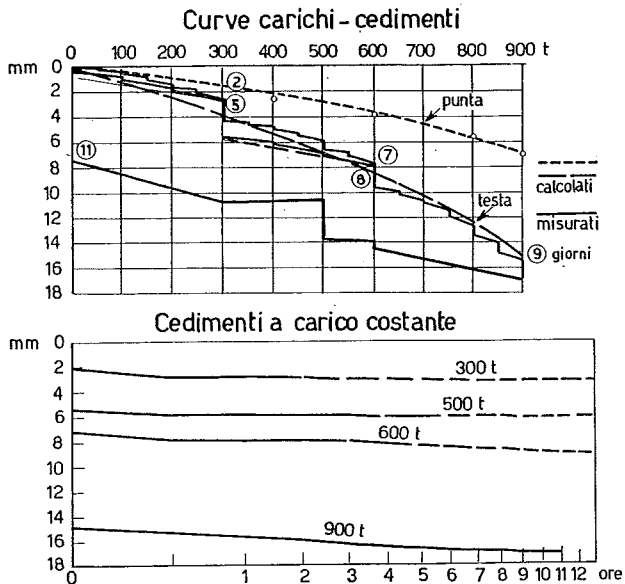


Fig. 2. - Spostamenti verticali della testa del palo e della punta durante la prova di carico.

gura, sono quelli ottenuti dalle curve sperimentali di trasferimento.

Il procedimento di calcolo [APPENDINO-SEMINO, 1973] deriva da quello *non lineare*, utilizzando la soluzione di Mindlin, messa a punto da MATTES e POULOS [1969] nel caso di deformabilità costante. Esso consente di calcolare in modo approssimato le deformazioni di un mezzo avente il modulo di deformazione variabile con la profondità.

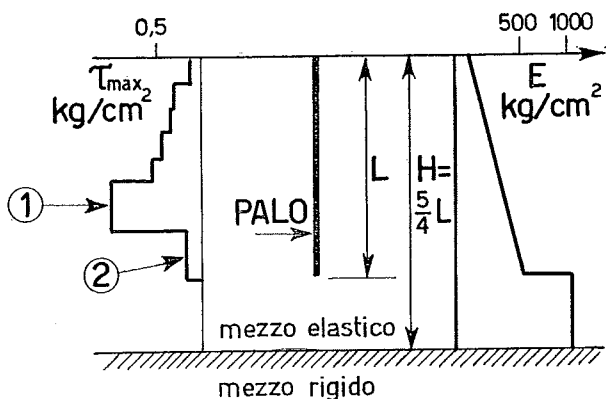


Fig. 3. - Modello impiegato per il calcolo dell'interazione palo-terreno.

Nelle figg. 2, 4, 5, 6, 7 sono riportati i risultati della prova di carico e delle successive elaborazioni.

La distribuzione dei carichi lungo il palo (figg. 4 e 5), è stata ottenuta rapportando le letture degli strain gauges ai vari livelli a quelle eseguite alla testa del palo, cui è fatto corrispon-

dere l'intero carico applicato al palo, determinato dalle letture del manometro di precisione applicato sul circuito del martinetto.

Questo calcolo è stato eseguito assumendo la sezione del palo corrispondente al valore del diametro risultante dal volume di calcestruzzo

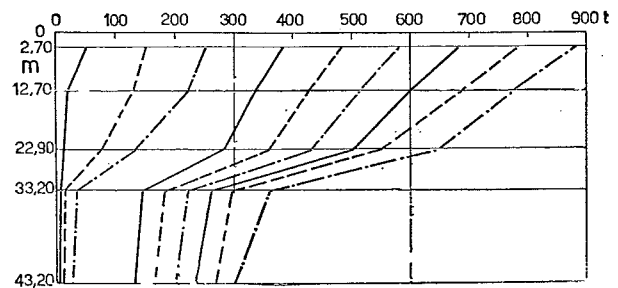


Fig. 4. - Distribuzione del carico lungo il palo.

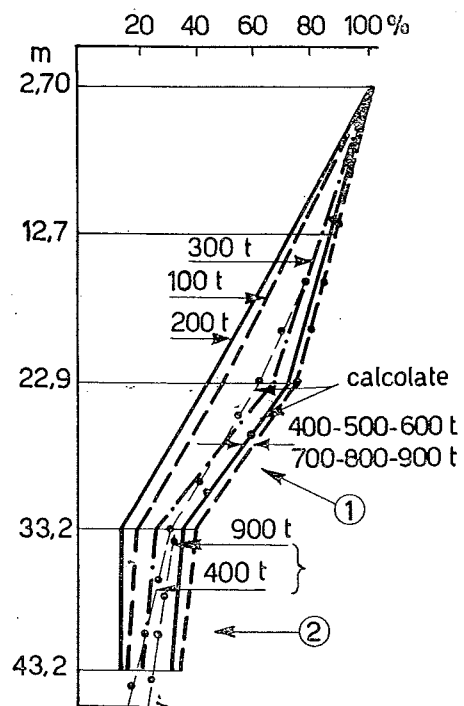


Fig. 5. - Distribuzione percentuale del carico lungo il palo.

messo in opera (fig. 1). L'andamento delle curve nei punti 1 e 2, riportati nella fig. 5, indica un apparente maggiore contributo di attrito laterale del terreno fra 23 e 33 m di profondità e — al tempo stesso — una riduzione del contributo di attrito nel tratto inferiore del palo, cioè fra 33 e 43 m.

Nella fig. 6 si osserva come l'attrito mobilitato corrisponda alla resistenza non drenata dell'argilla fino alla quota 23, dopo di che arriva ad 1,5 volte il valore della resistenza non drenata.

Questo comportamento può essere dovuto a un rigonfiamento del palo in corrispondenza della

sezione di misura⁽¹⁾, del tutto possibile in un palo trivellato, o anche allo stato di sollecitazione precedentemente indotto dalla iniezione alla punta del palo e dall'attrito negativo sviluppatosi in precedenza all'inizio delle prove di carico.

A titolo illustrativo nelle figg. 7 e 8 sono riportate le misure, eseguite su un palo simile, delle sollecitazioni indotte nel palo dalla iniezione alla punta e dall'attrito negativo, rispettivamente corrispondenti a circa 400 t per effetto

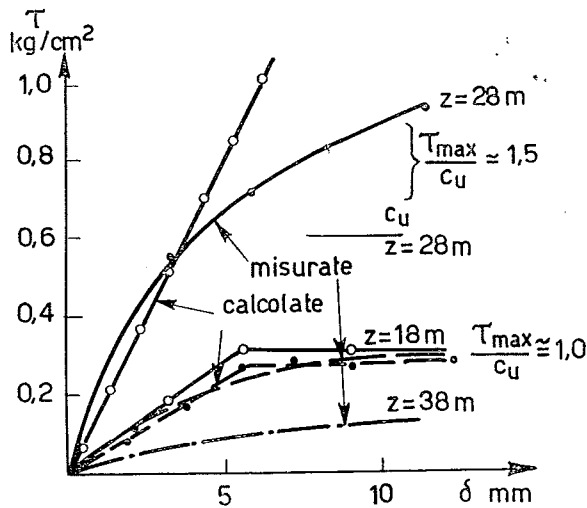


Fig. 6. - Curve di trasferimento del carico laterale.

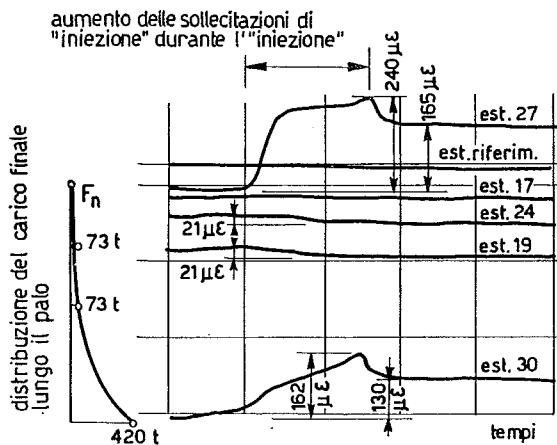


Fig. 7. - Iniezione alla punta del palo.

(1) Gli estensimetri applicati forniscono la misura della sollecitazione unitaria del calcestruzzo nel palo mentre il diametro e quindi la sezione del palo — per cui questo valore deve essere moltiplicato per ottenere il carico — possono risultare localmente diversi dai valori medi desunti — tronco per tronco — dall'assorbimento del calcestruzzo. Piccole variazioni del diametro possono produrre anche sensibili variazioni nel valore del carico così calcolato.

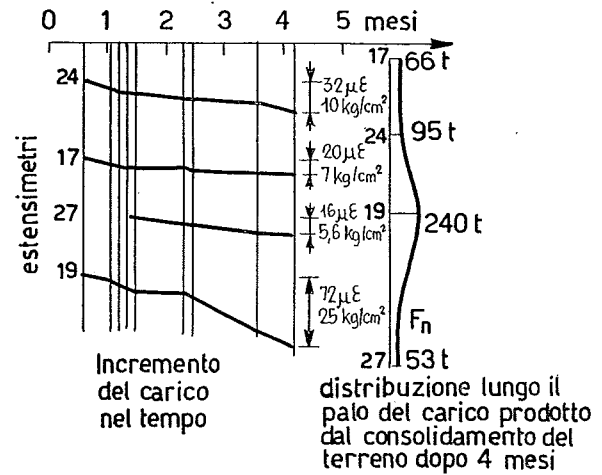


Fig. 8. - Incremento del carico nel tempo.

dell'iniezione e a circa 200 t per effetto dell'attrito negativo.

La fig. 9 infine riporta la curva di trasferimento del carico alla punta del palo. E' interessante notare come in questo caso le sollecitazioni alla punta vengono mobilitate in forma rilevante con

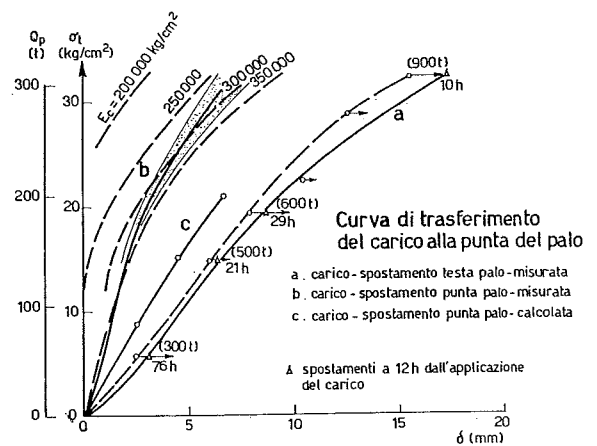


Fig. 9. - Curva di trasferimento del carico alla punta del palo.

spostamenti alla punta del palo dello stesso ordine di grandezza di quelli richiesti per mobilitare la resistenza laterale (fig. 6). Si tratta di un comportamento molto diverso da quello abitualmente constatato nei pali trivellati in sabbia, che ritengo sia conseguenza diretta della iniezione eseguita alla punta.

Si fa infine osservare la notevole capacità di adattamento del modello di calcolo utilizzato alle curve sperimentali. Con questo modello elastoplastico a modulo di deformazione variabile risulta infatti possibile ottenere delle curve di tra-

sferimento laterale del carico bilineari con inclinazione della prima retta variabile.

BIBLIOGRAFIA

MINDLIN (1936) - *Force in a point in the interior of a semi-infinite solid*. Physics, vol. 7, n. 5.

POULOS (1969) - *Settlement of single compressible pile*. Journal of Soil Mech. and Found. Div. - proc. ASCE - SM1.

APPENDINO-SEMINO (1973) - *Impiego della soluzione di Mindlin per lo studio del comportamento dei pali caricati verticalmente*. Parte II. Relazione n. ENEL-D.S.R. (di prossima pubblicazione).

SUMMARY

Some results of a full-scale investigation in a large instrumented bored pile

The paper represents a contribution to the panel

discussion on the theme: «Deep Foundations» at the XI Italian Geotechnical Conference, Milano, march 1973.