

Metodo normalizzato per la descrizione delle discontinuità negli ammassi rocciosi.

I.S.R.M. Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. Coordinatore: N. Barton.

Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 15, pp. 319-368, 1978.

Nella tematica progettuale di qualsiasi opera di ingegneria è indispensabile adottare modelli di riferimento in cui vengano introdotte e quantificate tutte quelle caratteristiche fisiche e geometriche delle discontinuità, presenti negli ammassi rocciosi, che possano influenzarne il comportamento meccanico.

Nel corso degli studi scientifici e di progettazione, tuttavia, i risultati delle misure relative ai caratteri strutturali non sempre sono concordanti.

A questo contribuisce l'esistenza di sostanziali differenze nelle metodologie di indagine, spesso affidate a valutazioni soggettive, e nelle molteplici classificazioni suggerite dalle varie associazioni nazionali.

Un passo decisivo verso il superamento di tali inconvenienti è rappresentato dalla normativa per la descrizione strutturale degli ammassi rocciosi, proposta dalla International Society for Rock Mechanics, relativa alla misurazione delle grandezze, ai metodi di elaborazione dei dati, ai criteri di classificazione.

Sulla base di una sintesi della letteratura inerente all'argomento, la Commissione per la normalizzazione delle prove in sito e in laboratorio, istituita dalla I.S.R.M. e coordinata da N. Barton, ha definito le caratteristiche delle discontinuità, essenziali ai fini della descrizione dell'ammasso.

Rivestono un'importanza fondamentale, ai fini geotecnici, l'orientazione, la spaziatura, la persistenza, la scabrezza, la resistenza della roccia in prossimità delle pareti, l'apertura, la permeabilità e le caratteristiche del materiale di riempimento.

Le prime tre grandezze concorrono a definire la configurazione geometrica della struttura, con il numero di famiglie di discontinuità e la dimensione

dei blocchi in cui risulta suddiviso l'ammasso; le altre grandezze sono essenziali per comprendere il meccanismo di trasmissione degli sforzi e della circolazione idrica nell'ammasso.

Nella presente recensione si passano in rassegna le principali grandezze citate dagli AA. della normativa, ponendo in risalto l'importanza nell'impostazione degli studi di geotecnica sugli ammassi rocciosi.

Nell'applicazione della presente normativa a casi reali, si è constatato, con riferimento all'elaborazione dei dati relativa alla spaziatura, alla persistenza e all'apertura, che la rappresentazione di tali grandezze in diagrammi di frequenza cumulata, ne rende più immediata l'interpretazione.

Pertanto si è ritenuto opportuno, nel presente testo, introdurre assieme alla classificazione proposta dalla I.S.R.M., tale forma di rappresentazione.

Per quanto concerne la terminologia associata a questi diagrammi, a parziale giustificazione del ricorso ad alcune parole cadute in disuso, si segnala che non sempre è stata adottata la traduzione letterale dall'inglese, per la difficoltà di rendere il senso di certi termini con vocaboli accettabili della lingua italiana.

Infine, per alcune definizioni qualitative, è sembrato opportuno snellire

l'esposizione sostituendo alle descrizioni molto particolareggiate, alcune tabelle, che meglio sintetizzano e visualizzano i rapporti tra le caratteristiche considerate.

Orientazione.

Le condizioni di stabilità e la cinematica degli spostamenti in un ammasso roccioso dipendono in misura notevole dall'orientazione delle discontinuità, descritta dall'angolo di immersione α e dall'azimut di immersione β , in rapporto alla superficie topografica.

L'immersione, definita dall'angolo fra la retta di massima pendenza e la sua proiezione sul piano orizzontale, varia tra $0^\circ \div 90^\circ$; l'azimut dell'immersione, definito dall'angolo, misurato in senso antiorario, fra tale proiezione e la direzione Nord, varia fra $0^\circ \div 360^\circ$ (fig. 1).

Qualora la superficie non sia piana, è necessario individuarne la giacitura media, adottando una base di misura di lunghezza superiore a quella delle ondulazioni.

Lo strumento più idoneo per eseguire le misure in rocce non magnetiche è la bussola di Clar, munita di una livella a bolla d'aria, riflessa da uno specchietto che consente la centratura anche in posizioni disagiati, e di un coperchio piano o clinometro, rotante attorno ad un asse orizzontale, che viene poggiato sulla superficie di discontinuità.

Questa bussola, a differenza di quella da geologo, fornisce direttamente i valori degli angoli α e β innanzi definiti e utili nelle questioni di meccanica delle rocce.

In presenza di anomalie magnetiche, in luogo della misura con la bussola, è opportuno ricorrere al metodo fotogrammetrico, oppure utilizzare traguardi che consentano di misurare α e β a distanza.

Per illustrare i valori dell'orientazione, i metodi usuali sono:

— simboli di direzione e di immersione, differenziati per tipo di discontinuità, per la rappresentazione sulla cartografia geologica e strutturale (figura 2a);

— diagrammi tridimensionali per la rappresentazione delle relazioni geometriche tra l'opera in progetto e l'assetto strutturale (fig. 2b);

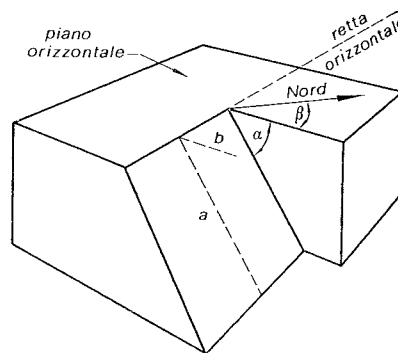


Fig. 1. - Sistema di riferimento per la definizione dell'orientazione: 'a' retta di massima pendenza del piano di discontinuità; 'b' proiezione della retta 'a' sul piano orizzontale; α angolo formato dalle rette 'a' e 'b'; β angolo azimutale della retta 'a', misurato in senso antiorario.

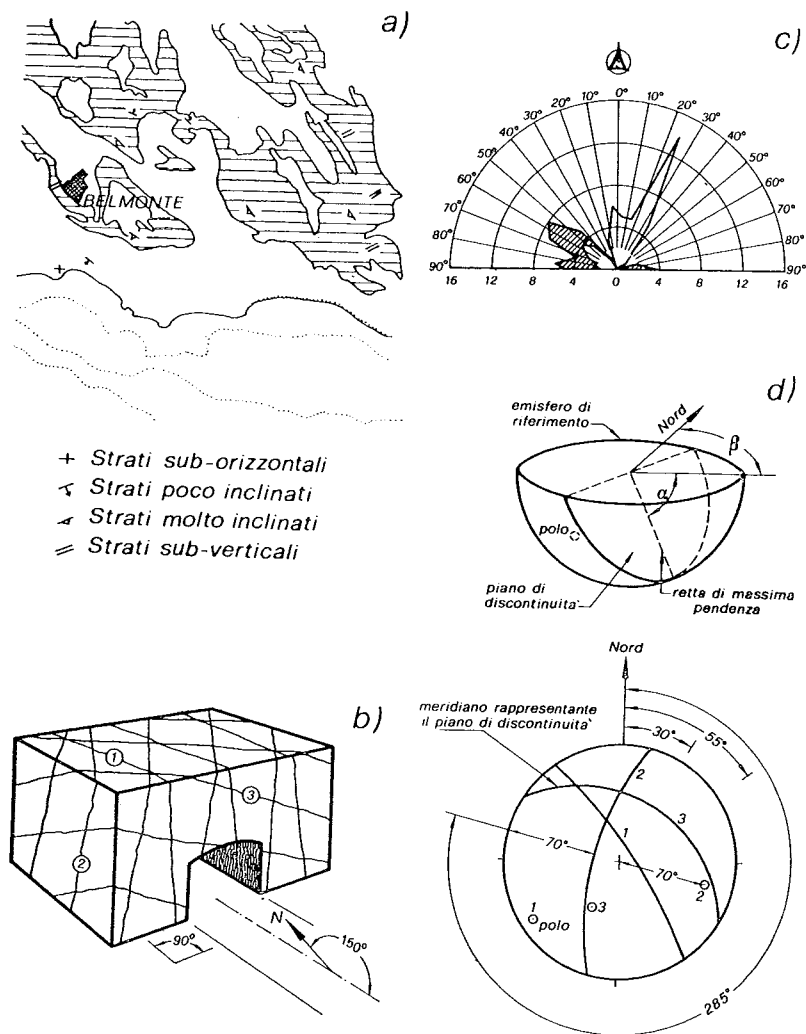


Fig. 2. - Metodi per rappresentare l'orientazione delle discontinuità.

— diagrammi circolari a 'rosetta' e diagrammi di Schmidt per la rappresentazione della frequenza di discontinuità subparallele (fig. 2c, d).

Questi ultimi due tipi di diagrammi presentano una maggiore flessibilità di utilizzazione e meritano di essere illustrati più ampiamente.

I diagrammi a 'rosetta' consentono la rappresentazione della frequenza con cui si presentano discontinuità di cui sia nota solamente la direzione. Ciò si verifica quando i dati sono tratti da rilievi aerofotogrammetrici o quando essi sono relativi a superfici subverticali.

Le discontinuità vengono rappresentate su un cerchio suddiviso in settori dell'ampiezza di 5° o 10° , mediante la bisettrice del settore che ad esse compete in base al valore della direzione. La lunghezza di tali segmenti radiali può essere proporzionale al numero oppure alla lunghezza totale delle discontinuità isorientate.

I diagrammi di Schmidt, consentono

una rappresentazione schematica dell'orientazione e, permettendo un computo agevole della frequenza, descrivono la geometria dell'ammasso in modo sintetico e completo.

Alla costruzione di tali diagrammi si perviene utilizzando la tecnica grafica della proiezione sferica.

Questa consiste essenzialmente di due fasi: rappresentazione dell'intersezione della superficie di discontinuità con la sfera di riferimento, mediante il meridiano o il relativo polo (*) e successiva proiezione a conservazione di area della figura così ottenuta su un piano parallelo a quello equatoriale della sfera.

Spaziatura

Definita come distanza intercorrente tra discontinuità adiacenti parallele o subparallele, la spaziatura deve essere misurata su un fronte di esposizione almeno dieci volte più lungo della spaziatura media della famiglia di discontinuità esaminata.

La rullina metrica, con cui le misure si effettuano, deve essere tesa sul fronte dell'ammasso in modo da formare un angolo di $90^\circ \pm 5^\circ$ con il piano delle discontinuità.

Nel caso che l'ortogonalità non possa essere rispettata è necessario calcolare il valore della spaziatura (S) con la formula: $S = d_n \sin \delta$, dove d_n è la distanza media misurata e δ è l'angolo tra la direzione di misura e la traccia della discontinuità.

Quando interessa conoscere la spaziatura di discontinuità la cui distanza sia superiore ai $20 \div 30$ m, può essere utile ricorrere ad indagini sismiche a rifrazione, facendo riferimento alla relazione che intercorre tra la velocità dell'onda sismica e la frequenza delle discontinuità.

L'andamento dei valori della spaziatura relativa a ciascuna famiglia può essere rappresentato con istogrammi; per descrizioni di carattere qualitativo la Commissione suggerisce di adottare la terminologia indicata nella fig. 3.

Persistenza

La persistenza si definisce come il rapporto percentuale tra l'estensione reale della superficie di discontinuità e l'area complessiva sulla quale tale discontinuità si sviluppa.

Nella maggior parte dei casi è difficile constatare quanto si estenda una discontinuità all'interno dell'ammasso; la persistenza viene quindi identificata, nella pratica, con la lunghezza della traccia della discontinuità sul fronte di esposizione.

Tale assunto è stato suffragato dalle indagini statistiche di ROBERTSON [1971], dalle quali risulta che le discontinuità si estendono generalmente in egual misura nel senso dell'immersione e in quello della direzione.

La terminologia descrittiva della persistenza, suggerita dalla Commissione, viene riportata in fig. 4.

Per la caratterizzazione geometrica dell'ammasso è altresì utile rilevare la disposizione delle tracce delle discontinuità sul fronte di esposizione (fig. 5).

A tal fine si indicano con 'x' le tracce delle discontinuità che penetrano nell'ammasso e di cui, pertanto non è visibile l'interruzione. Analogamente si indicano con 'd' le tracce che si interrompono all'intersezione con altre discontinuità ed infine con 'r' quelle che terminano contro roccia integra.

Per esempio con '8rx' si indica una discontinuità la cui traccia in affioramento, lunga 8 m, si interrompe da una

(*) Il meridiano è l'intersezione tra la superficie della sfera e il piano della discontinuità immaginato passante per il suo centro. Il polo è il punto di intersezione tra la normale al piano di discontinuità, passante per il centro della sfera e la superficie dell'emisfero inferiore.

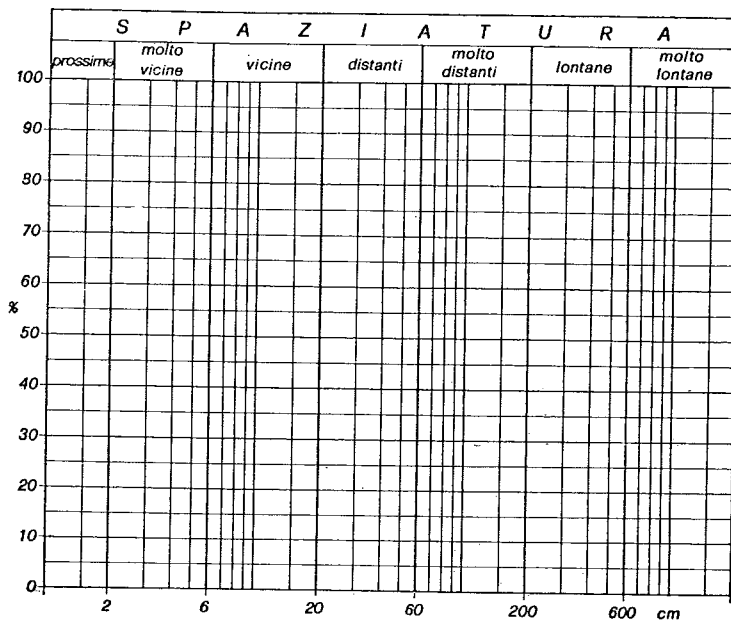


Fig. 3. - Scheda per l'elaborazione dei valori della spaziatura.

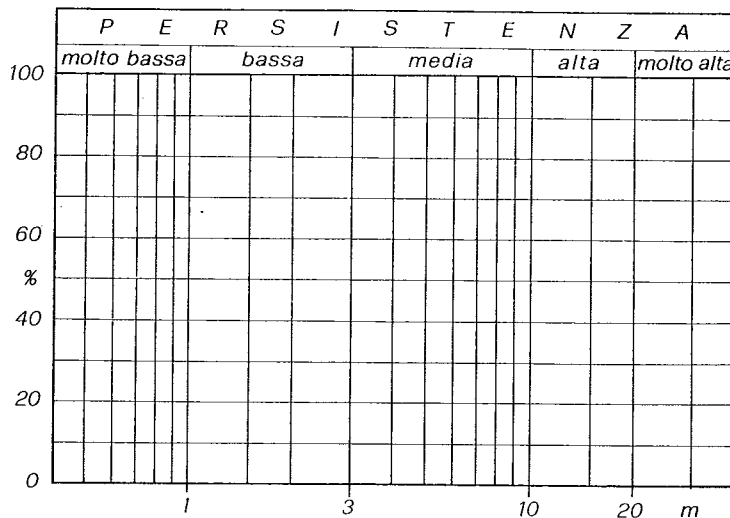


Fig. 4. - Scheda per l'elaborazione dei valori della persistenza.

parte contro roccia integra e dall'altra penetra nell'ammasso.

È stato verificato che le discontinuità di tipo 'xx' hanno persistenza maggiore di quelle di tipo 'dd' e che queste, a loro volta, sono più persistenti di quelle che terminano contro roccia integra. Da ciò discende che le relative famiglie vengono rispettivamente designate come sistematiche, sub-sistematiche e non sistematiche.

Una schematizzazione del modello geometrico dell'ammasso viene facilitata da calcolo dell'indice 'T'. Questo è definito dal rapporto percentuale tra il numero di estremità di tipo 'r' e il

numero totale di estremità presenti sul fronte di esposizione, e cioè

$$T_r = \frac{\Sigma' r'}{\Sigma' x' + \Sigma' d' + \Sigma' r'} \%$$

Questo indice varia col numero di famiglie sistematiche, subsistematiche e non sistematiche dell'ammasso.

Scabrezza

Tra i fattori che influenzano la resistenza al taglio di una discontinuità, le cui pareti siano in diretto contatto, la

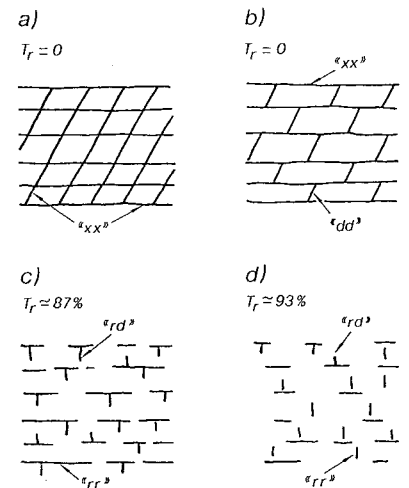


Fig. 5. - Schema della fronte di esposizione e relativo indice T_r di un ammasso con due famiglie di discontinuità: a) entrambe persistenti; b) una persistente, l'altra subpersistente; c) entrambe subpersistenti; d) entrambe non persistenti.

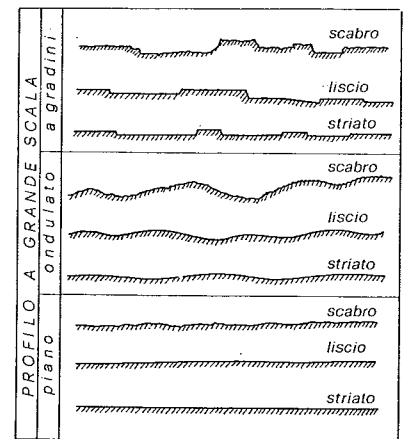


Fig. 6. - Profili di scabrezza a grande e a piccola scala.

scabrezza riveste un ruolo fondamentale.

La scabrezza a grande scala è dovuta alla presenza di ondulazioni o gradini che modificano sensibilmente l'andamento geometrico della discontinuità, rispetto al piano cui essa viene riferita.

I termini descrittivi della scabrezza, a piccola e a grande scala, sono illustrati in fig. 6; le tecniche di misura sono descritte nel seguito.

Qualora sia nota la potenziale direzione di scivolamento, che spesso risulta parallela all'immersione della superficie di discontinuità o all'intersezione di due di tali superfici, la scabrezza viene misurata tracciando profili lineari nelle direzioni anzidette.

A tal fine, in relazione alla dimensione delle asperità, si può impiegare un profilometro tascabile o un'asta

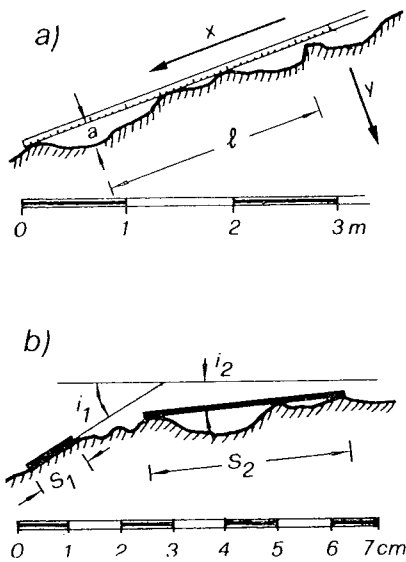


Fig. 7. - a) Rilievo del profilo di scabrezza con l'asta metrica, in cui 'a' e 'l' sono rispettivamente l'ampiezza e la lunghezza d'onda delle asperità; b) misura dell'angolo i di inclinazione delle asperità, con diverse estensioni della base di misura.

| simbolo | ϕ disco cm | n° minimo di misure |
|---------|--------------------|------------------------|
| — | 5,5 | 100 |
| - - - | 11 | 75 |
| | 21 | 50 |
| — · — · | 42 | 25 |

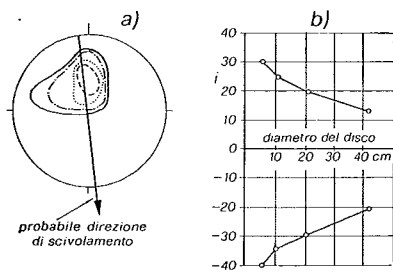


Fig. 8. - Diagramma di frequenza delle misure α e β , rilevate con i dischi clinometrici e relative curve di inclinazione i delle asperità.

| M O D I F I C A Z I O N E | | |
|-----------------------------------|---|---------------------|
| DEL COLORE | DELLA COMPOSIZIONE | DELLA TESSITURA |
| PER PROCESSI DI OSSIDAZIONE | PER DISSOLUZIONE O DECOMPOSIZIONE DEI COSTITUENTI | |
| ROCCIA DECOLORATA | ROCCIA DEGRADATA | ROCCIA DISREGATA |

Fig. 9. - a) Tipo di alterazione;

metrica graduata in mm oppure una rullina metrica con suddivisioni metriche e centimetriche.

Con questi strumenti la scabrezza viene valutata, misurando ad intervalli di lunghezza nota, ma non necessaria-

mente costante, la distanza sul piano verticale tra l'asta o la rullina e la superficie di discontinuità (fig. 7a).

Le ondulazioni a grande scala vengono invece rilevate, ponendo, in posizioni distanti 1 m l'una dall'altra, l'asta metrica e misurando l'immersione e l'azimut di immersione che essa via via assume.

In alternativa al rilievo del profilo lineare è possibile descrivere la scabrezza classificando le asperità in categorie con 'unghezza d'onda' e 'ampiezza' del valore di 1, 10, 100 cm.

Nel caso che la direzione di scivolamento sia incognita, è opportuno conoscere la scabrezza della superficie in tutte le direzioni. In questo caso i risultati più attendibili si ottengono eseguendo le misure con la bussola di Clar corredata di dischi clinometrici.

Questi sono lastre circolari, con diametro standardizzato di 5, 10, 20, 40 cm, di materiale diamagnetico che, applicati al clinometro della bussola ed appoggiati sulla superficie di discontinuità consentono di misurare le variazioni di α e β indotte dalle asperità.

Tra il diametro del disco utilizzato e l'angolo (i) indicativo della scabrezza, esiste un rapporto di proporzionalità inversa: i valori ricavati col disco più piccolo sono infatti relativi alle asperità maggiormente inclinate rispetto alla superficie media della discontinuità (fig. 7b).

Le misure devono essere eseguite su un'area almeno dieci volte superiore a quella del più largo disco utilizzato, inoltre, quanto più piccolo è il diametro del disco tanto più numerose devono essere le misure.

Da queste è possibile ricavare una curva dell'inclinazione (i) delle asperità aventi diversa area di base (fig. 8a, b) ed individuare la direzione in cui è probabile che si verifichi lo scivolamento.

Qualora sia necessario conoscere la scabrezza delle discontinuità in termini statistici è consigliabile adottare il metodo fotogrammetrico: esso, tuttavia, fornisce risultati soddisfacenti solo se si dispone di uno stereoplotter per la fotointerpretazione.

L'applicazione del criterio di Barton per la valutazione della resistenza al taglio lungo le discontinuità, diffusamente illustrato nella normativa in esame, richiede la misura in sito di due indici, uno dei quali relativo alla scabrezza.

Questo, denominato JCR (joint roughness coefficient), viene ricavato per confronto con alcuni profili 'tipo' e risulta quindi parzialmente affidato ad una valutazione soggettiva.

Grado di alterazione

I processi di degradazione meccanica, come la disgregazione della roccia, o di alterazione chimica, come la dis-

soluzione di alcuni minerali, si sviluppano preferenzialmente lungo le discontinuità e possono assumere una intensità tale da produrre un decadimento cospicuo delle caratteristiche meccaniche della roccia.

Una misura immediata della resistenza a compressione semplice della roccia in prossimità delle superfici di discontinuità può essere effettuata col martello di Schmidt.

L'utilizzazione di questo strumento, che tuttavia non sempre permette una soddisfacente riproducibilità delle misure, consente di pervenire al valore di resistenza JCS (joint compressive strength), anch'esso necessario per il calcolo della resistenza al taglio con la formula di Barton.

Sorvolando nel presente testo su una descrizione accurata del martello di Schmidt e della relativa tecnica di misura, si riferisce solamente della terminologia suggerita dalla Commissione per illustrare il tipo e l'intensità dei processi di alterazione della roccia (fig. 9a, b).

Apertura

L'apertura, cioè la distanza delle pareti di una discontinuità, fra le quali non sia interposto alcun materiale, condiziona in misura notevole la permeabilità secondaria dell'ammasso.

È stato accertato che, mentre l'apertura indotta da variazioni dello stato tensionale in conseguenza a fenomeni tettonici, all'erosione o a cospicui interventi antropici tende a diminuire all'interno dell'ammasso, altrettanto non si verifica in presenza di fenomeni carsici.

Questi possono infatti produrre fessure e cavità anche a grandi profondità.

Un locale incremento dell'apertura può inoltre prodursi in conseguenza al dilavamento meteorico, alle operazioni di scavo con mezzi meccanici e all'abbattimento con esplosivi.

Risulta quindi preferibile effettuare le misure in cunicoli esplorativi, utilizzando, se il caso, cartoncini di spessore calibrato.

In base ai valori assunti dall'apertura, le discontinuità vengono definite chiuse, beanti ed aperte e classificate con i termini di fig. 10.

Poiché nella normativa la classe delle discontinuità 'ampie' viene definita da valori dell'apertura $A > 10$ mm, ritenendo pertanto comprensiva delle tre successive, si propone, nella presente recensione, una classificazione di otto intervalli, anziché di nove, allo scopo di ovviare a tale inconveniente.

Materiale di riempimento

La presenza di materiale di riempimento fra le pareti delle discontinuità può determinare, col procedere dei fe-

| ROCCIA | MACROSTRUTTURA | | | DECOLORAZIONE DELLA ROCCIA | | % ROCCIA DEGRADATA O DISGREGATA | | |
|------------------------|----------------|-------------|-----------|----------------------------|---|---------------------------------|----|----|
| | INTATTA | DETERIORATA | DISTRUTTA | 1 | 2 | 10 | 50 | 90 |
| integra | ● | | | ● | | ● | | |
| debolmente alterata | ● | | | | ● | ● | | |
| mediamente alterata | ● | | | | ● | | ● | |
| molto alterata | | ● | | | ● | | | ● |
| completamente alterata | | ● | | | ● | | | ● |
| suolo residuale | | | ● | | ● | | | ● |

Fig. 9. - b) Intensità dell'alterazione; nel caso 1 la roccia appare decolorata solo lungo le superfici di discontinuità, nel caso 2 la decolorazione si manifesta anche all'interno dei blocchi.

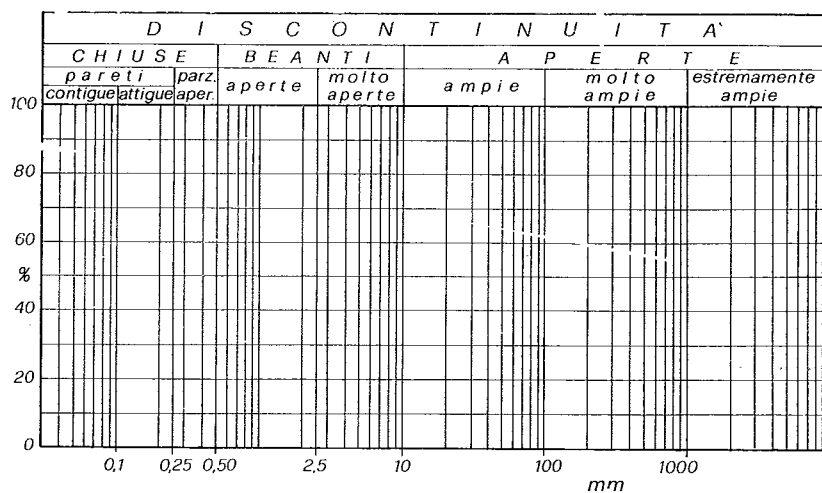


Fig. 10. - Scheda per l'elaborazione dei dati di apertura.

| CLASSE | PORTATA | PRESENZA DI ACQUA | | | EFFETTI DELL'ACQUA | | | APERTURA DELLE DISCONTINUITA' | |
|--------|---------|-------------------|---|---|--------------------|---|--------------------------|---------------------------------|---|
| | | R | O | C | I | A | parz. contigue o attigue | da parzialmente aperte ad ampie | |
| I | ● | ● | | | ● | | | ● | |
| II | ● | ● | | | ● | | | | ● |
| III | ● | ● | | | | ● | | | ● |
| IV | ● | | ● | | | ● | | | ● |
| V | ● | | | ● | | ● | ● | | ● |
| VI | ● | | | ● | | ● | ● | | ● |

Fig. 11. - Classificazione delle discontinuità nei riguardi della circolazione idrica.

nomeni di alterazione, variazioni nel tempo della permeabilità, della resistenza al taglio e della deformabilità.

L'influenza di tale caratteristica sul comportamento meccanico a breve e a lungo termine dell'ammasso è quindi notevole.

Inoltre, se il contatto tra le pareti della discontinuità risulta impedito, la resistenza al taglio di quest'ultima dipende solamente dalle caratteristiche meccaniche di tale materiale. Questo può essere costituito da concrezioni, da bande di alterazione della roccia incassante, da breccia di frizione e miloniti, da filoncelli e dischi magmatici, metamorfici e sedimentari.

In relazione alla natura del materiale di riempimento, è opportuno valutare o descrivere: lo spessore, la composizione granulometrica e mineralogica, la scabrezza delle superfici di contatto con la roccia incassante, l'intensità dell'alterazione, il grado di sovraconsolidazione, la permeabilità, il contenuto d'acqua. E altresì importante notare l'eventuale esistenza di dislocazioni da taglio.

Per le tecniche di misura e per i criteri di classificazione di alcune delle grandezze citate si rimanda ai precedenti paragrafi, mentre può essere opportuno fornire qualche notizia sulla misura dello spessore, sulla valutazione della composizione granulometrica e mineralogica.

Lo spessore si misura con un calibro oppure col profilometro tascabile, previa asportazione parziale del materiale.

In relazione al dettaglio richiesto, la composizione granulometrica può essere valutata in sito o più accuratamente misurata in laboratorio.

Qualora siano presenti frazioni con dimensioni dei granuli inferiori a 74μ , diviene importante conoscere la composizione mineralogica.

Indicazioni in tal senso possono essere ricavate indirettamente procedendo ad un'identificazione completa attraverso le proprietà indice; tuttavia dati precisi sulla presenza di minerali argillosi espandibili possono derivare da un'accurata indagine mineralogica.

A tal proposito si osserva che solo il materiale di riempimento originato da fenomeni idrotermali o filoniani presenta generalmente un chimismo molto differente da quello della roccia incassante; negli altri casi esso è costituito dalla porzione alterata o disgregata della medesima roccia.

Permeabilità

Per descrivere la permeabilità attraverso il sistema di discontinuità, la Commissione suggerisce tre schemi di classificazione: il primo è relativo alle discontinuità aperte, il secondo a quelle che presentano materiale di riempimento

