

tati in maniera dettagliata: particolarmente interessante ed approfondito è il paragrafo dedicato alla resistenza di picco. I due paragrafi sull'analisi di problemi al finito sono invece un po' troppo sintetici e, probabilmente, superflui nell'ambito del capitolo; per una trattazione più ampia di questi problemi si potrà fare riferimento al testo di ATKINSON [1979].

L'ottavo capitolo, interamente dedicato alla dilatanza, è certamente uno dei più interessanti. In una ventina di pagine l'Autore illustra in modo organico ed originale la relazione esistente tra variazioni di volume e legame tensioni-deformazioni. In tale ambito viene effettuato un confronto tra dati sperimentali e quanto previsto dalla teoria di Rowe e dai modelli *Cam-Clay* originario e modificato.

Nel nono capitolo vengono presentate numerose correlazioni tra i limiti di Atterberg ed alcuni parametri meccanici dei terreni. Si tratta di un capitolo molto vasto che testimonia un particolare interesse dell'Autore per l'argomento.

Nei due capitoli successivi si passa all'analisi di problemi al finito. In particolare, nel decimo capitolo vengono esaminati i percorsi tensionali indotti nel sottosuolo da diversi schemi di carico ed in varie condizioni di drenaggio. Alla fine del capitolo si ritorna sul concetto di resistenza non drenata, mostrando l'influenza del percorso tensionale e quindi del tipo di prova (di laboratorio ed in sito) sul valore della coesione non drenata. Nell'undicesimo capitolo viene affrontata l'applicazione di modelli elasto-plastici inelastici. Per ragioni didattiche, un primo semplice esempio viene trattato senza far ricorso a procedimenti di analisi numerica. Successivamente, con riferimento ad alcuni casi più complessi, sono confrontati i risultati della modellazione numerica e le osservazioni su prototipi o su modelli in piccola scala. Non vengono trattate le procedure di implementazione di modelli costitutivi in codici di calcolo agli Elementi Finiti; tale argomento è invece affrontato dettagliatamente da BRITTO e GUNN [1987].

Infine il dodicesimo ed ultimo capitolo, denominato «*Oltre i modelli semplici*», rappresenta in un certo senso la *frontiera* della ricerca geotecnica sull'elemento di volume. In esso si affronta dapprima l'effetto del tempo e quindi delle deformazioni viscosse sul comportamento meccanico dei terreni. Si passa poi all'analisi del comportamento meccanico dei terreni a piccole deformazioni, settore che di recente ha ricevuto un notevole impulso grazie allo sviluppo di nuove tecniche sperimentali. Si analizza infine l'influenza del percorso tensionale sull'evoluzione della forma della superficie di snervamento. Si tratta di un capitolo molto stimolante per il ricercatore che vi troverà anche recenti ed utili riferimenti bibliografici.

Conclusioni

Il testo che si è recensito rappresenta certamente un notevole progresso nella sistemazione e nella divulgazione della Teoria dello Stato Critico.

Può essere interessante paragonarlo con altri testi sullo stesso argomento, come ad esempio quello di ATKINSON e BRANSBY [1978], che

per molti geotecnici ha costituito lo strumento principale per accostarsi a queste tematiche. La differenza di impostazione tra i due testi è notevole. Atkinson e Bransby partono dall'analisi del comportamento dei terreni, o meglio delle argille ricostituite, per delineare in modo molto chiaro e didattico l'impianto di tale teoria e definire così la superficie di stato limite; accennano poi brevemente al comportamento delle sabbie. Il passaggio al *Cam-Clay* originale è forse un po' brusco; non si chiariscono del tutto né le relazioni esistenti con quanto detto in precedenza né la possibile utilizzazione del modello. Wood, invece, parte dal modello, descrivendone in maniera estesa ipotesi e conseguenze, per poi confrontare il comportamento meccanico dei terreni con quanto previsto dalla simulazione attraverso il *Cam-Clay* modificato. Questo approccio è più rigoroso e forse meno dogmatico di quello seguito da ATKINSON e BRANSBY; inoltre il libro di Wood, diversamente da quello di Atkinson e Bransby, dedica un certo spazio al comportamento dei terreni naturali ed alle differenze con quelli ricostituiti.

I due libri possono essere considerati in qualche modo complementari. Quello di Atkinson e Bransby può rappresentare, coerentemente con il titolo, una eccellente e chiara introduzione alla Teoria dello Stato Critico, mentre quello di Wood può essere utilizzato per un successivo approfondimento.

Nel testo di Wood tutti gli argomenti sono trattati in modo molto ampio e sempre in maniera critica, con abbondanti citazioni bibliografiche. Va inoltre apprezzato il fatto che, nonostante l'ampiezza dell'opera, non si ha a che fare solo con un grosso lavoro compilativo; l'Autore mostra infatti grande dimestichezza con gran parte delle tematiche affrontate, a riprova del fatto che esse fanno parte integrante dei propri interessi di ricerca.

La veste tipografica è molto ben curata ed è all'altezza dei contenuti. Il libro è disponibile sia nella versione *paper-back* che in quella con la copertina rigida.

In conclusione si tratta di un libro di notevole interesse, che dovrebbe certamente trovare posto nella libreria di coloro che intendono approfondire gli studi di Geotecnica.

Bibliografia

- ATKINSON J.H., BRANSBY P.L. (1978) - *The mechanics of Soils. An Introduction to Critical State Soil Mechanics*. Mainhead, Mc Graw-Hill.
- ATKINSON J.H. (1979) - *Foundations and Slopes*. Mainhead, Mc Graw-Hill.
- BOLTON M. (1979) - *A Guide to Soil Mechanics*. London and Basinstoke, MACMILLAN.
- BRITTO A.M., GUNN M.J. (1987) - *Critical State Soil Mechanics via Finite Elements*. Chichester, Ellis Horwood Ltd.
- ROSCOE K.H., SCHOFIELD A.N., WROTH C.P. (1958) - *On Yielding of Soils*. Geotechnique, vol. VIII, n.1, 22-52.
- SCHOFIELD A.N., WROTH C.P. (1968) - *Critical State Soil Mechanics*. London, McGraw Hill.

(Stefano Aversa)

Fondamenti di Meccanica del Continuo per i terreni

Y. KLAUSNER: *Fundamentals of Continuum Mechanics of Soils*, Springer-Verlag, 1991. 650 pp., 210 fig., 14 tab., DM 294.

La necessità via via crescente di affrontare e risolvere problemi applicativi che, per la natura dei carichi applicati, il tipo di condizioni ai limiti imposte, le caratteristiche del comportamento meccanico dei materiali e la geometria delle strutture in esame, non sono analizzabili mediante i metodi tradizionali dell'ingegneria geotecnica, ha portato, nel corso dell'ultimo decennio, all'introduzione massiccia in questo settore dei metodi dell'analisi numerica ed in particolare del metodo degli elementi finiti.

Alla base di ogni metodo di analisi di tale tipo si colloca la necessità di inquadrare il problema in esame in termini matematici, formulandone le equazioni governanti con le relative condizioni ai limiti, da risolvere poi, in via approssimata, sfruttando le possibilità offerte dal calcolo numerico.

Allo scopo, uno dei metodi che ha riscosso maggior successo nell'ambito delle discipline dell'ingegneria consiste nel fare ricorso alla ipotesi di *mezzo continuo* nella descrizione dei corpi che costituiscono il sistema oggetto della analisi, trascurando la reale natura del materiale alla scala delle particelle elementari costituenti, siano esse atomi, molecole o, nel caso dei terreni, cristalli o frammenti di roccia. Tale schematizzazione ha dato origine ad una branca indipendente della meccanica classica, nota come *meccanica dei mezzi continui* o, più semplicemente, *meccanica del continuo* [TRUESDELL & TÔUPIN, 1960; TRUESDELL & NOLL, 1965].

Nell'ambito della meccanica del continuo, i *principi generali* di conservazione della massa, della quantità di moto, del momento della quantità di moto, assumono la forma di equazioni differenziali, definite nel dominio dello spazio occupato in ogni istante dal corpo in esame e valide in generale, qualunque sia il materiale che lo costituisce. L'osservazione sperimentale che corpi di differente natura manifestano comportamenti diversi in presenza del medesimo sistema di sollecitazioni esterne applicate, rende necessario introdurre nella definizione del problema delle ulteriori relazioni che consentano di definire in termini matematici tale differenza; tali relazioni sono note come *equazioni costitutive* del materiale.

Principi generali ed equazioni costitutive, unitamente alle opportune condizioni ai limiti, costituiscono la base per l'impostazione in termini matematici di un qualsiasi problema di meccanica applicata.

Nell'applicazione di tale metodologia ai problemi di Ingegneria Geotecnica, si presentano tuttavia almeno due elementi caratteristici. Il primo consiste nella natura multifase dei terreni e nell'influenza che le interazioni di vario genere (fisico-chimiche e meccaniche) esistenti tra le varie fasi esercitano sul comportamento meccanico a livello macroscopico del materiale. Il secondo è legato alla particolare natura del comportamento meccanico dei terreni, generalmente caratterizzato da forte non

linearità, irreversibilità, dipendenza dalla storia delle sollecitazioni precedentemente subite e dal tempo. Ciò rende particolarmente difficile la definizione di equazioni costitutive di validità generale in grado di descrivere con sufficiente accuratezza tali fenomeni (od almeno quelli che rivestano particolare importanza in riferimento alla ristretta classe di problemi di interesse pratico).

Il volume di Y. Klausner, *Fundamentals of Continuum Mechanics of Soils*, recentemente pubblicato dalla Springer-Verlag, si propone di presentare in un contesto organico le basi della disciplina ed i suoi sviluppi nell'ambito della Meccanica dei Terreni, nel tentativo di colmare una lacuna esistente nella pur vasta letteratura sull'argomento, che è rivolta essenzialmente ai settori dell'Ingegneria Strutturale e della Meccanica dei Fluidi.

Per il taglio scelto nella selezione e nella esposizione degli argomenti, il lavoro è rivolto principalmente a studiosi e ricercatori di meccanica dei solidi con particolare interesse nella Meccanica dei Terreni, o ad ingegneri geotecnici che intendano approfondire la loro conoscenza della Meccanica del Continuo; non è invece inteso come libro di testo di Meccanica dei Terreni per studenti di corsi universitari e non affronta alcun aspetto di carattere applicativo.

L'opera può essere suddivisa in due sezioni distinte. Nella prima, costituita dai capitoli da 1 a 7, vengono esposti i concetti fondamentali della Meccanica del Continuo. In particolare, nei cap. 2 e 3 sono introdotti gli elementi di base della cinematica dei mezzi continui e vengono fornite varie possibili definizioni di deformazioni per tali corpi; nel cap. 4 vengono poi formulati i principi generali di conservazione della massa, della quantità di moto, del momento della quantità di moto, dopo aver introdotto il concetto di tensione. Il cap. 5 è dedicato alla analisi dei processi che comportano scambi e trasformazioni di energia nelle sue varie forme all'interno di un mezzo continuo deformabile, attraverso l'introduzione dei principi della termodinamica delle trasformazioni irreversibili. Il cap. 6 è dedicato invece all'esame della teoria delle miscele, nella quale è possibile a buon diritto inquadrare il comportamento dei terreni, ed alle modifiche che è necessario apportare nella formulazione dei principi generali esposti nel cap. 4 in relazione a tale particolare classe di mezzi continui.

Il cap. 7 conclude la prima parte dell'opera ed introduce direttamente alla seconda, indirizzata alla Meccanica dei Terreni, affrontando il tema delle equazioni costitutive. Viene introdotta, in particolare, una classe di relazioni tensioni-deformazioni inquadrate nell'ambito delle equazioni costitutive di tipo differenziale [TRUESDELL e NOLL, *Differential type constitutive equations*, 1965], dapprima in forma generale, quindi in una forma cosiddetta 'duale', nella quale le tensioni e le deformazioni deviatoriche (e le rispettive derivate rispetto al tempo, di ordine compreso tra 1 ed n) risultano disaccoppiate da quelle volumetriche. Vengono poi illustrati in dettaglio due modelli costitutivi, il primo di tipo visco-

elastico lineare, il secondo, denominato 'isotropo' [RIVLIN e ERICKSEN, 1955], nel quale il tensore della deformazione (o della tensione) è una funzione non lineare di tipo polinomiale del tensore della tensione (o, reciprocamente, della deformazione) e della sua derivata prima rispetto al tempo.

Il cap. 8 è dedicato alla descrizione delle caratteristiche dei terreni naturali a livello microscopico, degli elementi costituenti la loro struttura (cristalli, frammenti di roccia e fluidi interstiziali), delle loro proprietà fisiche e della natura delle mutue interazioni di carattere elettrochimico esistenti tra esse, con particolare riferimento alla teoria del doppio strato elettrico per i sistemi acqua-argilla-elettrolita.

Nei successivi cap. 9-12, sono trattati, secondo una linea piuttosto tradizionale, i processi di filtrazione in regime stazionario, i processi di deformazione relativi a percorsi di carico isotropi o di tipo proporzionale ed i processi di deformazione corrispondenti a percorsi di carico con prevalente componente deviatorica. Nel cap. 13 sono riportate infine alcune considerazioni di natura energetica volte all'inquadramento delle condizioni di rottura per tali materiali.

Tali argomenti vengono presentati attraverso l'esame dei comportamenti sperimentalmente osservati su terreni naturali in prove di laboratorio di tipo convenzionale, accompagnato dalla descrizione delle apparecchiature, delle procedure sperimentali e delle tecniche di interpretazione adottate.

Il dato sperimentale viene quindi inquadrato nell'ambito degli sviluppi teorici presentati nella prima parte. Così, le equazioni di continuità della massa per le varie fasi di una miscela, presentate nel cap. 6, vengono applicate alla descrizione dei processi di filtrazione in regime stazionario in condizioni di completa o parziale saturazione; il comportamento meccanico osservato in prove di compressione e di taglio viene inquadrato nell'ambito delle teorie della viscoelasticità lineare e non lineare presentate nel cap. 7, mentre le condizioni di rottura vengono associate al raggiungimento di una condizione di limite per le variazioni di energia libera specifica dissipata nel corso di un processo di distorsione.

Chiudono il volume tre appendici dedicate rispettivamente all'analisi tensoriale, alla specializzazione in coordinate cilindriche delle più importanti equazioni differenziali trattate ed ai modelli reologici.

In un giudizio complessivo sull'opera, si può senz'altro apprezzare la completezza della trattazione relativa ai principi generali di conservazione, alla termodinamica delle trasformazioni irreversibili ed alla teoria delle miscele, sviluppati nella prima parte; va tuttavia osservato che l'uso generalizzato della notazione indiciale ed il desiderio di mantenere la massima generalità nella trattazione, contribuiscono ad appesantire l'esposizione rendendola poco adatta ad una lettura introduttiva sull'argomento.

Per quanto concerne la seconda parte, più direttamente rivolta alla applicazione dei metodi e degli strumenti della meccanica del continuo ai terreni, l'impressione che se ne ricava

è che l'opera non sia riuscita a raggiungere pienamente gli obiettivi prefissati.

A nostro giudizio, manca innanzitutto un inquadramento razionale del principio delle tensioni efficaci che, introdotto per la prima volta da Terzaghi negli anni venti su basi essenzialmente empiriche, costituisce l'elemento caratterizzante per l'inquadramento della moderna Meccanica dei Terreni nell'ambito della Meccanica del Continuo. Il principio stesso non viene mai esplicitamente enunciato; l'Autore si limita a riportare la definizione di tensione efficace ma non sembra cogliere la portata dell'ipotesi originale di Terzaghi che l'intero comportamento meccanico del terreno debba dipendere dalle sue variazioni.

Ne è conferma l'assenza di una trattazione organica e generale dei processi di consolidamento nei terreni coesivi. La teoria della consolidazione viene affrontata brevemente nel cap. 11, dedicato alla compressibilità dei terreni, limitatamente al caso di deformazione e flusso monodimensionale e viene sviluppata solo nel caso lineare (teoria monodimensionale di Terzaghi). Peraltro, in tale sviluppo, come equazione costitutiva del materiale viene assunta una relazione lineare tra le variazioni dell'indice dei vuoti e gli incrementi di pressione interstiziale.

Riguardo alla descrizione del comportamento meccanico dei terreni, l'ipotesi alla base delle equazioni costitutive di tipo 'duale', di disaccoppiamento tra le componenti deviatoriche e sferiche dei tensori di deformazione e dello stato tensionale, sembra senz'altro criticabile sul piano della rispondenza alle osservazioni sperimentali. Inoltre, la scelta di limitare l'esposizione ad equazioni costitutive di tipo viscoelastico, senza neanche un accenno agli sviluppi recentemente verificatisi nell'ambito della teoria della plasticità, sembra piuttosto riduttiva; permane infatti qualche dubbio circa l'effettiva capacità di descrivere attraverso tali modelli alcuni aspetti peculiari del comportamento dei terreni, quali irreversibilità e dipendenza dalla storia dello stato tensionale.

Infine, dobbiamo osservare come, nonostante la veste tipografica di buon livello, in linea con l'elevato costo del volume, l'opera risulti penalizzata da errori di stampa presenti nel testo e soprattutto in alcune delle equazioni.

(Claudio Tamagnini)

Bibliografia

- RIVLIN R.S., ERICKSEN J.L. (1955) - *Stress-deformations relations for isotropic materials*. J. Rational Anal., n. 4, pp. 323-425.
 TRUESDELL C., NOLL W. (1965) - *The Non-Linear Field Theories of Mechanics*. Encyclopedia of Physics, ed. S. Flugge, vol. III, n. 3, Berlin, Springer-Verlag.
 TRUESDELL C., TOUPIN R.A. (1960) - *The Classical Field Theories*. Encyclopedia of Physics, ed. S. Flugge, vol. III, n. 1, pp. 226-793, Berlin, Springer-Verlag.