

# Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica

Organo ufficiale dell'Associazione Italiana Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica *The journal of the Italian Society of Non Destructive Testing Monitoring Diagnostics*



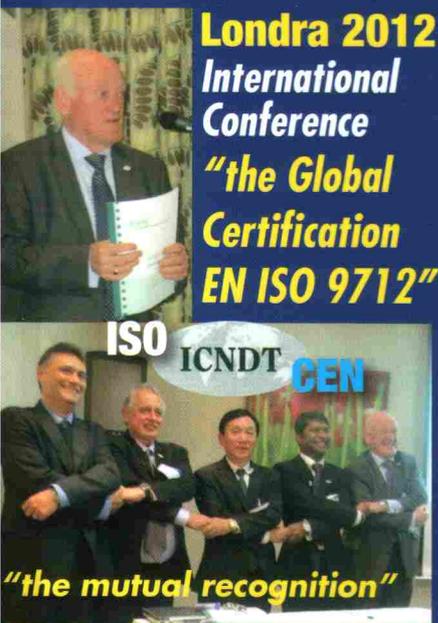
**Terni, 1910**

**"alle sorgenti della Siderurgia"**

**Terni, 1929**

**Terni, 2012**

*ThysenKrupp Acciai Speciali Terni*



**Londra 2012  
International  
Conference  
"the Global  
Certification  
EN ISO 9712"**

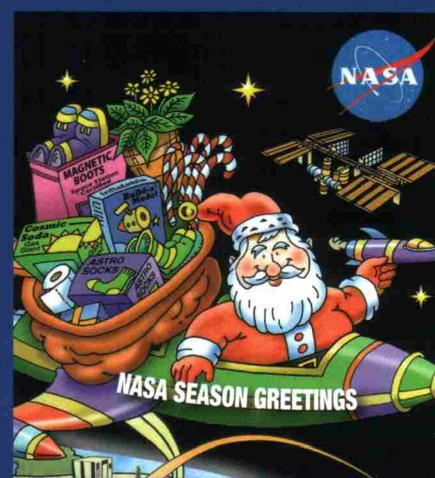
ISO  
ICNDT  
CEN

**"the mutual recognition"**



**PnD Trieste 2013  
23/26 Ottobre**

**National NDT Conference  
15° Congresso AIPnD  
Exhibition**



**Orlando 2012  
Fall Conference  
"Ottimismo sulla PnD Economy"**



**6th Middle East NDT Conference  
Exhibition**

**NDT Bahrain 2012**



**Sala da veicoli FS tipo SD94M**

**Firenze 2012: Giornata di Studio: Trasporto Ferroviario**

# IL MONITORAGGIO STRUTTURALE PER IL CONTROLLO DELLE FASI COSTRUTTIVE E PER LA VERIFICA DI AFFIDABILITÀ DELLE STRUTTURE IN C.A.

G. Porco\* – D. Romano\*\* – G.F. Valer Montero\*

\* Università della Calabria, Dipartimento di Strutture, Facoltà di Ingegneria  
[a.porco@sismmlab.it](mailto:a.porco@sismmlab.it) [giuliafvalerm@gmail.com](mailto:giuliafvalerm@gmail.com)

\*\* Sismmlab s.r.l.- Spin – Off Università della Calabria.  
[d.romano@sismmlab.it](mailto:d.romano@sismmlab.it)

## INTRODUZIONE

Il controllo delle fasi costruttive e la verifica della affidabilità in esercizio delle strutture in c.a., negli ultimi anni sono stati argomenti di interesse tra gli operatori del settore, favorendo, proprio in questi due campi, specialmente dopo l'entrata in vigore della NTC08, lo sviluppo, la messa a punto e l'implementazione, di nuove procedure standard basate su metodologie sperimentali innovative. Sicuramente le NTC08, dopo anni di vuoto normativo sui temi della verifica del patrimonio edilizio esistente e sul monitoraggio strutturale, finalmente ampliano il concetto di controllo inteso, non solo come azione eseguita a valle e cioè quando l'opera è già sede di un dissesto evidente, ma come un insieme di attività finalizzate ad evitare tali situazioni. Il tutto attraverso l'attuazione nelle fasi costruttive, di attività di controllo sui materiali in modo più razionale rispetto al passato, e nelle fasi d'uso o di esercizio, nell'applicazione di un piano di manutenzione redatto in fase di progettazione.

La struttura in c.a. o se vogliamo qualsiasi elemento portante, che è deputato ad accogliere regimi di sollecitazione, entro i limiti di sicurezza previsti dal quadro normativo vigente, può essere oggetto di una azione di osservazione e di misura, sia in fase costruttiva che in fase di esercizio. In pratica, si tratta di cogliere le variazioni di alcuni parametri fondamentali, caratterizzanti il comportamento strutturale e ritenuti primari durante le fasi realizzative e nel corso della vita utile del manufatto. Le attività di osservazione e misura possono essere finalizzate a perseguire, in fase costruttiva, verifiche basate principalmente su dati assoluti, quale ad esempio potrebbe essere una verifica di congruenza tra un regime di sollecitazione teorico ed uno sperimentale, mentre durante l'esercizio, oltre al controllo assoluto, potrà essere effettuato anche un controllo comparativo con dati disponibili e acquisiti dopo l'entrata in esercizio dell'opera. Facendo un paragone in ambito medico, il controllo di tipo assoluto rappresenta una verifica di convergenza effettuata tra dati attesi, ossia valori di riferimento appartenenti a *range* noti e legati alla nostra età, con quelli ottenuti mediante una indagine di laboratorio finalizzata a misurare una grandezza predefinita. Il controllo di tipo comparativo è invece assimilabile ad un controllo *rutinario* eseguito ad esempio annualmente, attraverso una comparazione fra la grandezza misurata con una indagine di laboratorio e quella effettuata ed acquisita con la stessa metodica di laboratorio l'anno precedente.

In questo ambito, il monitoraggio strutturale offre un valido supporto ai tecnici per poter verificare, in fase costruttiva, l'assenza di difetti e la realizzazione a perfetta regola d'arte di un manufatto, e nel corso della vita utile, il controllo del mantenimento delle prerogative di progetto sia in condizioni usuali che a valle di eventi straordinari quali le azioni sismiche.

Con il presente lavoro si intende fornire un contributo in questo contesto, illustrando prioritariamente le potenzialità della metodologia osservazionale basata sull'uso di architetture a fibra ottica, classificando le fasi sperimentali di acquisizione e finalizzandole nei due ambiti precedentemente descritti. L'analisi sarà seguita, infine, dalla discussione di un caso reale, dove la metodologia sperimentale proposta è stata implementata.

## **1. MONITORAGGIO STRUTTURALE**

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. 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. Con il termine monitoraggio strutturale si intendono operazioni finalizzate alla raccolta di dati, inerenti a parametri della struttura, quali spostamenti e deformazioni, che vengono successivamente interpretati per fornire una visione di insieme sul comportamento dell'opera, sia durante le fasi costruttive che nel corso della vita utile.

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.

Concretamente, sulle strutture in calcestruzzo armato, siano esse intese come parti resistenti di un ponte o di una opera di sostegno o di un elemento portante di un edificio multipiano, l'azione di monitoraggio può essere effettuata seguendo i regimi di tensione presenti sulle armature disposte nelle sezioni resistenti. Infatti, la misura di questa grandezza, anche in via indiretta, consentirà di verificare una graduale crescita dell'impegno statico in fase costruttiva, di rilevare una

ridistribuzione dei regimi di sforzo quando, per cause non previste e non prevedibili, la struttura monitorata modifica la sua configurazione originaria relativa alla fase di entrata in servizio.

Limitando la discussione al solo caso del 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. I rilevatori di deformazione o di spostamento sono applicati sulle barre d'armatura durante il corso delle fasi costruttive dell'opera, in corrispondenza di sezioni guida, identificate queste ultime sulla struttura, nella fase di ideazione dell'architettura del sistema di controllo e secondo le esigenze di normativa e di committenza. La campagna sperimentale sarà essenzialmente suddivisa in due grandi fasi, durante le quali i dati avranno una valenza molto diversa: la prima fase dedicata alla costruzione, la seconda orientata principalmente al controllo in esercizio.

La fase di verifica delle modalità costruttive, inizia nel momento in cui il sensore viene installato, durante questa prima attività sono eseguite le misurazioni iniziali, che hanno anche lo scopo di certificare il buon funzionamento dei rilevatori applicati. Complessivamente in questa fase riconosciamo due gruppi di misura, il primo comprende misure di installazione del sistema e serve a validarne l'affidabilità, nonché l'esistenza di spazi di escursione sufficienti, sul singolo sensore, in trazione e in compressione. Il secondo gruppo, è invece proprio della campagna sperimentale di verifica costruttiva. L'intervallo temporale durante il quale verrà eseguita questa verifica, si sviluppa secondo preordinati eventi di misura, tali da evidenziare gli effetti di disturbo provenienti dal ritiro del calcestruzzo e presenti sulle deformazioni delle barre d'acciaio monitorate. La verifica consiste nel valutare le variazioni di sforzo in virtù dei diversi step presenti durante la realizzazione di una struttura in c.a., a seguito del posizionamento dei carichi permanenti, e fino all'entrata in servizio dell'opera. Attraverso l'insieme di dati ottenuti, si offre non solo la possibilità di verificare la qualità costruttiva, escludendo difetti di montaggio e realizzativi, ma anche di testare l'affidabilità del modellatore utilizzato per la progettazione strutturale.

La seconda fase di verifica relativa allo stato di esercizio invece, ha inizio nel momento in cui l'edificio entra in servizio, cioè quando su di esso gravano oltre al peso proprio e al carico permanente, anche i carichi accidentali. In questo caso, l'attività sperimentale è finalizzata alla creazione di un *data base*, che comprenda tutte le perturbazioni indotte dalle condizioni ambientali ai regimi di sforzo oramai consolidati e definitivi. In questa fase le letture, per gli edifici in calcestruzzo armato, coincidono con un unico gruppo di misura. L'insieme di queste acquisizioni

periodiche, potrà essere utilizzato nel corso della vita utile, per eseguire controlli periodici con metodologia comparativa.

Nella figura seguente, con riferimento ad una membratura monitorata, ed in particolare al regime di deformazione acquisito su un periodo temporale di ventiquattro mesi e per una singola barra d'acciaio, sono riportate le fasi prima descritte con l'indicazione dei gruppi di lettura.

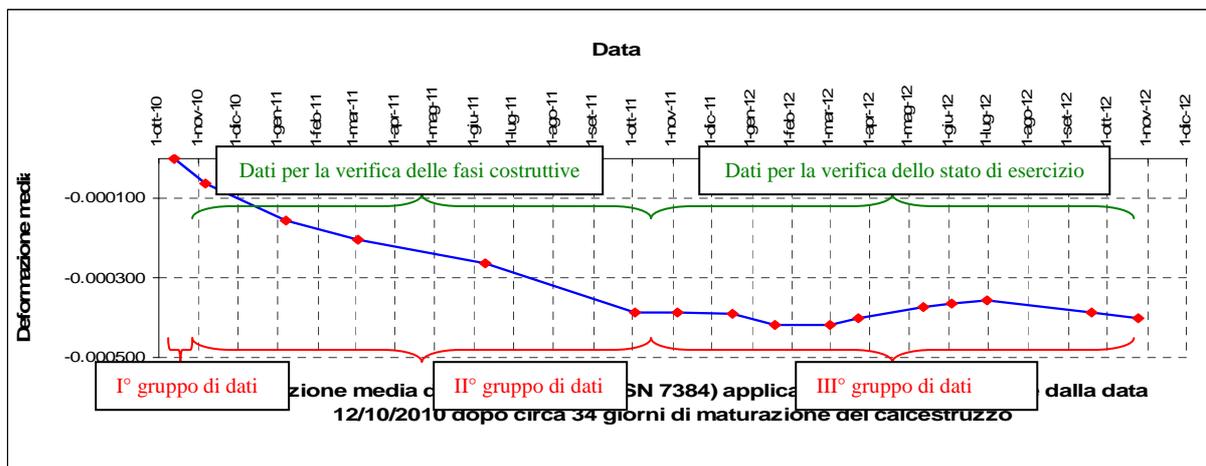


Fig. 1- Andamento delle deformazioni nel tempo con suddivisione in fasi e gruppi di misure.

Da questa breve panoramica offerta sull'argomento, appare evidente che il monitoraggio strutturale metta a disposizione degli operatori del settore, un utile strumento metodologico basato su tecniche sperimentali NDT per eseguire verifiche ad ampio spettro, comprendendo sia le attività costruttive, che tutto il periodo di vita utile dell'opera.

Con l'obiettivo di chiarire in modo più esaustivo sia le attività sperimentali che le deduzioni tecniche interpretative, nelle sezioni seguenti sono riportate altre considerazioni relative alle fasi costituenti la campagna sperimentale e con l'ausilio di un caso reale di studio, inerente ad una struttura in c.a., illustrati dati relativi ai percorsi deformativi acquisiti in opera. E' bene precisare che per brevità, il presente lavoro non illustra le fasi proprie della redazione di un progetto di monitoraggio, né le fasi di installazione dei rilevatori e delle unità di lettura, rimandando pertanto i necessari approfondimenti ad altri testi specifici.

## 2. IL CONTROLLO DELLE FASI COSTRUTTIVE MEDIANTE IL MONITORAGGIO STRUTTURALE

Uno degli obiettivi perseguibili con il monitoraggio strutturale è quello del controllo delle fasi costruttive. Questa attività si esplica principalmente attraverso l'uso di dati oggettivi e pertanto verificando numericamente che, un dato sperimentale rilevato sul campo, sia abbastanza prossimo ad un valore numerico ottenuto attraverso un modellatore di calcolo.

La disponibilità dei valori sperimentali di deformazione e di quelli teorici di calcolo, non è però elemento unico e indispensabile per lo studio delle fasi realizzative. In questo intervallo temporale

vi sono alcune cause perturbatrici quali, il ritiro del calcestruzzo, che esercita una forte azione perturbativa sui valori sperimentali, per effetto di diversi fattori quali: il tipo di materiale impiegato, la esposizione alle escursioni di temperatura e di umidità della membratura monitorata e naturalmente il livello di iperstaticità che si sviluppa sull'elemento strutturale durante le fasi di maturazione del calcestruzzo. La interpretazione dei dati sperimentali per verificare che, durante la costruzione non si producano difetti costruttivi e che l'opera presenti le prerogative strutturali presenti in progetto, segue quindi un preciso iter di analisi, costituito da azioni sul campo e da azioni teoriche relative alla conoscenza del comportamento di materiali e strutture. Con la disponibilità di un progetto di monitoraggio e di una architettura di controllo già in opera, l'insieme delle operazioni da compiere possono essere raccolte in un protocollo procedurale nel quale si riconoscono le seguenti azioni principali:

1. Acquisizione di dati sperimentali in opera secondo una prefissata cronologia temporale, creando due gruppi di misure: il primo costituito da valori attestanti la funzionalità del sistema di monitoraggio, il secondo relativo a misure grezze, ossia non depurate, per il controllo delle fasi costruttive;
2. Graficizzazione delle progressioni deformative su intervalli temporali interconnessi con le fasi costruttive;
3. Modellazione teorica della struttura monitorata attraverso l'impiego di un solutore agli elementi finiti per preordinate condizioni di carico e per definite geometrie costruttive intermedie;
4. Valutazione degli effetti secondari sulle misure sperimentali quale il ritiro, in relazione alla membratura monitorata e identificazione dei valori sperimentali filtrati o depurati;
5. Confronto teorico – sperimentale e interpretazione dei percorsi deformativi teorici e sperimentali depurati;

In riferimento al primo punto del protocollo è bene precisare che il:

- I° gruppo di dati: è quello relativo alla fase di installazione dei sensori. Questo tipo di misurazioni non hanno alcuna prerogativa tecnica di verifica strutturale, ma rappresentano semplicemente una certificazione del funzionamento di quanto installato.
- II° gruppo di dati: sono le misure eseguite successivamente al getto del calcestruzzo, con l'elemento portante già consistente, sul quale le deformazioni da ritiro sono in corso, ma non sono presenti inizialmente carichi dalle sovrastrutture. In particolare la prima misurazione eseguita durante questa fase, è effettuata al fine di fissare la "misura di zero" e rappresenta il riferimento per la valutazione degli incrementi deformativi dovuti alle fasi costruttive.

In riferimento invece al penultimo punto del protocollo è bene ribadire che, per rendere il processo teorico e il processo sperimentale comparabili, è necessario depurare dalle misure di deformazione ottenute dai sensori, l'aliquota deformativa relativa ai processi di ritiro del calcestruzzo. Questa azione dovrà essere diversificata per ogni membratura, in funzione dello spazio temporale di sovrapposizione tra, l'acquisizione del dato sperimentale e il processo di maturazione del calcestruzzo; inoltre, per ogni sezione, sarà necessario valutare l'effetto prodotto dal ritiro anche in funzione del tipo di armatura presente e del tipo di esposizione agli agenti esterni. Valutate le deformazioni associate al ritiro nei diversi tempi, sarà possibile depurare le misure di deformazione sperimentale dalla aliquota aggiuntiva, giungendo a identificare il reale livello di deformazione compatibile con i carichi presenti. Successivamente, attraverso le equazioni di legame costitutivo, potranno essere calcolate le tensioni presenti, da comparare con quelle ottenute con il modellatore teorico. Il controllo delle fasi costruttive potrà essere perseguito, eseguendo sulle membrature guida, identificate in fase progettuale, in più intervalli temporali la verifica tra i regimi di sforzo sperimentali opportunamente depurati con quelli teorici, consentendo pertanto ai tecnici di poter affermare, sulla scorta di dati oggettivi, la perfetta realizzazione ad opera d'arte, nel rispetto del progetto esecutivo.

### **3. LA VERIFICA DI AFFIDABILITÀ IN ESERCIZIO MEDIANTE IL MONITORAGGIO STRUTTURALE**

La seconda finalità perseguibile con il monitoraggio strutturale, è quella di poter eseguire, in qualsiasi momento, ed in tempo reale, verifiche di affidabilità di una struttura portante durante la vita utile o in esercizio. Tale attività in ottemperanza a quanto contenuto nelle NTC08, deve essere disciplinata, per il controllo del mantenimento delle prerogative di progetto, dal piano di manutenzione, redatto in fase progettuale. Naturalmente su una struttura in c.a., la disponibilità di una architettura di monitoraggio offre anche la possibilità di effettuare verifiche di sicurezza a valle di eventi straordinari, quali le azioni sismiche.

Con riferimento alle strutture per civile abitazione e per la sola condizione statica, è possibile, disponendo di un sistema di acquisizione, disciplinare una serie di attività sperimentali e tecniche che, attraverso una metodologia comparativa, consentono di verificare periodicamente il mantenimento dei coefficienti di sicurezza in opera rispetto all'entrata in servizio.

L'entrata in servizio di una struttura coincide, sotto il profilo giuridico, con il compimento di un iter burocratico che, attraverso la relazione a struttura ultimata e il collaudo, si chiude con il rilascio di un certificato di abitabilità. Per quanto attiene invece, ai regimi di sollecitazione, l'entrata in servizio di una struttura coincide con la presenza di pesi propri, carichi permanenti, accidentali ma principalmente con la stabilizzazione del regime di sollecitazione interno, il quale, associato ad una configurazione definitiva e stabile della struttura, subirà esclusivamente variazioni indotte dagli

effetti stagionali. L'entrata in servizio della struttura sotto il profilo sollecitazione, non sempre coincide, con la chiusura dell'iter giuridico, anzi è proprio a partire dalla entrata in servizio ufficiale dell'opera, che è possibile riconoscere un intervallo temporale transitorio, durante il quale avviene il completamento dei processi di carico incompleti e la stabilizzazione delle configurazioni di equilibrio. Inoltre in questo periodo, essendo le strutture in c.a. a multi iperstatiche, si registra il completamento del fenomeno di adattamento strutturale ai carichi e alle condizioni al contorno, pervenendo ad una distribuzione dei regimi di sforzo secondo un preordinato ordine di rigidzze, ed associato ad una condizione di equilibrio stabile. Il periodo definito transitorio o di stabilizzazione dei regimi di sforzo, ha una estensione variabile ed è funzione della complessità dell'opera in termini di distribuzione di rigidzze; inoltre apprezzabile è l'influenza sull'estensione temporale del transitorio, della natura e della consistenza dei terreni di fondazione.

La determinazione del compimento delle fasi di stabilizzazione e quindi il termine del transitorio, coincide sperimentalmente con un evento a partire dal quale, i valori di spostamento producono forme ad andamento sinusoidale, sovrapponibili all'alternarsi delle stagioni e oscillanti rispetto a valori medi costanti. Tutte le misure, eseguite a partire dal momento in cui è estinto il periodo transitorio, confluiranno in un *data base*. Solitamente il periodo di acquisizione successivo, alla fine del transitorio comprende almeno dodici mesi di osservazione in modo da inglobare, nel campione che successivamente sarà utilizzato per la verifica comparativa, le perturbazioni dovute agli effetti stagionali di temperatura e di escursione di falda qualora presente.

Disponendo dell'andamento degli spostamenti nel tempo, rilevati sulle basi di misura poste sulle membrature portanti, potranno essere effettuate le verifiche sul perfetto funzionamento strutturale dell'opera in corso di esercizio. In qualsiasi momento quindi, potranno essere confrontati i valori misurati in tempo reale con quelli riferiti allo stesso periodo, e contenuti nel *data base*, valutando anomalie e scostamenti e attivando se necessario indagini più approfondite. Anche in presenza di eventi sismici, la disponibilità del *data base* diventa un formidabile strumento di confronto, consentendo agli operatori del settore di disporre di dati oggettivi per valutare il livello di danno presente sull'immobile e per stabilire l'affidabilità all'uso dell'edificio. Le procedure di controllo perseguibili sulle strutture in c.a in fase costruttiva e in corso di esercizio, sono state implementate su alcuni edifici in calcestruzzo armato e nel paragrafo seguente verranno esposti i risultati sperimentali acquisiti su uno dei casi di studio analizzati.

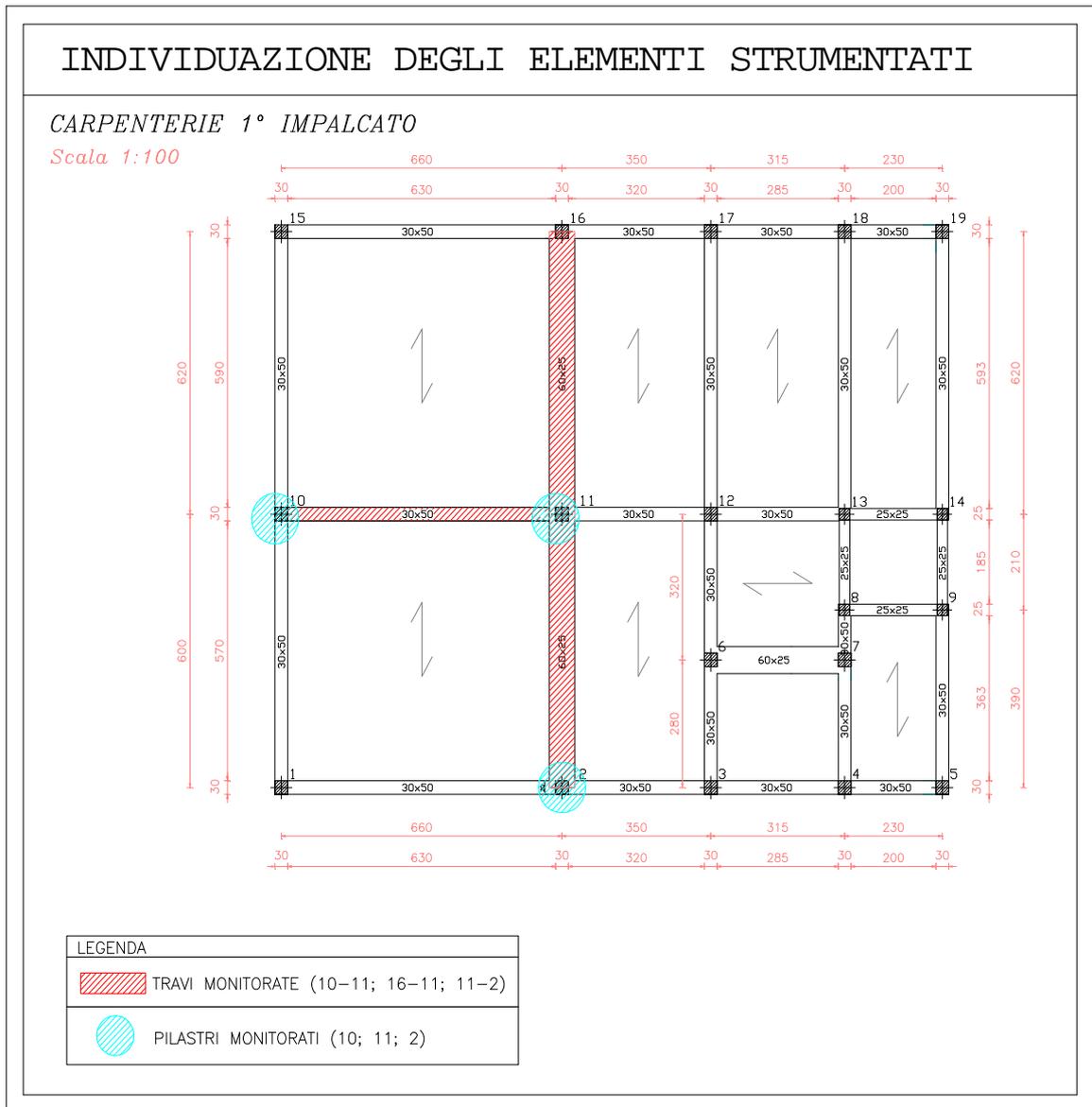
#### 4. UN CASO DI STUDIO: CAMPAGNA SPERIMENTALE DI CONTROLLO E MONITORAGGIO DI UN EDIFICIO IN C.A.

L'edificio in calcestruzzo armato, che è stato dotato di un sistema di monitoraggio e di cui si discuterà nella sezione seguente, è sito nel comune di Guidonia Montecelio (Roma). La struttura, dedicata ad attività ecclesiastica, si sviluppa su due livelli con superfici sufficientemente regolari in pianta. L'immobile presenta una estensione di 16x13 metri circa ed ha una struttura portante a telai, disposti secondo due direzioni ortogonali con luci comprese fra 6 e 3 metri. Le travi e i pilastri presentano sezione rettangolare o quadrata e i solai sono del tipo gettati in opera con travetti precompressi. Il secondo livello è raggiungibile attraverso un corpo scala, realizzato con pilastri e travi a ginocchio. Con l'ausilio degli esecutivi strutturali, è stata prioritariamente avviata la fase di progettazione del sistema di controllo. Naturalmente, questa prima fase ha i connotati di una esclusiva operazione progettuale, attraverso la quale si studia il comportamento della struttura per le diverse condizioni di carico e si identificano le membrature più rappresentative, quali travi e pilastri, sulle quali installare i sensori di deformazione.



Fig. 2 - Edificio in c.a. monitorato: Chiesa S. Maria Goretti, Guidonia Montecelio (Roma)





*Fig. 4 - Individuazione delle travi di I° livello e dei pilastri del primo ordine monitorati*

Per l'edificio di Guidonia, le membrature monitorate sono risultate complessivamente 9 così distribuite: 3 travi di fondazione, 3 pilastri e 3 travi del primo impalcato, utilizzando complessivamente 24 sensori. Ogni gruppo di sensori è stato collegato tramite la parte passiva, ad un box di connessione, dal quale potranno essere acquisiti i valori di spostamento con l'ausilio di una unità di lettura e di un personal computer. Nelle seguenti immagini, vengono riportati alcuni particolari del progetto del sistema di monitoraggio installato.

**UBICAZIONE SENSORI**  
Scala 1:50

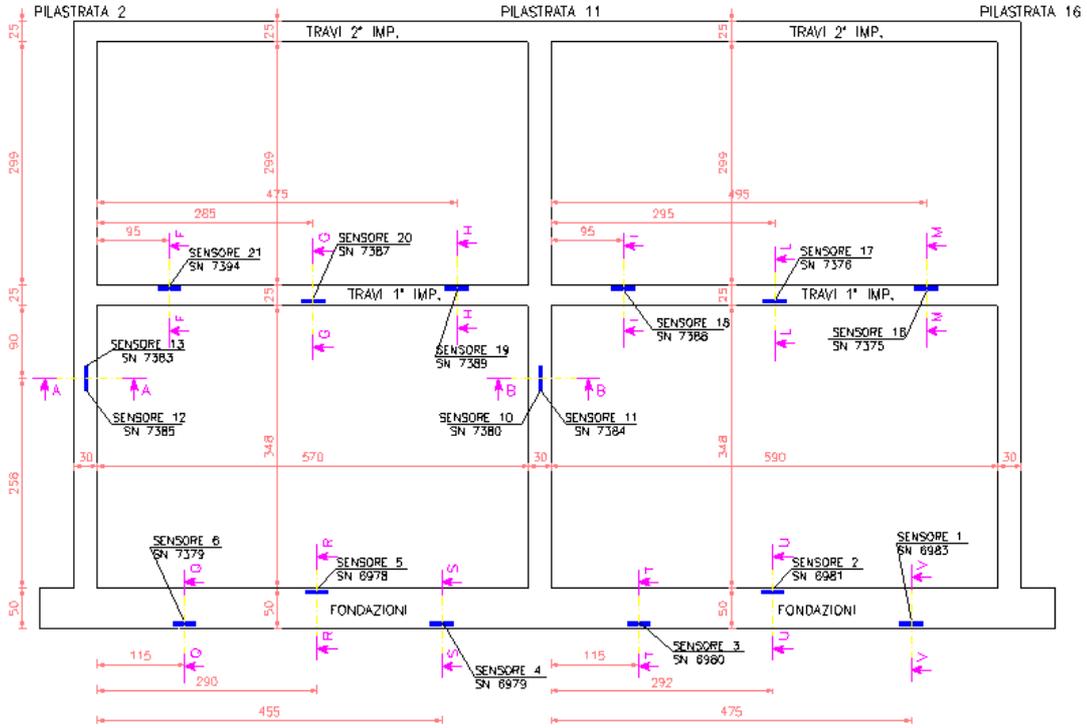


Fig. 5 - Ubicazione sensori nelle membrature oggetto di monitoraggio

**UBICAZIONE SENSORI**  
Scala 1:50

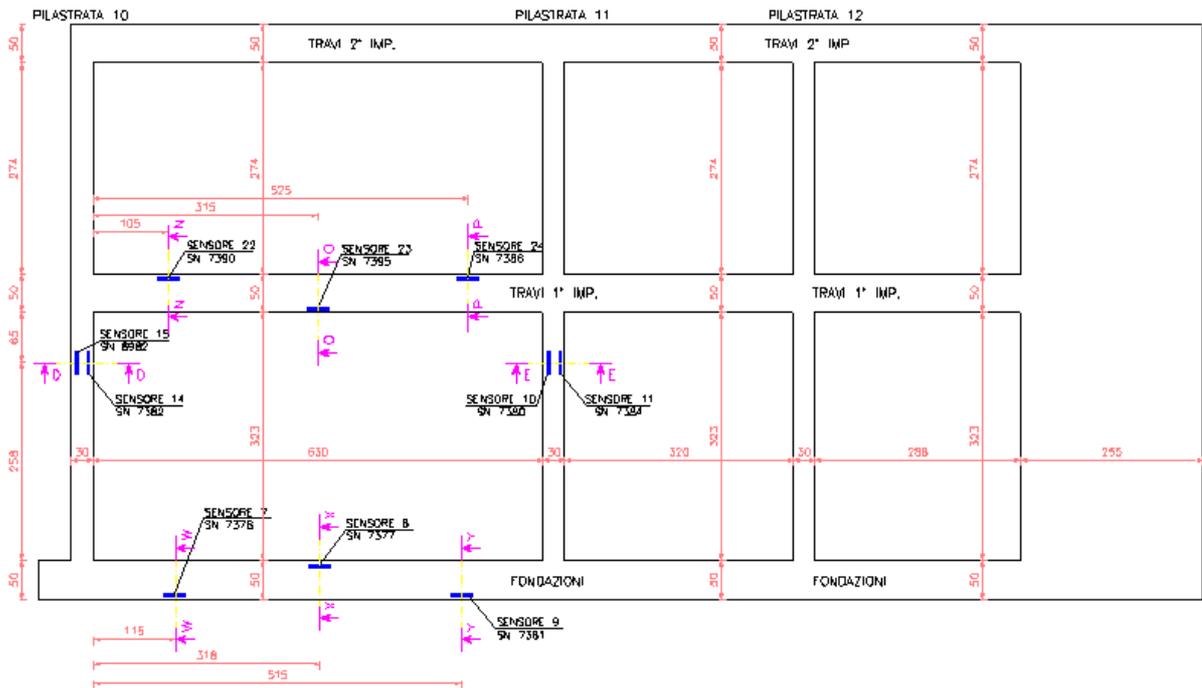


Fig. 6 - Ubicazione sensori nelle membrature oggetto di monitoraggio

## CONTROLLO DELLE FASI COSTRUTTIVE

Naturalmente la prima attività svolta, disponendo del sistema di monitoraggio è stata la verifica delle fasi costruttive. La verifica è stata effettuata con riferimento a due precise fasi costruttive: la prima, in cui risulta realizzata l'intera struttura in c.a. e le tamponature del piano terra, e quindi soggetta solo al peso dei solai del primo e del secondo impalcato, e la seconda, corrispondente alla struttura ultimata. Per brevità di esposizione verranno di seguito riportate le attività sperimentali e di calcolo relative a due pilastri strumentati.

Dall'analisi svolta per le due condizioni di carico citate e con l'ausilio di un programma di calcolo, i pilastri strumentati sono risultati soggetti a pressoflessione deviata con piccola eccentricità, generando deformazioni negative in entrambi i sensori installati su ogni elemento. Ottenute le tensioni teoriche o attese sull'elemento, ai fini di eseguire la verifica delle due fasi costruttive prescelte, sono stati acquisiti i valori di deformazione sui sensori al fine di depurarli dalla aliquota del ritiro e per, successivamente, confrontarli con quelli teorici. Il calcolo dell'aliquota di tensione da ritiro, è stato condotto in riferimento alle procedure contenute nelle NTC08.

Per una delle basi di misura strumentate, di seguito è riportata una figura in cui sono rappresentate le deformazioni grezze rilevate e le deformazioni depurate dalla parte dovuta al ritiro in riferimento al periodo di osservazione.

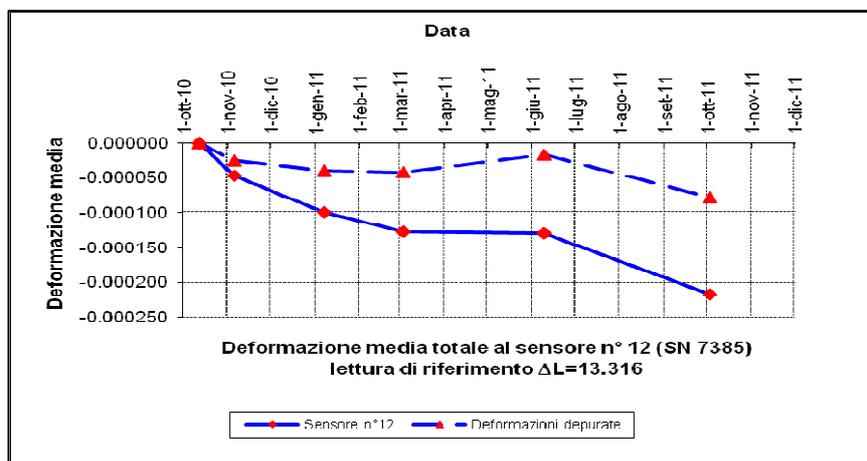
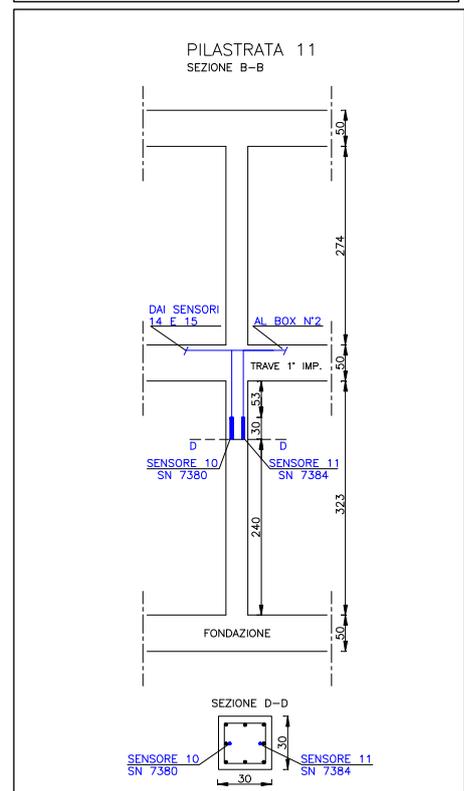
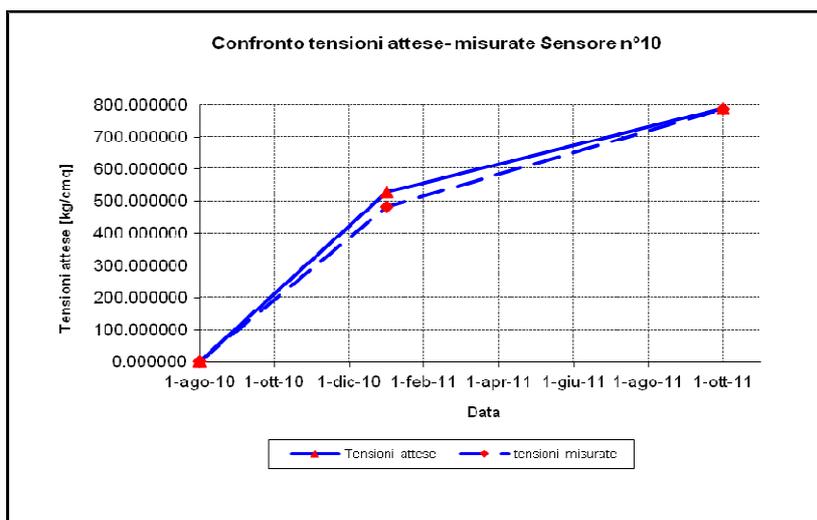
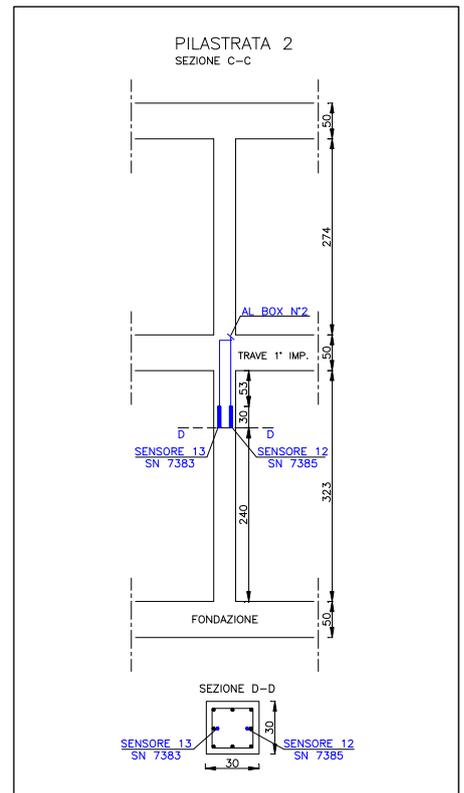
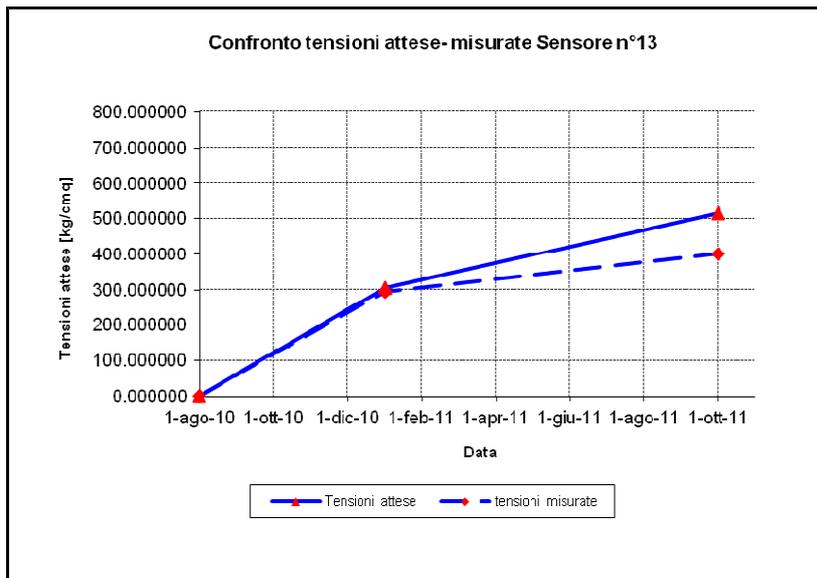


Fig. 7 - Esempio deformazioni nel tempo misurata e depurata dal ritiro

Le deformazioni, opportunamente depurate, sono state successivamente portate a confronto con le deformazioni teoriche. Nelle figure seguenti per due diverse pilastrate e per due basi di misura è mostrato il confronto per le due fasi costruttive.



*Fig. 8 – Confronto tensioni attese – misurate*

Dai grafici riportati appare chiaro, che le misure sperimentali risultano comparabili con quelle teoriche, attestando di fatto la corretta realizzazione dell'opera. Completata la prima fase di verifica l'attività sperimentale è stata orientata alla creazione del *data base* per consentire i controlli in corso di esercizio.

## VERIFICA DELLO STATO DI ESERCIZIO

In questo caso, l'attività sperimentale è stata orientata alla creazione di un data base, acquisendo misure di deformazione su tutte le basi di misura al termine del periodo transitorio.

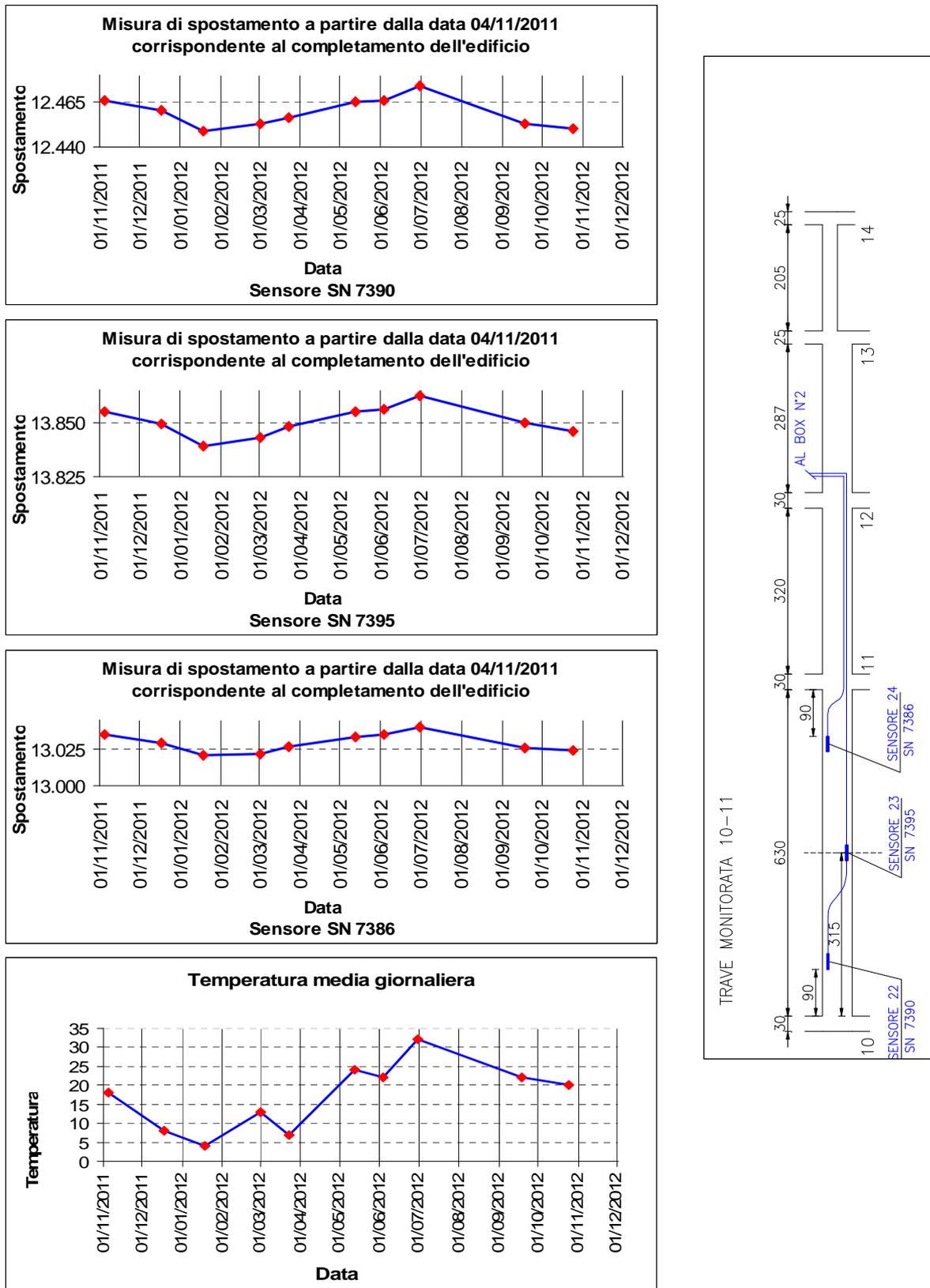


Fig. 9 – Misure di spostamento per il controllo periodico

Questa attività di campo ha consentito, per come visto nelle figure precedenti, di acquisire le perturbazioni indotte dalle condizioni ambientali sui regimi di sforzo oramai definitivi e associati a configurazioni stabili. Per brevità espositiva, sono stati illustrati i soli risultati sperimentali relativi ad una trave emergente, in termini di deformazione media, comparati con l'andamento delle temperature medie registrate nel Comune di Guidonia nel periodo di osservazione.

La disponibilità di valori di spostamento su tutte le basi di misura consentiranno in futuro, verifiche sul perfetto funzionamento strutturale dell'opera in corso di esercizio. In termini più espliciti, in qualsiasi momento disponendo di valori misurati in opera, sarà possibile effettuare una comparazione con i valori acquisiti in questa fase di creazione del data base.

## 5. CONCLUSIONI

Nel presente lavoro è stata proposta ed illustrata una tecnica sperimentale per il monitoraggio strutturale delle opere in c.a., utile ad eseguire controlli in fase costruttiva e controlli in stato di esercizio. La metodologia NDT proposta attraverso l'uso di sensori a fibra ottica, applicati sulle barre di acciaio in diverse sezioni resistenti, consente di rilevare i livelli di deformazione su predeterminate basi di misura e con l'ausilio dei legami costitutivi del materiale rende noti i livelli di tensione dovuti ai carichi di esercizio. La possibilità di conoscere in tempo reale l'impegno statico di un elemento resistente consente sia di valutare i coefficienti di sicurezza, sia di identificare la presenza di redistribuzione delle sollecitazioni. In riferimento a quest'ultimo aspetto essendo le strutture monitorate a multi iperstatiche la redistribuzione delle sollecitazioni indica al tecnico la esistenza per l'edificio di nuove configurazioni di equilibrio diverse di quelle registrate in fase di entrata in esercizio. La metodologia proposta e validata su casi reali, costituisce inoltre un potente strumento con il quale è possibile valutare dopo un evento ad alta portata quale quello sismico, lo stato di consistenza strutturale su dati oggettivi e non di semplice natura osservazionale.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – *Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 “Norme tecniche per le costruzioni”* – G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30.
- [2] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – *Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008* – G.U. n. 47 del 26 febbraio 2009, Supplemento Ordinario n. 27.
- [3] G. Porco, D. Romano – *“Sistemi di monitoraggio residenti e nuove tecniche di controllo dei materiali nella realizzazione di edifici in calcestruzzo armato”*.Stringhe, Quadrimestrale di

divulgazione scientifico culturale dell'Università della Calabria. Anno 1 n.3-Dicembre 2011.

- [4] G. Porco, D. Romano, G. F. Valer Montero – “*Le tecniche NDT per il controllo dei materiali e delle strutture in ingegneria civile*” . Convegno: il ruolo dei controlli NDT per le verifiche di affidabilità e per le attività di manutenzione. MADEexpo 2012 – Milano.