



*Solutions and Innovations for Structural Monitoring*

SISMLAB s.r.l.

*Spin-Off* Università della Calabria

Via Pietro Bucci - 87036 Rende (CS) - ITALY

Tel. : 0984 - 447093 --- Fax: 0984 - 447093

E-mail: [info@sismlab.it](mailto:info@sismlab.it) --- Internet: [www.sismlab.it](http://www.sismlab.it)

## **MONITORAGGIO TRAMITE SISTEMA A FIBRE OTTICHE SU EDIFICI IN C.A. DI NUOVA REALIZZAZIONE**



## **1.0 Il monitoraggio strutturale**

*Con l'espressione Monitoraggio si intende il complesso di operazioni volte ad acquisire in modo manuale o automatico dati relativi a determinati parametri strutturali, che vengono poi elaborati per definire lo stato di efficienza statica della struttura e poter così predisporre interventi di manutenzione mirati.*

*Il processo diagnostico si compone essenzialmente di alcune fasi tipiche:*

- *misurazione di stati deformativi o di campi di spostamento;*
- *trasmissione dei dati rilevati alle unità di lettura ed elaborazione;*
- *interpretazione dei dati numerici in termini di definizione dello stato di efficienza statica della struttura.*

*Questa sequenza, se intesa in prospettiva come azione ciclica nei confronti del processo di decadimento nel tempo dei livelli qualitativi degli elementi strutturali, apre la strada verso l'innovazione del tradizionale "fare manutenzione" da una prassi per lo più collocata a valle dei processi di degrado come controllo sull'edificio, ad un intervento diagnostico che tende sempre più a caratterizzarsi come momento preventivo nella gestione della qualità dell'edificio nel tempo.*

### **Benefici del monitoraggio**

*In generale si intende, per valutazione della sicurezza (o verifiche di sicurezza) di un complesso strutturale o di una porzione di struttura il controllo di tre parametri fondamentali:*

- *resistenza nei riguardi delle sollecitazioni: intesa come differenza (o rapporto ) fra l'entità resistente e l'entità sollecitante, ovvero fra il sistema di forze in grado di provocare il collasso dell'opera e quelle applicate;*
- *condizioni di esercizio normale (funzionalità) nei riguardi delle deformazioni o vibrazioni eccessive;*
- *durabilità valutata come la possibilità della struttura di mantenere costanti nel tempo i due parametri precedenti: la durabilità della struttura deve risultare compatibile con la durata nominale (media) della struttura.*

*Lo scopo delle verifiche di sicurezza di un complesso strutturale o di una porzione di struttura è garantire che l'opera sia in grado di resistere con adeguata sicurezza alle azioni cui potrà essere sottoposta, rispettando le condizioni necessarie per il suo esercizio normale, e assicurando la sua conservazione nel tempo.*

## **MONITORAGGIO TRAMITE SISTEMA A FIBRE OTTICHE SU EDIFICI IN C.A. DI NUOVA REALIZZAZIONE**

*Tali verifiche si applicano alla struttura presa nel suo insieme ed a ciascuno dei suoi elementi costitutivi; esse devono essere soddisfatte sia durante il suo esercizio normale sia nelle diverse fasi di costruzione.*

*Il controllo e monitoraggio strutturale si può quindi inserire nel tema più ampio della manutenzione e adeguamento delle strutture, che ha avuto particolare impulso grazie alle ultime normative (art. 40 DPR 554/99 per le Opere Pubbliche e Ordinanza 3274/2003 per le Strutture in Zona Sismica, e successive modifiche ed integrazioni).*

*I benefici del monitoraggio strutturale durante la costruzione, in sede di collaudo ed a lungo termine sono evidenti.*

*Un monitoraggio, continuo o di collaudo di una struttura può incrementare la conoscenza del suo comportamento reale (riducendo le incertezze sui materiali, sulle azioni e di conseguenza aiutando la progettazione di strutture future più economiche e sicure), determinare parametri utili alla progettazione (costi, dimensionamento), aiutare a garantire la sicurezza (ad esempio scoprendo eventuali riserve di resistenza), ottimizzare gli interventi di manutenzione (segnalando l'eventuale presenza di deficienze strutturali) e di eventuale ripristino sulla base di dati oggettivi, permettendo così di stabilire e pianificare i costi effettivi dell'opera nell'arco della sua vita.*

*Il monitoraggio consente di evidenziare con certezza la presenza di eventuali danni alla struttura (indagine globale che indica la presenza della caduta prestazionale). Altre indagini di carattere non invasivo consentiranno, se necessario, di approfondire le cause che hanno indotto una caduta prestazionale.*

*Queste operazioni consentono di garantire la sicurezza della struttura nel senso della sua resistenza, funzionalità, durabilità e quindi di salvaguardare il capitale investito per la sua realizzazione.*

### **Monitoraggio strutturale tramite 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), materiali compositi (come gli alberi degli yacht) o superfici di rivestimento di strutture in acciaio o calcestruzzo; esso consente per la prima volta di rilevare dall'interno il carico di deformazione con un procedimento assimilabile a quello del sistema nervoso umano.*

## **MONITORAGGIO TRAMITE SISTEMA A FIBRE OTTICHE SU EDIFICI IN C.A. DI NUOVA REALIZZAZIONE**

*L'Optical Fibre Strain Sensor System raccoglie i dati fornendo informazioni immediate sulla sicurezza e sulle condizioni della struttura esaminata, ovvero consente un monitoraggio a lungo termine della sua efficienza e sicurezza.*

*Il corretto impiego di tali tecniche, che nel linguaggio degli specialisti vanno sotto il nome di *damage detection e health monitoring* (“individuazione del danneggiamento” e “monitoraggio dello stato di salute”), può portare benefici notevoli alle comunità in termini sia di prevenzione dei rischi connessi a lesioni o crolli delle strutture sia di efficacia, efficienza ed economicità della manutenzione di opere di grande valenza sociale, storica, architettonica e artistica.*

*I Sensori a fibra ottica sono strumentazioni che, sfruttando i principi di ottica ondulatoria, adottano per le misurazioni non più le proprietà della corrente elettrica bensì quelle della luce. Tale metodologia, che gli esperti definiscono “monitoraggio ottico”, è stata concepita per annullare gli svantaggi esibiti dalle attrezzature basate su principi di elettromagnetismo.*

*Le nuove strumentazioni a fibra ottica possiedono difatti enormi vantaggi, tra i quali:*

- immunità da campi elettromagnetici (che possono alterare le misurazioni);*
- elevata precisione;*
- sensori non invasivi e non distruttivi;*
- affidabilità nel lungo periodo;*
- possibilità di controllare contemporaneamente un elevato numero di punti di misura;*
- possibilità di annegare i sensori nel calcestruzzo ed in altri materiali;*
- facilità nell'installazione;*
- piccolo formato e leggerezza;*
- resistenza alla corrosione*

*In merito al monitoraggio strutturale, occorre, in termini generali, evidenziare che si è assistito (e si assiste tutt'oggi) ad un lento cambiamento dell'approccio progettuale, con l'adozione di normative più flessibili, che rivalutano la posizione dell'ingegnere progettista, ma al tempo stesso gli accollano maggiori responsabilità spingendo di fatto nella direzione di operare un monitoraggio delle strutture.*

*E' auspicabile che questa tendenza diventi una consuetudine non solo per motivi di ordine etico (il monitoraggio avviserebbe per tempo eventuali irregolarità, evitando danni a persone e cose) ma anche per motivi economici (l'intervento tempestivo all'insorgenza di un problema riduce i costi e i tempi di intervento, mantenendo continuativamente l'opera in servizio).*

## **2.0 Finalità e Obiettivi del monitoraggio strutturale tramite sensori a fibra ottica applicato agli edifici in c.a.**

*Negli edifici in c.a., il sistema residente di controllo consente di effettuare periodicamente la verifica di efficienza statica. Pertanto, con la presenza di tali sistemi tecnologicamente innovativi sarà possibile programmare interventi manutentivi ed in tempo reale diagnosticare eventuali riduzioni dei coefficienti di sicurezza. Utile inoltre, è la possibilità di verificare la presenza di danni a seguito di eventi sismici.*

*I sensori a fibra ottica possono essere alloggiati sia negli elementi strutturali di fondazione (travi e plinti, pali) sia negli elementi in elevazione ( travi e pilastri ).*

*I tipi di sensori a fibra ottica adatti al monitoraggio strutturale e sviluppatisi soprattutto negli ultimi venti anni in ambito scientifico ed industriale sono essenzialmente quelli atti a monitorare deformazioni e temperatura.*

*E' importante sottolineare che, soprattutto nel caso di strutture di nuova costruzione, la posa in opera di un sistema di monitoraggio strutturale a fibre ottiche, a fronte di un costo percentualmente minimo rispetto all'opera nel suo complesso, fornisce uno strumento fondamentale per la valutazione dell'efficienza strutturale nel tempo.*

*La realizzazione di un sistema di monitoraggio continuo a fibra ottica per le strutture in c.a. consente di perseguire una serie di importanti obiettivi, quali:*

- ✓ Controllare la corretta esecuzione delle diverse parti strutturali, e valutare il reale impegno dei materiali nelle diverse fasi realizzative, permettendo un controllo sistematico della rispondenza dell'opera al progetto, che risulta di grande supporto sia all'attività del direttore dei lavori che del collaudatore.*
- ✓ Verificare i livelli di maturazione dei calcestruzzi armati ed in particolare valutare l'effetto del ritiro sia in termini di deformazioni sia in termini di tensioni indotte, offrendo la possibilità di assumere in merito informazioni specificatamente relative alle strutture oggetto di indagine. Tale informazione ha una precisa traduzione in termini di degrado e dunque di sicurezza strutturale, quando si consideri che la fessurazione del calcestruzzo può determinare lo scoprimento delle armature.*
- ✓ Le letture strumentali effettuate nelle fasi costruttive, consentono inoltre di avere un riferimento costante per la valutazione dello stato di degrado dei materiali o di eventuali dissesti presenti nell'opera. Pertanto, attraverso letture periodiche dei valori strumentali, è possibile valutare lo stato di consistenza dell'opera e pianificare in maniera oggettiva gli eventuali interventi di manutenzione ordinaria o straordinaria.*

- ✓ *Tutte le informazioni acquisite attraverso il sistema permanente di monitoraggio, costituiscono parte integrante del fascicolo e/o piano di manutenzione dell'opera, ed evidenziano non solo eventuali variazioni nel tempo del comportamento strutturale, ma sono un riferimento fondamentale qualora si voglia verificare la condizione dell'opera a valle di eventi straordinari (eventi sismici, frane, alluvioni).*
- ✓ *Particolare attenzione, si dovrà porre alle strutture che rivestono enorme importanza sul territorio in caso di calamità naturali, come punto di primo ricovero, esse devono garantire un'elevata affidabilità nel tempo ed in modo avulso dal deterioramento dei materiali. La presenza di un sistema di rilevazione consentirà di verificare in tempo reale e periodicamente il buono stato di salute.*
- ✓ *Altro aspetto, la presenza sugli edifici di membrature portanti con geometrie non standard, prefigura regimi di sollecitazioni impegnativi che sottopongono i materiali a consistenti stati di tensione e pertanto valutazioni sperimentali di verifica consentiranno la validazione del calcolo teorico. Inoltre, estremamente utile è la possibilità di disporre già dalla fase di collaudo e per la durata della vita della struttura, di un sistema residente per la valutazione del regime di sforzo sia per validare le ipotesi di progetto, sia in modo comparativo per attestare la corretta distribuzione degli sforzi al passare del tempo, anche in vista di effettuare e programmare interventi di manutenzione.*

*Una progettazione mirata del sistema di monitoraggio dell'opera permette di scegliere con criterio il numero e la posizione dei sensori. Oltre ai sensori destinati a registrare le "deformazioni" strutturali, è opportuno disporre anche sensori di temperatura che consentono di valutare gli effetti legati alle variazioni termiche, permettendo così di "depurare" da tali contributi le letture strumentali.*

*Per tutti gli elementi in c.a. i sensori dovranno essere collocati sulle barre di armatura prima della fase di getto. Ciò permetterà di avere informazioni sin dalla fase di maturazione del calcestruzzo.*

*I sensori di ogni singolo elemento risulteranno collegati ad un box intermedio, e questi a loro volta al box di lettura. Collegando la centralina di acquisizione a tale box sarà possibile scaricare i dati sperimentali dei singoli rilevatori.*

### 3.0 Esempio di monitoraggio su un edificio in c.a.

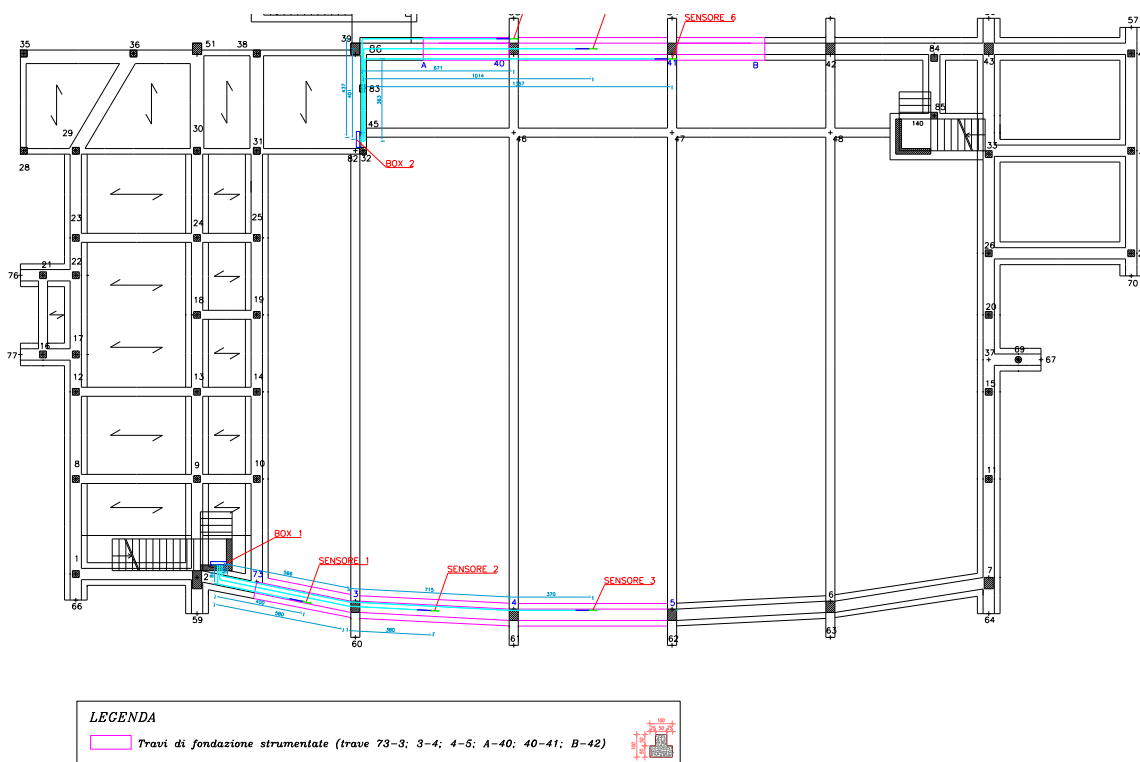
A titolo di esempio, si riporta il sistema di monitoraggio a fibre ottiche installato su una palestra con tribuna appartenente alla Nuova sede della Sezione Istituto Tecnico Industriale I.S.I.S. "M. Montessori - L. Da Vinci" ubicata a Porretta Terme (BO), di proprietà dell'Amministrazione Provinciale di Bologna.

La struttura evidenzia luci di copertura maggiori di 25 m, tali misure, prefigurano, per l'ossatura portante in calcestruzzo armato, consistenti stati di sollecitazioni sia per i carichi verticali che per le eventuali azioni orizzontali. In base alla geometria desunta dagli elaborati, è presumibile identificare, per gli elementi verticali e più precisamente per i pilastri "4", "5", "40" e "41" distribuzioni in termini di momenti flettenti e sforzi normali massimi rispetto alle restanti pilastrate. Anche le travi di fondazione, relative a queste posizioni avranno le azioni taglianti e flettenti più elevate rispetto alle altre membrature.

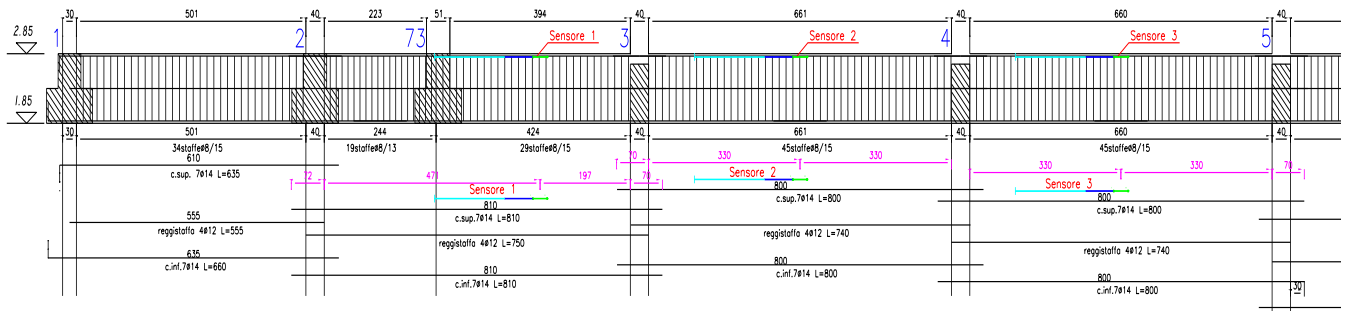
Il controllo periodico della efficienza statica potrà quindi essere prodotto assumendo tali elementi come guida e quindi da monitorare. Per quanto attiene ai pilastri è stato necessario installare almeno tre sensori, due alle quote rispettivamente 12.10m e 6.90m, ed uno alla quota 2.85m. Per quanto attiene alle travi di fondazione, sono stati disposti tre sensori per lato e distribuiti sulle travi, in modo da cogliere le tensioni in zona tesa. Complessivamente in fondazione ed elevazione sono presenti 18 sensori.

PIANTA IMPALCATO QUOTA: 2.85m

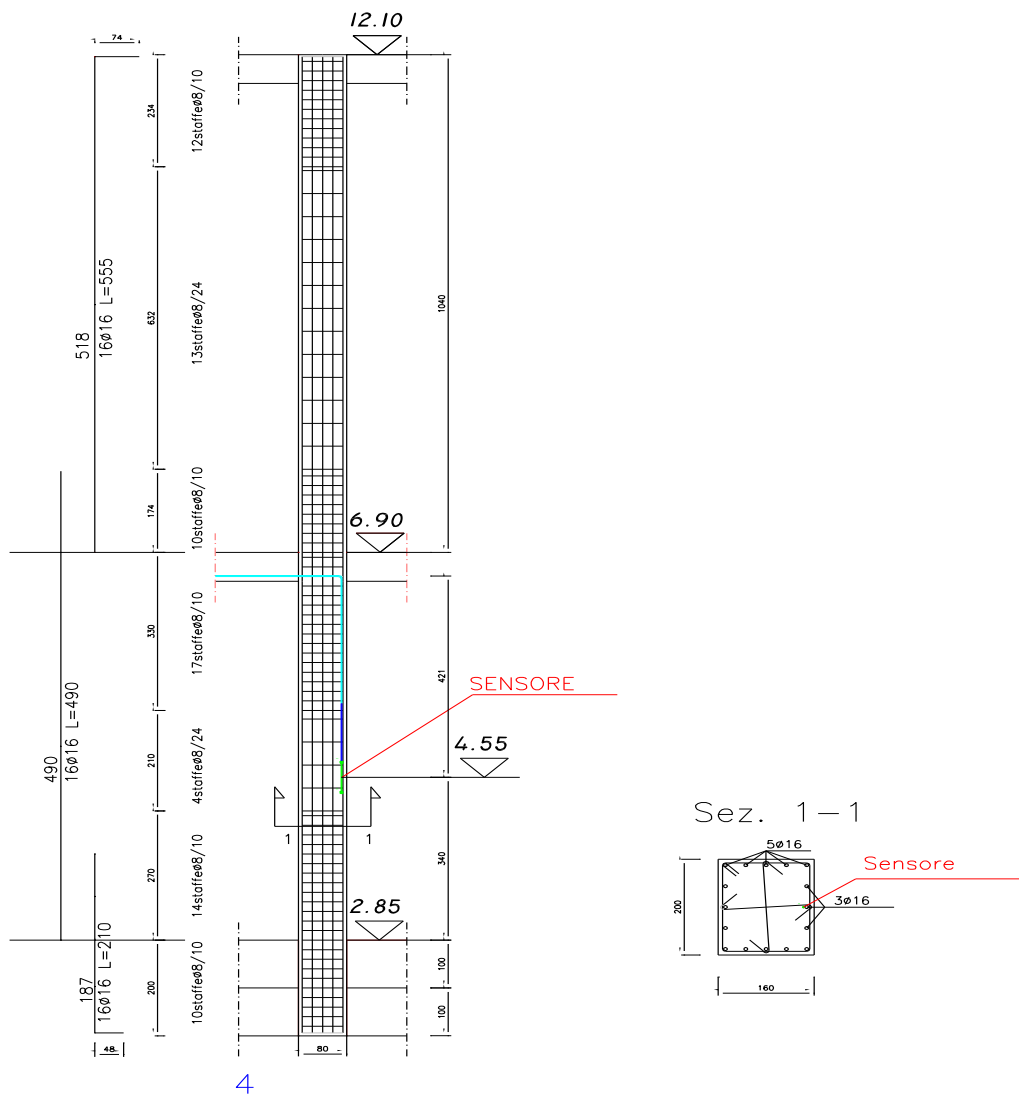
#### TRAVI DI FONDAZIONE STRUMENTATE



# MONITORAGGIO TRAMITE SISTEMA A FIBRE OTTICHE SU EDIFICI IN C.A. DI NUOVA REALIZZAZIONE



**TRAVE TIPO STRUMENTATA**



**PILASTRO TIPO STRUMENTATO**