La Matematica
come Fondamento della Cyber Physical Engineering

Dalle fibre ottiche
all'Intelligenza Artificiale
la nuova scienza dell'ingegneria del XXI secolo

Aurora Ammoscato - Diego Dell'Erba



"La matematica non è soltanto il linguaggio dell'ingegneria. È il linguaggio con cui le infrastrutture iniziano a dialogare con l'uomo."

Anno 2026

La Matematica come Fondamento della Cyber Physical Engineering

Dalle fibre ottiche all'Intelligenza Artificiale: la nuova scienza dell'ingegneria del XXI secolo

"La matematica non è soltanto
il linguaggio dell'ingegneria.
È il linguaggio con cui le infrastrutture iniziano a dialogare
con l'uomo."

1. Introduzione

Ogni rivoluzione dell'ingegneria è sempre stata preceduta da una rivoluzione della matematica.

L'ingegneria romana non avrebbe potuto costruire gli acquedotti senza la geometria.

La rivoluzione industriale non avrebbe potuto realizzare ponti e ferrovie senza la meccanica razionale.

L'ingegneria nucleare non sarebbe mai nata senza la fisica matematica.

Oggi stiamo vivendo una trasformazione di portata analoga.

L'Intelligenza Artificiale, il Digital Twin, le fibre ottiche FBG, il monitoraggio strutturale continuo, la manutenzione predittiva e i sistemi di supporto alle decisioni rappresentano gli strumenti più visibili.

Ma dietro ciascuno di essi esiste un unico fondamento.

La matematica.

Non la matematica studiata come disciplina astratta.

Ma la matematica che interpreta il comportamento delle infrastrutture.

La matematica che trasforma il dato in conoscenza.

La matematica che permette all'ingegnere di prevedere invece di limitarsi ad osservare.

È questa la vera rivoluzione culturale della Nuova Ingegneria.

2. La trasformazione dell'ingegneria

Per oltre due secoli l'ingegneria ha avuto come principale obiettivo progettare opere destinate a rimanere silenziose.

Una volta completato un ponte, una diga, una galleria o un edificio, l'ingegnere consegnava l'opera al gestore.

Successivamente interveniva soltanto durante le ispezioni.

Oppure quando comparivano i primi segni del degrado.

L'opera non comunicava.

L'opera non produceva informazioni.

L'opera non aveva memoria.

Il XXI secolo modifica completamente questo paradigma.

Le infrastrutture diventano sistemi dinamici.

Producono continuamente informazioni.

Ogni deformazione.

Ogni vibrazione.

Ogni variazione termica.

Ogni spostamento millimetrico.

Ogni accelerazione.

Ogni cambiamento viene trasformato in dati.

L'opera diventa quindi un sistema informativo distribuito.

Nasce così la necessità di una nuova ingegneria.

Non basta più costruire.

Occorre comprendere.

Interpretare.

Prevedere.

Decidere.

3. Le fibre ottiche FBG: la matematica che ascolta la materia

Le fibre ottiche rappresentano probabilmente una delle più importanti innovazioni dell'ingegneria strutturale contemporanea.

Molti le considerano semplicemente sensori.

In realtà sono qualcosa di molto più profondo.

Esse costituiscono il sistema nervoso dell'infrastruttura.

Ogni reticolo di Bragg modifica la lunghezza d'onda riflessa in funzione della deformazione e della temperatura.

Dietro questo fenomeno apparentemente semplice operano le equazioni dell'ottica fisica.

L'interferenza delle onde.

La propagazione elettromagnetica.

La teoria dei materiali.

L'analisi tensoriale.

Ogni misura non è altro che una trasformazione matematica di un fenomeno fisico.

Il ponte non parla.

La matematica traduce il suo comportamento.

4. Il Digital Twin: la matematica diventa realtà virtuale

Il Digital Twin viene spesso descritto come un modello tridimensionale.

Questa definizione è riduttiva.

Il vero Digital Twin è un modello matematico vivente.

Ogni elemento possiede proprietà geometriche.

Proprietà meccaniche.

Proprietà dinamiche.

Condizioni ambientali.

Storia manutentiva.

Stato tensionale.

Comportamento nel tempo.

Ogni nuovo dato proveniente dai sensori modifica il modello matematico.

Il gemello digitale evolve insieme all'opera reale.

Per la prima volta nella storia dell'ingegneria il modello non rappresenta semplicemente il progetto.

Rappresenta la vita stessa dell'infrastruttura.

5. L'Intelligenza Artificiale: matematica evoluta

Molti ritengono che l'Intelligenza Artificiale rappresenti una disciplina autonoma.

In realtà essa nasce dalla convergenza di numerosi settori della matematica.

Algebra lineare.

Calcolo numerico.

Teoria delle probabilità.

Statistica.

Ottimizzazione.

Teoria dell'informazione.

Analisi dei sistemi dinamici.

Ogni rete neurale è un sistema di equazioni.

Ogni algoritmo di Machine Learning ricerca la soluzione di un problema matematico.

Ogni modello predittivo costruisce superfici di probabilità.

Ogni classificatore minimizza una funzione di errore.

L'IA non "pensa".

Calcola.

Confronta.

Ottimizza.

L'intelligenza rimane quella dell'ingegnere.

6. La manutenzione predittiva: prevedere significa conoscere

Per secoli l'ingegneria ha lavorato in modalità reattiva.

Poi preventiva.

Oggi può diventare predittiva.

Questa trasformazione nasce esclusivamente grazie alla matematica.

L'analisi temporale.

Le serie storiche.

Le regressioni.

I modelli probabilistici.

L'identificazione dei trend.

L'analisi delle anomalie.

Le reti neurali.

Consentono di stimare la probabilità che un fenomeno evolva nel tempo.

La manutenzione non viene più programmata secondo scadenze rigide.

Viene adattata al reale stato di salute dell'opera.

L'infrastruttura non viene più semplicemente ispezionata.

Viene continuamente compresa.

7. La Cyber Physical Engineering: una nuova sintesi scientifica

È in questo punto che nasce la mia visione della **Cyber Physical Engineering**.

Non come semplice insieme di tecnologie.

Ma come nuova metodologia dell'ingegneria.

Il mondo fisico genera dati.

La matematica li organizza.

Il Digital Twin li rappresenta.

L'Intelligenza Artificiale li interpreta.

La manutenzione predittiva li proietta nel futuro.

Il Decision Support System li trasforma in scenari decisionali.

L'ingegnere li valuta.

La responsabilità rimane umana.

Questa catena rappresenta il cuore della Nuova Ingegneria.

8. Il nuovo ruolo dell'ingegnere

Nella mia esperienza professionale, iniziata con il regolo calcolatore e proseguita fino all'Intelligenza Artificiale, ho visto cambiare radicalmente gli strumenti.

Non è cambiata la missione.

L'ingegnere continua ad essere il garante della sicurezza.

Oggi, però, non è più soltanto progettista.

È interprete di sistemi complessi.

Gestore della conoscenza.

Coordinatore di informazioni multidisciplinari.

Custode dell'etica.

La Nuova Ingegneria richiede professionisti capaci di unire matematica, fisica, informatica, scienza dei materiali, geologia, sensoristica, intelligenza artificiale e responsabilità sociale.

È questa la vera multidisciplinarità.

9. Verso una nuova scienza dell'ingegneria

La **Cyber Physical Engineering** rappresenta, a mio avviso, l'evoluzione naturale dell'ingegneria del XXI secolo.

Non sostituisce la meccanica.

Non sostituisce la geotecnica.

Non sostituisce l'ingegneria strutturale.

Le integra in un sistema unitario fondato sulla conoscenza continua dell'opera.

La matematica costituisce il linguaggio universale di questa integrazione.

Essa mette in relazione il comportamento fisico delle infrastrutture con il mondo digitale, consentendo di trasformare miliardi di dati in conoscenza utile.

L'obiettivo finale non è costruire infrastrutture più tecnologiche.

È costruire infrastrutture più sicure, più resilienti, più sostenibili e più intelligenti.

Conclusione

La **Nuova Ingegneria** non nasce dall'Intelligenza Artificiale.

Non nasce dal Digital Twin.

Non nasce dalle fibre ottiche.

Nasce da una nuova cultura scientifica.

*Una cultura nella quale la **matematica** diventa il ponte tra il mondo reale e quello digitale.*

Una cultura nella quale la tecnologia non sostituisce l'ingegnere, ma ne amplifica la capacità di comprendere, prevedere e decidere.

Questa è la visione della
***Cyber Physical Engineering** che propongo:*
un paradigma in cui sensori, modelli matematici, Digital Twin, Intelligenza Artificiale e manutenzione predittiva operano come un unico ecosistema della conoscenza, sempre guidato dall'intelligenza, dall'etica e dalla responsabilità dell'uomo.

Le macchine
elaborano dati. La matematica li trasforma in modelli. L'ingegnere li trasforma in sicurezza.

Curriculum

Diego Dell'Erba

Ingegnere Nucleare – Ingegnere Multidisciplinare
Fondatore della Cyber Physical Engineering

Profilo professionale

Laureato in **Ingegneria Nucleare** presso l'Università "La Sapienza" di Roma, l'Ing. Diego Dell'Erba vanta oltre **cinquant'anni di esperienza** nella progettazione, direzione dei lavori e gestione di grandi opere infrastrutturali in Italia e all'estero.

Nel corso della sua carriera ha ricoperto incarichi di Direttore dei Lavori, Direttore Generale, Amministratore Delegato e consulente tecnico, maturando competenze nei settori delle infrastrutture civili, geotecniche, industriali e della sicurezza strutturale.

Ha partecipato alla realizzazione di importanti opere nazionali e internazionali, tra cui:

- Grandi infrastrutture con **Vianini S.p.A.**
- Opere civili e gallerie con **I.CO.RI. S.p.A.**
- Metropolitana di Caracas
- Stabilimento di prefabbricazione di Jeddah (Arabia Saudita)
- Studi per la diga di San Roque (Filippine)
- Progetti aeroportuali e infrastrutturali internazionali
- Castello di Orvinio
- Colleposta–Accumoli
- Progetto della "frana intelligente" di Roccadarce

Attività di ricerca e innovazione

È ideatore della metodologia **Cyber Physical Engineering**, che integra:

- Structural Health Monitoring (SHM)
- sensori in fibra ottica FBG
- Digital Twin
- Intelligenza Artificiale
- Internet of Things (IoT)
- manutenzione predittiva
- Decision Support Systems (DSS)

La sua attività è orientata allo sviluppo di infrastrutture intelligenti, resilienti e sostenibili.

Attività editoriale

Autore del volume:

"La Nuova Ingegneria – Dalle grandi opere alla Cyber Physical Engineering"

Un'opera che ripercorre l'evoluzione dell'ingegneria italiana e propone una nuova visione dell'ingegneria del XXI secolo, fondata sull'integrazione tra esperienza, matematica, tecnologie digitali ed etica professionale.

Principi ispiratori

- Sicurezza delle persone
- Innovazione tecnologica
- Responsabilità dell'ingegnere
- Sostenibilità
- Formazione delle nuove generazioni

Curriculum

Aurora Ammoscato

Profilo

Studentessa di eccellenza, ha completato il proprio percorso scolastico con risultati di alto livello, **la Lode** ..!!!...distinguendosi per serietà, impegno e costanza nello studio.

Ha frequentato il **Liceo Classico Internazionale**, sviluppando solide competenze nelle discipline umanistiche, linguistiche e scientifiche.

Competenze

- Ottima preparazione culturale
- Padronanza della lingua inglese e francese
- Capacità di analisi critica
- Eccellenti capacità organizzative
- Forte motivazione allo studio
- Spirito di iniziativa
- Predisposizione al lavoro di gruppo

Interessi

- Economia e management
- Innovazione
- Cultura internazionale
- Nuove tecnologie
- Sostenibilità

Obiettivi

Proseguire il proprio percorso universitario mettendo a frutto una preparazione multidisciplinare e contribuendo, attraverso studio, ricerca e innovazione, allo sviluppo della società.