

# MODALITA' TECNOLOGICHE PER L'INSTALLAZIONE E LA GESTIONE DI IMPIANTI DI MONITORAGGIO

## GENERALITA'

### *Criteri informativi*

Lo scopo delle presenti specifiche tecniche è quello di illustrare le caratteristiche descrittive relative alla fornitura, alla posa in opera e lettura della strumentazione da utilizzarsi.

Inoltre si è cercato di fornire delle prescrizioni qualitative che fungano da criterio di accettazione per la sensoristica ed i componenti in modo da ottenere la massima affidabilità e garanzia di funzionamento.

#### 1. Normative di riferimento

Poiché risulta difficoltoso individuare normative di riferimento specifiche per molti componenti degli strumenti di monitoraggio, soprattutto, ad esempio, per particolari tecnologici molto avanzati, occorrerà fare riferimento agli standard industriali e commerciali normalmente adottati.

In ogni caso saranno preferiti gli standard industriali che sono concepiti per garantire la massima qualità ed affidabilità del prodotto con particolare riguardo anche agli aspetti manutentivi e di intercambiabilità.

La fornitura e la posa in opera di ciascuno strumento dovrà avvenire tenendo conto di alcuni criteri di carattere generale, qui di seguito accennati, che saranno da considerare vincolanti per un buon esito delle varie operazioni.

#### 2. Affidabilità e durata

Tutte le operazioni di verifica della fornitura e tutte le operazioni di installazione e collaudo dovranno essere eseguite avendo come scopo finale l'affidabilità e la durata degli impianti di monitoraggio.

I sistemi forniti dovranno essere composti da strumenti e apparecchiature che abbiano raggiunto un elevato grado di affidabilità e che sia stato possibile sperimentare per lungo tempo di funzionamento in opera (diversi anni). Il livello di affidabilità dovrà comunque essere documentabile e dimostrabile da parte del fornitore a garanzia del buon funzionamento dei sistemi forniti. Apparecchiature di recente produzione potranno essere proposte purché documentate con test di durata e di affidabilità eseguiti **in laboratori ufficialmente riconosciuti** e che siano quindi in grado di fornire certezze sul loro funzionamento a lungo termine.

#### 3. Installazione

La fase di installazione ha in questi tipi di lavori un'importanza vitale sul buon esito del funzionamento futuro degli strumenti; soprattutto per quanto riguarda quegli strumenti di difficile o impossibile accesso dopo l'installazione (sensori interrati o posti in getti di calcestruzzo).

L'installatore dovrà possedere una lunga esperienza maturata e documentabile in diversi anni di lavori analoghi; si dovranno utilizzare tecniche e modalità di posa che garantiscano la massima affidabilità e riuscita delle operazioni. Le modalità di posa in opera non dovranno comunque essere in contrasto con quanto richiesto espressamente dai costruttori degli strumenti e/o sistemi.

Poiché le operazioni di posa rappresentano, da sole, almeno il 50% della garanzia di buon funzionamento delle apparecchiature, esse dovranno essere eseguite da tecnici e/o organizzazioni di tecnici in grado di documentare che le operazioni sopraccitate sono state eseguite a regola d'arte.

I tecnici addetti a tali tipi di operazioni dovranno poter dimostrare, attraverso opportuna documentazione di essere idonei a svolgere tali tipologie di incarico.

Immediatamente dopo le prime operazioni di installazione ci sarà la necessità di eseguire attività di manutenzione ordinaria e straordinaria dettate dal particolare impiego di tali strumenti installati spesso in modo temporaneo, in luoghi inospitali e ad alto rischio anche per tutte le altri componenti del sistema.

Al fine di ottenere il maggior livello di affidabilità possibile dovranno quindi essere seguite durante la fase di installazione, oltre che durante quella della costruzione, tutte le operazioni di manutenzione descritte negli appositi manuali che il Fornitore avrà messo a disposizione insieme con la strumentazione fornita ed installata.

#### 4. Uniformità e interfacciabilità.

Per poter realizzare i sistemi di monitoraggio con un livello di efficienza adeguato dovrà essere necessario garantire l'uniformità e l'interfacciabilità per la maggior parte dei componenti del sistema.

Nella scelta del tipo tecnica di misura, e quindi del tipo di sensore, dovranno essere adottati criteri di massima uniformità e di massimo livello di interfacciamento possibili per i singoli elementi tra di loro, ovunque essi siano posizionati. In tal modo sarà possibile garantire una facile utilizzazione, manutenzione e gestione di tutto il sistema (riducendo contemporaneamente i costi di magazzinaggio delle parti di ricambio). La modularità e l'uniformità del sistema dovrà essere tale da permettere anche l'integrazione dello stesso in sistemi più complessi e più avanzati e l'interscambio di parti tra di loro. In particolare, la determinazione del singolo fenomeno fisico dovrà avvenire, per quanto possibile, per mezzo di tecniche di misura e di sensori che seguano gli standard industriali più correnti. In tal modo tutti i sensori, ad eccezione di casi singolari, potranno essere alimentati e misurati con apparecchiature facilmente reperibili sul mercato industriale.

#### 5. Ridondanza

L'affidabilità sopra richiesta sarà raggiunta in vari modi, non da ultimo utilizzando metodologie di posa in opera e materiali che garantiscano la massima durata nel tempo. Si potranno comunque eseguire controlli incrociati utilizzando diverse tipologie di sensori che misurino in modo diretto od indiretto, lo stesso fenomeno fisico.

Lo scopo di quanto sopra è quello di mantenere in efficienza un numero di sensori ampiamente sufficiente a costituire un sistema di monitoraggio affidabile in fase di esercizio.

#### 6. Strumentazione e sensori.

La scelta degli strumenti da impiegare dovrà avvenire in base a criteri che siano in grado di garantire l'ottenimento delle misure programmate nelle condizioni previste.

Tali criteri già anticipati ed ampiamente descritti precedentemente sono:

- ♣ Caratteristiche tecniche adeguate allo scopo finale, dettagliate e controllabili a livello di tutta la componentistica.
- ♣ Il più elevato possibile livello di affidabilità e durata anch'esso documentabile e verificabile.
- ♣ Interfacciabilità dei sensori utilizzando il più possibile gli standard di mercato.

Ciascun sensore dovrà essere corredato di opportuna scheda che ne contenga le principali caratteristiche (marca, tipo, caratteristiche meccaniche ed elettriche) e dovrà essere evidenziata anche una sigla che individui, senza possibilità di errore e di incertezza, il singolo strumento. Tale sigla dovrà essere indicata con chiarezza ed in modo indelebile anche sul corpo dello strumento stesso (o con apposita targhetta), in modo tale che sia visibile facilmente in caso di controlli ed in occasione di manutenzioni.

#### 7. Documentazione da allegare

Al fine di razionalizzare le varie fasi dei lavori sarà opportuna la redazione di schede che documentino le fasi di lavoro. Tale documentazione dovrà essere predisposta per ciascun strumento e/o elemento del sistema. Le schede saranno organizzate in due parti distinte: la parte di "fornitura" e la parte di "installazione".

A titolo puramente indicativo nel seguito vengono fornite le linee guida di come dovranno essere organizzate tali schede; esse potranno comunque essere organizzate secondo propri criteri purché il piano di documentazione redatto fornisca le informazioni necessarie e indispensabili con un sufficiente livello di omogeneità. Tutte le informazioni fornite verranno poi utilizzate per le fasi di manutenzione durante la costruzione e per la gestione dei sistemi negli anni successivi alla consegna.

##### ♣ Scheda di fornitura

Si tratta della scheda che accompagna la fornitura di ciascun strumento e/o elemento del sistema; contiene i dati di targa dello strumento e normalmente essa è redatta a cura del fornitore.

##### ♣ Scheda di installazione

Tale scheda sarà compilata mano a mano che si completeranno le varie fasi di lavorazione. Essa, infatti, servirà a raccogliere tutta la "storia" del sensore e/o dello strumento in oggetto, dal suo arrivo in cantiere fino alla fase di collaudo.

Nelle specifiche che seguono, la parte "documentazione" è stata decisamente e volutamente dettagliata, fornendo, per ogni tipologia di strumento, l'elenco delle informazioni che dovranno essere prodotte.

## ***Criteria di accettazione***

Tutti i componenti dell'impianto di monitoraggio dovranno venire corredati al momento della fornitura della seguente documentazione, che verrà vagliata da personale incaricato ed costituirà parte integrante della documentazione generale della banca dati.

### Sensoristica:

Ciascuno strumento appartenente ad un sottosistema di monitoraggio dovrà essere contraddistinto da un codice di progetto, riportato tanto sul corpo del sensore che sul cavo strumentale, inoltre il sottosistema dovrà essere correlato di proprio disegno progettuale di dettaglio indicante i codici di tutti gli strumenti da installare.

Il sensore dovrà essere anche corredato di proprio certificato riportante:

- ♣ n. di serie;
- ♣ modalità di taratura;
- ♣ condizioni ambientali di taratura;
- ♣ calibrazione eseguita;
- ♣ costanti ottenute;
- ♣ modalità di controllo di qualità;

Dovrà inoltre essere fornito di:

- ♣ manuale d'uso;
- ♣ prescrizioni per l'immagazzinamento;
- ♣ lista di accessori e ricambi consigliati;
- ♣ schede per l'esecuzione delle letture.

### Rete di collegamento:

i cavi elettrici, tanto strumentali che multipolari, dovranno essere corredati da documentazione che ne precisino:

- ♣ caratteristiche geometriche, meccaniche ed elettriche;
- ♣ prove eseguite;
- ♣ normativa di riferimento.

I controlli su tali materiali verranno eseguiti in maniera casuale sulle varie forniture, da personale incaricato.

### Apparecchi di lettura:

le unità di lettura e la componentistica degli impianti di monitoraggio, sia di tipo manuale che automatico, dovranno essere corredate da:

- ♣ specifiche impiantistiche con schema di collegamento;
- ♣ manuali d'uso;
- ♣ certificati di prove e collaudi eseguiti che ne dimostrino l'idoneità;
- ♣ certificati di calibrazione dei segnali di ingresso.

Dovranno, inoltre, essere previste verifiche di funzionalità della strumentazione tanto al momento della consegna che al momento dell'installazione.

## ***Prescrizioni ed oneri generali***

### Trasporto materiale

Le presenti note riguardano il trasporto del materiale fino all'arrivo in cantiere e la sua movimentazione all'interno dello stesso cantiere e sono applicabili sia agli strumenti di immediata installazione, sia alle parti di ricambio e/o alle scorte.

In relazione alla delicatezza dei singoli componenti, dovranno essere utilizzati appositi contenitori e tecniche di imballaggio in modo da garantire la massima protezione durante la movimentazione ed il trasporto dei medesimi. All'arrivo in cantiere del materiale dovrà essere verificato lo stato fisico di ciascun imballo, in relazione alla sua integrità; tutte le osservazioni andranno riportate su apposita scheda.

### Controllo fornitura

Le presenti note riguardano il controllo da eseguirsi sugli strumenti da installare e/o sugli strumenti di misura, all'arrivo in cantiere del materiale.

La fornitura andrà accuratamente verificata in ogni sua parte; si dovranno controllare i quantitativi di tutti i singoli componenti, compresi gli eventuali accessori per la posa in opera, così come da progetto. Inoltre si

dovrà verificare la presenza delle schede di fornitura, e l'esatta conformità dei dati di targa degli strumenti e/o delle apparecchiature alle indicazioni inserite nel progetto.

#### Prove di funzionalità

Le presenti note riguardano le prove di funzionalità da eseguire su strumenti da installare e/o sugli strumenti di misura.

Le note seguenti sono applicabili sia agli strumenti di immediata installazione sia alle parti di ricambio e/o alle scorte.

##### a) Prove di funzionalità all'arrivo del materiale

All'arrivo del materiale in cantiere, il responsabile dovrà verificare che gli strumenti e/o le apparecchiature di misura siano perfettamente funzionanti. In questa sede, la prova di funzionalità si limiterà a verificare l'integrità di ogni fornitura e che non esistano malfunzionamenti di sorta degli strumenti stessi.

Tutte le osservazioni andranno riportate su apposite schede.

##### b) Prove di funzionalità in corso d'opera

Prima dell'installazione si procederà al montaggio dei singoli strumenti ed ai relativi apparati. In questa fase avrà luogo un collaudo provvisorio agli stessi al fine di accertarne la perfetta funzionalità.

Tutte queste operazioni andranno opportunamente segnate su apposite schede a cura del Responsabile dell'installazione.

La strumentazione potrà essere conservata in locali chiusi oppure all'aperto, a seconda dei tipi di strumenti.

Il locale destinato all'immagazzinamento sarà ricavato negli edifici di cantiere, opportunamente scelto a tale scopo. Il locale dovrà essere opportunamente riscaldato e coibentato, con aperture verso l'esterno per l'aerazione, in numero e posizione tali da garantire un completo ricambio dell'aria; si dovrà fare in modo che il tasso di umidità sia al di sotto dell'80%. Sarà opportuno che tali locali siano dotati di sistemi di rilevamento fumi e di idonei mezzi di spegnimento degli incendi.

Si dovrà inoltre provvedere a dotare tutte le aperture verso l'esterno di reti o griglie che impediscano l'entrata di animali e, periodicamente, si dovrà provvedere ad effettuare un intervento di derattizzazione; come è noto i cavi elettrici costituiscono un obiettivo ghiotto da parte dei topi.

Resta inteso che ogni singolo strumento e/o componente dovrà essere a sua volta provvisto delle opportune protezioni meccaniche (imballaggi, ecc.) così come previsto dal fornitore; dovranno inoltre essere rispettate eventuali ulteriori prescrizioni ambientali espressamente indicate dal Fornitore.

Per i materiali più ingombranti e non particolarmente sensibili alle condizioni atmosferiche (es. tubi inclinometrici, pozzetti, tubi piezometrici, ecc.) saranno approntate delle aree di stoccaggio all'aperto. Tali aree dovranno essere coperte per evitare i danni provocati dalla pioggia, dalla neve e dall'insolazione diretta. Tutto il materiale ricoverato in queste aree dovrà essere sollevato da terra mediante bancali in legno.

#### Garanzia

Tutti i componenti degli impianti di monitoraggio, siano sensori o sistemi di misura e trasmissione dei dati, dovranno essere provvisti di garanzia.

A tale garanzia faranno deroga i danni prodotti da un uso differente da quelli indicati nella documentazione di fornitura e quelli per cause di forza maggiore.

## STRUMENTI DI MONITORAGGIO

### Piezometri automatizzati

La conoscenza delle pressioni dell'acqua di riempimento dei pori del terreno (dette "pressioni interstiziali" o anche "pressioni neutre") risulta di primaria importanza in geotecnica, ai fini di una corretta applicazione del principio degli sforzi efficaci.

La misura di tali pressioni viene effettuata per mezzo di strumenti detti "piezometri" che assumono diverse configurazioni in funzione della permeabilità del terreno entro il quale vanno installati.

Due sono le modalità di misura principali:

- ♣ rilevamento della profondità del piano di falda da p.c. all'interno di un foro di sondaggio attrezzato con una verticale piezometrica;
- ♣ misurazione delle pressioni interstiziali mediante strumento installato direttamente nel terreno.

Nel primo caso, il tubo piezometrico potrà essere di tipo "a tubo aperto" o "Casagrande a doppio tubo".

Il piezometro a tubo aperto consiste in una colonna di tubi in PVC rigido o in metallo, fessurata ed eventualmente rivestita di tessuto non tessuto nella parte in falda e cieca nel rimanente tratto.

L'automazione di questo tipo di piezometri avviene attraverso l'inserimento, all'interno della verticale piezometrica, di un trasduttore elettrico di pressione, collegato alla superficie mediante idoneo cavo.

I piezometri tipo Casagrande sono, invece, costituiti da un filtro cilindrico cavo, raccordato a due tubi ciechi che lo collegano alla superficie; l'elemento filtrante viene normalmente posizionato entro un foro di sondaggio, alla profondità prestabilita.

In questo caso è possibile attrezzare il piezometro con un trasduttore di pressione solo se uno dei due tubi che collegano la superficie con l'elemento filtrante è di dimensioni maggiori.

Volendo, invece, misurare direttamente le pressioni interstiziali, occorrerà procedere con l'installazione di un piezometro elettrico a diretto contatto con il terreno.

### Trasduttori di pressione

#### GENERALITA'

Il trasduttore di pressione viene inserito all'interno di un foro di sondaggio attrezzato con una verticale piezometrica che può essere di tipo a tubo aperto o Casagrande con un tubo di dimensioni maggiori.

Nel primo caso lo strumento verrà posizionato ad una quota prestabilita al di sotto della livello medio della falda; tale scelta è anche funzione del fondo scala del trasduttore.

Nei piezometri Casagrande lo strumento viene generalmente posto immediatamente al di sopra dell'elemento filtrante.

#### DESCRIZIONE

Nella versione "automatizzato", il tubo piezometrico è integrato dal trasduttore di pressione, formato dai seguenti componenti:

- a) un corpo cilindrico in acciaio inossidabile contenente la camera idraulica, il sistema elettrico di trasduzione (membrana + estensimetri "strain-gages", corda vibrante, etc.) e la terminazione del cavo.
- b) cavo contenente due conduttori elettrici ed un tubetto in nylon che mette in comunicazione il sistema di trasduzione con la pressione atmosferica dell'ambiente esterno.

Il trasduttore viene calato con il suo cavo nel tubo ad una quota prestabilita sotto il pelo libero dell'acqua.

La pressione del battente induce una variazione sull'apparato di trasduzione dello strumento; tale misura viene convertita in un segnale elettrico restituito sui conduttori del cavo.

Il tubetto in nylon nel cavo del trasduttore ha il compito di portare al sistema di trasduzione la pressione atmosferica; in tal modo le misure di pressione sono esclusivamente dovute al battente tra le quote del livello piezometrico nel tubo e di posa dello strumento, ossia non vengono rilevate la pressione atmosferica e le sue variazioni (sistema "relativo").

## MODALITÀ DI INSTALLAZIONE

Ultimata la posa del tubo piezometrico la messa in opera dei trasduttori va eseguita calando entro il tubo in PVC il trasduttore alla profondità prestabilita, reggendolo per il cavo. Raggiunta la quota, sospendere lo strumento per mezzo di una apposita testa di fissaggio da applicare in superficie all'estremo sporgente del tubo medesimo.

## Piezometri elettrici

### GENERALITÀ

I piezometri elettrici sono normalmente installati in modo permanente in perforazioni realizzate in terreni aventi coefficiente di permeabilità pari a  $K < 10^{-6}$  cm/sec (da limi ad argille) o in opere realizzate in terra, per misurare il valore della pressione interstiziale.

Il sistema consiste in un sensore di pressione, contenuto in un corpo cilindrico in acciaio inossidabile e collegato in superficie mediante un cavo elettrico. La misura delle pressioni interstiziali viene effettuata mediante l'uso di opportune centraline di lettura o sistemi di acquisizione dati.

### DESCRIZIONE

Il piezometro elettrico si compone dei seguenti elementi:

- a) un corpo cilindrico in acciaio inossidabile contenente la camera idraulica, il sensore di misura, il cui principio di funzionamento può essere a ponte estensimetrico o a corda vibrante, e la terminazione del cavo;
- b) un filtro, a forma di disco, realizzato in acciaio sinterizzato, ceramica o plastica, che mette in comunicazione la camera idraulica con l'ambiente esterno;
- c) un cavo elettrico di opportune caratteristiche realizza il collegamento dello strumento all'unità di lettura;

La pressione interstiziale alla profondità di installazione della cella piezometrica genera nella camera idraulica, precedentemente saturata, una pressione analogica che va a deformare la membrana del sensore che produce una variazione che viene trasformata in un segnale elettrico.

Il tempo di risposta del piezometro elettrico (ossia l'intervallo di tempo che intercorre tra una variazione di pressione neutra nel terreno e la segnalazione dello strumento), per effetto della minima deformazione della membrana del trasduttore, è dell'ordine di qualche minuto anche nei casi di più ridotta permeabilità ( $K = 10^{-10}$  cm/sec).

### Scelta dei filtri

Per le misure realizzate in condizioni non sature, è necessario l'utilizzo di piezometri elettrici provvisti di filtri ceramici (alto "air entry value) preventivamente saturati, in grado di mantenere la saturazione per tempi molto lunghi e conseguentemente di dare risposte immediate per qualsiasi variazione di pressione.

Per terreni saturi, la scelta del filtro è influenzata dalla granulometria del terreno, in modo da ridurre il fenomeno di occlusione dei pori del filtro.

## MODALITÀ DI INSTALLAZIONE

Il piezometro elettrico può essere installato entro un foro di perforazione, realizzato da un sondaggio a carotaggio continuo o a distruzione, oppure direttamente in opere in terra.

### Installazione in fori di perforazione

Nel primo caso si consiglia sempre la stabilizzazione delle pareti con una tubazione di rivestimento provvisoria, di diametro interno non inferiore a 85 mm, mentre è da evitare l'utilizzo di fanghi. Per la stabilizzazione del fondo foro, in assenza di falde artesiane, si dovrà mantenere il livello dell'acqua entro la perforazione un poco al di sopra del livello piezometrico nel terreno. Tale accorgimento va adottato anche durante le diverse fasi dell'installazione. Dovranno essere disponibili i seguenti materiali: scandaglio, palline di bentonite, pestello e secchio d'acqua.

Eseguito il sondaggio, si proceda come segue:

1. stendere il cavo e riportare su di esso con nastro adesivo la lunghezza pari alla profondità di posa partendo dalla membrana del sensore di pressione del piezometro elettrico;
2. eseguire una misura di zero operando con la centralina come per una misura normale tenendo il piezometro in aria senza nessuna pressione applicata, ed annotare questo valore sul foglio di installazione;

3. se il filtro è fornito saturo, immergere in un secchio pieno di acqua pulita il piezometro con filtro montato, per mantenere la saturazione dello stesso e della camera idraulica dello strumento; se, invece, occorre saturare il filtro in cantiere, porre molta cura nell'esecuzione di questa operazione, seguendo le istruzioni del costruttore;
4. infilare lo strumento nel sacchetto di geotessuto, quindi riempire lo spazio tra strumento e sacchetto con la sabbia e richiudere il sacchetto. Tutte le operazioni vanno effettuate sempre sott' acqua. Inserire il sacchetto di geotessuto così predisposto in un sacchetto di plastica, e dopo averlo riempito d' acqua nel secchio, nastrare il sacchetto di plastica sul cavo;
5. verificare con lo scandaglio la quota del fondo foro;
6. lavare accuratamente il foro con acqua pulita;
7. eseguire una misura al piezometro prima dell'installazione, verificandone il corretto funzionamento;
8. sollevare i rivestimenti di circa 70 cm per permettere la realizzazione di un letto di sabbia sul fondo;
9. immettere della sabbia fine o ghiaietto ( $\varnothing$  max 0.5 cm) per un'altezza di circa 50 cm dal fondo, controllando con lo scandaglio la quota raggiunta. Se il piezometro non è previsto a fondo foro ma ad una quota intermedia, prima dell'immissione della sabbia si riempia il tratto di sondaggio non utile con una miscela di acqua, cemento e bentonite così composta: 100 litri di acqua, 50 Kg di cemento e 5 Kg di bentonite, sigillandola infine con un tappo di bentonite;
10. controllare nuovamente la profondità del foro con lo scandaglio;
11. trasportandolo nel secchio, portare lo strumento a bocca tubo, estrarre il sacchetto di plastica contenente lo strumento e porlo sulla testa dei tubi di rivestimento pieni d' acqua, rompere quindi il sacchetto di plastica immergendo il piezometro nell' acqua. Calare progressivamente il piezometro reggendolo per il cavo, fino a farlo appoggiare sul letto di sabbia;
12. recuperare per circa 70 cm la tubazione di rivestimento;
13. proseguire con sabbia o ghiaietto il riempimento del foro di sondaggio, fino al ricoprimento dello strumento per almeno 50 cm, controllando la quota raggiunta con lo scandaglio;
14. effettuare manualmente una lettura al piezometro per accertare il suo corretto funzionamento;
15. recuperare per altri 100 cm circa i rivestimenti, assicurandosi di non trascinare lo strumento con essi;
16. formare un sigillo ("tappo") impermeabile per mezzo di palline di bentonite, di altezza pari a 100 cm circa. La bentonite va gettata in più riprese, realizzando ogni volta spessori non superiori a 25-30 cm, compattando le palline con un pestello cilindrico di dimensioni opportune tali da poterlo manovrare attorno al cavo. Verificare con lo scandaglio la consistenza del tappo e la quota raggiunta;
17. completare il riempimento del foro utilizzando una miscela di acqua, cemento e bentonite, recuperando progressivamente tutti i rivestimenti provvisori;
18. ultimare la posa installando in superficie un pannello di centralizzazione o, in alternativa, un pozzetto di protezione del terminale del cavo. Dopo alcune ore dal termine della posa è possibile iniziare le letture piezometriche. In presenza di uno strato di terreno impermeabile, di confinamento superiore della falda in misura, è opportuno che il sigillo sia ubicato all'altezza dello strato in modo da ripristinarne la continuità.

### **Installazione in opere in terra**

Nel caso di installazione diretta in opere in terra quali rilevati costituiti sia da materiale fine impermeabile che da materiale grossolano, si proceda come segue:

1. realizzare una trincea nel terrapieno (con larghezza minimo 50 cm; profondità di 30-40 cm);
2. scavare all'interno del terreno compattato, in corrispondenza del punto di installazione, una tasca di alloggiamento per il piezometro;
3. prima di posizionare lo strumento, eseguire una misura di zero operando con la centralina come per una misura normale tenendo il piezometro in aria senza nessuna altra pressione applicata, ed annotare questo valore;
4. se il filtro è fornito saturo, immergere in un secchio pieno di acqua pulita il piezometro con filtro montato, per mantenere la saturazione dello stesso e della camera idraulica dello strumento;
5. infilare lo strumento nel sacchetto di geotessuto, quindi riempire lo spazio tra strumento e sacchetto con la sabbia e richiudere il sacchetto;
6. eseguire una misura al piezometro prima dell'installazione, verificandone il corretto funzionamento e annotarlo;
7. posare il piezometro così preparato nella tasca predisposta;
8. richiudere la tasca con materiale del terrapieno compattandolo a mano; nel caso di rilevato costituito da materiale a grossa pezzatura, si consiglia di richiudere la tasca con sabbia satura compattata a mano;

9. stendere il cavo elettrico all'interno della trincea in modo serpentiforme, facendo attenzione a lasciarlo lasco, in modo che non si abbiano rotture dello stesso durante la fase di assestamento del terrapieno;
10. coprire il cavo con materiale fine a strati successivi di 5-10 cm ciascuno e compattarlo a mano;
11. disporre delle palline di bentonite a intervalli regolari lungo il cavo, in modo da impedire la migrazione dell'acqua, e compattare a mano.

E' consigliata la pulizia periodica dei terminali di misura elettrici e il controllo dell'integrità del cavo elettrico nei tratti superficiali.

## Estensimetri a base lunga

### GENERALITA'

La conoscenza dell'entità degli spostamenti di un terreno nei processi di interazione con strutture civili risulta di primaria importanza in geotecnica, ai fini della definizione del grado di stabilità delle opere in corso di realizzazione o esistenti.

Ove sia richiesto un rilievo di precisione degli spostamenti anche a grande distanza dalle strutture, possono essere impiegati gli "estensimetri a base lunga".

Essi sono costituiti essenzialmente da una o più basi di misura, normalmente ancorate a diverse profondità entro un foro di perforazione di qualsiasi orientazione, che riportano in superficie gli spostamenti dei relativi punti di ancoraggio.

Gli estensimetri vengono impiegati più frequentemente nel monitoraggio delle deformazioni indotte dall'apertura di scavi sotterranei o superficiali; trovano anche applicazione nella misura dei cedimenti di fondazioni superficiali e profonde.

### DESCRIZIONE

Gli estensimetri a base lunga possono essere ad una o più basi (generalmente massimo 6):

Le basi di misura sono delle astine in fibra di vetro, oppure acciaio o invar, aventi diametro 7 mm.

Ogni base è collegata al fondo ad un tondino di acciaio zincato ad aderenza migliorata ("ancoraggio inferiore"); le basi non risentono di attriti poiché protette su tutta la lunghezza da una guaina flessibile, solidale da un lato all'ancoraggio inferiore e dall'altro fissata direttamente alla piastra di testa. Sulla piastra di testa trovano sede i raccordi degli strumenti di misura degli spostamenti protetti dai rispettivi tappi e i fori per il passaggio dei tubetti in polietilene di cementazione dello strumento in foro. Sulla terminazione superiore di ogni base di misura è montato un cappellotto di protezione.

### PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il terreno soggetto a movimento provoca lo spostamento degli ancoraggi inferiori in esso cementati; il movimento si trasmette integralmente dagli ancoraggi alle astine, libere di scorrere entro le guaine anti-attrito.

Le misure consistono nel rilievo periodico a boccaforo della posizione relativa tra la punta delle astine e la testa dello strumento, da cui si può ricavare, per differenza rispetto ad una configurazione iniziale, la variazione di distanza tra il profilo del terreno in superficie e gli ancoraggi inferiori distribuiti lungo il foro. Gli strumenti di lettura, generalmente utilizzati sono costituiti da comparatori meccanici centesimali o da trasduttori elettrici di spostamento. Il corpo di tali strumenti viene fissato al raccordo terminale della testa, ed è dunque solidale alla piastra di boccaforo, mentre il tastatore va a battuta sulla testa della base di misura e ne segue gli spostamenti.

### MODALITÀ DI INSTALLAZIONE

Gli estensimetri possono essere installati in fori di perforazione, di qualunque orientazione.

I fori non devono essere rivestiti al momento dell'installazione, per cui in presenza di materiali sciolti o fratturati tali da poter ostruire la perforazione, si rende necessaria una cementazione completa preliminare del foro e la sua successiva rialesatura.

I diametri utili ottimali dei fori sono:

- Ø 58 mm per il tipo ad 1 base
- Ø 101 mm per il tipo a più basi.

L'installazione degli estensimetri procede per fasi, come segue:

#### **Inserimento in foro dello strumento**

- 1) srotolare la guaina delle basi o in caso di strumento preassemblato l'intero strumento;
- 2) inserire lo strumento in foro dalla parte dell'ancoraggio più lontano dalla testa fino a portare a boccaforo il secondo ancoraggio.  
Se l'estensimetro è monobase, l'inserimento in foro procede senza interruzioni fino a che la piastra di testa spingerà a boccaforo per 50 cm circa;
- 3) in funzione del numero delle basi, proseguire l'inserimento in foro delle basi ponendo ad intervalli i tubetti di iniezione legando quindi il tutto con il nastro adesivo. Si continui fino a lasciar sporgere a boccaforo l'intero fascio delle basi o se preassemblato la testa e l'eventuale tubo di imbocco.

A questo punto, se il foro è verso l'alto bisognerà ancorare la testa al terreno in modo che lo strumento si autosostenga durante le operazioni che seguiranno; se invece il foro è verso il basso, si completa l'inserimento della testa a contatto col terreno.

Per l'ancoraggio della piastra di testa al terreno è necessario impiegare un cemento a presa rapida.

Si ricopra quindi con cemento il tratto sporgente e si spinga la piastra fino a battuta.

Attendere qualche ora affinché il cemento faccia presa ancorando lo strumento all'imbocco del foro.

### **Cementazione**

Per cementare tutto l'estensimetro in foro si impiega normalmente in roccia una miscela acqua cemento, nel rapporto di 50 Kg di cemento per 100 litri di acqua. Alla miscela va aggiunta una certa quantità di bentonite (fino a 5 Kg per 100 litri di acqua) all'aumentare della matrice terrosa del materiale e/o al diminuire della sua consistenza.

Per la cementazione, si dovrà utilizzare un tubo flessibile  $\Phi 16$  mm, da collegarsi ai tubetti in nylon di iniezione tramite dei raccordi tubo-tubo da 16 mm, da montare sulle terminazioni libere dei tubetti stessi.

Dopo che il cemento avrà fatto presa, e prima di procedere al montaggio degli strumenti di misura, si dovrà eliminare la parte dei tubetti di iniezione che fuoriescono dalla testa dello strumento, tagliandoli alla base superiore della piastra di testa.

### **Montaggio degli strumenti di misura e della testa**

Gli strumenti di misura possono essere di tipo meccanico (comparatori centesimali removibili) o elettrico (trasduttori di spostamento fissi); il loro montaggio deve avvenire solo dopo che la miscela cementizia abbia fatto presa.

In posizione di misura i comparatori sono semplicemente appoggiati ai raccordi della piastra di testa; è sufficiente un unico comparatore per effettuare le misure di tutte le basi.

I trasduttori elettrici sono invece avvitati fissi sui raccordi di ogni base.

In fase di esecuzione delle misure con un comparatore centesimale o di montaggio dei trasduttori di spostamento, si dovrà provvedere alla regolazione della distanza del terminale di tutte le basi estensimetriche allo scopo di ottenere una misura iniziale di riferimento prestabilita (es. metà corsa del comparatore o trasduttore).

L'installazione degli estensimetri si completa con l'applicazione di una testa di protezione.

La testa di protezione per estensimetri sui quali sono stati montati i trasduttori elettrici fissi, consiste in un coperchio dotato alla base di un' asola che consente il passaggio dei cavi elettrici.

## Misuratore di giunti elettrico

### GENERALITÀ

Nell'ambito delle indagini sulla stabilità statica di una struttura, risulta fondamentale rilevare le variazioni di apertura di fessure negli elementi portanti, dovute nella maggior parte dei casi all'interazione con il terreno e/o a un degrado intrinseco dei materiali.

Tale rilievo viene effettuato per mezzo di strumenti detti misuratori di giunti o fessurimetri, vincolati rigidamente ad una parete tramite ancoraggi a cavallo del giunto da rilevare ed installati su edifici di interesse storico ed artistico, fabbricati civili ed industriali, opere di sostegno.

I misuratori di giunti elettrici si compongono complessivamente di:

- un corpo metallico, contenente un trasduttore elettrico di spostamento e montato su un supporto di ancoraggio;
- un cavo elettrico di opportune caratteristiche che realizza il collegamento dello strumento all'unità di lettura;
- un'astina in acciaio di lunghezza variabile, di congiunzione del trasduttore con un secondo ancoraggio a tassello.

Alle estremità dell'astina, due snodi multidirezionali consentono la compensazione di eventuali movimenti fuori asse.

### PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Per mezzo degli ancoraggi, il fessurimetro risente delle stesse variazioni di assetto della fessura a partire dal momento dell'installazione; in conseguenza si modificherà la posizione dell'asta collegata al sensore che segue i movimenti della astina in acciaio, facendo così variare il valore elettrico del trasduttore.

L'impiego dei misuratori di giunti va previsto quando lo spostamento relativo tra i due lembi della fessura avviene lungo una direzione prevalente, tale da poter orientare correttamente l'asse strumentale, eventuali movimenti fuori asse sono comunque compensati dai due snodi multidirezionali alle estremità della barretta.

### MODALITÀ DI INSTALLAZIONE

I misuratori di giunti vanno installate a parete, a cavallo della fessura di interesse.

Dovranno essere disponibili i seguenti materiali: trapano con punta per tasselli a muro, chiavi inglesi per regolazione della lunghezza della base di misura.

Per il montaggio si proceda come descritto di seguito:

- appoggiare a cavallo della fessura i tasselli di ancoraggio, allineando il fessurimetro secondo la direzione presunta di spostamento. Segnare quindi le posizioni del trapano;
- trapanare sul muro i fori per i tasselli;
- inserire i tasselli nei fori realizzati e serrare i dadi fino al perfetto ancoraggio dei tasselli;
- effettuando una lettura di controllo, si valuti l'opportunità di regolare la posizione iniziale dell'astina del trasduttore in modo da ottenere una misura di riferimento prestabilita.

## Fessurimetro meccanico

### GENERALITA'

Nell'ambito delle indagini sulla stabilità statica di una struttura, risulta fondamentale rilevare le variazioni di apertura di fessure negli elementi portanti, dovute nella maggior parte dei casi all'interazione con il terreno e/o a un degrado intrinseco dei materiali.

Tale rilievo viene effettuato per mezzo di strumenti detti "fessurimetri", vincolati rigidamente ad una parete tramite ancoraggi a cavallo del giunto da rilevare.

I fessurimetri sono installati su edifici di interesse storico ed artistico, fabbricati civili ed industriali, opere di sostegno.

In campo strettamente geotecnico, trovano applicazione nel monitoraggio di blocchi di roccia instabili.

### DESCRIZIONE

Il fessurimetro si compone complessivamente di:

- una base di misura (asta) in acciaio;
- un tubo di rivestimento in acciaio;
- un cilindro di testa con raccordo filettato;
- due tasselli di ancoraggio a parete, ai lati della fessura.

La base di misura è collegata ad un tassello ed ha la terminazione libera (punta) all'interno del cilindro di testa, il quale è solidale all'altro tassello.

### PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Per il tramite degli ancoraggi, i fessurimetri risentono delle stesse variazioni di assetto della fessura che influenzano la posizione della punta della base di misura.

Le misure consistono nel rilievo periodico della posizione relativa tra punta della base e cilindro; dalle misure si possono ricavare, per differenza rispetto ad una configurazione iniziale, gli spostamenti relativi tra i due lembi della fessura.

Allo scopo sono presenti in commercio alcuni strumenti di lettura, costituiti da comparatori meccanici centesimali o da trasduttori elettrici di spostamento. Il corpo di tali strumenti si fissa al raccordo filettato del cilindro di testa, mentre il tastatore va a battuta sulla punta della base che ha funzione di riscontro.

L'impiego del fessurimetro va previsto quando lo spostamento relativo tra i due lembi della fessura avviene lungo una direzione prevalente, tale da poter orientare correttamente la base di misura.

Eventuali movimenti fuori asse sono comunque compensati da due snodi sferici in corrispondenza dei tasselli.

### MODALITÀ DI INSTALLAZIONE

I fessurimetri meccanici vanno installati a parete, a cavallo della fessura di interesse.

Dovranno essere disponibili i seguenti materiali: trapano con punta per tasselli a muro, chiavi inglesi e a brugola per regolazione della base di misura e per fissaggio di una apposita bussola sul comparatore.

Lo strumento viene generalmente fornito preassemblato, per cui l'installazione richiede semplici operazioni.

Per il montaggio si proceda come di seguito:

- 1) appoggiare a cavallo della fessura i tasselli di ancoraggio, a distanza predeterminata a seconda della lunghezza della base di misura, allineando questa secondo la direzione prevalente di spostamento. Segnare quindi le posizioni del trapano;
- 2) trapanare sul muro i fori per i tasselli;
- 3) inserire i tasselli nei fori realizzati e serrare i dadi con la chiave inglese fino al perfetto ancoraggio dei tasselli;
- 4) effettuando una lettura di controllo con lo strumento di impiego, si valuti l'opportunità di regolare la posizione iniziale della base in modo da ottenere una misura di riferimento prestabilita (es. metà corsa del comparatore o trasduttore).

Ai fini di una corretta elaborazione dei dati, è indispensabile prendere nota della variazione di lunghezza realizzata.

Se per le misure si impiega il comparatore centesimale removibile, esso andrà semplicemente appoggiato al raccordo filettato del cilindro di testa per mezzo dell'apposita bussola fissata con la chiave a brugola. Il trasduttore di spostamento elettrico va invece avvitato fisso sul raccordo.

## Estensimetri a filo

### GENERALITÀ

Nell'ambito delle indagini sulla stabilità di fenomeni di dissesto, quali il controllo di movimenti superficiali di ammassi, pareti rocciose, versanti o nel monitoraggio delle fondazioni di opere civili o contenimento, risulta fondamentale rilevare le variazioni di apertura delle fessure di grandi dimensioni.

Tale rilievo può essere effettuato tramite strumenti detti misuratori di giunto o fessurimetri, oppure tramite estensimetri di superficie, vincolati rigidamente ad una parete o su basamenti ben infissi nel terreno e posti a cavallo della fessura da rilevare.

Nei cedimenti superficiali, risulta di particolare importanza l'utilizzo dell'Estensimetro superficiale a filo.

L'estensimetro superficiale a filo si compone di un elemento scatolare contenente il trasduttore elettronico ed il rullo tenditore da cui fuoriesce il filo d'acciaio che viene collegato ad un riscontro meccanico fissato all'altro lato della frattura da monitorare.

### DESCRIZIONE

L'estensimetro a filo di superficie, rileva le variazioni di apertura della frattura a partire dal momento dell'installazione, registrandole come movimenti del cavo di acciaio teso a cavallo della frattura, tra il punto di ancoraggio e lo strumento stesso.

In particolare le misure si effettuano mediante il trasduttore potenziometrico che trasforma i movimenti del filo ad esso collegato in segnali di tensione elettrica, i quali possono essere acquisiti attraverso alcuni sistemi di lettura, sia manuali che automatici.

### MODALITÀ DI INSTALLAZIONE

Gli estensimetri a filo vengono installati in postazioni fisse a cavallo delle fratture da esaminare. In genere si utilizzano profilati metallici che vengono infissi nel terreno per una profondità pari ai 2/3 della loro lunghezza garantendo una continuità fra i capisaldi posti tra i margini della frattura ed il terreno soggetto ad eventuali movimenti, evitando contemporaneamente influenze per *creep* superficiali.

E' necessario realizzare un basamento solido e inamovibile per sostenere il peso dello strumento e il riscontro meccanico al quale fissare il capo del cavetto d'acciaio.

Particolare importanza riveste la regolazione del filo d'acciaio, in modo da ottenere una misura di riferimento iniziale prestabilita, posta circa a metà del campo di misura. Il filo d'acciaio viene quindi rivestito per tutta la sua lunghezza mediante un tubo di protezione in PVC, al fine di scongiurare eventuali interferenze esterne accidentali che determinerebbero un'errata acquisizione dei valori di misura.

## Clinometri elettrici biassiali

### GENERALITA'

I clinometri elettrici sono strumenti utilizzati per misurare le variazioni di inclinazione superficiale di un ammasso roccioso, o in superfici di strutture civili o particolari strutturali da cui sono attesi spostamenti con componenti rotazionali.

In tal modo è possibile monitorare sia l'entità del fenomeno in gioco che la sua velocità di evoluzione.

In genere i clinometri elettrici di superficie possono incorporare un unico sensore (monoassiali) o due sensori montati su piani ortogonali (biassiali).

### DESCRIZIONE

Il clinometro di superficie misura le variazioni di inclinazione e/o rotazione di un punto, materializzato sul suolo o su di una struttura

Il clinometro si compone complessivamente di:

- un corpo, generalmente cilindrico, contenente i sensori elettrici di inclinazione;
- un cavo elettrico che realizza il collegamento dello strumento all'unità di lettura;
- una piastra di fissaggio di acciaio da fissare alla parete od al masso da monitorare.

I sensori sono normalmente in numero di due ("inclinometri biassiali").

La precisione, la ripetibilità della misura e la risposta all'influenza termica del sensore costituiscono i principali fattori di differenziazione tra le due classi di sensori; per tutte le caratteristiche i primi sono inferiori di almeno un ordine di grandezza ai secondi.

I sensori sono isolati rispetto alla meccanica dello strumento.

Per il tramite della piastra di fissaggio il clinometro risente delle stesse variazioni di inclinazione a cui è soggetta la parete; i sensori individuano le componenti di tali variazioni sui rispettivi piani di sensibilità.

I piani di sensibilità dei sensori sono il piano perpendicolare alla piastra di fissaggio ed il piano ad esso ortogonale:

I segnali dei sensori sono condizionati elettronicamente in modo che le inclinazioni siano identificate non solo in modulo ma anche in segno, in questo modo:

La misura si effettua sui conduttori del cavo, alimentando i sensori e rilevandone i segnali elettrici in uscita proporzionali alle inclinazioni con sistemi di lettura manuali e/o automatici con la possibilità di trasformare il dato in convertito in unità fisica (gradi).

### MODALITÀ DI INSTALLAZIONE

Prima dell'installazione si dovrà eseguire un test veloce di inclinazione, imponendo al clinometro un'inclinazione nota (anche grossolanamente) ed inclinandolo secondo i piani di sensibilità dei sensori, si osservi qualitativamente la proporzionalità dei segnali e la correttezza del loro segno.

Per il montaggio si proceda come segue:

- 1) Pulire bene la superficie di posa e verificarne la possibilità di accoppiamento con la piastra;
- 2) inserire le viti di ancoraggio al piatto;
- 3) fissare il piatto alla parete mediante due tasselli e fissare i supporti di montaggio sulla piastra;
- 4) regolare la verticalità del clinometro utilizzando una livella con bolla;
- 5) bloccare la piastra di ancoraggio;
- 6) verificare la misura elettrica utilizzando una centralina di misura. Acquisire e registrare la misura eseguita come Lettura di Zero o Riferimento.

## **Inclinometro fisso di profondità**

### **GENERALITA'**

Gli inclinometri fissi per automatizzare le misure inclinometriche, sono distribuiti in un certo numero lungo la colonna in punti prestabiliti. Essi misurano le inclinazioni della tubazione alle profondità di posa tramite sensori analoghi a quelli montati nelle sonde mobili pertanto valgono per essi tutte le stesse considerazioni fatte per le sonde mobili.

Ciascun inclinometro è sorretto alla quota di posa da un cavetto in acciaio con spina di aggancio alla testa di sospensione.

Un cavo elettrico sigillato sullo strumento consente la misura elettrica del sensore.

I sensori sono normalmente biassiali e i piani di sensibilità dei sensori sono il piano delle rotelle ed il piano a questo perpendicolare.

Il piano di rilevamento delle inclinazioni contenente le rotelle è normalmente detto "piano A" ed il segnale del sensore corrispondente è detto "canale A"; il piano perpendicolare delle rotelle viene invece indicato come piano B ed il segnale relativo come "canale B".

Terminata l'installazione della colonna inclinometrica, dopo la presa della miscela di iniezione si potranno installare gli inclinometri fissi di profondità.

Si consiglia comunque di eseguire un certo numero di misure inclinometriche complete con sonda removibile, prima di procedere all'installazione degli inclinometri fissi.

### **MODALITÀ DI INSTALLAZIONE**

Per l'installazione, sono necessari i seguenti materiali: cavetto in acciaio e morsetti di bloccaggio.

Gli inclinometri si montano tutti nello stesso modo, come nel seguito indicato:

1. ricavare dalla matassa di cavetto in acciaio, uno spezzone di lunghezza pari alla distanza desiderata;
2. realizzare un anello di sospensione a cavallo del ponticello del contenitore portasensori e fissarlo con il suo morsetto; ripetere la stessa operazione all'altra estremità del cavetto d'acciaio;
3. infilare l'inclinometro nel pozzetto e porre le rotelle di riferimento nella scanalatura 1 della tubazione;
4. reggendo lo strumento solo per il cavetto in acciaio calarlo lentamente nella tubazione;
5. arrivati a quota, inserire il cavo in un foro della testa di sospensione numerandolo con un pennarello;
6. far passare i cavi elettrici provenienti da ogni strumento attraverso la testa e bloccarli.

## **Cavo coassiale per misure T.D.R. (Time Domain Reflectometry)**

### **GENERALITÀ**

Il sistema TDR (Time Domain Reflectometry) consiste nel misurare le variazioni nelle proprietà elettromagnetiche di un cavo elettrico coassiale reso solidale alla struttura da monitorare, in seguito alle deformazioni che questa subisce nel tempo.

Il principio di funzionamento si basa sulla trasmissione all'interno del cavo di un impulso elettrico, parte del quale ritorna al sistema che lo produce e che rileva le onde riflesse che si generano ogniqualvolta l'impulso incidente incontra delle deformazioni meccaniche lungo il cavo, siano esse dovute a taglio o ad azione assiale.

Essendo nota la velocità di propagazione dell'impulso nel cavo, si può risalire con buona precisione alla posizione della deformazione ed alla sua natura.

Il tipo di danneggiamento subito dal cavo viene determinato analizzando la forma d'onda risultante sullo schermo della centralina di misura.

Associando la tecnologia TDR alle misure inclinometriche tradizionali con sonda removibile è possibile ottenere informazioni di maggiore dettaglio sia avendo conferma delle deformazioni misurate sia aggiungendo eventualmente ulteriori notizie, essendo più elevata la definizione ottenibile dall'analisi della propagazione dell'impulso elettrico lungo il cavo coassiale rispetto alla spaziatura di 50 cm, caratteristica delle misure manuali.

### **MODALITÀ DI INSTALLAZIONE**

La procedura di installazione prevede tre tipologie di posa:

1. lungo la colonna di un tubo inclinometrico, esternamente ad essa;
2. all'interno della colonna di un tubo inclinometrico dismesso;
3. direttamente nel terreno, in seguito a trivellazione e cementazione del cavo calato nel perforo.

Generalmente, è opportuno che il cavo coassiale sia tagliato di una lunghezza leggermente superiore (circa + 5 m) alla lunghezza effettiva di misura. Su una delle estremità deve essere realizzata una spelatura di circa 10 cm che consenta di arrotolare insieme la calza ed il conduttore, realizzando un corto circuito all'interno del cavo che va verificato elettricamente, pena l'impossibilità di utilizzare il sistema di misura.

L'estremità in corto circuito va posta al fondo del perforo, esternamente ad un tubo inclinometrico lungo una guida (generalmente la guida 1), internamente ad un tubo dismesso o semplicemente calando tale estremità fino alla profondità desiderata.

Nel primo caso, il cavo viene progressivamente solidarizzato al tubo e calato in foro con il procedere dell'installazione della colonna inclinometrica.

Alla fine delle operazioni il cavo coassiale risulta, in ogni caso, cementato in foro.

La parte eccedente di cavo viene arrotolata in superficie ed utilizzata per la connessione con l'unità di lettura al momento dell'esecuzione delle misure.

All'estremità libera del cavo vanno tenute separate la calza ed il conduttore centrale per consentire il collegamento con la centralina di misura.

Il cavo coassiale utilizzato per entrambe le installazioni è del tipo a 50  $\Omega$  di impedenza.

## Colonna assestimetrica incrementale

### GENERALITA'

Gli estensimetri o assestimetri incrementali sono strumenti previsti per la misura di movimenti orizzontali e verticali in roccia.

Attraverso l'uso di una sonda inclinometrica e di una sonda assestimetrica fatta scorrere all'interno del tubo lungo le sue scanalature viene rilevata la posizione orizzontale e verticale nello spazio del tubo e/o degli anelli di riferimento e quindi i suoi spostamenti differenziali nel tempo.

Gli estensimetri incrementali possono pertanto essere utilizzati per il controllo statico delle deformazioni in situazioni geotecniche quali frane, gallerie ecc.

### DESCRIZIONE

La Colonna Assestimetrica Incrementale è costituita da spezzoni di tubo inclinometrico in ABS, a quattro scanalature. Gli spezzoni sono giuntati tra di loro mediante manicotti fissi. Ciascuna colonna è completata di tappi di fondo e chiusino protettivo con lucchetto e targhetta d'identificazione.

All'esterno della colonna con intervallo pari a 1000 mm sono installati i punti assestimetrici costituiti da anelli in metallo lavorato in modo da consentire la migliore aderenza.

L'installazione deve essere eseguita mediante una dima di taratura in modo da garantirne la massima precisione.

### MODALITÀ DI INSTALLAZIONE

Le operazioni di installazione della colonna dell'estensimetro incrementale necessitano di grande attenzione, poiché da esse dipende la possibilità di interpretare in modo adeguato i dati numerici desunti dalle letture, sempre che queste siano state rese possibili dalla corretta installazione degli anelli di riferimento. Il passo tra gli anelli deve essere di  $1000 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$  e la sonda assestimetrica che rileva la distanza relativa tra due anelli consecutivi ha generalmente un campo di misura pari a  $\pm 10 \text{ mm}$  con risoluzione di  $0,001 \text{ mm}$ .

L'installazione deve essere eseguita avendo cura di quanto segue:

- evitare effetti di spirallatura inducendo torsioni sulla tubazione;
- salvaguardare la tubazione da ammaccature, sforzi, ecc.;
- accoppiare la tubazione al terreno lungo tutto il suo sviluppo mediante cementazione con miscela adeguata alle caratteristiche dei terreni circostanti.

Si dovrà operare come segue:

- a seconda della profondità di progetto alla quale andrà installato lo strumento, e quindi del foro, preparare un numero adeguato di tubi in ABS;
- preparare il materiale di consumo corrente:  
dima per anelli di riferimento, rivetti, mastice, nastro, rivettatrice, trapano, cacciavite ecc.;
- assemblare sulla parte terminale della prima barra di tubo mediante rivetti e mastice il tappo di fondo in ABS completo di anello per il fissaggio della fune di supporto della colonna, che dovrà essere montata nel caso d'installazione verticale verso il basso;
- contemporaneamente preparare una fune di nylon o similare (non metallica) per il supporto della colonna durante le fasi di assemblaggio della stessa;
- preparare un numero adeguato di manicotti in ABS da almeno 200 mm di lunghezza, predisposti con 4 fori di riscontro per il fissaggio, che assicurano l'allineamento della colonna e che consentono lo scorrimento della tubazione;
- disporre a gruppi di tre, ciascuno per ogni spezzone di tubo, gli anelli di riferimento, predisposti con 4 fori a vite e viti di fissaggio;
- disporre un terminale di testa completo di flangia di fissaggio, sistema di ancoraggio e tappo filettato di chiusura.
- partendo dal primo spezzone di tubo montare, coassialmente ad esso, il primo anello di riferimento partendo da 50 cm di distanza rispetto al fondo tubo e fissarlo mediante viti;
- mediante l'uso della dima (che dovrà essere montata sempre a cavallo dei due anelli di riferimento), posizionare il secondo anello di riferimento e fissarlo alla tubazione mediante le viti;
- così come già spiegato nel precedente punto montare e fissare il terzo anello;

- nel caso di installazione verticale verso il basso, montare sul terminale del tappo di fondo una fune di nylon o similare (non metallica) di lunghezza adeguata alla profondità di posa del tubo per il supporto della colonna durante le fasi di montaggio della stessa;
- introdurre il primo spezzone di tubo entro il foro, e tenendo sospesa la tubazione mediante la fune, verificare nuovamente, mediante la dima, che gli anelli di riferimento siano nella posizione corretta, diversamente andranno riposizionati e conseguentemente fissati;
- allo stesso modo preassemblare mano a mano tutti gli spezzoni di tubo costituenti la colonna dell'estensimetro incrementale;
- introdurre la parte inferiore del secondo spezzone fino a battuta e utilizzando la dima di taratura montarla con la parte inferiore sull'ultimo anello di riferimento del primo spezzone, poi calare la tubazione fino a fare coincidere la parte superiore della dima con il primo anello del secondo spezzone. La distanza tra i due anelli di riferimento dovrà essere pari a 1000 mm con una tolleranza massima di  $\pm 1$  mm; a questo punto fissare la tubazione con i rivetti. L'operazione qui descritta risulta essere estremamente importante e delicata ai fini della riuscita e funzionalità dello strumento;
- da questo momento in poi è indispensabile evitare di trasmettere al tubo qualsiasi movimento che provochi torsioni. Si sigilleranno i giunti con nastro adesivo e la colonna sarà calata in foro. Qualora il foro sia pieno d'acqua, si dovrà riempire con acqua pulita il tubo in modo da contrastare la sottospinta.
- proseguire il montaggio della colonna con i successivi spezzoni di tubo.

Terminata l'installazione completa della tubazione dell'estensimetro incrementale, essa deve essere collegata e resa solidale al terreno mediante cementazione.

L'accurato intasamento dell'intercapedine dal fondo della colonna viene realizzato attraverso una boiaccia cementante la cui composizione va attentamente valutata in relazione alle caratteristiche dei terreni circostanti; in situazioni del tutto particolari, qualora la boiaccia cementante tendesse a disperdersi a causa di fratture, l'intasamento può ottenersi versando ghiaietto calibrato ( $\varnothing$  2-4 mm), o sabbia monogranulare, da addensarsi per caduta mediante la percolazione di acqua introdotta dall'alto.

L'intasamento della intercapedine con boiaccia può essere ottenuto mediante tubetto volante montato esternamente alla tubazione, per garantire una perfetta cementazione della colonna dal fondo del tubo alla superficie. In questo caso il diametro minimo utile (preforo nudo o rivestito con camicia metallica provvisoria) deve essere di 110 mm.

Nel caso di installazioni relativamente profonde (oltre 50-60 m) in terreni poco stabili, il diametro del foro utile dovrebbe essere di 127 mm circa.

L'intasamento con boiaccia ha il vantaggio di consentire di estrarre il rivestimento provvisorio se presente in un'unica manovra alla fine della iniezione.

L'intasamento con ghiaietto o sabbia, in preforo rivestito e con acqua, è piuttosto lento dovendo attendere ogni volta la decantazione del materiale fino sotto la scarpa prima di procedere ad estrarre ogni successivo spezzone della camicia provvisoria.

## Deformometro a filo

### GENERALITA'

Il deformometro a filo trova il suo utilizzo nei casi in cui si rende indispensabile il controllo della stabilità di strutture quali: edifici di interesse storico, fabbricati civili ed industriali, opere di sostegno.

Tale strumento permette, infatti, di monitorare gli spostamenti superficiali, tra punti distanti su pareti ed elementi portanti, dovuti nella maggior parte dei casi all'interazione della struttura con il terreno o a un degrado dei materiali.

Il deformometro a filo si compone complessivamente dei seguenti elementi:

- un trasduttore elettrico di spostamento (fondo scala più usati: 10, 25, 50, 100 mm), montato su una piastra a muro di fissaggio tramite un supporto;
- una carrucola di rinvio montata nella parte superiore della piastra;
- un cavetto, fornito nella lunghezza richiesta, disponibile in invar, in acciaio o in kevlar rivestito;
- un ancoraggio per il fissaggio di una delle estremità del cavetto;
- un cavo elettrico che realizza il collegamento dello strumento all'unità di lettura.

### PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il deformometro a filo viene utilizzato per il controllo di variazioni della distanza tra due pareti o strutture contrapposte e fornisce la misura dello spostamento relativo tra due punti di misura.

Una volta scelti i punti di misura, in corrispondenza di essi, vengono montati rispettivamente il trasduttore collegato al cavetto tramite un'astina di acciaio, e l'ancoraggio per il fissaggio dell'estremità opposta del cavetto.

Il cavetto che unisce i due punti di misura, viene tensionato grazie ad una molla, alloggiata all'interno del cilindro del trasduttore, che richiama l'asta alla quale è collegato il cavetto.

### MODALITÀ DI INSTALLAZIONE

I deformometri a filo vanno installati in corrispondenza di due pareti contrapposte.

Dovranno essere disponibili i seguenti materiali:

- trapano, punta per tasselli a muro;
- chiavi a brugola;
- chiavi inglesi.

#### Montaggio trasduttore:

Per il montaggio della piastra a muro di fissaggio con trasduttore si proceda nel seguente modo:

1. nel punto prescelto per il fissaggio, appoggiare la piastra a muro alla parete, lungo una direttrice subverticale, e segnare la posizione dei fori;
  2. trapanare sul muro i fori per i tasselli ed inserirli;
  3. avvitare e serrare le viti con la chiave a brugola fino al perfetto ancoraggio del supporto alla parete;
  4. fissare il trasduttore nel supporto;
- fissare il cavetto all'astina del trasduttore.

#### Montaggio ancoraggio

Sulla parete opposta montare l'ancoraggio nel seguente modo:

1. nel punto prescelto eseguire con il trapano un foro per il tassello;
2. inserire il tassello nel foro realizzato e serrarlo;
3. fissare sull'ancoraggio l'altra estremità del cavetto precedentemente collegato al primo punto di misura avendo cura che rimanga teso;

A questo punto si consiglia di effettuare una lettura di controllo per valutare l'opportunità di regolare la posizione iniziale dell'astina del trasduttore in modo da ottenere una misura di riferimento prestabilita (es. metà campo di misura).

## Circuito livellometrico

### GENERALITA'

Il rilevamento dei movimenti verticali dei terreni e delle strutture è uno dei principali campi di applicazione delle tecniche di monitoraggio per fornire ai progettisti un controllo sperimentale delle ipotesi di progetto. Questa necessità è tanto più sentita quanto maggiori sono l'importanza delle opere e la complessità della situazione geotecnica del sito in esame.

Spesso è necessario conoscere l'influenza delle opere di scavo previste su edifici o opere civili già esistenti, misurando gli assestamenti che si genera in essi, dando origine a cedimenti differenziali che ne possono pregiudicare la stabilità.

Un sistema di misura in continuo delle variazioni relative di livello tra parti diverse della stessa struttura è costituito da un insieme di tazze livellometriche opportunamente ubicate e collegate mediante un circuito idropneumatico, mediante il quale, con riferimento ad un elemento posizionato in un punto sicuramente fisso, si può valutare nel tempo lo spostamento verticale degli altri elementi costituenti il sistema.

### DESCRIZIONE

Il sistema di monitoraggio funziona in base al principio dei vasi comunicanti ed è costituito da un certo numero di tazze collegate in serie mediante un tubo di plastica di diametro opportuno riempito da un liquido dotato di caratteristiche meno dipendenti possibile dalle variazioni di temperatura.

Una delle tazze, ubicata in posizione sicuramente stabile, funge da riferimento, mentre le altre possibilmente alla stessa quota, sono posizionate nei punti di misura prescelti.

I cedimenti differenziali tra le tazze generano delle variazioni del livello del liquido contenuto al loro interno che vengono misurate con una cella di carico elettrica montata sotto la tazza e contenuta all'interno della scatola protettiva che racchiude l'insieme.

Dopo aver installato i diversi strumenti nei punti prescelti approssimativamente alla stessa quota si esegue la misura di zero. La differenza di quota che si verificherà eventualmente nel tempo tra la tazza di riferimento e gli altri punti di misura è proporzionale alle variazioni di peso del liquido contenuto nei vari elementi del sistema. Utilizzando i valori caratteristici di funzionamento degli strumenti ricavati in fase di taratura è possibile ricavare delle correlazioni tra il segnale elettrico restituito ed il carico corrispondente e/o la variazione di livello associata.

### MODALITÀ DI INSTALLAZIONE

Le tazze livellometriche sono generalmente installate a parete e pertanto dovranno essere disponibili i seguenti materiali:

- Trapano con punte da cls,
- Chiave inglese
- Tubo idraulico in nylon
- Miscela liquida, costituita da un mix di acqua e paraflu (generalmente in quantità uguali)
- Imbuti.

Prima di procedere all'installazione delle tazze livellometriche è necessario tracciare sul muro la quota di posa delle stesse e il percorso del circuito idraulico, in modo da posizionare tutti gli elementi su un piano prossimo all'orizzontale.

Si consiglia pertanto di utilizzare una porzione di tubetto in nylon riempito con acqua e di sfruttare le proprietà dei fluidi nei tubi ad U; individuato il punto più esterno che andrà mantenuto fisso, si procede alla tracciatura di punti di uguale quota per tutta la lunghezza della superficie di posa.

A questo punto si procede all'installazione di tutte le tazze, secondo le seguenti fasi:

- Facendo riferimento al raccordo posto inferiormente e traguardando con la marcatura fatta precedentemente si trova l'altezza della tazza livellometrica, quindi si segnano sul muro i punti in cui andranno posizionati i tasselli di sostegno.
- Si ripetono le operazioni precedenti per tutte le tazze da installare, ricordando che i raccordi inferiori sono ad una sola via per le tazze più esterne al circuito e a due vie (o T) per le tazze intermedie.
- Si fissa e si tende bene un cavo d'acciaio, in corrispondenza del passaggio del tubo idraulico di nylon e quindi dell'ipotetica linea orizzontale tracciata inizialmente
- Si tagliano a misura i vari spezzoni di tubetto in nylon, pari alla distanza tra due tazze livellometriche per ogni tratta del circuito, considerando le eventuali curve sul percorso.

- Si procede alla fasciatura del tubo e dei cavi elettrici al cavetto d'acciaio e al loro raccordo, si verifici che tutti i rubinetti del sistema idraulico siano aperti
- Mediante l'imbuto, e partendo dalla tazza più esterna, si proceda al riempimento della tazza prima e del circuito idraulico poi, versando con opportuna lentezza, per evitare di provocare turbolenze che introducano bolle d'aria nel sistema. Si procede fino a quando sulla tazza più lontana dal punto di riempimento non si osserva una discreta quantità di fluido nel serbatoio. Si consiglia di attendere qualche ora prima di procedere ad eventuali rabbocchi nelle tazze intermedie.
- Si procede con la lettura di zero o di riferimento.
- Si deve verificare l'assenza di bolle all'interno dei tubetti di nylon, in particolare in corrispondenza delle curve, di angoli o in prossimità dei raccordi a T. In caso contrario ci si deve adoperare per provocarne la fuoriuscita.

## Celle di pressione totale

### GENERALITA'

Le celle di pressione totale sono generalmente usate per il controllo delle pressioni totali nei terreni o negli ammassi rocciosi, in gallerie, all'interno di rilevati, nelle dighe ed al di sotto di fondazioni o all'interfaccia tra terreno e strutture.

### DESCRIZIONE

La cella di pressione totale consiste di un piatto cavo riempito con olio disaerato collegato ad un meccanismo che ne consente la misura delle variazioni di pressione ovvero trasduttore meccanico a pistone o elettrico di pressione mediante un tubo idraulico in acciaio o in plastica.

Nella loro posizione di misura le celle di pressione totali sono completamente immerse nel terreno oppure fissate alle superfici di contatto tra terreno e struttura.

### MODALITÀ DI INSTALLAZIONE

La modalità di installazione delle celle di pressione totale dipende dalla struttura che deve essere monitorata e in particolare dal tipo di terreno o ammasso roccioso investigato.

#### Installazione in Terreno

Quando il terreno che deve essere investigato non è uniforme, prima della installazione della cella di pressione, preparare uno strato di sabbia, compattato a mano e, dopo il posizionamento del piatto di misura ricoprirla con un successivo strato di sabbia spesso. Durante la compattazione a mano, anche se l'operazione non è semplicemente quantificabile, si dovrebbe cercare di creare strati di sabbia della stessa densità. Quando il materiale è uniforme il piatto di misura dovrebbe essere posizionato su di uno strato compattato a mano, utilizzando materiale naturale, preparato con la stessa procedura presentata precedentemente al fine di minimizzare le variazioni di densità attorno alla cella. Questa procedura per quanto possibile dovrebbe essere applicata anche per materiali coesivi.

#### Installazione verticale

Installazioni verticali di celle di pressione totale richiedono procedure di volta in volta adeguate alla situazione di misura. Ad esempio, nel caso di monitoraggio di muri di sostegno, l'aspetto più rilevante nell'installazione di celle di pressione totale all'interno di alloggiamenti nel calcestruzzo consiste nel posizionare il piatto di misura in modo perfettamente complanare con la superficie del muro di sostegno stesso. Questo accorgimento previene fenomeni di "arcing" (effetto arco) che possono inficiare le misure.

#### Installazione in roccia in galleria

L'installazione della cella deve essere assicurata in modo che l'accoppiamento con il materiale che la ingloba e che viene sottoposto a stress, sia perfetto.

Per installazioni in galleria le celle possono essere utilizzate sia per la misura di tensioni radiali che tangenziali, di seguito esponiamo la procedura di installazione in questi due casi.

Per la misura delle tensioni radiali, la cella deve essere posizionata al contatto roccia-rivestimento, il più vicino possibile alla superficie della roccia. La superficie di contatto roccia-cella deve essere preparata in modo che sia il più possibile piatta e, la cella posizionata su un sottile strato di malta applicato alla superficie piatta rocciosa. La cella quindi accoppiata alla roccia, deve essere fissata utilizzando come ancoraggio il telaio metallico saldato al contorno della cella stessa.

La parte superiore della cella andrà quindi ricoperta con un strato di malta onde evitarne il danneggiamento durante la messa in opera del rivestimento.

Per la misura delle tensioni tangenziali, la cella deve essere posizionata inglobandola nel calcestruzzo e sempre utilizzando il telaio metallico saldato al contorno della cella ancorarla o all'armatura o ai rinforzi metallici del calcestruzzo, o agli anelli di rinforzo della struttura, oppure mediante zeppe di legno fissate in appositi fori. La cella deve essere così fissata per evitare che la sua posizione cambi durante la fase di cementazione.

Qualora la cella venisse installata all'interno di un muro a gettata o, sulla superficie di una colonna di cemento, deve essere sempre assicurata e fissata all'armatura esistente.

Installazione dei tubi idraulici e dei punti di misura : il tubo idraulico che collega la cella al punto di misura, va installato in modo tale che dalla cella al punto di centralizzazione del terminale di misura sia fatto correre lungo una struttura di rinforzo (centina, rete o tubo di protezione) evitando stiramenti.

Conseguentemente dovrà essere fissato alla struttura stessa e protetto con un leggero strato di malta che ne eviti il danneggiamento durante la messa in opera del rivestimento.

Tutti i tubi di una sezione di misura dovranno essere poi raccolti in punto comodamente accessibile. Questo punto di raccolta deve essere installato in una nicchia ricavata lungo le pareti della galleria in corrispondenza della sezione di misura strumentata, e' consigliabile l'utilizzo di una scatola che protegga tutti i terminali di misura degli strumenti e che funga da pannello di centralizzazione.

#### Precompressione delle celle

Il perfetto accoppiamento delle celle di pressione nel punto di installazione e' influenzato da vari fattori, tra i quali le differenze di temperatura che si generano tra la cella ed il materiale che la ingloba e il processo legante tra i due nella fase di maturazione del cemento.

Per ristabilire un contatto perfetto, la cella deve essere pretensionata usando la pompa a pistone

Questa operazione va eseguita qualche giorno dopo l'avvenuta installazione dello strumento, dopo essersi assicurati che il cemento abbia fatto presa e la temperatura abbia raggiunto un valore pressoché costante.

A questo punto si potrà precaricare la cella, collegando il terminale volante collegato alla pompa a pistone alla valvola di pretensionamento posta a fianco del terminale di misura.

Durante il precarico della cella si dovrà leggere contemporaneamente la variazione in millimetri che provocherà l'ingresso all'interno dello strumento del liquido idraulico.

Al termine dell'operazione verrà eseguita un'ulteriore misura di controllo e riportata nel modulo di campagna, questo valore letto non può ancora essere considerato il valore iniziale, in quanto la procedura di precarico della cella ha provocato una perturbazione nel sistema e, sarà necessario attendere alcune ore prima della stabilizzazione. Conseguentemente si consiglia di eseguire una lettura (che sarà quella di "zero") il giorno successivo alla procedura di precarico.

## Celle di carico toroidali

### GENERALITA'

Le celle di carico sono strumenti adatti al controllo e la misura del carico agente su strutture e/o trasmesso in determinati punti delle stesse. Tale controllo è fondamentale per garantire la sicurezza di opere di sostegno sia provvisorie che permanenti.

### DESCRIZIONE

Le celle di carico si compongono generalmente di:

- un corpo in acciaio di forma toroidale, sensibilizzato con strain-gauges di tipo resistivo in numero variabile dimensionati per garantire una minore sensibilità ai carichi eccentrici, oppure riempito di olio ;
- una piastra in acciaio che permette una più omogenea ripartizione del carico sull'intero corpo della cella;
- un cavo elettrico di opportune caratteristiche che realizza il collegamento dello strumento all'unità di lettura.

Per diverse esigenze dell'impianto, possono essere utilizzate celle di carico di differente forma e dimensioni. Sotto carico la cella toroidale subisce una deformazione che viene rilevata dagli estensimetri, i quali variando il loro valore di resistenza, generano in uscita un segnale elettrico proporzionale al carico applicato.

Le celle vanno inserite nel punto di rilevazione del carico ponendo particolare cura affinché le due superfici d'appoggio della cella risultino piane e non deformabili così che il carico sia trasferito correttamente alla cella.

La superficie di contatto cella-parete deve essere perfettamente piana e per garantire una sufficiente rigidità è necessario che la cella di carico appoggi su una piastra d'acciaio di spessore opportuno e di diametro superiore a quello della cella.

Analogamente dalla parte opposta, per le stesse ragioni, viene installata una piastra di acciaio che garantisca una migliore ripartizione del carico. Nel caso di installazione con un bullone di ancoraggio, lo strumento sarà installato con la seguente procedura:

- 1) spianare e lisciare la superficie di contatto nell'intorno del foro predisposto per il tirante da strumentare scalpellando le asperità maggiori;
- 2) stendere un leggero strato di calcestruzzo onde garantire la planarità della superficie, attendere fino a che il cemento faccia presa; la cella di carico verrà posta in opera nel momento in cui si eseguirà il tensionamento del tirante.
- 3) prima di procedere alla messa in opera eseguire una misura di controllo della cella di carico, con la centralina, riportando il valore letto;
- 4) appoggiare la cella di carico alla superficie predisposta e installare la piastra di distribuzione se richiesta;
- 5) dopo aver collegato lo strumento alla centralina iniziare le operazioni di messa in tiro del bullone, valutando subito l'opportunità di regolarne la posizione onde garantirne la perfetta planarità e conseguentemente la perfetta distribuzione del carico;
- 6) procedere con la messa in carico fino al valore di progetto.

Si ricorda che successivamente alla tesatura del tirante si verifica un assestamento di tutto l'intero sistema che porta come risultato una diminuzione del valore di carico intorno al 10÷15%.

## **Deformometri a corda vibrante (barrette estensimetriche)**

### **GENERALITA'**

I deformometri a corda vibrante vengono utilizzati per la misura delle deformazioni nel calcestruzzo e in strutture come fondazioni, pali, ponti, dighe, gallerie.

Il deformometro a corda vibrante è progettato per essere inglobato nella boiaccia, nella malta e nel calcestruzzo.

Le deformazioni sono misurate, in direzione concorde alla direzione di installazione dello strumento, utilizzando il principio della corda vibrante: una porzione di filo di acciaio è tesa tra due estremi che sono resi solidali con il calcestruzzo.

Le deformazioni nel calcestruzzo provocano un movimento relativo tra i due estremi, alterando così lo stato tensionale nel filo di acciaio.

Questo cambiamento di tensione viene misurato come una variazione della frequenza di vibrazione del cavetto.

La lettura della frequenza di vibrazione è possibile attraverso una coppia di magneti localizzati vicino al filo di acciaio.

### **MODALITÀ DI INSTALLAZIONE**

I deformometri a corda vibrante sono forniti in barrette metalliche sigillate, generalmente lunghe 15 cm, contenenti un filo di acciaio teso, ancorato saldamente agli estremi e libero di vibrare all'interno della barretta.

I deformometri vengono fissati alla struttura da monitorare mediante il serraggio di viti che li rendono solidali con due blocchetti metallici di ancoraggio posti alle estremità delle barrette che vengono generalmente saldati alle pareti metalliche dalla struttura stessa.

E' consigliabile eseguire una verifica preliminare, del funzionamento prima dell'installazione collegando lo strumento all'unità di lettura ed osservando i valori restituiti.

I deformometri a corda vibrante possono anche essere montati sulle strutture in calcestruzzo o annegandoli direttamente nel getto o ancorandoli preventivamente a dei mattoni prefabbricati che vengono successivamente inglobati nella struttura.

Quando si monta il deformometro direttamente sulla struttura, bisogna evitare di sollecitare gli estremi dello strumento con forze che potrebbero danneggiarlo.

Gli strumenti possono anche essere fissati direttamente ai ferri di armatura. Le fascette di ancoraggio non devono in questo caso essere troppo serrate, per evitare che durante il getto nascano stati di tensionamento anomali che possano interferire con il corretto funzionamento della corda vibrante all'interno dell'astina.

Sarà anche opportuno accertarsi che il trasduttore mantenga l'orientamento desiderato dopo la fase di getto.

Un metodo alternativo a quello appena esposto è quello di cementare in forme preconfezionate con lo stesso materiale del getto lo strumento e di posizionare poi il mattone nella corretta posizione all'interno del getto stesso, avendo cura che ne diventi parte integrante.

## Sistemi di trasporto del segnale

Nella scelta dei sistemi di trasporto del segnale si devono privilegiare quei sistemi che garantiscano i più adeguati livelli di affidabilità in relazione con ogni specifica condizione di impiego.

### Trasmissione via cavo e/o fibra ottica

Il tipo di cavo più idoneo dovrà essere scelto in conformità a numerosi fattori: numero di canali da collegare, sezione del conduttore (problemi di cadute di tensione), condizioni ambientali (caratteristiche meccaniche), ecc.

Occorre inoltre distinguere il tipo di collegamento che viene richiesto:

- a. Collegamento sensore → cassetta di centralizzazione.

Si dovrà utilizzare un tipo di cavo con numero di conduttori che sarà funzione essenzialmente del tipo di trasduttore utilizzato e del tipo di condizionatore di segnale ad esso accoppiato.

- b. Collegamento cassetta di centralizzazione → UAD.

Nel caso in cui esista questo tipo di collegamento, per ridurre i costi di installazione e di fornitura, si potranno utilizzare cavi multiconduttori che raggruppino un certo numero di sensori con l'accortezza di utilizzare cavi sufficientemente standard in modo da renderli assolutamente intercambiabili con le altre soluzioni adottate.

I cavi, in generale, non dovranno possibilmente presentare giunzioni: le giunte sono ammesse solo nei casi in cui il sensore venga fornito con uno spezzone di cavo in uscita che necessariamente dovrà essere prolungato. In questo caso si dovranno utilizzare apposite muffole dotate di pressacavi in entrata ed in uscita. La giunzione dei conduttori dovrà avvenire mediante saldatura e isolando il tratto di giunta con termorestringente. La giunta dovrà essere resa stagna mediante colatura con resine sigillanti adatte all'ambiente.

I singoli cavi andranno opportunamente marchiati in modo indelebile così che siano facilmente riconoscibili. La marchiatura dovrà essere fatta sulle due teste del cavo, in corrispondenza di eventuali pozzetti rompitratta e, per tratte molto lunghe, ogni 50 metri. Si dovrà indicare, oltre la lunghezza del cavo, il codice del sensore, l'apparecchiatura collegata ed i morsetti utilizzati.

Il percorso dei cavi dovrà essere riportato su apposite planimetrie indicando il tipo di protezione meccanica adottata (conduit, ecc.), le eventuali giunte eseguite e le relative opere accessorie (pozzetti, scatole di giunzione).

Nella scelta del cavo si dovrà inoltre riservare particolare attenzione alle caratteristiche meccaniche dello stesso che saranno funzione del tipo di utilizzazione richiesto e dell'ambiente esterno. Le condizioni ambientali potranno, infatti, essere le più diverse: ad esempio, il cavo potrà essere immerso in getti di cls, essere a contatto con acque aggressive o con acque calde. Per ognuna di queste particolari condizioni si dovrà proporre il tipo di cavo più adatto fornendo opportuna documentazione che certifichi la capacità di operare in simili condizioni.

E' possibile utilizzare anche sistemi a fibre ottiche. In questo caso, considerando i maggiori costi di tali sistemi, si dovranno documentare gli effettivi benefici che l'utilizzo di questa tecnologia comporta sia in termini di qualità del segnale che di durata e di affidabilità della trasmissione stessa. La posa in opera di questi cavi dovrà essere realizzata a regola d'arte utilizzando tutti gli accorgimenti e le prescrizioni tecniche richiesti dalla tecnologia delle fibre ottiche.

## Apparecchiature di misura

Le apparecchiature di misura si possono dividere in:

- Apparecchiature di misura manuali
- Apparecchiature di misura automatiche

Tutte le apparecchiature, manuali ed automatiche, devono rispondere a precisi requisiti meccanici ed elettrici in modo da renderle compatibili sia con i sensori che ad esse dovranno essere collegati, sia con le Unità di Acquisizione Dati.

Alcuni strumenti richiedono necessariamente l'esecuzione delle misure in modo manuale; si pensi, ad esempio, alle tubazioni inclinometriche (quelle non dotate di sonde fisse) piuttosto che alle colonne assestometriche.

Nel totale della perizia dedicata al monitoraggio devono essere previsti i capitoli di spesa relativi alla gestione tecnica (letture, redazione di report, manutenzione, ecc.) e/o la fornitura deve comprendere le relative apparecchiature e sonde di misura.

In tutti i casi, ciascuno strumento di lettura dovrà essere conforme a idonei criteri di affidabilità, precisione di misura e robustezza meccanica.

### Apparecchiature di misura automatiche

Rientrano, in questo contesto, le cosiddette Unità di Acquisizione Dati (UAD).

Le UAD hanno lo scopo di raccogliere un certo numero di sensori posti in un'unica area, di eseguire le misure con frequenze prestabilite, di analizzare i dati ed emettere segnali di allerta al superamento di soglie prefissate e di memorizzare i dati al loro interno. Inoltre dovranno essere predisposte per essere collegate al centro di elaborazione secondo modalità nel seguito descritte.

Le UAD devono essere del tutto autonome, sia per quanto riguarda l'alimentazione che la scansione e la memorizzazione dei dati; devono perciò essere in grado di funzionare anche in mancanza del collegamento con un PC remoto.

I principali requisiti minimi che tali apparecchiature dovranno possedere sono elencati nei sottostanti punti:

- ♣ Un numero di ingressi analogici e di canali digitali sufficiente per la tipologia ed il numero di sensori da collegare;
- ♣ Possibilità di impostazione dei singoli canali via software o via hardware;
- ♣ Possibilità di impostazione di soglie d'allerta;
- ♣ Possibilità di acquisire dati in base ad un comando esterno od interno (trigger);
- ♣ Possibilità di acquisire i principali sensori disponibili oggi sul mercato, ad esempio: potenziometri, strain-gauges, termocoppie, termoresistenze;
- ♣ Possibilità di alimentazione, oltre che a 220 V monofase e batterie a secco a 12 V, tramite pannello solare e batterie tampone;
- ♣ Basso consumo mediante dispositivo di stand-by durante i tempi morti di acquisizione (pochi mA);
- ♣ Possibilità di poter essere montate in cascata su unico collegamento mediante indirizzamento;
- ♣ Temperature di funzionamento idonee ad installazioni in punti climaticamente severi;
- ♣ Porta seriale in uscita RS232 o RS422 opto - isolata per connessione locale o permanente a Personal o Host Computer, con possibilità di connessione in cascata con altre unità periferiche e trasmissione dati via RS422, loop di corrente o via modem e radio o cavo telefonico.

In relazione alla loro ubicazione, le apparecchiature devono essere contenute in robusti armadi ad adeguata tenuta stagna con pressacavi per i collegamenti elettrici in ingresso ed in uscita. La messa in opera dovrà avvenire in modo tale che le UAD siano facilmente ispezionabili, sia per effettuare eventuali scarichi dati, sia per la loro manutenzione.