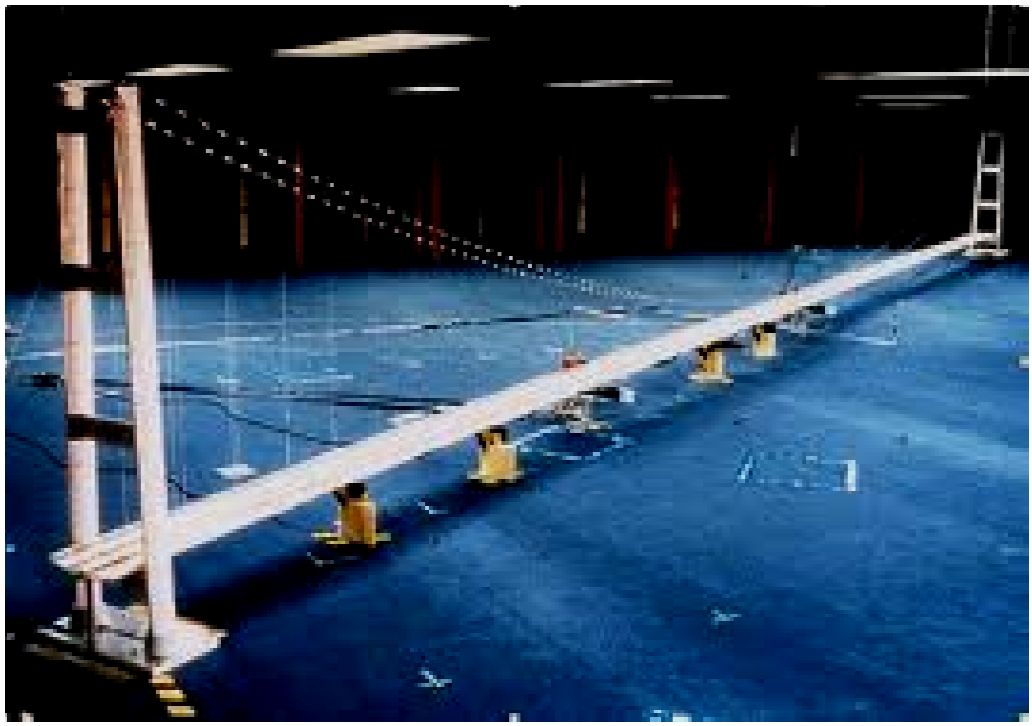
INGEGNERIA INTEGRATA

di Ing. Diego Dell'Erba

SISMlab

QUADERNO TECNICO N. 324 DEL 21.GENNAIO.2011



MONITORAGGIO STRUTTURALE DEI PONTI CON FIBRE OTTICHE

00172 Roma (Italy) -- Via delle Ciliegie 141/B
Tel. +39-6-64811706 r.a. Fax. 178.228.6668
1001 Manila (Filippine) Makati, Remedios, Bldg, suite, 896
ingdiego@ingdiegodellerba.it
www.ingdiegodellerba.it

Introduzione

Nell'ambito dell'ingegneria strutturale, riveste un ruolo di primo piano la salvaguardia e la gestione di infrastrutture civili in c.a. e c.a.p. nel breve e nel lungo periodo.

Per le strutture esistenti, la valutazione dei reali coefficienti di sicurezza può essere perseguita determinando, mediante indagini sperimentali, le caratteristiche meccaniche dei materiali in opera o, in caso di evidente stato di dissesto, controllando in situ l'evoluzione del campo di spostamenti.

Tali operazioni, però, sono spesso effettuate con una frequenza limitata, essendo le stesse complicate nella loro attuazione, richiedono l'utilizzo di attrezzature e personale specializzato ed inoltre non permettono di ottenere una conoscenza globale della consistenza strutturale dell'intera opera poiché spesso le investigazioni sono a carattere locale e non globale.

Tali importanti problematiche rappresentano dei reali problemi con i quali periodicamente si scontrano gli operatori del settore.

Tuttavia, ancora oggi nella pratica realizzativa, le attività progettuali, costruttive e di collaudo non prevedono accorgimenti tecnici che consentono di poter verificare, nel corso della vita utile dell'opera, l'evoluzione dei coefficienti di sicurezza, né tanto meno il livello di affidabilità statica a valle di eventi eccezionali che possono interessare la struttura.

Nel corso dell'ultimi anni si è sviluppata, in alcuni ambiti, una crescente sensibilità nei confronti delle tematiche che riguardano il monitoraggio strutturale automatico e permanente, in particolare nel campo delle strutture in c.a. [1].

Tale fenomeno, favorito sicuramente dal continuo progresso tecnologico, si è sviluppato soprattutto grazie alla presa di coscienza da parte dei tecnici, che anche nell'ingegneria civile è possibile introdurre e sviluppare il concetto di smart structure (**struttura intelligente),** come già ampiamente riscontrato in settori quali la meccanica e l'aeronautica, dove gli elementi strutturali più strategici incorporano dei sensori mediante i quali è possibile valutare, in presa diretta, lo stato di efficienza.

Nel campo delle opere in c.a. e c.a.p. è possibile, dunque, tenere sotto controllo grandezze fisiche rappresentative dello "stato di salute" della struttura.

Creando una rete di sensori residenti nelle membrature stesse, è possibile la sorveglianza di diversi parametri, critici per la sicurezza ed utili per una programmazione adeguata degli interventi di manutenzione.

Tra i diversi parametri misurabili, sicuramente la valutazione delle deformazioni è la scelta più razionale e più facilmente attuabile [2]. Infatti concentrando le misurazioni sulla deformazione dell'armatura in acciaio presente negli elementi in c.a. e c.a.p., è possibile risalire con molta veridicità allo sforzo in atto nell'elemento monitorato, valutando dunque possibili ridistribuzioni di tensione imputabili a fenomeni di cedimento o dissesto.

È in tale contesto che si inserisce il presente articolo, il quale intende illustrare le potenzialità del monitoraggio strutturale basato su sistemi di controllo residenti nelle strutture in c.a. e c.a.p..

In particolare si fornirà un'idea dell'uso e delle modalità d'installazione di sensori di misura a fibra ottica, utilizzati già con 2successo in diverse applicazioni [3,4]. Inoltre si presenterà un protocollo procedurale che delinea le fasi operative per la messa in atto di un monitoraggio strutturale statico fondato su tali dispositivi.

Sistemi di controllo innovativi per l'acquisizione di campi di spostamento

Le valutazioni sull'efficienza strutturale di un infrastruttura in c.a., per mezzo di un monitoraggio di tipo statico, si possono basare sul controllo degli spostamenti sulle membrature portanti.

La misurazione delle variazioni di tali parametri, per l'intera vita utile dell'opera ed in maniera continua e a costi ragionevoli, è la vera sfida che gli addetti ai lavori si trovano a dover affrontare.

Fino ad oggi infatti, indipendentemente dall'approccio operativo seguito e dalla strumentazione tecnica utilizzata, le investigazioni strutturali si sono basate sulla misurazione di campi di spostamento.

Tale modalità è la più seguita, pur se in molte applicazioni le grandezze discriminatorie sulla consistenza strutturale sono di tipo sollecitativo.

Questo è giustificato dal fatto che è molto più complesso e più costoso valutare il campo di tensione, ed inoltre sfruttando le leggi meccaniche del legame costitutivo si riesce agevolmente ad aggirare tale problematica.

Tra le diverse tecniche per il controllo di strutture attraverso misure di spostamenti, quella basata sui sensori a fibra ottica, risulta una soluzione innovativa e soddisfacente. Il suo sviluppo, infatti, è in continua evoluzione e la sua attendibilità è comprovata dalle numerose applicazioni che vedono tale sistema protagonista [5].

I motivi di tale successo sono da ricercarsi nei molteplici vantaggi che offre tale tecnologia: il loro relativo basso costo, l'insensibilità ai campi elettromagnetici ed alla corrosione, le loro dimensioni ridotte, la grande quantità d'informazione che possono fornire grazie alla vasta gamma di parametri misurabili e la possibilità di realizzare un sistema di controllo gestibile in remoto. Inoltre la loro versatilità d'impiego, consente di realizzare strumenti di misura residenti che permettono la sorveglianza automatica e permanente fin dalle prime fasi di realizzazione dell'infrastruttura in c.a. o c.a.p., essendo gli stessi collocabili sulle barre d'armatura.

Di conseguenza risulta possibile la misurazione del campo di deformazioni dalla fase di getto del calcestruzzo fino alla dismissione del manufatto, con tutti i vantaggi che ne conseguono.

Tali dispositivi, sfruttando i principi di ottica ondulatoria, non effettuano le misurazioni

attraverso la corrente elettrica bensì per mezzo della luce, annullando gli svantaggi propri delle attrezzature classiche basate sui principi di elettromagnetismo. Infatti, dalla registrazione delle variazioni del segnale luminoso si riesce a risalire al campo di deformazione dell'elemento strutturale nel quale sono installati.

Tra i più evoluti ed utilizzati sistemi a fibra ottica, si citano **i sensori FBG (Fiber Bragg Grating) e i sensori SOFO [6].** I primi, annoverabili nella categoria dei sensori puntuali, fino ad oggi sono stati intensamente utilizzati nel monitoraggio industriale ma non in quello civile.

I secondi, invece, stato stati utilizzati con successo in molteplici campi [7,8,9]: dal controllo dello stato di conservazione di edifici storici

al monitoraggio in continuo di ponti e viadotti (fig. 1), dall'osservazione degli stati deformativi di opere geotecniche (fig. 2) alla sorveglianza delle condizioni di salute di edifici residenziali.

Anche se tale sensore può essere utilizzato in contesti differenti, i più interessanti risultati sono stati conseguiti su strutture di nuova realizzazione in c.a. e c.a.p.. Oltre al fatto che tale materiale da costruzione è oramai diventato il più impiegato nelle infrastrutture civili, il motivo principale di tale fenomeno è la capacità del sensore SOFO di essere installato all'interno degli elementi strutturali prima che venga eseguito 3 il getto di calcestruzzo, ottenendo quindi un sistema di controllo residente, capace di rilevare il campo di deformazioni dall'interno delle membrature.



Figura 1. Sensori a fibra ottica installati in una trave da ponte in c.a.p.

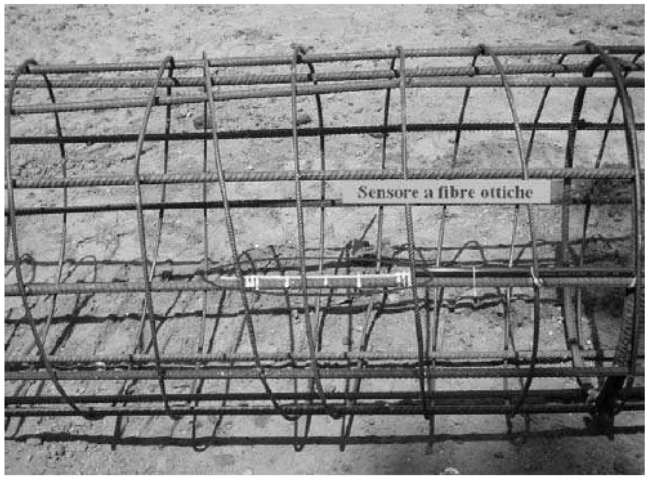


Figura 2. Sensore a fibra ottica installato sull'armatura di un palo di fondazione.

Figura 1. Sensori a fibra ottica installati in una trave da ponte in c.a.p.

Figura 2. Sensore a fibra ottica installato sull'armatura di un palo di fondazione.

Lo schema di funzionamento di tale sensore si sviluppa sul principio dell'interferometria di Michelson e il tipo di rilevamento risulta essere a carattere distribuito, con base di misura rappresentativa della deformazione in atto nell'elemento monitorato. Il sistema di controllo, per il monitoraggio strutturale statico in situ, è costituito da elementi attivi rappresentati dai sensori a fibra ottica e da elementi passivi rappresentati dai cavi di collegamento, dagli swich ottici, dall'unità di lettura e dal pc dotato di software di programmazione e analisi delle misure (fig. 3). La versatilità di tale tecnologia permette di sviluppare,

agevolmente e in tempi compatibili con le lavorazioni, un sistema di controllo sia in strutture in c.a. o in c.a.p. interamente realizzate in cantiere (fig. 4,5), ma anche in strutture in c.a. o in c.a.p. di tipo prefabbricate, in cui è presente una fase di produzione in stabilimento (fig. 6). 4



Figura 3. Sistema di controllo a fibra ottica, presso fondazione edificio residenziale

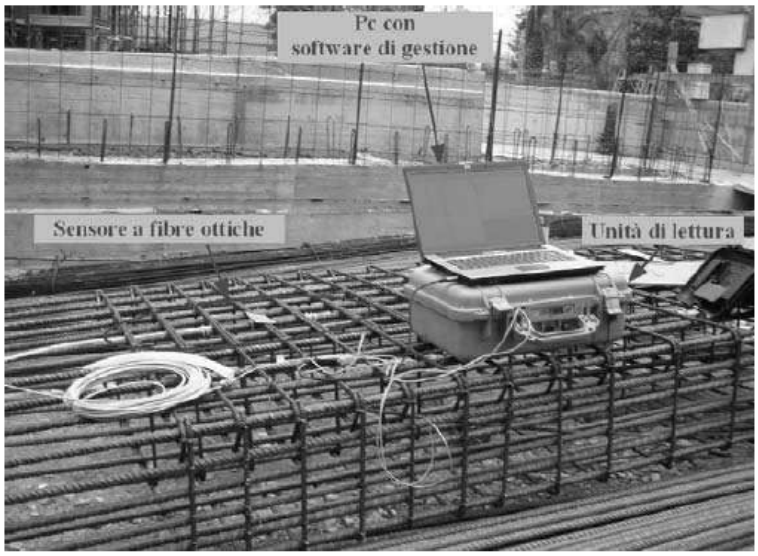


Figura 4. Sensore a fibra ottica installato in un pilastro in c.a.

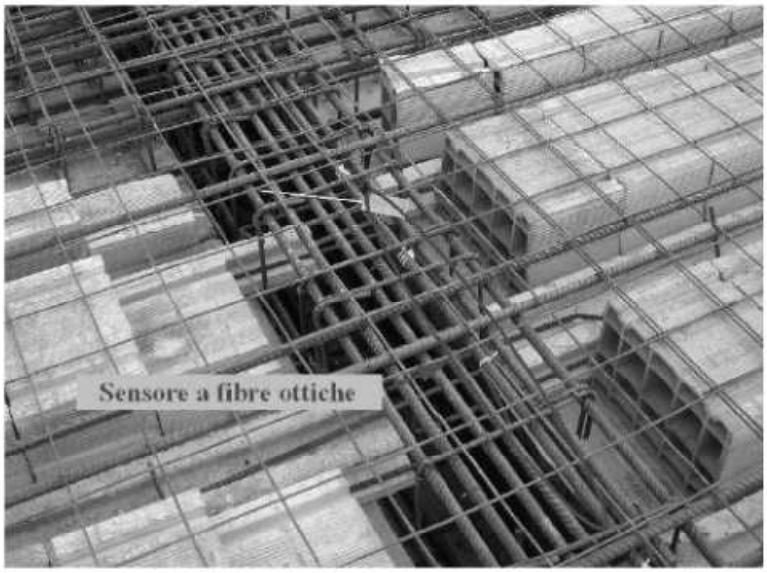


Figura 5. Sensore a fibra ottica installato in una trave in c.a.

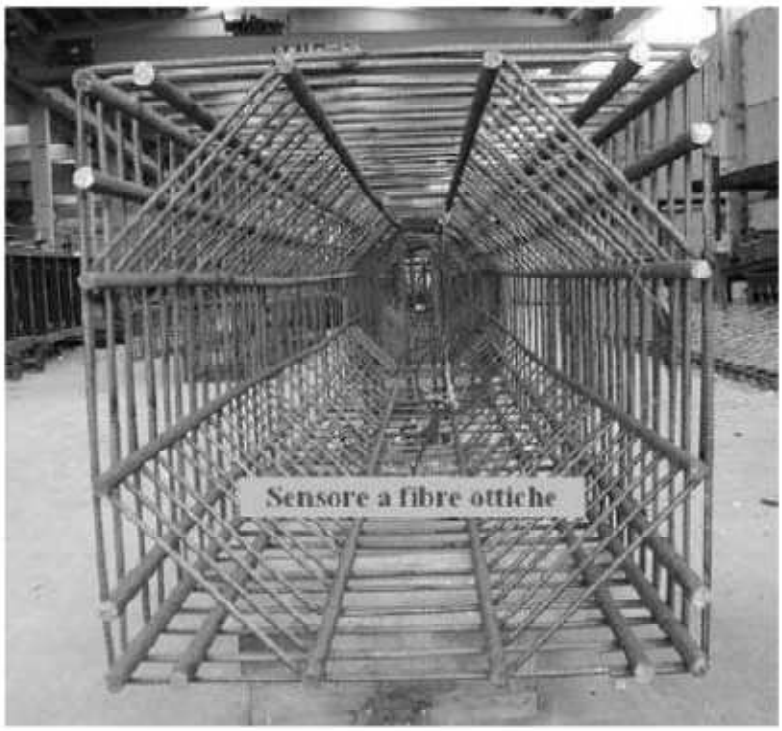


Figura 6. Sensore a fibra ottica installato in un pilastro prefabbricato in c.a.

Figura 3. Sistema di controllo a fibra ottica, presso fondazione edificio residenziale

Figura 4. Sensore a fibra ottica installato in un pilastro in c.a.

Figura 5. Sensore a fibra ottica installato in una trave in c.a.5

Figura 6. Sensore a fibra ottica installato in un pilastro prefabbricato in c.a.

Tecniche di controllo in remoto

I vantaggi di un sistema di controllo residente, basato su sensori a fibra ottica, possono essere notevolmente amplificati se si pensa alla possibilità di monitorare in remoto un'infrastruttura.

Per strutture dotate di una certa complessità e rilevanza strategica, l'esigenza di effettuare misure per periodi lunghi ed in orari e condizioni particolari, può voler significare la presenza costante di personale specializzato sul luogo del monitoraggio. Ciò comporta difficoltà e costi di gestione di non trascurabile entità, ed inoltre ciò non garantisce la sorveglianza continua e sistematica dell'opera.

Sistemi come quelli in esame offrono, invece, la possibilità di eseguire misure in modo automatico e, tramite acquisizioni da postazioni remote, persino senza la presenza umana. È

possibile altresì ottenere, nelle sedi operative di gestione, informazioni in real-time sulla variazione di determinati parametri di riferimento (spostamenti, deformazioni…) che oltrepassino valori di soglia prestabiliti, intervenendo in maniera quasi contemporanea all'esplicitarsi di una condizione di crisi.

Per realizzare un'architettura di controllo di questo tipo, alle apparecchiature utilizzate per sistemi di monitoraggio in situ bisogna aggiungere elementi fondamentali quali: una postazione collocata nel sito in cui è presente l'opera monitorata dotata di una centralina di acquisizione e un pc con software dedicato all'elaborazione dei dati provenienti dai sensori installati nella struttura, una dorsale in fibra ottica che funge da elemento trasmittente e una postazione nella sede di gestione dotata di pc con software dedicati (fig. 7).

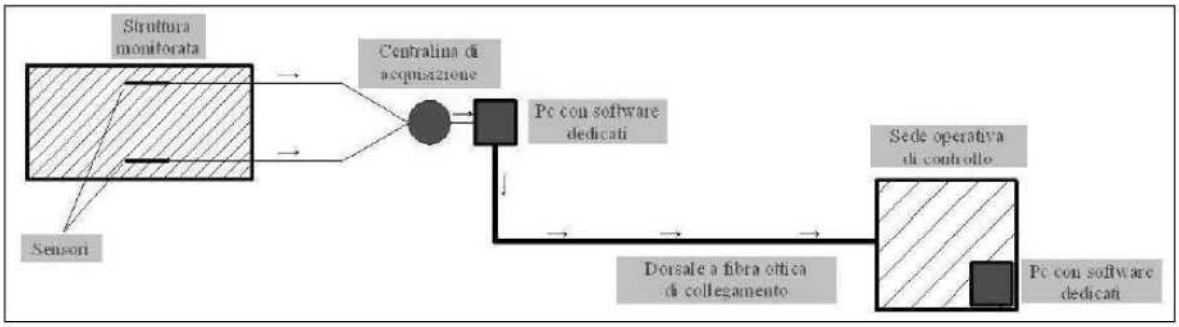


Figura 7. Schema di un sistema di controllo in remoto

Figura 7. Schema di un sistema di controllo in remoto6

La semplicità di tale architettura, conseguibile grazie alla tecnologia delle fibra ottica, consentirebbe addirittura di gestire da un'unica sede operativa il monitoraggio continuo di più infrastrutture, collocate anche a notevole distanza.

Un protocollo procedurale per il monitoraggio delle strutture in c.a.

Nel caso di opere di nuova realizzazione, i vantaggi che si ottengono con un sistema di controllo a fibra ottica sono molteplici. Esso assume un ruolo fondamentale e, grazie alla capacità di costituire un impianto residente nella struttura, fornisce informazioni di ragguardevole importanza in tutte quelle fasi che caratterizzano la vita utile di una infrastruttura civile in c.a. e c.a.p..

Un primo aspetto che viene interessato è la possibilità di validare, già nelle fasi costruttive dell'opera, il modello di calcolo numerico utilizzato per la progettazione di strutture di una certa complessità. I dati che si ottengono in tale situazione non riguardano il complesso di azioni e carichi che graverà in esercizio sulla struttura, ma questo è già sufficiente per verificare la corretta modellazione ed avere quindi uno strumento di giudizio da utilizzare negli stadi costruttivi successivi.

Sempre nel corso delle fasi costruttive dell'opera, è possibile controllare, con un approccio step-by-step, la corretta esecuzione delle diverse parti strutturali e il reale impegno dei materiali. In questa maniera è possibile, anche grazie al confronto con il modello validato, rilevare la presenza di anomalie imputabili, ad esempio, ad una errata costruzione dell'opera.

Inoltre l'esecuzione delle misurazioni durante la costruzione, procura una motivazione ulteriore all'impresa esecutrice e a tutto il personale coinvolto, per fornire un prodotto di alta qualità con il più basso tasso di difetto.

Nella fase conclusiva della costruzione dell'infrastruttura, grazie al monitoraggio a fibra ottica, è

possibile semplificare anche le operazioni di collaudo, consentendo la valutazione immediata e diretta dell'impegno statico delle diverse parti strutturali, senza l'esecuzione di complicate operazioni di misura che richiederebbero personale e attrezzatura specifica.

Nella fase d'esercizio, una volta che la struttura entra in servizio e quindi su di essa agisce tutto il

complesso di carichi previsti nella fase progettuale, è possibile ottenere tramite il monitoraggio, un campione di dati da utilizzare come base di riferimento attendibile per le rilevazioni successive, nel corso della vita utile dell'opera.

Durante tale periodo, la presenza di un sistema di monitoraggio risulta estremamente

importante. Infatti, dalle misurazioni periodiche che possono essere eseguite, è possibile valutare sistematicamente lo stato di consistenza dell'opera (individuazione di cedimenti in fondazione, ridistribuzione di sollecitazioni per formazione di cerniere plastiche negli elementi portanti, degrado dei materiali, ecc…), grazie al confronto con il campione di dati di riferimento già a disposizione.

Bisogna poi sottolineare i vantaggi che fornisce un sistema di controllo a fibra ottica inserito in una struttura in c.a. o c.a.p., a valle di un evento eccezionale come quello sismico.

Pianificando la posizione dei sensori nelle sezioni degli elementi più sollecitati, si può valutare l'intera consistenza strutturale in funzione del controllo dei punti più strategici della struttura.

Essendo noto che l'effetto del sisma sulla struttura si esplica con una ridistribuzione delle sollecitazioni nelle diverse membrature, la variazione delle letture nei sensori consente di stabilire, a valle dell'evento, se in alcuni elementi sono state superate o meno le soglie di 7

Progettazione monitoraggio

In funzione delle sezioni più sollecitate per carichi verticali e per carichi orizzontali da sisma, si individuano i punti strategici dove collocare i sensori di misura

Installazione sensori

Prima della fase di getto del calcestruzzo, si posizionano i sensori a fibra ottica sulle barre d'armatura in acciaio, nelle posizioni stabilite nella fase di progettazione

Rilevazioni in corso d'opera

Nel corso della realizzazione dell'opera, sia essa costituita da elementi prodotti in

cantiere o prefabbricati, si effettuano letture contemporaneamente agli step costruttivi

Rilevazione a struttura ultimata

Completata la realizzazione della struttura, si effettua una lettura dei sensori considerando che su di essa agisce l'intero complesso dei carichi propri

Rilevazione in entrata in servizio dell'opera

Nell'entrata in servizio dell'opera, si effettua una lettura dei sensori considerabile come database di riferimento per le rilevazioni periodiche successive, considerando che sulla struttura agisce l'intero complesso di carichi propri e accidentali

Rilevazione periodiche

Nel corso della vita utile dell'opera, vengono eseguite delle letture periodiche dei sensori , in maniera tale da giudicare la consistenza strutturale, grazie al confronto con il database di letture di riferimento già acquisite sicurezza.

In considerazione di ciò, si riesce a comprendere se è necessario e come bisogna intervenire per ripristinare le condizioni di salvaguardia strutturale.

Per tanto, un protocollo procedurale che è possibile attuare per perseguire quanto esposto precedentemente sin dalle fasi costruttive, è sinteticamente riportato in figura (fig. 8).

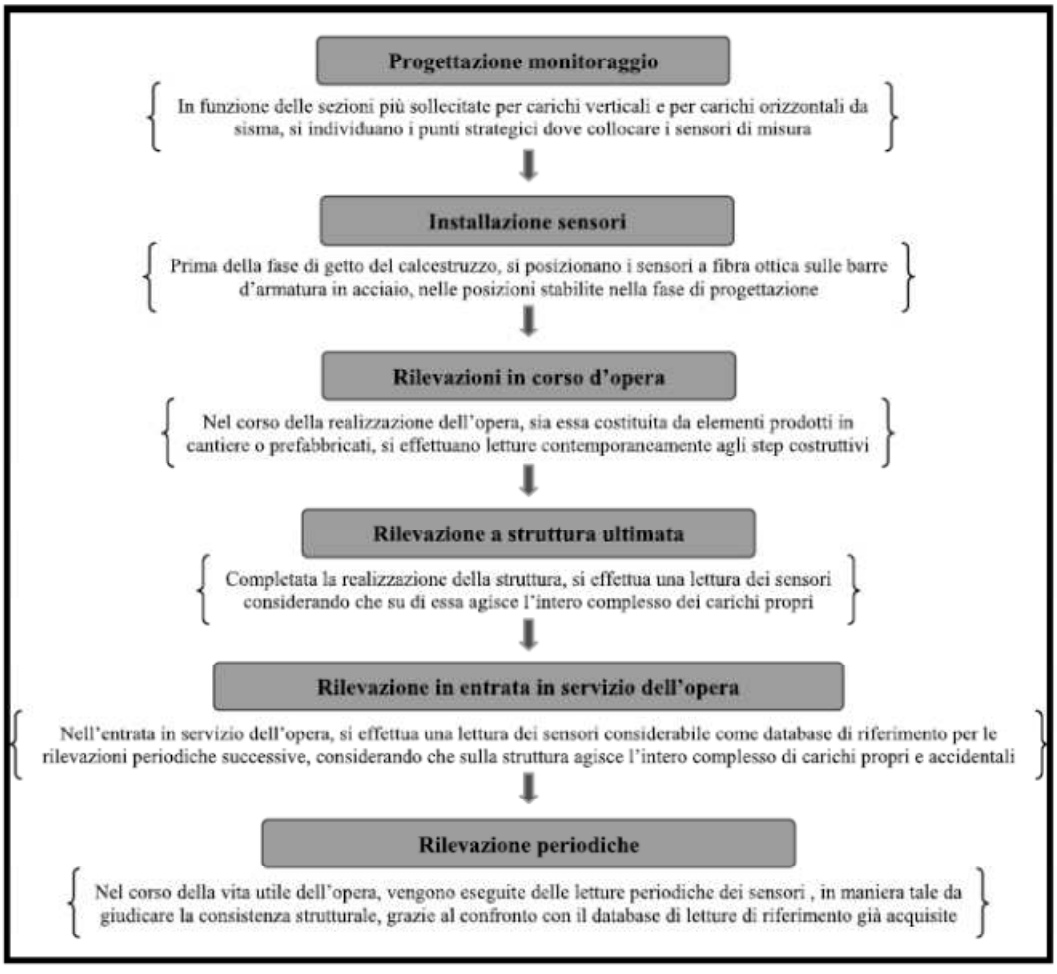


Figura 8. Protocollo procedurale per il monitoraggio strutturale.

Protocollo procedurale per il monitoraggio strutturale.

Conclusioni

Il monitoraggio delle strutture in c.a. e c.a.p. di nuova realizzazione è uno degli strumenti essenziali per una gestione intelligente, moderna ed efficace delle infrastrutture.

Il controllo di una struttura può incrementare la conoscenza dei suoi comportamenti, determinare parametri utili alla progettazione, aiutare a garantire la sicurezza e a pianificare gli interventi di manutenzione e ripristino, permettendo cosi di stabilire e pianificare i costi effettivi dell'opera nell'arco della sua vita.

Tra i diversi componenti di un sistema di monitoraggio, i sensori sono il primo elemento della catena di controllo e sono responsabili dell'esattezza e dell'affidabilità dei dati. I dispositivi a fibra ottica in particolare, offrono evidenti benefici durante le prove di carico, la costruzione, il collaudo e il controllo a lungo termine.

Tali dispositivi si rivelano di estrema utilità soprattutto in presenza di eventi eccezionali.

Infatti l'esistenza di un sistema di controllo residente nella struttura, aiuta i tecnici ad effettuare importanti valutazioni in merito alla solidità strutturale della costruzione colpita ad esempio da un evento sismico.

Naturalmente come ogni investimento, anche un sistema di monitoraggio deve dimostrare la sua

efficacia non solo in termini di miglioramento tecnico ma anche in termini di benefici economici.

però, essere facilmente recuperate in tempi anche brevi se si tengono in considerazioni gli enormi benefici non solo tecnici ma anche economici, che un sistema di monitoraggio può comportare nell'intera vita utile dell'infrastruttura civile.

Alla luce di quanto esposto, si può auspicare che il monitoraggio strutturale basato su dispositivi tecnologicamente avanzati come i sensori a fibra ottica, diventi una pratica consolidata e fondamentale nella realizzazione delle nuove strutture in c.a. o c.a.p., assegnando ad essa la stessa importanza che rivestono altre pratiche ingegneristiche.

Bibliografia

[1] G. Porco. Tecniche sperimentali per il controllo in continuo di edifici pubblici e privati. Giornata di studio “Tecnologie recenti di monitoraggio strutturale”, Fiera del Levante, Bari, 14 Settembre 2007.

[2] R. Giacchetti, S. Bufarini, V. D’Aria. Il controllo strutturale degli edifici in cemento armato e muratura. EPC Libri. 2005.

[3] Raymond M. Measures. Structural monitoring with fiber optic technology. Academic Press.

[4] D. Inaudi, A. Figini. Monitoraggio strutturale dinamico con fibre ottiche. 8° Convegno Nazionale “Strumentazione e Metodi di Misura Elettroottici”. Pavia, 14-16 Giugno 2004.

[5] S. Delepine-Lesoille, E. Merliot, Y. Gautier. Optical fiber strain sensors for use in civil engineering: state of the art, industrial applications and outlook. BLPC n°272, November 2008.

[6] D. Inaudi, N. Casanova e altri. SOFO: structural monitoring with fiber optic sensors. Fib Commission Meeting, Institute or structural engineering. University of applied sciences, Vienna, Austria.1999.

[7] D. Inaudi. Overview of 40 Bridge Structural Health Monitoring Projects. International Bridge Conference, IBC 2010. Pittsburgh, USA. June 2009.

[8] G. Porco, G. Zaccaria, D. Romano, M. Condino. Controllo dei livelli di deformazione e sollecitazione nelle fondazioni profonde. Conferenza Nazionale sulle Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica. 13° Congresso Nazionale AIPnD, 15-17 Ottobre 2009, Roma.

[9] G. Porco. Tecniche sperimentali per il controllo in continuo di edifici pubblici e privati. Giornata di studio “Tecnolog

Monitoraggio strutturale con fibre ottiche

Ingegneria Integrata e Società Spin-Off con Università italiane e straniere hanno dato vita ad una collaborazione industriale finalizzata alla progettazione, all'installazione e commercializzazione di sistemi custom di alta qualità per il monitoraggio strutturale **di Ponti e Strutture Edilie** di particolare importanza, per il controllo di processi industriali ed apparati speciali per centri di ricerca, utilizzando la tecnologia dei sensori basati su fibra ottica.

Il recente sviluppo e diffusione della tecnologia delle fibre ottiche ha consentito lo sfruttamento di componentistica utilizzata nelle telecomunicazioni ad elevate prestazioni per la creazione di sensori altamente performanti, basati su reticoli di Bragg, capaci di monitorare molteplici parametri anche simultaneamente:

Temperatura, Pressione, Forza, Flusso, Radiazioni, Livelli di liquidi, pH, Spostamento, Umidità, Vibrazioni, Deformazione, Rotazione, Velocità, Campi magnetici, Campi elettrici, Campi acustici, Accelerazione e innesco di fessurazione nei materiali...

L'uso di sensori in fibra ottica consente di avere innumerevoli vantaggi:

immunità alle interferenze elettro-magnetiche, tempi di risposta rapidi, semplicità nella multiplazione dei punti di misura, resistenza alla corrosione e quindi possibilità di applicazione in ambienti ostili, capacità di monitorare contemporanea-mente più parametri piccole dimensioni.

Il tutto sfruttando componentistica standard in applicazioni di telecomunicazioni, quindi pienamente collaudata e dai costi contenuti derivanti dalla larga diffusione.



Ingegneria Integrata e Società Spin-Off con Università italiane e straniere hanno dato vita ad una collaborazione industriale finalizzata alla progettazione, all'installazione e commercializzazione di sistemi custom di alta qualità per il monitoraggio strutturale, per il controllo di processi industriali ed apparati speciali per centri di ricerca, utilizzando la tecnologia dei sensori basati su fibra ottica.

Il recente sviluppo e diffusione della tecnologia delle fibre ottiche ha consentito lo sfruttamento di componentistica utilizzata nelle telecomunicazioni ad elevate prestazioni per la creazione di sensori altamente performanti, basati su reticoli di Bragg, capaci di monitorare molteplici parametri anche simultaneamente:

Temperatura, Pressione, Forza, Flusso, Radiazioni, Livelli di liquidi, pH, Spostamento, Umidità, Vibrazioni, Deformazione, Rotazione, Velocità, Campi magnetici, Campi elettrici, Campi acustici, Accelerazione.

L'uso di sensori in fibra ottica consente di avere innumerevoli vantaggi: immunità alle interferenze elettro-magnetiche, tempi di risposta rapidi, semplicità nella multiplazione dei punti di misura, resistenza alla corrosione e quindi possibilità di applicazione in ambienti ostili, capacità di monitorare contemporanea-mente più parametri piccole dimensioni.

Il tutto sfruttando componentistica standard in applicazioni di telecomunicazioni, quindi pienamente collaudata e dai costi contenuti derivanti dalla larga diffusione.

Principi di funzionamento

Un reticolo di Bragg "scritto" su fibra ottica è una periodica perturbazione dell'indice di rifrazione del core drogato tipicamente con germanio; la scrittura avviene tramite irraggiamento UV attraverso una opportuna maschera di fase. Il reticolo così formato si comporta come un filtro in lunghezza d'onda in trasmissione e riflessione. Il periodo della modulazione indotta di indice di rifrazione nel core della fibra determina la lunghezza d'onda che sarà riflessa.

Quando il reticolo è soggetto a deformazione o variazione di temperatura, il periodo dello stesso reticolo varia. Ciò determina la variazione della lunghezza d'onda riflessa.

Esistono due ragioni che determinano la variazione del periodo del reticolo. La prima è l'effettivo cambiamento del periodo del reticolo, la seconda consiste nella variazione dell'indice di rifrazione del core della stessa fibra. Il risultato dei due fenomeni provoca in definitiva lo spostamento della lunghezza d'onda caratteristica del reticolo. Tale meccanismo consente la misurazione diretta di deformazione e temperatura.

I Vantaggi

Rispetto alle tecnologie tradizionali:

sono multifunzionali ovvero opportunamente ingegnerizzate possono misurare più parametri, cosa impossibile con le tecnologie convenzionali. In un'unica fibra sono integrati diversi tipi di

sensori e in numero elevato. hanno dimensioni ridotte e quindi possibilità di embedding in diversi tipi di materiali fungono allo stesso tempo da canali di trasmissione e da sensori questa proprietà è unica delle fibrehanno cabbling ridotto ad una sola fibra hanno immunità alle interferenze elettromagnetiche sono molto vantaggiose economicamente su istallazioni complesse con molti punti di misura Rispetto ai competitor in fibra:

l'integrazione azienda - mondo accademico implica un costante aggiornamento tecnologico per soddisfare al meglio le esigenze del cliente utilizzato le più avanzate tecnologie.

Il nostro gruppo di ricerca opera ai massimi livelli internazionali sullo sviluppo di tecnologia in fibra ottica forniamo un servizio di progettazione e implementazione, non forniamo semplicemente tecnologia ma creiamo l'applicazione dal progetto al collaudo entriamo nelle problematiche del cliente e le risolviamo ad hoc con la migliore soluzione possibile sul mercato

Applicazioni civili

Monitoraggio di deformazione statica e dinamica multipunto su strutture operative come palazzine, ponti, monumenti ecc.

Possibilità d'integrazione nelle strutture in cemento armato e quindi creazione di nuove strutture già intrinsecamente sensorizzate.

Monitoraggio degli stress di processo e del ritiro del cemento durante l'indurimento – embedding: inglobando le fibre in fase di getto verifichiamo in tempo reale il processo di indurimento o precompressione, inoltre le fibre cosi integrate permettono il monitoraggio strutturale durante la vita operativa delle struttura stessa

Monitoraggio del processo di cura: possibilità di integrazione delle fibre nei rinforzi in composito utilizzati per sanare il cls danneggiato

La stessa tecnologia consente il monitoraggio strutturale sia statico che dinamico ovvero prove di:

- rigidezza e carico
- prove a fatica
- vibrazioni
- analisi modale specie se di ponti
- temperatura
- umidità nei c.l.s.
- accelerazione causate da eventi dinamici esterni quali sisma e altre calamità naturali
- controllo usura degli appoggi delle travi da ponte su viadotti

- innesco delle fessurazioni nei materiali
- cedimenti fondazionali delle pile di appoggio trave da ponte
- invecchiamento dei c.l.s.
- durabilità dei c.l.s.

Dott. Ing. Diego Dell'Erba