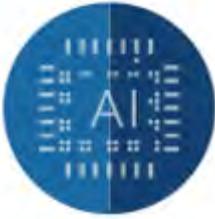




CONVEGNO ON LINE

MARTEDÌ 13 GENNAIO 2026, ORE 15.00 - 18.00

**Fondamenti di Intelligenza Artificiale
per l'Ingegneria Civile**



Fondamenti di Intelligenza Artificiale per l'Ingegneria Civile

Convegno online – 13 gennaio 2026

Prof. Ing. Giuseppe Carlo Marano

Politecnico di Torino

Consiglio Nazionale degli Ingegneri

programma

Cosa è l'IA oggi

- differenze tra AI classica (regole, ottimizzazione), Machine Learning (modelli statistici che imparano); Deep Learning (reti neurali profonde); Generative AI (LLM, diffusion models, autoencoders); •

Le Reti Neurali -

- definizione preliminare delle Reti Neurali ed altri elementi esplicativi;

Come impara una rete neurale

- Dataset, Loss function, Overfitting vs generalizzazione, Metodi di training e validazione, Ruolo del prompt engineering nei modelli generativi; •

AI e normative tecniche;

Previsioni strutturali ad “alta complessità”

- Valutazione della fragilità sismica con modelli di classificazione ed altre metodologie di valutazione;
- AI e materiali per le costruzioni;
- AI nel progetto strutturale;

Casi di studio sulla sicurezza delle strutture esistenti

valutazione rapida della vulnerabilità sismica di un edificio in c.a.;

Predizione condizione di degrado su edifici storici in muratura;

AI per la stima della vita residua;

Classificazione automatica dello stato di danno post-evento (sisma, incendio, alluvione).

Perché parlare oggi di AI in Ingegneria Civile

Complessità crescente dei problemi

Grandi moli di dati

Limiti degli approcci deterministicici

AI come supporto al progettista/gestore/DL/....

Obiettivi del Convegno

Chiarire cos'è l'AI oggi

Capire come funziona

Mostrare strumenti concreti

Collegamento con normativa e sicurezza

Cosa NON è l'Intelligenza Artificiale

Non è magia

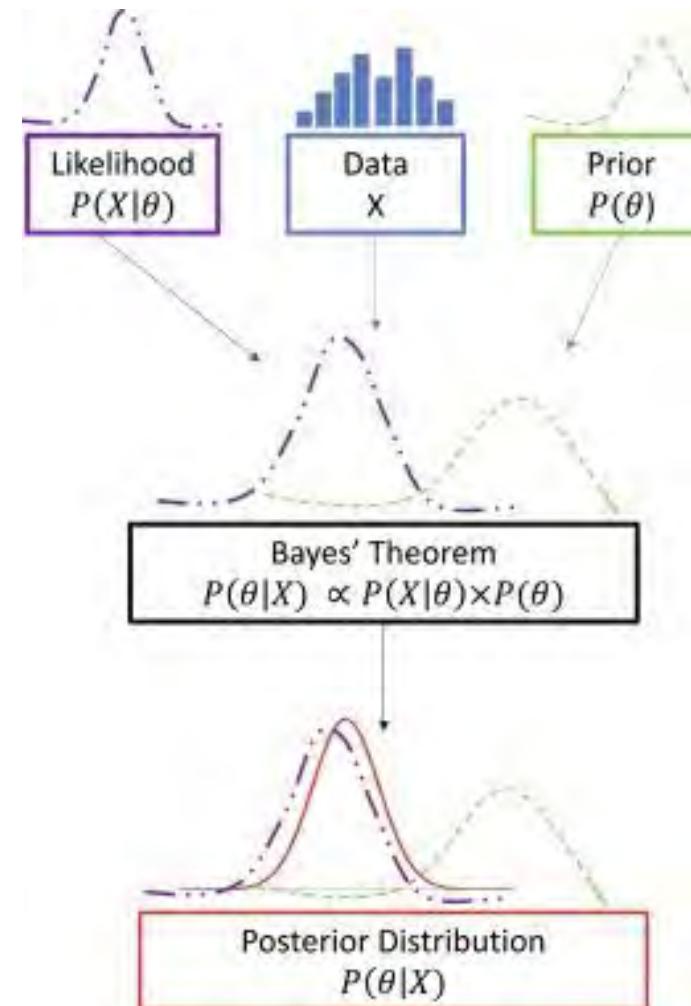
Non è una black box incontrollabile

Non sostituisce l'ingegnere

È un modello matematico-statistico

È un modello matematico-statistico

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \times P(A)}{P(B)}$$



Cosa è l'AI oggi

AI classica

Machine Learning

Deep Learning

Generative AI

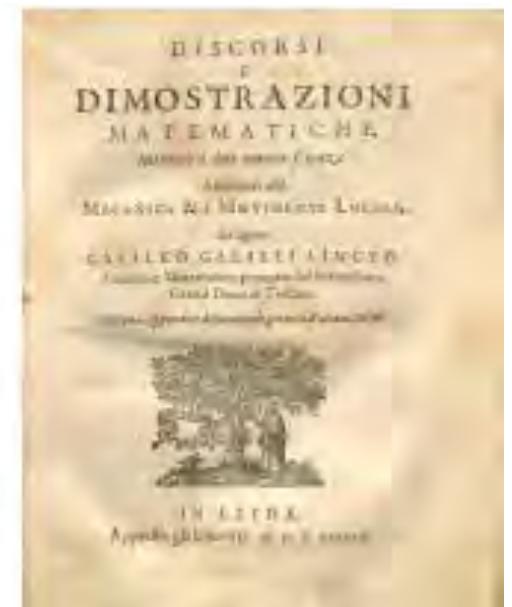
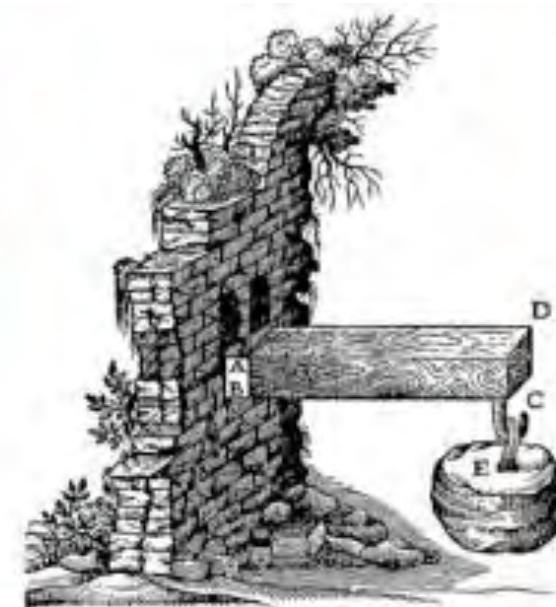
Ingegneria Civile: Una “tecnologia” essenziale per l’umanità



Code of Hammurabi
Babylon (1792 / 1750 BCE)



Galileo Galilei, scheme of a test on a cantilever beam and
book cover of “*Dimostrazioni Matematiche*”, 1638





Architecture, Engineering and Construction

L'industria delle costruzioni (IC) è responsabile del 10% del PIL globale, il che equivale a 7,5 trilioni di dollari, e impiega 110 milioni di persone.

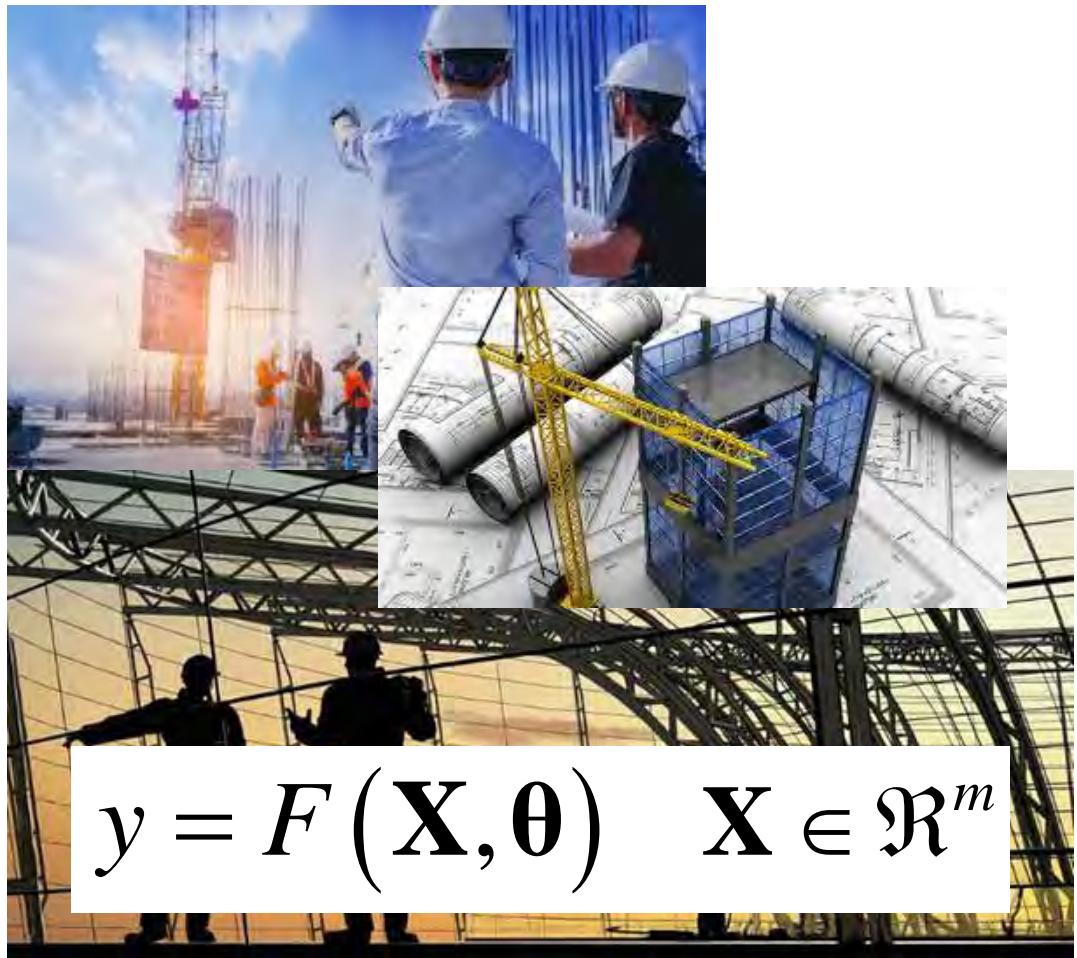
L'industria delle costruzioni è responsabile per il:

- **30% GHG emission**
- **50% of raw material consumption**
- **40% of the global energy**
- **40% pollution in potable water**
- **50% of landfill trash**
- **23% air pollution**

Architecture,
Engineering and
Construction



Ingegneria Civile

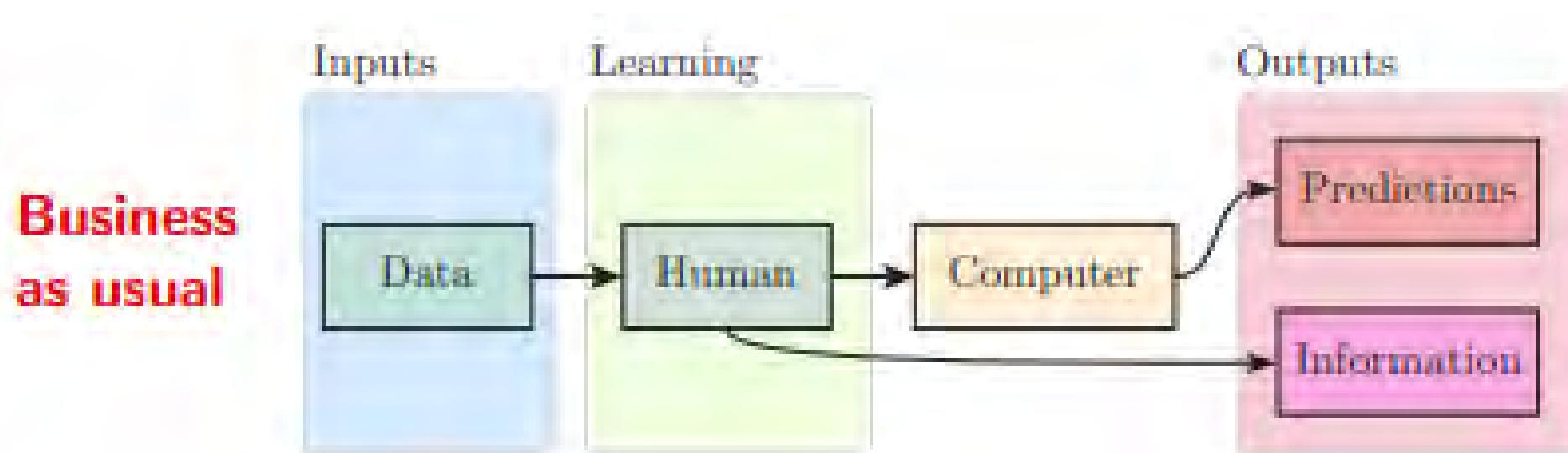


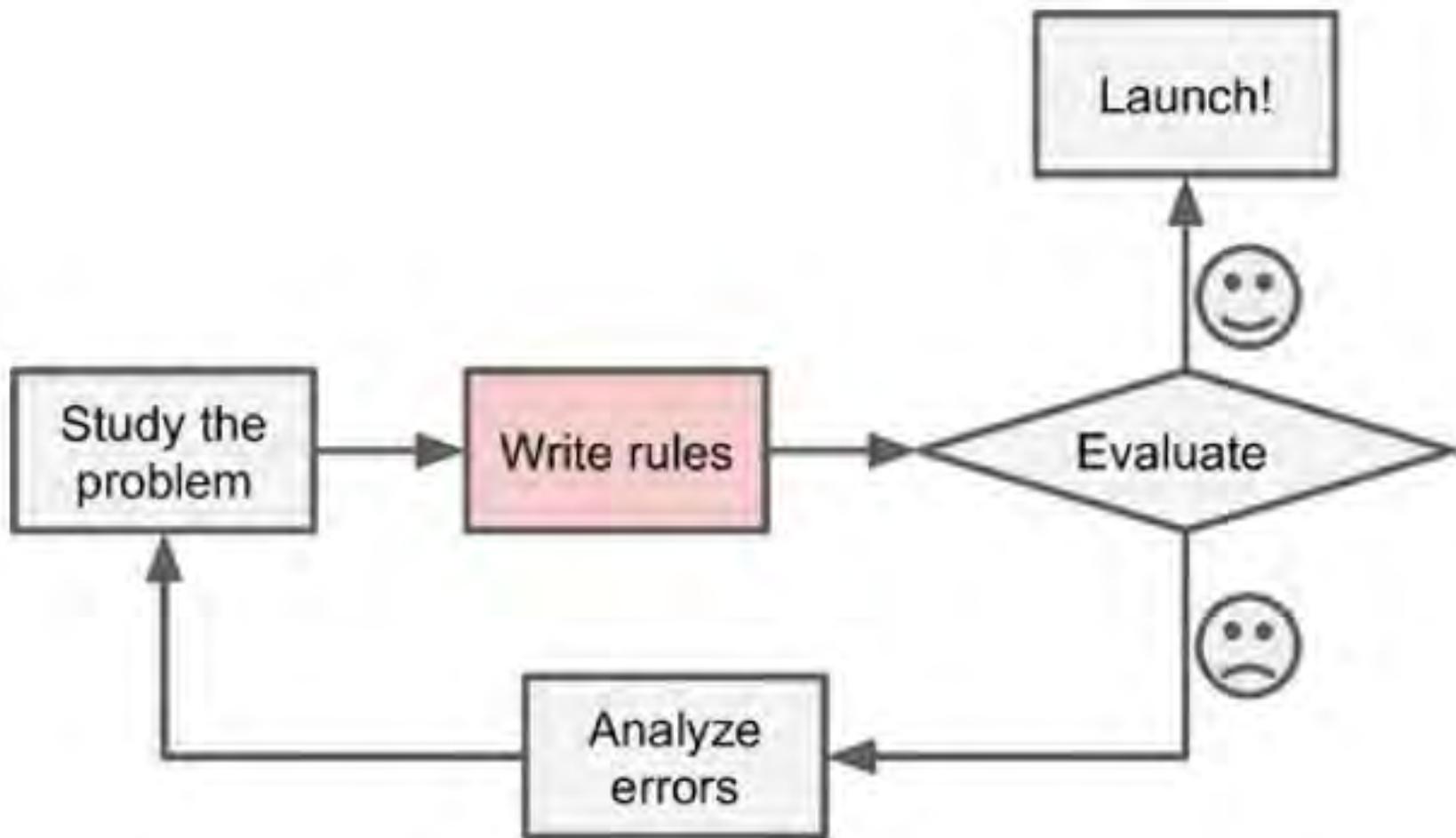
$$y = F(\mathbf{X}, \theta) \quad \mathbf{X} \in \mathbb{R}^m$$

Artificial intelligence



Come usiamo ora il computer....





L'Ingegneria Civile è basata sulle equazioni....

24/1 57,4 - 20

$$\frac{h_2}{u_3} ; \frac{h_1 = h_2}{u_1 = u_3} ; G_N^A = G_N^B = \frac{N}{F} = \frac{10000}{66} = 152 \quad \frac{Mh_1}{S_{u1}} = \frac{Mh_2}{S_{u3}} ; \frac{h_1 = h_2}{u_1 = u_3} ; G_N^A = G_N^B = \frac{N}{F} = \frac{10000}{66} = 152$$

$$e = P - r = 13,09 - 12,22 = 0,87 \quad G_N^B = 1200 \frac{N}{cm^2}$$

$$h_1 = 7,78 \text{ cm} \quad h_2 = 4,22 \text{ cm}$$

$$S = F_e = \frac{h}{2} (b_1 + b_2) e = 6 (3+8) 0,87 = 57,4$$

$$- = -890 \frac{N}{cm^2} ; \quad \textcircled{1} \quad G_N^A = \frac{Mh_1}{S_{u1}} = \frac{-130900 \cdot 7,78}{57,4 \cdot 20} = -890 \frac{N}{cm^2} ;$$

$$= \frac{N}{F} = \frac{10000}{66} = 152 \quad \frac{Mh_1}{S_{u1}} = \frac{Mh_2}{S_{u3}} ; \quad \frac{h_1 = h_2}{u_1 = u_3} ; G_N^A = G_N^B = \frac{N}{F} = \frac{10000}{66} = 152 \quad \frac{Mh_1}{S_{u1}} = \frac{Mh_2}{S_{u3}} ;$$

7

$$G_N^A = 890 \frac{N}{cm^2} \quad h_1 = 7,78 \text{ cm}$$

$$h_2 = 4,22 \text{ cm}$$

$$S = F_e = \frac{h}{2} (b_1 + b_2) e = 6 (3+8) 0,87 = 57,4$$

1 11 120000 - 7,78

ANALYTICAL FORMULATIONS

Statics

$$\sum F = 0 \quad S = E \varepsilon$$

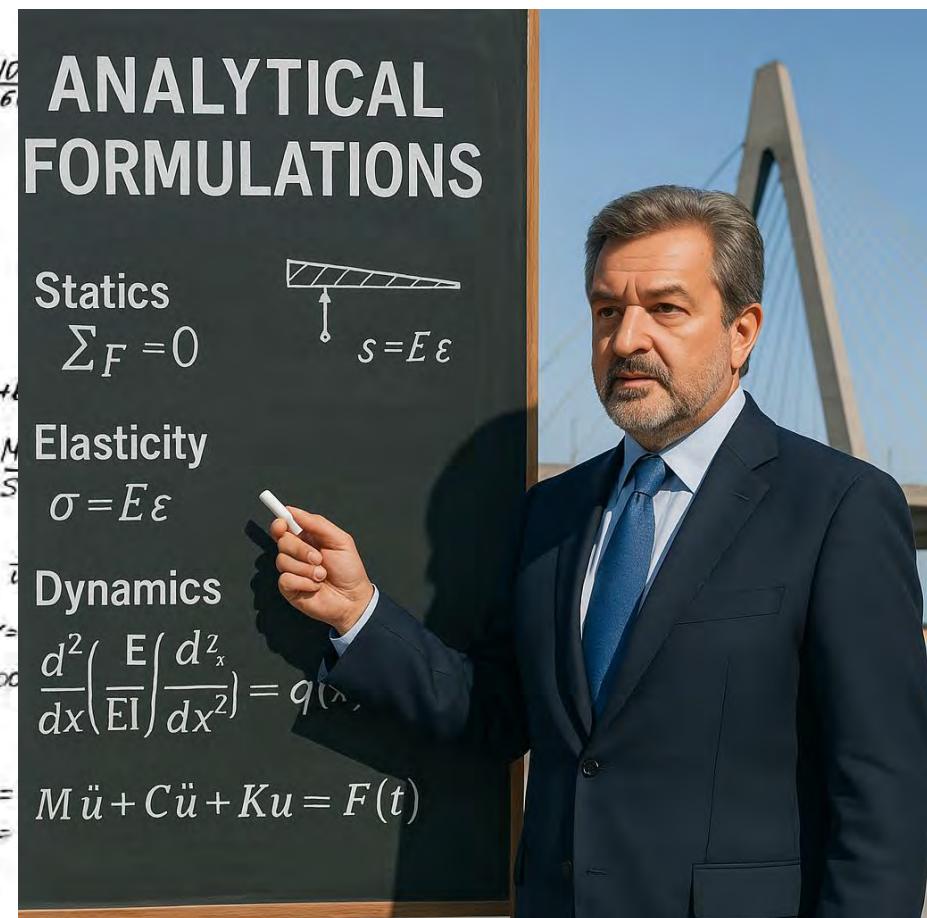
Elasticity

$$\sigma = E \varepsilon$$

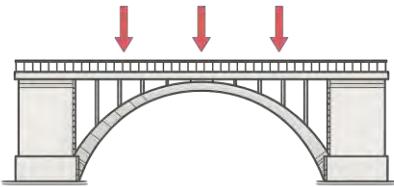
Dynamics

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(\frac{E}{EI} \frac{d^2 \chi}{dx^2} \right) = q(x)$$

$$M \ddot{u} + C \ddot{u} + Ku = F(t)$$

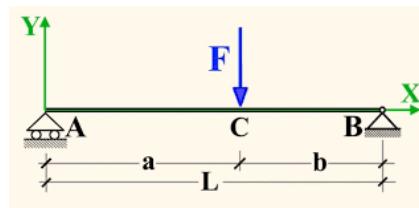


Formulazione analitica concettuale



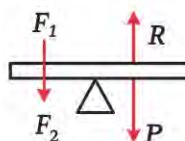
Realtà fisica

- Structures, materials, loads, environment



Assunzioni e idealizzazioni

- Geometry, boundary conditions, material models



$$\begin{aligned}\Sigma F &= 0 \\ \Sigma M &= 0\end{aligned}$$

Principi fondamentali

- Statics, compatibility, constitutive laws

$$\begin{aligned}\Sigma F &= 0 \quad \frac{d^2u}{dx^2} = q \\ \sigma &= F = E \quad \frac{d}{s' \downarrow \Delta \downarrow R} \\ \frac{d}{s' \downarrow \Delta \downarrow R} \quad M\ddot{u} + cKu &= F(t)\end{aligned}$$

Formulazione matematica

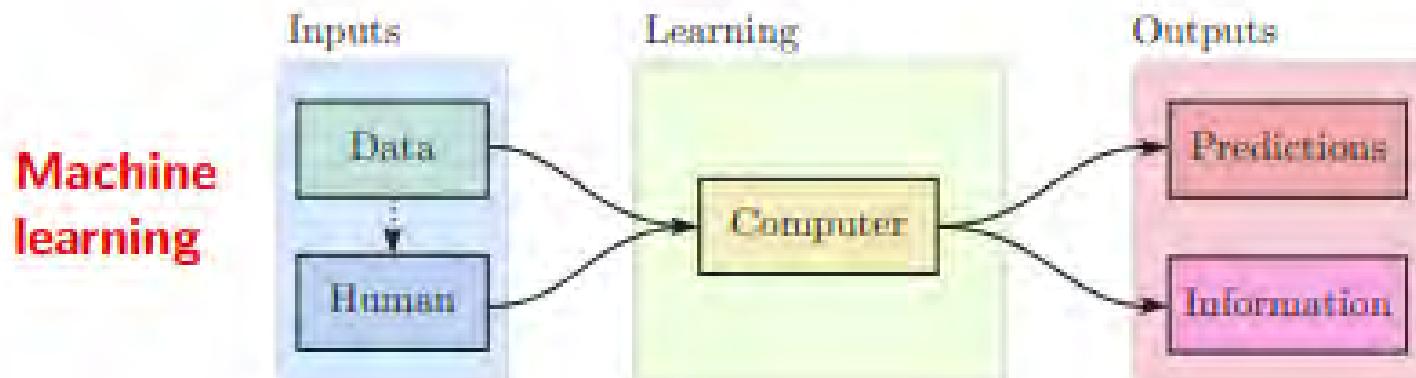
- Differential equations, matrix forms



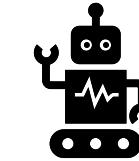
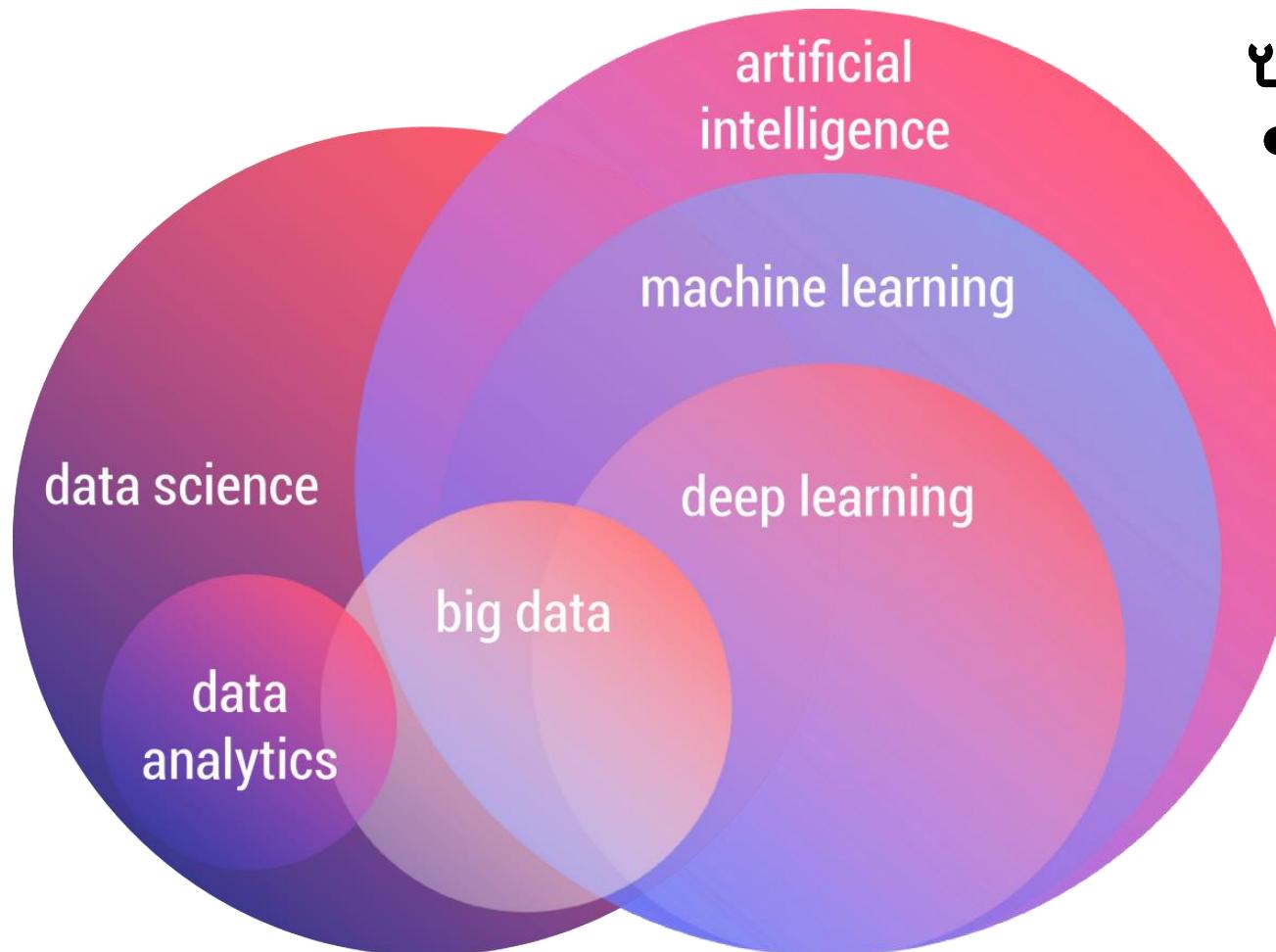
Applicazione ingegneristica

- Analytical / Numerical Solution, closed form, FEM, FDM, BEM

Come invece sfrutta il computer la AI (leggi Machine learning)

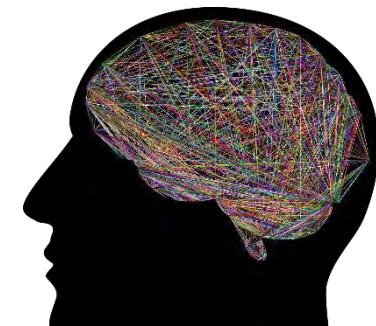


Introduzione: Cos'è l'IA? E quando si tratta di «Generativo»?

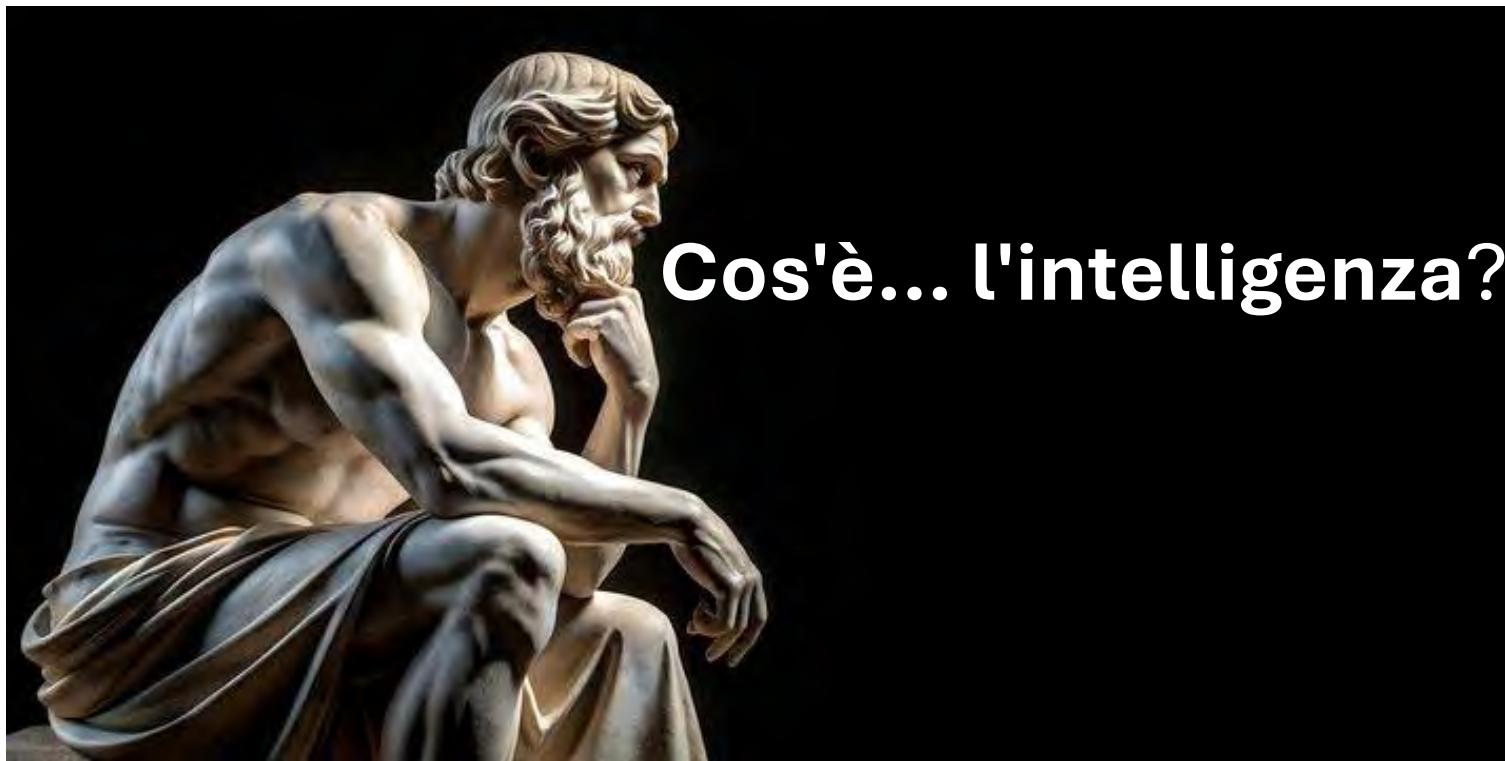


AI: simulazione di un comportamento intelligente simile a quello umano

Il **Machine Learning** è un tipo di Intelligenza Artificiale che fornisce ai computer la capacità di apprendere senza essere esplicitamente programmati. Impara dagli esempi Riconoscimento di Pattern

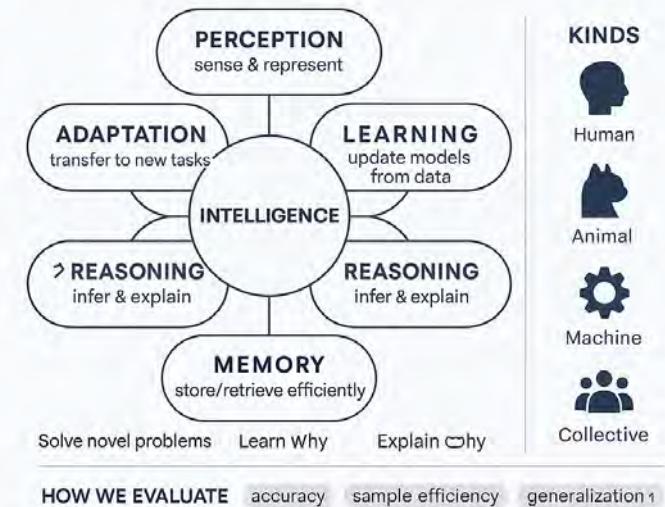


Dall'altra parte, cos'è l'Intelligenza Artificiale?



WHAT IS INTELLIGENCE?

The ability to achieve goals across diverse environments by learning, reasoning, planning and adapting.



Scopri l'ordine nascosto nel mezzo del caos

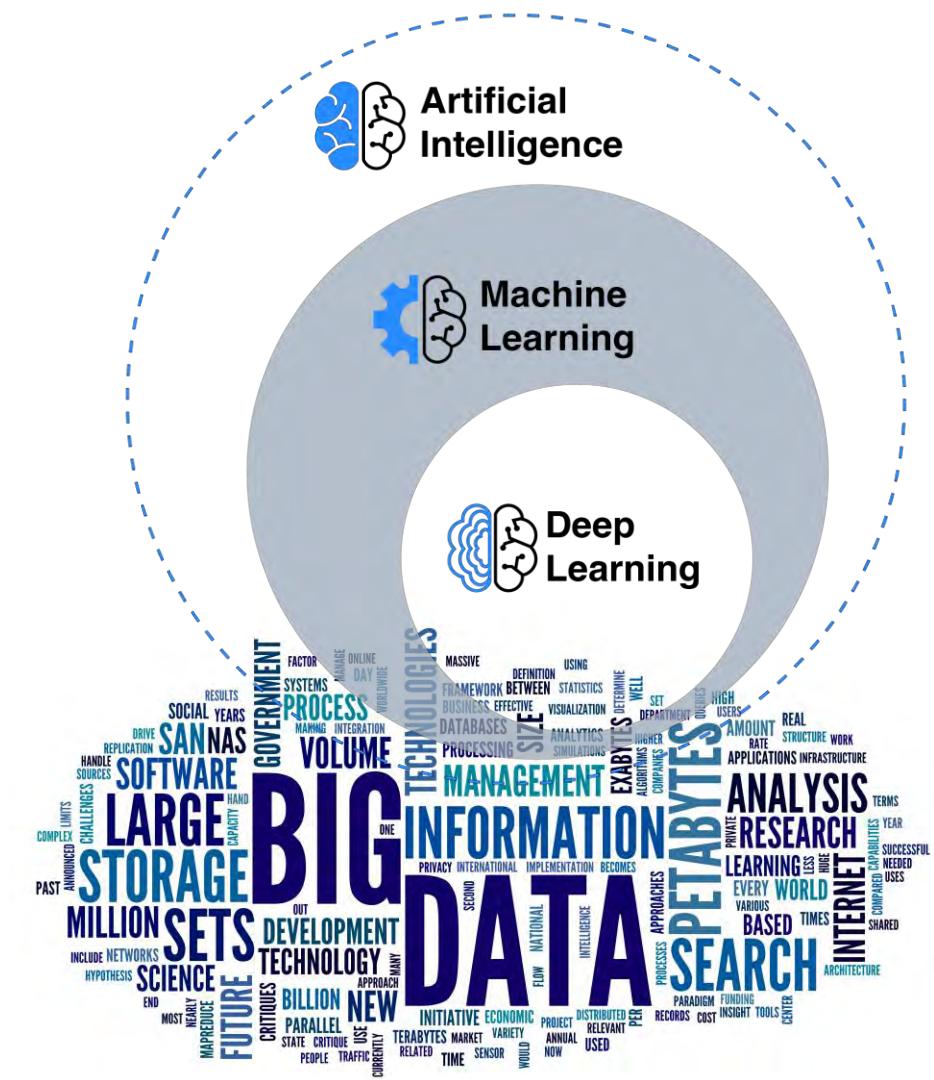
Dall'altra parte, cos'è l'Intelligenza Artificiale?

Sistemi in grado di imitare i processi cognitivi umani, basati non su formule, ma su dati e apprendimento

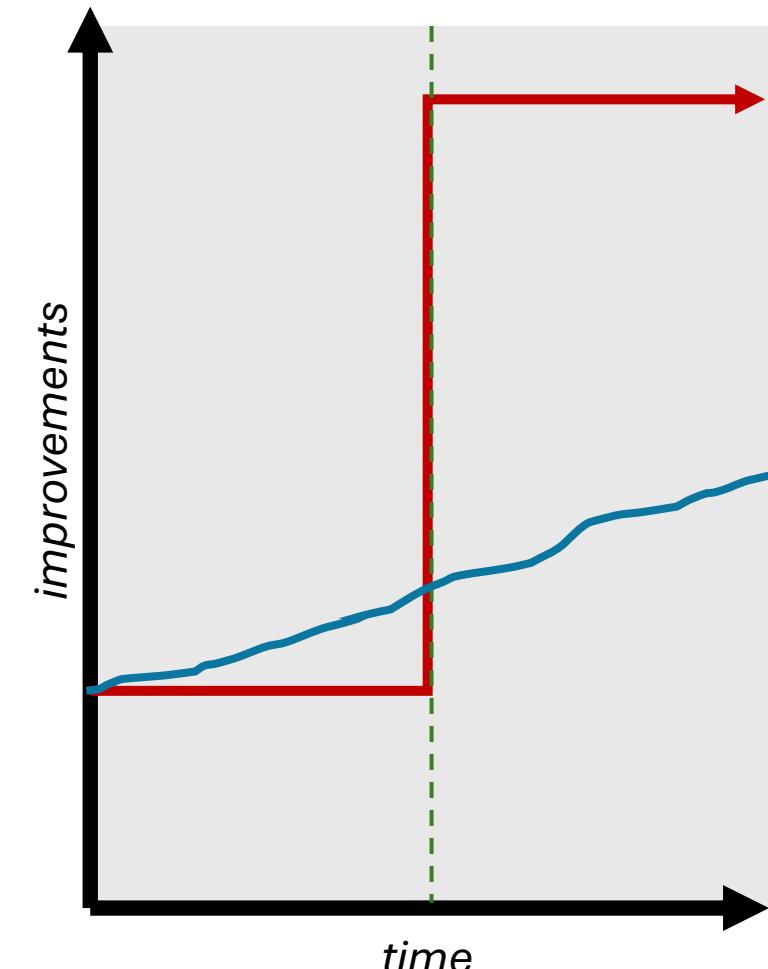
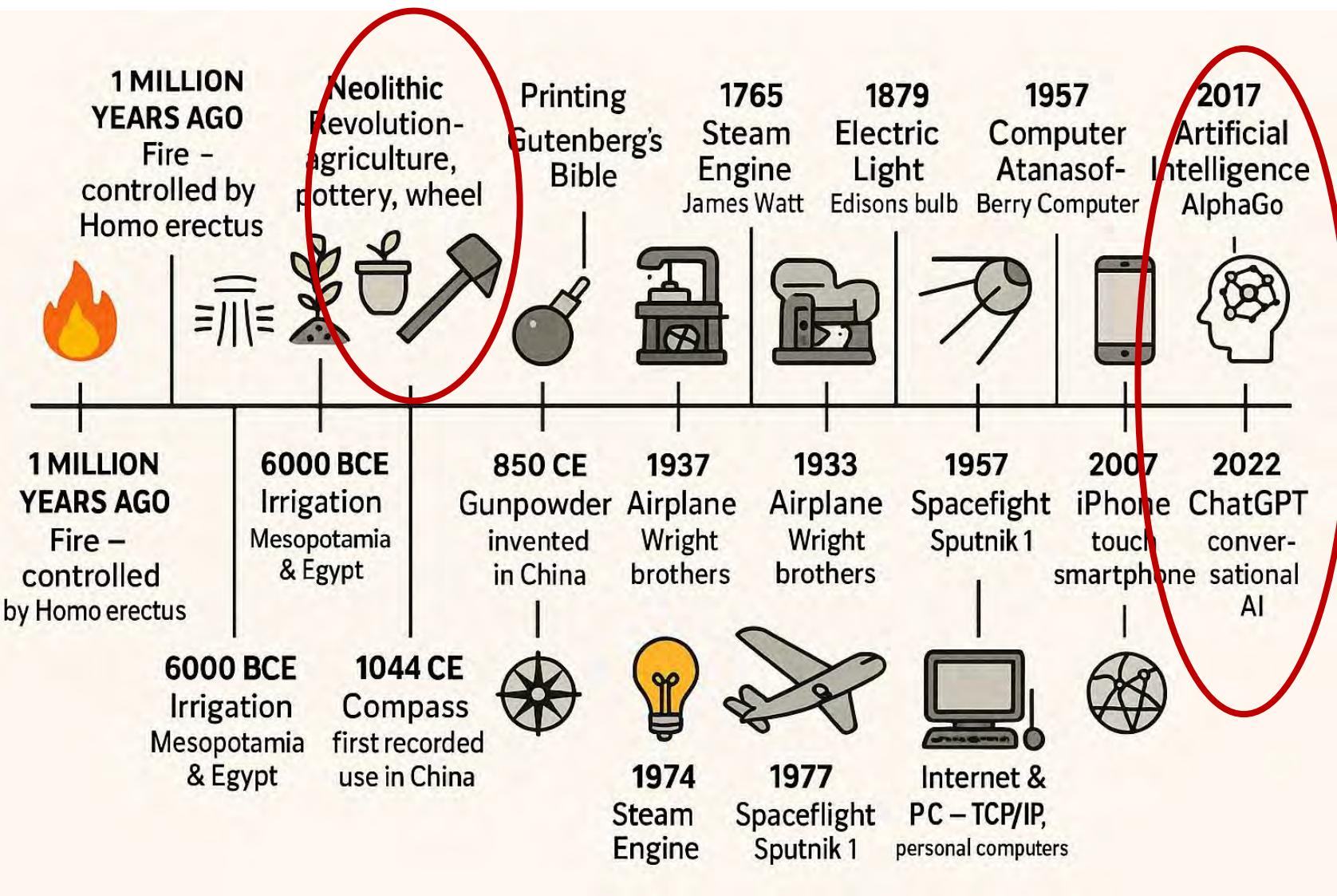
Capace di percepire, ragionare, decidere, creare

Una tecnologia trasversale: dalla medicina all'edilizia

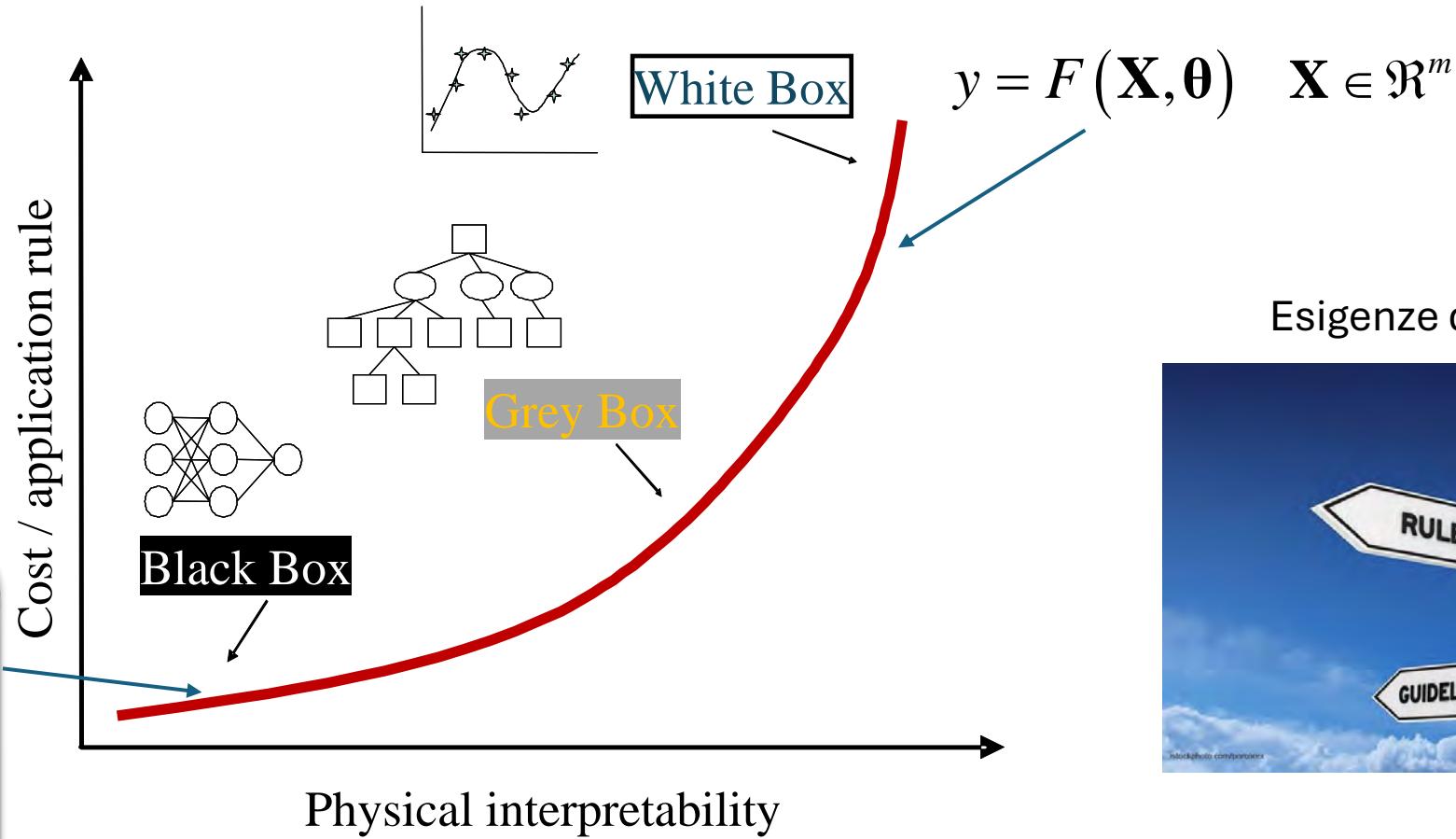
Una delle più grandi rivoluzioni della storia umana



Rivoluzioni tecnologiche: motori di cambiamento



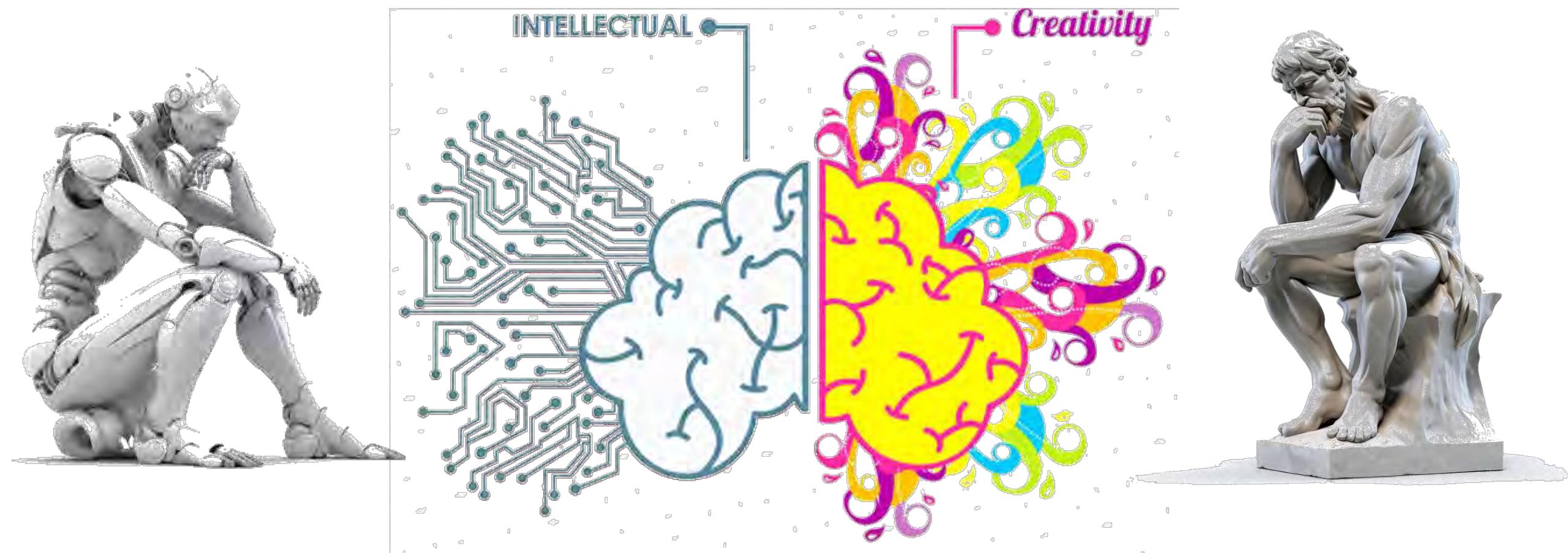
Classificazione dei modelli di conoscenza



Esigenze di ingegneria civile



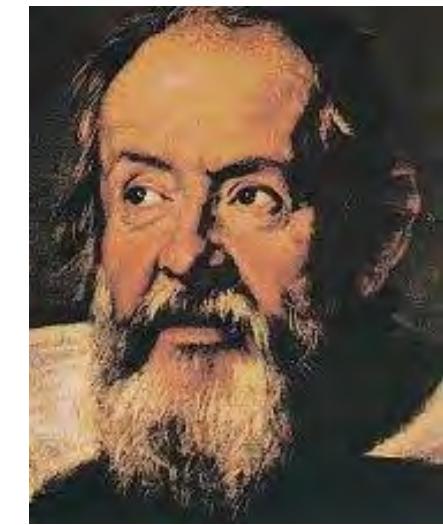
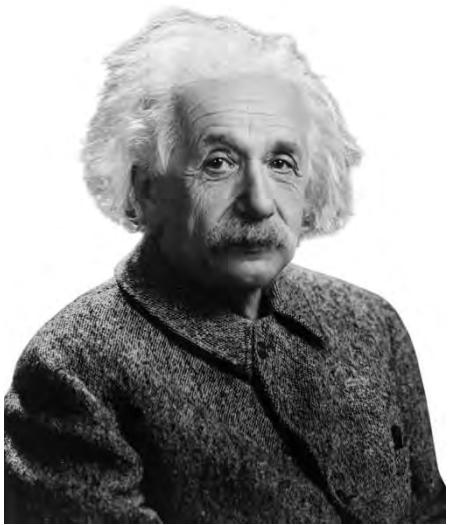
Includere la Visione AI nell'Ingegneria Civile???

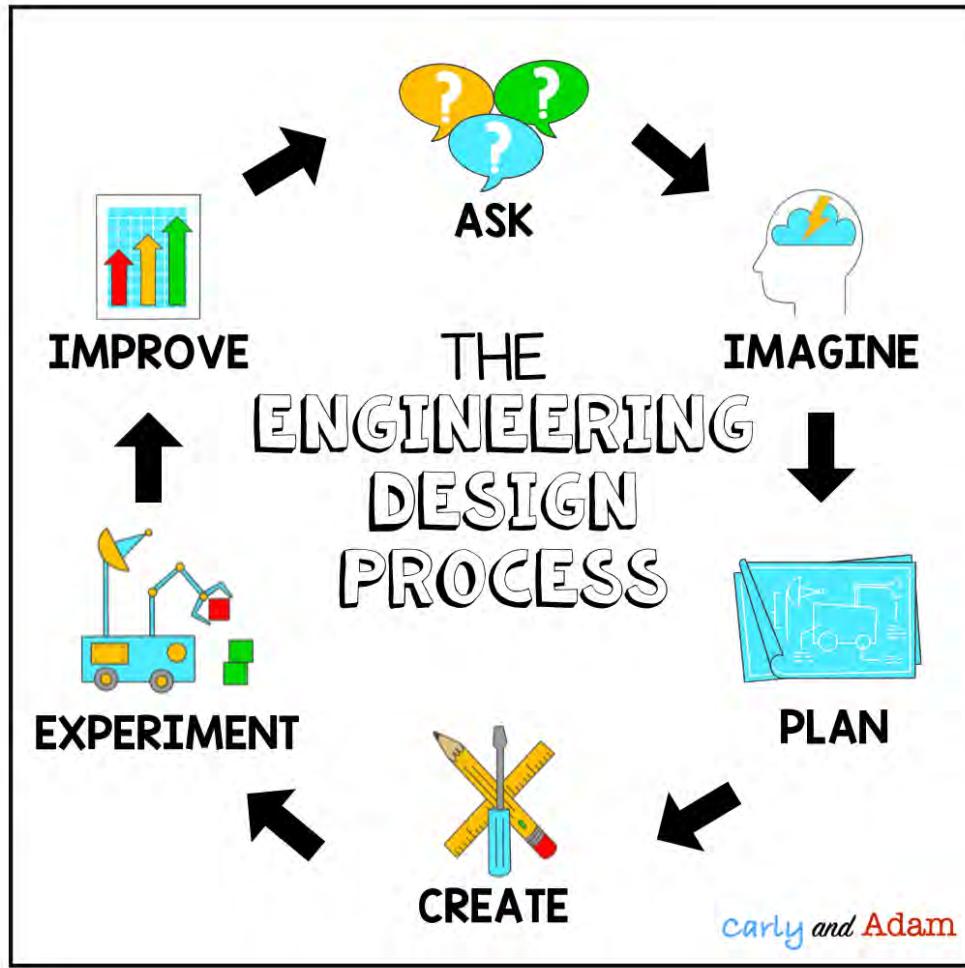
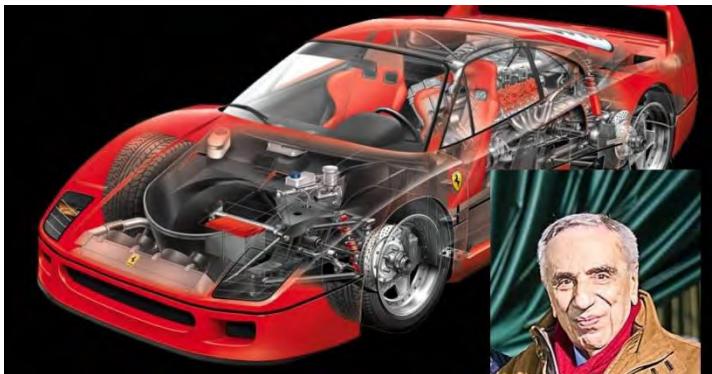


Futuro dell'IA nell'Ingegneria Civile

*Se non sai dove stai andando,
ogni strada non ti porterà da
nessuna parte*







Perché avere a che fare con **AI**?

DOMANDE APERTE NELLA GESTIONE DELLE COSTRUZIONI

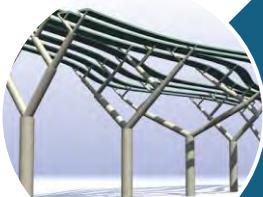


Beijing National Stadium (Source: [ArchDaily](#))

Complexity

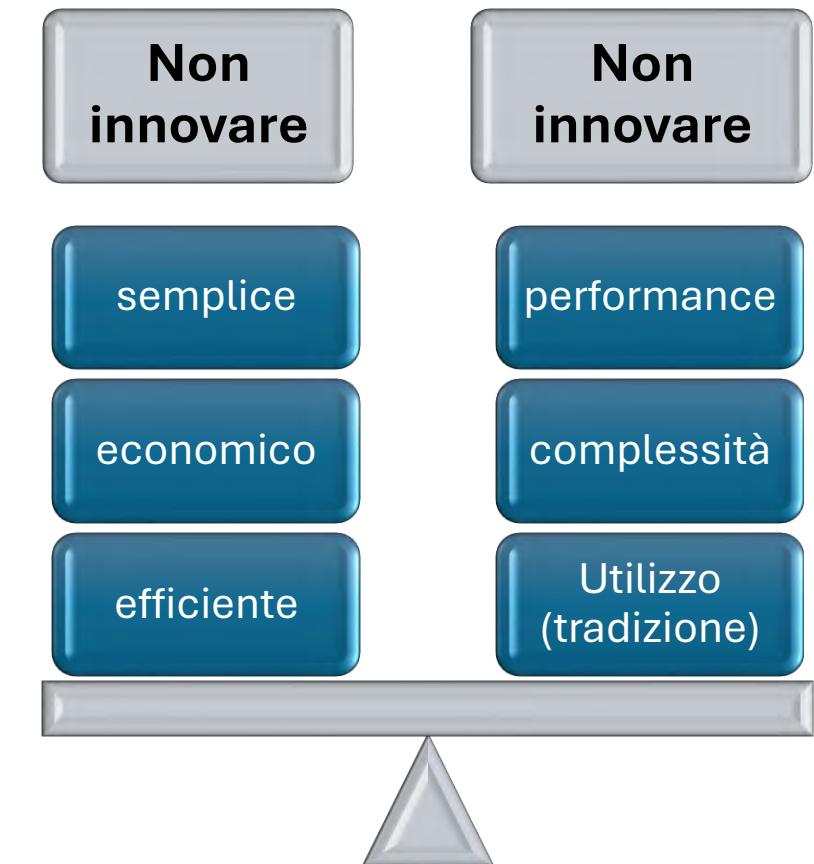


Structural Health Monitoring



Decision Support

La grande questione sull'uso di nuove tecnologie nell'innovazione dell'ingegneria



Scenario dei future ingegneri civili



Dal 1950, la popolazione mondiale si è raddoppiata ed è in rapida crescita, soprattutto nei paesi emergenti.

Nei paesi avanzati, le strutture e le infrastrutture stanno invecchiando.

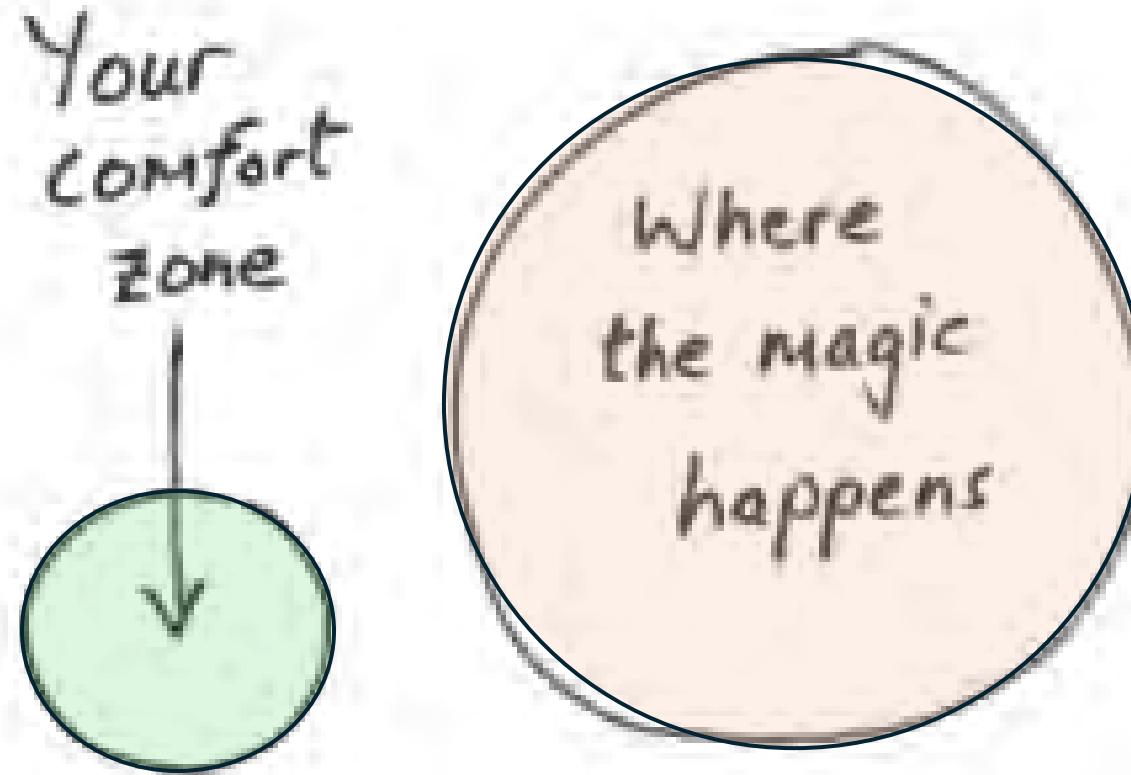
Gli ingegneri civili e ambientali hanno contribuito ad elevare le aspettative globali per la sostenibilità e la tutela ambientale.

Lo spostamento delle persone dalle aree rurali a quelle urbane ha messo sempre più sotto pressione un'infrastruttura già sovraccaricata.

Le richieste di energia sostenibile, acqua potabile, aria pulita e smaltimento sicuro dei rifiuti guidano lo sviluppo dell'infrastruttura globale.

La gestione dei rischi naturali e provocati dall'uomo (sismici, industriali, ecc.) e le filosofie di progettazione del ciclo di vita sono fondamentali.

Scenario dei futuri ingegneri civili



AI classica

Sistemi a regole

Ottimizzazione

Programmazione deterministica

Ampiamente usata storicamente

Una delle grandi questioni.....

- OTTIMIZZAZIONE nell'ingegneria civile

L'ottimizzazione è l'atto di ottenere il miglior risultato in date circostanze.

il processo di trovare le condizioni che danno il massimo o il minimo di una funzione

Nel settore dell'Ingegneria, dell'Architettura e delle Costruzioni potrebbe essere definito come la minimizzazione dei «costi» della costruzione

Problemi di ottimizzazione vincolata

$$\begin{aligned} & \min \{f(\mathbf{x})\} \\ & g_q(\mathbf{x}) \leq 0 \quad q = 1, \dots, n_q \\ & h_r(\mathbf{x}) = 0 \quad r = 1, \dots, n_r \\ & \mathbf{x} \in [\mathbf{x}^l, \mathbf{x}^u] \end{aligned}$$

Objective Function



tools

Paradigm

- Classical
- Non-classical

Design Vector

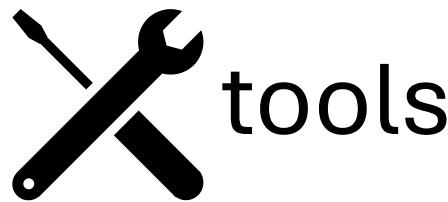
State of the Art: Optimization as Better Design



Structural Optimization

“The determination of values for design variables which minimize (maximize) the objective, while satisfying all constraints”

Stato dell'arte: ottimizzazione come design migliore



Isaac Newton (1642-1727) (The development of differential calculus methods of optimization)



Joseph-Louis Lagrange (1736-1813) (Calculus of variations, minimization of functionals, method of optimization for constrained problems)



Augustin-Louis Cauchy (1789-1857) (Solution by direct substitution, steepest descent method for unconstrained optimization)



Leonhard Euler (1707-1783) (Calculus of variations, minimization of functionals)

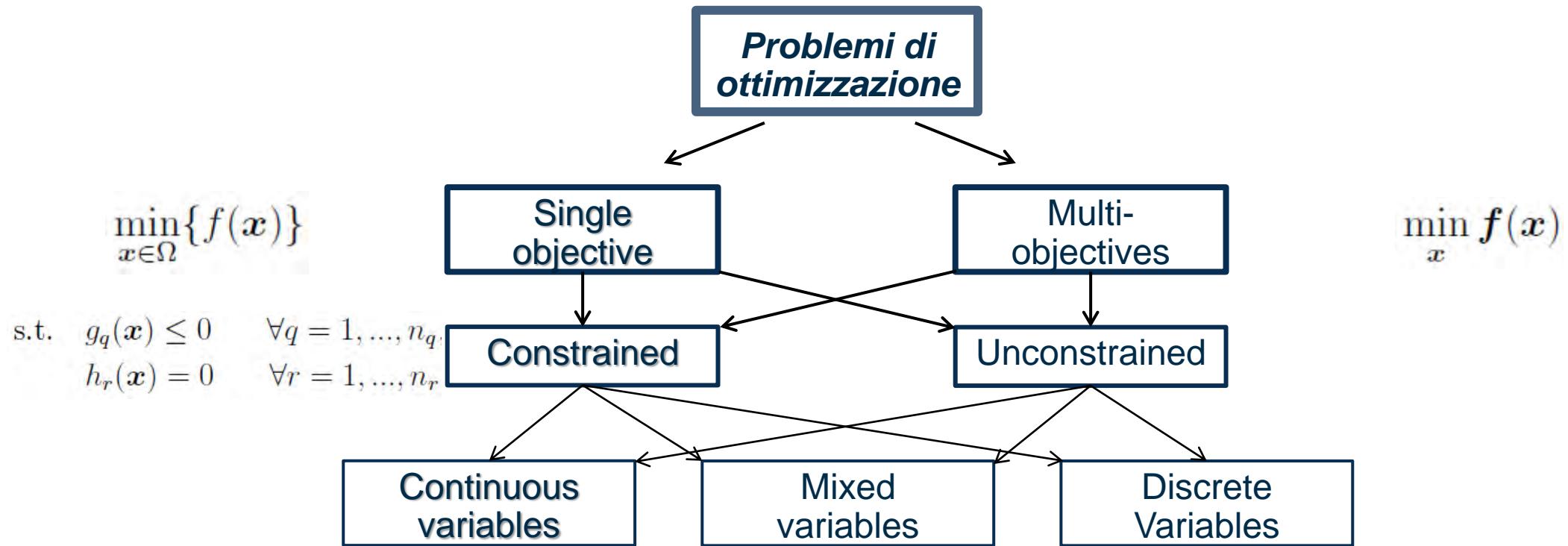


Gottfried Leibnitz (1646-1716) Differential calculus methods of optimization)

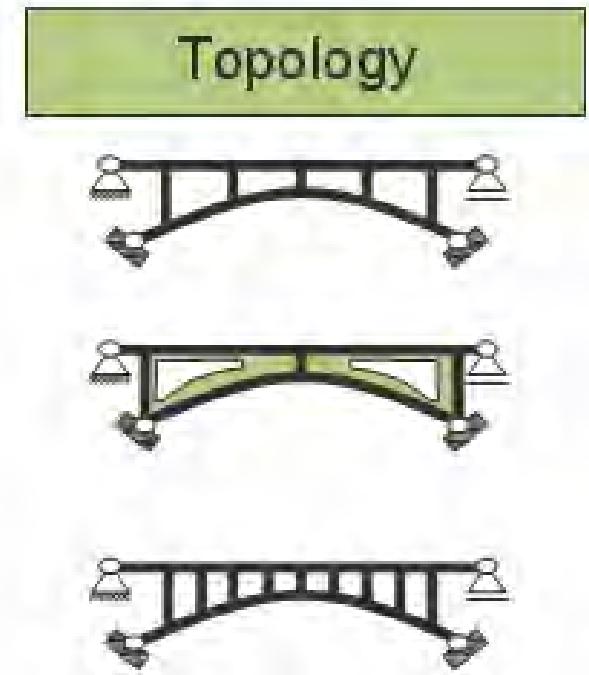
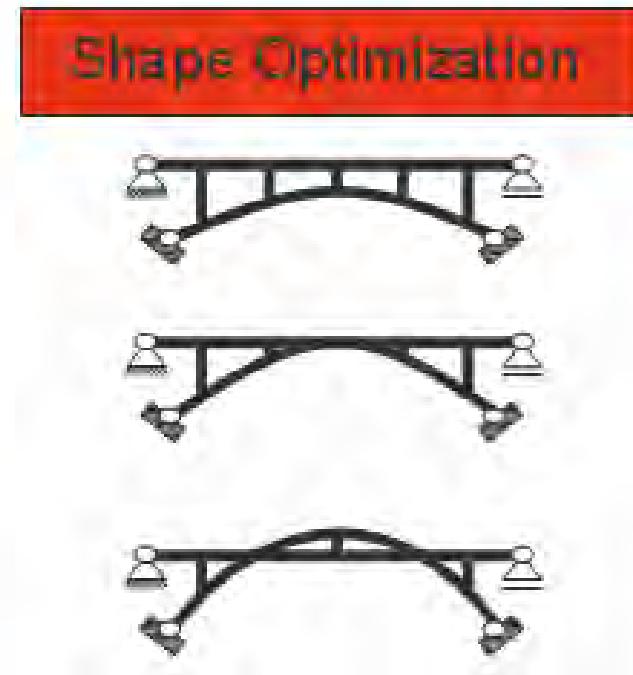
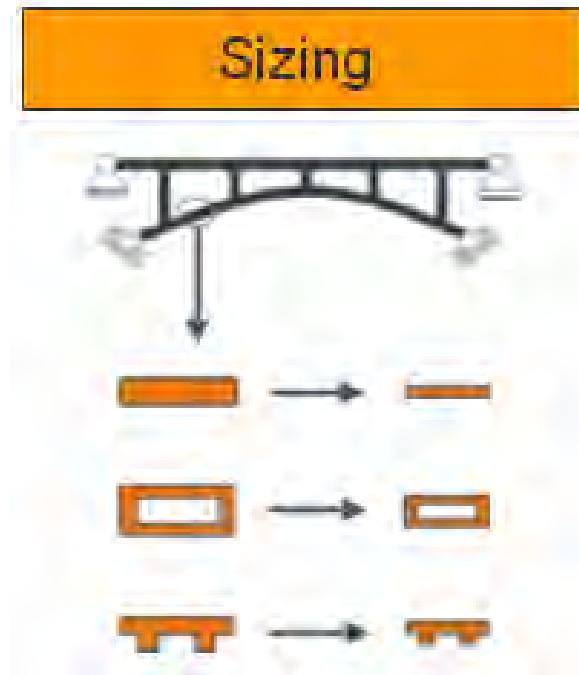


Harold William Kuhn (1925-2014) Necessary and sufficient conditions for the optimal solution of programming problems, game theory

Problemi di ottimizzazione



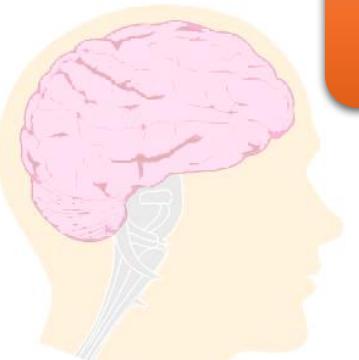
State of the Art: Optimization as Better Design



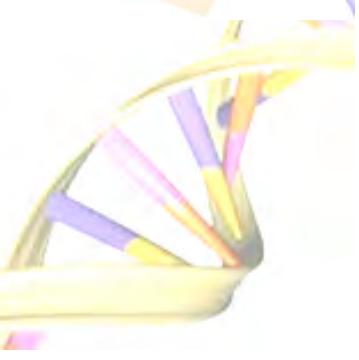
Algoritmi non classici (Soft Computing)

Trattano paradigi ispirati socialmente, fisicamente e/o biologicamente

In this field, the most popular soft computing techniques are **Artificial Neural Networks** and **Evolutionary Algorithms (EA)**

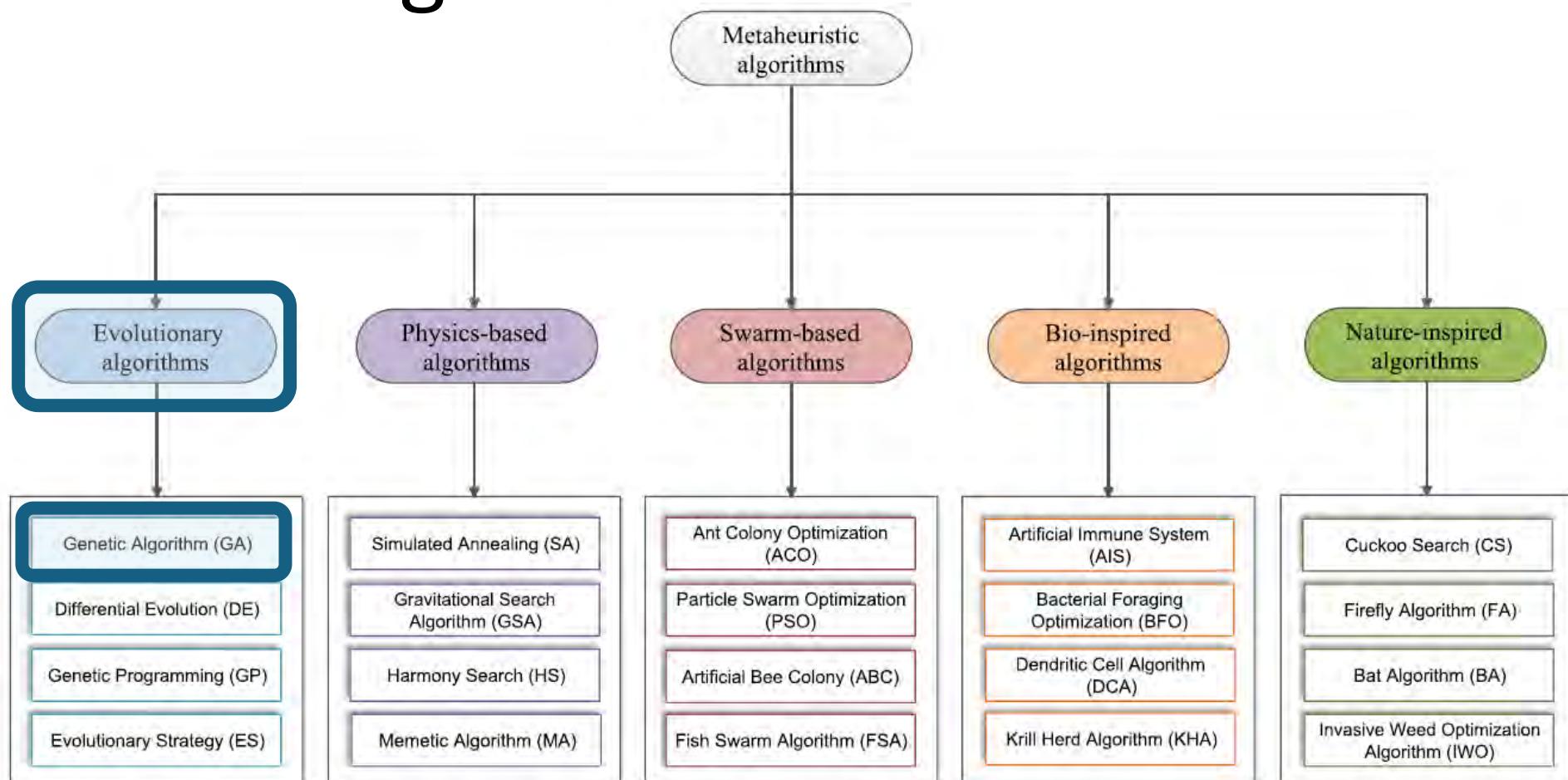


Artificial Neural Networks (ANN) aim at reproducing some of the most important brain operations for virtue of two stages, the network training (or learning) phase and the validation phase.



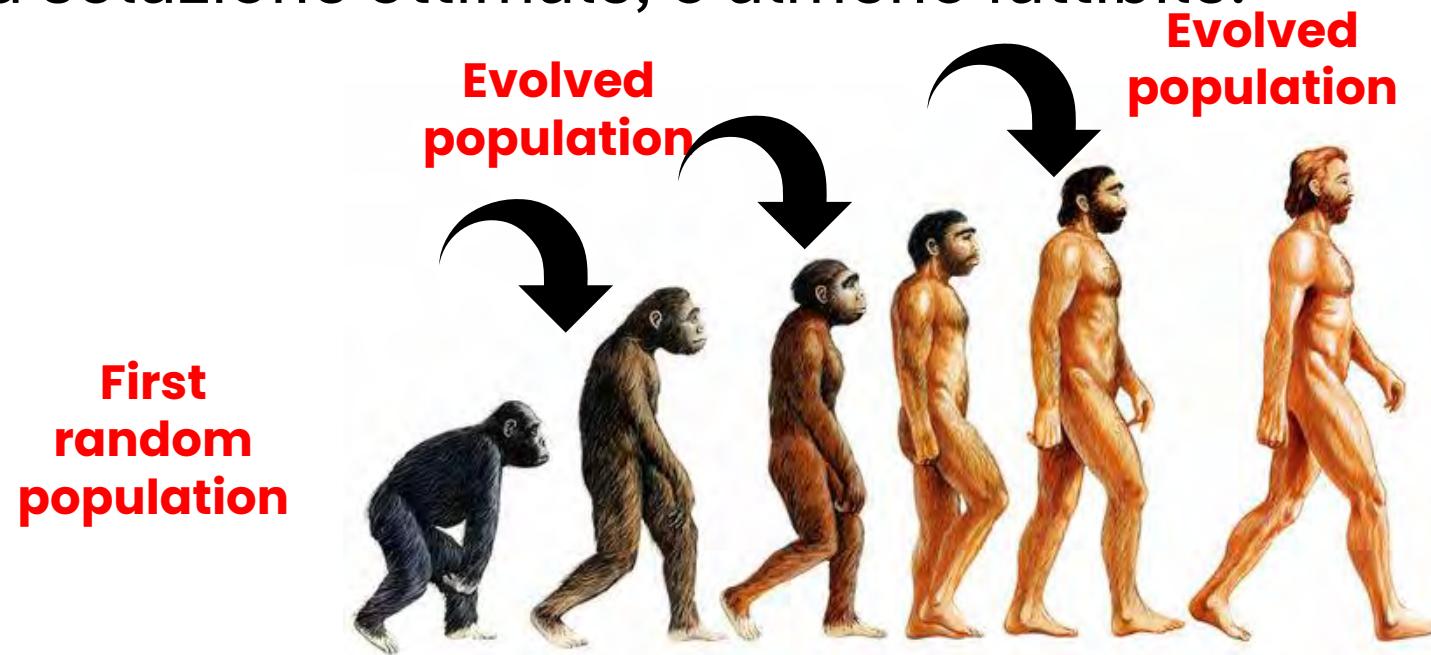
Synthetically, during a succession of generations, **Evolutionary Algorithms** (EA) based methods generate new points in the admissible search space by applying operators on the current solution set and “statistically” move towards more optimal places in virtue of a given strife of survival.

Metaheuristic algorithms

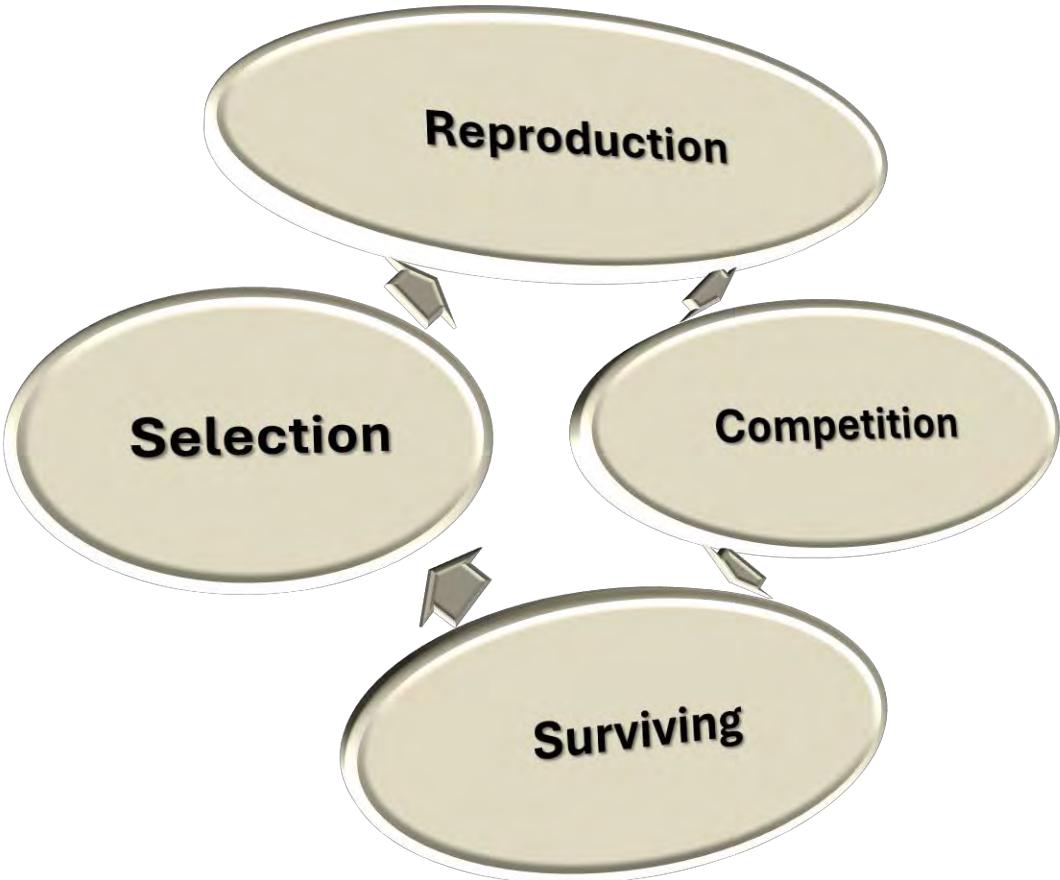
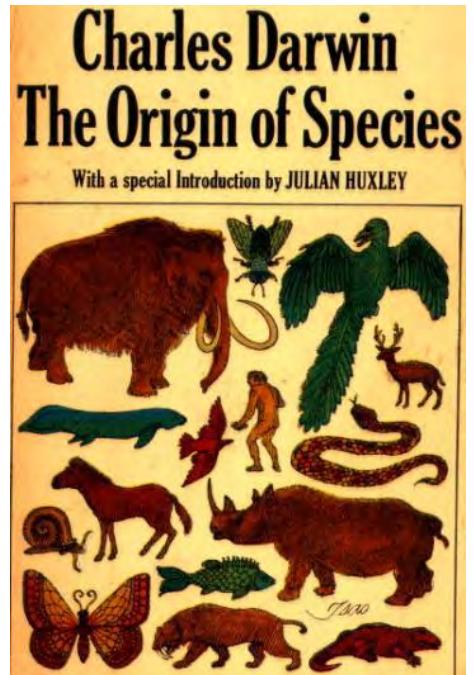


Calcolo evolutivo

- Il calcolo evolutivo simula la teoria dell'evoluzione darwiniana su un computer. Il risultato di tale simulazione è una serie di algoritmi di ottimizzazione, solitamente basati su un semplice insieme di regole. L'ottimizzazione migliora iterativamente la qualità delle soluzioni finché non si trova una soluzione ottimale, o almeno fattibile.



Genetic Algorithms (GA)



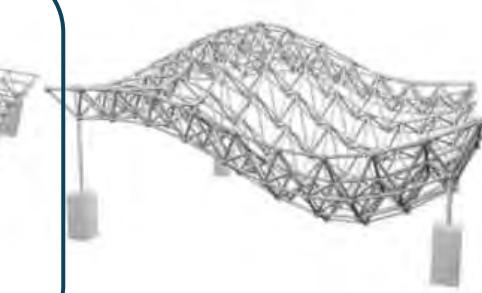
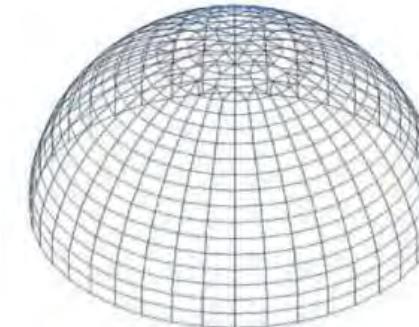
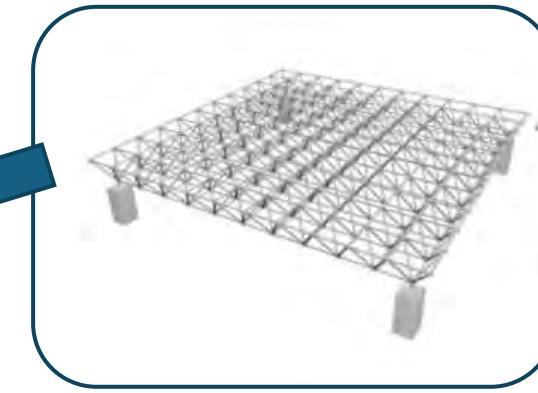
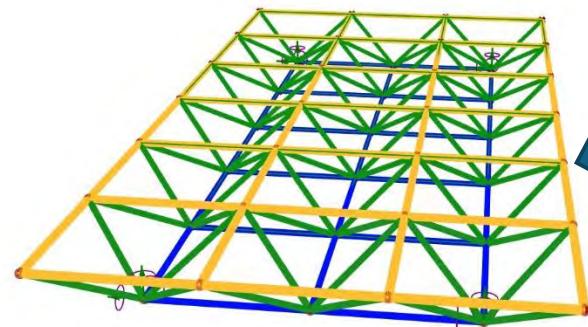
GA's are based on Darwin's theory of evolution

Evolutionary computing evolved in the 1960's.

GA's were created by John Holland in the mid-70's.

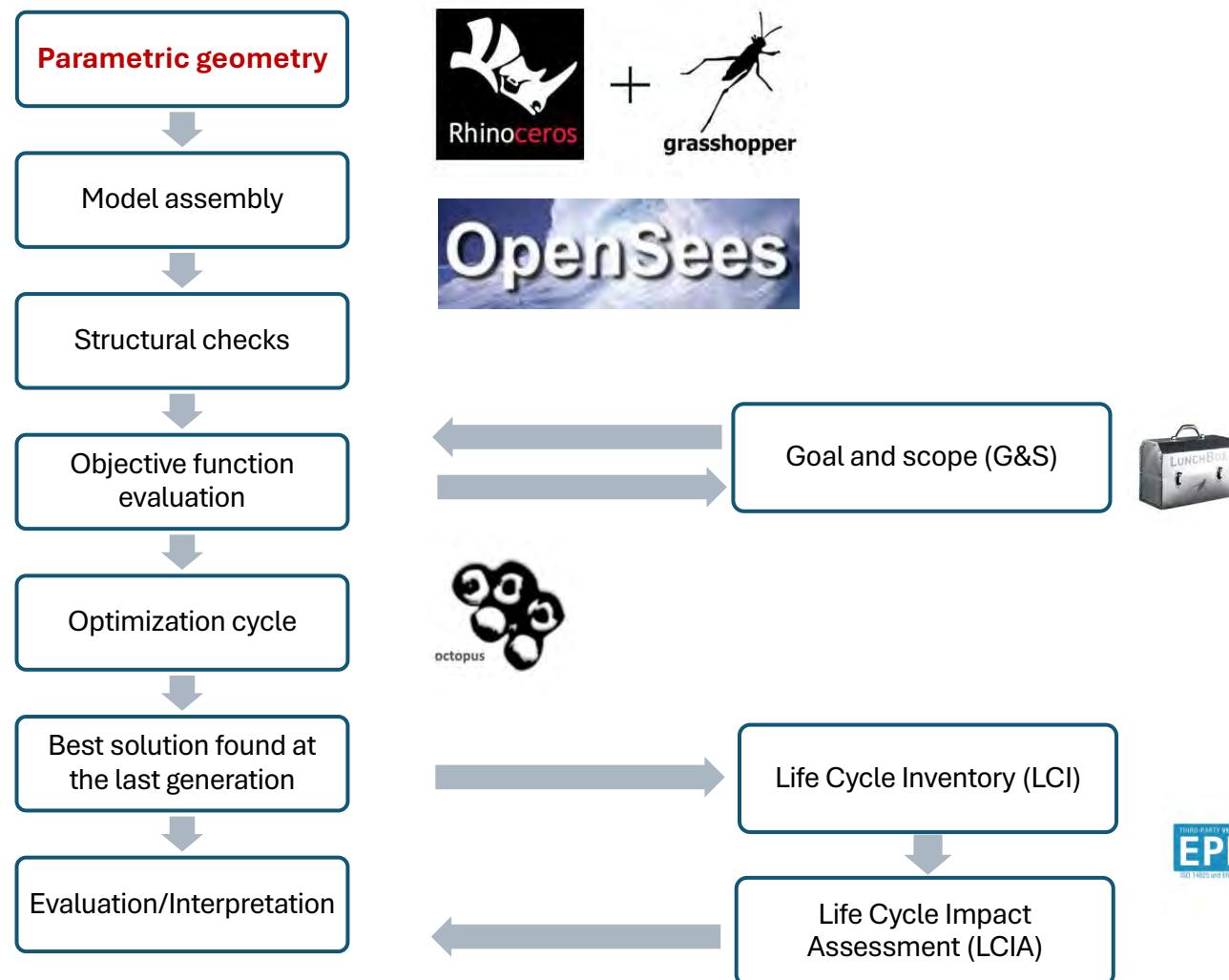
State of the Art: Optimization as Better Design

Space frame

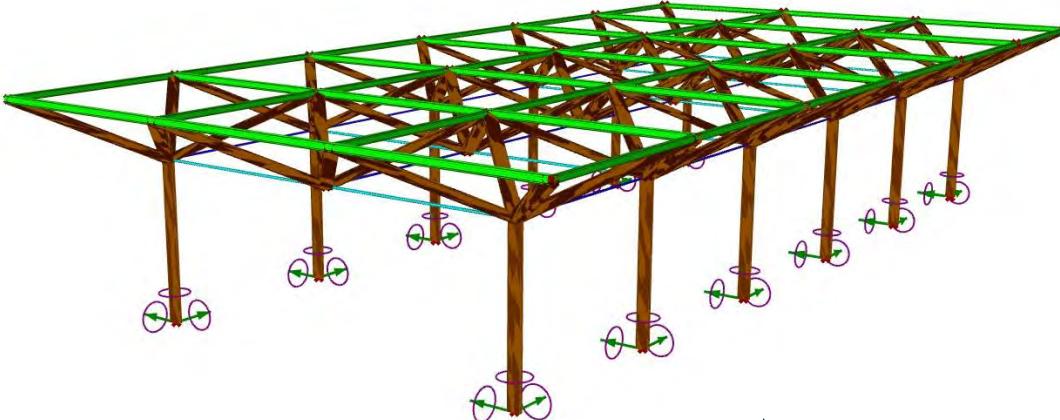


Stato dell'arte: ottimizzazione come design migliore

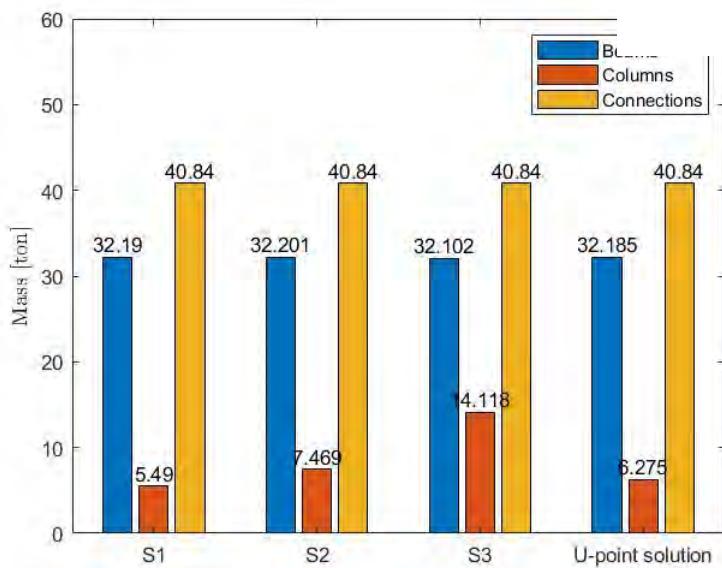
Overall procedure flow - Methodology



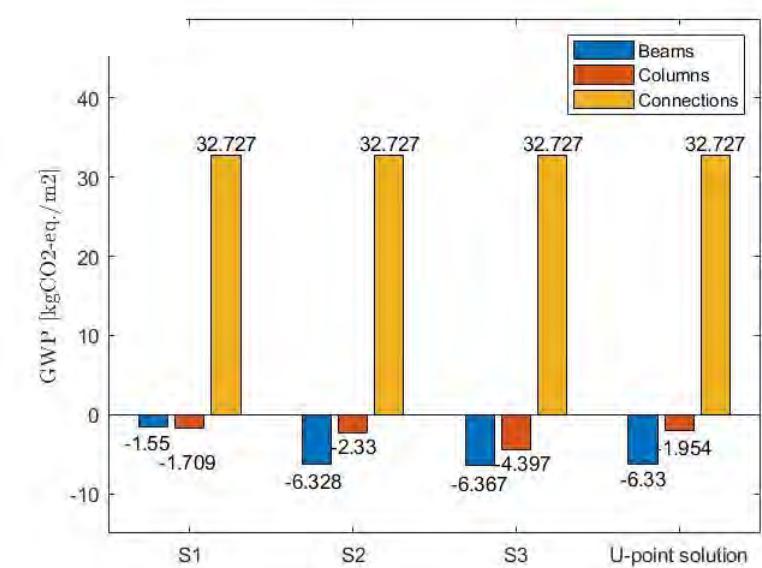
LCA integration



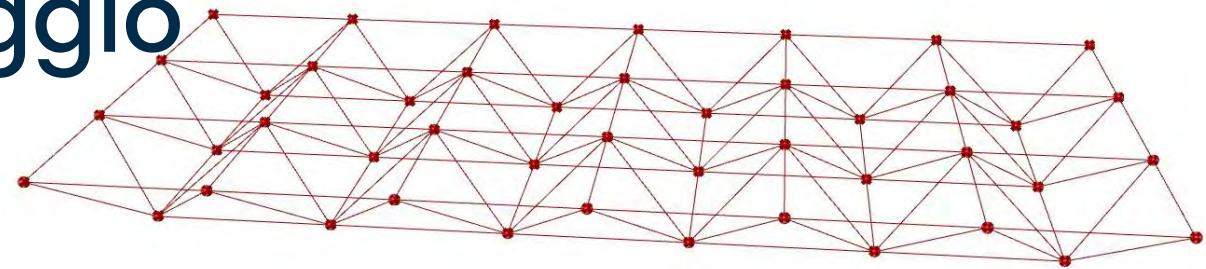
Mass



CO2 Emission



Studio di caso: Geometria parametrica e assemblaggio del modello



Space frame pre-design

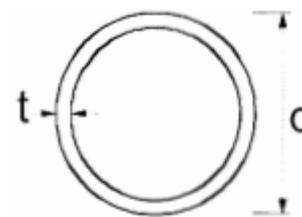
$$1 \leq H \leq \frac{L}{15} \quad [m]$$

Beam length: $1 \text{ m} \leq \Delta \leq 10 \text{ m} \rightarrow \frac{L}{\Delta_{max}} \leq \text{Divisions} \leq \frac{L}{\Delta_{min}}$



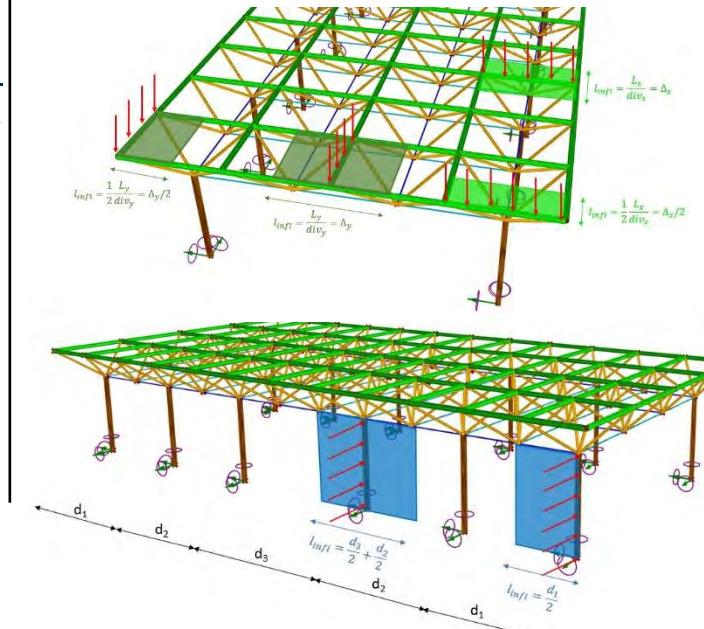
Beam cross-sections

Steel S355, CHS (EN10219-2)

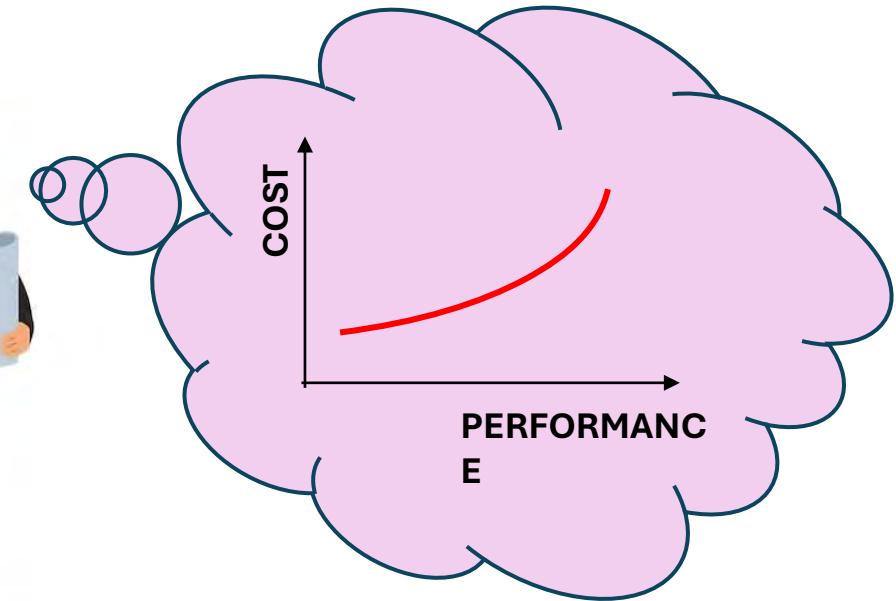
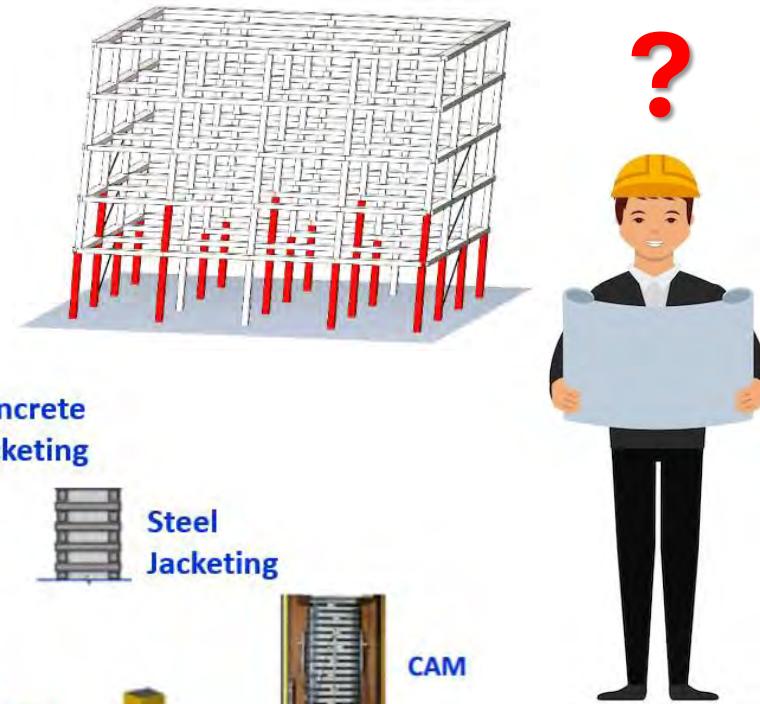
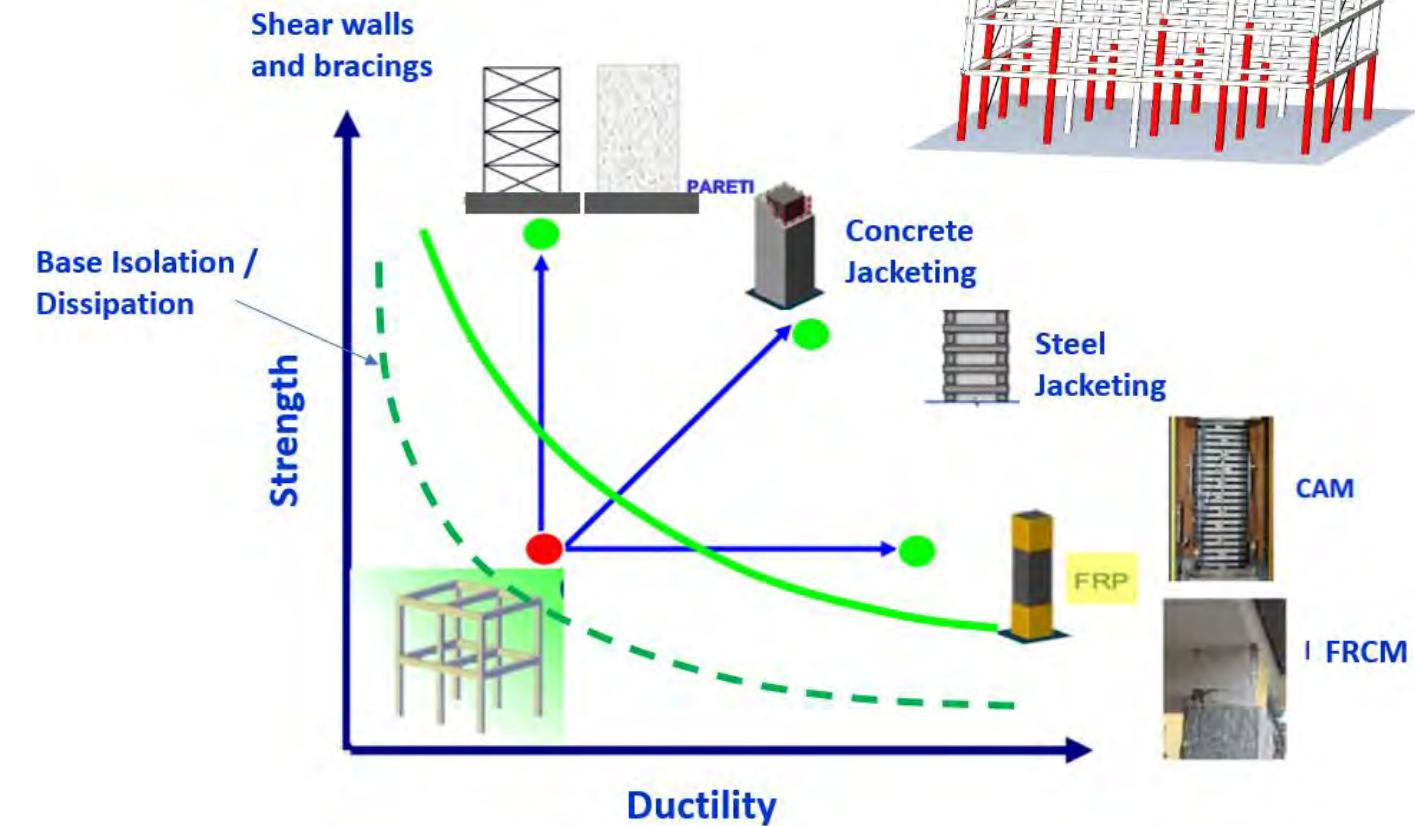


Applied Loads (ULS combination):

- Gravitational and Horizontal loads



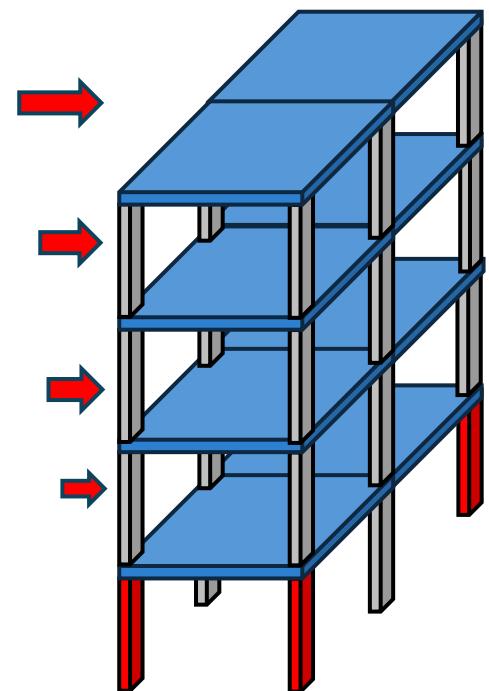
Seismic Risk Mitigation Retrofitting Systems



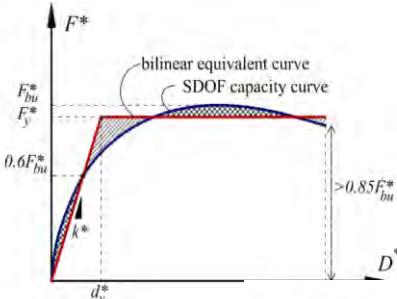
Impact

- Costs
- Invasiveness
- Downtime

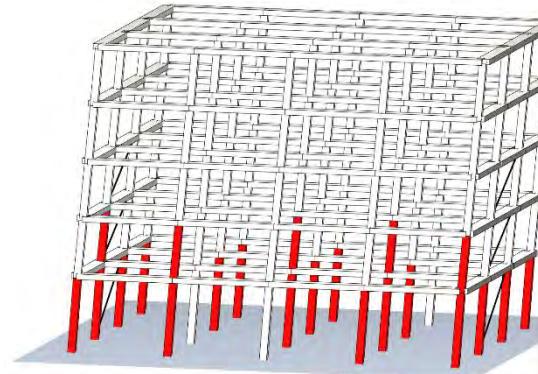
Analisi del modello e valutazione della fitness



FINAL
OUTPUT



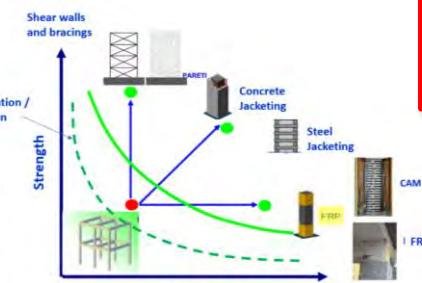
OpenSees



Posizione e quantità di rinforzo
minimizzando i costi

MATLAB

Genetic Algorithm (GA)



L'individuo più forte o
"più adatto" è quello
associato ai costi di
retrofitting più bassi
sotto un vincolo di
sicurezza prefissato

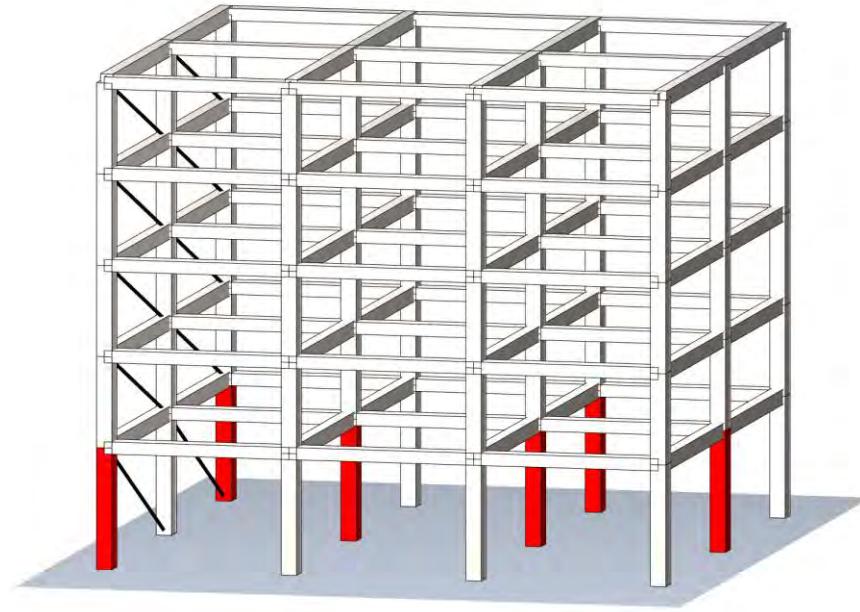
Genotype

$$\mathbf{b} = \begin{pmatrix} s_b \\ \mathbf{p} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_b \\ c_{11} \\ c_{21} \\ c_{31} \\ c_{41} \\ c_{61} \\ c_{71} \\ c_{81} \\ c_{91} \\ c_{12} \\ c_{22} \\ c_{32} \\ c_{42} \\ c_{62} \\ c_{72} \\ c_{82} \\ c_{92} \end{pmatrix}$$

Diagram illustrating the genotype representation. A red bracket on the left groups the first element s_b and the remaining elements c_{ij} into a vector. A red arrow points from this bracket to a 3D model of a building column with a height s_b and a cross-section. Below the bracket, two red arrows point to the elements c_{91} and c_{12} , with the text "0 → Unretrofitted column" and "1 → Retrofitted column" respectively.

Genetic algorithm – Design vector encoding

Phenotype



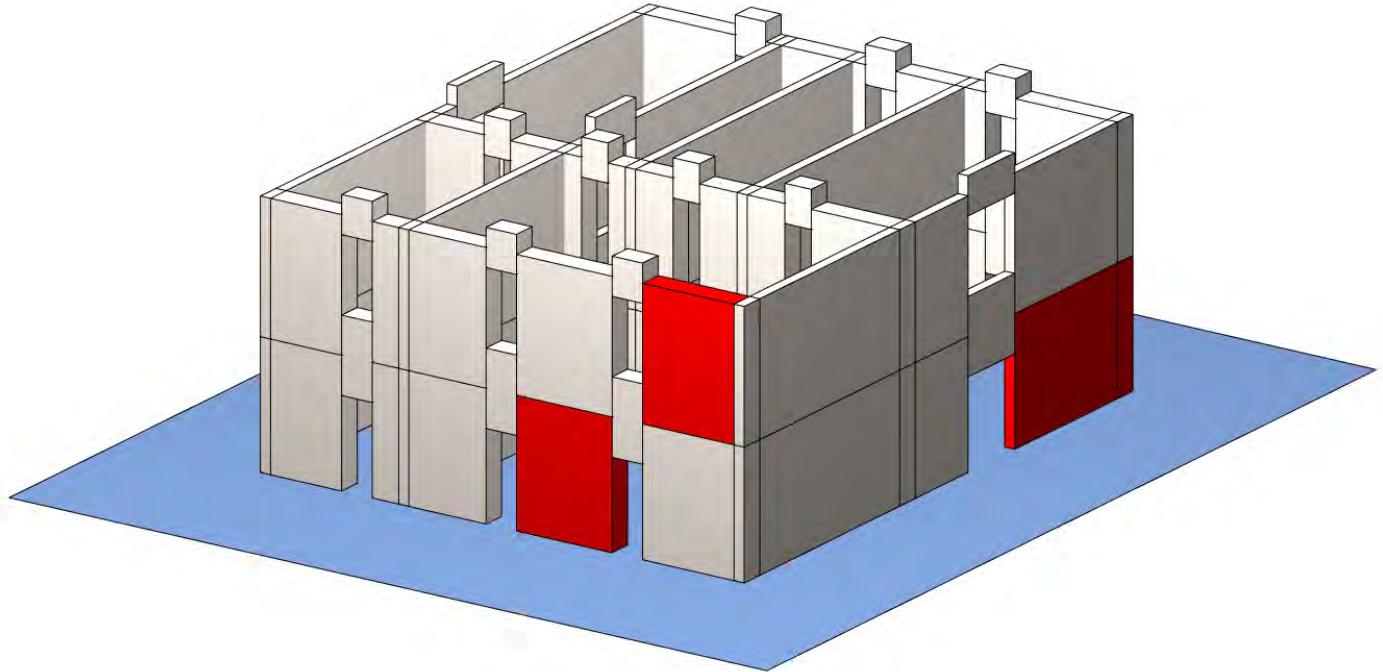
Fitness

Cost of the intervention

$$\mathbf{b} = \begin{pmatrix} w_{11} \\ w_{12} \\ w_{13} \\ w_{14} \\ w_{15} \\ w_{16} \\ w_{17} \\ \vdots \\ w_{21} \\ w_{22} \\ w_{23} \\ w_{24} \\ w_{25} \\ w_{26} \\ w_{27} \\ \vdots \end{pmatrix}$$

$$w_{ij} \in [0;1]$$

0 → unreinforced
1 → reinforced

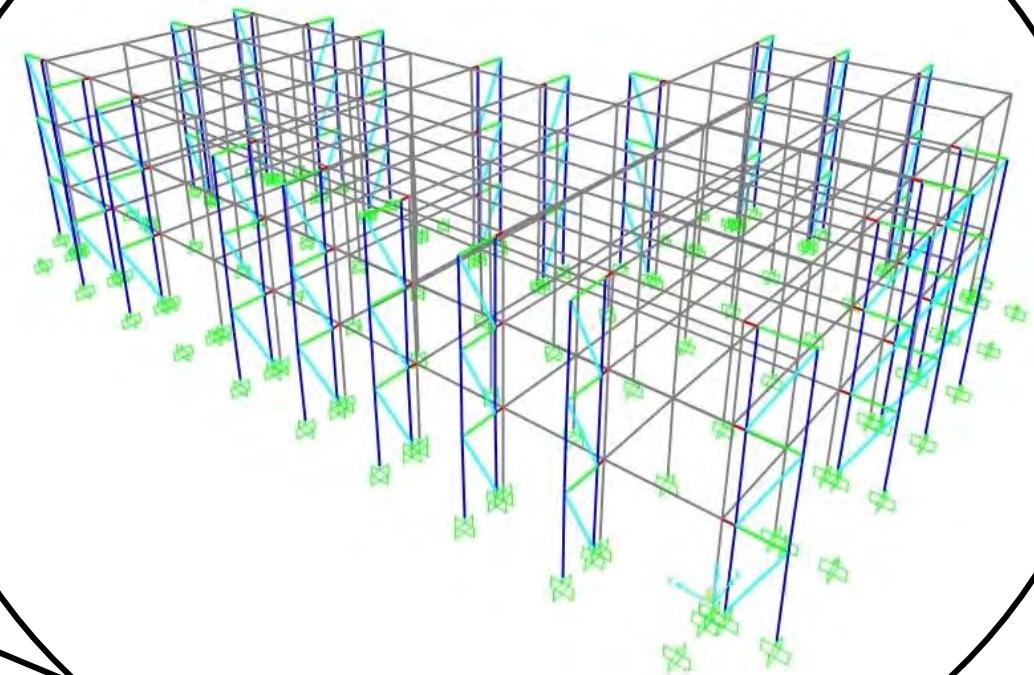
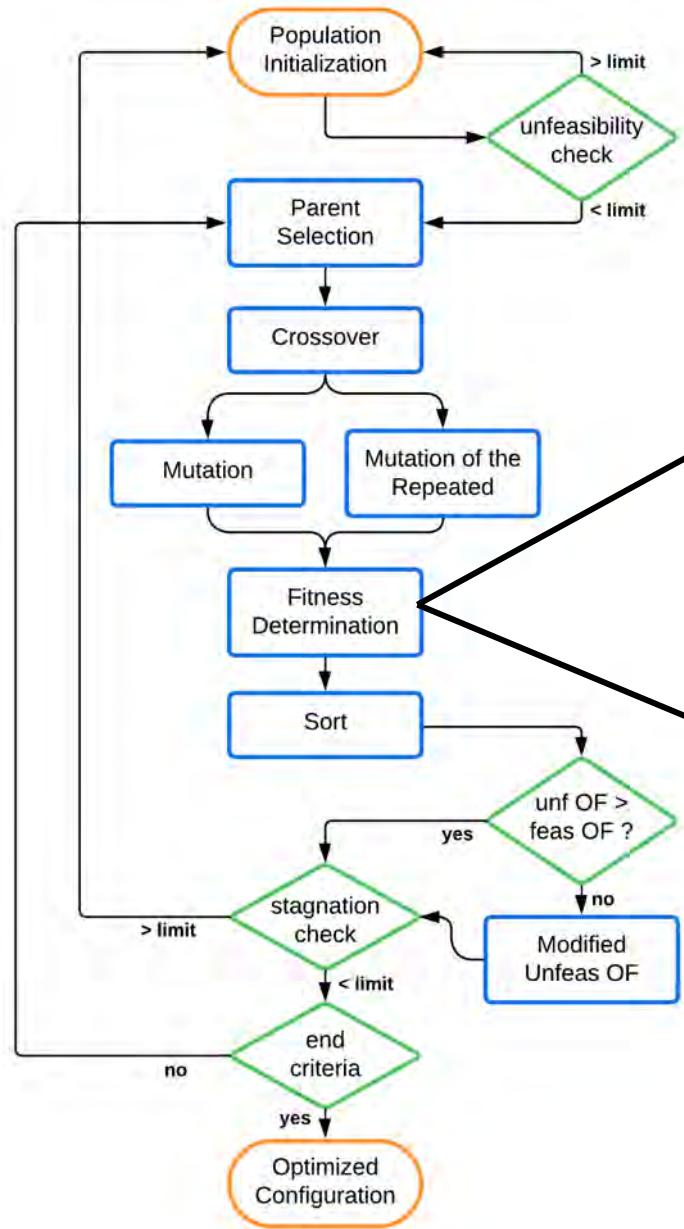


→ Ogni variabile decisionale (binarie) rappresenta la posizione del sistema di retrofitting all'interno della struttura

OPTIMIZATION ALGORITHM

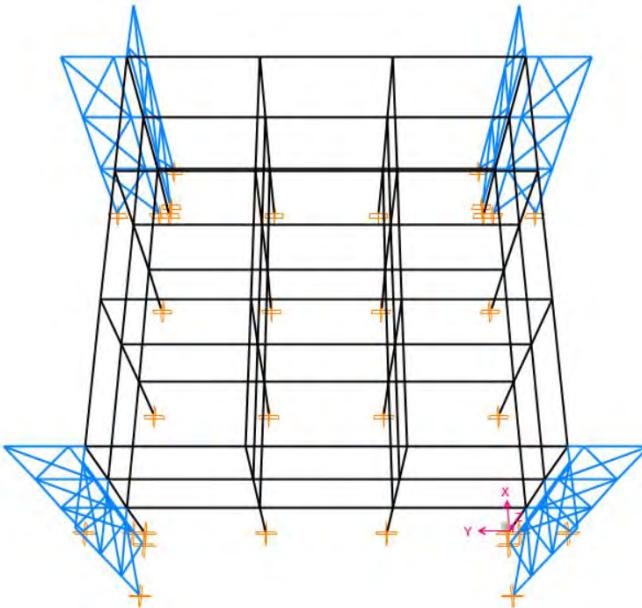
&

FEM ANALYSES

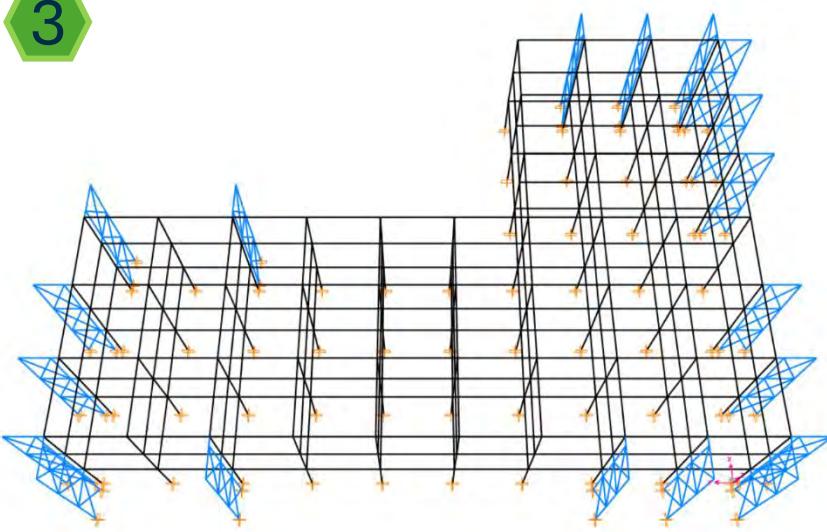


RESULTS: FINAL CONFIGURATIONS

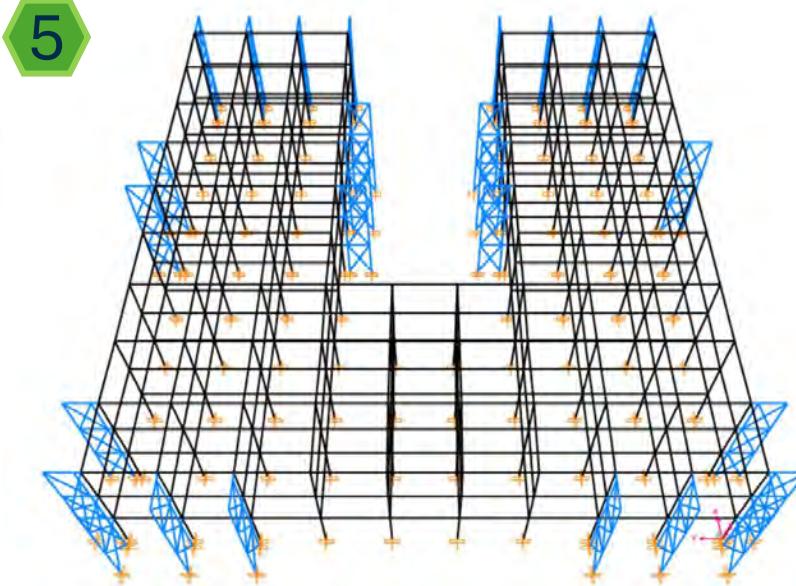
1



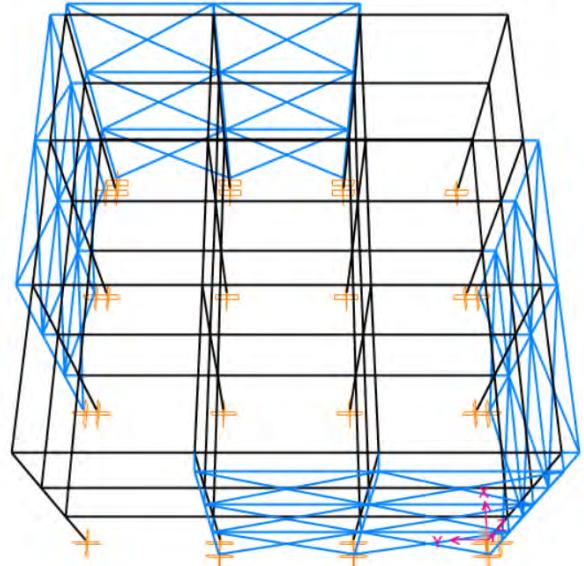
3



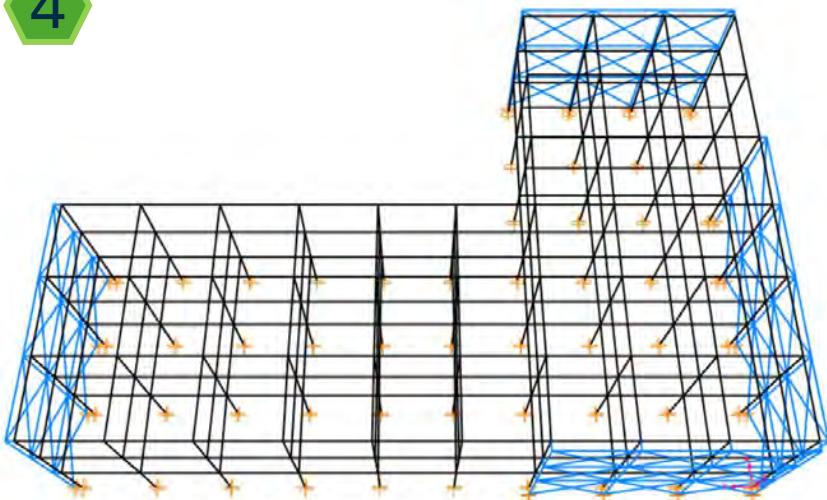
5



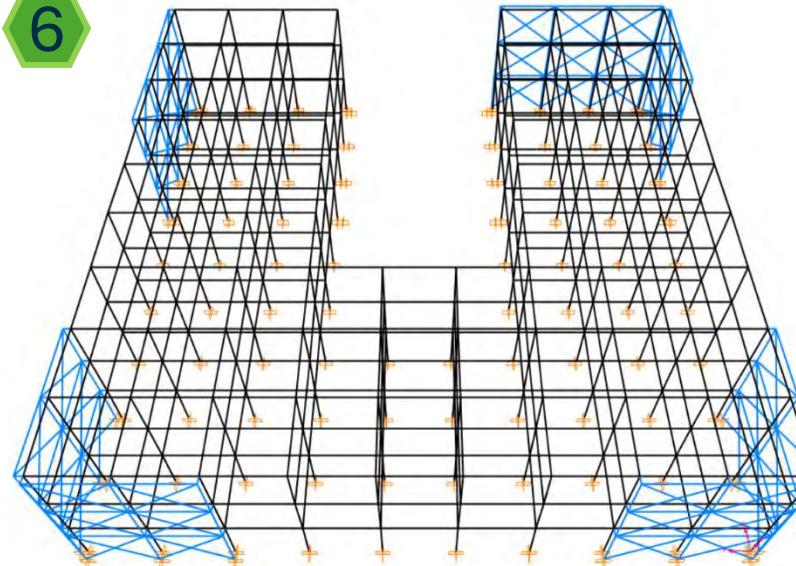
2



4



6



Machine Learning

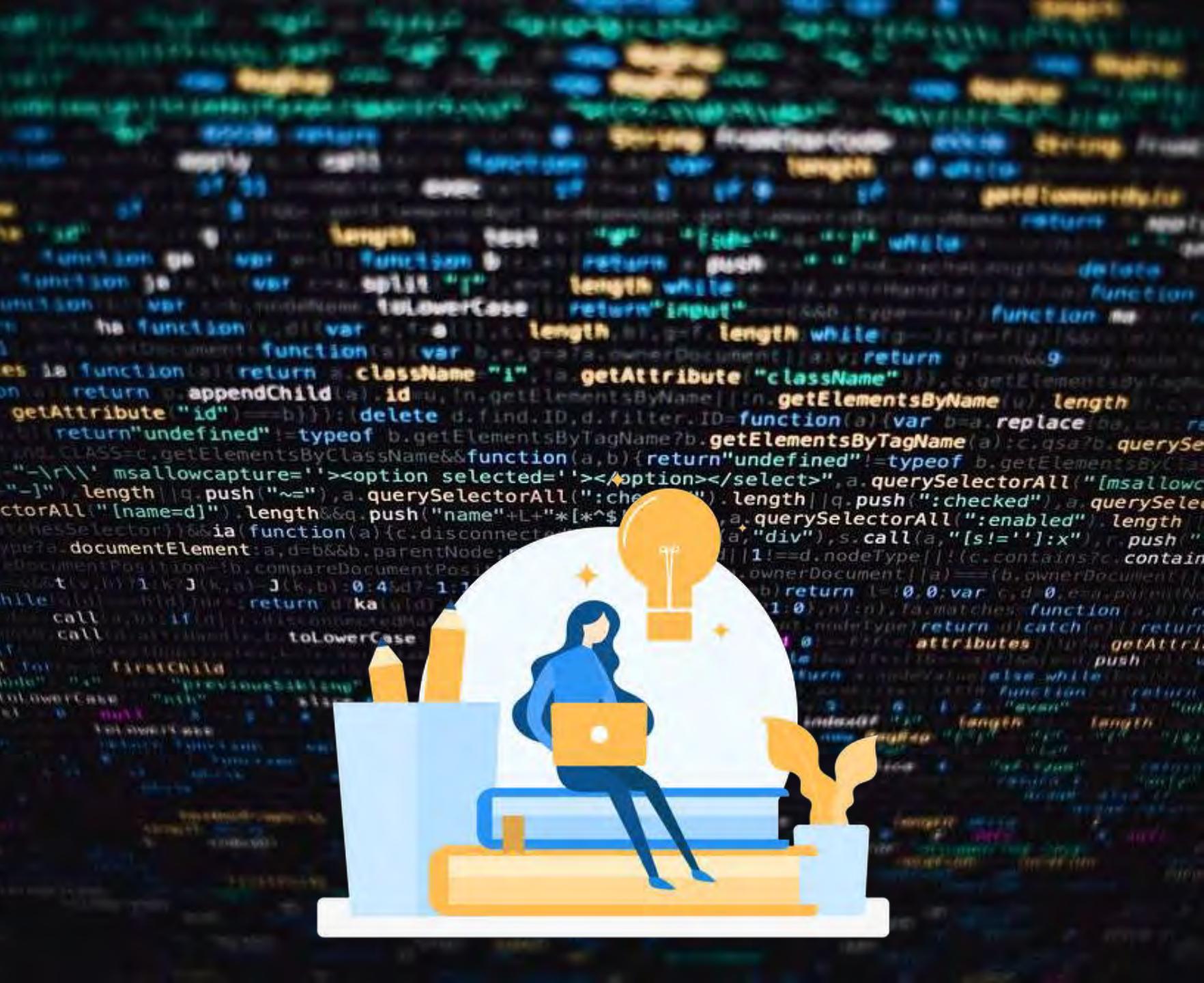
Modelli che apprendono dai dati

Regessione e classificazione

Random Forest, SVM

Reti neurali

- Machine learning introduction

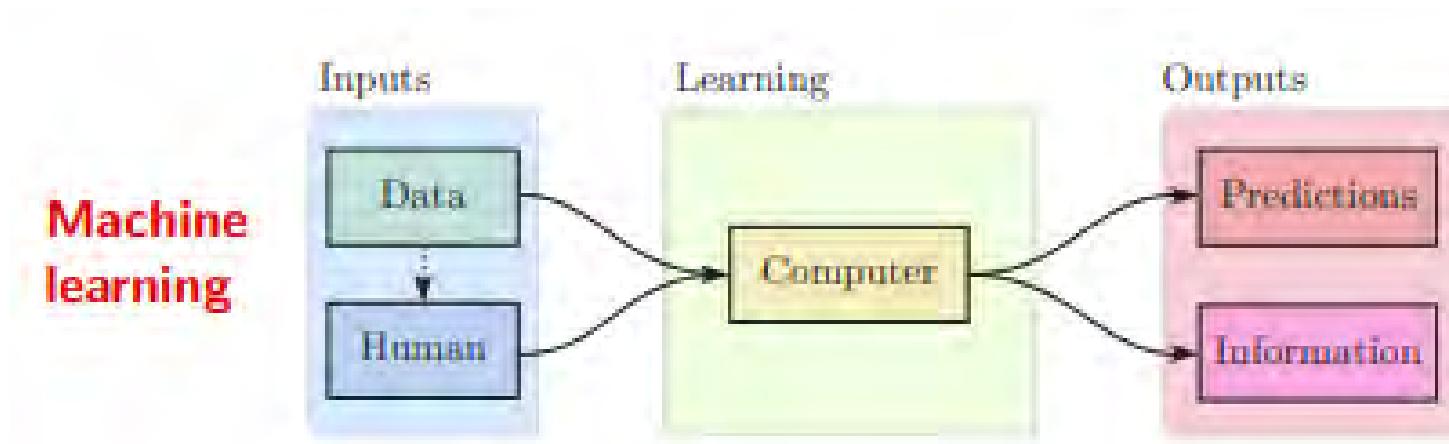


Cos'è il Machine Learning?

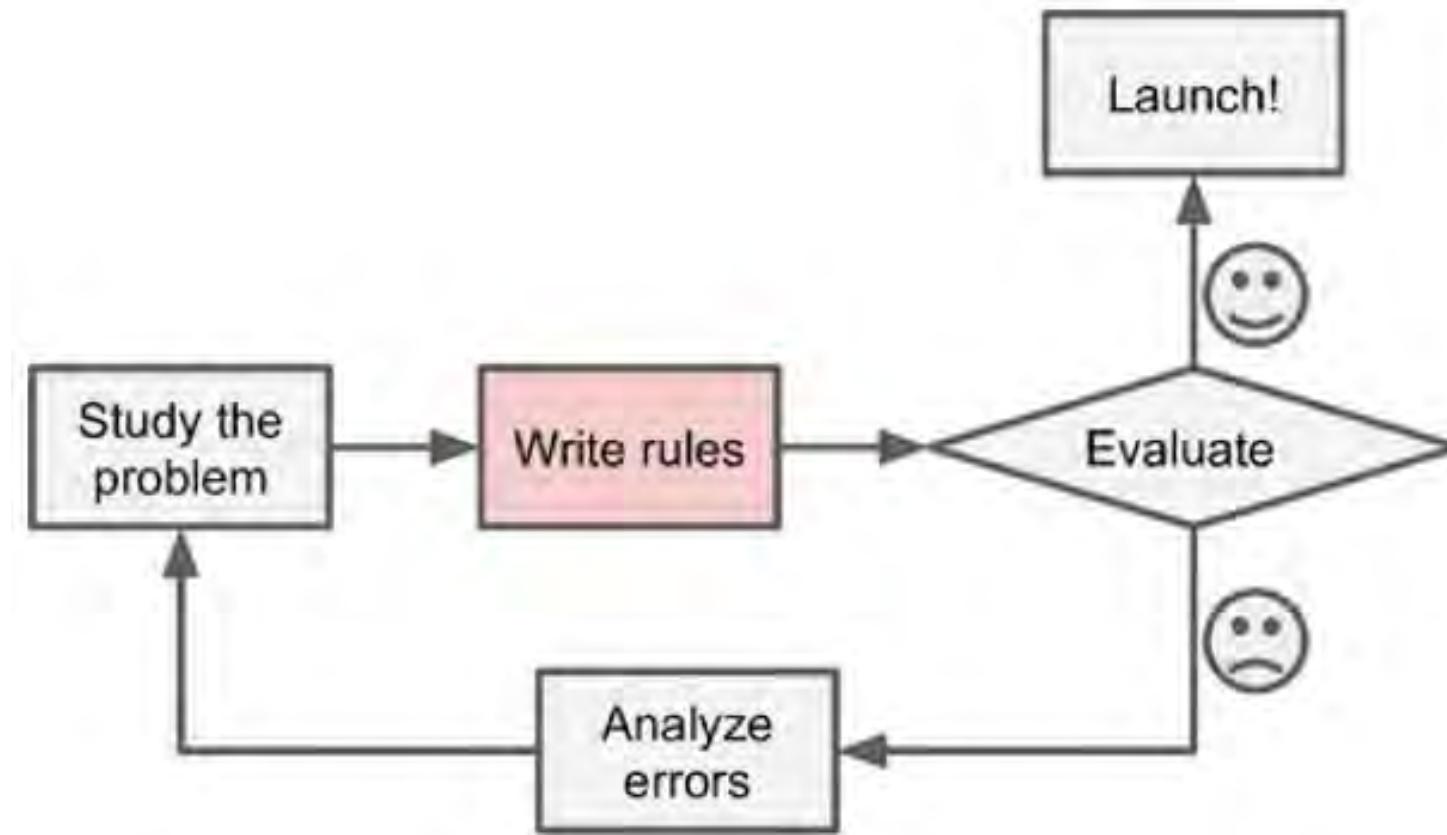
- **Il Machine Learning (ML) è la scienza (e l'arte) della programmazione dei computer affinché possano apprendere dai dati.**

Il Machine Learning è il campo di studio che dà ai computer la capacità di apprendere senza essere esplicitamente programmati.—Arthur Samuel, 1959

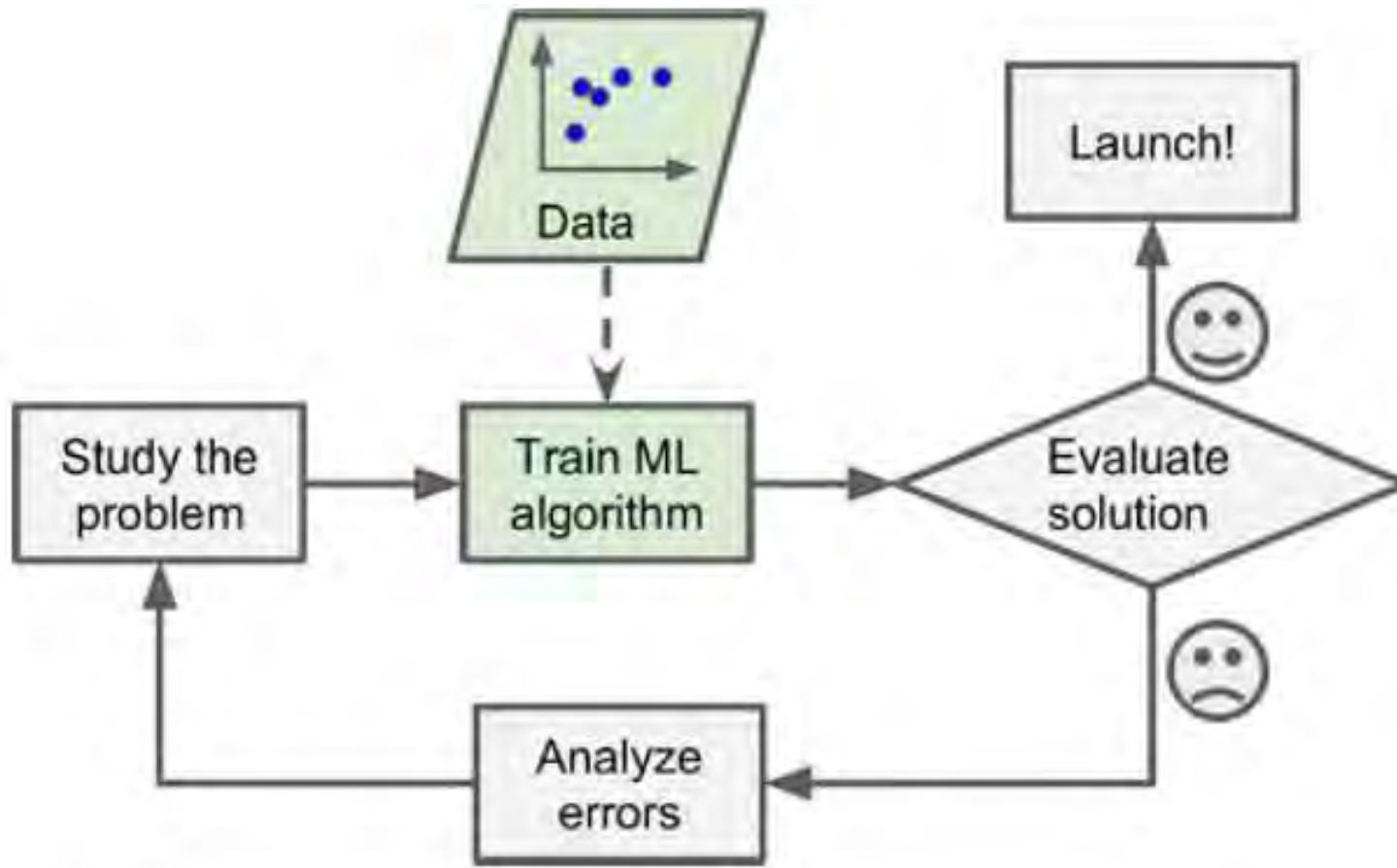
Si dice che un programma per computer apprende dall'esperienza E rispetto a un compito T e a una misura di performance P, se la sua performance su T, misurata da P, migliora con l'esperienza E.—Tom Mitchell, 1997



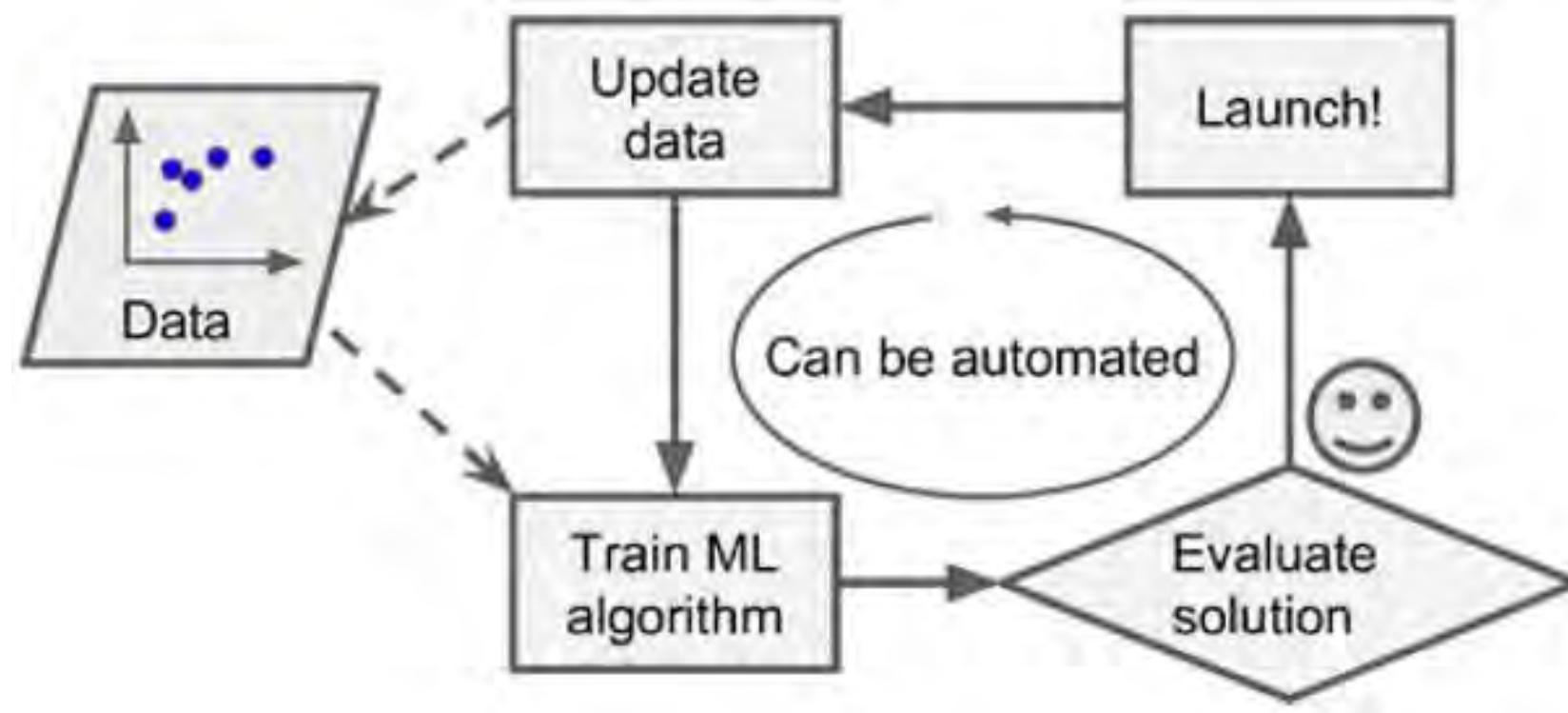
L'approccio tradizionale



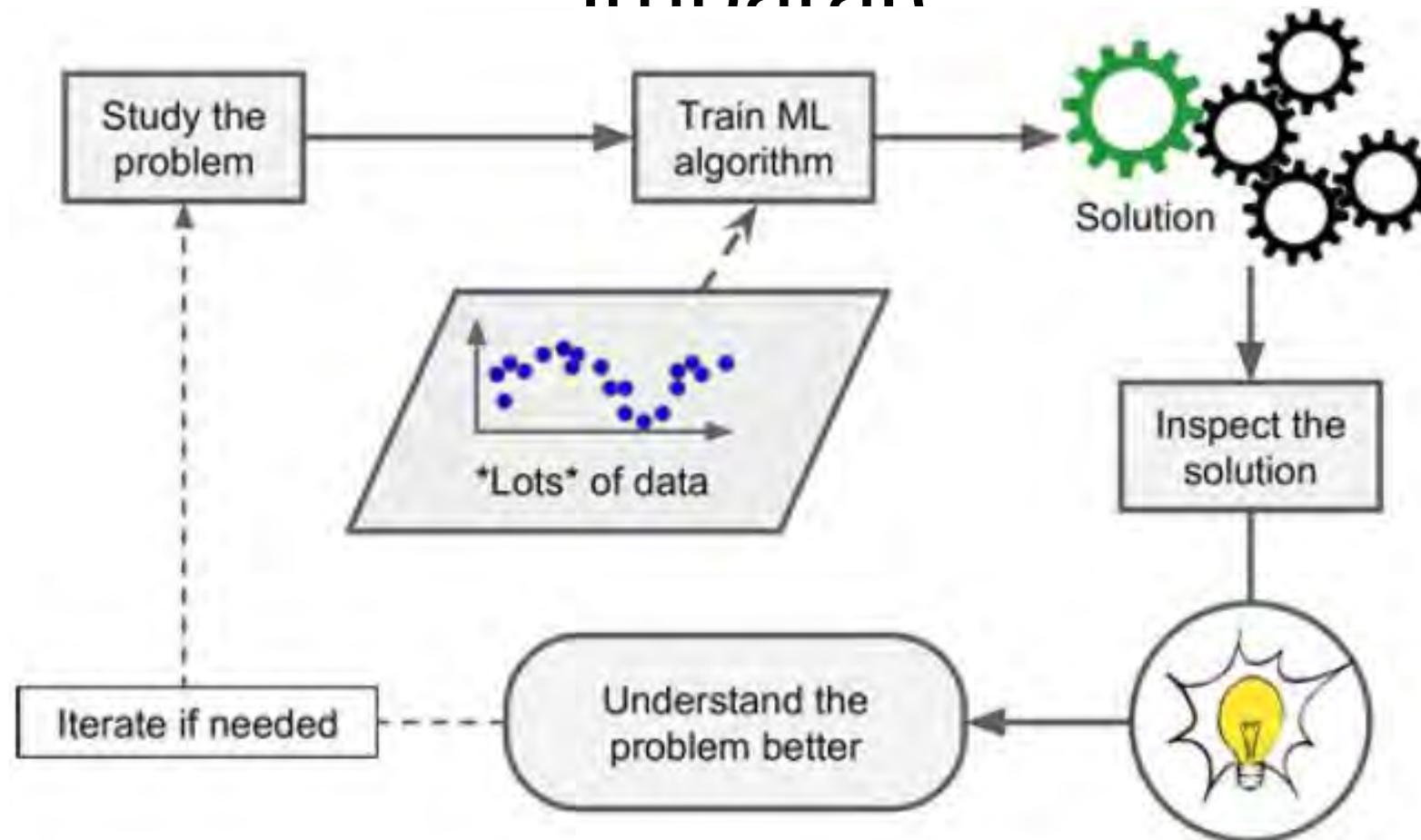
L'approccio del Machine Learning



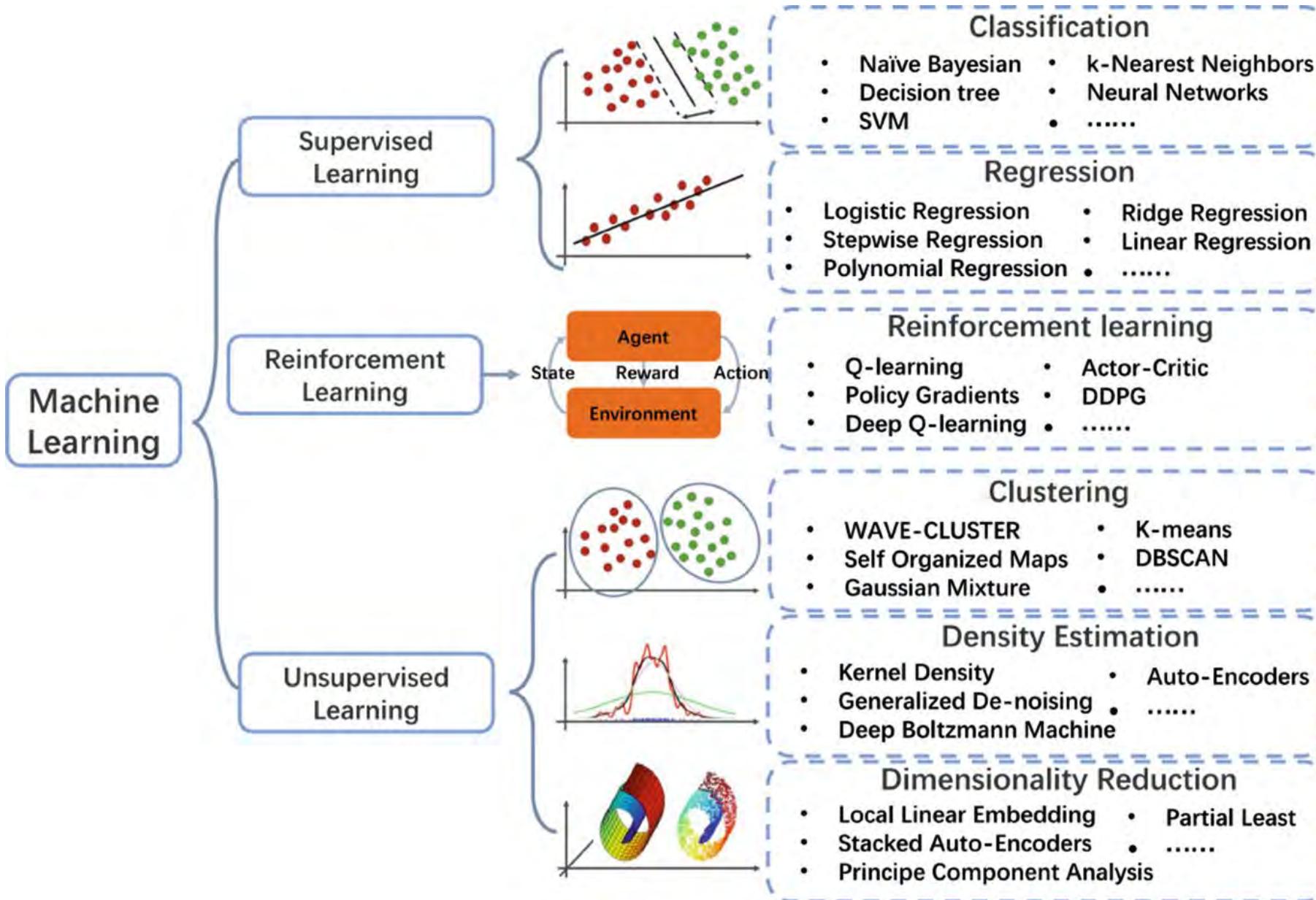
Adattamento automatico al cambiamento



Il Machine Learning può aiutare gli esseri umani a imparare

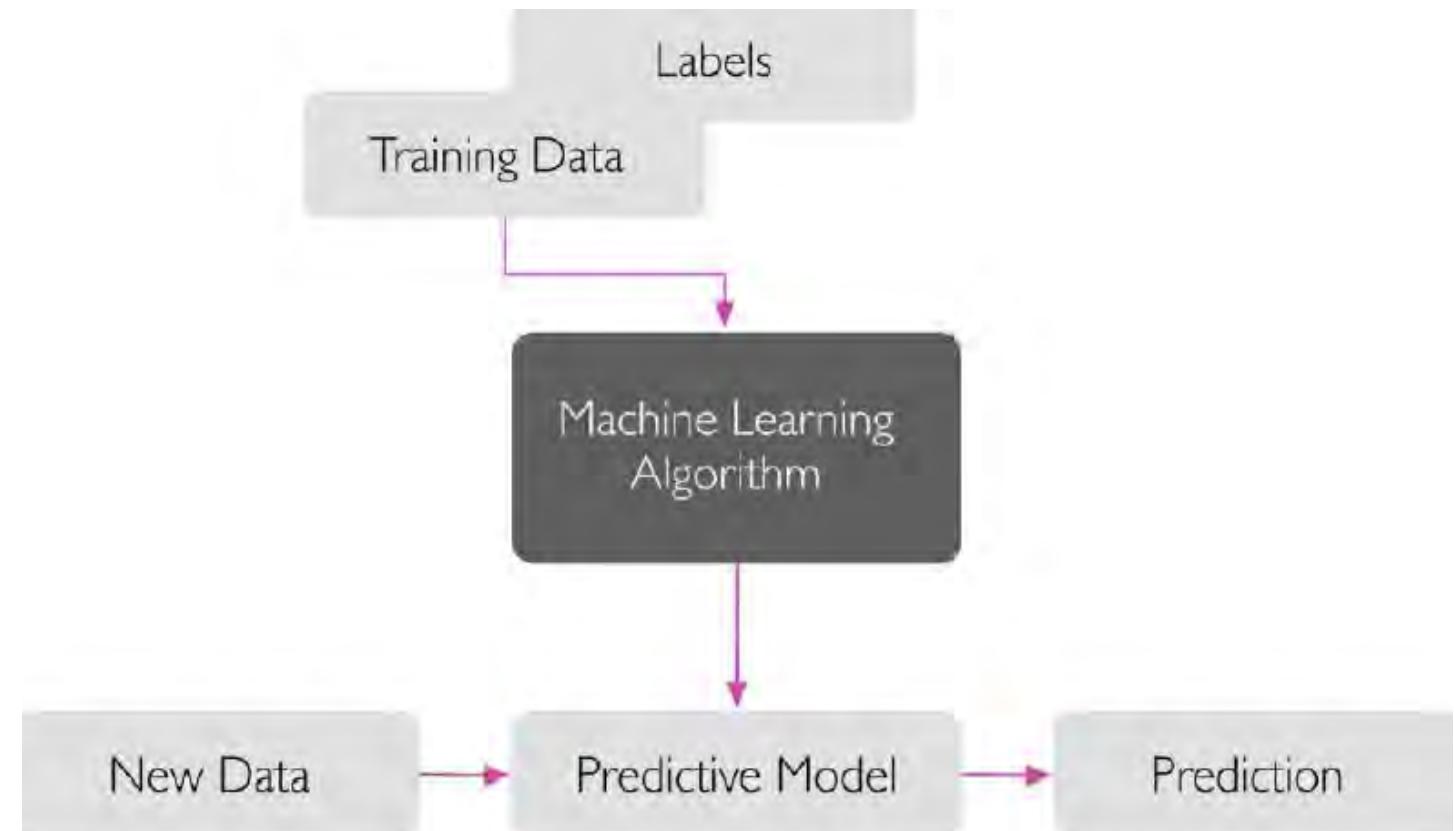


Tipi di sistemi di machine learning

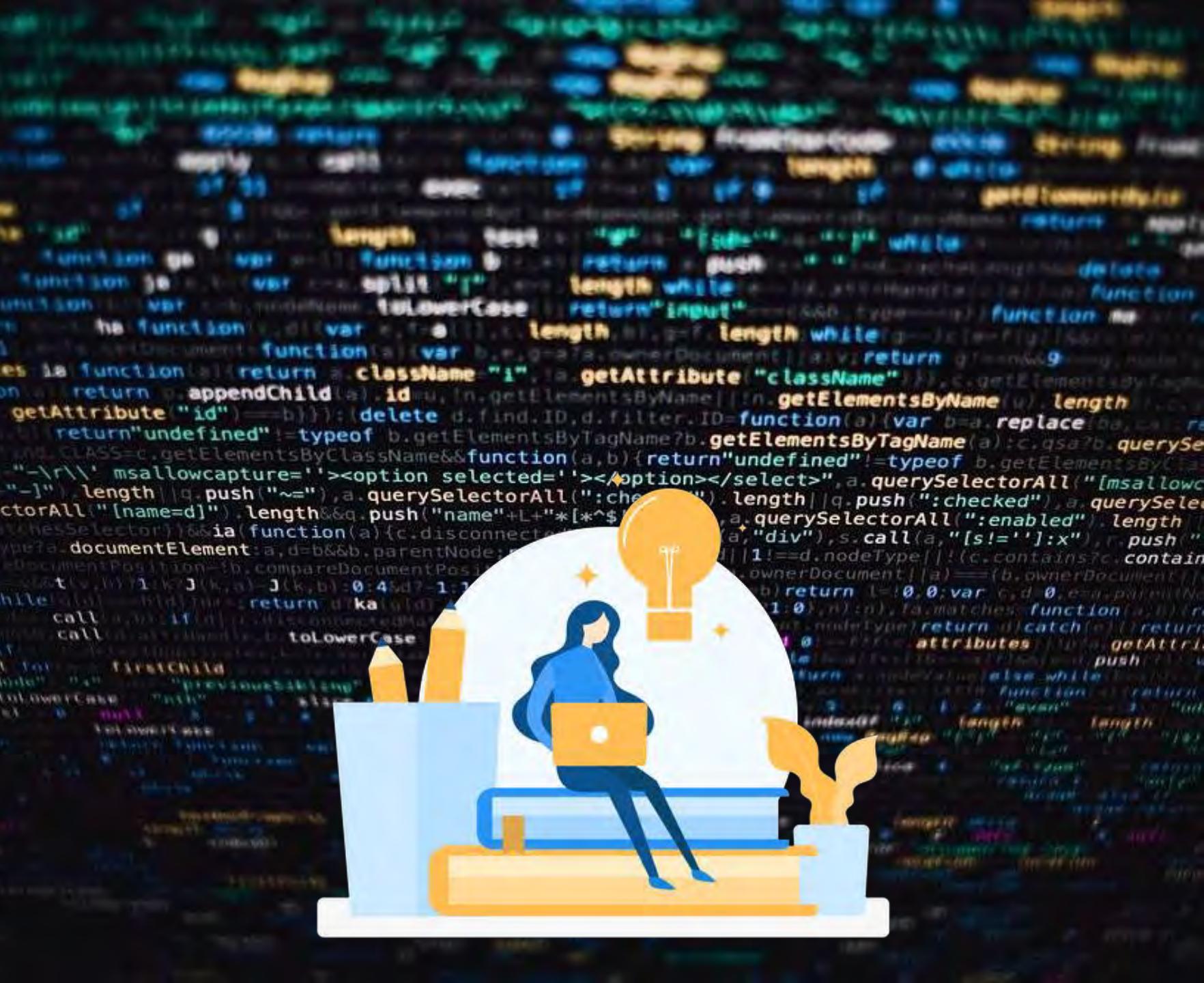


Supervised learning: classification and regression

- ❑ k-Nearest Neighbors
- ❑ Linear Regression
- ❑ Logistic Regression
- ❑ Support Vector Machines (SVMs)
- ❑ Decision Trees and Random Forests
- ❑ Neural networks
- ❑ ...



- **Tecniche di apprendimento automatico**
- Regressioni....per poi fare le reti neurali



La regressione consiste nel compito di modellare le relazioni tra le risposte di un sistema e le covariate che descrivono le proprietà di questo sistema.

Data

$$\mathcal{D} = \{(x_i, y_i), \forall i \in \{1 : D\}\}$$

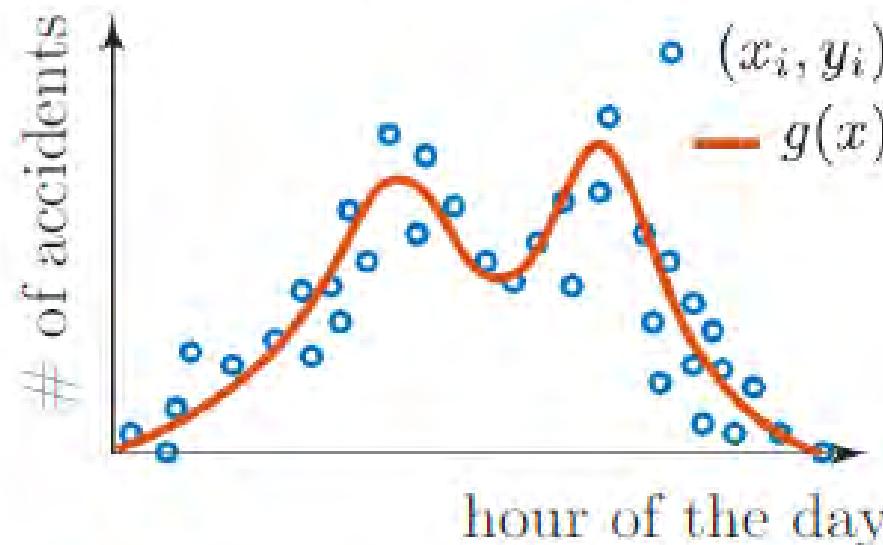
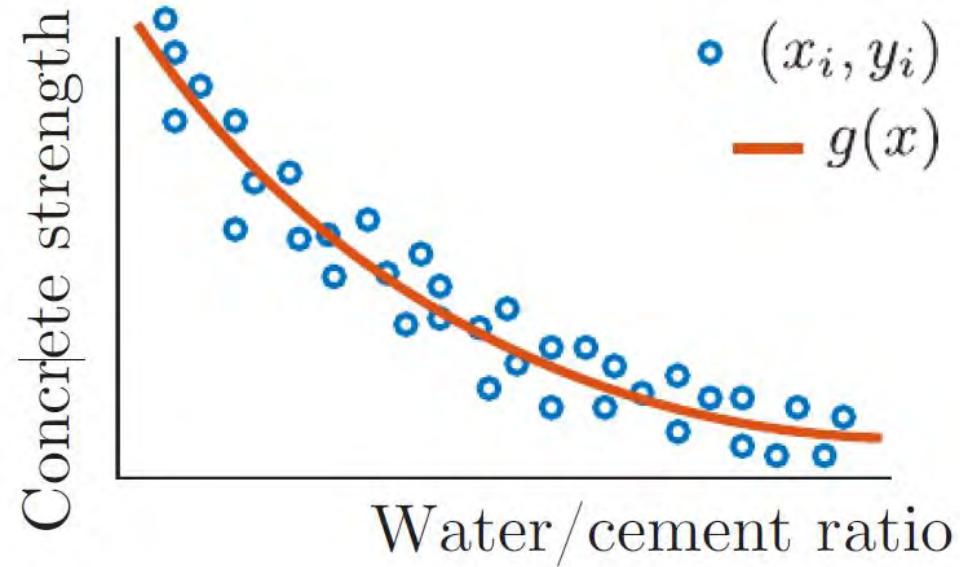
$x_i \in \mathbb{R}^x$:

Covariate
Attribute
Regressor

$y_i \in \mathbb{R}$: Observation

Model

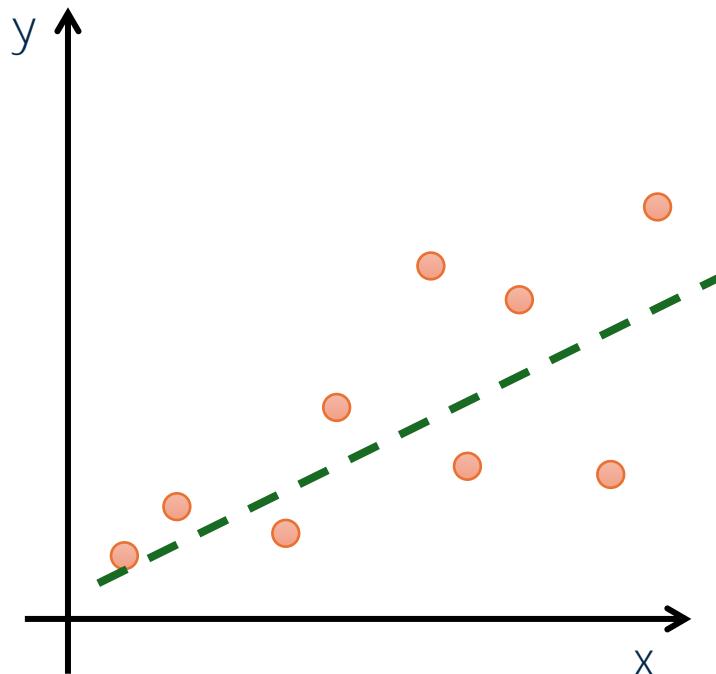
$$g(x) \equiv \text{fct}(x)$$



Regressione vs Interpolazione

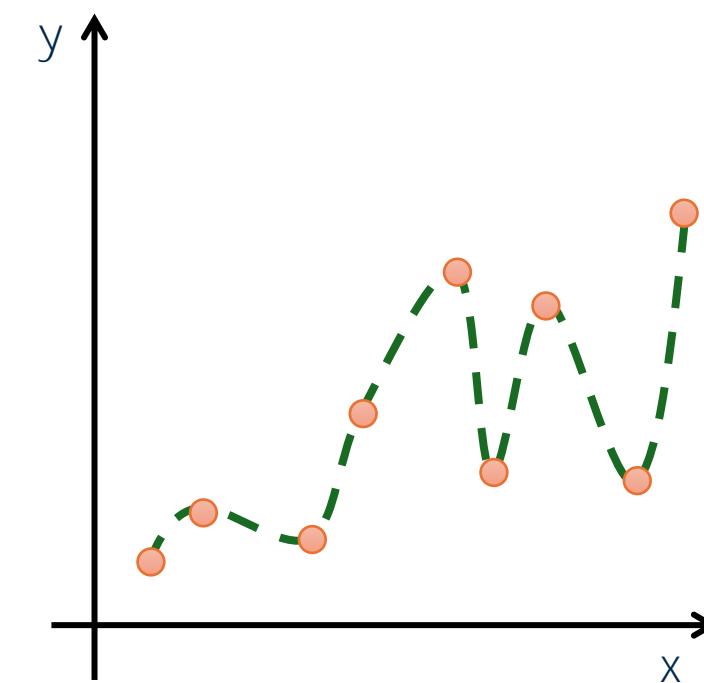
Want to find a such that for all i:

$$f(x_i; \mathbf{c}) \approx y_i$$



Want to find a such that for all i:

$$f(x_i; \mathbf{c}) = y_i$$



Linear Regression

Dataset: $\mathcal{D} = \{(\mathbf{x}_i, y_i), \forall i \in \{1:D\}\}$

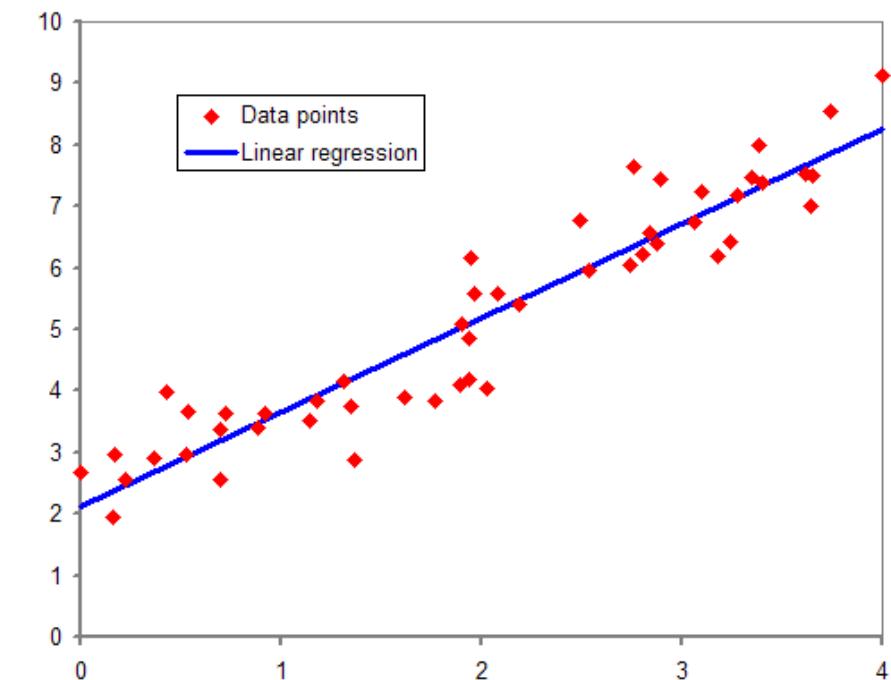
D pairs of points where $\mathbf{x}_i = [x_1, x_2, \dots, x_N]^T \in \mathbb{R}^N$ are covariates, also called attributed or regressors.

$y_i \in \mathbb{R}^1$ are the observed system response.

The regressor is a function such that

$f(x): \mathbb{R}^N \rightarrow \mathbb{R}^1$.

The simpler model is linear regression.



Regressione lineare

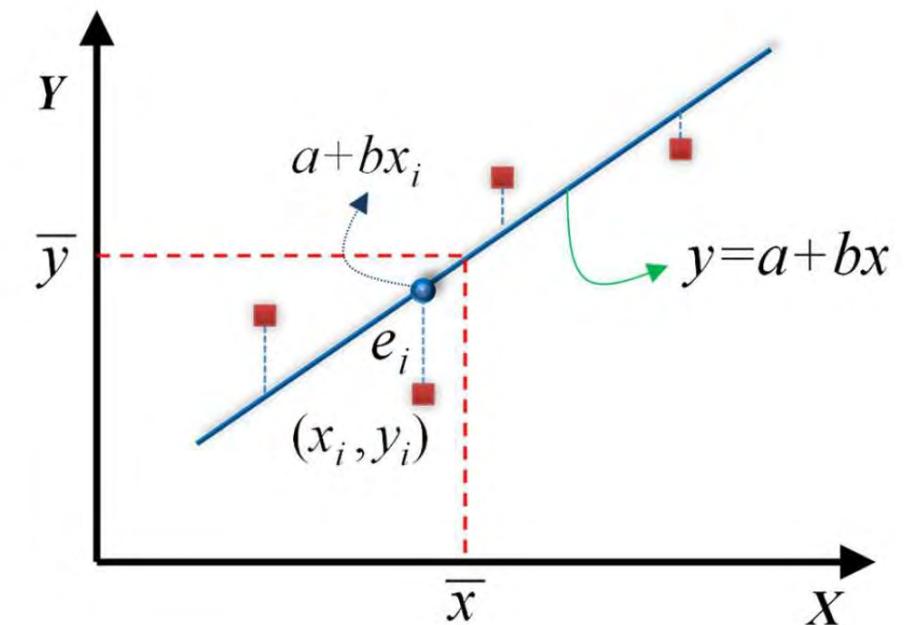
La forma più comune di regressione lineare è chiamata aggiustamento dei minimi quadrati.

La retta di adattamento migliore è data minimizzando la somma dei quadrati dei residui (spostamenti) dei punti dalla retta. Il quadrato permette di trattare questa quantità come differenziabile continua.

X: variabile indipendente (o predittore)

Y: variabile dipendente (o risposta) per dato X

$Y|X$



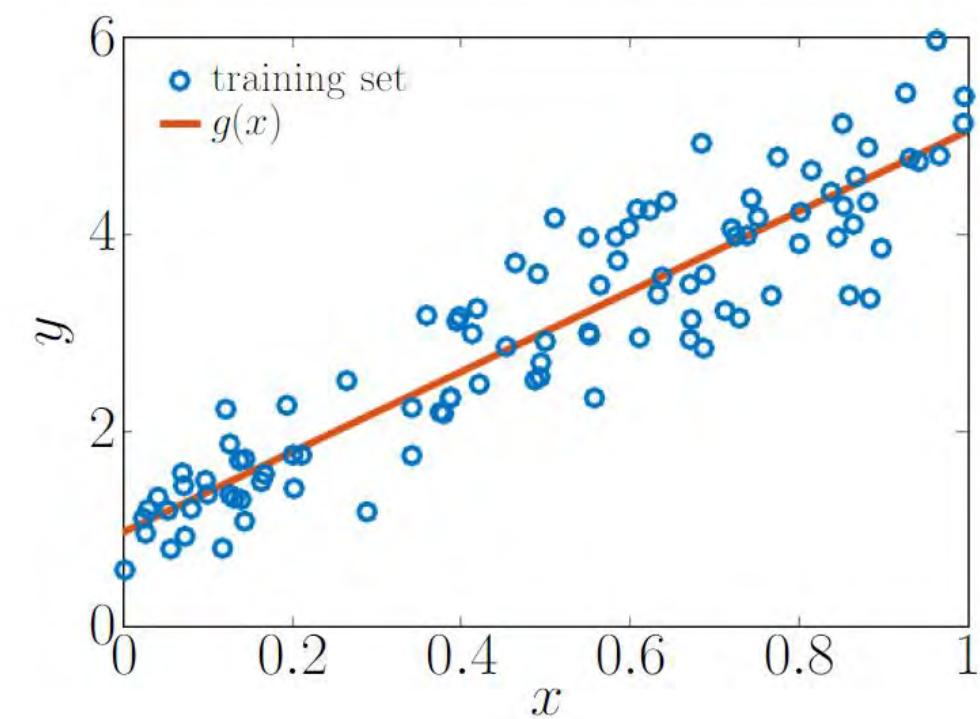
Regressione lineare

Lineare significa rispetto ai suoi parametri.

In generale, con una sola covariata x :

$$f(x) = c_0 + c_1\phi_1(x) + c_2\phi_2(x) + \cdots + c_n\phi_n(x)$$

Dove $\theta=c=[c_0, c_1, \dots, c_n]^T$ è il vettore dei parametri del modello e $\phi_i(x)$ sono la funzione base applicata sulle covariate x .



Mathematical Formulation Linear Regression

Special case: linear basis functions

$$\phi(x) = x$$

The model is:

In matrix form $g(x) = b_0 + b_1 x = [b_0 \ b_1] \begin{bmatrix} 1 \\ x \end{bmatrix}$

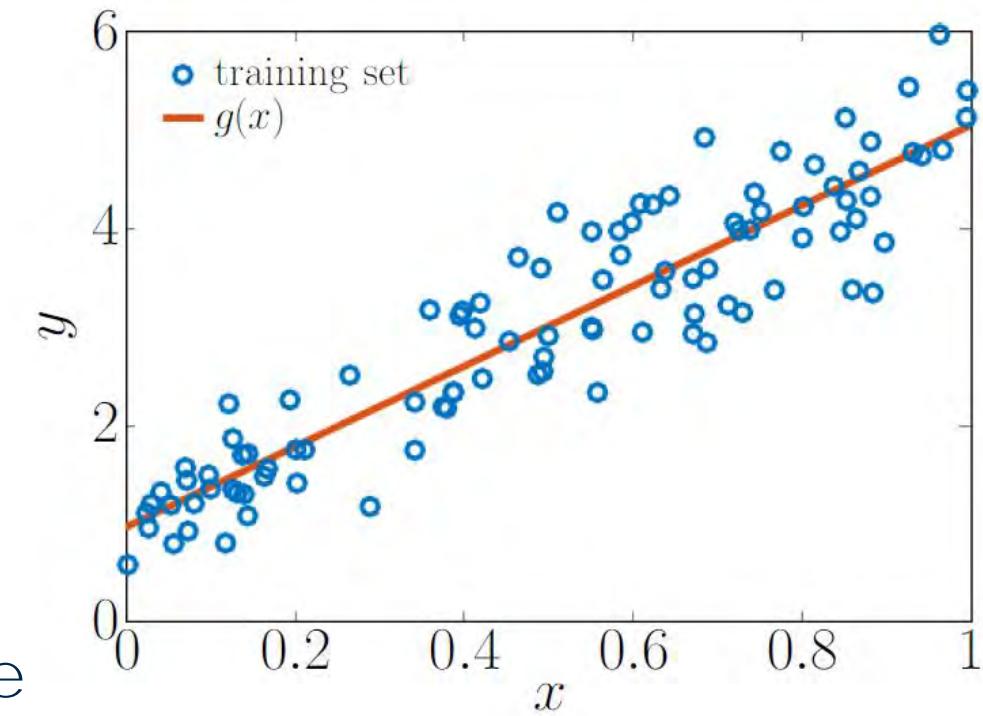
Identity Matrix

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\mathbf{b} + \mathbf{v}, \quad \mathbf{v} : \mathbf{V} \sim \mathcal{N}(\mathbf{v}; \mathbf{0}, \sigma_V^2 \cdot \mathbf{I}),$$

Separate now the set of observations

$\mathcal{D} = \{\mathcal{D}_x, \mathcal{D}_y\}$ in covariates \mathcal{D}_x and system response

\mathcal{D}_y .



Formulazione matematica Regressione lineare

Generalizzazione al caso in cui la relazione tra x e y è modellata dalla somma di più funzioni base

dove, in generale *puo essere funzione lineare o non lineare, ad esempio,*

$$\varphi_i(x) \varphi_i(x) = x^2, \varphi_i(x) = \sin(x), \dots$$

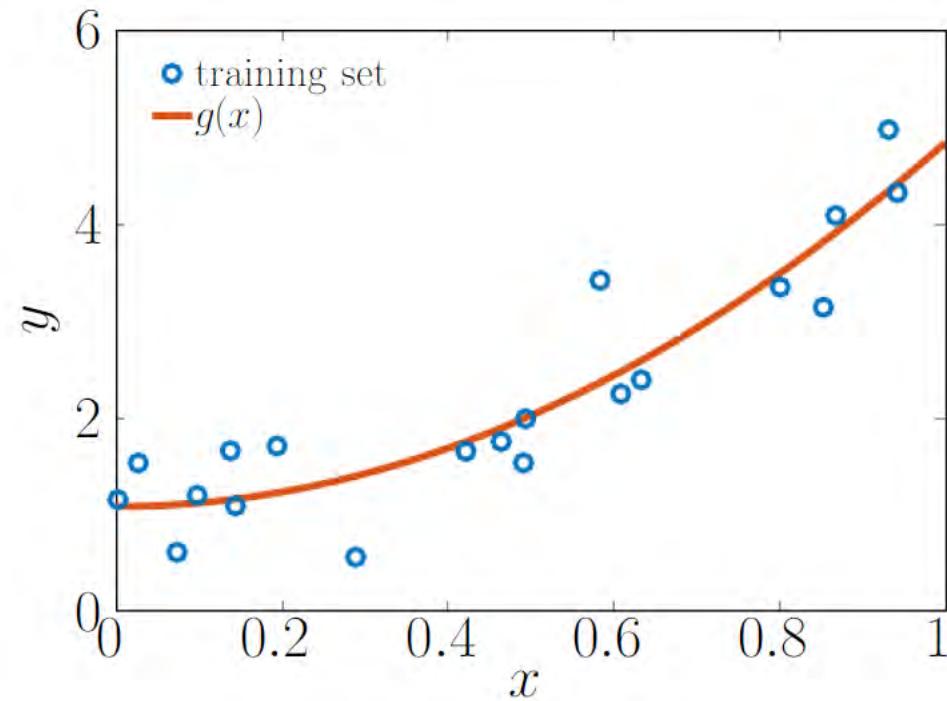
$$g(x) = b_0 + b_1 \phi_1(x) + b_2 \phi_2(x) + \dots + b_B \phi_B(x) = \mathbf{X}\mathbf{b},$$

$$\mathbf{b} = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_B \end{bmatrix}, \quad \mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_D \end{bmatrix}, \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & \phi_1(x_1) & \phi_2(x_1) & \cdots & \phi_B(x_1) \\ 1 & \phi_1(x_2) & \phi_2(x_2) & \cdots & \phi_B(x_2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \phi_1(x_D) & \phi_2(x_D) & \cdots & \phi_B(x_D) \end{bmatrix}$$

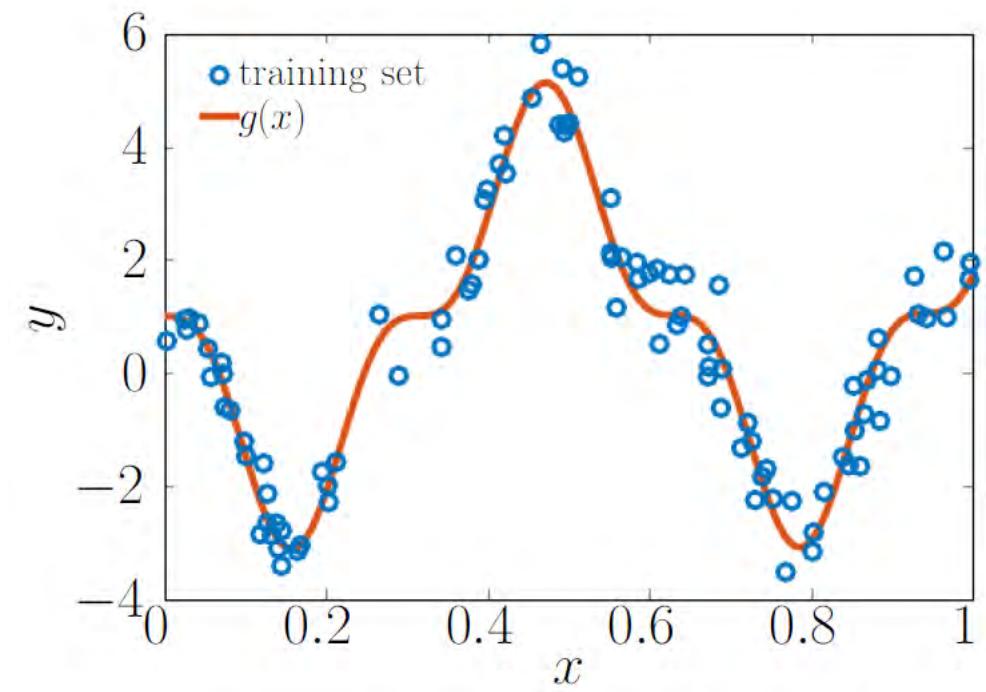
$$\boxed{\mathbf{b}^* = (\mathbf{X}^\top \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^\top \mathbf{y}.}$$

Mathematical Formulation Non-Linear Regression

Si noti che con la regressione lineare, il modello è necessariamente lineare rispetto a $\phi_i(x)$ e b , ma non a x .



$$(a) g(x) = b_0 + b_1 x^2$$

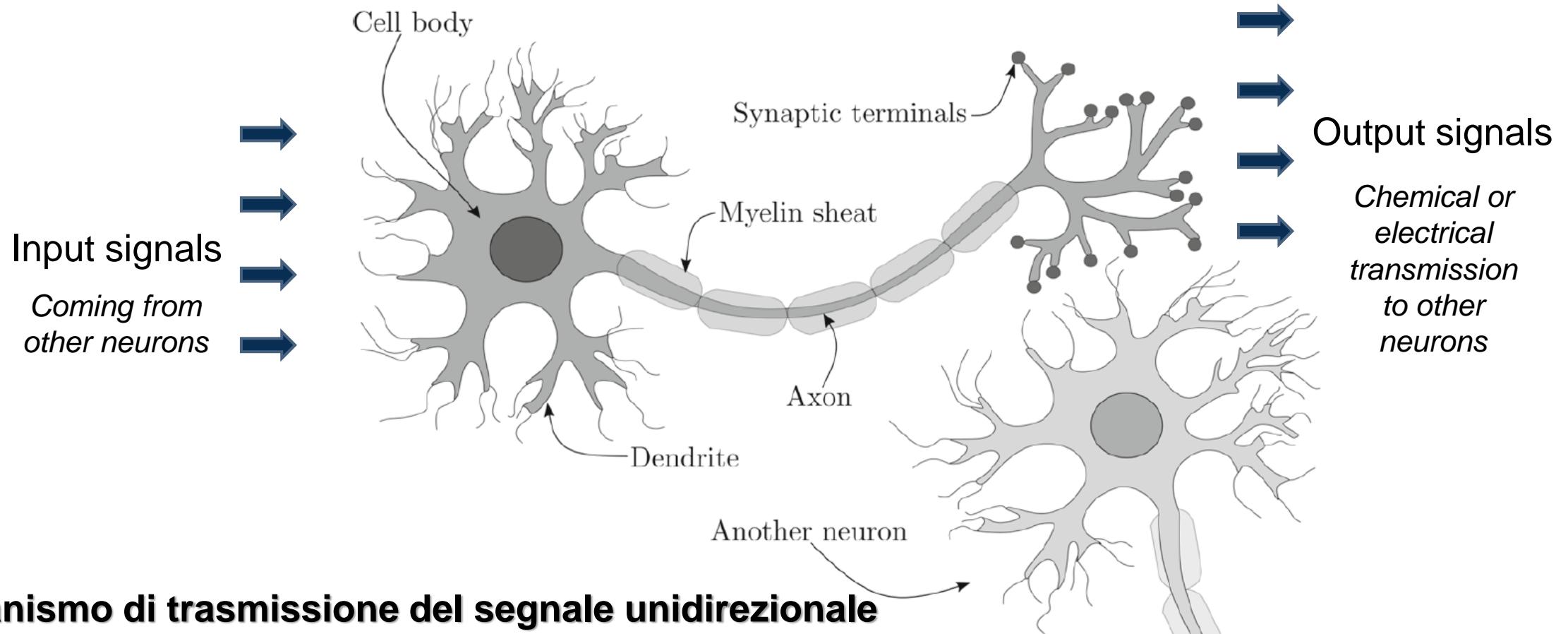


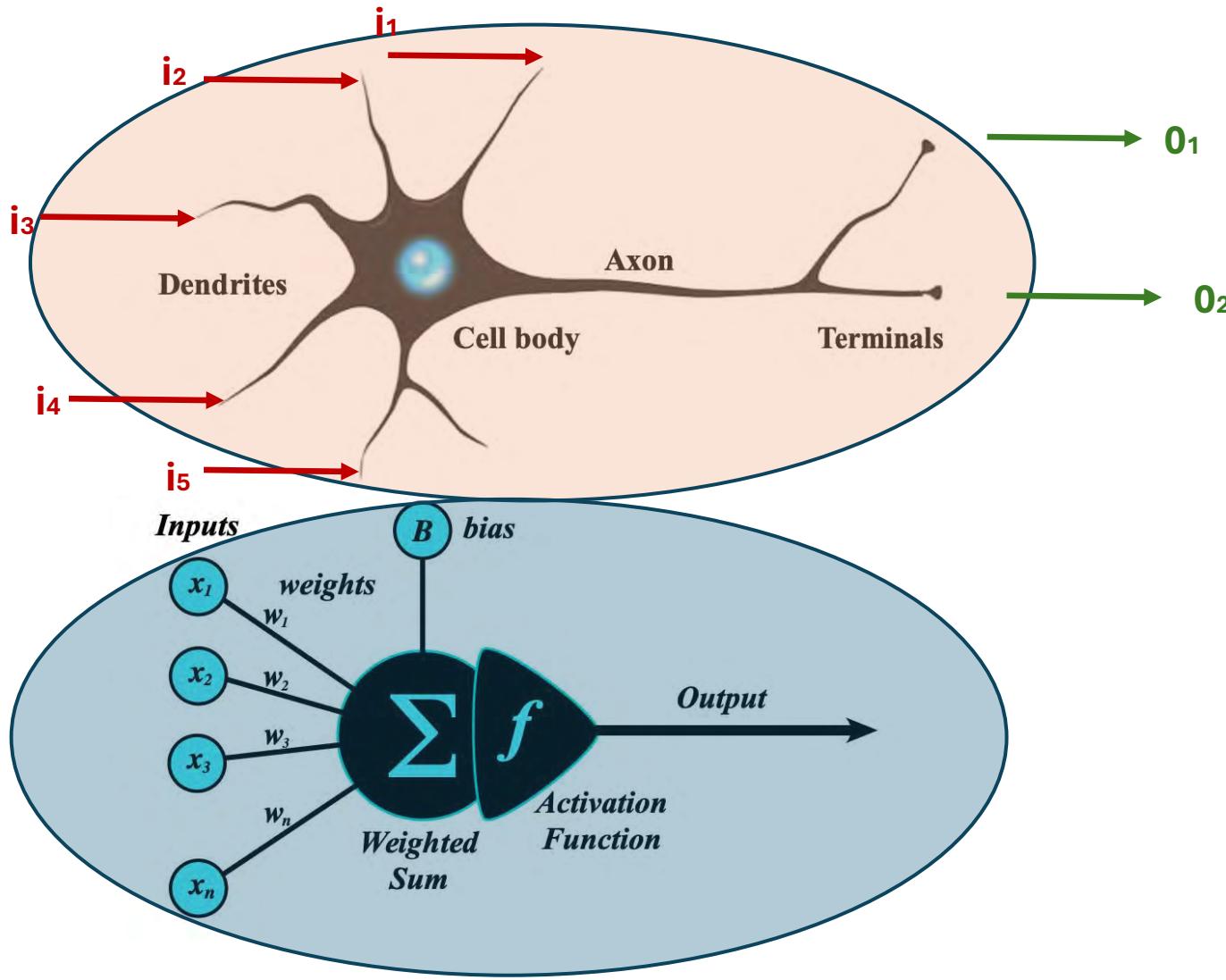
$$(b) g(x) = b_0 - b_2 \sin(10x)^3$$

Rete Neurale Artificiale (ANN)

McCulloch-Pitts (MCP) Neuron (1943)

Historically, Neuroscience and Biology wanted to explain how the human brain works





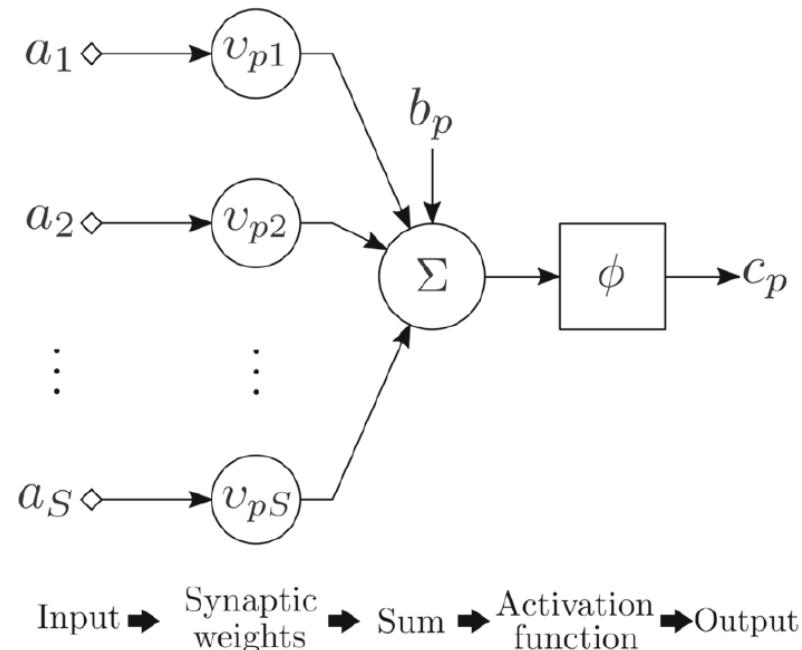
Natural neuron

Mathematical model

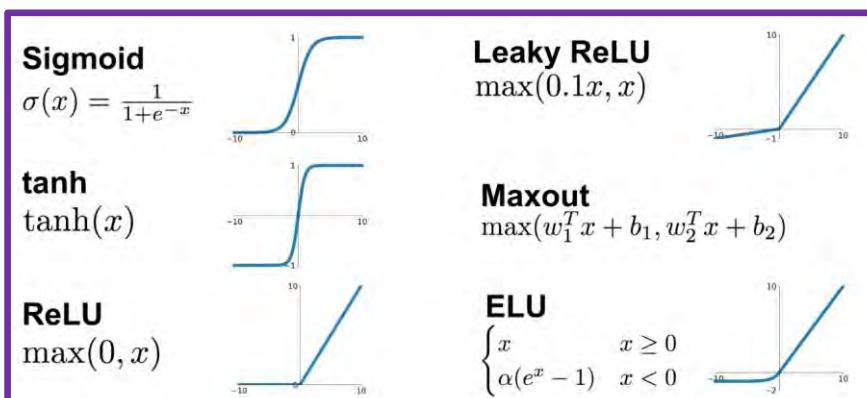
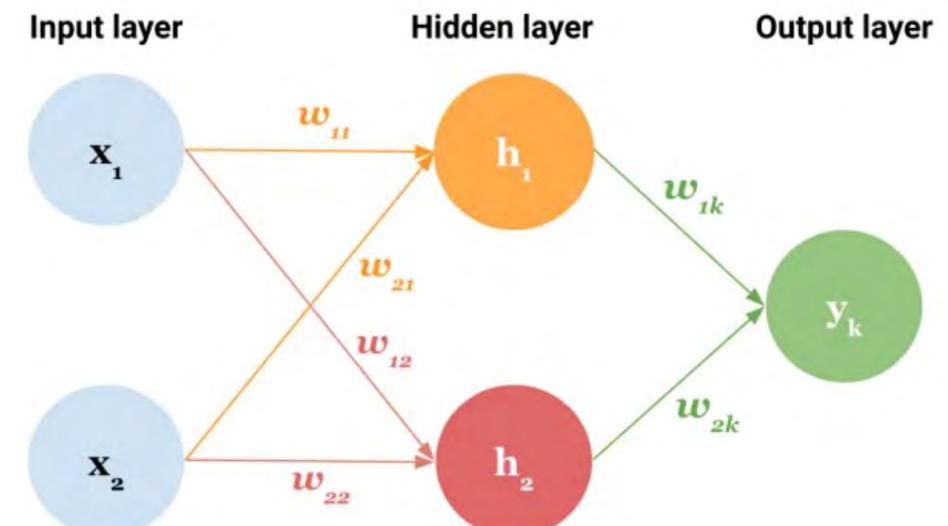
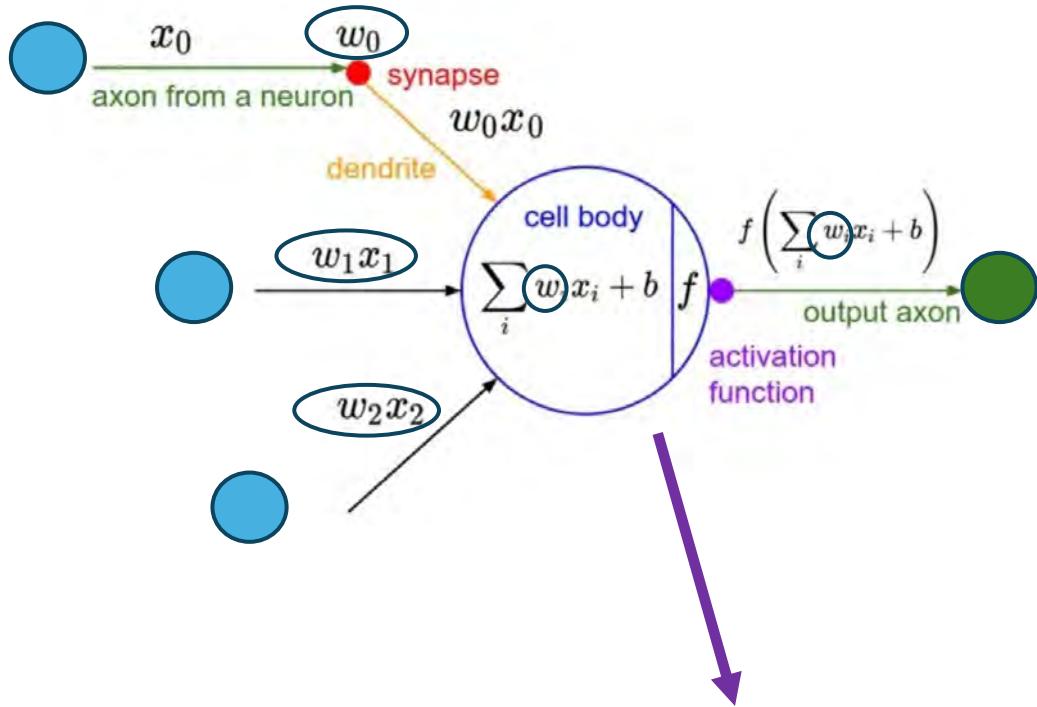
Artificial Neural Network

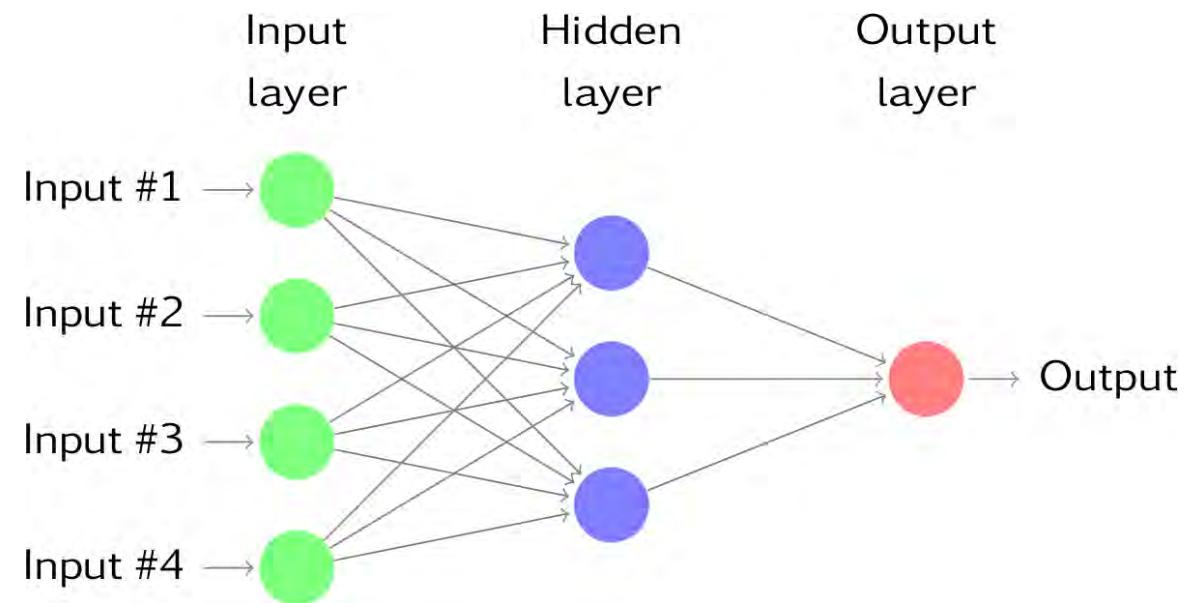
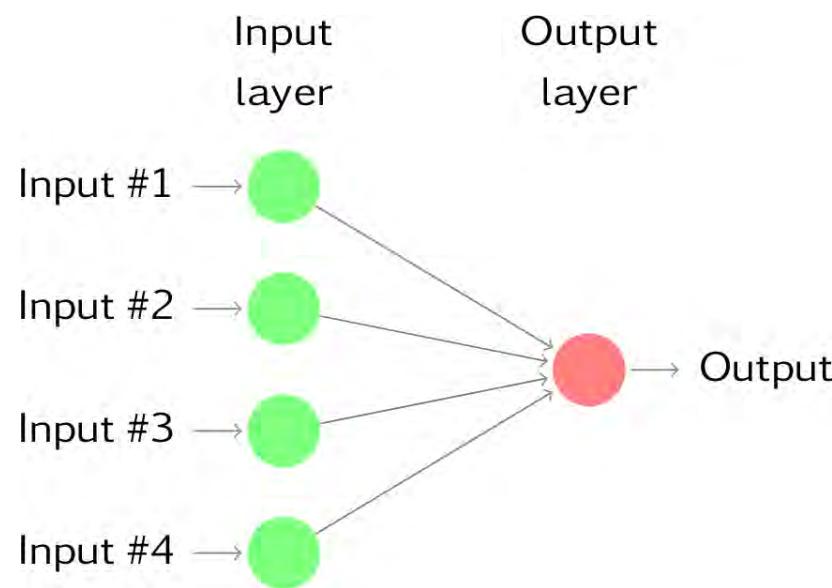
McCulloch-Pitts (MCP) Neuron (1943)

- Semplificato come una porta logica con output binario [0,1] (o [-1,1])
- Il segnale di ingresso accumulato raggiunge un valore di soglia, il segnale in uscita viene trasmesso attraverso l'assone
- Pochi anni dopo, F. Rosenblatt formalizzò la regola del Perceptron (RNA con un solo neurone)



Modello matematico





Perché le reti neurali funzionano

Approssimatori universali

Relazioni complesse

Nessun modello fisico esplicito

Complementari alla modellazione classica

Deep Learning

Reti neurali profonde

Fenomeni non lineari

CNN, RNN, GNN

Dati complessi

Cos'è il Deep Learning?



Part of the machine learning field of learning representations of data. Exceptional effective at learning patterns.

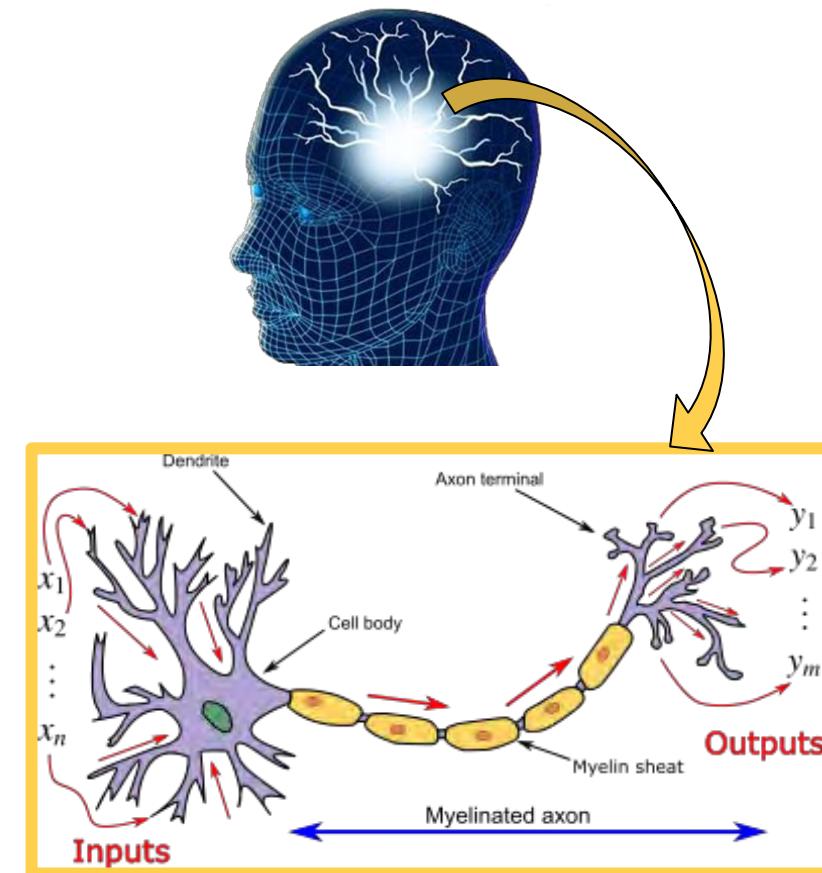


Utilizes learning algorithms that derive meaning out of data by using a hierarchy of multiple layers that mimic the neural networks of our brain.



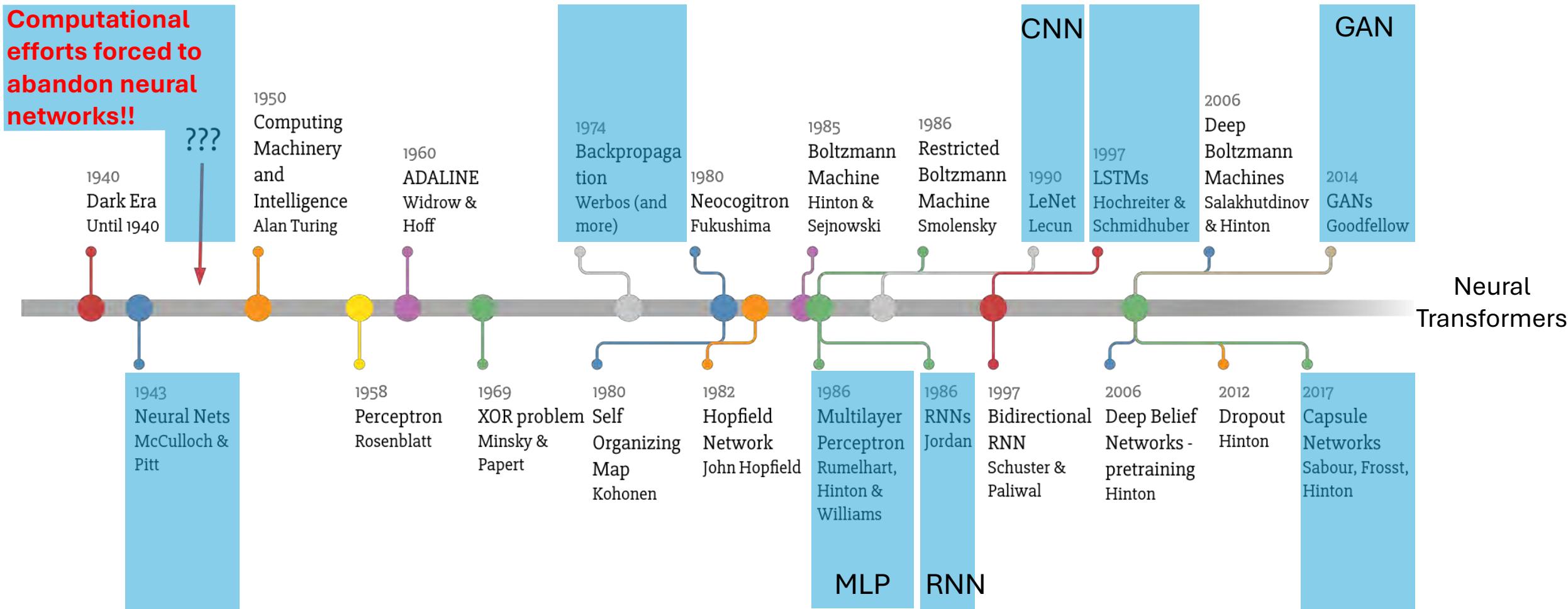
If you provide the system tons of information, it begins to understand it and respond in useful ways.

Inspired by Nature,
Brain and Neuroscience



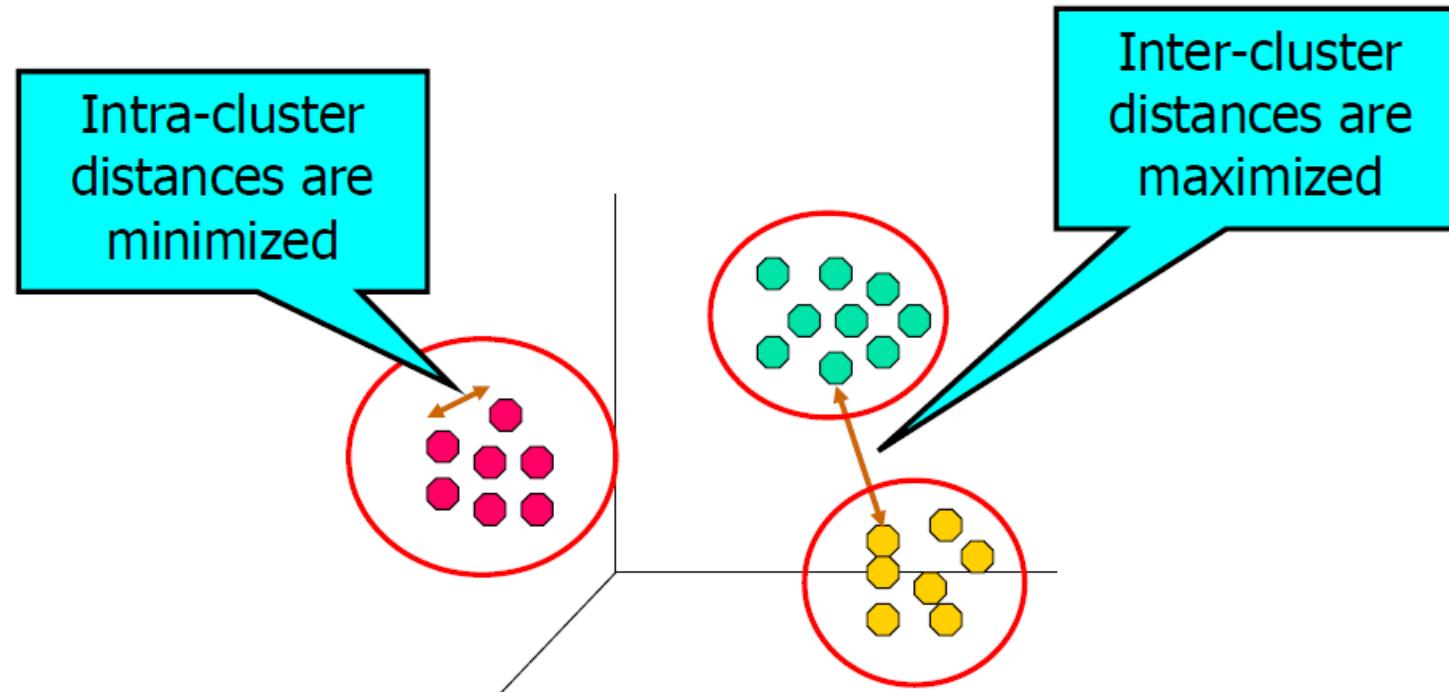
Phenomenological model
(schematization) of a neuron

Deep Learning Timeline



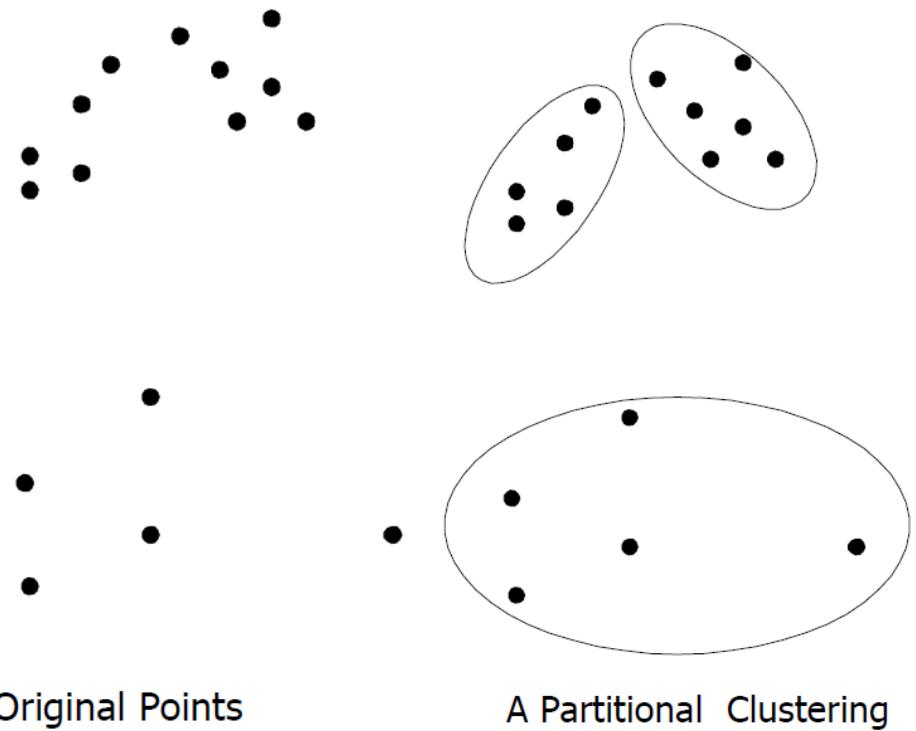
Analisi di clustering

- Finding groups of objects such that the objects in a group will be similar (or related) to one another and different from (or unrelated to) the objects in other groups



Tipi di cluster

- A **clustering** is a set of clusters
- Important distinction between **hierarchical** and **partitional** sets of clusters
- **Partitional Clustering**
 - A division data objects into non-overlapping subsets (clusters) such that each data object is in exactly one subset
- **Hierarchical clustering**
 - A set of nested clusters organized as a hierarchical tree

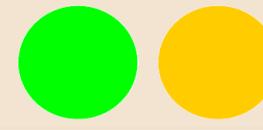
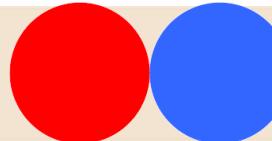


Types of clusters

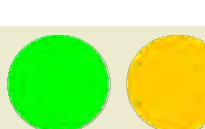
Well-separated clusters



Center-based clusters



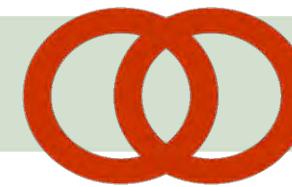
Contiguous clusters



Density-based clusters



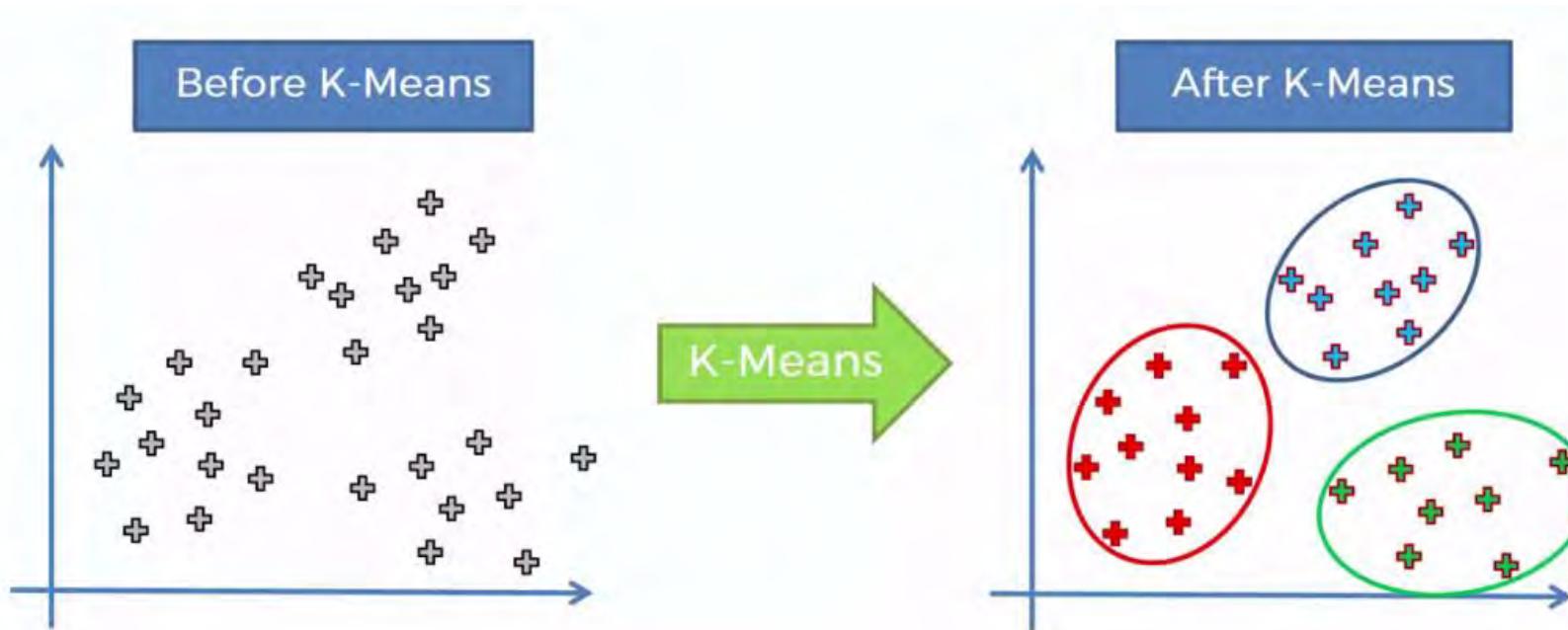
Property or Conceptual



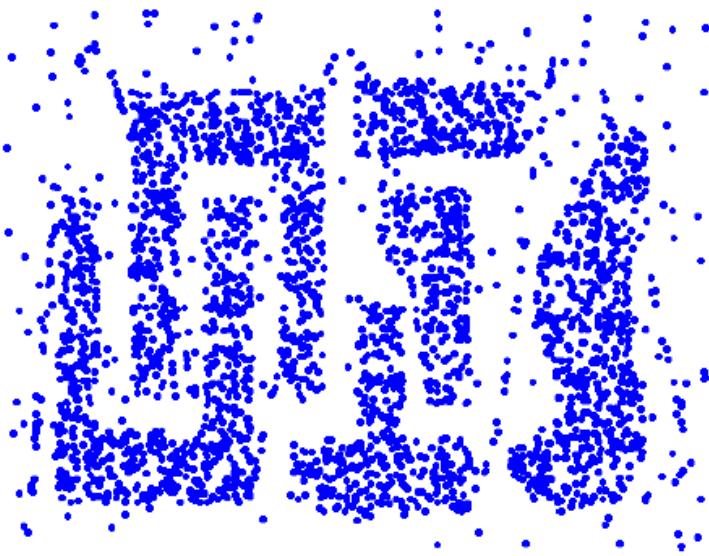
Described by an Objective
Function

Algoritmi di clustering

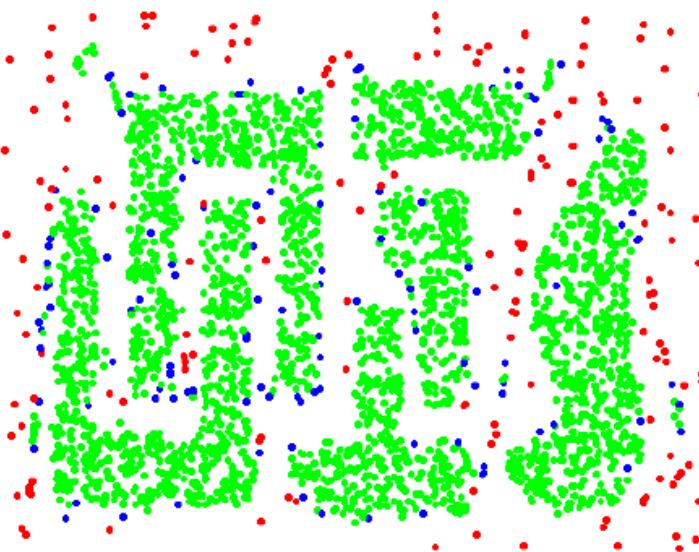
- K-means e sue varianti
- Clustering gerarchico
- Clustering basato sulla densità



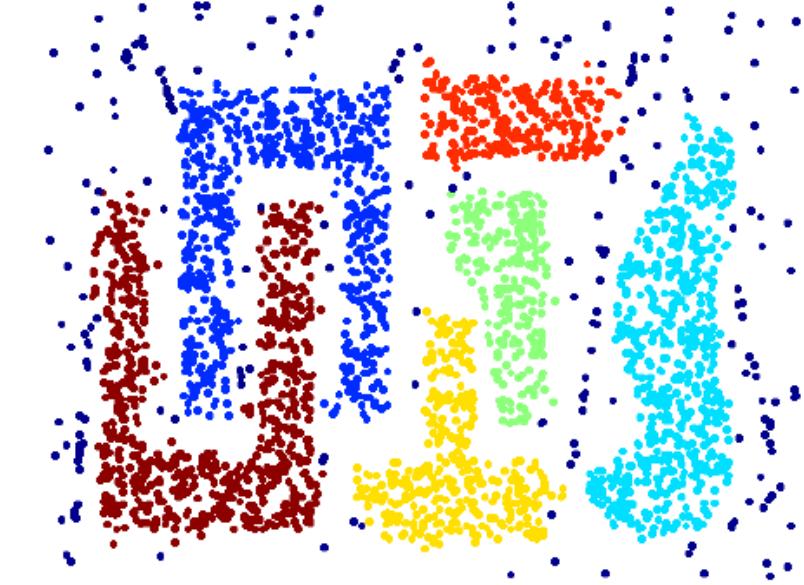
DBSCAN



Original Points



Point types: **core**,
border and **noise**



Clusters

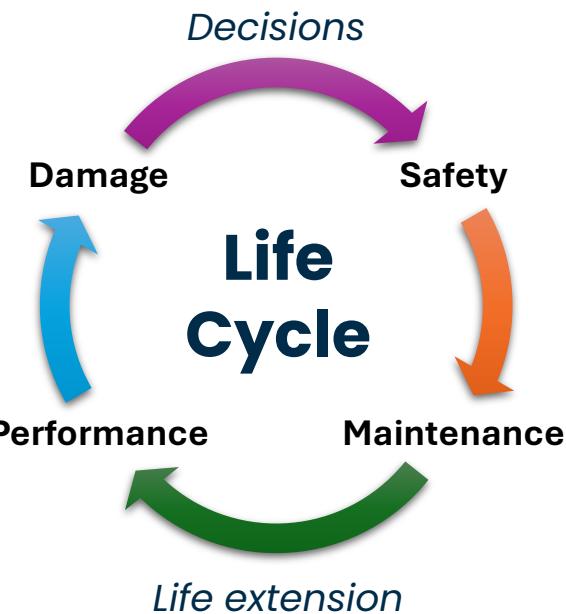
- **Introduzione a**
- **Monitoraggio**
della salute
strutturale

- Perché la AI è necessaria....



Paradigma SHM aumentato

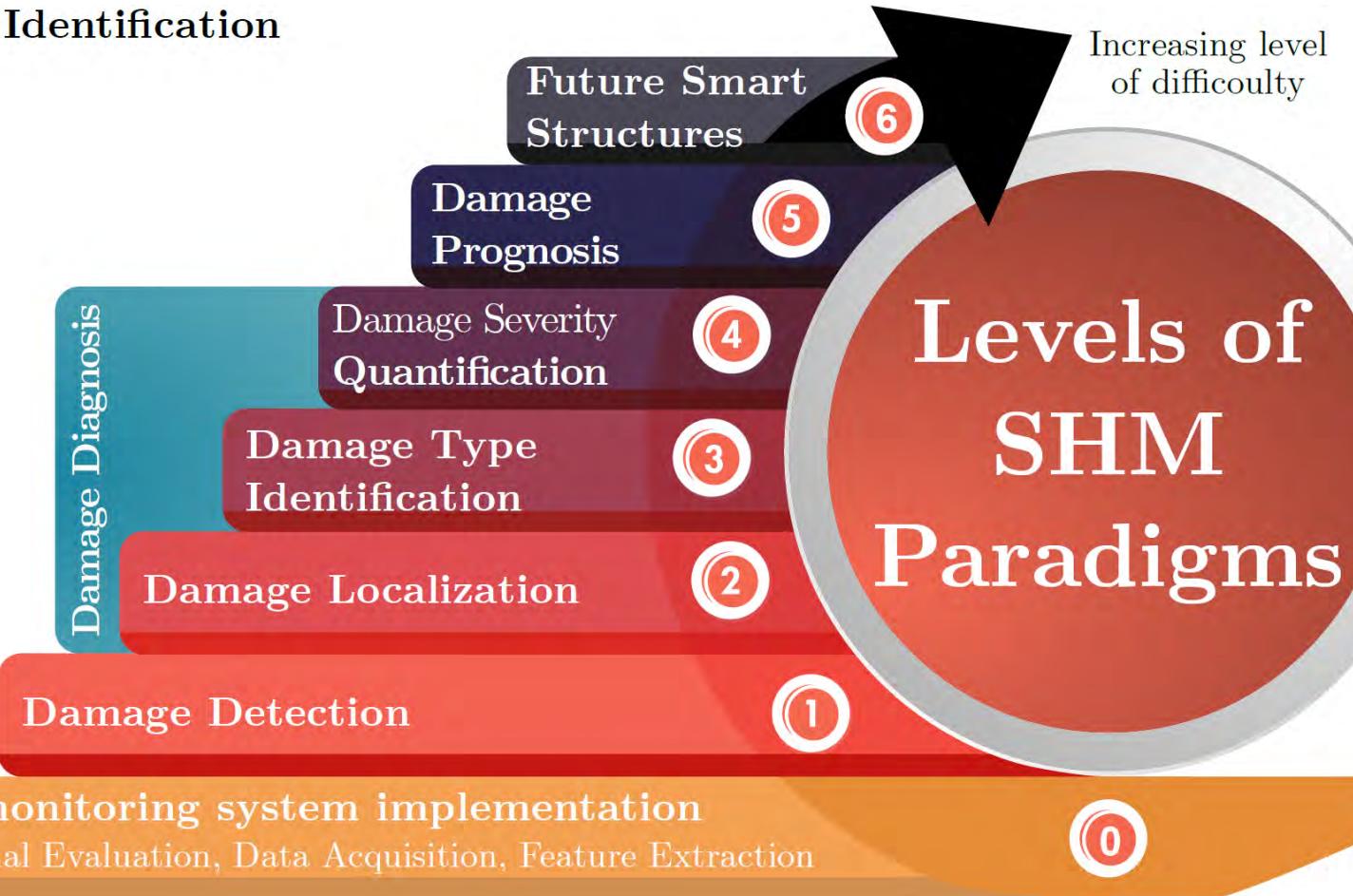
Monitoring



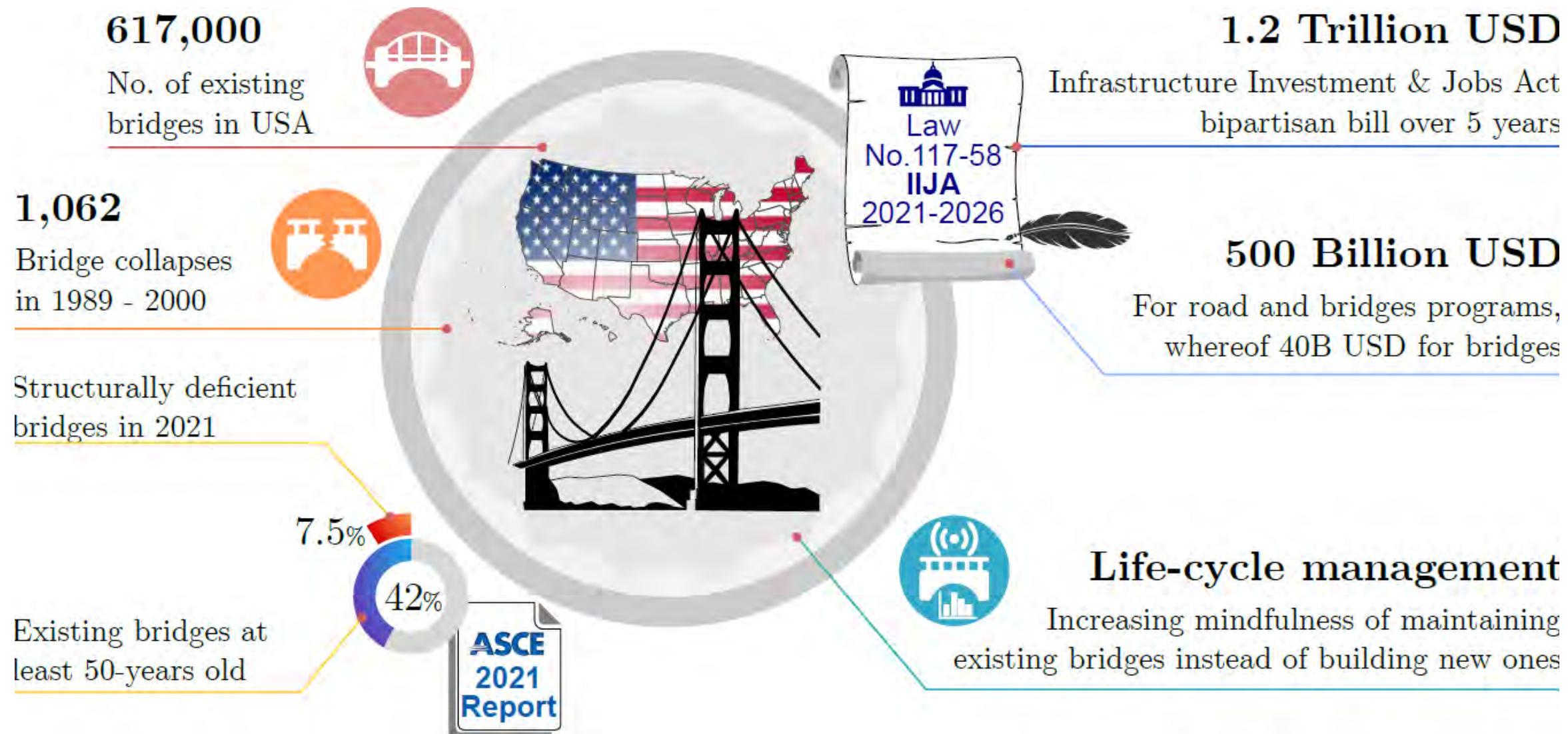
Damage Identification Process

Actions

SHM monitoring system implementation
Operational Evaluation, Data Acquisition, Feature Extraction



Strategie SHM all'estero: prospettiva statunitense in sintesi



SHM Strategia Europea

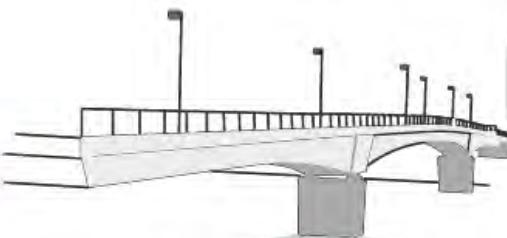
38 Billion EUR

Member States expenditure in 2016 for roadways maintenance



17,000 km

Italy Railway length with about 9,660 bridges



837,493 km

Italy Roadway length divided in five categories



1960 - 1980

Construction era for 80% of Italian highways



Bridge collapse in Italy due to human factors

18%

Collapse for degradation due to lack of maintenance

7%



EU Green Transition

EU Green Deal in 2019 in line with UN Agenda 2030



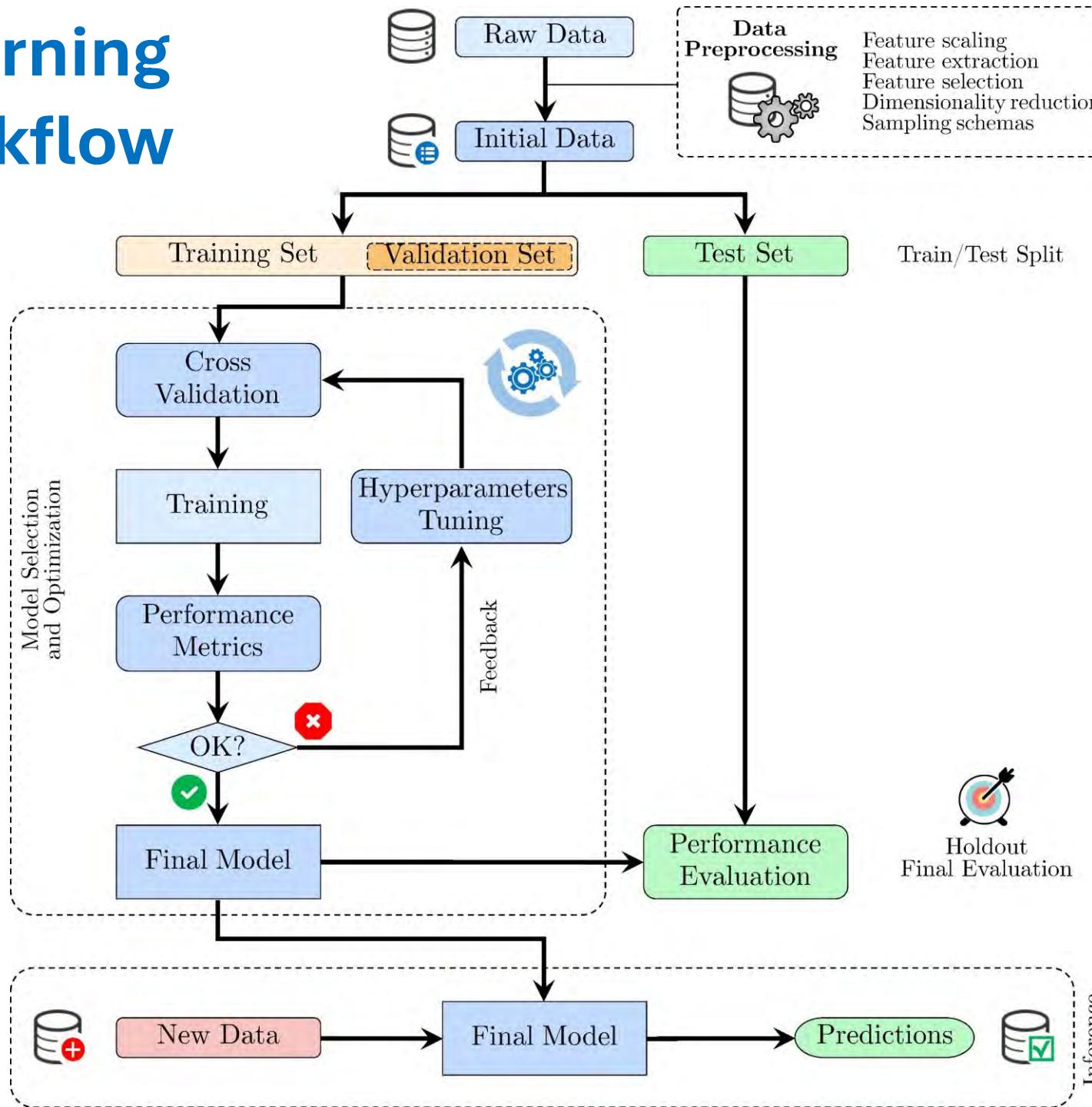
Funded by the European Union
NextGenerationEU

31,4 Billion EUR

Infrastructure for sustainable mobility: 25,3B PNRR & 6,1B Complementary Fund



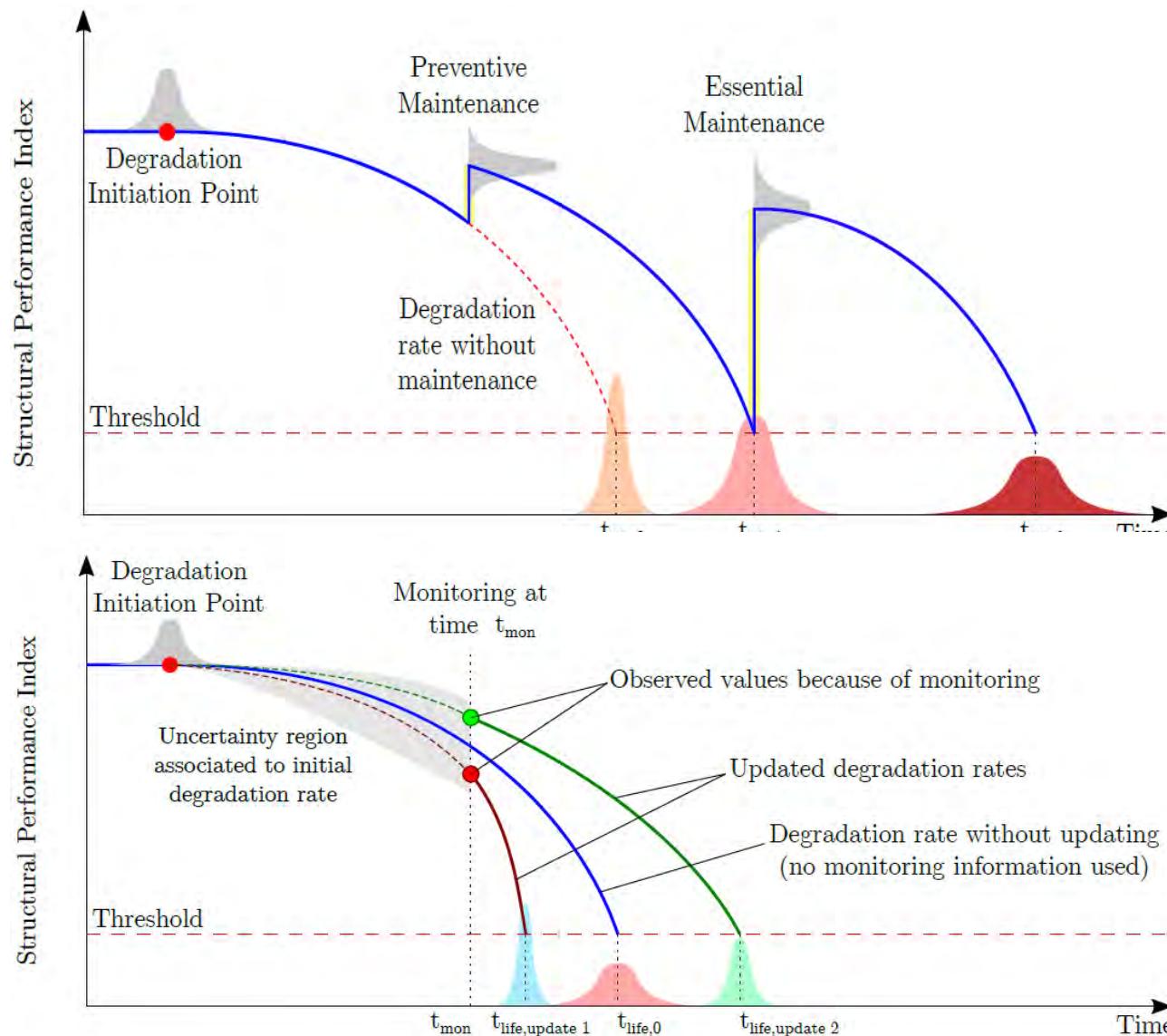
Machine Learning General Workflow



- **ML-aided
Damage
Detection
strategies**
- Artificial Intelligence
integration for damage
detection

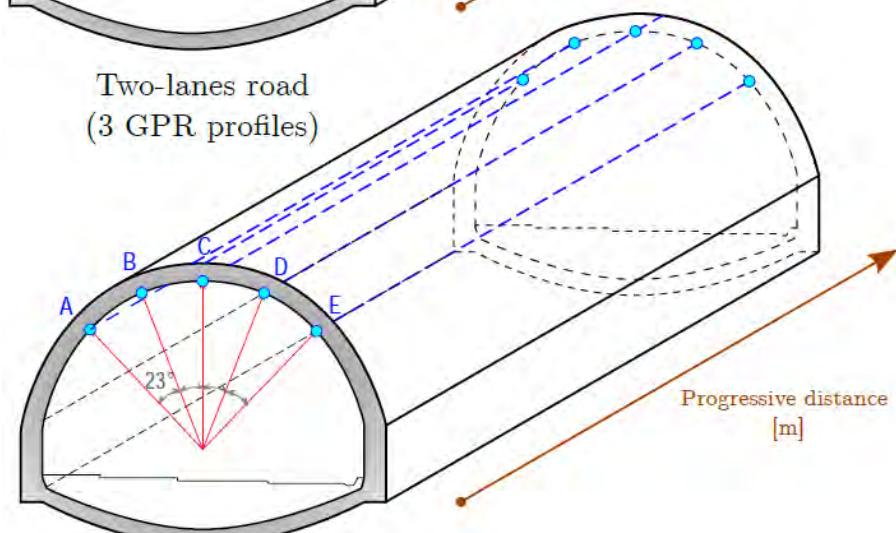
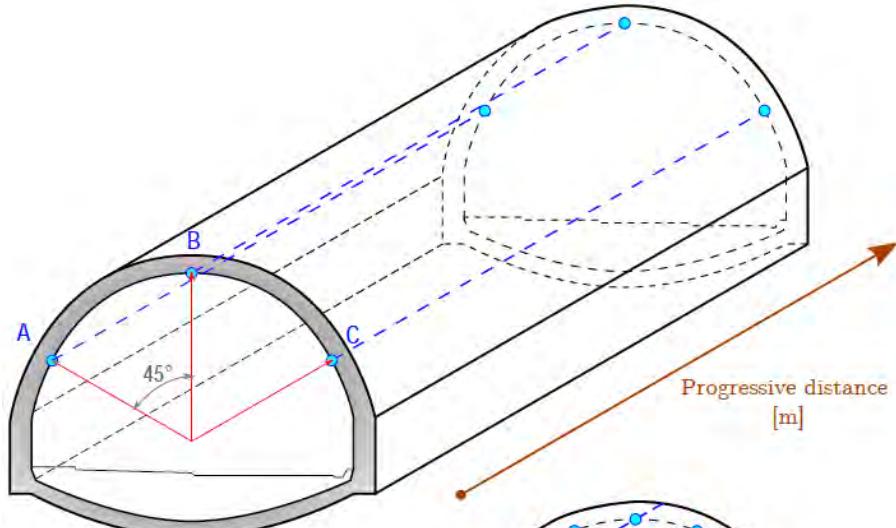


Filosofie di rilevamento e manutenzione dei danni



Test e valutazione non distruttivi per il rilevamento dei danni

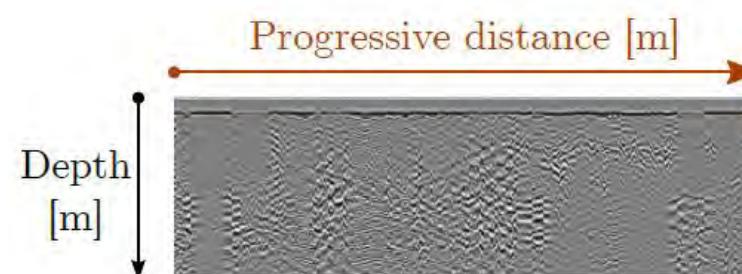
Rilevamento dei danni nei rivestimenti delle gallerie con radar a penetrazione del suolo



Impulsi a onde elettromagnetiche ad alta frequenza (10-2600 MHz).

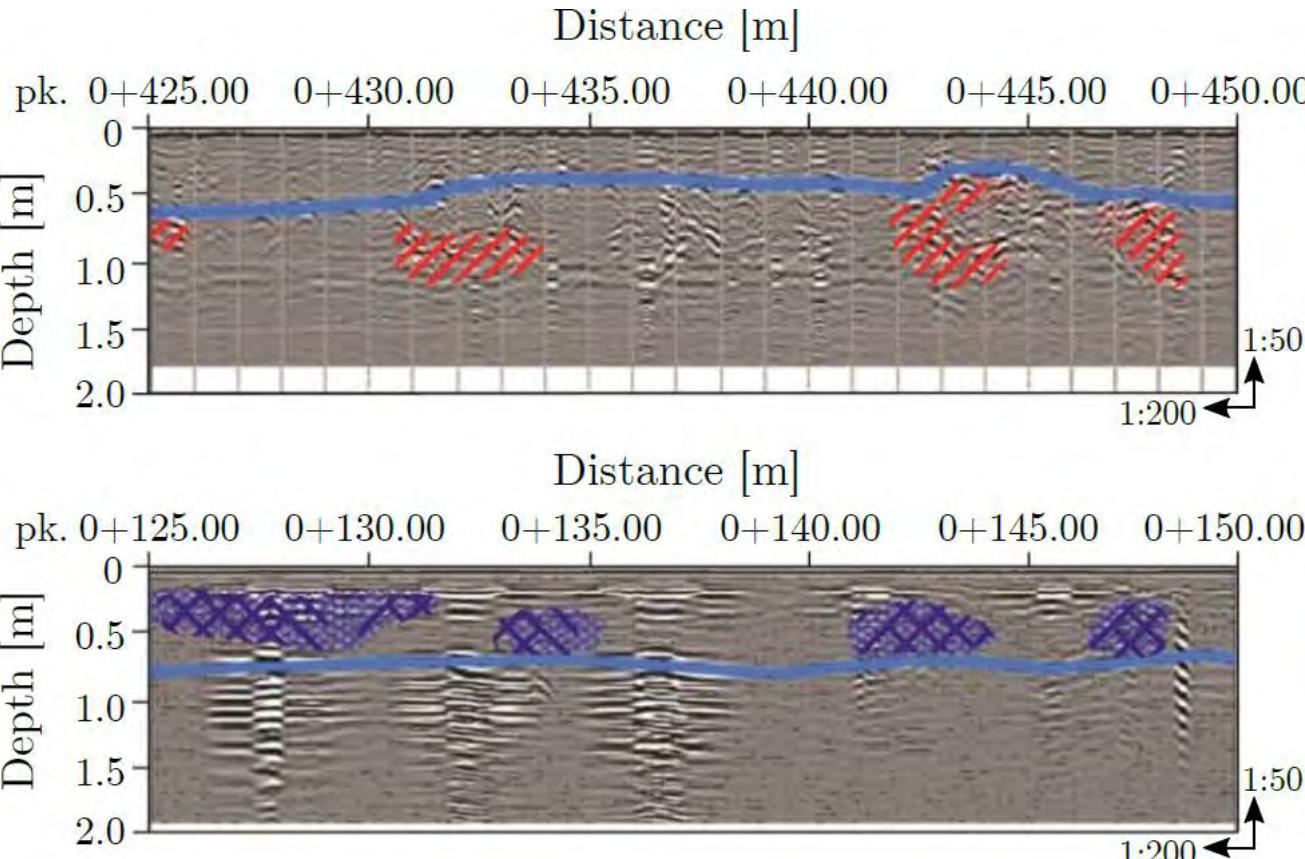
La propagazione di tale impulso è influenzata dalle caratteristiche dielettriche del materiale.

La qualità della resa dipende fortemente da alcuni agenti, ad esempio la presenza d'acqua (fenomeni di riflessione e diffrazione)



Test e valutazione non distruttivi per il rilevamento dei danni

Interpretazione manuale dei profili GPR (approccio attuale)



Legend:

Interpretative maps Ground Penetrating Radar surveys

- Boundary between lining and surrounding ground
- Linear elements: reflections for discontinuities/fractures
- Punctual elements: ribs locations
- Anomalous elements: presence of voids
- Anomalous elements: diffraction phenomena in the thickness coating

Test e valutazione non distruttivi per il rilevamento dei danni

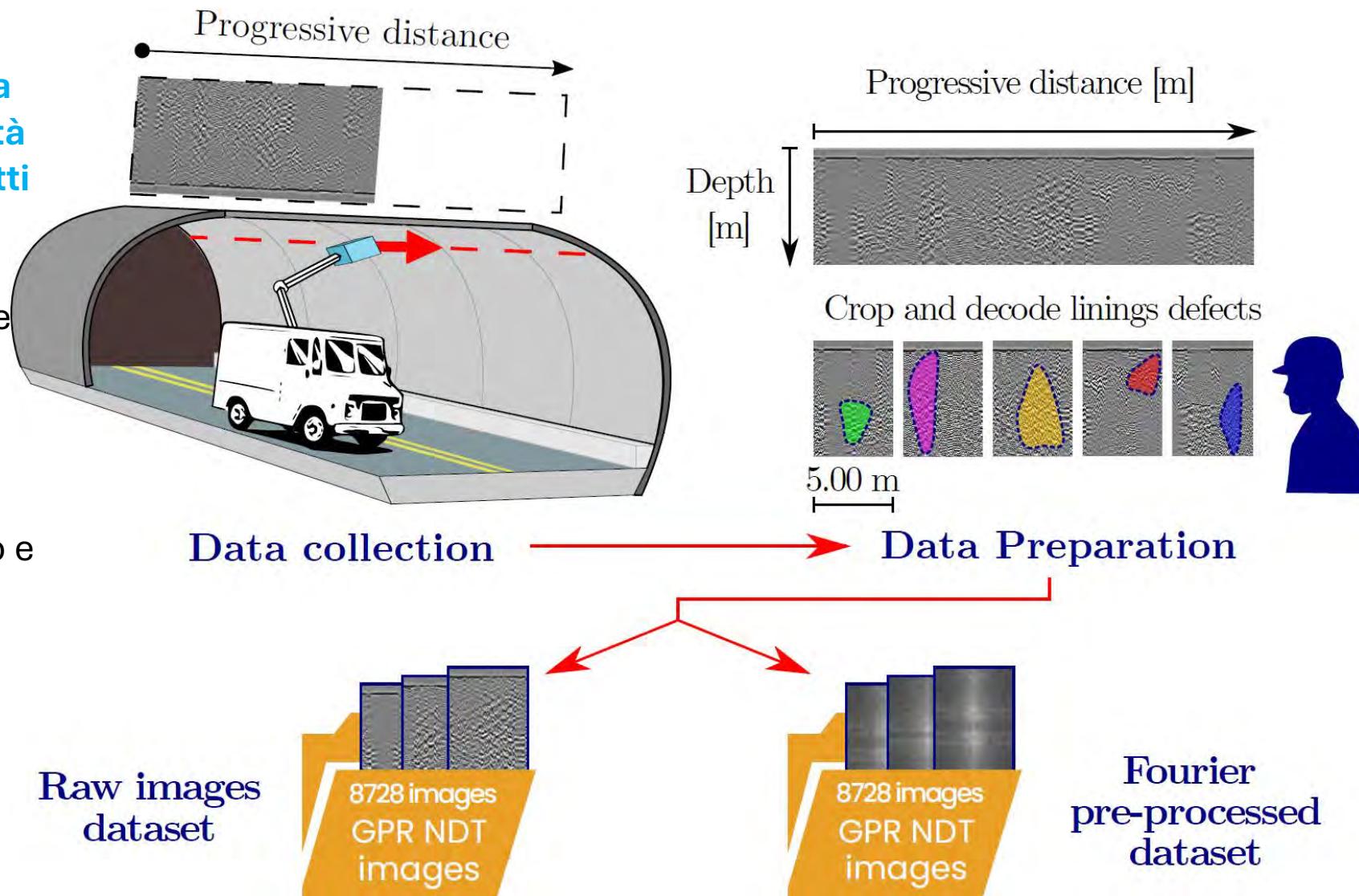
Tunnel linings GPR profiles dataset construction

- Since 10/2019 **Road tunnel**

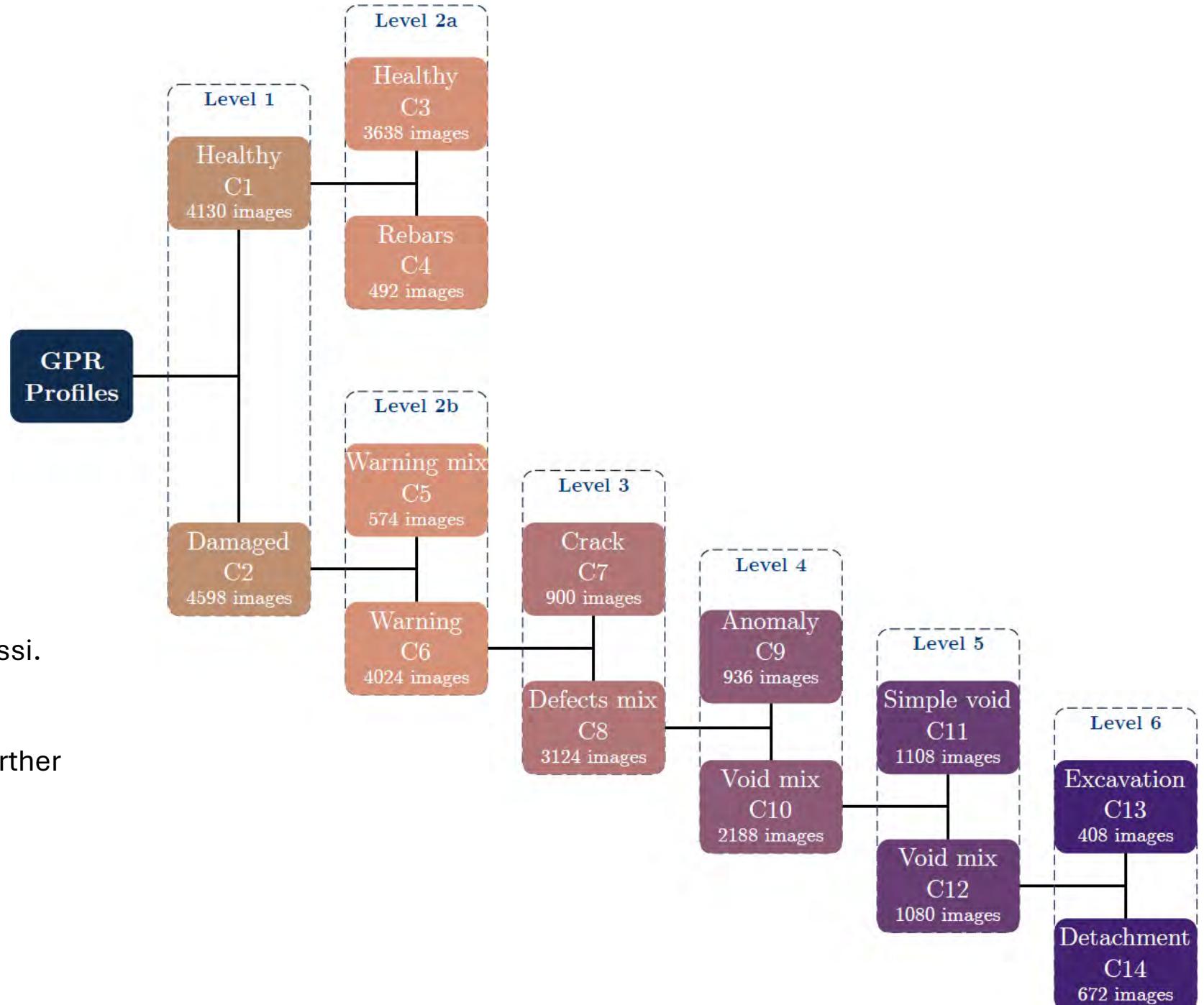
Piano di valutazione organizzato da ASPI, Autostrade per l'Italia, società per azioni italiana che gestisce tratti autostradali in concessione

- Campagne GPR raccolte su gallerie diffuse in tutta Italia, il cui periodo di costruzione si trova tra gli anni '60 e '80.

- Divisione del 90%-10% rispettivamente per l'addestramento e il set di test per i trasformatori senza effettuare alcuna validazione incrociata (a causa di un tempo computazionale eccessivo), e una fessura 80/20 con val incrociale a 5 volte per le architetture CNN.

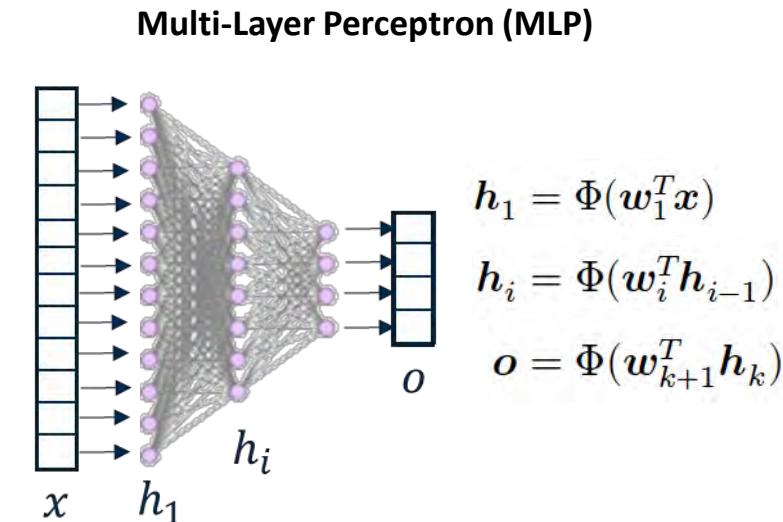
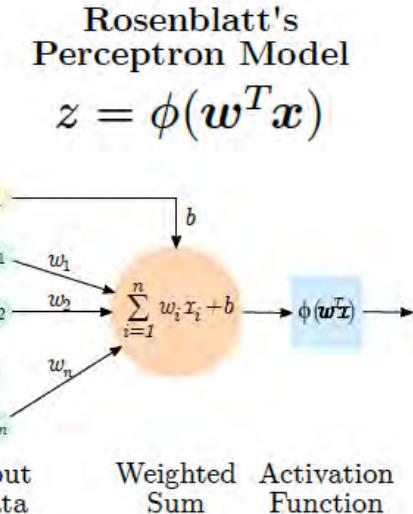
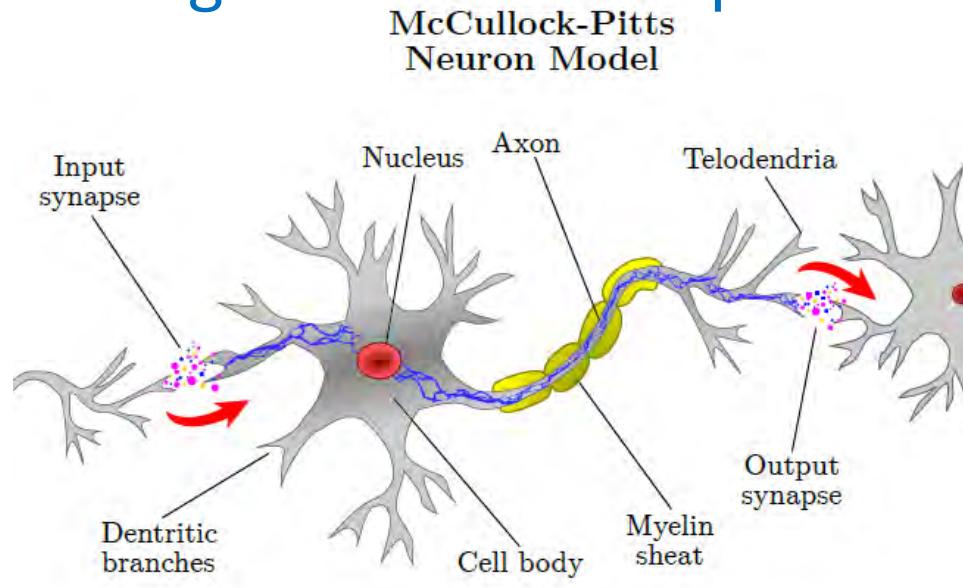


Albero di classificazione dei difetti gerarchici e multilivello nel rivestimento di tunnel

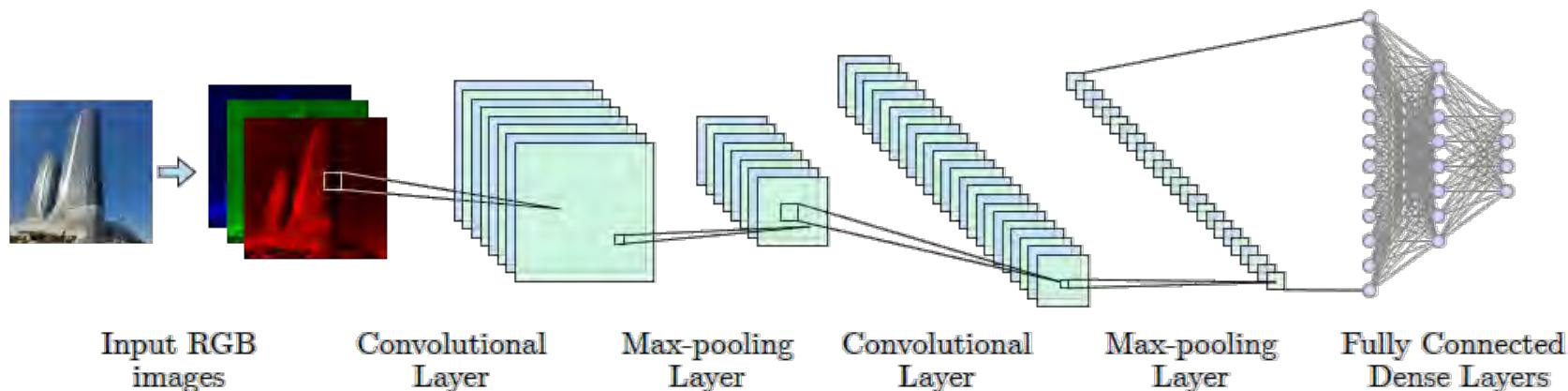


Nondestructive Testing and Evaluation for damage detection

Tunnel linings GPR flaws deep learning classification

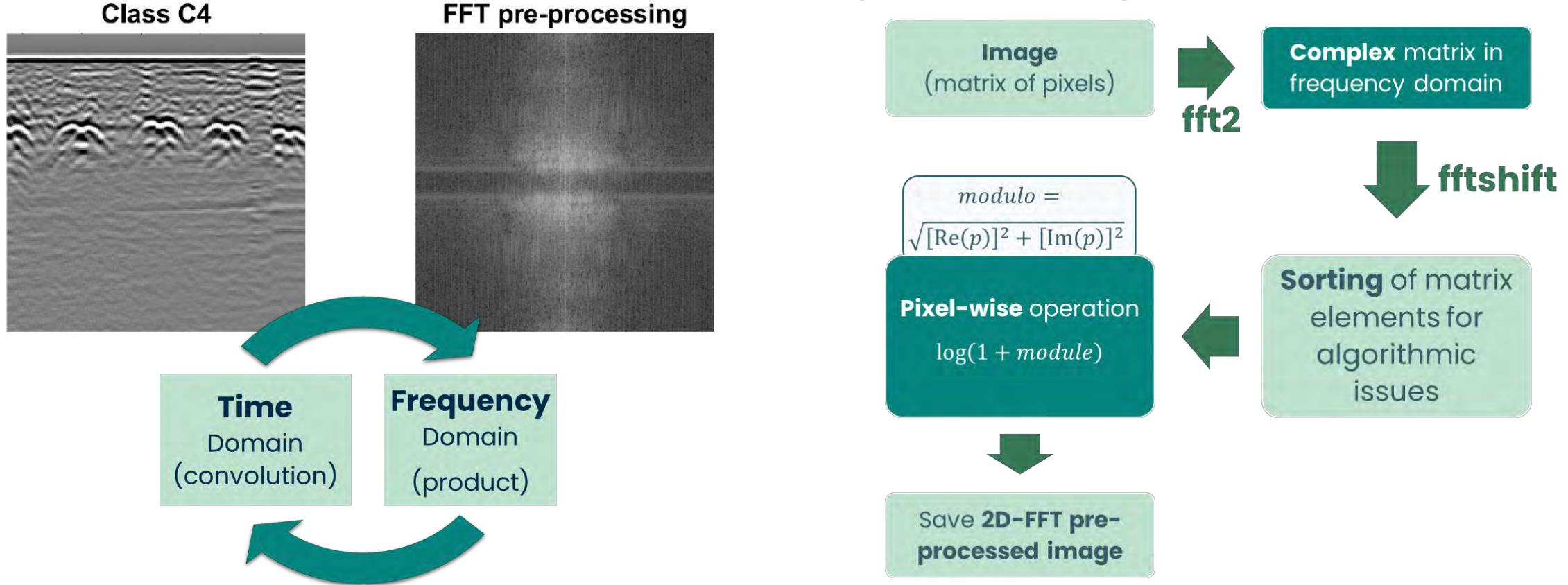


Convolutional Neural Network (CNN)



Nondestructive Testing and Evaluation for damage detection

GPR profiles and 2D Fourier Transform for image processing

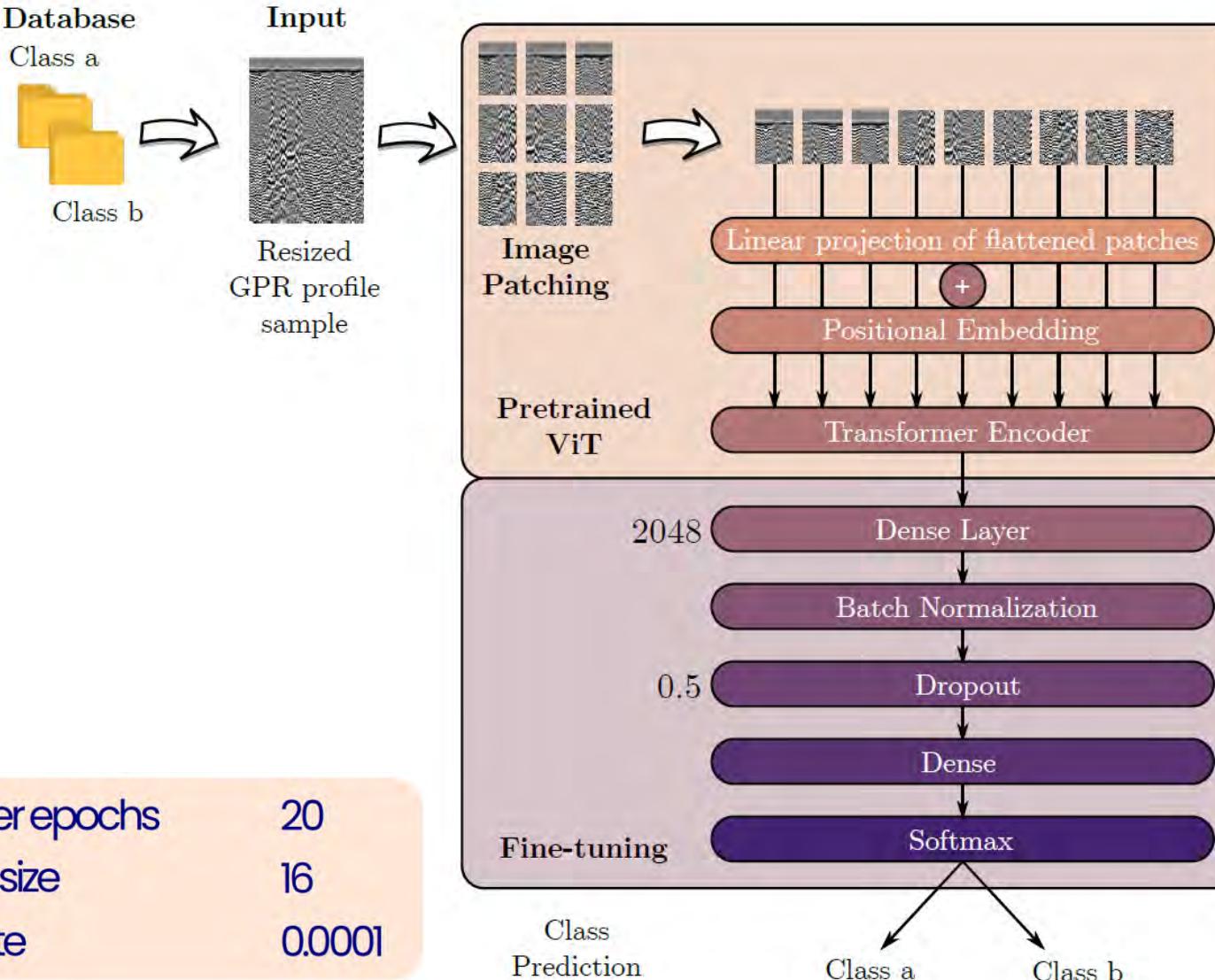


FFT2D : more **efficient convolution/correlation** operations in frequency domain

Correlation: $i(x, y) \circ h(x, y) = i(x, y) * h(-x, -y)$

Vision Transformer: ViT-L16 model

archi



Max number epochs

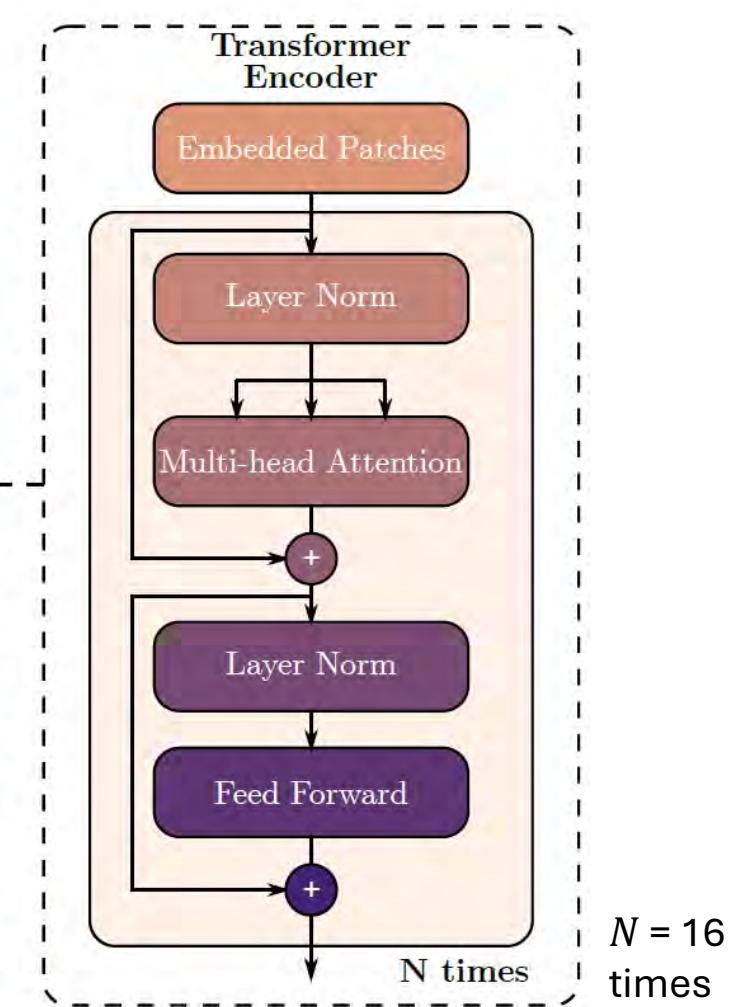
20

Mini-batch size

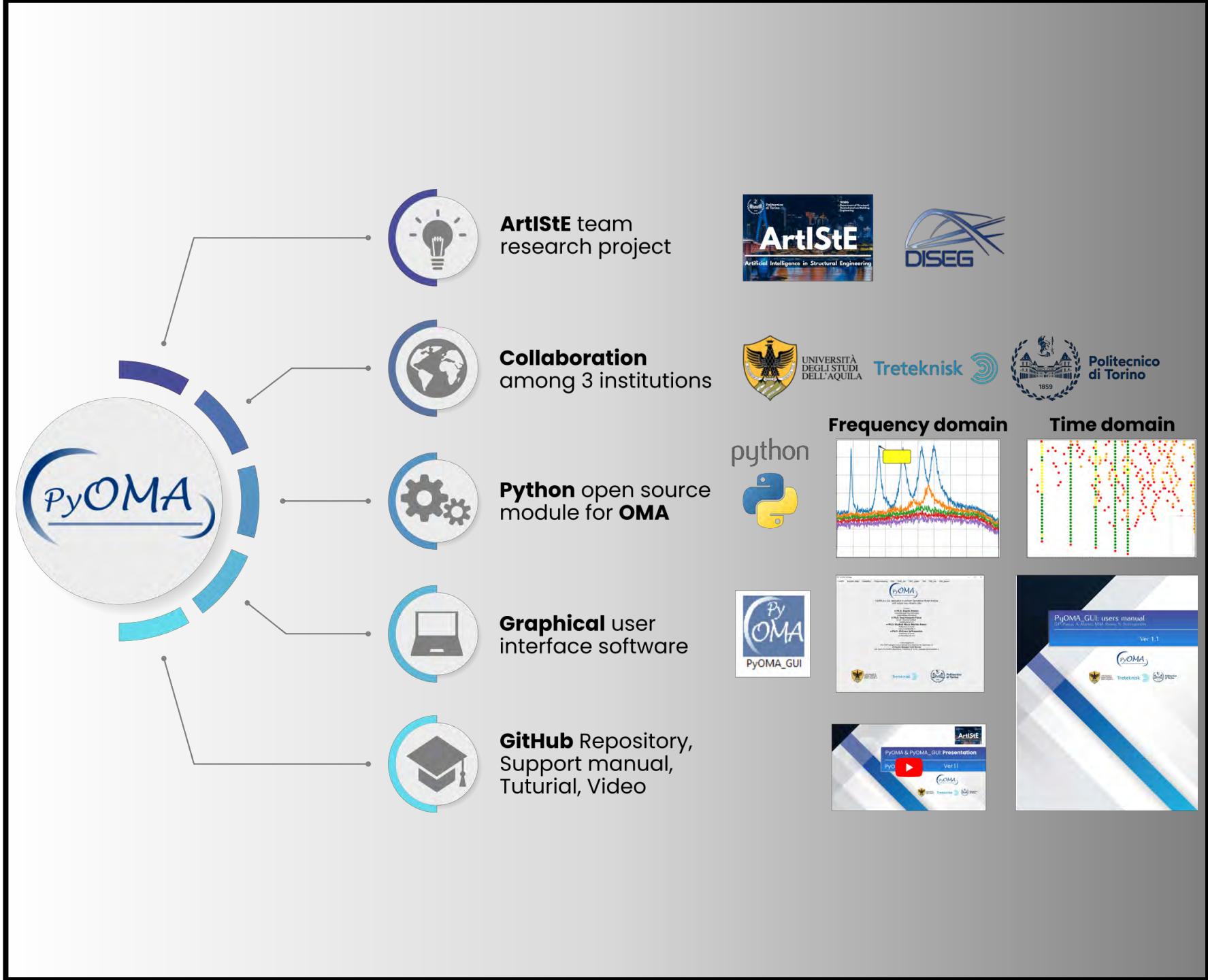
16

Learning rate

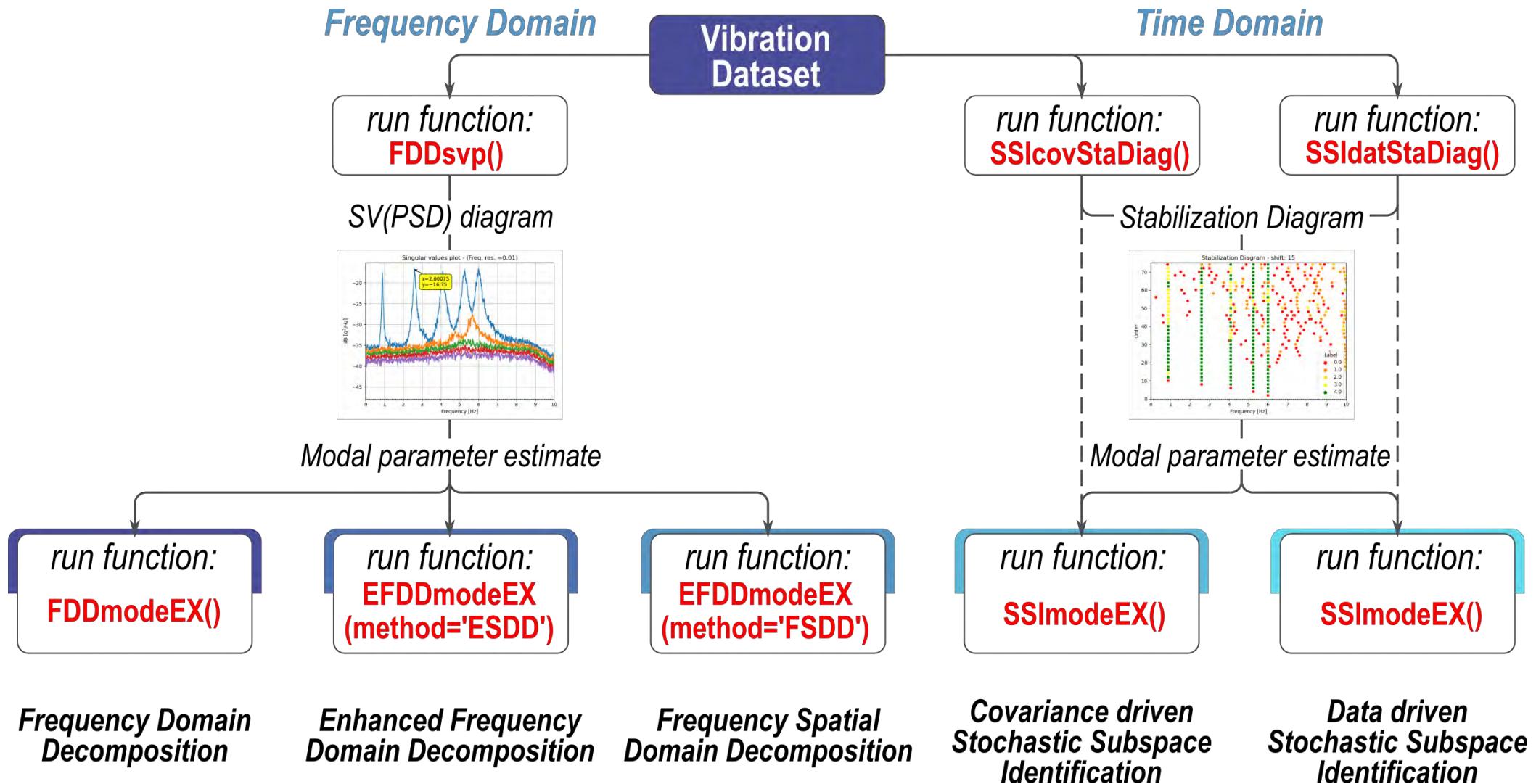
0.0001



• Analisi modale operativa convenzionale



PyOMA: a python implementation for OMA

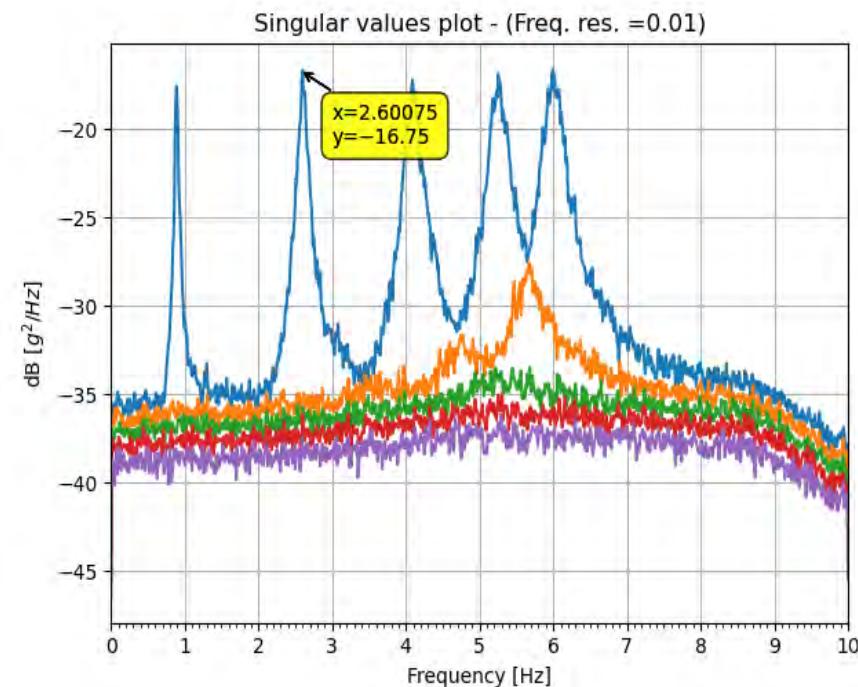
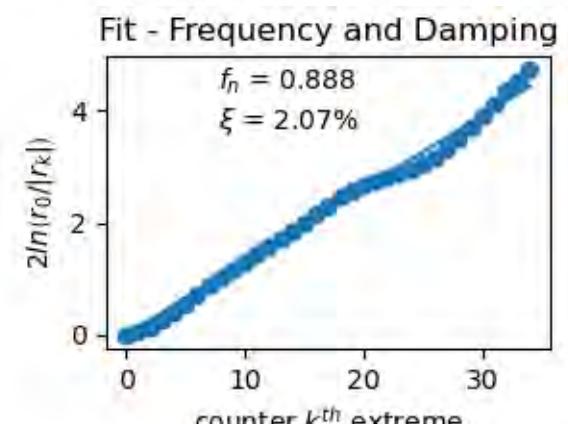
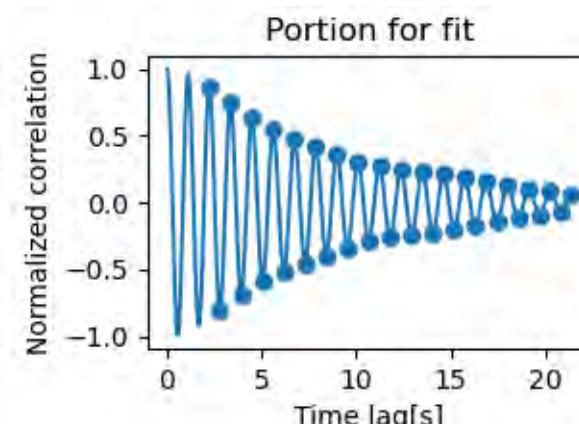
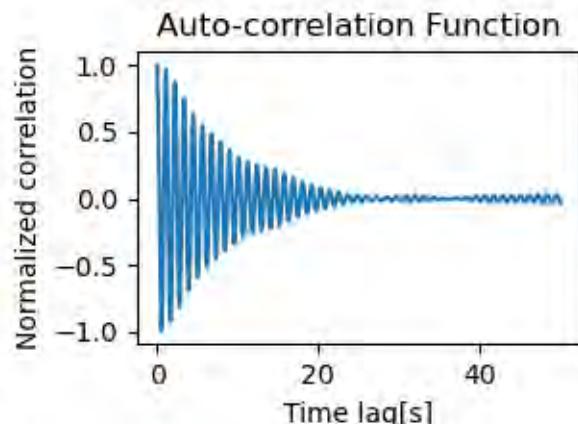
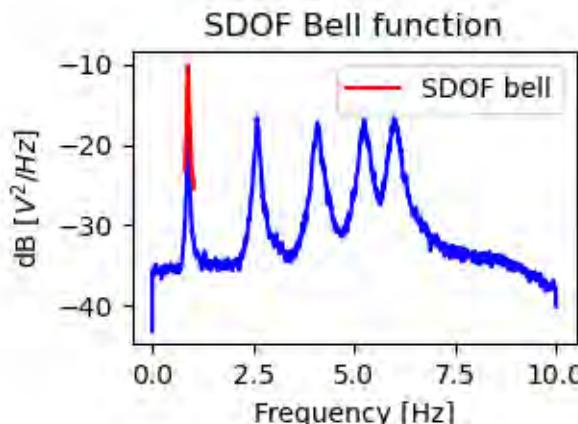


Frequency-domain decomposition: peak-picking

$$\mathbf{R}_{YY}(\tau) = \mathbb{E}[\mathbf{y}(t + \tau)\mathbf{y}^T(t)] = \boldsymbol{\Phi} \mathbf{R}_{PP}(\tau) \boldsymbol{\Phi}^T.$$

$$\mathbf{G}_{YY}(f) = \boldsymbol{\Phi} \mathbf{G}_{PP}(f) \boldsymbol{\Phi}^H = \mathbf{U} \boldsymbol{\Sigma} \mathbf{V}^H = \mathbf{U} \boldsymbol{\Sigma} \mathbf{U}^H$$

- Simplest approach: “**peak-picking**” frequency-domain technique.
- Idea: under ambient vibration, any structure exhibits stronger responses near its natural frequencies.
- Nat freq. → **peaks** in the Singular Value Decomposition (**SVD**) of the power spectral densities (**PSD**).
- **SDOF-bell extraction** and **logarithmic decrement technique** for characterizing damping ratio of every single mode (**Enhanced FDD - EFDD**).



Ottimizzazione: Calibrazione e aggiornamento del modello

- Foremost **Model parametrization**:
Defines Parameter θ to be updated
 - Not all are directly observable
 - *Deterministic Approaches*
 - *Probabilistic Approaches*
i.e. Bayesian Updating
 - Observation may contain errors.

Goulet, J. A. (2020). *Probabilistic machine learning for civil engineers*. MIT Press.

$$y = g(\theta, x) + w(x) + v,$$

Prediction errors

Covariates

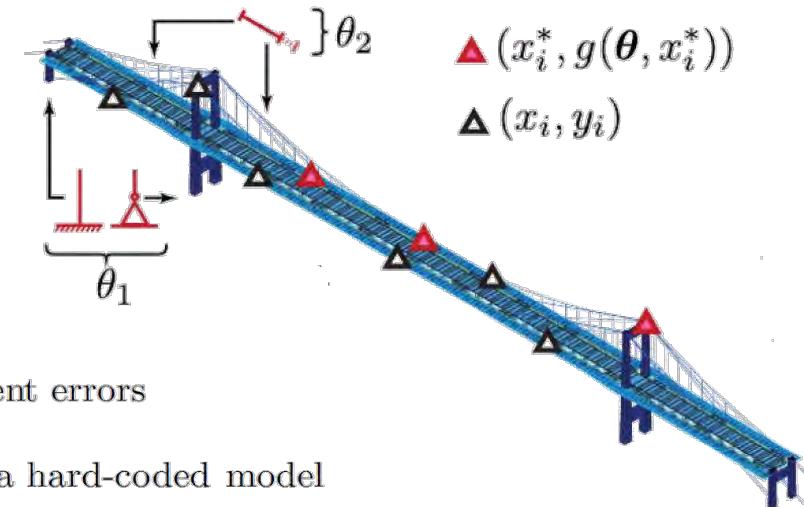
Model parameters

Measurement errors

Model parameters

Deterministic predictions from a hard-coded model

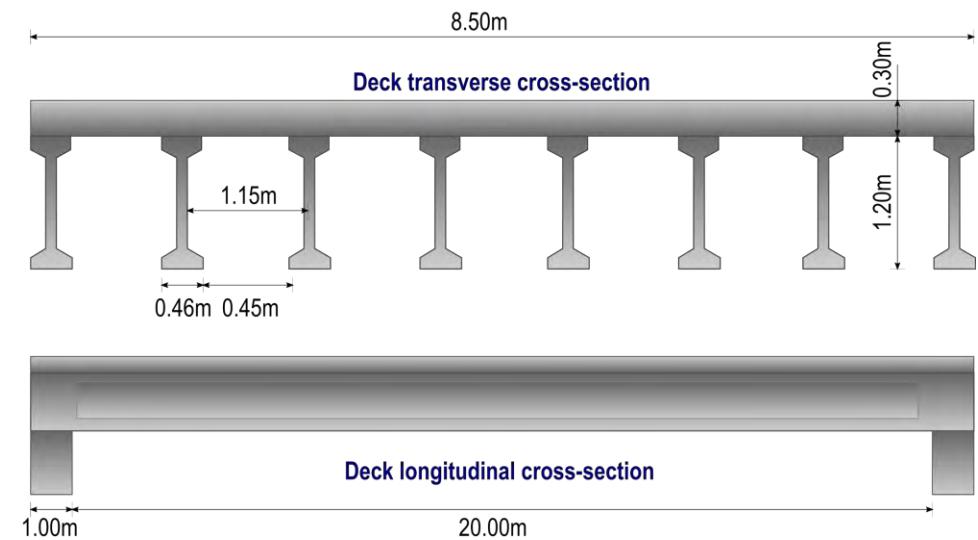
Observations



Funzione obiettivo comunemente usata per minimizzare le differenze relative di un modello numerico al fine di rappresentare la risposta dinamica sperimentale:

$$\min_{\theta \in \Omega} \mathcal{F}(\theta) = \sum_{u=1}^m \gamma_u \left(\frac{f_u^{(e)} - f_u^{(c)}(\theta)}{f_u^{(e)}} \right) + \sum_{u=1}^m \beta_u \left[1 - \text{MAC} \left(\phi_u^{(e)}, \phi_u^{(c)}(\theta) \right) \right]$$

Friswell and Mottershead (1995) "Finite element model updating in structural dynamics".



- **Invecchiamento delle strutture in cemento esistenti patrimonio**
- **Sviluppo di metodi economici e non distruttivi per stimarne la capacità strutturale**
- **Analisi Modale Operativa (OMA)**
- **Aggiornamento del modello per parametri concreti: modulo di Youngs E**
- **Forza di compressione massima f_{ck}**

$$\min \{f(\mathbf{x})\}$$

$$g_q(\mathbf{x}) \leq 0 \quad q = 1, \dots, n_q$$

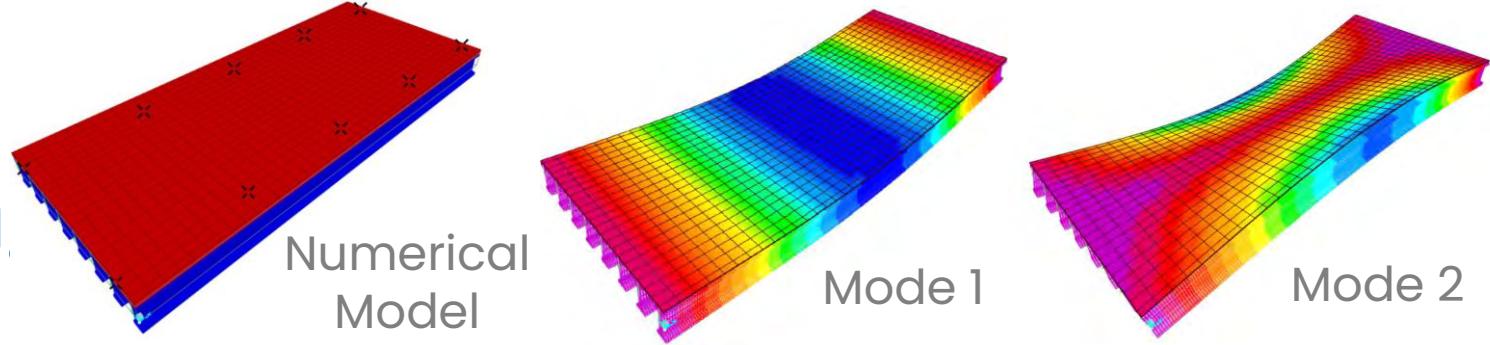
$$h_r(\mathbf{x}) = 0 \quad r = 1, \dots, n_r$$

$$\mathbf{x} \in [\mathbf{x}^l, \mathbf{x}^u]$$



To **reconstruct the operational response calibrating** a set of the **stiffness** parameters

FE model updating



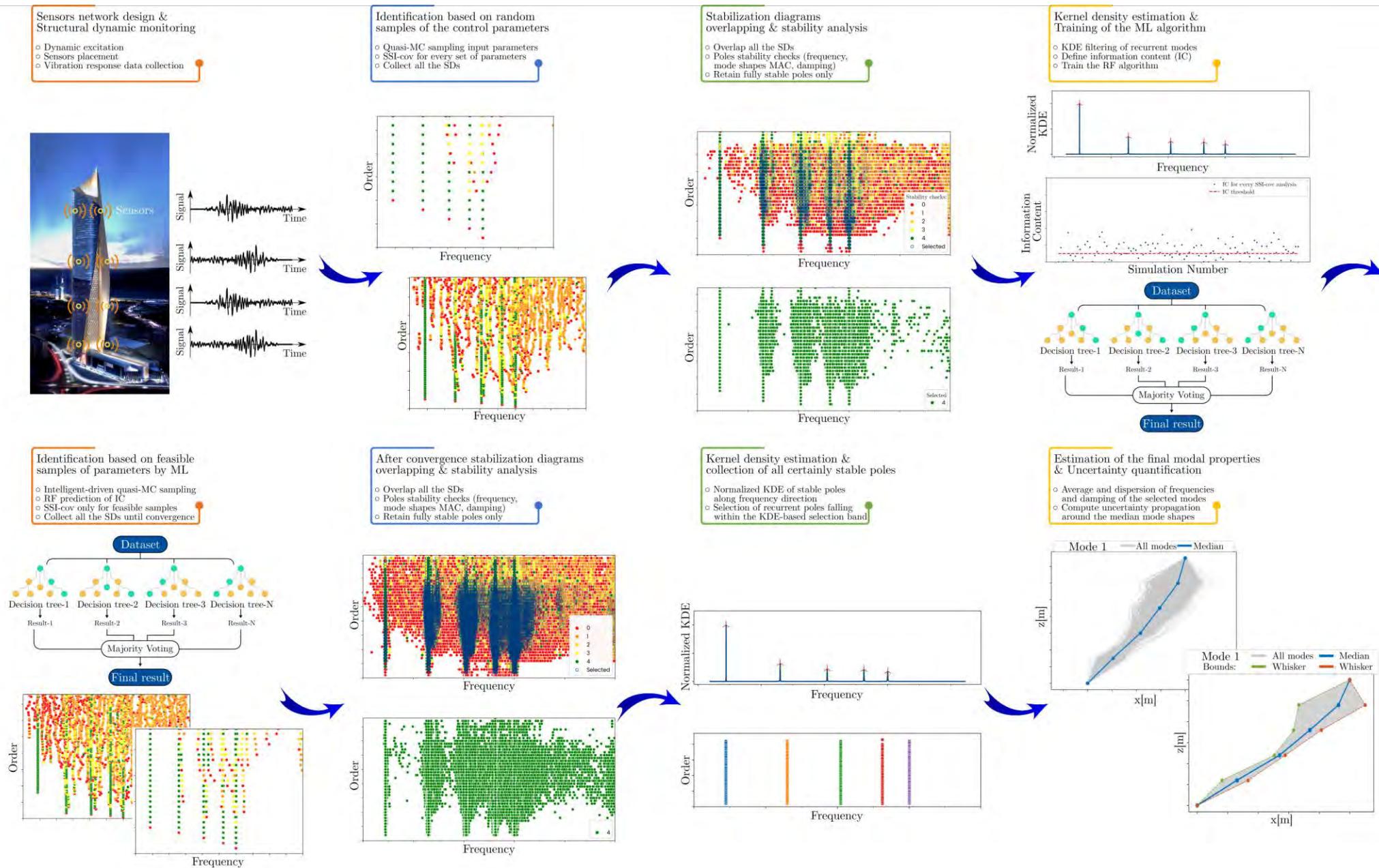
- FE model in **SAP2000** beams and shells, with pinned-pinned boundary restraints
- Cost or **objective function** (OF) **for model updating**: discrepancy simulated and experimental responses in terms of frequency and modal assurance criterion (MAC)

$$\mathcal{F} = \sum_{i=1}^M \gamma_i \left(\frac{\omega_i^m - \omega_i^c}{\omega_i^m} \right)^2 + \beta \sum_{i=1}^M (1 - \text{diag}[\text{MAC}(\Phi_i^m, \Phi_i^c)])$$

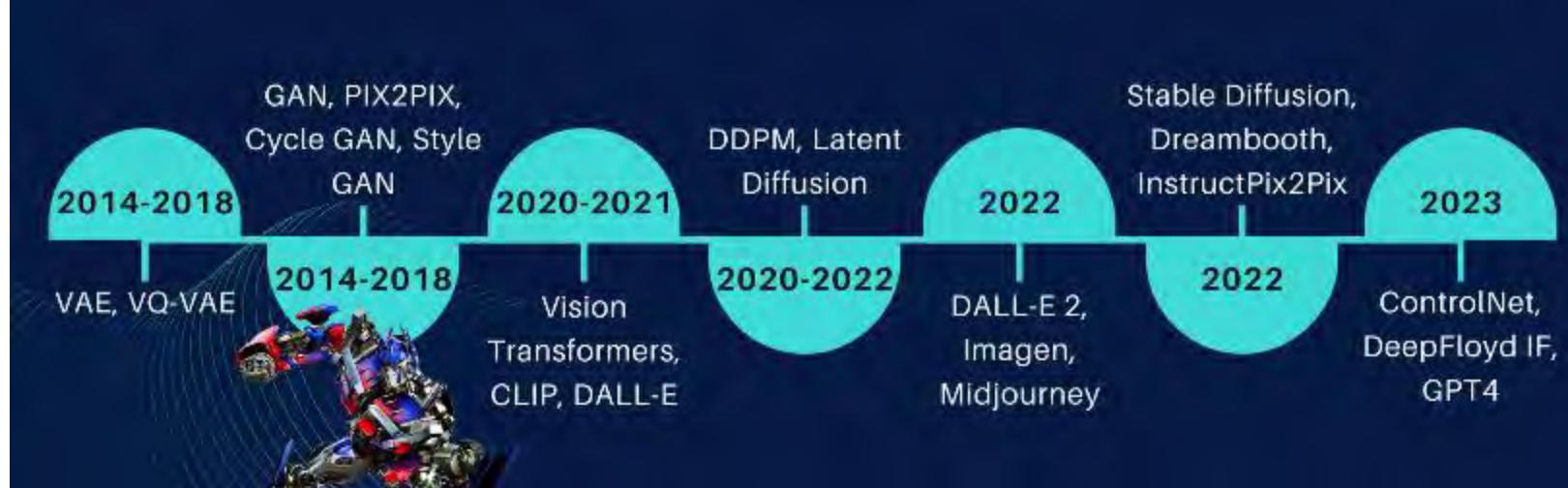
- Inverse problem (ill-posed, ill-conditioned) → **sensitivity analysis** to assess goodness of choice model parameters on OF (**Sobol Indicators**)
- Unknown model parameters: **Young's moduli of girder E_b and deck E_d**

Elem.	f_k [MPa]	σ_f [MPa]	E [MPa]	σ_E [MPa]	Param.	OF		f_1		f_2		f_3		f_4	
						S_1	S_T								
Girder	55.00	4.88	36668.63	194.78	E_b	28.8%	37.0%	30.8%	29.8%	21.5%	20.5%	17.9%	17.1%	87.5%	87.1%
Deck	30.00	4.88	30588.56	297.73	E_d	63.8%	72.1%	71.2%	69.5%	80.5%	79.0%	84.0%	82.6%	13.6%	12.4%

- Solve model updating with **computational intelligence optimization algorithms**: Differential Evolution (**DE**) and Particle Swarm Optimization (**PSO**)



Generative AI



Large Language Models

Autoencoders

Diffusion Models

Generazione di soluzioni

Introduzione: Cos'è l'AI? E quando si tratta di «Generativo»?

AI discriminativa (tradizionale)

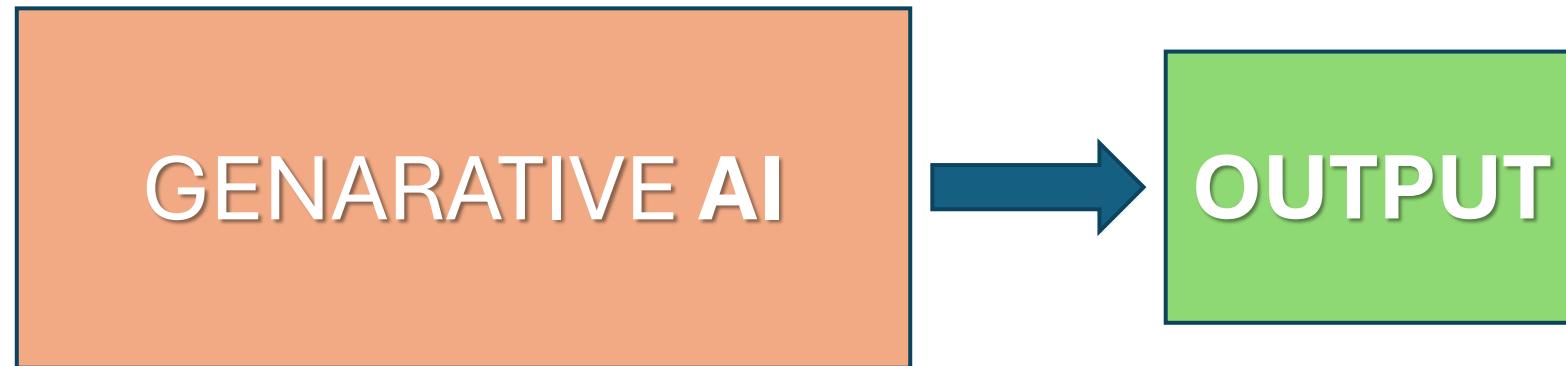
- **classificare o distinguere tra categorie di dati esistenti.** Analizza gli input per prevedere etichette, rispondere a domande o prendere decisioni, interpreta o categorizza ciò che già esiste.
- **Esempi:**
 - Classification (e.g., "Is this a cat or dog?")
 - Prediction (e.g. "Will this structure fail under load?")
 - Image recognition (identifying cracks in concrete).
 - Predictive structural maintenance



Introduzione: Cos'è l'**AI**? E quando si tratta di «Generativo»?

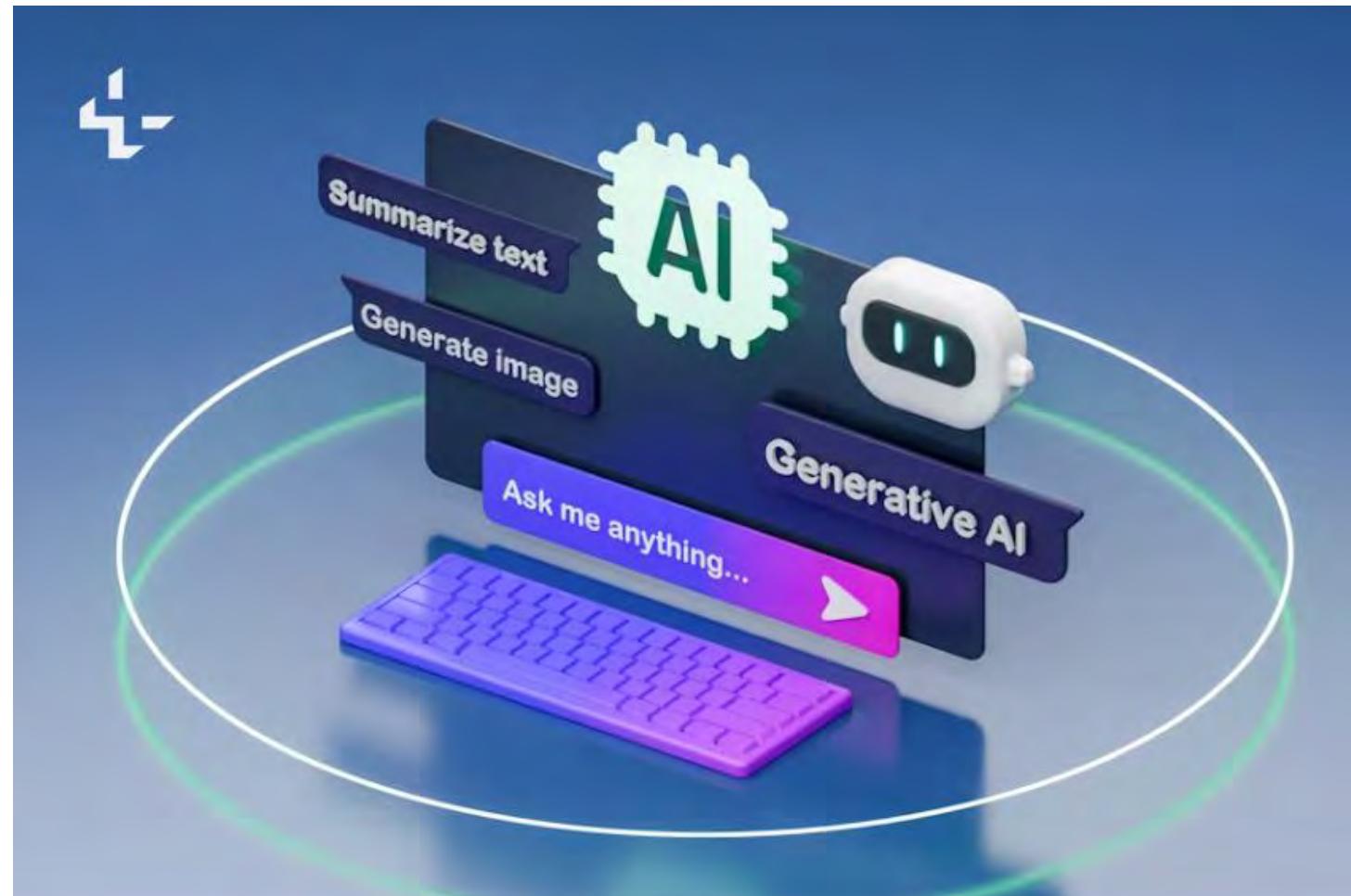
GENERATIVE AI

- IA che crea contenuti nuovi e originali (design, testo, immagini, design, modelli) imparando i modelli di dati.
- *Esempi: Produce risultati nuovi (ad esempio, planimetrie, travi ottimizzate).*

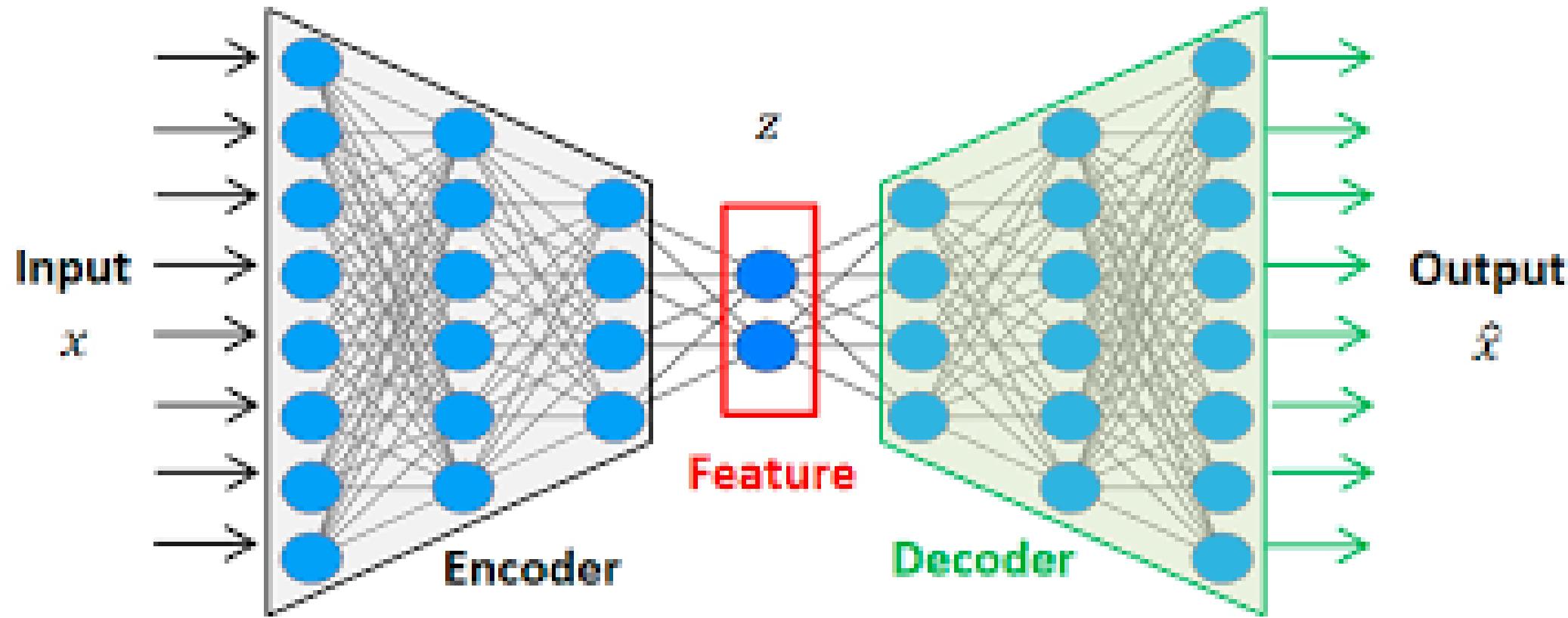


Introduzione: Cos'è l'IA? E quando si tratta di «Generativo»?

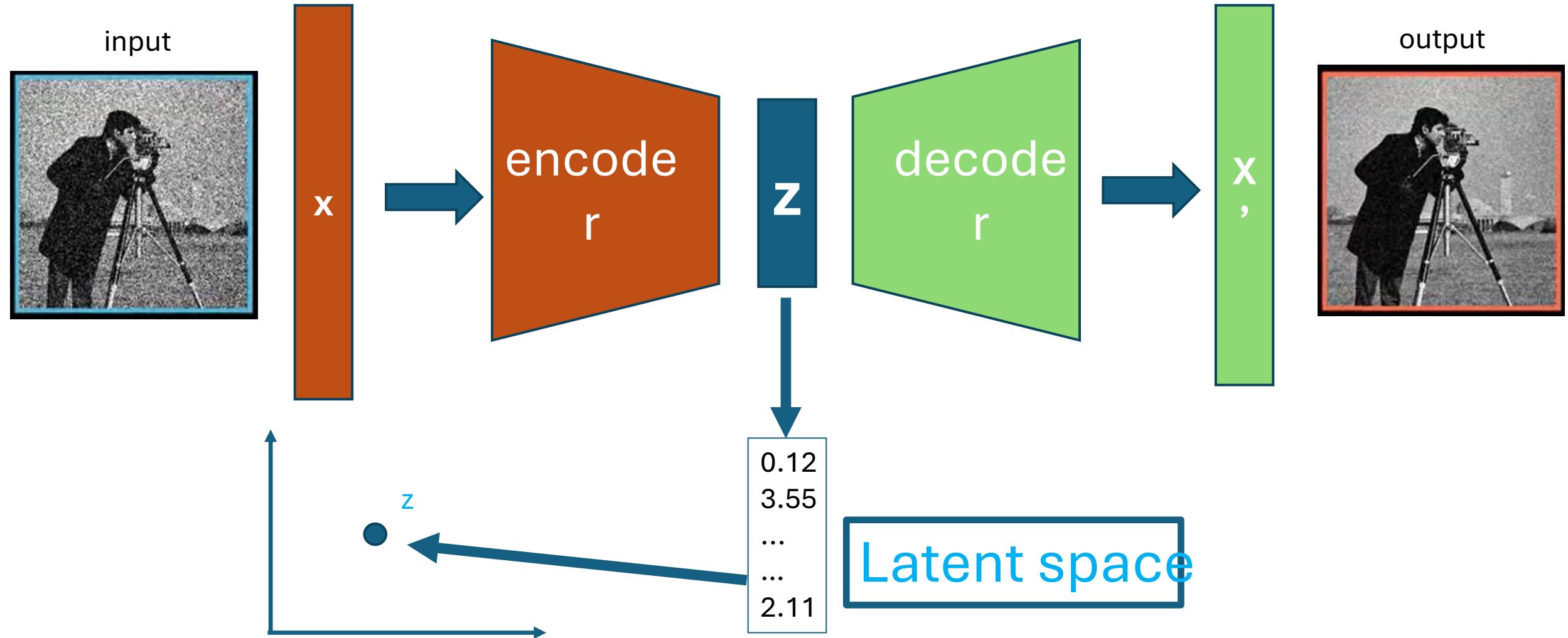
- Fondamenti dell'IA: Sistemi che svolgono compiti che richiedono intelligenza umana (apprendimento, ragionamento).
- Sottoinsiemi: Machine Learning (ML), Deep Learning (DL), Reti Neurali (NN).
- IA discriminativa vs generativa:
- Discriminatore: Classifica/analizza i dati esistenti (ad esempio, rilevamento di difetti nelle strutture).
- Generativo: Produce risultati innovativi (ad esempio, pianimetrie, travi ottimizzate)
 - Fondamenti dell'IA: Sistemi che svolgono compiti che richiedono intelligenza umana (apprendimento, ragionamento).
 - Sottoinsiemi: Machine Learning (ML), Deep Learning (DL), Reti Neurali (NN).
 - IA discriminativa vs generativa:
 - Discriminatore: Classifica/analizza i dati esistenti (ad esempio, rilevamento di difetti nelle strutture).
 - Generativo: Produce risultati innovativi (ad esempio, pianimetrie, travi ottimizzate))



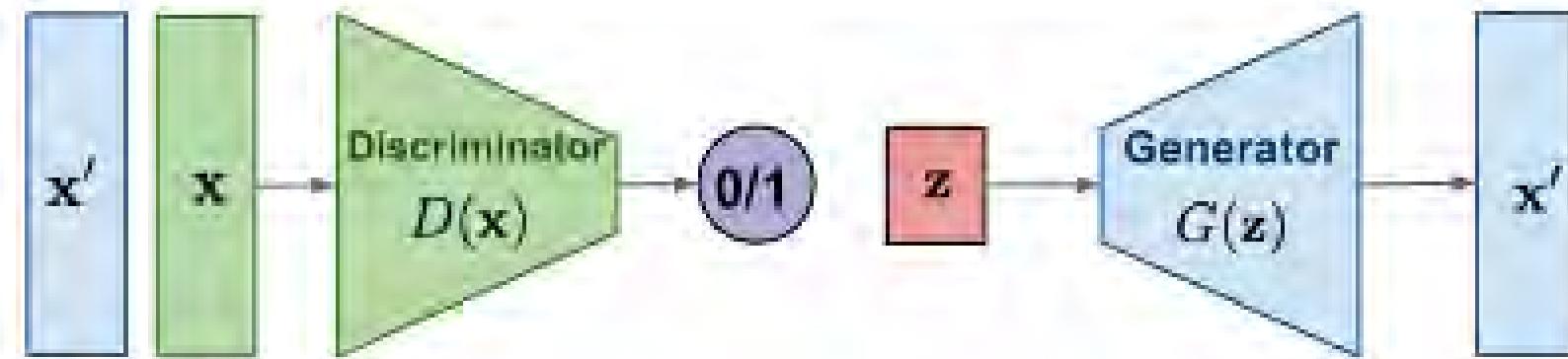
“L'IA generativa non sta sostituendo gli ingegneri—sta ampliando la loro immaginazione.”



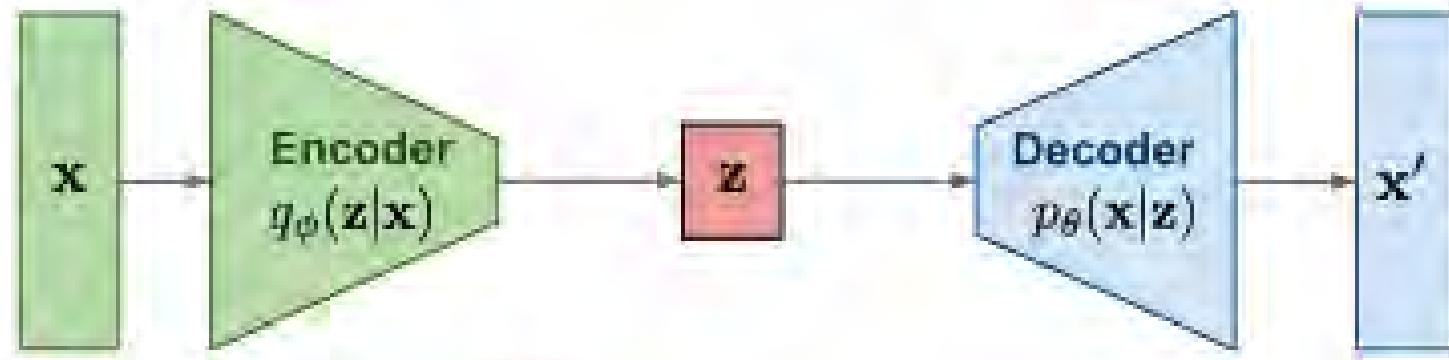
Generative AI: Main Concepts & Methods



GAN: Adversarial training



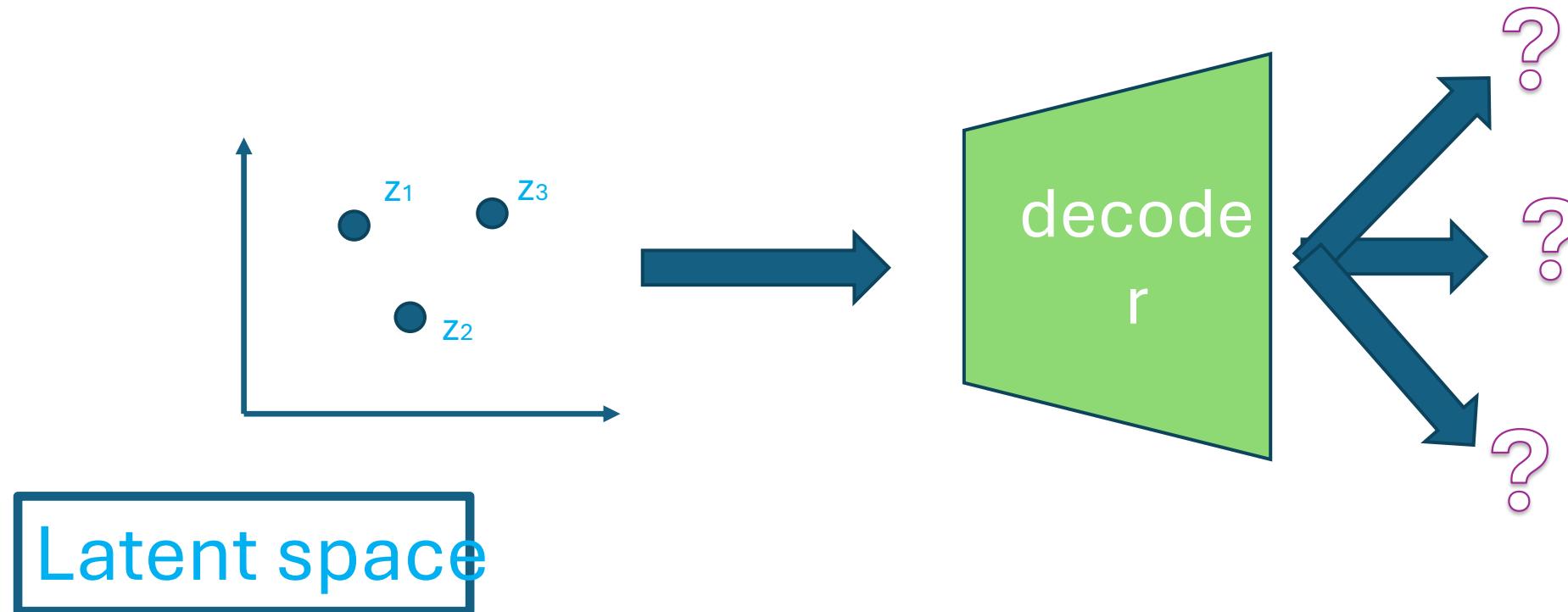
VAE: maximize variational lower bound



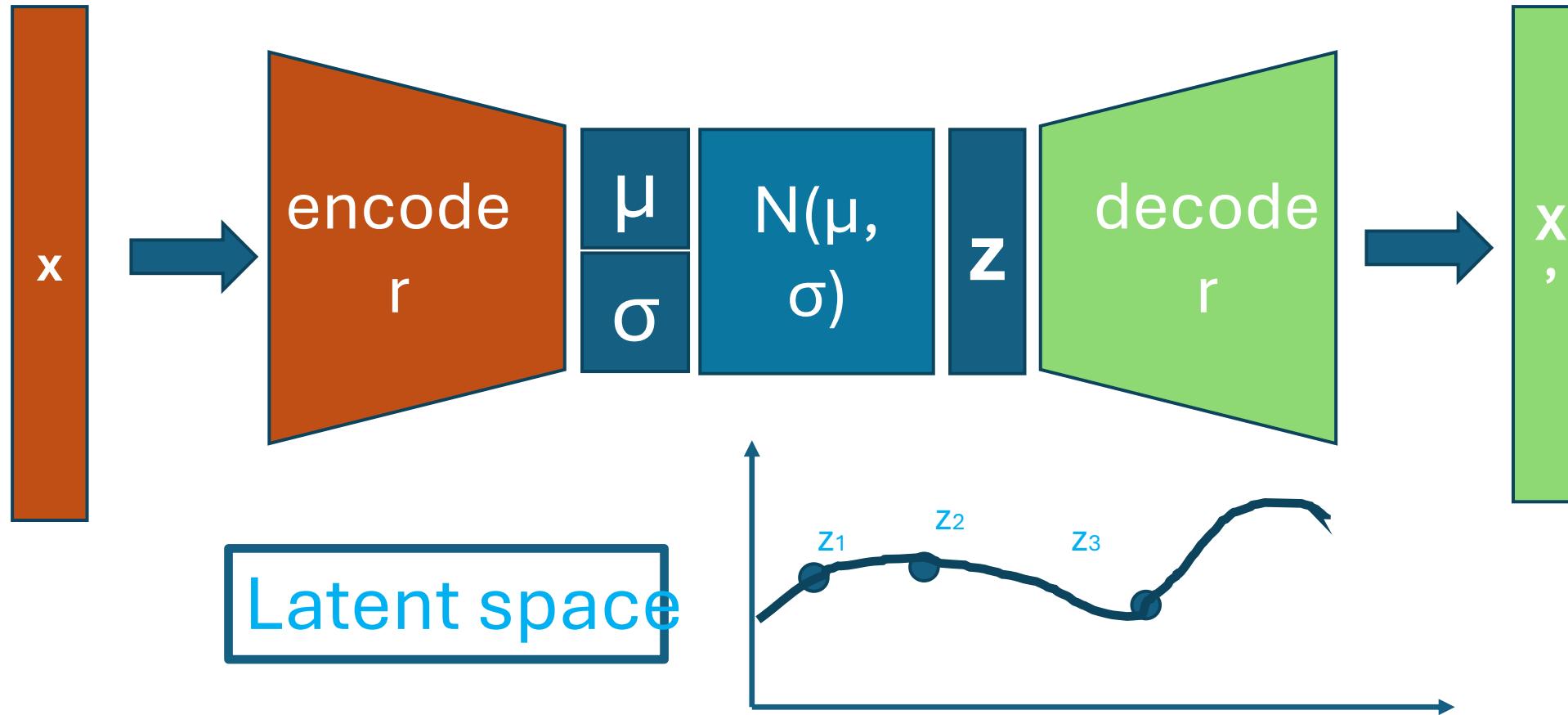
Diffusion models:
Gradually add Gaussian noise and then reverse



Generative AI: Main Concepts & Methods

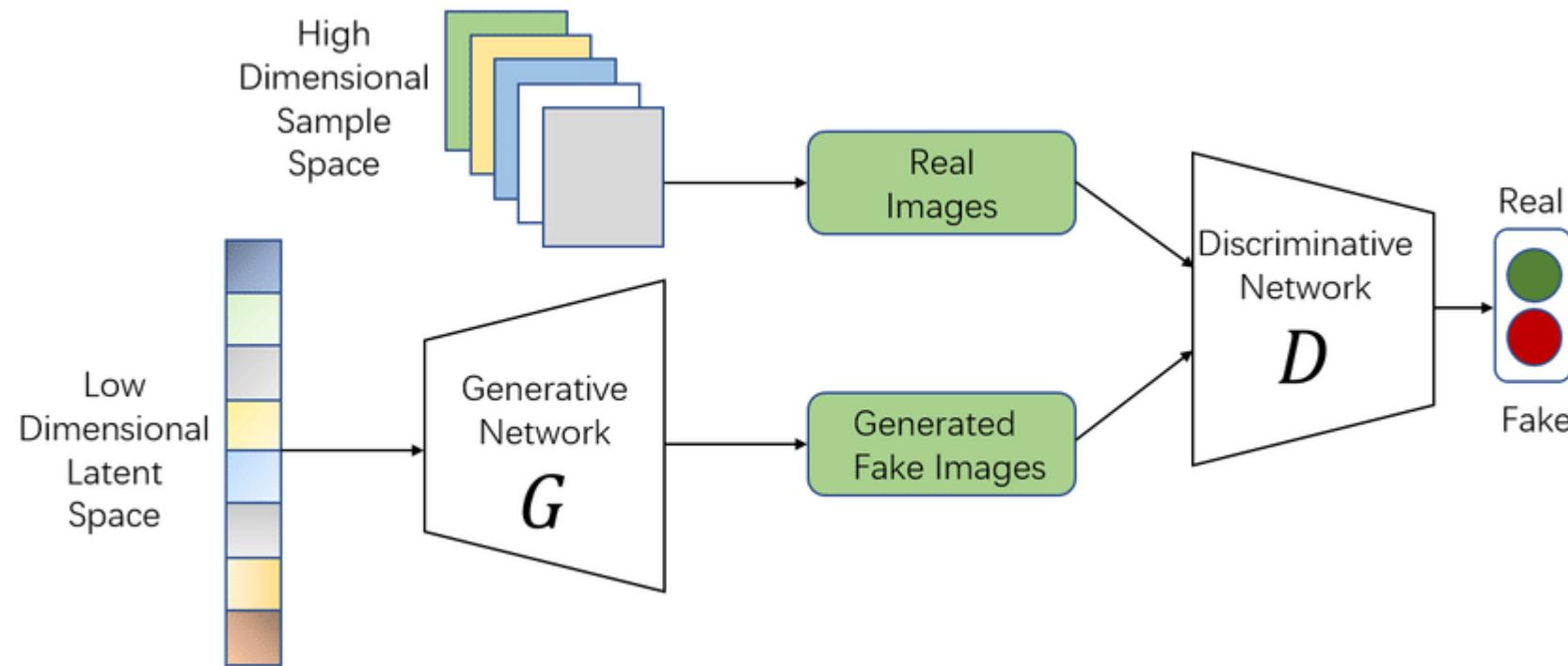


Generative AI: Main Concepts & Methods



Generative AI: Main Concepts & Methods

generative adversarial networks



GenAI in AEC: Applicazioni attuali

- **Architecture:**

- Planimetrie automatiche
- Layout edilizio a basso consumo energetico (design generativo sensibile al clima).

- **Engineering:**

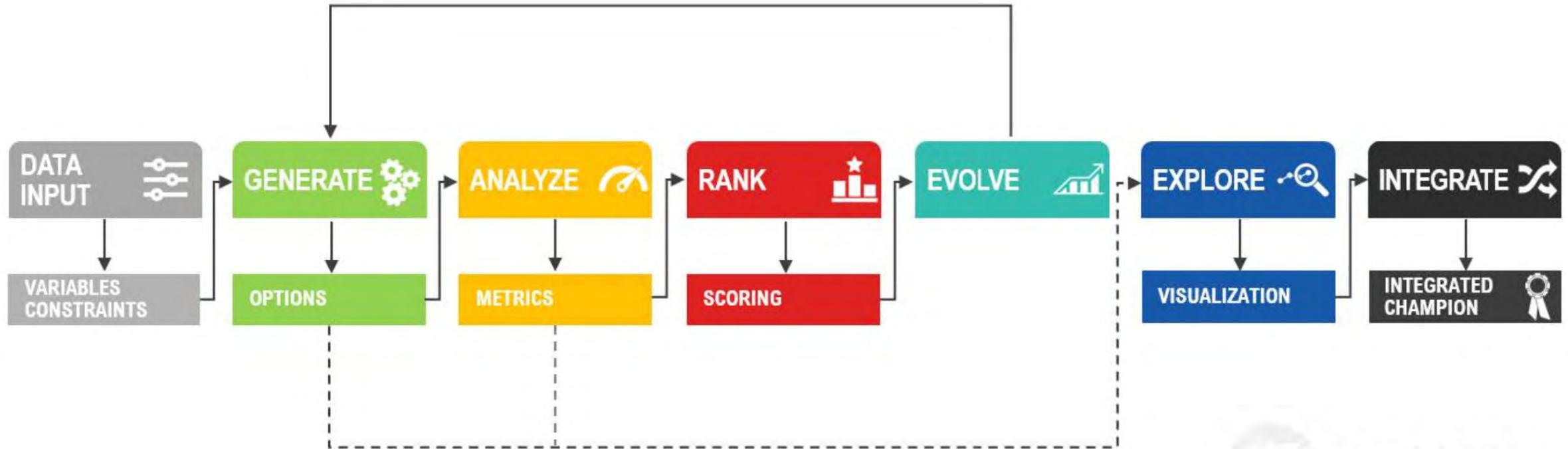
- Componenti ottimizzate per topologia
- Progetti di ponti che bilanciano estetica e carico

- **Sustainability:**

- Low-carbon concrete formulations (via generative material discovery).

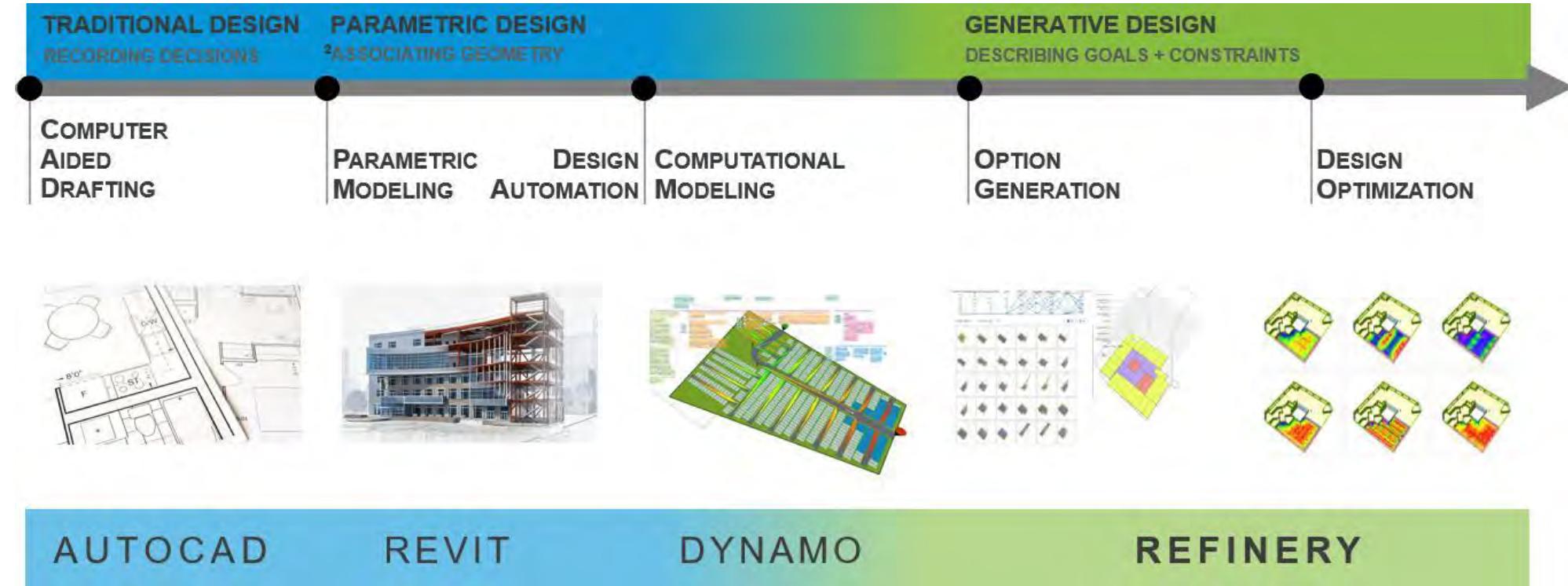


IA generativa: applicazioni attuali



Autodesk

IA generativa: applicazioni attuali



Autodesk

GeaAI in AEC: Future Perspectives

- **Short-Term (1–3 years):**

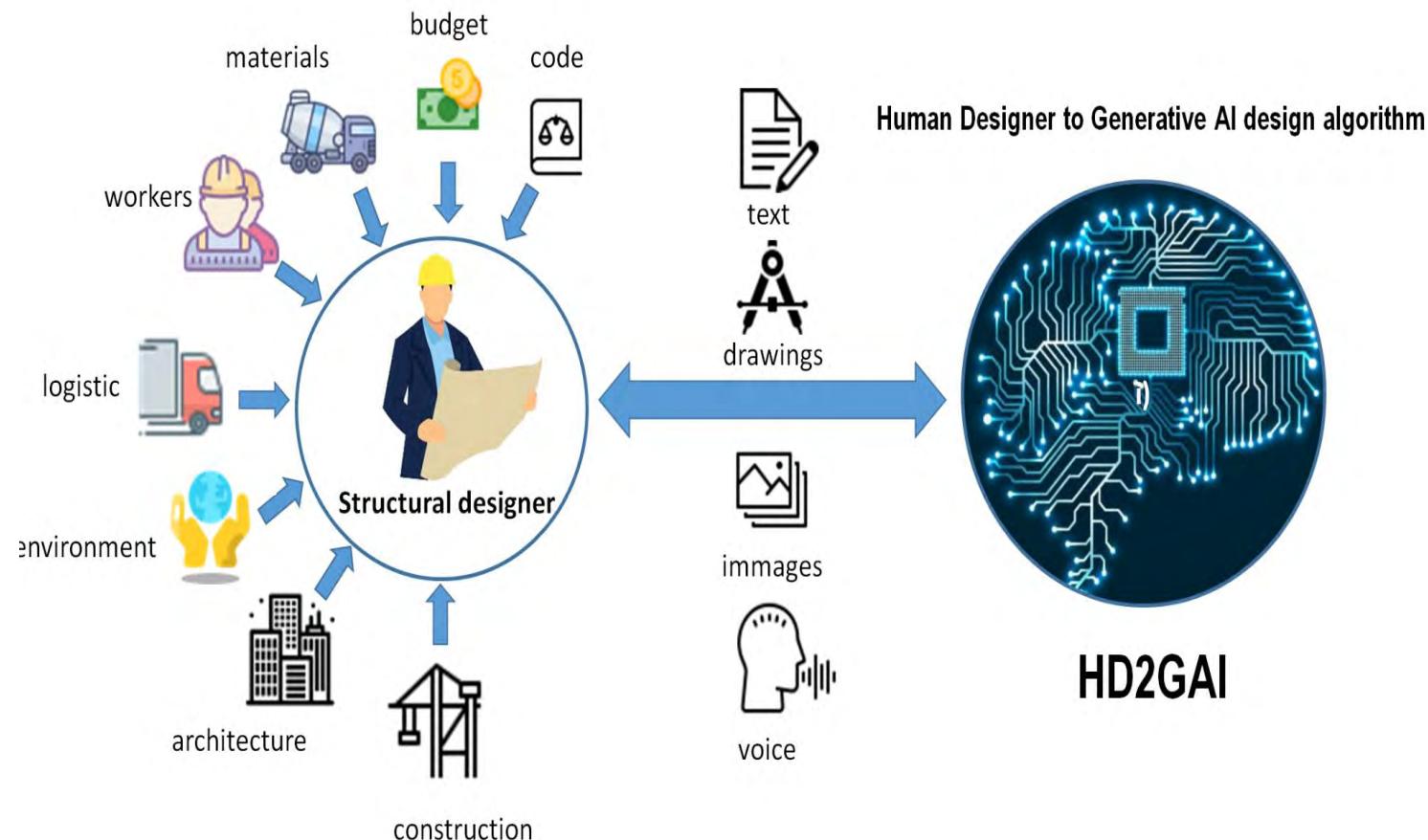
- **Multimodal Models:** Combine text, BIM data, and sketches for holistic design.
- **Generative Digital Twins:** AI-driven real-time adaptation of structures.

- **Long-Term (5+ years):**

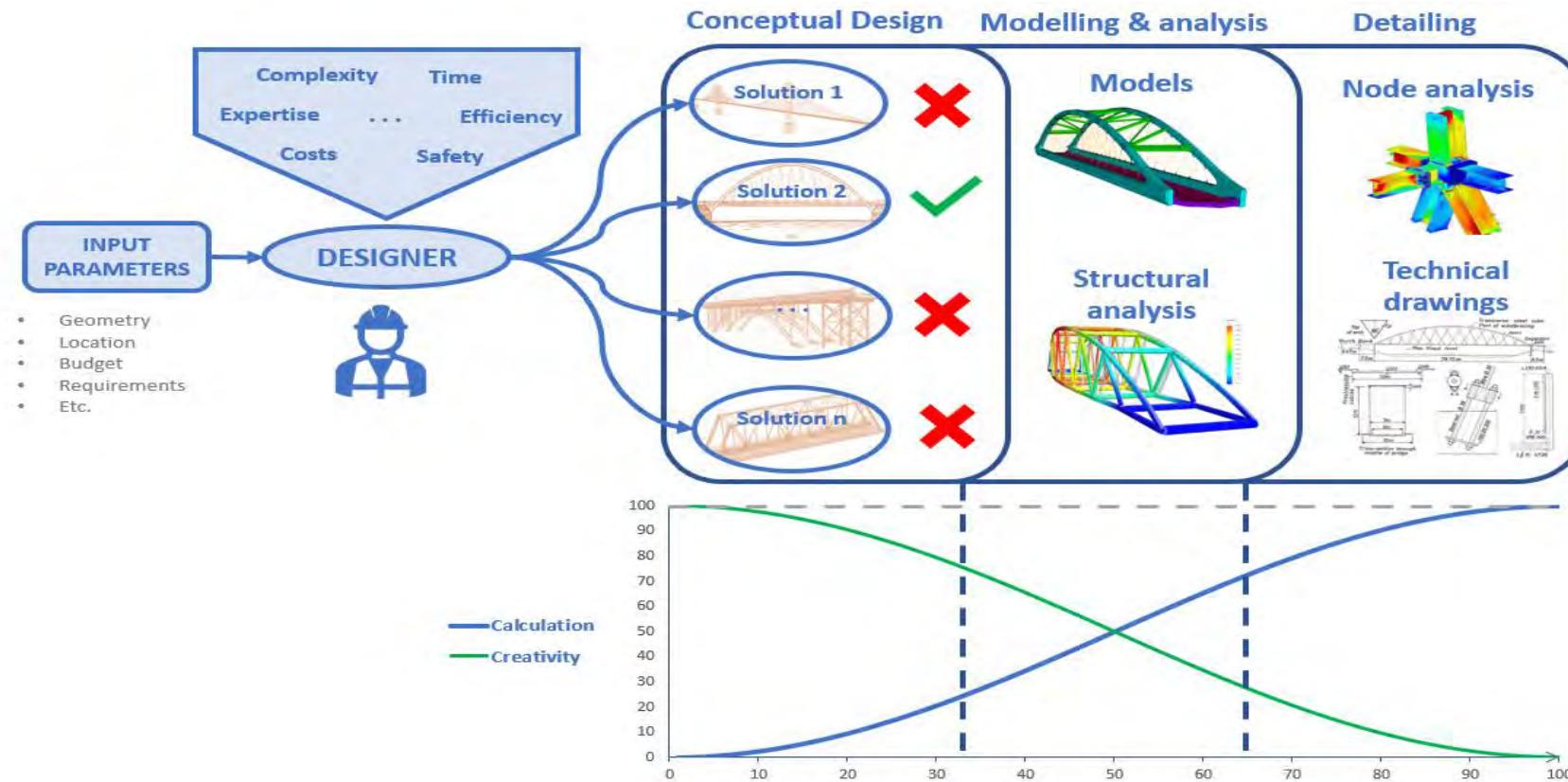
- **Autonomous AEC Ecosystems:** AI designs, optimizes, and constructs with minimal human input.
- **Bio-Hybrid Structures:** AI merges organic growth patterns with engineering.

- **Ethical Frontiers:**

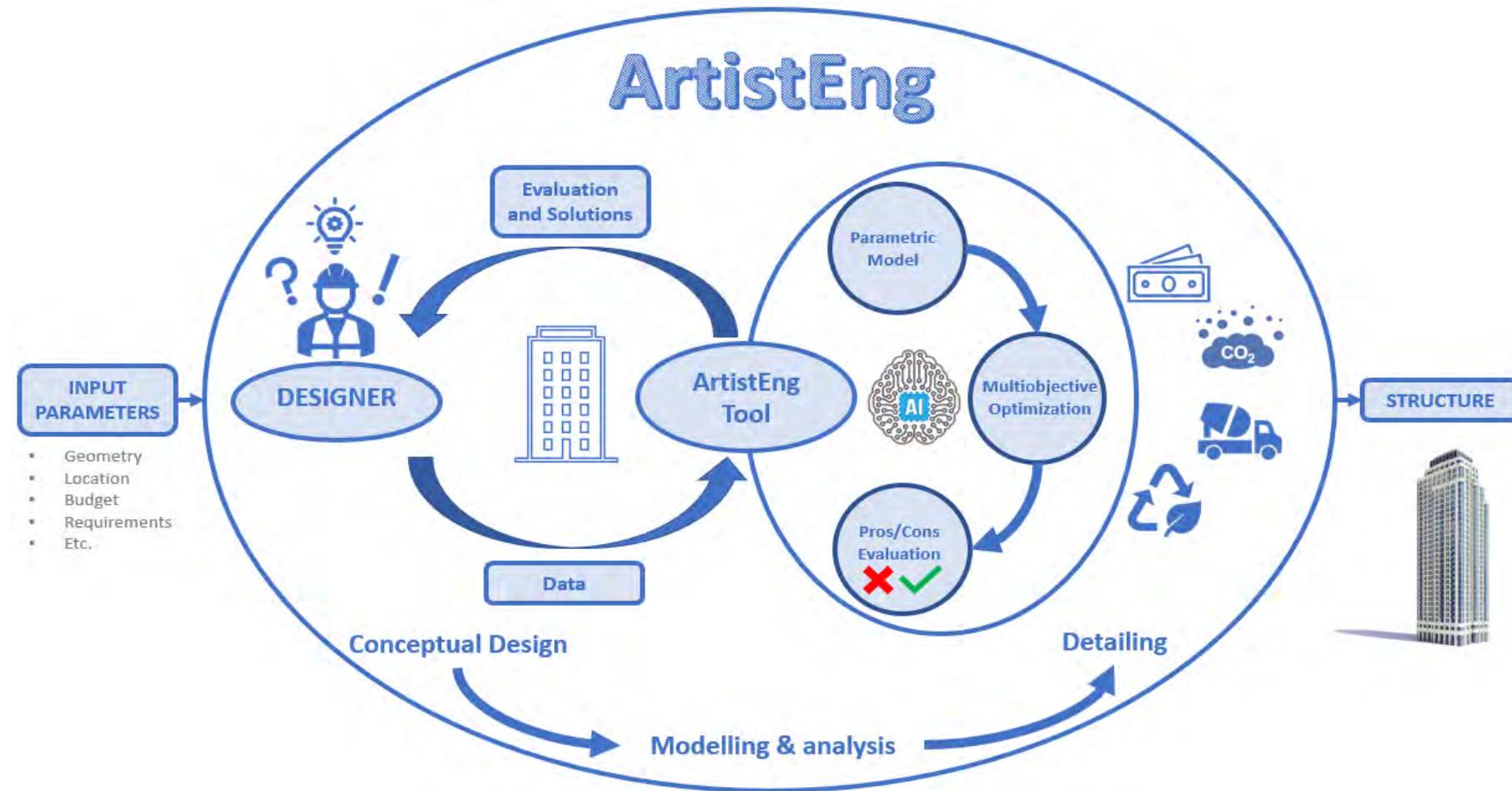
- Bias mitigation (e.g., avoiding over-optimization for cost at safety's expense).
- Regulatory frameworks for AI-generated designs.



Generative AI: current applications



Generative AI: current applications





AEROPORTI DI PUGLIA

BARI BRINDISI FOGGIA TARANTO



Benedetto Camerana
Studio



Aeroporto di Grottaglie - Spaziporto

Attualizzazione del Piano di Sviluppo
Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica
delle opere per la realizzazione dello Spaziporto
RUP – Ing. Donato d'Auria

Il gruppo di lavoro



Team Leader	- Ing. P. Cambula
RIPS	- Ing. C. Barbuta
Coord. Progetto	- Dott. M. Zappaterra
Prevenz. Incendi	- Ing. S. Tappi
Infrastrutture volo	- Ing. M. Vitiello
	- Ing. A. Allegrucci
	- Geom. M. De Fenza
Sicurezza	- Ing. F. Ferraro
	- Arch. A. Novelli
Idraulica	- Ing. S. Valenza
Leed AP.	- Ing. C. Parenti
Bim Manager	- Ing. M. Mitsch
Strutture	- Ing. L. Transerici



Impianti

- Ing. E. D'Argenzio
- Ing. E. Cimino
- Ing. G. Novembri



Coordinamento

- Ing. G. Ciullo
- Arch. G. Di Matteo
- Dott. R. Pedone
- Ing. P. Lovisolo
- Ing. M. Bordini
- Ing. S. Caffè
- Ing. C. Attanasio
- Ing. E. Scoditti
- Ing. C. Rizzo
- Arch. M. Mancini
- A. Bongiovanni

Benedetto Camerana
Studio

Architettura - Arch. B. Camerana
- Arch. F. Turnaturi
- Arch. M. Mingolla
- Arch. C. Gonella



Specialisti

- Ing. F. Santoro
- Ing. P. Cergna
- Ing. R. Sapone

Strutture



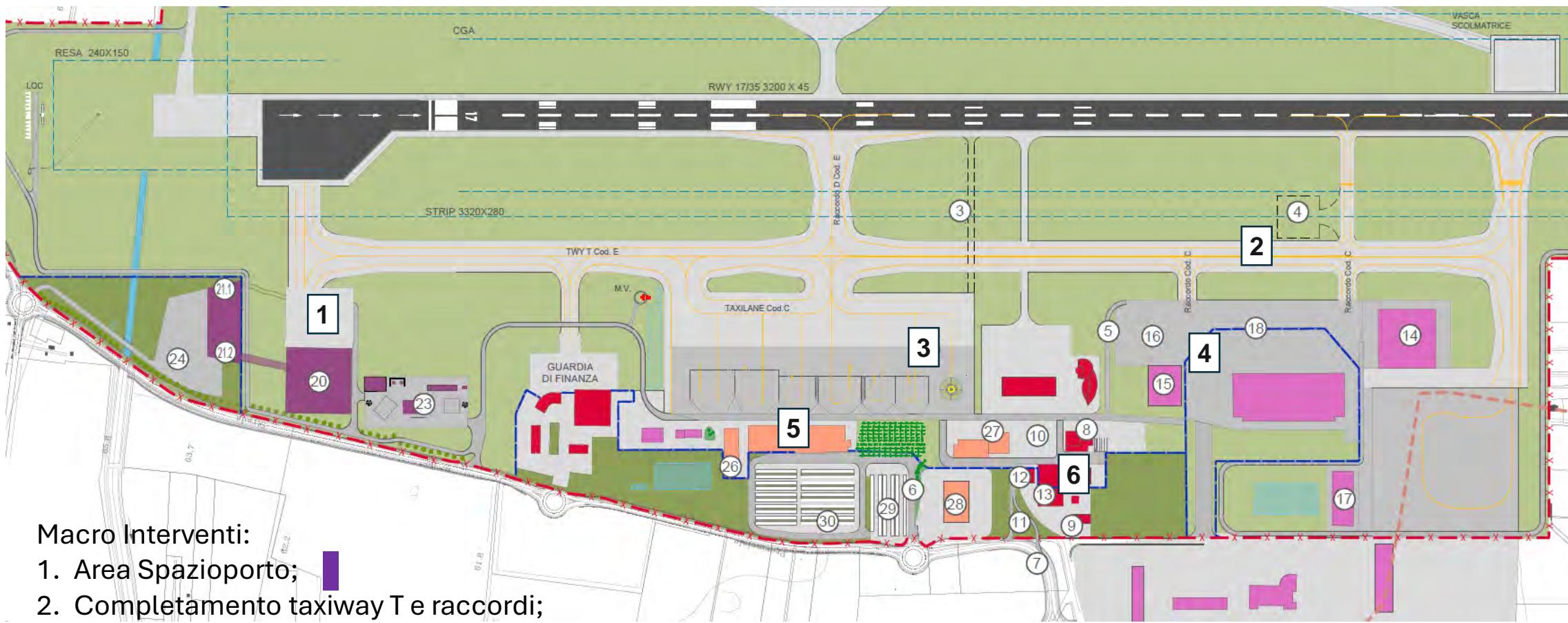
- Prof. G.C. Marano
- Prof. A. Manuelli Bertetto
- Ing. J. Melchiorre



Benedetto Camerana
Studio

Opere per la realizzazione dello Spazioporto

2. Attualizzazione interventi PSA e Protocolli Sostenibilità



Versione 10 ottobre 2023

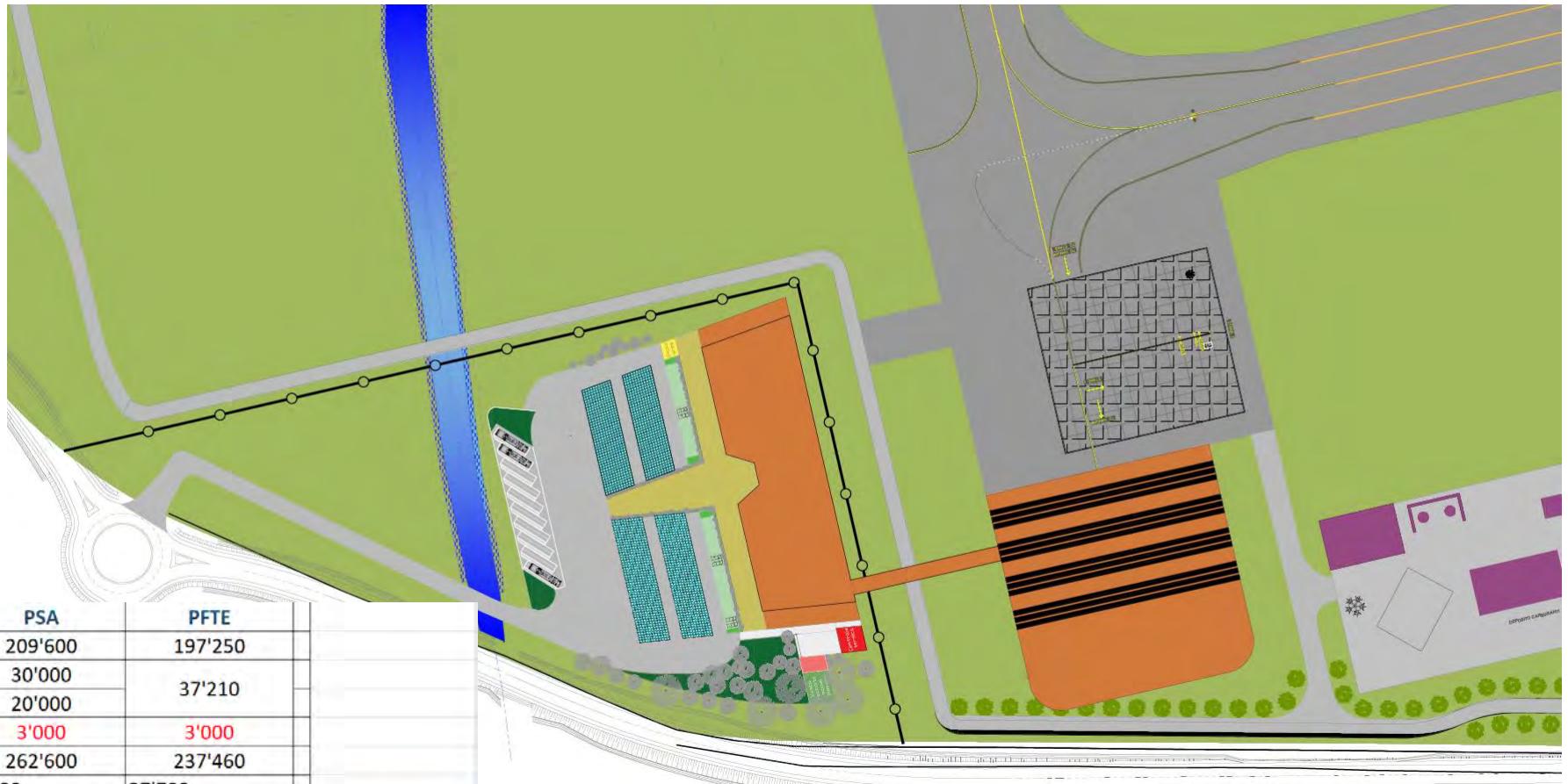
- 

Macro Interventi:

 1. Area Spazioporto;
 2. Completamento taxiway T e raccordi;
 3. Completamento piazzali aeromobili (Apron 3);
 4. Sviluppo dell'ambito industriale;
 5. Sviluppo dell'ambito di sperimentazione e ricerca;
 6. Sviluppo ambito area cargo;

2. Attualizzazione interventi PSA e Protocolli Sostenibilità

Particolare inquadramento planimetrico Spazioporto



Sperimentazione aeronautica (Area spazioporto)	PSA	PFTE
20 - hangar spazioporto	209'600	197'250
21.1 - modulo polifunzionale	30'000	37'210
21.2 - servizi ancillari	20'000	
23- Integrazione deposito carburanti	3'000	3'000
Totale	262'600	237'460
Superfici pavimentate	27'200	27'700
		AUTORIZZATO
Totale complessivo Grottaglie	492'900	467'760
		493'085

2. Attualizzazione interventi PSA e Protocolli Sostenibilità

Come previsto dai documenti di gara, la progettazione di Fattibilità Tecnico Economica è stata impostata secondo i **protocolli di sostenibilità ambientali**, più sfidanti come quelli derivanti dall'applicazione dei **principi obbligatori del CAM**) e quelli del **Protocollo internazionale LEED**.

Per questo ultimo è stata fondamentale la collaborazione continua da parte della Committenza e la possibilità di un confronto diretto, già nelle prime fasi della progettazione con l'ente certificatore (GBCI).

Per un corretta individuazione degli oggetti della certificazione sono stati quindi definiti **2 progetti LEED**



EDIFICIO POLIFUNZIONALE (21):LEED BD+C: New Construction

HANGAR (20): LEED BD+C: Warehouse

La divisione concettuale dei 2 edifici risiede nel fatto che il collegamento non ha alcuna funzione «programmabile» ed è funzionale solo al passaggio degli occupanti da un edificio all'altro.

*Nel caso in cui si voglia inserire gli Edifici (20-21) in un contesto più ampio di sviluppo, si potrà registrare il progetto come **LEED CAMPUS BOUNDARY** e via via aggiungere gli altri nuovi edifici (o da ristrutturare) eventualmente includendo anche la pista di rullaggio e decollo*



3. Missioni Spaziali-Presupposti e Prospettive

Il **VOLO SUBORBITALE** consente accesso allo spazio fino a una quota di circa 100 km e permette alcuni minuti di microgravità, tipicamente da 4 a 6, consentendo attività legate al **turismo spaziale**, alla **sperimentazione in microgravità**, all'**addestramento di astronauti e piloti**.



In riferimento al Regolamento ENAC per la costruzione e l'Esercizio degli Spaziporti che consente per il momento in territorio italiano esclusivamente sistemi di accesso allo spazio a **decollo orizzontale**, il sistema di volo spaziale **Virgin Galactic** rappresenta, al momento, la tecnologia più matura per questo tipo di volo.



Il **lancio aviotrasportato di un satellite** si basa su un sistema almeno a due stadi comprendente un apposito veicolo portante, un piccolo lanciatore contenente il carico utile del satellite. Una volta rilasciato, il lanciarazzi, che a sua volta può essere un sistema multistadio espandibile, accenderà il suo sistema di propulsione e metterà in orbita il satellite.

Vantaggi:

- ❖ Lanzio su richiesta
- ❖ Requisiti molto basilari dello spazioporto:
- ❖ sono sufficienti solo una pista idonea e adeguate strutture di integrazione che rendano possibile eseguire lanci da più siti in qualsiasi direzione in conformità con il sistema normativo applicabile
- ❖ Possibilità di eseguire lanci con meno vincoli di condizioni meteo; infatti, temporali e forti venti non pregiudicheranno le operazioni, come di solito accade con i lanciatori da terra, e possibilità di ripianificare i parametri orbitali durante il volo atmosferico, modificando il profilo di volo della portante

3. Missioni Spaziali-Presupposti e Prospettive



Lo Spazioporto di Grottaglie sarà anche dotato della capacità di supportare le **operazioni di rientro** atmosferico di veicoli provenienti dallo spazio, da orbite compatibili con la latitudine di Grottaglie.

In particolare, questa capacità sarà estremamente utile nel caso di **veicoli riutilizzabili**.

A titolo di concetto operativo, ma senza necessariamente restringere il campo, si può prendere come riferimento il **concetto operativo del Dream Chaser**.

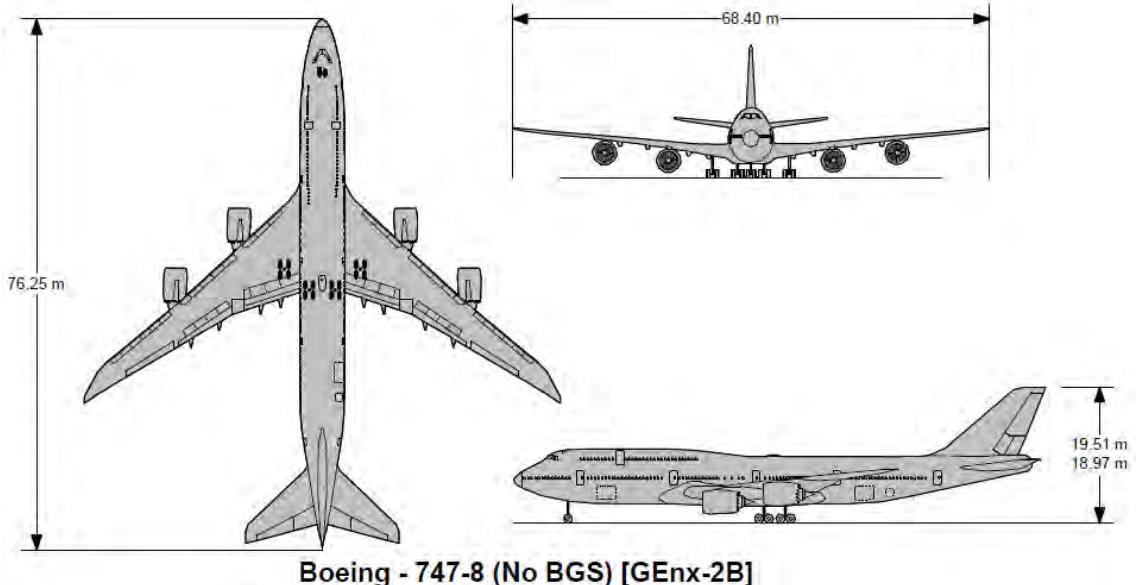
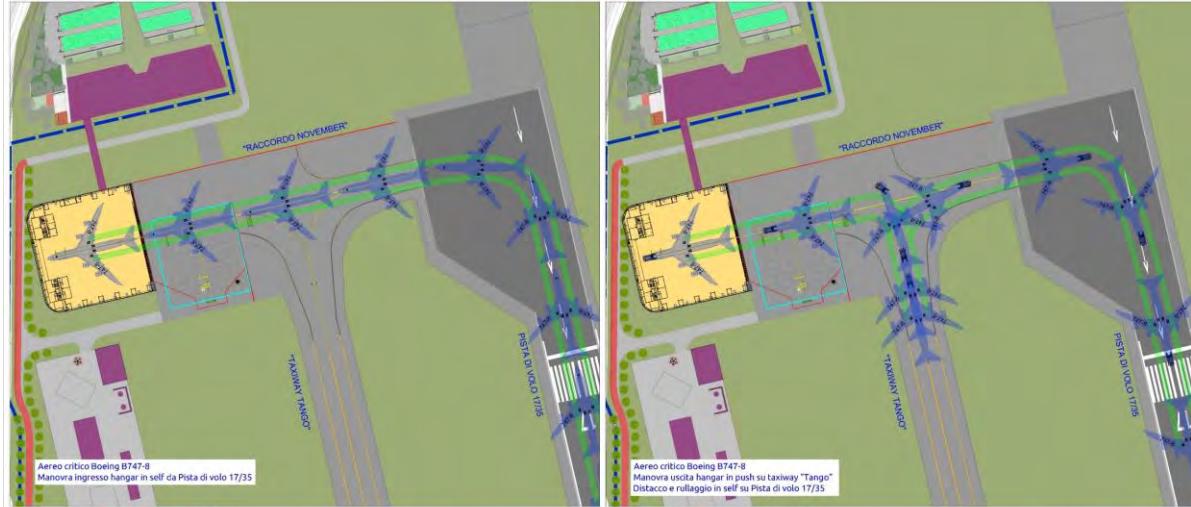


Per quanto riguarda il **Volo d'alta quota (near space)**, sempre a titolo indicativo lo Spazioporto potrà accogliere modelli tipo lo **Skydweller** - velivolo ad energia solare per possibili prove di volo con le seguenti caratteristiche:

- ❖ apertura alare: 72 meters,
- ❖ peso: 2.5 tons,
- ❖ velocità di crociera: 46-90 Km/h,
- ❖ 14.000 meters slm
- ❖ 4 motori elettrici con batterie ricaricabili
- ❖ Tecnologia di volo autonomo con autopilot; pilota presente a bordo in caso di necessità

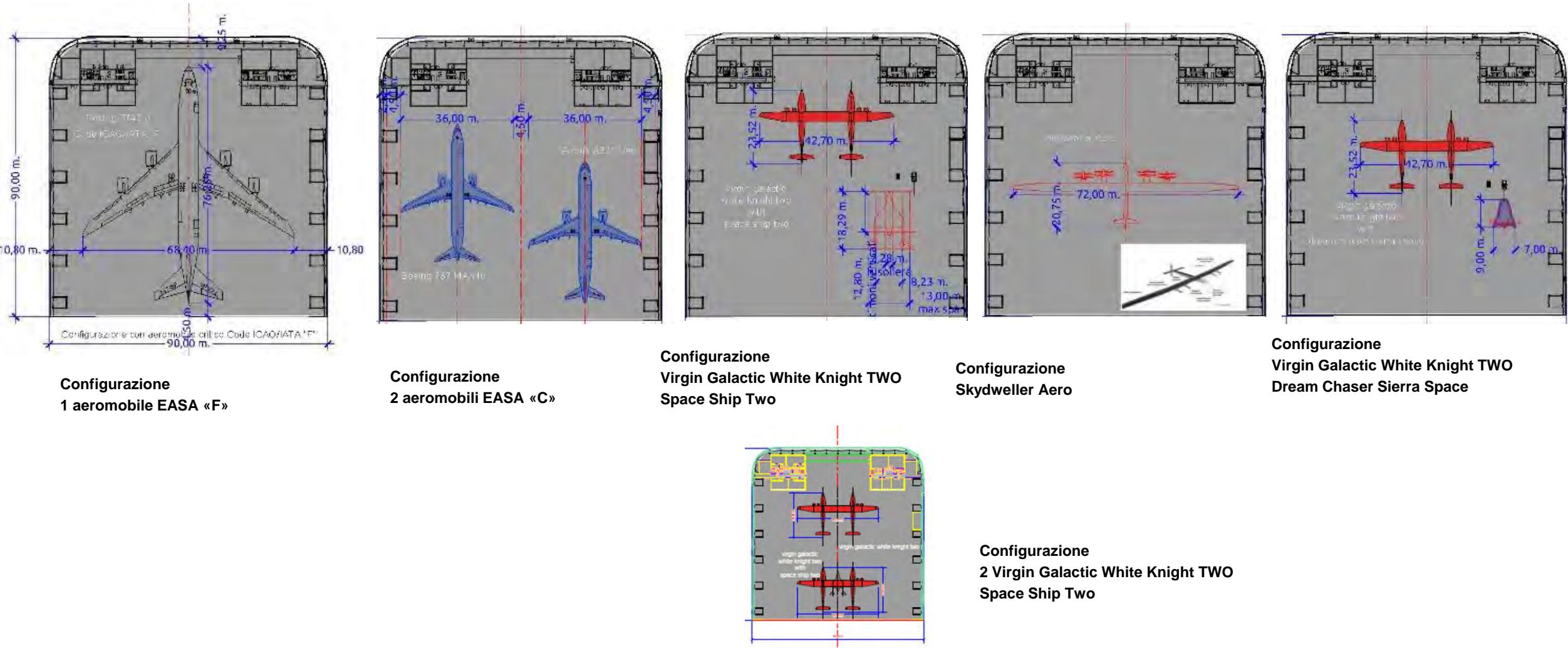
4. Il PFTE – Infrastrutture di volo

Allo scopo di garantire la massima flessibilità delle **infrastrutture di volo** a servizio dello Spazio Porto di Grottaglie, per i dimensionamenti delle operazioni di volo è stato considerato come velivolo critico il Boeing 747-8.



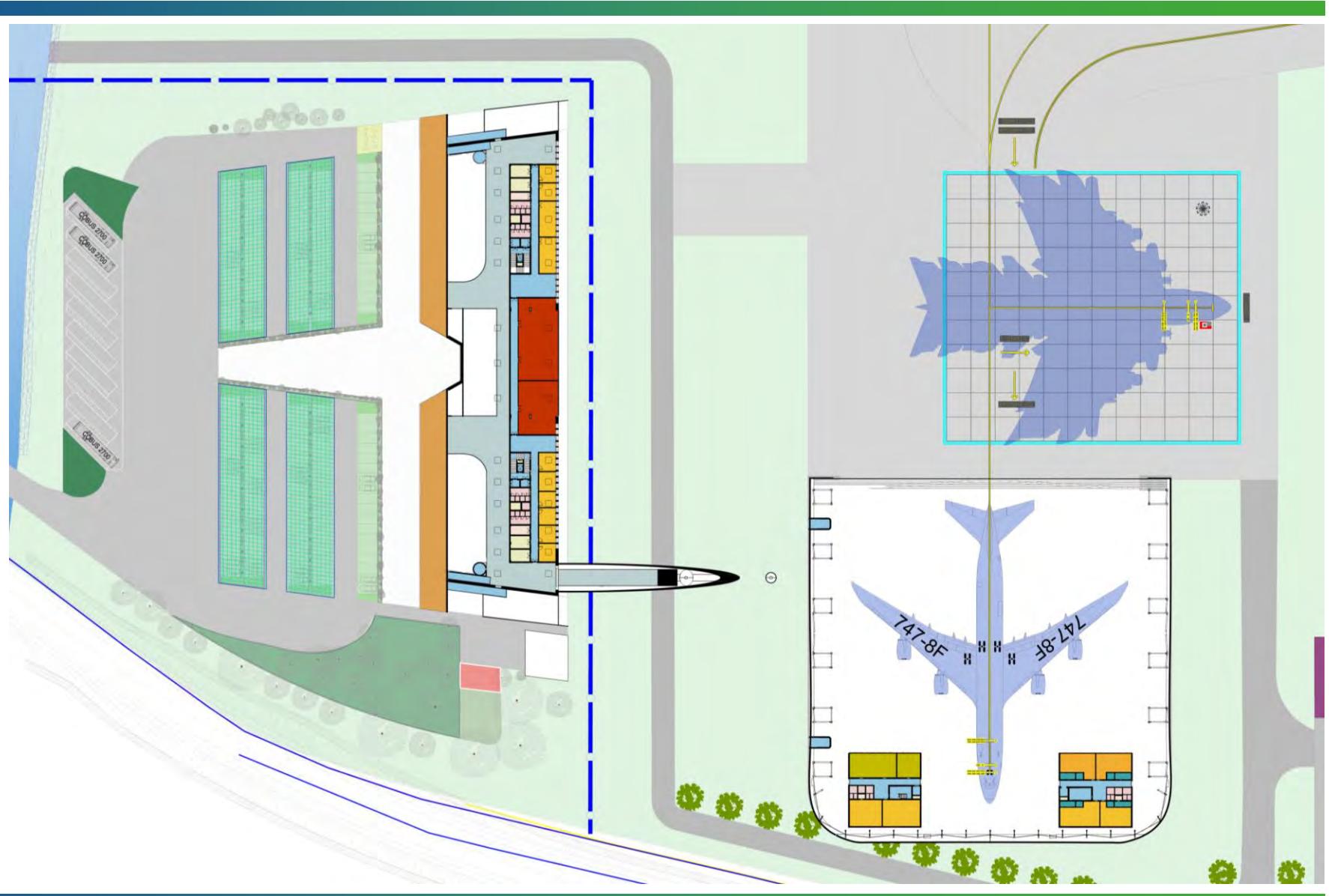
4. Il PFTE - Infrastrutture di volo

Allo stesso modo si è proceduto a dimensionare l'**HANGAR** a servizio delle operazioni di volo, in modo che possa accogliere la maggior parte dei velivoli con le tecnologie di volo ad oggi note.



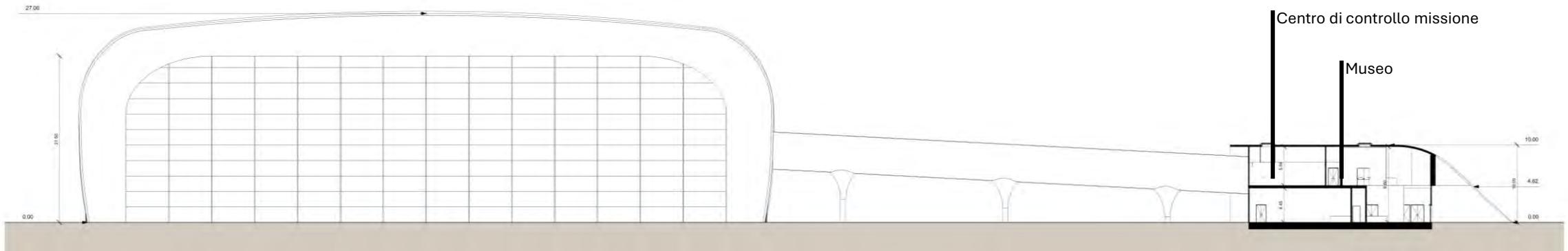
4. Il PFTE - Architettura

Planimetria
Piano Primo

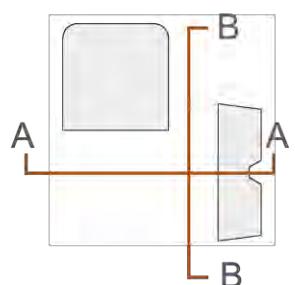
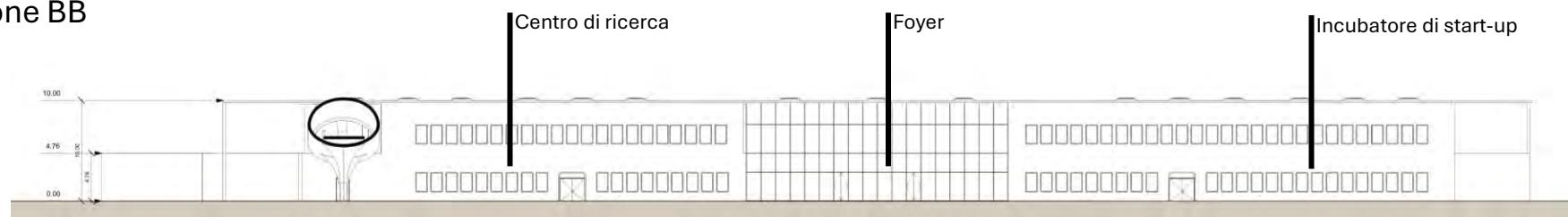


4. Il PFTE - Architettura

Sezione AA

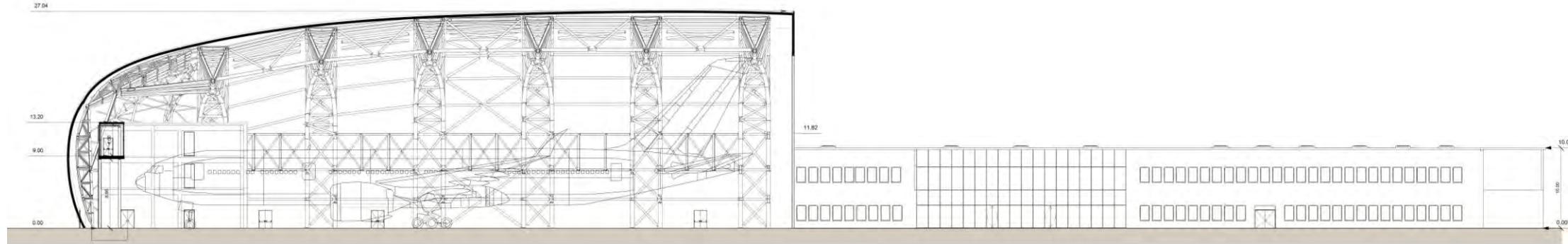


Sezione BB

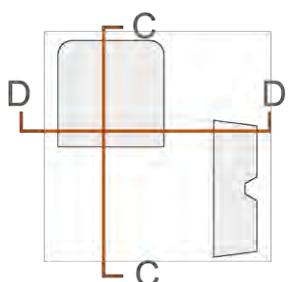
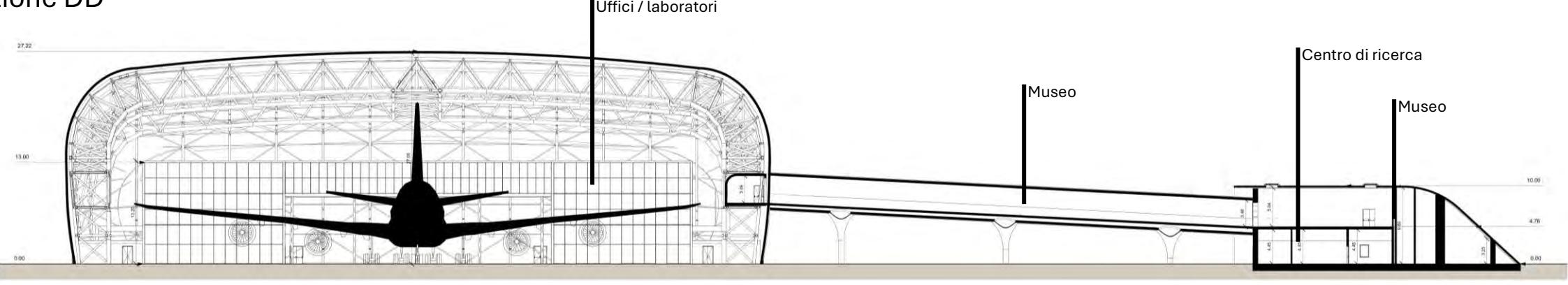


4. Il PFTE - Architettura

Sezione CC



Sezione DD

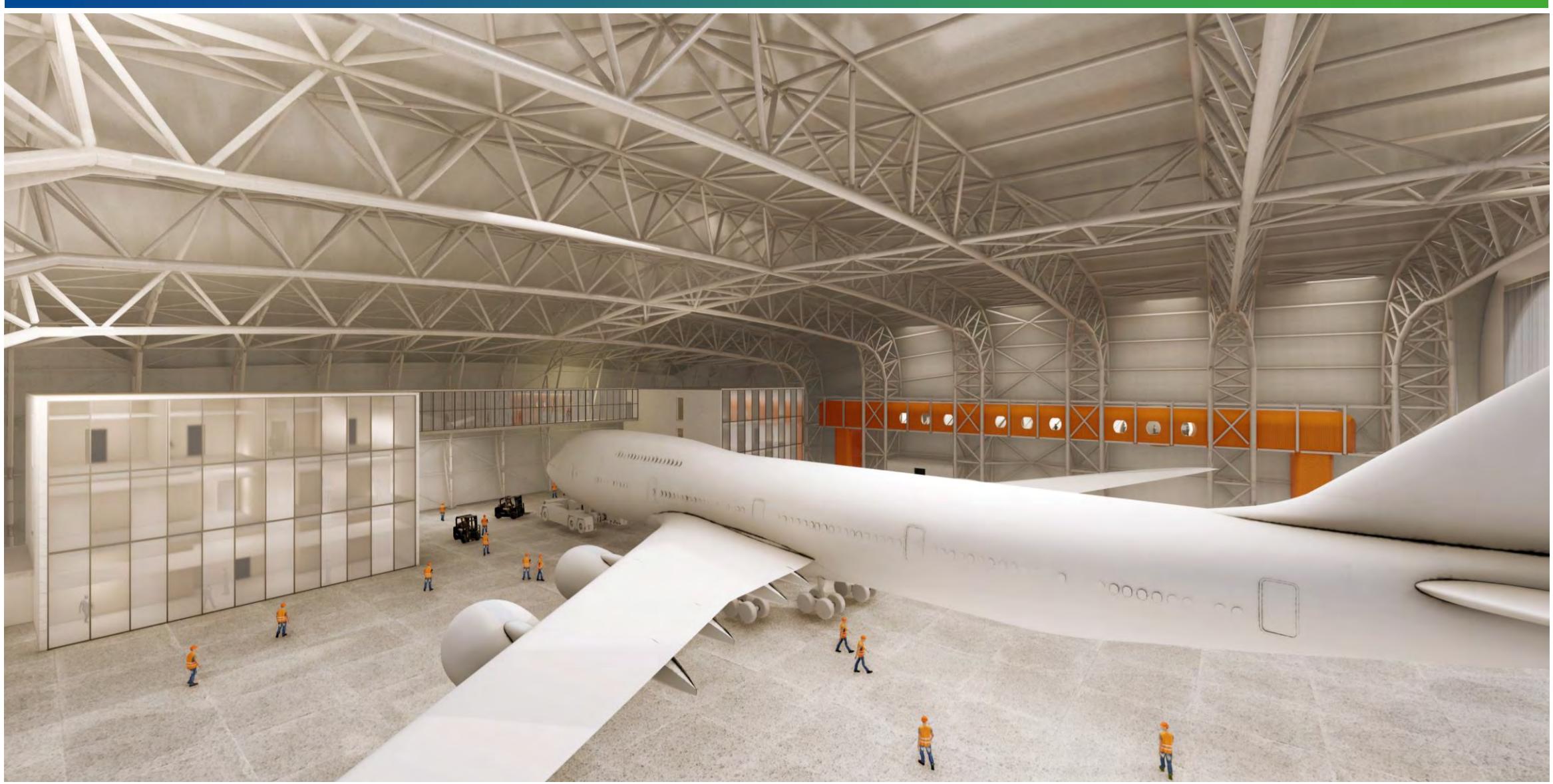


4. Il PFTE - Architettura



4. Il PFTE - Architettura



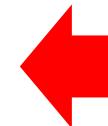
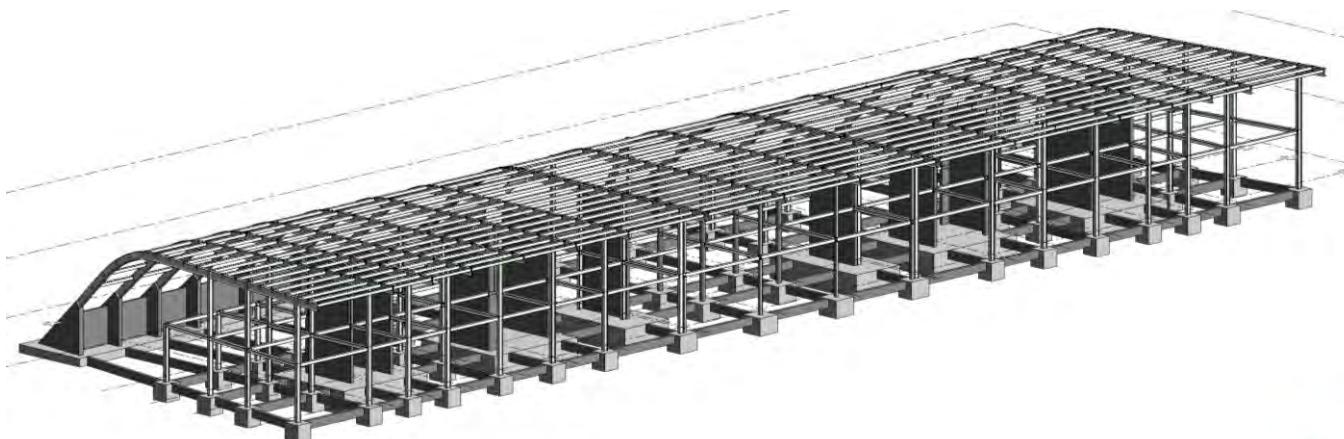
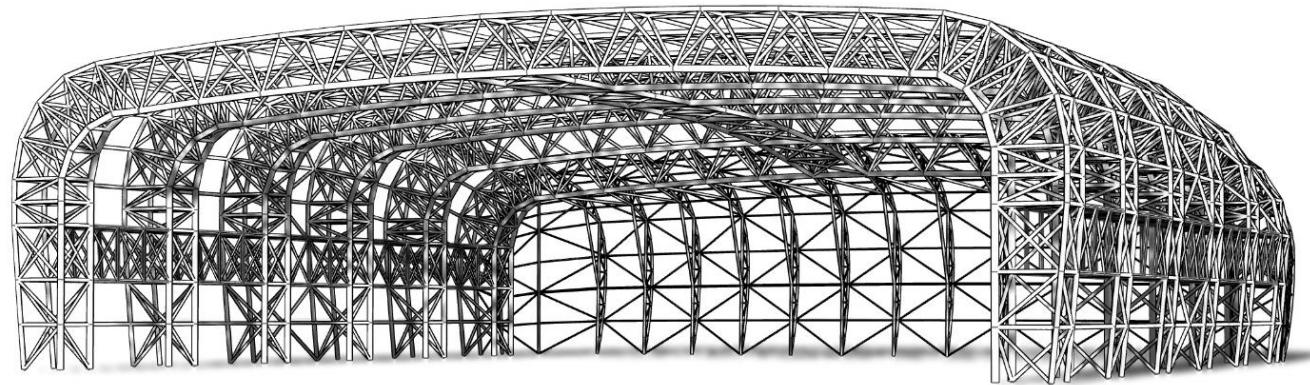




4. Il PFTE - Strutture

HANGAR

L'hangar è costituito da sei portali a struttura reticolare spaziale, posti ad interasse costante pari a 13.52m, aenti luce interna di 78.72m e altezza massima pari a 26.25m.

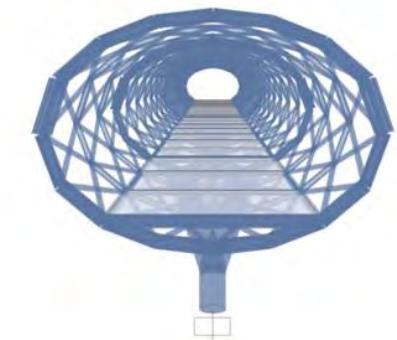
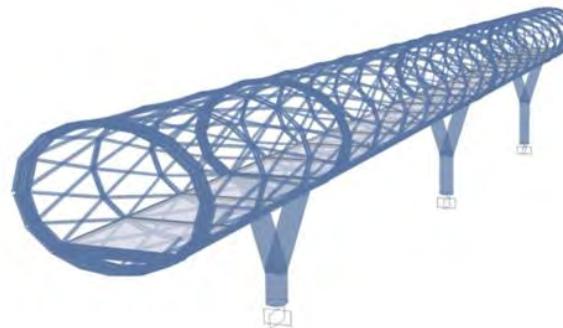


EDIFICIO POLIFUNZIONALE

fabbricato di due piani di altezza, esteso per oltre 120 m nella direzione longitudinale e circa 35 metri in quella trasversale

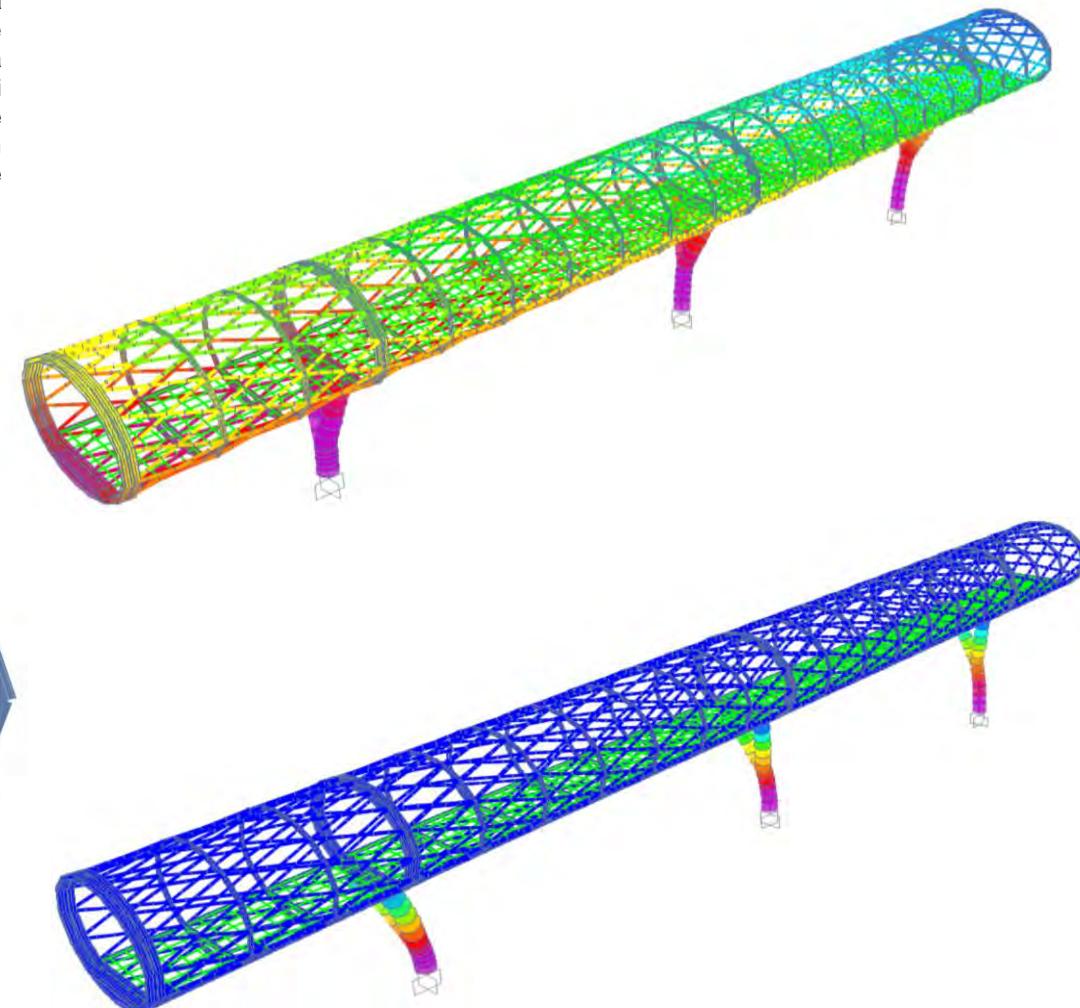
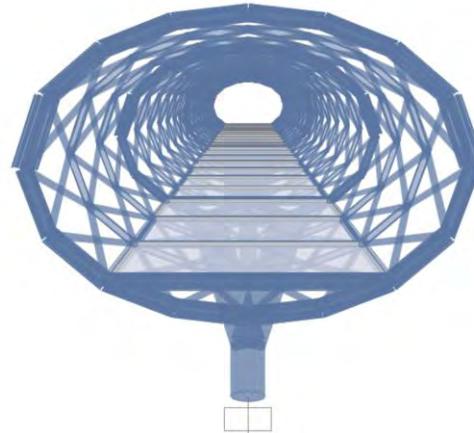
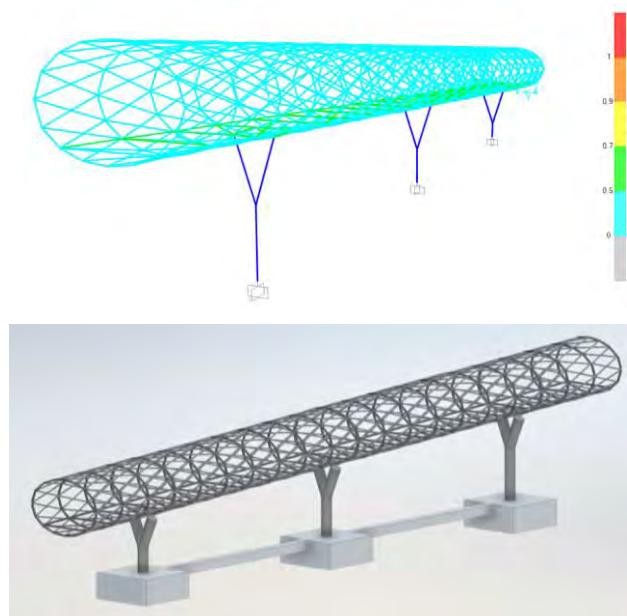
PASSERELLA PEDONALE

Guscio strutturale a graticcio (gridshell) a sezione ellissoidale di lunghezza pari a 60 m



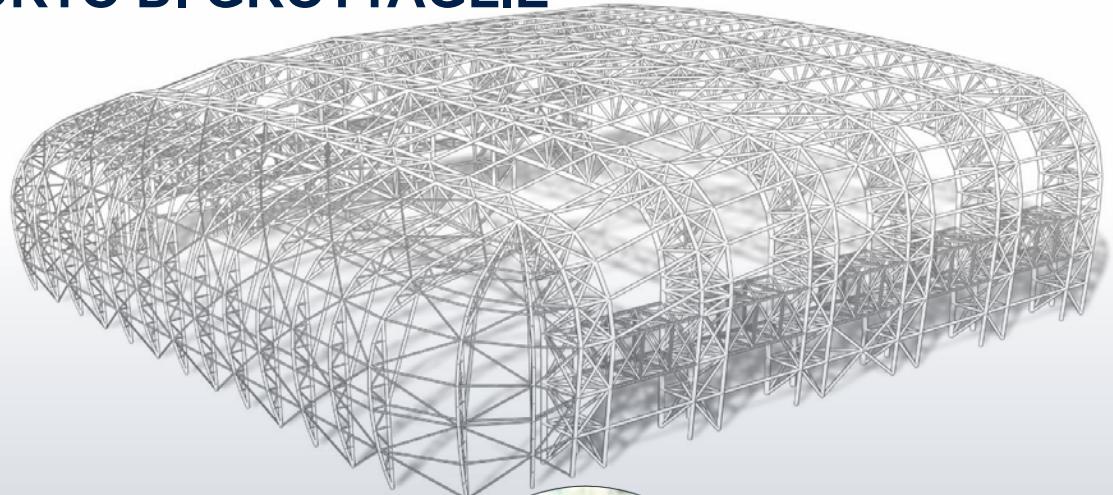
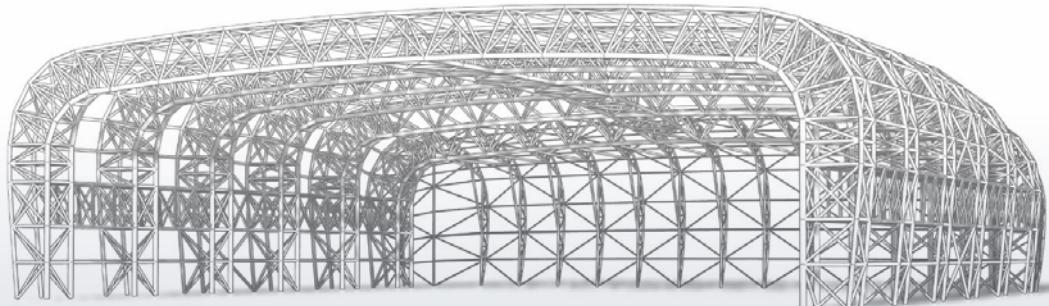
PASSERELLA PEDONALE

La passerella di collegamento tra hangar e edificio polifunzionale è realizzata come un **guscio strutturale a graticcio (gridshell) a sezione ellissoidale** al cui interno è collocato l'impalcato calpestabile. La struttura è sostenuta da 3 colonne in calcestruzzo poste ad interasse pari a 21.5m, distanziate in maniera da consentire la massima visibilità dell'aeroporto dall'esterno. L'impalcato ha una sezione trasversale pari a 4.50m. Le ellissi collocate in corrispondenza delle colonne, maggiormente sollecitate, sono realizzate come travi a cassone composte da coppie di profili HEA180 affiancati, mentre le altre, poste a 3 metri di interasse o realizzate con HEA120. Gli elementi diagonali che connettono le ellissi sono tubolari CHS114.6 da 6.3 mm di spessore. Le colonne di sostegno a "Y" sono in calcestruzzo aventi diametro pari a 85 cm.





PROGETTO PARAMETRICO E OTTIMIZZAZIONE STRUTTURALE DELL'HANGAR SPAZIOPORTO DI GROTTAGLIE



Ing. J. Melchiorre

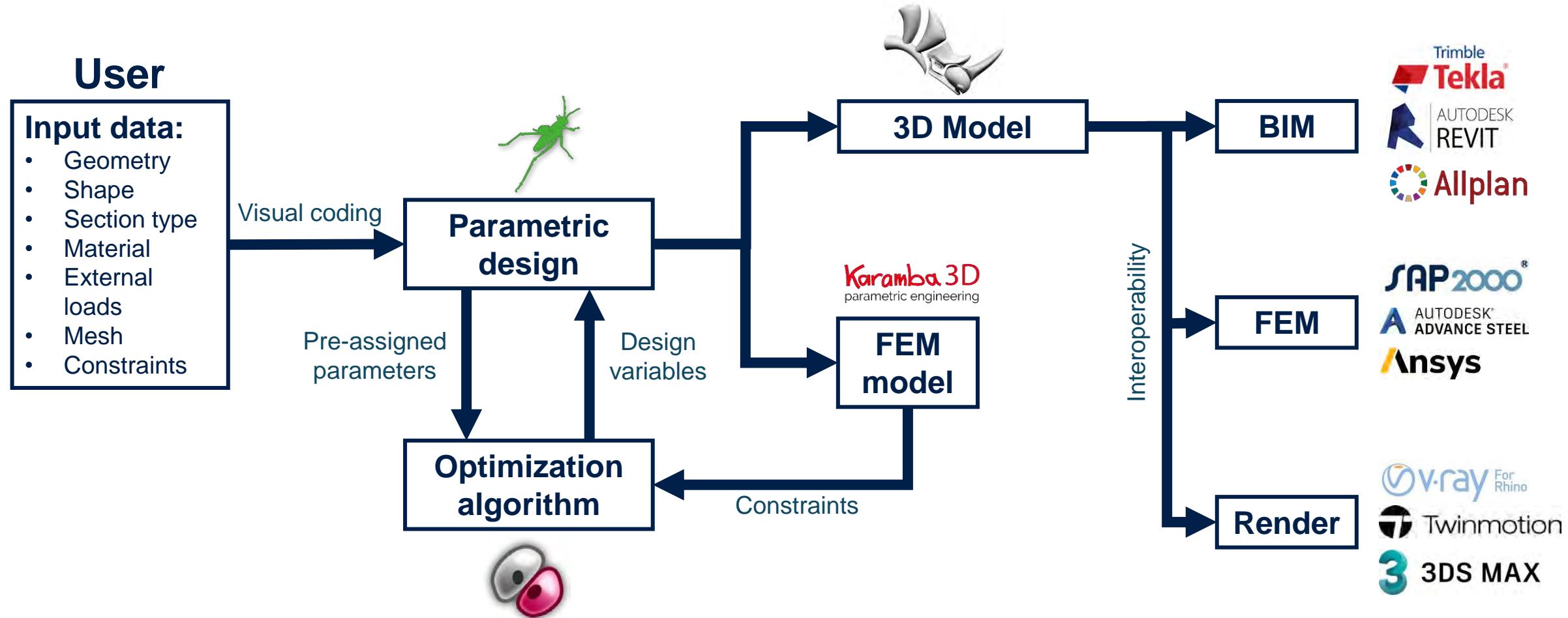


Prof. A. Manuello

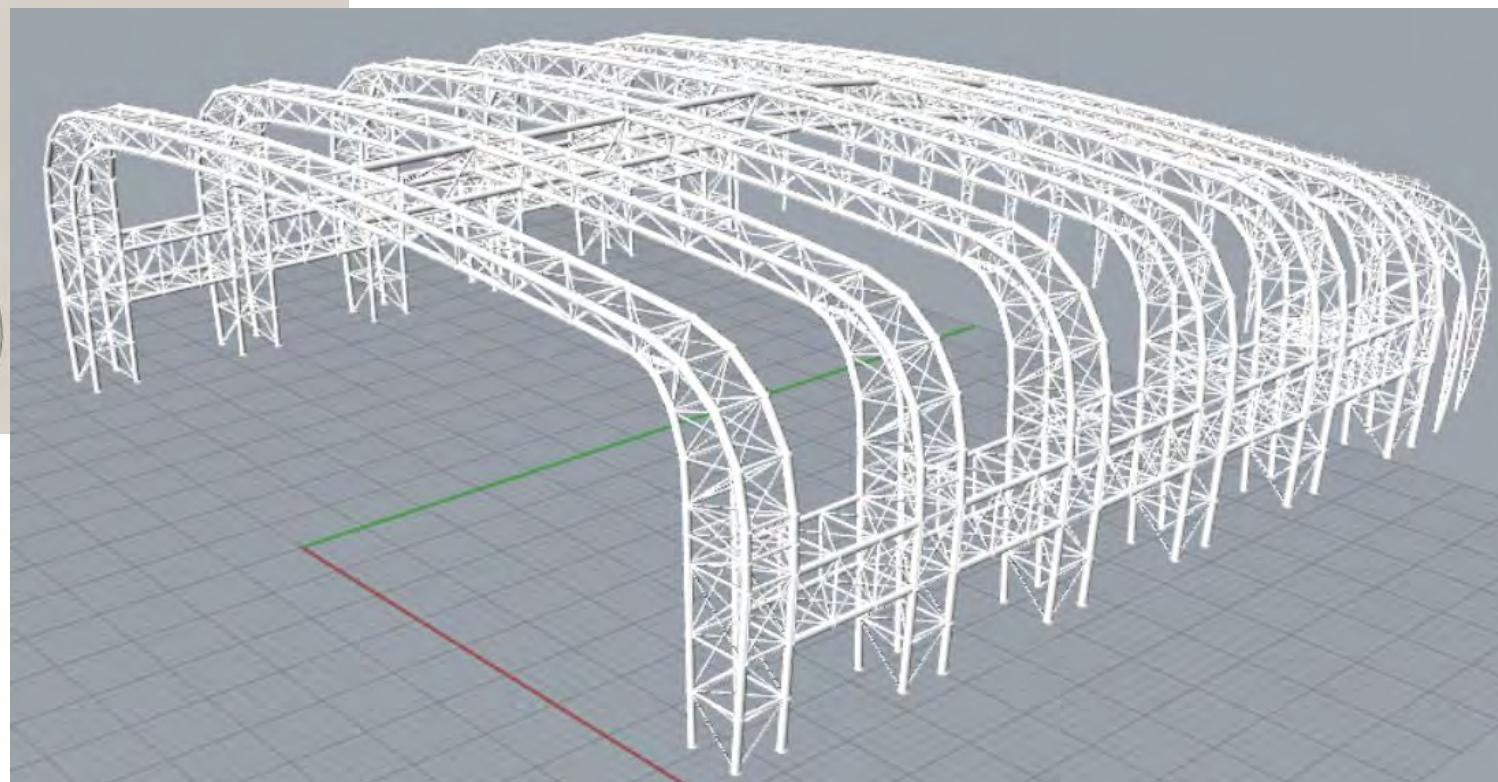
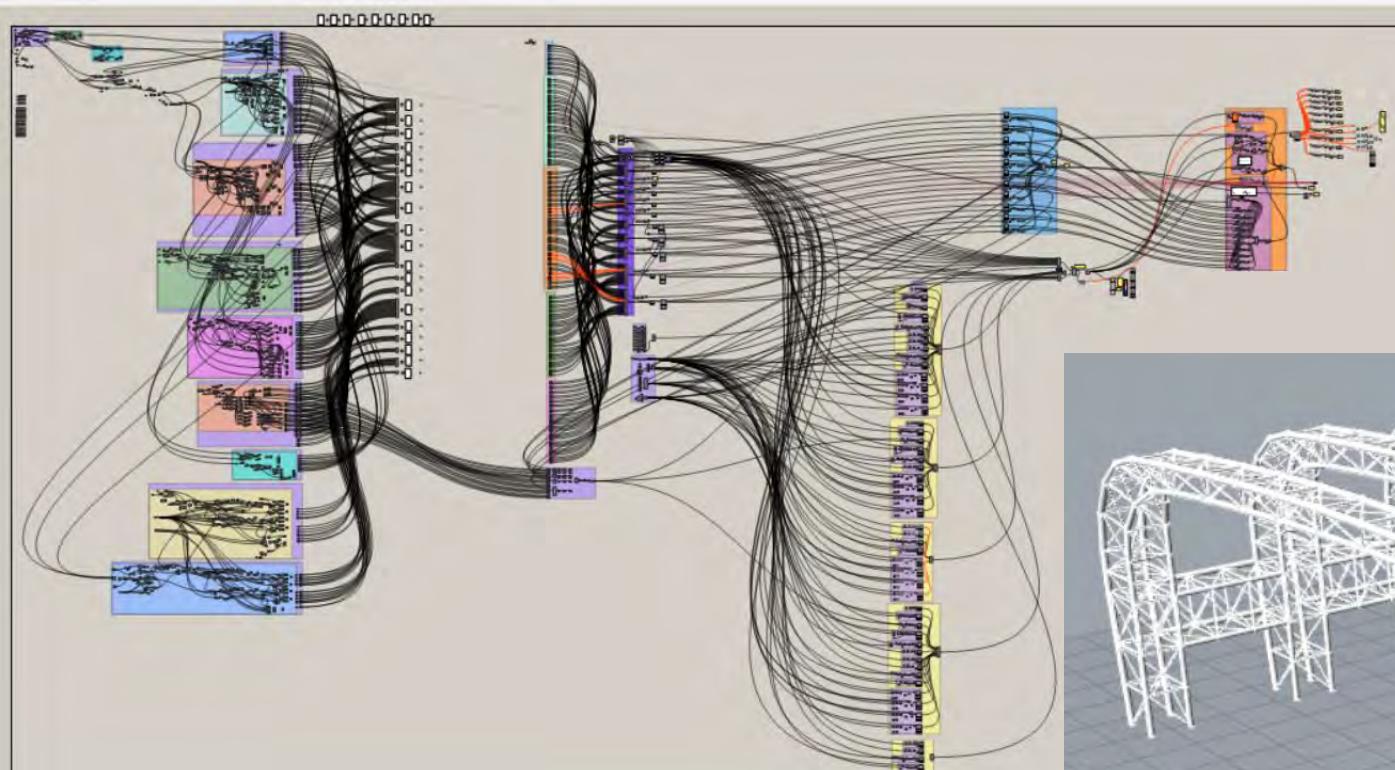


Prof. G. C. Marano

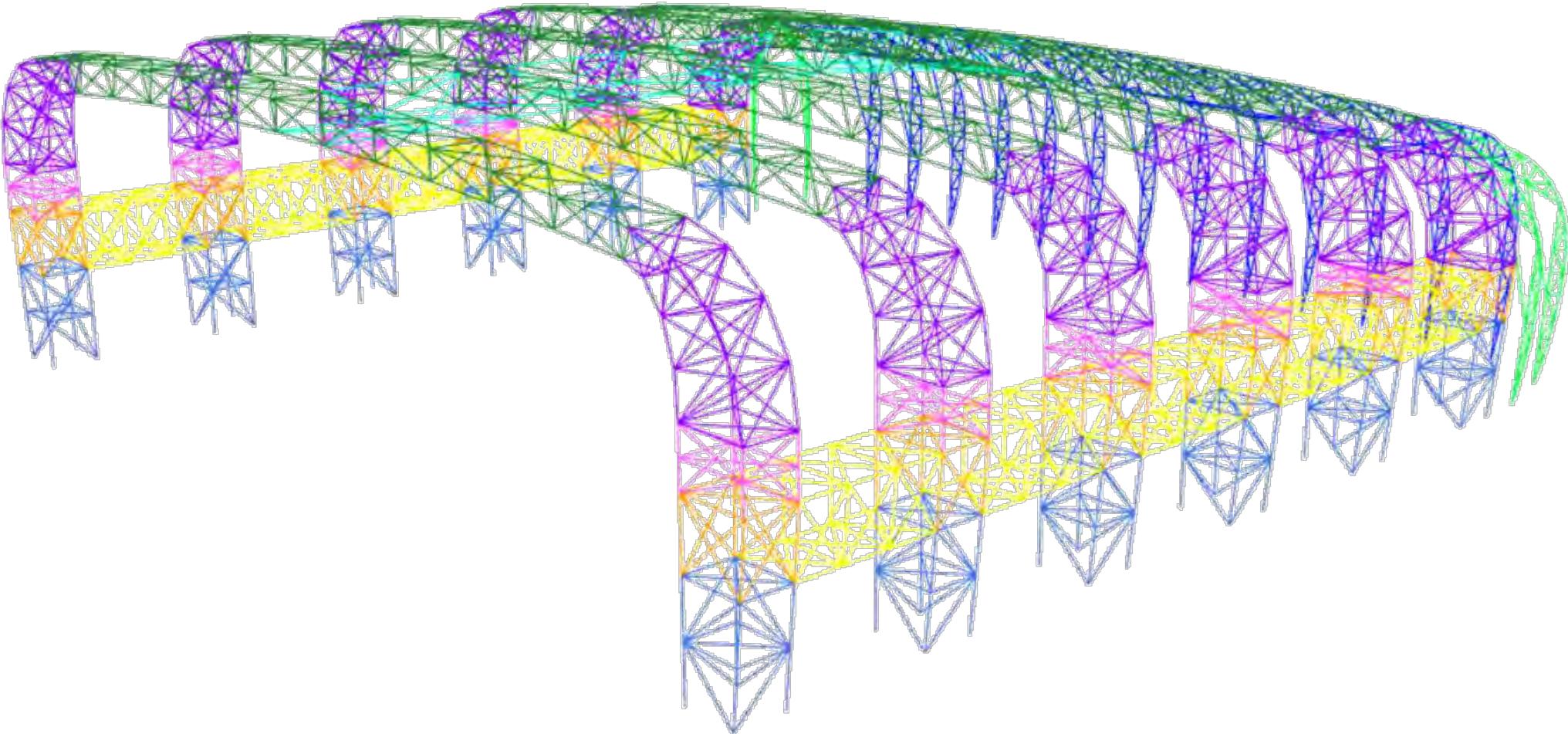
Progetto parametrico per ottimizzazione



Modello parametrico



Struttura modulare per facilitare la fase di assemblaggio



Problema di ottimizzazione

Funzione obiettivo:

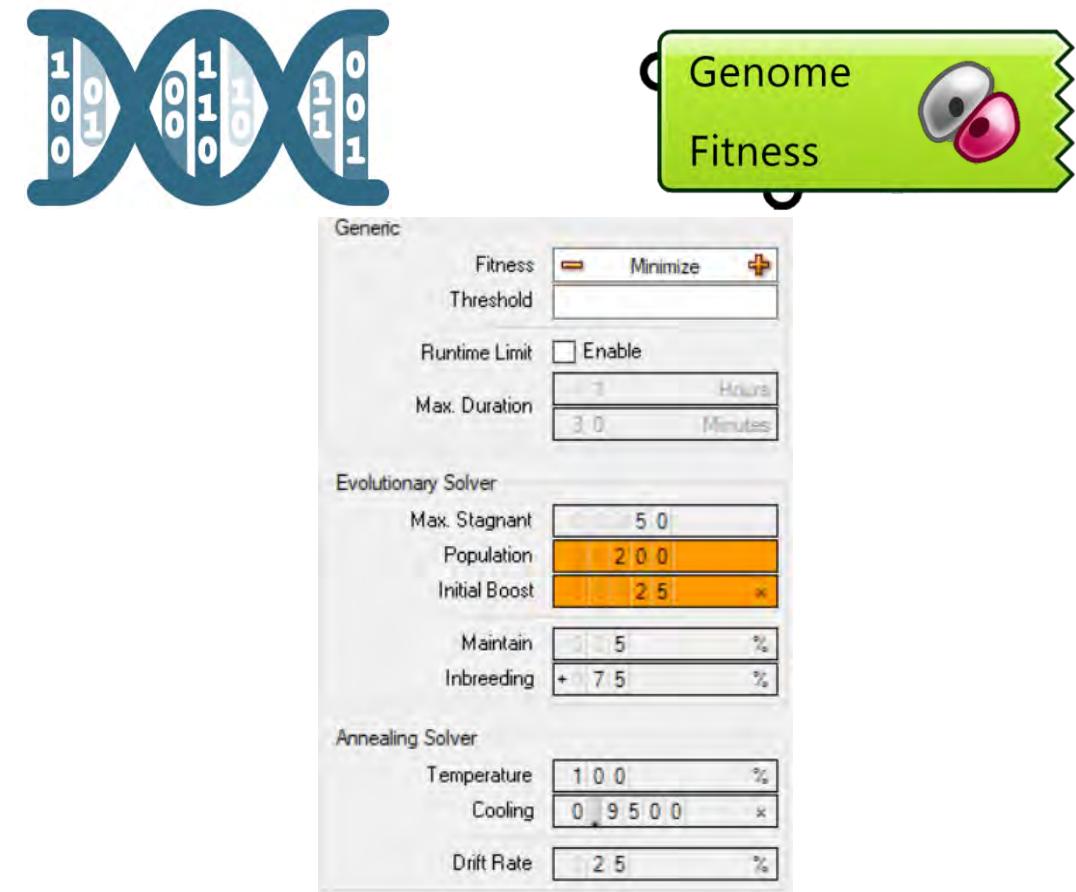
Minimizzazione quantitativo di acciaio strutturale [ton].

Vincoli di ottimizzazione:

- Verifica SLU coefficienti di utilizzazione secondo verifiche Eurocodice 3.
- Verifica di non intercettazione del timone aereo tipo.
- Verifica SLE di massimo abbassamento al centro.
- Verifica SLE di massimo spostamento orizzontale.
- Verifica di sezione **NON** in classe 4.

Algoritmo di ottimizzazione:

Galapagos: Evolutionary Optimization Algorithm.



Azioni considerate

Permanenti

G1: Peso proprio degli elementi

strutturali:

- Peso proprio elementi portale.
- Peso proprio bullonature.
- Peso proprio elementi passerella.

G2: Permanenti portati:

- Finiture.
- Impianti.
- Fotovoltaico.
- Travi carroponte.

Variabili

Q1: Variabili carroponte:

- Verticali.
- Orizzontali.

Q2: Folla su passerella.

Q3: Neve.

Q4: Vento:

- Pressione esterna.
- Pressione interna.

Combinazioni delle azioni

Sono state considerate **4 combinazioni delle azioni** al fine di effettuare le verifiche strutturali e geometriche necessarie per definire i vincoli dell'ottimizzazione.

- **SLU: Combinazione caratteristica con verifiche EC3 per calcolare i coefficienti di utilizzazione:**

$$C_1 = 1,5 G_1 + 1,5 G_2 + 1,35 Q_1 + 1,5 Q_2 + 1,5 Q_3 + 1,5 * 0,6 Q_4$$

- **SLU: Combinazione caratteristica con verifiche EC3 per calcolare i coefficienti di utilizzazione (vento principale):**

$$C_2 = G_1 + 0,8 G_2 + 1,5 Q_4$$

- **SLE: Combinazione solo variabili per verifica abbassamento e intersezione timone:**

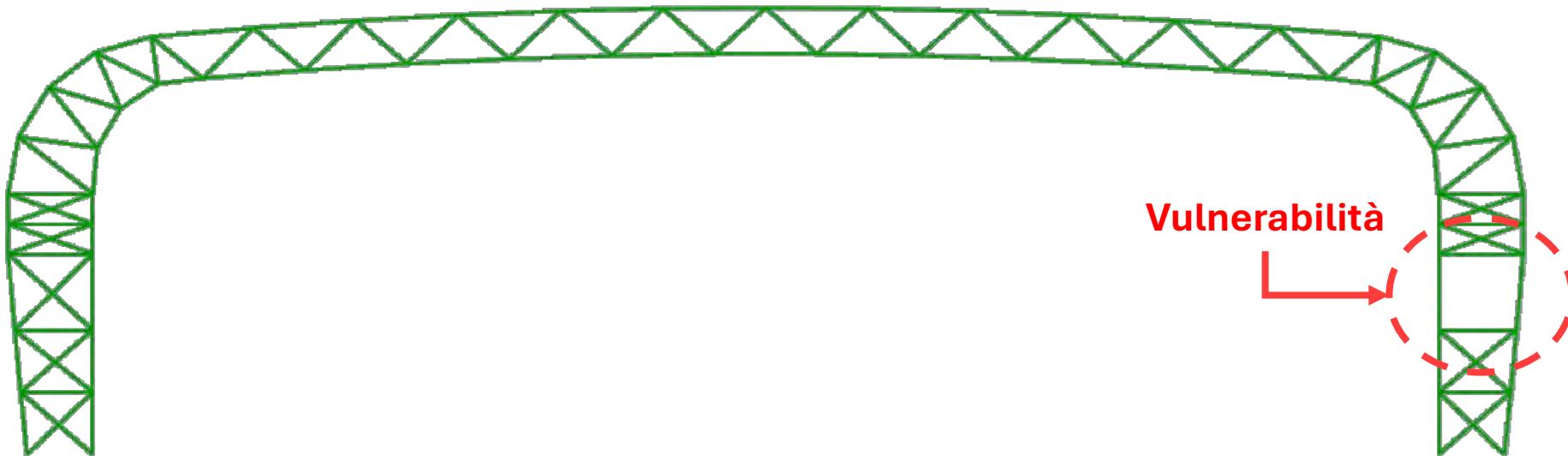
$$C_3 = 1,5 * 0,5 Q_2 + Q_3$$

- **SLE: Combinazione solo variabili per verifica massimo spostamento orizzontale:**

$$C_4 = G_1 + G_2 + 0,7 Q_1 + 0,7 Q_2 + 0,5 Q_3 + 0,6 Q_4$$

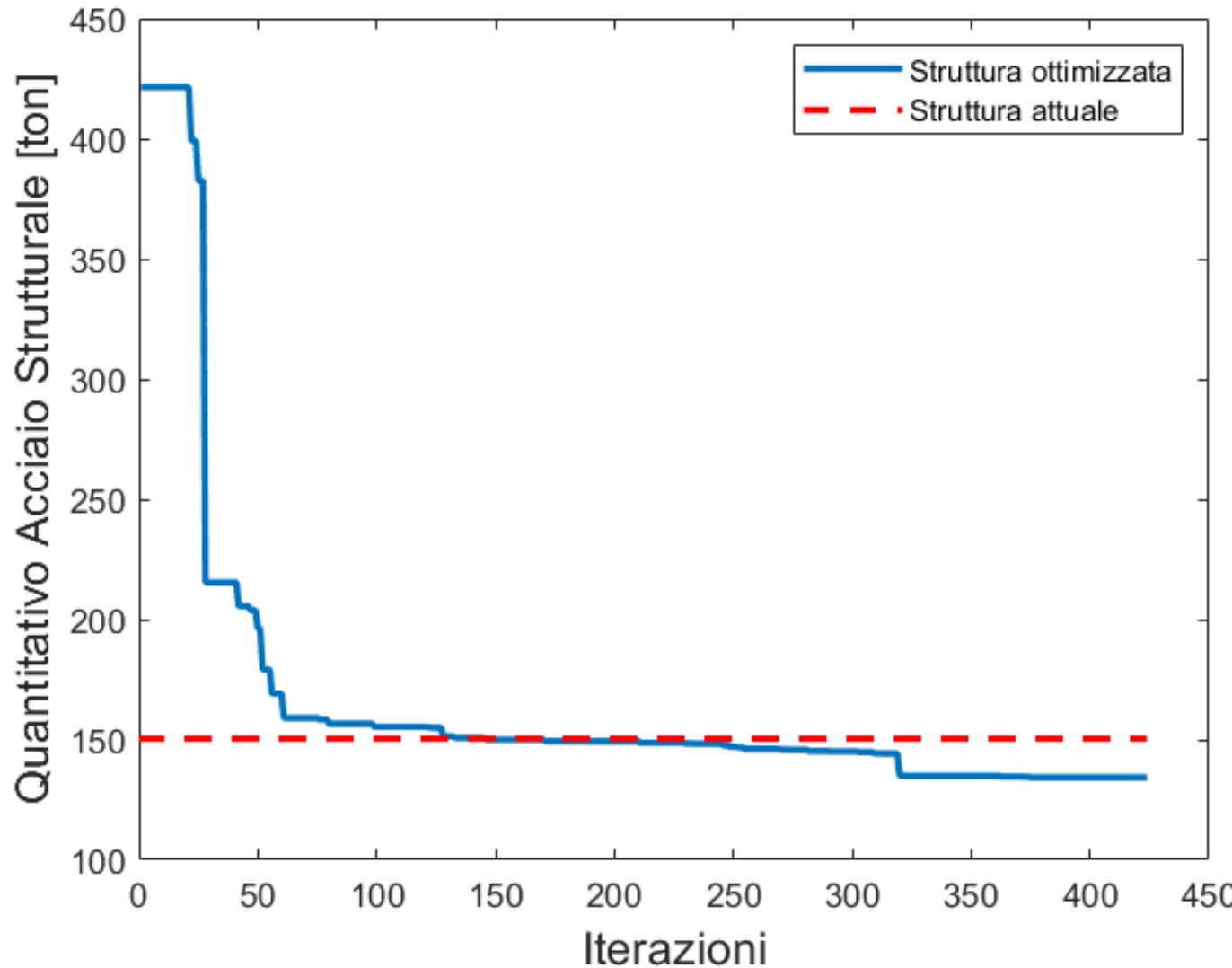
Ottimizzazione portale critico

Il portale critico è identificato come il **portale numero 4**, caratterizzato dalla presenza simultanea del carroponte e della passerella. In particolare, il passaggio della passerella attraverso il portale costituisce un elemento di **vulnerabilità** poiché impedisce l'installazione di controventi in quel punto specifico.



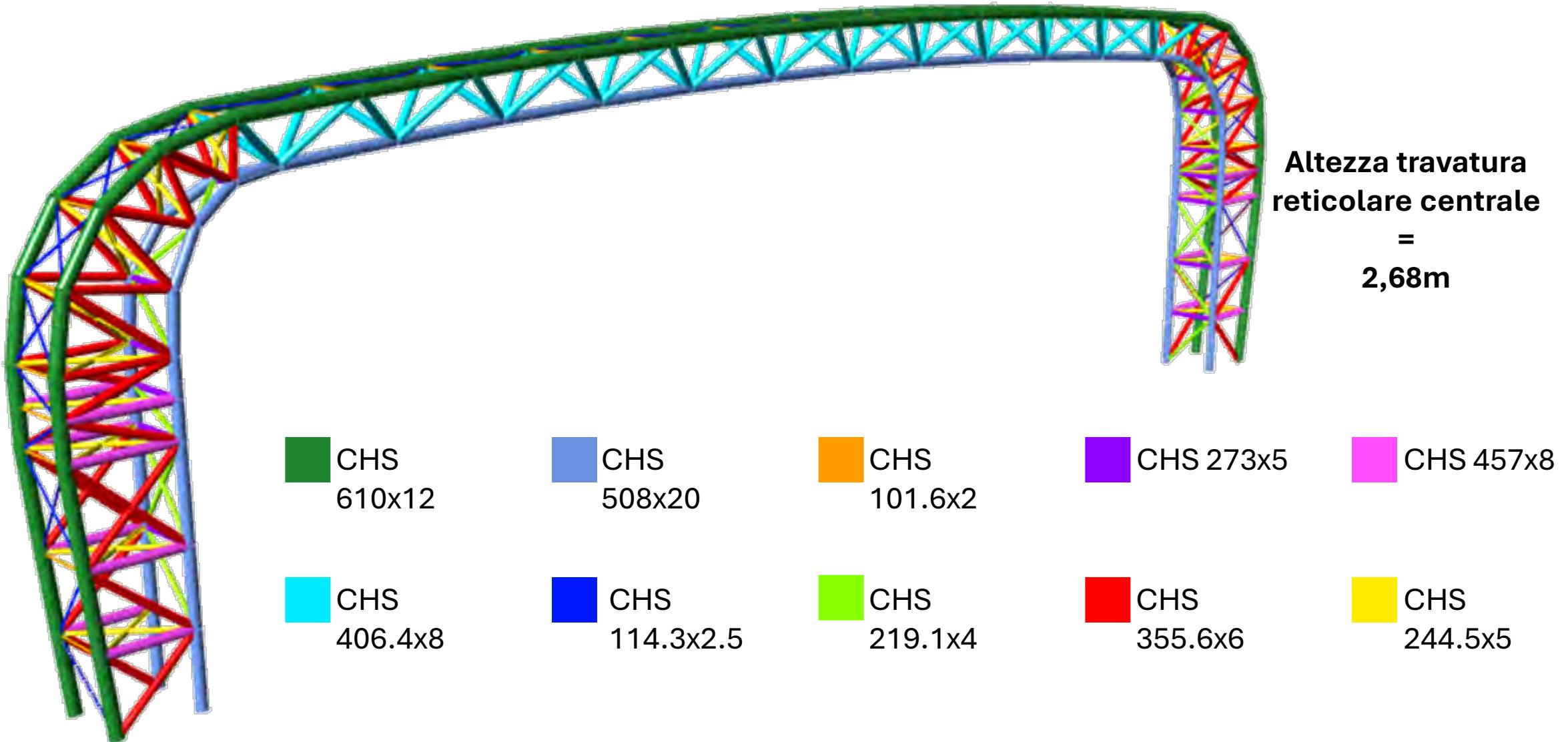
N.B. Nell'analisi semplificata adottata, la verifica di questo portale risulta essere fin **troppo cautelativa** in quanto nel modello **non sono presenti le resistenze date dalle strutture di collegamento dei portali** che mitigano la vulnerabilità introdotta dalla passerella. In questo modello non risultano verificate neanche le strutture da relazione di calcolo.

Risultati ottimizzazione portale critico



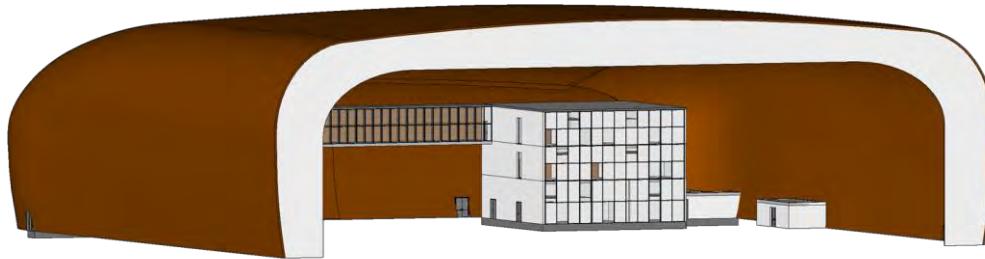
**Riduzione
acciaio**
=
10,8%

Portale critico ottimizzato

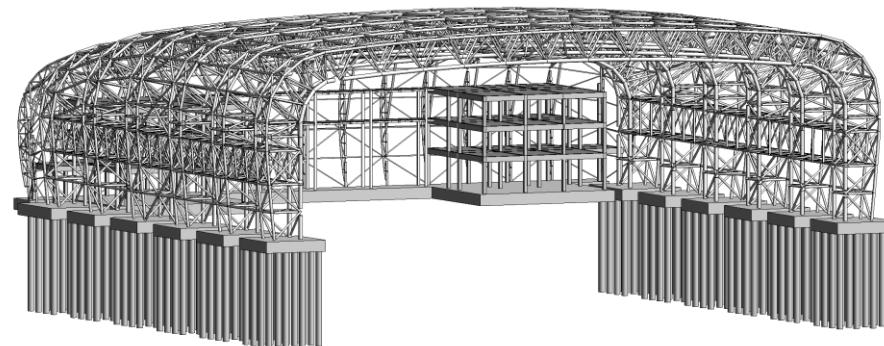


4. Il PFTE – L'utilizzo della tecnologia BIM nel progetto

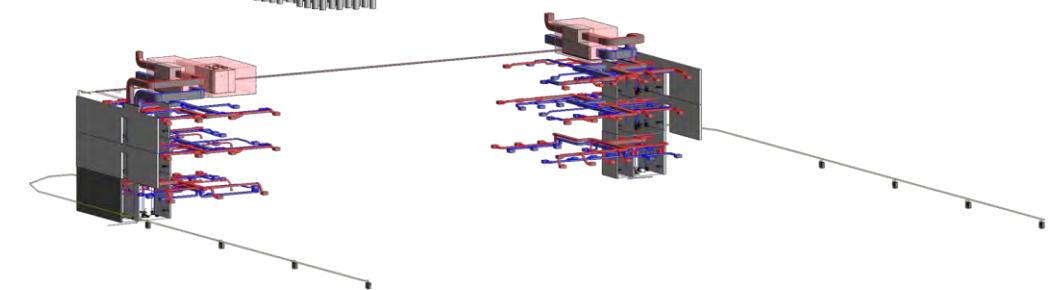
MODELLI MULTIDISCIPLINARI – Hangar



Modello Architettonico



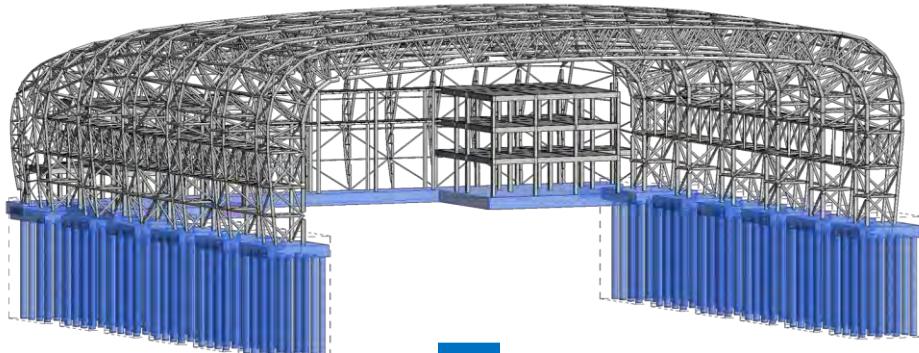
Modello Strutturale



Modello Impiantistico

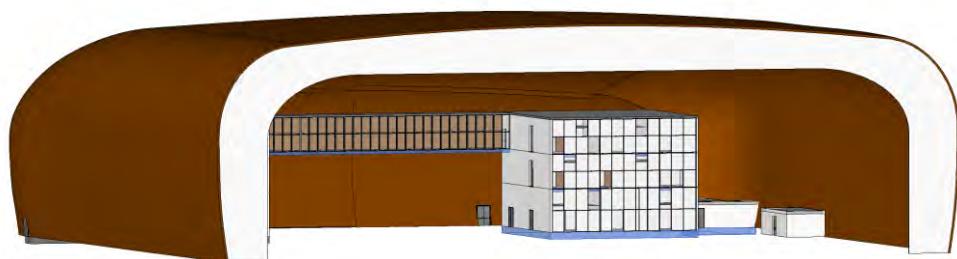
4. Il PFTE – L'utilizzo della tecnologia BIM nel progetto

QTO STR



<Abaco delle fondazioni strutturali>

QTO ARC



<Abaco dei pavimenti>

A	B	C	D
Famiglia	Tipo	Area	Livello
Pavimento			
Pavimento	SOL-EST-805mm-01	393.49 m ²	GF_F_E
Pavimento	SOL-EST-805mm-01	394.37 m ²	GF_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	45.90 m ²	01_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	46.39 m ²	01_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	3.01 m ²	01_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	6.58 m ²	01_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	5.70 m ²	01_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	5.79 m ²	01_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	5.73 m ²	01_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	2.41 m ²	01_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	52.25 m ²	01_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	2.48 m ²	01_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	5.38 m ²	01_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	3.10 m ²	01_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	6.68 m ²	01_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	34.82 m ²	01_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	70.10 m ²	01_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	2.28 m ²	01_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	52.88 m ²	01_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	59.41 m ²	GF_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	63.63 m ²	GF_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	44.83 m ²	GF_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	62.08 m ²	02_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	5.99 m ²	01_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	6.27 m ²	01_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	5.99 m ²	01_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	3.24 m ²	01_F_E
Pavimento	SOL-INT-345mm-01	6.27 m ²	01_F_E
60		2197.96 m ²	