

# Raccomandazioni ISRM

## Introduzione

Le problematiche ingegneristiche connesse con le rocce rigonfianti sono ben note. Per propositi progettuali è necessario sottoporre queste rocce a prove che consentano l'individuazione del tipo di roccia e del relativo comportamento rigonfiante.

La Commissione ISRM sulle Rocce Rigonfianti si è formata nel 1980 allo scopo di fornire un trattamento sistematico delle problematiche legate alle rocce rigonfianti. Il problema è stato definito nel documento dell'ISRM "Caratterizzazione delle Rocce Rigonfianti" [1]. Il passo successivo è un approccio integrato alle prove, all'analisi ed alla progettazione. La Commissione sta sviluppando un certo numero di metodologie suggerite per le prove ed una rassegna di metodi di analisi/progetto dei quali le procedure di prova sono una parte consistente. Le metodologie di prova sono presentate come dei "Metodi Suggestiti" a parte al fine di rendere disponibile all'ingegnere il materiale in modo tempestivo oltre che per predisporre una documentazione adatta alle attività di laboratorio. Nello sviluppo dei metodi di prova, la Commissione ISRM sulle Rocce Rigonfianti è stata affiancata dal Gruppo di Lavoro sulle Prove di Rigonfiamento della Commissione ISRM sui Metodi di Prova. La collaborazione tra le due Commissioni è stata finalizzata ad ottenere una coerenza nella presentazione e nel formato con i "Metodi Suggestiti" pubblicati in precedenza.

Ancora una volta si vuole sottolineare che il proposito dei "Metodi Suggestiti" è quello di specificare le procedure di prova fino a raggiungere un certo grado di standardizzazione che non inibisca, però, lo sviluppo di tecniche migliorative. Tutto ciò è particolarmente pertinente nel caso delle rocce rigonfianti che, a causa della loro variabilità, richiedono spesso trattamenti non-standard sia durante la preparazione dei campioni che durante le prove.

Questo documento si occupa in particolare delle Prove di Laboratorio su Rocce Argillose Rigonfianti ed è organizzato in quattro parti:

Parte 1: campionamento, conservazione e preparazione dei campioni da sottoporre a prova

Parte 2: determinazione della massima tensione assiale di rigonfiamento

Parte 3: determinazione della deformazione assiale e radiale in rigonfiamento libero

Parte 4: determinazione della tensione assiale di rigonfiamento in funzione della deformazione assiale di rigonfiamento.

Con questi "Metodi Suggestiti" si intende rimpiazzare ed aggiornare quelli pubblicati in [2]. È importante notare che la preparazione dei provini e le procedure di prova riguardano solo rocce argillose. Le prove di rigonfiamento su anidrite, a causa di significative differenze tra il rigonfiamento dell'anidrite e quello delle argille, sono trattate separatamente.

Le prove descritte nelle Parti 2 e 3 sono semplici e forniscono prime stime sull'ordine di grandezza della tensione e della deformazione massima di rigonfiamento. Per una corretta analisi e progettazione è necessaria la completa conoscenza del comportamento tensioni-deformazioni ottenuta sulla base delle prove descritte nella Parte 4. Nel seguito sono descritte le linee guida per l'analisi ed il progetto delle strutture su od in rocce rigonfianti, basate sul tipo di prove descritte nella Parte 4. Poiché queste prove complete possono durare anche quattro mesi, le prime stime ottenute sulla base dei due metodi di prova più semplici sono utili per propositi ingegneristici quali ad esempio il progetto preliminare. Inoltre, semplici prove permettono di individuare rapidamente le zone più critiche e di prelevare da queste zone campioni aggiuntivi da utilizzare per le prove complete. Infine, le prove semplici possono essere usate per il controllo in sito in fase di costruzione. L'ingegnere è responsabile di selezionare le prove appropriate per lo specifico progetto. Le prove descritte nel seguito sono destinate ad usi particolari; per propositi di ricerca dovrebbero essere usati altri tipi di prove.\*

\* Traduzione a cura di Lucio Olivares, Ricercatore II<sup>a</sup> Università di Napoli.

## *Metodi suggeriti per le prove di laboratorio sulle rocce argillose rigonfianti*

### **Parte 1: Campionamento, Conservazione e Preparazione dei provini da sottoporre a prova**

#### *Scopo*

1. Questi metodi suggeriti descrivono tecniche di campionamento, preparazione e conservazione dei provini per le prove di laboratorio di rigonfiamento su rocce argillose.

#### *Campionamento<sup>1\*</sup>*

2. (a) Per ottenere risultati significativi da prove di rigonfiamento, i campioni devono avere, per quanto possibile, la stessa densità e contenuto d'acqua di quelli *in situ* al momento del campionamento.

(b) I campioni di roccia devono essere prelevati preferibilmente dai sondaggi. I sondaggi dovrebbero essere realizzati con aria compressa o utilizzando nel liquido di raffreddamento o di circolazione una miscela anti-rigonfiamento (come l'Antisol), ovvero con qualsiasi metodo che permetta il prelievo del campione integro.

(c) Il carotaggio deve essere realizzato usando un carotiere doppio o triplo. Il diametro della carota dovrebbe essere almeno NX ma preferibilmente quanto più prossimo a 100 mm. Il campione dovrebbe essere sufficiente a preparare almeno tre provini indisturbati ed a permettere le prove di identificazione.

(d) Il prelievo di blocchi è un'altra possibilità. Le dimensioni finali del blocco devono essere sufficienti per la preparazione di almeno tre provini indisturbati ed a permettere le prove di identificazione.

(e) Le carote o blocchi devono essere analizzati da un geologo e fotografati. Prima di catalogarli essi devono essere puliti rimuovendo il fango di perforazione. Si dovrebbe annotare la loro condizione, come la presenza di rotture meccaniche, la presenza di fango sulle superfici della carota o del blocco e la presenza di intercalazioni. Si devono identificare chiaramente le eventuali fessure naturali.

(f) Successivamente i campioni devono essere avvolti con uno strato di materiale resistente all'acqua come ad esempio un sottile foglio di plastica, protetti da un foglio di alluminio ed infine paraffinati.

(g) Le carote o i blocchi paraffinati devono essere catalogati con etichette che illustrino dettagli sul sito di prelievo, la profondità di prelievo e la quota del piano di campagna.

(h) Per ridurre le possibilità di rottura delle carote o dei blocchi durante il trasporto dal sito al laboratorio i campioni devono essere posti in cassette dove gli spazi tra campione e parete della cassetta siano imbottiti con materiali quali paglia, strisce o ritagli di polistirolo o carta.

(i) I campioni devono essere protetti dal gelo e dal caldo eccessivo durante le fasi di campionamento e di trasporto. La temperatura del campione deve rimanere nell'ambito dei 5-30° C.

#### *Conservazione dei campioni*

3. (a) Il tempo di conservazione dovrebbe essere minimizzato.

(b) È da preferirsi una conservazione in una camera a temperatura costante (20° C).

(c) I campioni non devono essere esposti alla luce diretta del sole

(d) Se è necessaria una conservazione per lungo tempo, l'umidità nell'ambiente di conservazione dovrebbe essere tale da minimizzare qualsiasi perdita o aumento di contenuto d'acqua dei campioni.

#### *Preparazione dei provini*

4. (a) Le catalogazioni e le fotografie dei campioni devono essere esaminate per selezionare le carote ed i blocchi con i quali produrre il numero di provini occorrenti con le forme e le dimensioni richieste.

(b) Dallo stesso campione devono essere preparati più provini. Almeno tre provini devono essere usati per le prove ed almeno un provino di riferimento per la determinazione del contenuto d'acqua, del peso specifico e del grado di saturazione. (Il numero di provini per ciascuna prova dipende dalla disponibilità del materiale e dal programma di prove - vedi Introduzione).

(c) I provini devono essere preparati quanto più rapidamente possibile. Se si richiede la regolarizzazione dei provini (taglio, riduzione del diametro) questa deve essere realizzata con raffreddamento ad

aria o con liquido di raffreddamento anti-rigonfiamento (come l'Antisol) e con qualsiasi procedura che permetta la conservazione del provino integro. In generale dovrebbe essere evitata una successiva riduzione delle dimensioni del campione. Per rocce argillose fragili deve essere usata una apposita procedura descritta in Appendice.

(d) I campioni richiesti per le prove descritte nelle Parti 2, 3 e 4 devono essere di forma cilindrica a direttrice perfettamente circolare. L'esperienza ha mostrato che per campioni di diametro compreso tra 50 e 100 mm lo spessore deve essere compreso tra 20 e 30 mm.

(e) Il campione deve essere misurato e posto in un'appropriata apparecchiatura come descritto nelle Parti 2, 3 e 4.

## Parte 2: Metodi Sugeriti per la Determinazione della Tensione di Rigonfiamento Assiale Massima

### Obiettivi

1. (a) La prova è concepita per misurare la tensione assiale necessaria per impedire il rigonfiamento di un provino di roccia integro confinato radialmente ed immerso in acqua.

### Apparecchiatura<sup>2</sup>

L'apparecchiatura include quanto indicato di seguito e schematizzato in Fig. 1.

2. (a) un anello di acciaio inossidabile [(1) in Fig. 1], sufficientemente rigido da impedire le deformazioni radiali del provino. La superficie interna dell'anello deve essere lucida e liscia. Lo spessore dell'anello deve essere calcolato in funzione delle altre dimensioni dell'anello e delle tensioni laterali massime attese. Non è consentita una deformazione radiale maggiore di  $10^{-4}$ . Spessori compresi tra 5 e 10 mm sono generalmente soddisfacenti. Dovrebbero essere disponibili diversi anelli per poter avere sempre quello adatto alle dimensioni del provino.

(b) Due piastre porose di metallo [(2) in Fig. 1]. Le piastre porose dovrebbero essere di materiale di elevata rigidità. Le più adatte sono le piastre porose di acciaio inossidabile. In alternativa sono anche adatte piastre di acciaio inossidabile nelle quali siano stati operati un certo numero di piccoli fori (diametro 0.1 mm). In questo ultimo caso sono necessari dei piccoli canali di collegamento tra i fori della piastra ed i circuiti di drenaggio.

(c) Una piastra porosa deve essere posta al di sopra e l'altra al di sotto del provino. La piastra inferiore deve avere un diametro maggiore del diametro

esterno dell'anello del campione di circa 5 mm, e la piastra superiore deve essere realizzata di dimensioni tali da alloggiare perfettamente all'interno dell'anello senza provocare attrito con le pareti dell'anello.

(d) Sopra la piastra porosa vi è una testa di carico di acciaio inossidabile [(3) in Fig. 1] di forma leggermente conica che nella sua parte inferiore ha lo stesso diametro della piastra porosa superiore. La testa di carico deve avere uno spessore elevato; per provini di diametro compreso tra 50 e 100 mm è adeguato uno spessore della testa di 10 mm.

(e) Una intelaiatura rigida [(7) in Fig. 1] con un dispositivo per l'applicazione dei carichi che permetta continui aggiustamenti al fine di mantenere costante l'altezza del provino.

(f) Un pistone di carico [(8) in Fig. 1] con un'estremità emisferica o con una sfera poggiate sulla testa di carico.

(g) Due micrometri [(5) in Fig. 1] con una sensibilità di 2.5 micron per misurare il rigonfiamento assiale o la compressione del provino. I micrometri sono attaccati alla estremità inferiore della cella (4).

(h) Una cella di carico rigida<sup>3</sup> [(6) in Fig. 1], per esempio una cella di carico elettromeccanica capace di misurare con un'accuratezza di  $\pm 0.5\%$  del fondo scala.

(i) Una cella [(4) in Fig. 1] che contiene il provino completamente immerso in acqua.

(j) Un essiccatore.

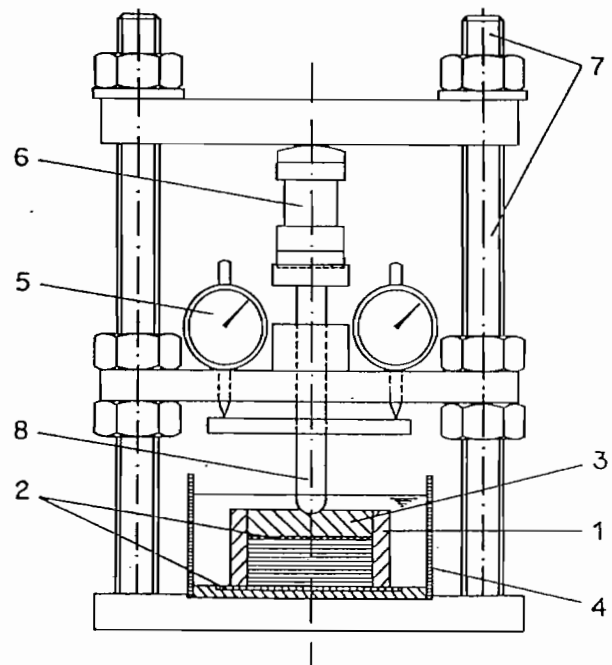


Fig. 1 – Apparecchiatura per la misura della tensione assiale di rigonfiamento: (1) anello di acciaio inossidabile; (2) piastre porose metalliche; (3) testa di carico in acciaio inossidabile; (4) cella; (5) micrometri [agganciati all'estremità inferiore della cella (4) collegamento non mostrato]; (6) cella di carico; (7) intelaiatura rigida; (8) pistone di carico.

### Procedura

3. (a) La prova deve essere condotta in un ambiente mantenuto a temperatura costante ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ).

(b) Lo spessore  $h_0$  del provino, che è stato preparato nel modo descritto nella Parte I (Preparazione del Provino), deve essere misurata in almeno tre punti tra le estremità del provino con un'accuratezza di  $\pm 0.1$  mm.

(c) Il diametro del provino  $d$  deve essere misurato in almeno tre punti lungo l'altezza del provino ed in almeno tre direzioni in ognuna delle tre misure. L'accuratezza della misura deve essere ancora una volta di  $\pm 0.1$  mm.

(d) La massa del provino deve essere determinata con una precisione di 0.1 g ed il suo valore  $M_1$  deve essere registrato.

(e) L'anello del provino deve essere pulito e deve essere determinata e registrata la sua massa  $M_0$ .

(f) Il provino deve essere poi inserito all'interno dell'anello. Il provino deve aderire alle pareti dell'anello.

(g) Terminato l'assemblaggio dell'apparecchiatura, l'anello con il provino è posto sulla piastra porosa inferiore; in testa al provino vi è la piastra porosa superiore e la testa di carico in acciaio. Il pistone viene centrato e posto in contatto con la parte superiore della testa di carico.

(h) Deve essere applicato un carico iniziale che corrisponda ad una tensione assiale di 25kPa. Vengono quindi annotate le letture iniziali dei micrometri.

(i) La cella deve essere poi riempita con l'acqua fino a ricoprire l'estremità superiore della piastra porosa. Dovrebbe essere usata acqua distillata o acqua proveniente dal sito di campionamento o acqua con una particolare composizione chimica. Normalmente viene utilizzata acqua distillata.

(j) L'andamento nel tempo del carico assiale  $N$  e dello spostamento assiale  $\delta$  vengono misurati e registrati.

(k) deformazioni assiali di piccola entità devono essere compensate incrementando il carico assiale come illustrato in Fig. 2B. I gradini di carico dovrebbero essere mantenuti quanto più piccoli possibile soprattutto verso la fine della prova (Fig. 2B); ciò è necessario per ottenere una accurata misura del carico assiale massimo e quindi della tensione assiale massima di rigonfiamento. Una deformazione assiale dello 0.05% nell'ultimo incremento di carico è generalmente tollerata.

(l) La prova dovrebbe essere continuata fino al raggiungimento di un valore costante del rigonfiamento assiale o fino al raggiungimento del massimo carico assiale di rigonfiamento (massima tensione assiale di rigonfiamento) (Fig. 2A).

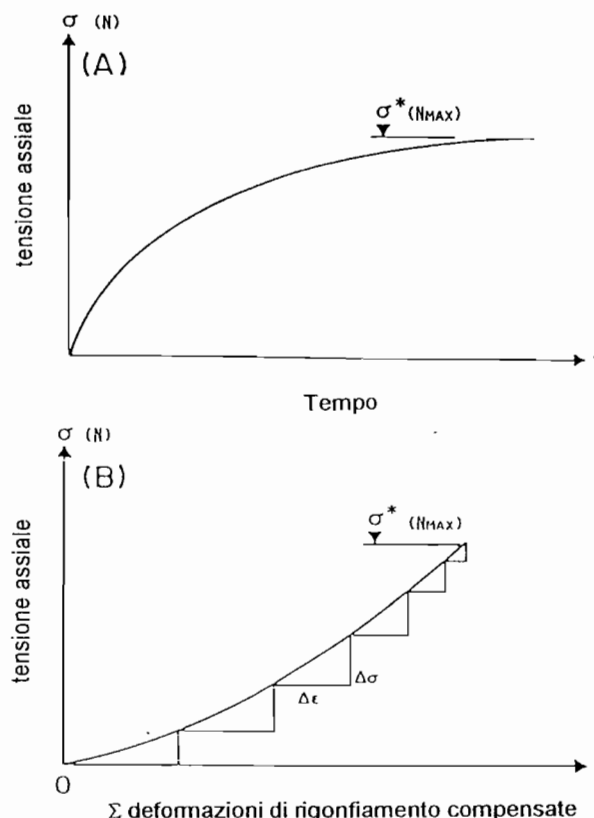


Fig. 2 – Diagramma della tensione assiale (carico) in funzione del tempo (A) ed in funzione della deformazione di rigonfiamento (B).

(m) L'anello con il provino deve essere poi rimosso dalla cella, l'acqua in eccesso deve essere eliminata, e la massa  $M_2$  deve essere determinata e registrata. Nel caso di roccia fortemente rigonfiante l'acqua viene eliminata prima dello scarico.

(n) Il provino con l'anello viene essiccato in un forno a massa costante ad una temperatura di  $105 \pm 2^\circ\text{C}$ .

(o) Il provino viene estruso dall'anello e viene fatto raffreddare in un essiccatore. Viene determinata e registrata la massa  $M_3$  essiccata in forno. In alternativa il provino può essere essiccato nel forno senza anello.

### Calcoli

4. (a) Sono calcolati i seguenti parametri delle prove: la sezione  $A$  del provino; la tensione assiale  $\sigma$ ; la deformazione di rigonfiamento  $\epsilon_s$ .

(b) La sezione  $A$  del provino è calcolata come

$$A = \pi d^2/4$$

dove  $d$  è il diametro del provino.

(c) La tensione assiale  $\sigma$  è calcolata come

$$\sigma = N/A$$

dove  $N$  è la forza assiale misurata.

(d) La deformazione di rigonfiamento  $\Delta\varepsilon$  è calcolata come

$$\Delta\varepsilon = \Delta\sigma / h_0$$

dove  $\Delta\delta$  è lo spostamento ed  $h_0$  lo spessore iniziale del provino.

(e) Sono calcolati la densità, i contenuti d'acqua iniziale e finale ed il grado di saturazione.

### Risultati

5. (a) Per ogni provino la relazione deve includere quanto segue:

(i) Un'unica identificazione per il campione e per ogni singolo provino.

(ii) Le informazioni sull'origine geografica, sulla litologia, sulla struttura e, se possibile, sulla mineralogia e sulla composizione chimica dell'acqua di porosità del provino.

(iii) La data ed il metodo di campionamento; le date delle prove.

(iv) Il metodo utilizzato per sigillare e conservare.

(v) Il metodo utilizzato per la preparazione del provino.

(vi) L'orientazione dell'asse del provino rispetto alla direzione di prelievo in sito ed all'anisotropia del provino.

(vii) Le dimensioni del provino.

(viii) Densità, contenuto d'acqua, peso specifico e grado di saturazione del provino di riferimento (vedi Parte 1).

(ix) Densità, contenuto d'acqua, peso specifico e grado di saturazione del provino finali.

(x) La temperatura di prova.

(xi) Il pre-carico applicato.

(xii) Indicazioni sull'acqua usata nella cella.

(xiii) Un diagramma dell'andamento della tensione assiale nel tempo come indicato in Fig. 2A.

(xiv) Un diagramma dell'andamento della tensione assiale in funzione della deformazione di rigonfiamento, come indicato in Fig. 2B.

(xv) La tensione assiale massima  $\sigma^*$  (Fig. 2) necessaria per mantenere il provino di altezza costante.

(xvi) La deformazione di rigonfiamento totale (opzionale).

### Parte 3: Metodi Suggesti per la Determinazione della Deformazione Assiale e Radiale in Rigonfiamento Libero

#### Obiettivi

1.(a) La prova è concepita per misurare la deformazione assiale e radiale in rigonfiamento libero

che si sviluppa quando un campione indisturbato di roccia non confinato viene immerso nell'acqua.

(b) La prova qui descritta fa uso di provini che hanno la forma cilindrica a direttrice perfettamente circolare come descritto nella Parte 1 (Preparazione del provino). La prova può anche essere realizzata con provini di forma diversa, anche irregolari, senza che questi vengano sottoposti ad alcuna procedura di regolarizzazione. L'apparecchiatura e la procedura di prova devono essere adattabili alle diverse forme di provino.

#### Apparecchiatura

2. Si suggerisce che l'apparecchiatura<sup>7</sup> includa quanto segue (vedi Fig. 3):

(a) Una cella contenente il provino [(1) in Fig. 3].

(b) Un micrometro con una sensibilità di 2.5 micron, montato per misurare il rigonfiamento assiale del provino [(2) in Fig. 3].

(c) Una piastra circolare di vetro, posizionata nel punto di misura per prevenire l'incisione del provino [(3) in Fig. 3].

(d) Una fascia di acciaio inossidabile sottile (0.1 mm) e flessibile [(4) in Fig. 3] attaccata al provino attraverso una fascia di gomma elastica. La fascia di acciaio è calibrata ad intervalli di 0.1 mm ed è usata per la determinazione della deformazione radiale di rigonfiamento<sup>8</sup>.

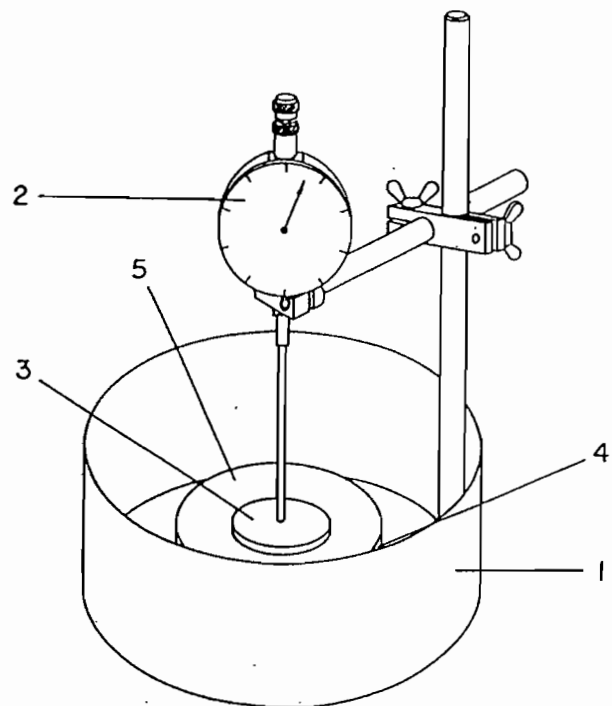


Fig. 3 – Apparecchiatura per la misura della deformazione di rigonfiamento: (1) cella; (2) micrometro; (3) piastra di vetro; (4) fascia in acciaio inossidabile; (5) provino.

### La procedura

3. (a) La prova deve essere condotta in un ambiente mantenuto a temperatura costante ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ).

(b) Lo spessore del provino  $h_0$  deve essere misurato in almeno tre punti tra le estremità del provino, con un'accuratezza di  $\pm 0.1$  mm.

(c) Il provino di diametro  $d_0$  deve essere misurato in almeno tre punti lungo lo spessore ed in almeno tre direzioni in ognuno dei tre punti di misura. L'accuratezza della misura deve essere ancora una volta di  $\pm 0.1$  mm.

(d) La massa del provino deve essere determinata con una precisione di 0.1 g ed il suo valore deve essere registrato.

(e) La fascia di acciaio inossidabile viene montata ed il provino con il micrometro (o strumento di misura equivalente) viene montato nella cella.

(f) La cella deve essere riempita con l'acqua fino a ricoprire il provino. Dovrebbe essere usata acqua distillata o acqua proveniente dal sito di prelievo o acqua con una particolare composizione chimica. Normalmente viene usata acqua distillata<sup>9</sup>.

(g) Viene registrato l'andamento nel tempo del rigonfiamento assiale  $\delta_{ax}$ .

(h) Il rigonfiamento viene registrato fino al raggiungimento di un valore costante<sup>4</sup>.

(i) Al termine del rigonfiamento e prima di procedere alla rimozione del provino dalla cella viene misurato l'incremento della circonferenza  $\Delta C$  con la fascia di acciaio inossidabile.

(j) Il provino viene essiccato in un forno a massa costante ad una temperatura di  $105 \pm 2^\circ\text{C}$ , poi viene raffreddato in un essiccatore e la sua massa secca viene determinata e registrata.

### Calcoli

4. (a) Si determinano la deformazione assiale di rigonfiamento  $\varepsilon_{ax}$  e la deformazione radiale di rigonfiamento  $\varepsilon_{rad}$ .

(b) La deformazione assiale di rigonfiamento è calcolata come

$$\varepsilon_{ax} = \delta_{ax}/h_0$$

dove  $\delta_{ax}$  è lo spostamento e  $h_0$  è lo spessore iniziale del provino.

(c) La deformazione radiale di rigonfiamento  $\varepsilon_{rad}$  è calcolata come

$$\varepsilon_{rad} = \delta_{rad}/d_0$$

dove  $d_0$  = diametro iniziale del campione e

$$\delta_{rad} = \Delta C/\pi,$$

dove  $\Delta C$  = incremento della circonferenza del provino misurata con la fascia di acciaio inossidabile (v. 3i).

(d) Sono calcolate la densità, i contenuti di acqua iniziale e finale ed il grado di saturazione.

### Risultati

5. Per ogni provino la relazione sulla prova deve includere quanto segue:

(i) Un'unica identificazione del campione e di ogni singolo provino.

(ii) Le informazioni sull'origine geografica, sulla litologia, sulla struttura e, se possibile, sulla mineralogia del campione e dei provini.

(iii) La data ed il metodo utilizzato per il campionamento; le date delle prove.

(iv) Il metodo utilizzato per sigillare e conservare.

(v) Il metodo utilizzato per la preparazione del provino.

(vi) L'orientazione dell'asse del provino rispetto alla direzione di prelievo in sito ed all'anisotropia del provino.

(vii) Le dimensioni del provino sottoposto a prova.

(viii) La densità, il contenuto d'acqua, il peso specifico ed il grado di saturazione del provino di riferimento.

(ix) Il contenuto d'acqua del provino al termine della prova di rigonfiamento.

(x) La temperatura della prova.

(xi) Indicazioni sull'acqua usata nella cella.

(xii) Un diagramma dell'andamento della deformazione assiale nel tempo come indicato in Fig. 4.

(xiii) La deformazione assiale massima di rigonfiamento (v. Fig. 4).

(xiv) La deformazione radiale massima di rigonfiamento (v. Fig. 4).

(xv) La deformazione volumetrica, sia valutata sulla base della deformazione assiale e radiale per campioni di forma regolare, sia determinata dal metodo dello spostamento del liquido.

### Parte 4: Metodi Suggestiti per la Determinazione della Tensione Assiale di Rigonfiamento in funzione della Deformazione Assiale di Rigonfiamento

#### Scopo

1. (a) La prova è concepita per misurare la deformazione assiale di rigonfiamento necessaria per ridurre la tensione assiale di rigonfiamento di un provino di roccia confinato radialmente ed immerso in acqua dal suo valore massimo fino ad un valore funzione del particolare problema in esame.

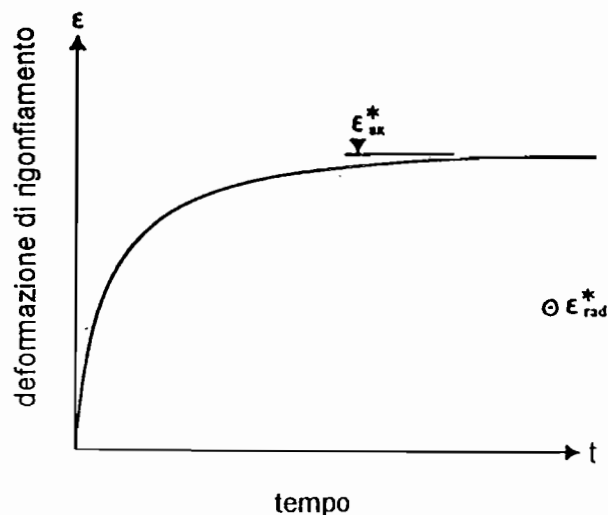


Fig. 4 - Determinazione della deformazione di rigonfiamento;  $\epsilon^*_{ax}$  = massima deformazione assiale di rigonfiamento;  $\epsilon^*_{rad}$  = massima deformazione radiale di rigonfiamento.

#### Apparecchiatura

2. L'apparecchiatura suggerita è riportata in Fig. 5.

(a) Un anello di acciaio inossidabile rigido<sup>10</sup> per il confinamento radiale del provino [(1) in Fig. 5]. La superficie interna dell'anello deve essere lucida e liscia. Lo spessore dell'anello e funzione dalle sue altre dimensioni e deve essere calcolato sulla base delle tensioni massime attese; non è consentita una deformazione radiale superiore a  $10^{-4}$ . Si dovrebbe disporre di anelli di diverse dimensioni che si adattino alle dimensioni dei provini.

(b) Le piastre porose metalliche per il drenaggio superiore ed inferiore del provino [(2) in Fig. 5]. Le piastre porose dovrebbero preferibilmente essere realizzate di un materiale ad alto modulo di rigidità. Le piastre porose di acciaio inossidabile sono le più adatte. In alternativa sono anche adatte piastre di acciaio forate (fori di diametro 0.1 mm). In questo ultimo caso si rendono necessari piccoli canali di collegamento tra i fori ed i circuiti di drenaggio.

(c) Una piastra porosa deve essere posta al di sopra del provino ed un'altra al di sotto di esso. La piastra inferiore deve avere un diametro di circa 5 mm maggiore del diametro esterno dell'anello del provino e la piastra superiore deve essere di dimensioni tali da adattarsi perfettamente all'interno dell'anello senza pregiudicare il suo movimento.

(d) Sopra la piastra porosa vi è una testa di carico di acciaio inossidabile [(3) in Fig. 1] di forma leggermente conica che nella sua parte inferiore ha lo stesso diametro della piastra porosa superiore. La testa di carico deve avere uno spessore elevato; è richiesta una incisione nel centro della testa di carico

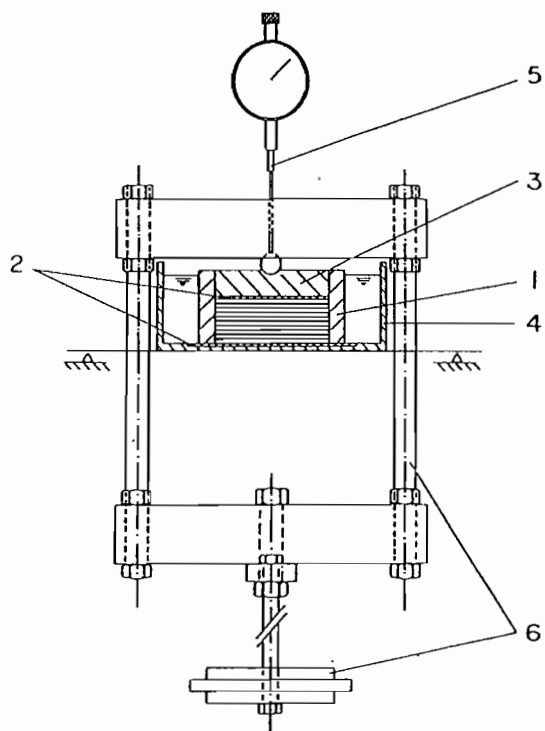


Fig. 5 - Apparecchiatura per la misura della tensione assiale di rigonfiamento: (1) anello di acciaio inossidabile; (2) piastre porose metalliche; (3) testa di carico in acciaio inossidabile; (4) cella; (5) micrometri [agganciati all'estremità inferiore della cella (4) collegamento non mostrato]; (6) telaio per la applicazione dei carichi.

per il posizionamento della sfera di trasferimento del carico [vedi punto (e) successivo].

(e) Una telaio per l'applicazione di incrementi di carico [(6) in Fig. 5] fino ad un valore totale di 10 kN. Sono utilizzabili sia sistemi diretti di carico o indiretto che con leva. Il telaio di carico trasmette il carico all'estremità superiore della testa di carico di acciaio attraverso una sfera di acciaio di 2 cm.

(f) Un micrometro (o strumento equivalente) con una sensibilità di 2.5 micron attaccato alla estremità inferiore della cella (4) e montata in modo tale da misurare la compressione ed il rigonfiamento lungo l'asse centrale del provino [(5) in Fig. 5].

(g) una cella [(4) in Fig. 5] (diametro 15 cm) per contenere il provino assemblato immerso in acqua.

(h) Un essiccatore.

#### Procedura

3. (a) La prova deve essere condotta in un ambiente mantenuto a temperatura costante ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ).

(b) Lo spessore del provino  $h_0$  (preparato come descritto nella Parte 1 (sezione 4)) deve essere misurato in almeno tre punti tra le estremità del provino, con un'accuratezza di  $\pm 0.1$  mm.

(c) Il provino di diametro  $d$  deve essere misurato in almeno tre punti lungo lo spessore del provino







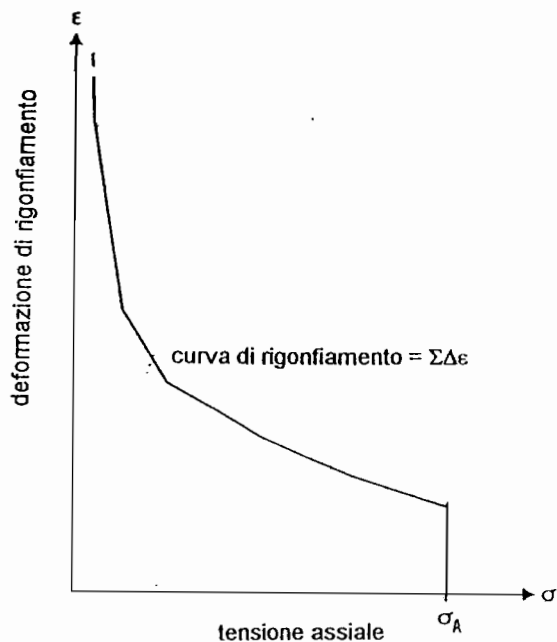


Fig. 7 – Diagramma della tensione assiale in funzione della deformazione assiale.

(iii) La data ed il metodo di campionamento; le date delle prove.

(iv) Il metodo utilizzato per sigillare e conservare.

(v) Il metodo utilizzato per la preparazione del provino da sottoporre a prova.

(vi) L'orientazione dell'asse del provino rispetto alla direzione di prelievo in sito ed all'anisotropia del provino.

(vii) Le dimensioni del campione da sottoporre a prova.

(viii) La densità, il contenuto d'acqua, il peso specifico ed il grado di saturazione del provino di riferimento (v. Parte 1).

(ix) La densità finale, il contenuto d'acqua, ed il grado di saturazione del provino al termine del rigonfiamento.

(x) La temperatura di prova.

(xi) Le indicazioni sull'acqua utilizzata per la prova.

(xii) Un diagramma della relazione tra tensione assiale e deformazione assiale totale simile a quello indicato in Fig. 6. Il diagramma deve distinguere tra  $\Delta\varepsilon_\sigma$  [(6) in Fig. 6] che è la deformazione istantanea, direttamente correlata al decremento della tensione assiale attraverso la matrice di deformazione e  $\Delta\varepsilon$  [(7) in Fig. 6] che è la deformazione di rigonfiamento causata da assorbimento di acqua. La deformazione totale è perciò:

$$\Delta\varepsilon_{\text{tot}} = \Sigma\varepsilon_\sigma + \Delta\varepsilon$$

(i) Un diagramma della relazione tra tensione assiale e deformazione assiale di rigonfiamento, simile alla Fig. 7. Questo diagramma è ottenuto ri-

portando sull'asse la deformazione di rigonfiamento  $\Delta\varepsilon$  corrispondente ai decrementi di tensione. La curva risultante può essere usata per stimare il potenziale di rigonfiamento che deve essere considerato in fase di progetto.

## Conclusioni

- Le prove di rigonfiamento devono essere integrate con l'analisi e la fase di progetto.
- I tre metodi sono relativamente semplici e sono stati usati di frequente nella pratica.
- I metodi si riferiscono al rigonfiamento di rocce argillose.
- Futuri sviluppi delle tecniche di prova saranno necessari specie per prove di laboratorio in 3-D.

## Note

1. Per i propositi di questi "Metodi Suggestiti", il termine "campione" si riferisce alla carota, blocco o altro pezzo di roccia che viene portato in laboratorio, mentre il termine "provino" si riferisce al provino oggetto della singola prova che viene preparato utilizzando una porzione del campione.
2. Poiché quasi tutti gli enti che lavorano sulle rocce rigonfianti hanno sviluppato un specifico apparato per la misura della tensione di rigonfiamento, l'apparecchiatura descritta è solo un esempio. Il vantaggio di questa apparecchiatura è la possibilità di utilizzare anelli di acciaio di differente diametro, a seconda del diametro del provino. Ciò riduce il tempo per la preparazione e quindi il rischio di disturbare il provino.
3. Normalmente sono adatte celle di carico di una capacità di 20 kN con deflessioni inferiori a  $10^{-8}$  m. Per tensioni di rigonfiamento molto alte sono necessarie celle di carico da 50 kN. L'accuratezza dello 0.5% si riferisce al fondo scala della cella di carico.
4. Durante le prime ore si hanno variazioni sostanziali delle deformazioni. Inoltre, la maggior parte del fenomeno avviene solitamente entro i primi giorni; la durata totale della prova dipende fortemente dalle dimensioni del provino. Questi fattori dovrebbero essere considerati quando si mette a punto un programma di prove.
5. In tutte e tre le tipologie di prova in alternativa si può prelevare una parte del provino prima che venga essiccato nel forno per permettere la determinazione della composizione mineralogica. La determinazione delle masse  $M_2$  ed  $M_3$  (Parte 2 e 4) avviene poi con la parte restante del provino.
6. Per dettagli sul calcolo della densità, del contenuto d'acqua, del grado di saturazione, il riferimento è [3].
7. Questa apparecchiatura rappresenta solo un esempio. Se la deformazione di rigonfiamento deve essere misurata nelle tre direzioni, il provino dovrebbe essere preferibilmente di forma cubica. Dovrebbe essere però possibile montare i micrometri nelle tre direzioni.
8. Esistono un certo numero di possibilità di effettuare misure in continuo e più precise della deformazione radiale. Dato il proposito delle prove di rigonfiamento libero (fornire informazioni rapide sulla massima deformazione di rigonfiamento) una maggiore precisione è forse ingiustificata.
9. Alcune rocce argillose possono iniziare a disgregarsi dopo un breve periodo di immersione in acqua determinando la presenza di fessure aperte lungo i loro piani di stratificazione. In tal caso potrebbe essere opportuno applicare un piccolo incremento del carico assiale.

10. L'apparato descritto è essenzialmente un edometro modificato simile a quello utilizzato nella meccanica delle terre. La differenza ed il vantaggio di questa particolare apparecchiatura è la possibilità di utilizzare anelli di acciaio di differente diametro a seconda delle dimensioni del provino. Questo riduce il tempo di preparazione del provino e quindi il rischio di disturbare il provino.
11. Ci si attende che questa procedura permetta la determinazione di un limite inferiore della tensione di rigonfiamento per una data deformazione di rigonfiamento. Il metodo è appropriato per la determinazione del rigonfiamento prodotto da uno scarico tensionale.
12. Per le applicazioni in cui lo stato tensionale indotto sulla roccia rigonfiante è minore di 25 kPa, come nel caso delle fondazioni di edifici o di pendii artificiali, vanno fissati i valori da assumere per il carico finale inferiore.

## Bibliografia

1. *Characterization of Swelling Rock*. Commission on Swelling Rock, (October 1983).
2. ISRM Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. Suggested Method for Determination of the Swelling Strain Index For a Radially Confined Specimen with Axial Surcharge. In *Rock Characterization, Testing and Monitoring* (E.T. Brown, Ed.), Pergmon Press, Oxford (1981).
3. ISRM Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and related Properties and Swelling and Slake Durability Index, Document n. 2, First Revision. In *Rock Characterization, Testing and Monitoring* (E.T. Brown, Ed.), Pergmon Press, Oxford (1981).

## Appendice

### Preparazione del provino per rocce particolarmente fragili

(a) Il provino intatto viene tagliato all'interno di un anello molto affilato di acciaio inossidabile lucidato di circa 65 mm di diametro e 20 mm di altezza. Il campione viene realizzato a mano in una stanza ad umidità controllata usando lame e bisturi chirurgici molto affilati ed appuntiti di acciaio inossidabile (ad es. Bard.Parker N. 10).

(b) Una fetta di circa 30 mm di spessore deve essere tagliata uniformemente da un campione indisturbato cilindrico (o a forma di blocco). Se necessario le basi vanno regolarizzate e rese perfettamente piane e parallele utilizzando lame affilate e piane.

(c) Il campione da regolarizzare deve essere posto al centro dell'adattatore inferiore di una pressa manuale (Fig. A1). La pressa manuale viene modificata da un "U-116 Field Classification Tester (SOIL-TEST, INC.)" utilizzando due adattatori su cusci-

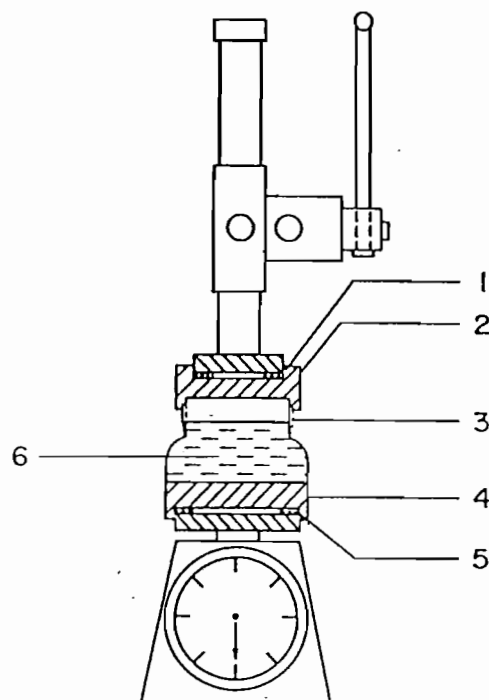


Fig. A1 – (1), (5) cuscinetti a sfera; (2) adattatore superiore; (3) anello con tagliente (fustella); (4) adattatore inferiore; (6) provino.

netti a sfera che permettono al campione di roccia rigonfiante di ruotare liberamente durante il processo di regolarizzazione.

(d) Dopo aver rimosso ogni parte residua di roccia presente all'esterno dell'anello, l'anello deve essere spinto verso il basso poco alla volta (generalmente con passo minore di 2 mm) utilizzando una pressa manuale. Prima di ciascuna fase di avanzamento la parte del provino disposta al di sotto dell'anello (fustella) deve essere resa quanto più prossima alla dimensione finale senza operare tagli dall'alto verso il basso; con questa procedura solo uno strato sottile a forma di anello viene rimosso dall'anello man mano che avanza. Questo procedura va continuata finché il provino non occupa completamente l'altezza di 20 mm dell'anello.

(e) La faccia del provino presente all'estremità tagliente dell'anello deve essere resa piana utilizzando una lama piana e tagliente.

(f) Per poter sottoporre il provino a prova la sua altezza deve essere inferiore all'altezza dell'anello. Un distanziatore di circa 5 mm di spessore deve essere posto contro la superficie piana ed usando la pressa manuale il provino tagliato viene spinto fuori nella direzione opposta a quella di ingresso.

(g) Non appena il provino viene estruso dall'anello, viene tagliato da questa altra estremità in maniera netta usando una lama piana ed affilata; con tale procedura viene raggiunto lo spessore desiderato del provino.