Premessa alla traduzione delle Raccomandazioni ISRM per il controllo dei movimenti della roccia mediante estensimetri in foro a base lunga

Nella presente traduzione si adotteranno i seguenti termini:

- «Controllo» (ingl. *monitoring*, fr. *surveillance*) come alternativa al neologismo «monitoraggio».
- «Estensimetro in foro a base lunga» (ingl. *borehole extensometer*, fr. *extensomètre à tiges*), per porre in evidenza la caratteristica specifica di questo strumento; concepito per misurare le variazioni (ΔL) di lunghezza su una base (L) molto lunga (ad es. $\Delta L = 0{,}01 \div 5$ mm rispetto a una base $L = 3 \div 50$ m e oltre), ben superiore a quella degli estensimetri usuali (con base $L = 0{,}005 \div 0.2$ m).
- «Dislocazione, spostamento, movimento» (ingl. *displacement, movement*) per indicare il movimento relativo e più precisamente la variazione (ΔL) di distanza fra le due estremità di una base di misura (L).
- «Esattezza» (ingl. *accuracy*, fr. *exactitude*), termine che dovrebbe essere sostituito con «limite di incertezza» secondo l'accezione indicata successivamente da ISO-Metrology (1984) e da UNI.4546 (1984).

È opportuno rilevare che la ISRM-Recommendation qui tradotta risente alquanto della sua data di nascita (1978) e quindi richiederà alcune note di aggiornamento. Ciò vale soprattutto con riferimento ai successivi sviluppi costruttivi in campo meccanico, come ad esempio:

- Estensimetri con basi costituite da verghe semirigide di vetroresina, di fibre aramidiche o al carbonio;
- Estensimetri con basi tubolari (aste) di invar, per ridurre gli errori derivanti dalle escursioni termiche (non trascurabili in rapporto al grado di precisione oggi raggiungibile con i sistemi di misurazione);
- Riduzione degli attriti passivi per le basi scorrevoli nei tubi-guida, mediante bussole o pattini di scorrimento;

oltreché in campo strumentale/elettronico:

- Trasduttori elettrici di spostamento (induttivi o potenziometrici) a piccola forza di contrasto ($F = 0{,}1{:}1$ N) su corse relativamente ampie (10:100 mm)
- Registratori di dati (*Data loggers*) con scansione ed elaborazione assistita da calcolatore; trasmissione a distanza con/senza cavo; soglie di allarme, ecc.

Grazie a questi sviluppi gli estensimetri a base lunga possono svolgere una funzione geotecnologica essenziale per i controlli in corso d'opera (*observational method*), come pure per i controlli di collaudo e di esercizio in campo geotecnico/strutturale.

Il curatore della traduzione
ITALO VIELMO

Raccomandazioni per controllare i movimenti della roccia mediante estensimetri a base lunga

1. Scopo

a) Gli estensimetri (a base lunga) sono usati per misurare i movimenti della roccia che possono derivare da scavi in superficie o in sotterraneo, dal carico di fondazione, su pendii naturali, prove in sito, ecc.

Questo metodo fornisce le linee indicative per la selezione e l'impiego di estensimetri.

b) Un estensimetro a base lunga consiste in una o più basi, di riferimento ancorate a diverse profondità in un foro, nonchè di una testa di riscontro all'imbocco del foro stesso. In generale gli estensimetri sono formati da aste o fili che si estendono fra la testa di riscontro e gli ancoraggi. Gli spostamenti relativi nella roccia, trasmessi dalle aste o dai fili, sono misurati per via meccanica o elettrica come variazioni di distanza fra ancoraggio nel foro e testa all'imbocco.

2. Strumentazione

a) Componenti specifici

Un estensimetro composto da una singola asta o filo in collegamento fra ancoraggio e testa di riscontro è indicato come «estensimetro a base singola». Analogamente gli estensimetri con due ancoraggi sono indicati «estensimetri a base doppia». Estensimetri con più di due ancoraggi (fino a 8 circa) sono denominati «estensimetri multipli». In generale il metodo migliore per misurare i movimenti nella roccia risulta quello con estensimetri doppi o multipli, in grado di rilevare le variazioni di spostamento con la profondità. Un'installazione multipla è ottenibile con estensimetri singoli o doppi accostati fra loro.

In un estensimetro si distinguono tre componenti principali: il sensore di spostamento, gli ancoraggi e in generale le basi ad asta o filo di connessione fra ancoraggio e sensore di spostamento, secondo le configurazioni di Fig.1. Il sensore di spostamento è usualmente alloggiato in prossimità dell'imbocco predisposto per la lettura elettrica o meccanica. Di solito lo spostamento dell'ancoraggio è trasmesso da aste (rigide) o da fili al sensore di testa. Gli estensimetri a sonda mobile, che non hanno connessione diretta fra i punti di ancoraggio interno e il riferimento all'imbocco del foro, sono descritti da Smith e Burland [1]. Esistono anche strumenti con sensori induttivi, descritti da Bellier e Debreuille [2] (non indicato in Fig.1). I dispositivi per gli estensimetri a sonda mobile non sono considerati in dettaglio nella presente raccomandazione.

Gli ancoraggi possono consistere in singoli dispositivi bloccati nel foro, meccanicamente o con iniezioni.

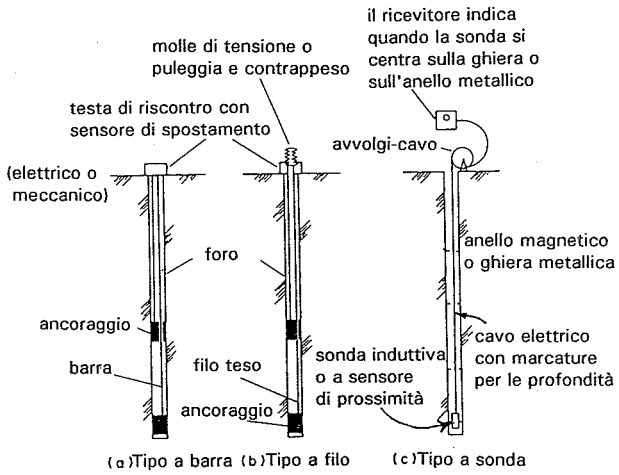


Fig. 1 - Tipi fondamentali di estensimetri in foro a base lunga.

b) Sensori di spostamento

I sensori elettrici di spostamento possono consistere in trasduttori induttivi lineari (LVDT = Linear Variable Differential Transformer), potenziometri lineari o a rotazione, oppure dispositivi a mensola con misuratore a corda vibrante o a resistenza elettrica (*strain gauge*). Gli estensimetri dotati di questi tipi di sensori consentono letture rapide e a distanza, come pure l'acquisizione automatica dei dati e il collegamento con sistemi di allarme. Il rilevamento a distanza con strumentazione a segnale in frequenza presenta il particolare vantaggio di essere indipendente dalla lunghezza dei conduttori e meno influen-

* I numeri ad apice si riferiscono alle Note a fine testo.

zato dai difetti nelle linee di collegamento. Rispetto a sensori meccanici, i sensori elettrici sono generalmente più costosi e più complessi[1,2].

Il sensore di spostamento di tipo meccanico è sostanzialmente un micrometro di profondità o un comparatore centesimale. Per evitare errori dovuti alla corrosione, le superfici di riferimento a contatto con il micrometro o comparatore dovrebbero essere di acciaio inossidabile rettificato. Dove siano previsti grandi spostamenti, si può usare come misuratore un cursore graduato, di tipo normale o di costruzione speciale. I misuratori meccanici sono robusti e semplici, ma hanno l'inconveniente di non poter essere letti a distanza e connessi a un registratore automatico dei dati. Talvolta i sensori elettrici possono essere previsti per operare in parallelo con i misuratori meccanici.

c) Ancoraggi

Gli ancoraggi di un estensimetro possono essere sotto forma di espansori meccanici come quelli usati per le chiodature; oppure di manicotti iniettati con miscela cementizia senza ritiro, con miscele chimiche, resine epossidiche, cunei a molla; o infine con denti attivati per via idraulica. In zone vicine a sparo di mine, se l'ancoraggio è sottoposto a tensione si useranno ancoraggi iniettati anzichè ancoraggi meccanici. Gli ancoraggi saranno bloccati nel foro in modo da poter escludere ogni movimento in misura superiore alla sensibilità dello strumento sotto un carico statico minimo di circa 100 kg oppure 5 volte la tensione massima nel filo. In terreni di resistenza molto bassa si richiedono sistemi speciali di ancoraggio, riducendo o annullando la forza sull'ancoraggio da parte dell'asta o del filo, utilizzando strumenti diversi o variando la progettazione.

d) Aste e fili

L'impiego di fili o di aste in un sistema estensimetrico dipende dalle condizioni applicative, dalla precisione richiesta per le misure e dalla lunghezza delle basi. Gli errori strumentali propri degli estensimetri sono riferibili principalmente ai dettagli costruttivi delle aste o dei fili che trasmettono gli spostamenti relativi dall'ancoraggio al sensore. Si tratta di errori dovuti di solito all'attrito tra fili/aste e il tubo di rivestimento del foro[3].

I fili usati per le basi estensimetriche hanno generalmente un diametro da 0,5 a 1,5 mm. Per ottenere una buona ripetibilità delle misure occorre applicare al filo una tensione costante oppure eseguire un'adeguata calibrazione per il caso di tensione variabile. Comunemente una tensione adeguata si applica mediante contrappesi, molle a spirale, a balestra o a sbalzo. I sistemi a tensione costante, come quelli a contrappeso, sono preferibili in teoria, ma non sempre adottabili in pratica. Molti estensimetri a filo sono a tensione variabile, in quanto realizzati con molle, La possibilità di una calibrazione in sito è una caratteristica positiva per i tipi a tensione variabile[4].

Per estensimetri a filo che comportano il rilascio della tensione fra letture successive occorre assumere una precisione ridotta. A seguito dell'accumulazione degli errori strumentali, l'adozione di tipi a filo può risultare di precisione insufficiente per certe applicazioni con basi particolarmente lunghe. Per lunghezze inferiori ai 10 m l'influenza degli errori di misura è di solito minima. Se si prevedono grandi spostamenti, la perdita di precisione strumentale con i tipi a filo lungo è generalmente accettabile.

Gli estensimetri ad asta non presentano i problemi della tensione, ma peraltro devono avere una sezione sufficiente onde evitare variazioni di lunghezza per effetto degli attriti. Per le basi corte si richiede una sezione minima di circa 20 mm^2 (diametro 5mm), mentre per basi oltre i 30 m occorre aumentare la sezione a circa 100 mm^2 (diametro 11 mm). In fori verticali molto lunghi, l'inflessione delle aste può essere ridotta impiegando aste tubolari. Il peso eccessivo può essere un problema nel caso di estensimetri lunghi e verticali, diretti verso l'alto e allora sono preferibili i tipi a filo.

Se il foro deve essere iniettato o può essere raggiunto da iniezioni durante la vita prevista per l'estensimetro, allora le aste o i fili devono essere alloggiati in appositi tubi che impediscono il loro contatto con le miscele d'iniezione. I tubi devono essere in grado di resistere alle pressioni esterne dell'acqua di falda o delle miscele di iniezione. Gli stessi tubi dovrebbero essere riempiti d'olio per ridurre gli attriti e prevenire la corrosione.

Per allineare o regolare la posizione del filo/asta nel foro si possono usare centratori/distanziatori, installabili nel foro in modo da impedire spostamenti laterali e decentramenti per il filo o asta. Per ridurre al minimo gli errori di attrito, si deve impedire che i fili o aste interferiscano fra loro nel foro.

e) Definizioni*

Le seguenti definizioni riguardanti le prestazioni di un estensimetro sono riportate da Gould e Dunniclif [3]:

* N.d.T.: Le definizioni qui esposte (1971) dovranno essere confrontate con le corrispndenti definizioni elaborate successivamente da:
- ISO Metrology Group: BIPM, IEC, ISO, OIML (1984)
  International vocabulary of basic and general terms in Metrology
- UNI, 4546 (Nov. 1984)
  Misure e misurazioni, Termini e definizioni fondamentali con particolare riferimento ai termini: incertezza, risoluzione, sensibilità, ripetitibilità, errore.

TABELLA I - *Precisione, fondo scala a lunghezze tipici degli esterisimetri.*

INTERVALLO DI PRECISIONE	2.5 μm	25 μm	←precisione crescente 0.25 mm fondo scala crescente→	2.5 mm
SENSIBILITÀ TIPICA DELLO STRUMENTO	2.5-10 μm	25-100 μm	0.25-10 mm	2.5-10 mm ed oltre[2]
APPLICAZIONI TIPICHE	prove in situ su roccia (prove su piastra o di taglio)	gallerie e caverne in roccia dura, tagli e scavi in roccia, fondazioni superficiali	grandi caverne, scavi e sacarpate in roccia; misure "critiche" in gallerie e scavi in terra	lunghe installazioni in grandi scarpate o frane molto ampie in movimento
FONDO SCALA MINIMO	25 mm	25 mm	50 mm	250 mm
FONDO SCALA CON AZZERAMENTO	50 mm	150 mm	300 mm	1000 mm
TIPICA LUNGHEZZA DI INSTALLAZIONE[3]	fino a 10 m	fino a 30 m	fino a 100 m	fino a 200 m ed oltre
MINIMA PRECISIONE (IN RAPPORTO AL FONDO SCALA MINIMO)	1/10'000	1/1'000	1/200	1/100

[1]: le misure di routine per costruzioni in terra richiedono minore precisione (dell'ordine di 1.0 mm)
[2]: una precisione maggiore può essere ottenuta per installazioni molto lunghe con l'uso di deformometri
[3]:la lunghezza tipica non è necessariamente la massima lunghezza possibile; eccezionalmente sono state raggiunte lunghezze maggiori

Esattezza (Accuracy) – Scostamento di una misurazione dal valore vero della quantità misurata.

Esattezza (*accuracy*) è sinonimo di «grado di approssimazione» (*degree of correctness*).

Precisione (Precision) – Scostamento di ogni singola misurazione dalla media aritmetica di un certo numero di misurazioni simili. I termini «riproducibilità» e «ripetibilità» possono essere usati per definire la precisione. Si può osservare che l'esattezza richiede precisione, ma la precisione non richiede esattezza.

Sensibilità (Sensitivity) – La più piccola deformazione percettibile da un particolare sistema di misure.

Errore (Error) – Differenza tra un valore osservato o misurato e il valore vero. Gli errori possono essere sistematici o causali (dispersi a caso)

f) Prestazioni richieste.

Come guida per selezionare uno strumento, si raccolgono in Tab. I le caratteristiche richieste a un estensimetro per un ampio campo applicativo. Un estensimetro dovrebbe essere selezionato in base all'impiego prefissato, alla precisione di misura richiesta, al previsto campo di misurazione e alle esigenze d'installazione. Non esiste un unico strumento che risponda a tutte le applicazioni.

In Tab.I si è utilizzata la «precisione» per suddividere le caratteristiche di prestazione in quattro Sezioni. Benchè queste sezioni siano alquanto arbitrarie esse servono a facilitare la discussione delle applicazioni. Le quattro classi di precisione corrispondono all'ordine di grandezza degli spostamenti che hanno un significato tecnico nei vari casi. La precisione s'intende applicata all'intero sistema di misurazione e non alla sensibilità intrinseca dei singoli componenti. In certi casi la precisione di una serie di letture può approssimarsi alla sensibilità del sistema. D'altra parte l'esattezza dell'estensimetro può essere determinata soltanto con misurazioni indipendenti[5,6]. Tuttavia l'esattezza non può essere tanto importante quanto un elevato grado di precisione o di ripetibilità in una serie di misurazioni. Nel campo delle costruzioni in roccia l'ottenimento di precise misurazioni permetterà generalmente l'identificazione di tendenze significative, anche pericolose, nei movimenti della roccia. L'esattezza di misurazione è molto meno importante del quadro deformativo d'insieme.

Invece, quando le misurazioni sono rivolte a determinare le caratteristiche della roccia (come per le

prove di carico su piastra), si richiedono misurazioni accurate con elevato grado di precisione.

g) Applicazioni tipiche

Come indicato in Tab. I, gli strumenti più precisi sono usati per le prove in roccia. WALLACE *et al.* [4] descrivono un estensimetro multiplo composto con un LVDT come sensore di spostamento, avente una sensibilità apparente migliore di 0,005 mm. BENSON *et al.* [5] trovarono che gli errori strumentali dovevano essere inferiori a 0,01 mm per poter intraprendere adeguatamente le prove di carico su roccia dura.

La maggior parte delle misurazioni in sito corrispondenti alle lavorazioni in roccia non richiedono la precisione delle prove geomeccaniche. Generalmente si richiede una precisione da 0,025 a 0,25 mm, ottenibile facilmente da parecchi strumenti. FRANKLIN e DENTON [6] elencano diversi strumenti disponibili per il controllo di pareti in roccia, che raggiungono tale precisione. DUTRO e DICKINSON [7] descrivono la strumentazione di una scarpata di roccia con un estensimetro a fili multipli ROUSE e WALLACE [8] ripartano pure i dati di strumentazione per centrali in caverna, con estensimetri multipli a filo. MAHAR *et al.* [10] descrivono la misurazione dei movimenti della roccia in galleria impiegando estensimetri a 2 basi (aste), con letture mediante profondimetro graduato a 0,025 mm. Estensimetri ad asta e a filo per il controllo di gallerie scavate con sparo mine e con fresa. Estensimetri ad aste multiple usate per un programma di controllo di gallerie sono descritti da DOLLERL [12]. Analoghi estensimetri sono riportati anche da MULLER [13] per controllare il comportamento in lavori minerari. Estensimetri semplici con una base fino a 78 m di profondità servirono per misurare le reazioni di fondazione di dighe ad arco in calcestruzzo [15]. Al crescere delle dimensioni fisiche di una struttura sotterranea o di una scarpata, diminuisce la necessità di alta precisione nelle misurazioni. Una precisione da 0,25 a 1 mm è spesso sufficiente. Questo campo di precisione è applicabile nelle costruzioni sotterranee in terreno sciolto o roccia tenera. Tuttavia nella maggior parte di applicazioni in roccia dura sarebbe generalmente preferibile una sensibilità strumentale nell'ordine di 0,025 mm.

L'ultima precisione (2,5 mm) è richiesta per scavi molto grandi, ad esempio per miniere all'aperto e per grandi movimenti franosi. In tali casi le deformazioni sono grandi e pertanto si richiede una precisione relativamente meno spinta. Dove il campo di misura può raggiungere 1 m o più, è sufficiente una precisione dell'1%[7]. Per esemplificare questo tipo di strumentazione GLOE *et al.* (16) descrivono un estensimetro a filo con un dente di ancoraggio attivato idraulicamente, usato per il controllo in miniera di carbone. Con questa strumentazione si misurano sollevamenti del piano di scavo fino a 0,6 m in un periodo di 6 mesi.

Per il controllo a lungo termine, gli spostamenti sono tipicamente più piccoli di quelli che sviluppano durante i lavori. Corrispondentemente per le misure a lungo termine si può richiedere una maggior precisione rispetto a quella richiesta in fase di costruzione. Pertanto all'inizio si può raccomandare la selezione di strumenti più precisi oppure l'installazione di strumenti più precisi dopo la costruzione.

3. Procedimento

a) Accertamenti preliminari.

(i) Ubicazione, direzione, lunghezza e numero delle basi di ciascun estensimetro dovrebbero essere selezionati riscontrando attentamente le caratteristiche costruttive e geotecniche del progetto. Fra queste si dovrebbero considerare: direzione ed entità dei movimenti previsti nella roccia, ubicazione e tipologia di altri strumenti da installare, procedimento e programma delle operazioni costruttive prima, durante e dopo l'installazione dello strumento. In presenza di chiodature di sostegno, l'ancoraggio estensimetrico più profondo sarà disposto oltre l'estremità dei chiodi. Inoltre la lunghezza dell'estensimetro dovrebbe essere adeguata al volume di roccia che si prevede influenzato dagli scavi, ad esempio in termini di diametri di galleria o di altezza di sbancamento.

(ii) La misurazione degli spostamenti acquista maggior valore quando gli estensimetri sono installati all'inizio o prima degli scavi, con letture regolari durante l'intero periodo di scavo e in parecchie posizioni, in modo da registrare la storia completa dei movimenti[8,9]. La documentazione delle condizioni geologiche e degli interventi costruttivi in corrispondenza ai rilevamenti è essenziale per interpretare adeguatamente i dati di cantiere.

b) Perforazione

(i) Il diametro del foro dipende dal tipo di estensimetro, dalle caratteristiche e dal numero di ancoraggi, secondo le indicazioni del fornitore degli strumenti.

(ii) Il metodo di perforazione dipende dalla natura della roccia, dall'attrezzatura disponibile e dal costo di ciascun metodo. Un'attrezzatura di perforazione a percussione, del tipo per fori da mina, è di solito disponibile a buon prezzo. La perforazione a carotaggio, come quella usata per i sondaggi, è generalmente più costosa, ma fornisce anche importanti informazioni sulla presenza e sulla natura di discontinuità nella roccia. Nel caso di grandi opere,

il carotaggio è usualmente giustificato per definire meglio la geologia, consentendo inoltre di disporre gli estensimetri in prossimità delle principali discontinuità.

(iii) Prima di avviare la perforazione si dovrà verificare il piazzamento e la direzione della sonda.

(iv) Per i fori a percussione si dovrà assistere alle operazioni dall'inizio alla fine, con la continua supervisione di un esperto di perforazione, a conoscenza delle peculiarità e delle finalità proprie dell'estensimetro. Allo scopo di predisporre il rapporto d'installazione, bisognerà prendere nota delle velocità di perforazione, dell'uso di rivestimenti, di zone instabili, di scavernamenti o di incagli e altre difficoltà di perforazione.

(v) Per i fori si adotteranno sorveglianza e registrazione come per i fori a percussione. Si presterà particolare attenzione alle tecniche operative che possono influire negativamente sulla qualità dei campioni prelevati. Le carote saranno classificate per la successiva redazione di un Rapporto di Installazione. La classificazione dovrà almeno comprendere: litologia, orientamento dei giunti, scabrezza, inclusioni e grado di alterazione[10].

(vi) Il foro, una volta completato, dev'essere accuratamente ripulito prima d'inserirvi la base estensimetrica e il relativo ancoraggio, procedendo al lavaggio con un tubo d'acqua in pressione. I fori che rimangono aperti a lungo (un giorno o più) prima dell'installazione devono essere adeguatamente puliti prima dell'installazione.

Se si ha motivo di sospettare che il foro tenda a franare o a ostruirsi, bisognerà verificare la sua agibilità infilandovi un tubo o un asta di legno. In condizioni di terreno particolarmente instabile bisognerà ricorrere a operazioni speciali con iniezioni e rivestimento provvisorio per mantenere aperto il foro sufficientemente a lungo e così consentire la posa dello strumento.

c) Installazione

(i) L'installazione della base estensimetrica con l'ancoraggio e con il sensore di spostamento dev'essere eseguita da uno specialista qualificato per la strumentazione, come può essere un incaricato del fornitore o comunque un tecnico preparato a svolgere le operazioni in base a precedente esperienza e addestramento.

(ii) Per quanto possibile, la posizione degli ancoraggi dovrebbe essere regolata in modo da ottenere il massimo di informazioni dall'estensimetro. Ad esempio è desiderabile di avere un ancoraggio su ciascun lato di una zona di frizione o di un giunto. Se non individuate con il carotaggio, le discontinuità possono essere rilevate con una sonda televisiva o con un endoscopio.

(iii) Per ancoraggi ottenuti con iniezioni si dovrà prevedere un tempo sufficiente per la presa e indurimento della miscela, prima di procedere al montaggio del sensore estensimetrico. Durante questo tempo si terrà nota di ogni sparo mine o di altre operazioni in vicinanza allo strumento. Si terrà conto della resistenza e compressibilità della miscela nei confronti del terreno o roccia circostanti.

(iv) Qualora lo strumento non fosse già provvisto di un'adeguata calotta protettiva o non fosse alloggiato internamente al foro, bisognerà comunque costruire una protezione in grado di evitare danneggiamenti per il passaggio di operai e di macchine, come pure contro la proiezione dal lancio di pietre durante lo sparo di mine. In zone soggette a sparo di mine è preferibile installare inizialmente lo strumento con il solo sensore meccanico e solo successivamente procedere al montaggio del sensore elettrico per la lettura a distanza. Quando è previsto il sensore elettrico, occorre proteggere adeguatamente anche il cavo elettrico (cavo corazzato o tubo come cavidotto) onde evitare danni durante il periodo previsto di esercizio. Gli strumenti installati all'esterno saranno montati sotto la profondità raggiungibile dal gelo e i pozzetti saranno a tenuta d'acqua onde evitare la formazione di ghiaccio.

(v) Per ciascun estensimetro le letture di partenza (zero) saranno verificate almeno due volte prima di dar corso alla costruzione; oppure al momento dell'installazione o di rimessa a zero se la costruzione è in avanzamento. Gli strumenti installati parecchie settimane o mesi prima della costruzione saranno controllati per riscontrare eventuali avarie e variazioni di letture per effetto termico.

(vi) A completamento del montaggio della testa di misura occorre controllare accuratamente l'assenza di disfunzioni elettriche o meccaniche. Ai fini di un successivo riscontro, si registreranno tutte le misure, le calibrazioni in sito o tarature eseguite durante questa messa a punto finale.

d) Letture

(i) Le letture saranno effettuate da un operatore che sia a conoscenza della strumentazione, addestrato per riconoscere le misure critiche e la loro pertinenza con il progetto.

(ii) Lo strumento meccanico o elettrico usato per leggere un estensimetro dovrà essere controllato in cantiere prima e dopo ogni giornata di impiego. Per esempio, si dovrà verificare l'azzeramento dei comparatori e comparare le letture di deformometri a resistenza o a corda vibrante rispetto ai calibri-campione.

(iii) Di regola uno strumento elettrico di lettura sarà sottoposto a calibrazione sull'intero campo da parte del fornitore oppure presso un centro di taratura qualificato. Tale calibrazione sarà effettuata prima e dopo un rilevamento critico oppure periodicamente in caso di rilevamenti di lunga durata.

(iv) Per gli strumenti così conformati si eseguirà una calibrazione periodica in sito per riscontrare eventuali variazioni di comportamento. La calibrazione sarà fatta nei casi di misurazioni critiche oppure per regolare manutenzione[11].

(v) I dati di lettura degli estensimetri saranno riportati in un registro di cantiere o in un prospetto contenente anche le letture precedenti[12]. Ogni lettura sarà subito confrontata con la lettura precedente per accertare l'eventuale sviluppo di spostamenti significativi oppure un eventuale errore di lettura.

Se una lettura è incerta (per es. se corrisponde a deformazioni non previste), l'osservatore eseguirà ulteriori letture ed esaminerà se l'estensimetro è in condizioni di regolare pulizia o se è stato danneggiato; oppure riscontrerà se ci sono stati sviluppi costruttivi tali da giustificare le variazioni di lettura. Per tutte le letture si registreranno le condizioni operative e le temperature[13].

(vi) Numerose osservazioni aiuteranno a interpretare le deformazioni misurate dagli estensimetri e saranno riportate in una colonna di «note» sul prospetto o sul registro di cantiere. Alcune di queste osservazioni sono:

1. Apertura di giunti o movimento di blocchi di roccia.
2. Rilievo di giunti, zone di frizione e altre situazioni geologiche che possono risultare in connessione con il movimento. Osservazioni di rilasci o di allentamenti di masse rocciose lungo giunti o zone di frizione aiuteranno a valutare l'importanza di tali strutture.
3. Rilievo di fessure nel rivestimento di calcestruzzo spruzzato. Larghezza, lunghezza e spostamenti relativi dei labbri di fessurazione saranno misurati per accertare lo sviluppo nel tempo; determinando altresì lo spessore del calcestruzzo vicino alla fessura.
4. Nel caso di gallerie, mettere in evidenza il detensionamento o la dislocazione di centine di acciaio o di puntellazioni in legno.
5. Detensionamento o collasso di bulloni da roccia
6. Incremento delle acque di drenaggio che possano corrispondere all'apertura di giunti nella zona a monte delle fondazioni di una diga.

4. Calcoli ed elaborazione dei dati

a) A meno di diversa specificazione, tutti i dati saranno elaborati al più presto possibile, usualmente entro 24 h dalla lettura.

b) I dati di cantiere saranno di nuovo riscontrati in ufficio e gli errori evidenti saranno chiaramente rimarcati nel registro di cantiere. Le letture presuntivamente errate saranno affiancate da letture addizionali, ma non cancellate

c) Se non inseriti in uno speciale modulo al momento della lettura, i dati di cantiere saranno riportati su un prospetto riepilogativo di calcolo, come quello di Fig. 2

Estensimetro n° DX4 Postazione 66+03 Posizione Calotta

Data	Ora	Profondità 30 FT.		Profondità 6 FT		Note
		Lettura (0.001")	Spostamenti (pollici)	Lettura (0.001")	Spostamenti (pollici)	
7/11/72	10:30	2.252	–	2.460	–	Lettura iniziale
24/10	11:00	2.264	+.012	2.459	-.001	Stage 1 - 65+66
31/10	21:30	2.283	+.031	2.471	+.011	Stage 1 - 65+86
						Nuova lettura di zero
3/11	18:20	2.240		2.374		Stage 1 - 66+06
6/11	13:52	2.281	+.072	2.392	+.029	Stage 1 - 66+11
6/11	22:00	2.353	+.094	2.398	+.035	Stage 1 - 66+16
7/11	22:00	2.323	+.114	2.400	+.037	Stage 1 - 66+21
8/11	10:00	2.329	+.120	2.400	+.037	Stage 1 - 66+21
9/11	9:45	2.349	+.140	2.402	+.039	Stage 1 - 66+26
10/11	10:30	2.366	+.157	2.406	+.043	Stage 1 - 66+31
11/13	17:00	–	–	2.408	+.045	Stage 1 - 66+36
11/14	10:00	2.381	+.172	2.409	+.046	Stage 1 - 66+36
11/14	18:00	2.388	+.179	2.409	+.046	Stage 1 - 66+41 2b-65+32

Fig. 2 - Esempio di modulo per la raccolta dei dati ed il calcolo degli spostamenti di un estensimetro meccanico a 2 basi.

d) Il metodo per calcolare gli spostamenti a partire dai dati di cantiere dipende dalla particolarità degli strumenti. Si dovrà per questo seguire le istruzioni del fornitore, a meno che un metodo alternativo risulti accettabile[14].

e) Il mezzo migliore per presentare i dati è un diagramma tempo/spostamenti, in continuo aggiornamento. L'interpretazione delle misure è facilitata se si considerano non solo gli spostamenti, ma anche la velocità di spostamento e l'accelerazione nel tempo. La Fig.3 illustra i risultati ottenuti dalle misure di spostamento effettuate per una parete di roccia. L'accelerazione degli spostamenti è riportate nella parte inferiore del diagramma. La velocità di spostamento può essere desunta dalla pendenza della curva degli spostamenti.

f) Periodicamente i diagrammi profondità/spostamenti saranno elaborati come esemplificato in Fig.4a per una galleria. L'ancoraggio più profondo è stato assunto come punto fisso di riferimento per tutte le basi. I movimenti della roccia possono essere correlati con la posizione delle strutture di sostegno e con le condizioni geologiche (Fig. 4b). La relazione fra spostamenti, tempo e costruzione è illustrata in Fig.4c[15].

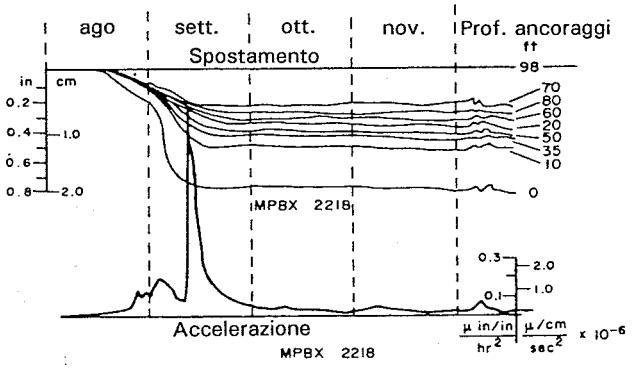


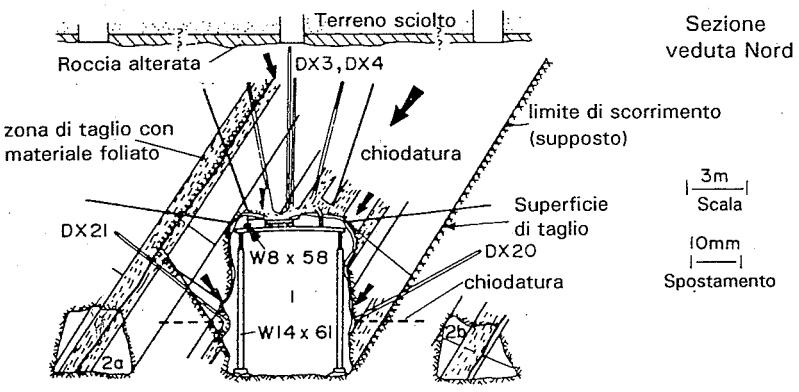
Fig. 3 - Diagramma spostamenti-tempo ed accelerazione-tempo.

5. Rapporto

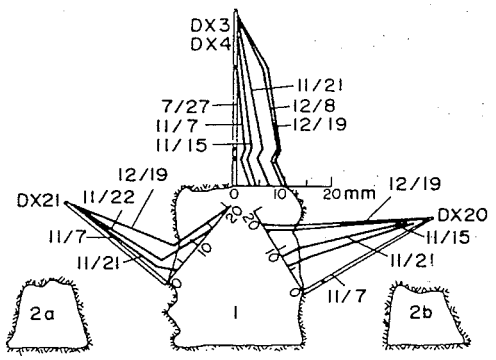
a) Generalità.

A meno di diversa specificazione, i risultati saranno presentati sotto due forme di rapporto: un Rapporto Installazione con i dati fondamentali del sistema strumentale all'atto dell'installazione; come pure Rapporti di controllo che presentano periodicamente i risultati delle osservazioni correnti.

I rapporti di Controllo saranno richiesti generalmente a frequenti sacdenze per ridurre il ritardo fra

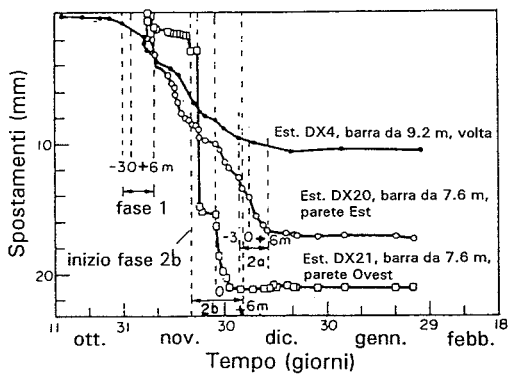


(b) Geologia, costruzione, e zona di roccia in movimento



(a) Diagramma profondità-spostamenti

Nota: Fase 1 con paramenti localmente chiodati , da 6 a 25 m dietro il fronte



(c) Diagramma tempo-spostamenti

Fig. 4 – Correlazione dei movimenti della roccia alle condizioni geologiche ed alle fasi costruttive da [Cording *et al.*, 1977].

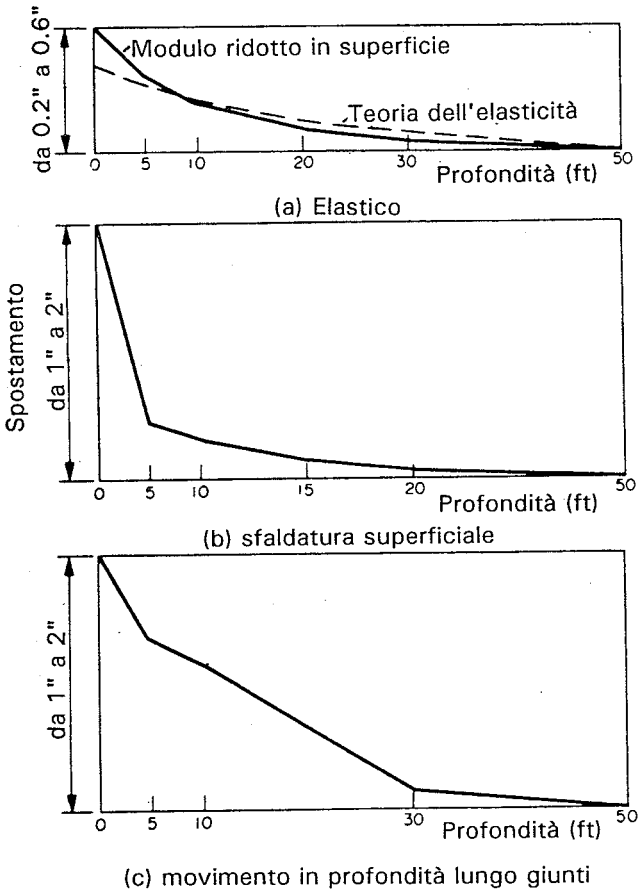


Fig. 5 - Spostamenti tipici in un camerone in roccia profondo.

la segnalazione di comportamenti anomali e la decisione di provvedimenti correttivi eventualmente necessari.

b) Rapporto di installazione.

Si dovrà redigere:

(i) Descrizione e schemi di tutti i componenti dell'estensimetro (dispositivo di ancoraggio, sensore di spostamento, strumento di lettura), comprese dettagliate caratteristiche di prestazioni

(ii) Rapporto riguardante il tipo e i dettagli dell'attrezzatura di perforazione.

(iii) Profilo di perforazione. Per i fori con carotaggio si richiede un profilo complessivo che informi circa i dati di perforazione e circa i campionamenti. Riepiloghi per eventuali rilevamenti con sonda televisiva o con endoscopio.

(iv) Dettagli e procedure di installazione e calibrazione e controllo. Si può far riferimento a questa Raccomandazione ISRM, dichiarando soltanto le deroghe dalle procedure più raccomandate.

(v) Schema grafico di ubicazione del foro per correlare lo specifico strumento all'intero piano progettuale e rispetto agli altri strumenti. Si includerà pertanto: la postazione, con coordinate e quota della testa estensimetrica; profondità, direzione e diametro del foro; distanze fra gli ancoraggi e la testa; posizione relativa dello strumento rispetto alle strutture presenti e future e rispetto ad altre costruzioni.

(vi) Planimetria e sezione dell'installazione in cui sia rappresentata la costruzione presente e futura, nonchè la geologia. (come in Fig. 4b).

c) Rapporto estensimetrico (controllo).

Il rapporto estensimetrico comprenderà:(i) Una serie di dati numerici di cantiere (con le specificazioni esemplificate in Fig.2), riportando tutte le letture eseguite a partire dal rapporto precedente.

(ii) Diagrammi aggiornati di spostamento di tutti i punti di misura rispetto al tempo, in forma simile a Fig.3 e Fig.4c.

(iii) Per strumenti e per punti scelti adeguatamente, diagramma degli spostamenti rispetto alle profondità e ai tempi come indicato in Fig. 4a. I tempi delle letture saranno correlati all'avanzamento dei lavori, ponendo in evidenza lo sviluppo o la progressione degli eventuali spostamenti[16].

(iv) Un breve riepilogo degli spostamenti più significativi e segnalazioni di irregolarità nel funzionamento degli strumenti a partire dal precedente rapporto.

Note

1. Dato che gli estensimetri a base lunga funzionano in ambiente umido e bagnato, i trasduttori elettrici devono essere in grado di operare con umidità relativa al 100% come anche in certi casi immersi in acqua Tutti i conduttori elettrici saranno isolati con materiali a tenuta d'acqua. Gli strumenti saranno posti in funzione sotto una pressione d'acqua corrispondente a quella prevista in sito. E' preferibile che lo strumento di lettura sia progettato in modo da risultare insensibile alla lunghezza dei conduttori, permettendo accorciamenti o allungamenti senza pregiudicare l'attendibilità delle letture.

2. Per installazioni a lungo termine si dovrebbe progettare un sistema di riscontro meccanico , come componente estensimetrico di revisione del sistema elettrico.

3. Hedley [17] ha riferito circa una serie di prove con estensimetri a filo. Alcuni errori sono stati attribuiti a: attrito fra gli stessi fili, attrito tra i fili e le pareti del foro, variazioni delle proprietà fisiche dei fili sottoposti a diversa tensione. Gli estensimetri ad asta sono assai meno sensibili a questi errori, grazie alla maggiore rigidità delle aste e al fatto che non è richiesta la messa in tensione.

4. La tecnica della calibrazione (o taratura) in sito comporta una procedura che consenta di intervenire sull'estensimetro dopo l'installazione. La calibrazione in sito viene eseguita periodicamente durante la vita dell'installazione, sia per accertare la continua efficienza dell'estensimetro sia per verificare particolari letture. Tale calibrazione, oltre a fornire la risposta dello strumento per unità di spostamento effettivo, può essere anche utilizzata per verificare se i fili o le aste sono liberi di scorrere sull'intera lunghezza del foro.

Durante la calibrazione di un estensimetro a filo con molla di tensione, si agisce sulla testa esterna in modo da spostarla

di una certa quantità verso l'esterno del foro, procedendo di solito a gradini. In base alle costanti elastiche del filo e alla lunghezza di ciascuna base di misura si calcola la risposta teorica per ciascun filo e per ogni gradino di spostamento. I risultati teorici ed effettivi sono quindi posti a confronto con un diagramma. Un allungamento effettivo inferiore a quello teorico corrisponde a condizioni di attrito. Invece un allungamento maggiore del teorico può significare uno scorrimento dell'ancoraggio.

Un analogo sistema può essere usato per convalidare le prestazioni di certi estensimetri ad asta provvisti di molla in tensione, in particolare di quelli con aste di alluminio di diametro relativamente piccolo. Altri estensimetri ad asta, e anche quelli a filo con tensione a contrappeso, possono essere controllati effettuando una prova di carico con una serie di contrappesi aggiuntivi, in modo da allungare i fili o le aste di una quantità calcolabile, procedendo quindi al confronto fra allungamento effettivo e allungamento teorico. Alcuni estensimetri, particolarmente quelli con aste di diametro relativamente grande , non possono essere calibrati in sito senza incorrere nel rischio di danneggiamento per il sistema di ancoraggio.

La calibrazione dell'estensimetro può risultare sensibile alle variazioni termiche. A questo proposito può essere di aiuto una preventiva calibrazione in laboratorio lungo una scala presunta di temperatura; ma ciò non corrisponde a una completa calibrazione rispetto alle variazioni di temperatura in sito (V. nota 6).

5. GOULD e DUNNICLIFF [3] hanno discusso sei fattori che influenzano l'esattezza delle misure:

(a) Caratteristiche fisiche del dispositivo estensimetrico.

(b) Procedure d'installazione (come danni allo strumento durante il monitoraggio).

(c) influenze esterne, come temperatura (v. nota 6), corrosione, sparo mine o vibrazioni, movimento del caposaldo di riferimento.

(d) Adattamento strutturale (capacità dello strumento di adattarsi ai movimenti).

(e) Procedimenti di elaborazione dei dati (come i dati sono mediati, rettificati o corretti).

(f) Errori dell'osservatore (errori umani derivanti dalla diligenza, giudizio, esperienza e destrezza).

GOULD e DUNNICLIFF [3] asseriscono che l'esattezza può essere verificata con: a) due sistemi di misura indipendenti oppure b) «uso di strumenti che possono essere sempre smontati per verificare se sono funzionanti correttamente». In molti estensimetri il sensore di spostamento può essere smontato e controllato. Invece l'ancoraggio non si può generalmente smontare. Il metodo più certo è quello di verificare l'esattezza con due misurazioni indipendenti.

6. Occorre rendersi conto che le variazioni tecniche possono influenzare molto un sistema di controllo diretto. Spesso tale influenza è ignorata, mentre corrisponde a una componente dell'errore globale di misura.

Le variazioni di temperatura alterano le misurazioni in modo complesso, provocando veri movimenti dal terreno e movimenti apparenti causati ad esempio dalla contrazione delle aste o dei fili. In molte situazioni del sottosuolo le variazioni termiche sono trascurabili. In certi casi le piccole perturbazioni nelle letture degli strumenti si verificano soltanto per grandi variazioni di temperatura, dovute per esempio alla mutata ventilazione della galleria alla fine dei lavori. Fatta eccezione per le aree ad elevato gradiente geotermico, soltanto misurazione estensimetriche superficiali sono di solito influenzate dalle variazioni termiche. Per esempio HOOKER e DUVALL [18] hanno riscontrato che il ciclo termico annuale era significativo fino a 7,5 m dalla superficie in roccia.

Si raccomanda di fare qualche valutazione dei possibili cambiamenti termici, in relazione al grado di precisione richiesto e alle disponibilità economiche di ricerca. In molti casi si tratta di misurare la temperatura dell'aria in vicinanza della testa dello strumento, procedendo quindi (se richiesto) a una correzione a stima delle letture estensimetriche. Procedure più severe dovranno essere seguite quando si prevedono grandi variazioni termiche, e corrispondenti errori, di entità intollerabile. Gli effetti termici possono essere accertati installando due aste, con differente coefficiente di dilatazione lineare fino a circa 10 m di profondità. Si può anche procedere alla misura dei gradienti termici con una serie di sensori di temperatura distribuiti lungo il foro, calcolando poi le correzioni necessarie.

In alcuni strumenti sono montati sensori di spostamento influenzabili dalla temperatura. Occorre tener conto che la correzione termica per il sensore può corrispondere solo in parte all'errore indotto sull'intero sistema estensimetrico.

In ogni caso per le installazioni dalla superficie occorre provvedere all'isolamento contro il gelo e disgelo stagionali.

7. I deformometri (*strain meters*) ovvero estensimetri «in linea» ed «in serie» vanno presi in considerazione quando si richiede un elevato grado di precisione su basi molto lunghe. Si tratta di strumenti che consentono la misurazione di spostamenti (o deformazioni) fra ancoraggi successivi, anzichè fra ancoraggi e testa dell'estensimetro tradizionale. L'insieme strumentale consiste in una serie di deformometri connessi in successione. Il vantaggio del deformometro è di ridurre la lunghezza dell'asta per ciascun sensore e quindi anche la possibilità di errore per attrito.

Come svantaggio è la necessità d'impiegare trasduttori elettrici di spostamento, come LVDT o potenziometri lineari.

8. Nei lavori in sotterraneo. l'installazione di estensimetri è fatta idealmente in prossimità del fronte di avanzamento, in modo da registrare presto gli spostamenti che intervengono subito dopo lo scavo oppure con la prossima volata. Per i montaggi in sotterraneo si richiede una buona programmazione preventiva, con la cooperazione da parte dell'impresa o degli addetti allo scavo, ai fini di una tempestiva installazione. Pertanto gli estensimetri devono essere predisposti per un montaggio rapido, tali da giungere a lettura entro il ciclo di scavo. In tal senso è opportuno che lo strumento sia progettato per il montaggio in fori predisposti con la stessa attrezzatura a disposizione per i fori da mina o per i chiodi.

9. Nel caso di installazioni verticali (verso l'alto), dove agli estensimetri si richiede la misurazione di spostamenti relativi (non assoluti), si può ricorrere a livellazioni di precisione per determinare anche gli spostamenti assoluti della testa estensimetrica. Il movimento totale risulterà dalla somma algebrica delle misure ottenute con il sensore estensimetrico e con la livellazione di precisione. E' una situazione tipica per misurazioni in galleria in terreno sciolto a piccola profondità e potrebbe essere considerata anche per piccola profondità in roccia. Le livellazioni di precisione possono risultare un buon sistema per verificare il grado di precisione di estenimetri installati in fori verticali. In certi casi si possono controllare le misurazioni estensimetriche assolute in una galleria confrontando le misure di convergenza con i risultati di due estensimetri profondi sui lati opposti della galleria.

10. I campioni di roccia (carote) saranno ordinate e conservate in casse robuste, con distanziatori e chiare marcature di profondità per ogni manovra di campionamento. Le casse con i campioni saranno contrassegnate con il numero del foro, l'ubicazione, la data di perforazione e la lunghezza dei campioni contenuti. Tutti i campioni saranno accuratamente tra-

sportati dal campo di lavoro al magazzino, in modo tale che non siano danneggiati.

11. Come tutti gli apparecchi meccanici, elettrici ed elettronici, anche gli estensimetri saranno sottoposti a revisione secondo un regolare programma . Si tratta di controllare che lo strumento non abbia danni meccanici, che tutti i cavi elettrici e i connettori siano protetti da permeazioni d'acqua; procedendo inoltre alla pulizia e alla lubrificazione dei vari componenti del sistema che sono accessibili all'imbocco del foro.

Nei casi più delicati le operazioni di revisione potranno essere completate anche con una calibrazione in sito, eventualmente abbreviata.

12. Una «lettura» può consistere nella media di tre osservazioni da parte dell'operatore. Se la media delle tre osservazioni si accorda con la precisione prevista per lo strumento, la «lettura» sarà registrata, sia come unica osservazione rappresentativa, sia annotando tutte le tre (o più) osservazioni ricavando poi la media in sede di calcolo.

13. Ogni volta che si legge un estensimetro, è importante documentare l'esattto avanzamento dei lavori. Attività o situazioni che sembrano non importanti possono in seguito risultare una chiave per interpretare i movimenti riscontrati con le misure in roccia.

14. Per l'estensimetro a semplice asta, da leggere con un compratore o con un micrometro, i calcoli sono generalmente lineari e non comportano costanti o correzioni di calibrazione. In Fig.2 sono esemplificati i computi per un estensimetro a due aste. Le variazioni di lettura derivano direttamente dalle variazioni di distanza fra testa di riferimento e aste ancorate. Il modulo per il computo può essere sviluppato per il singolo caso, in modo da calcolare l'entità di spostamento rispetto al tempo; oppure la variazione della distanza relativa rispetto all'ancoraggio più profondo. Le misurazioni ottenute con gli estensimetri più complessi che utilizzano trasduttori elettrici comportano ovviamente una procedura più completa per la riduzione dei dati.

15. Per lavori nel sottosuolo la condizione operativa più critica può essere quella di calotta, per le gallerie, oppure altri scavi di allargo e opere di sostegno. Per lavori all'aperto, la variabile critica è tipicamente la profondità di scavo.

16 (a) Generalità.

Il criterio di riconoscimento di movimenti significativi in roccia non è fra gli obiettivi di questa raccomandazione. Quanto segue è riportato come esempio di indirizzo che fu sviluppato per valutare gli spostamenti associati con lo scavo di una caverna in roccia (Cording *et al.*, [19]).

Si tratta di determinare il comportamento di stabilità o di potenziale instabilità. Le dislocazioni riferibili a locale instabilità, sotto forma di distacco di sottili placche di roccia si differenziano da quelle corrispondenti a una condizione più estesa e più profonda che compromette la stabilità di un'intera galleria o caverna. Nella maggior parte dei casi un singolo criterio non è sufficiente per valutare la stabilità. Ad esempio, un criterio di stabilità non dovrebbe essere basato soltanto su una entità di spostamento, superando la quale si ammette che esistano condizioni di instabilità.

(b) Entità di dislocazione rispetto a quanto previsto dalla teoria dell'elasticità.

Le soluzioni del continuo elastico o elasto-plastico sono abbastanza utili per una comparazione con le dislocazioni osservate in una galleria o caverna sotterranea, anche se la massa rocciosa può subire grandi dislocazioni lungo superfici di giunto e non si comporta come un continuo. Le soluzioni del continuo sono preziose in quanto forniscono una stima dei movimenti che avrebbe la massa se si riducesse al minimo l'allentamento lungo i giunti. Le condizioni di instabilità intervengono quando le dislocazioni sono grandi rispetto a quelle previste dalla teoria dell'elasticità.

Sia una soluzione a sistema elastico chiuso assumendo condizioni semplici al contorno, sia una soluzione elastica agli elementi finiti che si approssima alle condizioni al contorno più complesse, possono essere seguite per stimare gli spostamenti elastici. Per tali soluzioni elastiche occorre valutare il modulo in sito e ciò può essere fatto con sufficiente attendibilità per la previsione degli spostamenti applicando al modulo di laboratorio un fattore che tenga conto dell'effetto dei giunti e delle zone alterate, come l'RQD (Deere et al. [20]).

Per un'esemplificazione, Cording *et al.* [19] presentano un sommario di dislocazioni in roccia osservate in 13 grandi caverne sostenute con chiodature. Dove non si ebbero estesi rilassamenti della roccia, le dislocazioni risultarono 1-2 volte maggiori dello spostamento elastico computato in base al modulo in sito. I movimenti e allentamenti lungo i giunti furono di solito segnalati quando le dislocazioni osservate superavano di 3 volte gli spostamenti elastici. Nella maggior parte dei casi i grandi spostamenti furono in relazione con particolari conformazioni geologiche, come zone di frizione, piani di stratificazione o sistemi di giunti. In molti casi dove i movimenti superavano di 5-10 volte le deformazioni calcolate elasticamente, si modificarono i procedimenti di scavo e di sostegno per evitare movimenti ancora maggiori. La maggior parte delle grandi dislocazioni furono nel campo da 10 a 75 mm. La Fig.5 illustra le tipiche dislocazioni osservate in una grande camera profonda dove si osservarono scorrimenti lungo giunti molto addentrati.

(c) Entità di dislocazione rispetto a quanto misurato in sezioni di galleria ben sostenuta.

In certi casi le dislocazioni tipiche in una galleria possono superare i movimenti calcolati elasticamente, ma non pongono un problema di stabilità. Misurazioni di movimenti eseguite in diversi punti di una galleria possono servire per la determinazione del comportamento tipico della galleria stessa in rapporto alle dimensioni, alle giaciture geologiche e al sistema di supporto. Se si hanno dislocazioni decisamente maggiori di quelle osservate in precedenza, vuol dire che il rilassamento della roccia intorno alla galleria è eccessivo, con possibili problemi di stabilità.

(d) Velocità di dislocazione.

Per valutare la stabilità di strutture in roccia occorre attentamente esaminare la velocità di deformazione. Le analisi sono faciltate diagrammando non solo i movimenti ma anche le accelerazioni in funzione del tempo. Incrementi improvvisi nello sviluppo dei movimenti nella roccia, superiori a quelli previsti con il procedere degli scavi in vicinanza dell'estensimetro, possono essere un sintomo di instabilità. Condizioni di instabilità sono indicate anche dalle velocità di dislocazione che non risultino correlabili con gli scavi o che proseguano dopo che l'avanzamento dei lavori abbia oltrepassato nettamente la posizione dell'estensimetro. Uno dei modi migliori per valutare tali velocità di movimento consiste nel confrontarle con quelle osservate in precedenza su tratti di galleria ben sostenuti, dove i movimenti in definitiva si siano arrestati.

(e) Volume di roccia coinvolto nella dislocazione

Per determinare la gravità del problema e i provvedimenti da prendere, occorre esaminare sia la profondità alla quale la massa rocciosa si sta allentando, sia l'estensione in termini di area.

(f) Capacità di dislocazione del sistema di supporto

Gli spostamenti osservati non dovrebbero superare gli spostamenti che causano detensionamento o collasso del sistema di supporto.

(g) Capacità di dislocazione della massa rocciosa

Gli spostamenti non dovrebbero superare la capacità della massa rocciosa di mantenere la propria resistenza e coesione a meno che il sistema di supporto sia in grado di assorbire i maggiori carichi rilasciati dalla roccia. La resistenza della roccia lungo i giunti decresce con il movimento, in quanto le irregolarità sulle superfici sono abrase e spianate.

L'entità degli spostamenti che provoca la perdita di resistenza della massa rocciosa dipende dallo scorrimento necessario per spianare o abradere la scabrosità, in modo che il blocco giunga a collasso oppure alla resistenza residua lungo i giunti. Dove i giunti sono planari o levigati, con giaciture tali da sezionare la roccia in forma di blocchi, allora i movimenti in grado di portare al crollo sono inferiori a quelli con superfici irregolari e giunti discontinui.

BIBLIOGRAFIA

[1] Smith P.D.K. & Burland J.B. (1976) - *Performance of a high precision multi-point borehole extensometer in soft rock*. Can. Geotech. J., 13, pp. 172-176.

[2] Bellier J. & Debreuille P. (1977) - *Three new instruments for measurements in tunnels*. Field Measurements in Rock Mechanics, International Symposium, Zurich.

[3] Gould J.P. & Dunnicliff C.J. (1971) - *Accuracy of field deformation measurements*. Proceedings of the Fourth Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Juan, vol. I, pp. 313-366.

[4] Wallace G.B., Slebir E.J. & Anderson F.A. (1970) - *In situ methods for determining deformation modulus used by the Bureau of Reclamation. Determination of the In Situ Modulus of Deformation of Rock*. ASTM STP 477, American Society for Testing and Material, pp. 3-26.

[5] Benson R.P., Murphy D.K. & McCreath D.R. (1970) - *Modulus testing of rock at the Churchill Falls underground powerhouse. Determination of the* In-Situ *Modulus of Deformation of Rock*. ASTM STP 477, American Society for Testing and Material, pp. 89-116.

[6] Franklin J.A. & Denton P.E. (1973) - *The monitoring of rock slopes*. Quarterly Journal of Engineering Geology, 6, pp. 259-286.

[7] Dutro H.B. & Dickinson R.O. (1974) - *Slope instrumentation using multiple-position borehole extensometers*. Transportation Research Record, n. 482, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp. 9-17.

[8] Rouse G.C. & Wallace G.B. (1966) - *Rock stability measurement for underground openings*. Proceedings, First International Congress of the International Society of Rock Mechanics, vol. XI, pp. 335-340.

[9] Aramburu J.A. (1974) - *La Angostura dam underground powerhouse: prediction and measurement of displacements during excavation*. Proceedings Third International Congress of the International Society for Rock Mechanics, vol. II-B, pp. 1231-1241.

[10] Mahar J.W., Gau F.L. & Cording E.J. (1972) - *Observation during construction of rock tunnel for the Washington, D.C. subway*. Proceedings North American Rapid Excavation and Tunneling Conference, Chicago, AIMMPE, vol. I, pp. 659-681.

[11] Austin W.G. & Fabry J.W. (1974) - *Rock behaviour studies during drillblast and machine-bored tunneling*. Proceedings, Third International Congress of the International Society for Rock Mechanics, vol. II-B, pp. 1242-1249.

[12] Döllerl A. (1972) - *Bericht über die Meßergebnisse bei der Anfahrt der ersten Schildstrecke im Zuge des U-Bahn-Tunnelbaues zwischen. Karlsplatz und Favoritenstrabe in Wien*. Der Aufbau, 11/12/1972.

[13] Muller G. & Muller L. (1970) - *Monitoring of dams with measuring instruments*. Transactions of the Tenth International Congress on Large Dams, Montréal, vol. III, pp. 1033-1046.

[14] Hedley D.G., Zahary G., Soderlund H.W. & Coates D. (1968) - *Underground measurements in a steeply dipping ore body*. Proceedings, Fifth Canadian Rock Mechanics Symposium, pp. 105-125.

[15] Rouse G.C., Richardson J.T. & Misterek D.L. (1965) - *Measurement of rock deformations in foundations for mass concrete dams*. Instruments and Apparatus for Soil and Rock Mechanics, ASTM STP 392, American Society for Testing and Materials, pp. 94-114.

[16] Gloe C.S., James J.P. & Barton C.M. (1971) - *Geotechnical investigations for slope stability studies in brown coal open cuts*. Proceedings, First Australia-New Zealand Conference on Geomechanics, Melbourne, pp. 329-336.

[17] Hedley D.G.F. (1969) - *Design criteria for multi-wire borehole extensometer systems*. First Canadian Symposium on Mining Surveying and Rock Deformation Measurements, October.

[18] Hooker V.E. & Duvall W. (1971) - I. *In Situ rock temperature stress investigations in rock quarries*. U.S. Bureau of Mines. Report of Investigations, RI 7589 (1971).

[19] Cording E.J., Hendron A.J. Jr. & Deere D.U. (1971) - *Rock engineering for underground caverns*. Symposium on Underground Rock Chambers, ASCE, Phoenix, pp. 567-600.

[20] Deere D.U., Merritt A.H. & Coon R.F. (1969) - *Engineering classification of* in-situ *rock*. Technical Report No. AFWL-TR-67-144, University of Illinois, Department of Civil Engineering, Urbana (1969).

[21] Cording E.J., Mahar J.W. & Brierley G.S. (1977) - *Observations for shallow chambers in rock*. Field Measurements in Rock Mechanics, International Symposium, Zurich.