CYBER PHYSICAL ENGINEERING

La nuova ingegneria
della sicurezza, del monitoraggio intelligente e della prevenzione

a cura dell' Ing. Diego Dell'Erba



La Cyber Physical Engineering
rappresenta una nuova evoluzione
dell'ingegneria civile, infrastrutturale e della sicurezza strutturale.
Essa integra
strutture fisiche, monitoraggio intelligente, sensoristica avanzata,
Digital Twin, intelligenza artificiale, manutenzione predittiva e gestione digitale dei cantieri in un unico ecosistema tecnologico.

Anno 2026

CYBER PHYSICAL ENGINEERING

La nuova ingegneria della sicurezza, del monitoraggio intelligente e della prevenzione

con il contributo di ingegneri, architetti, ricercatori ENEA, docenti universitari italiani e stranieri ed esperti delle tecnologie avanzate applicate alle infrastrutture.

ABSTRACT (ITALIANO)

La Cyber Physical Engineering rappresenta una nuova evoluzione dell'ingegneria civile, infrastrutturale e della sicurezza strutturale. Essa integra strutture fisiche, monitoraggio intelligente, sensoristica avanzata, Digital Twin, intelligenza artificiale, manutenzione predittiva e gestione digitale dei cantieri in un unico ecosistema tecnologico.

L'obiettivo della nuova ingegneria non è soltanto costruire infrastrutture, ma trasformarle in sistemi intelligenti capaci di monitorarsi continuamente, prevenire il degrado, ridurre i rischi e garantire sicurezza permanente nel tempo.

Le esperienze maturate nei principali eventi sismici italiani — Irpinia 1980, Molise, L'Aquila 2009 e Centro Italia 2016 — hanno evidenziato la necessità di superare il modello tradizionale basato sull'intervento post-emergenziale, introducendo una nuova cultura della prevenzione, del controllo continuo e della manutenzione predittiva.

Le applicazioni sviluppate nel progetto di Palazzo Mannetti all'Aquila, nei cantieri IONNI e MARINA a Colleposta – Accumoli e nella sperimentazione del pannello automonitorante rappresentano esempi concreti della Cyber Physical Engineering applicata alle infrastrutture del futuro.

ABSTRACT (ENGLISH)

Cyber Physical Engineering represents a new evolution in civil, infrastructure and structural safety engineering. It integrates physical structures, intelligent monitoring, advanced sensing systems, Digital Twin technology, artificial intelligence, predictive maintenance and digital construction management into a single technological ecosystem.

The goal of this new engineering approach is not only to build infrastructures, but to transform them into intelligent systems capable of continuously monitoring themselves, preventing degradation, reducing risks and ensuring permanent safety over time.

The experience gained during major Italian seismic events — Irpinia 1980, Molise, L'Aquila 2009 and Central Italy 2016 — highlighted the need to overcome the traditional post-emergency intervention model by introducing a new culture of prevention, continuous control and predictive maintenance.

Applications developed in the Palazzo Mannetti project in L'Aquila, in the IONNI and MARINA construction sites in Colleposta – Accumoli and in the self-monitoring panel experimentation represent concrete examples of Cyber Physical Engineering applied to the infrastructures of the future.

---

1. INTRODUZIONE

L'Italia rappresenta uno dei Paesi europei maggiormente esposti al rischio sismico, al degrado infrastrutturale e alla vulnerabilità del patrimonio edilizio.

Le tragedie che hanno segnato il territorio nazionale negli ultimi decenni — dal terremoto dell'Irpinia del 1980 al Molise, fino al terremoto dell'Aquila del 2009 e agli eventi sismici del Centro Italia del 2016 — hanno evidenziato con forza una realtà ormai evidente:

non basta più progettare e costruire opere.
Occorre controllarne continuamente la sicurezza durante tutto il loro ciclo di vita.

Da queste esperienze nasce il percorso tecnico, professionale e scientifico dell'Ing. Diego Dell'Erba, sviluppato attraverso attività nei cantieri, nella ricostruzione post-sismica, nelle grandi opere internazionali e nella ricerca applicata alle tecnologie avanzate per la sicurezza delle infrastrutture.

Da questo percorso prende forma una nuova visione dell'ingegneria moderna:

LA CYBER PHYSICAL ENGINEERING

---

2. LA CYBER PHYSICAL ENGINEERING

La Cyber Physical Engineering rappresenta una nuova disciplina integrata dell’ingegneria civile e infrastrutturale.

Essa unisce:

- ingegneria strutturale
- monitoraggio intelligente
- sensoristica avanzata
- sistemi cyber-physical
- Digital Twin
- BIM
- cloud engineering
- manutenzione predittiva
- intelligenza artificiale
- gestione digitale dei cantieri

L’obiettivo della nuova ingegneria non è più soltanto costruire opere, ma renderle:

- intelligenti
- monitorabili
- controllabili
- predittive
- sicure nel tempo

Le infrastrutture diventano così sistemi dinamici capaci di:

- comunicare dati
- rilevare anomalie
- prevedere degradi
- supportare decisioni manutentive
- ridurre il rischio
- proteggere persone e territori

La Cyber Physical Engineering segna quindi il passaggio:

- da ingegneria tradizionale a ingegneria intelligente
- da gestione emergenziale a prevenzione continua
- da opere statiche a sistemi dinamici connessi

---

3. ARCHITETTURA DEL SISTEMA CYBER PHYSICAL

Il sistema Cyber Physical si basa sull'integrazione di quattro livelli fondamentali:

Livello fisico

- edifici
- ponti
- infrastrutture
- cantieri

Livello sensoriale

- fibre ottiche
- sensori IoT
- sistemi di acquisizione dati
- monitoraggio intelligente

Livello digitale

- BIM
- cloud computing
- database strutturali
- piattaforme operative

Livello intelligente

- intelligenza artificiale
- machine learning
- algoritmi predittivi
- sistemi decisionali

L'intero ecosistema opera in tempo reale secondo il flusso:

Struttura → Sensori → Cloud → Digital Twin → IA → Decisioni operative

Ogni componente lavora in modo integrato generando un sistema capace di controllare continuamente lo stato dell'opera.

---

4. SENSORISTICA A FIBRE OTTICHE

La sensoristica a fibre ottiche rappresenta una delle tecnologie più avanzate per il monitoraggio strutturale continuo (Structural Health Monitoring).

Attraverso sensori FBG (Fiber Bragg Grating) e sistemi distribuiti di acquisizione dati è possibile rilevare:

- deformazioni
- vibrazioni
- stati tensionali
- variazioni termiche
- microspostamenti
- fenomeni fessurativi
- anomalie strutturali

Principali vantaggi

- elevatissima precisione
- monitoraggio continuo 24/7
- immunità elettromagnetica
- lunga durabilità
- integrazione nei materiali strutturali
- elevata affidabilità

Le strutture diventano così sistemi intelligenti capaci di:

percepire il proprio stato di salute e comunicarlo in tempo reale.

Questa tecnologia rappresenta uno dei pilastri fondamentali della nuova ingegneria della prevenzione.

---

5. DIGITAL TWIN (GEMELLO DIGITALE)

Il Digital Twin rappresenta il cuore tecnologico della Cyber Physical Engineering.

Si tratta di una replica digitale dinamica dell’opera reale continuamente aggiornata attraverso:

- dati dei sensori
- sistemi BIM

- rilievi digitali
- piattaforme cloud
- algoritmi IA
- sistemi IoT

Funzioni operative

- simulazione strutturale
- previsione del degrado
- controllo prestazionale
- analisi di rischio
- manutenzione intelligente
- supporto decisionale

L’opera reale e il modello digitale operano come:

un unico ecosistema cyber-fisico sincronizzato.

Ogni variazione fisica viene immediatamente trasferita al modello digitale, consentendo analisi in tempo reale e scenari predittivi.

---

6. MANUTENZIONE PREDITTIVA

La manutenzione predittiva rappresenta una rivoluzione rispetto ai modelli tradizionali basati sull’emergenza.

Attraverso:

- sensori intelligenti
- acquisizione continua dati
- machine learning
- reti neurali
- intelligenza artificiale
- analisi predittive

è possibile identificare precocemente fenomeni di degrado e pianificare interventi prima dell’insorgere di situazioni critiche.

Obiettivi principali

- prevenzione del danno
- aumento della sicurezza
- riduzione dei costi manutentivi
- incremento della vita utile delle opere
- riduzione delle emergenze

La manutenzione evolve così:

- da reattiva a predittiva
- da emergenziale a programmata
- da periodica a continua

---

7. VERBALE DIGITALE DI CANTIERE

Tra le innovazioni sviluppate dall'Ing. Diego Dell'Erba assume particolare rilievo il:

VERBALE DIGITALE DI CANTIERE

Non più semplice documentazione cartacea, ma una piattaforma digitale integrata capace di:

- registrare lavorazioni
- monitorare sicurezza e qualità
- archiviare dati tecnici
- integrare immagini e report
- tracciare materiali e attività
- creare storicità completa dell'opera

Tecnologie integrate

- cloud computing
- firma digitale
- BIM
- database relazionali
- georeferenziazione
- time stamping

Il verbale digitale rappresenta uno strumento strategico per:

- trasparenza
- controllo qualità
- prevenzione errori
- tracciabilità
- gestione intelligente del cantiere

---

8. INTELLIGENZA ARTIFICIALE NEI CANTIERI

L’intelligenza artificiale rappresenta il cervello operativo dei cantieri del futuro.

Applicazioni principali

- controllo avanzamento lavori
- analisi immagini da droni
- computer vision
- monitoraggio sicurezza operai
- rilevamento anomalie
- ottimizzazione tempi e risorse
- gestione intelligente del cantiere

Il cantiere evolve verso il modello di:

SMART CONSTRUCTION SITE

un ambiente cyber-fisico intelligente capace di operare in tempo reale attraverso dati, algoritmi e sistemi decisionali evoluti.

---

9. IL PANNELLO AUTOMONITORANTE

Tra le innovazioni più avanzate sviluppate nell’ambito della Cyber Physical Engineering assume particolare rilevanza il progetto del:

PANNELLO AUTOMONITORANTE

tecnologia studiata dall’Ing. Diego Dell’Erba con la collaborazione del:

- Prof. Ing. Stefano De Santis – Università Roma Tre
- Ricercatore Dott. Michele Caponero – ENEA

La tecnologia è stata sperimentalmente studiata presso i laboratori strutturali dell'Università Roma Tre.

Concetto innovativo

Il pannello automonitorante integra direttamente al proprio interno:

- sensoristica a fibre ottiche
- sistemi di acquisizione dati
- monitoraggio strutturale continuo
- Digital Twin
- piattaforme IA

Il pannello non svolge soltanto una funzione strutturale o di tamponamento, ma diventa un elemento intelligente capace di:

- auto-monitorarsi
- rilevare deformazioni
- controllare vibrazioni
- identificare anomalie
- supportare manutenzione predittiva

Applicazioni future

- edifici strategici
- scuole
- ospedali
- infrastrutture
- smart building
- smart city
- ricostruzione post-sismica

Questa sperimentazione rappresenta un passo fondamentale verso:

materiali strutturali intelligenti e auto-monitoranti.

---

10. CASI REALI DI APPLICAZIONE

PALAZZO MANNETTI – L'AQUILA

Palazzo Mannetti rappresenta uno dei primi esempi avanzati di applicazione della Cyber Physical Engineering.

Tecnologie applicate

- Digital Twin
- sensori strutturali
- monitoraggio continuo
- manutenzione predittiva
- integrazione BIM
- piattaforme cloud

L'edificio diventa un sistema intelligente capace di:

- controllare il proprio stato strutturale
- comunicare anomalie
- supportare decisioni manutentive
- garantire sicurezza continua

CANTIERI IONNI E MARINA – COLLEPOSTA – ACCUMOLI

I cantieri IONNI e MARINA rappresentano un modello evoluto di Smart Construction Site.

Tecnologie integrate

- BIM e Digital Twin
- sensoristica IoT
- cloud operativo
- IA gestionale
- tracciabilità digitale
- monitoraggio intelligente

Il cantiere diventa un ambiente completamente digitalizzato, intelligente e controllato in tempo reale.

---

11. BREVE CURRICULUM DELL'ING. DIEGO DELL'ERBA

L’Ing. Diego Dell’Erba opera da decenni nel settore dell’ingegneria civile, infrastrutturale e della sicurezza strutturale, maturando esperienze professionali in Italia e all’estero nell’ambito delle grandi opere, della ricostruzione post-sismica e dell’innovazione tecnologica applicata alle infrastrutture.

Ha partecipato ad attività tecniche nei principali contesti sismici italiani:

- Irpinia 1980
- Molise
- L’Aquila 2009
- Centro Italia 2016

Ha inoltre operato in importanti progetti internazionali:

- diga di San Roque nelle Filippine
- infrastrutture metropolitane in Venezuela
- opere infrastrutturali a Jeddah in Arabia Saudita

Nel corso della sua attività ha sviluppato innovazioni nei settori:

- monitoraggio strutturale intelligente
- Digital Twin
- sensoristica a fibre ottiche
- manutenzione predittiva
- sistemi cyber-physical
- digitalizzazione dei cantieri
- intelligenza artificiale applicata alle infrastrutture

Tra le principali esperienze innovative:

- Palazzo Mannetti all’Aquila
- cantieri IONNI e MARINA ad Accumoli
- Verbale Digitale di Cantiere
- studio del pannello automonitorante con Università Roma Tre ed ENEA

L’Ing. Diego Dell’Erba svolge inoltre una intensa attività di divulgazione tecnico-scientifica sui temi della sicurezza delle infrastrutture, della prevenzione sismica e della Cyber Physical Engineering attraverso:

- relazioni tecniche
- conferenze

- convegni
- attività divulgative
- collaborazioni con università, ricercatori e professionisti

---

12. CONCLUSIONI

La Cyber Physical Engineering non rappresenta una teoria astratta, ma una trasformazione concreta e irreversibile dell'ingegneria moderna.

Essa introduce un nuovo principio fondamentale:

la sicurezza non si controlla dopo il danno.
La sicurezza si costruisce continuamente attraverso monitoraggio, dati e intelligenza artificiale.

Le tragedie del passato devono trasformarsi in innovazione, responsabilità e prevenzione.

Non più emergenza dopo il collasso.

Ma:

- prevenzione continua
- controllo intelligente
- manutenzione predittiva
- sicurezza permanente della vita umana

La Cyber Physical Engineering è già realtà operativa nei progetti:

- Palazzo Mannetti – L'Aquila
- Cantieri IONNI e MARINA – Accumoli
- sperimentazioni del pannello automonitorante presso Roma Tre

ed è destinata a diventare:

il nuovo standard dell'ingegneria del futuro.

Ing. Diego Dell'Erba