

## MONITORAGGI ASSESTIMETRICI

### 1. INTRODUZIONE

*L'interazione terreno-struttura è un processo continuo che si sviluppa nel tempo, in conseguenza all'azione esercitata dalla struttura sul terreno di posa (sia durante le fase di edificazione che di esercizio), o a seguito del comportamento dei terreni stessi (intrinseco nella loro natura) sulla struttura, come ad esempio eventi sismici, variazione di livello di eventuali falde, etc.*

*I terreni presentano generalmente variabilità laterali e verticali, pertanto il controllo dell'effettivo comportamento delle opere insistenti sugli stessi costituisce il metodo più efficace per integrare la conoscenza delle caratteristiche dei terreni di fondazione, oltre la possibilità di verificare che il manufatto si comporti in maniera adeguata nella fasi di esecuzione e di esercizio. A tale scopo, la grandezza significativa da verificare è lo spostamento verticale, ovvero il cedimento o assestamento.*

*La conoscenza del cedimento, nel caso di rilevati, è importante per valutare lo stato di consolidamento del terreno di posa sia in fase di precarico che a carico definitivo.*

*Esistono vari sistemi e strumenti per eseguire tale verifica, basati su diversi principi di funzionamento e adatti a misure di cedimenti superficiali o profondi, in punti singoli o multipunto, manuali o automatici.*

### 2. STRUMENTI DI MISURA

Nel caso si voglia realizzare un impianto di monitoraggio fisso, i sensori assestimetrici di tipo idraulico risultano probabilmente i più adatti.

Essi si dividono in due principali tipologie, quelli con misura di pressione e quelli a vasi comunicanti.

Il circuito idraulico è saturato con una miscela di acqua e glicerina (in parti uguali) disareata sotto vuoto, caratterizzata da una densità pressoché costante al variare della temperatura e da una bassa tensione di vapore. Essa è inoltre chimicamente inerte al contatto con i materiali che costituiscono il sistema.

Per ambedue le tipologie di assestimetro, resta inteso che gli spostamenti tra i punti di misura sono da intendersi come relativi a quello di un riferimento

(reference); solo nel caso in cui quest'ultimo sia posizionato in un punto fisso e indisturbato, gli spostamenti relativi sono di fatto anche assoluti.

Le variazioni termiche non possono essere facilmente compensate utilizzando semplicemente il fattore di correzione termico, in quanto l'influenza derivante dal circuito è spesso preponderante.

Il metodo più sicuro per ovviare a detto problema consiste nell'eseguire una interpretazione statistica dei dati rilevati con frequenza oraria da un sistema di acquisizione automatico.

Operando in questo modo è possibile ottenere delle misure con risoluzione pari a 0,1mm e precisione del millimetro.

#### 2.1 Assestimetri idraulici con trasduttore di pressione per rilevato

Sono basati sulla variazione di pressione di una colonna di liquido in funzione dell'altezza.

Le differenze di quota nel tempo, tra il piano di posa del punto di riferimento assestimetrico (sito in zona indisturbata non inficiata dal carico apportato sul rilevato) ed il punto di misura, determinano variazioni di pressione idraulica. Esse possono essere misurate da trasduttori elettrici di pressione che producono un segnale elettrico proporzionale alla variazione di pressione avvertita.

Correlando detti segnali elettrici nel tempo, si ottiene la corrispondente variazione di quota relativa e di conseguenza il cedimento relativo (oppure assoluto) verificatosi in corrispondenza al punto di misura.

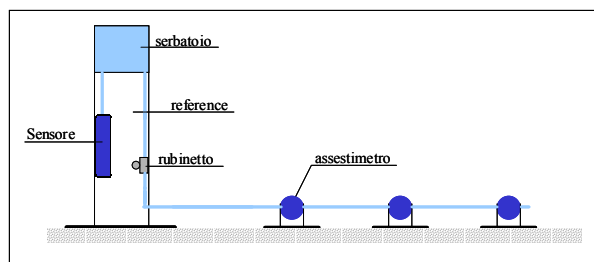


fig. 1

Ogni punto di misura (foto 1) è costituito da una piastra di supporto in acciaio zincato su cui è montato il sensore di misura provvisto dei raccordi per il



collegamento idraulico (per il tubo in polietilene) ed il cavo elettrico per trasmettere il segnale. Il tutto è coperto da un coperchio (anch'esso in acciaio zincato) a protezione del sensore e dei raccordi.



foto 1

La precisione del sistema ovviamente è legata al fondo scala del trasduttore di pressione; infatti utilizzando trasduttori molto sensibili ma con ridotto campo di misura, è possibile eseguire misure affette da un errore dell'ordine del millimetro. Invece, per misurare forti cedimenti, occorre utilizzare trasduttori con un fondo scala maggiore che risultano però avere una precisione sicuramente inferiore.

Pertanto il vantaggio di detto sistema è nella sua flessibilità che consente l'effettuazione di misure superficiali ed in profondità.

## 2.2 Assestimetri idraulici a vasi comunicanti

Questa tipologia di sensore (foto 3), anche definita livellometro, consiste in tazze livellometriche che vengono fissate direttamente su elementi verticali quali, per esempio, i prospetti degli edifici. Una volta posizionati, vengono collegati in serie con un tubicino idraulico flessibile.

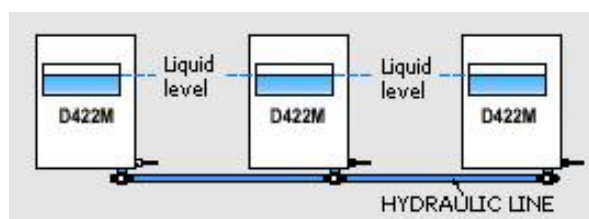


fig. 2

La variazione di quota di un livellometro, rispetto agli altri, causa l'innalzamento del fluido contenuto nelle altre tazze livellometriche; pertanto prendendo anche in questo caso una delle tazze come punto di riferimento è possibile calcolare i cedimenti differenziali degli altri punti.

Il livello del liquido contenuto nella tazza viene misurato con un sistema meccanico del tipo galleggiante-contrappeso collegato ad un trasduttore di

La *reference* (foto 2) è costituita da una colonnina in acciaio inox in cui è alloggiato il serbatoio contenente il liquido e un sensore di pressione analogo a quello dei punti di misura. Questo sensore misura la pressione del battente di liquido contenuto nel tubicino collegato al serbatoio.



foto 2

Sempre al serbatoio arriva il tubo che collega in serie tutti i sensori facenti parte della linea di misura.

Questa tipologia di impianto assestimetrico ha una velocità di risposta relativamente alta (dell'ordine di qualche minuto) e la distanza tra *reference* e punto di misura può raggiungere i 200 m.

posizione angolare, o pesando direttamente la quantità di fluido presente nel serbatoio.

Ad esempio, nel caso più semplice di in circuito realizzato con due sole tazze livellometriche, in conseguenza allo spostamento differenziale, l'assestimetro più in alto cederà liquido, quindi il livello nel suo serbatoio diminuirà, contemporaneamente il livello nell'altro andrà ad aumentare; automaticamente i trasduttori di peso rileveranno il nuovo assetto raggiunto.

La velocità di risposta di questo tipo di sensore è molto lenta perché, specie su circuiti lunghi, il tempo di stabilizzazione del livello del fluido nelle tazze richiede alcune ore.



foto 3



### 3. INSTALLAZIONE

Si descrive di seguito, la procedura di installazione e verifica di un impianto assestimetrico tipo, necessario a controllare i cedimenti del terreno costituente il piano di posa del nascente fabbricato<sup>1</sup>.



foto 4

I sensori assestimetrici di misura vengono posati direttamente sul magrone (costituito da *geomix*) nei punti indicati dal progettista, mentre la *reference* è fissata a terra per mezzo delle due flange poste alla base del contenitore a colonna, tramite dei tirafondi realizzati con tasselli ad espansione. Una volta ultimato il caricamento dell'impianto ed effettuate le dovute verifiche elettriche, gli assestimetri vengono solidarizzati al magrone coprendoli con malta cementizia.

La *reference* deve essere collocata in un punto che non risentirà dell'azione del sovraccarico sul terreno dovuto alla nascente struttura.

Bisogna inoltre fare attenzione che il punto corrispondente a metà serbatoio, sia più alto della quota del piano di posa dei singoli assestimetri.



foto 5

Una volta posizionati sensori e *reference*, si procede con la stesa del tubo idraulico che collega in serie tutti i

sensori (*reference* compresa). Detto tubo entra ed esce dal sensore collegandosi ai giunti conici autosigillanti. Sia il tubo idraulico, che il cavo di collegamento, devono essere protetti in apposite canalizzazioni per evitare rotture accidentali in fase di lavorazione delle carpenterie di fondazione. Oltre ad avere la possibilità di scorrere all'interno del *conduit* di protezione, vengono lasciati debitamente più lunghi del necessario per evitare lo strappo degli stessi in seguito al previsto abbassamento dei punti di misura.

Eventuali curve dovranno essere eseguite facendo attenzione a non strozzare sia il tubo idraulico che il cavo di collegamento elettrico; in quest'ultimo infatti è presente, oltre ai conduttori elettrici, anche un tubicino di compensazione barometrica che deve essere fatto uscire fuori terra.

Terminata la fase di posa, bisogna verificare che, a circuito scarico, tutti i sensori forniscano un segnale elettrico congruo.

Nel caso di sensori con trasmissione del segnale in corrente, a impianto vuoto, devono dare un valore compreso tra 2 e 4 mA. La misura di test può essere eseguita alimentando il singolo sensore con due batterie da 9 V in serie leggendo il valore della corrente in uscita semplicemente con un multimetro.



foto 6

Verificato che tutti i segnali sono congrui, si procede alla fase di caricamento del circuito idraulico.

Il riempimento dell'impianto può essere effettuato per caduta libera o in pressione con pompa o saturatore.

Il secondo metodo è sicuramente quello più efficace e fornisce risultati più validi.

Consiste nell'impiego di un contenitore detto saturatore, che viene in parte riempito con la miscela acqua-glicerina (può contenere fino a 20 l di liquido).

Una volta introdotto il liquido per caduta dalla tanica di trasporto, su un apposito attacco pneumatico, viene collegato un compressore portatile a batterie.

La pressione dell'aria immessa nel saturatore, spinge il liquido verso l'uscita e il flusso dello stesso attraverso l'impianto elimina l'aria contenuta sotto forma di bolle che tende a rimanere in corrispondenza alle zone di ristagno (giunti tubo-sensore).

<sup>1</sup> Una delle applicazioni più significative è stata fatta per il piano di posa della fondazione a platea dei due edifici a contorno del monumento *ARA PACIS* di Roma (foto 4-5-6-7).



Di seguito si descrive la procedura di carico dell'impianto idraulico.

1. La *reference* viene preventivamente riempita; per caduta si introduce il liquido nel serbatoio e si procede allo spurgo delle tubazioni interne (tubo di uscita liquido e tubo di collegamento sensore-serbatoio).
2. Il saturatore viene collegato, con uno spezzone di tubo impiegato per l'impianto, sull'ultimo assestometro del ramo rimuovendo il tappo terminale di chiusura (posizionandolo 20-30 cm più in alto rispetto ad esso).
3. L'estremità terminale del tubo che va collegato alla *reference* viene inserita in un recipiente, allo scopo di recuperare il liquido che, nella fase di spurgo dell'impianto, attraversa il circuito.
4. Verificato che la pressione del saturatore è compresa tra 100 e 400 kPa, si apre il rubinetto del saturatore, e si comincia a caricare l'impianto. È importante che il fluido fluisca lentamente per facilitare lo spurgo dell'aria in ogni parte e componente dell'impianto; come anzidetto la pressione interna del saturatore non deve mai risultare inferiore a 100 kPa e durante tutta la fase di carico si deve cercare di mantenere costante la pressione di caricamento. Con l'apposito manometro collocato sul compressore, il primo operatore verifica detta condizione. Contemporaneamente si agisce sui giunti a "T" dei vari sensori, con leggeri scuotimenti del tubo, allo scopo di agevolare la fuoriuscita della bolla d'aria che tende a rimanere altrimenti nel giunto. Si precisa che il punto critico, dove le bolle d'aria tendono a persistere, sono proprio i giunti. Quindi si lascerà defluire il liquido nell'impianto fino a quando, il secondo operatore presente all'estremità di uscita del liquido, non risconterà più visivamente la presenza di bolle d'aria.
5. Quando l'impianto, a giudizio del secondo operatore, è considerato spurgato, si può innestare il tubo con il liquido che continua a defluire sul giunto della *reference*, la quale, essendo il rubinetto aperto, lascerà anch'essa defluire il liquido contenuto nel serbatoio. Quasi simultaneamente all'innesto del tubo alla *reference*, il primo operatore chiuderà il rubinetto del saturatore lasciando così l'impianto in pressione. Con questa operazione si evita che nella fase di innesto del tubo dell'impianto alla

*reference*, si formi una bolla d'aria all'interno del giunto d'innesto o nel rubinetto della *reference*.

6. Per rimuovere il saturatore, sarà sufficiente scollegare dall'ultimo assestometro lo spezzone di tubo impiegato per il carico, lasciando defluire il liquido dall'assestometro e innestando rapidamente il tappo di chiusura; in questo modo, defluendo il liquido, si eviterà l'ingresso di aria nell'impianto.

Terminata la fase di caricamento, è buona norma attendere una/due ore e ripetere la procedura sopra descritta. Questo perché all'interno del tubo dell'impianto rimangono, al primo carico, delle microbolle d'aria che dopo qualche tempo tendono a unirsi formandone di più grandi e quindi visibili. Con un secondo passaggio di fluido nell'impianto si ha una maggiore sicurezza di aver eliminato le eventuali bolle d'aria che si sono riformate.



foto 7

Anche in questo caso si lascia defluire una quantità di liquido superiore a quella necessaria a saturare l'impianto.

Ad impianto carico, i valori forniti da ciascun assestometro (se perfettamente posizionati sullo stesso piano della *reference*) devono essere nell'intorno di 4-5 mA (nel range tra 4 e 20 mA).

Quando tutte le verifiche risultano soddisfatte, è possibile coprire gli assestometri e le canalizzazioni con una malta di cemento che avrà lo scopo di ulteriore protezione di tutto l'impianto.

Quindi si potrà procedere con le opere di carpenteria e di realizzazione dell'opera che costituirà il sovraccarico sul rilevato posto sotto controllo.

#### 4. ESECUZIONE DELLE MISURE

Un impianto così realizzato, viene collegato ad un sistema di acquisizione dati automatico che provvede ad alimentare il sensore ed acquisirne il segnale di uscita.

Per ridurre l'effetto termico sull'impianto, è consigliato effettuare le misure alla stessa ora del giorno, rilevando contemporaneamente la temperatura; in questo modo è



possibile correggere eventualmente le misure in fase di elaborazione.

Tutti i dati registrati, vengono quindi elaborati tenendo conto del fattore di calibrazione indicato su ogni

certificato che accompagna il relativo sensore e restituiti in forma grafica.

Dall'analisi di detti grafici si possono rilevare eventuali movimenti di cedimento del rilevato.

## 5. ELABORAZIONE DELLE MISURE

Secondo la tipologia del sensore, le misure possono essere in tensione ( $mV$ ) o in corrente ( $mA$ ) e vengono convertite in mm usando il fattore di sensibilità dello strumento riportato sul certificato di taratura fornito dalla casa costruttrice già in funzione del liquido acqua-glicericica che ha un peso specifico di  $1,1555 \text{ kg/m}^3$ .

Il fattore di sensibilità è un numero per il quale si deve dividere il valore elettrico misurato per ottenere una grandezza in mm, pertanto:

$$D = L/S$$

Dove "D" è il cedimento in mm, "L" la lettura elettrica e "S" il fattore di sensibilità.

Per ottenere una maggiore precisione delle misure, invece di usare come fattore di sensibilità il numero "S", che deriva da una interpolazione lineare dei dati di taratura, si può far ricorso ad una interpolazione polinomiale ottenendo un'equazione del tipo:

$$D = (L^2 \times A) + (L \times B) + C$$

Dove "A", "B" e "C" sono i fattori di conversione polinomiale.

Una volta convertite le misure in mm, è possibile calcolare il cedimento differenziale tra reference e punto di misura assestometrico, utilizzando la seguente relazione:

$$\Delta H = (D_{es} - D_0) - (D_e - D_0)$$

dove "D<sub>es</sub>" è il cedimento misurato dall'assestometro in fase di esercizio, "D<sub>e</sub>" è il cedimento misurato dalla reference e "D<sub>0</sub>" è il valore di zero relativo all'assestometro e alla reference in esame (rilevato a impianto scarico).

Avendo peraltro a disposizione il dato di temperatura corrispondente alla misura di cedimento, è possibile effettuare una correzione della misura secondo la seguente relazione:

$$L_c = L - 0.018 \Delta T$$

Dove "L<sub>c</sub>" è la misura in mm corretta e "ΔT" è la differenza di temperatura con il relativo segno, tra quella di riferimento di 21°C e quella misurata.

In ogni caso, per eliminare da ciascun circuito gli effetti termici giorno-notte, bisogna adottare un'analisi statistica elaborando i dati con una regressione polinomiale.

Il cedimento differenziale "ΔH" calcolato in questo modo tra il punto di riferimento ed il punto di misura all'istante i-esimo, si può confrontare con gli altri precedentemente calcolati per valutare il comportamento dal punto di vista dei cedimenti differenziale nel tempo.



# ESSEBI S.r.l.

Servizi e sistemi di acquisizione dati in campo  
meccanico, civile ed architettonico

Monitoraggi statici e dinamici

Indagini a carattere non distruttivo

[www.essebiweb.it](http://www.essebiweb.it)

[info@essebiweb.it](mailto:info@essebiweb.it)

☎ 06/78.39.45.06

☎ 06/78.72.70

Via C. Porzio, 3 – 00179 Roma