Premessa alle Raccomandazioni per la misura in superficie di movimenti a cavallo di discontinuità

Le misure dei movimenti lungo le discontinuità che interessano l'ammasso roccioso o le strutture con esso interagenti danno una serie di utili informazioni con costi generalmente contenuti. Tali misure non sempre risultano di facile interpretazione anche per la frequente mancanza dei necessari accorgimenti da prendere nelle varie fasi della misura, a dispetto della semplicità del metodo. Queste raccomandazioni costituiscono pertanto un utile riferimento per tutti i tecnici chiamati ad attuare questo tipo di indagini.

Le presenti Raccomandazioni si prefiggono di suggerire 4 tecniche, rappresentative di 3 classi di metodi, funzione della precisione con cui si vogliono rilevare i movimenti:

1) mettere esclusivamente in evidenza il movimento (metodo 1);
2) misurare grandi spostamenti con precisione di circa 1 mm (metodo 2);
3) misurare piccoli spostamenti con precisione non inferiore a 0.01 mm con strumenti meccanici (metodo 3) o elettrici (metodo 4).

Non viene trattata esplicitamente nessuna tecnica che consenta la misura di piccoli spostamenti con forti variazioni cicliche (superiori al fondo scala) o piccoli spostamenti con valori leggermente superiori al normale fondo scala di molti strumenti in commercio (2-5 mm). Tali misure richiedono generalmente precisioni dell'ordine di 0.1 mm.

In realtà, l'esauriente tabella che riassume tutte le tecniche di misura in funzione di precisione e fondo scala degli strumenti, riportata nelle Raccomandazioni, consente di scegliere le tecniche adatte alle diverse esigenze. Inoltre, i concetti da tenere presenti durante le varie fasi della misura (dall'installazione alla restituzione dei risultati) riportati per ciascuna delle tecniche descritte, sono estendibili a qualsiasi altro metodo.

La traduzione di alcuni termini in lingua inglese ha comportato delle scelte non sempre immediate. Le principali sono riportate di seguito:

- il termine *pin* usato per indicare i due punti di riferimento tra i quali viene steso il nastro graduato nelle misure con nastro metallico è stato tradotto con il termine "punta";
- il termine *target*, usato per indicare le due basette metalliche su cui vengono poggiati i deformometri rimovibili ed il termine *anchor*, usato per indicare le due estremità dei fessurimetri elettrici, sono stati tradotti rispettivamente con i termini "base" e "ancoraggio" in analogia con il termine adottato per gli estensimetri in foro.

Per il significato dei termini relativi alla qualità della misura (sensibilità, ripetibilità, accuratezza e precisione) si rimanda alla traduzione delle Raccomandazioni sugli estensimetri in foro a base lunga curata dall'Ing. Vielmo e comparsa nel numero 4/95 della RIG.

Il curatore della traduzione
PAOLO TOMMASI

Raccomandazioni per la misura in superficie di movimenti a cavallo di discontinuità

Introduzione tecnica e rassegna dei metodi disponibili

1.(a) Il controllo dei movimenti della roccia fornisce i dati per comprendere il comportamento dell'ammasso roccioso e per accertarne la stabilità. Osservazioni della fratturazione su una superficie possono dare utili informazioni sul comportamento dell'ammasso roccioso in profondità così come il controllo in superficie in genere è meno costoso della strumentazione in foro o di altre tecniche di controllo nel sottosuolo.

(b) Un metodo tradizionalmente usato dai minatori per riconoscere l'apertura di una frattura consiste nel verificare l'allentamento dei cunei di legno precedentemente intestati nella frattura stessa. Molto spesso però si richiedono tecniche assai più sofisticate. Nella tabella 1 sono riportati alcuni dei metodi di controllo disponibili con relativi vantaggi, inconvenienti e valori indicativi della precisione. I quattro metodi descritti di seguito costituiscono solo una parte delle tecniche disponibili. *Queste raccomandazioni non devono essere viste come dei metodi consigliati bensì come esempi guida da utilizzare una volta adottato il metodo più idoneo ad un determinato scopo.* Ove possibile, dei semplici metodi di misura ottici o meccanici sono da preferirsi a strumenti elettrici; questi ultimi tendono ad essere meno affidabili per controlli a lungo termine a meno che l'ambiente fisico (umidità, polvere, vibrazioni) sia adeguatamente controllato.

(c) Tra le applicazioni tipiche vi sono il controllo delle fratture di trazione nelle scarpate, delle fessure nelle strutture, nelle pavimentazioni e nei rivestimenti di gallerie in calcestruzzo e delle discontinuità in roccia.

Metodo n. 1: raccomandazioni per il controllo di movimenti a cavallo di discontinuità per mezzo di vetrini

Scopo

1. Questo metodo dà modo di controllare direttamente e con semplicità i movimenti a cavallo delle discontinuità. In sostanza, il metodo consiste nel cementare dei vetrini a cavallo delle discontinuità e nell'osservarne la rottura annotando, se necessario, l'entità e la direzione dello spostamento relativo tra le labbra della fessura.

Attrezzatura

2.(a) Vernice spray di colore contrastante con la superficie su cui verrà applicata.

(b) Vetrini di dimensioni indicative 80×20×2 mm.

(c) Resina epossidica, resina poliuretanica o adesivo cianoacrilato.

(d) Pennarelli indelebili.

(e) Righello graduato.

Procedura

Installazione

3. (a) L'area da controllare va ispezionata attentamente e tutte le fessure osservate vanno segnate con la vernice lungo tutta la loro lunghezza.

(b) Le superfici su cui vanno incollati i vetrini debbono essere consistenti (roccia dura o calcestruzzo) in modo da assicurare una buona adesione. Se necessario le superfici debbono essere pulite ed abrase per migliorare la presa dell'adesivo.

(c) Successivamente si incollano più vetrini lungo ciascuna fessura usando resine epossidiche od altri materiali adesivi di resistenza maggiore del vetro.

(d) Dopo l'installazione i vetrini vanno numerati e la loro posizione riportata in sezione ed in planimetria insieme al numero identificativo.

(e) Durante l'installazione vanno compilati dei moduli contenenti i dati dell'installazione stessa.[1]*

Ispezione e lettura

4. (a) L'ispezione comporta l'osservazione delle rotture dei vetrini. La lettura prevede l'uso di un righello per misurare l'apertura della fessura e la direzione del movimento. La precisione della lettura dovrebbe essere di circa ±1 mm.

(b) la frequenza delle ispezioni e/o delle letture dovrebbe essere legata all'attività del sito ed alla velocità delle deformazioni.[2]

(c) I dati dovrebbero essere registrati su dei moduli appositamente preparati.

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

Tab. I – Metodi per il controllo in superficie di movimenti lungo fratture o faglie.

Metodo	Vantaggi	Limitazioni	Accuratezza Approssimativa
		Metodi ottici	
Rilievi topografici e misure distanziometriche[a]	Il controllo può coprire una vasta area	Accuratezza limitata Richiede la presenza di più tecnici	Dipende dal metodo
Fotogrammetria	Il controllo fornisce dei dati completi	Accuratezza limitata Il controllo copre una vasta area Il controllo e l'interpretazione richiedono l'esperienza di uno specialista	Dipende dal metodo Richiede la presenza di più tecnici
		Metodi meccanici[b]	
Cunei di legno	Semplice ed economico Può essere usato da tutto il personale	Solo qualitativo Interpretazione inaffidabile	Scarsa
Vetrini[c]	Semplice ed economico		± 1 mm
Spie di stucco[d]	Semplice ed economico		± 1 mm
Punte e nastro[c]	Semplice ed economico		± 2 mm
Punte e filo teso[e] con contrappeso	Semplice ed economico Può essere adattato per dare un segnale di allarme		± 2 mm
Punte ed estensimetro[f] meccanico	Semplice		± 0.1 mm
Piastrina fessurimetrica graduata[g]	Semplice ed economico		± 1 mm
Punte e righello di acciaio	Semplice ed economico	Distanza tra le punte limitata	± 0.5 mm
Punte e calibro	Semplice ed economico	Distanza tra le punte limitata	± 0.2 mm
Estensimetro a nastro[h]	Semplice		± 0.2 mm
Deformometro portatile[c]	Semplice	Distanza tra le punte limitata	± 0.01mm
Micrometro[j]	Semplice ed economico	Distanza tra le punte limitata	± 0.01 mm
		Metodi elettrici	
Fessurimetro elettrico[e,k]	Consente di effettuare letture a distanza	Costoso Campo di misura limitato, che può però essere esteso riazzerando lo strumento Letture spesso influenzate da variazioni del cavo di collegamento, dalla temperatura e da altre condizioni ambientali	± 0.1–0.002 mm In funzione del trasduttore

[a] L'ISRM ha in preparazione delle raccomandazioni per rilievi di triangolazione, livellazione allineamento e misura con distanziometri elettronici

[b] In ciascuno di questi metodi è richiesto l'accesso dei tecnici che eseguono i controlli alle postazioni di misura

[c] Le relative raccomandazioni sono contenute nel testo. In realtà si tratta di metodi suggeriti più che raccomandati, ovvero degli esempi guida da utilizzare una volta adottato il metodo più adatto ad un determinato scopo. Ove possibile, dovrebbero essere usati dei semplici metodi di misura ottici o meccanici.

[d] Il metodo è simile a quello dei vetrini ma con la sostituzione dello stucco di gesso al vetrino incollato con adesivo. Lo stucco viene applicato con una cazzuola.

[e] Il filo viene teso a cavallo della discontinuità tra una punta metallica da una parte ed una puleggia collegata ad un punto di misura dall'altra. La tensione del filo è mantenuta da un peso legato al filo al di sotto della puleggia. Al punto di misura è fissata una scala graduata e sul filo è posto un segno di riferimento la cui variazione di posizione rispetto alla scala fornisce l'entità del movimento.

[f] Si fissa un nastro di acciaio portatile perforato o un filo di acciaio inossidabile ad una punta posta su un lato della discontinuità e lo si fa passare attraverso un dispositivo di misura dall'altro lato. Sul dispositivo di misura viene montato un indicatore meccanico (estensimetro di tipo Potts) a cui viene agganciato il nastro. L'indicatore è munito di un dispositivo per mantenere il nastro in tensione e di una scala graduata per leggere il movimento.

[g] Un a piastrina fessurimetrica consiste di due piastrine di plastica trasparente sovrapposte, montate ciascuna su una delle due labbra della fessura. Delle linee di riferimento sulla parte superiore della piastrina si sovrappongono ad una griglia graduata impressa sulla parte inferiore della piastra. Il movimento viene rilevato osservando la posizione dei riferimenti della piastrina superiore rispetto alla griglia sottostante.

[h] Gli estensimetri a nastro sono disponibili presso numerosi rivenditori di strumentazione geotecnica. Lo strumento consiste in genere di un nastro posto in serie con una molla regolabile che lo mette in tensione e con un micrometro per la misura del movimento. Dei punti di riferimento attaccati alle punte poste ai lati della discontinuità

[j] Su un lato della discontinuità può essere posta una staffa con su montato un micrometro che contrasta una piastra rettificata incollata sull'altro lato della discontinuità. Sono disponibili anche dei sistemi dotati di micrometri tridimensionali.

[k] Un trasduttore elettrico lineare di spostamento può essere montato su di una staffa e posto a contrasto con una piastra rettificata incollata sull'altro lato della discontinuità. In alternativa, su ciascun lato della discontinuità possono essere fissati degli ancoraggi a cui vengono collegate le estremità del trasduttore tramite giunti sferici. Sono disponibili trasduttori potenziometrici lineari, trasduttori con trasformatore differenziale a variazione lineare (LVDT), trasduttori con trasformatore differenziale a corrente continua (DCDT), trasduttori a corda vibrante, trasduttori estensimetrici resistivi incollati e non ed infine trasduttori induttivi collegati a formare un circuito oscillante con uscita in frequenza.

(d) Se un vetrino è stato rotto dai movimenti, è spesso utile incollare un nuovo vetrino a fianco di quello rotto per controllare se i movimenti sono ancora in atto.[3]

Elaborazioni[4]

5. Se oltre ad osservare la rottura delle fessure ne è stata misurata l'apertura, le misure dovrebbero essere velocemente convertite in movimenti usando appositi moduli di calcolo.[5]

Presentazione dei risultati

6. Al termine dell'installazione dei vetrini[6] dovrebbe essere preparata una "relazione sull'installazione"

7. Al termine di ciascuna serie di letture[7] dovrebbe essere preparata una "relazione sulle misure". Se si osserva solamente la rottura dei vetrini, la relazione non conterrà grafici.

Metodo n. 2: raccomandazioni per il controllo di movimenti a cavallo di discontinuità per mezzo di punte metalliche e nastro

Scopo

1.(a) Questo metodo è stato concepito per essere una tecnica semplice per misurare i movimenti con delle punte metalliche poste ai due lati della discontinuità. Le misure sono effettuate con un nastro di acciaio teso tra le due punte.

(b) Le punte metalliche vengono poste solitamente ad una distanza variabile tra 1 e 3 m, ma possono anche essere distanziate di 20 m a cavallo di una o più discontinuità.

(c) La precisione richiesta dipende dall'applicazione ma tipicamente è dell'ordine dei 2 mm. Utilizzando molta attenzione è possibile ottenere una precisione di $\pm$ 0.5

Attrezzatura

Punte ed adesivi

2.(a) Il tipo e le dimensioni delle punte e del dispositivo di fissaggio devono essere adeguati alle condizioni della roccia e della struttura su cui sono utilizzati in modo tale che le punte siano fissate rigidamente alla superficie e lo rimangano per tutta la durata del programma di misure.

(b) Se la superficie è costituita da roccia dura o da calcestruzzo non fessurato, le punte possono avere un diametro di 5 mm ed un'altezza di 2 cm con un'estremità conica e l'altra costituita da una base saldata. Per fissare le punte alla superficie può essere utilizzata della resina od una pistola rivettatrice per calcestruzzo.

(c) In terreni o rocce tenere solitamente si infiggono o si cementano delle punte alte 50 cm aventi diametro 1.5 cm.

(d) Le punte debbono avere l'estremità superiore appuntita o piatta con impresso un crocifilo.

3. Per misurare gli spostamenti si usa generalmente un nastro di acciaio graduato in millimetri.

Procedura

Installazione delle punte

4.(a) Per prima cosa si ispeziona l'area da controllare per individuare le discontinuità più importanti nonché il numero e l'ubicazione delle basi di misura più appropriati. Possono essere misurati sia gli spostamenti tangenziali che normali installando una coppia di basi su ciascun lato della discontinuità ed effettuando misure in direzione normale e diagonale rispetto alla discontinuità. La discontinuità può essere dapprima controllata visivamente o con dei vetrini (Metodo n°1) per un tempo sufficiente a stabilire le caratteristiche generali dei movimenti.

(b) Allorché le punte debbano essere fissate su una superficie dura, questa va prima pulita dal materiale allentato o dalla polvere che potrebbero altrimenti impedire un'adeguata presa dell'adesivo. La posizione delle punte viene segnata approssimativamente; in genere le coppie di punte vengono poste equidistanti dalla discontinuità ed allineate normalmente ad essa. È possibile che la superficie compresa tra le punte debba essere spianata per eliminare le irregolarità che altrimenti influenzerebbero il posizionamento e le operazioni con il nastro. Successivamente si incollano le punte alla superficie con una potente resina epossidica a presa rapida.

(c) In terreni soffici o su superfici degradate le punte possono essere infisse fino ad una profondità di circa 10 cm o tale che siano fissate rigidamente. In alternativa le punte possono essere cementate in fori appositamente realizzati.

(d) Installate le postazioni di misura, se ne riporta l'ubicazione in pianta ed in sezione. A fianco di ciascuna coppia di basi si segna in modo chiaro ed indelebile una sigla di riconoscimento che viene riportata in pianta ed in sezione. Può essere utile apporre dei segnali con vernice di colore brillante sulla struttura in prossimità delle basi in modo che queste possano essere facilmente individuate durante le operazioni di lettura.

(e) Durante l'installazione dovrebbero essere riempiti dei moduli contenenti i dati di installazione.[1]

Lettura

5.(a) Per avere un riferimento sicuro non influenzato dall'attività nel sito vanno eseguite più letture di zero. La frequenza delle letture successive deve essere stabilita in base all'attività nel sito ed alla velocità con cui le letture variano.[2]

(b) Se le punte sono distanti meno di 2 m circa, le misure debbono essere eseguite con un'accuratezza di ±2 mm se si usa un nastro di acciaio, ad esmpio un prodotto di qualità costruito in modo standard. Per queste distanze di misura normalmente non sono richieste correzioni per la temperatura e per l'inflessione del nastro. Se la distanza tra le punte supera i due metri vanno eseguiti dei rilievi con catena. Un'estremità della catena va collegata ad una delle punte per minimizzare gli errori di riferimento ed un tiro costante va applicato alla catena per evitarne l'incurvamento. Se le punte non sono rigide o non sono saldamente aderenti al terreno al punto di impedire l'uso della catena, sono necessarie due persone che tengano tesa la catena alle due estremità. Si dovrebbe usare un tiro costante e dovrebbero essere applicate delle correzioni per la temperatura come richiesto. Comunque per ogni lettura si dovrebbero fare tre misure della distanza tra le punte e calcolarne la media. Le tre misure non dovrebbero differire di più di ±2 mm.

(c) Per garantire delle soddisfacenti condizioni di lettura la postazione di misura dovrebbe essere convenientemente illuminata.

(d) Per essere sicuri che la misura tra le punte sia significativa, si dovrebbe, ove possibile, controllare la posizione delle punte rispetto ad un riferimento fisso.

(e) Le letture dovrebbero essere scritte su un apposito modulo di campagna e confrontate immediatamente con le precedenti per controllare eventuali errori di lettura o malfunzionamenti dello strumento.[3]

Elaborazione[4]

6. Le letture dovrebbero essere velocemente convertite in movimenti usando appositi moduli di calcolo[5]. Per ciascuna coppia di punte, la variazione di valore della distanza tra le punte viene calcolata sottraendo la lettura iniziale alle letture successive. Il segno positivo indica apertura, quello negativo chiusura.

Presentazione dei risultati

7. Al termine dell'installazione delle punte e dopo aver effettuato le letture di zero[6] dovrebbe essere preparata una "relazione sull'installazione".

8. Al termine di ciascuna serie di letture successive[7] dovrebbe essere preparata una "relazione sulle misure".

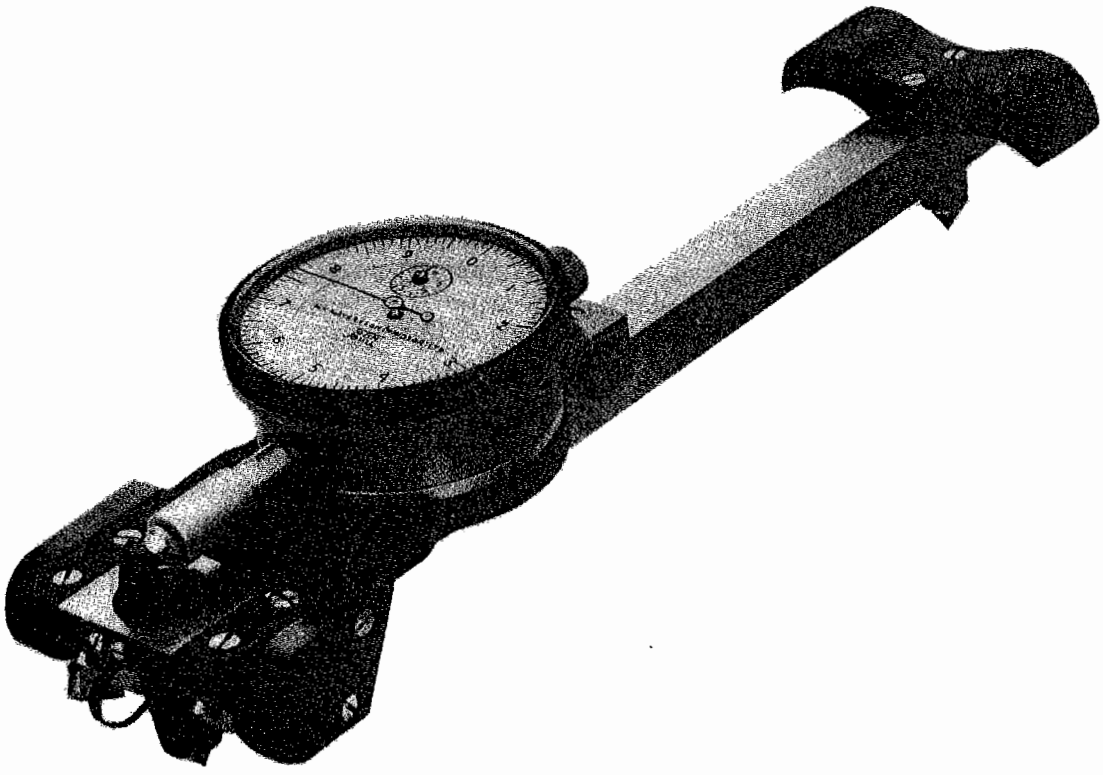

Fig. 1 – Esempio di deformometro portatile (W.H. Mayes & Son, Windsor Ltd. England).

Metodo n. 3: raccomandazioni per il controllo di movimenti a cavallo di discontinuità con deformometro rimovibile

Scopo

1.(a) Questo metodo è stato concepito per la misura delle variazioni della distanza tra due basi di riferimento poste ai due lati della discontinuità da controllare. Il metodo richiede l'accesso materiale alle basi di riferimento.

(b) Le basi vengono poste solitamente ad una distanza variabile tra i 50 ed i 250 mm. Per eseguire la misura tra un paio di basi si usa un deformometro meccanico rimovibile.

(c) Il metodo è impiegato generalmente per un'accurata determinazione di piccoli movimenti in genere inferiori a ± 5 mm.

Apparecchiatura

2. Un deformometro portatile con le seguenti caratteristiche (ad es. Fig. 1).

(a) Il deformometro ha una lunghezza fissa, pertanto si richiede che basi di misura vengano poste ad una distanza predeterminata.[8] La lunghezza del deformometro varia in genere tra 50 e 250 mm e va scelta in funzione dell'applicazione. Ad esempio nel controllo delle fessure esiste una distanza minima tra le basi per evitare l'allentamento ed il danneggiamento delle basi in condizioni di esercizio.

(b) con un dispositivo per l'amplificazione dello spostamento tra le basi. La sensibilità dello strumento è solitamente di 0.003 mm.

(c) L'accuratezza e la ripetibilità delle letture dipende dalla solidità dello strumento e dall'eliminazione degli errori dovuti ad attriti o usura dei componenti del dispositivo meccanico di amplificazione. La ripetibilità dovrebbe essere dell'ordine di ± 0.005 mm per letture successive.

(d) Solitamente all'aumentare della precisione dello strumento ne diminuisce il fondo scala (campo di misura). Il campo di misura varia in genere tra ± 2 mm e ± 5 mm. Uno strumento dovrebbe essere impiegato solo se gli spostamenti attesi sono dello stesso ordine di questi campi di misura.[9]

(e) Lo strumento entra in contatto con le basi in corrispondenza di una punta fissa e di una punta mobile collegata al sensore di spostamento. Il contatto tra le punte e le basi deve essere riproducibile con precisione. Ad esempio si possono avere punte coniche con alloggiamenti conici sulle basi, sferiche con alloggiamento sferico sulle basi; altrimenti le basi possono essere sferiche con alloggio sferico sulle punte del deformometro.

Basi e materiale di fissaggio.

3. (a) Le basi devono essere concepite e realizzate per:

Il sistema di fissaggio dovrebbe essere adatto alle specifiche condizioni del terreno o delle strutture nella postazione di misura per assicurare che le basi rimangano fissate ed inamovibili per tutta la durata del programma di misura.

(b) Generalmente si richiede l'uso di un utensile per garantire che la distanza fra le due basi ricada nell'ambito di quella prescritta per lo strumento di misura

(c) Nel caso le basi debbano essere collocate sia in roccia dura o calcestruzzo non interessato da fessurazione locale, possono essere fissate con un potente adesivo, quale una resina epossidica.

(d) Nel caso la superficie sia debole o friabile o che ci sia il rischio di danneggiamento meccanico delle basi, queste dovrebbero consistere in punte di acciaio del diametro di 2-5 mm e di altezza 50-100 mm installate in fori perforati ed incollate con un potente adesivo quale una resina epossidica

(e) in situazioni quali il controllo di fratture di trazione nel terreno, dove il materiale è debole o friabile su entrambi i lati della frattura, le basi di misura dovrebbero essere fissate ad ancoraggi più profondi, ad esempio, barre di diametro di 20-30 mm e lunghezza di 0.5-1.5 m infisse nel terreno o cementate per tutta la lunghezza in fori precedentemente perforati.

(f) le basi e gli adesivi, nonché il sistema di ancoraggio nel caso venga impiegato, debbono essere realizzati in materiali resistenti ed anti-corrosivi per garantire che le letture non siano affette da distorsioni, danneggiamento, allentamento o cambiamento delle dimensioni durante tutto il periodo di servizio.

Strumenti di taratura

4. (a) Il misuratore di spostamenti deve essere munito di una barra di taratura per consentire frequenti controlli del corretto funzionamento, della taratura e della regolazione.

(b) la barra di calibrazione deve essere robusta e resistente alla corrosione e dovrebbe essere munita di basi di misura identiche, per realizzazione e distanza, a quelle impiegate per misurare gli spostamenti in situ. Le letture effettuate sulla barra di taratura dovrebbero essere ripetibili con lo stesso grado di ripetibilità tipico dello strumento. La barra dovrebbe essere tenuta pulita e protetta da eventuali danni meccanici.

Procedura

Installazione delle basi

5. (a) L'area da controllare viene dapprima ispezionata per individuare le discontinuità più im-

portanti e per determinare il numero e l'ubicazione delle postazioni di misura più appropriate.

Su una discontinuità possono essere determinati sia gli spostamenti normali sia quelli tangenziali installando una coppia di basi di misura su ciascun lato della discontinuità ed effettuando misure in direzione normale e diagonale rispetto alla discontinuità. La discontinuità può essere in un primo momento controllata visivamente o con dei vetrini (Metodo 1) per un tempo sufficiente a stabilire le caratteristiche generali dei movimenti.

(b) Allorché le basi di misura debbano essere fissate su una superficie dura, questa va prima pulita dal materiale allentato o dalla polvere che potrebbero altrimenti impedire un'adeguata presa dell'adesivo. La posizione delle basi viene segnata approssimativamente; in genere le due basi di misura vengono poste equidistanti dalla discontinuità ed allineate normalmente ad essa. La superficie compresa tra la base di misura potrebbe dover essere spianata per eliminare le irregolarità che altrimenti influenzerebbero il posizionamento e le operazioni con il deformometro. In genere è richiesto l'uso del dispositivo distanziatore delle basi in modo da garantire una corretta distanza tra le basi adatta al tipo di deformometro; la distanza può poi essere regolata immediatamente prima dell'incollaggio[10]. Successivamente le basi vengono incollate alla superficie con una potente resina epossidica a presa rapida.

(c) Se le basi vanno fissate in fori superficiali, se ne segna dapprima la posizione approssimata, quindi si perfora il primo foro e si controlla la distanza tra questo e la posizione del successivo prima che quest'ultimo venga perforato. Si elimina la polvere soffiando sulla superficie con un tubicino e sia le basi di misura che i fori vengono spalmati di colla, dopodiché si procede all'installazione; prima della presa dell'adesivo si controlla la distanza tra le basi e se necessario la si regola[10]. Se le basi vanno fissate ad ancoraggi più profondi si segue una procedura simile tranne che per l'installazione preliminare delle barre di ancoraggio ed il controllo della loro rigidezza. Queste infatti non dovrebbero flettersi o spostarsi e dovrebbero essere posizionate in modo da non essere danneggiate meccanicamente dalle attività nel sito di misura. Le basi possono così essere fissate con un potente adesivo sulla sommità delle barre di ancoraggio. Se le barre debbono essere realizzate ad una distanza maggiore della lunghezza del deformometro, possono essere munite di listelli di raccordo per consentire un corretto posizionamento delle basi di misura.

(d) su ogni coppia di basi vengono eseguite delle letture di controllo assicurandosi che i punti di misura siano privi di adesivo o vernice e che le basi siano saldamente ancorate ed alla giusta distanza.

(e) Installate le basi se ne segna l'ubicazione in pianta ed in sezione. Ciascuna coppia di basi viene contrassegnata con una sigla di riconoscimento in modo chiaro ed indelebile che viene riportata in pianta ed in sezione. Può essere utile apporre dei segnali con vernice di colore brillante sulla struttura in prossimità delle basi in modo che queste possano essere facilmente rintracciate durante le operazioni di lettura.

(f) Durante l'installazione dovrebbero essere riempiti dei moduli contenenti i dati di installazione.

Lettura

6. (a) Per avere un riferimento sicuro non influenzato dall'attività nel sito vanno eseguite più letture di zero. La frequenza delle letture successive deve essere stabilita in base all'attività nel sito ed alla velocità con cui le letture variano.[2]

(b) Per garantire delle soddisfacenti condizioni di lettura la postazione di misura dovrebbe essere convenientemente illuminata.

(c) Le letture dovrebbero essere scritte su un apposito modulo di campagna e confrontate immediatamente con le precedenti per controllare eventuali errori di lettura o malfunzionamenti dello strumento.[3]

(d) Se possibile, nell'ambito di uno stesso programma di misure si dovrebbe impiegare il medesimo strumento. Se interviene la necessità di cambiare strumenti è consigliabile eseguire una lettura "di collegamento" con entrambi gli strumenti nel giorno del cambio di strumenti ; in questo modo è più facile determinare un fattore di correzione da applicare alle letture successive.

(e) Prima di ciascun giorno di lettura lo strumento dovrebbe essere controllato e tarato con la barra di taratura e, se possibile, eseguendo letture su postazioni di taratura appositamente installate su parti stabili della struttura da controllare. La procedura per eseguire la lettura di taratura è identica a quelle delle altre letture. Al momento della calibrazione si dovrebbe prendere nota della temperatura con la precisione di 1°C.

(f) La distanza misurata da ciascuna coppia di basi dovrebbe essere il valore medio di almeno tre letture.[11] Laddove possibile queste letture non dovrebbero essere eseguite consecutivamente ma inframmezzate a letture eseguite su altre coppie di basi; in tale modo si riduce la possibilità di commettere ogni volta uno stesso tipo di errore. Ad esempio è meglio leggere le postazioni 1-2, 2-3, 3-4, 1-2, 2-3, 3-5 piuttosto che 1-2, 1-2 etc..

(g) Solitamente la maniera in cui si impugna lo strumento influenza la lettura. Variazioni dell'intensità e della direzione della pressione applicata allo strumento e, in qualche occasione, il calore trasmesso allo strumento dalle mani dell'operatore, possono modificare la lettura. Durante ogni misura lo strumento deve essere impugnato nello stesso modo e applicando la stessa pressione.

Quando possibile, le letture nell'ambito di uno stesso programma di misure dovrebbero essere eseguite dallo stesso operatore. Un operatore dovrebbe aver preso confidenza con lo strumento eseguendo più letture sulla barra di taratura prima di operare in situ.

(h) La taratura dello strumento dovrebbe essere anche controllata alla fine di ciascuna giornata di misure

Elaborazioni

7.(a) Le letture dovrebbero essere velocemente convertite in movimenti usando appositi moduli di calcolo.[5]

(b) Per ciascuna postazione si calcola la media o la mediana[11] delle letture effettuate e se ne prende nota.

(c) per ciascuna postazione si calcola la media o la mediana delle letture di taratura e se ne prende nota.

(d) Per ciascuna coppia di basi, la variazione della lettura viene calcolata sottraendo la lettura iniziale alla lettura successiva, prendendo nota del segno positivo o negativo. Il segno indicherà avvicinamento o allontanamento delle basi a seconda delle modalità costruttive dello strumento.

(e) La *variazione di taratura* viene calcolata sottraendo la lettura di taratura iniziale da quelle successive.

(f) La successiva *variazione di lettura corretta* (in divisioni lette al micrometro) viene calcolata sottraendo la variazione di taratura dalla variazione di lettura sempre annotando il segno positivo o negativo.

(g) Lo *spostamento dalla lettura iniziale* viene calcolato moltiplicando la variazione di lettura corretta per una costante di taratura (mm/divisione) dello strumento sempre prendendo nota del segno positivo o negativo. Questo valore dovrebbe essere annotato in millimetri, di avvicinamento o allontanamento, generalmente con tre cifre decimali.

Presentazione dei risultati

8. Al termine dell'installazione delle basi e dopo aver effettuato le letture di zero dovrebbe essere preparata una "Relazione sull'installazione". Nelle relazioni dovrebbe essere specificato modello e numero di serie dello strumento portatile ed una serie completa di letture di taratura unitamente alle specifiche per la costante di calibrazione dello strumento (mm/divisione).[6]

9. Al termine di ciascuna serie di letture[7] dovrebbe essere preparata una "Relazione sulle misure". Nella relazione dovrebbero essere riportate le letture ed i valori calcolati delle variazioni delle letture corrette e dei movimenti. Alla relazione dovrebbero essere allegati dei grafici che illustrino cambiamenti o riparazioni apportati allo strumento portatile; nella relazione dovrebbero essere inoltre segnalati i cambiamenti, i problemi di funzionamento e le riparazioni verificatisi dalla lettura precedente.

Metodo n. 4: raccomandazioni per il controllo di movimenti a cavallo di discontinuità mediante fessurimetro elettrico con acquisizione a distanza

Scopo

1. (a) Questo metodo è stato concepito per misurare le variazioni della distanza tra due punti di ancoraggio posti ai due lati della discontinuità da controllare. Le letture vengono acquisite a distanza e quindi non è richiesto l'accesso materiale alle postazioni di misura.

(b) Le configurazioni possibili sono due. La prima prevede un trasduttore elettrico lineare di spostamenti attaccato ad una staffa su un lato della discontinuità e posto a contrasto di un supporto di riferimento sull'altro lato. Nella seconda configurazione il trasduttore è collegato tramite giunti sferici a due ancoraggi installati ai due lati della discontinuità. Nelle presenti Raccomandazioni viene presa in considerazione questa seconda configurazione.

(c) Nel testo il sensore elettrico viene denominato trasduttore ed il sistema trasduttore-punti di ancoraggio-attacchi viene indicato col nome di fessurimetro.

(d) I punti di ancoraggio vanno distanziati di 10÷50 cm ed allineati perpendicolarmente alla discontinuità da controllare.

(e) In funzione del tipo di trasduttore, la gamma di spostamenti misurabile dal fessurimetro varia tra 10 e 100 mm e può essere estesa riazzerando lo strumento ed inserendo delle barre di prolunga. Se la direzione del movimento è sconosciuta il trasduttore può essere inizialmente regolato a metà corsa.

(f) Il fessurimetro è concepito per misure di precisione effettuate a distanza collegando il trasduttore ad una centralina di acquisizione via cavo. Molti trasduttori sono dotati di un sistema di registrazione-dati in automatico spesso direttamente in unità di misura ingegneristiche.

Apparecchiatura

2. Una tipica apparecchiatura è illustrata in Fig. 2.

3. Un trasduttore elettrico lineare letto a distanza. Sono disponibili trasduttori potenziometrici lineari, trasduttori con trasformatore differenziale a variazione lineare (LVDT), trasduttori con trasformatore differenziale a corrente continua (DCDT),

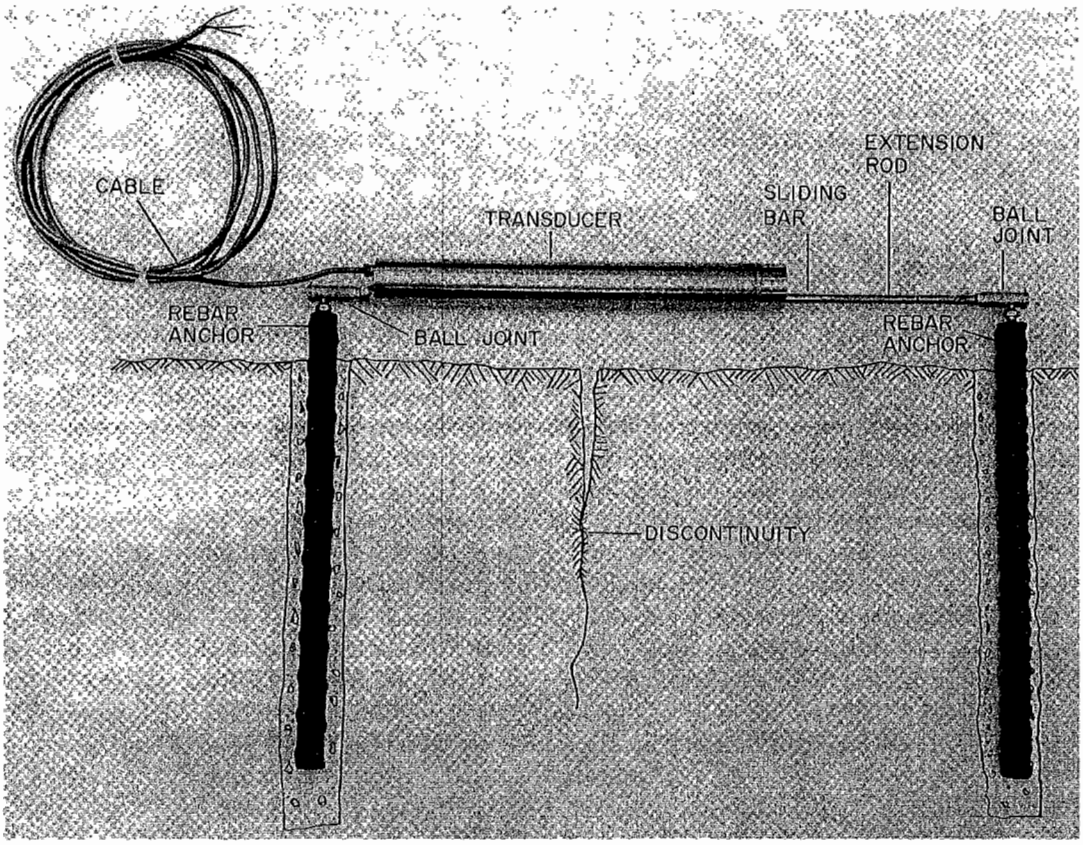

Fig. 2 – Esempio di fessurimetro (Irad Gage Ine, U.S.A.).

trasduttori a corda vibrante, trasduttori estensimetrici resistivi, incollati e non, ed infine trasduttori induttivi collegati a formare un circuito oscillante con uscita in frequenza. I trasduttori dovrebbero avere le seguenti caratteristiche a meno che la particolare applicazione richieda specifiche diverse:

(a) O-ring o altra guarnizione per proteggere da infiltrazioni di polvere ed umidità l'intercapedine esistente tra involucro e pistoncino del trasduttore.

(b) Possibilità di allungare il pistoncino avvitando più barre di prolunga fino a raggiungere la distanza che separa i punti di ancoraggio o di aumentare la capacità del fessurimetro dopo che siano iniziati i primi movimenti.

(c) Un'accuratezza adeguata alle esigenze del controllo. I trasduttori disponibili hanno accuratezza variabile tra $\pm$ 0.1 e $\pm$ 0.002 mm.

(d) Se la lunghezza del filo viene alterata la lettura del trasduttore non ne deve risentire.

(e) Insensibilità del trasduttore alle variazioni di temperatura. In caso contrario il trasduttore deve essere fornito completo di fattore di correzione e trasduttore di temperatura.

(f) Insensibilità del cavo alle variazioni di temperatura.

(g) Snodi sferici alle estremità del trasduttore per evitare che il trasduttore non si danneggi in seguito a movimenti laterali e rotazioni della discontinuità. Gli snodi sferici devono essere concepiti per poter essere attaccati ai punti di ancoraggio.

(h) Una protezione per il fuori-scala, realizzabile generalmente consentendo al pistoncino del trasduttore di spostarsi oltre il limite previsto senza rompere il trasduttore trascinando una punta all'interno dell'involucro.

Ancoraggi e materiale per il fissaggio

4.(a) Un ancoraggio dovrebbe essere selezionato in modo da essere compatibile con gli snodi sferici forniti col trasduttore. Per garantire che l'ancoraggio rimanga ben saldo durante tutto il periodo di servizio, il sistema di fissaggio dovrebbe essere adatto alle condizioni del terreno o della struttura esistenti sulla postazione di misura.

(b) È richiesto un utensile per assicurare che gli ancoraggi siano posti ad una distanza che rientri nel campo di funzionamento dello strumento. Può essere sufficiente una riga o, nel caso di trasduttori con modesto fondo scala, potrebbe essere necessario un apposito distanziatore.

(c) Se la superficie su cui vanno fissati gli ancoraggi è costituita da roccia dura o da calcestruzzo non fessurato, per il fissaggio può essere utilizzato un potente adesivo quale una resina epossidica.

(d) Se la superficie è debole o friabile o se vi è rischio di danneggiamento degli ancoraggi, questi dovrebbero essere costituiti da barre di ancoraggio

cementate in fori perforati, o punte di acciaio lunghe 50-100 mm fissate in fori perforati con un potente adesivo quale una resina epossidica. Le barre di ancoraggio o le punte dovrebbero avere un'impanatura alla sommità per ospitare il supporto filettato degli snodi sferici.

(f) gli ancoraggi e gli adesivi debbono essere resistenti ed anti-corrosivi per garantire che le letture non siano affette da distorsioni, danneggiamento, allentamento o cambiamento delle dimensioni durante tutto il periodo di servizio.

Strumenti di taratura

5.(a) Il fessurimetro dovrebbe essere corredato di fattore di taratura e fattore di correzione termica per il calcolo dello spostamento reale a partire dalla lettura alla centralina di acquisizione.

(b) Il fessurimetro dovrebbe essere corredato di un dispositivo manuale di calibrazione da usare in situ prima dell'installazione. Le letture effettuate con il dispositivo di calibrazione dovrebbero essere ripetibili con lo stesso grado di ripetibilità tipico dello strumento. Il dispositivo di taratura dovrebbe essere protetto da eventuali danni meccanici e mantenuto pulito.

Procedura

Installazione degli ancoraggi

6.(a) L'area da controllare viene per prima cosa ispezionata per individuare le discontinuità più importanti e per determinare il numero e l'ubicazione delle basi di misura più appropriati. La discontinuità può essere dapprima controllata visivamente o con dei vetrini (Metodo 1) per un tempo sufficiente a stabilire le caratteristiche generali dei movimenti.

(b) Allorché gli ancoraggi debbano essere fissati su una superficie dura, questa va prima pulita dal materiale allentato o dalla polvere che potrebbero altrimenti impedire un'adeguata presa dell'adesivo. La posizione degli ancoraggi viene segnata approssimativamente; in genere i due ancoraggi vengono posti equidistanti dalla discontinuità ed allineati normalmente ad essa. La superficie compresa tra gli ancoraggi potrebbe dover essere spianata per eliminare le irregolarità che altrimenti influenzerebbero il posizionamento e le operazioni con il fessurimetro. In genere è richiesto l'uso di un apposito distanziatore in modo da garantire una corretta distanza tra gli ancoraggi. Successivamente gli ancoraggi vengono incollati alla superficie con una potente resina epossidica a presa rapida.

(c) Quando gli ancoraggi vanno fissati in fori superficiali, se ne segna dapprima la posizione approssimata, quindi si perfora il primo foro e si controlla la distanza tra questo e la posizione del successivo prima che quest'ultimo venga perforato. Si elimina la polvere soffiando sulla superficie con un tubicino, si rivestono di adesivo i fori e gli ancoraggi, dopodiché questi vengono installati. Prima della presa dell'adesivo si controlla la distanza tra le basi e se necessario la si regola[10]. Gli ancoraggi non dovrebbero flettersi o spostarsi e dovrebbero essere posizionati in modo da non subire danneggiamento meccanico dovuto all'attività nel sito di misura.

(d) Il campo di misura viene sfruttato appieno se la direzione del movimento è nota in precedenza. Successivamente dovrebbe essere scelta la distanza fra gli ancoraggi adeguata all'uso dello strumento. Ad esempio se ci si aspetta solo un'apertura delle discontinuità, il pistoncino del trasduttore può essere schiacciato completamente e gli ancoraggi posizionati in vista di un movimento di solo allungamento.

Installazione dei trasduttori

7.(a) Dopo aver fissato gli ancoraggi vengono posizionati gli snodi sferici, il trasduttore ed il relativo pistoncino e le eventuali barre di prolunga secondo lo schema generale di Fig. 2. I dettagli dipendono dal tipo di trasduttore e sono normalmente descritti nel manuale d'uso fornito dal costruttore.

(b) Generalmente è necessario proteggere il fessurimetro dal vandalismo e da danneggiamenti e proteggere il cavo interrandolo o intubandolo.

(c) Se nello stesso sito sono installati più fessurimetri i relativi cavi possono essere collegati ad un commutatore a sua volta collegato ad una centralina di acquisizione. Nei normali sistemi di registrazione i cavi terminano su un certo numero di moduli di derivazione che vengono letti con una scansione automatica dal dispositivo di registrazione.

Relazione di installazione

8.(a) Installati i fessurimetri se ne riporta l'ubicazione in pianta ed in sezione. A fianco di ciascun fessurimetro viene apposta una sigla di riconoscimento in modo chiaro ed indelebile che viene riportata in pianta ed in sezione.

(b) Durante l'installazione dovrebbero essere riempiti dei moduli contenenti i dati di installazione.

Lettura

9.(a) Per avere un riferimento sicuro non influenzato dall'attività nel sito vanno eseguite più letture di zero. La frequenza delle letture successive deve essere stabilita in base all'attività nel sito ed alla velocità con cui le letture variano.[2]

(b) Per garantire delle soddisfacenti condizioni di lettura la postazione di misura dovrebbe essere convenientemente illuminata.

(c) Le letture dovrebbero essere scritte su un apposito modulo di campagna e confrontate immediatamente con le precedenti per controllare eventuali errori di lettura o malfunzionamenti dello strumento.[3]

(c) Se possibile tutte le letture di una campagna di misure dovrebbero essere acquisite con la stessa centralina. Se interviene la necessità di cambiare strumenti è consigliabile eseguire una lettura di collegamento con entrambi gli strumenti nel giorno del cambio di strumentazione; in questo modo è più facile determinare un fattore di correzione da applicare alle letture successive.

(d) La taratura della centralina dovrebbe essere effettuata con scadenza prestabilita al più nell'ambito di 6 mesi. La taratura può essere fatta presso il costruttore o presso un laboratorio di taratura privato usando un attrezzatura rispondente a normative esistenti. La data dell'ultima taratura e della successiva dovrebbero essere scritte sulla centralina.

Elaborazione[4]

10. (a) Le letture dovrebbero essere velocemente convertite in movimenti usando appositi moduli di calcolo.[5]

(b) Se il trasduttore è sensibile alla temperatura le letture originali dovrebbero essere corrette per ogni variazione di temperatura usando il fattore di correzione fornito dal costruttore.

Presentazione dei risultati

11. Al termine dell'installazione del fessurimetro e dopo aver effettuato le letture di zero dovrebbe essere preparata una "Relazione sull'installazione". Nel rapporto dovrebbero essere specificati modello e numero di serie del fessurimetro e della centralina di acquisizione ed una serie completa di letture di taratura, nonché le specifiche per la costante di calibrazione e del fattore di correzione termica relativi al fessurimetro.

12. Al termine di ciascuna serie di letture dovrebbe essere preparata una "Relazione sulle misure". Nel rapporto dovrebbero essere riportate le letture ed i valori calcolati delle variazioni delle letture corrette e dei movimenti. Al rapporto dovrebbero essere allegati dei grafici che illustrino cambiamenti o riparazioni apportati alla centralina; nella relazione dovrebbero essere inoltre segnalati i cambiamenti, i problemi di funzionamento e le riparazioni verificatisi a partire dalla lettura precedente.

Note

1. Durante l'installazione tutti i fattori che potrebbero influire sulla successiva interpretazione dei dati dovrebbero essere annotati su dei moduli appositamente preparati per ciascun sito di misura. Tra gli elementi da annotare vanno inclusi il nome del sito, tipo e matricola dello strumento, ubicazione in pianta ed in quota dello strumento, tecnico installatore, data di installazione, caratteristiche e particolarità della postazione.
2. Troppe letture sovraccaricano l'elaborazione e l'interpretazione mentre un numero troppo limitato di letture può far sfuggire degli eventi importanti ed impedire l'adozione di provvedimenti tempestivi. In fase di costruzione, quando i lavori si approssimano alla postazione di misura le letture debbono essere intensificate (una volta a settimana, al giorno oppure a turno o con ancor maggiore frequenza in relazione al procedere dei lavori). Spesso è opportuno intensificare le letture durante periodi di intensa pioggia. Allorché i lavori si allontanano da un punto di misura o si concludono oppure se le letture si stabilizzano e rimangono costanti, la loro frequenza può essere diminuita.
3. È importante confrontare la lettura appena effettuata con quella precedente per controllare se i cambiamenti intercorsi sono reali od attribuibili ad errori. Sui moduli di misura debbono essere riportati nome del sito, tipo di strumento, data, ora ed esecutore della misura, sigla e lettura dello strumento, considerazioni, condizioni meteorologiche, temperatura, attività di costruzione ed ogni altro fattore che possa influenzare la lettura. Per la stessa data possono essere usati uno o più moduli di misura con la trascrizione successiva dei dati su un unico modulo per ciascuna postazione di misura.
4. L'elaborazione ha sia lo scopo di valutare immediatamente i dati per riconoscere i cambiamenti improvvisi delle grandezze misurate che richiedano intervento immediato, sia quello di riassumere e presentare i dati per evidenziare l'andamento delle misure e confrontare il comportamento previsto con quello osservato per decidere i provvedimenti più adeguati da adottare.
5. I dati originali vengono dapprima trascritti dai moduli di campagna su dei moduli di calcolo per la conversione in movimenti. Questa operazione dovrebbe essere effettuata entro 24 ore dalla lettura degli strumenti. I moduli di calcolo dovrebbero essere preparatí appositamente per ciascun sito e ciascun tipo di strumento per poter poi annotare nome del sito, tipo e sigla dello strumento, data, ora ed iniziali dell'esecutore e del revisore della misura, le letture trascritte dal modulo di campagna e qualsiasi altra considerazione.
6. La relazione sull'installazione dovrebbe contenere almeno le seguenti informazioni:
   (a) Piante, sezioni, disegni e fotografie sufficienti a descrivere le postazioni di misura e la loro sigla, a descrivere la posizione, l'orientazione e le altre caratteristiche delle discontinuità da controllare ed a descrivere i particolari della geologia, dell'assetto strutturale ecc. necessari per interpretare i risultati della campagna di controlli.
   (b) Particolari della progettazione, dei materiali e delle procedure di installazione della postazione di misura.
   (c) Particolari e casa costruttrice di ogni centralina di acquisizione.
   (d) Letture di zero (non applicabile al Metodo 1).
   (e) copia di ogni modulo di installazione come descritto alla nota 1.
7. La relazione sulle misure dovrebbe contenere almeno le seguenti informazioni:
   (a) Una lista aggiornata delle letture per mostrare la sigla della postazione di misura, data ora temperatura e variazioni della lettura.
   (b) Grafici aggiornati dei movimenti in funzione del tempo, eseguiti in modo che si possa leggere la scala, la convenzione dei segni per apertura e chiusura ed anche la natura la data e l'ora di qualsiasi attività esterna possa aver contribuito al verificarsi dei movimenti (ad es. scavi, volate e riparazioni delle postazioni di misura).
   (c) La relazione sulle misure deve contenere i nominativi dei tecnici esecutori delle misure e deve essere firmata dall'ingegnere responsabile della campagna di misure.
   (d) Alla relazione deve essere allegato un breve resoconto in cui vengano sottolineati tutti i movimenti o variazioni delle

letture intercorse a partire dalla lettura precedente nonché le possibili cause.

(e) Le principali conclusioni a cui è giunta la relazione dovrebbero essere comunicate verbalmente qualora si manifestasse l'urgenza di trasferire le informazioni. Questa comunicazione dovrebbe essere seguita da una relazione scritta nell'ambito di un periodo di tempo specificato (generalmente non più di uno-due giorni dalla lettura degli strumenti).

8. Alcuni strumenti sono progettati per consentire l'uso di sensori di spostamento di diversa lunghezza in alternativa. La lunghezza del sensore di spostamento non è generalmente regolabile poiché tale operazione tende a ridurre l'accuratezza dello strumento.
9. Se il fondo scala dello strumento viene superato durante la campagna di misure, a fianco delle basi di misura iniziali ne possono essere installate delle altre per consentire il proseguimento delle letture.
10. In alcuni casi può essere più facile fissare una delle due basi o ancoraggi, segnarla e fissare l'altra. Se la distanza è al di fuori del fondo scala dello strumento si può sostituire una delle due basi prima che l'adesivo abbia fatto presa.
11. Se sulla stessa postazione vengono eseguite più di 5 letture nell'ambito della stessa misura, è preferibile usare il valore mediano piuttosto che quello medio per rappresentare la distanza tra le basi. La mediana si ottiene cancellando progressivamente i valori più bassi e più alti dell'insieme di letture fino a che non ne rimanga uno solo che costituisce la mediana. Se con questo procedimento rimangono due valori invece di uno (o se in altri termini le letture effettuate sono in numero pari) il valore mediano viene preso pari alla media di questi due valori.