

HUMAN IN THE LOOP

La nuova frontiera della responsabilità professionale nell'era
dell'Intelligenza Artificiale applicata all'Ingegneria.

L'Ingegneria nell'Epoca dell'IA

Sfide tecniche, etiche e legali di una rivoluzione silenziosa.

| Cos'è lo Human-in-the-Loop?

Paradigma Architetturale

L'integrazione di checkpoint umani bloccanti all'interno del workflow algoritmico per garantire **accuratezza, sicurezza e trasparenza**.

Oltre l'Automazione

Non si tratta di verifica post-hoc, ma di una **collaborazione simbiotica** dove il professionista guida e corregge il modello in tempo reale.

I Tre Livelli di Supervisione



In-the-loop

L'uomo interviene in ogni ciclo decisionale. L'IA non procede senza un **esplicito via libera** professionale.



On-the-loop

L'uomo monitora il sistema autonomo ed è pronto a intervenire o **sovrascrivere l'output** in caso di anomalie.



Over-the-loop

L'uomo definisce le regole e i vincoli normativi entro cui l'IA può operare in modo **semi-autonomo**.

| Limiti dell'Automazione Totale

- ❗ **Casi limite (Edge Cases):** L'imprevedibilità del mondo fisico spesso eccede i dati di training.
- ⚠️ **Responsabilità di Sistema:** Un errore di calcolo strutturale non può essere "delegato" a una macchina.
- 🧠 **Comprensione vs Previsione:** L'IA correla dati, l'ingegnere comprende la fisica sottostante.

 Engineering Blueprint

Il Paradosso della "Black Box"

Molti modelli di Deep Learning utilizzati in ingegneria dei materiali o energetica mancano di interpretabilità (Explainability).

L'approccio HITL è lo strumento fondamentale per **aprire la scatola nera**, introducendo la logica umana laddove l'algoritmo non può giustificare le proprie scelte.

| Etica e Deontologia Professionale

-  **Inalienabilità del Giudizio:** L'uso dell'IA non esonera l'ingegnere dal dovere di diligenza e perizia.
-  **Equità Algoritmica:** Responsabilità di vigilare contro bias tecnici o sistemici nei dataset di progetto.
-  **Sicurezza Pubblica:** Il controllo umano è l'ultimo baluardo per la salvaguardia della vita umana in contesti infrastrutturali.
-  **Trasparenza:** Obbligo di informare il committente sull'uso di strumenti decisionali automatizzati.

Quadro Normativo: EU AI Act

Ambito Ingegneristico	Livello di Rischio	Requisito HITL
Infrastrutture Critiche (Ponti, Reti)	Alto Rischio	Obbligatorio (Monitoraggio Continuo)
Design Generativo (Ottimizzazione)	Basso / Medio	Consigliato (Validazione Output)
Gestione Cantieri (Sicurezza)	Alto Rischio	Obbligatorio (Intervento Umano Real-time)
Manutenzione Predittiva	Basso	Opzionale (Auditing Periodico)

| L'Impatto della Supervisione

42%

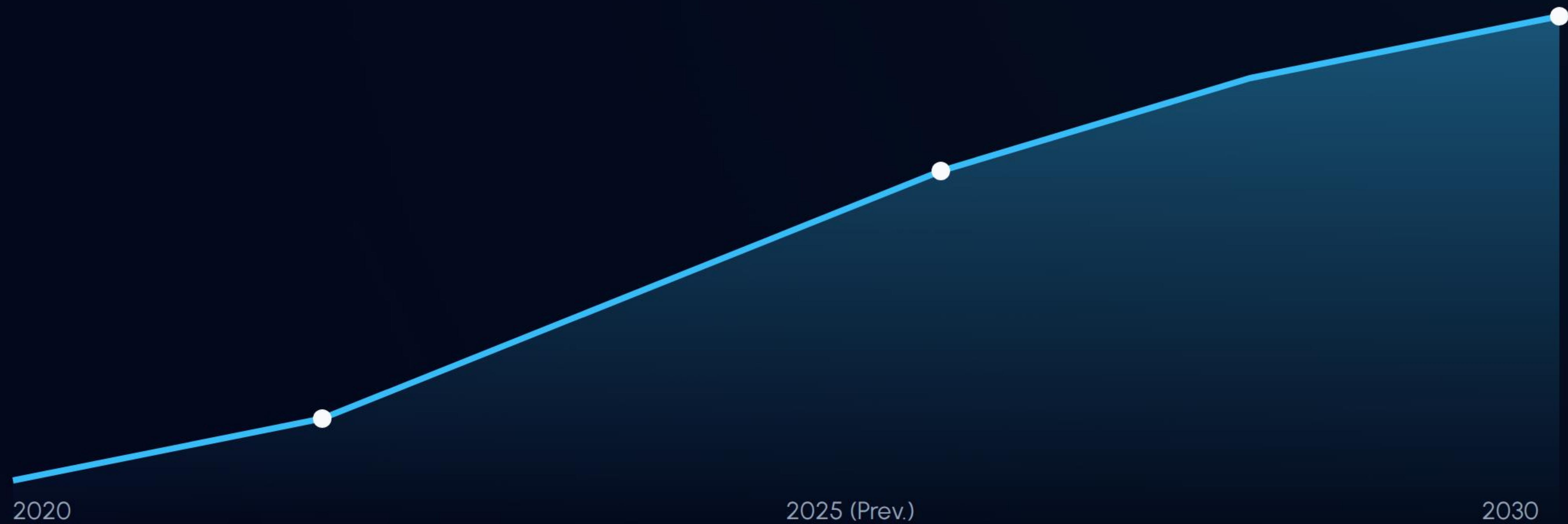
RIDUZIONE ERRORI CRITICI

Efficacia Certificata

Le organizzazioni che implementano sistemi **Human-in-the-Loop** riportano una drastica riduzione degli errori sistemici rispetto a sistemi puramente autonomi.

Il feedback umano agisce come un filtro selettivo che elimina le "allucinazioni" dei modelli generativi.

Adozione HITL nell'Ingegneria (2020-2030)

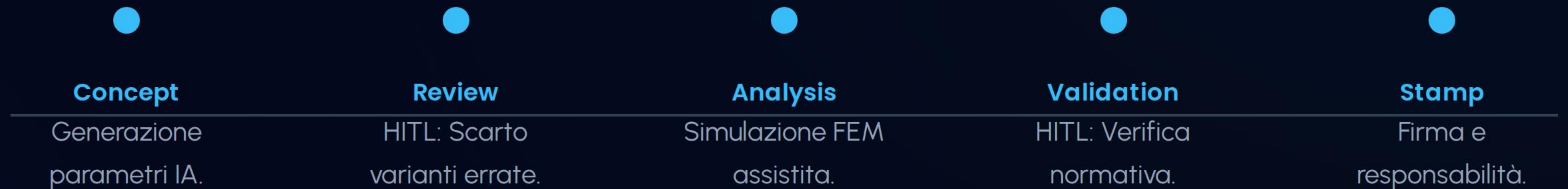


Percentuale di workflow ingegneristici che includono supervisione umana avanzata.

Architetture di Controllo e Design

Come progettare sistemi che potenziano, e non sostituiscono, il professionista.

Workflow Ingegneristico 4.0



| Validazione Umana e Digital Twin



Checkpoint Bloccanti

In sistemi critici, l'IA non può passare dalla simulazione alla produzione senza una validazione su **Digital Twin** supervisionata.

L'ingegnere utilizza strumenti immersivi per "ispezionare" virtualmente ciò che l'algoritmo ha calcolato, rilevando incoerenze fisiche spesso invisibili all'analisi statistica pura.

| L'Ingegnere come Custode dei Dati

Mitigazione dei Bias

La responsabilità inizia dalla **selezione del dataset**. Se i dati storici sono distorti, l'IA replicherà errori del passato.

Ingegneria dei Prompt

Formulare correttamente il problema tecnico (vettorizzazione dei vincoli) è la nuova **competenza core** della professione.

Performance: Singolo vs Hybrid



Il modello ibrido garantisce il massimo livello di affidabilità tecnica e responsabilità legale.

Campi di Applicazione Critici



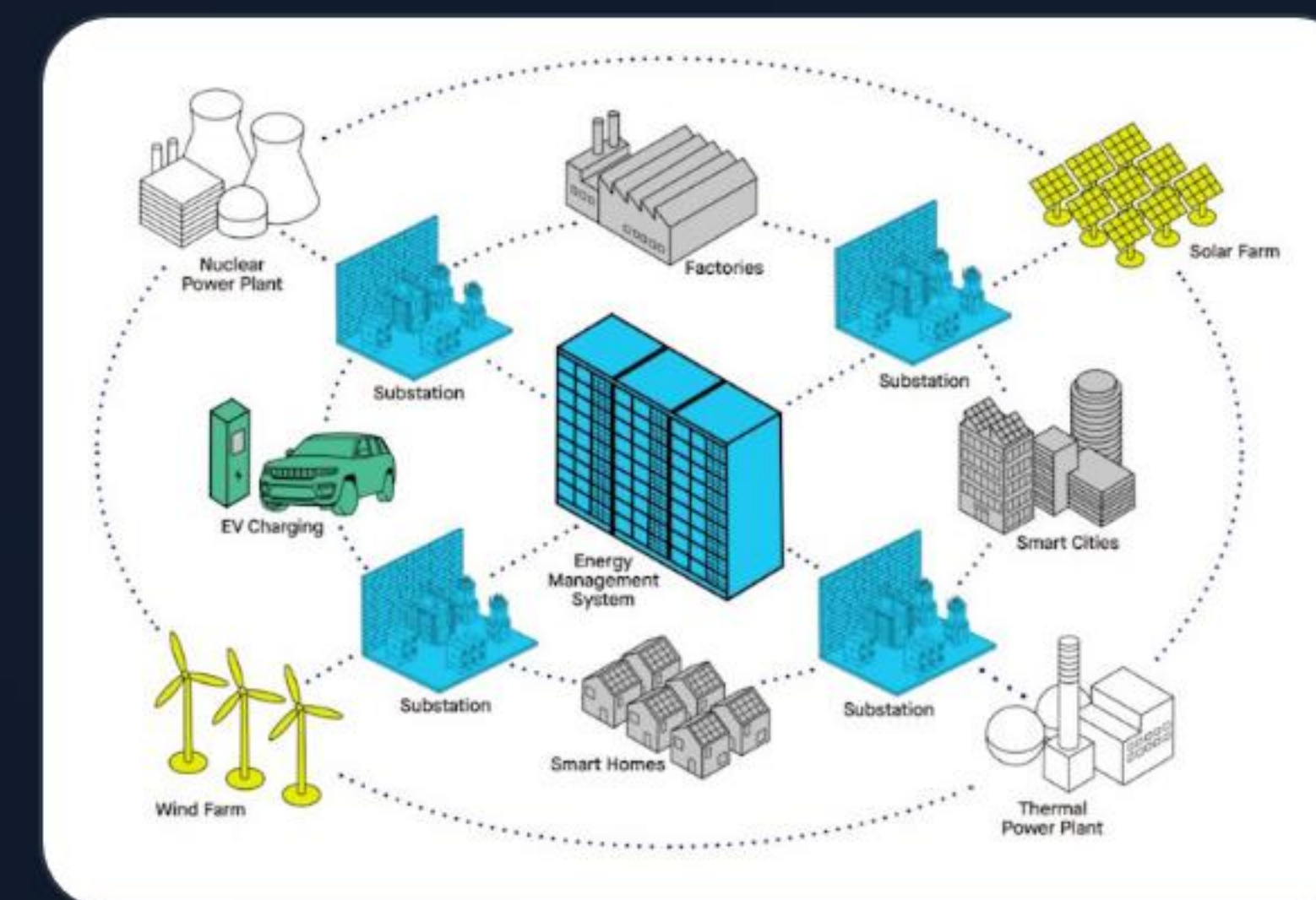
Civile/Strutturale

Monitoraggio strutturale real-time e alert predittivi.



Robotica Industriale

Collaborazione uomo-cobot in linee di montaggio complesse.



Energia/Smart Grids

Gestione flussi energetici e prevenzione blackout.

| La Distinzione Ontologica

*"L'Intelligenza Artificiale **prevede** le correlazioni, ma solo l'Ingegnere ne **comprende** le implicazioni fisiche ed etiche."*

— La Nuova Deontologia Professionale

| Competenze del Futuro



Algorithmic Literacy

Capacità di comprendere la logica di base degli algoritmi per identificarne i punti di fallimento.



Critical Auditing

Abilità nell'interrogare i modelli e sottoporre i risultati a test di stress fisico-matematico.



Risk Governance

Gestione della responsabilità legale in contesti di co-creazione uomo-macchina.

| Distribuzione delle Task (Scenario 2030)



- Supervisione e Controllo (60%)
- Esecuzione Manuale (10%)
- Interpretazione e Strategia (30%)



L'Ingegnere "Augmented"

Il futuro non è l'automazione che sostituisce l'uomo, ma l'intelligenza che lo completa, mantenendo saldo il timone della responsabilità.

Fine della Presentazione

Image Sources



https://images.stockcake.com/public/0/3/4/0342ee47-7d92-4105-9e38-6903e8fc8711_large/engineering-design-precision-stockcake.jpg

Source: stockcake.com



https://images.stockcake.com/public/d/e/2/de25498d-d5ba-484d-99ea-b263e7ae40f8_large/luminous-network-visualization-stockcake.jpg

Source: stockcake.com



https://cdn.prod.website-files.com/61ae5cdbf6928bee217f02d1/689340711e05f21aaefe96a9_Image%20What%20Is%20a%20Digital%20Twin.webp

Source: www.vec-us.com



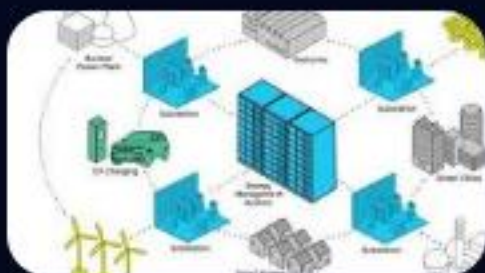
<https://acropolis-wp-content-uploads.s3.us-west-1.amazonaws.com/how-are-bridges-built-hero.webp>

Source: www.bigrentz.com



<https://nyudri.org/wp-content/uploads/2025/10/SS-Robotics-Orange-1024x576.png>

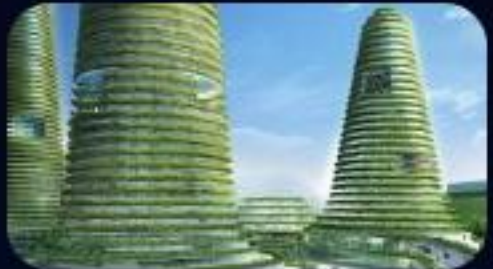
Source: nyudri.org



<https://www.lem.com/sites/default/files/2025-06/smart-grid-illustration.jpg>

Source: www.lem.com

| Image Sources



https://www.allplan.com/fileadmin/_processed_/8/2/csm_Gwanggyo-Power-Center_201702_a0bfa749c7.jpg

Source: www.allplan.com