

Premessa alla traduzione delle Raccomandazioni ISRM sulla determinazione della resistenza a compressione triassiale di materiali rocciosi.

Le Raccomandazioni riguardanti l'esecuzione di prove triassiali su materiali rocciosi sono state presentate nel 1983 e fanno seguito ad una precedente versione pubblicata nel 1978. Questa seconda versione si distingue dalla precedente in quanto, oltre alla tradizionale prova individuale, vengono suggerite altre due possibili procedure di prova: la prova di rottura multipla e la prova di rottura continua.

Le prove di rottura multipla e continua non sembra abbiano avuto una grande diffusione nell'ambito della ricerca internazionale o della pratica professionale. La difficoltà di esecuzione di entrambe queste prove (sperimentate personalmente) viene sottolineata dalle raccomandazioni - si afferma infatti che «i controlli e l'esperienza richiesti per condurre la prova di rottura continua superano quelli richiesti per la prova di rottura multipla», e lo stesso può dirsi del confronto tra la prova di rottura multipla e quella individuale. La conduzione di queste prove dipende dalla sensibilità dell'operatore; ad esempio può risultare problematico eseguire prove su rocce fragili o riconoscere l'effettivo picco di resistenza in materiali rocciosi fragili. Un limite alla diffusione di entrambe queste prove nella pratica professionale è rappresentato anche dalla maggiore complessità delle apparecchiature di prova richieste, rispetto a quelle necessarie per condurre la prova individuale, nella quale ci si può limitare a misurare solo il carico assiale massimo e la corrispondente pressione di confinamento.

Le prove di rottura multipla e continua presentano comunque l'indubbio vantaggio di poter individuare l'andamento della resistenza in funzione della pressione di confinamento (in sostanza l'angolo d'attrito interno o il parametro m in un criterio di resistenza di Hoek e Brown) utilizzando un solo campione di prova e riducendo quindi drasticamente l'influenza della variabilità di caratteristiche tra un campione e l'altro, che nelle prove individuali costringe spesso a sottoporre a prova molti campioni. Spesso è però importante conoscere il grado di variabilità delle caratteristiche del materiale, per cui è necessario eseguire varie prove.

Oltre alle difficoltà di esecuzione sopra descritte è da tener presente, a parere del traduttore, che le prove di rottura multipla o continua, nelle quali vengono raggiunti più volte picchi di resistenza, conducono ad una sottostima dell'inviluppo di resistenza del materiale roccioso; ciò avviene non solo a causa di un eventuale mancato raggiungimento del punto C nella prova di rottura continua (par. 4.4), ma in dipendenza di una progressiva riduzione della resistenza iniziale del materiale a seguito della microfessurazione irreversibile. Infatti, il raggiungimento del primo picco di resistenza implica un danneggiamento del campione di prova che non può essere recuperato applicando una pressione di confinamento più alta. L'esecuzione di un certo numero di prove per campi di pressione di confinamento molto ristretti ed affiancati, in modo da coprire un più ampio intervallo di pressione, permette di ricavare un inviluppo di resistenza meno sensibile ai problemi suesposti.

Le innovazioni contenute nella versione aggiornata delle raccomandazioni non sono relative solo alla introduzione di due nuove procedure di prova, ma sottolineano anche l'importanza di condurre le prove individuali su campioni «strumentati», in modo da registrare in modo continuo le grandezze, o possibilmente di rappresentarle

graficamente in tempo reale; si ricavano così indicazioni sul comportamento deformativo del materiale roccioso, sulla sua fragilità, sull'effettivo raggiungimento della massima capacità di carico, sull'influenza della pressione di confinamento, ed in generale sul comportamento meccanico del materiale in esame.

È auspicabile una maggiore diffusione delle regole di esecuzione di una prova meccanica così importante per la caratterizzazione del materiale roccioso e di così ampia applicazione nel campo della ingegneria delle rocce.

Il curatore della traduzione
Tatiana Rotonda

COMUNICATO AI LETTORI DELLA RIG

Per una svista tipografica, sul numero 4/94 è stato omissso il curatore della traduzione delle «Raccomandazioni ISRM per il monitoraggio delle vibrazioni indotte dal brillamento di cariche esplosive». La traduzione delle norme è stata curata dall'Ing. Roberto Folchi col quale ci scusiamo così come ci scusiamo con i nostri lettori.

Raccomandazioni sulla determinazione della resistenza a compressione triassiale di materiali rocciosi: versione aggiornata

1. Scopo e introduzione

La misura della resistenza di campioni cilindrici di roccia in funzione di una pressione di confinamento viene descritta secondo tre diverse procedure di prova; queste differiscono tra di loro per il modo in cui viene prodotto l'involuppo di resistenza (Fig. 1a-c). Secondo la prova di tipo I («prova individuale») da ogni prova viene ricavato un solo punto appartenente alla curva di rottura (resistenza di picco)^{1*} (Fig. 1a)², mentre nelle prove di tipo II («prova di rottura multipla») (Fig. 1b) e di tipo III («prova di rottura continua») (Fig. 1c) l'involuppo di resistenza viene ricavato da un'unica prova adottando una procedura a gradini o continua². Dalla prova di tipo I a quella di tipo III aumentano così le informazioni che si ricavano da un singolo campione di prova; le attrezzature di laboratorio richieste per condurre le prove di tipo II e III sono di maggiore rilevanza rispetto a quelle necessarie per la prova di tipo I. Le procedure esposte non contengono indicazioni riguardanti la misura della pressione dei pori, né le condizioni di drenaggio dei campioni. Se si sospetta un effetto della pressione dei pori, si dovrebbero eseguire prove preliminari in diverse con-

dizioni di saturazione; se da queste viene rilevata una influenza della pressione dei pori, sarà necessario introdurre appropriate modifiche alla procedura di prova³.

Le procedure di prova che vengono nel seguito descritte sostituiscono quelle pubblicate in un precedente documento.

2. Apparecchiatura

2.1. Attrezzatura generale di prova

L'attrezzatura di prova è la stessa, con alcune eccezioni specificamente menzionate, per tutti i tipi di prova e consiste essenzialmente delle seguenti parti (Fig. 2).

2.2. Pressa per l'applicazione ed il controllo del carico assiale⁴

Una pressa rigida⁵ dovrebbe essere preferibilmente utilizzata per l'applicazione e la misura del carico

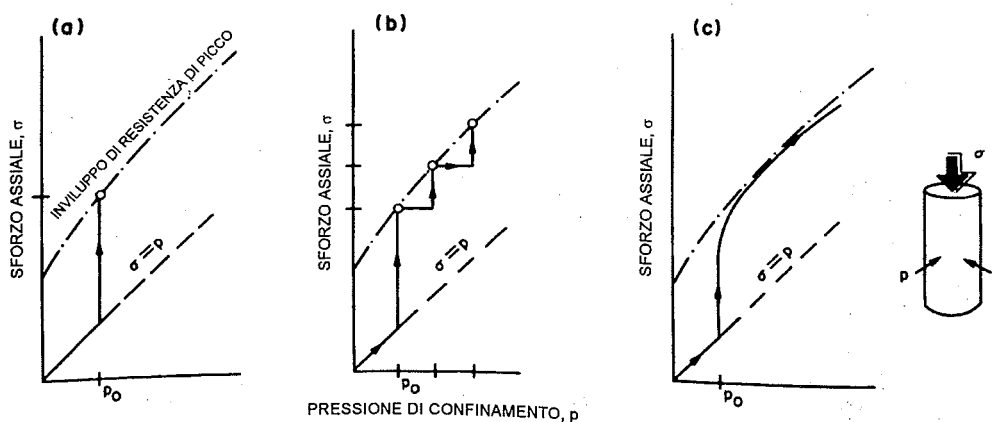


Fig. 1 - Differenti tipi di prova triassiale: (a) Tipo I - prova individuale; (b) Tipo II - prova di rottura multipla; (c) Tipo III - prova di rottura continua.

* I numeri ad apice si riferiscono alle note elencate a conclusione del testo.

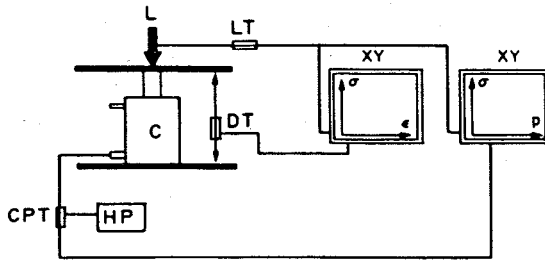


Fig. 2 - Diagramma schematico dell'attrezzatura di prova
 L = Carico assiale - LT = Trasduttore di carico - C = Cella triassiale - DT = Trasduttore di spostamento (opzionale nella prova di tipo I) - CPT = Trasduttore di pressione - HP = Dispositivo per l'applicazione della pressione di confinamento

assiale nei campioni di roccia; questa dovrebbe avere una sufficiente capacità di carico per provocare la rottura del campione di prova alla pressione di confinamento prescelta ed essere in grado di applicare un incremento di deformazione prefissato. Inoltre, la pressa deve essere calibrata in modo da raggiungere la rottura dei campioni negli intervalli di tempo prescritti⁴.

2.3. Cella triassiale

La cella triassiale comprende (Fig. 3):

(a) Una cella triassiale per l'applicazione della pressione di confinamento al campione di prova, di tipo simile ad una delle tre alternative mostrate in Fig. 3.

(b) Due piastre di ripartizione del carico, che abbiano una durezza Rockwell non minore di C30, da posizionare su entrambe le superfici piane del campione di prova. Il diametro di tali piastre deve essere compreso tra D e $1.02 D$, in cui D è il diametro del campione, ed il loro spessore deve essere di almeno 15 mm o maggiore di $D/3$. Le superfici delle

piastre dovrebbero essere rettificate e lucidate con uno scostamento massimo dal piano di ± 0.005 mm.

(c) Due alloggiamenti sferici, il cui centro di curvatura dovrebbe coincidere con il centro della superficie piana del campione, da collocare su ognuna delle piastre di ripartizione⁶; gli snodi dovrebbero essere leggermente lubrificati con olio minerale. Il campione di prova, le piastre di ripartizione e gli snodi sferici devono essere allineati tra loro.

(d) Una membrana flessibile, di opportuno materiale⁷, necessaria ad evitare che il fluido di confinamento entri in contatto con il campione di prova; questa non deve penetrare in modo significativo nei pori e, inoltre, dovrebbe essere sufficientemente lunga da coprire parzialmente le piastre di ripartizione. All'applicazione di una leggera pressione di confinamento la membrana dovrebbe risultare dello stesso diametro del campione di prova.

2.4. Dispositivo per l'applicazione della pressione di confinamento

L'attrezzatura richiesta consiste in una pompa idraulica, o in un qualsiasi altro sistema di sufficiente capacità ed in grado di ottenere una regolazione della pressione con una tolleranza del $\pm 1\%$.

2.5. Attrezzatura per la misura e la registrazione di carico, pressione e spostamento

L'attrezzatura richiesta include:

(a) Uno strumento per la misura continua del carico assiale.

(b) Indicatori di pressione (manometri o trasduttori di pressione) da impiegare per la misura della pressione di confinamento. È consigliabile usare almeno due diversi indicatori di pressione, i cui inter-

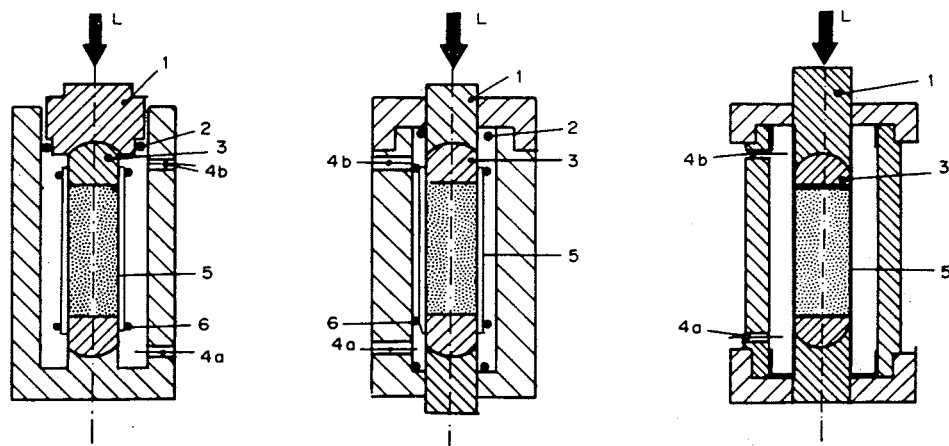


Fig. 3 - Tre diversi tipi di cella triassiale.

1 = Pistone di carico - 2 = Guarnizione - 3 = Piastra di ripartizione con snodo sferico - 4a = Connessione idraulica - 4b = Valvola di scarico - 5 = Membrana flessibile - 6 = «O»-ring - L = Carico applicato dalla pressa

valli di misura siano approssimativamente 0-15 MPa e 0-70 MPa⁸.

La pressione di confinamento nella prova di tipo I viene mantenuta costante, per cui può non essere registrata in modo continuo. Invece, nelle prove di tipo II e III si richiede l'uso di trasduttori di pressione, in quanto è necessario registrare in modo continuo la pressione di confinamento.

(c) Un trasduttore di spostamento da utilizzare per la misura e la registrazione in modo continuo degli spostamenti assiali del campione, così come viene richiesto nelle prove di tipo II e III ed auspicabile nella prova di tipo I.

(d) Il carico assiale, lo spostamento assiale e la pressione di confinamento possono essere registrati sia in modo intermittente, sia in modo continuo; in quest'ultimo caso devono essere utilizzati plotters o analoghi dispositivi in grado di fornire un'uscita grafica delle grandezze in tempo reale. Nella prova di tipo I solo il carico e lo spostamento assiali variano, così sono sufficienti un dispositivo di registrazione continua od anche intermittente. Le prove di tipo II e III richiedono la registrazione ed il controllo continui di tutte le grandezze; si raccomanda allora di utilizzare due *plotters*, l'uno per rappresentare graficamente il carico assiale rispetto allo spostamento assiale, l'altro per rappresentare il carico assiale rispetto alla pressione di confinamento.

3. Preparazione del campione di prova

(a) I campioni di prova devono essere cilindri retti aventi un rapporto tra lunghezza e diametro compreso tra 2.0 e 3.0 ed un diametro che preferibilmente non sia inferiore alla dimensione di carotaggio NX (circa 54 mm). Il diametro del campione dovrebbe essere correlato possibilmente alla dimensione del maggiore dei grani della roccia, secondo un rapporto di almeno 10:1.

(b) Le superfici piane del campione devono essere segate e rettificare in modo da risultare parallele tra loro e formanti un angolo retto rispetto all'asse longitudinale.

(c) Le superfici piane del campione devono essere piane con una tolleranza di ± 0.01 mm e non devono discostarsi dalla perpendicolare dell'asse longitudinale del campione di non più di 0.001 rad (circa 3.5 min) o di 0.005 mm in 50 mm.

(d) La superficie laterale del campione deve essere liscia e priva di brusche irregolarità; il profilo deve risultare rettilineo sull'intera lunghezza con una tolleranza inferiore a 0.3 mm.

(e) Non sono consentiti l'interposizione di materiali coprenti o trattamenti, diversi dalla lavora-

zione meccanica, sulle superfici piane del campione.

(f) Il diametro del campione di prova deve essere misurato con una approssimazione di 0.1 mm, effettuando la media delle misure, fra loro ortogonali, rilevate approssimativamente alla testa; a metà altezza e alla base del campione; l'area della sezione trasversale deve essere calcolata sulla base del diametro medio¹⁶. L'altezza del campione deve essere misurata con una approssimazione di 1.0 mm.

(g) I campioni di prova devono essere conservati per non più di 30 giorni, fino al momento della loro preparazione, in modo da preservare, quanto più possibile, il contenuto d'acqua naturale⁹. Il contenuto d'acqua deve essere annotato in accordo con quanto suggerito da «*Suggested methods for determination of the water content of a rock sample*», *Method 1 ISRM Committee on Laboratory Test, Document No. 2, Final Draft, November, 1972*.

(h) Il numero dei campioni di prova dovrebbe essere sufficiente a definire adeguatamente l'inviluppo di resistenza entro il campo di variabilità prescelto della pressione di confinamento. Tale numero dipende dal tipo di prova (I, II o III), dalla intrinseca variabilità della roccia e dalla specifica applicazione.

4. Procedure di prova

4.1. Generalità

La seguente procedura si applica ad ognuno dei tre tipi di prova (vedi Fig. 2):

(a) Preparare l'attrezzatura di registrazione, se utilizzata. Scegliere le scale e calibrare il plotter/plotters o l'analogo dispositivo di registrazione.

(b) Assemblare il campione di prova, le piastre di ripartizione, la membrana, la cella triassiale e gli strumenti di misura del carico assiale, della pressione e dello spostamento. L'esatta procedura dipenderà dalla specifica cella triassiale utilizzata e dal tipo e dalla posizione degli strumenti di misura.

(c) Connettere il circuito idraulico e riempire la cella triassiale di olio, far uscire l'aria attraverso l'opportuna valvola di scarico. Chiudere la valvola di scarico.

(d) Porre la cella triassiale nella pressa di carico.

(e) Selezionare la pressione di confinamento iniziale.

4.2. Procedura di tipo I - prova individuale

(a) Il carico assiale e la pressione di confinamento dovrebbero essere incrementati in modo simultaneo fino al raggiungimento del valore prefissato della pressione di confinamento^{10,11}.

(b) Il carico assiale sul campione deve corrispondere ad un incremento di deformazione costante, in modo tale che la rottura avvenga entro i 5-15 min di carico. In alternativa, l'incremento di sforzo assiale deve essere compreso nel campo 0.5-1.0 MPa/s.

(c) Il massimo carico assiale raggiunto e la corrispondente pressione di confinamento sul campione di prova devono essere registrati; tuttavia, è consigliabile registrare il carico assiale e lo spostamento in modo continuo.

4.3. Procedura di tipo II - prova di rottura multipla

(a) Applicare la pressione di confinamento iniziale p_0 . Il carico assiale e la pressione di confinamento dovrebbero essere incrementati in modo simultaneo fino al raggiungimento del valore prefissato della pressione iniziale p_0^{10} .

(b) Il carico assiale sia poi incrementato, mantenendo costante¹¹ la pressione di confinamento p_0 , fino ad osservare sulla curva sforzo assiale-deformazione assiale¹² il raggiungimento del corrispondente picco di resistenza (Punto A, Fig. 4a). Il carico assiale deve essere incrementato in modo continuo con una velocità di deformazione costante compresa nel campo 10^{-2} - 10^{-5} s⁻¹.

(c) La pressione di confinamento sia quindi incrementata manualmente in un unico passo, cioè da A ad A' nella Fig. 4b; si prosegua poi applicando unicamente il carico assiale secondo la procedura già descritta nel par. 4.3(b).

(d) Si prosegua secondo la procedura a gradini descritta nei par. 4.3(b) e 4.3(c) sino al raggiungimento del prescelto punto C (Fig. 4). La pressione di confinamento sarà poi mantenuta costante, mentre la deformazione assiale venga incrementata fino a produrre una ulteriore rottura; lo sforzo assiale si ridurrà al suo valore residuo¹³ (Punto D, Fig. 4).

(e) Si riduca in modo continuo la pressione di confinamento fino al rilascio completo del campione di prova (Fig. 4); in questo modo lo sforzo assiale e

la pressione di confinamento descriveranno l'inviluppo di resistenza residua. Le prove di tipo II, la cui procedura è stata appena descritta, e le prove di tipo III permettono di ottenere l'intero, o almeno una porzione sostanziale, dell'inviluppo di resistenza di picco con una singola prova. Tuttavia, i controlli e l'esperienza richiesti per condurre la prova di tipo III superano quelli richiesti per la prova di tipo II, cosa che deve essere presa in considerazione nella scelta della procedura di prova.

4.4. Procedura di tipo III - prova di rottura continua

(a) Applicare la pressione di confinamento iniziale p_0 . Il carico assiale e la pressione di confinamento dovrebbero essere incrementati in modo simultaneo fino al raggiungimento del valore prefissato della pressione iniziale p_0^{10} .

(b) Il carico assiale sia poi incrementato, mantenendo costante¹¹ la pressione di confinamento p_0 , fino ad osservare sulla curva sforzo assiale-deformazione assiale¹² il raggiungimento del corrispondente picco di resistenza (Punto A, Fig. 5). Il carico assiale deve essere incrementato in modo continuo con una velocità di deformazione costante compresa nel campo 10^{-2} - 10^{-5} s⁻¹, ed in modo che il punto A sia raggiunto entro i 5-15 min di carico.

(c) Una linea retta AB (Fig. 5a), parallela alla porzione lineare della curva carico assiale-deformazione assiale, sia disegnata a partire dal punto A corrispondente al picco di resistenza¹⁵. La pendenza V di questa linea retta sia proprio $V = E$, dove E rappresenta la pendenza della porzione lineare della curva carico assiale-deformazione assiale.

(d) All'aumentare del carico assiale alla velocità selezionata (vedi par. 4.4(b)) la pressione di confinamento sia simultaneamente incrementata in modo tale che la penna del plotter segua la linea AB. Le variabili carico assiale e pressione di confinamento siano continuamente registrati e rappresentati graficamente sul secondo plotter.

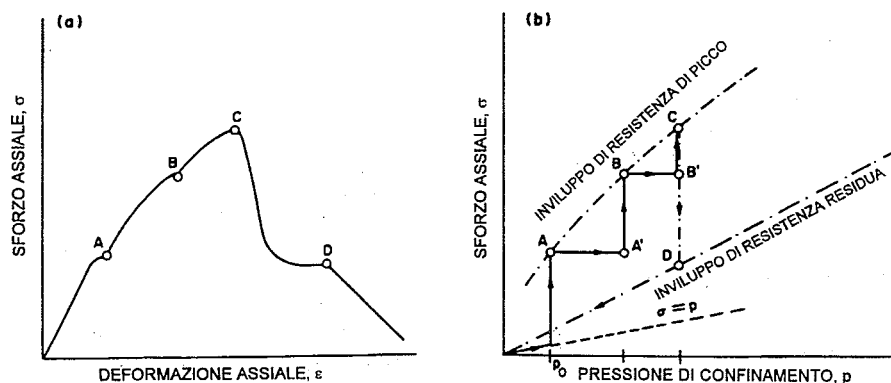


Fig. 4 - Prova triassiale di rottura multipla: (a) curva sforzo assiale-deformazione assiale; (b) curva sforzo assiale-pressione di confinamento

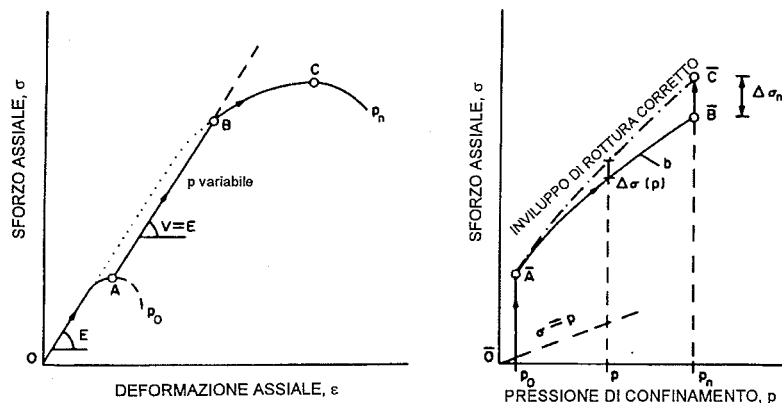


Fig. 5 - Prova triassiale di rottura continua

(e) Raggiunto un prefissato punto B (Fig. 5a) si manterrà costante¹¹ la pressione di confinamento ($p = p_n$), mentre verrà incrementato il carico assiale. Si osserverà di conseguenza una deviazione dalla linea retta AB che condurrà alla rottura nel punto C¹⁴. Un ulteriore incremento della deformazione assiale provocherà la caduta dello sforzo assiale al suo valore residuo¹³ (Punto D, Fig. 5a).

(f) Si riduca in modo continuo la pressione di confinamento fino al rilascio completo del campione di prova (Fig. 5); in questo modo lo sforzo assiale e la pressione di confinamento descriveranno l'inviluppo di resistenza residua^{13,15}.

5. Elaborazioni

(a) Lo sforzo assiale deve essere calcolato dividendo il carico assiale applicato durante la prova per la originale sezione trasversale del campione, secondo quanto indicato nel par. 3¹⁶.

(b) Nella prova di tipo III gli inviluppi di resistenza di picco e residua vengono ottenuti direttamente, mentre nelle prove di tipo I e II possono essere ricavati a partire dai singoli dati (Figg. 1a e b).

Gli inviluppi di resistenza di picco e residua possono essere approssimati matematicamente da una relazione lineare, o eventualmente da relazioni bilineari, secondo la legge $\sigma = m_i p + b_i$. La posizione delle rette è fissata dall'ordinata b_i , dalla tangente dell'angolo di inclinazione m_i , e dal campo di pressione di confinamento nel quale esse vengono applicate (Fig. 6). A partire dai parametri m e b , possono essere calcolati l'angolo d'attrito ϕ e la coesione «ipotetica» o «apparente» c (in base al criterio di resistenza di Coulomb¹⁷) secondo le

$$\phi_i = \arcsin \frac{m_i - 1}{m_i + 1}; \quad c_i = b_i \frac{1 - \sin \phi_i}{2 \cos \phi_i}$$

6. Relazione sui risultati

La relazione deve comprendere almeno i seguenti elaborati:

- (a) Dati sul campione di prova, inclusi: sito di provenienza, profondità ed orientazione, data e metodo di campionamento. Se possibile dovrebbe essere aggiunta una carta geografica che mostri il punto di prelievo.
- (b) Descrizione litologica della roccia, inclusa la dimensione dei grani.
- (c) Dettagli sui metodi utilizzati per la preparazione del campione di prova, ed anche la storia e le condizioni ambientali di conservazione del campione.
- (d) Orientazione dell'asse di carico rispetto alle direzioni di anisotropia, ai piani di stratificazione, ai piani di foliazione, ecc., del campione di prova.
- (e) Contenuto d'acqua e grado di saturazione al momento dell'esecuzione della prova.
- (f) Descrizione dell'attrezzatura di prova (pressa di carico, cella triassiale, dispositivi per l'applicazione e la misura della pressione di confinamento).
- (g) Data di esecuzione della prova.
- (h) Diametro ed altezza del campione di prova.

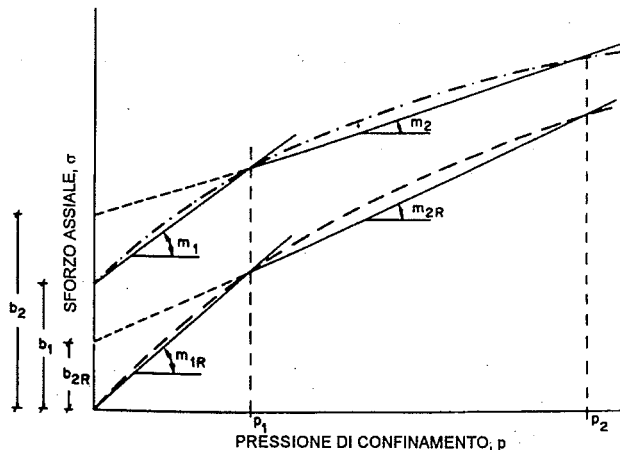


Fig. 6 - Inviluppi di resistenza di picco e residua e loro descrizione secondo due porzioni rettilinee individuate dai parametri, rispettivamente, m_i, b_i e m_{iR}, b_{iR}

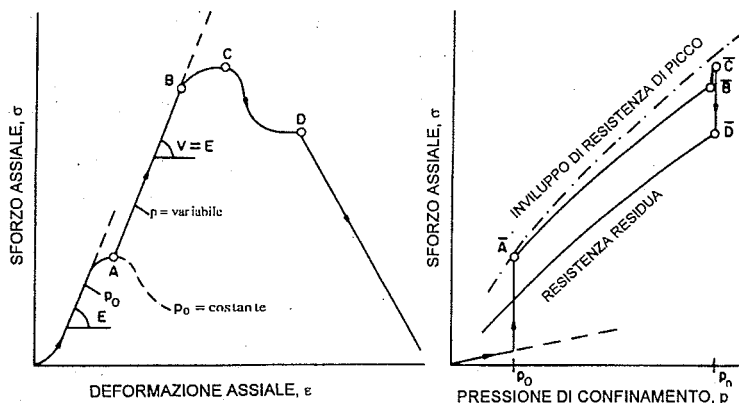


Fig. 7. Prova di tipo III; la pendenza $V = E$ prescelta conduce ad uno stato di pre-rottura caratterizzato da una riserva di resistenza

(i) Durata della prova e/o velocità di applicazione del carico e della deformazione.

(j) I disegni elaborati della prova secondo quanto specificato nei punti 2.5d, 4.2, 4.3 e 4.4. Per le «prove individuali» (tipo I) fornire anche una tabella che identifichi i campioni e che individui per ognuno la pressione di confinamento e la resistenza assiale.

(k) Tipo di rottura.

(l) Eventualmente i valori calcolati di c e ϕ (rispettivamente per le resistenze di picco e residua), insieme al campo di pressione di confinamento nel quale essi sono validi.

(m) Qualsiasi altra osservazione, come la densità, la porosità, citando il metodo utilizzato per la loro determinazione.

Titolo originale: «*Suggested Methods for Determining the Strength of Rock Materials in Triaxial Compression: Revised Version*» (Prepared by K. Kovari, A. Tisa, H.H. Einstein, J.A. Franklin), *Int. J. Rock Mech. e Min. Sci.*, 20, pp. 283-290.

Note

1. La resistenza di picco è definita come il massimo sforzo assiale che il campione intatto può sostenere ad una data pressione di confinamento.

2. Vengono fornite in questo punto solo le principali differenze tra i tipi di prove, le procedure dettagliate sono descritte nella Sez. 4.

3. L'influenza della pressione dei pori dipende dal tipo di roccia, dal contenuto d'acqua e dall'incremento di deformazione applicato. Quindi, non può essere fornito alcun suggerimento di carattere generale riguardante il contenuto d'acqua da adottare nelle prove preliminari o sugli effetti dovuti alla pressione dei pori. Inoltre, non sono stati stabiliti alcun valore della pressione dei pori da adottare nelle prove, né alcuna procedura di misura.

4. Le apparecchiature di carico richieste e le loro procedure di calibrazione sono fornite negli standards nazionali, ad esempio «*ASTM Method 4-64, Verification of Testing Machines*», *British Standard 1610: 1964, Grade A* oppure «*German Standards DIN 51 220, DIN 51 223 e DIN 51 300, class 1*».

5. Le presse caratterizzate da una rigidità superiore a 0.2 MN/mm sono considerate rigide, quelle la cui rigidità è in-

feriore a 0.1 MN/mm sono considerate flessibili; usualmente le presse rigide hanno rigidità comprese tra 1 e 2 MN/mm. Viene raccomandato l'uso di una pressa servo-controllata.

6. Le metà concave degli alloggiamenti sferici delle presse usualmente non possono ruotare; affinché sia tutto allineato durante l'installazione devono essere usati due snodi sferici.

7. La membrana, di durezza 60-70 Shore circa, sarà abbastanza flessibile da superare la resistenza dovuta alla deformazione laterale del campione.

8. L'accuratezza dei manometri dovrebbe essere 4-5 volte migliore della pressione di confinamento in corso.

9. Si è osservato che in alcuni casi, per alcuni materiali, è preferibile effettuare prove su campioni in differenti condizioni di contenuto d'acqua. Questa eventualità deve essere annotata nella relazione di prova.

10. La procedura per incrementare la pressione di confinamento da zero al valore prefissato dipende dall'attrezzatura di prova. Idealmente il carico iniziale dovrebbe essere tale da creare condizioni di sforzo idrostatico nel campione (cioè $\sigma = p$ per il carico iniziale fino al raggiungimento del valore $\sigma = p_0$). Se, tuttavia, durante l'applicazione del carico «idrostatico» la pressione di confinamento dovesse accidentalmente essere più alta dello sforzo assiale, il pistone di carico potrebbe perdere il contatto con il campione (per esempio gli snodi sferici potrebbero separarsi) ed il campione perderebbe così l'allineamento. La presenza di attriti nel sistema può così non consentire al campione di ritornare nella sua appropriata posizione. Quindi, la pressione di confinamento ed il carico assiale devono essere incrementati in modo tale che lo sforzo assiale nel campione superi sempre la pressione di confinamento, fino al raggiungimento della pressione di confinamento finale di prova, ma di non più di un 1/10 della resistenza a compressione uniassiale.

11. Una volta che sia stata raggiunta la pressione di confinamento finale, questa deve essere mantenuta entro il 2% del suo valore.

12. È possibile registrare e rappresentare graficamente il carico assiale rispetto allo spostamento assiale, oppure direttamente lo sforzo assiale rispetto alla deformazione assiale, o qualsiasi altra combinazione. Quello che verrà registrato e rappresentato graficamente dipende dall'attrezzatura di misura (ad esempio trasduttori di spostamento o estensimetri) e dalle procedure di calibrazione.

13. Il termine resistenza residua viene usato qui ad indicare la resistenza del dopo rottura, per valori della deformazione che possono essere ragionevolmente ottenuti nelle prove triassiali, ma che possono non essere sufficienti a raggiungere la «vera» resistenza residua di alcuni materiali. Se vengono richieste le resistenze residue «vere» o «a grande spostamento», devono essere effettuati altri tipi di prove.

14. La differenza di sforzo assiale $\Delta\sigma_n$, corrispondente all'incremento di sforzo dal punto B al punto C, rappresenta una riserva di resistenza; ovviamente il campione sperimenta stati di sforzo lungo la curva *b* che corrispondono a condizioni di pre-rottura (Fig. 7). Quindi, da una conoscenza dell'incremento di sforzo $\Delta\sigma_n$ la curva *b* dovrebbe essere corretta per ridurre la differenza tra l'inviluppo di resistenza «vero» e la curva *b*, secondo la

$$\sigma(p) = \Delta\sigma_n \frac{p - p_0}{p_n - p_0}$$

15. Nei casi di materiali fortemente fragili o di rigidità relativamente bassa della pressa di carico al raggiungimento della resistenza di picco può verificarsi una rottura improvvisa. In questo caso non sarà possibile ottenere la curva relativa alla resistenza di picco, ma solo quella relativa alla resistenza residua.

16. Gli sforzi assiali effettivi possono essere ricavati solo

se vengono misurate le deformazioni laterali, in modo da poter correggere l'originale area della sezione trasversale del campione di prova.

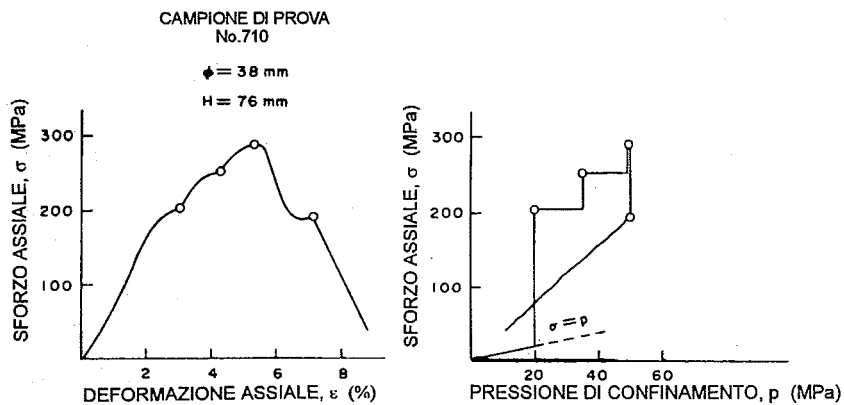
17. La coesione *c* non ha in questo contesto il suo usuale significato fisico, ma serve semplicemente a descrivere l'inviluppo di rottura. In particolare, si deve osservare che non può essere dedotta la resistenza a trazione del materiale dal valore della coesione apparente.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

FRANKLIN J. and HOEK E. (1970) - *Developments in triaxial testing technique*. Rock Mech. vol. II, pp. 223-228.
 JAEGER J.C. and COOK N.G.W. (1976) - *Fundamentals of Rock Mechanics*. Methuen, London.
 KOVARI K. and TISA A. (1975) - *Multiple failure state and strain controlled triaxial tests*. Rock Mech., vol. VII, pp. 77-33.
 KOVARI K., TISA A., and ATTINGER R.O. (1983) - *The concept of continuous failure state: triaxial tests*. Rock Mech. Rock Engng., vol. XVI, n. 2, pp. 117-131.

APPENDICE A1

PROVA TRIASSIALE DI ROTTURA MULTIPLA (TIPO II)



APPENDICE A2

PROVA TRIASSIALE DI ROTTURA CONTINUA (TIPO III)

