

**Valutazione quantitativa delle discontinuità di rocce e ammassi rocciosi.**

FOURMAINTRAUX D. (1975) - *Quantification des discontinuités des roches et des massifs rocheux* - Rock Mechanics vol. 7, N. 2.

L'A. studia il problema della caratterizzazione delle rocce e degli ammassi rocciosi nei riguardi delle discontinuità, e introduce a questo scopo due indici il cui uso illustra con riferimento alle prestazioni di un tunneller.

Nell'articolo vengono distinte due categorie di discontinuità concernenti rispettivamente l'elemento di volume di roccia e l'ammasso roccioso.

Per caratterizzare l'elemento di volume di roccia l'A. introduce un indice di qualità, IQ, definito come rapporto tra due velocità di propagazione del suono attraverso la roccia:

$$IQ = \frac{V_{LM}}{V_{LC}} \cdot 100$$

essendo  $V_{LM}$  la velocità misurata, e  $V_{LC}$  un valore teorico, calcolato a partire dalle velocità di propagazione attraverso i singoli minerali costituenti la roccia e dai pesi relativi con cui i minerali stessi sono presenti nella roccia. La grandezza  $V_{LC}$  corrisponderebbe alla velocità di propagazione attraverso una roccia con composizione identica a quella della roccia reale, ma del tutto priva di difetti di continuità; la velocità  $V_{LC}$  risulta sempre maggiore di  $V_{LM}$ .

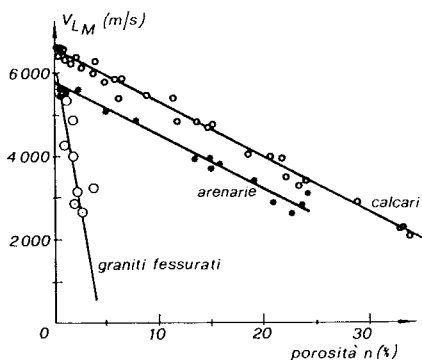


Fig. 1. - Relazione tra porosità totale e velocità di propagazione misurata, per vari tipi di roccia.

L'indice IQ riflette complessivamente gli effetti dei pori e delle fessure, che in realtà influiscono in diverso modo sul comportamento meccanico della roccia. È opportuno, perciò, separare la porosità totale  $n$  in una componente,  $n_p$ , derivante dai pori e in una componente,  $n_f$ , derivante dalle fessure. Tale separazione può effettuarsi, come si vedrà, mediante gli abachi delle figg. 3 e 4.

I valori di  $V_{LM}$  relativi ad alcuni tipi di roccia sono riportati in fig. 1, in funzione della porosità totale. Gli stessi dati, in un diagramma IQ,  $n$ , si dispongono all'interno di un dominio delimitato dall'asse delle ascisse e dalle semirette AB e AC. La retta AC rappresenta il comportamento di rocce porose per fessure; AB quello di rocce porose del tutto esenti da fessure.

Sperimentalmente è stato constatato che: rocce aventi inizialmente  $n_f = 0$  e punto rappresentativo D nel diagramma di fig. 2, se artificialmente fessurate,

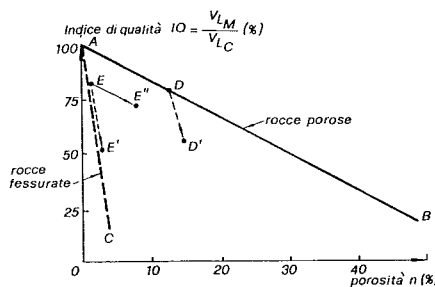


Fig. 2. - Relazione tra porosità totale e indice di qualità.

sono rappresentate nello stesso diagramma dal punto D', con DD' parallelo ad AC; il punto rappresentativo E di rocce fessurate di cui si aumenta il grado di fessurazione si sposta in E', giacente su AC; se le stesse rocce vengono invece alterate in modo da aumentarne soltanto la porosità dei pori, E si porta in E'', con EE'' parallelo ad AB.

Nell'opinione dell'A., nel dominio di fig. 2 ricadono tutte le rocce isotrope o debolmente anisotrope [FOURMAINTRAUX *et al.*, 1971].

Le precedenti constatazioni portano alla costruzione dell'abaco di fig. 3, mediante il quale è possibile separare

la porosità totale di rocce asciutte nelle componenti  $n_p$  ed  $n_f$ .

Se la roccia è saturata d'acqua, la separazione può effettuarsi mediante

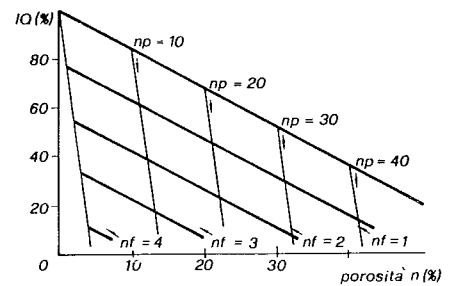


Fig. 3. - Abaco per la separazione della porosità totale  $n$  nelle due componenti  $n_p$  ed  $n_f$  (rocce asciutte).

l'abaco di fig. 4, costruito sulla scorta della seguente constatazione sperimentale:  $V_{LM}$  non risulta apprezzabilmente modificata dalla presenza dell'acqua nei pori, mentre aumenta proporzionalmente alla componente  $n_f$  della porosità quando le fessure sono saturate e di piccola apertura.

Si fa notare, incidentalmente, che la differenza tra le velocità di propagazione attraverso la roccia allo stato secco e attraverso la roccia saturata, è legata al grado di fessurazione, e potrebbe rappresentarne una sua misura, indipendentemente dal calcolo di  $V_{LC}$ .

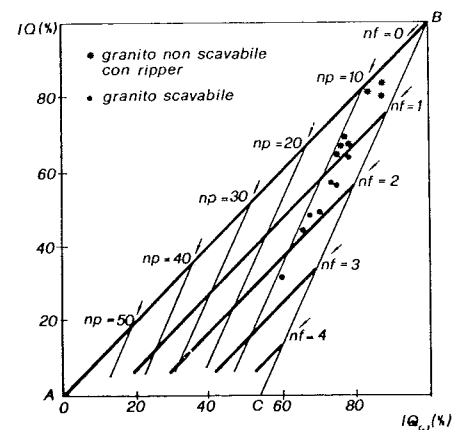


Fig. 4. - Abaco per la separazione della porosità totale  $n$  nelle due componenti  $n_f$  ed  $n_p$  (rocce saturate d'acqua). IQ<sub>s</sub> è l'analogo di IQ, ma relativo alla roccia saturata.

Un esempio dell'uso dell'indice IQ è mostrato nella stessa fig. 4, ed è relativo allo scavo di una trincea in un massiccio granitico: si è constatato che per valori di IQ superiori al 70% circa il granito non si presta ad essere scavato col ripper. L'analisi petrografica con sezioni sottili ha messo in evidenza che, nel caso in esame, la scavabilità era collegata alla presenza di fessure nel granito.

Per caratterizzare le discontinuità — in senso lato, dal momento che anche le cavità vengono considerate tali — l'A. fa ricorso ai principi della Morfologia Matematica e all'analizzatore di tessitura messo a punto presso l'Ecole des Mines di Parigi.

Il problema consiste nella quantificazione dell'informazione contenuta nella rappresentazione grafica del sistema di discontinuità rilevate su una parte dell'ammasso, al fronte di avanzamento

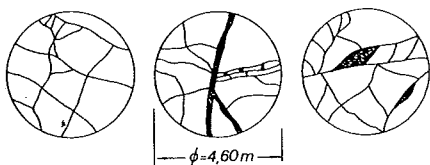


Fig. 5. - Discontinuità al fronte di scavo in un ammasso fessurato.

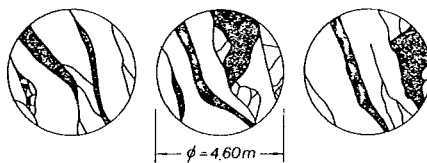


Fig. 6. - Discontinuità (cavità) al fronte di scavo in un ammasso fessurato interessato da fenomeni carsici.

di una galleria, ad esempio, figg. 5 e 6. In entrambe le figure le cavità e le fessure sono indicate in scuro; la roccia integra in bianco.

Il procedimento seguito per l'analisi dell'immagine può essere esposto con riferimento alla fig. 7; e consiste, essen-

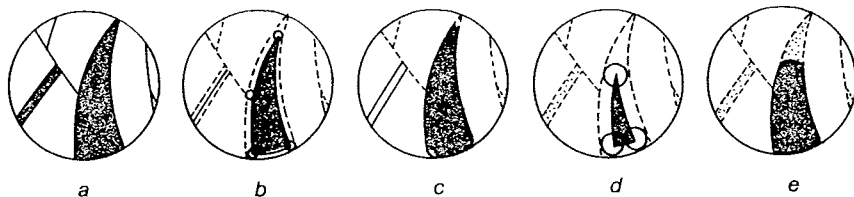


Fig. 7. - Schema dell'analisi dell'immagine mediante l'analizzatore di tessitura. Le aree scure sono occupate dalle discontinuità, le aree bianche da roccia integra: a) elemento strutturante: un punto; b) elemento strutturante: un cerchio di diametro « d ». L'area scura è il luogo dei centri dei cerchi di diametro « d », posizionati in zona scura e in essa interamente ricadenti; c) elemento strutturante: un cerchio di diametro « d ». L'area scura è quella occupata da discontinuità con apertura superiore o uguale a « d »; d) come in b), ma con diametro « D » del cerchio strutturante maggiore di « d »; e) come in c), con « D » > « d ».

zialmente, nell'esplorazione dell'immagine con un elemento geometrico di forma e dimensioni assegnate, definito « elemento strutturante ».

Se si sovrappone all'immagine di fig. 7a un reticolo a maglie quadrate, e se, per ogni nodo del reticolo, si considera la risposta alla domanda: « il punto considerato ricade in zona bianca (roccia integra) o in zona scura (fessura o cavità)? », si è in condizione di delimitare il contorno delle zone scure, coincidente con quello di partenza. Non si ottengono, in tal modo, informazioni su forma e dimensioni delle discontinuità. Ciò deriva dall'aver esplorato « puntualmente » l'immagine, o, in altri termini, dall'aver utilizzato il punto come elemento strutturante.

Se, anziché il punto, si utilizza un cerchio di diametro assegnato, una volta stabilito che il suo centro cade in zona scura, ci si può chiedere: « giace l'intero cerchio in zona scura? », e la risposta, ottenuta in tutti i nodi del reticolo, consente di individuare il luogo

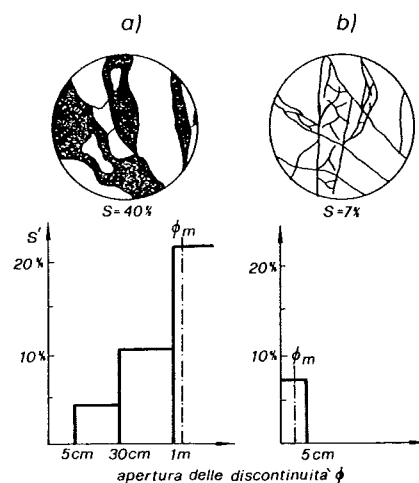


Fig. 8. - Due esempi di distribuzione delle aperture di discontinuità:

S = percentuale dell'area del fronte occupata da discontinuità;

S' = area delle discontinuità con apertura compresa fra i limiti indicati in ascisse, calcolata come percentuale dell'area totale del fronte.

dei centri dei cerchi di dato raggio interamente ricadenti in zona scura, fig. 7b, e di delimitare la parte di superficie occupata da discontinuità con apertura maggiore o uguale al diametro del cerchio esplorante, fig. 7c.

Ripetendo l'esplorazione con cerchi di diametro via via crescente, figg. 7d e 7e, si possono costruire gli istogrammi del tipo della fig. 8, e si può, in definitiva, risalire alla « granulometria » delle discontinuità [SERRA, 1971].

L'analisi, concettualmente semplice, richiede l'uso del computer, avente una telecamera come unità d'ingresso e

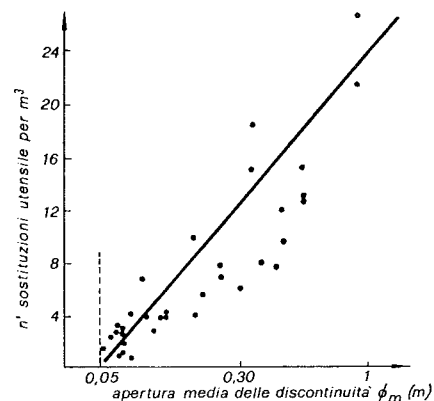


Fig. 9. - Influenza delle discontinuità di grande apertura ( $\Phi_m > 0,05$  m) sul numero di sostituzioni di utensili.

un'opportuna configurazione (analizzatore di tessitura).

Per caratterizzare la distribuzione delle aperture, l'A. fa riferimento ad un'apertura media,  $\Phi_m$ , che peraltro non definisce chiaramente.

Il procedimento esposto ha consentito di correlare le caratteristiche fisiche e meccaniche di un ammasso costituito da calcari, dolomie e calcari marnosi e le prestazioni del tunneller impiegato per lo scavo di una galleria. Si è potuta constatare, così, la note-

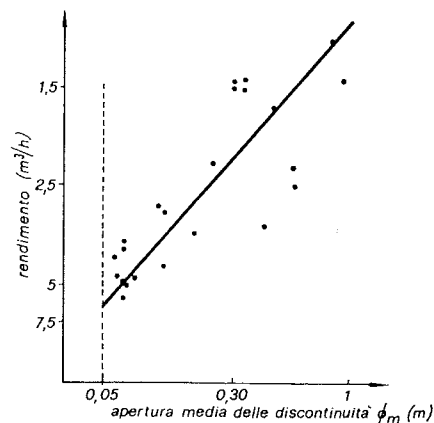


Fig. 10. - Influenza delle discontinuità di grande apertura sul rendimento del tunneller.

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

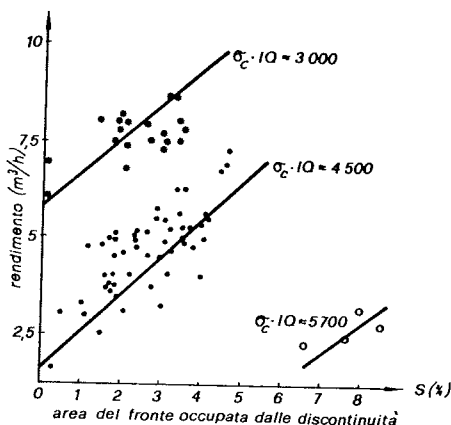


Fig. 11. - Relazione fra rendimento,  $\sigma_c$ , IQ e area occupata dalle discontinuità (espressa come % dell'area totale del fronte) nel caso di rocce con apertura delle discontinuità inferiore a 0,05 m ( $\sigma_c$  è espresso in MPa).

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

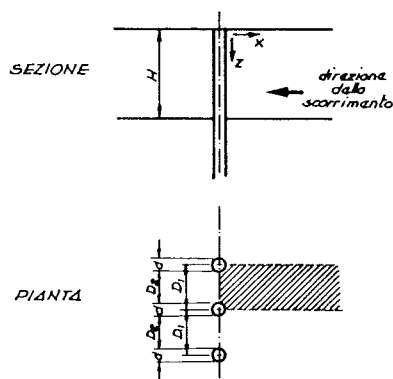


Fig. 1. - Schema di una palificata costituita da una fila di pali attraversanti uno strato di terreno che si deforma plasticamente.

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