

tendono verso quelli del terreno permeabile con i quali coincidono dopo circa ~ 10.000 giorni a causa delle assunzioni fatte di uguaglianza nei due casi del modulo di deformabilità (E) e del coefficiente di Poisson ( $\nu$ ).

In fig. 5 sono riportati i percorsi di tensione per un punto al fondo dello scavo nei due terreni considerati. Nei terreni ad elevata permeabilità ( $K = 10^{-4}$  cm/sec), i percorsi delle tensioni totali e delle tensioni efficaci sono praticamente coincidenti. Nei terreni con bassa permeabilità ( $K = 10^{-8}$  cm/sec) i due percorsi di tensione divergono nella fase iniziale. Con il procedere dello scavo la distanza tra il punto considerato e la superficie libera diminuisce, la dissipazione delle pressioni neutre avviene più velocemente e le due curve tendono a convergere. A fine consolidazione, le tensioni totali e le tensioni efficaci coincidono fra loro e con il valore delle tensioni ottenuto nel caso di terreno con alta permeabilità. Quest'ultima circostanza deriva dall'ipotesi assunta di mezzo elastico e di identiche proprietà meccaniche nei due casi studiati.

Il calcolo precedente relativo a terreno di bassa permeabilità ( $K = 10^{-8}$  cm/sec) è stato ripetuto, ipotizzando di effettuare lo scavo in presenza di una parete di contenimento impermeabile, dello spessore di 0.6 m, infissa nel terreno fino alla profondità del substrato rigido sottostante. Si sono ottenuti, come era da attendersi, valori maggiori delle pressioni neutre negative e minori valori dei cedimenti.

Si è considerato infine il caso di mezzo con elasticità non lineare, facendo le stesse assunzioni dei casi precedenti relativamente alla permeabilità del materiale. Lo scavo, sostenuto da una parete di contenimento impermeabile, è stato eseguito con velocità costante di 0.15 m/giorno. Gli spostamenti massimi si verificano in prossimità del fondo

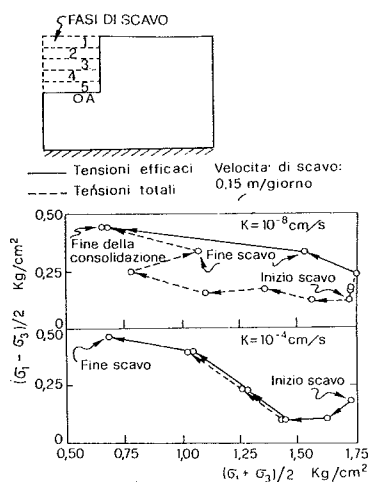


Fig. 5. - Percorsi di tensione relativi al punto A, per terreno di bassa permeabilità ( $K = 10^{-8}$  cm/sec) e di alta permeabilità ( $K = 10^{-4}$  cm/sec).

scavo. La distribuzione degli eccessi di pressione neutra è analoga a quella stimata con il calcolo effettuato nell'ipotesi di elasticità lineare.

Le due soluzioni sono cioè praticamente coincidenti e ciò è in parte giustificato dal fatto che il livello di tensione è basso ( $\sigma/\sigma_f \leq 0.5$ ).

I risultati ottenuti giustificano quindi l'adozione del modello di terreno linearmente elastico in tutti quei casi in cui la sollecitazione massima è lontana dalla tensione di rottura. Per l'esame dei cedimenti è invece preferibile adottare il modello di terreno non lineare.

I risultati dello studio consentono di confermare che in linea teorica le verifiche di stabilità nelle condizioni di fine scavo possono essere effettuate in termini di tensioni totali applicando i parametri di resistenza e deformabilità del terreno ottenuti con prove non drenate. Tuttavia, il decorso nel tempo delle pressioni neutre è fortemente influenzato dalle caratteristiche di permeabilità del terreno e dalle modalità di esecuzione dello scavo.

Lo studio teorico mostra che già con valori medi di permeabilità del terreno ( $K = 10^{-4} \div 10^{-5}$  cm/sec) e con velocità di scavo usualmente adottate, gli eccessi di pressione neutra sono quasi totalmente dissipati già a fine scavo. Sembra cioè confermata la posizione di alcuni Autori che, sulla base sperimentale, suggeriscono l'opportunità di eseguire comunque le verifiche di stabilità di scavi in termini di tensioni efficaci e con riferimento alla situazione idraulica di regime [JANBU, 1977].

(Gaetano Tancredi)

## BIBLIOGRAFIA

- BISHOP A. W., BIERRUM L. (1960) - *The Relevance of the Triaxial Test to the Solution of Stability Problems*. Proc. Research Conf. Shear Strength of Cohesive Soils, Boulder (Colorado), pp. 437-501.
- DUNCAN J. M., CHANG C. Y. (1970) - *Non-linear Analysis of Stress and Strain in Soils*. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 96, pp. 1629-1653.
- JANBU N. (1977) - *Slopes and Excavation in Normally and Lightly Overconsolidated Clays*. IV ICSMFE, Tokyo.
- SANDHU R. S., WILSON E. L. (1969) - *Finite Element Analysis of Seepage in Elastic Media*. Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 95, pp. 641-652.
- SKEMPTON A. W. (1954) - *The Pore Pressure Coefficients A and B*. Géotechnique, 4, 143-147.
- ZIENKIEWICZ O. C. (1971) - *The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics*. Mc-Gray-Hill Book Co., Inc., New York, N.Y.

## Sviluppi della Meccanica dei Terreni

SCOTT C. R. (editor) - *Developments in Soil Mechanics - 1*. Applied Science publishers, London, 1978 X+441 pp.

Sono ormai numerosi gli esempi di volumi costituiti da una serie di monografie dedicate a diversi argomenti di Geotecnica, opera ciascuna di un diverso Autore; sintomo da un lato dell'ampiezza e vitalità della ricerca e delle applicazioni in questo settore, ma anche della difficoltà sempre crescente di sintesi generali, quali quelle realizzate in un organico trattato.

Per i tipi della Applied Science Publishers, C. R. SCOTT ha curato il coordinamento di un volume intitolato « Developments in Soil Mechanics », che raccoglie 11 monografie opera di 9 autori inglesi, tutti esperti assai noti nei rispettivi campi.

A D.J. NAYLOR, dell'Università di Swansea, sono dovuti i primi due capitoli, dedicati rispettivamente a: « Metodi degli Elementi Finiti in Meccanica dei Terreni » e « Equazioni Costitutive per i Terreni ».

Nel primo di essi l'A. richiama brevemente i principi del metodo degli elementi finiti, illustrandoli con tipiche applicazioni quali calcoli di deformazioni, di filtrazione, di consolidazione e di risposta dinamica; illustra quindi le più importanti tecniche per affrontare i problemi non lineari e per condurre le analisi in termini di pressioni effettive.

Strettamente collegato al primo è il secondo capitolo, nel quale le varie equazioni costitutive sono passate in rassegna dal punto di vista del loro uso in formulazioni ad elementi finiti.

Il mezzo elastico è il primo dei modelli analizzati, partendo dal classico mezzo ad elasticità lineare, per toccare poi quelli nei quali le costanti elastiche sono variabili funzione del livello di sollecitazione o di deformazione; per ciascun caso viene fatto un cenno alla determinazione dei parametri ed al relativo campo di valori.

Seguono i modelli elasto-plastici, con richiamo dei concetti di superficie di snervamento, di incrudimento, di legge di flusso; particolare attenzione viene dedicata al modello dello stato critico basato sul lavoro del gruppo di Cambridge.

Nel terzo capitolo J. B. BURLAND illustra, sulla base di applicazioni a diversi problemi reali di Ingegneria Civile, l'uso del metodo degli elementi finiti per la previsione delle deformazioni del terreno.

Viene descritta in primo luogo l'analisi dei cedimenti di un serbatoio poggiante su « chalk »; quindi l'interpretazione degli spostamenti di alcuni punti di dighe in terra e rockfill durante la costruzione; infine, la previsione ed il controllo delle deformazioni indotte dall'esecuzione di scavi a cielo aperto, fra

i quali molto significativo quello per la realizzazione di un parcheggio sotterraneo in fregio al palazzo di Westminster.

Tutti questi esempi, corredati in ogni caso da osservazioni sulle opere in vera grandezza e da dati sulle proprietà dei terreni, raccolti dalla Building Research Station cui l'A. appartiene, consentono all'A. di argomentare in modo assai efficace una serie di osservazioni sull'uso del metodo degli elementi finiti nei problemi reali, e sui suoi limiti. In linea generale, viene molto opportunamente sottolineata l'importanza di fattori quali l'eterogeneità dei terreni, lo stato tensionale iniziale in sito, la storia della costruzione; in mancanza di informazioni attendibili su tali fattori (e questo è quasi sempre il caso) analisi semplici, corredate da uno studio della sensibilità dei risultati a variazioni dei parametri ed utilizzate con cautela e senso critico possono essere più adeguate di analisi altamente sofisticate.

Si tratta, come si vede, di osservazioni tutt'altro che originali; tuttavia, come già detto, esse sono sostanziate in modo molto efficace sulla base di esempi di notevole rilievo.

R. T. MURRAY, del Transport and Road Research Laboratory, è autore del quarto capitolo dedicato alle teorie bi- e tridimensionali della consolidazione; egli segue un approccio alquanto diverso, descrivendo con un certo dettaglio gli sviluppi della teoria di Biot-Mandel e di quella approssimata di Terzaghi-Rendulic, e fornendo una serie di soluzioni per diverse condizioni di contorno.

Nel concludere, l'A. rileva di sfuggita che il fattore più importante nel controllare l'accuratezza delle previsioni è la tecnica impiegata nel misurare le proprietà del terreno. Lo scrivente ritiene che, proprio nei problemi di consolidazione, ben altro peso dovrebbe essere dato non solo a questo fattore, ma ad altri quali la macrostruttura del deposito, gli effetti secondari etc.

In altre parole, il capitolo in esame presenta essenzialmente una compilazione di recenti risultati teorici, ottenuti quasi sempre con metodi numerici, piuttosto che una messa a punto delle possibilità offerte da tali sviluppi nella pratica tecnica.

L'interazione fra fondazione e sottosuolo costituisce l'argomento del capitolo quinto, dovuto a J. A. HOOPER della Ove Arup and Partners. L'A. si riferisce quasi esclusivamente ad analisi svolte nell'ipotesi di elasticità lineare, ed al problema statico. Discute i modelli di sottosuolo posti più comunemente a base di tali analisi, in modo breve ma con commenti chiari ed appropriati. Cita quindi un gran numero di soluzioni disponibili per problemi di piastre, travi e di fondazioni su pali; un breve paragrafo è dedicato all'influenza della rigidità della sovrastruttura.

In generale, può dirsi che l'intero capitolo sia un commento ragionato dell'ampio elenco bibliografico (oltre 300 titoli) riportato in calce e che costituisce un riferimento assai utile per coloro che hanno accesso alla letteratura tecnica internazionale.

T. A. HANNA, dell'Università di Sheffield, è autore dei due successivi capitoli: il sesto, dedicato ai diaframmi in calcestruzzo, ed il settimo, dedicato agli ancoraggi. Nel primo di essi vengono descritti i sistemi di scavo ed i metodi per garantirne la stabilità con l'uso del fango bentonitico. Sono quindi discussi i metodi di progetto ed i fattori da considerare nel progetto stesso, anche sulla base di alcuni esempi.

Anche nel successivo capitolo sugli ancoraggi alla tecnologia costruttiva è dedicato uno spazio notevole, pur nei limiti di una trattazione monografica assai sintetica; vengono poi esposti e commentati i procedimenti di prova degli ancoraggi ed i metodi per il calcolo di stabilità delle strutture ancorate e dei singoli ancoraggi. Questi due capitoli risultano, nel loro insieme, equilibrati ed istruttivi; il taglio dato all'esposizione è essenzialmente tecnico; i fattori tecnologici e costruttivi sono messi in grande evidenza; i dettagli analitici sono omessi, rinviando il lettore alla bibliografia.

Molto istruttivo ed utile, a giudizio dello scrivente, è anche il capitolo ottavo, dedicato al progetto delle fondazioni su pali sotto carichi assiali e preparato da R. W. COOKE della Building Research Station.

L'A. passa in rassegna i procedimenti di progetto oggi in uso per i diversi tipi di palo nei diversi terreni, rispetto alla previsione sia del carico limite, sia dei cedimenti. Mette in evidenza il carattere empirico di tali procedimenti e l'importanza di una adeguata valutazione delle modifiche indotte nel terreno dalla costruzione del palo. Scrutina infine i più significativi risultati sperimentali sull'attendibilità dei procedimenti di progetto.

Diverso è l'approccio che P. K. BANNERJEE, dell'Università di Cardiff, adotta per il capitolo nono dedicato all'analisi dei gruppi di pali sotto l'azione di carichi verticali o orizzontali. L'A. espone un metodo di analisi di grande generalità, che utilizza una formulazione semplificata del metodo indiretto degli elementi di contorno, e che consente lo studio di palificate comprendenti anche pali inclinati in un mezzo elastico con modulo variabile con la profondità.

La maggior parte del capitolo è dedicata all'illustrazione di tale metodo; vengono infine forniti alcuni risultati di studi parametrici, confrontandoli in alcuni casi con l'evidenza sperimentale.

N. E. SIMONS e B. K. MENZIES, dell'Università del Surrey, sono autori degli ultimi due capitoli del libro.

Il capitolo decimo è dedicato alla sta-

bilità di fronti di scavo e pendii naturali in argilla, nelle condizioni a lungo termine. Dopo aver passato in rassegna i principali tipi di frane, gli AA. richiamano le caratteristiche di resistenza a taglio delle argille con particolare riferimento alla resistenza residua ed ai metodi per determinarla; discutono quindi in modo breve, ma chiaro ed esauriente, il fenomeno della rottura progressiva ed i fattori che lo influenzano.

Passano quindi ad esporre una serie di « case histories » ben documentate, distinguendo fra frane in argille intatte, in argille fessurate e frane lungo superfici di scorrimento preesistenti; i casi analizzati consentono una serie di conclusioni che, anche se in gran parte non originali, sono molto convincenti ed utili.

In sostanza, lo schema generale della monografia ricalca nelle grandi linee il rapporto sullo stato delle conoscenze svolto da Skempton e Hutchinson al Congresso Internazionale di Geotecnica del 1969 in Messico con qualche approfondimento ad aggiornamento.

L'ultimo capitolo tratta della stabilità di rilevati su argille molli, con particolare riguardo alla determinazione della resistenza a rottura di tali terreni da introdurre nell'analisi. Da notare un aggiornamento del fattore empirico introdotto da Bjerrum per correggere la coesione non drenata misurata con il « vane borer » onde renderla compatibile con le osservazioni su un certo numero di opere; gli AA. ampliano notevolmente l'evidenza sperimentale su cui la correzione è basata.

Per illustrare l'influenza dei vari fattori, espongono in dettaglio le osservazioni effettuate su due rilevati spinti fino a rottura.

Le osservazioni conclusive tentano di individuare gli aspetti più importanti da considerare nel progetto di un rilevato su argille molli per quanto riguarda la stabilità.

Nell'insieme il volume risulta — come è forse inevitabile in opere di questo tipo — alquanto disuniforme, e ciò soprattutto nel taglio che i vari Autori hanno dato ai rispettivi capitoli: talvolta aggiornata compilazione, talvolta sintesi essenzialmente analitica o comunque orientata verso la ricerca, talvolta infine vero e proprio « state of the Art » di tipo tecnico applicativo. Solo in alcuni casi — tipico, in proposito, il lavoro di Burland nel capitolo terzo — è stata ottenuta una equilibrata considerazione di tutti questi aspetti.

Ad ogni modo, a giudizio dello scrivente, siamo di fronte ad un'opera di indubbia utilità, la cui consultazione riuscirà preziosa sia al tecnico impegnato nel progetto e nella realizzazione, sia al ricercatore desideroso di aggiornare ed approfondire le proprie conoscenze.

(Carlo Viggiani)