

# L'importanza del monitoraggio nella fase progettuale e realizzativa delle opere

**Dott. Ing. Quintilio Napoleoni**

Il **monitoraggio** nella costruzione di un'opera è, per il progettista, un obbligo di legge o una risorsa progettuale?

- Nel primo caso si deve comprendere quali siano i suoi requisiti minimi al fine di rispettare le prescrizioni.
- Nel secondo caso si deve capire quali siano i vantaggi che possono essere ottenuti dal progettista in termini di sicurezza durante la costruzione ovvero di possibilità di ottimizzare (sempre in sicurezza!) il progetto.

## NTC 08 punto 6.2.5 MONITORAGGIO DEL COMPLESSO OPERA – TERRENO

“Il monitoraggio del complesso opera-terreno e degli interventi consiste nella installazione di un’appropriata strumentazione e nella misura di grandezze fisiche significative quali:

- spostamenti,
- tensioni,
- forze
- pressioni interstiziali

prima, durante e/o dopo la costruzione del manufatto.

Il monitoraggio ha lo scopo di verificare la corrispondenza tra le ipotesi progettuali e i comportamenti osservati e di controllare la funzionalità dei manufatti nel tempo. Se previsto, il programma di monitoraggio deve essere definito e illustrato nella **relazione geotecnica.**”

## NTC 08 punto 6.2.5 MONITORAGGIO DEL COMPLESSO OPERA – TERRENO

“Nell’ambito del **metodo osservazionale**, il monitoraggio ha lo scopo di confermare la validità della soluzione progettuale adottata o, in caso contrario, di individuare la più idonea tra le altre soluzioni previste in progetto.”

## **NTC 08 punto 6.2.4 IMPIEGO DEL METODO OSSERVAZIONALE**

“Nei casi in cui a causa della particolare complessità della situazione geotecnica e dell’importanza e impegno dell’opera, dopo estese ed approfondite indagini permangano documentate ragioni di incertezza risolvibili solo in fase costruttiva, la progettazione **può essere basata** sul metodo osservazionale”.

Si può quindi affermare che **il monitoraggio di opere complesse**, come ovviamente possono essere gli scavi in ambiente urbano, **sia un obbligo di legge**, ma anche **una importante risorsa progettuale**

## NTC 08 punto 6.2.4 IMPIEGO DEL METODO OSSERVAZIONALE

Nell'applicazione di tale metodo si deve seguire il seguente procedimento:

- devono essere stabiliti i limiti di accettabilità dei valori di alcune grandezze rappresentative del comportamento del complesso manufatto-terreno;
- si deve dimostrare che la soluzione prescelta è accettabile in rapporto a tali limiti;
- devono essere previste soluzioni alternative, congruenti con il progetto, e definiti i relativi oneri economici;
- deve essere istituito un adeguato **sistema di monitoraggio in corso d'opera**, con i relativi piani di controllo, tale da consentire tempestivamente l'adozione di una delle soluzioni alternative previste, qualora i limiti indicati siano raggiunti.

## **Come costruire un piano di monitoraggio:**

- **Perché ?** Il monitoraggio deve essere inserito in un modello di interazione terreno-struttura
- **Cosa e Dove ?** Le grandezze da misurare devono essere funzionali a comprendere il fenomeno
- **Come ?** Gli strumenti e le tecniche di misura devono essere adeguati al problema
- **Quando ?** Prima, durante e dopo i lavori (frequenza delle misure)
- **Chi lo farà?** Professionalità nella gestione della fase di misura
- **Chi lo usa?** Capacità di gestione dell'informazione e delle azioni correttive da adottare

## **Piano di monitoraggio: Perché ?**

L'importanza del piano di monitoraggio non consiste nell'escludere l'insorgere di cedimenti al contorno dell'opera o di qualsivoglia interferenza (non serve solo a tranquillizzare le persone!), ma nel controllarne l'entità e l'evoluzione e garantire che le ipotesi progettuali adottate nella progettazione siano effettivamente riscontrate durante la fase di esecuzione. Tale controllo garantisce il costruttore, il committente, il concessionario e i proprietari degli edifici adiacenti, in quanto verifica le ipotesi progettuali in scala reale e, in caso di comportamento anomalo rispetto ai valori attesi, è in grado di allertare per tempo la DL fornendo al contempo delle soluzioni strutturali o gestionali (già previste nel piano stesso) da adottare che siano preordinate e congruenti con il progetto



## **Piano di monitoraggio: Perché ?**

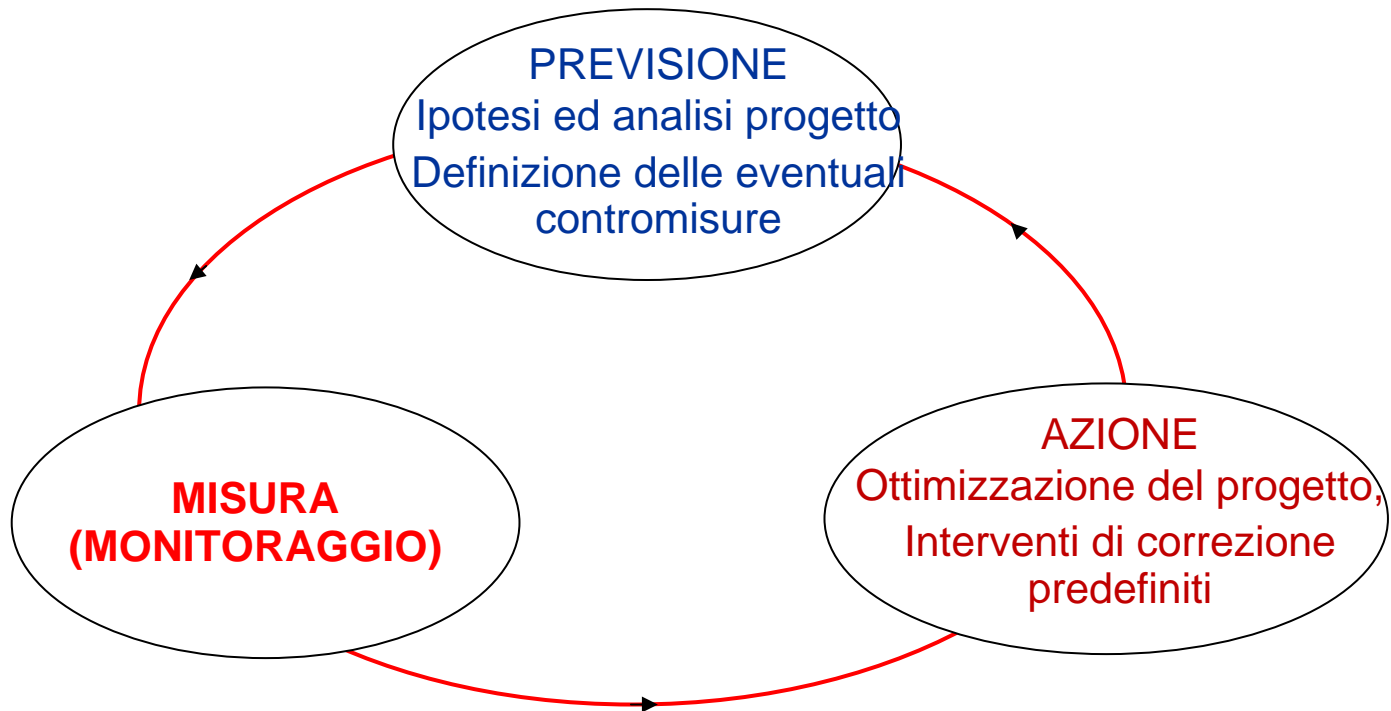
- Un monitoraggio consiste in un insieme organico di osservazioni (qualitative e quantitative) eseguite su di un fenomeno di interesse
- Per misurare è necessario un modello del fenomeno (ad esempio un modello di interazione terreno-struttura)
- Il modello influenza l'apparato sperimentale, la scelta dello strumento da usare e la procedura di esecuzione delle misure
- La definizione del modello e delle misure (tipo e modalità) richiede la corretta e completa interpretazione del fenomeno da osservare
- Non esistono modelli migliori o peggiori ma solo modelli più o meno adatti/efficienti/efficaci nel rappresentare, nell'ambito della variabilità delle grandezze interessate, il comportamento delle opere in vera grandezza

## **Piano di monitoraggio: Perché ?**

- Il modello di interazione è frutto dell'applicazione di schematizzazioni
- Un modello è formulato per descrivere in modo attendibile la realtà. Trasferire tutta la complessità del reale in un modello non è possibile
- Non è conveniente neppure adottare modelli più complessi del necessario
- Nella modellazione hanno un ruolo paritetico:
  - L'aspetto geologico
  - L'aspetto idrogeologico
  - L'aspetto geotecnico
  - L'aspetto strutturale (sia dell'opera da costruire che del costruito adiacente)
  - L'aspetto gestionale del cantiere (fasi esecutive e provvedimenti temporanei strutturali)

## Piano di monitoraggio: Perché ?

- Progettazione “flessibile” (metodo osservazionale ?)



## **Piano di monitoraggio: Cosa e Dove ?**

- Sapere cosa misurare non è che il primo passo per la definizione della procedura di misura
- La misura costituisce una quantificazione oggettiva di una grandezza ritenuta significativa in relazione ad un fenomeno o sistema, al fine di descrivere:
  - il fenomeno/sistema stesso e la sua evoluzione,
  - le sue interazioni con altri sistemi e con l'ambiente
- Non tutte le grandezze di interesse sono misurabili o può essere non conveniente che vengano misurate direttamente; in questi casi si opera in maniera indiretta
- Le grandezze da misurare possono essere quasi stazionarie (statiche) o rapidamente variabili (dinamiche) con evidente impatto sulle caratteristiche della strumentazione necessaria

## Piano di monitoraggio: Cosa e Dove ?

- Dal modello di interazione sono ricavabili le informazioni necessarie per definire:
  - Che cosa misurare
  - Quali sono i valori assoluti (relativi) attesi delle grandezze da misurare
  - Quali sono i punti dove cercare di eseguire la misura
  - L'estensione (distanza) del dominio geometrico in cui sono significative le misure
  - Dove posizionare i punti di riferimento (se necessari) ovvero come validare le misure in caso di mancanza di riferimenti certi (ad esempio in aree già soggette a fenomeni che possono influenzare le misure)

## **Piano di monitoraggio: Come ?**

- Ogni misura ha un costo: la scelta della strumentazione e delle procedure deve quindi essere commisurata alle esigenze di precisione e queste ai vantaggi che derivano dalla sua conoscenza
- La misura è una procedura che porta alla definizione del valore numerico del misurando mediante l'utilizzo di strumenti di varia natura:
  - Dispositivi idonei ad effettuare la misura (strumentazione)
  - Equazioni e/o relazioni analitiche e/o procedure di elaborazione
- La procedura, in quanto tale, non è arbitraria né arbitrariamente modificabile; anche quando non ci sono norme ufficiali che la definiscono, è opportuno tuttavia darsela e attenervisi
- Una misurazione comporta inevitabilmente delle imprecisioni che non possono essere ridotte a piacimento: esistono dei limiti, economici e fisici a questo processo (incertezza intrinseca)

## Piano di monitoraggio: Come ?

- Se si ripetono delle misure, anche in condizioni controllate e con procedura rigorosa, non è detto che si ottenga lo stesso risultato. Abbiamo commesso un errore?
- Ha senso parlare di *errore*? *L'errore, se riferito ad una misura, è definito in relazione al valore esatto del misurando:*

$$\text{Errore} = \text{Valore esatto} - \text{Misura}$$

- quindi la definizione dell'errore implica la conoscenza del valore esatto!
- Ma la misura serve perché il valore esatto non è noto.....

## Piano di monitoraggio: Come ?

- Lo “Strumento” è l’oggetto capace di fornire una misura
- Caratteristiche dello “strumento” che è necessario definire:
  - Accuratezza (accuracy)
  - Discriminazione o leggibilità (discrimination)
  - Ripetibilità (repeatability)
  - Riproducibilità (reproducibility)
  - Precisione (precision)
  - Banda passante (bandwidth)

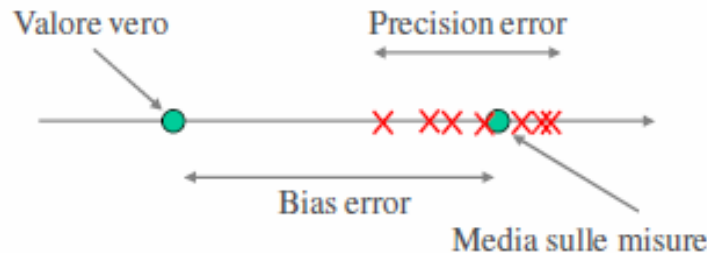


## Piano di monitoraggio: Come ?

- Gli errori sono inevitabili
- Devono essere tenuti sotto controllo, quindi capiti e gestiti
- Sono necessari concetti che ci permettano di valutare la qualità delle misure, sia a posteriori che a priori
- Impossibile analizzare in dettaglio tutte le fonti di errore, quindi occorre concentrarsi su quelle che presentano gli effetti più significativi
- Classificazione degli errori:
  - Errori sistematici (Bias)
  - Errori di accuratezza (Precision) o *casuali*
- Possono essere dovuti sia allo strumento (vedi caratteristiche) sia all'operazione stessa di misura (ad es. personale)

## Piano di monitoraggio: Come ?

- L'*errore sistematico (Bias error)* indica la differenza tra il valore vero (o la migliore stima disponibile) e la media delle misure.
- L'*errore di accuratezza o casuale (Precision)* su una misura quantifica la differenza tra la singola misura e la media delle misure.



- Solitamente gli errori Casuali e Sistemati non si influenzano

## **Piano di monitoraggio: Come ?**

- Una buona misura è accurata e la stima dell'accuratezza fornisce una valutazione della qualità della misura
- Il requisito di accuratezza di una misura deve essere definito in relazione all'utilizzo previsto: della stessa misura per certi scopi sarà necessaria una accuratezza elevata, per altri ci si potrà accontentare di una qualità inferiore
- Nell'accezione comune accuratezza e precisione sono sinonimi; nel gergo metrologico una misura può essere accurata ma imprecisa e viceversa

## Piano di monitoraggio: Come ?

L'esempio del giocatore di bocce .....

LA SCHIAPPA



Lanci poco accurati e molto dispersi  
 Casuali: **Grandi** - Sistematici: **Grandi**

L'ETERNO SECONDO



Lanci poco accurati e poco dispersi  
 Casuali: **Piccoli** - Sistematici: **Grandi**

IL VINCITORE OCCASIONALE



Lanci accurati ma dispersi  
 Casuali: **Grandi** - Sistematici: **Piccoli**

IL CAMPIONE



Lanci accurati e poco dispersi  
 Casuali: **Piccoli** - Sistematici: **Piccoli**

*Errore di accuratezza (casuale)*  
 quantifica la differenza tra la singola misura e la media delle misure

*Errore sistematico*  
 differenza tra il valore atteso e la media delle misure.

## Piano di monitoraggio: Quando ?

• **Prima** : è necessario che **prima dell'esecuzione** di qualsiasi lavorazione si eseguano le letture del programma di monitoraggio (tutte!), saranno di riferimento per:

- Eventuali fenomeni in atto
- Oscillazioni temporali naturali
- Effetti di deriva degli strumenti
- “Rumori di fondo” della misura

## Piano di monitoraggio: Quando ?

• **Durante:** le letture dovranno consentire di seguire gli eventuali effetti delle lavorazioni:

- Misure con frequenza “dedicata” per le diverse lavorazioni in corso;
- Devono essere definite le variazioni di frequenza necessarie (per ogni strumento) in caso di superamento delle soglie di attenzione o di allarme;
- In questa fase è necessario implementare un sistema di gestione delle letture in grado di far accedere al dato di monitoraggio chi è responsabile della direzione di cantiere e chi è responsabile del monitoraggio o del controllo;

## Piano di monitoraggio: Quando ?

- **Dopo:** le misure devono proseguire per un congruo tempo dopo la fine delle lavorazioni:
  - Consentono di controllare eventuali fenomeni a lungo termine sui terreni o sulle strutture (consolidazione, effetti di creep etc..);
  - Sono necessarie per ridurre la conflittualità anche senza un rapporto evidente di “causa-effetto”;
  - Sono utili per comprendere eventuali effetti sul regime idrogeologico del sito;

## **Come costruire un piano di monitoraggio: Chi lo farà?**

- La gestione di un piano di monitoraggio è sempre complessa, non esistono architetture di misura “semplici”;
- Il gestore del sistema dovrebbe sempre essere l’installatore in modo da avere il controllo sull’Hardware del sistema;
- Il gestore dovrebbe garantire il funzionamento del sistema con personale proprio, correttamente addestrato in grado di “certificare” la misura e valutare l’efficienza degli strumenti installati;
- Il gestore dovrebbe saper personalizzare in proprio i sistemi di acquisizione automatica e di trasmissione dei dati
- Il gestore dovrebbe avere un sistema di qualità che abbia particolare attenzione alla taratura degli strumenti



## **Come costruire un piano di monitoraggio: Chi lo usa?**

- La gestione dell'informazione derivante dal monitoraggio è sempre delicata per le evidenti ripercussioni sull'andamento del cantiere e sulla valutazione delle eventuali interferenze
- Il dato deve essere “processato” da un professionista in grado di valutarne l'attendibilità, di confrontare le diverse misure e di inquadrare tutte le informazioni all'interno del modello di comportamento della struttura e del modello di gestione delle soglie
- Il professionista che gestisce i risultati del monitoraggio dovrebbe avere una sufficiente autonomia decisionale e responsabilità definite nella catena decisoria

## Conclusioni

- Il monitoraggio deve essere una attività ricompresa nella progettazione;
- La progettazione del monitoraggio deve essere strettamente connessa con la modellazione dell'interazione terreno-struttura e da essa deve trovare i propri limiti;
- Esso non deve essere solo “subito” dal costruttore ma, in accordo con il progettista, deve essere elemento di gestione ed ottimizzazione del cantiere;
- Gli strumenti di misura devono essere accuratamente scelti non solo in relazione alla grandezza da misurare ma anche al suo valore atteso ed alle variazioni attese;

## Conclusioni

- Le misure sono affette da componenti di errore non eliminabili che assumono maggior peso su misure di piccole quantità;
- Per ridurre l'influenza degli errori (di qualsiasi origine) è necessario progettare una architettura del sistema con misure ridondanti e/o correlabili in modo da isolare eventuali comportamenti anomali (sezioni strumentate)
- Una misura non è indizio di un fenomeno in atto se non congruente con le lavorazioni in corso e con il modello di comportamento (in questo caso si deve attendere di avere un maggior numero di dati)

## Conclusioni

- Nei sistemi di gestione dei dati “on line” o “in diretta” con la pubblicazione dei dati misurati in tempo reale, non si deve mai tralasciare di inquadrare le misure nel modello di comportamento per evitare allarmi inutili;
- Per rendere efficace la presenza di un sistema di monitoraggio in grado di tenere sotto controllo le eventuali anomalie di comportamento, la gestione del dato deve essere eseguita da un professionista specializzato con precise responsabilità rispetto alla direzione del cantiere.