

## **INDICE**

1. PREMESSA .....	2
2. IL SISTEMA DI MONITORAGGIO .....	3
3. LE TECNOLOGIE PER IL MONITORAGGIO .....	5
3.1 Terreni e scavo.....	5
3.2 Edifici in adiacenza .....	7
4. METODOLOGIE DI LETTURA DELLA STRUMENTAZIONE.....	11
5. INSTALLAZIONE SENSORI E CABLAGGI ELETTRICI .....	14

## **1. PREMESSA**

La presente relazione sul *Monitoraggio dei manufatti pubblici e privati* correda il progetto definitivo redatto dal Concorrente nell'ambito della Procedura aperta di affidamento del progetto esecutivo ed esecuzione dei lavori di riqualificazione stradale e funzionale degli assi stradali di Via Galileo Ferraris, Via Breccie a S. Erasmo, Via E. Gianturco e Via Nuova delle Breccie”.

La stessa, come richiesto nella relazione geologica a base di gara, costituisce un primo studio – schema di monitoraggio in cui si illustrano i principi e le tecnologie di monitoraggio sugli edifici ricadenti nell'intorno delle aree di intervento nonché le modalità di trasmissione e lettura dei dati e l'installazione delle apparecchiature per la sua realizzazione.

## 2. IL SISTEMA DI MONITORAGGIO

Come è ben noto, la realizzazione di una qualsivoglia opera interrata, sia essa una fognatura che richiede l'esecuzione di uno scavo a cielo aperto o una galleria vera e propria, è sempre accompagnata da variazioni dello stato tenso - deformativo del terreno nell'intorno del cavo.

E' altresì noto che, in linea di principio, l'entità e l'estensione della perturbazione indotta dallo scavo, che si riflettono direttamente anche sul valore delle sollecitazioni agenti sui rivestimenti e sulle opere di contenimento, nonché sugli effetti, diretti ed indiretti, indotti su strutture ed infrastrutture adiacenti, dipendono da molteplici fattori, fra i quali possono menzionarsi: le dimensioni e la geometria della sezione trasversale dello scavo o della cavità; la profondità; le caratteristiche geotecniche dei terreni interessati; l'eventuale presenza della falda idrica; la metodologia di scavo impiegata; le caratteristiche dei sostegni; l'eventuale manifestarsi nel terreno di fenomeni differiti nel tempo che possono determinare, anche dopo il completamento dell'opera, l'insorgere di ulteriori deformazioni.

Sebbene nel caso specifico si siano individuate metodologie esecutive che consentono un effettivo ed efficace controllo delle possibili deformazioni indotte dalle operazioni di scavo, tenuto conto che in fase di progettazione non è comunque possibile definire in modo preciso l'effettiva influenza di tutti i suddetti fattori, si è prevista anche l'installazione di una idonea strumentazione attraverso la quale controllare opportunamente il comportamento deformativo dei terreni e soprattutto quello dei principali edifici e strutture in genere presenti nell'intorno delle aree interessate dalla realizzazione delle fognature in oggetto.

In base alle misurazioni, e tenuto conto di opportuni valori di soglia dei parametri critici, possono così evidenziarsi, con adeguato anticipo, eventuali anomalie o situazioni di potenziale pericolo che impongono l'esecuzione di opportuni interventi integrativi, ovvero l'adozione di metodologie esecutive differenti da quelle normalmente impiegate.

Le principali finalità del sistema di monitoraggio da adottare possono essere quindi così riassunte:

- 1) controllare lo stato tenso - deformativo del terreno nell'intorno degli scavi;
- 2) verificare la sicurezza degli scavi durante la costruzione delle opere;
- 3) fornire indicazioni sull'adeguatezza delle tecniche costruttive adottate;
- 4) valutare la rispondenza dell'effettivo comportamento dell'ammasso alle ipotesi progettuali.

Il "monitoraggio" sarà composto essenzialmente dalle seguenti fasi tipiche:

- 1) la misurazione degli stati deformativi e/o campi di spostamento attraverso l'utilizzo di tecnologie all'avanguardia;
- 2) la trasmissione dei dati rilevati nella sede di lettura ed elaborazione;
- 3) l'interpretazione attraverso software specifici dei dati numerici come indicatore della situazione statica e dell'efficienza dei complessi strutturali.
- 4) La redazione di rapporti periodici comprendenti:
  - planimetrie e/o prospetti con l'ubicazione dei caposaldi installati e delle lesioni strumentate;
  - tabelle contenenti i valori rilevati e le loro variazioni rispetto alla lettura iniziale di riferimento;
  - grafici temporali delle variazioni di quota, delle variazioni di apertura e delle variazioni di temperatura ad infrarossi avente risoluzione 0,1 °C.

I principali parametri che occorre porre sotto osservazione sono pertanto:

- 1) spostamenti delle pareti del cavo e del terreno circostante;
- 2) quota piezometrica;
- 3) cedimenti e rotazioni degli edifici e delle strutture circostanti;
- 4) ampiezza di eventuale lesioni preesistenti;
- 5) temperatura dell'aria.

L'insieme di tali processi, quindi, fornirà in tempo reale informazioni riguardanti lo stato di salute dei manufatti posizionati nell'intorno dell'area di intervento e contestualmente consentirà di stabilire se i complessi strutturali, in seguito alle lavorazioni previste, risultano ancora sicuri attraverso la conferma degli stati di deformazione e di sollecitazione registrati nelle operazioni di monitoraggio preliminari.

### 3. LE TECNOLOGIE PER IL MONITORAGGIO

L'impianto di monitoraggio verrà articolato come segue: in base alla tipologia di costruzione dell'opera, alla vastità dell'area, alla presenza degli edifici in adiacenza ed alla loro ubicazione, nonché in base all'andamento piano – altimetrico, sono state individuati una serie di parametri da porre sotto osservazione, suddivisi per ambito di intervento, e cioè:

#### 1) Terreni e Scavo:

- *Entità e direzione di eventuali movimenti del terreno, in adiacenza allo scavo;*
- *Escursione della superficie piezometrica o dei livelli idrici sotterranei.*

#### 2) Edifici in adiacenza:

- *Spostamenti relativi tra eventuali fessure presenti.*
- *Inclinazioni o rotazioni legate ad eventuali cedimenti differenziali delle fondazioni.*
- *Livello di vibrazioni indotte dalle fasi esecutive di costruzione dell'opera.*

In base a tali parametri, quindi, verranno installati idonei strumenti, i quali saranno collegati ad un sofisticato sistema di acquisizione dei dati per la susseguente valutazione ed interpretazione.

I sensori di cui si prevede la posa in opera sono pertanto suddivisi per ambito di intervento (Terreni ed Edifici adiacenti) e, di seguito, se ne descrivono le relative applicazioni ipotizzate per il presente progetto.

#### 3.1 Terreni e scavo

Per quanto riguarda il monitoraggio dei terreni e dello scavo, si ipotizza la posa di strumenti di misura per il controllo degli spostamenti del terreno negli immediati intorno dello scavo, oltre che al controllo dell'andamento nel tempo della superficie piezometrica, sempre nell'area circostante l'opera da realizzare.

Lungo la tratta dei collettori si ipotizza l'installazione quindi sia di tubazioni inclinometriche sia di tubi piezometrici tipo "Casagrande", per la valutazione ed il controllo nel tempo dei parametri citati. Per entrambe le tipologie di strumenti sono da eseguire apposite perforazioni, di piccolo diametro (tipicamente 130 mm).

- **Tubazione inclinometrica** per monitorare eventuali spostamenti orizzontali degli strati di terreno immediatamente retrostanti la palificata, con passo di misura di 500 o 1000 mm: ciò significa che il terreno potrà essere monitorato ogni metro o ogni mezzo metro lungo tutta la verticale. Si prevede che la profondità di ogni tubazione arrivi almeno a 5 metri al di sotto della quota di posa dei diaframmi.



Fig. 1 – Esempio di boccaforo di tubo inclinometrico

- **Tubazione piezometrica**, tipo Casagrande, per la misura della variazione nel tempo della superficie piezometrica o dei livelli idrici presenti nel sottosuolo.



Fig. 2 – Cella piezometrica tipo “Casagrande”

### 3.2 Edifici in adiacenza

Durante i lavori fognari, i fabbricati prossimi agli scavi dovranno essere monitorati nel tempo.

Su alcuni punti, scelti in accordo con il DL, il RUP e le Proprietà Condominiali, saranno installati gli strumenti di seguito elencati:

- ***inclinometri biassiali da parete*** (Fig. 3) posti in maniera solidale alle strutture portanti di ogni fabbricato monitorato. Per ognuno di essi, in base alla tipologia costruttiva ed alla sua grandezza, si ipotizza l'installazione di almeno due sensori per il monitoraggio delle inclinazioni della struttura a cui sono collegate, posizionate preferibilmente sui lati verso l'area di intervento.

L'obiettivo è quello di verificare eventuali rotazioni e/o cedimenti differenziali che i fabbricati potrebbero subire durante le attività di realizzazione dei collettori. Lo strumento è di tipo elettrico biassiale e, quindi, la variazione di inclinazione misurata dal sensore su ogni asse viene convertita in un segnale elettrico direttamente proporzionale.

Sul cavo elettrico in uscita viene misurata nel tempo l'eventuale variazione di inclinazione dello strumento e quindi della struttura ad esso solidale.



Fig. 3 – Inclinometro da parete installato su una struttura in CLS

- **misuratori di giunto elettrici monoassiali** (Fig. 4) con fondo scala da 50 mm, posti in opera a cavallo di eventuali fessure già esistenti. L'obiettivo è quello di misurare le eventuali variazioni di spostamento a cavallo delle fessure ai lati delle quali avviene il fissaggio del sensore, secondo una direzione ortogonale alla lesione.

Questo tipo di strumento potrà essere immediatamente montato anche in caso di eventuali fessure di nuova creazione.

Ogni misuratore è formato da un corpo cilindrico, contenente il sensore e protetto in un "case" pressofuso. Il supporto con il sensore viene solidarizzato ad un lato della lesione, mentre il riscontro su cui batte l'asta in acciaio del sensore elettrico verrà fissato al lato opposto. Ogni variazione o spostamento reciproco verrà seguita dall'asta di scorrimento e convertita dal sensore in un segnale elettrico direttamente proporzionale.

Logicamente è necessaria la presenza della lesione per poter installare questo strumento. A tal uopo è necessario eseguire dei **Testimoniali di Stato** preventivi alla fase di costruzione dell'opera, in modo da individuare da subito eventuali lesioni già esistenti su cui poi poter focalizzare i controlli.

Il quadro della prestazioni dei Testimoniali di Stato può essere così riassunto:

- 1) individuazione catastale dell'immobile sia descrittiva che planimetrica;
- 2) sopralluogo;
- 3) ripresa fotografica dei locali dell'unità immobiliare con almeno 4 fotografie a vano;
- 4) riempimento di una scheda d'analisi su modello predefinito, per l'unità immobiliare con allegate le fotografie e la planimetria dell'immobile analizzato, con indicati i punti di ripresa fotografica;
- 5) attribuzione alle riprese fotografiche di data certa mediante un apposito ufficio comunale, che riceverà anche copia della documentazione;
- 6) restituzione dell'elaborato al cliente.

Anche i misuratori di giunto sono elettrici e le misure verranno eseguite direttamente tramite il cavo elettrico.



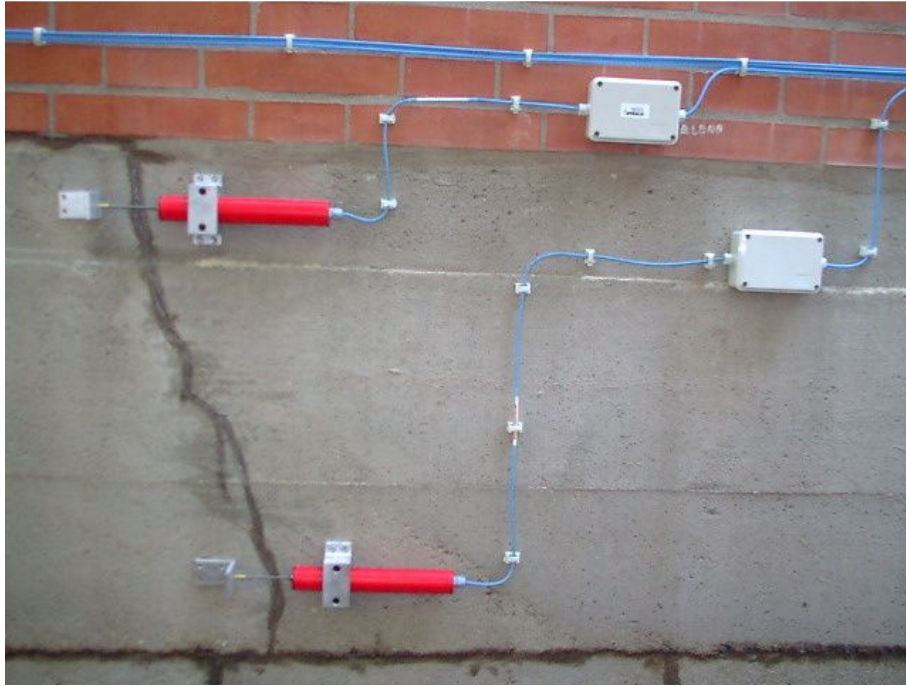


Fig. 4 – Misuratori di giunti elettrici a cavallo di una lesione

- **Accelerometri triassiali** per la misura delle vibrazioni indotte sulla struttura da parte delle fasi costruttive del collettore (Fig. 5). L'obiettivo è la misura dei livelli di vibrazione e la successiva correlazione ai livelli normativi attualmente esistenti in Italia in materia di disturbo alle persone ed alle strutture, in accordo a:
  - **Norma UNI 9916** relativa alla valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica;
  - **Norme UNI 9614 e UNI 11048**, relative alla misura delle vibrazioni negli edifici ed ai criteri di valutazione del disturbo arrecato alle persone.

In generale, gli accelerometri sono strumenti che si utilizzano per valutare le vibrazioni indotte su una qualsiasi struttura o opera civile sottoposta a vibrazioni legate ad eventi naturali, ad esempio una scossa sismica, o a vibrazioni di origine non naturale, come per esempio quelle legate alla costruzione di collettori fognari.



*Fig. 5 – Accelerometro triassiale: esempio di applicazione a terra*

Il suo funzionamento è basato sulla combinazione di tre sensori accelerometrici monoassiali, disposti in un unico “case” e lungo gli assi di una terna ortogonale, in modo da rilevare le vibrazioni indotte sul punto di misura lungo i tre assi nello spazio.

Le misure vengono eseguite automaticamente, con una apposita centralina che viene collegata ai cavi in uscita dal “case” (tre coppie schermate per i dati ed una coppia per l’alimentazione).

#### **4. METODOLOGIE DI LETTURA DELLA STRUMENTAZIONE**

Per quanto riguarda l'esecuzione delle misure, esse verranno eseguite da parte di un tecnico specializzato; una postazione con un PC in cantiere sarà il sito fisico cui giungeranno tutte le misure eseguite ed in cui verranno eseguite tutte le successive elaborazioni per la redazione di appositi Report da sottoporre ai Progettisti ed alla Direzione Lavori.

In dipendenza della tipologia di strumenti in campo, le misure si suddividono in due categorie:

- **Misure sui tubi inclinometrici e piezometrici**

Sulle sezioni individuate per la posa dei tubi inclinometrici e piezometrici verranno effettuate misure mediante tecnico il quale, mediante centraline e sonde portatili, esegue misure cadenzate.

Il periodo previsto per l'esecuzione delle misure è legato al periodo di costruzione dell'opera.

La cadenza di esecuzione delle misure può, in questa fase, stimarsi di una misura ogni settimana, su ognuna delle sezioni individuate.

Tale cadenza potrà comunque subire variazioni, nel senso che, in caso di rilevamenti di spostamenti in atto potrà essere infittita, mentre, viceversa, nel caso che non ci siano rilevanti variazioni o in caso di fermo lavori, la stessa cadenza potrà essere diradata.

Alla fine di ogni tornata di misure, o a cadenza diversa se concordata, verrà prodotto un apposito report con il riepilogo delle misure eseguite, le variazioni assolute e soprattutto le variazioni rispetto alla misura di zero ed alle misure precedenti.

Nel caso del tubo inclinometrico verrà fornita la direzione e l'entità degli eventuali spostamenti misurati negli strati di terreno interessati, mentre la variazione della superficie piezometrica sarà data sia come distanza dal boccaforo che come quota assoluta sul livello del mare.

- **Misure sugli strumenti installati sui fabbricati**

Per arrecare il minor impatto e fastidio possibile alle proprietà, tutti gli strumenti in opera saranno di tipo elettrico. Gli stessi poi saranno collegati ad una Unità di Acquisizione Dati (UAD), che provvede autonomamente a registrare i dati dei sensori ad essa collegati.

Mediante un modem presente all'interno della UAD, il tecnico si collega, direttamente all'Unità di Acquisizione Dati, periodicamente dalla postazione presente in cantiere per il "download" e l'analisi dei dati.

È necessario soltanto collegare la UAD ad una normale presa di alimentazione elettrica. Nell'elaboratore presente in cantiere verrà installato un apposito software di elaborazione e gestione dei dati che verrà appositamente "customizzato" per l'impianto oggetto della presente.

Tramite comode finestre a scomparsa presenti nel menu del software, si potrà accedere alle caratteristiche tecniche del singolo sensore evidenziato.

Un'apposita icona, infine, permette di esportare tutti i dati evidenziati in un foglio di lavoro EXCEL®, in modo che l'utente possa utilizzarli secondo le proprie finalità.

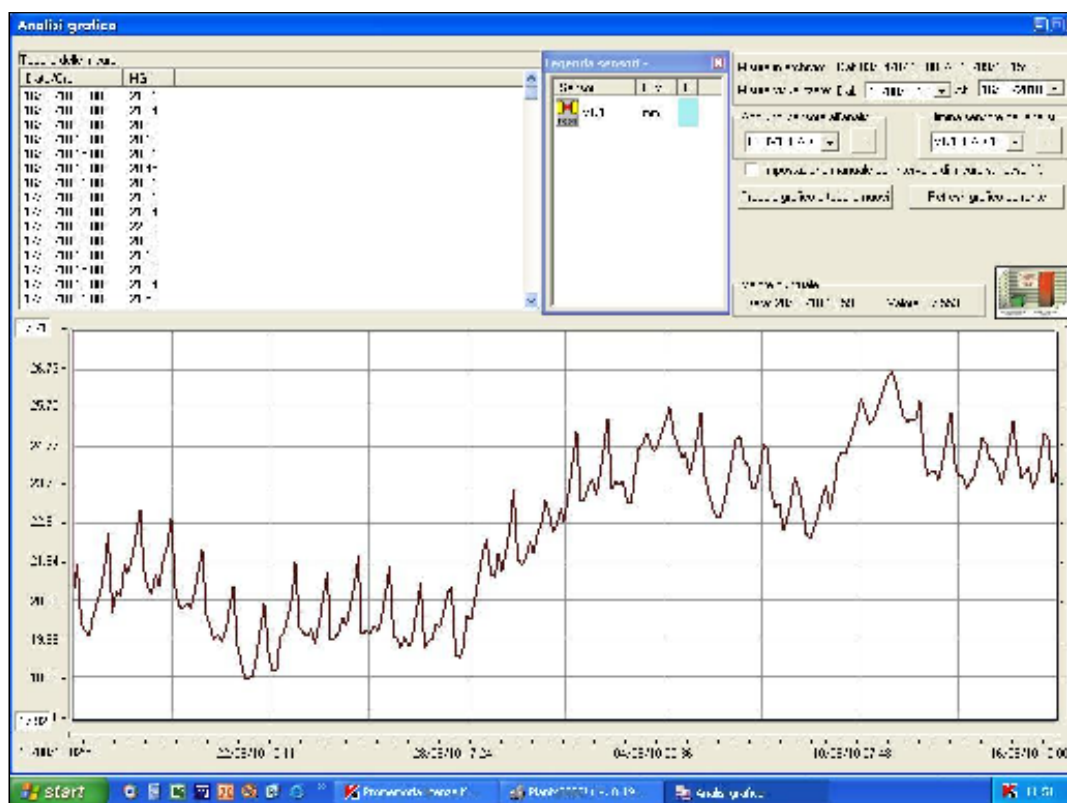


Fig. 6 – Quadro cronologico di sensori - Esempio 1

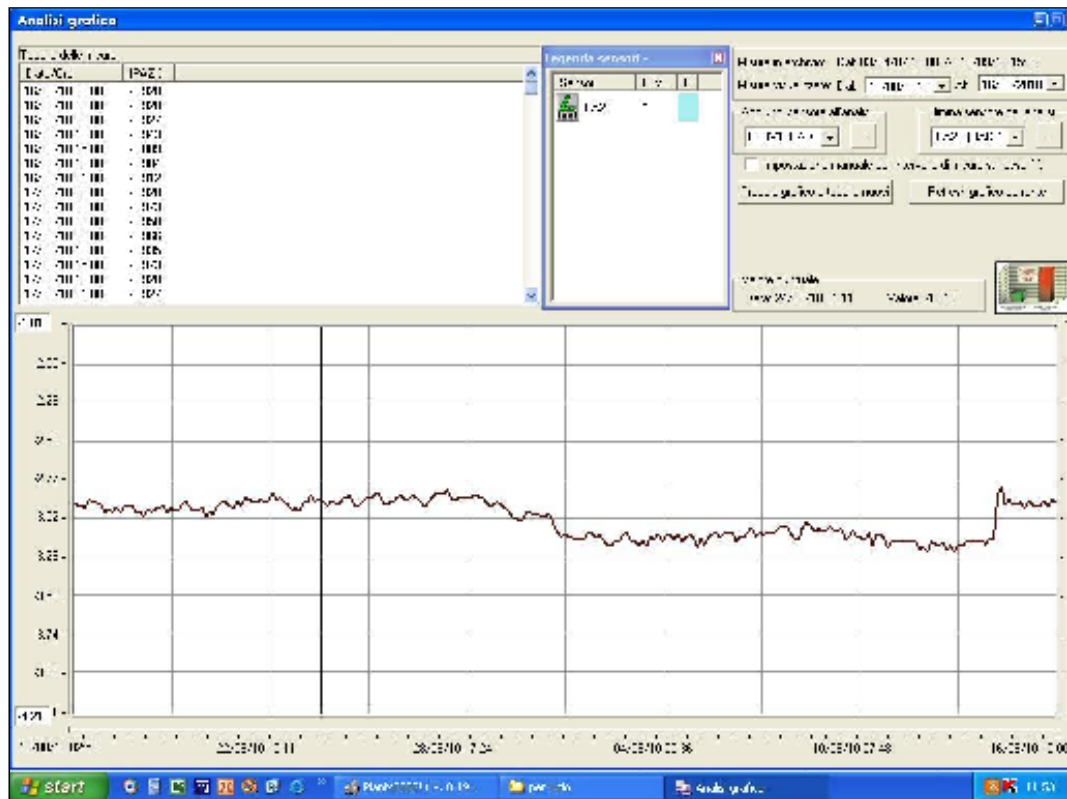


Fig. 7 – Quadro cronologico di sensori - Esempio 2



Fig. 8 – Unità di Acquisizione Dati



## **5. INSTALLAZIONE SENSORI E CABLAGGI ELETTRICI**

Tutti gli strumenti di cui si prevede la posa in opera sugli edifici sono strumenti di tipo elettrico; per ognuno di essi vi è una corrispondenza diretta, lineare e proporzionale tra l'uscita elettrica registrata dal sistema di acquisizione dati (grandezza elettrica) ed il parametro misurato (grandezza fisica).

La corrispondenza viene calibrata, nei laboratori, in fase di taratura dello strumento; nel corrispondente certificato vi è riportato l'esito della prova di taratura e collaudo, mentre all'interno del software già viene inserito l'algoritmo che relaziona la grandezza elettrica con quella fisica, in modo da avere sia la misura letta in unità ingegneristiche che il relativo e corrispondente valore in unità elettrica.

Tutti gli strumenti presentano in uscita un segnale elettrico in corrente standard industriale 4 – 20 millAmpere (mA); ciò significa che, per ogni strumento, il segnale di 4 mA corrisponde al minimo fondo scala, mentre la misura di 20 mA corrisponde al massimo fondo scala; così, quindi, per esempio, per gli inclinometri con fondo scala da  $-10^\circ$  a  $+10^\circ$ , la misura di 4 mA corrisponde a  $-10$  gradi dalla verticale, mentre 20 mA corrisponde a  $+10$  gradi dalla verticale, e ciò per ognuno dei due assi.

Lo stesso vale per gli altri strumenti elettrici, con la differenza che il parametro misurato è un altro; ad esempio, un misuratore di giunti con fondo scala da 0 a 50 mm, la lettura di 4 mA corrisponde a 0 mm, mentre la lettura di 20 mA corrisponde a 50 mm.

Le variazioni rispetto alla misura iniziale (misura di zero) daranno le indicazioni sulle variazioni della grandezza misurata.

Come ultima indicazione, si conferma che i cavi elettrici tra i sensori montati sulla struttura e la Unità di Acquisizione Dati verranno fissati nella migliore posizione ma in modo da non arrecare alcun disturbo alle strutture oggetto di monitoraggio.