



Comune di Orvinio

articoli scientifici dell' Ing. Diego Dell'Erba



**Progetto di Recupero Statico
Riqualificazione Funzionale del Muraglione di Accesso al
CASTELLO MALVEZZI nel COMUNE di ORVINIO (RI)
Monitoraggio Statico Dinamico
delle strutture con sensori a Fibre Ottiche**

**Progettista delle Opere - Direttore dei Lavori
Ing. Diego Dell'Erba**

Anno 2019



di Ing. Diego Dell'Erba

Premessa

La sicurezza delle opere di Ingegneria richiede un controllo senza soluzione di continuità delle infrastrutture. Esiste dunque la reale necessità, un bisogno reale, su scala internazionale, di strumenti che permettano la sorveglianza automatica e permanente all'interno delle strutture stesse, fornendo risultati di grande precisione e buona risoluzione spaziale. In quest'ottica, il concetto di struttura intelligente (dall'inglese smart structure) ha già provato la sua efficacia nel monitoraggio strutturale di importanti opere di ingegneria. Queste "strutture edilizie" sono provviste di una rete interna di sensori a fibre ottiche che permettono la sorveglianza di diversi parametri, critici per la sicurezza ed utili per una pianificazione efficace degli interventi di manutenzione. Si pensi in particolare alle deformazioni degli elementi strutturali causate, da temperature, pressioni, penetrazioni di agenti chimici nocivi, inizio di prime fessurazioni, variazione degli stati tensionali, "fluage" dell'acciaio delle armature, qualità dei materiali.. e quant'altro Il monitoraggio strutturale ha assunto negli ultimi anni una sempre maggiore importanza anche in virtù delle sopravvenute disposizioni normative (Norme tecniche per le Costruzioni 2018 - D.M. 17 gennaio 2018). **Nel Comune di Orvinio (RI)** è stato installato un sistema di monitoraggio mediante sensori a fibra ottica e di temperatura sul cordolo in c.a. di nuova realizzazione ubicato in aderenza al muraglione di contenimento contiguo al castello di Malvezzi foto 1-2-3-4.



Fig. 1



Fig. 2



fig 3



fig. 4

La predisposizione del sistema di monitoraggio consentirà di avere in qualsiasi momento, una chiara evidenza dello stato di deformazione della struttura, correlato anche alle escursioni termiche, essendo la struttura esterna e quindi influenzata dalle variazioni di temperatura. Di seguito, quindi, dopo una breve introduzione sul monitoraggio strutturale e sulle sue potenzialità, si passerà ad illustrare il sistema di monitoraggio proposto.

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, con i quali è possibile definire lo stato di efficienza statica di elementi portanti, al fine di 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, ad un intervento diagnostico che tende sempre più a caratterizzarsi come momento preventivo nella gestione della qualità del manufatto nel tempo.

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.

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. I Sensori a fibra ottica sono strumenti 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.

Finalità e Obiettivi del monitoraggio struttura le tramite sensori a fibra ottica applicato alle opere in c.a.

I sensori a fibra ottica possono essere alloggiati sia negli elementi strutturali di fondazione, sia negli elementi in elevazione. I tipi di sensori a fibra ottica adatti al monitoraggio strutturale e sviluppatosi 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 opere in c.a. 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.
- 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).
- Per le opere poste in aree limitrofe alle reti viarie, la disponibilità di un sistema di rilevamento dello stato di deformazione, consentirà, in caso di calamità naturali, di verificare in tempo reale e periodicamente il buono stato di salute.
- In ultimo, è necessario sottolineare come, per opere in c.a. disposte ai diretti effetti atmosferici, il sistema di monitoraggio consentirà di identificare eventuali riduzioni delle sezioni resistenti dovuti a processi di ossidazione delle armature.

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 fig. 5 – 6 - 7.



Fig. 5



Fig. 6



Fig. 7

I sensori di ogni singolo elemento risulteranno collegati ad un box dal quale, mediante l'uso di una centralina di acquisizione, sarà possibile scaricare i dati sperimentali dei singoli rilevatori.

Descrizione del sistema proposto e vantaggi tecnici

Il sistema di monitoraggio permanente delle condizioni statiche da predisporre sul complesso costituito dal muraglione consolidato con strutture aggiuntive e rinforzi in c.a. è stato concepito sulla base dei risultati evidenziati dai documenti progettuali forniti. In particolare, dal progetto di consolidamento **dell'Ing. Diego Dell'Erba**, si evince che verranno realizzati due tipologie di cordolo in c.a., di cui una con dimensioni 0.6x0.5 m, posta nella parte iniziale, ossia fino al sesto arco incluso, e l'altra di dimensioni 0.4x0.3m, posta dal settimo arco in poi, entrambe solidarizzate alla muratura sottostante a mezzo di inghisaggio. Una volta realizzate le opere di consolidamento progettate, ci si aspetta una zona di notevole rigidezza strutturale in prossimità del portone del Castello e una zona relativamente più elastica nella parte iniziale della rampa di accesso. Per cui, dall'esame della documentazione, sono state individuate le sezioni rappresentative scelte in aree di massima tensione o in corrispondenza di punti di singolarità, che risulta no quindi, di maggiore interesse per l'esecuzione del monitoraggio strutturale statico dell'opera, tenendo conto anche della disomogeneità del materiale sottostante il cordolo e della influenza delle variazioni di temperatura. Tutto ciò premesso, si è pensato di monitorare n.03 sezioni rappresentative del cordolo 0.4x0.3 cm in corrispondenza dell'undicesimo arco, così come mostrato nella figura seguente. In ogni sezione, verrà installato n.01 sensore. Solo nella sezione n. 02 sarà predisposto anche quello di temperatura fig. 8.

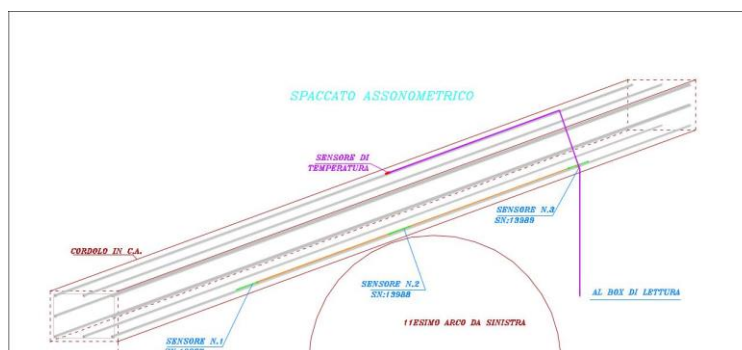


Fig. 8

I sensori presentano lunghezza attiva di 30 cm e parte passiva utile a raggiungere un box di raccolta, dove giungono le testate disposti anche nelle altre due sezioni strumentate.

Il posizionamento più indicato dei sensori a fibra ottica per il rilevamento di potenziali deformazioni longitudinali dovute alle azioni dei momenti di ribaltamento, rispetto all'asse del cordolo è nelle zone periferiche esterne delle sezioni trasversali. Invece, il posizionamento del sensore di compensazione termico è in prossimità di una barra ubicata in posizione interna, al fine di ottenere la stabilizzazione delle variazioni termiche interne dell'ordine di alcune ore, rispetto alle azioni esterne. L'ubicazione dei sensori è riportata nelle foto sottostanti Fig. 9 -10.



Fig. 9



Fig. 10

Si ringrazia la **SISMLAB Srl.** (Spin - off della **Università della Calabria**) per l'apporto scientifico e in particolare il **Prof. Ing. Giacinto Porco** e l'**Ing. Corrado A. Kropp - ENEA** che da anni collaborano con l'**Ing. Diego Dell'Erba** nelle attività di messa in sicurezza delle opere di ingegneria in Italia e all'estero.

In allegato alcuni **LINK** inerenti all'argomento trattato.

<https://www.lavoripubblici.it/news/2018/10/EDILIZIA/20981/Monitoraggio-statico-e-dinamico-infrastrutture-stradali-con-fibre-ottiche>

<https://www.lavoripubblici.it/news/2018/10/PROGETTAZIONE/20966/Monitoraggio-strutturale-con-i-sensori-a-fibre-Ottiche-per-la-sicurezza-delle-opere-di-ingegneria>

<https://www.lavoripubblici.it/news/2018/10/TECNOLOGIE/20993/Costruzioni-edilizie-sicure-impiego-dei-sensori-a-fibre-ottiche-per-il-Monitoraggio-Strutturale>

<https://www.lavoripubblici.it/news/2018/10/STRUTTURE/21060/Monitoraggio-strutturale-di-Palazzo-Manetti-nel-centro-storico-de-L-Aquila>