Premessa alla traduzione delle Raccomandazioni ISRM per la determinazione della resistenza al taglio

La determinazione delle caratteristiche di resistenza a taglio delle discontinuità, piani di debolezza dell'ammasso roccioso, è una fase essenziale di qualsiasi analisi di stabilità di strutture in roccia. A tale scopo si possono eseguire prove sperimentali in sito o in laboratorio; nel primo caso si ricorre a prove di taglio diretto su discontinuità naturali individuate nell'ammasso in esame o a prove di taglio torsionale su tratti di discontinuità intercettati durante opportune perforazioni di sondaggio, nel secondo a prove di taglio diretto su discontinuità naturali o artificiali contenute in carote di sondaggio.

Le prove in sito sono piuttosto complesse e richiedono l'installazione di sistemi di ancoraggio e di apparecchiature per l'applicazione dei carichi di grossa portata, con conseguente onere in termini di tempo ed economici. Per contro esse permettono di sottoporre a prova tratti di discontinuità di lunghezza significativa e nelle condizioni di umidità naturali, eliminando inoltre la possibilità di disturbo derivante dalle operazioni di prelievo dei campioni e dal loro trasporto in laboratorio.

Le prove di laboratorio offrono il vantaggio della maggiore semplicità operativa e del migliore controllo delle modalità esecutive, oltre a permettere la ripetitività delle condizioni di prova. La limitazione maggiore, dovuta al ridotto tratto di discontinuità sottoponibile a sperimentazione, deve essere superata in sede sperimentale mediante l'esecuzione di un numero sufficiente di prove e in sede di analisi mediante la valutazione degli effetti di scala. In quest'ottica si ritiene solo indicativo il numero minimo di prove indicato nei suggerimenti, che dovrà piuttosto essere definito di volta in volta a giudizio dello sperimentatore sulla base del tipo di superficie indagata, dell'omogeneità e dell'anisotropia del materiale.

Le raccomandazioni che seguono forniscono una guida completa in ogni particolare per l'esecuzione di ognuna delle tre prove citate; è essenziale che lo sperimentatore segua attentamente i suggerimenti in ogni fase della prova affinché possa ottenere dei dati sperimentali attendibili e soddisfacenti che permettano di determinare con la necessaria precisione i parametri di resistenza a taglio. Per questi motivi la traduzione da me curata segue fedelmente la versione originale inglese, e questo spiega e giustifica la costruzione un po' troppo schematica di alcuni periodi.

Il curatore della traduzione
MONICA BARBERO

Raccomandazioni per la determinazione della resistenza a taglio

Parte I. Raccomandazioni per la determinazione *in situ* della resistenza a taglio diretto

Campo di applicazione

1. (a) Questa prova permette di determinare la resistenza a taglio diretto di picco e residua come funzione della tensione normale al piano di taglio. I risultati sono impiegati solitamente nelle analisi all'equilibrio limite dei problemi di stabilità dei pendii o nelle analisi di stabilità delle fondazioni di dighe [1-3*]

(b) L'inclinazione del blocco di prova rispetto al sistema di applicazione dei carichi è solitamente scelta in modo che il piano di taglio coincida con un piano di debolezza presente nella roccia, per esempio un giunto, piano di stratificazione, scistosità o una fessura o con l'interfaccia tra terreno e roccia o tra calcestruzzo e roccia [4].

(c) La determinazione della resistenza a taglio dovrebbe preferibilmente comprendere almeno cinque prove da eseguire sulla stessa superficie in esame ed ogni campione dovrebbe essere sottoposto a prova ad un differente livello della tensione normale, mantenuto costante per l'intera durata della prova.

(d) Quando si utilizzano i risultati della prova, occorre valutare le condizioni di pressione dell'acqua nei pori e la possibilità di una rottura progressiva relativamente al progetto in esame, in quanto possono differire dalle condizioni di prova.

Apparecchiatura

2. (a) Attrezzatura per tagliare ed inglobare il blocco di prova, seghe per roccia, perforatrici, martello e scalpelli, cassero di dimensioni e rigidezza appropriate, fogli di polistirolo espanso o materiale di riempimento morbido, e materiali per l'inglobamento in calcestruzzo armato.

3. Attrezzatura per l'applicazione del carico normale (Fig. 1) comprendente:

(a) Martinetti piatti, pistoni idraulici o un peso di entità sufficiente ad applicare i carichi normali richiesti [5].

(b) Una pompa idraulica, qualora usata, dovrebbe consentire di mantenere il carico normale all'interno del 2% del valore scelto per tutta la durata della prova.

(c) Un sistema di reazione per trasferire uniformemente i carichi normali al blocco di prova, comprendente dei rulli o un analogo dispositivo avente attrito sufficientemente basso da assicurare che per ogni carico normale applicato la resistenza allo scorrimento sia minore dell'1% della forza di taglio massima applicata nella prova. Per installare e fissare l'attrezzatura sono di solito richiesti ancoraggi per roccia, tiranti metallici e tenditori a vite.

4. Attrezzatura per l'applicazione della forza di taglio (Fig. 1) comprendente:

(a) Uno o più pistoni idraulici [5] o martinetti piatti di portata totale adeguata con almeno 70 mm di corsa.

(b) Una pompa idraulica per pressurizzare il sistema di applicazione della forza di taglio.

(c) Un sistema di reazione per trasmettere la forza di taglio al blocco di prova. La forza di taglio deve essere distribuita uniformemente lungo una faccia del campione. La direzione della risultante delle forze di taglio applicate dovrebbe passare attraverso il centro della base del piano di taglio [6], con una tolleranza angolare di $\pm 5°$.

5. Attrezzatura per la misurazione delle forze applicate comprendente:

(a) Un sistema per la misurazione della forza normale ed un altro per la misurazione della forza di taglio applicata aventi una precisione maggiore di $\pm 2\%$ della massima forza raggiunta nella prova. Si possono usare celle di carico (dinamometri) o leggere i valori della pressione di un martinetto piatto. Nella relazione sulla prova dovrebbero essere aggiunti i dati di una calibrazione recente, applicabili all'intervallo dei valori interessati nella prova. Se possibile, gli strumenti di misura dovrebbero essere calibrati sia prima che dopo la prova.

6. Attrezzatura per la misurazione degli spostamenti di taglio, normali e laterali:

(a) Gli spostamenti dovrebbero essere misurati (per esempio utilizzando dei micrometri a quadrante [7]) in otto punti sul blocco campione o sul materiale di inglobamento, come mostrato in figura 2.

(b) Lo strumento di misura dello scorrimento dovrebbe avere una corsa di almeno 70 mm ed una

* I numeri si riferiscono alle note alla fine del testo

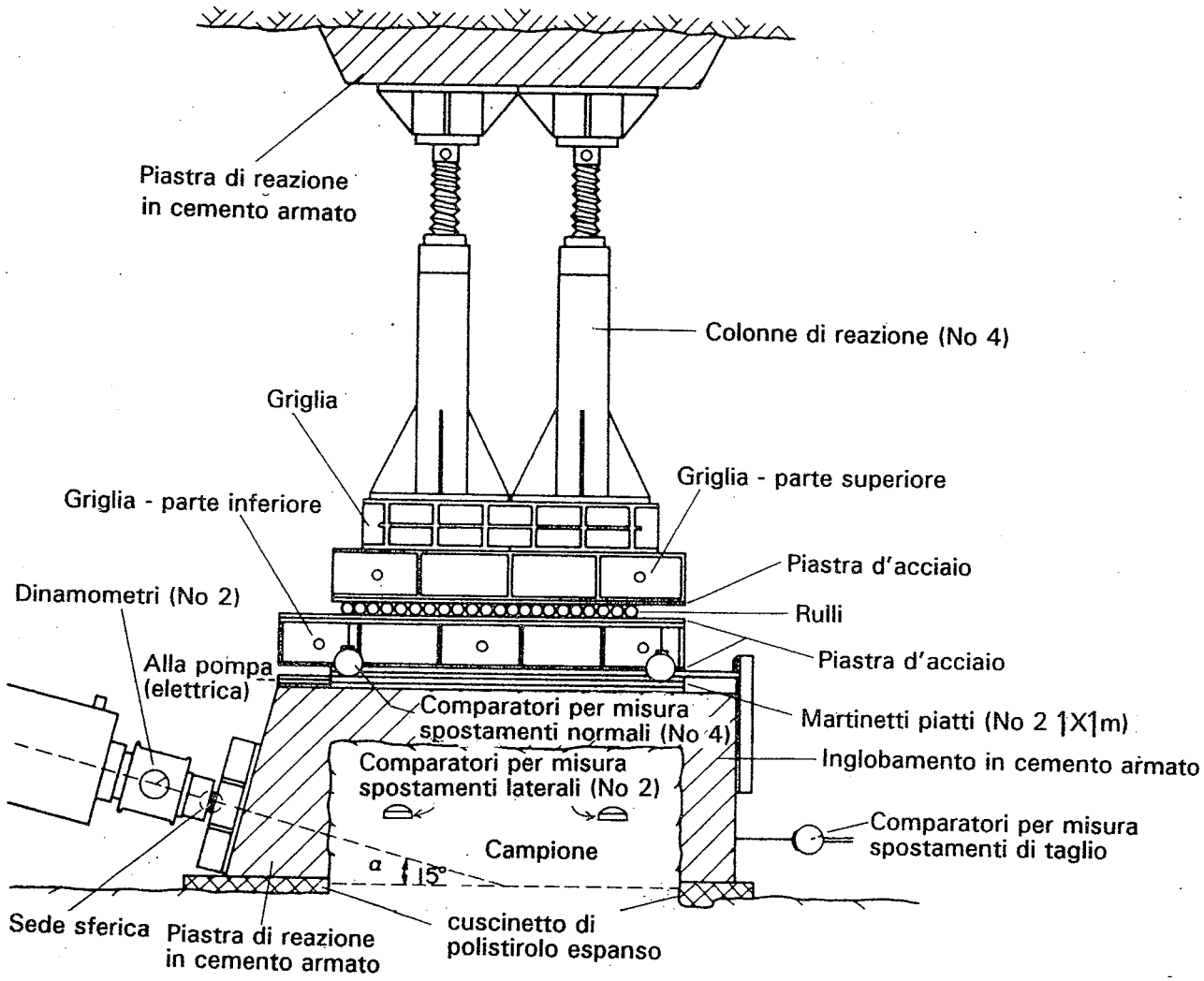


Fig. 1 - Tipica disposizione dell'attrezzatura per le prove di taglio diretto *in situ*.

precisione maggiore di 0.1 mm. Gli strumenti di misura degli spostamenti normale e laterale dovrebbero avere una corsa di almeno 20 mm ed una precisione maggiore di 0.05 mm. Il sistema di riferimento per le misurazioni (travi, ancoraggi e morse) dovrebbe, una volta assemblato, essere sufficientemente rigido da soddisfare queste richieste. Se possibile, si dovrebbe evitare il riazzeramento degli strumenti di misura durante la prova.

Procedimento

7. Preparazione:

(a) Il blocco di prova è tagliato secondo le dimensioni richieste (di solito 700 700 350 mm) utilizzando dei metodi che evitano il disturbo o il rilassamento del blocco [8, 9]. La base del blocco di prova deve coincidere con il piano che dovrà essere sottoposto a taglio e la direzione di taglio dovrebbe corrispondere se possibile a quella prevista per la struttura in vera grandezza che deve essere analizzata utilizzando i risultati della prova. Il blocco ed in particolare il piano di taglio dovrebbe, a meno che non sia specificato diversamen-

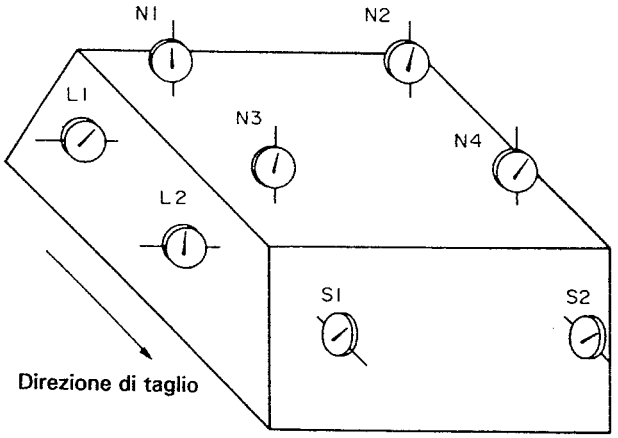


Fig. 2 - Disposizione degli strumenti di misura dello spostamento: S1 e S2 per lo scorrimento, L1 e L2 per lo spostamento laterale, N1-N4 per lo spostamento normale.

te, essere conservato (durante la preparazione e la prova) con un contenuto d'acqua il più vicino possibile a quello che possiede naturalmente *in situ*, per esempio coprendolo con un tessuto saturo. Attorno alla base del blocco dovrebbe essere scavato un solco approssimativamente profondo 20 mm e largo 80 mm per permettere che gli spostamenti di taglio e laterali avvengano liberamente.

(b) Uno strato di materiale debole di almeno 20 mm (per esempio polistirolo espanso) viene applicato attorno alla base del blocco di prova, ed il resto del blocco viene poi inglobato nel cemento armato o in materiale simile di sufficiente resistenza e rigidezza per impedire il collasso o una significativa distorsione del blocco durante la prova. Il cassero per l'inglobamento dovrebbe essere progettato in modo da assicurare che le facce del blocco inglobato sulle quali verranno applicati i carichi siano piane (tolleranza di ± 1 mm) e con la corretta inclinazione rispetto al piano di taglio (tolleranza di $\pm 2°$).

(c) I cuscinetti di reazione, gli ancoraggi, etc., se si richiede che trasmettano la spinta dai sistemi di carico normale e di taglio alla roccia sana adiacente, devono essere posizionati ed allineati con cura. Tutto il calcestruzzo deve stagionare per un tempo tale da raggiungere una resistenza adeguata prima dell'esecuzione della prova.

8. Consolidazione:

(a) La fase di consolidazione consiste nel permettere alle pressioni interstiziali dell'acqua nella roccia e nel materiale di riempimento adiacenti al piano di taglio di dissiparsi con il livello di tensione normale prefissato prima che venga applicato il taglio. Il comportamento del campione durante la consolidazione può anche imporre un limite sulla velocità di taglio ammissibile (si veda il paragrafo 9(c)).

(b) Si controllano la rigidezza, la corsa e la libertà di movimento di tutti gli strumenti di misura dello spostamento, e viene registrata una serie preliminare di letture del carico e dello spostamento.

(c) Il carico normale viene poi incrementato fino a raggiungere il valore finale fissato per la prova, registrando i conseguenti spostamenti normali del blocco di prova (consolidazione) in funzione del tempo e dei carichi applicati (Figg. 3 e 4).

(d) La fase di consolidazione può essere considerata completata quando la velocità di variazione dello spostamento normale rilevato da ognuno dei quattro strumenti di misura in 10 minuti è minore di 0.05 mm. A questo punto si può applicare il carico di taglio.

9. Taglio:

(a) Lo scopo dell'applicazione del taglio è stabilire i valori della resistenza a taglio diretto di picco e residua della superficie da sottoporre a prova [2]. Possono essere necessarie delle correzioni al carico normale applicato per mantenere costante la tensione normale agente; queste sono definite nel paragrafo 10(c).

(b) La forza di taglio viene applicata per incrementi di carico o in modo continuo in modo tale da controllare la velocità dello scorrimento.

(c) Dovrebbero essere eseguite circa 10 serie di letture prima del raggiungimento della resistenza di picco (Figg. 3 e 5). La velocità di scorrimento dovrebbe essere minore di 0.1 mm/min durante i 10 minuti precedenti l'esecuzione di una serie di letture. Questa velocità può essere incrementata fino a non più di 0.5 mm/min tra le serie di letture purché la resistenza di picco stessa venga registrata adeguatamente. Per una prova drenata, in particolare quando si sottopongono a prova discontinuità che presentano materiale di riempimento costituito da argilla, il tempo totale per raggiungere la resistenza di picco dovrebbe essere maggiore di $6t_{100}$ come determinato dalla curva di consolidazione (vedere il paragrafo 10(a) e la figura 4). Se necessario la velocità di taglio dovrebbe essere ridotta.

(d) Dopo il raggiungimento della resistenza di picco, le letture dovrebbero essere eseguite ad intervalli di scorrimento da 0.5 a 5 mm come richiesto per una definizione adeguata delle curve tensione tangenziale-scorrimento (Fig. 5). La velocità di scorrimento dovrebbe essere di 0.02-0.2 mm/min durante i 10 minuti precedenti una serie di letture, e può essere aumentata fino al valore di 1 mm/min tra le serie di letture.

(e) È possibile stabilire un valore di resistenza residua quando il campione è sottoposto a taglio con tensione normale costante e si sono ottenute almeno quattro serie consecutive di letture che mostrano una variazione della tensione di taglio minore del 5% per uno scorrimento di 1 cm [11].

(f) Una volta stabilita la resistenza residua, si può aumentare o ridurre la tensione normale [12] e proseguire l'applicazione del taglio per ottenere valori di resistenza residua addizionali. Il campione deve essere riconsolidato per ognuno dei nuovi valori della tensione normale [si veda il paragrafo 8(d)] e l'applicazione del taglio deve proseguire in accordo ai criteri dati precedentemente nei paragrafi 9(c)-9(e).

(g) Terminata la prova il campione dovrebbe essere capovolto, fotografato a colori e descritto in modo completo (si veda il paragrafo 11). Sono richieste le misure dell'area, della rugosità, dell'inclinazione e dell'immersione della superficie sottoposta a taglio, e dovrebbero essere prelevati campioni di roccia, del materiale di riempimento e dei frammenti prodottisi durante il taglio per la determinazione delle proprietà indice.

Committente: Progetto: Diga in calcestruzzo Località: Alcântara

SPECIFICHE DEL BLOCCO DI PROVA Si vedano i disegni e le fotografie No.:

Descrizione generale della roccia, proprietà indice e condizioni idrauliche:
Fillite, da sana a moderatamente alterata Condizioni normali

Descrizione e proprietà indice della superficie da sottoporre a prova Tipo:
Inclinazione: Immersione: Scabrezza: Riempimento e alterazione: Area
Persistenza: Spaziatura delle famiglie: Dimensioni della superficie: 0.70×0.70 iniziale: 0.490 m^2

FORZE
$P_n = P_{na} + P_{sa}\sin\alpha$
$P_s = P_{sa}\cos\alpha$
$\sigma_n = P_n/A$
$\tau_n = P_s/A$
(+)↓ (-)↑ Spostamento normale
α = 15° σ_n (nominale)

1 Tempo (min)	2 Forza normale applicata P_n		3 Spostamento normale Δ_n					4 Forza di taglio applicata P_s		5 Spostamento di taglio Δ_s			6 Area di contatto A (corretta) (m^2)	7 P_{na} (kN)	8 σ_n (MPa)	9 P_{sa} (kN)	10 τ (MPa)
	Lettura	Forza (kN)	Lettura 1	2	3	4	Media (mm)	Lettura	Forza (kN)	Lettura 1	2	Media (mm)					
10		196	0.100	0.070	0.130	0.070			0	0	0	-	0.490	196		0	
35		233	0.130	0.085	0.140	0.090			137	0.05	0.05	0.05		"		142	
48		270	0.050	0.065	0.285	0.290			275	0.55	0.35	0.45		"		284	
64		306	-0.200	0.010	0.435	0.495			412	1.35	1.10	1.22		"		426	
87		343	-0.710	-0.205	0.600	0.720			549	2.55	2.30	2.42		"		568	
109		380	-1.165	-0.445	0.680	0.850			686	3.90	3.50	3.70		"		710	
131		417	-1.675	-0.615	0.710	0.970			824	5.15	4.60	4.88		"		853	
154		453	-1.965	-0.745	0.720	1.050			961	6.10	5.50	5.80		"		995	
172		490	-2.245	-0.880	0.720	1.105			1098	7.20	6.50	6.85		"		1137	
189		527	-2.480	-1.055	0.695	1.165			1235	8.20	7.40	7.80		"		1279	
206		504	-2.750	-1.205	0.640	1.165			1373	9.45	8.45	8.95		"		1421	
234		601	-3.075	-1.505	0.465	1.100			1510	11.00	10.00	10.50		"		1563	
252		637	-3.350	-1.830	0.280	0.910			1647	12.45	11.40	11.92		"		1705	
264		674	-3.675	-2.185	0.050	0.720			1784	14.00	12.80	13.40		"		1847	
276		711	-4.005	-2.665	-0.290	0.360			1922	15.55	14.40	14.98		"		1989	
289		748	-4.585	-3.125	-0.890	-0.020			2059	17.60	16.45	17.02		"		2132	
293	Rottura	784	-4.975	-3.375	-1.250	-0.290			2196	20.00	19.55	19.78		"		2274	

P_{sa} →

Dati di calibrazione | Note | Prova eseguita da: Data: | Controllata da: Data:

Fig. 3 - Esempio di un modulo contenente i dati di una prova di taglio diretto.

Calcoli

10. (a) Durante la fase di consolidazione della prova viene diagrammata una curva di consolidazione (Fig. 4). Il tempo t_{100} necessario al completamento della "consolidazione primaria" viene determinato costruendo le tangenti alla curva come mostrato. Il tempo necessario a raggiungere la resistenza di picco dall'inizio dell'applicazione del carico di taglio dovrebbe essere maggiore di $6t_{100}$ per permettere la dissipazione della pressione interstiziale.

(b) Le letture dello spostamento vengono mediate per ottenere i valori medi degli spostamenti di taglio e normali Δ_s e Δ_n. Gli spostamenti laterali vengono registrati solo per valutare il comportamento del campione durante la prova sebbene, qualora risultassero apprezzabili, dovrebbero essere tenuti in conto quando si valuta l'area di contatto corretta.

(c) Le tensioni di taglio e normali sono valutati come segue:

$$\text{tensione di taglio } \tau = \frac{P_s}{A} = \frac{P_{sa}\cdot\cos\alpha}{A}$$

$$\text{tensione normale } \sigma_n = \frac{P_n}{A} = \frac{P_{na} + P_{sa}\cdot\text{sen}\,\alpha}{A}$$

dove:
P_s = forza di taglio totale
P_n = forza normale totale
P_{sa} = forza di taglio applicata
P_{na} = forza normale applicata
α = angolo di inclinazione della forza di taglio applicata rispetto al piano di taglio (se $\alpha = 0$, $\cos\alpha = 1$ e $\sin\alpha = 0$).
A = area delle superfici di taglio a contatto (corretta per tenere in conto lo scorrimento).

Se α è maggiore di zero la forza normale applicata dovrebbe essere ridotta dopo ogni incremento della forza di taglio di una quantità pari a $P_{sa}\cdot\text{sen}\alpha$ allo scopo di mantenere la tensione normale approssimativamente costante.

La forza normale applicata può essere ulteriormente ridotta durante la prova di una quantità $\frac{\Delta_s(\text{mm})\cdot P_n}{700}$ per compensare le variazioni dell'area durante lo scorrimento.

(d) Per ogni campione sottoposto a prova vengono diagrammati i valori della tensione di taglio (o della forza di taglio) e dello spostamento normale in funzione dello scorrimento (Fig. 5), per mostrare la tensione normale nominale ed ogni variazione della tensione normale durante l'applicazione del taglio. Da questi grafici vengono quindi estratti i valori della resistenza al taglio di picco e residua e le tensioni normali, gli scorrimenti e gli spostamenti normali ai quali questi vengono raggiunti [2].

(e) Con i risultati ottenuti per tutti i campioni di

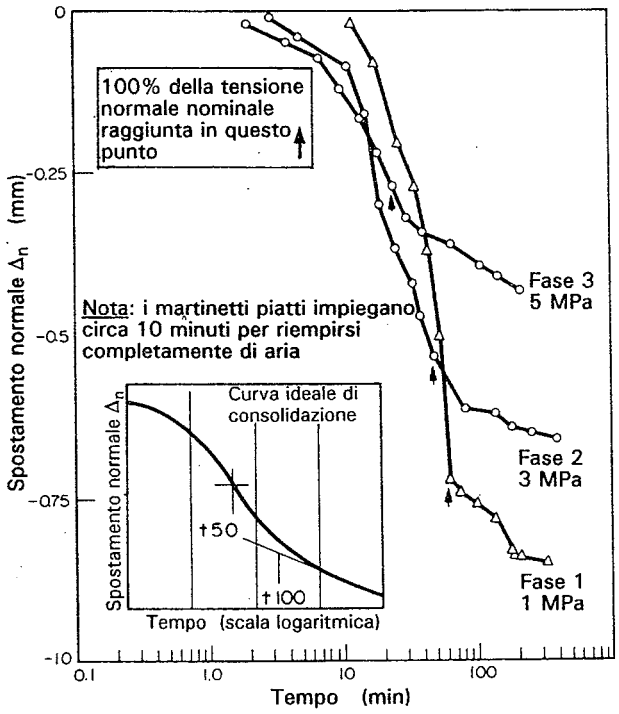
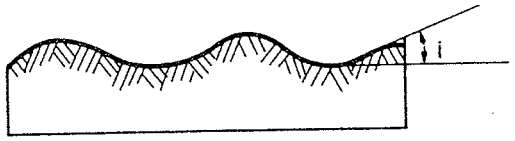


Fig. 4 - Curve di consolidazione per una prova di taglio diretto a tre fasi, e costruzione grafica utilizzata per la stima di t_{100}.

prova si elaborano i diagrammi della resistenza a taglio di picco e residua in funzione della tensione normale. Da questi diagrammi si ricavano i parametri di resistenza a taglio ϕ_a, ϕ_b, ϕ_r, c' e c come mostrato in Figura 6.

ϕ_r = angolo di attrito residuo

ϕ_a = angolo di attrito apparente al di sotto della tensione σ_a; il punto A è un punto singolare nella curva di resistenza al taglio di picco e corrisponde all'istante del tranciamento delle irregolarità maggiori sulla superficie di taglio. Tra i punti O e A, ϕ_a varierà leggermente; lo si misuri al livello tensionale di interesse. Si noti anche che $\phi_a = \phi_u + i$, dove ϕ_u è l'angolo di attrito ottenuto fra superfici lisce di roccia e l'angolo i è l'inclinazione delle asperità superficiali.



ϕ_b = angolo di attrito apparente per valori del livello tensionale maggiori di σ_a (punto A); si noti che ϕ_b sarà di solito uguale o leggermente maggiore di ϕ_r e varierà leggermente con il livello tensionale; lo si misuri al livello tensionale di interesse.

c' = coesione intercetta della curva di resistenza a taglio di picco; può essere pari a zero

c = coesione apparente valutata al livello tensionale corrispondente a ϕ_b.

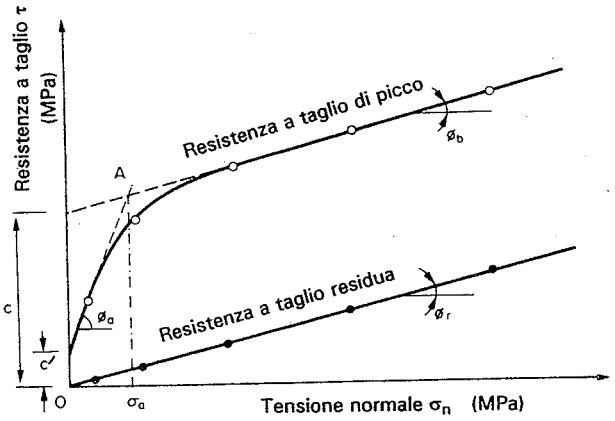


Fig. 6 - Tipico grafico resistenza a taglio - tensione normale.

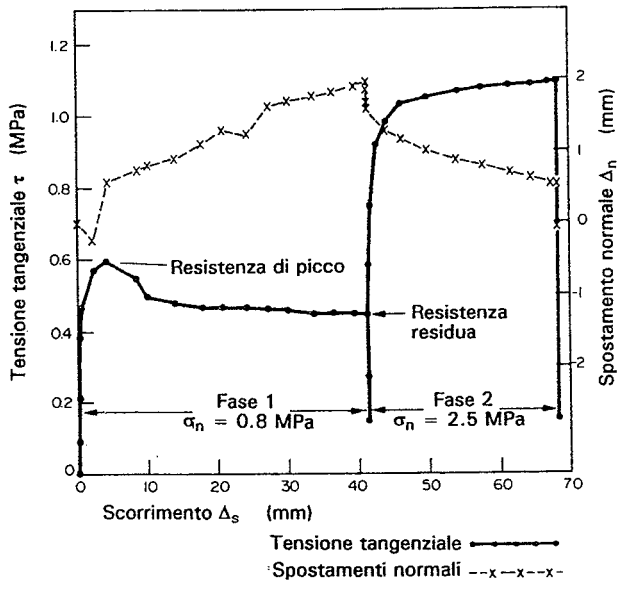


Fig. 5 - Tipici grafici tensione tangenziale - scorrimento.

Relazione sui risultati

11. La relazione deve includere quanto segue:

(a) Uno schema, una fotografia ed una descrizione dettagliata dell'apparecchiatura di prova e una descrizione dei metodi usati per la preparazione del campione e l'esecuzione della prova. (Si può fare riferimento alle presenti *Raccomandazioni* dell'ISRM specificando solo le eventuali variazioni rispetto alle tecniche prescritte).

(b) Per ogni campione, una descrizione geologica completa della roccia intatta, della superficie sottoposta a taglio, del materiale di riempimento e di alterazione preferibilmente accompagnata dai principali risultati ottenuti da prove per la determinazione delle proprietà indice (per esempio: profili di

rugosità; limiti di Atterberg, contenuto d'acqua e distribuzione granulometrica dei materiali di riempimento).

(c) Fotografie di ogni superficie sottoposta a taglio unitamente a schemi che ne forniscano la posizione, le dimensioni, l'area, l'angolo di inclinazione e la direzione di immersione e che mostrino le direzioni del taglio ed ogni caratteristica dei blocchi.

(d) Per ogni blocco sottoposto a prova una serie di tabelle di dati, un grafico della consolidazione e i grafici della tensione di taglio e dello spostamento normale in funzione dello scorrimento (si vedano ad esempio le figure 3, 4 e 5). I valori delle resistenze a taglio di picco e residua ricavati dovrebbero essere tabulati con i corrispondenti valori della tensione normale, dello scorrimento e dello spostamento normale.

(e) Per la determinazione della resistenza a taglio globale, grafici e valori tabulati delle resistenze a taglio di picco e residua in funzione della tensione normale, unitamente ai valori derivati per i parametri di resistenza a taglio (si veda ad esempio la figura 6).

Parte II. Raccomandazioni per la determinazione in laboratorio della resistenza a taglio diretto

Campo di applicazione

1.(a) Questa prova permette di misurare la resistenza a taglio diretto di picco e residua in funzione della tensione normale al piano di taglio. I risultati sono impiegati solitamente nelle analisi all'equilibrio limite dei problemi di stabilità di pendio o nelle analisi di stabilità delle fondazioni di dighe [1-3*].

(b) L'inclinazione del campione di prova rispetto alla massa rocciosa, ed il suo posizionamento nella macchina di prova sono solitamente scelti in modo che il piano di taglio coincida con un piano di debolezza nella roccia, per esempio un giunto, piano di stratificazione, scistosità o fessura, o con l'interfaccia tra terreno e roccia o tra calcestruzzo e roccia [4].

(c) La determinazione della resistenza a taglio dovrebbe preferibilmente comprendere almeno cinque prove da eseguire sulla stessa superficie in esame ed ogni campione dovrebbe essere sottoposto a prova ad un differente livello di tensione normale mantenuto costante per l'intera durata della prova.

(d) Nell'utilizzo dei risultati della prova, devono essere tenute in conto le condizioni di pressione dell'acqua nei pori e la possibilità di rottura progressiva relativamente al progetto in esame in quanto possono differire dalle condizioni di prova.

Apparecchiatura

2. Attrezzatura per il prelievo di campioni di roccia, comprendente:

(a) Attrezzatura per il taglio del campione; per esempio un carotiere a grande diametro, perforatrici a percussione, seghe per roccia o martelli e scalpelli, e l'attrezzatura per misurare l'angolo di inclinazione e la direzione di immersione, la scabrezza ed altri aspetti caratteristici della superficie da sottoporre a prova.

(b) Materiali per trattenere il campione, per esempio fili metallici per legature o fasce metalliche.

(c) Materiali per proteggere il campione dal danneggiamento meccanico e da variazioni del contenuto d'acqua sia durante il prelievo che durante il trasporto al laboratorio, per esempio imballaggio protettivo e cera o materiale simile impermeabile.

3. Attrezzatura per il montaggio del campione, comprendente:

(a) Contenitori in cui riporre i campioni, che costituiscono una parte smontabile dell'attrezzatura di prova.

(b) Cemento, gesso, resina o simili materiali resistenti per l'inglobamento, unitamente ad appropriati utensili per la miscelazione.

4. Attrezzatura di prova (si veda come esempio la scatola di taglio rappresentata in figura 7) che comprenda:

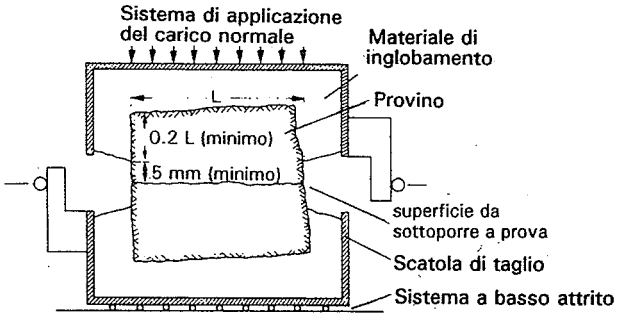


Fig. 7 - Disposizione tipica per una prova di taglio diretto in laboratorio.

(a) Un sistema di applicazione del carico normale, tipicamente un sistema idraulico, pneumatico o meccanico basato sull'azione di opportuni pesi, progettato in modo da assicurare che il carico sia uniformemente distribuito sul piano che deve essere sottoposto a prova. La forza risultante deve agire in direzione normale al piano di taglio, e passare attraverso il centro della sua area. Il sistema deve avere una corsa maggiore del valore di dilatanza o consolidazione previsto, e deve permettere di mantenere costante il carico normale entro il 2% di un valore scelto per l'intera durata della prova [5].

(b) Un sistema per l'applicazione della forza di taglio, tipicamente un martinetto idraulico o un si-

stema meccanico ad ingranaggi progettato in modo che il carico sia uniformemente distribuito lungo una faccia della discontinuità e la forza risultante applicata agisca nel piano di taglio. L'attrezzatura deve essere progettata in modo da disporre di una corsa in direzione del taglio maggiore del 10% della lunghezza del campione. Essa deve comprendere rulli, cavi o dispositivi simili, a basso attrito per assicurare che la resistenza dell'apparecchiatura allo scorrimento sia minore dell'1% della massima forza di taglio applicata durante la prova.

(c) Attrezzatura per la misura indipendente delle forze di taglio e normale applicate, con una precisione maggiore del 2% dei valori massimi raggiunti durante la prova. Nella relazione sulla prova dovrebbero essere aggiunti i dati di una calibrazione recente applicabili all'intervallo di valori interessati nella prova.

(d) Attrezzatura per misurare gli spostamenti di taglio, normale e laterale, per esempio strumenti di misurazione micrometrici a quadrante o trasduttori elettrici. Gli strumenti di misura possono essere montati come illustrato nella figura 2, oppure i quattro misuratori dello spostamento normale possono essere sostituiti da un misuratore singolo montato centralmente. Lo strumento di misura dello scorrimento dovrebbe avere una corsa maggiore del 10% della lunghezza del campione ed una precisione maggiore di 0.1 mm. Gli strumenti di misura dello spostamento normale e laterale dovrebbero avere una corsa maggiore di 20 mm ed una precisione maggiore di 0.05 mm. Se è possibile bisognerebbe evitare l'azzeramento degli strumenti durante la prova. Se vengono usati trasduttori elettrici o un sistema di registrazione automatica occorre includere nella relazione sulla prova i dati di una calibrazione recente.

Procedimento

5. Preparazione:

(a) Una volta scelta la superficie da sottoporre a prova, vengono registrati l'angolo di inclinazione, la direzione di immersione ed altre caratteristiche geologiche di rilievo. Vengono raccolti blocchi o campioni carotati contenenti la superficie da sottoporre a prova utilizzando appositi metodi che consentano di minimizzare il disturbo e, se possibile, di conservare il contenuto d'acqua naturale. Le dimensioni del campione e la posizione della superficie da sottoporre a prova all'interno del blocco o della carota dovrebbero se possibile permettere il montaggio senza ulteriori rifiniture in laboratorio, e con sufficiente gioco per un adeguato inglobamento [8]. Il piano di prova dovrebbe essere preferibilmente quadrato con un'area minima di 2500 mm² [2]. L'integrità meccanica dei campioni deve essere garantita fissando saldamente le due parti del campione con filo metallico o nastro che deve restare posizionato fino all'istante prima della prova.

(b) I campioni che non vengono inglobati immediatamente per la prova dovrebbero essere coperti con un materiale impermeabile, e dovrebbero venire imballati ed etichettati in modo da evitare il danneggiamento durante il trasporto in laboratorio. I campioni fragili richiedono un trattamento speciale, per esempio un imballaggio in schiuma di poliuretano [STIMPSON B., METCALFE F. G. e WALTON G., (1970) – Q. J. Engng Geol., 3, n. 2, p. 127].

(c) L'imballaggio protettivo, ad eccezione del filo metallico in acciaio, viene rimosso e il blocco sistemato in uno dei casseri in modo che la superficie da sottoporre a prova sia fissata con posizione e orientamento corretti. Si cola il materiale di inglobamento e, dopo che questo si è solidificato, si ingloba l'altra metà del campione con metodologia simile. Da entrambi i lati della superficie di prova deve essere mantenuta libera dal materiale di inglobamento una zona di spessore pari ad almeno 5 mm.

6. Consolidazione:

(a) Nella prova è prevista la fase di consolidazione allo scopo di permettere la dissipazione della pressione dell'acqua nei pori della roccia e del materiale di riempimento adiacenti al piano di taglio, con il livello di tensione normale applicato prima della fase di taglio. Il comportamento del campione durante la consolidazione può anche imporre un limite sulla velocità di scorrimento permessa (si veda il paragrafo 7(e)).

(b) Dopo aver sistemato il campione nella scatola di taglio, vengono controllati tutti gli strumenti di misura e viene registrata una serie preliminare di letture di carico e spostamento.

(c) Il carico normale viene incrementato fino al valore finale fissato per la prova, registrando il conseguente spostamento normale del campione (consolidazione) in funzione del tempo e dei carichi applicati (Figg. 3 e 4).

(d) La fase di consolidazione può essere considerata completata quando la velocità di variazione dello spostamento normale è minore di 0.05 mm in un intervallo di 10 minuti. A questo punto può essere applicato il carico di taglio.

7. Taglio:

(a) Lo scopo dell'applicazione del taglio è stabilire i valori della resistenza a taglio diretto di picco e residua della superficie da sottoporre a prova [2].

(b) La forza di taglio può essere applicata ad incrementi di carico ma di solito si applica in modo continuo tenendo sotto controllo la velocità di scorrimento.

(c) Prima del raggiungimento della resistenza di picco devono venire eseguite circa 10 serie di letture

(Figg. 3 e 5). La velocità di scorrimento deve essere inferiore a 0.1 mm/min durante i 10 minuti precedenti il rilevamento di una serie di letture. Questa velocità può essere incrementata fino a non più di 0.5 mm/min tra serie di letture purché la resistenza di picco stessa venga registrata adeguatamente. Per una prova "drenata" [10], in particolare quando si sottopongono a prova delle discontinuità riempite di argilla, il tempo totale per raggiungere la resistenza di picco dovrebbe superare $6t_{100}$ come determinato dalla curva di consolidazione [si vedano il paragrafo 8(a) e la figura 4]. A questo scopo, se necessario, si deve ridurre la velocità di taglio o ritardare l'applicazione degli ultimi incrementi di forza di taglio.

(d) Dopo il raggiungimento della resistenza di picco, le letture devono essere eseguite ad intervalli dello scorrimento da 0.5 a 5 mm come richiesto per definire adeguatamente le curve tensione tangenziale-scorrimento (Fig. 5). La velocità di scorrimento dovrebbe essere di 0.02-0.2 mm/min nell'intervallo di 10 minuti precedente una serie di letture, e può essere incrementata fino ad un valore massimo di 1 mm/min tra serie di letture.

(e) È possibile stabilire un valore di resistenza residua quando il campione è sottoposto a taglio con tensione normale costante e si ottengono almeno quattro serie consecutive di letture che mostrano una variazione della tensione tangenziale minore del 5% per uno scorrimento di 1 cm [11].

(f) Una volta stabilita una resistenza residua, la tensione normale può essere incrementata o ridotta [12] ed il taglio proseguito allo scopo di ottenere ulteriori valori della resistenza residua. Il campione deve essere riconsolidato con ogni nuovo valore di tensione normale (si veda il paragrafo 6) ed il taglio proseguito in accordo ai criteri dati nei precedenti paragrafi da 7(c) a 7(e).

(g) Dopo la prova il piano di taglio dovrebbe essere fotografato e descritto con completezza (si veda il paragrafo 9). Si misura l'area della superficie di taglio e possono essere richieste delle fotografie. Dovrebbero essere prelevati campioni di roccia, del materiale di riempimento e dei frammenti prodottisi durante il taglio per la determinazione delle proprietà indice.

Calcoli

8.(a) Durante la fase di consolidazione viene diagrammata una curva di consolidazione (Fig. 4). Il tempo t_{100} necessario per il completamento della "consolidazione primaria" viene determinato mediante la costruzione delle tangenti come mostrato. Il tempo per raggiungere la resistenza di picco dall'inizio dell'applicazione del carico di taglio dovrebbe essere maggiore di $6t_{100}$ per permettere la dissipazione della pressione interstiziale [10].

(b) Le letture dello spostamento vengono mediate per ottenere i valori medi degli spostamenti normali Δ_n e degli scorrimenti Δ_s. Gli spostamenti laterali vengono registrati solo per valutare il comportamento del campione durante la prova, anche se, qualora fossero apprezzabili, potrebbero essere tenuti in conto per la valutazione dell'area di contatto corretta.

(c) Le tensioni normale e di taglio vengono calcolate come segue:

$$\text{tensione di taglio } \tau = \frac{P_s}{A}$$

$$\text{tensione normale } \sigma_n = \frac{P_n}{A}$$

dove:

P_n = forza normale totale;
P_s = forza di taglio totale;
A = area delle superfici di taglio a contatto (corretta per tenere in conto dello scorrimento).

(d) Per ogni campione sottoposto a prova vengono diagrammati i valori della tensione di taglio (o della forza di taglio) e dello spostamento normale in funzione dello scorrimento (Fig. 5), per mostrare la tensione normale nominale ed ogni variazione della tensione normale durante il taglio. Da questi grafici vengono ricavati i valori della resistenza a taglio di picco e residua e le tensioni normali, gli scorrimenti e gli spostamenti normali ai quali questi vengono raggiunti [2].

(e) Con i risultati ottenuti per tutti i campioni di prova si elaborano i diagrammi della resistenza a taglio di picco e residua in funzione della tensione normale. Da questi diagrammi vengono estratti i parametri di resistenza al taglio ϕ_a, ϕ_b, ϕ_r, c' e c, come mostrato in figura 6.

Relazione sui risultati

9. La relazione deve includere quanto segue:

(a) Uno schema e una descrizione dell'apparecchiatura di prova ed una descrizione dei metodi usati per prelevare, imballare, trasportare, immagazzinare, montare e sottoporre a prova il campione. (Si può fare riferimento alle presenti "raccomandazioni" dell'ISRM, specificando solo le variazioni rispetto alle tecniche prescritte).

(b) Per ogni campione una descrizione geologica completa della roccia intatta, della superficie sottoposta a taglio, del materiale di riempimento e di alterazione preferibilmente accompagnata da dati di prove per la determinazione delle proprietà indice (per esempio: profili di rugosità; limiti di Atterberg, contenuto d'acqua e distribuzione granulometrica dei materiali di riempimento).

(c) Schemi e preferibilmente fotografie che mo-

strino l'ubicazione del campionamento, l'immersione rispetto alla direzione di scorrimento (n.d.t.) e l'inclinazione della superficie sottoposta a prova, nonché le dimensioni ed ogni peculiarità dei campioni.

(d) Per ogni blocco sottoposto a prova una serie di tabelle di dati, un grafico della consolidazione e grafici della tensione di taglio e dello spostamento normale in funzione dello scorrimento (si vedano ad esempio le figure 3, 4 e 5). I valori ottenuti della resistenza a taglio di picco e residua dovrebbero essere tabulati con i corrispondenti valori della tensione normale, dello scorrimento e dello spostamento normale.

(e) Grafici e valori tabulati della resistenza a taglio di picco e residua in funzione della tensione normale, per la determinazione della resistenza a taglio globale, unitamente ai valori derivati per i parametri di resistenza a taglio (si veda ad esempio la figura 6).

Parte III. Raccomandazioni per la determinazione in situ della resistenza a taglio con l'utilizzo della prova di taglio torsionale

Campo di applicazione

1. (a) Questa prova permette di misurare la resistenza al taglio della base di una carota di roccia che viene fatta ruotare nel suo foro di perforazione.

(b) I risultati possono essere utilizzati come un'approssimazione delle resistenze a taglio diretto misurate mediante i metodi *in situ* o in laboratorio descritti nelle Parti 1 e 2 di questo documento [13*].

Apparecchiatura

2. Attrezzatura per la perforazione comprendente:

(a) Un carotiere diamantato, un flusso di acqua o di aria adeguata alla roccia, capace di carotare diametri da circa 50 mm a 300 mm ad una profondità maggiore della lunghezza di carotaggio richiesta (solitamente 0.5-3.0 m).

3. Attrezzatura per l'applicazione e la misura del carico normale (Fig. 8) comprendente:

(a) Un bullone per roccia più lungo di almeno 1 m rispetto alla lunghezza di sondaggio richiesta, con un ancoraggio fissato con malta ad un estremo e un sistema di dado, filetto e rondella all'altro.

(b) Una piastra di carico con diametro esterno pari a quello del campione da sottoporre a prova, ed un foro centrale che permetta alla piastra di scorrere liberamente lungo l'ancoraggio.

(c) Una cella di carico forata centralmente per adattarsi all'ancoraggio, per misurare la tensione nel bullone con una precisione del ±2%.

(d) Un cuscinetto reggispinta concentrico all'ancoraggio ed alla cella di carico, per impedire la trasmissione di torsione dall'ancoraggio alla carota.

4. Attrezzatura per applicare e misurare la torsione (Fig. 8) comprendente:

(a) Un tubo di torsione per trattenere il campione di roccia, alloggiato nello spazio anulare attorno al campione con un gioco esterno maggiore di 3 mm ed un gioco interno sufficiente a permettere l'iniezione di cemento tra il tubo ed il campione.

(b) Un braccio di torsione fissato rigidamente ad un diametro del tubo di torsione, perpendicolare all'asse del campione e centrato rispetto allo stesso.

(c) Due martinetti idraulici identici per l'applicazione della torsione, serviti da un'unica pompa idraulica, ancorati rigidamente a bulloni da roccia, equidistanti dall'asse del campione e connessi al braccio di torsione in modo tale da applicare forze uguali ed opposte in direzione tangenziale al campione. Ogni martinetto viene accoppiato ad una cella di carico per misurare la forza applicata con una precisione del ±2%.

5. Attrezzatura per misurare la rotazione del campione, per esempio un comparatore micrometrico fissato ad un'ancora rigida e collegato alla parete del tubo di torsione tramite un sistema di puleggia e filo metallico. Il sistema deve misurare la rotazione con precisione di ±0.001 radianti e deve avere una corsa maggiore di 0.1 radianti.

Procedimento

6. Preparazione:

(a) Viene scelto il sito di prova e preparata una

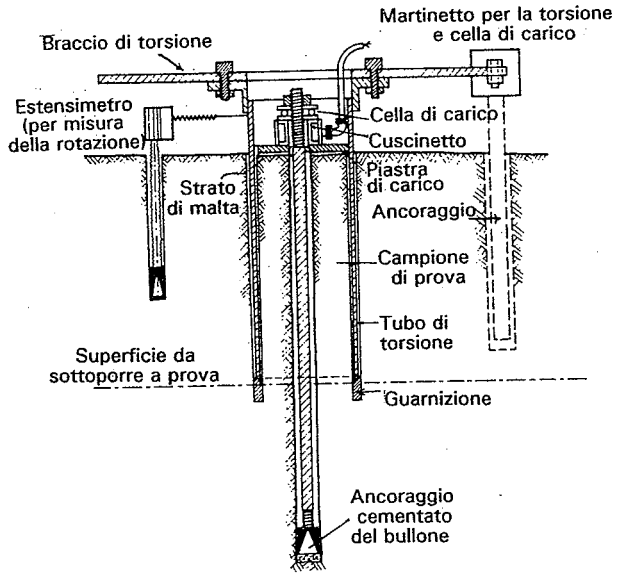


Fig. 8 - Attrezzatura per prove di taglio torsionale.

superficie, piana e stabile, perpendicolare alla superficie da sottoporre a prova, di solito a 0.5-3 m al di sopra di questo. La superficie da sottoporre a prova è di solito un piano di debolezza della roccia tipo un giunto, un piano di stratificazione o di scistosità o la interfaccia tra calcestruzzo e roccia.

(b) Un campione di piccolo diametro (per esempio 50 mm) viene carotato perpendicolarmente alla superficie che si prevede sarà sottoposta a prova fino ad almeno 1 m oltre questa. Il campione viene analizzato nel dettaglio, si sceglie la superficie da sottoporre a prova e viene misurata la sua profondità con precisione di ±10 mm. Vengono carotati fori addizionali di piccolo diametro per inserire gli ancoraggi per i martinetti di torsione e per gli strumenti di misura della rotazione.

(c) Viene installato il bullone per l'applicazione del carico normale in modo che la malta di ancoraggio sia interamente al di sotto della superficie da sottoporre a prova. La piastra di carico viene installata sopra il bullone di ancoraggio su di uno strato di malta, si posizionano la cella di carico ed il cuscinetto reggispinta e si applica un carico normale sufficiente a trattenere rigidamente il campione da sottoporre a prova durante l'esecuzione del carotaggio.

(d) Il campione di prova viene carotato fino ad una profondità di 20 mm ±5 mm al di sotto della superficie da sottoporre a prova utilizzando la piastra di carico per centrare il tubo carotiere. La metodologia di perforazione ed il fluido della carotatrice dovrebbero essere scelti in modo da minimizzare il danneggiamento del campione.

(e) Lo spazio anulare che circonda la carota di prova viene pulito e riempito con un materiale tenero (per esempio guarnizioni di gomma spugna) fino ad una profondità di 5-10 mm al di sopra della superficie da sottoporre a prova. Il tubo di torsione viene ingrassato sulla superficie esterna, inserito in modo da appoggiarsi sul materiale tenero di riempimento e cementato al campione tramite resina o cemento. La malta viene lasciata maturare per incrementare la sua resistenza e poi si assembla e si controlla la restante apparecchiatura.

7. Metodologia di prova:

(a) Viene applicato il carico normale prescelto tendendo il bullone centrale.

(b) La torsione viene incrementata gradualmente eseguendo le letture delle celle di carico torsionale e normale e del misuratore di rotazione (Fig. 9). La velocità di applicazione della torsione dovrebbe essere tale da permettere 5-10 serie di letture prima del raggiungimento della resistenza di picco [2].

(c) L'applicazione del carico torsionale prosegue e si rilevano serie di letture con intervalli corrispondenti ad incrementi di rotazione di circa 0.05 radianti, come mostrato in figura 9, fino a quando si sono ottenute almeno quattro serie di letture di torsione che differiscono tra loro di meno del 5%.

(d) Il carico torsionale viene poi rimosso, rilevando una ulteriore serie di letture. La procedura da 7(a) a 7(c) può poi essere ripetuta una o più volte a livelli di carico normale via via maggiori a seconda della massima rotazione permessa dall'attrezzatura [12].

(e) Il campione di prova viene rimosso e la superficie di taglio esaminata e descritta in dettaglio. Possono essere prelevati campioni di roccia, del materiale di riempimento e dei frammenti prodottisi a seguito del taglio per la determinazione delle proprietà indice.

Calcoli

8.(a) I valori della torsione sono calcolati utilizzando le curve di calibrazione della cella di carico per ottenere i carichi (kN) e poi moltiplicando per il raggio di torsione (mm) per ottenere la torsione (m-N). La torsione totale T è la somma delle due torsioni applicate.

(b) I carichi normali sono calcolati tramite la curva di calibrazione della cella di carico e convertiti in tensioni normali σ_n usando l'equazione:

$$\sigma_n = \frac{4 \cdot P_n}{\pi \cdot (D^2 - d^2)}$$

dove:

P_n = carico normale applicato,
D = diametro esterno del campione di prova,
d = diametro interno del campione di prova.

(c) Le resistenze a taglio τ corrispondenti alle fasi di picco e residua del grafico torsione-rotazione (figura 9, note 2 e 3) possono essere calcolate usando una delle due assunzioni:

(i) In roccia resistente ed elastica, la tensione massima agente sulla circonferenza esterna della carota di prova

$$\tau = \frac{0.5 \cdot T \cdot D}{J}$$

(ii) In roccia più tenera, la tensione tangenziale e costante in ogni direzione radiale sul piano di rottura

$$\tau = \frac{0.365 \cdot T \cdot D}{J}$$

dove:

$$J = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{32}$$

L'ultima assunzione fornisce una stima più conservativa e dovrebbe sempre essere usata per il calcolo della resistenza residua e spesso anche per il calcolo della resistenza di picco.

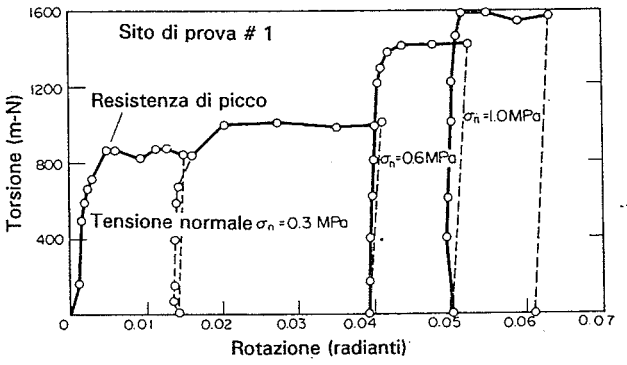


Fig. 9 - Tipico grafico torsione - rotazione per la prova di taglio torsionale.

(d) Utilizzando i risultati ottenuti per tutti i campioni sottoposti a prova, si diagrammano i valori della resistenza a taglio di picco e residua in funzione della tensione normale. I parametri della resistenza a taglio possono essere ricavati da questi grafici come mostrato in figura 6.

Relazione sui risultati

11. La relazione deve comprendere quanto segue:

(a) Uno schema ed una descrizione dettagliata dell'attrezzatura di prova e dei metodi usati per il carotaggio e l'esecuzione della prova (si può fare riferimento alle presenti *Raccomandazioni* dell'ISRM specificando solo le eventuali variazioni rispetto alle tecniche prescritte).

(b) Per ogni prova una descrizione geologica completa della superficie da sottoporre a prova, del materiale di riempimento e di alterazione preferibilmente accompagnata dai principali dati ottenibili da prove per la determinazione delle proprietà indice.

(c) Fotografie della superficie sottoposta a taglio unitamente a schemi che forniscano l'ubicazione, la profondità, l'inclinazione e l'immersione della superficie, i diametri interno ed esterno ed ogni caratteristica del campione di prova.

(d) Per ogni prova una serie di tabelle di dati, i grafici della tensione di taglio e della tensione normale in funzione della rotazione, i valori ottenuti per la resistenza a taglio di picco e residua ed i corrispondenti valori delle tensioni normali con le assunzioni fatte per il loro calcolo.

(e) Per la determinazione della resistenza a taglio di picco e residua, grafici e valori tabulati in funzione della tensione normale, unitamente ai valori derivati per i parametri di resistenza a taglio (si veda ad esempio la figura 6).

Note

1 La resistenza a taglio diretto può essere determinata in laboratorio (usando il metodo descritto nella Parte 2) se il piano che deve essere sottoposto a prova è liscio e piano in confronto alla dimensione del campione, e se il campione può essere tagliato e trasportato senza arrecare disturbo.

2 Definizioni (chiarite nelle figure 5 e 6):
Resistenza a taglio di picco - la massima tensione di taglio nella curva completa tensione di taglio-scorrimento.
Resistenza a taglio residua - la tensione di taglio oltre la quale non si osserva alcuna ulteriore crescita o caduta nella resistenza all'aumentare dello scorrimento. Una resistenza residua vera può solo essere raggiunta dopo uno scorrimento considerevolmente maggiore di quello raggiunto nella prova. Il valore di prova dovrebbe essere considerato come un'approssimazione e stimato sulla base della curva completa tensione di taglio-scorrimento.
Parametri di resistenza al taglio c e ϕ - rispettivamente l'intercetta e l'angolo di pendenza rispetto all'asse della tensione normale di una tangente alla curva resistenza a taglio-tensione normale per un livello di tensione normale che sia adeguato al progetto (si veda la figura 6).

3 La resistenza di picco misurata può essere applicata direttamente ai calcoli della stabilità in scala reale solo se sul piano di prova e su di una scala più grande sono presenti lo stesso tipo e grandezza di asperità. Se questo non si verifica, la resistenza di picco reale dovrebbe essere ottenuta dai dati di prova utilizzando calcoli appropriati [per esempio, PATTON F. D., 1966, Proc. 1° Int. Cong. Rock Mech. ISRM, Lisbon, vol. 1, pp 509-512; LADANYI B. e ARCHAMBAULD G., 1970. In Rock Mechanics - Theory and Practice (W. H. Somerton, ed.), AIME, New York, pp. 105-125; BARTON N. R., 1971, Proc. Symp. ISRM, Nancy, Paper 1-8].

4 Le prove sulla roccia intatta (non interessata da piani di debolezza) sono di solito eseguite utilizzando le prove triassiali di laboratorio. La roccia intatta può, tuttavia, essere sottoposta a prova di taglio diretto se si tratta di un litotipo tenero e se l'inglobamento del blocco campione è sufficientemente resistente.

5 Se per l'applicazione del carico normale viene usato un peso proprio sono richieste delle precauzioni per assicurare la centratura e la stabilità. Se vengono usati due o più pistoni idraulici sia per l'applicazione del carico normale che per quello di taglio è necessario fare attenzione ad assicurare che questi siano accoppiati in modo identico e siano allineati parallelamente in modo esatto. Ogni pistone deve essere fornito di una sede sferica. La corsa dei pistoni ed in particolare dei martinetti piatti dovrebbe essere sufficiente a garantire lo spostamento completo previsto del campione. Ci si può aspettare uno spostamento normale di ±5-10 mm, a seconda del contenuto di argilla e della scabrezza della superficie di taglio.

6 La forza di taglio applicata può agire nel piano di taglio in modo che l'angolo sia pari a 0 (Fig. 1). Questo richiede un elemento a sbalzo di supporto per trasmettere la spinta dal martinetto al campione. Se viene usato un metodo in cui la forza di taglio agisce ad una certa distanza al di sopra del piano di taglio la retta d'azione del martinetto per il taglio deve essere inclinata in modo da passare attraverso il centro dell'area del piano di taglio. L'angolo per un campione di dimensione 700 700 350 mm è prossimo ai 15° e dipende dallo spessore dell'inglobamento. Non si raccomandano le prove in cui le forze sia di taglio che normale vengono applicate mediante un'unica serie di martinetti inclinati rispetto al piano di taglio di angoli più elevati, in quanto risulta poi impossibile controllare indipendentemente le tensioni di taglio e normali.

7 La superficie del materiale di inglobamento non è di solito sufficientemente liscia e piana per fornire un riferimento adeguato agli strumenti di misura dello spostamento e, a questo scopo, possono essere cementate delle lamine di ve-

tro al blocco campione. Queste lamine devono avere dimensioni adeguate per il rilevamento del movimento del campione. In alternativa può essere utilizzato un sistema di puleggia e filo metallico in tensione con strumenti di misura lontani dal campione. Il sistema nell'insieme deve essere attendibile e conforme ai requisiti di accuratezza specificati. In questo senso è necessaria una cura particolare quando si impiegano trasduttori elettrici o attrezzatura di registrazione automatica.

8 Per le prove in situ si suggeriscono come dimensioni tipo del blocco di prova 700 700 350 mm. Possono essere permessi dei blocchi più piccoli se, per esempio, la superficie che deve essere sottoposta a prova è relativamente liscia; possono essere necessari blocchi più grandi quando si devono analizzare superfici molto irregolari. La dimensione e la forma del blocco di prova possono essere per convenienza adattate in modo che le facce del blocco coincidano con i giunti naturali o le fessure; questo minimizza il disturbo del blocco durante la preparazione. Si devono rimuovere le irregolarità che potrebbero limitare lo spessore o la corretta posizione del materiale di inglobamento o del rinforzo.

9 È consigliabile, in particolare se la superficie da sottoporre a prova è inclinata sull'orizzontale di più di 10-20°, applicare un piccolo carico normale alla faccia superiore del campione di prova mentre vengono tagliate le pareti laterali, per prevenire uno scorrimento prematuro ed anche per inibire il rilassamento ed il rigonfiamento. Il carico, pari a circa il 5-10% di quello che deve essere applicato nella prova, può essere fornito, per esempio, da puntoni a vite o da un sistema di bulloni e travi incrociate, e dovrebbe essere mantenuto fin quando l'attrezzatura è in posizione.

10 Il requisito che il tempo necessario a raggiungere la resistenza di picco deve superare $6t_{100}$ deriva dalla teoria della consolidazione convenzionale della meccanica dei terreni [per esempio, GIBSON e HENKEL, Géotechnique 4, pp.10-11, 1954] assumendo una dissipazione della pressione dell'acqua interstiziale del 90%. Questo requisito assume maggiore importanza quando si sottopongono a prova discontinuità riempite di argilla. In altri casi può essere difficile definire t_{100} con qualche precisione perché una parte significativa della "consolidazione" osservata può essere dovuta al comportamento viscoso della roccia e ad altri meccanismi non correlati alla dissipazione della pressione interstiziale. A condizione che vengano rispettate le velocità di taglio specificate nel testo, si possono considerare i parametri di resistenza al taglio come misurati in tensioni efficaci ("condizioni drenate").

11 Deve essere eseguito un controllo indipendente sull'angolo di attrito residuo sottoponendo a prova in laboratorio due superfici piane artificiali della roccia rappresentativa. Le superfici artificiali dovrebbero essere tagliate con sega e poi rese piane con grani di carburo di silicio n. 80.

12 Il carico normale dovrebbe essere applicato, quando possibile, in fasi crescenti piuttosto che decrescenti. Non sono raccomandate le inversioni della direzione di taglio o risistemazioni del blocco campione tra diverse fasi di carico normale, a volte utilizzate per permettere uno scorrimento totale maggiore di quanto sarebbe possibile altrimenti, perché la superficie di taglio può venire facilmente disturbata ed i risultati successivi possono essere inattendibili. È in genere raccomandabile, sebbene più costoso, usare un blocco campione diverso per ogni determinazione della resistenza residua.

13 La prova di taglio torsionale è poco costosa ed ha il vantaggio di causare un disturbo minimo alla superficie da sottoporre a prova. Tuttavia si riscontrano generalmente dei gradienti della tensione di taglio e dello scorrimento tra il raggio interno e quello esterno del campione, cosicché i valori della resistenza a taglio ottenuti devono essere considerati come approssimativi. La prova non dovrebbe essere usata per le superfici di prova che hanno una pronunciata scabrezza dipendente in modo significativo dalla direzione. In generale non c'è alcun provvedimento per il monitoraggio degli spostamenti normali o della consolidazione del campione.