

Monitoraggio geotecnico e strutturale di opere allo scoperto ed in ambito urbano



1. Principi generali e Progettazione



30 Marzo 2022

Introduzione

L'incontro si prefigge l'obiettivo di introdurre alle problematiche della progettazione dei sistemi di monitoraggio, dei criteri per la scelta della strumentazione da utilizzare, delle metodologie di gestione del sistema, delle professionalità coinvolte.

Nelle conclusioni della Relazione introduttiva del Prof. Carlo Viggiani alla Prima Conferenza «Arrigo Croce» (Napoli, 2000) troviamo queste frasi:

L'affidabilità delle analisi, come sempre in Ingegneria Geotecnica, non dipende tanto dalla raffinatezza degli algoritmi di calcolo, ma dalla scelta di appropriate relazioni di corrispondenza, e cioè da un'appropriata modellazione del problema.

*In questo senso l'affermazione dalla quale siamo partiti nell'introduzione può forse essere lievemente precisata: **non c'è niente di più pratico di una buona teoria, purché ben usata!***

I progressi più significativi sono venuti dallo studio accurato di case histories ben documentati;

il monitoraggio delle opere in vera grandezza ha quindi giocato, e continuerà a giocare, un ruolo assolutamente determinante.



Riferimenti normativi

In assenza di una normativa specifica il riferimento sono le NCT 2018, che impongono per alcuni interventi, prima, durante e dopo la realizzazione di un'opera l' esecuzione di un monitoraggio geotecnico e strutturale per verificare gli effetti della realizzazione sull' ambiente circostante nonché la rispondenza delle ipotesi progettuali con il comportamento dell' opera stessa.

6.2. ARTICOLAZIONE DEL PROGETTO

Il progetto delle opere e degli interventi si articola nelle seguenti fasi:

1. caratterizzazione e modellazione geologica del sito;
2. scelta del tipo di opera o di intervento e programmazione delle indagini geotecniche;
3. caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce presenti nel volume significativo e definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo (cfr. § 3.2.2);
4. definizione delle fasi e delle modalità costruttive;
5. verifiche della sicurezza e delle prestazioni
6. programmazione delle attività di controllo e monitoraggio.

Riferimenti normativi



6.2.5. IMPIEGO DEL METODO OSSERVAZIONALE

La progettazione può fare ricorso anche al metodo osservazionale, nei casi in cui a causa della particolare complessità della situazione geologica e geotecnica e dell'importanza e impegno dell'opera, dopo estese ed approfondite indagini permangano documentate ragioni di incertezza risolvibili solo in fase di esecuzione dell'opera.

Nell'applicazione di tale metodo si deve utilizzare 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.~~

CAPITOLO 9.

COLLAUDO STATICO

9.1.

PRESCRIZIONI GENERALI

Infine, nell'ambito della propria discrezionalità, il Collaudatore potrà richiedere:

- i) di effettuare tutti quegli accertamenti, studi, indagini, sperimentazioni e ricerche utili per formarsi il convincimento della sicurezza, della durabilità e della collaudabilità dell'opera, quali in particolare:
 - prove di carico;
 - ~~prove sui materiali messi in opera, anche mediante metodi non distruttivi;~~
 - ~~monitoraggio programmato di grandezze significative del comportamento dell'opera da proseguire, eventualmente, anche dopo il collaudo della stessa.~~

Monitoraggio

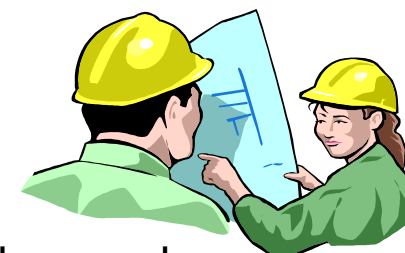
Il Mondo della progettazione ovvero della **Teoria**

Dove le idee diventano ipotesi, si possono simulare gli eventi e gli effetti possono essere quantificati e calcolati con la “precisione” voluta



Il Mondo del cantiere e della **Realizzazione**

Dove gli effetti del lavoro, le osservazioni e gli eventi devono essere descritti solo attraverso le misure



Il nostro problema è come unire la progettazione ed i risultati delle verifiche con la realizzazione e la soluzione non può essere che:

Utilizzare la Strumentazione del monitoraggio



Ovvero.....



.....OVVERO



MONITORANDO
GRANDEZZE
SIGNIFICATIVE

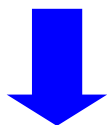
Monitoraggio

A questo punto sorgono 2 domande

- Cosa si intende per Strumentazione ?
- A cosa serve?

La strumentazione è rappresentata da apparecchiature, che permettono di “leggere” e quindi “capire” il comportamento del terreno, di strutture, e l'interazione tra le opere, il terreno e l'ambiente circostante

Di fronte ad un problema sul comportamento dell'opera, nonché del terreno in presenza di questa e alle conseguenze sull' ambiente circostante, costruiamo un modello e sulla base di relazioni istituzionalizzate svilupperemo un modello e simuleremo la risposta



ovvero

Svilupperemo il Progetto

ma

Stiamo rappresentando la realtà?

Monitoraggio

Per rispondere alla domanda dovremo confrontare il **valore atteso** (da modello) con il **valore vero** (misura) ovvero dovremo sviluppare un **MONITORAGGIO**

Quindi si esegue un **MONITORAGGIO** che è l'esecuzione di misure ripetute nel tempo con strumenti adeguati

Come abbiamo visto il monitoraggio è a supporto dell'Ingegneria e della Geotecnica durante la **PROGETTAZIONE**, la **REALIZZAZIONE** e la **GESTIONE** di opere

ATTIVITA'	QUANDO	SCOPO
Progettazione	Prima	Definizione del modello geotecnico del sottosuolo <i>(regime delle pressioni interstiziali, stima di parametri dei modelli teorico e costitutivo adottati mediante esecuzione di prove in sito – es. permeabilità – o realizzazione di modelli fisici – es. rilevati sperimentali; definizione delle soglie di attenzione e allarme ecc.).</i>
Costruzione	Durante	Controllo delle modalità costruttive e verifica dei modelli utilizzati <i>(controllo delle variazioni e dei parametri in riferimento alle lavorazioni, controllo delle deformazioni, utilizzo del metodo osservazionale, effetti sulle opere preesistenti, ecc.).</i>
Gestione	Dopo	Controllo dell'efficacia dell'opera e gestione del rischio <i>(verifica delle ipotesi progettuali</i>

Pianificazione di un sistema di monitoraggio

Si tratta adesso di analizzare come approcciare il problema della pianificazione di un sistema di monitoraggio

Potremmo scegliere lo strumento sulla base di considerazioni tipo

- quello che ho già
- quello che costa meno,...

Oppure fare le misure e solo dopo chiedersi:

- come posso usare queste misure?

Questa è una tendenza a cui assistiamo (!) spesso, è certamente il metodo più veloce invece quello che deve essere sviluppato è un:

Approccio Sistemático dove vengono analizzate tutte le varie fasi, dall' obiettivo fino all' implementazione e all'interpretazione delle misure



Approccio sistematico

Approcciare in maniera sistematica il monitoraggio vuol dire verificare sempre che:

- Ogni strumento sia scelto e posizionato per aiutare a rispondere ad una specifica domanda

**PRIMA
DURANTE
DOPO**

la realizzazione dell'opera

Pertanto la prima azione sarà

definire le condizioni di
progetto

definizione condizioni di progetto

- Tipo di progetto e organizzazione;
- Stratigrafia e caratteristiche geotecniche dei terreni;
- Condizioni idrauliche e idrogeologiche;
- Condizioni ambientali (frane, allagamenti, ecc);
- Strutture e infrastrutture al contorno;
- Caratteristiche dell' opera;
- Metodologie di costruzione;
- Comportamento delle strutture persistenti durante la costruzione;
- Comportamento delle strutture dopo la costruzione;
- Possibili condizioni di crisi.

Pianificazione di un sistema di monitoraggio



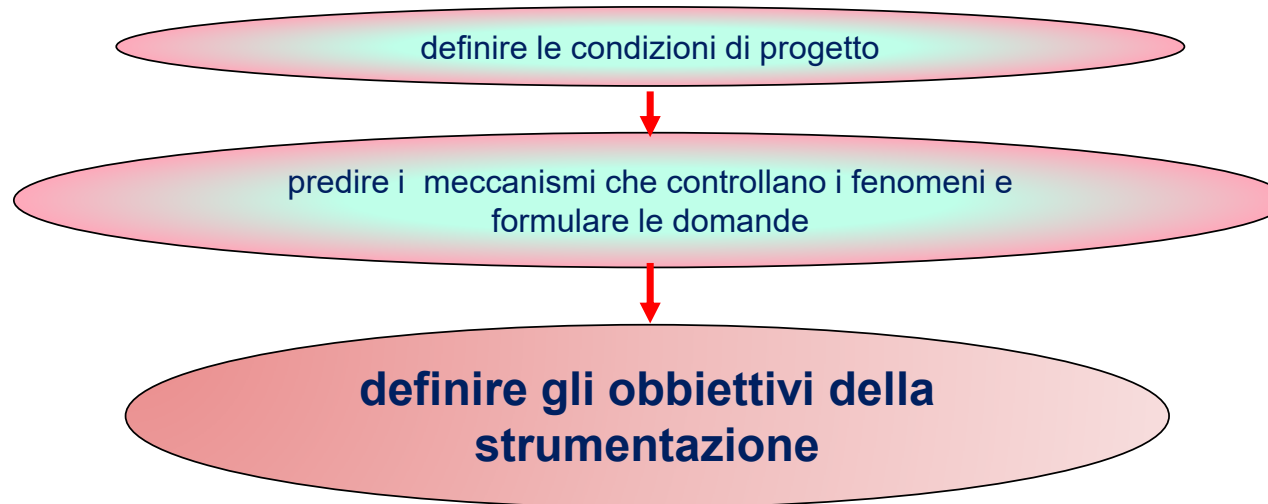
Meccanismi e domande

- Formulare una o più ipotesi sui meccanismi che controllano il fenomeno atteso
- In un progetto, ogni strumento dovrebbe essere scelto ed installato per agevolare la risposta ad una specifica domanda

Con una considerazione:

Se non esiste una domanda, non dovrebbe esistere uno strumento!

Pianificazione di un sistema di monitoraggio



Obbiettivi della strumentazione

1. Benefici durante la progettazione:

- definizione delle condizioni iniziali;
- test di prova;
- previsione situazioni di crisi.

2. Benefici durante la costruzione:

- - sicurezza;
- - metodo osservazionale (back analysis);
- - controllo in fase di costruzione;
- - protezione legale;
- - misura di grandezze;
- - rafforzamento delle relazioni pubbliche;
- - progressione nello stato dell'arte.

3. Verifica della qualità delle prestazioni dell'opera al termine della fase di costruzione

Pianificazione di un sistema di monitoraggio



Scelta parametri da monitorare

1. Scegliere i parametri da monitorare

- Qual è la grandezza più significativa?
- Chi è causa e chi effetto?
- Quanti punti di misura?

2. Prevedere l' entità dell' intervallo di misura del parametro monitorato

- Valore massimo:
 - fondo scala (FS, Full range)
- *Valore minimo:*
 - risoluzione o accuratezza

Pianificazione di un sistema di monitoraggio



Soglie di attenzione, allarme e pericolo

Le soglie di attenzione, di allarme e di pericolo potranno essere riferite alla **singola lettura** o sull'**elaborazione delle letture stesse**

Alcune lavorazioni (esempio consolidamento per mezzo di jet grouting) possono generare degli effetti indesiderati, immediatamente durante l'esecuzione, per cui si potranno "allarmare" alcuni sensori leggibili in tempo reale (come piezometri) in modo da intervenire immediatamente, con la sospensione delle attività al raggiungimento dei valori di soglia stabiliti

Altre lavorazioni possono generare un effetto ritardato rispetto al momento che sono state eseguite (ad esempio cedimenti dovuti ad operazioni di scavo o di sovraccarico) e per una loro corretta comprensione dovranno essere analizzati più strumenti e soprattutto le azioni dovranno essere previste in anticipo perché la sola sospensione non permette il ritorno alla normalità

Se l'intervento interferisce con strutture esistenti, dovranno essere individuate le soglie di alcune misure significative che corrispondono a livelli di deformazione sulle strutture stesse

Soglie di attenzione , allarme e pericolo

Nel caso di fabbricati andranno valutate le rotazioni e il rapporto di inflessione per l'insorgere di cedimenti differenziali utilizzando in questo caso, ad esempio, le classificazioni di Boscardin e Cording (1989) e Burland (1995), Mair et al. (1996)

In questa ultima situazione le soglie saranno sull'elaborazione e il confronto dei dati registrati

E' opportuno sapere che non potendo sempre conoscere le caratteristiche delle strutture coinvolte e la loro storia tensionale le soglie dovranno essere cautelative e dovranno essere aggiornate periodicamente in funzione dell'evoluzione dei possibili fenomeni

Infine dovranno essere progettate le azioni e gli interventi da eseguire nel caso del raggiungimento delle soglie individuate

Soglie di attenzione , allarme e pericolo

Proviamo a dare una definizione delle varie soglie

Soglia di attenzione

- Corrisponde al valore massimo progettuale atteso
- Valore di un parametro di misura che, pur non rappresentando un pericolo immediato per la funzionalità delle strutture, obbliga ad attivare una serie di procedure (di controllo, accertamento ed eventuali azioni progettuali) volte a produrre un rientro nella norma e a scongiurare la tendenza dei valori di misura verso la soglia di allarme.
- La soglia dovrà definita per tutti i principali strumenti impiegati

Soglie di attenzione , allarme e pericolo

Soglia di allarme

I valori progettuali attesi delle misure sono superati

- Il valore di uno o più parametri di misura può rappresentare un potenziale pericolo la funzionalità delle strutture, obbliga ad attivare una serie di procedure (di controllo, accertamento ed azioni progettuali) volte a produrre un rientro nella norma e a scongiurare la tendenza dei valori di misura ad ulteriore significativa crescita
- Si attiverà lo studio delle possibili contromisure e la progettazione di eventuali interventi per la messa in sicurezza delle strutture

Ad esempio nel caso di scavo a tergo di paratie, per le principali strutture dovranno essere analizzati:

- Lo stato di deformazione e sollecitazione per le paratie
- Lo stato di spostamenti e distorsioni per gli edifici

Soglie di attenzione , allarme e pericolo

Soglia di pericolo

Malgrado le procedure messe in atto nelle fasi precedenti non ottiene il risultato voluto e si raggiunge la soglia di pericolo non si potrà far altro che:

- **BLOCCARE LE LAVORAZIONI**
- **METTERE IN SICUREZZA TUTTE LE STRUTTURE COINVOLTE**
- **REVISIONARE IN MANIERA APPROFONDITA IL PROGETTO SULLA BASE DI QUANTO SUCCESSO**



Pianificazione di un sistema di monitoraggio



Gestione del sistema di monitoraggio

Il ricorso al monitoraggio durante le fasi di costruzione **ESIGE** la pianificazione in anticipo tutte le azioni per la gestione degli strumenti, delle letture nonché dei provvedimenti da prendere nel caso in cui si manifestino problemi, ovvero occorre:

- Escogitare le azioni per ogni livello di pericolo, assicurandosi che materiali e persone siano sempre a disposizione
- Progettare un adeguato sistema di gestione dove siano individuate le varie responsabilità e indicati i flussi di informazione per avviare le azioni previste

INDIVIDUARE CHI HA LA RESPONSABILITÀ GLOBALE E L'AUTORITÀ CONTRATTUALE

Gestione del sistema di monitoraggio

COMPITO	SOGGETTO RESPONSABILE			
	COMMITTENTE	PROGETTISTA OPERE	SPECIALISTA MONITORAGGIO	COSTRUTTORE DELLE OPERE
Pianificare il programma di monitoraggio	SI	SI 	SI	SI
Recuperare gli strumenti e provvedere alla taratura	SI		SI 	SI
Installare gli strumenti	SI		SI 	SI
Provvedere alla manutenzione e taratura degli strumenti secondo il programma definito			SI 	SI
Definire ed aggiornare il programma di esecuzione delle misure		SI 	SI	
Raccogliere i dati	SI		SI 	SI
Elaborare e VALIDARE i dati			SI 	SI
Interpretare ed preparare la relazione dei dati		SI 	SI	SI

Pianificazione di un sistema di monitoraggio



definire le condizioni di progetto

abbiamo individuato il problema, conosciamo le prestazioni che vogliamo dagli strumenti ed abbiamo individuato i soggetti che gestiranno il sistema di monitoraggio.

predire i meccanismi che controllano i fenomeni e

formulare le domande

definire gli obiettivi della strumentazione

scegliere i parametri da monitorare e prevedere
l'intervallo di lettura

definire le soglie di attenzione e allarme

Ora dobbiamo scegliere gli strumenti, decidere dove metterli e capire se le misure possono essere "disturbate"!

definire l'organizzazione per la gestione

Scelta della strumentazione

Scelta della strumentazione

Per prima cosa nella scelta della strumentazione è bene ricordare che:

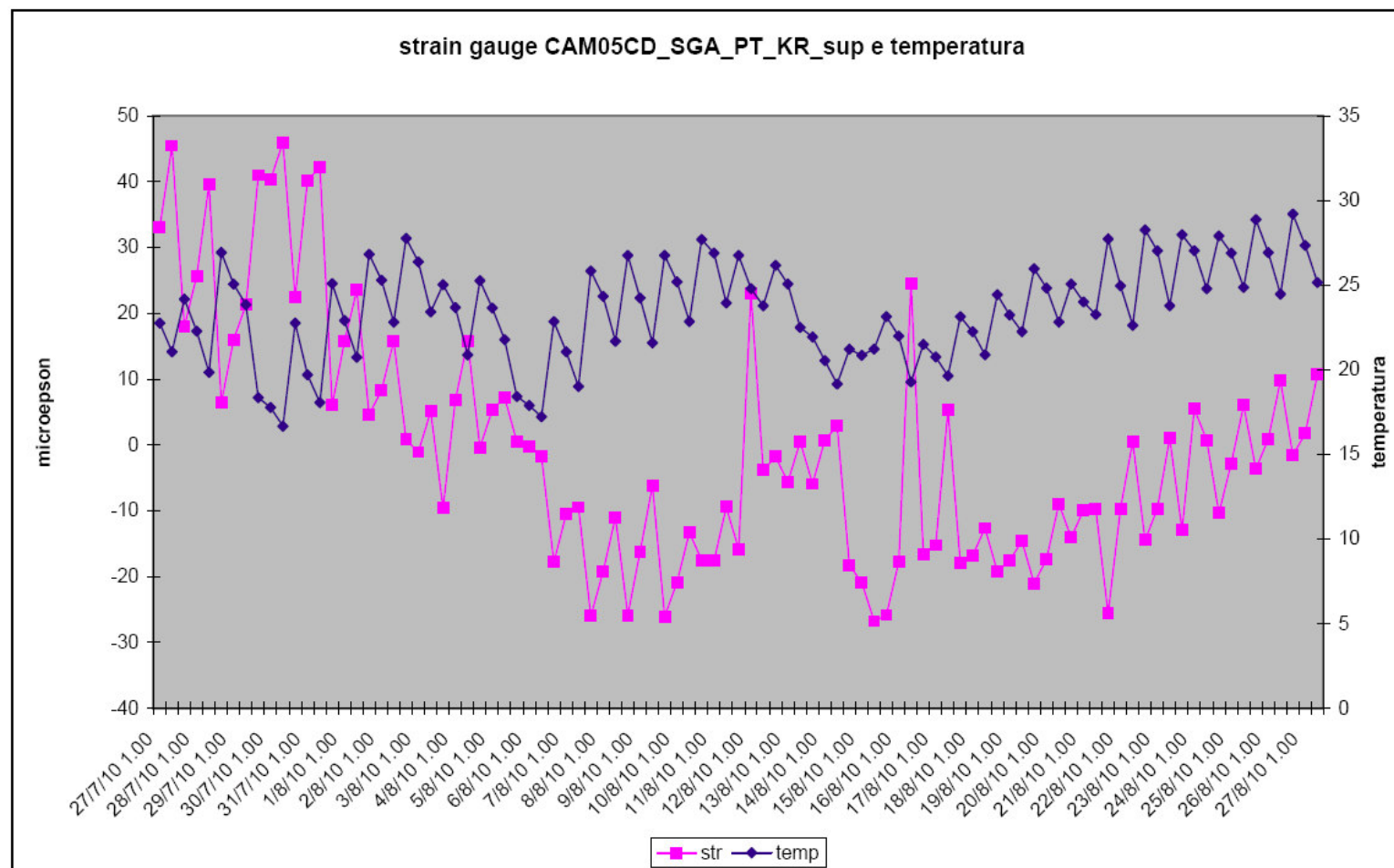
- Le condizioni operative (ambientali) influenzano le misure.

Vengono introdotti quindi nuovi **ERRORI**, di tipo **STOCASTICO** dovuti a:

- variazioni di temperatura
- condizioni meteo (pressione atmosferica, umidità, pioggia, ecc.)
- durata del monitoraggio e quindi invecchiamento dei materiali
- modifica delle condizioni al contorno (livelli idrici, lavorazioni in corso,)
-

per cui i dati che si ottengono saranno ➡

Scelta della strumentazione



Scelta della strumentazione

Pertanto la scelta della strumentazione dovrà essere ponderata e dovrà essere fatta sulla base di 3 condizioni:

➤ VALORI ATTESI



➤ LE SPECIFICHE METROLOGICHE DEGLI STRUMENTI

➤ LE CONDIZIONI OPERATIVE ED IL CONTESTO AMBIENTALE IN CUI SI OPERA



Scelta della strumentazione – Valori attesi

Dal progetto abbiamo l'entità dei valori attesi e partendo da questi dati dovremo scegliere la strumentazione sulla base dei seguenti parametri:

CAMPO DI MISURA: valore massimo e minimo del valore monitorato atteso

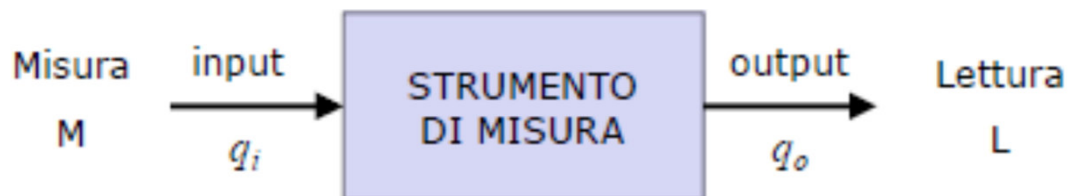
ESCURSIONI MEDIE: escursione delle misure attese a breve e a lungo termine

VALORE MINIMO SIGNIFICATIVO

Scelta della strumentazione – Specifiche metrologiche

Per caratteristiche metrologiche si intendono (dalla Norma UNI 4546)

Dati riguardanti le relazioni tra le letture effettuate con un dispositivo per misurazione e/o regolazione e le misure dei parametri con i quali esso interagisce.” (NORMA UNI 4546)



A partire dalle informazioni contenute nel Diagramma di Taratura e dalla procedura di Taratura (o dalle schede tecniche in assenza dei dati sulla taratura che comunque dovranno essere forniti prima dell'installazione) possono essere definite altre caratteristiche dei sistemi di misura

Scelta della strumentazione – Specifiche metrologiche

Campo di misura (fondo scala, FS):

è l'intervallo di valori (dal minimo al massimo) (fondo scala) che lo strumento può rilevare.

Risoluzione:

il più piccolo cambiamento della grandezza sottoposta a misurazione che provoca un cambiamento rilevabile nell'indicazione corrispondente ovvero è il valore più piccolo della grandezza misurata che lo strumento riesce a rilevare.

Essa è funzione del campo di misura.

E' generalmente espressa come una percentuale sul fondo scala (%FS).

Ripetibilità:

attitudine di uno strumento a fornire valori di lettura poco differenti tra loro, in letture consecutive eseguite indipendentemente sullo stesso misurando, con procedimento unificato, dallo stesso operatore, nelle stesse condizioni per le grandezze d'influenza.

E' uno dei parametri più importanti nella valutazione della scelta dello strumento perchè certifica la buona funzionalità dello strumento sia per la sua qualità intrinseca sia per l' assenza di interferenze dall' ambiente esterno e permette con facilità il confronto tra le letture

Scelta della strumentazione – Specifiche metrologiche- Precisione e Accuratezza

Precisione:

Indica di quanto si discosta la misura acquisita dallo strumento dal valore vero, spesso definita errore strumentale .

E' anche essa espressa in molti casi come una percentuale sul fondo scala con il segno $\pm$

Accuratezza:

Grado di concordanza tra un valore misurato e un valor vero di un misurando

Tenendo conto della normativa esistente Il termine *accuratezza di misura* non dovrebbe essere impiegato per indicare la giustezza di misura, così come non si dovrebbe usare il termine *precisione di misura* per indicare l'accuratezza di misura. Resta comunque evidente che il concetto di accuratezza è legato a quelli di giustezza e di precisione.

Talvolta l'*accuratezza di misura* è interpretata come concordanza tra i valori misurati attribuiti a un misurando

Scelta della strumentazione

Altri elementi che dovranno essere tenuti presenti nella selezione e scelta della strumentazione e che possono influenzare la bontà delle letture e dei conseguenti risultati, sono le:

CONDIZIONI OPERATIVE

Come, ad esempio:

- Le condizioni ambientali
- La durata monitoraggio
- Le condizioni meteo
- Le influenze elettromagnetiche

.....etc.....

Scelta della strumentazione

Parola d'ordine:

AFFIDABILITA'

Scelta della strumentazione

Pertanto le linee guida che devono portare alla scelta finale devono essere

- *Massima semplicità dello strumento e del sistema*
- *Scegliere sulla base delle esigenze e non permettere che la spesa domini sulla scelta*
- *Valutare separatamente le varie parti e componenti del sistema (trasduttore, centralina di misura, sistema di comunicazione, ecc.)*
- *Verificare i risultati e la qualità di precedenti esperienze e prestazioni*
- *Verificare la possibilità di manutenzione e di taratura dopo l'installazione*
- *Verificare la disponibilità e le capacità e l'esperienza del personale coinvolto*
- *Scelta delle ubicazioni degli strumenti*
- *Individuazione delle zone/aree in cui possono generarsi criticità*
- *Prevedere strumenti che oltre a registrare i fenomeni in atto siano, anche, in grado di individuare la possibile causa che li ha generati, ovvero prevedere strumenti complementari*
- *Prevedere, se la durata del monitoraggio è molto lunga, cicli di manutenzione e di verifica del loro corretto funzionamento*
- *Prevedere quindi la ridondanza della strumentazione per avere la continuità delle letture e di interpretazione dei fenomeni in atto se si verificano, ad esempio, guasti improvvisi*

Scelta della strumentazione

Le definizioni del comportamento di un terreno o di una struttura non è basata su un solo parametro, ma su molti. In casi semplici è sufficiente controllarne uno, ma nei casi più complessi è meglio controllarne diversi ricercando le correlazioni.

E' quindi buona norma prevedere strumenti che diano **misure complementari**

Questo diventa estremamente importante quando, ad esempio, si devono monitorare eventuali effetti su strutture esistenti vicine a scavi a tergo di paratie

In sostanza, in queste condizioni, dovrà essere sviluppato un modello predittivo degli spostamenti verticali e orizzontali delle strutture nonché le deformazioni della paratia stessa e utilizzando **strumentazione complementare** (ad esempio assestimetri ed inclinometri a ridosso della paratia e monitoraggio topografico e geotecnico a ridosso e sulla struttura) in modo da verificare la corrispondenza tra le previsioni progettuali e la situazione reale durante le lavorazioni.

Inoltre la **ridondanza delle misure** consente altresì di verificare il buon funzionamento degli strumenti e di disporre comunque di misure significative in caso di rottura di uno strumento.

E' provato che in genere i sistemi più affidabili sono i più semplici, quelli basati su tecnologia consolidata e studiati per le specifiche condizioni di impiego.

Infine

Un progettista attento ai costi cercherà sempre gli strumenti che rispondano alle sue necessità con le minime caratteristiche necessarie a soddisfare lo scopo

Scelta della strumentazione

COSA MISURARE	STUMENTI
I LIVELLI: ➤ Acqua superficiale ➤ Falda	Piezometri
LE PRESSIONI: ➤ Neutre ➤ Totali	Piezometri
GLI SPOSTAMENTI ORIZZONTALI	Etensimetri Inclinometri profondi Inclinometri da parete (Clinometri) Estensoinclinometri Deformometri Mire ottiche
GLI SPOSTAMENTI VERTICALI	Etensimetri Inclinometri Estensoinclinometri Deformometri Mire ottiche Caposaldi
LE FORZE E/O I CARICHI Generati da strutture, elementi di rinforzo, terreno, ecc.	Celle di carico Barrette estensimetriche

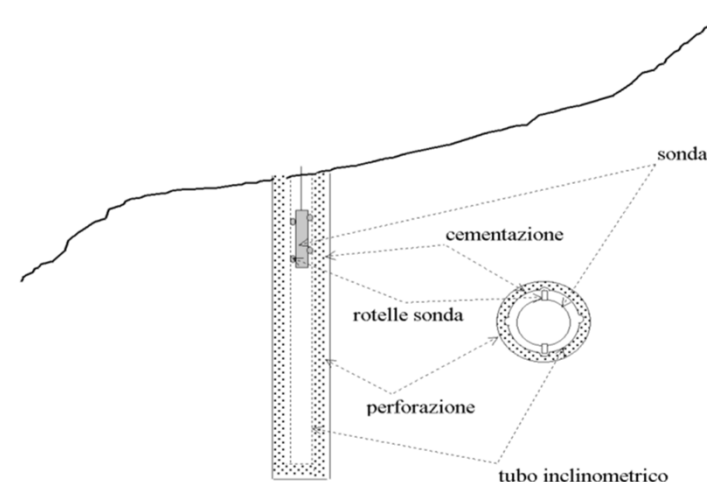
Scelta della strumentazione – un esempio gli inclinometri

Un esempio di come scegliere la strumentazione la possiamo fare prendendo ad esempio gli inclinometri

Come tutti sanno tratta di tubi deformabili, resi solidali al terreno del quale seguono le deformazioni, all'interno dei quali viene calata un'apposita sonda inclinometrica in grado di misurare le variazioni rispetto alla verticale su due piani perpendicolari.

Per ottenere valori attendibili è necessario che la base del tubo inclinometrico sia ammorsata in terreno stabile.

Caratteristiche schematiche di un inclinometro



Scelta della strumentazione – un esempio: gli inclinometri

Le deformazioni del tubo inclinometrico potranno essere letti periodicamente in maniera manuale oppure attrezzati con sonde inclinometriche fisse per essere letti in automatico e gestiti da remoto

La scelta del tipo di lettura dipende dal tipo di deformazione atteso, dal tipo di movimento possibile, dalla velocità con cui questo può avvenire

Se il movimento che si prevede è lento anche la lettura manuale può dare le informazioni desiderate, ma se il movimento è imprevedibile e può essere rapido la scelta non potrà ricadere che in un sistema automatico

In quest'ultimo caso andremo ad attrezzare l'inclinometro con una catenaria di sonde inclinometriche

Ma quale sonda scegliere dal momento che in commercio esistono di varie tipologie

Per semplicità analizzeremo le sonde sia di tipo digitale (con sensore mems) che con servoaccelerometri

CARATTERISTICHE TECNICHE

Modello sonda	0S411HA 0S412HA	0S411SV 0S412SV
Tipo sensore	inclinometro solid state (tecnologia MEMS) monocassiale o biassiale	servo-accellerometri force balanced monoassiale o biassiale
Campo di misura	$\pm 10^\circ$, $\pm 20^\circ$, $\pm 90^\circ$	$\pm 14.5^\circ$, $\pm 30^\circ$
Risoluzione sensore	0.001% FS con centralina CRD-400	
Precisione totale	migliore di $\pm 0.4\%$ FS*	migliore di $\pm 0.07\%$ FS
Sensibilità termica	$\pm 0.01\%$ / $^\circ\text{C}$	$\pm 0.0002\%$ / $^\circ\text{C}$
Alimentazione	da 12 a 24 V DC	$\pm 15\text{V DC} \pm 1\%$
Segnale d'uscita	4-20 mA	$\pm 5\text{V} \pm 1\%$
Termistore incorporato (RTD)		
- campo di misura	da -50°C a $+150^\circ\text{C}$	-
- precisione	0.2 $^\circ\text{C}$	-
Temperatura d'esercizio	da -40°C a $+85^\circ\text{C}$	da -20°C a $+80^\circ\text{C}$
Range di compensazione termica	da -25°C a $+80^\circ\text{C}$	da 0°C a $+50^\circ\text{C}$

*Valore valido per sonde con campo di misura $\pm 10^\circ$ e $\pm 20^\circ$

Scelta della strumentazione – un esempio: gli inclinometri



SOLID STATE MEMS		
FONDO SCALA (°)	U.I. (m)	ERRORE (mm)
10	0,173648178	1,001520016
20	0,342020143	2
90	1	4

SERVOACCELEROMETRO		
FONDO SCALA °	U.I. (m)	ERRORE mm
14,5	0,250380004	0,175266003
30	0,5	0,35

Scelta della strumentazione – un esempio: gli inclinometri



SOLID STATE MEMS		
MISURA (°)	U.I (m)	ERRORE (mm)
2	0,034899497	0,139597987
5	0,087155743	0,348622971

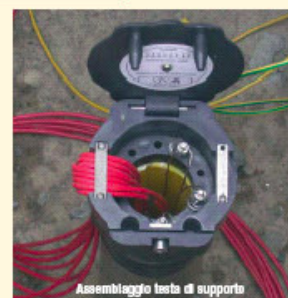
SERVOACCELEROMETRO		
FONDO SCALA °	U.I. (m)	ERRORE mm
2	0,034899497	0,024429648
5	0,087155743	0,06100902

Scelta della strumentazione – un esempio: gli inclinometri

SOLID STATE MEM		SERVO-ACCELEROMETRI	
VANTAGGI	SVANTAGGI	VANTAGGI	SVANTAGGI
Non ci sono limitazioni del numero di sonde nel tubo	Minore precisione	Maggiore precisione sulle letture	Numero limitato di sonde (masimo 6 per foro)
Campo di lettura più ampio	Più sensibile ad errori stocastici		Campo di lettura più limitato
Costo minore			Costo elevato



ACCESSORI E RICAMBI



- OS4TS101000** Testa di sospensione per inclinometri fissi. E' installata sulla parte terminale del tubo inclinometrico. Presenta 10 fori per 10 spine d'aggancio dei cavi in acciaio (i cavetti sostengono le sonde in sospensione). Di lato ci sono 2 asole con 2 piastrelle per il passaggio dei cavi di segnale.
- OWRAC200000** Cavetto in acciaio inox (2 mm). Posiziona la sonda sospesa alla profondità voluta nei tubi.
- OS4IPIT00L0** Set clampaggio cavo d'acciaio. Comprende 1 pinza e 20 morsetti tellurici che permettono di bloccare il cavo in acciaio alla sonda facendo un'asola.

Scelta della strumentazione – un esempio: gli inclinometri – strumentazione complementare

Mire ottiche

- Per la verifica della posizione della testa dell'inclinometro e dei possibili movimenti di strutture e ambiente circostante

Estensimetri multibase

- Per la verifica dei possibili cedimenti

Celle di carico

- Per la verifica dei carichi presenti (esempio celle di carico sui tiranti di una paratia)

Piezometri

- Per la verifica delle pressioni interstiziali

Stazione meteo

Scelta del sistema di misura e acquisizione dati

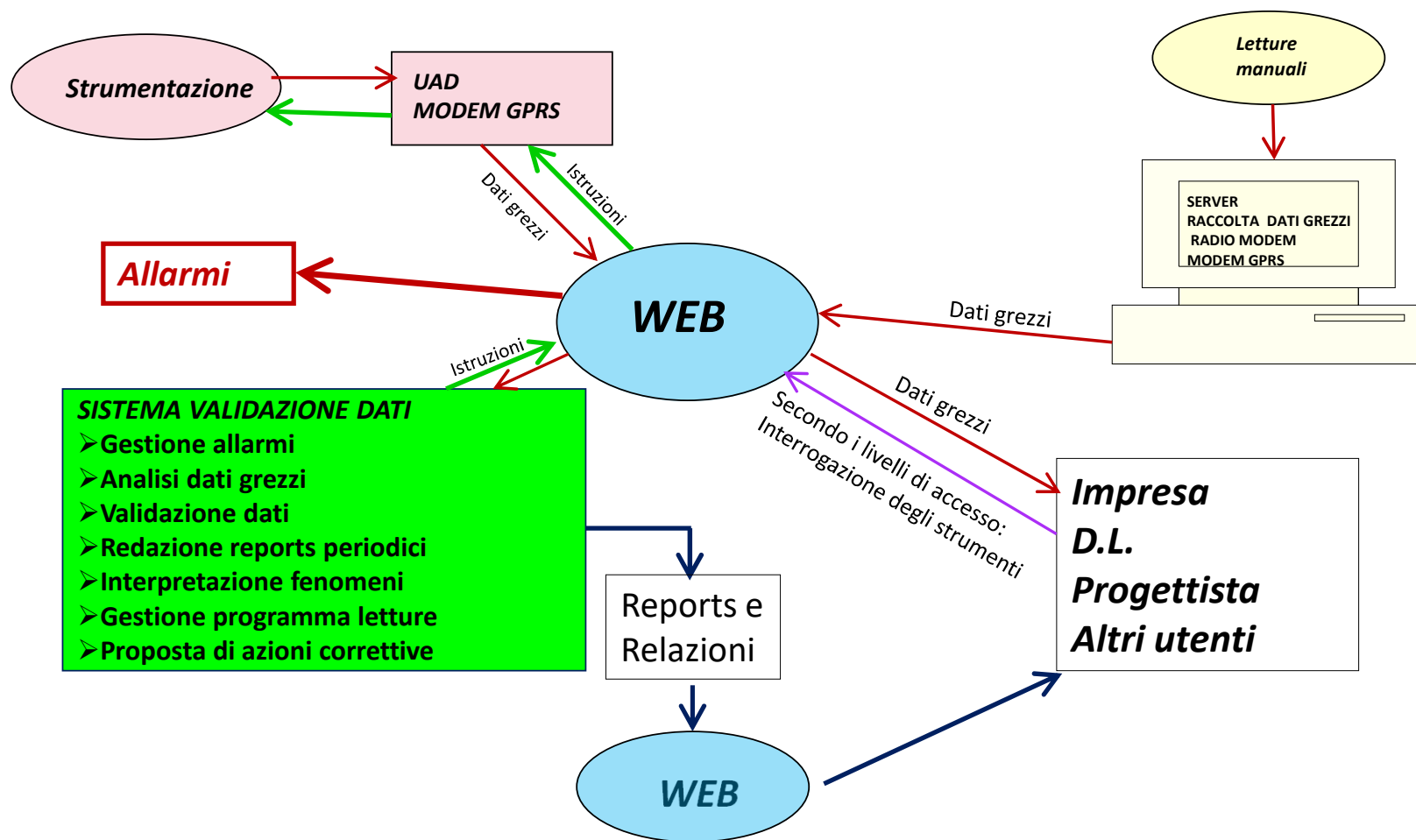
Infine dovrà essere individuata l'architettura del sistema valutando se eseguire letture manuali o acquisizione automatica, l'organizzazione della struttura di gestione, ecc.

La previsione di un sistema automatico di acquisizione e gestione delle misure può essere fatta se:

- è necessario avere un monitoraggio in tempo reale e gestire allarmi automatici
- gli strumenti non sono accessibili per misure manuali
- la quantità degli strumenti è tale che la frequenza di misura manuale diventa troppo bassa
- Possibilità di modificare la frequenza di letture in tempo reale
- Per avere una catena di misura omogenea, funzionale ed economica la scelta degli strumenti dovrà essere fatta in funzione del sistema di acquisizione dati
- In funzione del sistema di monitoraggio previsto dovrà essere individuata la struttura di gestione in cui saranno specificate le professionalità coinvolte e l'organizzazione dei flussi dei dati e delle informazioni

Scelta del sistema di misura e acquisizione dati

Esempio di schema di sintesi del sistema



Completamento del progetto

Una volta completate le fasi precedenti e individuate tutte le caratteristiche del sistema dovrà essere redatto materialmente il progetto che dovrà essere composto da:

- ▮ **Relazione tecnica**
- ▮ **Elaborati grafici** (planimetrie, sezioni, ecc.)
- ▮ **Computo metrico**
- ▮ **Specifiche tecniche**

Progetto Monitoraggio - Relazione tecnica

- La relazione tecnica sarà redatta esplicitando tutti i passaggi precedentemente analizzati
- E' sempre bene corredarla con l'elenco dei singoli strumenti, delle loro caratteristiche, della loro funzionalità e della loro necessità
- Devono essere motivate, per ogni strumento, le scelte fatte
- Devono essere individuate le fasi significative delle lavorazioni e deve essere redatto il piano delle letture
- Deve essere indicata la modalità di gestione, e le modalità di restituzione dei dati
- Devono essere individuate le professionalità coinvolte
- Devono essere definiti con chiarezza i processi di validazione e di accettazione delle misure
- Deve essere redatto il piano di installazione
- **DEVONO ESSERE INDIVIDUATE LE SOGLIE E LE MODALITÀ DELLA GESTIONE DEGLI ALLARMI**
- **DEVE ESSERE SVILUPPATO IL PIANO DI MANUTENZIONE DELLA STRUMENTAZIONE, IN FUNZIONE DELLA DURATA PREVISTA DEL MONITORAGGIO**

Progetto Monitoraggio - Elaborati grafici e computi metrici

Gli elaborati grafici saranno rappresentati da planimetrie e sezioni, in scala adeguata, dove siano evidenziate:

- Accessibilità dei luoghi
- Ubicazione della strumentazione
- Se sistema automatico dovrà essere indicato il cablaggio del sistema

A questo punto, utilizzando gli elenchi che abbiamo sviluppato per la relazione e gli elaborati grafici, saremo in grado di sviluppare il computo metrico e la previsione di costo del piano di monitoraggio

Se saremo rimasti dentro il budget previsto, potremo passare all' ultima fase della progettazione, ovvero:

- La REDAZIONE DELLE SPECIFICHE TECNICHE

Progetto del monitoraggio - Specifiche tecniche

Nelle specifiche tecniche dovranno essere riportate:

- Le procedure e le metodologie di installazione
- L 'elenco delle attrezzature
- Dovrà essere sviluppate e programmate le fasi di installazione, dovranno essere pianificare le attività per l' accessibilità (permessi, occupazione suolo pubblico, ecc.)
- I moduli di controllo e verifica dell' installazione
- La pianificazione della formazione del personale
- La pianificazione delle fasi di taratura e del programma di manutenzione

Infine dovrà essere eseguita la verifica finale del conto:

Se non ci sono differenze avremo la conferma della bontà del lavoro



Grazie per l' attenzione