

Esperienze su modelli di gruppi di pali in sabbia.

A. S. VESTIC: *Experiments with Instrumented Pile Groups in Sand*. Performance of Deep Foundations, A.S.T.M. Special Tech. Pub. N. 444 (1969).

Il meccanismo di trasferimento del carico al terreno circostante attraverso un singolo palo costituisce un problema staticamente indeterminato la cui soluzione non è stata ancora formulata rigorosamente; però l'imponente massa di indagini, sia teoriche che empiriche, svolte sul comportamento del palo singolo, hanno reso tale argomento ormai sufficientemente noto quanto meno ai fini tecnici. Più complesso e molto meno noto si presenta invece il comportamento delle palificate di fondazione, costituite da un insieme di più pali distanziati fra loro e collegati da un plinto o da un piastrone immerso o poggiante sul terreno. Per tali ragioni quindi, ancora oggi, le indagini su gruppi di pali sono sempre condotte per paragone al comportamento del palo singolo, cioè si fa riferimento all'efficienza η del gruppo di N pali, definita come rapporto fra il carico limite del gruppo ed il carico limite del palo singolo moltiplicato per N, ed al *fattore di cedimento* ζ del gruppo definito come rapporto tra il cedimento del gruppo stesso e quello del palo singolo a parità di carico medio.

La determinazione di queste grandezze, molto utili ai fini tecnici, è stata tentata analiticamente con un certo successo solo per il caso delle fondazioni in terreni coerenti; in realtà le sole informazioni attendibili, specie per il caso delle palificate in terreni privi di coesione, debbono necessariamente provenire da indagini sperimentali. Se si tiene conto della difficoltà di eseguire prove in vera grandezza su gruppi di pali, si comprende l'importanza che le prove su modello - o meglio, le esperienze in piccola scala - assumono in questo settore.

Numerose indagini di questo tipo sono state svolte per il passato, come le classiche ricerche condotte da PRESS in Germania; tuttavia esse o non hanno

validità generale per le condizioni particolari dei terreni esaminati o lasciano dubbi sulla possibilità di trasferimento dei risultati alle condizioni reali per le troppe modeste dimensioni dei modelli.

In questo quadro si inseriscono le indagini su modelli di grandi dimensioni svolte da VESTIC al *Georgia Institute of Technology* su gruppi di 4 e 9 pali in sabbia. I pali, costituiti da un tubo di alluminio chiuso all'estremità, avevano diametro 10 cm e lunghezza 150 cm ed avevano ognuno, sia in prossimità della testa che della punta, *strain-gauges* per la misura sia del carico totale sia del carico alla punta. In tutte le prove su gruppi di pali, ad eccezione di una, la parte superiore di essi veniva affogata in un plinto di calcestruzzo sul quale, mediante un martinetto idraulico, venivano esercitati i carichi misurati e registrati con una cella di carico elettronica. L'interasse dei pali, disposti in gruppi quadrati, è variato nelle diverse prove fra due e sei diametri.

Il gruppo di pali veniva infisso staticamente in un deposito artificiale di sabbia asciutta contenuta in un grosso cassone cilindrico del diametro di 2,5 m e profondo oltre 6,5 m.

Due sono state le condizioni del terreno nelle esperienze:

(a) sabbia omogenea mediamente densa (densità relativa $D_r \approx 0,65$);

(b) terreno stratificato costituito da uno strato superiore di circa 48 in. di sabbia molto sciolta ($D_r \approx 0,20$) sovrastante a sabbia densa ($D_r \approx 0,80$).

Le tecniche usate per ottenere l'omogeneità dell'addensamento della sabbia, la modalità e le apparecchiature di controllo dell'addensamento, la natura e le caratteristiche generali della sabbia impiegata, sono state descritte accuratamente dall'A. in un articolo precedente, cui si rinvia il lettore interessato [VESTIC, 1963].

Una volta infisso il gruppo di pali nella sabbia e costruito il plinto di calcestruzzo poggiante sul terreno si è effettuata la prova di carico procedendo per incrementi pari circa a 1/20 del presunto carico di rottura. La velocità media del cedimento della palificata è stata di circa 0.01 in./min' fino ad un cedi-

mento complessivo di 2 in. Successivamente l'esperienza è stata protratta fino ad un cedimento di 6 in. Il carico limite della palificata, definito come il minimo carico che determina la più elevata velocità di cedimento, è stato raggiunto con cedimenti compresi fra 0,3 e 0,6 in.

Le prove su gruppi di pali sono state complessivamente dieci, di cui sette con gruppi di 4 pali e tre con gruppi di 9 pali. Affiancate a queste e con le stesse modalità sperimentali sono state svolte cinque prove con palo singolo.

Qui di seguito vengono riportati i risultati più significativi conseguiti.

1) *Efficienza del gruppo*. Attraverso il confronto fra il comportamento a rottura del palo singolo sono stati calcolati per ogni prova i valori della efficienza relativa al carico limite totale con e senza tener conto del contributo del plinto. Inoltre è stata calcolata anche separatamente l'efficienza dovuta alla resistenza alla punta e alla resistenza per attrito laterale. Nella fig. 1 vengono per l'appunto riportati tali valori in funzione dell'interasse dei pali espresso in diametri, per le prove eseguite su sabbia mediamente densa.

Come può notarsi dalla figura non

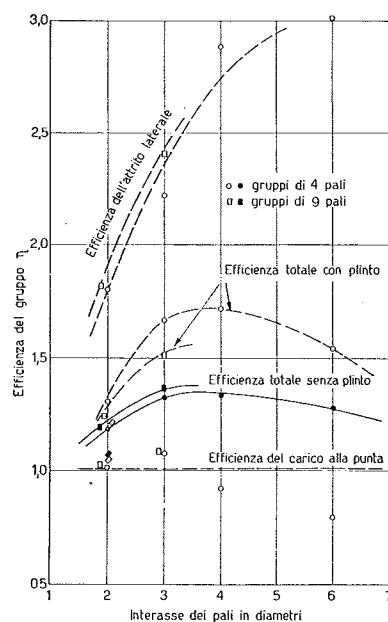


Fig. 1

vi è effetto di gruppo sulla resistenza alla punta dei pali ($\eta \approx 1$). Al contrario si raggiunge un notevole incremento della resistenza per attrito laterale quando i pali sono in gruppo; tale effetto aumenta con l'aumentare della distanza fra i pali ed infatti i valori di η passano da 1,8 con interasse uguale a due diametri, a circa 3 con interasse uguale a cinque diametri.

L'efficienza complessiva della palificata tenendo conto del contributo dovuto al plinto raggiunge per gruppi di 4 pali un massimo di circa 1,7 con interasse compreso tra tre e quattro diametri; tale efficienza diviene più modesta all'aumentare della distanza fra i pali.

Se poi si sottrae il contributo del plinto l'efficienza si riduce ad un massimo di 1,3 e risulta approssimativamente costante nei gruppi di 4 e 9 pali (curve continue in fig. 1).

A tal proposito è interessante osservare che il plinto contribuisce al carico limite complessivo come una fondazione superficiale di area ridotta pari a quella compresa tra il perimetro esterno della palificata ed il bordo del plinto stesso.

L'unica prova svolta su terreno stratificato - non rappresentata in fig. 1 -

disposti nella stessa posizione; gli scarti massimi sono contenuti entro un 20%.

Nel caso di gruppi di 9 pali quello centrale sopporta un carico maggiore del 20-50% rispetto al valore medio.

3) *Cedimenti delle palificate.* Per analizzare i cedimenti è stata presa a base la parte lineare iniziale delle curve carichi-cedimenti, sia dei gruppi di pali sia del palo singolo; dal loro confronto sono stati calcolati i coefficienti di cedimento ζ del gruppo. Tali valori vengono riportati nella fig. 2 in funzione della larghezza relativa del gruppo definita come rapporto fra la distanza dei pali esterni ed il diametro del palo. Sulla stessa figura sono anche riportati altri dati sperimentali raccolti dall'A. e relativi a palificate in sabbie mediamente dense. Inoltre, per confronto, è riportata anche una relazione empirica proposta da Meyerhof per gruppi di pali quadrati.

Dai risultati di tutte queste esperienze risulta che il cedimento delle palificate in sabbia è maggiore rispetto al cedimento del palo singolo, a parità di carico medio.

Sebbene non sia stata definita con sicurezza una relazione precisa tra ζ e B/ϕ (per la definizione dei simboli

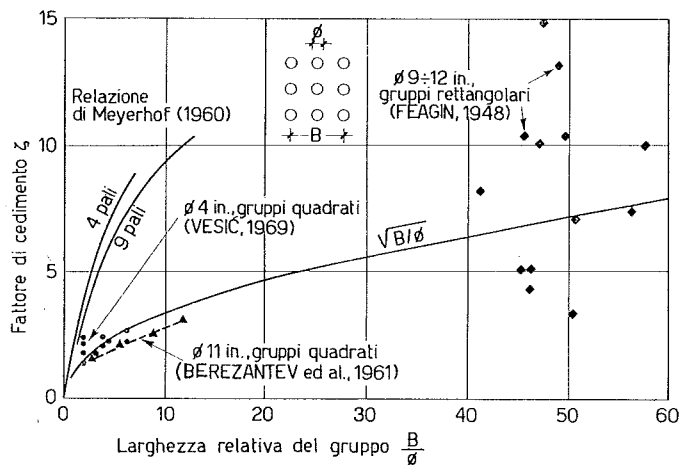


Fig. 2

da luogo a valori dell'efficienze di poco maggiori di 1.

Da questi risultati l'A. conclude che nel progetto delle palificate in sabbia si debbano usare cautelativamente valori dell'efficienza pari ad 1, a meno che da prove dirette in sito non si possano dedurre valori maggiori.

2) *Distribuzione dei carichi fra i vari pali.* Le misure dei carichi assiali agenti lungo i pali del gruppo hanno mostrato un alto grado di uniformità del valore del carico limite per pali

vedi fig. 2) i dati sperimentali raccolti dall'A. possono approssimativamente essere espressi con la relazione $\zeta \approx \sqrt{B/\phi}$. Tale formula è riportata sulla fig. 2.

(Eduardo Santucci)

BIBLIOGRAFIA

A. S. VESIC (1963) - *Bearing Capacity of Deep Foundations in Sands*. Highway Research Record N. 39.

Aspetti reologici della meccanica dei terreni

L. SUKLJE: *Rheological aspects of soil mechanics*. Wiley Interscience, 1969, pp. 571.

Il simposio della IUTAM (*International Union of Theoretical and Applied Mechanics*) tenutosi a Grenoble nel 1964 sul tema: « Reologia e Meccanica del Terreno » fu un importante punto di incontro fra cultori delle due discipline. Negli Atti, pubblicati nel 1966, sono coperti quasi tutti i campi di applicazione della reologia nello studio del comportamento meccanico delle terre, e si intravedono gli indirizzi delle diverse scuole nella ricerca teorica e sperimentale.

Ciò ha reso, tuttavia, maggiormente sentita la mancanza di un'opera di sintesi dei diversi contributi e degli studi precedenti. Vi sono, ad esempio, nella Geotecnica, classici problemi di reologia che hanno avuto numerose trattazioni, fondate su ipotesi differenti, che meritano un confronto e un riesame critico.

Tanto più necessaria appare in questo momento un'opera di valutazione dello stato delle conoscenze se si considera da un lato i recenti tentativi di stabilire teorie unitarie e generali sul comportamento meccanico delle terre, superando l'empirismo delle ricerche, comunque fondamentali, compiute negli ultimi due decenni e dall'altro la necessità che al progresso conseguito nei metodi di risoluzione dei problemi applicativi con l'impiego dei calcolatori corrisponda un adeguato approfondimento della conoscenza delle caratteristiche meccaniche dei terreni.

La pubblicazione dell'opera del prof. SUKLJE sugli aspetti reologici della meccanica del terreno avviene dunque nel momento più adatto.

Legato alle note scuole di geotecnica e di geomeccanica del suo Paese, ha approfondito la reologia sia in relazione allo studio di classici problemi di geotecnica teorica, sia per le ricerche sul creep e i movimenti franosi di formazioni rocciose eterogenee. Nell'opera ora pubblicata, egli inquadra i problemi di Reologia nella Meccanica del Terreno, rielaborando e confrontando diverse teorie.

Il libro è diviso in 5 parti. Nella prima (A) sono enunciati i fondamenti della meccanica del continuo, preceduti da una introduzione che illustra sinteticamente i principi e le ipotesi sui quali si fonda l'impiego di questo mez-