LA NUOVA INGEGNERIA

Cyber–Physical Structural Safety (CPSS)
Dalla sicurezza statica alla sicurezza dinamica delle opere

Ing. Diego Dell'Erba

ABSTRACT (Italiano)

Il presente articolo introduce il concetto di **Cyber–Physical Structural Safety (CPSS)**, una nuova metodologia dell'ingegneria civile e strutturale fondata sull'integrazione tra monitoraggio strutturale continuo, sensoristica intelligente, Digital Twin, Intelligenza Artificiale, manutenzione predittiva e controllo digitale dei cantieri.

La CPSS nasce da esperienze operative sviluppate nell'arco di oltre trenta anni nei territori colpiti dai terremoti italiani, in particolare nei contesti post-sisma dell'Aquila 2009 e del sisma Centro Italia 2016.
Le attività hanno consentito di sviluppare un nuovo approccio alla sicurezza delle opere, non più basato esclusivamente su verifiche statiche periodiche, ma su un controllo dinamico ed evolutivo delle strutture nel tempo.

Particolare rilievo assume il concetto di "verbale digitale di cantiere", sperimentato nei cantieri attualmente in corso nel territorio reatino, quale innovativa evoluzione della Direzione dei Lavori tradizionale.

Lo sviluppo della CPSS è stato supportato dalla collaborazione con ENEA, Università La Sapienza di Roma, Università Roma Tre, Università della Calabria ed altre istituzioni scientifiche e professionali, anche attraverso l'assegnazione di tesi di laurea magistrale in ingegneria strutturale e sicurezza delle costruzioni.

ABSTRACT (English)

This paper introduces the concept of **Cyber–Physical Structural Safety (CPSS)**, a new methodology in civil and structural engineering based on the integration of continuous structural monitoring, intelligent sensors, Digital Twin technologies, Artificial Intelligence, predictive maintenance, and digital construction site management.

CPSS originates from operational experiences developed over more than thirty years in Italian seismic areas, particularly following the 2009 L'Aquila earthquake and the 2016 Central Italy earthquake.

These experiences led to a new approach to structural safety, no longer based solely on periodic static assessments, but on dynamic and evolutionary monitoring of structures over time.

Particular importance is given to the concept of the “digital construction site report”, currently being applied in construction sites in the Rieti area as an innovative evolution of traditional Construction Management procedures.

The development of CPSS has been strongly supported by collaborations with ENEA, Sapienza University of Rome, Roma Tre University, the University of Calabria, and other scientific and professional institutions, including master’s degree theses in structural engineering and construction safety.

INTRODUZIONE

Negli ultimi decenni il mondo dell’ingegneria ha vissuto una profonda trasformazione tecnologica.
Tuttavia, nel settore della sicurezza delle opere civili e infrastrutturali, gran parte delle metodologie operative continua ancora oggi ad essere fondata su controlli statici, verifiche periodiche e valutazioni spesso scollegate dal comportamento reale e continuo delle strutture nel tempo.

L’esperienza maturata in oltre cinquant’anni di attività professionale, svolta tra grandi opere infrastrutturali, territori ad elevato rischio sismico e interventi di consolidamento complessi, ha portato lo scrivente a sviluppare un nuovo approccio tecnico e culturale:

la Cyber–Physical Structural Safety (CPSS)

una nuova concezione dell’ingegneria che integra:

- monitoraggio strutturale continuo;
- sensoristica intelligente;
- Digital Twin;
- Intelligenza Artificiale;
- manutenzione predittiva;
- controllo digitale dei cantieri.

Non più quindi una sicurezza “fotografata” in un determinato istante, ma una sicurezza dinamica, evolutiva, continuamente aggiornata dai dati reali provenienti dalle opere.

IL SUPPORTO SCIENTIFICO E UNIVERSITARIO

La nascita e lo sviluppo della CPSS sono stati resi possibili anche grazie ad un importante supporto scientifico, universitario e multidisciplinare.

Un contributo significativo è stato fornito da:

- ENEA;
- Università “La Sapienza” di Roma;
- Università Roma Tre;
- Università della Calabria;
- ulteriori collaborazioni tecniche e professionali.

Le attività sviluppate hanno dato origine anche ad assegnazioni di tesi di laurea magistrale in ingegneria strutturale, monitoraggio delle costruzioni, sicurezza evolutiva e Digital Twin.

Questo collegamento diretto tra università, ricerca scientifica e attività professionale sul campo ha consentito di trasformare il cantiere in un vero laboratorio di innovazione applicata.

La collaborazione con giovani ricercatori e laureandi ha inoltre favorito una continua evoluzione metodologica delle tecniche di controllo, monitoraggio e gestione della sicurezza delle opere.

COME NASCE LA CPSS

La nascita della CPSS non deriva da una teoria astratta o da una semplice ricerca accademica.

Nasce invece da esperienze operative concrete sviluppate nel tempo, soprattutto nei territori colpiti dai terremoti italiani.

Le attività svolte prima e dopo il sisma dell’Aquila del 2009 e successivamente nel cratere sismico 2016 tra Lazio, Abruzzo e Marche hanno evidenziato un concetto fondamentale:

le strutture non possono più essere considerate organismi “muti”.

Ogni opera modifica infatti continuamente il proprio stato tensionale, deformativo e dinamico sotto l’azione:

- dei terremoti;
- delle variazioni termiche;
- dell’invecchiamento dei materiali;

- delle modifiche ambientali;
- dell’uso antropico;
- delle lavorazioni eseguite nel tempo.

Da qui nasce l’esigenza di sviluppare un sistema capace di:

MISURARE → ANALIZZARE → PREVEDERE → INTERVENIRE

ossia:

- acquisire dati reali;
- interpretarli attraverso modelli digitali evolutivi;
- prevedere criticità future;
- supportare decisioni tecniche tempestive.

LE PRIME ESPERIENZE OPERATIVE

Tra le prime applicazioni significative si collocano le attività di monitoraggio strutturale sviluppate già oltre quindici anni fa attraverso l’impiego di:

- sensori in fibra ottica;
- accelerometri;
- sistemi di acquisizione dinamica;
- controllo remoto delle strutture.

Importanti esperienze furono avviate:

- nella Chiesa di Santa Maria Goretti a Villalba di Guidonia;
- negli interventi successivi sul patrimonio edilizio danneggiato dal sisma;
- nelle attività di monitoraggio evolutivo su edifici storici e strutture in condizioni di vulnerabilità.

Particolarmente significativa risultò inoltre l’esperienza sviluppata a L’Aquila sul Palazzo Mannetti, dove il monitoraggio strutturale consentì di introdurre un sistema di controllo continuo capace di segnalare anomalie e movimenti della struttura.

Queste esperienze hanno progressivamente portato alla definizione della CPSS come nuovo modello operativo dell’ingegneria moderna.

In parallelo si sono sviluppate attività di studio, pubblicazioni, sperimentazioni applicative e collaborazioni scientifiche che hanno consolidato il concetto di sicurezza strutturale evolutiva e dinamica.

IL DIGITAL TWIN E LA SICUREZZA DINAMICA

Elemento centrale della CPSS è il concetto di:

DIGITAL TWIN STRUTTURALE

ossia la realizzazione di un modello digitale evolutivo dell'opera, continuamente aggiornato attraverso i dati provenienti dal monitoraggio reale.

Il Digital Twin non rappresenta una semplice modellazione tridimensionale.

Esso costituisce una vera memoria tecnica dinamica dell'opera capace di:

- confrontare comportamento teorico e reale;
- individuare variazioni anomale;
- prevedere scenari evolutivi;
- supportare manutenzione e gestione;
- ridurre il rischio di eventi improvvisi.

In tale contesto la manutenzione non diventa più attività successiva al danno, ma:

MANUTENZIONE PREDITTIVA

capace di anticipare le criticità prima che evolvano in situazioni di pericolo.

L'opera ingegneristica assume così caratteristiche assimilabili ad un organismo dinamico capace di trasmettere informazioni continue sul proprio stato di salute strutturale.

LE APPLICAZIONI ATTUALI NEL REATINO

Oggi la CPSS trova concreta applicazione in alcuni cantieri terminati e in corso di realizzazione nel territorio reatino, ed in particolare nella frazione di Colleposta, nel Comune di Accumoli.

Qui sono attualmente in lavorazione due cantieri differenti per concezione strutturale e metodologia applicativa:

- cantiere "IONNI";

- cantiere “MARINA”.

Entrambi rappresentano veri laboratori operativi di innovazione.

Nel cantiere MARINA sono in corso applicazioni integrate tra:

- sistemi innovativi costruttivi;
- monitoraggio strutturale;
- controllo evolutivo della struttura;
- Digital Twin;
- sensoristica avanzata.

Nel cantiere IONNI, oltre alle metodologie tradizionali di controllo tecnico, è stata introdotta una ulteriore innovazione operativa:

IL VERBALE DIGITALE DI CANTIERE

IL VERBALE DIGITALE

Il verbale digitale rappresenta una evoluzione sostanziale della tradizionale attività di Direzione dei Lavori.

Attraverso:

- documentazione fotografica continua;
- analisi digitale delle lavorazioni;
- elaborazione intelligente delle immagini;
- archiviazione cronologica dinamica;

viene costruito un sistema di controllo oggettivo e permanente dell’evoluzione del cantiere.

Il verbale digitale non sostituisce il sopralluogo diretto del Direttore dei Lavori, ma lo integra e lo potenzia.

Esso consente:

- maggiore tracciabilità;
- controllo continuo delle lavorazioni;
- verifica della qualità esecutiva;
- costruzione di una memoria tecnica permanente dell’opera;
- futura integrazione con sistemi di manutenzione predittiva.

Il cantiere non viene più controllato soltanto in momenti limitati nel tempo, ma entra in una dimensione di osservazione continua e documentata.

La Direzione dei Lavori evolve così verso una forma di controllo tecnico digitale avanzato, nel quale l'esperienza dell'ingegnere viene supportata da strumenti intelligenti di analisi e archiviazione.

CONCLUSIONI

La Cyber–Physical Structural Safety rappresenta oggi una possibile evoluzione culturale e tecnica dell'ingegneria civile e infrastrutturale.

Non si tratta di sostituire l'ingegnere con la tecnologia.

Al contrario:

la tecnologia diventa uno strumento avanzato al servizio della capacità tecnica, dell'esperienza professionale e della responsabilità dell'ingegnere.

L'obiettivo finale rimane uno soltanto:

aumentare il livello di sicurezza delle opere e della vita umana.

Le esperienze oggi in corso nel territorio reatino dimostrano che questa trasformazione non appartiene più ad un futuro teorico, ma è già entrata concretamente nei cantieri reali.

L'ingegneria del futuro sarà sempre più:

- integrata;
- intelligente;
- predittiva;
- interconnessa;
- dinamica.

Una ingegneria nella quale le opere non saranno più "mute", ma capaci di dialogare continuamente con chi le progetta, le costruisce e le gestisce.

Ing. Diego Dell'Erba

“ QRcode “ *profilo Ing. Diego Dell’Erba su* **“ FB “**

Tesi di laurea Magistrale in Ingegneria strutturale





