



**FONDAZIONE DELL'ORDINE DEGLI
INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI MILANO**



Seminario

**CONTROLLO E MONITORAGGIO STRUTTURALE PER L'ENTRATA IN
SERVIZIO E LA VERIFICA IN ESERCIZIO DI STRUTTURE CIVILI**

Via Andrea Doria 9, 20124 Milano

***Il monitoraggio per la verifica
dell'affidabilità strutturale***

Ore 16:30

lunedì 2 maggio 2016

Parte I

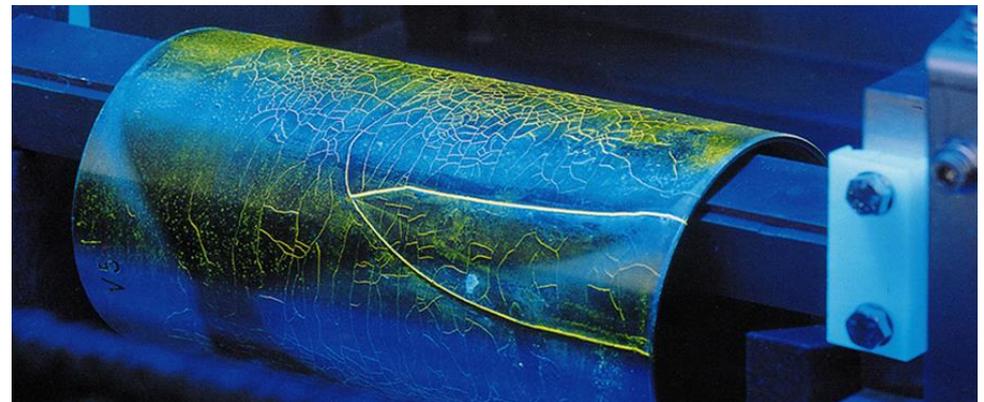
Prof. Ing. Giacinto Porco
Dipartimento di Ingegneria Civile
Università della Calabria Rende CS



Introduzione



Il monitoraggio inteso come azione di osservazione e di acquisizione di grandezze sia fisiche che meccaniche durante le fasi realizzative o di esercizio, ha origine nel settore industriale. Usuale in questo campo, è il controllo di componenti attraverso l'acquisizione di parametri guida mentre essi vengono prodotti e comunque prima di essere assemblati, così come pure è usuale, rilevare periodicamente grandezze fisiche e meccaniche di parti di aeromobili nel corso di esercizio.





Introduzione



In ambito civile negli ultimi anni, questa metodologia di controllo ha iniziato a diffondersi, occupando via via spazi, sia nelle costruzioni per civile abitazione, che nelle opere geotecniche e in quelle infrastrutturali quali i ponti.





Monitoraggio Strutturale



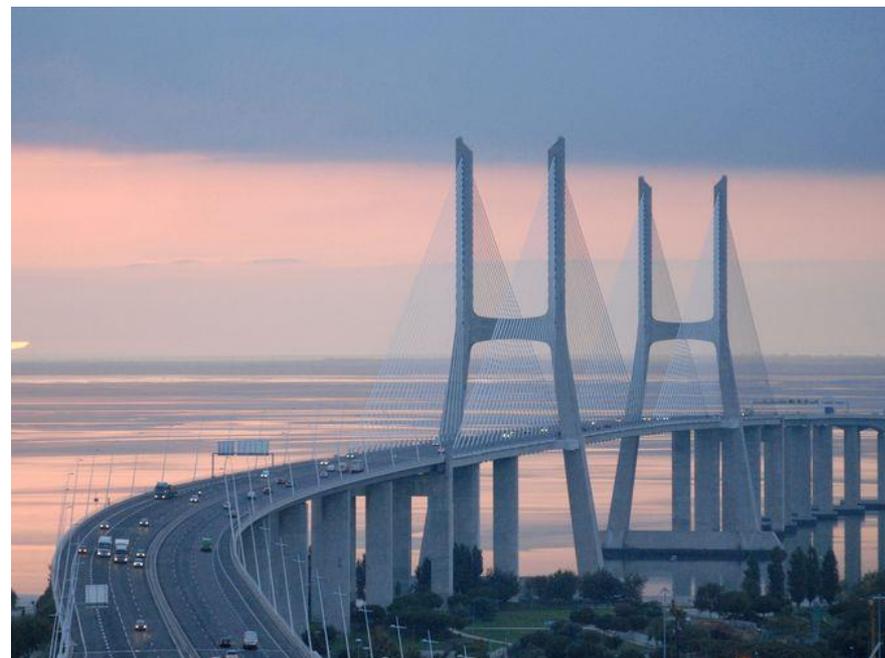
Il monitoraggio strutturale, implementato come attività continuativa che segue l'opera dalle fasi costruttive per tutto il ciclo di vita, sicuramente amplia le conoscenze sul comportamento reale, riducendo le incertezze sulle caratteristiche dei materiali utilizzati, sulla presenza di eventuali difetti costruttivi, e rappresenta un formidabile strumento per stabilire se la struttura, in una particolare epoca, conserva ancora i requisiti di progetto e se le diverse membrature presentano gli stessi stati di sollecitazione rilevati all'epoca dell'entrata in servizio dell'opera.



Monitoraggio Strutturale mediante Fibra Ottica



Una tecnica innovativa per il monitoraggio delle opere strutturali ed infrastrutturali si basa sull'utilizzo dei sensori a fibra ottica. Noto come Optical Fibre Strain Monitoring System (Sistema di monitoraggio della deformazione con sensori a fibre ottiche) o semplicemente Smart Fibre System (Sistema di fibre intelligenti), il dispositivo è costituito da un insieme ordinato di sensori a fibre ottiche annegabili in strutture di calcestruzzo (ponti, edifici, ecc), applicati sull'acciaio o inseriti all'interno di maschi murari.





Monitoraggio Strutturale mediante Fibra Ottica



Si pensi in particolare alle deformazioni, temperature, pressioni, penetrazioni di agenti chimici nocivi, ecc. I sensori a fibre ottiche presentano dei vantaggi importanti rispetto ai metodi di misura più convenzionali. Tra questi citiamo il loro basso costo, la vasta gamma di parametri misurabili, l'insensibilità ai campi elettromagnetici (linee ad alta tensione, treni, temporali) ed alla corrosione, le loro dimensioni ridotte, la loro flessibilità d'impiego e la grande densità d'informazione che possono fornire.



Monitoraggio Strutturale mediante Fibra Ottica

**Monitoraggio in campo
Dinamico**

**Monitoraggio in campo
Statico**



Monitoraggio in campo Dinamico



- ✓ Consente di caratterizzare frequenze proprie, forme dei modi di vibrare e capacità di dissipare l'energia della struttura
- ✓ Applicato alla verifica sismica degli edifici esistenti valuta la capacità dell'opera a sopportare l'azione del terremoto
- ✓ Tale controllo impiega tipicamente l'impiego di idonei attuatori meccanici o idraulici (vibroline)





Monitoraggio in campo Statico



- ✓ Controllo nelle fasi realizzative
- ✓ Controllo all'entrata in servizio dell'opera
- ✓ Controllo durante la vita utile
- ✓ Manutenzione

È possibile effettuare tale controllo mediante l'utilizzo della tecnologia a fibra ottica che ha una provenienza applicativa di tipo Aeronautico





Elementi Principali

Le componenti del sistema sono:

- ✓ I sensori a fibre ottiche
- ✓ L'unità di lettura
- ✓ Gli switch
- ✓ Software di programmazione, acquisizione ed analisi delle misure.



Tipi di sensore

Rilevatori di spostamento (deformazione): I sensori a fibra ottica sono di vario tipo, a seconda del principio fisico che sfruttano per trasdurre la grandezza da misurare in segnale ottico decodificabile.



Ogni singola fibra ottica è composta da due strati concentrici di materiale trasparente estremamente puro: un nucleo cilindrico centrale, o *core*, ed un mantello o *cladding* attorno ad esso realizzati in silice oppure in polimeri plastici. All'esterno della fibra vi è una guaina protettiva polimerica detta *jacket* che serve a dare resistenza agli stress fisici e alla corrosione ed evitare il contatto fra la fibra e l'ambiente esterno.





Tipi di sensore

Caratteristiche sensori: hanno una lunghezza compresa tra 25cm e 6 metri e sono in grado di misurare deformazioni fino al 5‰, sia in trazione che in compressione. Vengono utilizzati in gran parte delle applicazioni civili per il monitoraggio strutturale poiché sono basati sul principio dell'accoppiamento locale (fibra di riferimento e fibra di misura) e possono essere direttamente annegati nel calcestruzzo, nella malta o collocati sulle superfici delle strutture. Qualora vengano predisposti sul calcestruzzo fresco, possono controllare le deformazioni durante la fase di maturazione. Tali sensori sono molto resistenti, hanno una sezione trasversale massima nei punti di ancoraggio di 1.5cm , la loro parte attiva ha un diametro di circa 8mm e possono venire installati velocemente.



Altri tipi di sensore

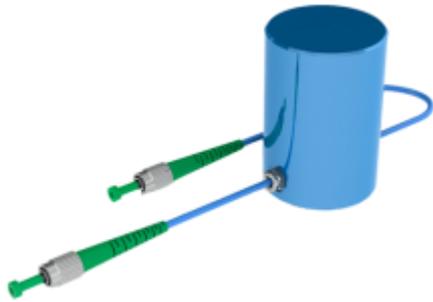
E' possibile collegare all'Unità di lettura anche altri sensori, quali ad esempio le termocoppie, accelerometri ed velocimetri.

In questo modo è possibile ottenere maggiori informazioni del sistema monitorato con una sola Unità di Lettura

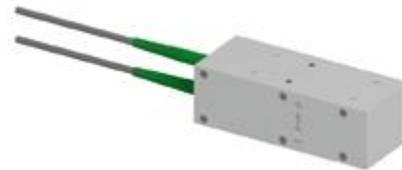




Altri tipi di sensore



Accelerometro
monoassiale



Accelerometro
monoassiale



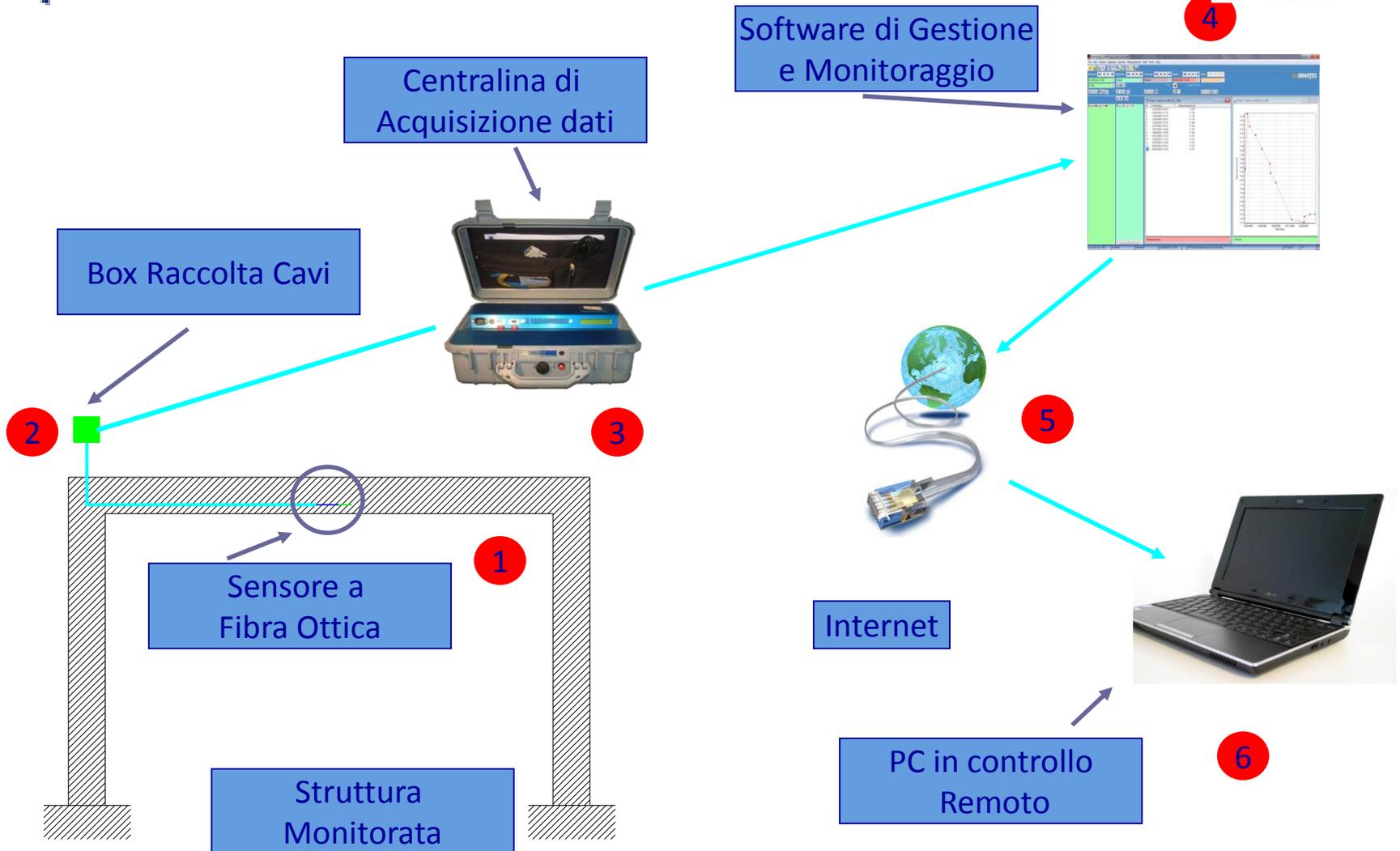
Architettura del sistema

Per ciò che riguarda il controllo statico, possiamo riconoscere in un sistema di monitoraggio prevalentemente: elementi attivi rappresentati dai sensori a fibra ottica, ossia rilevatori di spostamento e quindi di deformazione, elementi passivi, rappresentati dai cavi di collegamento, unità di lettura e un sistema di trasmissioni dati in remoto gestito il più delle volte da un personal computer

Per il monitoraggio in campo dinamico invece, può essere costituito da: elementi attivi rappresentati dai sensori a fibra ottica, ossia rilevatori di accelerazione, elementi passivi, rappresentati dai cavi di collegamento, unità di lettura e un sistema di trasmissioni dati in remoto gestito da un pc.

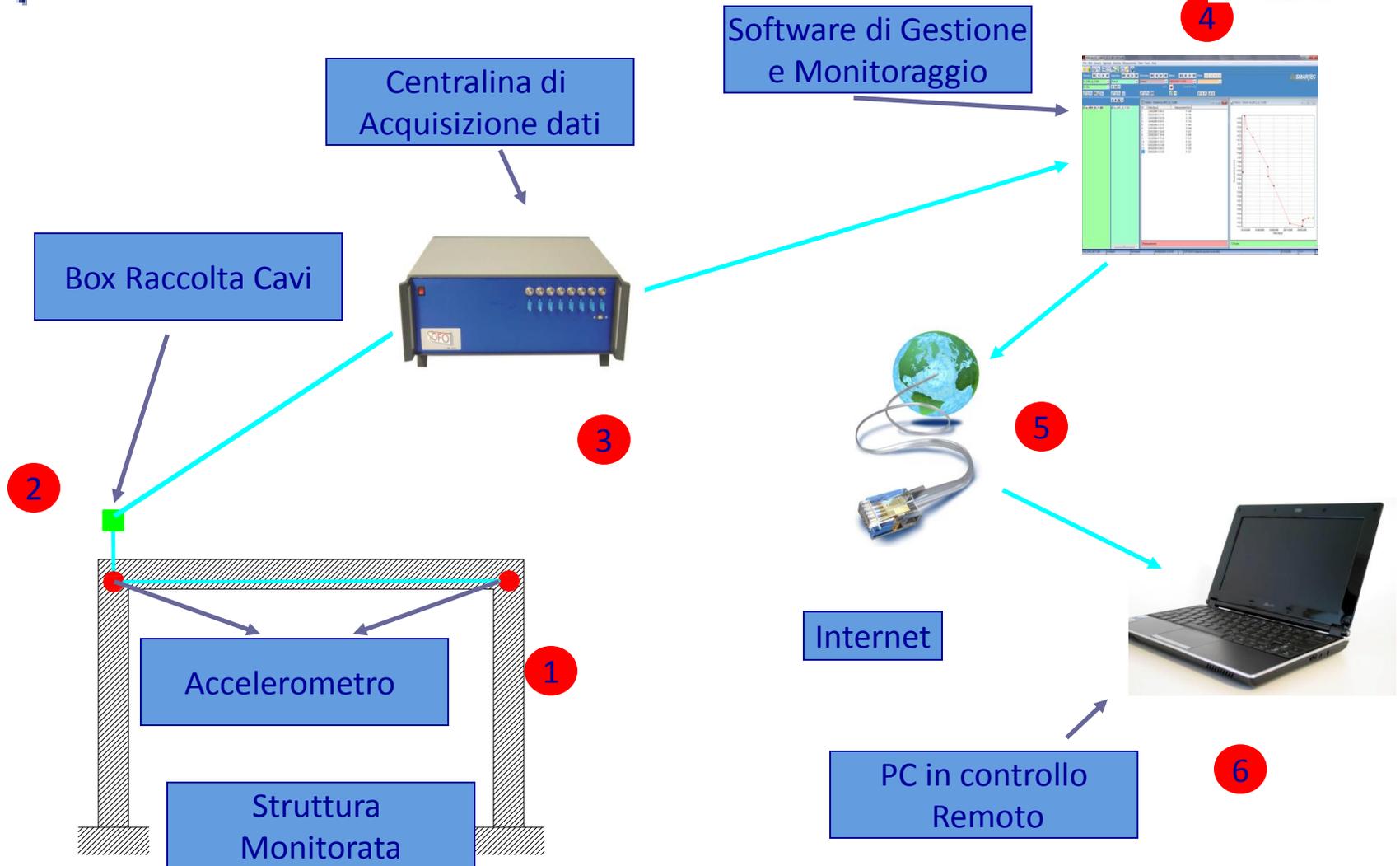


Architettura del sistema monitoraggio statico





Architettura del sistema monitoraggio dinamico





Sistema di monitoraggio statico



I sistemi di monitoraggio proposti, principalmente, presentano rilevatori di deformazione a fibra ottica applicati su prestabilite basi di misura. In pratica, si tratta di solidarizzare il sensore su una barra di acciaio, la quale successivamente verrà inglobata nel getto di calcestruzzo che formerà la membratura resistente. I misuratori di deformazione posti in un pilastro o in una trave potranno essere interrogati in qualsiasi momento e i dati di lettura trasmessi anche in remoto. La loro versatilità di impiego, consente di disporre di strumenti di misura in punti guida, che permettono la sorveglianza automatica e permanente fin dalle prime fasi di realizzazione della struttura in c.a., il tutto con innegabili vantaggi.



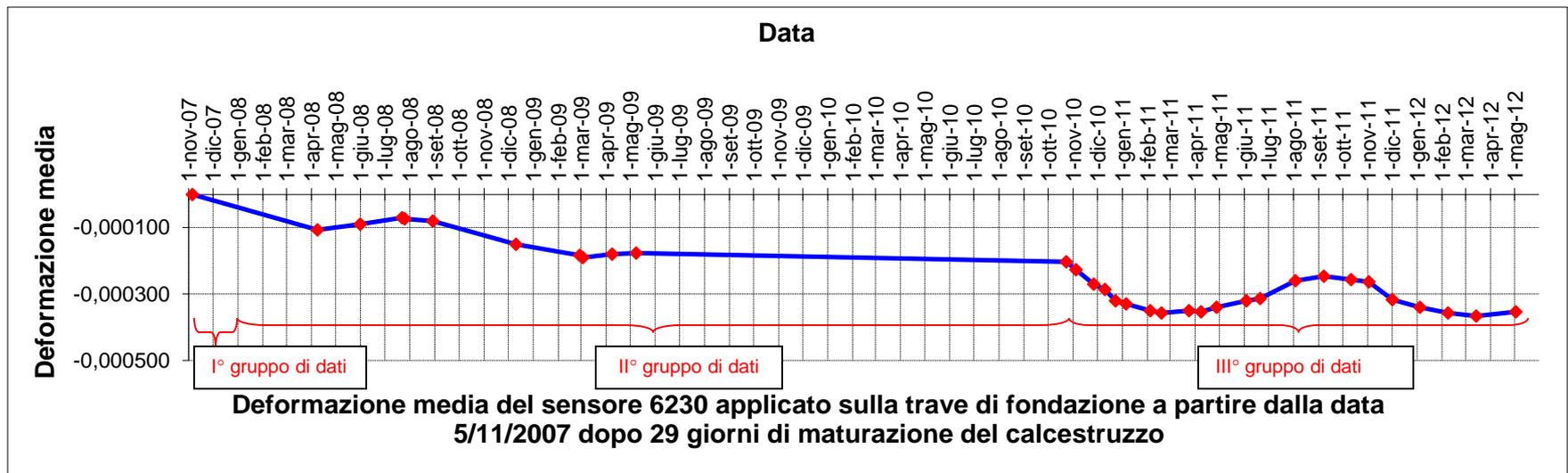
Sistema di monitoraggio statico



Un sistema residente di monitoraggio consente di perseguire diversi obiettivi. Sicuramente, la presenza dei rilevatori, durante le fasi costruttive, consente di seguire le fasi di carico di più membrature e di conseguenza, verificando la perfetta congruenza tra il dato sperimentale registrato e quello teorico di calcolo, si potrà escludere la presenza di difetti costruttivi. L'opera, una volta entrata in servizio per le normali condizioni d'uso, grazie al sistema di monitoraggio, potrà essere oggetto di controlli periodici non invasivi, che attestino la perfetta efficienza e la conservazione dei livelli di sicurezza all'origine. In ultimo se la struttura venisse interessata da condizioni di carico estreme quali il sisma, la verifica di affidabilità e pertanto la verifica di agibilità potrà essere effettuata in tempo reale e senza azioni invasive per l'opera.



Sistema di monitoraggio statico



Dall'analisi dei grafici, tipici di campagne sperimentali basate su acquisizioni di deformazioni mediante sensori, è possibile identificare tre famiglie o campioni omogenei di valori di deformazione. Queste tre famiglie hanno finalità e connotati diversi ossia:



Sistema di monitoraggio statico



1° gruppo di dati

La prima, è costituita dall'insieme delle misure rilevate alla data di installazione dei sensori. L'insieme di queste grandezze non ha alcuna prerogativa tecnica per consentire la valutazione di regimi di sforzo o di sollecitazione, è semplicemente una certificazione di funzionamento di quanto installato. In pratica, si tratta di acquisizioni atte a giustificare la consegna di architetture di sistemi di monitoraggio. Solo in casi particolari in cui lo sperimentatore verifica che, l'operazione di getto, montaggio e indurimento del cls, non disturba il parametro sperimentale, il valore di spostamento letto in fase di montaggio potrà rappresentare misura di riferimento per la valutazione delle deformazioni e quindi degli sforzi.



Sistema di monitoraggio statico



II° gruppo di dati

La seconda, è invece costituita da tutte le misure eseguite sui sensori dal momento in cui il calcestruzzo della membratura oggetto di analisi, è diventato strutturale, ossia ha estinto in parte gli effetti del ritiro e pertanto, l'elemento monitorato, è in grado di sopportare regimi di sforzo. Tutte le acquisizioni effettuate per ogni elemento, a partire dal verificarsi di queste condizioni, consentiranno di seguire l'evoluzione della realizzazione dell'opera. Pertanto, in questa fase potranno essere opportunamente valutate le variazioni di sforzo in virtù della realizzazione delle strutture in c.a., del posizionamento dei carichi permanenti fino all'entrata in servizio dell'opera. La finalità osservazionale, insita nella disponibilità dei dati sperimentali della seconda categoria, appare chiaramente orientata alla verifica della qualità costruttiva, alla possibilità di escludere difetti di montaggio e realizzativi ed in ultimo a testare l'affidabilità del modellatore strutturale utilizzato per la progettazione strutturale.



Sistema di monitoraggio statico

III° gruppo di dati

La terza, che comprende l'ultimo gruppo di dati sperimentali, è invece costituita da valori di spostamento acquisiti dall'entrata in servizio dell'edificio e pertanto in presenza di carichi sia di peso proprio, permanenti, che accidentali. In questo caso, l'attività di lettura è orientata alla creazione di un data base relativo alla valutazione di tutte le perturbazioni indotte dalle condizioni ambientali ed ai regimi di sforzo oramai consolidati e definitivi. In pratica, si tratta di registrare, per un periodo sufficientemente rappresentativo, su tutte le basi di misura le oscillazioni di spostamento opportunamente correlate con le misure di temperatura. L'insieme di queste acquisizioni, verrà nel corso della vita utile, utilizzato per eseguire controlli periodici con metodologia comparativa.

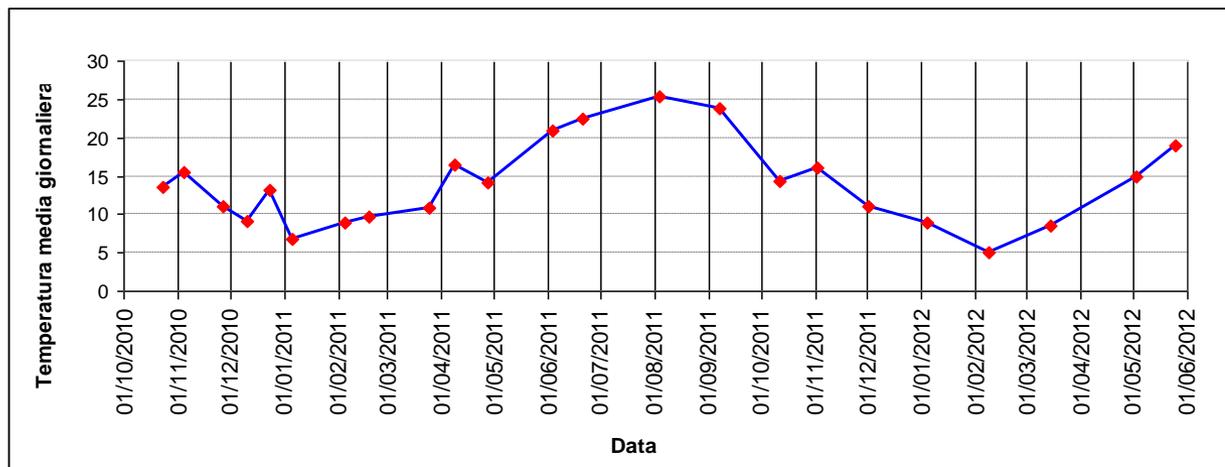
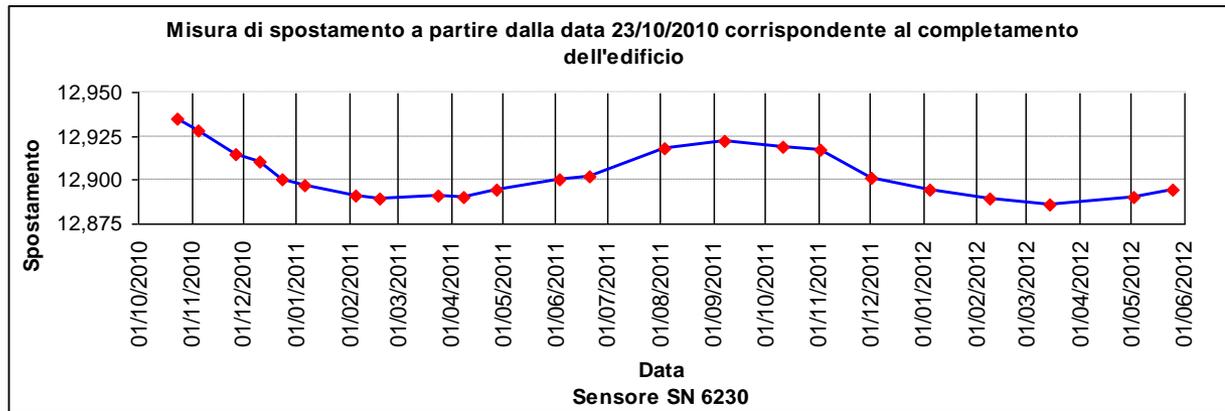
In riferimento a quest'ultimo aspetto, nella figura seguente per l'edificio oggetto di studio è riportato un grafico tipico in termini di deformazione media, comparato con l'andamento delle temperature medie sull'area.



Sistema di monitoraggio statico



Acquisizione tipo per il controllo di membrature fuori terra



Attraverso questa tipologia di grafici, possono essere effettuate le verifiche sul perfetto funzionamento strutturale dell'opera in corso di esercizio, in quanto le deformazioni presentano un andamento ciclico dettato dalle condizioni ambientali. In qualsiasi momento quindi, possono essere confrontati i valori misurati con quelli contenuti nei grafici. Questo rappresenta uno strumento di grandissima valenza, nel momento in cui si voglia conoscere lo stato di salute del fabbricato, sia nel corso della vita utile, sia in seguito ad eventi sismici.



Alcuni casi applicativi