

Relazioni al Simposio di meccanica delle rocce di Swansea.

Presso la Divisione di Ingegneria Civile dell'Università del Galles, a cura del prof. ZIENKIEWICZ, si è tenuto ai primi di aprile 1967 un interessante Simposio sulla meccanica delle rocce, che, date le sue caratteristiche essenzialmente didattiche, ha assunto l'aspetto di un corso avanzato in questa nuova disciplina.

La materia è stata ripartita per argomenti, la cui trattazione è stata affidata a insigni specialisti. Ne sono risultate 12 monografie e 3 appendici (dotate tutte di ampie e aggiornatissime bibliografie), le quali, secondo un'usanza ormai diffusa nel mondo anglosassone, saranno raccolte a formare un testo specializzato.⁽¹⁾

Al Simposio hanno partecipato un centinaio di tecnici, prevalentemente britannici. Tra i paesi stranieri erano rappresentati: Italia, Stati Uniti, Australia, Norvegia, Spagna, Portogallo, Olanda e Jugoslavia.

Si riferisce sul contenuto delle singole monografie, ponendone in evidenza gli aspetti di maggiore interesse.

1 - *Considerazione geologiche.*

D. U. DEERE - (University of Illinois - Urbana, USA).

Dopo una premessa a carattere generale sul ruolo della geologia nei problemi di geomeccanica, viene sottolineata la necessità di completare le informazioni già desumibili dalla definizione petrografica, con dati relativi alle caratteristiche meccaniche delle rocce.

⁽¹⁾ Di tale testo è stata preannunciata la prossima edizione a cura della Wiley & Son di Londra.

Per quanto riguarda queste caratteristiche, si espone una doppia classificazione in funzione della resistenza a compressione ed in funzione del rapporto tra il valore del modulo elastico corrispondente ad una sollecitazione pari alla metà della resistenza a compressione ed il valore di questa stessa resistenza.

Vengono riportati degli interessanti diagrammi, basati sui risultati di numerosissime prove e distinti per famiglie di rocce (sedimentarie, ignee, metamorfiche), nei quali si individuano i campi di variabilità delle resistenze e dei moduli elastici delle rocce esaminate.

Si espone inoltre una classificazione qualitativa degli ammassi rocciosi (R. Q. D. - *Rock quality designation*) basata sulla percentuale del carotaggio ricavato con doppio carotiere da perforazioni con diametro di 2. 1/8", computata considerando solo le carote di lunghezza superiore a 4".

L'indice di qualità R. Q. D. definito da tale percentuale è posto in correlazione con la frequenza delle fratture e con il rapporto tra le velocità di propagazione delle onde elastiche rilevate rispettivamente in situ ed in laboratorio.

2 - *Proprietà meccaniche delle rocce.*

A. J. HENDRON JR. - (University of Illinois - Urbana, USA).

Vengono passati in rassegna i diversi tipi di prove, essenzialmente di laboratorio, dirette alla determinazione delle più importanti caratteristiche meccaniche delle rocce (resistenza a diversi tipi di sollecitazione e deformabilità); vengono inoltre analizzati i fattori che possono influenzarne i risultati ed infine sono presentati dei tentativi di correlazione tra i valori

sperimentali relativi ad alcune di queste caratteristiche meccaniche.

Riallacciandosi alla classificazione qualitativa espressa dall'indice R. Q. D. definito nella prima monografia, viene prospettato un tentativo di correlazione fra questo indice e i fattori di riduzione E_r/E_{core} e E_r/E_{seism} , fattori che sono rappresentati dai rapporti tra il modulo elastico determinato in situ con martinetto (E_r) e, rispettivamente, il modulo statico determinato in laboratorio su carote (E_{core}) ed il modulo dinamico in situ, ricavato con metodo sismico (E_{seism}).

3 - *Influenza dell'acqua interstiziale sul comportamento degli ammassi rocciosi.*

J. LAGINHA SERAFIM - (Libero professionista - Madrid e Lisbona).

Vengono descritti i fenomeni connessi alla presenza di acqua in seno ad ammassi rocciosi porosi o interessati da fratture e discontinuità in genere.

Vengono ampiamente discussi i fondamenti teorici del moto dell'acqua (uniforme e vario) in un ammasso roccioso (isotropo ed anisotropo) ed è esaminata l'influenza della variazione delle caratteristiche di tale ammasso connesso con il fenomeno (permeabilità e deformabilità).

Viene poi esaminato lo stato di tensione che si determina in un corpo permeabile per effetto dell'acqua interstiziale, con particolare riguardo alla relativa influenza sui fenomeni di rottura.

Per ultimo vengono esaminate le modificazioni delle caratteristiche meccaniche che si producono in una roccia porosa per effetto della presenza di acqua, e la degradazione fisico-chimica provocata dalla circolazione dell'acqua in determinati tipi di rocce.

4 - Rottura fragile delle rocce.

E. HOEK - (Imperial College, London).

Viene richiamata la trattazione teorica di GRIFFITH, secondo la quale la rottura fragile di una roccia sarebbe dovuta al superamento della resistenza a trazione ed inizierebbe alla periferia di piccole cavità naturali esistenti nel materiale (considerate ellittiche).

Il concetto di GRIFFITH viene integrato mettendo in conto, oltre alla resistenza a trazione, anche la resistenza al taglio del materiale dovuta ad attrito interno; si ottiene così un criterio di rottura più completo, sempre relativo a rocce « fragili ».

È inoltre esaminata l'influenza di alcuni fattori sul comportamento a rottura di una roccia « fragile », quali: l'umidità, la pressione dell'acqua nei pori e la variazione, con lo stato di tensione, del coefficiente di attrito interno.

5 - Prove in situ sugli ammassi rocciosi.

K. G. STAGG - (University College, Swansea).

Sono passati in rapida rassegna vari metodi di prove in situ per la determinazione della deformabilità, della resistenza al taglio e di altre caratteristiche degli ammassi rocciosi.

Per quanto riguarda le prove di deformabilità, viene descritto il metodo del martinetto e suoi derivati, il metodo della camera idraulica e relative varianti, il metodo del dilatometro in foro da sonda, nelle sue diverse versioni. È fatto anche un accenno alle prove dinamiche.

Sono descritte infine le modalità operative per la realizzazione di prove di resistenza al taglio « in situ », nonché prove per la determinazione della capacità portante delle formazioni rocciose.

6 - Misura delle tensioni negli ammassi rocciosi.

A. ROBERTS - (University of Sheffield).

Premesse alcune nozioni sulle origini delle tensioni nella crosta terrestre, viene esaminata la distribuzione delle tensioni alla periferia di scavi praticati

in un ammasso roccioso; sono inoltre richiamati i diversi tipi di deformabilità delle rocce ed i relativi modelli reologici (elastico, plastico, viscoso, viscoelastico, KELVIN e MAXWELL-KELVIN).

Precisato che le misure che vengono effettuate sono volte allo scopo di determinare o lo stato assoluto delle tensioni o la variazione dello stato di tensione, sono descritte le apparecchiature di impiego più comune per attuare la tecnica del rilascio delle tensioni e quella del ripristino dello stato di tensione preesistente.

Gli strumenti descritti per l'attuazione del primo metodo sono così distinti:

— apparecchi da introdurre in foro da sonda, atti a misurare la deformazione diametrica di una cavità cilindrica (MAHAK, US Bureau of Mine), oppure atti a misurare lo sforzo, senza consentire apprezzabili deformazioni della cavità stessa (HAST, POTT, HAWKS, e inclusioni di elementi fotoelastici),

— apparecchi da applicare sul fondo di un foro da sonda (LEEMANN, anelli fotoelastici biassiali, cella WNIMI).

Per quanto riguarda il metodo del ripristino delle tensioni, è illustrato l'impiego di martinetti piatti o curvi, introdotti in fenditure rispettivamente piane o anulari.

Compiuto un esame critico dei diversi procedimenti, sono fornite indicazioni per la scelta del metodo più adatto in relazione al modello reologico al quale meglio corrisponde la deformabilità dell'ammasso roccioso nel quale si deve operare.

6a - Metodi ottici per prove in situ e su modelli.

G. S. HOLISTER - (University College, Swansea).

Vengono presentate alcune applicazioni nel campo della meccanica delle rocce di metodi ottici (fotoelastici, moiré) per l'esame degli stati di tensione.

Si riporta un esempio di studio su un modello geomeccanico piano con l'impiego di un rivestimento in materiale birifrangente e viene prospettata la possibilità di applicazioni di pellicole birifrangenti ed estensimetri costituiti da laminette fotoelastiche per lo studio del comportamento elastico di campioni di roccia in laboratorio.

Per quanto riguarda l'impiego in situ, oltre agli anelli fotoelastici biassiali impiegati per l'esame delle ten-

sioni interne col metodo del rilasciamento delle tensioni (vedi cap. 6), vengono descritte le possibilità di impiego di pellicole birifrangenti per determinare deformazioni superficiali.

Viene descritto quindi l'impiego della tecnica moiré nello studio di problemi geotecnici su argille e materiali granulari, con realizzazione di modelli piani (sulla cui superficie viene impresso un reticolo che si distorce ponendo in evidenza la deformazione del modello) e di modelli tridimensionali costituiti da straterelli diversamente colorati (di cui a fine prova si esamina la distorsione, su sezioni elementari).

7 - Origine delle perturbazioni dinamiche e loro effetti sulle rocce.

N. N. AMBRASEYS - (Imperial College, London).

Richiamate le leggi fondamentali che governano la propagazione delle vibrazioni in un mezzo elastico, vengono esaminate le origini delle perturbazioni dovute ai terremoti, con particolare riguardo a quelli di origine tettonica.

Vengono considerati gli effetti delle vibrazioni sugli ammassi rocciosi, prendendo in esame particolari situazioni, quali zone in prossimità di una superficie libera o in corrispondenza di faglie; vengono altresì esaminati gli effetti delle vibrazioni su materiali sciolti.

7a - Vibrazioni del suolo e danni causati da esplosioni.

A. J. HENDRON - (University of Illinois - Urbana, USA).

Viene trattato il problema della determinazione della massima carica di esplosivo che può essere impiegata nei lavori di scavo all'aperto e in sotterraneo senza recar danno alle strutture preesistenti in vicinanza del luogo di impiego.

Riportati i risultati di osservazioni sperimentali di vari autori (effettuate in diverse condizioni ed in diverse parti del mondo) sui danni subiti da fabbricati per effetto di vibrazioni del terreno prodotte da esplosioni, si conclude che i danni che si verificano in un determinato punto possono essere considerati proporzionali alla massima velocità di vibrazione raggiunta in tal punto dalle particelle del terreno.

Mediante l'impiego dell'analisi di-

mentale e con l'interpolazione della larga messe di dati sperimentali a disposizione, viene ricavata una semplice relazione che consente di calcolare speditamente tale velocità massima.

Sono infine indicati i valori delle velocità massime delle particelle del terreno che non dovrebbero essere superati per evitare danni a strutture esistenti in superficie o alle pareti di gallerie non rivestite.

7b - *Misure dinamiche delle caratteristiche elastiche in situ e correlazione con le misure statiche.*

A. J. HENDRON - (University of Illinois, Urbana, USA).

Premesso che i valori del modulo elastico dedotti con metodi dinamici (E_d) risultano generalmente più elevati di quelli ottenuti con metodi statici (E_s), si ricerca una giustificazione di questo fatto nell'assenza di deformazioni permanenti nelle prove dinamiche a causa della brevità dell'impulso e della modesta entità delle sollecitazioni generate.

Si espongono quindi le relazioni e i metodi fondamentali per determinare il modulo elastico per via dinamica.

Riprendendo un argomento già trattato nella monografia n. 2, si conclude ponendo in rilievo la correlazione tra il rapporto E_s/E_d e l'indice di qualità della roccia (R.Q.D.) e constatando che il rapporto suddetto tende a 1 nel caso di rocce praticamente prive di discontinuità, per le quali anche il valore dell'indice suddetto tende all'unità.

8 - *Applicazione della meccanica dei mezzi continui ai problemi delle rocce.*

O. C. ZIENKIEWICZ - (University College, Swansea).

Vengono esaminati quei problemi di meccanica delle rocce che possono essere ricondotti, sia pure a solo scopo di «inquadramento» fra adatte situazioni limite, a idealizzazioni che comportano la distribuzione di sforzi in un mezzo continuo (eventualmente anche distinguendo zone a diverse caratteristiche elastiche).

I moderni mezzi di calcolo automatico consentono una notevole flessibilità di analisi, cosicché in relazione al tipo di materiale, di condizioni ai li-

miti ecc. si può optare per una semplice analisi elastica (isotropica o anisotropica), per una analisi elasto-plastica lineare o no (ad es. con ricerca per iterazioni successive delle zone fessurate ecc.), per una analisi delle deformazioni di tipo plastico.

La tecnica di analisi sviluppata da numerosi studiosi (a cui l'Autore ha dato notevoli contributi) è quella della scomposizione del campo continuo sede dei fenomeni in un certo numero di elementi finiti bidimensionali (caso piano) od anche tridimensionali (caso spaziale) collegati tra loro ai nodi di una maglia e soggetti a condizioni analitiche di equilibrio e congruenza nei nodi.

9 - *Meccanica dei mezzi discontinui, o meccanica clastica.*

D. H. TROLLOPE - (University College of Townsville, Australia).

Si espongono i principi di un recente tipo di analisi statica, in cui sostanzialmente vengono abbandonati i concetti di «continuo elastico» e di congruenza delle deformazioni, conservando viceversa le equazioni indefinite di equilibrio delle tensioni.

Il materiale viene rappresentato da un modello consistente in un agglomerato di «unità elementari» ripetute secondo un certo ordine. Le condizioni di equilibrio di ogni unità non sono sufficienti a determinare il problema statico, e pertanto si introducono di volta in volta ipotesi più o meno intuitive, atte a rendere definita la soluzione. Tali ipotesi sono scelte in base al tipo di soluzione che si vuole ottenere e non sempre sono giustificabili in via rigorosa.

Vengono applicati i concetti di cui sopra ai seguenti problemi:

— trasmissione degli sforzi nel campo statico (peso proprio e carichi esterni) e nel campo dinamico (terremoti, vibrazioni in genere);

— condizioni di rottura, per il materiale roccioso e per ammassi di roccia;

— problemi di percolazione.

Con diversi interessanti esempi si mostra come i principi adottati possano condurre a conclusioni diverse da quelle fornite dalla tradizionale analisi delle tensioni e possano interpretare, almeno qualitativamente, alcuni tipi di comportamento reale.

10 - *Comportamento a rottura degli ammassi rocciosi.*

N. R. MORGENSTERN - (Imperial College, London).

Sono passati in rassegna i criteri fondamentali sui quali vengono attualmente impostati i problemi di deformazione e rottura negli ammassi rocciosi; criteri che, sviluppatisi inizialmente nel campo della meccanica delle terre, vengono estesi anche alla meccanica delle rocce.

Discussa ampiamente l'influenza che viene esercitata sul comportamento degli ammassi rocciosi da parte delle discontinuità presenti in essi, viene esaminato in particolare il problema della resistenza residua e la teoria della rottura progressiva.

L'ampia rassegna è conclusa con l'esame dell'influenza della presenza di acqua in un ammasso roccioso sulla sua stabilità.

11 - *Modelli geomeccanici.*

E. FUMAGALLI - (Isme - Bergamo).

Sono esposte le più recenti realizzazioni nel campo dei modelli geomeccanici per lo studio del comportamento globale di una determinata struttura (diga, galleria, ecc.) e dell'ammasso roccioso nel quale essa ha sede.

Richiamati i principi generali della similitudine meccanica che è alla base della teoria dei modelli, viene descritta la tecnologia con la quale è riprodotto nel modello l'ammasso roccioso (che il più delle volte è costituito da un corpo anisotropo e discontinuo) perché il modello stesso possa adeguatamente simulare il comportamento geomeccanico del prototipo.

Sono poi illustrati i dispositivi adottati per la misura degli spostamenti sia in superficie (tra i quali quello fotografometrico) sia all'interno della massa in corrispondenza delle discontinuità realizzate nel modello.

12 - *Metodi per migliorare le caratteristiche degli ammassi rocciosi.*

P. F. LANCASTER-JONES - (The Cementation Company Ltd, Croydon, Surrey).

La monografia costituisce una rassegna dei sistemi di impermeabilizzazio-

ne e di consolidamento delle rocce più comunemente impiegati (iniezioni, ancoraggi, congelamento). Di ciascuno di questi sistemi sono descritte le modalità di esecuzione e i campi di applicabilità; l'esposizione è arricchita dalla descrizione di numerose applicazioni pratiche e dei risultati conseguiti.

(Paolo Bertacchi, Franco Capozza)

Il mondo sotterraneo.

Atti degli *Incontri di Studio* svolti alla Facoltà di Ingegneria, aprile-maggio 1967.

Dal recente Convegno di Geotecnica tenutosi a Cagliari nel '66, l'area della collaborazione interdisciplinare fra urbanistica e geotecnica si è ulteriormente estesa. In quel Convegno venne infatti messo a fuoco un settore di utilizzazione della disciplina che finora era stato pressochè ignorato; le si attribuì cioè il compito della « lettura geotecnica » del territorio, quasi una sorta di radiologia del *continuum* rurale-urbano. In tal modo, la lettura geotecnica diventa un nuovo tipo di lettura del territorio che si aggiunge a quelli storico, morfologico, funzionale, ecc., che la moderna cultura urbanistica ha elaborato e rappresenta la fonte di un ulteriore dato dell'analisi ecologica: la struttura del sottosuolo.

L'orientamento torna, poi, particolarmente proficuo anche per la tecnica operativa dell'urbanistica: infatti, il congestionamento dei centri urbani induce alla ricerca di nuove tecniche di intervento che molto spesso si identificano con le tecniche del sottosuolo. Il valore particolarmente elevato del suolo, l'esistenza di un patrimonio storico-artistico inalienabile, la pressante urgenza di nuove più adeguate infrastrutture commerciali e di trasporto, spingono l'intervento urbanistico nel sottosuolo, in quella parte, cioè, del territorio dove la operazione può essere guidata soltanto da una specifica competenza: quella del geotecnico.

La collaborazione fra l'esperto di geotecnica e l'urbanistica va dalla semplice « consulenza » allorché si tratta di scegliere, fra le varie alternative, la soluzione sotterranea — che è condizionata, oltre che da motivi ambientali e specificamente urbanistici, anche da fattori tettonici — fino alla diretta partecipazione alla « équipe di progettazione », per la previsione e la

esecuzione delle opere capaci di assicurare il buon funzionamento della infrastruttura sotterranea prescelta.

Pertanto, geotecnica ed urbanistica hanno intrapreso studi comuni che non si sono esauriti nel Convegno di Cagliari, ma hanno continuato a sviluppare fecondi risultati negli incontri di studio sul tema « Il mondo sotterraneo », promossi dall'*Istituto di Architettura e Urbanistica* della Università di Napoli, con la partecipazione degli *Istituti di Tecnica delle Fondazioni*, di *Costruzioni Stradali* e di *Tecnica ed Economia dei Trasporti*. Agli incontri di studio hanno partecipato anche due esperti stranieri, il prof. Edouard URUDJIAN, di Parigi, fondatore dell'urbanistica sotterranea, un ramo della disciplina che studia in particolare la sistemazione urbanistica del sottosuolo, ed il prof. William ARMENTO, di San Francisco, progettista di una importante infrastruttura urbana, in parte sotterranea e sottomarina, il B.A.R.T. System, ossia una ferrovia che collega tre contee della regione metropolitana di San Francisco.

Dopo il saluto del Preside della Facoltà, prof. Luigi TOCCHETTI, il prof. URUDJIAN ha illustrato gli aspetti storici dell'uso del sottosuolo, collegandoli poi immediatamente alle grandi operazioni di urbanistica sotterranea, promosse del G.E.C.U.S. (*Groupe d'Études et de Coordination de l'Urbanisme Souterrain*) di cui è presidente, a Parigi ed altrove; tra l'altro egli ha osservato come « sino ad oggi l'utilizzazione del sottosuolo sia stata caratterizzata dalla settorialità, dal non-coordinamento dei vari interventi... È appunto contro questa mancanza di metodo, ... che noi esponenti della moderna urbanistica sotterranea eleviamo la nostra protesta, affermando che la utilizzazione del sottosuolo deve rispondere a generali piani di carattere urbanistico, ... nel cui ambito si inquadra, poi, al livello progettuale, gli interventi di settore, sino al tracciato delle reti impiantistiche ».

L'accento di globalità, conferito dal prof. URUDJIAN all'intervento nel sottosuolo è stato ripreso, seppure in diversa misura, da ARMENTO: egli ha esposto con molta precisione i numerosi aspetti di un'esperienza urbanistica varia e complessa come quella del sistema dei trasporti nella regione di San Francisco. « L'obiettivo », egli ha concluso, « ...è eminentemente urbanistico: migliore utilizzazione possibile del suolo disponibile e conseguimento della massima efficienza in un corridoio di traf-

fico, con la minima possibile disintegrazione delle comunità ».

Alla esposizione dei proff. URUDJIAN e ARMENTO, cui in una delle giornate di studio si è aggiunta anche la presenza dell'ing. Ricardo HUMBERT, esperto dell'O.N.U. per i problemi del traffico urbano, ha poi fatto seguito la discussione da parte degli intervenuti, docenti, assistenti e studenti, secondo vari punti di vista. In particolare, l'uso del sottosuolo in una politica di piano e la fondazione disciplinare dell'urbanistica sotterranea sono stati i temi affrontati dalla relazione del prof. Corrado BEGUINOT, direttore dell'*Istituto di Architettura e Urbanistica*; negli interventi dei proff. Sandro PETRICCIONE e Renato DI MARTINO, dell'*Istituto di Trasporti*, sono stati lumeggiati gli aspetti economici e di tecnica della circolazione connessi alle soluzioni sotterranee; mentre il prof. Arrigo CROCE, direttore dell'*Istituto di Tecnica delle Fondazioni*, ha svolto il delicato ruolo di moderatore della discussione, portando tutti i partecipanti sullo stesso terreno discorsivo, fungendo spesso da interprete fra i diversi linguaggi e tentando, alla fine, di ricavare dagli incontri conseguenze nuove sul piano teorico. « Spesso i fatti nuovi », egli ha detto, « le idee capaci di modificare i termini in cui tradizionalmente un problema viene posto, maturano proprio nel clima di incontri come questo, in cui le esperienze di ciascun settore vengono poste a confronto, in cui è possibile scambiare idee e stabilire dialoghi che vanno al di là del dato oggettivo del dibattito ».

Infatti, il frutto si può dire più rilevante di questa esperienza di studio è stato la verifica di una nuova possibilità di collaborazione interdisciplinare consapevole, al di fuori dell'accidentale quanto cordiale incontro professionale degli esperti di urbanistica e di geotecnica: questo incontro, occasionato da una ricerca al livello universitario, svolto quindi nell'ambiente che noi crediamo il più adatto per la riflessione e l'aggiornamento scientifico, può direttamente condurre alla elaborazione di una teoria, cioè di un insieme organizzato di nozioni che è, da sempre, l'indispensabile supporto alla azione pratica.

Una larga ed attenta partecipazione degli studenti alle conferenze ed al dibattito ha confermato infine l'interesse didattico della manifestazione, i cui atti sono stati pubblicati in volume a cura