

Premessa alla traduzione delle Raccomandazioni ISRM per la determinazione della resistenza a compressione monoassiale e della deformabilità delle rocce

La resistenza alla compressione monoassiale di una roccia è uno dei parametri di laboratorio più importanti e il suo valore è universalmente impiegato nella caratterizzazione del materiale. Di conseguenza, la prova di compressione è probabilmente la più diffusa fra le tecniche sperimentali usate per la definizione quantitativa delle proprietà meccaniche.

Identiche condizioni di prova vengono adottate per la valutazione della deformabilità delle rocce, nel quadro di una interpretazione elastica della risposta del materiale, per valori non troppo alti della sollecitazione.

Le Raccomandazioni relative alla determinazione di resistenza e deformabilità della roccia intesa come materiale, alla scala del provino di laboratorio, forniscono le prescrizioni necessarie per garantire la ripetibilità delle prove e la loro corretta interpretazione. La cura dei dettagli imposta dalle norme, per quanto possa sembrare pedante, deve essere considerata indispensabile per la conduzione di prove apparentemente banali, ma di grande rilevanza nelle applicazioni.

Il curatore della traduzione
Mauro Borri Brunetto

Raccomandazioni per determinare la resistenza a compressione monoassiale e la deformabilità dei materiali rocciosi

Parte I

Raccomandazione per la determinazione della resistenza a compressione monoassiale dei materiali rocciosi

Campo di applicazione

Questo metodo di prova è rivolto alla misura della resistenza a compressione monoassiale di un saggio di roccia costituito da campioni dalla geometria regolare. La prova è rivolta soprattutto alla classificazione della resistenza e alla caratterizzazione della roccia integra.

Apparecchiatura

(a) Per applicare e misurare il carico assiale sul campione si impiegherà una macchina adeguata. Sarà di portata sufficiente ed atta ad applicare il carico ad una velocità in accordo ai requisiti indicati nella Sezione 3. Sarà verificata ad adeguati intervalli di tempo e dovrà soddisfare le normative nazionali in vigore, ad es. come prescritto in «ASTM Methods E4: Verification of Testing Machines» o in «British Standards 1610, Grade A» oppure in «Deutsche Normen DIN 51 220, DIN 51 223, Klasse 1, DIN 51 300».

(b) L'eventuale snodo sferico della macchina di prova, se non in accordo con la successiva specifica 2(d), sarà rimosso o bloccato, in modo che i due piatti della macchina di prova siano fra loro paralleli.

(c) Piastre d'acciaio in forma di dischi, aventi una durezza Rockwell non minore di HRC58 saranno posti alle estremità del campione. Il diametro delle piastre sarà compreso fra D e $D + 2$ mm, dove D è il diametro del campione. Lo spessore delle piastre sarà almeno pari a 15 mm o a $D/3$. Le superfici del disco saranno levigate con uno scostamento dalla planarità non superiore a 0.005 mm.

(d) Una delle due piastre dovrà essere dotata di uno snodo sferico. Lo snodo sferico sarà posto sull'estremità superiore del campione. Sarà leggermente lubrificato con olio minerale in modo da bloccarsi dopo che il peso della traversa sia stato applicato. Il campione, le piastre e lo snodo sferico saranno accuratamente centrati fra loro e rispetto alla pressa. Il centro di curvatura della superficie dello snodo do-

vrebbe coincidere con il centro della faccia superiore del campione.

Procedimento

(a) I provini saranno cilindri circolari retti aventi un rapporto fra l'altezza ed il diametro di 2.5-3.0 ed un diametro preferibilmente non inferiore alla dimensione della carota NX, approssimativamente 54 mm. Il diametro del campione dovrebbe essere correlato alla dimensione del più grande dei grani presenti nella roccia da un rapporto almeno 10:1.

(b) Le facce del campione saranno piane con uno scostamento inferiore a 0.02 mm e non si discosteranno dalla perpendicolarità rispetto all'asse del campione per più di 0.001 rad (circa $3.5'$) ovvero 0.05 mm su 50 mm.

(c) La superficie laterale del campione sarà liscia e priva di brusche irregolarità e con profilo rettilineo con uno scostamento non superiore a 0.3 mm sull'intera lunghezza del campione.

(d) Non è consentita l'interposizione di materiali per la trasmissione del carico alle teste o di trattamenti della superficie delle teste diversi da lavorazioni meccaniche.

(e) Il diametro dei provini sarà misurato con l'approssimazione di 0.1 mm calcolando la media delle misure di due diametri fra loro ortogonali effettuate nella parte superiore, a mezza altezza e nella parte inferiore del campione. Il diametro medio sarà usato per calcolare l'area della sezione trasversale. L'altezza del campione sarà determinata con l'approssimazione di 1.0 mm.

(f) I campioni saranno conservati, per non più di 30 giorni, in modo da mantenere il contenuto d'acqua naturale, per quanto possibile, e sottoposti a prova in quella condizione.* Questa condizione di umidità sarà riportata in accordo con le «Raccomandazioni per la determinazione del contenuto d'acqua di un campione di roccia», Comitato della Società Internazionale per la Meccanica delle Rocce sulle prove di laboratorio, Documento n. 2, Primo aggiornamento, dicembre 1977.

* Si ammette che in certi casi, per certi materiali, sia opportuno sottoporre a prova i campioni in altre condizioni di umidità, per esempio saturi o seccati in forno a 105°C. Tali condizioni saranno riportate nella relazione di prova.

(g) Il carico sul campione sarà applicato in modo continuo con una velocità di applicazione della tensione costante tale per cui la rottura avvenga entro 5-10 min di carico; in alternativa, la velocità di applicazione della tensione sarà compresa nei limiti di 0.5-1.0 MPa/s.

(h) Il massimo carico sul campione sarà registrato in newton (in kilonewton o meganewton, secondo il caso) con l'accuratezza di 1%.

(i) Il numero di campioni da sottoporre a prova dovrebbe essere determinato in base a considerazioni pratiche, ma si suggerisce l'impiego di almeno 5 provini.

Calcoli

(a) La resistenza a compressione monoassiale del campione sarà calcolata dividendo il massimo carico da questo sostenuto durante la prova per l'area iniziale della sezione trasversale.

Relazione sui risultati

(a) Descrizione litologica della roccia.

(b) Orientamento dell'asse di carico rispetto all'anisotropia del campione, ad es. piani di stratificazione, scistosità, ecc.

(c) Origine del saggio, comprendendo: posizione geografica, profondità ed orientamento, date e metodi di campionamento, procedimento e ambiente di conservazione.

(d) Numero di campioni sottoposti a prova.

(e) Diametro e altezza del campione.

(f) Contenuto d'acqua e grado di saturazione alla data della prova.

(g) Durata della prova e velocità di applicazione della tensione.

(h) Data della prova e tipo di macchina di prova.

(i) Modo di rottura, ad es. per taglio, fessurazione verticale, ecc.

(j) Qualsiasi altra osservazione e dati fisici disponibili, come il peso specifico, la porosità e la permeabilità, con citazione dei metodi di determinazione.

(k) Resistenza a compressione monoassiale per ogni campione del saggio, espressa con tre cifre significative, insieme con il valore medio per il saggio. Come unità di misura della tensione e della resistenza sarà impiegato il pascal (Pa) o suoi multipli.

(l) Qualora si rendesse necessario in qualche caso sottoporre a prova campioni che non soddisfacessero le prescrizioni sopra menzionate, si riporteranno queste condizioni nella relazione di prova.

BIBLIOGRAFIA

OBERT L., WINDES S. L., DUVALL W.I. (1946) - *Standardized tests for determining the physical properties of mine rocks*. U.S. Bureau of Mines Report of Investigations, n. 3981, p. 67.

INTERNATIONAL BUREAU FOR ROCK MECHANICS (1964) - *Richtlinien zur Durchführung von Druckversuchen an Gesteinen im Bergbau*. Bericht, 5. Landertreffen des I.B.G., Akademie-Verlag, Berlino, pp. 21-25.

U.S. CORPS OF ENGINEERS (1966) - *Strength parameters of selected intermediate quality rocks; testing procedures*. Missouri River Division Laboratory Reports, n. 64/493, pp. 1A-6A, 1B-7B.

ASTM - *Standard method of test for unconfined compressive strength of rock core specimens*. American Society for Testing and Materials, ASTM Designation, D 2938-71a.

HAWKES I. E. MELLOR M. (1970) - *Uniaxial testing in rock mechanics laboratories*. Engineering Geology, n. 4, pp. 177-285.

Parte 2

Raccomandazione per la determinazione della deformabilità dei materiali rocciosi in compressione monoassiale

Campo di applicazione

Questo metodo di prova è rivolto alla determinazione delle curve tensione-deformazione, del modulo di Young e del rapporto di Poisson in compressione monoassiale per un campione di roccia di geometria regolare. La prova è rivolta soprattutto alla classificazione ed alla caratterizzazione della roccia integra.

Apparecchiatura

(a) - (d) Si veda la Parte 1.

(e) Estensimetri elettrici a resistenza, trasduttori di spostamento LVDT, strumenti ottici o altri strumenti di misura adeguati. La loro disposizione sarà tale da permettere la determinazione della media di due misure di deformazione circonferenziale e di due misure di deformazione assiale in posizioni simmetriche per ciascun incremento di carico. Gli strumenti devono essere robusti e stabili, con una sensibilità alla deformazione dell'ordine di 5×10^{-6} .

Sia le deformazioni assiali, sia quelle circonferenziali saranno determinate con un'accuratezza del 2% della lettura e una precisione di 0.2% del fondo scala.

Se si impiegano estensimetri elettrici a resistenza, la lunghezza della base sulla quale si determinano le deformazioni assiali e circonferenziali sarà pari ad almeno 10 grani e gli estensimetri non saranno collocati nelle zone a distanza inferiore a $D/2$ dalle teste del campione, dove D è il diametro del campione stesso.

Qualora per misurare gli spostamenti assiali indotti dal carico si impiegassero micrometri o trasduttori LVDT, questi strumenti dovranno essere graduati per la lettura di 0.002 mm e dotati di un'accuratezza migliore di 0.002 mm in qualunque intervallo

di 0.2 mm e migliore di 0.005 mm in ogni intervallo di 0.25 mm. Il micrometro o il trasduttore LVDT non devono essere collocati nelle zone a distanza inferiore a $D/2$ dalle teste del campione.

(f) Un'apparecchiatura per registrare i carichi e gli spostamenti; preferibilmente un registratore X-Y in grado di tracciare direttamente le curve carico-spostamento.

Procedimento

(a) - (e) Si veda la parte 1.

(f) L'umidità può avere un effetto significativo sulla deformabilità del provino. Se possibile, le condizioni di umidità in situ si dovrebbero conservare fino al momento della prova. Quando sono richieste le caratteristiche del materiale roccioso in condizioni variabili da sature a secche, si prenderà nota delle condizioni di umidità in modo che sia possibile correlare la deformabilità e il contenuto d'acqua. L'eccessiva umidità può creare problemi di adesione agli estensimetri elettrici, rendendo necessario variare il contenuto d'acqua del campione. Le condizioni di umidità saranno riportate in accordo con le «Raccomandazioni per la determinazione del contenuto d'acqua di un campione di roccia», Comitato della Società Internazionale per la Meccanica delle Rocce sulle prove di laboratorio, Documento n. 2, dicembre 1977.

(g) Il carico sul campione sarà applicato in modo continuo con una velocità di applicazione della tensione costante tale per cui la rottura avvenga entro 5-10 min di carico; in alternativa, la velocità di applicazione della tensione sarà compresa nei limiti di 0.5-1.0 MPa/s.

(h) Il carico e le deformazioni o gli spostamenti assiali e circonferenziali saranno registrati ad intervalli di carico uniformemente spaziatati durante la prova, nel caso in cui non vengano registrati in modo continuo. Per definire le curve tensione-deformazione assiale e diametrale si dovrebbero eseguire almeno dieci letture durante l'applicazione del carico.

(i) Talvolta è opportuno eseguire alcuni cicli di carico e scarico.

(j) Il numero di campioni strumentati e sottoposti a prova con un determinato insieme di condizioni sarà dettato da considerazioni pratiche, ma si suggerisce l'impiego di almeno cinque provini.

Calcoli

(a) La deformazione assiale ϵ_a e la deformazione diametrale ϵ_d possono essere registrate direttamente da un'apparecchiatura che indichi la deformazione o possono essere calcolate dalle letture di sposta-

mento, a seconda del tipo di strumentazione, come discusso nel punto (e) del paragrafo relativo all'apparecchiatura.

(b) La deformazione assiale viene calcolata mediante l'espressione

$$\epsilon_a = \frac{\Delta l}{l_0}$$

dove:

l_0 = misura iniziale della lunghezza assiale

Δl = variazione della misura della lunghezza assiale (considerata positiva per una diminuzione di lunghezza)

(c) La deformazione diametrale si può determinare misurando le variazioni di diametro del campione o misurando la deformazione circonferenziale. Nel caso in cui si misurino le variazioni di diametro, la deformazione diametrale si calcola mediante l'espressione:

$$\epsilon_d = \frac{\Delta d}{d_0}$$

dove:

d_0 = diametro iniziale indeformato

Δd = variazione del diametro (considerata negativa per un aumento di diametro)

Nel caso in cui venga misurata la deformazione circonferenziale ϵ_c , la circonferenza è $C = \pi d$, e la variazione di circonferenza è $\Delta C = \pi \Delta d$. Quindi, la deformazione circonferenziale ϵ_c è legata alla deformazione diametrale ϵ_d

$$\epsilon_c = \frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta d}{d_0},$$

per cui

$$\epsilon_c = \epsilon_d$$

dove C_0 e d_0 sono rispettivamente la circonferenza iniziale e il diametro iniziale del campione.

(d) La tensione di compressione nel campione, σ , si calcola dividendo il carico di compressione P agente sul campione per l'area iniziale della sezione trasversale, A_0 , quindi:

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

dove, per questo procedimento di prova, si considerano positive tensioni e deformazioni di compressione.

(e) La Fig. 1 illustra un tipico diagramma della tensione assiale in funzione delle deformazioni assiali e diametrali. Queste curve mostrano il comportamento tipico dei materiali rocciosi a partire dal valore nullo della tensione fino alla resistenza ultima σ_u . Le curve complete danno la migliore descrizione del comportamento deformativo delle rocce con comportamento non lineare a bassi e alti livelli di tensione.

(f) Il modulo di Young assiale, E (definito come rapporto fra la variazione di tensione assiale e la variazione di deformazione assiale prodotta dalla variazione di tensione stessa) del campione si può calcolare usando uno qualunque dei vari metodi impiegati nella pratica ingegneristica corrente. I metodi più comuni, elencati nella Fig. 2, sono i seguenti:

(1) Il modulo di Young tangente, E_t , si misura ad un livello di tensione pari ad una certa percentuale prefissata della resistenza ultima (Fig. 2a). Viene generalmente calcolato ad un livello di tensione pari al 50% della resistenza ultima a compressione monoassiale.

(2) Il modulo di Young medio, E_m , si determina a partire dalla pendenza media della parte quasi rettilinea della curva tensione assiale-deformazione assiale (Fig. 2b).

(3) Il modulo di Young secante, E_s , si misura usualmente dalla tensione nulla a qualche percentuale prefissata della resistenza ultima (Fig. 2c), generalmente al 50%.

Il modulo di Young assiale E viene espresso nell'unità di misura della tensione, ad es. in pascal (Pa) ma il multiplo più appropriato è il gigapascal (1 GPa = 10^9 Pa).

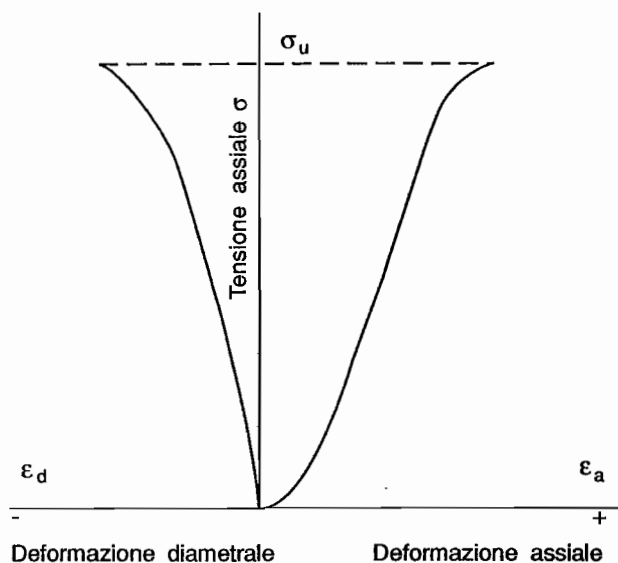
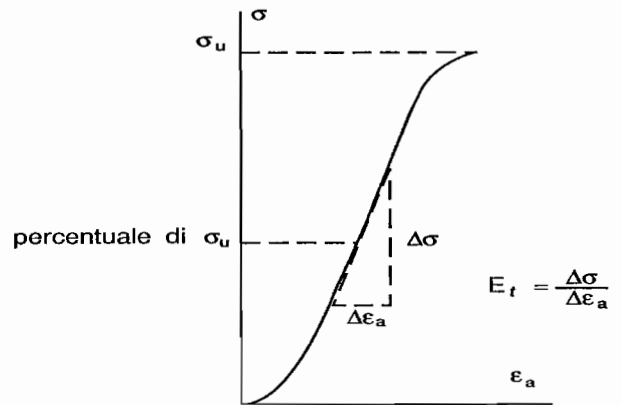
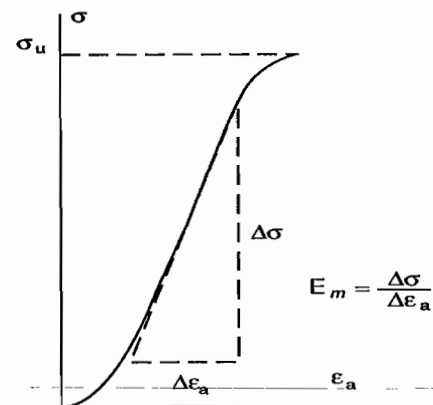


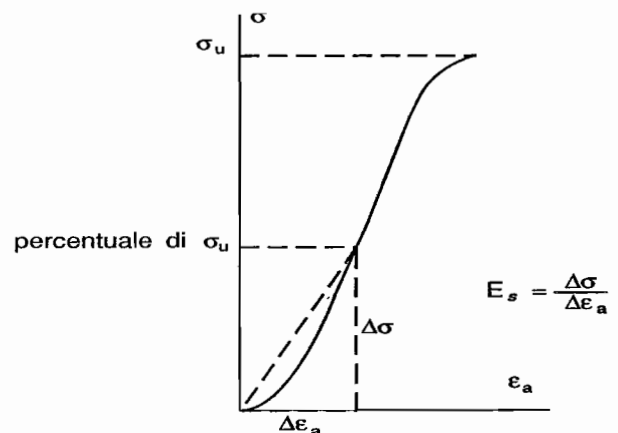
Fig. 1 - Formato per la presentazione grafica delle curve tensione-deformazione assiale e diametrale.



(a) Modulo tangente misurato ad una percentuale prefissata



(b) Modulo medio della parte lineare della curva tensione



(c) Modulo secante misurato fino a una percentuale prefissata

Fig. 2 - Metodi per calcolare il modulo di Young a partire dalla curva tensione-deformazione assiale.

(g) Il rapporto di Poisson, ν , si calcola mediante l'espressione

$$\nu = \frac{\text{pendenza della curva tensione-deformazione assiale}}{\text{pendenza della curva tensione-deformazione diametrale}}$$

$$= - \frac{E}{\text{pendenza della curva diametrale}}$$

dove la pendenza della curva diametrale si calcola con un metodo analogo ad uno dei tre modi discussi per il modulo di Young al punto (f). Si noti che in questa equazione il rapporto di Poisson ha un valore positivo, dato che la pendenza della curva diametrale è negativa, secondo le convenzioni adottate in questo procedimento.

(h) La deformazione di volume, ϵ_v , ad un certo livello di tensione, si calcola mediante l'espressione:

$$\epsilon_v = \epsilon_a + 2\epsilon_d$$

Relazione sui risultati

La relazione dovrebbe comprendere quanto segue:

(a) - (j) Si veda la Parte 1.

(k) I valori del carico applicato, della tensione e della deformazione, tabulati o registrati su un diagramma.

(l) Il modulo di Young ed il rapporto di Poisson per ciascun campione del saggio, espresso con tre cifre significative, unitamente ai valori medi per il saggio.

(m) Il metodo di determinazione del modulo di Young ed il livello (o i livelli) di tensione assiale al quale è stato calcolato.

(n) Qualora si rendesse necessario in qualche caso sottoporre a prova campioni che non soddisfano le prescrizioni sopra menzionate, si riporteranno queste condizioni nella relazione di prova.

BIBLIOGRAFIA

ASTM - *Standard method of test for elastic moduli of rock core specimens in uniaxial compression*. American Society for Testing and Materials, ASTM Designation, D 3148-72.