

Recensioni

Un nuovo libro sulla Teoria dello Stato Critico.

D.M. WOOD, *Soil Behaviour and Critical State Soil Mechanics*. Cambridge University Press. 1990, 462 pp., 335 figg., 6 tab., L. 50.00 (H.B.), L. 19.50 (P.B.).

Con la pubblicazione di «On the yielding of soils», ROSCOE, SCHOFIELD e WROTH [1958] tracciano uno spartiacque nella storia della Geotecnica. Il comportamento meccanico dei terreni, fino ad allora schematizzato secondo due modelli ideali ed indipendenti, elastico (utilizzato per lo studio di problemi in condizioni di esercizio) e rigido-plastico (per l'analisi di problemi di stato ultimo), viene inquadrato da Roscoe e collaboratori nell'ambito di un'unica teoria che prenderà successivamente il nome di *Teoria dello Stato Critico*.

La diffusione di questo approccio allo studio della Meccanica dei Terreni è anche da attribuire alla pubblicazione di alcuni libri molto noti nel mondo geotecnico [SCHOFIELD e WROTH, 1968; ATKINSON e BRANSBY, 1978; BOLTON, 1979], scritti da Autori della scuola di Cambridge e quindi allievi diretti o indiretti di Roscoe. Questi testi, sebbene ancora relativamente recenti, possono essere considerati ormai delle rarità; infatti sono tutti fuori catalogo e risulta difficile trovarne copie di magazzino.

In questo contesto si colloca il libro di WOOD, oggetto della presente recensione, che gode del particolare privilegio di essere non solo l'ultimo, ma anche praticamente l'unico libro di testo disponibile sulla Teoria dello Stato Critico.

L'Autore

David Muir Wood si è formato scientificamente all'Università di Cambridge dove ha conseguito la laurea in *Mechanical Sciences* nel 1970 e il Ph.D. in *Soil Mechanics* nel 1974. Dal '75 all'87 ha fatto parte del Dipartimento di Ingegneria della stessa Università, ricoprendo vari ruoli nell'ambito del gruppo di Meccanica dei Terreni. Attualmente, oltre ad essere Direttore del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Glasgow, è anche presidente dell'*Advisory Panel* di «Geotechnique» e del Gruppo Scozzese di Geotecnica.

Wood ha finora coltivato molteplici interessi scientifici che spaziano dalle tecniche sperimentali alle leggi costitutive, dalla caratterizzazione del comportamento dei terreni in campo ciclico allo studio della propagazione delle discontinuità in provini e modelli. In alcuni di questi settori ha collaborato con ricer-

catori italiani. In particolare con il prof. Nova del Politecnico di Milano ha sviluppato un modello costitutivo per descrivere il comportamento meccanico delle sabbie; con il prof. Scarpelli, attualmente all'Università di Ancona, ha lavorato sui meccanismi di formazione di bande di taglio in terreni sabbiosi.

All'ultimo Convegno Europeo di Geotecnica (ECSMFE 91), tenutosi a Firenze nel giugno dello scorso anno, è stato *Discussion leader* della sessione 2b sui «modelli costitutivi in campo dinamico» ed ha collaborato con il prof. Kavvas per l'organizzazione della sessione 2a sui «modelli costitutivi in campo statico». Chi ha partecipato a tali sessioni ne avrà apprezzato senz'altro l'ampia cultura geotecnica e l'estrema precisione e puntualità nel condurre la discussione e nel commentare gli interventi.

Organizzazione e contenuti del libro

Dopo uno sguardo alla rassicurante immagine di uno staccio riportata in copertina, basta un'occhiata all'indice per capire che non si ha davanti un libro di Geotecnica strutturato in maniera convenzionale. Il *taglio scientifico* che l'Autore ha voluto dare al lavoro appare completamente diverso da quello che caratterizza gran parte dei testi in commercio. Ad esempio, alcuni argomenti, come i *Moti di Filtrazione* o la *Teoria della Consolidazione*, non sono assolutamente trattati.

Sorprende poi la disposizione dei capitoli nel testo. Alle proprietà indice, che generalmente sono presentate nelle prime pagine, viene dedicato il nono capitolo. Nel quinto capitolo viene presentato il modello *Cam-Clay* e solo nel successivo si introduce il concetto di «*stato critico*». In realtà, questo schema così originale alla fine si rivela logico e fruttuoso. Colpisce infine la presenza di alcuni capitoli dedicati esclusivamente ad argomenti che, in genere, vengono considerati molto specifici, come ad esempio la *dilatanza*.

La lettura approfondita del testo conferma le prime sensazioni. L'approccio seguito interessa il lettore e ne cattura l'attenzione.

L'impostazione del libro è sintetizzata nelle pagine iniziali del primo capitolo: lo studio di problemi ingegneristici richiede l'utilizzazione di modelli, più o meno fedeli alla realtà a seconda del dettaglio che si intende studiare. Si comprende ora il senso dell'immagine di copertina. Anche nelle più semplici tecniche d'indagine, ad esempio nell'analisi granulometrica per staccatura, si fa sempre riferimento ad un modello: particelle di forma assolutamente diversa sono considerate equivalenti, dal punto

di vista granulometrico, per il solo fatto di passare per le maglie degli stessi stacci.

Il primo capitolo prosegue attraverso l'introduzione sintetica di alcune nozioni sul comportamento dei terreni, sulle loro proprietà fisico-meccaniche e sulle tecniche sperimentali; viene inoltre discusso il *principio delle tensioni efficaci*.

I due capitoli successivi sono dedicati rispettivamente ad una breve illustrazione della teoria dell'elasticità (sviluppata anche per un mezzo anisotropo) e della teoria della plasticità. I riferimenti al comportamento meccanico dei terreni, presenti in entrambi i capitoli, collegano opportunamente la teoria al dato sperimentale per mostrare, fin dall'inizio del testo, che i concetti propri dell'elasticità e della plasticità possono essere utilmente impiegati nella Meccanica dei Terreni.

Nel quarto capitolo sono definite le caratteristiche generali da attribuire ad un modello costitutivo elasto-plastico per simulare il comportamento meccanico dei terreni. Nel quinto capitolo si introduce il modello *Cam-Clay modificato*, che è successivamente utilizzato nella simulazione di prove di compressione triassiale drenate e non drenate su terreni normalmente consolidati o sovraconsolidati. Si tratta di un capitolo molto interessante anche dal punto di vista didattico, soprattutto per la semplicità con la quale sono illustrati i risultati della modellazione.

Quando si passa al capitolo successivo, ci si rende subito conto che il *Cam-Clay* è stato presentato senza aver introdotto il concetto di stato critico. Nel primo paragrafo di tale capitolo viene mostrato come tale concetto derivi automaticamente dal modello. Si definiscono, quindi, la linea di stato critico e la superficie di stato limite, con alcune possibili rappresentazioni tridimensionali e bidimensionali. Solo successivamente si confronta il comportamento meccanico di sabbie ed argille con quanto previsto dal modello. Si tratta di un approccio inusuale, ma in definitiva più convincente perché separa il modello dal reale comportamento dei terreni, e pertanto non richiede che la fenomenologia sia necessariamente congruente con la teoria.

Il settimo capitolo, dedicato alla rottura dei terreni, è molto articolato; in esso vengono trattati problemi riguardanti il comportamento dell'elemento di volume e sono anche brevemente presentate tecniche di risoluzione di problemi al finito. Per quanto riguarda gli aspetti legati all'elemento di volume, si affrontano diversi argomenti che spaziano dal criterio di Mohr-Coulomb alla definizione della resistenza non drenata, dalla resistenza di picco a quella residua. Tutti gli argomenti sono trat-

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 dilatazione, 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 & TOUPIN, 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