

# Raccomandazione per la determinazione in sito della deformabilità della roccia

## Parte I

### Raccomandazione per la determinazione delle deformabilità mediante prove di carico su piastra (con carico superficiale)

1.(a) La prova di carico su piastra, denominata anche prova con martinetto cilindrico, che prevede l'applicazione di un carico superficiale, è eseguita in gallerie di piccolo diametro o in cunicoli esplorativi per determinare le caratteristiche di deformabilità di un ammasso roccioso.

(b) Due superfici, del diametro indicativamente di 1 m ciascuna, sono caricate contemporaneamente mediante l'uso di martinetti disposti trasversalmente nella galleria. Le deformazioni dell'ammasso roccioso sono misurate in fori di sondaggio situati dietro ciascuna superficie di carico e trasversalmente alla galleria tra le superfici di carico. Un tipico schema di prova è riportato in Fig. 1.

(c) Incrementi di carico e carichi ciclici consentono di ottenere i dati per il calcolo dei moduli elastici, di deformazione e di scarico. Le caratteristiche relative allo scorrimento plastico dell'ammasso roc-

cioso possono essere determinate dai diagrammi che riportano gli spostamenti in funzione del tempo.

(d) Gli effetti dovuti all'anisotropia possono essere determinati orientando la spinta dei martinetti in qualsiasi direzione. È tuttavia opportuno che la spinta dei martinetti sia mantenuta in un piano perpendicolare all'asse del cunicolo.

### Attrezzatura

2.(a) L'attrezzatura per l'esecuzione della prova comprende il necessario per: la preparazione della sezione di prova, la perforazione e l'installazione della strumentazione da foro, la misura degli spostamenti della roccia, l'applicazione dei carichi di prova, la registrazione dei dati di prova e il trasporto delle varie attrezzature alla sezione di prova.

3.(a) L'attrezzatura per la preparazione della sezione di prova dovrebbe includere un assortimento di attrezzi di scavo, quali perforatori e demolitori per uniformare le superfici di carico.

L'uso di esplosivo non dovrebbe essere permesso

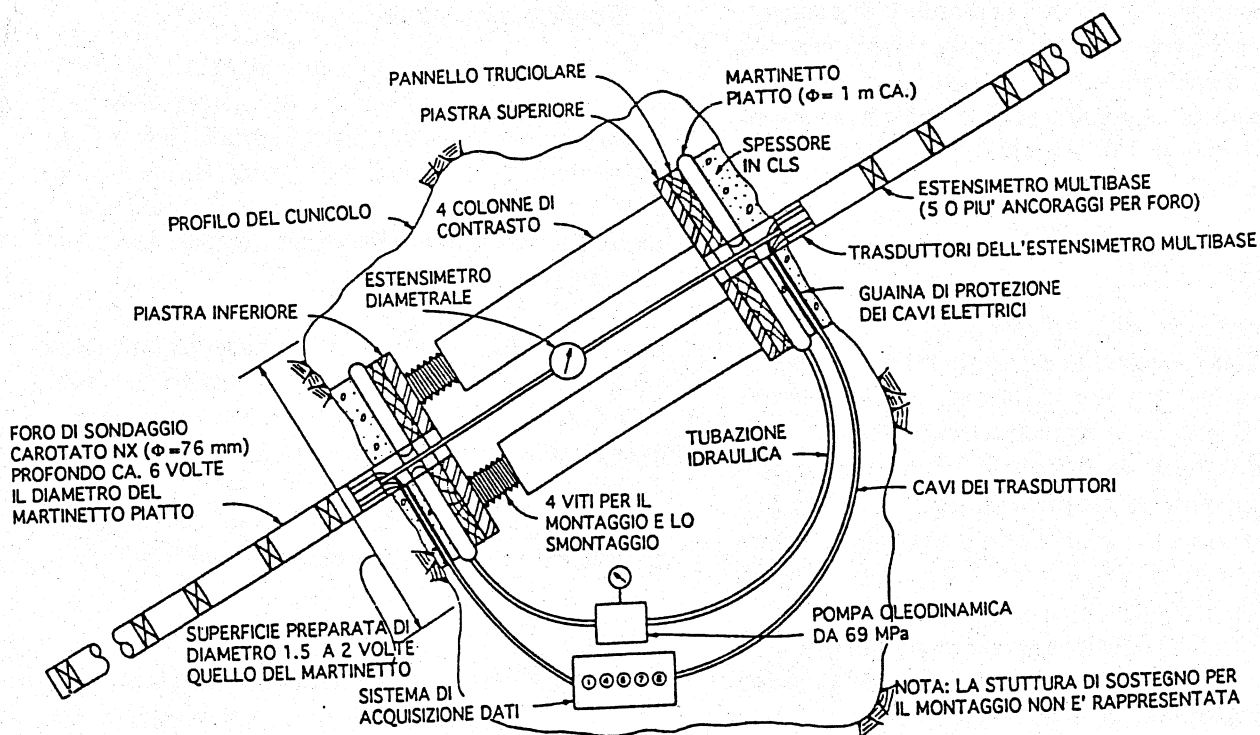


Fig. 1 - Prova di carico su piastra.

durante la fase finale della preparazione della sezione di prova.

4.(a) L'esecuzione di fori per l'installazione di strumentazione dovrebbe consentire, se possibile, il recupero di carote fino alla profondità di 10 m.

È consigliabile l'utilizzo di sistemi di osservazione dell'interno dei fori predisposti per l'installazione di strumentazione di misura degli spostamenti per confrontare e verificare le caratteristiche geologiche rilevate sulle carote.

(b) La strumentazione per la misura degli spostamenti dovrebbe comprendere un estensimetro multibase affidabile installato in ciascun foro e uno strumento per la misura delle variazioni diametrali della galleria. Tutti gli strumenti dovrebbero avere una sufficiente precisione e sensibilità in maniera da essere in grado di rilevare gli spostamenti previsti. Errori sperimentali superiori a 0.01 mm possono inficiare i risultati delle prove qualora il modulo dell'ammasso roccioso dovesse essere superiore a 35000 MPa. Una discussione sulle conseguenze di errori sperimentali è reperibile in [1].

5.(a) L'attrezzatura di carico dovrebbe essere in grado di applicare contemporaneamente una pressione uniforme su due superfici di carico situate su due lati opposti della galleria, aventi diametro pari a circa 1 m. Come illustrato in Fig. 1, l'attrezzatura utilizzata per l'applicazione del carico sulla roccia preventivamente preparata e strumentata potrebbe essere costituita da martinetti calibrati e da una struttura di contrasto in grado di resistere al massimo carico uniformemente distribuito con un sufficiente fattore di sicurezza. La centralina idraulica di pompaggio con i necessari accessori, valvole, trasduttori, tubi idraulici, dovrebbe avere sufficiente pressione e portata in maniera da applicare e mantenere la pressione prevista entro un 3% del valore nominale per tutta la durata della prova.

#### Procedura

##### 6. Preparazione della sezione di prova

(a) L'area scelta per la prova dovrebbe essere preparata con cura. La roccia allentata dovrebbe essere rimossa utilizzando perforatori e demolitori. Per ridurre l'effetto di contenimento della roccia circostante, dovrebbe essere preparata un'area avente un diametro pari a 1.5-2 volte quella della superficie di carico. Le due superfici di carico dovrebbero essere coassiali e giacenti su piani perpendicolari alla direzione di carico dell'attrezzatura di contrasto.

Se per la preparazione iniziale dell'area di carico si fa uso di esplosivo, si dovrebbe aver cura di realizzare superfici non danneggiate dalle operazioni di

scavo. Procedure dettagliate sulla preparazione della sezione di prova sono riportate in [2].

(b) I fori nelle superfici di carico per l'installazione di strumentazione dovrebbero essere realizzati mediante carotaggio. È necessario porre attenzione affinché i fori risultino coassiali tra di loro e con l'asse dell'attrezzatura di contrasto.

(c) L'esame delle carote e del foro predisposto per l'installazione della strumentazione consente di localizzare i punti di ancoraggio dell'estensimetro multibase. Gli ancoraggi dovrebbero essere ubicati in maniera da non essere installati sui giunti, separando in tale maniera le diverse zone strutturali o litologiche. L'ancoraggio più profondo dovrebbe essere posizionato ad una distanza pari a circa 6 volte il diametro del martinetto piatto al di sotto della superficie di carico in maniera da costituire il punto fisso rispetto al quale lo spostamento degli altri ancoraggi può essere riferito.

In generale gli altri ancoraggi dovrebbero essere concentrati nella zona di massima sollecitazione compresa tra la superficie della roccia e la profondità di circa 3 volte il diametro del martinetto piatto.

In Fig. 2 sono proposti alcuni schemi per l'ubicazione degli ancoraggi.

È opportuno che la testa strumentata e gli ancoraggi dell'estensimetro multibase siano resi solidali con le pareti del foro di sondaggio. Questo evita di dover misurare gli spostamenti degli elementi che compongono l'attrezzatura di prova, dato che tutte le misure saranno relative alla roccia.

##### 7. Installazione dell'attrezzatura

(a) In Fig. 1 è proposto uno schema dell'attrezzatura di contrasto e di carico e della strumentazione di misura. Un'apposita piattaforma in legno (non illustrata in Fig. 1) consente l'assemblaggio di tutta l'attrezzatura di prova. Lo spazio tra il martinetto piatto e la roccia dovrebbe essere riempito con malta di cemento.

La malta dovrebbe essere lasciata maturare per un tempo sufficiente per ottenere un'adeguata resistenza prima dell'inizio delle prove. Nello spazio tra i martinetti piatti e le piastre inferiore e superiore dovrebbe essere messo in opera un pannello in materiale truciolare (in legno o resina) o altro materiale idoneo a garantire il collegamento tra il martinetto piatto da una parte e la piastra di carico dell'altra.

##### 8. Esecuzione della prova

(a) Dopo l'installazione di tutta la strumentazione di misura nei fori di sondaggio, se ne dovrebbe verificare il funzionamento sia dal punto di vista mec-

ca  
de  
ef  
zi  
ca  
es  
e  
cr

lu  
lic  
te  
pr

de  
be  
di  
si

n  
le  
ci

ci  
n  
r  
p

n  
l  
a  
g

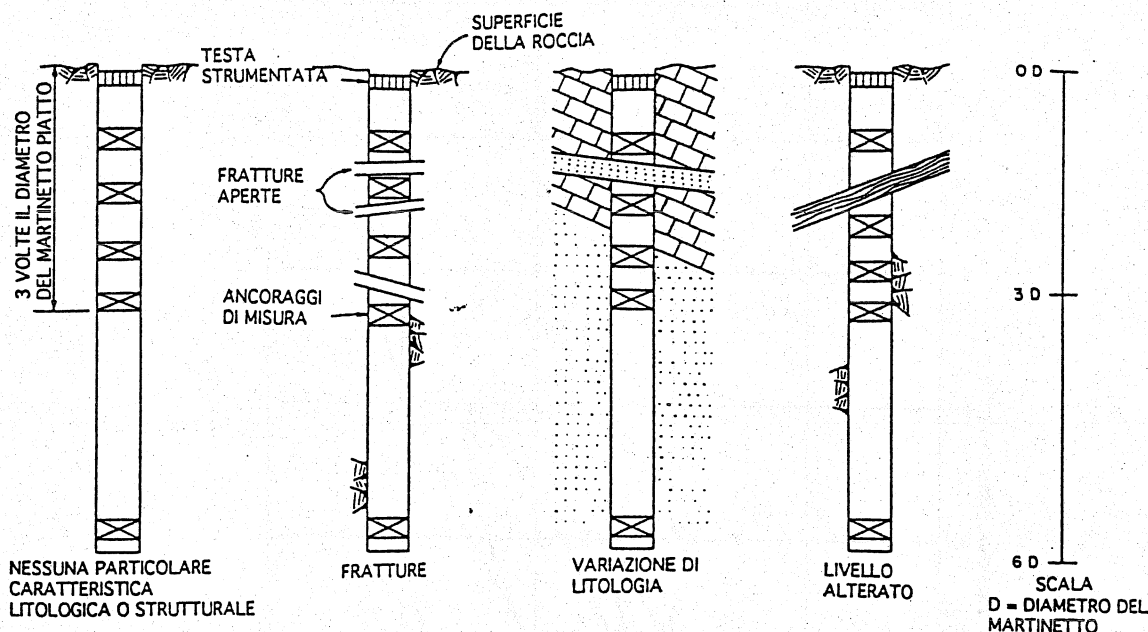


Fig. 2 - Esempio di ubicazione degli ancoraggi.

canico che elettrico. In seguito alla messa in opera della struttura di carico e di contrasto, si dovrebbe effettuare un ulteriore controllo della strumentazione. Un controllo finale di tutte le componenti meccaniche idrauliche ed elettroniche dovrebbe essere eseguito dopo la messa in opera dello strato di malta e nuovamente prima dell'applicazione del primo incremento di carico.

(b) Le prove dovrebbero essere eseguite senza soluzione di continuità su una base di 24 ore giornaliere applicando livelli ed incrementi di carico che tengano conto delle particolari esigenze di ciascun progetto.

(c) Durante il corso della prova gli spostamenti della roccia misurati dalla strumentazione dovrebbero essere registrati con continuità o ad intervalli di tempo sufficientemente ristretti per ottenere l'insieme di dati previsto.

Nel caso di utilizzo di un sistema di acquisizione non continua, si raccomanda un minimo di quattro letture durante la prima ora di ciascuna fase di incremento o di decremento del carico.

(d) La massima pressione di prova, il numero di cicli per raggiungere la massima pressione e il numero di incrementi di pressione in ciascun ciclo saranno determinati in funzione alle condizioni di prova e al tipo di informazioni desiderate. Generalmente si considera adeguata una pressione che sia  $1.2 \div 1.5$  volte superiore a quella esercitata dalla struttura. Per ciascun ciclo dovrebbero essere effettuati almeno cinque incrementi di pressione, ciascuno seguito da un periodo a pressione nulla.

Una tipica sequenza di cicli di carico è riportata in Fig. 3.

(e) La durata di ciascun incremento di pressione sarà determinata dallo scorrimento plastico dell'ammasso roccioso. Finché il comportamento dell'ammasso roccioso non sarà ben noto, la pressione dovrà essere mantenuta per almeno 48 ore; questo periodo dovrà essere seguito da uno a pressione zero per 24 ore. Le osservazioni sull'andamento della prova dopo i primi incrementi di pressione possono essere utilizzate per modificare i tempi dei successivi incrementi. La pressione nei martinetti dovrebbe essere mantenuta costante con scostamenti dal valore nominale non superiori al 3% durante tutto il periodo di prova a pressione costante. L'andamento del diagramma di una prova tipica in funzione del tempo è riportato in Fig. 4.

### Calcoli

9.(a) I dati acquisiti durante la prova possono essere rappresentati graficamente mediante diagrammi che riportino lo spostamento in funzione del tempo, della pressione o della profondità. Questi diagrammi sono di ausilio nell'analisi dello scorrimento plastico sotto carico ed allo scarico e delle deformazioni irreversibili dell'ammasso roccioso. Nelle Figg. 3, 4 e 5 è riportata una serie di diagrammi esemplificativi.

(b) Le misure di spostamento durante i vari cicli di carico sono utilizzate per calcolare i moduli di deformabilità mediante opportune formule. General-

me  
ria  
cie  
su  
de  
l'a

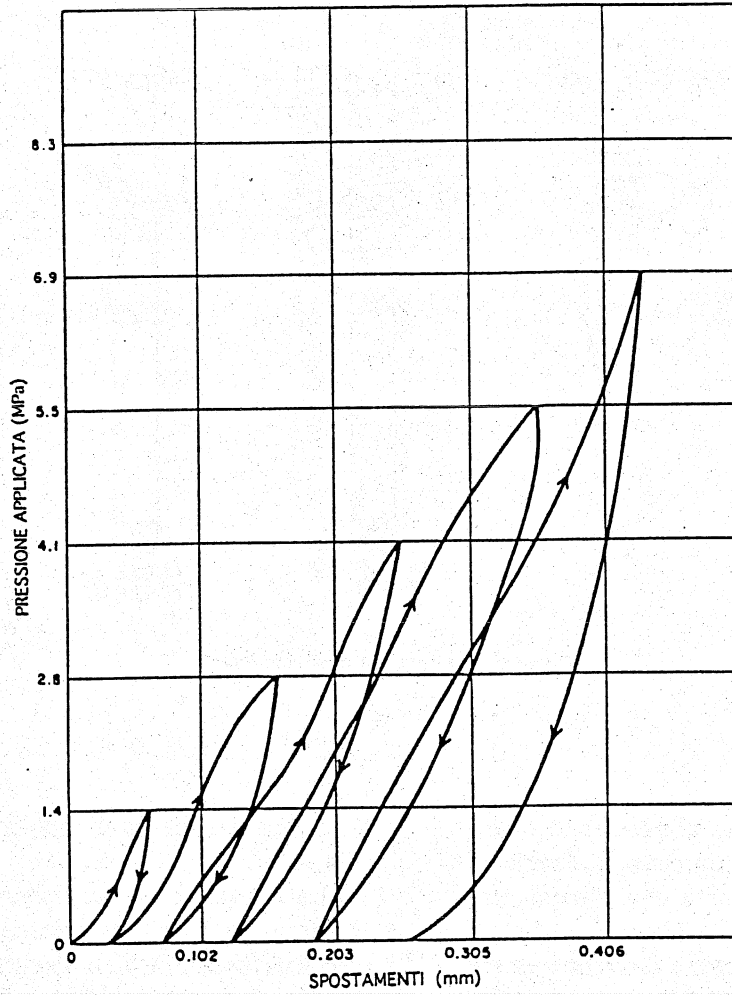


Fig. 3 - Spostamento superficiale della roccia in funzione della pressione applicata.

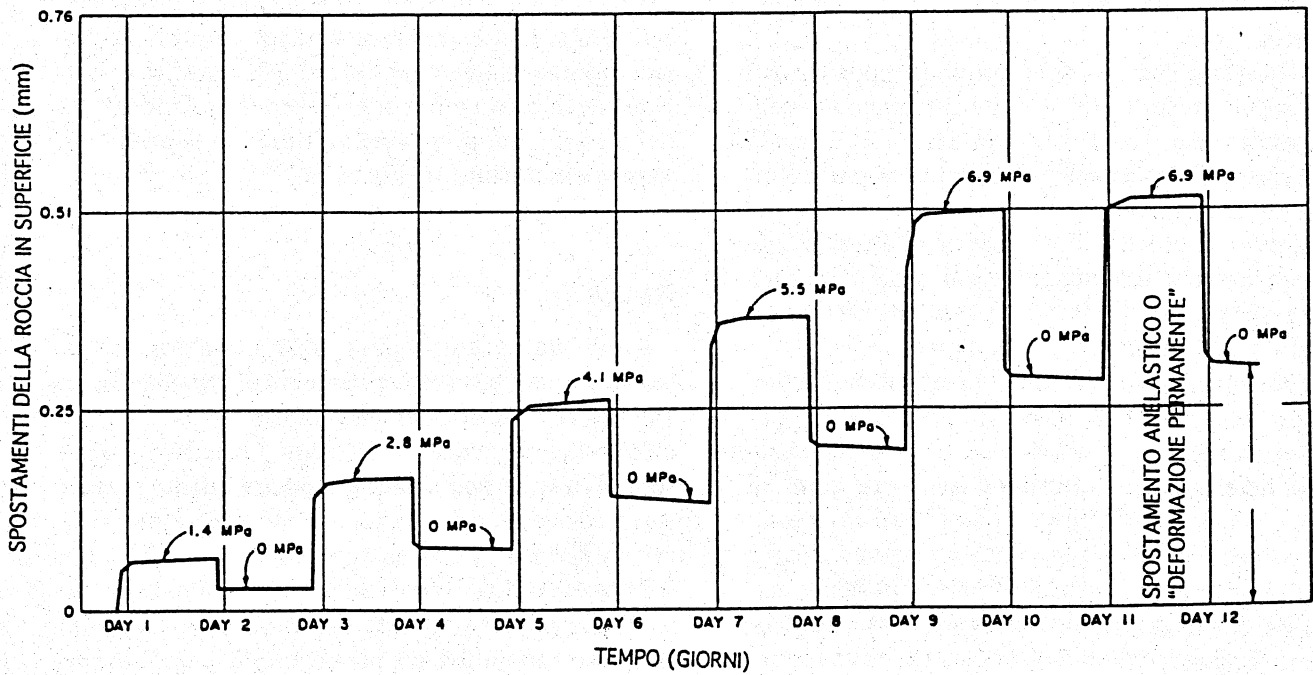


Fig. 4 - Spostamenti della roccia in funzione del tempo per prova di carico di piastra.

mente l'applicazione delle equazioni basate sulla teoria dell'elasticità [3], per la loro semplicità, è sufficiente per approssimare le reali condizioni del sito.

(c) Per una pressione uniformemente distribuita su di un'area circolare, lo spostamento in corrispondenza di qualsiasi punto al di sotto del centro dell'area di carico può essere espresso da:

$$w_z = \frac{2q(1-\nu^2)}{E} [(a^2 + z^2)^{1/2} - z] - \frac{qz(1+\nu)}{E} [z(a^2 + z^2)^{-1/2} - 1] \quad (1)$$

in cui:

- $W_z$  = spostamento in direzione di quella di applicazione della pressione
- $Z$  = distanza tra la superficie di carico e il punto in cui è calcolato lo spostamento
- $q$  = pressione
- $a$  = raggio della superficie di carico
- $\nu$  = coefficiente di Poisson
- $E$  = modulo elastico

Alla superficie  $Z=0$  e l'espressione si riduce a:

$$w_{z=0} = \frac{2(1-\nu^2)}{E} qa. \quad (2)$$

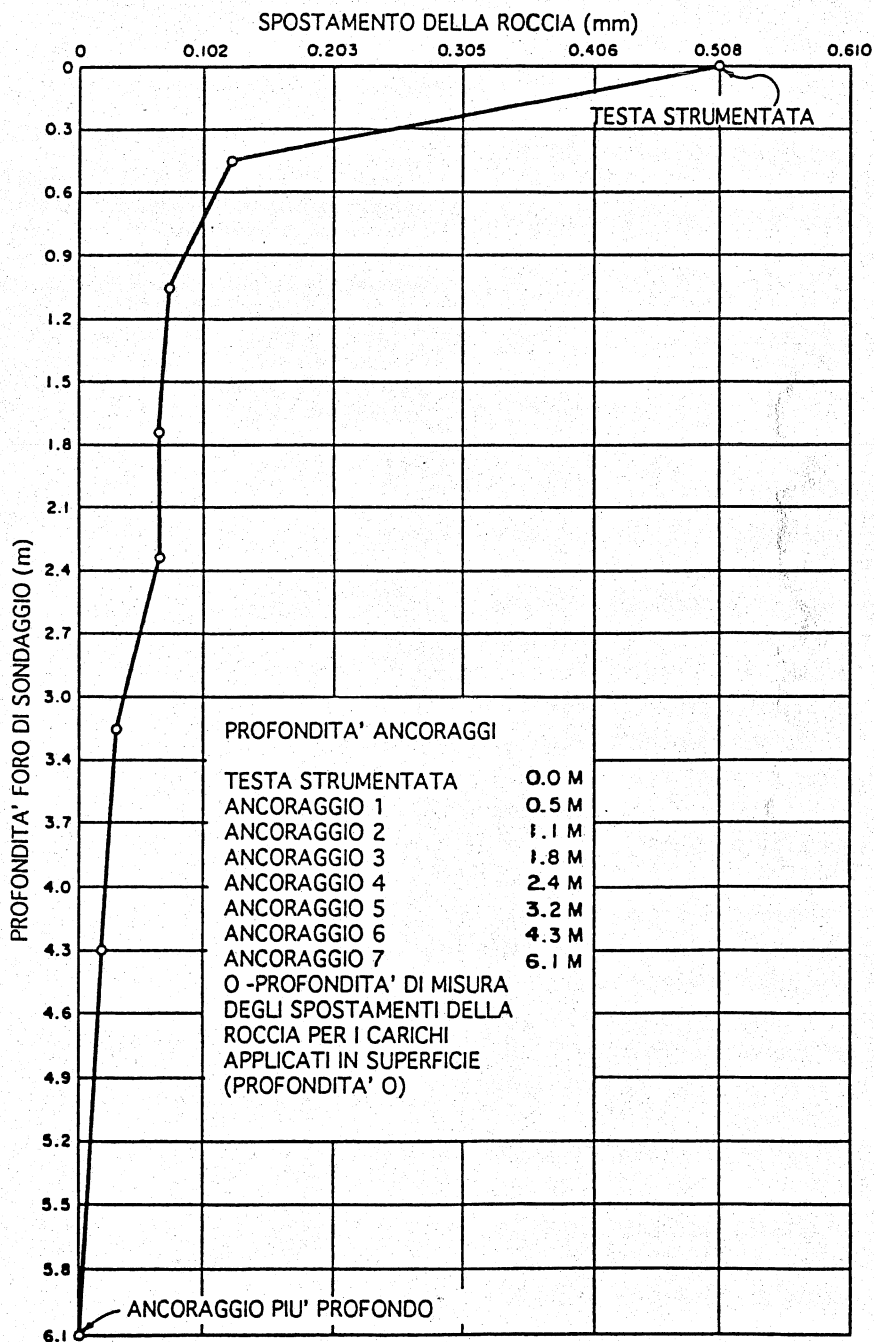


Fig. 5 - Spostamento uniaxiale in funzione della profondità riferito all'ancoraggio più profondo per una pressione applicata pari a 6.9 MPa.

(d) Quando i carichi sono applicati con un martinetto piatto circolare avente un foro centrale, l'effetto dell'area non caricata deve essere sottratto.

Utilizzando la notazione:

$a_2$  = raggio esterno del martinetto piatto

$a_1$  = raggio interno del martinetto piatto e raggio del foro

$$w_z = \frac{2q(1-\nu^2)}{E} [(a^2+z^2)^{1/2}(a_1^2+z^2)^{1/2}] + \frac{z^2q(1+\nu)}{E} [a_1^2+z^2]^{-1/2} - (a_2^2+z^2)^{-1/2}. \quad (3)$$

Sostituendo gli appropriati valori di  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $\nu$  e  $z$ , l'equazione (3) si riduce a:

$$w_z = \frac{q}{E} (K_z). \quad (4)$$

Se gli spostamenti  $W_{z1}$  e  $W_{z2}$  sono misurati in corrispondenza dei punti  $z_1$  e  $z_2$ , il modulo di deformabilità del materiale situato tra le quote  $z_1$  e  $z_2$  può essere calcolato come:

$$E_d = q \left[ \frac{K_{z1} - K_{z2}}{W_{z1} - W_{z2}} \right]. \quad (5)$$

#### Presentazione dei risultati

10. Il rapporto dovrebbe includere quanto segue:

(a) Una descrizione geologica completa del sito comprendente le descrizioni dei campioni, le fotografie dei campioni, le fotografie delle superfici di carico dopo la loro preparazione ed una descrizione dei danni locali causati dall'uso di esplosivo.

(b) Una descrizione dell'attrezzatura di prova comprendente fotografie dell'attrezzatura installata, le specifiche relative alla precisione ed alla sensibilità di tutti i trasduttori di pressione e di spostamento e i dati di taratura di tutti gli strumenti.

(c) Tabelle con tutti i dati rilevati durante la prova.

(d) Diagrammi degli spostamenti in funzione della pressione come riportato in Fig. 3. Le informazioni ricavabili da questo diagramma possono essere utilizzate per determinare l'andamento della curva sforzi-deformazioni, per ricavare i valori per il calcolo dei vari moduli e per determinare le caratteristiche allo scarico ed elastiche.

(e) Diagrammi degli spostamenti in funzione del tempo come riportato in Fig. 4. Questo diagramma è utile per lo studio dello scorrimento plastico della roccia. Esso dovrebbe essere registrato durante le prove per definire la durata di ciascun incremento di carico.

(f) Diagrammi degli spostamenti in funzione della profondità riferiti all'ancoraggio più profondo come illustrato in Fig. 5. Questo profilo degli spostamenti è utilizzato per evidenziare zone anomale con valori di modulo inferiori o superiori alla media.

Dopo l'identificazione di queste zone, esse possono essere confrontate con i risultati delle osservazioni effettuate sui campioni estratti dai fori di sondaggio realizzati per l'installazione della strumentazione. Se gli ancoraggi degli estensimetri multibase sono correttamente ubicati, i moduli di queste zone possono essere calcolati utilizzando l'equazione (5).

(g) I moduli calcolati commisurati al problema progettuale. Per ciascun valore di modulo dovrebbe essere identificata la profondità alla quale esso è riferito e l'intervallo di sollecitazione per il quale è stato calcolato.

#### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- BENSON R. P., MURPHY D. K. e MCCREATH D.R. (1969) - *Modulus testing of rock at the Churchill Falls underground powerhouse, Labrador*. in Determination of the in situ modulus of deformation of rock, American Society for Testing and Materials, STP477.
- MISTEREK D. L., SLEBIR E. J. e MONTGOMERY J.S. (1973) - *Bureau of reclamation procedures for conducting uniaxial jacking tests*. Paper presented at American Society for Testing and Materials Annual Meeting, June 24-29, Philadelphia, Pennsylvania.
- TIMOSHENKO S., GOODIER J.N. (1951) - *Theory of Elasticity*. McGraw-Hill, New York.