

## *Proposte metodologiche per la determinazione dello stato di sollecitazione della roccia*

### **Introduzione**

La Commissione sulla Standardizzazione delle prove in situ e di laboratorio, nel seguito denominata Commissione sulle Metodologie di Prova, è stata fondata nel 1967. A seguito delle risposte relative ad un questionario diffuso tra tutti i membri dell'ISRM, che hanno mostrato chiaramente una comune richiesta per la standardizzazione delle procedure di prova, sono state definite quali dovessero essere le prove da standardizzare e la relativa priorità. Inoltre è stato deciso che le prove oggetto di ricerca, incluse numerose prove di caratterizzazione fisica della roccia, dovessero essere considerate al di fuori dello scopo della standardizzazione.

Il presente documento è stato redatto grazie allo sforzo di un gruppo di lavoro appartenente alla Commissione che include numerosi membri del Comitato sulle prove in situ. Nella prima pagina è riportato un elenco dei collaboratori. La maggior parte del lavoro si è potuta realizzare grazie al coordinamento del Dr. J. A. Franklin del Canada (prima del 1983) e del Dr. K. Kim degli Stati Uniti d'America (a partire dal 1983).

L'intenzione di queste Proposte Metodologiche è quella di specificare le procedure di prova per la determinazione dello stato di sollecitazione della roccia e di raggiungere un certo grado di standardizzazione senza tuttavia ostacolare lo sviluppo o il perfezionamento delle tecniche.

Chiunque sia interessato a queste proposte e desiderasse suggerire ulteriori indicazioni o modifiche potrà scrivere al Secretary General, International Society of Rock Mechanics, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 101 Avenida do Brasil, P-1799 Lisboa Codex, Portugal.

### **Proposte metodologiche per la determinazione dello stato di sollecitazione della roccia**

#### *Introduzione tecnica*

In sottoterraneo le masse rocciose sono sottoposte a forze di compressione che generalmente si incrementano con la profondità. L'entità dell'incremento, comunque, varia in funzione di diversi fattori. I

dati relativi allo stato di sollecitazione in situ misurato in diverse Nazioni indicano che la sollecitazione verticale varia in maniera maggiormente prevedibile rispetto a quella orizzontale, in quanto direttamente influenzata dal carico del terreno di copertura.

Quando viene realizzato un vuoto nella massa rocciosa, lo stato di sollecitazione naturale viene localmente modificato e la massa rocciosa deve raggiungere un nuovo stato di equilibrio. La sollecitazione nell'intorno di un vuoto realizzato dalle attività umane viene definita "sollecitazione indotta" in opposizione alle "sollecitazione vergine" o "sollecitazione assoluta" che definiscono invece lo stato di sollecitazione originario o indisturbato. Questo stato di sollecitazione naturale è spesso indicato semplicemente come "sollecitazione in situ". Le "proposte metodologiche" presentate in questa pubblicazione trattano principalmente dello stato di sollecitazione naturale. In sottoterraneo la sollecitazione in situ è talvolta talmente alta (relativamente alla resistenza della massa rocciosa) da causare colpi di tensione, cedimenti, ribaltamenti, sollevamenti o altri problemi di controllo della roccia. In questi casi, per il progetto e la costruzione di strutture ingegneristiche all'interno della massa rocciosa, la conoscenza dello stato di sollecitazione in situ diviene di importanza fondamentale. Spesso, nei casi in cui l'effetto della sollecitazione è meno drammatico, la forma ottimale, l'orientamento e la disposizione delle strutture sotterranee, così come pure l'efficacia e i costi finali dei sistemi di supporto della roccia, possono essere significativamente influenzati dalla sollecitazione in situ.

I fattori che influenzano l'entità e l'orientamento della sollecitazione in situ comprendono il peso dei materiali di copertura, le strutture geologiche (a scala locale e regionale), le forze tettoniche all'interno della crosta terrestre, le sollecitazioni residue e quelle termiche. La complessità delle relazioni che intercorrono fra questi fattori e la sollecitazione in situ generalmente impedisce una stima attendibile della sollecitazione naturale cui la roccia è sottoposta. A ciò bisogna aggiungere che le tecniche di determinazione della sollecitazione della roccia, non essendo questa direttamente misurabile, si basano sulla misura di alcune reazioni (es.: spostamento, variazione di lunghezza, deformazione) che sono in-

dotte, all'interno della massa rocciosa, da una causa perturbante. La risposta della roccia, misurata in una zona soggetta a sollecitazioni (es. la parete di una galleria) viene estrapolata, all'esterno del vuoto, mediante modelli numerici o tecniche analitiche; diversamente le misurazioni devono essere fatte utilizzando un foro di sondaggio che raggiunga una zona indisturbata della massa rocciosa. In quest'ultimo caso il metodo di determinazione della sollecitazione deve tener conto del disturbo causato dal foro di sondaggio.

Al fine di ottenere metodi di misura delle sollecitazioni in situ attendibili, sono stati effettuati molti tentativi. TINCELIN [4], OBERT *et al.* [3], HAIMSON e FAIRHURST [1] e LEEMAN [2] hanno compiuto significativi sforzi pionieristici per sviluppare metodologie di misura della sollecitazione. Tra i metodi proposti, i tre che hanno ricevuto i più ampi consensi sono il metodo del martinetto piatto, il metodo del sovracarotaggio e quello della fratturazione idraulica. Le tecniche presentate in queste "Proposte Metodologiche" sono state selezionate in base alla loro utilizzazione e al grado di approvazione di cui godono in seno alla comunità dei geomeccanici. Ciò, a sua volta, riflette la relativa accoglienza della base teorica delle varie tecniche disponibili e la fiducia in questi metodi che è maturata attraverso le indagini di laboratorio, la ricerca sul campo e la pratica ingegneristica.

È importante sottolineare che i metodi di determinazione della sollecitazione della roccia si completano l'uno con l'altro: ciascuno offre vantaggi e svantaggi rispetto alla particolare applicazione. Inoltre, la crescente necessità di accurate e attendibili valutazioni della sollecitazione della roccia garantirà la continua evoluzione delle tecniche di misura e delle procedure di analisi dei dati e di conseguenza porterà a risolvere le incertezze e le difficoltà attualmente esistenti.

Ricevuto il 13 Gennaio 1986

## Bibliografia

1. HAIMSON B. C. and FAIRHURST C. (1967) - *Initiation and extension of hydraulic fractures in rock*. Soc. Petrol. Engrs. J. 7, 310-318.
2. LEEMAN E. R. (1969) - *The CSIR doorstopper and triaxial rock stress measuring instruments*. Proc. ISRM Symp. on the Determination of Stresses in Rock Masses, pp. 578-616, L.N.E.C., Lisbon.
3. OBERT L., MERRILL R. H. and MORGAN T. A. (1962) - *Borehole deformation for determining the stress in mine rock*. USBM RI 5978.
4. TINCELIN M. E. (1952) - *Mesures des pressions de terrain dans les mines de fer de l'est*. Ann. Inst. tech. Bâtim. 58, 972-990.

## Metodo 1: metodo proposto per la determinazione dello stato di sollecitazione della roccia mediante l'uso del martinetto piatto

### Obiettivo

1. (a) Il metodo viene proposto per il rilevamento della sollecitazione nell'intorno ed in direzione parallela alla superficie della roccia esposta in uno scavo. Ogni misurazione permette di valutare la sollecitazione in una sola direzione, perciò, per determinare il tensore della sollecitazione è richiesto un minimo di sei misure, in direzioni indipendenti.

(b) Il metodo comporta l'osservazione del movimento di coppie di capisaldi di misura posizionate su facce opposte di un intaglio quando quest'ultimo è realizzato e, successivamente, quando nella parte interna della superficie dell'intaglio è applicata una pressione.

(c) Le misure possono essere effettuate anche in rocce fratturate purché l'intaglio possa essere praticato e rimanere aperto per tutta la durata del processo di installazione del martinetto piatto.

(d) Il metodo può essere utilizzato su materiali che non manifestino necessariamente proprietà elastiche ed isotropia, purché vengano apportate correzioni per ritenere validi i risultati<sup>1</sup>.

### Attrezzatura

2. (a) Un martinetto piatto è costituito da due sottili lastre di acciaio o di altri opportuni materiali, saldate insieme lungo il bordo in modo da formare una tasca piatta di almeno 0.1 m<sup>2</sup> di superficie, dotata di un tubo idraulico sporgente, di immissione, connesso ad un tubo idraulico flessibile e ad una valvola di sfiato. La scelta della forma del martinetto piatto dipende dal metodo utilizzato per praticare l'intaglio<sup>2</sup>. Particolare attenzione dovrebbe essere posta nell'esecuzione della saldatura lungo il bordo delle due lastre e intorno al tubo idraulico di immissione in modo da consentire al martinetto piatto di espandersi, reversibilmente e senza perdite, dall'installazione sino alla massima pressione di prova.

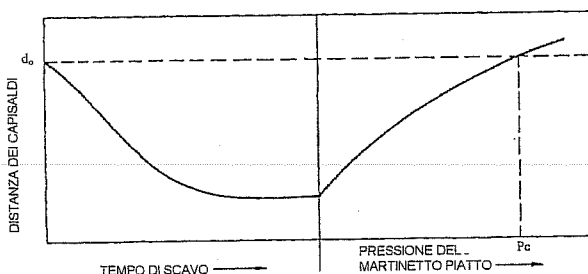
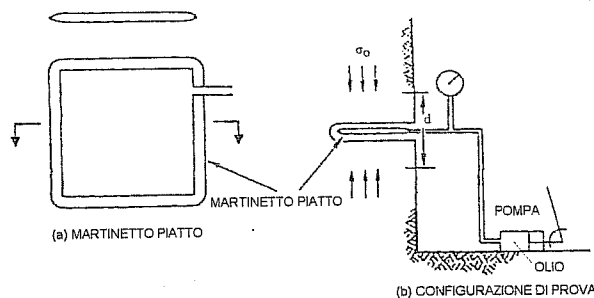
(b) Una pompa idraulica ad azionamento manuale o elettrico, connessa ad una valvola di non ritorno. La pressione dovrebbe essere misurata mediante trasduttori aventi una precisione di almeno il 5% della sollecitazione prevista. Il sistema, connesso per mezzo di tubi flessibili ad alta pressione, dovrebbe essere in grado di mantenere qualsiasi pressione, nell'intervallo desiderato, per almeno 5 minuti.

(c) Due o più coppie di capisaldi di misura cementati in fori praticati nella roccia sui lati opposti dell'intaglio del martinetto piatto. Il tipico caposaldo di misura ha 12 mm di diametro e 150 mm di

lunghezza; queste dimensioni dipendono dalla qualità della roccia. La parte terminale in vista di ciascun caposaldo di misura e la distanza  $d$  (Figura 1) fra capisaldi dovrebbero essere adatte allo strumento di misura (vedi paragrafo 2 (d)). In aggiunta ai capisaldi di misura in superficie possono essere installati degli strumenti in foro (misuratori di sollecitazione). Nel caso in cui la superficie di roccia esposta appaia disturbata dai lavori di scavo, è preferibile misurare gli spostamenti ad una profondità sufficiente ad evitare la roccia danneggiata.

(d) Un misuratore di spostamento meccanico o elettrico, rimovibile, con una lunghezza media della base di misura fra 150 e 220 mm o, per martinetti piatti di grandi dimensioni, da 1/3 a 1/2 della dimensione del martinetto. L'intervallo di misura dovrebbe essere almeno di 5 mm e la risoluzione per ciascuna lettura dovrebbe essere di almeno 0.002 mm o superiore.

(e) Un idoneo trapano da roccia o tagliatrice per praticare l'intaglio del martinetto piatto<sup>2</sup>. Gli intagli possono essere realizzati con perforazioni sovrapposte (perforazione a cucitura), con tagliatrici a disco o a filo. Quando si usano perforazioni sovrapposte, gli intagli dovrebbero avere diametro non superiore a 40 mm e sovrapposizione di 1/3 - 1/2 dello stesso.



(c) DISTANZA DEI CAPISALDI IN FUNZIONE DEL TEMPO DI SCAVO DELL'INTAGLIO E DELLA PRESSIONE DEL MARTINETTO PIATTO (IN EVIDENZA LA PRESSIONE DI AZZERAMENTO  $P_c$ )

Fig. 1 - Prova del martinetto piatto<sup>2</sup>. (a) Martinetto piatto. (b) Configurazione di prova. (c) Grafico distanza dei capisaldi / progressione dello scavo dell'intaglio e pressione del martinetto piatto ( $P_c$  = pressione di annullamento).

(f) Strutture di montaggio, sagome, maschere ed altri equipaggiamenti per facilitare l'accurata perforazione dei fori per i capisaldi di misura, l'installazione degli stessi e l'esecuzione dell'intaglio del martinetto piatto.

(g) Per l'installazione dei capisaldi di misura e del martinetto piatto sono necessari: cemento, betoniera e attrezzatura per la messa in opera del cemento<sup>3</sup>. Il cemento dovrebbe avere resistenza simile a quella della roccia in cui si stanno effettuando le prove. Generalmente si utilizza cemento Portland o resine epossidiche. Queste ultime induriscono molto rapidamente e per questo motivo sono normalmente utilizzate per fissare i capisaldi di misura.

### Procedimento

#### Scelta del sito

3. (a) Nella scelta della porzione di roccia in cui condurre la prova, va tenuto in conto il numero di determinazioni che devono essere effettuate in quell'area. Sono necessarie un minimo di sei prove in direzioni indipendenti per ottenere il tensore completo della sollecitazione, tuttavia generalmente vengono condotte delle prove supplementari in altra posizione per ottenere, in sede di interpretazione, una migliore stima dei risultati.

Il migliore schema di prova da adottare in galleria o in una via di accesso al sotterraneo prevede nove prove: tre nella volta, tre nelle pareti laterali e tre nel fronte. Nella figura 2 è illustrato un esempio di disposizione degli intagli per le prove con il martinetto piatto. Le prove dovrebbero essere condotte il più possibile senza interferire l'una con l'altra e dovrebbero essere ubicate ad un minimo di cinque volte il diametro della galleria da ogni altra apertura.

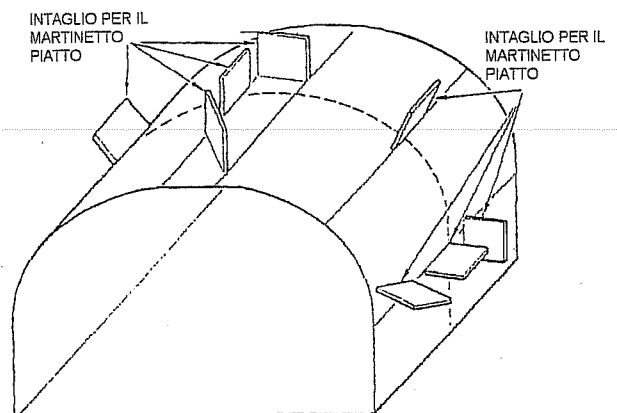


Fig. 2 - Esempio di disposizione degli intagli per la prova del martinetto piatto.

(b) Una volta determinata l'ubicazione dell'area di prova, lo scavo in detta area deve essere effettuato con la massima cura. È consigliabile lo scavo con profilatura della zona di prova seguito da un accurato disgrego delle porzioni di roccia instabile.

Scelta e preparazione dei siti per le singole prove

4. (a) Ciascuna prova dovrebbe essere effettuata su di una superficie rocciosa compatta, piana o lievemente concava. La roccia, se colpita con una barra o con una punta d'acciaio, dovrebbe produrre un'eco sonora (non dovrebbe suonare a vuoto). Se non è immediatamente disponibile un'area adatta, la superficie di prova deve essere preparata per mezzo di uno scavo manuale o con attrezzature pneumatiche. Se sono presenti sovraescavazioni locali, dovrebbe essere tenuta in conto una eventuale modificazione della geometria della galleria.

(b) La distanza fra il sito di prova e ogni significativa discontinuità geologica o irregolarità della superficie della roccia, dovrebbe essere almeno tre volte la lunghezza dell'intaglio del martinetto piatto. Possono essere effettuate prove in roccia intensamente fratturata a condizione che l'intaglio praticato rimanga aperto sufficientemente a lungo da consentire l'installazione del martinetto piatto.

Calibrazione

5. (a) Gli effetti di bordo causati dalla saldatura, soprattutto per i martinetti piatti di piccole dimensioni, tendono a far sì che la pressione idraulica all'interno del martinetto sia più alta di quella esercitata dal martinetto stesso sulle pareti dell'intaglio. I produttori del martinetto dovrebbero misurare questa differenza usando adeguate procedure di laboratorio e dovrebbero assegnare un coefficiente di calibrazione ad ogni martinetto piatto<sup>4</sup>.

(b) Gli strumenti per la misura della pressione e dello spostamento devono essere calibrati prima dell'effettuazione di ogni serie di prove. Le calibrazioni devono essere eseguite in un laboratorio prove indipendente.

Installazione e conduzione della prova

6. (a) Il lato lungo dell'intaglio per il martinetto dovrebbe essere orientato perpendicolarmente (ioe superficiale della roccia).

(b) Le coppie di capisaldi di misura devono essere posizionate simmetricamente a cavallo del segno che individua la posizione dell'intaglio per il martinetto. La distanza (d) fra i capisaldi è determinata dal misuratore di spostamento. La linea congiungente i singoli capisaldi di ciascuna coppia dovrebbe formare un angolo minore di 3° rispetto alla perpendicolare all'intaglio.

(c) Sulla superficie di roccia preparata devono essere disposte le sagome e devono essere marcate le posizioni dei capisaldi di misura descritti nel pa-

ragrafo 6 (b). Devono essere praticati i fori in cui vanno cementati i capisaldi di misura; devono essere fissati in posto i capisaldi e deve essere annotata la loro distanza iniziale. Le letture dovrebbero essere ripetute per un numero di volte sufficiente ad ottenere una ripetibilità di 0.005 mm.

(d) Viene quindi praticato l'intaglio. Bisogna fare attenzione a mantenere l'intaglio nella direzione richiesta e perpendicolare alla superficie della parete rocciosa. Generalmente si preferisce praticare l'intaglio ad una profondità maggiore della dimensione del martinetto piatto e collocare l'area di carico arretrata di 25 mm rispetto alla superficie della parete rocciosa. Ciò al fine di prevenire locali fratturazioni della roccia durante la pressurizzazione.

(e) Nel caso in cui il foro venga realizzato mediante carotaggio, le carote dovrebbero essere conservate, disposte l'una accanto all'altra e fotografate per documentare le caratteristiche geologiche dell'area di prova. Quando non sono disponibili carote, le caratteristiche della roccia andrebbero documentate attraverso l'osservazione della parete rocciosa o mediante delle perforazioni in una zona distante dall'area di prova almeno il doppio della lunghezza del martinetto.

(f) Dopo aver praticato l'intaglio, dovrebbero essere effettuate ulteriori serie di letture dello spostamento per registrare l'entità della chiusura dell'intaglio e se questa sia istantanea o variabile in funzione del tempo<sup>5</sup>.

(g) Il martinetto piatto va inserito interamente nell'intaglio e, se necessario, cementato<sup>3</sup>. Deve essere posta attenzione per evitare la formazione di tasche d'aria nel cemento. Se ciò accadesse diventerebbe probabile la rottura del martinetto o l'inattendibilità dei risultati della prova.

(h) Dopo che il cemento ha fatto presa, si procede all'incremento della pressione nel martinetto piatto usando incrementi determinati dall'entità delle misure di spostamento e dal controllo del sistema idraulico di pompaggio. Gli incrementi di pressione dovrebbero permettere un minimo di dieci letture sino alla massima pressione prevista.

(i) Per ciascun incremento di pressione vengono registrate le letture della distanza dei capisaldi. La pressione dovrebbe essere incrementata finché la distanza fra i capisaldi non eguagli quella precedente l'apertura dell'intaglio. La pressione finale, definita pressione di annullamento, viene valutata attraverso i grafici pressione/distanza fra i capisaldi, come descritto nel successivo paragrafo 7(c). Nella figura 3 è mostrato un tipico modulo di raccolta dei dati di prova.

Foglio dei dati di prova

Progetto \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_  
 Tipologia \_\_\_\_\_ Prova n° \_\_\_\_\_  
 Tipo di roccia \_\_\_\_\_ Orientazione \_\_\_\_\_

Descrizione dell'equipaggiamento	N° di serie	Data di calibrazione

Data	Tempo	Pressione	Letture di distanza dei capisaldi			
			N° 1	N° 2	N° 3	Osservazioni


Fig. 3 - Modulo di raccolta dei dati di prova.

### Calcoli

7. (a) Le pressioni idrauliche registrate devono essere corrette per fornire le pressioni applicate nell'intaglio per mezzo di fattori di correzione dell'effetto bordo e del misuratore di pressione di cui si è parlato nei paragrafi 5(a) e (b).

(b) I valori di chiusura e di apertura dell'intaglio devono essere calcolati per ciascuna coppia di capisaldi e per ogni incremento di scavo dell'intaglio/pressione sottraendo la lettura iniziale da quelle successive.

(c) I valori di avvicinamento e di allontanamento di ciascuna coppia di capisaldi devono essere riportati su un diagramma in funzione della pressione applicata per determinare la pressione media di annullamento (vedi Fig. 1(c)).

(d) La componente della sollecitazione che agisce perpendicolarmente al piano del martinetto piatto prima dell'apertura dell'intaglio può essere considerata approssimativamente ( $\pm 5\%$ ) uguale alla pressione media di annullamento, a condizione che le curve pressione/distanza fra capisaldi, determinate da una serie di cicli carico-scarico, non mostrino evidente isteresi.

(e) Il metodo di determinazione della sollecitazione mediante il martinetto piatto posizionato secondo le indicazioni fornite al paragrafo 3(a), può essere utilizzato per la determinazione delle componenti della sollecitazione relativa nelle immediate vi-

cinanze di un vuoto. Questa informazione può essere estrapolata alla sollecitazione originaria indisturbata mediante l'applicazione della teoria dell'elasticità o di tecniche di modellazione numerica.

### Presentazione dei risultati

8. Il rapporto delle prove dovrebbe contenere le seguenti informazioni generali:

- (a) Una descrizione del sito di prova.
- (b) Dettagli della o delle stazioni di misura compresi nel sito di prova.
- (c) Il tipo di roccia e la locale struttura geologica.
- (d) Una descrizione, corredata da diagrammi e fotografie, del procedimento e dell'apparecchiatura utilizzata. Possono essere prese come riferimento queste "Proposte Metodologiche" evidenziando le differenze di attrezzatura e di procedure rispetto alle attrezzature e procedure raccomandate.
- (e) La casa produttrice del martinetto piatto, sue specifiche e calibrazioni.
- (f) Schemi del martinetto piatto e delle disposizioni dei capisaldi di misura.
- (g) Dettagli dei metodi di realizzazione dell'intaglio del martinetto piatto ed eventuali difficoltà riscontrate.
- (h) Tipo, casa produttrice e informazioni sulla calibrazione del misuratore di spostamento usato.

9. Per ciascuna prova condotta con il martinetto piatto, il rapporto delle prove dovrebbe includere le seguenti informazioni dettagliate:

- (a) Le distanze iniziali tra i capisaldi prima della realizzazione dell'intaglio.
- (b) Le distanze tra i capisaldi conseguenti all'apertura dell'intaglio (immediatamente dopo l'apertura dell'intaglio e ripetutamente prima della messa in pressione del martinetto piatto).
- (c) Tabella e grafico della distanza fra i capisaldi in funzione della pressione del martinetto.
- (d) Una interpretazione dei risultati delle prove effettuata mediante i metodi usati per la stima della sollecitazione originaria (se applicabili).
- (e) I risultati della prova che evidenziano discrepanze sostanziali rispetto agli altri dati, fornendo le spiegazioni possibili o probabili delle loro cause.

### Note

1. Una sintesi delle probabili cause ed entità degli errori è fornita nella tabella 1.
2. Quando, per praticare l'intaglio, vengono utilizzati dei fori sovrapposti, la scelta della forma del martinetto piatto deve essere effettuata tenendo presente la geologia e la spaziatura delle fratture. In genere viene scelta la forma rettangolare con la dimensione minima di 300 x 300 mm. Quando deve essere usata la tagliatrice a disco, il martinetto piatto deve avere forma di segmento circolare come quella della lama di taglio.

Tabella I. Errori e incertezze nella misura della sollecitazione in situ utilizzando un martinetto piatto

Cause di errori o incertezze	Correzione, calcolo o riduzione	Valore di errore accettabile e/o correzione
1) Roccia disturbata nel sito di prova.	Scavo e prova di posizionamento degli intagli accurati.	Potrebbe invalidare completamente i risultati.
2) Scorretta installazione, modifica dell'area di contatto durante l'applicazione della pressione del martinetto piatto.	Calibrazioni condotte accuratamente in un intaglio campione con spostamento misurato e controllato dalla rigidità della roccia.	Correzione del 10-15% ad alte sollecitazioni. Per sollecitazioni più basse correzioni maggiori.
3) Andamento della curva sollecitazione-deformazione non ripetibile.	Cicli di carico del martinetto piatto al fine di determinare la sua deformazione (valutando correzioni per ogni cambiamento nelle caratteristiche del martinetto se non vengono recuperate le dimensioni originali del martinetto stesso). Su questo aspetto sono necessari ulteriori lavori sperimentali.	Dipende dal tipo di roccia e dal livello della sollecitazione <i>in situ</i> . Per basse sollecitazioni <i>in situ</i> , potrebbe causare errori sostanziali.
4) Campo di sollecitazione biassiale.	Correzioni matematiche basate sulla elasticità lineare.	Dipendono dalla geometria dell'intaglio, ma probabilmente fra 0 e 5%.
5) Intaglio e martinetto di dimensioni differenti.	Correzioni matematiche basate sulla elasticità lineare.	In questo caso 0-5%, a seconda di come il martinetto piatto è posizionato nell'intaglio.
6) Sistema di misura.	Errore standard dell'apparecchiatura.	5% con l'apparecchio descritto in questo articolo.
7) Effetto della rigidità del martinetto piatto.	Sono disponibili diagrammi di influenza, ma è meglio uno studio matematico sull'apparecchiatura utilizzata.	Da 0 a più del 10%, a seconda della geometria del martinetto e della sua rigidità relativa.

Quando fattibile, è preferibile realizzare l'intaglio con la tagliatrice.

- In intagli planari con pareti lisce e apertura appena sufficiente per la sistemazione del martinetto piatto è meglio evitare l'uso del cemento. A tal fine è utile una tagliatrice a disco dal momento che essa produce un intaglio piano e di spessore uniforme, tuttavia essa è limitata a realizzare intagli di forma semicircolare e di profondità minore del raggio della lama di taglio. Un metodo brevettato, in cui il disco può penetrare a qualunque profondità usando una guida a colonna centrale inserita in un foro precedentemente predisposto è descritto nelle "Proposte metodologiche per la determinazione della deformabilità mediante il martinetto piatto" dell'ISRM.
- Gli effetti di bordo possono essere presi in considerazione semplicemente stimando l'ampiezza inefficace lungo il perimetro del martinetto piatto, sottraendola dall'ampiezza totale e riducendo la sollecitazione applicata, per mezzo del rapporto all'area effettiva del martinetto piatto rispetto all'area di intaglio. La calibrazione dei martinetti piatti per mezzo di una pressa può fornire una migliore valutazione di questa compensazione. Questo è particolarmente vero per i martinetti piatti semicircolari.
- Se i capisaldi si allontanano l'uno dall'altro durante l'intaglio, allora la componente della sollecitazione della roccia nel sito di prova è di trazione e non può essere misurata con questo metodo.

## 9. Bibliografia relativa al metodo 1

- BERNEDE J. (1974) – *Mesures des contraintes au verin plat-nouvelles possibilités*. Proc. 3rd Int. Congr. on Rock Mechanics, vol. IIA, pp. 433-438, Denver.
- GOODMAN R. E. (1980) – *Introduction to Rock Mechanics*, p. 115. Wiley, New York.
- HABIB P. and MARCHAND R. (1952) – *Mesures des pressions de terrains par l'essai de verin plat*. Anns Inst. tech. Batim. 58.
- HOECK E. and BROWN E.T. (1980) – *Underground excavations in Rock*, p. 384, IMM, London.
- LONDE P. (1973) – *The role of rock mechanics in the reconnaissance of rock foundations, water seepage in rock slopes and the stability of rock slopes*. Q. Jl. Engng. Geol. 5, 57-127.
- OBERT L. and DUVAL W.I. (1976) – *Rock Mechanics and the design of structures in rock*, p. 417. Wiley, New York.
- ROCHA M., BAPTISTA LOPES J. and DASILVA J. (1966) – *A new technique for applying the method of*

- the flatjack in determination of stresses inside rock masses*. Proc. 1st Int. Congr. on Rock Mechanics, vol. 2, pp. 57-65, Lisbona.
8. TINCELIN M.E. (1952) – Mesures des pressions de terrains dans les mines de fer de l'est. *Annls Inst. Tech. Batim.* 58, 972-990.
9. WAREHAM B.F. and SKIPP V. O. (1974) – *The use of the flatjack installed in a saw cut slot in the measurement of in situ stress*. Proc. 3rd Int. Congr. on Rock Mechanics, vol. IIA, pp. 481-488, Denver.

## Metodo 2: metodo proposto per la determinazione dello stato di sollecitazione della roccia mediante l'uso della tecnica della fratturazione idraulica

### Obiettivo

1. (a) L'obiettivo della tecnica della fratturazione idraulica è quello di misurare lo stato di sollecitazione *in situ* in profondità per mezzo di un foro di perforazione. La prova, in generale, fornisce l'entità e le direzioni delle sollecitazioni massime e minime nel piano perpendicolare al sondaggio.

La fratturazione idraulica è l'unica tecnica di determinazione della sollecitazione della roccia che è stata applicata con successo a perforazioni profonde. Per questo motivo, questa tecnica ha trovato applicazione nelle indagini di caratterizzazione del sito attraverso sondaggi verticali dalla superficie. Quando l'accesso al sito è invece possibile tramite pozzi, gallerie o sondaggi poco profondi, allora possono essere applicate le "Proposte Metodologiche" 1, 3 o 4.

(b) La pressione del fluido è applicata in una sezione di prova del sondaggio, isolato per mezzo di packers (martinetti cilindrici). Le pressioni di fluido richieste per generare, propagare, mantenere aperta e riaprire fratture della roccia nella sezione circolare di prova sono misurate e correlate al campo di sollecitazione esistente. Le direzioni della sollecitazione misurata sono generalmente ottenute osservando e misurando l'orientamento del piano di frattura indotta per azione idraulica (idrofrattura).

(c) Il metodo, in generale, è maggiormente indicato per effettuare misure a profondità maggiori di 50 m, che sono ben oltre il campo di applicabilità della maggior parte delle altre tecniche. Inoltre, il vantaggio di questo metodo consiste nel non richiedere alcuna precedente conoscenza delle proprietà elastiche della roccia e di poter essere condotto senza difficoltà anche al di sotto della falda freatica. Consente infine di misurare sollecitazioni in un'area relativamente ampia, maggiore di 0.5-1.0 m di diametro, non in un punto.

(d) Il metodo è più preciso se è applicato a materiali il cui comportamento si approssima a quello

del mezzo fragile, omogeneo, elastico, isotropo e non poroso.

(e) Si assume che la direzione della perforazione coincida con una delle direzioni della sollecitazione principale. In genere questa ipotesi è considerata valida per fori verticali praticati dalla superficie, nel qual caso la sollecitazione verticale è calcolata tenendo conto del peso del terreno di copertura. L'accuratezza dei risultati della prova sarà considerata dubbia se la direzione della perforazione risulterà deviata in modo sostanziale (oltre  $\pm 15^\circ$ ) dalla sollecitazione principale.

### Attrezzatura

#### Equipaggiamento di perforazione

2. (a) Può essere utilizzato qualunque equipaggiamento di perforazione che sia in grado di praticare un foro stabile alla profondità di prova richiesta. Il diametro del foro dovrà adattarsi al packer (martinetto cilindrico) che si intende usare o viceversa.

(b) L'equipaggiamento di perforazione dovrà inoltre consentire il recupero di campioni di carotaggio in prossimità delle sezioni di prova al fine di valutare la resistenza alla rottura del foro e per esaminare le caratteristiche e le giaciture delle discontinuità.

#### Equipaggiamento di ispezione

3. (a) È richiesta la conoscenza delle direzioni delle fratture prodotte idraulicamente al fine di poter stimare la direzione della sollecitazione principale. Per determinare questa direzione può essere usato uno dei seguenti metodi (ciascuno dei quali ha un margine di risoluzione di  $\pm 5^\circ$ ):

(i) Ispezione visiva per mezzo di un periscopio o di una telecamera da foro. Sarebbe molto utile, a scopo di confronto, una videoregistrazione che documenti la situazione precedente la prova.

(ii) Esame di una immagine ecografica ottenuta dalla riflessione di segnali acustici.

(b) Può essere utile un calibro da foro per garantire che la sezione di prova designata abbia un diametro adeguato per la soddisfacente installazione dei packers (martinetti cilindrici).

(c) L'allineamento ed il direzionamento del foro possono essere misurati utilizzando un dispositivo di orientamento, se vi è una qualunque indicazione che la deviazione sia eccessiva.

(d) Per orientare le macchine fotografiche o le telecamere per gli impression packers (martinetto cilindrico da impronta), generalmente vengono usate delle bussole magnetiche

Devono essere usati metodi alternativi di misura nel caso in cui le caratteristiche mineralogiche della roccia possono falsare la lettura della bussola. Bisogna sospettare delle rocce ricche di materiali magnetici, quali le formazioni di ferro e le rocce ignee