RELAZIONE TECNICO-DIVULGATIVA

Ricostruire per durare

La Nuova Ingegneria nei cantieri del sisma 2016

Colleposta, Libertino e Grisciano · Accumoli (Rieti)



CANTIERI E SENSORI | RADAR SATELLITARE | DIGITAL TWIN E IA | MANUTENZIONE PREDITTIVA

Illustrazione concettuale ispirata ai borghi dell'Appennino centrale

Ing. Diego Dell'Erba

Ideatore della Cyber Physical Engineering – La Nuova Ingegneria

11 NOVEMBRE 2026

www.ingdiegodellerba.it

PRESENTAZIONE

Ricostruire e seguire le opere

Cinque esperienze nel territorio di Accumoli dopo il terremoto del 24 agosto 2016

Ad Accumoli la ricostruzione dopo il sisma del 2016 passa dalle case alle chiese e alle canoniche delle frazioni. La relazione segue cinque interventi per spiegare che cosa si è osservato in cantiere, quali tecnologie sono documentate e quali sono previste. [1]

La **Nuova Ingegneria**, o Cyber Physical Engineering, collega le opere reali alle informazioni che servono per seguirle nel tempo. Passare **dalla statica alla dinamica** significa affiancare alle verifiche di progetto l'osservazione del comportamento dell'opera in esercizio. Durante i lavori si possono documentare i dettagli che diventeranno inaccessibili e preparare i riferimenti per le misure future.

> **LA SICUREZZA È IL PRIMO PROGETTO**
>
> Una fotografia di cantiere, una misura strumentale e un modello digitale rispondono a domande diverse. Il loro valore cresce quando ciascuna informazione è datata, localizzata e collegata a un controllo o a una decisione.

INDICE

03 Santa Maria delle Grazie · Colleposta
04 Cantiere Marina · Colleposta
05 Cantiere Ionni · Colleposta
06 Cantiere laboratorio Massenzi · Libertino
07 Chiesa e canonica di Sant'Agata · Grisciano
08 Tecnologie e criteri di misura
09 Dalle misure alla manutenzione
10 Calcoli con sensori FBG e SOFO
11 Controllo del segnale e carichi di una parete
12 Quadro di sintesi e fonti

COLLEPOSTA / PATRIMONIO RELIGIOSO

Santa Maria delle Grazie

Messa in sicurezza e dimostratore con sensori in fibra ottica · esperienza riferita al 2016

L’intervento

Le schede dell’Ing. Diego Dell’Erba descrivono un intervento di messa in sicurezza del sistema edilizio della chiesa. Nel dimostratore i sensori in fibra ottica sono applicati su un tessuto in fibra di carbonio, a sua volta collegato alla muratura. Il caso riunisce due attività sullo stesso elemento fisico, il rinforzo e l’osservazione strumentale. [2, 3]

Che cosa si può osservare

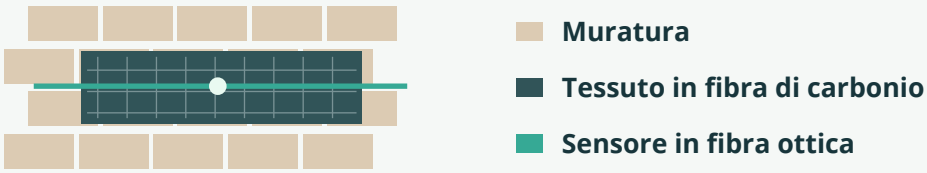
Il sensore segue la risposta della zona strumentata. La lettura dipende dal trasferimento della deformazione tra muratura, tessuto e sensore, dalla posizione del punto di misura e dalle condizioni ambientali. Per interpretare il segnale occorre conoscere il dettaglio di posa e riferire ogni misura all’elemento monitorato.

Dal cantiere alla ricerca

La documentazione illustra uno schema per acquisire, trasferire e consultare i dati. Le schede richiamano anche l’assegnazione di una tesi presso l’Università Roma Tre. Il dimostratore costituisce un riferimento per studiare come integrare la misura nel rinforzo e come conservare le informazioni che permettono di interpretarla. [2, 3]

RISCONTRO DISPONIBILE

Le fonti descrivono l’applicazione dei sensori nel dimostratore. La continuità del monitoraggio in esercizio e i risultati quantitativi richiedono registri di acquisizione e serie storiche.



Schema illustrativo del dimostratore. Geometria e scala sono indicative.

COLLEPOSTA / RICOSTRUZIONE PRIVATA

Cantiere Marina

Fabbricato Marina Fabri · Colle Marzolo, frazione Colleposta · procedimento USR Lazio ID 9464



Illustrazione di metodo. Il laser scanner rileva la geometria visibile di un fabbricato.

Le verifiche e la documentazione

Il verbale del 3 giugno 2026 registra facciate in fase avanzata, struttura lignea principale della copertura completata, protezioni controterra osservate e finiture interne in corso. La Direzione Lavori ha affiancato al sopralluogo un archivio fotografico. Per la verifica a campione dell'USR Lazio del 4 settembre sono stati trasmessi elaborati, contabilità e fotografie organizzate per stato di avanzamento lavori (SAL). A novembre il cantiere è indicato in fase di chiusura. [4, 5]

Le responsabilità in cantiere

L'Ing. Diego Dell'Erba è progettista e direttore dei lavori. L'impresa esecutrice è Cricchi Costruzioni S.r.l., con l'Ing. Sara Cricchi come responsabile tecnico di cantiere. L'Ing. Maurizio De Marco, coordinatore della sicurezza in esecuzione, è stato delegato al sopralluogo USR. [4, 5]

APPLICAZIONI DOCUMENTATE E SVILUPPI

Le fotografie digitali sono documentate. Rilievi con laser scanner e drone, BIM, sensori FBG/SOFO e gemello digitale appartengono al percorso tecnologico. La loro effettiva attivazione va riscontrata con elaborati consegnati, registri di posa e serie di misura.

COLLEPOSTA / RICOSTRUZIONE PRIVATA

Cantiere Ionni

Documentazione fotografica preliminare alla visita del 12 novembre 2026



Foto di cantiere [6]. A sinistra il prospetto, a destra il raccordo di gronda e pluviale.

Che cosa mostrano le fotografie

La rassegna preparata per il sopralluogo dell'Ing. Diego Dell'Erba, progettista e direttore dei lavori, documenta prospetti color ocra, copertura, gronde, pluviali e ponteggi. Il dettaglio a destra consente di individuare il raccordo tra gronda e pluviale da verificare in cantiere. [6]

Dalle immagini alle verifiche

Per ogni dettaglio conviene registrare posizione, data e lavorazione associata. La visita consente di verificare la continuità dello smaltimento delle acque, i raccordi dei serramenti, le finiture interne, gli accessi e le sistemazioni esterne. Per le parti nascoste servono anche gli elaborati di cantiere. [6]

APPLICAZIONE DOCUMENTATA

La rassegna digitale organizza le evidenze visive e prepara l'ispezione. L'eventuale avvio di un monitoraggio strumentale richiede un piano di misura, gli atti di posa e le letture iniziali.

LIBERTINO / CANTIERE LABORATORIO

Progetto Massenzi

Integrazione tra costruzione, monitoraggio e gestione delle informazioni · 2023–2024



Illustrazione concettuale. Osservazioni radar del territorio e sensori locali sull’edificio.

Misurare l’edificio e osservare il territorio

Le schede del cantiere laboratorio presentano sensori in fibra ottica per osservare elementi selezionati e interferometria radar satellitare per leggere gli spostamenti dei punti osservabili. Le due osservazioni lavorano a scale diverse. Il loro confronto richiede di localizzare i punti radar e di verificare la qualità delle misure. [2, 3, 7, 9]

Collegare i dati al giornale dei lavori

L’IA può aiutare a ordinare il giornale dei lavori, la contabilità e gli stati di avanzamento. Se una misura cambia dopo la rimozione di un’opera provvisionale, il registro aiuta il tecnico a ricostruire la sequenza degli eventi e a valutare se approfondire. [3]

> **STATO DELLE INFORMAZIONI**
>
> Le tecnologie sono descritte nelle presentazioni del 2024. Configurazione installata, prestazioni e operatività vanno riscontrate con planimetrie, registri e serie di misura aggiornate.

GRISCIANO / PATRIMONIO RELIGIOSO

Sant’Agata, chiesa e canonica

Ricostruzione del sistema edilizio e programma di osservazione strutturale · progetto presentato nel 2024



Illustrazione concettuale di chiesa e canonica con possibili punti di osservazione.

Osservare due edifici collegati

Il progetto considera insieme la chiesa di Sant’Agata e la canonica. L’attenzione riguarda le singole murature e i collegamenti tra le due parti. Le schede del 2024 prevedono sensori in fibra ottica, osservazioni satellitari e supporto dell’IA alla gestione tecnico-amministrativa. [2, 3]

Documentare i punti prima che diventino inaccessibili

Chi seguirà l’opera deve poter individuare l’elemento osservato, ritrovare la posizione dei dispositivi e confrontare le misure future con le letture iniziali. Per le parti destinate a essere coperte, fotografie e schemi di posa fanno parte della memoria tecnica dell’intervento.

> **DAL PROGETTO ALL’ESERCIZIO**
>
> Schemi di posa aggiornati, elenco dei dispositivi, prova di acquisizione e letture di riferimento permettono di documentare l’avvio del monitoraggio previsto nel 2024.

METODO / MISURARE

Le tecnologie e le misure

Dal rilievo geometrico al monitoraggio strutturale (Structural Health Monitoring, SHM)

Rilievi, fotografie e BIM

Fotografie datate, rilievi laser scanner e riprese da drone possono documentare geometria e condizioni visibili da punti diversi. Un modello informativo BIM collega gli oggetti dell'opera ai relativi elaborati, foto, controlli e interventi. Un archivio condiviso conserva versioni, attribuzioni e date per ricostruire le decisioni.

Sensori in fibra ottica FBG e SOFO

I sensori FBG, a reticolo di Bragg, consentono di osservare deformazioni in posizioni definite. Poiché la risposta ottica può dipendere anche dalla temperatura, la configurazione di misura deve tener conto di tale effetto. Un sensore SOFO a base lunga rileva la variazione di distanza tra i suoi estremi e restituisce un'informazione integrata lungo quella base. La scelta dipende dal fenomeno e dalla scala da osservare. [7, 8]

Interferometria radar satellitare

L'InSAR stima spostamenti a partire da acquisizioni radar ripetute. I prodotti di base misurano la componente lungo la linea di vista del satellite nei punti con risposta radar utilizzabile. Per attribuire una variazione all'edificio, al terreno o a un altro elemento serve identificare il punto osservato e confrontare il risultato con riscontri locali. [9]

RIFERIMENTO INIZIALE

Per ogni misura, documentare il punto e la direzione, la grandezza, l'unità, la frequenza di acquisizione, la temperatura o le altre condizioni rilevanti e lo stato dei lavori. Queste informazioni rendono confrontabili le letture nel tempo.



Schema di principio. I due sensori osservano la deformazione su basi di misura diverse.

METODO / DECIDERE

Dalle misure alla manutenzione

Gemello digitale, intelligenza artificiale e responsabilità del professionista

Il gemello digitale

Il Digital Twin collega una rappresentazione dell'opera ai dati raccolti durante i lavori o l'esercizio. Un dato di deformazione è più utile quando è associato al sensore che lo ha prodotto, all'elemento su cui è installato, alla data, ai controlli di qualità e agli eventuali eventi intervenuti. Il valore del gemello digitale dipende dalla continuità di questo collegamento.

L'IA come assistente tecnico

L'intelligenza artificiale può ordinare le informazioni, far emergere dati mancanti e segnalare andamenti insoliti. I tecnici verificano il segnale, la provenienza del dato e le condizioni in cui è stato acquisito. **La macchina calcola, l'uomo decide.**

Un esempio di manutenzione predittiva

Si immagini una variazione che ricorre nello stesso tratto monitorato. Si controllano la qualità delle letture, l'effetto della temperatura e gli eventi annotati nel fascicolo. Se lo scostamento persiste, il professionista valuta un'ispezione mirata, confronta le evidenze e stabilisce se modificare il piano dei controlli o programmare un intervento. L'esempio illustra il metodo, senza attribuire letture specifiche ai cantieri descritti.

CONSEGNA ALLA GESTIONE

Il fascicolo finale riunisce gli elaborati aggiornati, la documentazione delle opere eseguite, le eventuali schede dei sensori, le misure iniziali e il piano di manutenzione. La presa in carico identifica chi controlla i dati, chi riceve le segnalazioni e chi dispone le verifiche.



Flusso esemplificativo. Il tecnico valuta la segnalazione e decide la verifica.

ESEMPI DI CALCOLO / SENSORI

Dalla lettura alla deformazione

Esempi numerici con dati ipotetici e coefficienti indicativi. Riferimenti tecnologici [7, 8]

1. FBG · Correzione della sensibilità alla temperatura

Si assume una variazione di lunghezza d'onda Δλ di +48 pm e un aumento di temperatura ΔT di +3 °C. Per il sensore dell'esempio si adottano una sensibilità termica kT = 10 pm/°C e una sensibilità alla deformazione kε = 1,20 pm/με, da verificare nella calibrazione della configurazione effettiva.

Δλ corretta = Δλ − kT × ΔT = 48 − 10 × 3 = 18 pm

Δε = Δλ corretta / kε = 18 / 1,20 = +15 με

Con la convenzione adottata il segno positivo indica allungamento. La correzione riguarda la sensibilità termica del sensore. Per isolare la quota di deformazione dovuta ai carichi va valutata anche l'eventuale dilatazione termica dell'elemento.

2. SOFO · Deformazione media lungo una base

Si assume una base di misura L = 2,00 m = 2.000 mm e una variazione di distanza tra gli estremi ΔL = +0,18 mm rispetto alla lettura iniziale.

Δε media = ΔL / L = 0,18 / 2.000 = 0,000090 = +90 με

COME LEGGERE LE UNITÀ

Un microstrain (1 με) equivale a una deformazione relativa di 10^{-6}, cioè 1 micrometro per metro. L'esempio FBG rappresenta una misura locale. Il risultato SOFO rappresenta una media lungo la base di misura.

Variazione misurata · 48 pm



Esempio FBG. Variazione ottica osservata e contributi, in picometri.

ESEMPI DI CALCOLO / LETTURA TECNICA

Dal dato al controllo

Esempi didattici su scostamento strumentale e carico verticale dovuto al peso proprio

3. Scostamento rispetto al riferimento

Si assume che, a condizioni ambientali confrontabili, la deformazione media storica sia 20 με con deviazione standard s = 5 με. La nuova misura è 38 με. Il confronto è valido solo se il riferimento è rappresentativo e la lettura supera i controlli di qualità.

Scostamento = 38 − 20 = +18 με

Scostamento normalizzato = (38 − 20) / 5 = 3,6

Lo scostamento è pari a 3,6 deviazioni standard del riferimento ipotizzato. L'indice aiuta a selezionare le letture da approfondire. Il professionista valuta persistenza, temperatura, eventi e riscontri sul posto.

4. Parete in muratura · Stima del peso proprio

Per una striscia di parete lunga 1,00 m, alta 3,00 m e spessa 0,45 m, si assume un peso per unità di volume γ = 20 kN/m³. Si considerano una sezione piena, assenza di aperture e carico centrato dovuto al solo peso proprio.

Volume = 1,00 × 3,00 × 0,45 = 1,35 m³

Peso = 20 × 1,35 = 27 kN per metro di parete

Tensione media alla base = 27 / 0,45 = 60 kPa = 0,060 MPa

Per le verifiche strutturali e sismiche dei singoli interventi occorrono geometrie e materiali rilevati, condizioni di vincolo, carichi, combinazioni di progetto e gli elaborati di calcolo delle opere.

SINTESI / FONTI

Il quadro dei cinque interventi

Stato delle informazioni disponibili alla data della relazione

INTERVENTO	RISCONTRO O PREVISIONE
Santa Maria delle Grazie	Dimostratore con sensori in fibra ottica su rinforzo in fibra di carbonio.
Marina	Sopralluogo e archivio fotografico digitale. Tecnologie di monitoraggio da riscontrare negli atti di installazione e avvio.
Ionni	Rassegna fotografica digitale a supporto delle verifiche di cantiere.
Massenzi	Cantiere laboratorio con tecnologie descritte nelle schede 2023–2024.
Sant'Agata	Fibre ottiche, osservazioni satellitari e IA nel programma illustrato nel 2024.

La ricostruzione può lasciare a chi gestisce gli edifici una memoria delle opere eseguite, delle condizioni iniziali e dei controlli da proseguire. A Colleposta, Libertino e Grisciano questa continuità prende forma attraverso rilievi e documenti di cantiere, sperimentazioni e programmi di monitoraggio.

DOCUMENTI E RIFERIMENTI CONSULTABILI

[1] Dipartimento della Protezione Civile · Terremoto Centro Italia 2016–2017

[2] Ing. Diego Dell'Erba · Presentazione tecnica, ottobre 2026, pp. 18–22

[3] Ing. Diego Dell'Erba · Presentazione all'Università Roma Tre, 12 aprile 2024

[4] Direzione lavori · Verbale digitale Marina, 3 giugno 2026

[5] Marina · Riscontro all'USR Lazio, 31 agosto 2026

[6] Ionni · Rassegna fotografica preliminare, novembre 2026

[7] ENEA · Tecnologie in fibra ottica per il monitoraggio strutturale permanente

[8] Smartec · Sensore di deformazione SOFO Standard

[9] Copernicus · European Ground Motion Service, prodotto Basic

Marina · Delega per il sopralluogo del 4 settembre 2026 [5]

Ing. Diego Dell'Erba

www.ingdiegodellerba.it