

vole negativa influenza delle discontinuità di grande apertura sul numero di sostituzioni di utensili di scavo (picks), fig. 9, e sul rendimento del tunneller, fig. 10.

Le discontinuità di piccola apertura,  $\Phi_m < 5$  cm, invece, favoriscono lo scavo della roccia, fig. 11. La scavabilità, in questo caso, è governata non solo da  $\Phi_m$ , ma anche dalla resistenza a

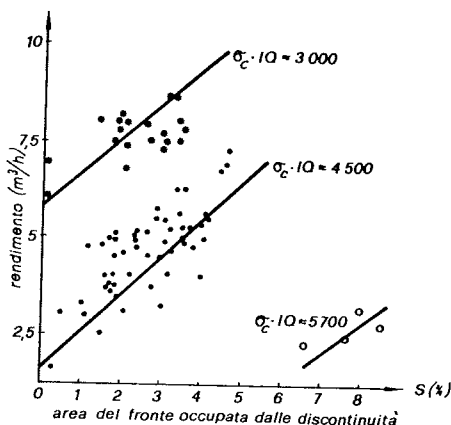


Fig. 11. - Relazione fra rendimento,  $\sigma_c$ , IQ e area occupata dalle discontinuità (espressa come % dell'area totale del fronte) nel caso di rocce con apertura delle discontinuità inferiore a 0,05 m ( $\sigma_c$  è espresso in MPa).

rottura,  $\sigma_c$ , e dall'indice di qualità, IQ, della roccia. E più precisamente sarebbe il prodotto  $IQ \cdot \sigma_c$ , e non la sola  $\sigma_c$ , a determinare i limiti d'impiego di una data macchina (v. fig. 11): così un tunneller che ha felicemente attraversato una roccia fessurata, può ben trovarsi in difficoltà in roccia di pari  $\sigma_c$ , ma non fessurata (IQ elevato).

Un giudizio sulla portata delle precedenti relazioni tra  $\sigma_c$ , IQ,  $\Phi_m$ , e le prestazioni del tunneller è difficile per la scarsità di notizie fornite sulle modalità operative e sulla sequenza delle fasi di lavoro; il numero dei dati sperimentali sui quali tali correlazioni sono state basate non è, inoltre, riferito.

Non viene considerata, infine, l'influenza dell'orientamento delle discontinuità.

Ancora più parco di notizie è l'A., per quanto riguarda il dominio di fig. 2: in considerazione del carattere di universalità che avrebbe tale dominio, sarebbe stato utile conoscere la quantità di dati elaborati, quali tipi di roccia sono stati indagati, le tecniche sperimentali adoperate.

Sicuramente promettente pare a chi scrive, l'approccio per il trattamento quantitativo dell'informazione grafica, e la sua utilizzazione per l'« identificazione » delle discontinuità delle rocce, anche se per una più attendibile valu-

tazione delle possibilità offerte dall'analizzatore di tessitura sarebbe necessaria una messe più numerosa di dati.

(Calogero Valore)

## BIBLIOGRAFIA

FOURMAINTRAUX D. et al. (1971) - *Propagation des ondes et discontinuités des roches*. Symp. Intern. sur la fissuration des roches. Nancy.

SERRA J. (1971) - *Le concept de granulometrie*. Rev. de l'Ind. Min. (Mines) Avril.

## Calcolo di spinte esercitate su pali da un terreno in lento scorrimento.

ITO T., MATSUI T. - *Methods to Estimate Lateral Force Acting on Stabilizing Piles*. Soils and Foundations, vol. 15, n. 4, 1975.

## Premessa

Gli AA. trattano il problema della determinazione della spinta esercitata da uno strato di terreno orizzontale, che scorre plasticamente attraverso una palificata costituita da una fila di pali, opportunamente distanziati, e incastrati in una sottostante formazione che, per le sue caratteristiche meccaniche, viene considerata rigida (fig. 1).

Le situazioni progettuali che l'ingegnere geotecnico può ricondurre allo schema statico precedente sono varie.

Si immagini, per esempio, che un rilevato venga costruito in breve tempo su uno strato di argilla molle. Se il carico si approssima ad un valore limite, le deformazioni orizzontali del

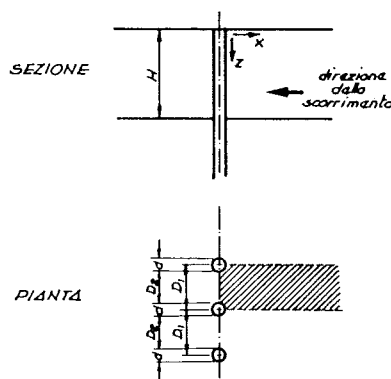


Fig. 1. - Schema di una palificata costituita da una fila di pali attraversanti uno strato di terreno che si deforma plasticamente.

terreno di fondazione raggiungono valori talmente elevati da portare al dissesto dell'opera. Un provvedimento per contenere tali deformazioni entro valori ammissibili è quello di fiancheggiare il rilevato con due file di pali, per il cui corretto dimensionamento è necessario valutare le sollecitazioni indotte dallo scorrimento del terreno.

Analogo problema si presenta quando un sovraccarico non previsto in fase di progetto viene posto nelle vicinanze di un edificio fondato su pali.

Un altro campo di possibile impiego dei pali come misura preventiva, è offerto dalla stabilizzazione dei pendii naturali in precarie condizioni di equilibrio. A questo riguardo, tuttavia, la letteratura riporta notizie contrastanti, sia per quanto concerne l'efficacia del metodo, sia per i costi che tale intervento comporterebbe. È da notare, inoltre, che nella soluzione di tale problema non si può prescindere dalla considerazione dei fenomeni di rottura progressiva in atto nell'area da stabilizzare [HAEFELI, 1972].

Data la varietà e la complessità delle questioni che si pongono nella formulazione di un modello matematico relativo allo schema illustrato nella fig. 1, non c'è da meravigliarsi, dunque, se la letteratura non propone altro che qualche metodo semiempirico per valutare la spinta sui pali; il lavoro che si recensisce, pur con le sue limitazioni (colma qualche lacuna in un settore tanto importante per le applicazioni).

Gli AA. limitano le loro analisi, per ovvie condizioni di simmetria, alla striscia tratteggiata in pianta nella fig. 1, e si riferiscono a due modelli reologici diversi: il criterio di plasticizzazione di Mohr-Coulomb e la legge dello scorrimento visco-plastico di Bingham. Sulla base di questi ottengono due differenti modelli di calcolo che fanno capo, rispettivamente, alla teoria delle deformazioni plastiche ed alla teoria dello scorrimento visco-plastico.

I risultati sono stati confrontati con misure di pressioni rilevate in sito su pali impiegati come elementi stabilizzanti di alcuni pendii sedi di fenomeni di creep, ed è stato riscontrato un buon accordo, almeno come ordine di grandezza, fra i risultati dei calcoli teorici e le misure sperimentali.

## Teoria delle deformazioni plastiche

Gli AA. assumono, in via preliminare, che il terreno sia in condizioni di equilibrio plastico solo nelle immediate vicinanze del palo e studiano l'equilibrio di un volume, di altezza unitaria, delimitato in pianta (fig. 2a) dalla spezzata AEBB'E'A'. I segmenti EB ed E'B', intersezioni delle superfici di scorrimento con il piano orizzontale, sono inclinati di un angolo  $\alpha$  pari a  $45^\circ + \phi/2$  con la direzione dell'asse  $x$  segnato in figura.

Un'altra ipotesi che viene avanzata

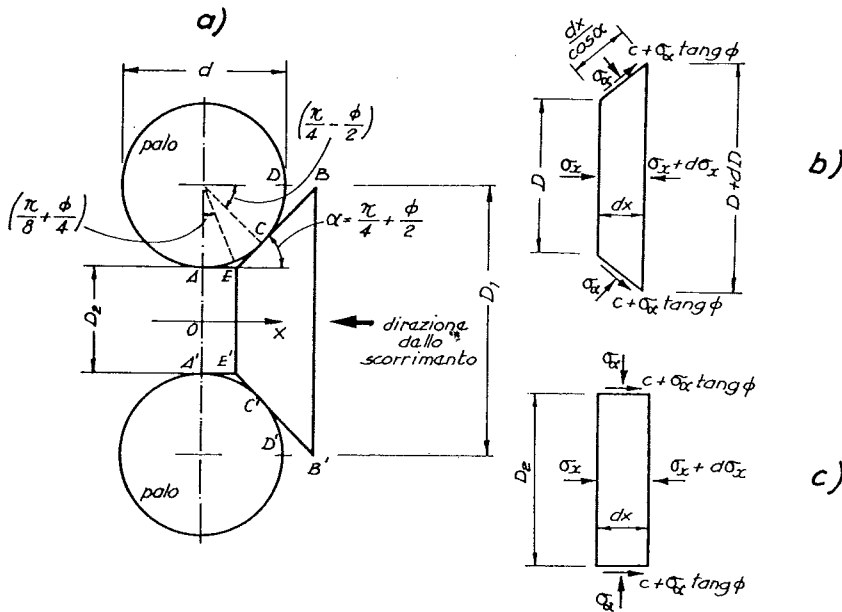


Fig. 2. - a) Meccanismo di scorrimento ipotizzato nelle immediate vicinanze dei pali. b) Stato tensionale in un elemento di terreno appartenente al tronco EBB'E'. c) Stato tensionale in un elemento di terreno appartenente al tronco AEE'A'.

è che la componente di deformazione normale al piano orizzontale sia identicamente nulla, in modo da non complicare ulteriormente la trattazione con considerazioni sull'effetto tridimensionale.

Quest'ultima ipotesi, in verità alquanto limitativa, non permette di tener conto di condizioni al contorno di tipo misto quali derivano, per esempio, dall'azione di un sovraccarico sul piano limite.

Supponendo ancora che il palo sia rigido, il problema viene risolto scrivendo l'equazione d'equilibrio alla traslazione lungo l'asse  $x$  di un tronchetto elementare generico appartenente alla zona EBB'E' (fig. 2b); l'espressione della tensione normale agente sulle superfici EB ed E'B' viene legata alla  $\sigma_x$  mediante le relazioni di Rankine.

È ben noto che queste ultime sono valide solo per le tensioni principali e, a rigore, non potrebbero applicarsi in questo caso per la presenza delle tensioni tangenziali sulle superfici di scorrimento. Gli AA., però, pur riconoscendo fondamentalmente errato l'uso di tali relazioni, se ne servono, probabilmente in vista della semplicità della trattazione che ne deriva.

L'equazione d'equilibrio dà luogo ad una equazione differenziale, a variabili separabili, la cui soluzione fornisce l'espressione di  $\sigma_x$  in funzione di  $x$  a meno di una costante d'integrazione.

Si ripete il procedimento per un tronchetto elementare della zona AEE'A' (fig. 2c), e si ottiene un'altra espressione della  $\sigma_x$ , valida per  $x$  variabile da O ad AE, in cui la costante d'integrazione viene ricavata imponendo che

per  $x = 0$ , cioè sulla superficie AA', la  $\sigma_x$  abbia il valore della tensione limite attiva corrispondente alla profondità  $z$  dal piano limite. Il valore di  $\sigma_x$  nella sezione terminale del tronco AEE'A' è assunto come condizione al contorno per il tronco EBB'E' e ciò permette di ricavare il valore della prima costante d'integrazione, che era rimasto indeterminato.

L'espressione della spinta per unità di lunghezza del palo, che viene calcolata come differenza fra la spinta sulla superficie BB' e quella sulla superficie EE', contiene gli usuali parametri di resistenza del terreno, oltre ai parametri geometrici del problema.

Dalla breve descrizione riportata, il lettore può rendersi conto come il modello sia abbastanza semplice nella sua formulazione, pregio questo che compensa, almeno parzialmente, le limitazioni imposte da alcune ipotesi messe a base di calcoli, di cui, del resto, gli AA. dimostrano di essere, quasi sempre, perfettamente consapevoli.

### Teoria dello scorrimento visco-plastico

Le ricerche condotte ormai da lungo tempo, da parte di numerosi ricercatori, sulla reologia delle argille hanno mostrato che, per tensioni tangenziali che superano un determinato valore, questi materiali danno luogo a deformazioni che si protraggono nel tempo secondo un andamento del tipo indicato in fig. 3a. Le curve sperimentali ivi rappresentate, ciascuna delle quali corrisponde ad un dato valore della tensione applicata, possono essere sinteticamente descritte nel modo seguente:

- tratto 0-1: fase della deformazione elastica;
- tratto 1-2: fase della deformazione viscosa (creep) transitoria;
- tratto 2-3: fase della deformazione visco-plastica (creep) stazionaria;
- tratto 3-4: fase dello scorrimento progressivo;

È noto che il valore limite della tensione tangenziale oltre il quale si manifestano i fenomeni di scorrimento ora menzionati, culminanti in ultimo con la rottura, è da interpretare come resistenza al taglio del materiale a lungo termine.

Dalle curve sperimentali deformazione-tempo è possibile estrapolare la legge reologica che governa il comportamento del materiale nel tratto 2-3 (« creep » stazionario,  $d\gamma/dt = \text{cost}$ ); con buona approssimazione per le applicazioni, essa è rappresentata, in fig. 3b, dal tratto di retta di equazione  $\tau - \tau_0 = \mu d\gamma/dt$ , in cui  $\mu$  è il coefficiente di viscosità.

Alla tensione  $\tau_0$  — limite di snervamento secondo Bingham — è da attri-

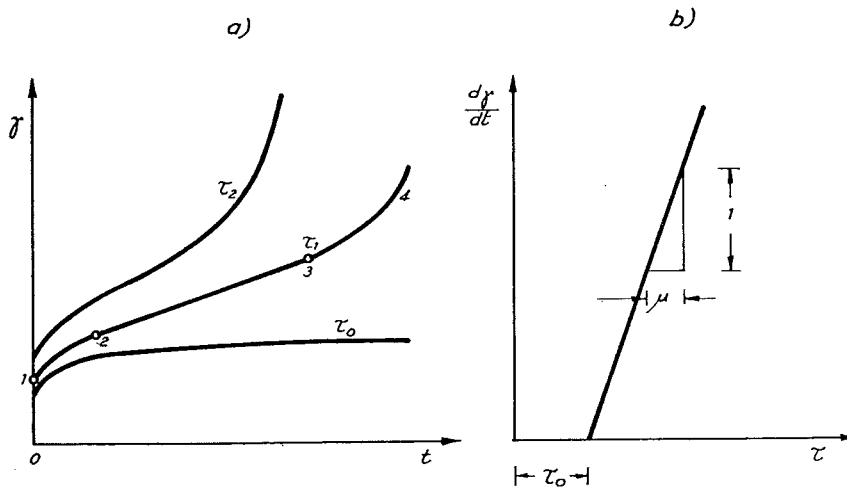


Fig. 3. - a) Curve deformazione angolare-tempo corrispondenti a diversi valori di  $\tau$ . b) Relazione fra la tensione tangenziale e la velocità di deformazione angolare in un corpo di Bingham.

buire il valore della resistenza a lungo termine  $\tau_{\infty}$  [VIALOV e SKIBITSKY, 1961; VIALOV, 1973].

I brevi cenni testé forniti servono ad inquadrare il modello reologico posto a base della seconda soluzione sviluppata dagli AA.; questi ultimi, invero, assumono, senza però dare in proposito alcuna delucidazione, che il limite di snervamento  $\tau_0$ , precedentemente menzionato, sia uguale alla coesione del terreno.

Si fa notare che è, probabilmente, questo il motivo, anche se non dichiarato esplicitamente, per cui l'inclinazione delle linee di scorrimento viene fissata in  $45^\circ$ .

Gli AA. prendono le mosse da una formula, precedentemente ricavata da altri, che fornisce il valore della forza di trascinamento esercitata da uno strato di materiale alla Bingham di

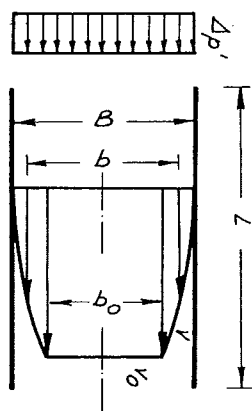


Fig. 4. - Scorrimento di un materiale alla Bingham fra due lastre piane e parallele.

spessore B, che scorre fra due lastre piane e parallele di lunghezza indefinita e di larghezza L (fig. 4).

Con riferimento, ancora, alla fig. 2a, tale formula — che contiene, oltre ai parametri geometrici e ai consueti parametri meccanici, anche il prodotto della viscosità  $\mu$  per la velocità massima  $V_0$  — viene differenziata e, successivamente, integrata per ottenere la forza di trascinamento esercitata dallo strato di spessore variabile EBB'E'.

La spinta complessiva per unità di lunghezza del palo risulta allora composta di tre termini:

1. la forza di trascinamento nel tronco AEE'A';
2. la componente nella direzione del movimento della forza di trascinamento nel tronco EBB'E';
3. la componente, nella stessa direzione, delle forze normali alle superfici EB ed E'B' che vengono supposte uguali alle spinte attive sulle medesime superfici.

L'espressione risultante contiene il prodotto del coefficiente di viscosità  $\mu$  per la velocità nella sezione BB', e gli AA. non mancano di segnalare le difficoltà che sorgono nel misurare con precisione queste grandezze; difficoltà, queste, che conferiscono alla formula stessa scarso valore pratico nelle applicazioni. È da sottolineare, inoltre, la scarsa attendibilità che può avere la spinta attiva come risultante delle tensioni normali ai piani EB ed E'B'.

#### Conclusioni

Gli AA. della memoria recensita hanno trattato il problema del calcolo delle spinte esercitate da uno strato di terreno, in condizioni di scorrimento plastico, su una palificata costituita da una fila di pali distanziati, e ne hanno sviluppato due soluzioni diverse.

I risultati sono presentati in forma analitica e con abachi che, si ritiene, possono essere di una certa utilità almeno in una fase di inquadramento preliminare dei problemi.

L'analisi è stata condotta in maniera talvolta approssimativa e non è stato tenuto conto di alcune questioni di notevole importanza dal punto di vista geotecnico tra le quali, segnatamente, si sottolinea l'influenza della rottura progressiva sul fenomeno analizzato e la valutazione degli effetti d'arco che sicuramente si manifestano nel terreno in movimento per la presenza dei pali [WANG e YEN, 1974].

Oltre all'insufficiente caratterizzazione del modello reologico adottato nella teoria dello scorrimento visco-plastico, si ritiene, infine, di dovere segnalare la possibilità, non prevista dagli AA., di estendere l'analisi al caso in cui lo strato, sede degli scorrimenti, formi un angolo diverso da zero con l'orizzontale.

(Antonino Musso)

#### BIBLIOGRAFIA

- HAEFELI R. (1972) - *Discussion, Session One*. Proc. 5th Eur. Conf. on Soil Mech. and Found. Engrg., Madrid.
- VIALOV S. S. (1973) - *Discussion, 6th Speciality Session*. Proc. 8th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Engrg., Moscow.
- VIALOV S. S., SKIBITSKY A. M. (1961) - *Problems of the Rheology of Soils*. Proc. 5th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Engrg., Paris.
- WANG W. L., YEN B. C. (1974) - *Soil Arching in Slopes*. Proc. ASCE, Journ. Geot. Engrg. Div., GT 1.