

# Raccomandazioni per l'esecuzione di prove su tiranti in roccia

## 1. Introduzione

(a) Vengono descritti due distinti metodi di carico: il metodo di carico coassiale ed il metodo di carico a distanza; la scelta del metodo più adeguato è affidata al progettista.

Il metodo di carico coassiale è comunemente utilizzato per determinare la resistenza della fondazione del tirante senza portare a rottura l'ammasso roccioso circostante. Di conseguenza questo metodo viene usato solo su tiranti profondi (rottura dell'ammasso roccioso improbabile) o realizzati per il consolidamento della roccia.

Il carico a distanza viene usato per valutare la resistenza del tirante e della roccia che lo circonda. È un metodo essenziale per applicazioni superficiali in cui il tirante deve opporsi al sollevamento, come, ad esempio, accade nelle fondazioni di un traliccio.

(b) Questi due metodi di carico permettono di eseguire numerose prove. Le prove su tiranti in roccia possono essere classificate in due gruppi:

*Prove di progetto* – Sono fondamentali test di verifica che possono essere richiesti per dimostrare o valutare, prima dell'installazione dei tiranti, la qualità e l'adeguatezza del progetto in relazione alle condizioni della roccia e dei materiali utilizzati (ad esempio i livelli di sicurezza previsti dal progetto). Queste prove possono essere più rigorose rispetto alle prove di collaudo e quindi non sempre possono essere direttamente confrontate (è il caso di prove a rottura di fondazioni corte di diversa lunghezza). D'altra parte, se i tiranti di prova sono realizzati in condizioni identiche a quelle di esercizio e caricati nello stesso modo fino agli stessi livelli, queste prove possono indicare in anticipo i risultati che si otterrebbero per i tiranti in esercizio. Il periodo di controllo dovrebbe essere sufficientemente lungo da assicurare che le oscillazioni dovute al precarico o al creep si stabilizzino entro limiti accettabili. Si tratta in genere di prove di lunga durata, superiori ai due giorni, che esulano dallo scopo di questo documento. Le prove di lunga durata su tiranti in roccia verranno affrontate in una prossima Raccomandazione.

*Le Prove di Collaudo* – Sono prove di routine che vengono eseguite su ogni tirante per verificare sia l'ef-

ficienza del trasferimento del carico alla fondazione, sia la capacità del tirante di sostenere a breve termine un carico maggiore del carico di progetto. Un raffronto attento tra i risultati a breve termine e quelli delle *Prove di Progetto* su tiranti identici offre dei criteri guida per la previsione del comportamento a più lungo termine.

(c) In questo documento non si è voluto descrivere alcun metodo per la progettazione dei tiranti. L'obiettivo principale è di definire i metodi di prova e di specificare i parametri che, se ritenuto opportuno dal progettista, possono essere usati come criteri per la valutazione del comportamento dei tiranti. Poiché le prove prevedono l'uso di attrezzature per applicare la sollecitazione ai tiranti, verranno fatte delle considerazioni sulla progettazione di tali attrezzature e degli strumenti di controllo; verranno inoltre descritti dei criteri relativi alle procedure di carico, utilizzabili per tutti i tipi di prove e tutti i metodi di carico.

(d) Le procedure descritte in questo documento non riguardano solamente i tiranti in roccia ma tutti i sistemi di tirantatura che attraversino terreni o strutture ed abbiano la fondazione in roccia. Tra queste applicazioni si possono annoverare i tiranti dei muri di sostegno, il rinforzo delle pareti degli scavi ed i tiranti per il precarico delle dighe a gravità in calcestruzzo.

(e) Se da un lato questo documento vuole avviare il processo di standardizzazione delle prove sui tiranti in roccia, esso non deve essere considerato né esauriente né restrittivo; è necessario infatti incoraggiare il miglioramento delle tecniche e lo sviluppo di nuove idee.

## Finalità

1.(a) In queste Raccomandazioni sono raccolti dei criteri guida per una serie di prove su tiranti in roccia, tra cui le *Prove di Progetto* e le *Prove di Collaudo*\*. Il documento, inoltre, suggerisce gli strumenti,

\* I termini in corsivo sono definiti al paragrafo Definizioni alla fine del testo.

le misure, i calcoli e le forme di annotazione dei risultati più adatti a questi due tipi di prove. Il controllo a lungo termine dei tiranti è affrontato in una diversa Raccomandazione.

(b) Nella pratica si considerano normalmente due metodi alternativi di carico. Nel metodo di carico coassiale (Fig. 1 e 2) la roccia circostante la testa del tirante è usata come superficie portante per il dispositivo di carico per cui nella prova non si tiene conto né dei movimenti nella roccia né della rottura dell'ammasso roccioso. Se è possibile che la rottura dell'ammasso roccioso si manifesti secondo una superficie conica, un cuneo o un blocco è preferibile

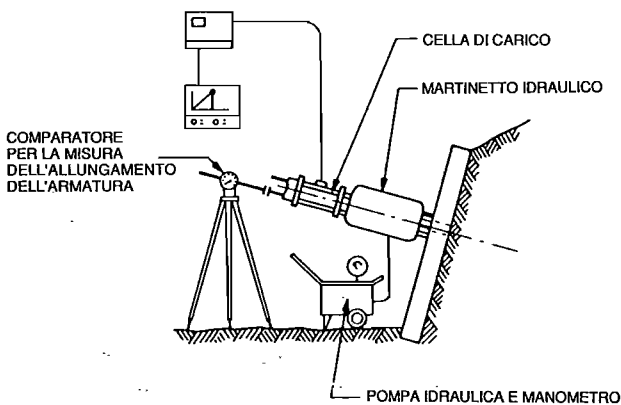


Fig. 1 Prova con carico coassiale.

il metodo di carico a distanza nel quale i carichi sono trasferiti al terreno lontano dal tirante, mediante una trave o un graticcio. La distanza tra vincoli successivi della struttura di reazione non deve ostacolare la rottura della roccia nel caso in cui la roccia sia più debole del tirante o della forza di adesione del tirante alla roccia\*\*. Ad esempio se si prevede una rottura a forma di cono o di cuneo con angolo al vertice di  $45^\circ$  la distanza tra due vincoli successivi della struttura di reazione non dovrebbe essere inferiore alla lunghezza totale del tirante nella roccia (Fig. 3). Per rottura lastriforme in rocce con fitta stratificazione orizzontale, la distanza tra gli appoggi va diminuita od aumentata in dipendenza della geometria della frattura. Nei casi in cui tra la roccia e la struttura di trasferimento è interposto uno strato di terreno di notevole spessore (Fig. 4 e 12), occorre valutare come il sovraccarico esercitato dal terreno di copertura limiti lo sviluppo del fenomeno di rottura nell'ammasso roccioso.

### Apparecchiature

2. Occorre disporre di attrezzature e materiali che consentano di preparare la superficie di reazione in-

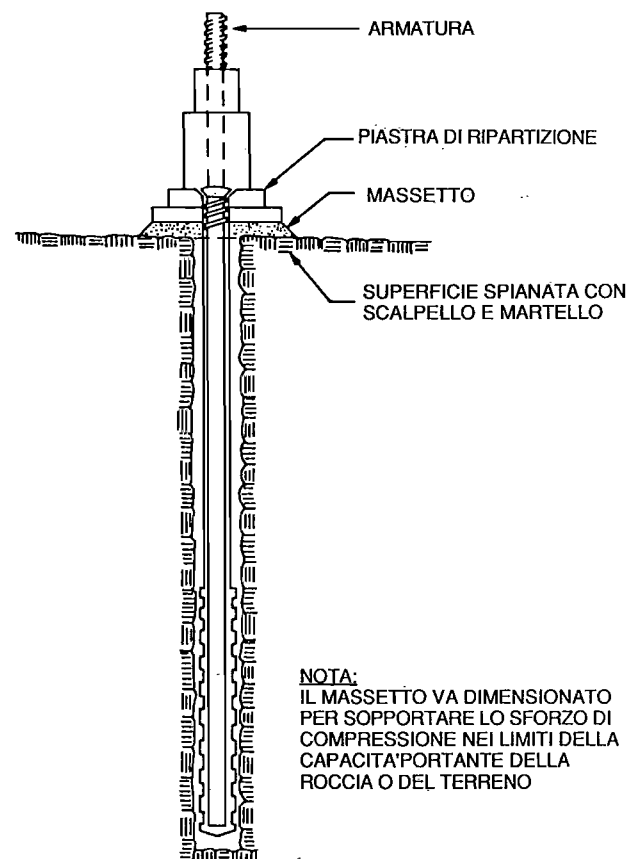
torno ad ogni tirante di prova. Tra questi vanno inclusi scalpelli per roccia, martelli, e cemento a presa rapida se la superficie da preparare è in roccia, oppure picconi, pale, zappa e tavolati di legno se la superficie è in terra.

3. Attrezzature per l'applicazione e la misura del carico, tra cui:

(a) Uno o più martinetti idraulici<sup>2</sup> con relative piastre di carico, cunei, spessori ed altri mezzi necessari per assicurare il trasferimento reazione/carico e per applicare il carico coassialmente all'armatura per tutta la durata della prova. Di solito viene utilizzato un martinetto idraulico toroidale, con una piastra di ripartizione posizionata fermamente, ed un dispositivo di bloccaggio o dei dadi per trasferire il carico dal martinetto al tirante. È auspicabile realizzare uno snodo sferico al di sotto del dispositivo di bloccaggio o del dado; se non si usa lo snodo il martinetto e il tirante debbono essere bene in asse ed in grado di fornire una resistenza adeguata all'inclinazione o alla traslazione laterale del martinetto o della piastra di ripartizione.

(b) Una o più pompe idrauliche<sup>3</sup> sono necessarie per dare pressione al martinetto e per mantenere costante il carico applicato durante le letture.

(c) Si consiglia anche di installare uno o più manometri per misurare il carico applicato al tirante<sup>4</sup>.



NOTA:  
IL MASSETTO VA DIMENSIONATO PER SOPPORTARE LO SFORZO DI COMPRESSIONE NEI LIMITI DELLA CAPACITÀ PORTANTE DELLA ROCCIA O DEL TERRENO

Fig. 2 Prova con carico coassiale.

\*\* Gli indici si riferiscono alle Note alla fine del testo.

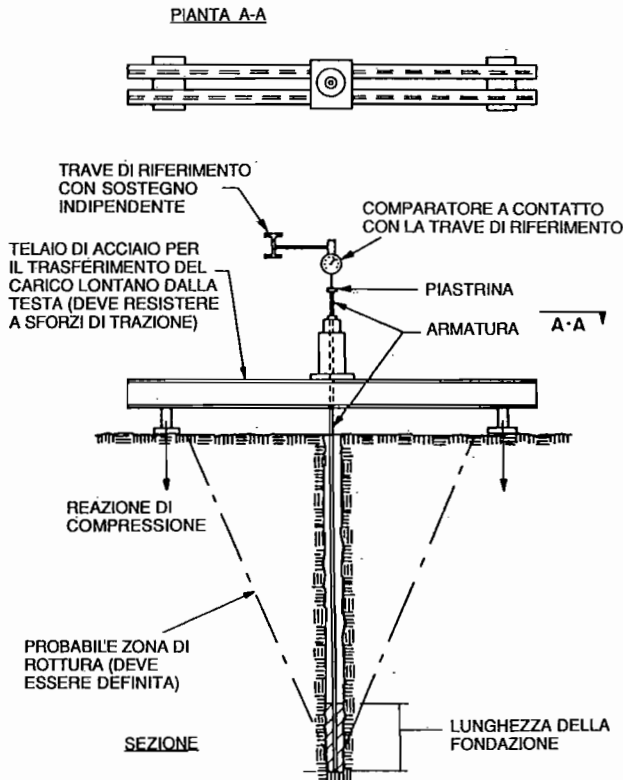


Fig. 3 Determinazione della resistenza della roccia. Schema semplificato della prova sul tirante in roccia.

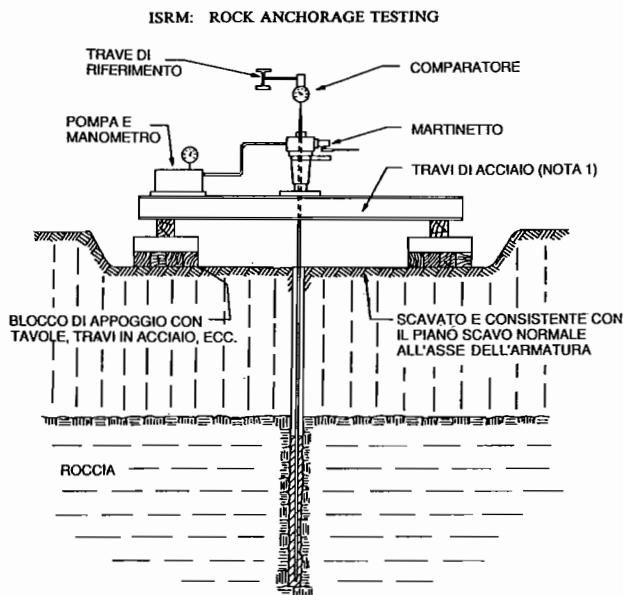


Fig. 4 Determinazione della resistenza della roccia.

A tale scopo possono anche essere utilizzate delle celle di carico (preferibilmente meccaniche).

Ciascuno strumento per la misura del carico dovrebbe essere dotato del suo certificato di taratura come sottolineato nel paragrafo 5.

Tra le celle di carico applicabili ai tiranti rientrano:

(i) celle meccaniche (basate su sistemi di anelli dinamometrici) con capacità fino ai 2000 kN, blocchi

per misurare la forza, fino a 10000 kN, e molle a tazza per carichi maggiori di 4500 kN.

(ii) celle estensimetriche fino a 5000 kN e

(iii) celle a corda vibrante, fino a 10000 kN.

Sono stati usati anche metodi fotoelastici, dispositivi idraulici ed a molle.

In tutti i casi si richiede<sup>5</sup> una precisione di almeno l'1% ed eventuali eccentricità del carico andrebbero evitate o portate in conto a prescindere dal tipo di cella usata.

4. Apparecchiature per misurare i movimenti del tirante:

(a) Strumenti che consentano di misurare lo spostamento della testa del tirante in direzione coassiale all'armatura rispetto ad un riferimento fisso quale può essere un punto della roccia lontano dal tirante. Gli strumenti devono essere robusti ed avere una precisione migliore di  $\pm 0.1$  mm, a meno che vi siano altre specifiche (ad esempio per semplici prove di collaudo); la corsa del pistone, infine, non deve essere inferiore ai 75 mm o all'allungamento atteso in prova, a seconda di quale dei due sia più lungo.

(b) Al pari delle celle di carico, gli strumenti per la misura dell'allungamento assiale dell'armatura o dello spostamento della testa dei tiranti possono essere più o meno sofisticati. Si usano in genere comparatori, trasduttori elettrici, nastri in acciaio e apparecchi topografici.

(c) Il metodo più semplice e meno accurato consiste nel misurare l'estensione del pistone del martinetto mediante un righello metallico. Poiché è possibile che ci sia scorrimento tra i fili od i trefoli dell'armatura in corrispondenza dei cunei di serraggio, l'allungamento di questo tipo di armature è spesso sopravvalutato. Un metodo migliore consiste nel segnare l'armatura, con nastro adesivo o altro mezzo, in un punto qualsiasi al di sopra della piastra di ripartizione. In questo modo si può misurare con precisione l'allungamento dell'armatura senza rimuovere il martinetto, purché la piastra di ripartizione non sia soggetta a spostamenti. In genere l'elongazione del pistone viene misurata con un righello metallico, con una precisione di  $\pm 1$  mm, che nella pratica risulta sufficiente.

(d) Un esempio di sistema di misura degli spostamenti, composto da corda metallica e specchio con scala graduata montato sul tirante, è riportato in Fig. 5. La corda metallica viene tesa tra due punti situati ad una certa distanza dal tirante ed accostata allo specchio. La lettura si effettua collimando la corda con la sua immagine speculare ed ha una precisione di  $\pm 1$  mm.

(e) Quando si richiede una maggior precisione, come nel controllo di deformazioni viscosi, si raccomanda l'uso di comparatori montati su un treppiedi o una trave (Fig. 1). Comparatori con preci-

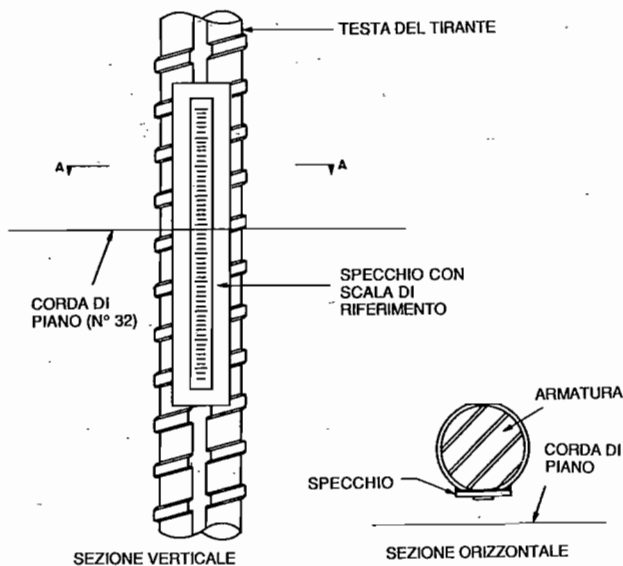


Fig. 5 Semplice sistema di misura degli spostamenti.

sione di 0,05 mm sono adeguati per la maggior parte delle prove.

(f) Le travi di riferimento, le corde, devono essere dotate di sostegni propri ben fissati al suolo ad una distanza dal tirante e dagli appoggi della struttura di reazione tale da non subire movimenti maggiori di 0,1 mm ad opera del tiranti o del martinetto. Le travi di riferimento devono costituire un sostegno sufficientemente rigido per la strumentazione in modo che le variazioni durante la lettura non superino  $\pm 0,1$  mm. Una maggiore rigidità può essere ottenuta utilizzando rinforzi trasversali. Le travi di riferimento devono essere protette dal vento, dall'umidità e dalle variazioni di temperatura o esservi insensibili; ad esempio una estremità deve essere libera di spostarsi lateralmente per assecondare le variazioni di temperatura.

(g) In alternativa al metodo interpretativo, un metodo diretto per misurare lo spostamento della fondazione, consiste nel cementare all'interno della fondazione un filo metallico inguainato che fuoriesce dal dispositivo di bloccaggio. Un qualsiasi movimento del filo, mantenuto in tensione con un con-

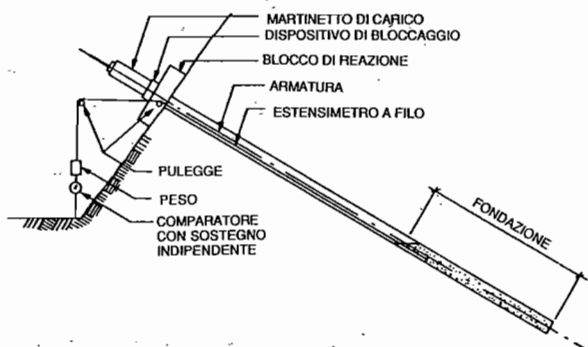


Fig. 6 Metodo diretto per la misura dei movimenti della fondazione.

trappeso, indica uno spostamento della fondazione (Fig. 6). In alternativa al filo si può usare un'armatura in sovrannumero. La Fig. 7 illustra un sistema con filo e puleggia per misurare gli spostamenti del dispositivo di bloccaggio.

(h) Attrezzature varie, tra cui un cronometro, moduli di prova necessari per l'annotazione dei risultati, penne, cartellini, pennarelli e vernici sono utili per contrassegnare i tiranti sottoposti a prova.

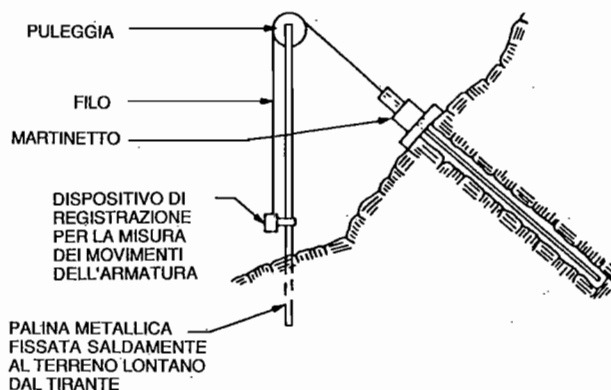


Fig. 7 Metodo diretto per la misura degli spostamenti del dispositivo di bloccaggio (testa del tirante).

## Procedura di prova

### Taratura

5. (a) Tutti i martinetti e i manometri vanno tarati prima di essere usati e il certificato di taratura deve essere disponibile in loco in qualunque momento.

(b) I martinetti vanno tarati almeno una volta all'anno con apparecchiature apposite la cui *Precisione Assoluta* non superi lo 0,5%; sulle schede delle prove va indicata la relazione tra carico sul martinetto e la pressione idraulica sia con carico crescente che decrescente.

Ad un nuovo contratto, prima della tesatura, per ogni martinetto va controllata la taratura e va preparata una curva di taratura.

La taratura deve coprire l'intero arco di valori in cui il martinetto è chiamato ad operare sia in carico che in scarico in modo che sia nota l'isteresi di attrito quando il tirante debba essere assoggettato a carichi ciclici. Ciò richiede una taratura per diversi valori di allungamento del pistone, pari, ad esempio, al 25, 50 e 75% della corsa complessiva del pistone.

(c) È possibile usare celle di carico in serie con i martinetti idraulici. Le celle di carico vanno tarate prima della prova con una precisione non inferiore all'1% del *Carico di Prova Massimo Specificato* (SMTL), e devono generalmente essere dotate di snodi sferici o meccanici per assicurare la precisione richiesta.

(d) I documenti di taratura vanno certificati da un laboratorio esterno ufficiale e vanno allegati a tutte le apparecchiature per cui è richiesta la taratura. I certificati devono essere disponibili al momento dell'esecuzione delle prove e debbono essere stati redatti non oltre sei mesi prima della prova.

#### Preparazione della superficie di prova

6. (a) Quando la reazione al dispositivo di carico è data dalla roccia o dal calcestruzzo, la superficie di reazione deve essere libera da materiali sciolti o friabili e spianata in modo da risultare normale alla direzione del carico. Uno scalpello meccanico o a mano può essere utilizzato per una sommaria preparazione della superficie; su di essa vanno quindi collocate delle piastre di ripartizione in acciaio. Tra queste e la superficie si inzeppano dei cunei o si interpone un massetto di malta (Fig. 2).

(b) Quando la reazione viene offerta dal terreno di copertura, la struttura di reazione deve essere progettata per trasmettere i carichi al terreno senza produrre eccessivi movimenti. Le sollecitazioni normali vanno contenute entro limiti accettabili. Il terreno poco consistente, va rimosso ed è necessario realizzare dei plinti (ad esempio delle incastellature in legno) (Fig. 4).

(c) Nei casi in cui il tirante deve agire su una struttura, ad es. un muro di sostegno provvisorio, è una parte del muro stesso ad offrire la reazione necessaria.

(d) Laddove la piastra di ripartizione è a contatto con il terreno o con la struttura tramite un plinto o una soletta di calcestruzzo, se lo spessore del calcestruzzo supera i 100 mm o il 10% della larghezza della piastra di ripartizione, il plinto va progettato secondo le norme FIP (Federation Internationale de la Précontrainte) o secondo le norme nazionali per il cemento post-teso.

(e) Occorre prendere delle misure per evitare che una superficie rocciosa recentemente esposta possa deteriorarsi, ad esempio pulendola e proteggendola con calcestruzzo proiettato.

7. Si passa quindi al montaggio dell'attrezzatura di carico e del telaio di reazione sulla superficie così preparata. Successivamente si applica un modesto carico, inferiore al 5% dell' SMTL e si verifica la stabilità del complesso. Il manometro e la pompa devono essere collocati in un posto sicuro.

#### Allestimento del sistema di misura degli allungamenti

8. (a) Il sistema di misura degli allungamenti viene montato e controllato per assicurare che siano rispettate le condizioni indicate nel paragrafo 4.

(b) Tutti i trasduttori e le altre fonti di dati vanno contrassegnati con un numero o una lettera che ne facilitino la lettura. Vanno prese tutte le precauzioni per fissare gli strumenti di misura, il sistema di riferimento e le altre apparecchiature e per proteggerli da forti variazioni di temperatura e da disturbi meccanici.

(c) Quando possibile, si dovrebbe misurare l'allungamento direttamente sulla parte terminale dell'armatura; le armature flessibili vanno alloggiare tra guide per evitarne gli spostamenti laterali (Fig.8). Per le prove meno complesse (ad es. *Prove di collaudo*), l'allungamento può essere misurato direttamente sul pistone del martinetto a patto che la misura sia depurata di qualsiasi movimento misurato alla base del martinetto.

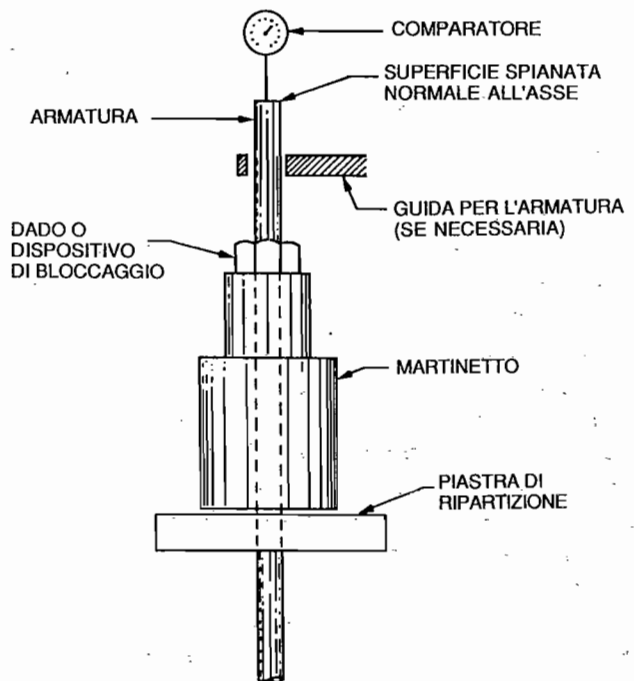


Fig. 8 Sistema per la misura degli spostamenti dell'armatura con movimento laterale impedito.

(d) Se si impiegano dei comparatori, questi debbono essere montati su una trave di riferimento ed essere a contatto di una superficie piatta o di una piastrina posta sulla testa del tirante. La superficie di misura o la piastrina dovrebbero avere dimensioni sufficientemente grandi da assicurare il contatto del puntale del comparatore per tutta la durata delle prove. In taluni casi può risultare utile impiegare due o più comparatori collocati in punti equidistanti dall'asse dell'armatura, cosicché lo spostamento del tirante possa essere assunto pari alla media delle letture dei comparatori.

#### Esecuzione delle Prove

9. (a) Le *Prove di Progetto* vanno eseguite prima di installare i tiranti ed hanno la finalità di corro-

Tabella I - Valori raccomandati dei parametri di prova

Tipo di prova Parametro	Prova di progetto	Prova di progetto semplificata	Prova di collaudo
SMTL	2 x $P_w$		1.25+1.50 x $P_w$
$P_1$	minore del 5% dell'SMTL		
$N$	10%	20%	100%
$t_1$	5 min	5 min	N/A
$t_2$	1500 min	20 min	10 min

borare i parametri scelti in sede di progetto e di definire i requisiti<sup>6</sup> cui dovranno soddisfare i tiranti di esercizio durante le prove di collaudo.

Nel paragrafo si suggerisce una procedura generale di prova alla quale è possibile apportare delle variazioni per siti particolari.

(i) Nella procedura proposta sono inclusi i seguenti parametri di prova: SMTL,  $P_1$ ,  $N$ ,  $t_1$  e  $t_2$ . Queste variabili devono essere definite nelle specifiche di prova conformemente agli obiettivi del programma di prova; dei valori tipici sono riportati in Tabella I.

(ii) Si applica un piccolo carico di assestamento  $P_1$  che sia inferiore al 5% dell'SMTL; si permette al martinetto di stabilizzarsi e si controllano tutti i trasduttori e si leggono i carichi e gli spostamenti. Si applica quindi il carico per incrementi pari all' $N\%$  dell'SMTL fermandosi ad ogni incremento per misurare l'allungamento; ogni incremento di carico va mantenuto per un tempo di  $t_1$  min. Le misurazioni vanno effettuate a carico crescente.

(iii) Il carico applicato ad ogni incremento ( $P_2$ ,  $P_3$ , ecc.) va tenuto costante ( $\pm 2\%$  SMTL) e si effettuano 5 letture a intervalli di 1 minuto circa; tuttavia, se si registrano deformazioni viscosi superiori a quelle previste per l'armatura, il carico va aumentato fino a quando non scompaia il creep in eccesso (si veda il punto ix e la Tabella II).

(iv) Al termine di ogni passo di carico si riduce il carico a  $P_1$  e lo si mantiene costante per registrare la deformazione permanente, prima di procedere alla successiva fase di carico.

(v) Una volta raggiunto l'SMTL il carico viene tenuto costante entro il  $\pm 2\%$  dell'SMTL per un tempo di  $t_2$  min. Si legge il carico, lo spostamento ed il tempo ad intervalli di 5 minuti per i primi 30 minuti, ad intervalli di 30 minuti fino alle tre ore e successivamente ogni ora fino a raggiungere il tempo  $t_2$ .

(vi) Completate le operazioni al punto (v) si ripete la procedura di scarico illustrata al punto (iv) e si rimuovono il carico e l'attrezzatura.

(vii) Se necessario, il ciclo di carico può essere ripetuto una o più volte.

(viii) Se si giunge a rottura, si continua il processo

Tabella II - Valori raccomandati dello spostamento per creep e della caduta di carico ammissibili

Periodo di osservazione (min)	Caduta di carico o spostamento ammissibile (%)
5	1
15	2
50	3
150	4
500	5
1500	6

Note: (i) la caduta di carico ammissibile è espressa come percentuale del carico [ $P$ ]. (ii) Lo spostamento ammissibile è espresso come percentuale dell'allungamento elastico al carico [ $P$ ].

di carico soltanto se si vuole determinare il motivo della rottura. Si riporta sulla scheda il tipo della rottura e si indica il carico a cui si è verificata.

(ix) Se due letture successive indicano un movimento inferiore al creep accettabile, indicato in Tabella II, è possibile ridurre gli intervalli  $t_1$  e  $t_2$  e si possono ripetere i cicli di carico/scarico.

(b) Prove di collaudo - Le prove di collaudo sono eseguite su tutti i tiranti in opera e possono seguire procedure simili a quelle delle Prove di Progetto ma generalmente più brevi e più semplici.

(i) Seguire le istruzioni indicate al sottoparagrafo 9(a) dal punto (i) al punto (v).

(ii) Dopo aver completato le operazioni al punto (v), si riporta il carico al valore di «Lock-off» come da specifiche, la forza di trazione viene trasferita dal martinetto alla testa del dado e l'attrezzatura di prova viene rimossa. Fa eccezione il caso in cui il tirante non abbia soddisfatto i requisiti di accettabilità prestabiliti; in questo caso è possibile che le specifiche di contratto richiedano ulteriori fasi di prova.

(iii) Una procedura alternativa adottata frequentemente per semplici prove di collaudo consiste nel rilevare la caduta di carico durante un breve periodo successivo all'applicazione dell'SMTL. Se la perdita di carico rientra entro i limiti specificati (Tabella II) il tirante è ritenuto accettabile.

(c) Osservazioni generali. Il metodo di tesatura prescelto, la sequenza delle fasi di carico, le procedure seguite in ciascuna fase di carico dovrebbero essere specificate già in fase di progetto. L'attrezzatura deve essere utilizzata conformemente alle istruzioni del produttore.

Per tiranti iniettati con malte cementizie, la messa in carico va eseguita dopo che il cemento primario della fondazione abbia raggiunto una resistenza a compressione di almeno 30 MPa, da verificare sulla base di prove su appropriati campioni di malta. In nessun caso i tiranti di opere di sostegno provvisorie o permanenti dovrebbero essere sottoposti a sollecitazioni superiori all'80% della loro resistenza caratteristica.

(d) Determinazione del carico di distacco (Check-lifting). Questa tecnica consiste nel distaccare la testa del tirante dalla piastra di ripartizione tramite una cravatta applicata al martinetto; il carico sul tirante viene registrato usando il manometro del martinetto o una cella di carico. La testa del tirante viene sollevata solitamente di 1 mm, sebbene a volte può essere sollevata di appena 0.1 mm; tale distanza dovrebbe essere fissa e il metodo di misura dovrebbe assicurare che nessun lato della testa del tirante sia a contatto con la piastra di ripartizione (Fig. 9).

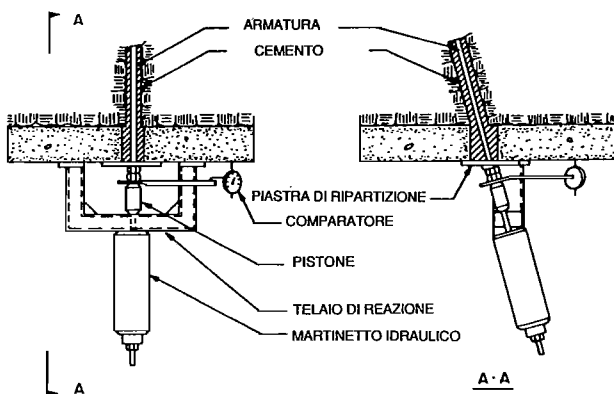


Fig. 9 Disposizione del martinetto per la tesatura di un'armatura unica e misura del carico residuo.

(e) Quando l'operazione di carico rappresenta il punto di partenza per successive misure in funzione del tempo, la fase di carico va conclusa con una determinazione del carico di distacco, la cui procedura deve essere fissa per minimizzare gli errori operativi.

(f) Carico su armature multiple. La procedura per il carico di tiranti costituiti da più armature con una serie di martinetti idraulici, tra loro sincronizzati o indipendenti, deve consentire di misurare le variazioni di tiro che la messa in carico di un singolo martinetto produce nelle armature adiacenti. Tali variazioni sono in genere il risultato dell'attrito tra armature adiacenti lungo il loro tratto libero e dello spostamento permanente che la malta della fondazione subisce durante il carico.

Tali effetti possono essere ridotti applicando incrementi di carico piccoli ed, in genere, eliminati mediante l'applicazione di carichi ripetuti, a meno che gli spostamenti permanenti siano continui. In qualunque momento il carico su ciascuna armatura può essere misurato mediante un «lift-off».

(g) Per i tiranti che non hanno superato la prova di collaudo, può essere utile ricaricare separatamente le armature del tirante per localizzare la rottura; ad esempio, in un tirante provvisorio, lo sfilaggio di una singola armatura può indicare che è venuto meno il legame malta/armatura, mentre, se tutte le arma-

ture sopportano il carico, l'attenzione si sposta sull'interfaccia terreno/cemento.

(h) Rischi per la salute e condizioni di sicurezza. Durante le fasi di carico occorre prendere delle precauzioni per proteggere il personale e le apparecchiature dai danni causati dalla rottura dell'armatura o dal brusco cedimento delle attrezzature di carico.

Occorre altresì proteggere i non addetti ai lavori, incluso il pubblico. Per questo motivo è necessario erigere degli schermi di protezione dietro la testa del tirante in corrispondenza delle estremità esposte durante il carico. Gli schermi dovrebbero essere abbastanza resistenti da assorbire una frazione significativa dell'energia accidentalmente rilasciata dall'armatura.

Lo spazio tra la testa del tirante e lo schermo protettivo dovrebbe essere vietato al passaggio dei non addetti mediante transenne e si dovrebbero predisporre dei cartelli con dicitura del tipo «PERICOLO - Manovre di carico in corso».

Quando l'attrezzatura di carico è in azione, sia il personale addetto che gli osservatori dovrebbero disporsi lungo un fianco delle attrezzature e non dietro di esse.

### Correzione dei Dati

10. (a) Se i carichi sono ricavati dalle misure di pressione nei martinetti, il carico totale applicato ad ogni incremento come sommatoria dei prodotti della pressione in ogni martinetto per l'area effettiva del relativo pistone. Per tener conto dell'attrito e di altre cause, il carico di ogni martinetto va corretto in base alle curve di taratura.

(b) Gli spostamenti misurati da più comparatori o da trasduttori elettrici o con strumenti topografici vengono ricondotti ad un solo spostamento assiale equivalente della testa del tirante. In alcuni casi può essere necessario correggere le misure, ad esempio quando si verifica uno spostamento della base di riferimento o nel caso il martinetto si sposti durante la misura dell'allungamento del pistone, oppure quando i comparatori vengano riazzerati durante le prove.

### Preparazione dei diagrammi

11. I risultati devono essere presentati sia in forma di tabulati sia in forma di diagrammi in cui vanno indicati tutti i punti di misura, come illustrato nelle Figg. 10 e 11. A fianco delle curve sperimentali carichi-spostamenti (Fig. 10) vanno riportate, per confronto, le rette corrispondenti all'*Allungamento Elastico Teorico* (paragrafo 12) del tirante ed il suo limite elastico.

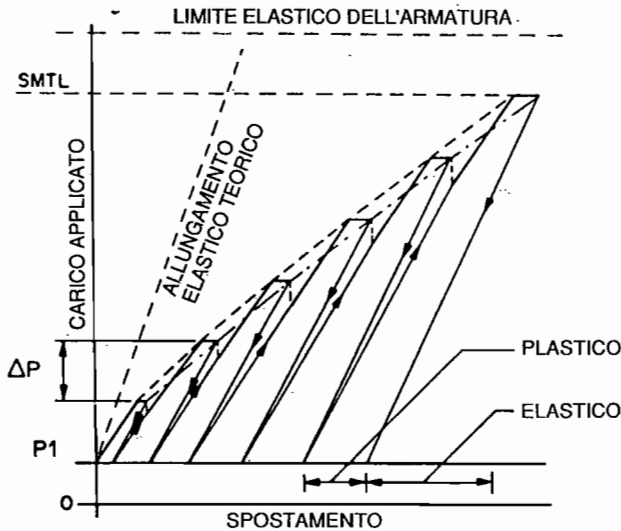


Fig. 10 Curva carichi-spostamenti.

**Calcolo dell'Allungamento Elastico Teorico**

12. L'Allungamento Elastico Teorico ( $\Delta$ ) dell'armatura ad un generico carico  $P$  va calcolato come:

$$\Delta = PL_1/AE$$

dove

- $L_1$  = lunghezza libera teorica del tirante
- $A$  = area media della sezione trasversale dell'acciaio dell'armatura
- $E$  = modulo di Young dell'armatura

**Calcolo della Lunghezza Libera Effettiva del Tirante**

13. La Lunghezza Libera Effettiva del Tirante  $L_2$  al carico  $P$  è in genere più grande della corrispondente lunghezza libera teorica poiché un tratto di malta si scolla totalmente o parzialmente durante la messa in tiro.  $L_2$  può essere calcolato come:

$$L_2 = \Delta m AE/P$$

dove  $\Delta m$  = estensione elastica misurata al carico  $P$ .

La Lunghezza Ridotta della Fondazione al carico  $P$  può essere calcolata come la lunghezza totale del tirante meno la Lunghezza Libera Effettiva.

Allorché sia noto il carico di esercizio  $P_w$ , l'analisi va eseguita sulla curva carico-allungamento nell'intervallo  $20\%P_w-125\%P_w$  per i tiranti provvisori e  $20\%P_w-150\%P_w$  per i tiranti permanenti.

L'analisi deve basarsi sui risultati del secondo o dei successivi cicli di carico e le eventuali differenze tra la lunghezza libera effettiva così calcolata e la lunghezza libera teorica prevista dal progetto vanno dichiarate.

**Lunghezza Libera Effettiva del Tirante**

14. La Lunghezza Libera Effettiva del Tirante, desunta dai calcoli di cui al paragrafo 13, non dovrebbe essere inferiore al 90% della Lunghezza Libera Teorica, né dovrebbe essere superiore: alla Lunghezza Libera Teorica più il 50% della Lunghezza Teorica della Fondazione oppure al 110% della Lunghezza Libera Teorica.

(Quest'ultimo limite superiore tiene conto di valori modesti della Lunghezza della Fondazione e delle armature completamente disaccoppiate con piastra terminale o dado).

Una Lunghezza Libera Effettiva non compresa tra i limiti raccomandati, deve essere messa in discussione.

**Presentazione dei risultati**

15. Nel rapporto vanno inclusi i seguenti elementi:

- (a) Dati sulle condizioni del terreno rilevanti per il comportamento dei tiranti; tra questi le caratteristiche dei terreni e delle rocce attraversati dal foro di perforazione.
- (b) Dettagli sulla perforazione del foro comprendenti il diametro, la lunghezza, il metodo e gli utensili di perforazione (ad es. scalpello diamantato, tricono, martello fondo-foro, ecc) ed il metodo di cir-

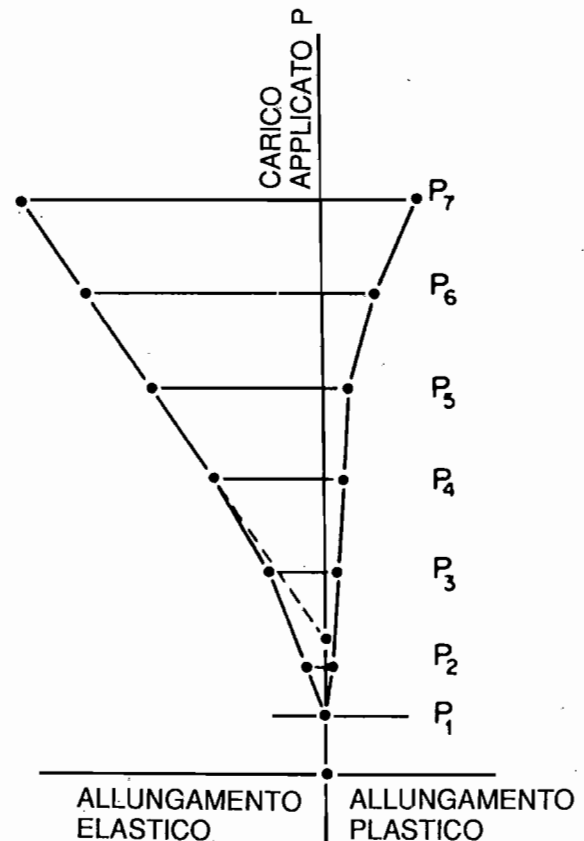


Fig. 11 Diagramma delle deformazioni elastiche e plastiche.



colazione o di sostegno del foro (ad es. aria, acqua, fango, schiuma, ecc.).

(c) Tipo e composizione della malta, data dell'iniezione, volume e pressione dell'iniezione.

(d) Tipo, diametro(i), area(e) della sezione, modulo di Young, limite elastico e resistenza ultima dell'acciaio dell'armatura. Occorre anche fornire altre particolari caratteristiche quali i sistemi di protezione dalla corrosione.

(e) Descrizione dell'apparecchiatura e delle procedure di prova, comprendente uno schema, particolari sui metodi usati e dati sulla precisione con cui sono stati misurati forze e spostamenti. È possibile fare riferimento a quanto suggerito in queste Raccomandazioni, indicando solo le modifiche apportate alle procedure in esse descritte. Va acclusa inoltre, una copia del certificato di taratura (vedi Paragrafo 5).

(f) Per ogni prova vanno indicati: la data ed una tabella dei risultati in cui si indicano, per ogni incremento/decremento di carico, la durata e l'entità del carico applicato e gli spostamenti misurati.

(g) Per ogni prova devono essere forniti dei grafici corrispondenti ai tabulati (Figg. 10 e 11) e, qualora si verifichi la rottura del tirante, una relazione con figure/fotografie per illustrare il tipo di rottura.

## Definizioni

(a) Il termine *Tirante* si riferisce all'insieme composto da armatura, malta, dadi di bloccaggio, piastra di ripartizione, ecc, utilizzati per il rinforzo del terreno oppure come trasferimento al terreno di carichi esterni.

(b) L'*Armatura* è quella parte del tirante, cementata e non, posta in trazione; essa può essere una barra, un filo, o un cavo metallico singolo o costituito da più unità.

(c) La *Lunghezza della Fondazione* (Fig. 12) è la porzione più profonda del tirante, fissata alla roccia mediante legami chimici o dispositivi meccanici, con la quale l'armatura trasferisce il carico alla roccia. La *Lunghezza Teorica della Fondazione* è pari alla lunghezza del tratto cementato (senza guaina). La *Lunghezza Ridotta della Fondazione* è data dalla lunghezza totale del tirante meno la *Lunghezza Libera Effettiva* ad un dato livello di carico.

(d) La *Lunghezza Libera Teorica* è pari alla lunghezza del tratto non cementato o inguainato. La *Lunghezza Libera Effettiva* viene calcolata dall'allungamento elastico dell'armatura e dipende dai fenomeni di scollamento nella fondazione del tirante.

(e) La *Resistenza Ultima* del tirante o di una delle sue componenti è il carico a rottura, ossia il carico

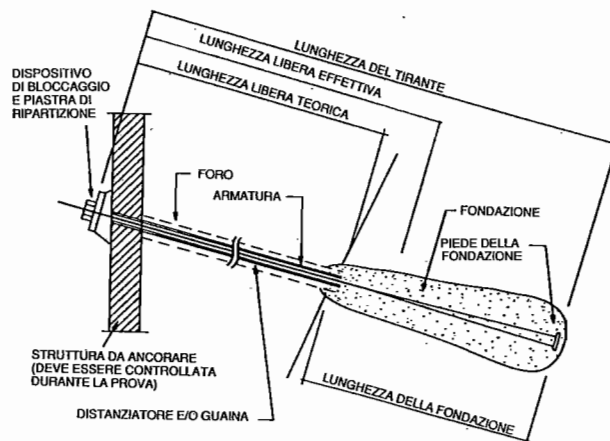


Fig. 12 Terminologia adottata per un tirante in roccia o in terreno.

al di sopra del quale si verifica un creep misurabile che si sviluppa a velocità uniforme o crescente.

(f) La *Prova di Collaudo* si esegue sui tiranti installati nell'ambito di un opera di sostegno per confermare se i tiranti utilizzati (o scelti) soddisfino i requisiti di comportamento previsti. Tale prova non deve essere considerata distruttiva.

(g) Il *Carico di Collaudo* è il carico di prova con cui si dimostra che un tirante ha la capacità di sopportare i carichi di esercizio con un adeguato fattore di sicurezza. In genere, un tirante in roccia è progettato in maniera tale che la resistenza ultima di ognuno dei suoi componenti sia superiore al proprio *Carico di Progetto* con un fattore di sicurezza che somma la variabilità delle proprietà del materiale, delle dimensioni, della posa in opera, ecc. L'intervallo tipico in cui ricade il *Carico di Collaudo* è pari a 1.25- 1.50 volte il *Carico di Progetto*, ma può essere modificato dal progettista in funzione del campo di applicazione.

(h) Il *Carico di Progetto* o *Carico di esercizio* nel caso il progetto preveda una sollecitazione di esercizio, è il carico massimo che secondo i calcoli sarà applicato al tirante durante il suo funzionamento. Nel caso di progettazione agli stati limite, tale carico corrisponde alla somma delle componenti che si prevede agiranno sul tirante in esercizio, moltiplicate per i relativi fattori di sicurezza.

(j) La *Prova di Progetto* generalmente si esegue prima di redigere le specifiche che aiuteranno la scelta di una soluzione progettuale. In alternativa, la prova di progetto può essere utilizzata per verificare l'idoneità di un dato sistema di tiranti, controllandone il comportamento al carico di esercizio lungo un esteso arco di tempo; in tal modo, infatti, si raggiunge la stabilizzazione delle cadute di tensione o dei fenomeni di creep. Questa prova dovrebbe fornire dati, ad esempio, sull'adesione cemento/roccia o cemento/armatura, sull'effettiva lunghezza libera

del tirante ai vari carichi e sul comportamento viscoso. Se le prove vengono spinte fino alla rottura, i tiranti possono essere raramente lasciati in esercizio.

(k) La *Resistenza Caratteristica* è la resistenza della malta o del calcestruzzo misurata su provini cubici (fcu) o il carico ultimo di un'armatura di precarico (fpu), al di sotto del quale ricadano non più del 5% dei risultati delle prove.

(m) Il *Dispositivo di bloccaggio* è l'elemento del tirante in grado di trasferire il carico di trazione dall'armatura alla superficie del terreno o della struttura da sostenere.

(i) *Dispositivo di bloccaggio normale*. Questo dispositivo di bloccaggio permette di aumentare o diminuire il carico nell'armatura tra lo 0% e l'80% di fpu e di misurarlo, quando sia necessario rispettare i requisiti delle prove di accettazione. Questa possibilità si ha durante la fase di carico iniziale; pertanto, se l'armatura viene accorciata, non sono possibili ulteriori misure o regolazioni.

(ii) *Dispositivo di bloccaggio ritensionabile*. Questo dispositivo di bloccaggio ha tutte le caratteristiche del tipo normale ed in più consente, per tutta la vita della struttura, di effettuare misure del carico di sollevamento (check lifting) e di recuperare piccole cadute di carico (fino al 10% del carico di esercizio) mediante l'avvitamento o l'inserimento di spessori.

(iii) *Dispositivo di bloccaggio allentabile*. Questo dispositivo di bloccaggio ha tutte le proprietà del dispositivo descritto in (ii) ed inoltre consente di scaricare l'armatura in modo controllato in un qualunque momento della vita della struttura.

(n) Il *Carico di «Lock-off»* è il carico trasferito al dispositivo di bloccaggio immediatamente al termine di un'operazione di tesatura.

(o) Il *Carico di «Lift-off»* è il carico minimo necessario per ruotare il dado di serraggio di un tirante a barra o per allentare o sollevare leggermente un tirante a corda o a cavo.

(p) Il *Carico Residuo* è il carico che rimane nel tirante in qualunque momento della vita della struttura.

(q) Il *Rilassamento* è la diminuzione nel tempo della tensione nell'armatura a deformazione costante.

(r) Il *Creep* è la variazione nel tempo della deformazione dell'armatura a sollecitazione costante.

(s) La *Precisione Assoluta* è lo scarto dal valore vero che, ad esempio, si riscontra negli strumenti di misura tarati con pesi esatti o attrezzature di carico la cui precisione è nota.

(t) La *Precisione Relativa* è lo scarto dal valore misurato, pari ad esempio all'errore di misura che si riscontra controllando le variazioni di carico o di spostamento nel tempo.

(u) L'*Allungamento Elastico Teorico* del tirante ai vari livelli di carico è dato dall'aumento della *Lunghezza Libera Teorica* calcolato ipotizzando che non si sia verificato un distacco della malta (debonding).

(v) Il *Carico di Prova Massimo Specificato* (SMTL) è il carico massimo che si intende applicare al tirante durante la prova.

Per la prova di progetto, l'SMTL è in genere il doppio del carico di esercizio; per la prova di collaudo l'SMTL è spesso assunto pari a 1.33 volte il carico di esercizio  $P_w$  (il campo di valori raccomandato è 1, 2.5-1, 5  $P_w$ ). Nel determinare le dimensioni e le caratteristiche di resistenza delle componenti di un tirante di prova occorre assicurarsi che l'SMTL non solleciti eccessivamente alcun elemento del tirante. Pertanto l'SMTL non deve superare l'80% della resistenza caratteristica dell'armatura. Inoltre, la tesatura del tirante non è consentita fino a che la resistenza della malta misurata su provini cubici, non raggiunga 30 MPa.

Nel caso di prove di progetto, ad esempio, può essere necessario utilizzare un'armatura con resistenza maggiore a quella proposta per i tiranti in esercizio, al fine di verificare adeguatamente la resistenza della roccia e quella della fondazione tra tirante, malta e roccia.

## Note

1. Le travi di reazione possono essere sottoposte a momenti flettenti notevoli per cui dovrebbero essere strutturalmente adeguate ai carichi applicati e dotate di rinforzi trasversali.

2. Poiché i carichi nei tiranti possono raggiungere valori molto grandi (carichi di oltre 100 t sono abbastanza comuni), lo strumento più adatto per applicare e controllare il carico è il martinetto idraulico. Martinetti toroidali con capacità fino a 100 t sono facilmente disponibili e possono essere montati manualmente; i martinetti di capacità maggiore sono in genere montati con mezzi meccanici. Per impartire carichi elevati può essere conveniente usare due o più martinetti con pistoni di uguale diametro, collegati con il medesimo manicotto ad una sola pompa munita di manometro unico. Andrebbero usati martinetti con corsa di oltre 150 mm, possibilmente dotati di un dispositivo che consenta, inizialmente, di bloccare e tesare l'armatura per piccoli incrementi allo scopo di aumentare o diminuire il tiro secondo le raccomandazioni e, al termine, di effettuare la determinazione del carico di distacco al fine di verificare la forza di trazione nell'armatura.

3. In genere i martinetti sono azionati da una

pompa elettrica o manuale. In quest'ultimo caso, essi devono consentire di interrompere l'operazione di carico in un qualunque momento e riprenderla senza riportare a zero la pressione. I valori di pressione normalmente raggiunti non superano i 70 MPa.

Le pompe idrauliche dovrebbero essere predisposte per lavorare nel campo di pressioni del martinetto. Il dispositivo di controllo della pompa dovrebbe consentire di regolare l'elongazione dell'armatura al millimetro sia in allungamento che in accorciamento. Il manometro andrebbe montato in modo da non vibrare durante il pompaggio. Tutte le connessioni flessibili tra pompa e martinetto dovrebbero avere una pressione di tenuta pari almeno al doppio della pressione massima nominale della pompa.

Per evitare che l'armatura sia danneggiata da un eccesso di carico, la pompa dovrebbe essere dotata di una valvola per la dissipazione della pressione, la cui soglia sia regolabile in situ.

Per poter essere manovrata in condizioni di sicurezza, la pompa deve essere collegata ai martinetti mediante un tubo abbastanza lungo munito di attacchi rapidi. Se si prevede che durante la prova la pompa dovrà rimanere incustodita per un periodo significativo, questa dovrebbe possedere un servocontrollo per mantenere costante il carico al procedere dei movimenti.

4. Sarà necessario un manometro per ogni prova, selezionato in relazione al campo di pressioni previste (un manometro da 70 MPa può non essere in grado di misurare pressioni da 0 a 20 MPa con precisione sufficiente). Si dovrebbe prendere in considerazione la possibilità di avere a disposizione un secondo sistema di misura (cella di carico con relativo indicatore) in caso di guasto del primo. Questo indicatore può essere utilizzato per controllo; ogni qualvolta vi sia un dubbio sull'indicatore di carico in funzione, è possibile montare l'indicatore di controllo in parallelo e confrontare le due misure. Quando non viene utilizzato, l'indicatore di controllo va riposto nella sua custodia e messo al sicuro.

5. Quando un carico viene mantenuto per un periodo di tempo relativamente lungo (ad es.  $t_2 = 1500$  minuti) in un clima con forti escursioni termiche la variazione percentuale tollerabile per il mantenimento del carico può superare l'1%. Misure supplementari mediante apparecchiature ottiche (ad esempio degli spostamenti delle travi di riferimento) potrebbero essere eseguite per maggiore precisione.

6. Alcuni criteri per l'accettabilità di un tirante sono elencati qui di seguito:

(a) La *Lunghezza Ridotta del Tratto di Adesione* (RBL) (ossia la lunghezza effettiva della fondazione) viene misurata effettuando la prova ad un valore di SMTL sufficiente a garantire un margine di sicurezza contro la rottura a lungo termine. Se l'RBL è significativamente minore della *Lunghezza Teorica della Fondazione* è possibile che durante la prova si sia verificata una rottura importante nell'ambito della fondazione. Bisogna ricordare che, se l'armatura reca all'estremità del tratto di fondazione una piastra immersa nel cemento o termina a forma di bottone, il tirante può continuare ad operare in modo soddisfacente anche quando sia stata vinta la forza di adesione armatura/cemento, purché l'adesione cemento/roccia sia più forte.

In tali casi l'RBL potrebbe risultare pari a zero o assumere persino dei valori negativi.

(b) I tiranti dovrebbero mantenere in ogni caso il loro carico di lavoro. I tiranti sospetti possono essere sottoposti a prova ripetutamente per misurare la loro tensione mediante una procedura di «lift-off». Se la forza di trazione nel tirante diminuisce in maniera significativa tra due prove successive, si può affermare che è in corso una progressiva rottura del tirante.

(c) Quando l'RBL si avvicina a zero, la possibilità che il tirante stia raggiungendo le condizioni di rottura dipende dalle caratteristiche di progetto. Se è stata superata per prima l'aderenza tra cemento e roccia, l'intero tirante si trova in condizioni di rottura a meno che il tirante non sia del tipo alesato. Se è l'aderenza tra cemento e armatura ad essere vinta per prima, significa che il tirante nel suo insieme si sta avvicinando alla rottura a meno che l'armatura non sia dotata di «piede» (Fig.12). In quest'ultimo caso, la rottura del legame tra cemento ed armatura sarà seguito da una compressione del bulbo di cemento della fondazione che porterà gradualmente ma inesorabilmente alla perdita di aderenza all'interfaccia cemento-roccia.

#### BIBLIOGRAFIA

- LITTLEJOHN G.S. and BRUCE D.A. (1977) - *Rock Anchors. State-of-the-Art*. Geo Publications Ltd, Brentwood.
- DOUGLAS T.J., ARTHUR L.J. (1983) - *A guide to the use of rock reinforcement in underground excavations*. CIRIA Rept N. 101, London.
- WEATHERBY D.E. (1982) - *Tiebacks*. United States Dept. of Transportation, Federal Highway Administration Rept n: FHWA/RD-82/047.
- HANNA T.H. (1982) - *Foundations in Tension*. Trans Tech Pubns, Clausthal.
- HOBST L., ZAJC J. (1983) - *Anchoring in Rock*. Elsevier, Amsterdam.
- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (1981). *Jacks*. American National Standard ANSI BN30.1.
- SCHNABEL H. JR. (1982) - *Tiebacks in Foundation Engineering and Construction*. McGraw Hill, New York.