Tecnologie avanzate per la sicurezza nelle opere di ingegneria: il futuro della prevenzione strutturale

Aurora Ammoscato [*] Diego Dell'Erba [*] Giacinto Porco [**] Stefano De Santis [***] Michele Caponero [****]

INGEGNERIA INTEGRATA di Ing. Diego Dell'Erba [*] **Università della Calabria,** Cosenza, Professore Scienza delle Costruzioni, Dipartimento di Ingegneria Civile [**] **Università Roma3** – Professore Dipartimento di Ingegneria civile, informatica e delle tecnologie aeronautiche [***] **ENEA** – Direttore Laboratorio di Fisica Nucleare e Laboratorio di Micro e Nanostrutture per la Fotonica [****]

"L'uso di sensori a fibre ottiche e dell'interferometria radar satellitare permette il monitoraggio costante di deformazioni, micro-spostamenti e variazioni termiche nelle strutture edilizie, garantendo interventi tempestivi. L'IA nella gestione del cantiere ottimizza sicurezza, manutenzione e tutela del patrimonio storico."

Introduzione

La sicurezza nelle opere di ingegneria rappresenta una priorità fondamentale per garantire la salvaguardia delle vite umane, dell'ambiente e delle risorse economiche. Attraverso l'applicazione di normative rigorose, standard internazionali e lezioni apprese dal passato, è stato possibile prevenire catastrofi e migliorare la qualità delle costruzioni.

Esempi Pratici di Sicurezza che ha Prevenuto Catastrofi

1. Il Golden Gate Bridge (San Francisco, USA)

Durante la costruzione negli anni '30, furono adottate misure di sicurezza innovative per l'epoca, come l'uso di reti di sicurezza sotto il ponte. Questo approccio salvò la vita a 19 operai, che divennero noti come "Halfway to Hell Club". Fu uno dei primi esempi significativi di come la sicurezza sul lavoro potesse ridurre significativamente i rischi in progetti di grande scala.

2. Le Dighe in Giappone

Grazie alle rigorose normative antisismiche, molte dighe giapponesi sono progettate per resistere a terremoti estremamente intensi. Ad esempio, la Diga di Tokuyama ha dimostrato di poter resistere senza danni significativi al terremoto del 1995 di Kobe, grazie alla progettazione basata su simulazioni sismiche avanzate.

3. Norme Antisismiche in Italia

Dopo il terremoto dell'Aquila (2009), le normative italiane sono state ulteriormente rafforzate. L'introduzione dell'Eurocodice 8 ha guidato la progettazione di edifici resistenti ai terremoti, contribuendo a ridurre i danni in eventi successivi come il sisma del Centro Italia nel 2

Normative e Standard Internazionali sulla Sicurezz1. Eurocodici (Europa)

Gli Eurocodici sono una serie di standard europei per la progettazione strutturale. Ogni codice (ad esempio, l'Eurocodice 2 per il calcestruzzo o l'Eurocodice 8 per la progettazione antisismica) definisce criteri chiari per garantire che le opere siano sicure e durature. Questi standard sono utilizzati non solo nell'UE, ma anche in molti altri paesi.

2. OSHA (Stati Uniti)

La Occupational Safety and Health Administration (OSHA) stabilisce normative rigorose per la sicurezza sul lavoro, inclusi cantieri e costruzioni. Ad esempio, l'uso obbligatorio di DPI (Dispositivi di Protezione Individuale) e l'adozione di pratiche come l'analisi dei rischi prima dell'inizio dei lavori hanno ridotto significativamente gli incidenti sul lavoro.

3. Norme ISO (Internazionali)

- **ISO 45001**: Specifica i requisiti per un sistema di gestione della sicurezza e salute sul lavoro.
- **ISO 2394**: Guida generale per l'affidabilità delle strutture, stabilendo criteri per ridurre i rischi legati alla progettazione e costruzione

Miglioramenti Nella Qualità delle Costruzioni

Progettazione Basata su Modelli Digitali

L'adozione del Building Information Modeling (BIM) consente di simulare digitalmente la costruzione e l'uso delle infrastrutture, identificando potenziali problemi prima che si verifichino.

Monitoraggio Strutturale Avanzato

Sistemi di sensori e monitoraggio continuo, come quelli implementati sul Ponte di Øresund tra Danimarca e Svezia, permettono di rilevare eventuali deformazioni o deterioramenti in tempo reale, migliorando la manutenzione preventiva.

Monitoraggio e Manutenzione con Fibra Ottica e Radar Satellitare

Le tecnologie avanzate come la fibra ottica e i radar satellitari stanno rivoluzionando il monitoraggio e la manutenzione delle infrastrutture. Un esempio pratico è il progetto del ponte Morandi a Genova, dove sono stati utilizzati sensori a fibra ottica per monitorare costantemente lo stato della struttura, rilevando deformazioni o cambiamenti critici in tempo reale. Inoltre, i radar satellitari hanno permesso di raccogliere dati sulla stabilità del terreno circostante, contribuendo a prevenire rischi ambientali.

Manutenzione Predittiva

La manutenzione predittiva, strettamente legata ai principi dell'Industria 4.0, consente di intervenire sulle infrastrutture prima che si verifichino guasti. Questo approccio si basa sull'analisi dei dati raccolti dai sensori e sull'uso di algoritmi di intelligenza artificiale (IA) per prevedere possibili criticità. Ad esempio, nei sistemi ferroviari, l'adozione di queste tecnologie ha ridotto significativamente i tempi di fermo macchina e migliorato la sicurezza.

Vantaggi principali:

- Riduzione dei costi: interventi mirati diminuiscono le spese di manutenzione straordinaria.
- Sicurezza migliorata: il monitoraggio costante permette di prevenire incidenti.
- Efficienza operativa: l'analisi predittiva ottimizza la gestione delle risorse.
- Sostenibilità: meno interventi invasivi e maggiore durata delle strutture.

Sfide:

- Costi iniziali elevati.
- Necessità di formazione del personale.
- Resistenza culturale all'adozione di nuove tecnologie.
- Divario tecnologico tra regioni diverse.

Osservazioni

La sicurezza nelle opere di ingegneria non solo protegge vite umane, ma migliora anche la durabilità e l'efficienza delle costruzioni. L'applicazione di normative internazionali, l'innovazione tecnologica e l'analisi di eventi passati hanno permesso di trasformare sfide complesse in opportunità per un futuro più sicuro e sostenibile.

Le tecnologie come la fibra ottica, i radar satellitari e l'intelligenza artificiale stanno trasformando il settore dell'ingegneria civile, offrendo strumenti potenti per una gestione più efficace e sostenibile delle infrastrutture. Le prospettive future sono promettenti: la convergenza tra IA, sostenibilità e monitoraggio avanzato potrebbe portare alla creazione di città intelligenti, dove le infrastrutture non solo rispondono ai bisogni della popolazione, ma contribuiscono attivamente a migliorare la qualità della vita. Si riporta a seguire un progetto dove sono state applicate le tecnologie sopra illustrate.

Progetto Sistema Edilizio Chiesa di Sant'Agata a Grisciano - Comune di Accumoli (RI): Un Esempio di Progettazione e Cantierizzazione con applicazione della Intelligenza Artificiale

Progetto dell'Ing. Diego Dell'Erba "strutturista" e dell'Arch. Alfredo Orfei "architettonico"

Introduzione

Il progetto di recupero e ricostruzione della Chiesa di Sant'Agata a Grisciano, nel Comune di Accumoli (RI), rappresenta un esempio significativo di applicazione di tecnologie avanzate per il monitoraggio strutturale e l'ottimizzazione della cantierizzazione. In particolare, l'uso di sensori a fibre ottiche e l'interferometria radar da satellite spaziale, combinati con l'intelligenza artificiale per la gestione del cantiere, permettono un controllo accurato dello stato dell'opera e un miglioramento dell'efficienza delle fasi costruttive.



Chiesa e Canonica Grisciano

Contesto e Obiettivi del Progetto

Danneggiata dal terremoto del 2016, la Chiesa di Sant'Agata necessita di un intervento di consolidamento e ricostruzione che garantisca sicurezza e durabilità nel tempo. L'obiettivo principale è la realizzazione di un sistema edilizio che integri tecniche di monitoraggio avanzate per prevenire cedimenti strutturali e migliorare la gestione delle attività di cantiere.

Tecnologie Impiegate nel sistema Edilizio Grisciano Chiesa e Canonica

1. **Monitoraggio Strutturale con Sensori a Fibre Ottiche**



Monitoraggio Strutturale con Sensori a fibra Ottica

L'impiego di sensori a fibre ottiche nei monitoraggi strutturali rappresenta una delle innovazioni tecnologiche più avanzate e promettenti per garantire la sicurezza e la conservazione del patrimonio architettonico, in particolare in edifici storici e complessi come le chiese. Questi sensori offrono un monitoraggio continuo, estremamente preciso e affidabile delle condizioni strutturali, grazie alla loro capacità di rilevare in tempo reale deformazioni, variazioni di temperatura e micro-spostamenti.

Principio di funzionamento dei sensori a fibre ottiche

I sensori a fibre ottiche sfruttano il fenomeno della variazione della luce che attraversa una fibra ottica quando questa subisce deformazioni meccaniche o variazioni di temperatura. Il principio di base è che la luce trasmessa attraverso la fibra viene modulata in base agli stimoli fisici che agiscono sulla fibra stessa. In particolare:

- **Deformazioni meccaniche**: Quando una fibra ottica viene allungata o compressa a causa di una sollecitazione strutturale, la lunghezza d'onda della luce che la percorre cambia. Questo effetto

può essere misurato con precisione, consentendo di rilevare piccole deformazioni che potrebbero indicare danni o instabilità nella struttura.
- **Variazioni di temperatura**: La temperatura influisce sul comportamento ottico della fibra, in quanto la velocità di propagazione della luce dipende dalla temperatura del materiale. Monitorare queste variazioni permette di rilevare possibili disfunzioni termiche che potrebbero compromettere la stabilità strutturale, come i ponti termici o il deterioramento dei materiali.
- **Micro-spostamenti**: I sensori a fibre ottiche possono rilevare anche i più piccoli spostamenti che si verificano in una struttura, rendendo possibile il monitoraggio di fenomeni di crepe e fratture molto più sottili, che potrebbero non essere visibili ad occhio nudo ma che, se trascurati, potrebbero compromettere l'integrità dell'edificio.

Integrazione nei sistemi strutturali

L’integrazione dei sensori a fibre ottiche negli elementi portanti della chiesa, come travi, colonne, muri e solai, consente di avere una copertura capillare del monitoraggio. Questi sensori vengono installati all'interno dei materiali strutturali stessi, come il calcestruzzo o l'acciaio, ma possono anche essere applicati su superfici esterne tramite adesivi speciali. Questa installazione permette di monitorare simultaneamente diverse aree dell'edificio in modo continuo, senza necessità di interventi invasivi o interruzioni nelle attività quotidiane della chiesa.

Vantaggi del monitoraggio continuo

L’aspetto più rilevante dell’utilizzo di sensori a fibre ottiche in edifici storici, come una chiesa, è la possibilità di ottenere un monitoraggio in tempo reale. Questo approccio ha numerosi vantaggi:

- **Rilevazione precoce delle anomalie**: I sensori permettono di individuare piccole variazioni nelle condizioni strutturali prima che queste diventino gravi, come nel caso di crepe microscopiche che potrebbero evolversi in danni significativi. La possibilità di intervenire tempestivamente può prevenire danni maggiori e, in molti casi, ridurre i costi di restauro e manutenzione.
- **Controllo continuo**: A differenza delle ispezioni manuali periodiche, che sono soggette a errori umani e limitazioni di tempo, il monitoraggio con sensori a fibre ottiche fornisce una raccolta dati costante, che consente di tracciare nel tempo l'evoluzione della struttura. Questo è particolarmente utile in edifici che presentano segni di invecchiamento o che sono soggetti a stress da eventi esterni come terremoti, traffico pesante o cambiamenti climatici.
- **Interventi mirati**: Con i dati dettagliati raccolti dai sensori, è possibile pianificare interventi di manutenzione più mirati e meno invasivi, evitando riparazioni inutili e ottimizzando l'uso delle risorse. Inoltre, la diagnostica avanzata consente di effettuare interventi localizzati, risparmiando tempo e costi rispetto ai metodi tradizionali.

Applicazioni specifiche per la chiesa

Nel caso specifico di una chiesa, l'impiego dei sensori a fibre ottiche potrebbe avere impatti significativi sulla preservazione dell'edificio. La struttura di una chiesa, con le sue pareti spesse, le volte a crociera, i pilastri e le decorazioni artistiche, può essere particolarmente vulnerabile a cedimenti strutturali, come quelli causati dall'assestamento del terreno, movimenti sismici o l'alterazione dei materiali dovuta all'umidità e agli sbalzi termici. Monitorando questi fenomeni, i sensori possono fornire avvisi tempestivi per attuare misure preventive, come il consolidamento delle fondamenta o la protezione dalle infiltrazioni d’acqua.

Inoltre, poiché le chiese sono spesso soggette a lavori di restauro che possono alterare l'integrità strutturale, l’adozione di questi sensori durante i lavori consente di garantire che le modifiche non compromettano la sicurezza dell'edificio a lungo termine.

Il monitoraggio delle chiese con sensori a fibre ottiche non solo rappresenta una tecnologia all'avanguardia, ma risponde a una crescente necessità di proteggere edifici storici e culturali. Attraverso un monitoraggio continuo e in tempo reale, è possibile garantire la sicurezza e la conservazione di questi edifici, proteggendo il patrimonio culturale e migliorando l'efficacia degli interventi di manutenzione e restauro. Questa tecnologia, se implementata correttamente, potrà svolgere un ruolo cruciale nel mantenere la stabilità e la salute delle strutture per le generazioni future.

2. Interferometria Radar da Satellite Spaziale

L'uso di interferometria radar satellitare (InSAR) permette di monitorare spostamenti millimetrici del terreno e della struttura nel tempo. Questa tecnologia è fondamentale per valutare la stabilità dell'edificio in relazione alle condizioni geologiche del sito e per rilevare eventuali fenomeni di subsidenza o sollevamento.



Monitoraggio Strutturale con Interferometria Radar da Satellite Spaziale

3. Intelligenza Artificiale per la Cantierizzazione

L'introduzione di algoritmi di intelligenza artificiale consente di ottimizzare la gestione del cantiere, migliorando la logistica, la sicurezza e l'allocazione delle risorse. Sistemi di machine learning analizzano i dati provenienti dai sensori e dalle immagini di cantiere, supportando la pianificazione delle attività e prevenendo potenziali ritardi o criticità.

Benefici dell'Approccio Integrato

- **Sicurezza Strutturale:** Monitoraggio continuo per prevenire danni e garantire la stabilità dell'opera.
- **Efficienza Operativa:** Ottimizzazione delle attività di cantiere tramite l'uso di IA.
- **Sostenibilità:** Riduzione degli sprechi di materiali e risorse grazie alla gestione intelligente del progetto.
- **Prevenzione del Rischio Sismico:** Analisi predittiva delle condizioni strutturali e geotecniche.

Conclusioni

Il progetto della Chiesa di Sant'Agata a Grisciano dimostra come l'integrazione di tecnologie innovative nel settore edilizio possa migliorare significativamente la sicurezza, la gestione e la durabilità delle strutture storiche. L'adozione di sensori avanzati, radar satellitari e intelligenza artificiale rappresenta un modello replicabile per la tutela del patrimonio architettonico e per lo sviluppo di nuove metodologie nella cantierizzazione intelligente. Si allega un codice **“ QR “** rappresentativo del progetto “ Sistema Edilizio Grisciano “

Leggere il codice “ QR “ per aprire il Progetto Grisciano