

**Premessa alla traduzione delle Raccomandazioni ISRM per la misura della resistenza al punzonamento**

La prova descritta nelle seguenti Raccomandazioni della International Society for Rock Mechanics è rivolta alla determinazione di un indice di resistenza per la classificazione e la caratterizzazione dei materiali rocciosi. Si tratta in effetti di una procedura semplice e speditiva, così come richiesto, d'altra parte, dalle finalità e dalle applicazioni cui è destinata.

Il valore numerico ricavato con la prova (*Point Load Strength Index*) è un indice di resistenza ad un carico puntuale, che presenta buona correlazione con la resistenza a compressione monoassiale della roccia, benché la rottura si manifesti, in genere, sotto condizioni simili a quelle ricorrenti in una prova di trazione indiretta.

Il vantaggio di questa determinazione consiste nella economicità della attrezzatura e nella celerità della prova globalmente intesa: infatti la preparazione del provino è molto semplice o talora non necessaria, e l'attuazione della prova richiede pochi minuti. Da ciò discende la possibilità di eseguire, già in cantiere, più determinazioni sui vari litotipi investigati, con risparmio economico e di tempo.

I curatori della traduzione

ANNAMARIA FERRERO

CLAUDIO OGGIERI

# Raccomandazioni ISRM per la misura della resistenza al punzonamento

## Scopo della prova

1. (a) La prova per la determinazione della resistenza al punzonamento intende fornire un indice di resistenza per la classificazione del materiale roccioso. Detta prova può anche essere utilizzata per la previsione di altri parametri di resistenza con i quali è correlabile, ad esempio con la resistenza a trazione e a compressione uniassiale<sup>1</sup>.

(b) La prova misura l'indice di resistenza al punzonamento dei provini in roccia ( $I_{s(50)}$ ) e il loro indice di anisotropia della resistenza ( $I_{a(50)}$ ) che è dato dal rapporto tra le resistenze al punzonamento nelle direzioni che forniscono il valore minimo ed il valore massimo.

(c) I provini di roccia, che possono essere: spezzoni di carota (prove diametrali e assiali), blocchi tagliati (prova su blocco), o pezzi di forma irregolare (prova su pezzi irregolari), sono rotti tramite l'applicazione di un carico concentrato applicato tramite punzoni conici con la punta sferica<sup>2</sup>. Non è prevista la preparazione del provino.

(d) La prova può essere realizzata tramite un'attrezzatura portatile o utilizzando un'attrezzatura di prova in laboratorio; può quindi essere realizzata in sito o in laboratorio.

## Strumentazione

2. La macchina di prova (Figura 1) comprende una parte predisposta per il caricamento (nella versione portatile tale parte comprende un telaio di carico, una pompa, i punzoni e i pistoni), un sistema per la misura del carico  $P$  necessario per portare a rottura il provino, ed un sistema per la misura della distanza  $D$  tra i due punti di contatto punta-provino (vedi il punto 5 e).

### Sistema di caricamento

3. (a) Il sistema di caricamento dovrebbe essere dotato della possibilità di regolazione della distanza tra le punte, che permetta di eseguire la prova su provini di dimensioni che variano all'interno di un intervallo definito. Solitamente le dimensioni dei provini variano tra i 15-100 mm e quindi è necessario

poter adattare la macchina sia a provini grandi sia a quelli piccoli.

(b) La capacità di carico dovrebbe essere sufficiente a portare a rottura anche i provini più grandi e resistenti<sup>3</sup>.

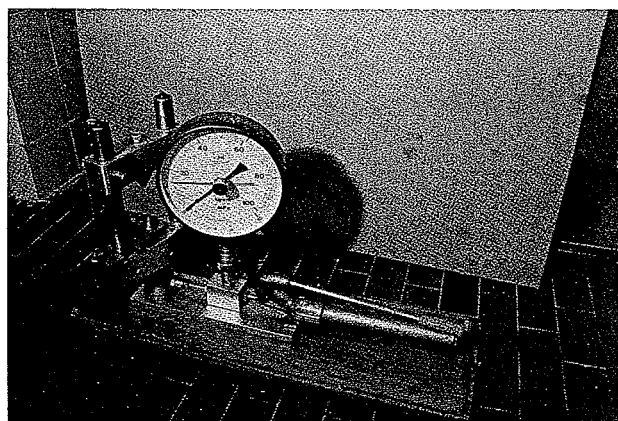


Fig. 1 - Fotografia di una attrezzatura portatile per prove di punzonamento.

(c) la macchina di prova deve essere progettata e costruita in modo tale che non resti deformata durante le applicazioni del massimo carico applicabile ed in modo tale che le punte restino coassiali durante la prova con una tolleranza di  $\pm 0.2$  mm. Non sono permessi snodi sferici o componenti non rigidi.

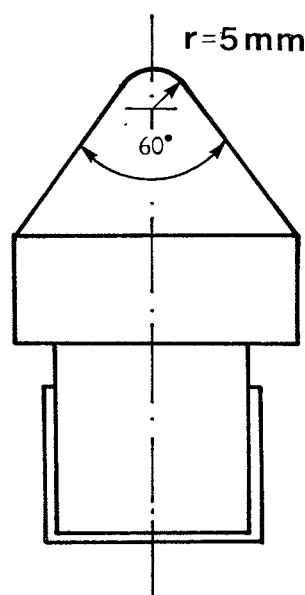


Fig. 2 - Forma dei punzoni e curvatura delle punte.

(d) Le punte coniche con terminazione sferica debbono avere la forma illustrata in Figura 2. Il cono deve avere un angolo al vertice di  $60^\circ$  e le punte sferiche un raggio di 5 mm; il cono deve raccordarsi lungo una tangente alla sfera<sup>4</sup>. Le punte dovrebbero essere realizzate con un materiale duro, come il carburo di tungsteno o acciaio trattato, in modo tale che non resti danneggiato durante la prova.

#### *Sistema di misura*

4.(a) Il sistema di misura, che può essere ad esempio costituito da una cella di carico, da un trasduttore di pressione idraulica o da un trasduttore connesso al circuito, dovrebbe permettere la determinazione del carico di rottura P e dovrebbe rispettare i requisiti riportati nei seguenti punti: (b)-(d).

(b) La misura di P dovrebbe essere effettuata con una precisione di  $\pm 5\%$  P o, meglio, in maniera indipendente dalle dimensioni e dalla resistenza del provino in esame<sup>3,5</sup>.

(c) Il sistema deve essere resistente a sollecitazioni idrauliche e a vibrazioni, in modo tale che l'accuratezza della lettura non sia inficiata dalla ripetizione delle prove.

(d) La rottura è spesso improvvisa e quindi è essenziale l'utilizzo di uno strumento che indichi il carico massimo in modo tale che il valore del carico venga registrato al termine di ogni prova.

#### *Sistema di misura della distanza*

5.(a) Il sistema di misura della distanza, tramite, ad esempio, una lettura diretta o con un trasduttore di spostamento, permette di misurare la distanza D tra i punti di contatto tra il provino e le punte e dovrebbe essere conforme ai requisiti espressi nei seguenti punti (b)-(d)<sup>6</sup>.

(b) La misura di D dovrebbe essere effettuata con una accuratezza di  $\pm 2\%$ D o, meglio, in maniera indipendente dalle dimensioni del provino.

(c) Il sistema di misura deve essere resistente alle sollecitazioni di tipo idraulico e alle vibrazioni in modo tale che la accuratezza delle letture non venga inficiata dall'uso della macchina.

(d) Il sistema di misura dovrebbe permettere un controllo del valore di «zero» quando le due punte vengono a contatto, e dovrebbe permettere la calibrazione del valore di zero.

(e) Uno strumento tipo un calibro o un righello di acciaio deve essere disponibile per la misura della larghezza W dei provini.

## **Procedura**

### *Scelta e preparazione del provino*

6.(a) Un campione di prova è costituito da una serie di provini di roccia di resistenza analoga per il quale è determinabile un singolo valore di Resistenza a Carico Puntuale.

(b) Il campione di prova da carote o frammenti deve contenere sufficienti provini adeguati ai requisiti di dimensione e forma per la prova diametrica, assiale, su blocco o pezzo irregolare come specificato oltre<sup>7</sup>.

(c) Per prove di routine e classificazione, i provini andrebbero sottoposti a prova sia in condizioni di completa saturazione in acqua che nelle condizioni di contenuto d'acqua naturale<sup>8</sup>.

### *Taratura*

7. L'attrezzatura di prova andrebbe periodicamente tarata per mezzo di una cella di carico tarata indipendentemente e di una serie di blocchetti per lo spostamento, verificando le letture di P e D sull'intera scala di carichi e spostamenti propri della prova.

### *La prova diametrica<sup>2</sup>*

8. (a) I provini da carote con rapporto lunghezza/diametro maggiore di 1.0 sono adeguati per la prova diametrica.

(b) Sarebbe preferibile condurre almeno 10 prove per campione, di più se il campione è eterogeneo o anisotropo<sup>7</sup>.

(c) Il provino viene collocato nell'apparecchiatura e i punzoni sono accostati sino a contatto lungo un diametro della carota, assicurandosi che la distanza L tra i punti di contatto e la più vicina estremità libera sia almeno 0.5 volte il diametro della carota (Fig. 3a).

(d) Si annota la distanza D con uno scarto del  $\pm 2\%$ <sup>6</sup>.

(e) Il carico viene incrementato uniformemente in modo che la rottura si manifesti nel giro di 10-60 secondi, e si registra il valore del carico di rottura P. La prova viene invalidata qualora la superficie della frattura passi solo per uno dei punti di applicazione del carico (Fig. 4d).

(f) La procedura da (c) sino ad (e) è ripetuta per i rimanenti provini del campione.

### *La prova assiale<sup>2</sup>*

9.(a) I provini con rapporto lunghezza diametro di 0.3-1.0 sono adatti per la prova assiale (Fig. 3.b).

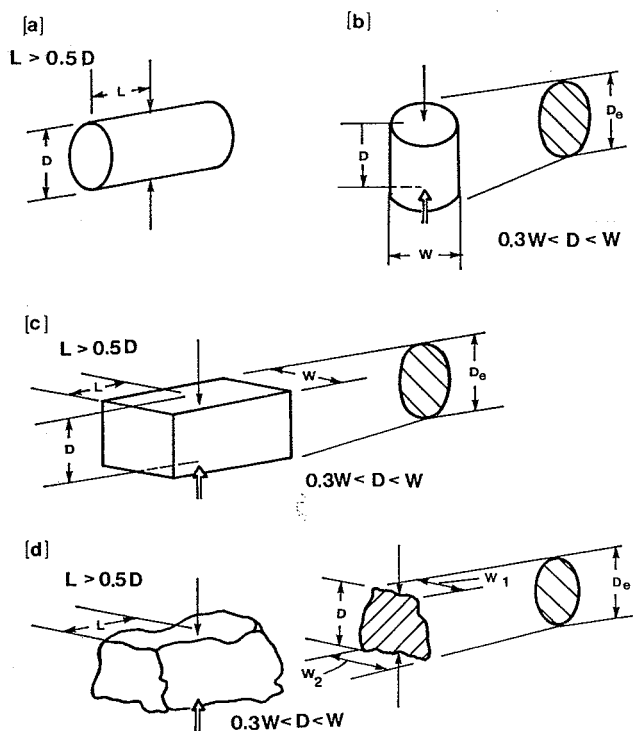


Fig. 3 - Forme dei provini richieste per : (a) prove diametrali, (b) prove assiali, (c) prove su blocco, (d) prove su pezzi di forma irregolare;  $w = (w_1 + w_2)/2$ ,  $D_e$  = diametro equivalente.

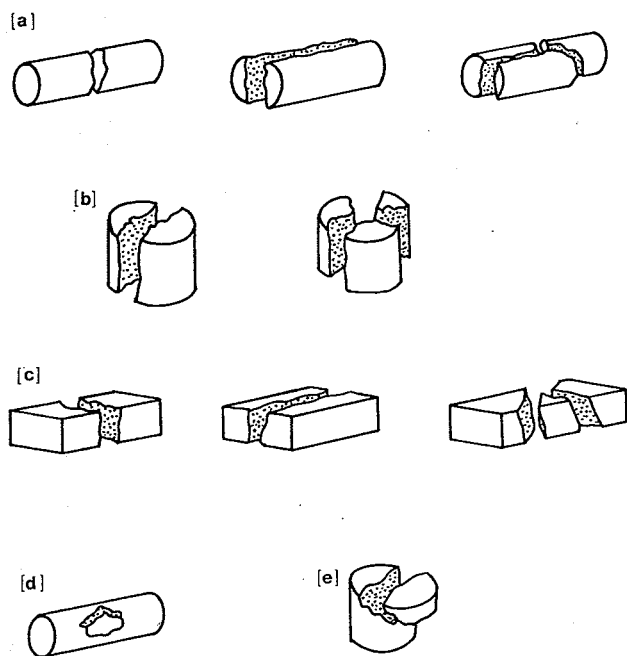


Fig. 4 - Modalità di rottura classiche per prove da considerarsi valide e non. (a) Prova diametrale valida, (b) prova assiale valida, (c) prova su blocco valida, (d) prova su carota non valida, (e) prova assiale non valida.

Spezzoni di carota di lunghezza opportuna possono essere impiegati per prove diametrali, in modo da fornire elementi di lunghezza adeguata a successive prove assiali (assicurandosi che non siano inde-

bolite da queste prime prove); in alternativa, provini adatti possono essere ottenuti con taglio al disco o preparazione per riquadratura.

(b) Andrebbero condotte preferibilmente almeno 10 prove per campione, di più se il campione è eterogeneo o anisotropo<sup>7</sup>.

(c) Il provino è inserito nell'attrezzatura e i punzoni sono portati a contatto lungo una direzione perpendicolare alle superfici terminali della carota (nel caso di rocce isotrope, all'asse della carota, altrimenti vedere i paragrafi 11 e Figura 5).

(d) La distanza tra i punti di contatto dei punzoni  $D$  viene annotata con uno scarto del  $\pm 2\%$ <sup>6</sup>. La larghezza  $W$  del campione, perpendicolarmente alla direzione di carico, viene annotata a meno del  $5\%$ <sup>9</sup>.

(e) Il carico è incrementato uniformemente in modo tale che la rottura si manifesti in 10-60 secondi e viene registrato il valore del carico di rottura  $P$ . La prova viene invalidata se la superficie di frattura passa solo attraverso uno dei punti di carico (Fig. 4 e).

(f) I punti da (c) ad (e) sopra descritti vengono ripetuti per i restanti provini del campione.

*Le prove su blocchetti e spezzoni irregolari*

10. (a) I blocchetti o gli spezzoni di dimensione  $50 \pm 35$  mm di forma evidenziata in Fig. 3(c) e (d) sono adatti per il tipo di prova su blocchetti o su spezzoni irregolari. Il rapporto  $D/W$  dovrebbe variare tra 0.3 e 1.0, preferibilmente attorno al valore 1.0.

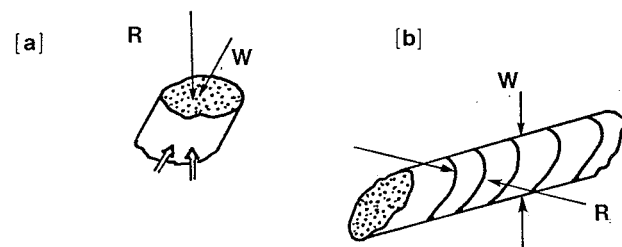


Fig. 5 - Direzioni di carico per prove su materiale anisotropo.  $R$  = corretta direzione di applicazione del carico;  $W$  = non corretta applicazione del carico.

La distanza  $L$  (Figg. 3c e d) dovrebbe essere di almeno  $0.5W$ . I provini di questa dimensione e forma possono essere scelti se disponibili oppure possono venire preparati profilando elementi di maggiori dimensioni con taglio al disco o scalpellatura.

(b) Andrebbero preferibilmente condotte almeno 10 prove per campione, di più se la roccia è eterogenea o anisotropa<sup>7</sup>.

(c) Il provino viene collocato nell'apparecchiatura di prova e si portano i punzoni a contatto con la dimensione minore dello spezzone o del blocchetto, lontano da lati o spigoli (Figg. 3c e d).

(d) La distanza  $D$  tra i punti di contatto dei punzoni è annotata con uno scarto del  $\pm 2\%$ . La larghezza minore  $W$  del provino, perpendicolare alla direzione del carico, è annotata con uno scarto del  $\pm 5\%$ . Se le facce non sono parallele, allora  $W$  è calcolato come  $(W_1 + W_2)/2$  come mostrato in Fig. 3d.<sup>6</sup> Questa larghezza minore  $W$  viene adottata indipendentemente dal tipo di rottura reale (Figg. 3 e 4).

(e) Il carico è incrementato uniformemente in modo che la rottura si manifesti in 10-60 secondi, annotando il valore del carico di rottura  $P$ . La prova viene invalidata se la superficie di frattura passa per uno solo dei punti di applicazione del carico (vedi esempi per le altre forme in Figg. 4d o e).

(f) La procedura da (c) sino ad (e) è ripetuta per i rimanenti provini del campione.

### Roccia anisotropa

11. (a) Qualora una roccia sia laminata, stratificata, scistosa o presenti altre anisotropie, vanno condotte prove in direzioni che diano i valori massimi e minimi di resistenza, cioè in generale parallelamente e perpendicolarmente ai piani di anisotropia.

(b) Se il campione è formato da carote ricavate attraverso i piani di debolezza, andrebbe dapprima eseguita una serie di prove diametrali, con spaziatura tale da fornire pezzi che possano essere poi sottoposti a prova assiale.

(c) I risultati migliori sono ottenuti quando l'asse del sondaggio è perpendicolare ai piani di debolezza, in modo che, quando possibile, le carote siano ricavate in questa direzione. L'angolo tra la direzione dell'asse della carota e la normale ai piani di debolezza non dovrebbe preferibilmente superare i  $30^\circ$ .

(d) Per la misurazione del valore  $I_s$  nelle direzioni di resistenza minima, andrebbe posta attenzione a verificare che il carico sia applicato lungo un singolo piano di debolezza. In modo simile quando si eseguono prove per determinare il valore di  $I_s$  nella direzione corrispondente alla resistenza massima, andrebbe posta attenzione nel verificare che il carico sia applicato perpendicolarmente ai piani di debolezza (Fig. 5).

(e) Se il campione è formato da blocchetti o spezzoni irregolari, si dovrebbe considerarlo ai fini della prova come formato da due sottocampioni, con il carico applicato dapprima perpendicolarmente e, dopo, lungo i piani di debolezza osservabili<sup>10</sup>. Ancora, il minimo valore di resistenza si ottiene quando i punzoni sono a contatto di un singolo piano di debolezza.

### Calcoli

#### Resistenza a punzonamento senza correzioni

12. La valutazione della resistenza a punzonamento  $I_s$  si calcola come  $P/D_e^2$  dove  $D_e$ , «diametro equivalente della carota» è dato da:

$$D_e^2 = D^2 \text{ per prove di tipo diametrali,} \\ = 4A/\pi \text{ per prove assiali, su blocchi, su campioni di forma irregolare}$$

e

A =  $WD$  = valore della minima superficie del fascio di piani passanti attraverso i punti di contatto delle punte<sup>6</sup>.

#### Correzioni relative alle dimensioni

13. (a)  $I_s$  varia in funzione del diametro nelle prove diametrali, e in funzione di  $D_e$  nelle prove assiali, su blocchi e su provini di forma irregolare. Conseguentemente è necessario apportare una correzione allo scopo di ottenere un unico valore di resistenza a punzonamento per un dato tipo di roccia, valore che può essere utilizzato come indice per la classificazione della resistenza delle rocce.

(b). Il valore della resistenza al punzonamento corretto  $I_{s(50)}$  di un campione o di un provino di roccia è definito come il valore di  $I_s$  riferito ad un provino standard di dimensioni  $D = 50$  mm.

(c) Il modo più affidabile per la definizione del valore  $I_{s(50)}$ , preferibile nel caso sia necessario ricorrere ad una specifica classificazione delle rocce, è quello di effettuare prove diametrali su provini di diametro pari, o prossimo, a  $D = 50$  mm. In questo caso infatti non sono necessarie correzioni relative alle dimensioni se non di piccola entità. Un caso ulteriore è quello delle prove svolte su provini ricavati da carotaggi NX,  $D = 54$  mm. Questa procedura non è sempre possibile. La maggior parte delle prove di punzonamento viene infatti svolta utilizzando provini di forma e dimensioni diverse. In questi casi sono necessarie le correzioni esposte ai punti (d) o (e).

(d) Il modo più affidabile per la determinazione del coefficiente correttivo di forma è quello di svolgere un certo numero di prove su provini di diverse dimensioni variabili tra  $D$  e  $D_e$  e di diagrammare la relazione ottenuta tra i valori di  $P$  e di  $D_e^2$ . In un piano bilogarithmico si ottiene solitamente una correlazione lineare (figura 6). I punti che si distanziano notevolmente da tale andamento possono essere trascurati (anche se non dovrebbero essere cancellati). Il valore di  $P_{50}$ , corrispondente al  $D_e^2 = 2500$  mm<sup>2</sup> ( $D_e = 50$  mm) può essere ottenuto per interpolazione, o, se necessario, per estrapolazione. In questo caso il fattore correttivo di forma dell'indice di punzonamento è ottenuto tramite  $P_{50}/50^2$ .

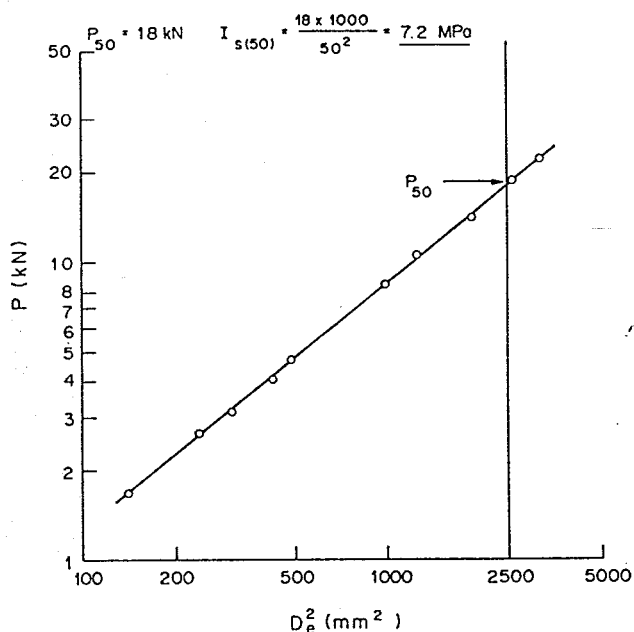


Fig. 6 - Procedura grafica per la determinazione di  $I_{s(50)}$  da una serie di risultati ottenuti su campioni con  $D_e$  diverso da 50 mm.

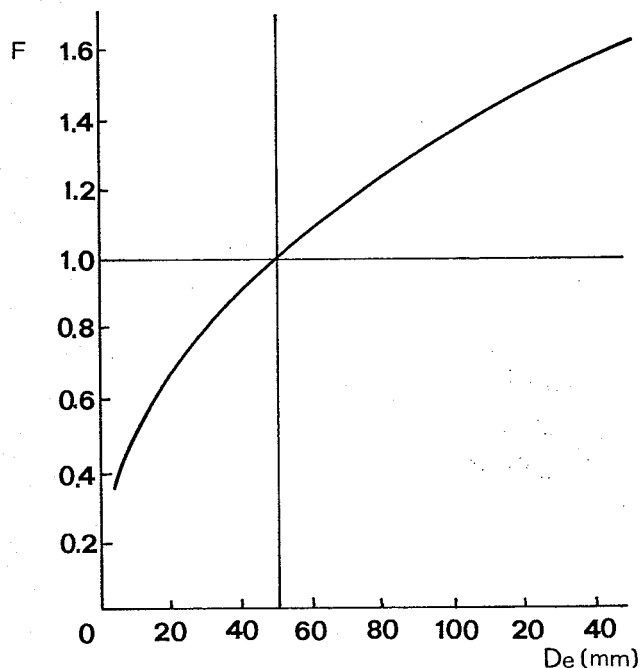


Fig. 7 - Grafico per la lettura dei fattori correttivi di forma.

(e) Nel caso in cui le procedure illustrate ai punti (c) o (d) non siano applicabili, per esempio nel caso in cui sia stato effettuato un singolo carotaggio di diametro diverso da quello pari a 50 mm o nel caso in cui siano disponibili solo campioni di roccia di

piccole dimensioni, la correzione relativa alla forma deve essere effettuata tramite la seguente formula:

$$I_{s(50)} = F \cdot I_s$$

Il fattore correttivo relativo alla forma  $F$  può essere ottenuto dal diagramma di Figura 7<sup>11</sup>, o dall'espressione:

$$F = (D_e/50)^{0.45}$$

Nel caso di prove realizzate su provini di dimensioni prossime alle dimensioni standard, 50 mm, si può utilizzare un'espressione approssimata senza introdurre errori rilevanti:

$$F = \sqrt{(D_e/50)}$$

(f) Le correzioni relative alla forma riportate in questo capitolo si sono dimostrate valide indipendentemente dal grado di anisotropia  $I_a$  e alla direzione di applicazione del carico relativamente alla giacitura dei piani di debolezza; queste ultime osservazioni evidenziano l'utilità di questo tipo di prova.

#### Calcolo del valore medio

14. (a) Il calcolo dei valori medi, definiti successivamente nel punto (b), risulta utile per l'uso delle classificazioni che si basano sull'indice di resistenza al punzonamento e sull'indice di anisotropia della resistenza al punzonamento.

(b) Il valore medio  $I_{s(50)}$  deve essere calcolato cancellando i due valori più alti e i due più bassi tra quelli determinati con un numero minimo di 10 prove e calcolando il valore medio tra quelli rimasti. Nel caso in cui si sia realizzato un limitato numero di prove, è necessario cancellare solo il valore più alto e quello più basso e calcolare la media tra i valori rimasti<sup>12</sup>.

#### Indice di anisotropia della resistenza al punzonamento

15. L'indice di anisotropia della resistenza al punzonamento  $I_{a(50)}$  viene definito come il rapporto tra i valori medi  $I_{s(50)}$  misurati perpendicolarmente e parallelamente ai piani di debolezza, i.e. il rapporto tra il massimo ed il minimo valore dell'Indice di Resistenza al punzonamento assume valori prossimi a 1 per rocce quasi-isotrope e valori più alti per rocce anisotrope.

### Riepilogo dei risultati ottenuti

16. I risultati ottenuti con prove diametrali, assiali, su blocchi o su pezzi di forma irregolare, con prove realizzate in direzione perpendicolare o parallela ai piani di debolezza dovrebbero essere tabulati separatamente (vedi uno schema tipico riportato in Figura 8). Lo schema dovrebbe contenere dati sulla calibrazione dell'attrezzatura e almeno le seguenti informazioni relative ai provini:

(a) Il numero del campione, il luogo di provenienza ed il tipo di roccia, la natura e l'orientazione in situ di ogni piano di debolezza o anisotropia riscontrato.

(b) Informazioni sul contenuto d'acqua al momento della prova.

(c) Informazioni su quale provino è stato provato parallelamente, perpendicolarmente, o con carico agente in direzione casuale o sconosciuta rispetto all'orientazione dei piani di debolezza.

(d) Una tabella dei valori di  $P$ ,  $D$ , ( $W$ ,  $D_e^2$  e  $D_e$  se richiesti),  $I_s$  ( $F$  se richiesto), e  $I_{s(50)}$  per ogni campione.

(f) Per campioni anisotropi è necessaria una tabella riassuntiva dei valori medi  $I_{s(50)}$  nelle direzioni parallela e perpendicolare ai piani di debolezza e i corrispondenti valori di  $I_{a(50)}$ .

### Annotazioni

1. La prova di punzonamento è stata introdotta, inizialmente, per la previsione della resistenza a compressione uniassiale che rappresenta la prova più rappresentativa per la classificazione delle rocce. La resistenza al punzonamento spesso sostituisce la resistenza a compressione semplice in questo ruolo, in quanto, se condotta correttamente, rappresenta una prova molto più facilmente e velocemente realizzabile.  $I_{s(50)}$  dovrebbe essere direttamente utilizzata per la classificazione delle rocce, in quanto la sua correlazione con la resistenza a compressione uniassiale è solo approssimata. Il valore della resistenza a compressione uniassiale risulta circa 20-25 volte la resistenza a punzonamento, come illustrato in Figura 9. Questo rapporto, in realtà, può variare tra 15 e 50 specialmente nel caso di rocce anisotrope, e, conseguentemente, l'errore che si commette stimando arbitrariamente il valore di tale rapporto per la valutazione della resistenza alla compressione semplice dalla resistenza al punzonamento misurata, può essere anche del 100%. La prova di punzonamento è una misura indiretta della resistenza a trazione ma questo rappresenta un fatto irrilevante se paragonato al suo ruolo principale nella classificazione delle rocce e caratterizzazione in base alla resistenza.  $I_{s(50)}$  è approssimativamente pari a 0.80 volte la resistenza a

trazione diretta o la resistenza misurata con la prova di trazione « Brasiliiana ».

2. La prova di tipo assiale con facce tagliate al disco è la più accurata tra le quattro tipologie di prova possibili, specialmente se realizzata su provini di dimensioni prossime alle dimensioni standard di 50 mm, ed è preferibile per la classificazione delle rocce in base alla resistenza specialmente se è stato realizzato un carotaggio. Provini con superfici tagliate al disco atti ad essere testati con prove assiali possono essere facilmente realizzati carotando in laboratorio un blocco. Provini di questa forma sono particolarmente indicati nel caso di rocce anisotrope dove sia facilmente individuabile la direzione dei piani di debolezza.

3. I provini di grandi dimensioni e di dimensioni più rilevanti richiedono carichi che possono raggiungere i 50 kN. Le dimensioni massime dei provini che possono essere utilizzati con una data macchina sono determinate dalla capacità di carico massima della macchina, mentre il carico minimo viene definito dalla sensibilità limite della macchina nella determinazione del carico e nella misura della distanza. L'utilizzo di provini di dimensioni inferiori a  $D = 25$  mm richiede particolare riguardo alla sensibilità di misura dell'attrezzatura utilizzata. Al fine di verificare l'adeguatezza dell'attrezzatura utilizzata è consigliabile stimare in modo approssimato la resistenza del provino prima della realizzazione della prova. Si potrebbe infatti verificare il caso in cui sia necessario cambiare la cella di carico o il dispositivo di misura del carico, oppure che si debbano realizzare provini di dimensioni diverse, più piccoli o più grandi, che meglio si adattino alle capacità massime della macchina o alla sua accuratezza di misura.

4. La forma conica delle punte è stata adottata con lo scopo di applicare una penetrazione standardizzata anche ai provini di materiale meno resistente. Nel caso di rocce molto resistenti e per le quali si preveda una penetrazione molto piccola (inferiore ai 2 mm), la forma conica delle punte diventa influente ma è importante assicurarsi che il raggio delle punte resti quello standard pari a 5 mm. Per questi casi specifici può essere necessario realizzare appositamente delle punte di acciaio più duro o di carburo di tungsteno incassate in un acciaio più tenero in modo tale che solo le punte restino a contatto con la roccia.

5. Se si utilizza un pistone a rientro rapido, per ridurre l'intervallo che intercorre tra le prove, è necessario che la somma della forza della molla di richiamo e dell'attrito sul pistone siano minori del 5% del più piccolo dei carichi misurati durante le prove. In caso contrario il carico dovrebbe essere determinato tramite una cella di carico indipendente, in

| Sample Details   |      |        | Point Load Test |        |                            |            | Date <u>17/11/83</u> |       |                 |  |
|--|------|--------|-----------------|--------|----------------------------|------------|----------------------|-------|-----------------|--|
| 1 block sample from Gamblethorpe Opencast site.  |      |        |                 |        |                            |            |                      |       |                 |  |
| Fine grained pale grey Coal Measures sandstone with numerous coaly streaks along horizontal bedding planes.  |      |        |                 |        |                            |            |                      |       |                 |  |
| Specimens 1-6 chisel cut blocks, air-dried 2 weeks;<br>7-10 sawn blocks, air-dried 2 weeks;<br>11-15 cores, air-dried 2 weeks;<br>16-20 cores, air-dried 2 weeks;<br>- tested in laboratory. |      |        |                 |        |                            |            |                      |       |                 |  |
| No.  | Type | W (mm) | D (mm)          | P (kN) | $D_e^2$ (mm <sup>2</sup> ) | $D_e$ (mm) | $I_s$                | F     | $I_s$ (50)      |  |
| 1  | i ⊥  | 30.4   | 17.2            | 2.687  | 666                        | 25.8       | 4.03                 | 0.75  | <del>3.03</del> |  |
| 2  | i ⊥  | 16     | 8               | 0.977  | 163                        | 12.8       | 5.99                 | 0.54  | 3.24            |  |
| 3  | i ⊥  | 19.7   | 15.6            | 1.962  | 391                        | 19.8       | 5.02                 | 0.66  | 3.31            |  |
| 4  | i ⊥  | 35.8   | 18.1            | 3.641  | 825                        | 28.7       | 4.41                 | 0.765 | 3.46            |  |
| 5  | i ⊥  | 42.5   | 29              | 6.119  | 1569                       | 39.6       | 3.90                 | 0.875 | 3.49            |  |
| 6  | i ⊥  | 42     | 35              | 7.391  | 1872                       | 43.3       | 3.95                 | 0.935 | <del>3.69</del> |  |
| 7  | b ⊥  | 44     | 21              | 4.600  | 1176                       | 34.3       | 3.91                 | 0.84  | 3.29            |  |
| 8  | b ⊥  | 40     | 30              | 5.940  | 1528                       | 39.1       | 3.88                 | 0.89  | 3.46            |  |
| 9  | b ⊥  | 19.5   | 15              | 2.040  | 372                        | 19.3       | 5.48                 | 0.655 | <del>3.59</del> |  |
| 10   | b ⊥  | 33     | 16              | 2.87   | 672                        | 25.9       | 4.27                 | 0.75  | <del>3.20</del> |  |
| 11   | d // | -      | 49.93           | 5.107  | -                          | -          | -                    | -     | 2.05            |  |
| 12   | d // | -      | 49.88           | 4.615  | -                          | -          | -                    | -     | 1.85            |  |
| 13   | d // | -      | 49.82           | 5.682  | -                          | -          | -                    | -     | <del>2.29</del> |  |
| 14   | d // | -      | 49.82           | 4.139  | -                          | -          | -                    | -     | <del>1.67</del> |  |
| 15   | d // | -      | 49.86           | 4.546  | -                          | -          | -                    | -     | 1.83            |  |
| 16   | d // | -      | 25.23           | 1.837  | -                          | -          | 2.89                 | 0.74  | 2.14            |  |
| 17   | d // | -      | 25.00           | 1.891  | -                          | -          | 3.02                 | 0.735 | 2.22            |  |
| 18   | d // | -      | 25.07           | 2.118  | -                          | -          | 3.37                 | 0.735 | <del>2.48</del> |  |
| 19   | d // | -      | 25.06           | 1.454  | -                          | -          | 2.32                 | 0.735 | <del>1.70</del> |  |
| 20   | d // | -      | 25.04           | 1.540  | -                          | -          | 2.46                 | 0.735 | 1.81            |  |

|                                      |                    |      |
|--------------------------------------|--------------------|------|
| d = diametral;                       | Mean $I_s$ (50) ⊥  | 3.38 |
| a = axial;                           | Mean $I_s$ (50) // | 1.98 |
| b = block;                           | $I_a$ (50)         | 1.71 |
| i = irregular lump test;             |                    |      |
| ⊥ = perpendicular;                   |                    |      |
| // = parallel to planes of weakness. |                    |      |

Fig. 8 - Schema tipico per la presentazione dei risultati di prove di punzonamento.

luogo del trasduttore di pressione dell'olio. Queste forze possono infatti rappresentare un disturbo significativo nel caso di provini di piccole dimensioni e realizzati in rocce tenere.

6. Nel caso in cui alla rottura corrisponda una significativa penetrazione della punta, la dimensione D da utilizzare nel calcolo della resistenza alla penetrazione dovrebbe essere il valore D' misurato in corrispondenza del carico di rottura; tale valore ri-

sulta inferiore al valore iniziale suggerito nelle formule dei paragrafi 8(d), 9(d) e 10(d). Nel caso di provini più resistenti l'errore che si commette considerando il valore della distanza iniziale D è trascurabile. Il valore di D misurato a rottura è comunque sempre preferibile nel caso in cui l'attrezzatura ne permetta la determinazione (tramite ad esempio la misura elettrica del carico massimo e dello spostamento). Nel caso di prove realizzate su provini di



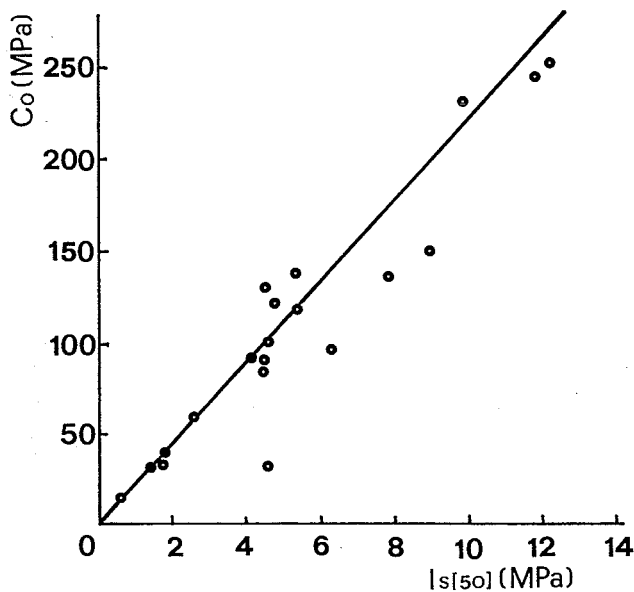


Fig. 9 - Esempio di correlazione tra i valori di resistenza al punzonamento e la resistenza a compressione semplice.  $C_o$  = Resistenza alla compressione semplice.

dimensioni inferiori a 25 mm di un materiale poco resistente è necessaria una attrezzatura che permetta una misura di tipo elettrico allo scopo di ottenere la adeguata accuratezza della misura; in questi casi inoltre sarebbe necessaria la lettura automatica di  $D'$  a rottura. Le misure di  $W$  o di  $D$  nel piano perpendicolare a quello che unisce le punte non sono influenzate e restano pari al valore originario. Il valore di  $D_e$  per il calcolo della resistenza può essere determinato tramite:

$$D_e^2 = D \cdot D' \text{ per carotaggi}$$

$$D_e^2 = 4/\pi (W \cdot D') \text{ per provini di forma diversa.}$$

7. Vista la natura stessa della prova, intesa come una prova semplice e pratica per la classificazione in situ della roccia, si possono considerare, per motivi pratici, provini di dimensioni, forma e numero diversi da quelli precedentemente indicati. Tali modifiche di procedura debbono essere chiaramente indicate nel rapporto. È comunque spesso meglio poter ottenere valori poco attendibili che nessuna indicazione. È questo, per esempio, il caso di rocce molto deteriorate o stratificate per le quali è molto difficile realizzare più provini delle stesse dimensioni e forma; un'altra possibile eventualità è quella in cui la prova venga utilizzata per la classificazione di un carotaggio del quale non si abbia a disposizione molto materiale. Nel caso di carotaggi il concetto di « campione » non ha molto significato e le prove vengono condotte ad intervalli arbitrari di profondità, ogni 1-3m dipendentemente dalla apparente varia-

bilità di resistenza del materiale carotato e dalla lunghezza totale del carotaggio.

8. Come tutte le altre prove che misurano la resistenza della roccia, anche il risultato di questa prova è influenzato dal contenuto di acqua. Le variazioni diventano sensibili per valori di saturazione inferiori al 25%. Provini secchi, ad esempio, risultano molto più resistenti di quelli umidi. Per valori di saturazione superiori al 50% la resistenza risulta meno influenzata da piccole variazioni del contenuto di acqua; a meno di richieste specifiche, si consiglia quindi di realizzare le prove su provini con un contenuto di acqua superiore al 50%.

Tutti i provini di uno stesso campionamento dovrebbero avere un uguale contenuto di acqua e tale contenuto dovrebbe essere scelto in modo adeguato alle condizioni di realizzazione del progetto. Prove in situ su provini scalpellati, non influenzati da fluidi di perforazione, permettono di realizzare prove con un contenuto di acqua prossimo a quello in situ. Se possibile è bene fornire delle indicazioni sul contenuto di acqua e sul grado di saturazione al momento della prova. I « Suggested method for water content determination » dell'ISRM possono essere applicati a questo scopo. In ogni caso, che si sia o no potuto misurare il contenuto di acqua del provino, è necessario indicare nella relazione le condizioni di conservazione del provino e il tempo intercorso dalla sua realizzazione al momento della prova.

9. Alcuni ricercatori sono concordi nel definire  $W$  come la dimensione della superficie minima dopo la rottura e non prima come indicato precedentemente (la normativa tedesca ne è un esempio). Il valore della resistenza al punzonamento calcolato con le due diverse procedure può variare sensibilmente. In questo contesto si preferisce suggerire l'utilizzo della minima superficie definita prima della rottura poiché spesso, specie se in situ, la perdita di frammenti del provino può rendere difficile la misura delle superfici dopo la rottura.

10. Nel caso di rocce naturalmente anisotrope, la dimensione minima risulta solitamente essere quella perpendicolare ai piani di debolezza.

11. La carta dei fattori correttivi riportati in Figura 7 è il risultato medio di prove realizzate su provini ricavati da carotaggi e sollecitati in direzione diametrale o assiale, su provini a blocchi o su provini di forma irregolare di rocce con diverse caratteristiche di resistenza. Alcune rocce non presentano questo tipo di comportamento e, in questo caso il fattore correttivo risulta approssimato, ma tuttavia sufficiente ai fini di una classificazione pratica di lavoro. Nel caso in cui si preveda di realizzare un grande numero di prove sullo stesso tipo di roccia, è consigliabile realizzarne, in primo luogo, un certo

numero di prove su provini di diverse dimensioni per disegnare un grafico di  $D_e^2$ -carico tipo quello riportato in Figura 6. L'inclinazione di tale grafico in una rappresentazione bilogarithmica è definito come «n», ed il fattore correttivo è quindi  $(D_e/50)^m$  dove  $m = 2(1-n)$ . Questo parametro può essere calcolato o costruito graficamente.

12. Nel caso di un limitato numero di misure è consigliabile realizzare il calcolo del valore medio dei valori escludendo i valori estremi.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) FRANKLIN J.A., BROCH E. and WALTON G. (1972) - *Logging the mechanical character rock*. Trans. Inst. Min. Metall., 80, A1-A9, (1971), and discussion 81, A43-A51.
- 2) BROCH E. and FRANKLIN J.A. (1972) - *The point load strength test*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., n. 9, pp. 669-697.
- 3) BIENIAWSKI Z.T. (1975) - *The point load test in geotechnical practice*. Engng Geol., n. 9, pp. 1-11.
- 4) BOISEN B.P. (1977) - *A hand portable point load tester for field measurements*. Proc. 18th U.S. Symp. on Rock Mech., Keystone, Colorado, pp. 1-4.
- 5) BROCH E. (1983) - *Estimation of strength anisotropy using the point load test*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstract, n. 20, pp. 181-187.
- 6) BROOK N. (1977) - *A method of overcoming both shape and size effects in point load testing*. Proc. Conf. on Rock Engineering, Univ. of Newcastle, England, pp. 53-70.
- 7) BROOK N. (1980) - *Size correction for point load testing*, Technical note, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstract, n. 17, pp. 231-235.
- 8) FITZHARDINGE C.F.R. (1978) - *Note on point load strength test*. Aust. Geomech. J., G8, n. 53.
- 9) FOSTER I.R. (1983) - *Influence of core sample geometry on the axial point load test*. Technical Note. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstract., n. 20, pp. 291-295.
- 10) GARTUNG E. (1982) - *Empfehlung Nr. 5 des Arbeitskreises 19 - Versuchstechnik Fels-der Deutschen Gellshaft fur Erdund Grundbau e.V. Punktlastversuche an Gesteinsproben*. Die Bautechnik, n. 59(1), pp. 13-15.
- 11) GREMINGER M. (1982) - *Experimental studies of the influence of rock anisotropy on size and shape effects in point load strength testing*. Technical note, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstract, n. 19, pp. 241-246.
- 12) GUIDICINI G., NIEBLE C.M. & CORNIDES A.T. (1973) - *Analysis of point load test as a method for preliminary geotechnical classification of rocks*. Bull. Int. Ass. Engng. Geol., n. 7, pp. 37-52.
- 13) HARAMY K.Y., MORGAN T.A. and DE WAELE R.E. (1981) - *A method for estimating coal strengths form point load tests on irregular lumps*. USBM, Denver Research Center, Progress Rept. 10028, pp. 31.
- 14) HASSANI F.P., SCOBLE M.Y. and WHITTAKER B.M. (1980) - *Application of the point load index test to strength of rock, and proposals for a new size correction chart*. Proc. 21st U.S. Symp. on Rock Mech., Rolla, Missouri, pp. 543-556.
- 15) INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS (1972) - *Suggested method for determining the point load strength index*. ISRM (Lisbon, Portugal), Committee on Field Tests, Document n. 1, pp. 8-12.
- 16) LAJTAI E.Z. (1980) - *Tensile strength measurement and its anisotropy measured by point-and line-loading of sandstone*. Engng Geol., n. 15, pp. 163-171.
- 17) PELLIS P.J.L. (1975) - *The use of the point load test in predicting the compressive strength of rock materials*. Aust. Geomech. J., G5, pp. 53-56.
- 18) PENG S.S. (1976) - *Stress analysis of cylindrical rock disks subjected to axial double point load*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstract, n. 13, pp. 97-101.
- 19) READ J.R.L., THORNTON P.N. and REGAN W.M. (1980) - *A rational approach to the point load test*. Proc. 3rd Aust. N.Z. Conf. on Geomechanics, vol. II, Wellington, pp. 35-39.
- 20) REICHMUTH D.R. (1968) - *Point load testing of brittle materials to determine tensile strength and relative brittleness*. Proc. 9th U.S. Symp. on Rock Mech., Colorado.
- 21) ROBBINS P.J. (1980) - *The point load test for concrete cores*. Mag. Concr. Res., n. 32, pp. 101-111.
- 22) WIJK G. (1978) - *Some new theoretical aspects of indirect measurements of the tensile strength of rocks*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstract., n. 15, pp. 149-160.
- 23) WIJK G. (1980) - *The point load test for the tensile strength of rock*. Geotech. Testing J., pp. 49-54.