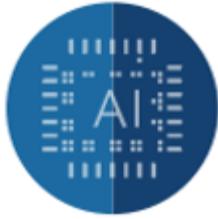




**CONVEGNO ON LINE**

**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

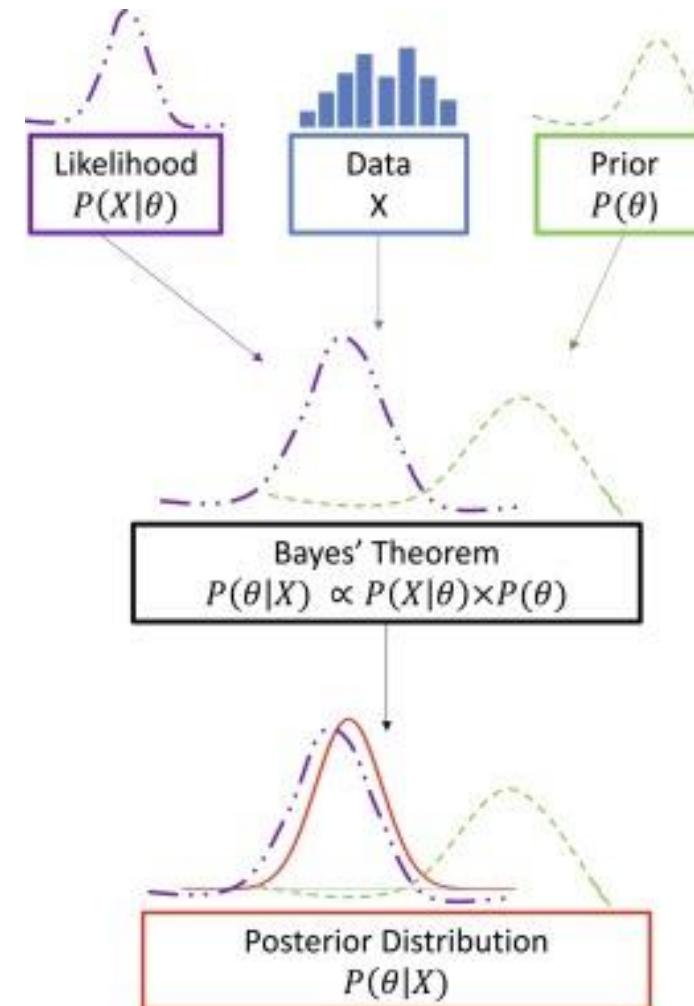
Non è una black box incontrollabile

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

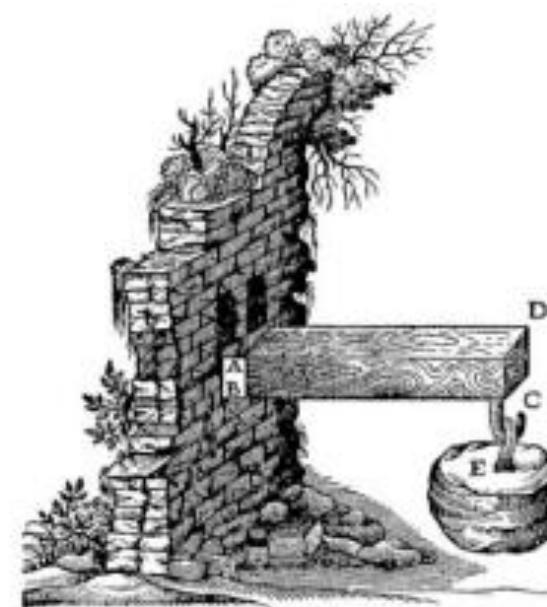
# Ingegneria Civile: Una “tecnologia” essenziale per l’umanità



**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.

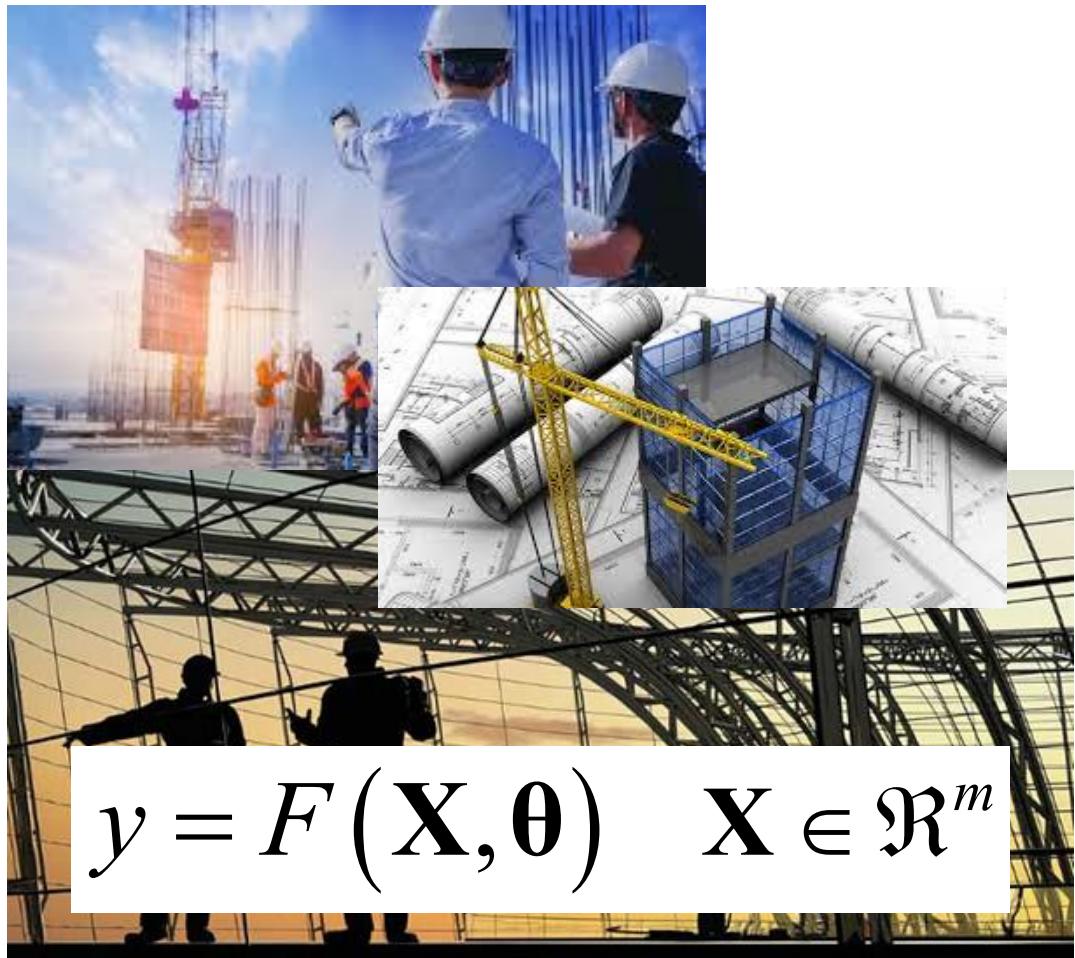
L'industria delle costruzioni è responsabile per il:

- **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



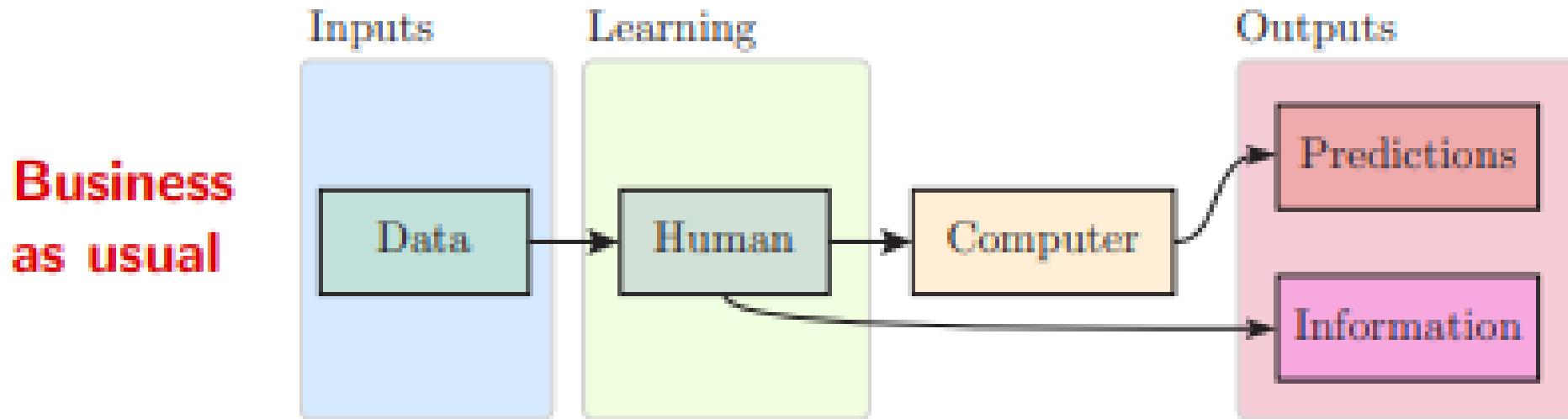
# Ingegneria Civile

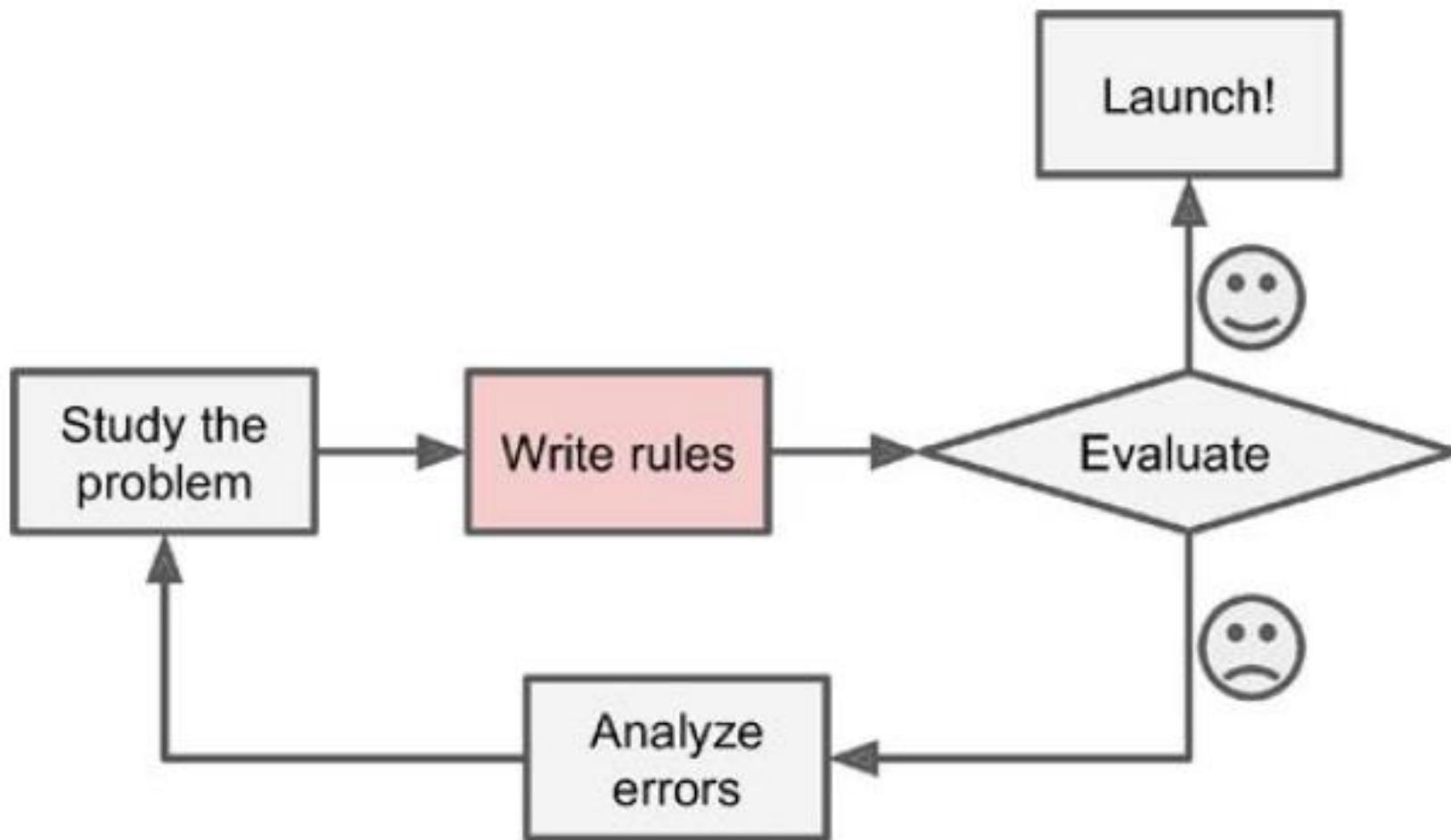


# Artificial intelligence



# Come usiamo ora il computer....





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

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

$R = P - r = 13,09 - 12,22 = 0,87$   
 $G_N^B = 1200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

$h_1 = 7,78 \text{ cm}$   
 $h_2 = 4,22 \text{ cm}$   
 $57,4$

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

$\frac{8}{3} = -890 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} ; \quad \textcircled{1} \quad G_N^A = \frac{Mh_1}{S_{u1}} = \frac{-130900 \cdot 7,78}{57,4 \cdot 20} = -890 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} ;$

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

$A-B$

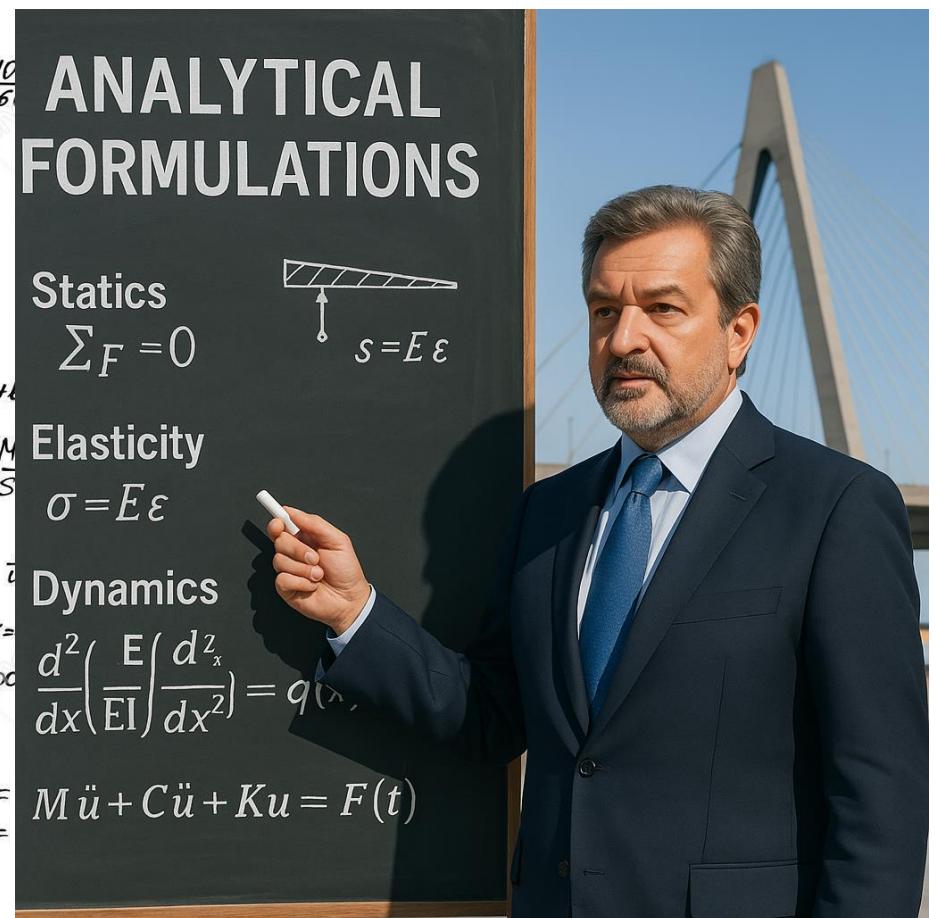
$G_N^A = 890 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad h_1 = 7,78 \text{ cm}$   
 $h_2 = 4,22 \text{ cm}$

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

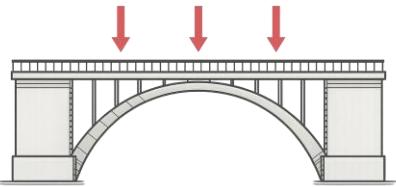
$A-B$

$G_N^B = 1200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad h_1 = 7,78 \text{ cm}$   
 $h_2 = 4,22 \text{ cm}$

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

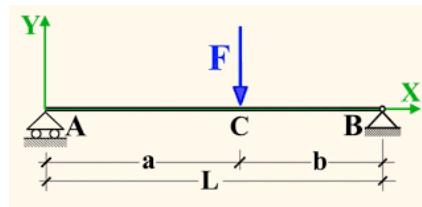


# Formulazione analitica concettuale



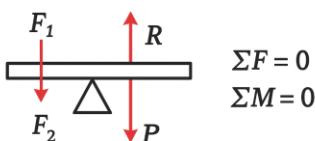
## Realtà fisica

- Structures, materials, loads, environment



## Assunzioni e idealizzazioni

- Geometry, boundary conditions, material models



## Principi fondamentali

- Statics, compatibility, constitutive laws

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

## Formulazione matematica

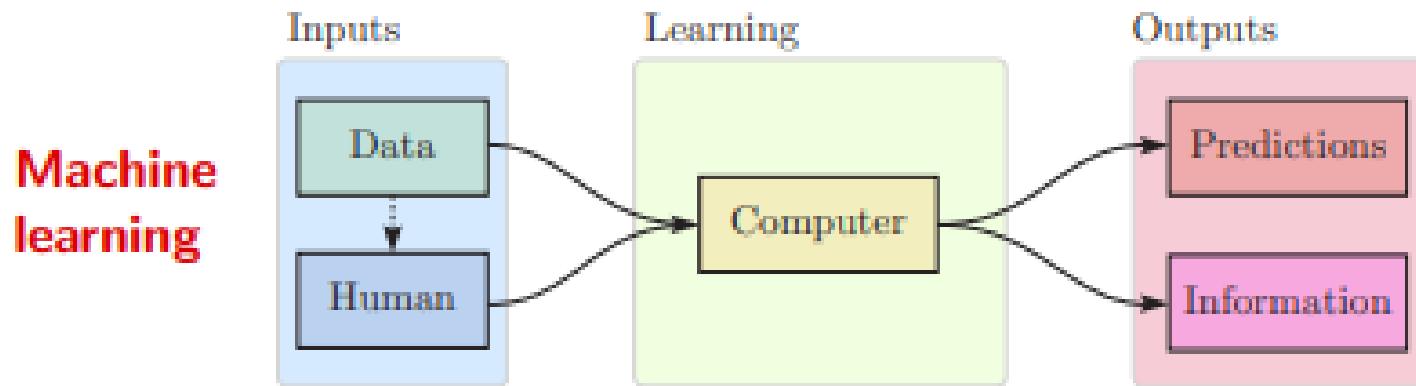
- Differential equations, matrix forms



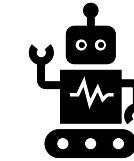
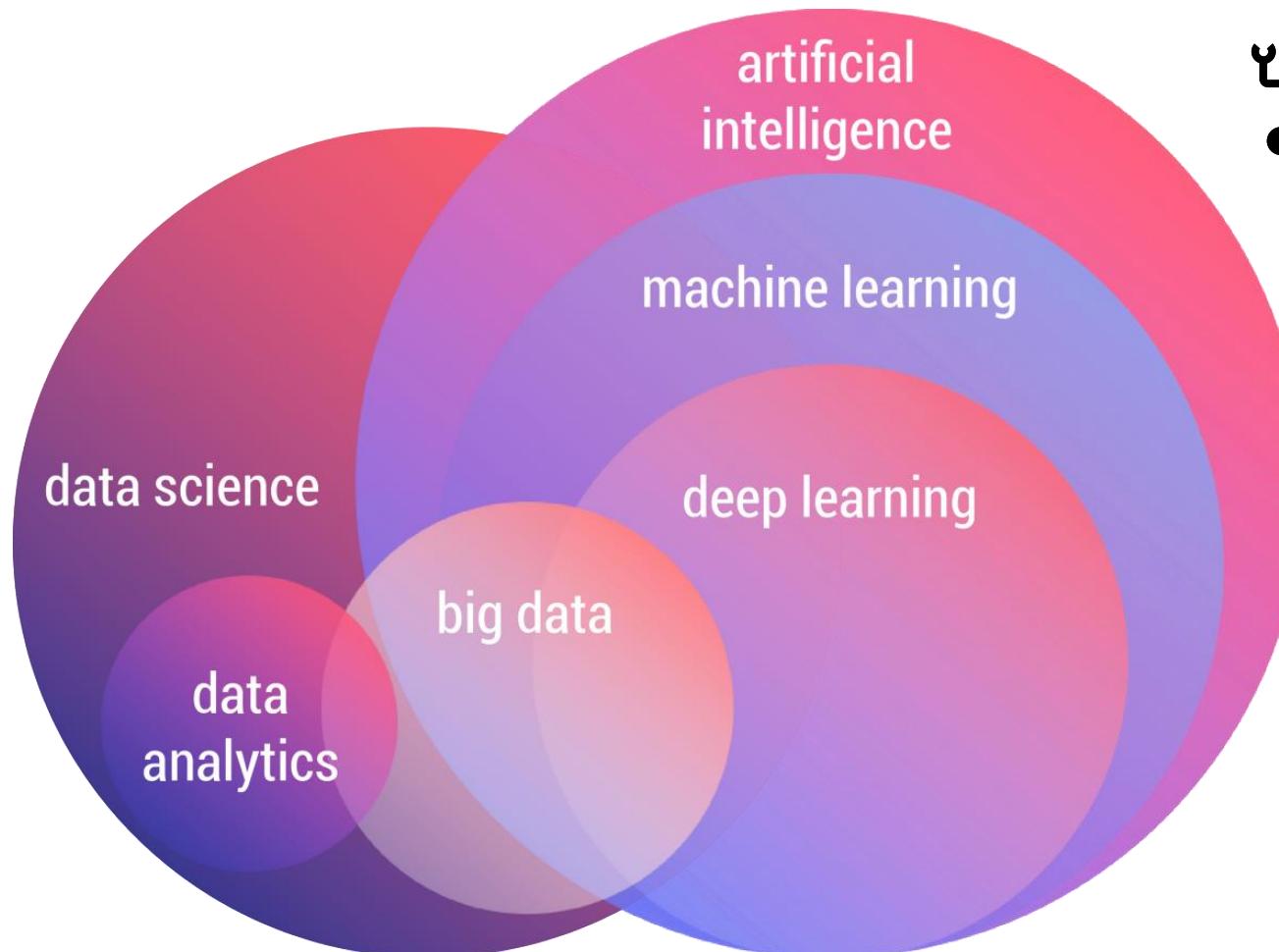
## Applicazione ingegneristica

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

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

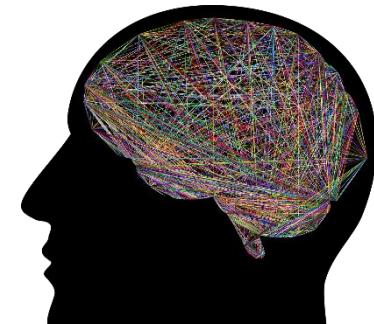


# Introduzione: Cos'è l'IA? E quando si tratta di «Generativo»?

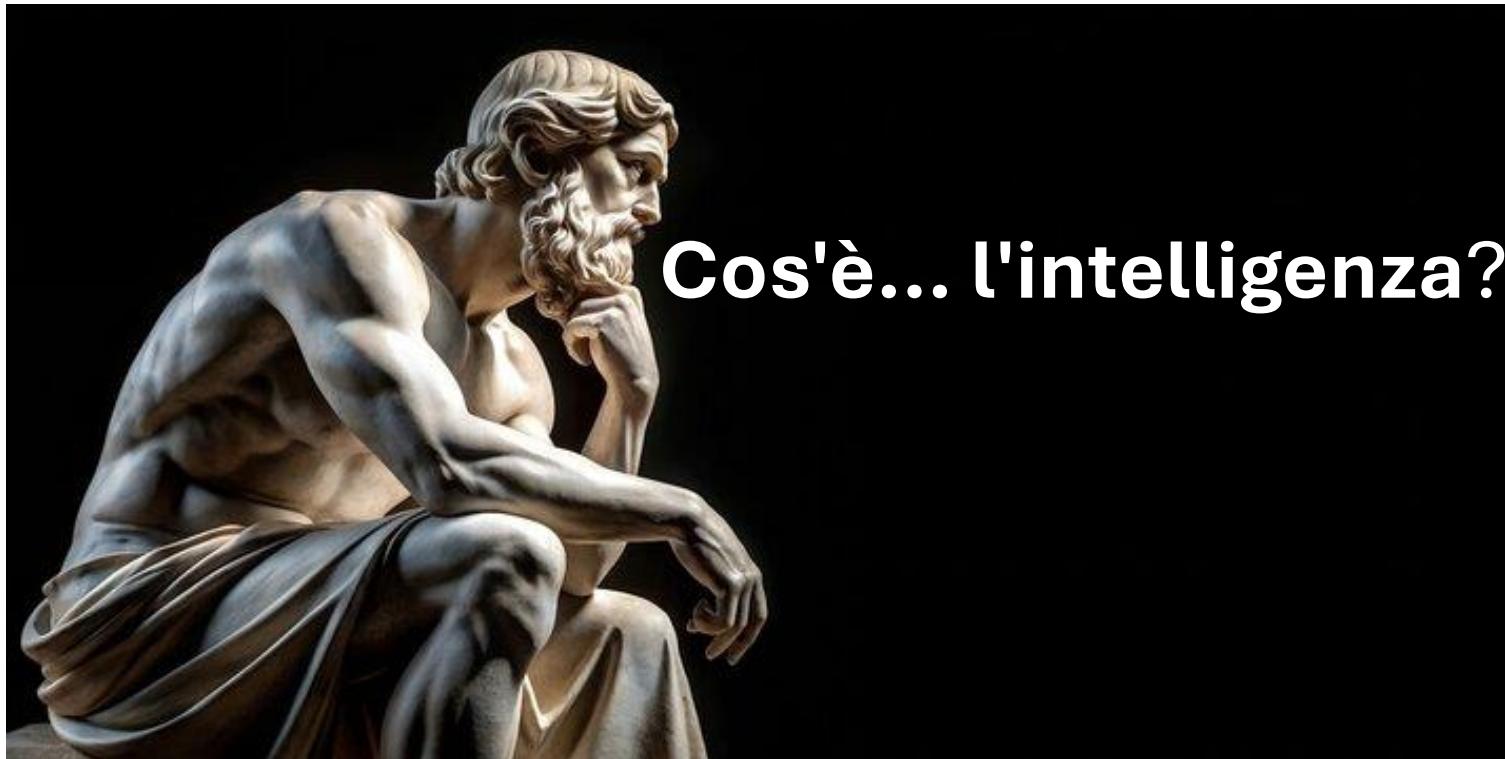


AI: simulazione di un comportamento intelligente simile a quello umano

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

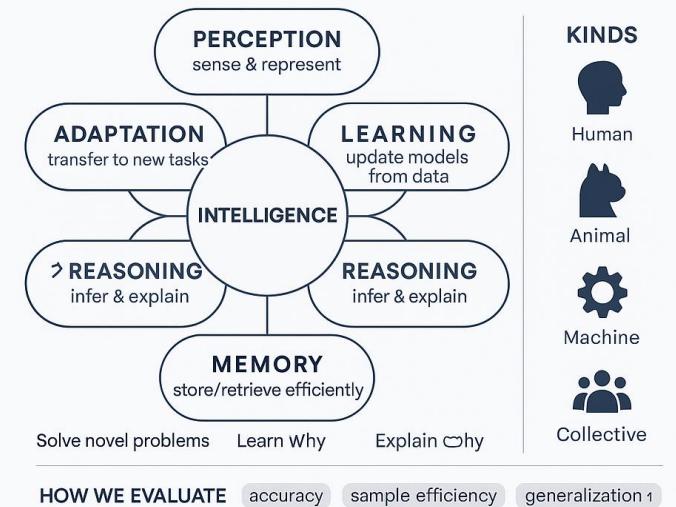


# Dall'altra parte, cos'è l'Intelligenza Artificiale?



## 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

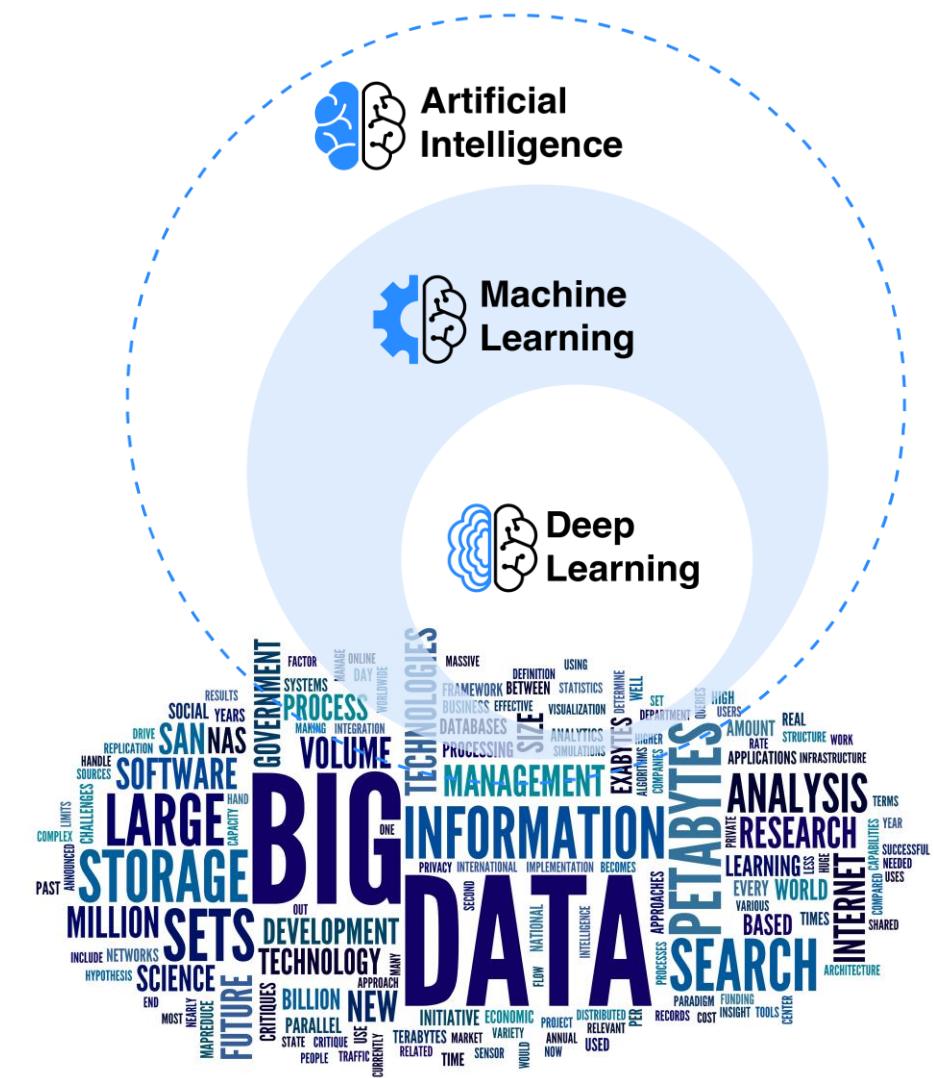
# Dall'altra parte, cos'è l'Intelligenza Artificiale?

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

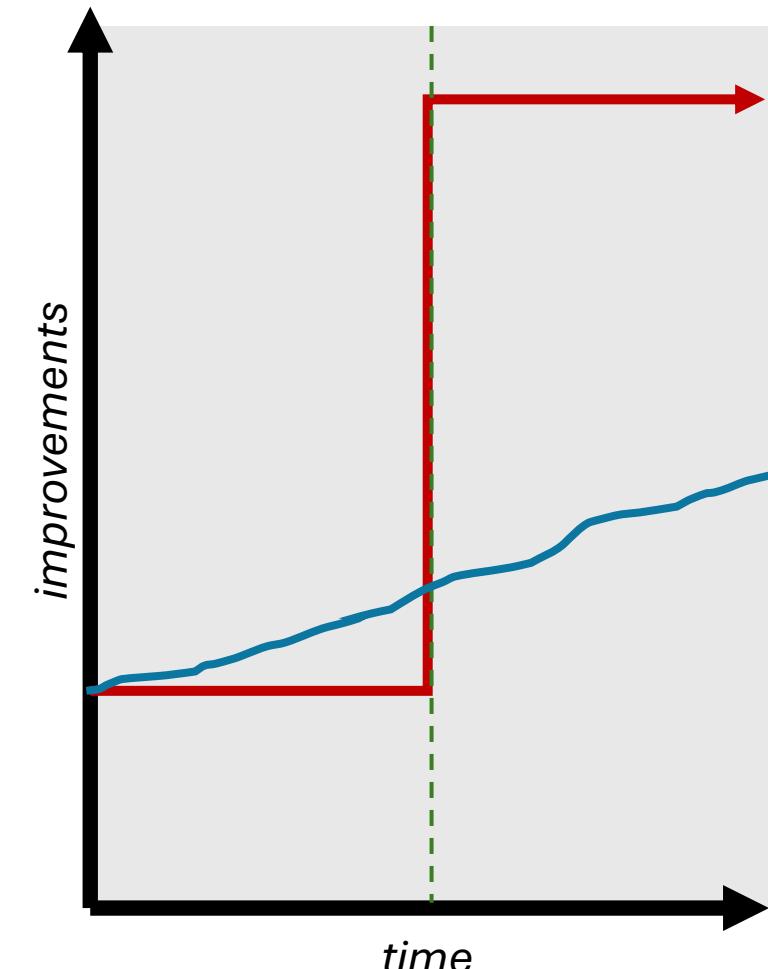
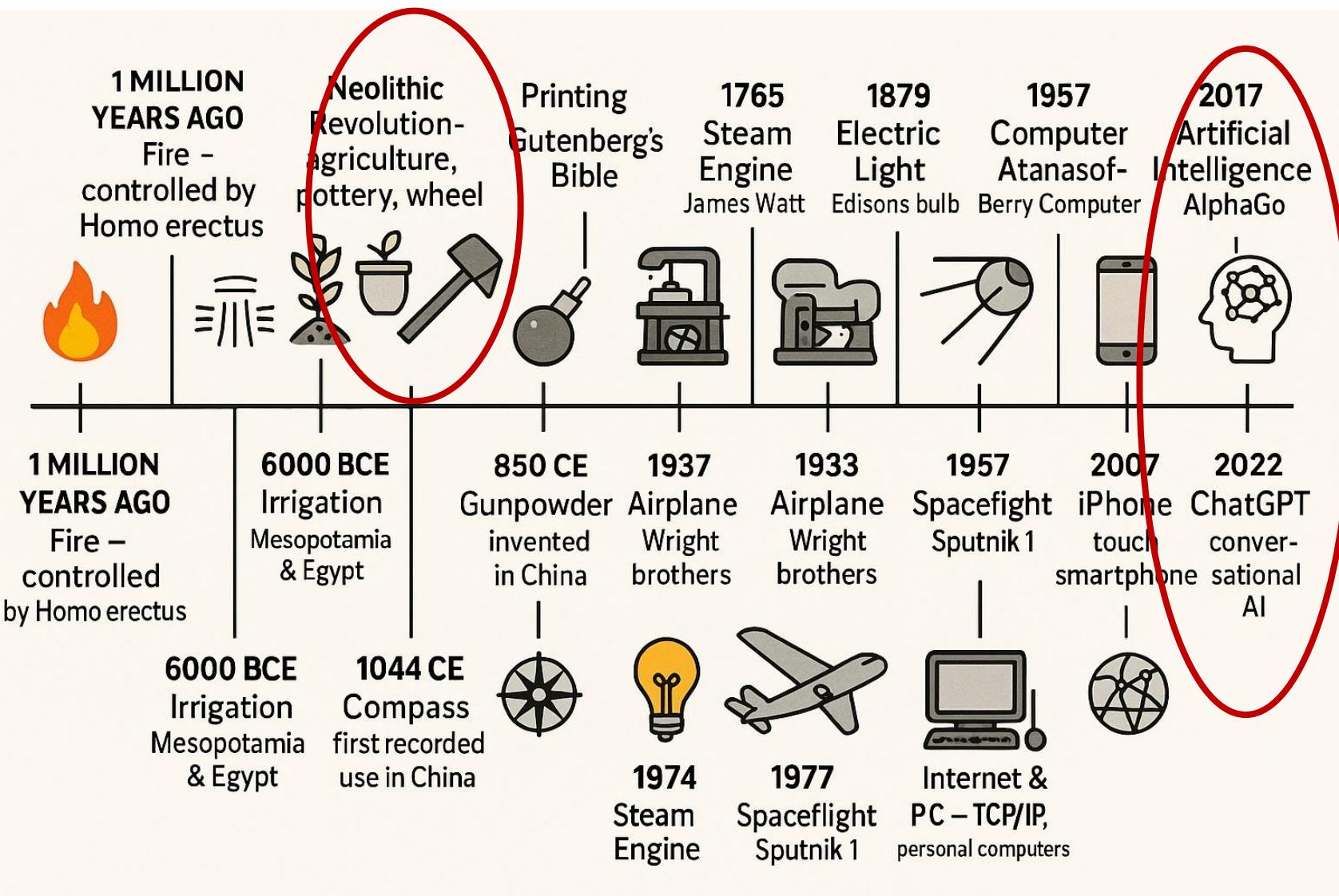
# Capace di percepire, ragionare, decidere, creare

# Una tecnologia trasversale: dalla medicina all'edilizia

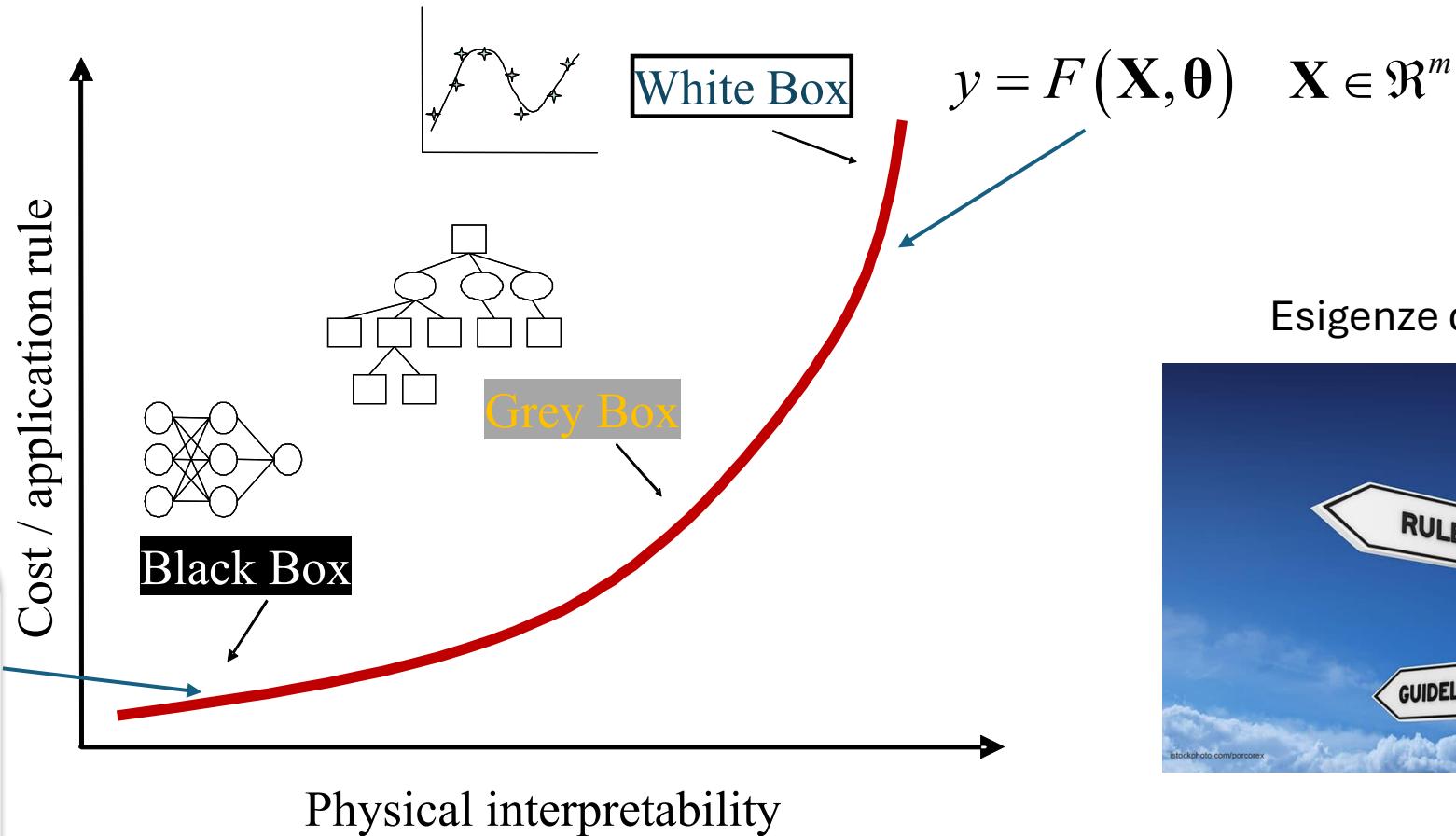
## Una delle più grandi rivoluzioni della storia umana



# Rivoluzioni tecnologiche: motori di cambiamento



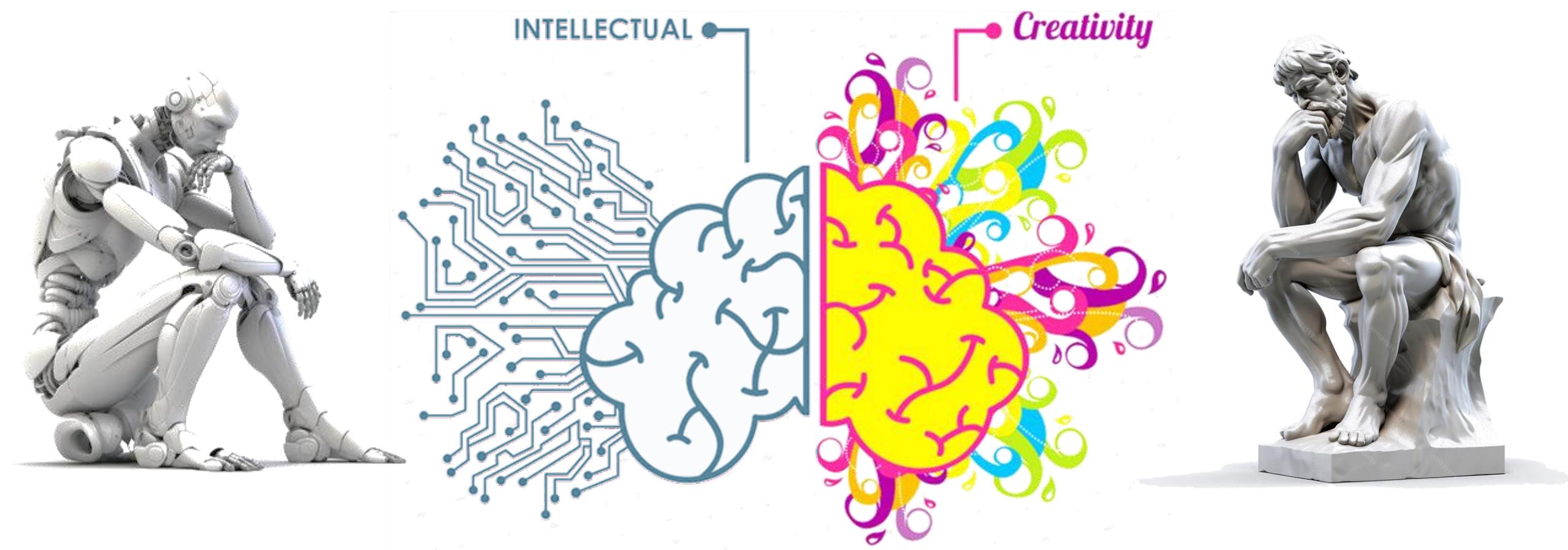
# Classificazione dei modelli di conoscenza



Esigenze di ingegneria civile



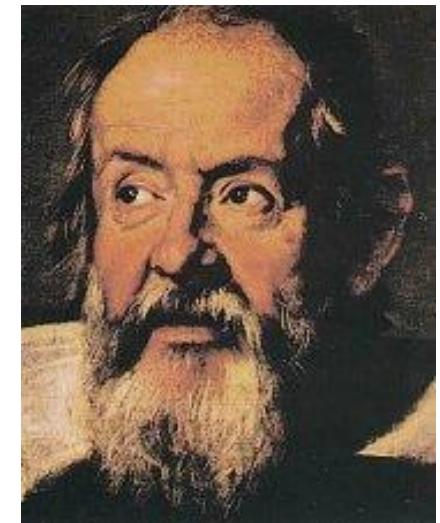
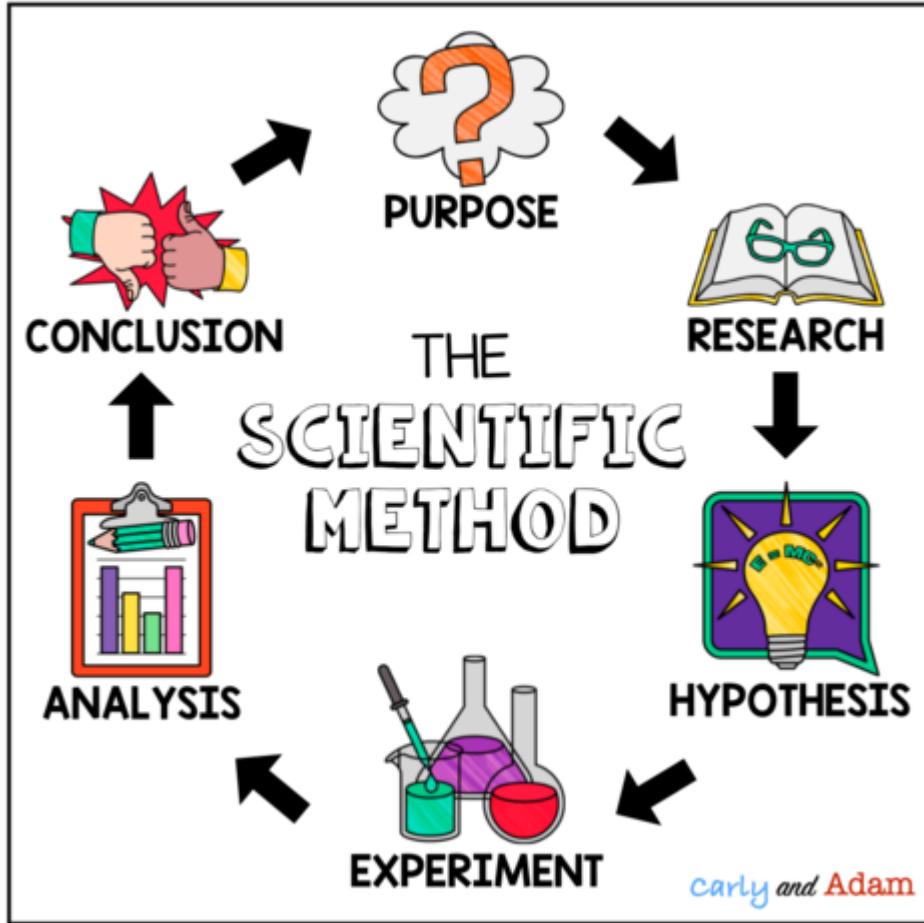
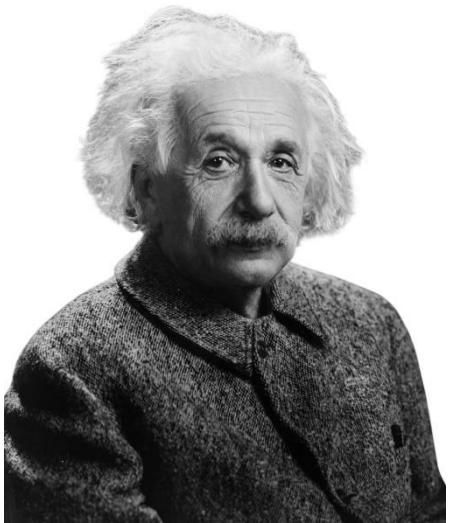
# Includere la Visione AI nell'Ingegneria Civile???

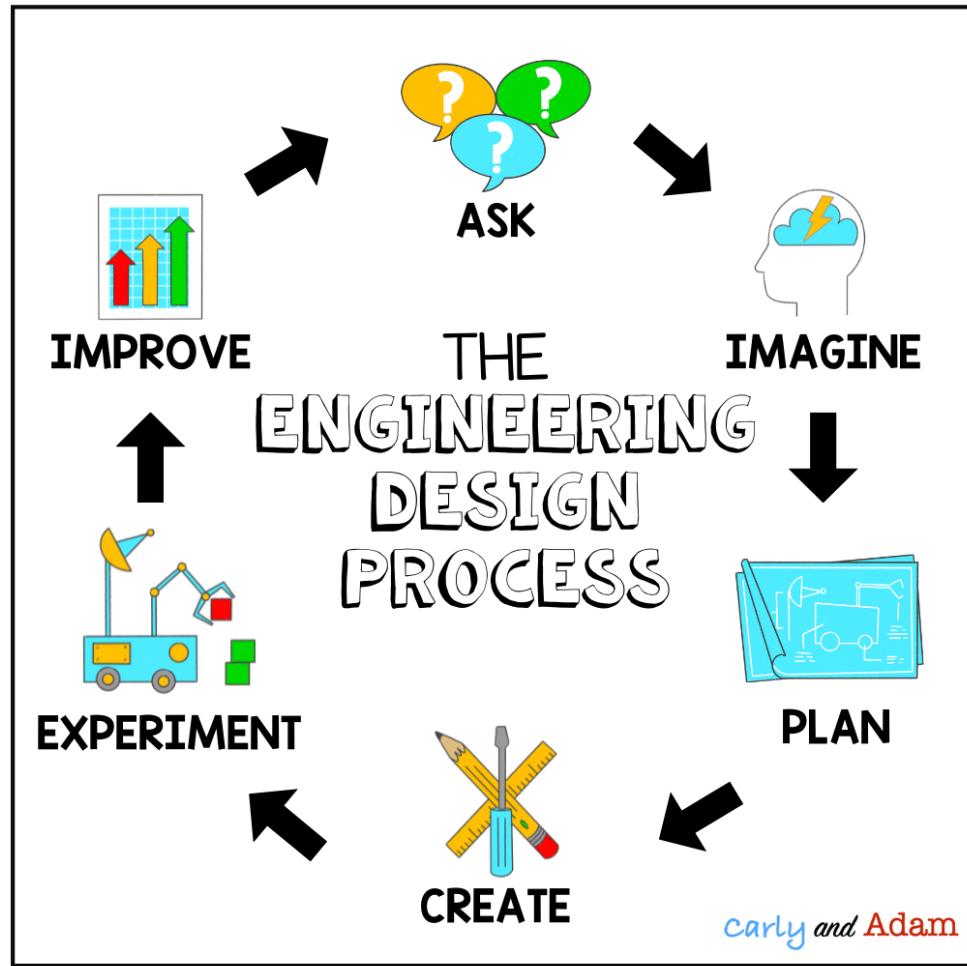
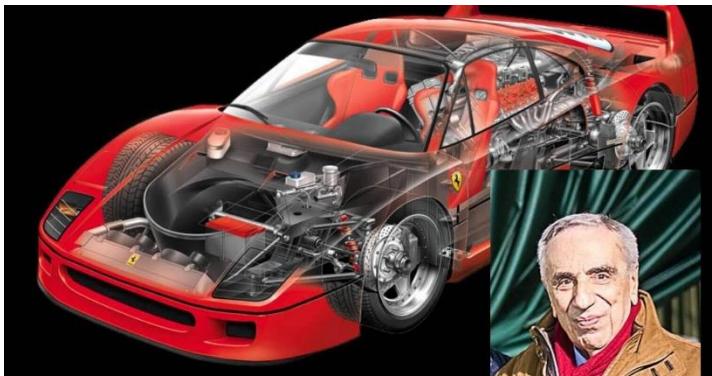


# Futuro dell'IA nell'Ingegneria Civile

*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

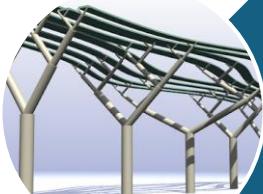


Beijing National Stadium (Source: Wikipedia)

Complexity



Structural Health Monitoring



Decision Support

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



Non  
innovare

semplice

economico

efficiente

Non  
innovare

performance

complessità

Utilizzo  
(tradizione)

# 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.

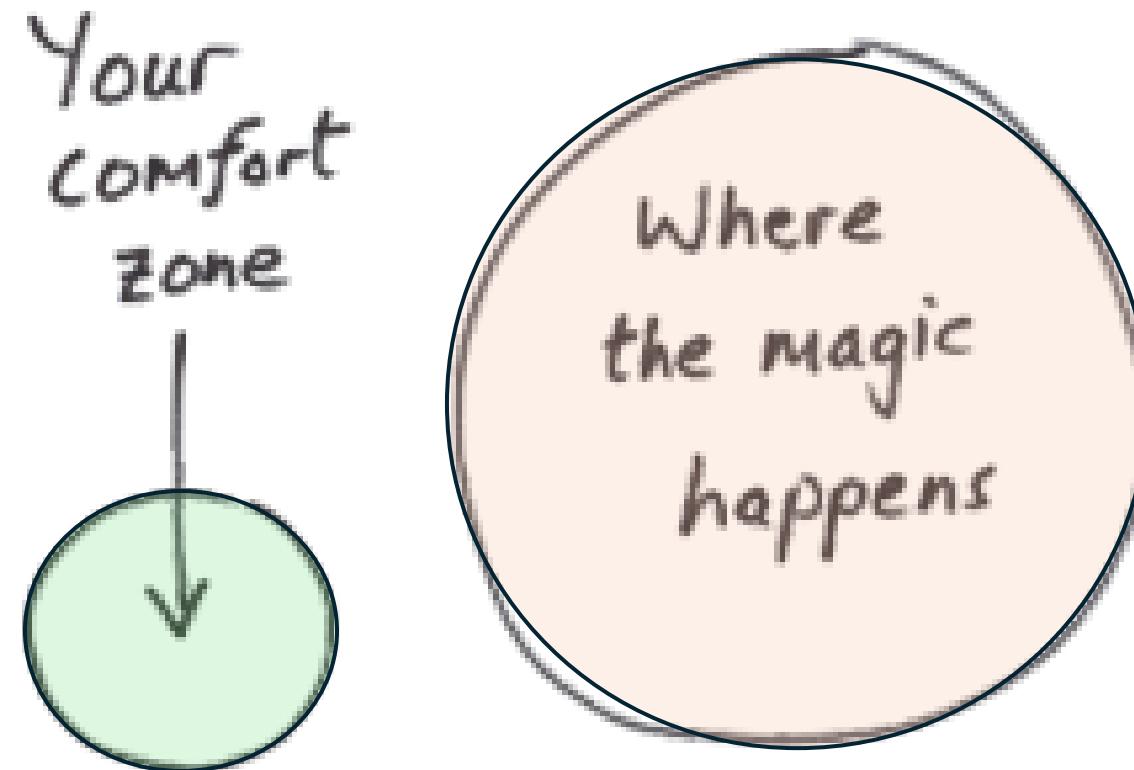
Gli ingegneri civili e ambientali hanno contribuito ad elevare le aspettative globali per la sostenibilità e la tutela ambientale.

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

Objective Function

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

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

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

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

Design Vector

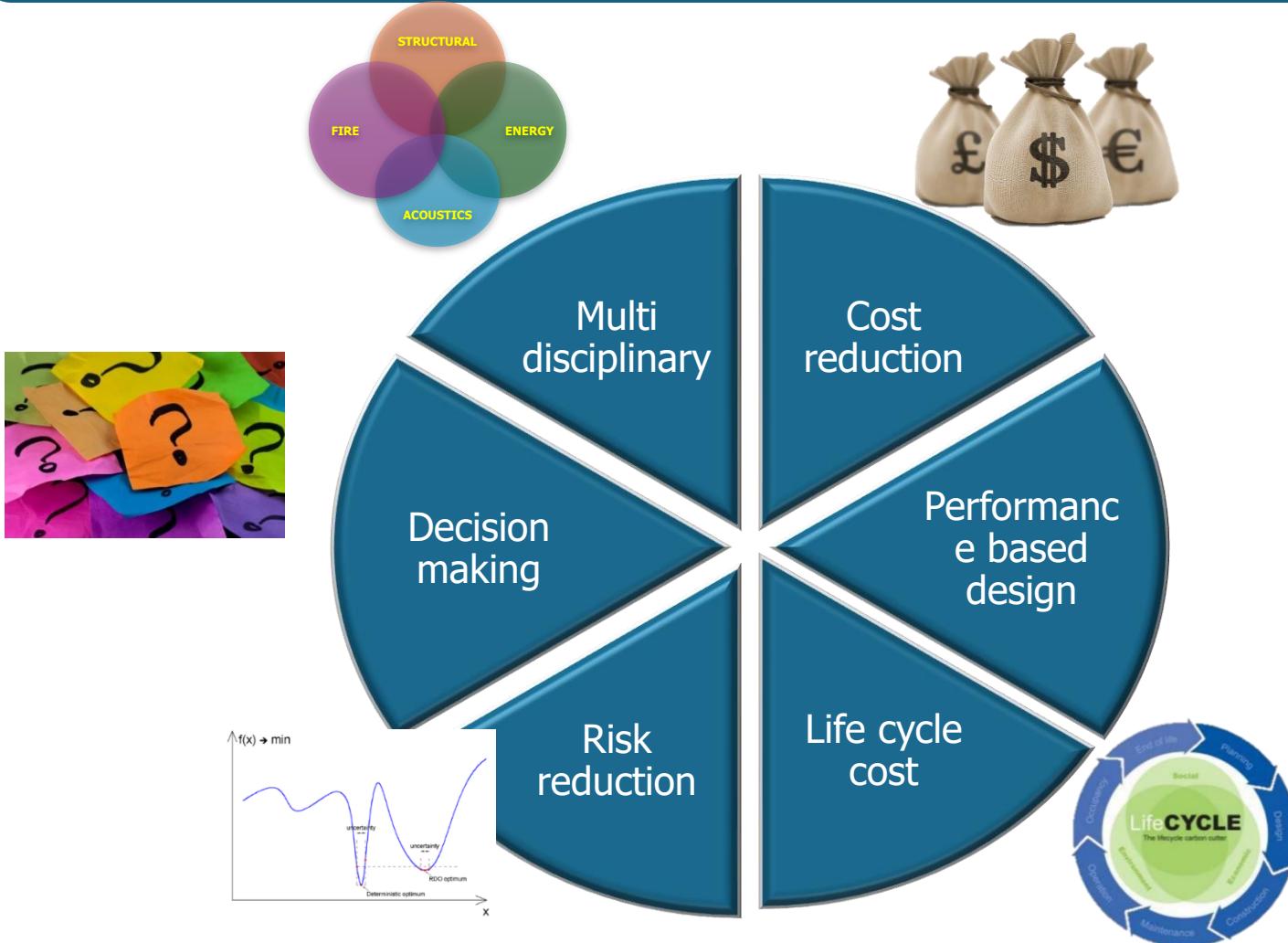


tools

Paradigm

- Classical
- Non-classical

# 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)

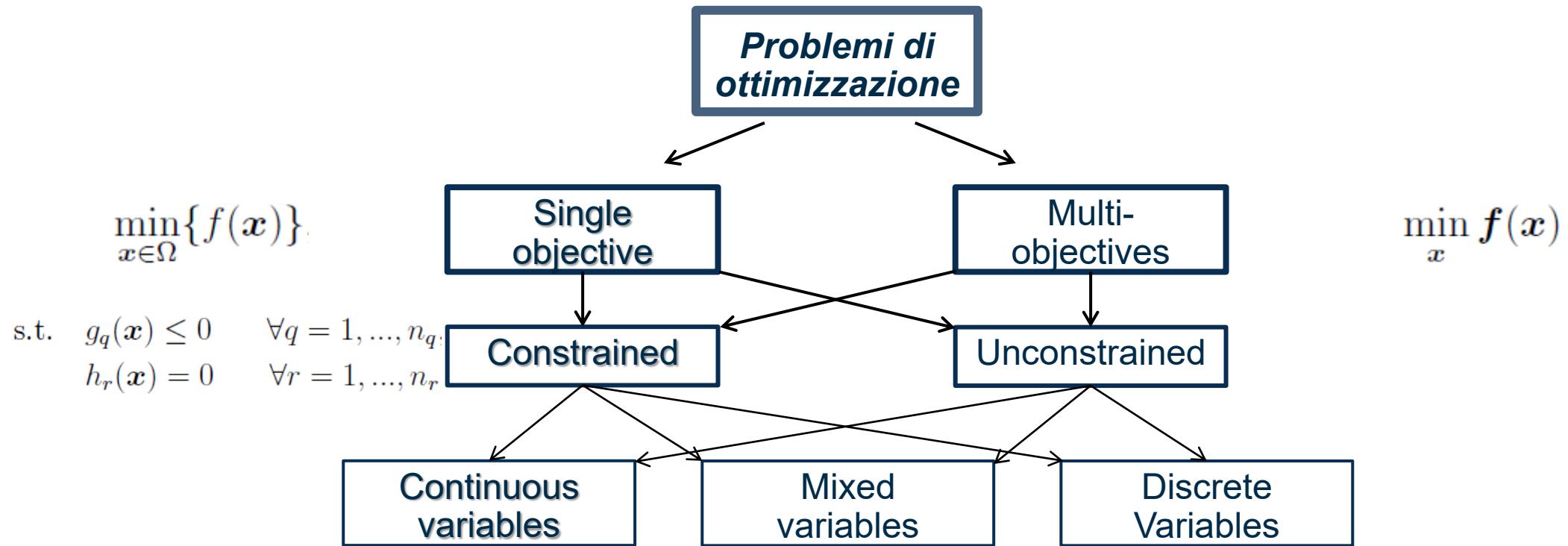


Gottfried Leibnitz (1646-1716) Differential calculus methods of optimization)



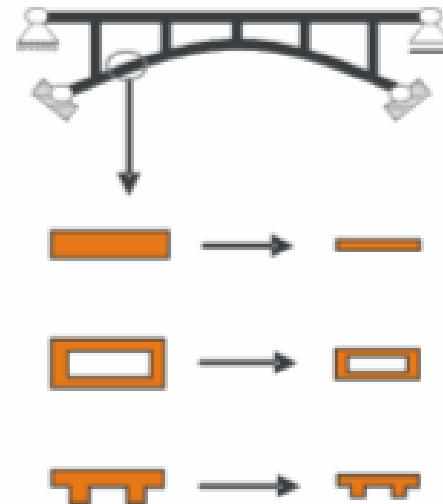
Harold William Kuhn (1925-2014) Necessary and sufficient conditions for the optimal solution of programming problems, game theory

# Problemi di ottimizzazione

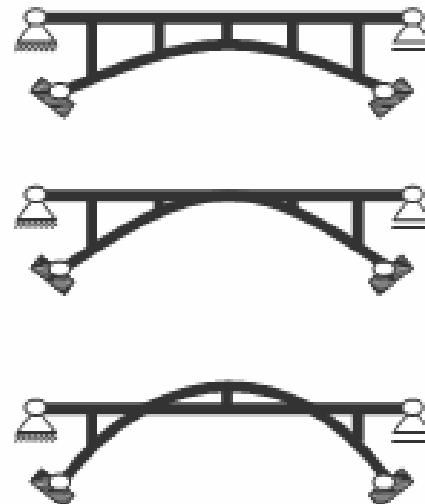


# State of the Art: Optimization as Better Design

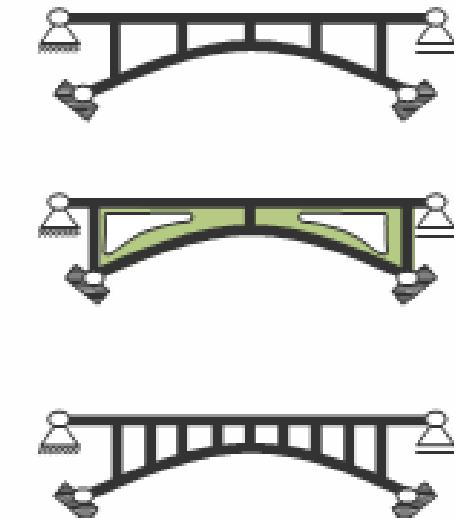
## Sizing



## Shape Optimization



## Topology



## Algoritmi non classici (Soft Computing)

Trattano paradigi ispirati socialmente, fisicamente e/o biologicamente

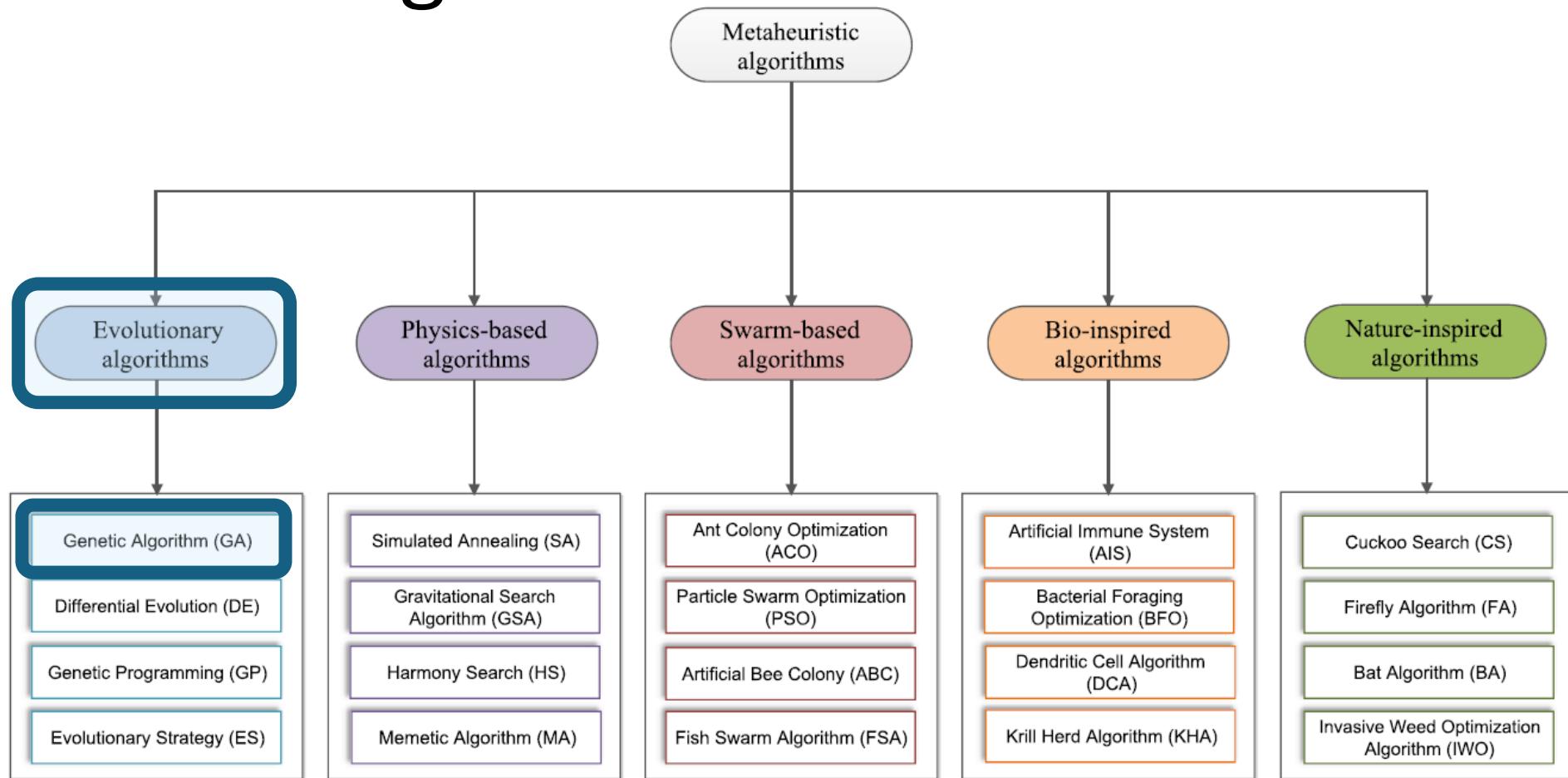
In this field, the most popular soft computing techniques are **Artificial Neural Networks** and **Evolutionary Algorithms (EA)**



**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.

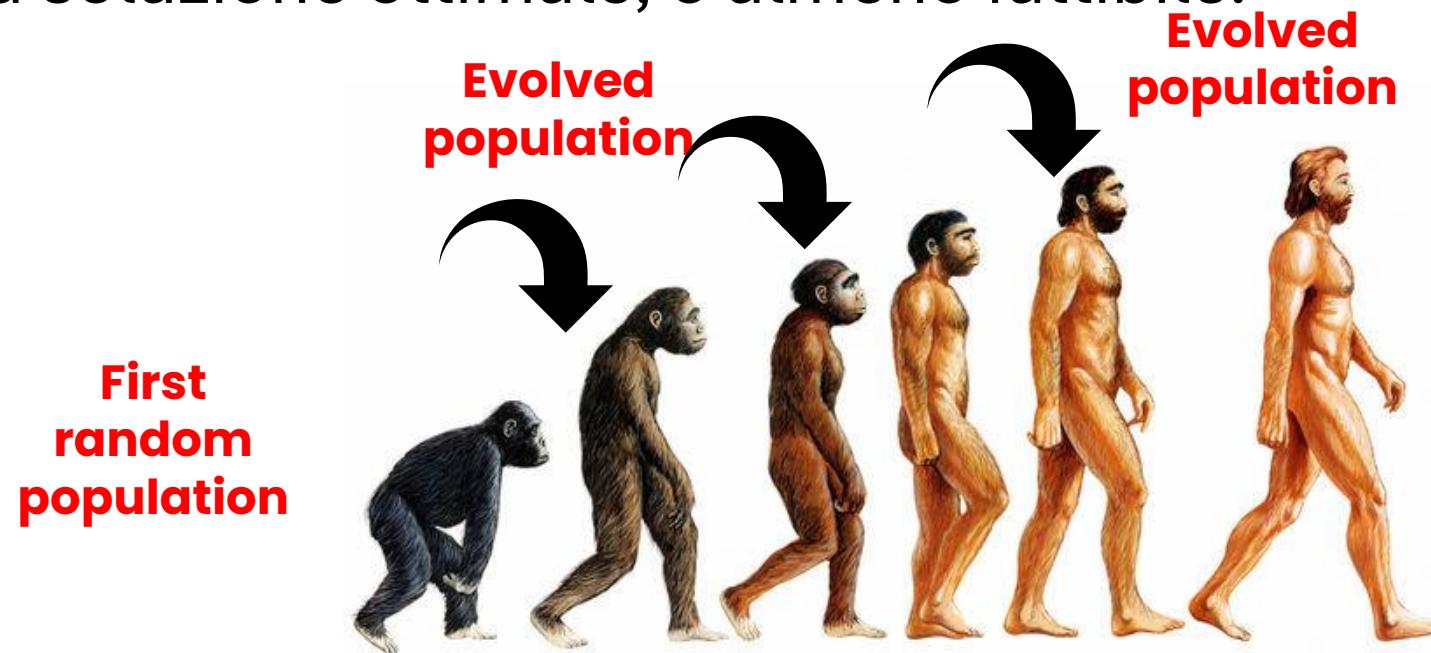
Synthetically, during a succession of generations, **Evolutionary Algorithms** (EA) based methods generate new points in the admissible search space by applying operators on the current solution set and “statistically” move towards more optimal places in virtue of a given strife of survival.

# Metaheuristic algorithms

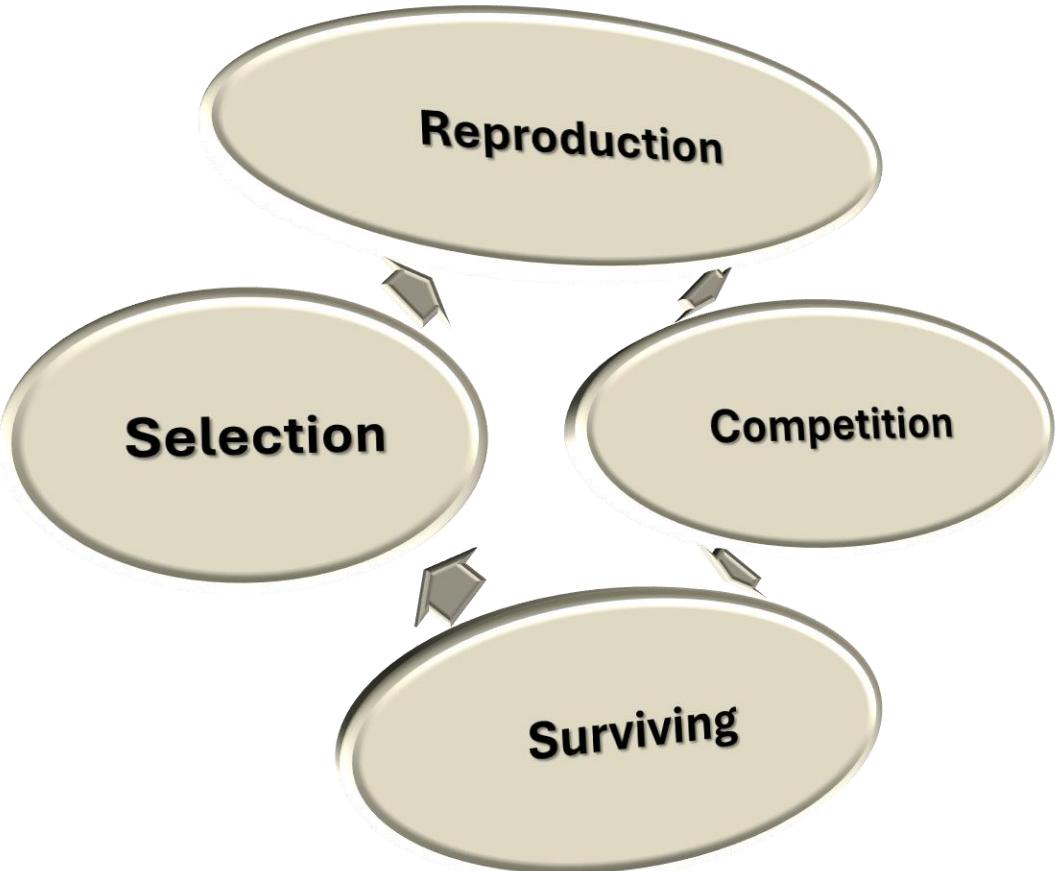
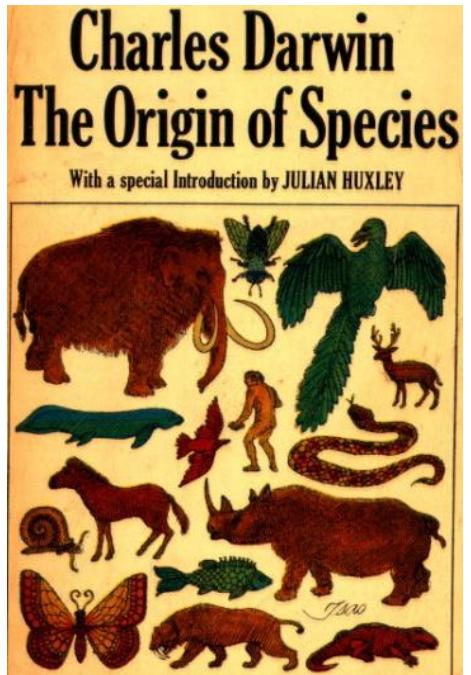


# Calcolo evolutivo

- 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)



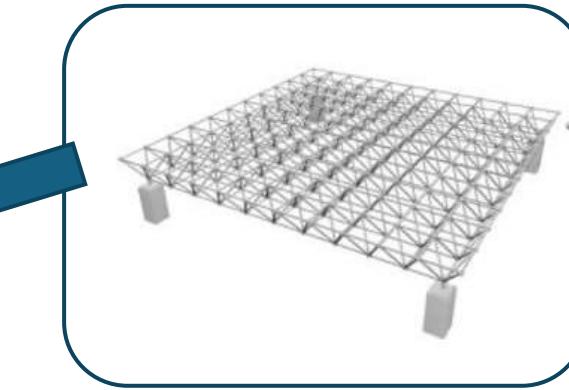
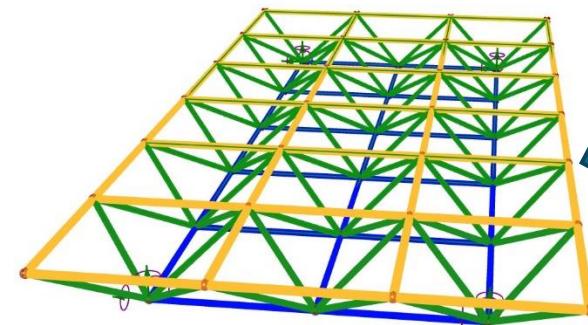
GA's are based on Darwin's theory of evolution

Evolutionary computing evolved in the 1960's.

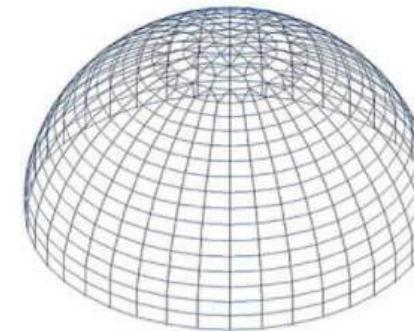
GA's were created by John Holland in the mid-70's.

# State of the Art: Optimization as Better Design

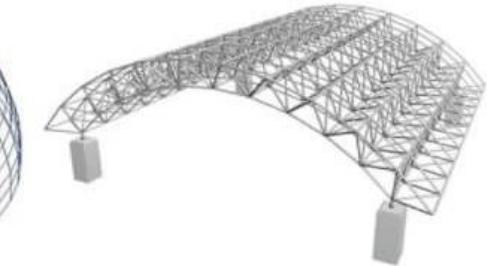
## Space frame



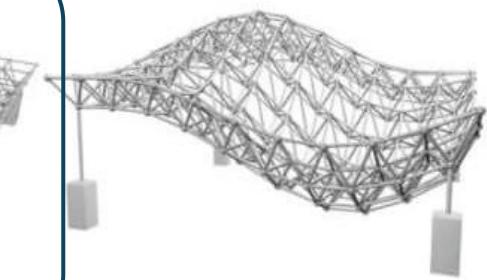
Flat



Dome



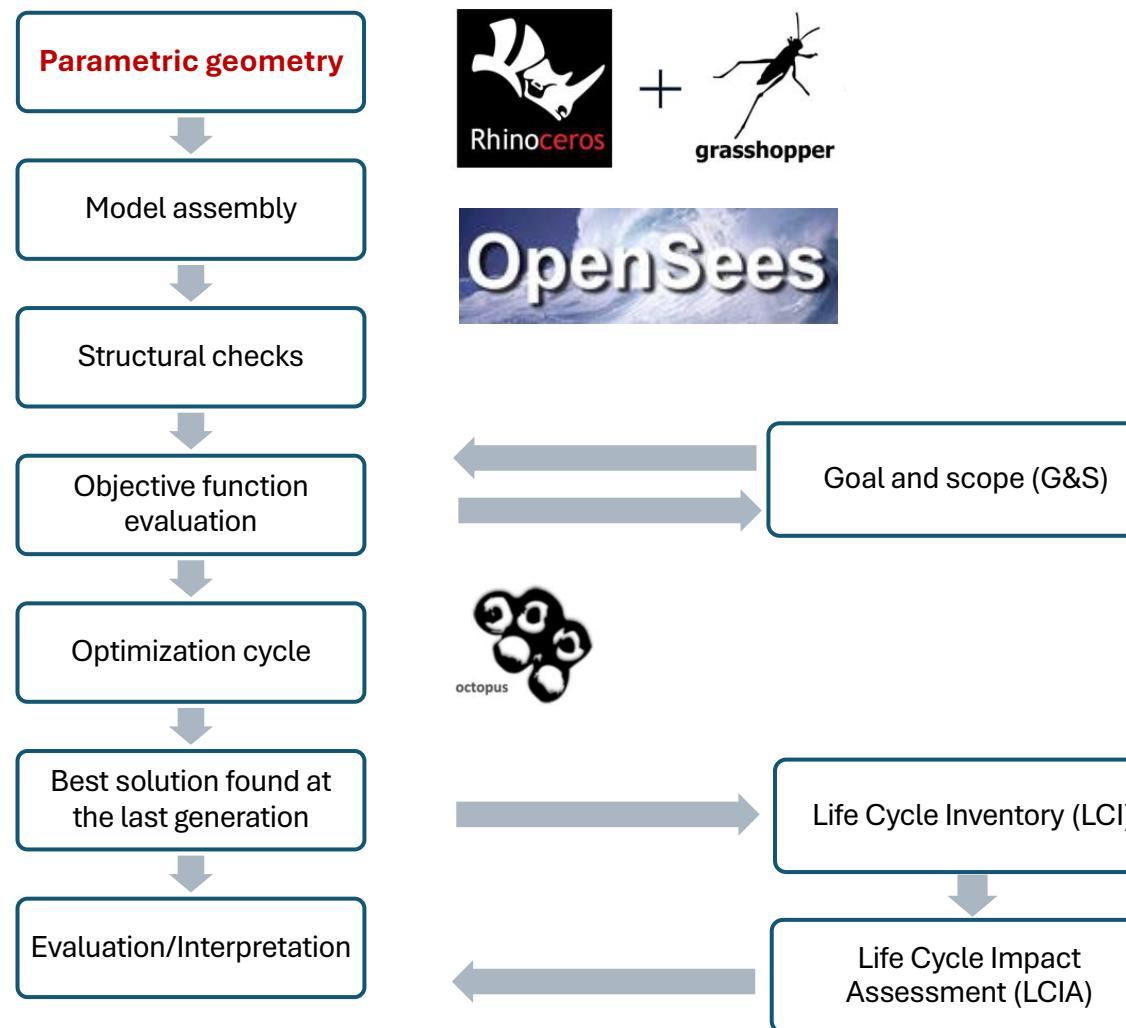
Arch



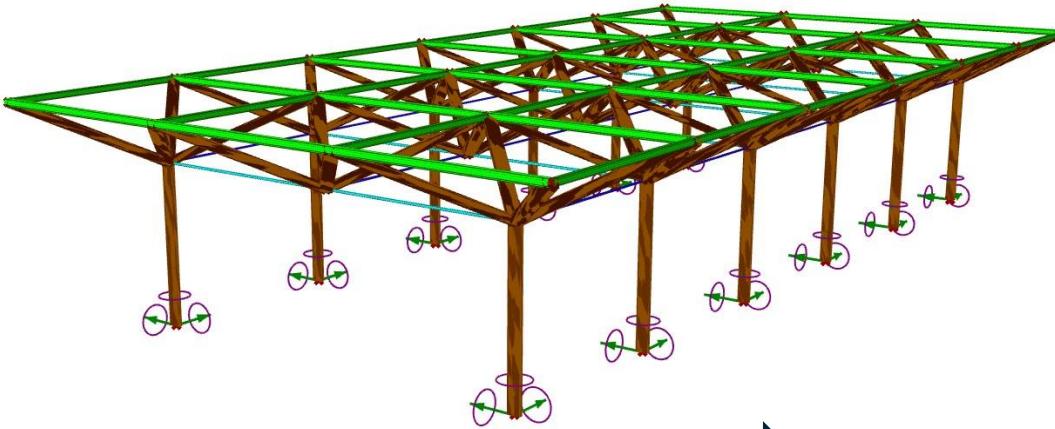
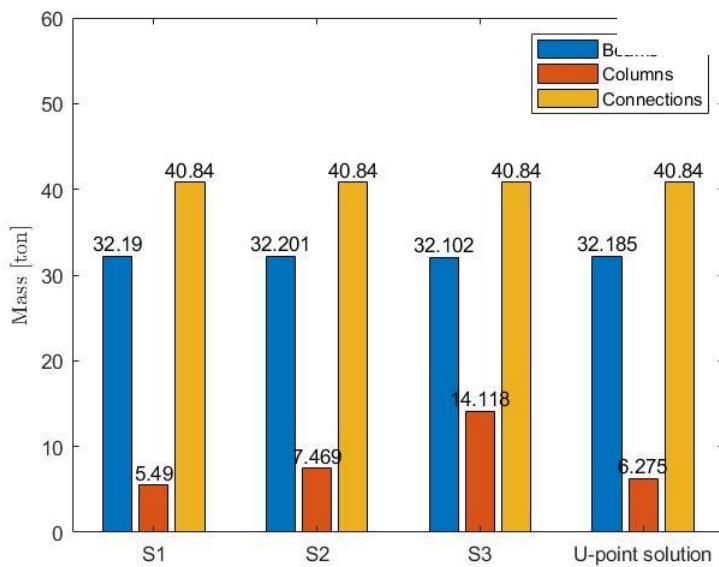
Special Shape

# Stato dell'arte: ottimizzazione come design migliore

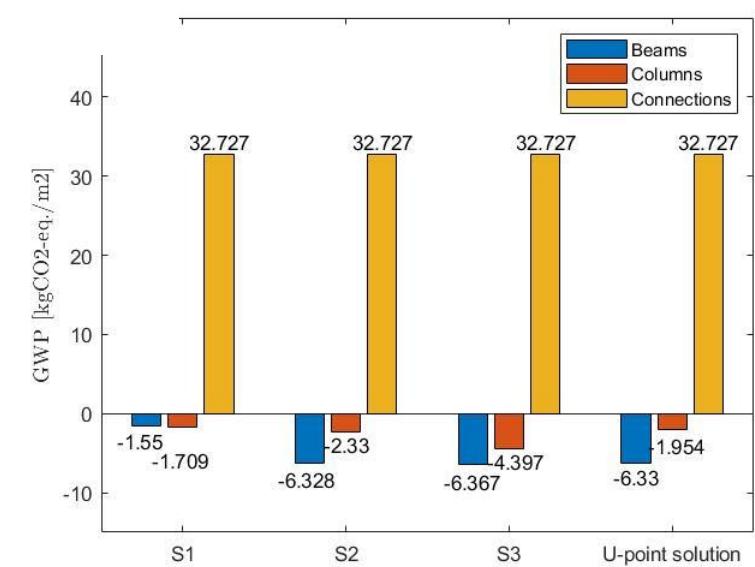
## Overall procedure flow - Methodology



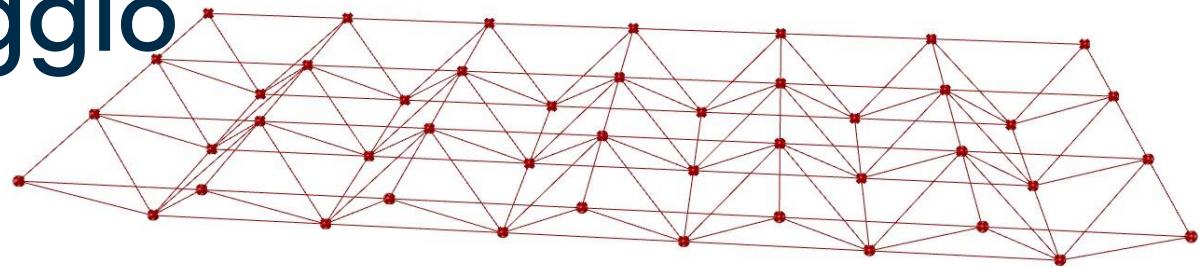
## Mass



## CO2 Emission



# Studio di caso: Geometria parametrica e assemblaggio del modello



## Space frame pre-design

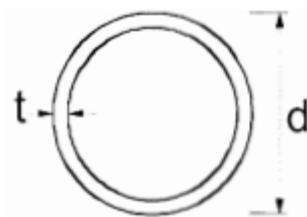
$$1 \leq H \leq \frac{L}{15} \quad [m]$$

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



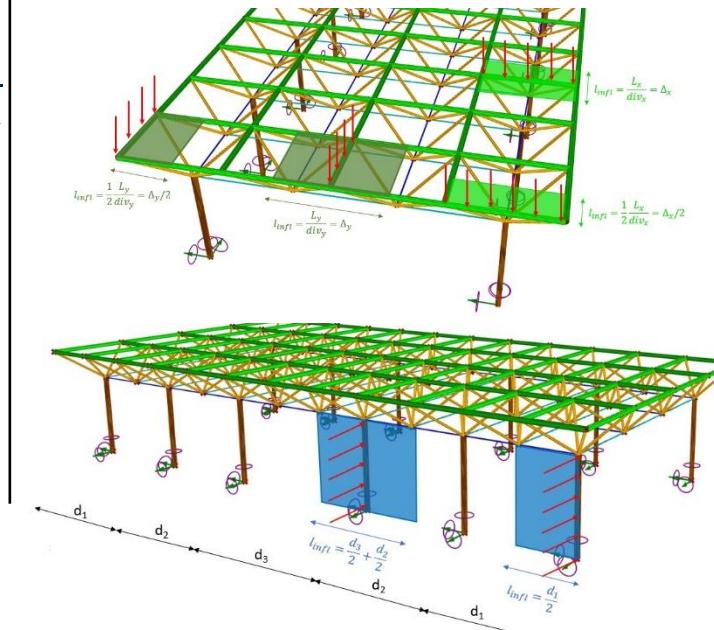
## Beam cross-sections

Steel S355, CHS (EN10219-2)

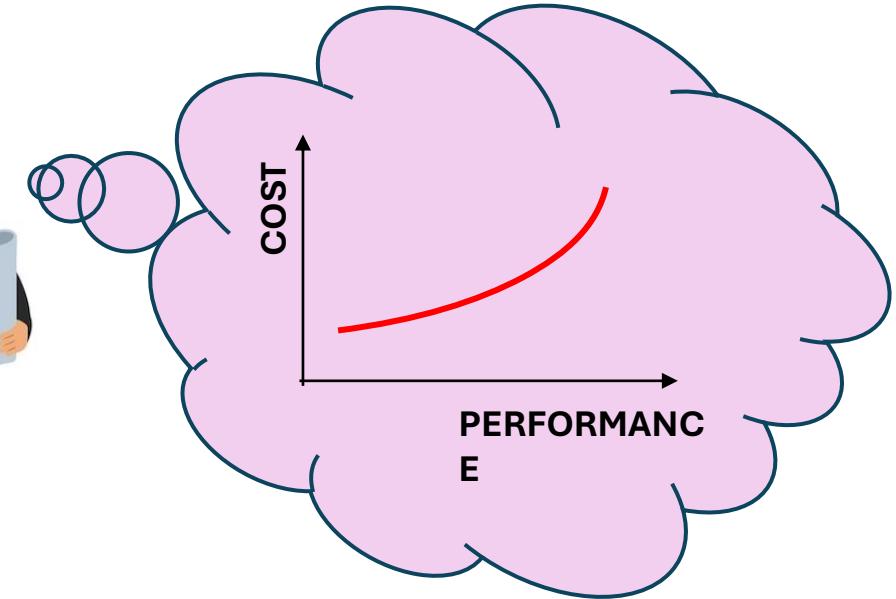
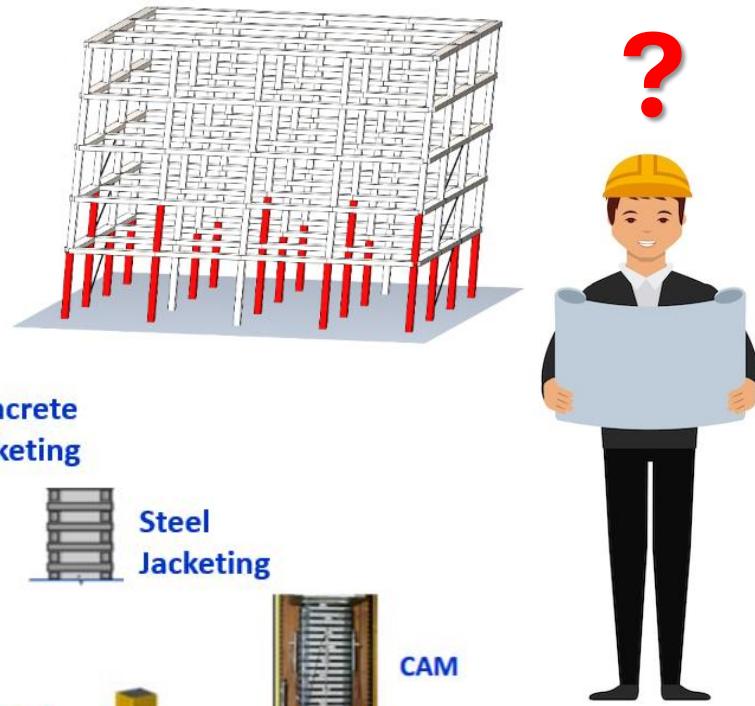
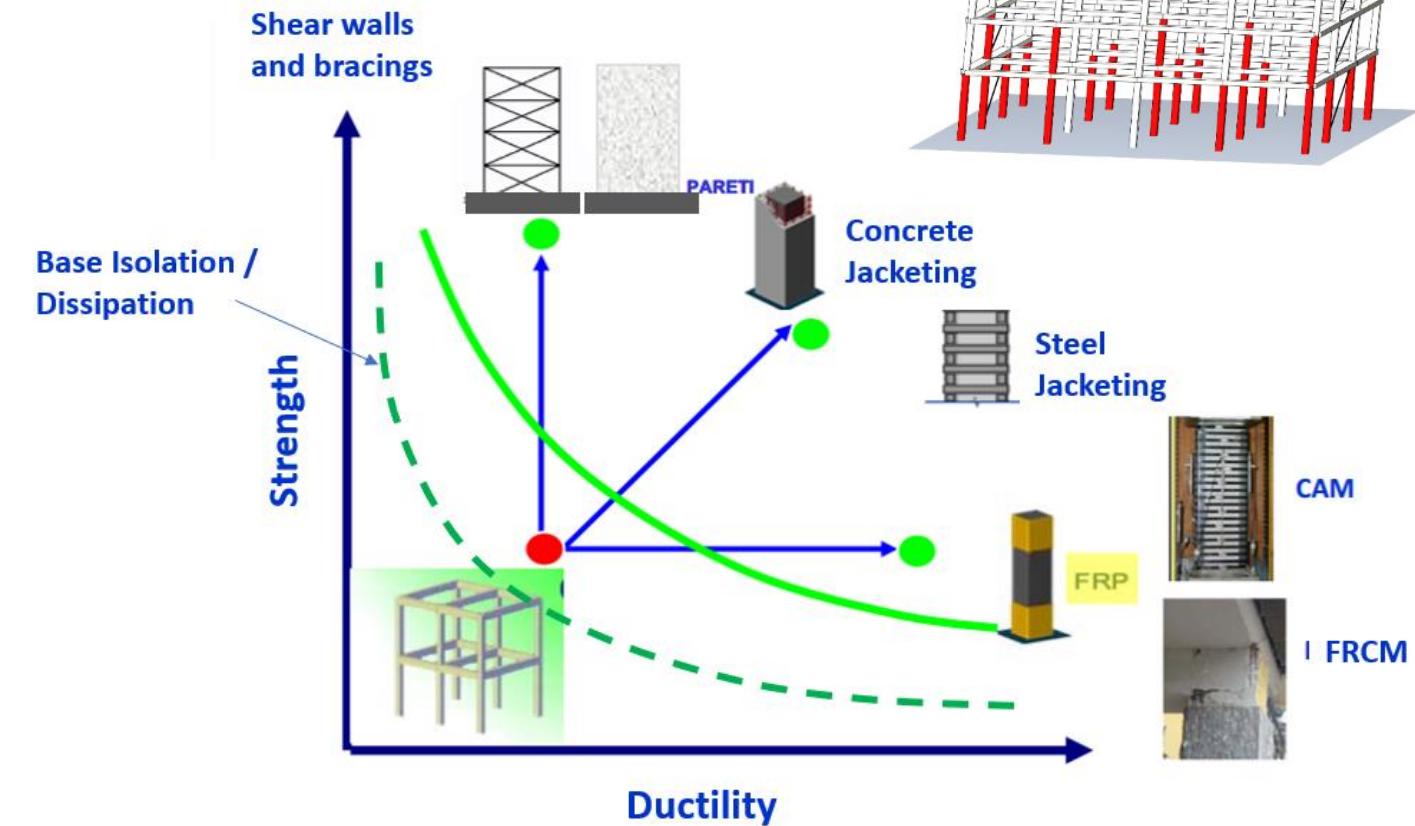


## Applied Loads (ULS combination):

- Gravitational and Horizontal loads



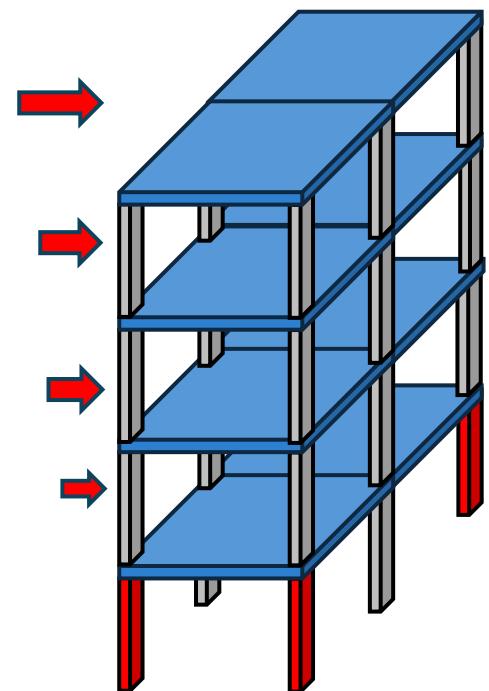
# Seismic Risk Mitigation Retrofitting Systems



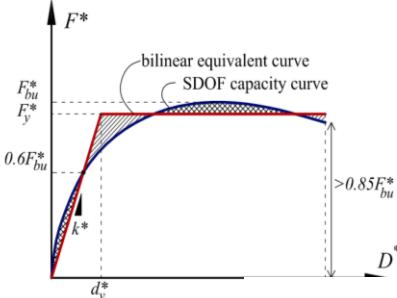
## Impact

- Costs
- Invasiveness
- Downtime

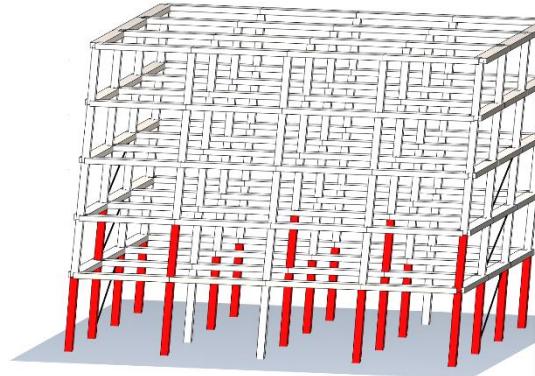
Analisi del modello e valutazione della fitness



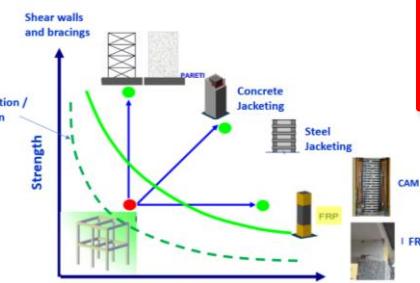
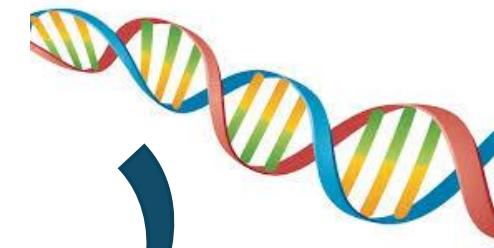
FINAL  
OUTPUT



OpenSees



MATLAB<sup>®</sup>  
Genetic Algorithm (GA)



Posizione e quantità di rinforzo  
minimizzando i costi

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

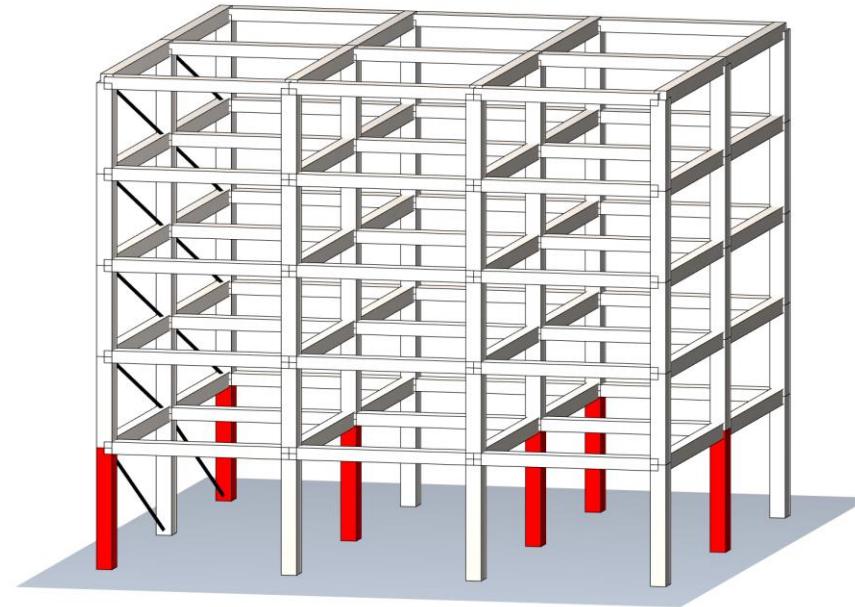
## Genotype

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

Diagram illustrating the genotype representation. A red bracket on the left groups the first element  $s_b$  and the subsequent 17 elements  $c_{ij}$  into a vector. A red arrow points from this bracket to a 3D model of a building column with 5 horizontal layers. The height of these layers is labeled  $s_b$ . Below the bracket, two red arrows point to the labels  $0 \rightarrow \text{Unretrofitted column}$  and  $1 \rightarrow \text{Retrofitted column}$ , indicating the binary nature of the genotype elements.

## Genetic algorithm – Design vector encoding

### Phenotype



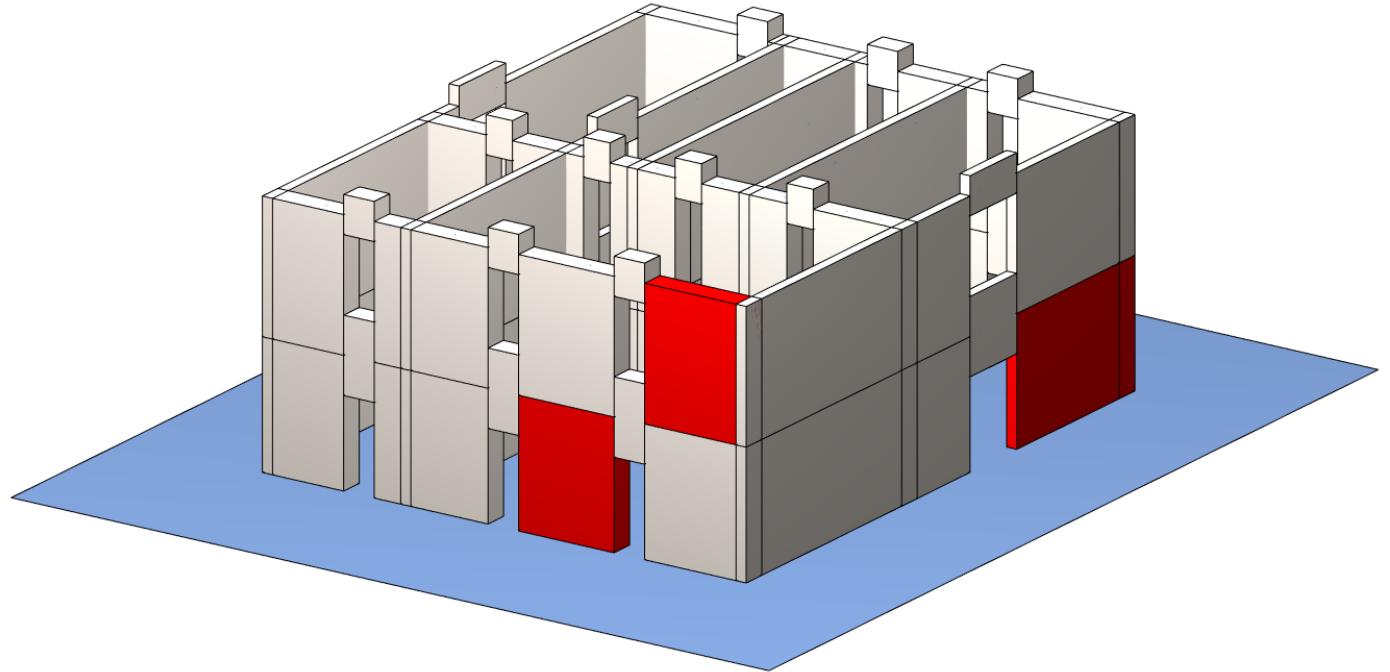
**Fitness**

**Cost of the intervention**

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

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

**0 → unreinforced**  
**1 → reinforced**

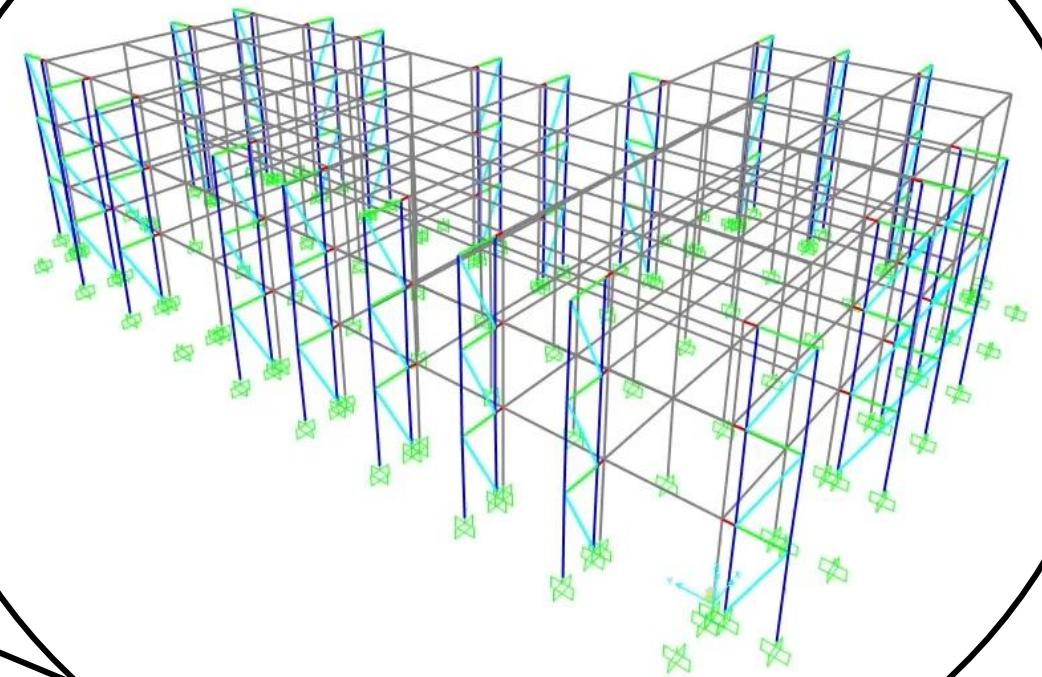
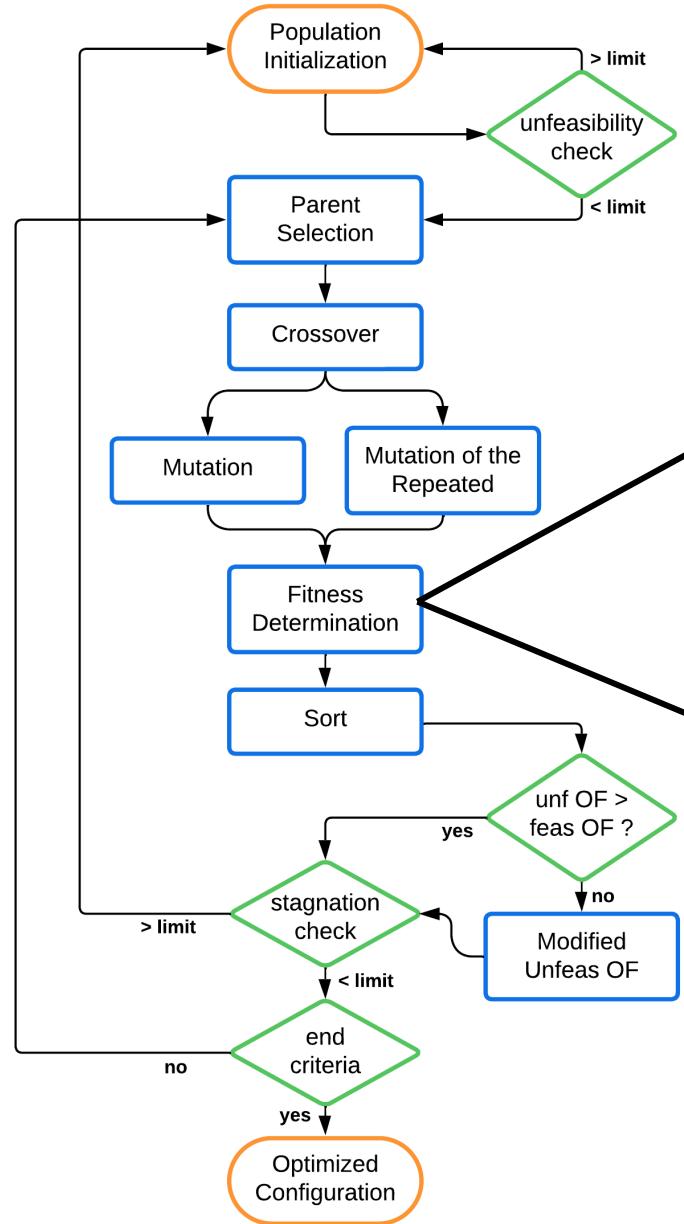


→ Ogni variabile decisionale (binarie) rappresenta la posizione del sistema di retrofitting all'interno della struttura

# OPTIMIZATION ALGORITHM

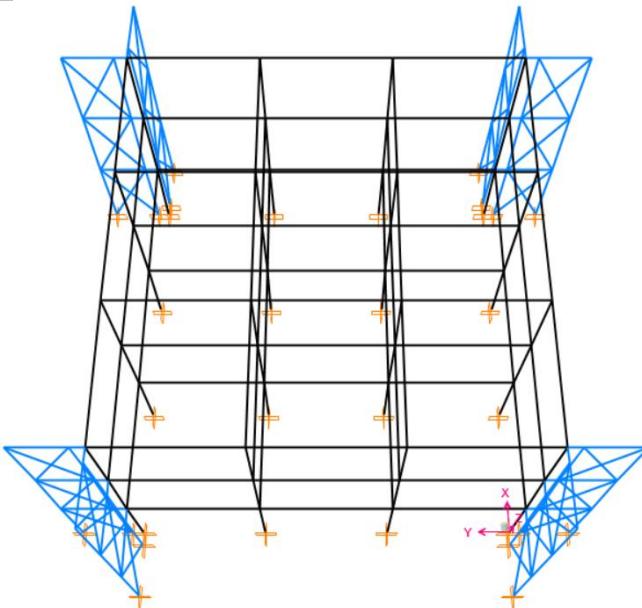
&

# FEM ANALYSES

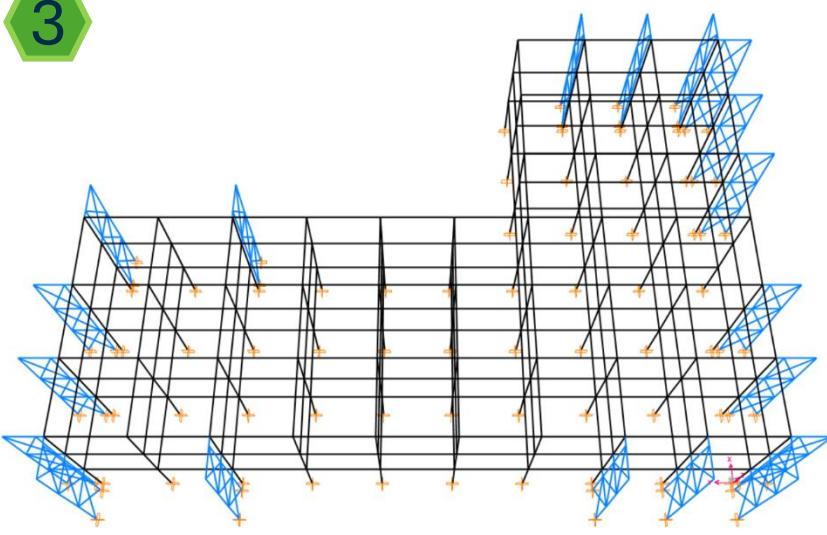


# RESULTS: FINAL CONFIGURATIONS

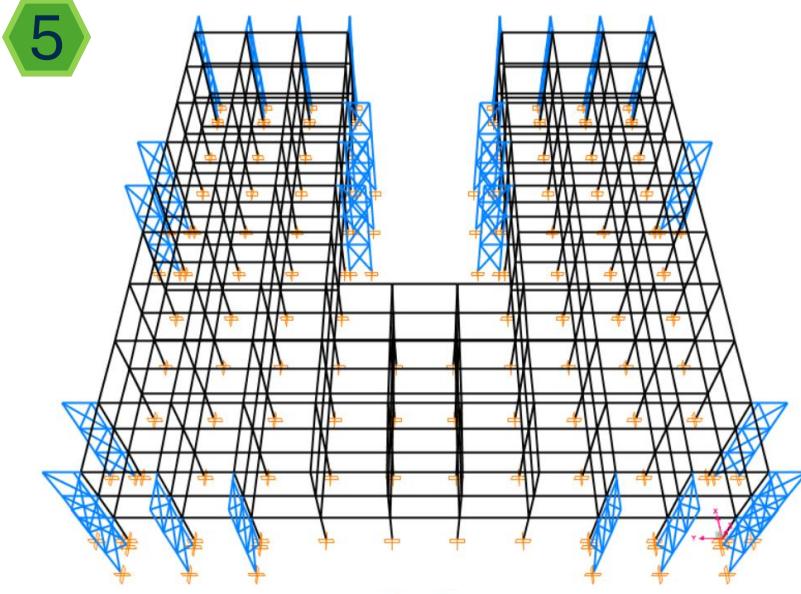
1



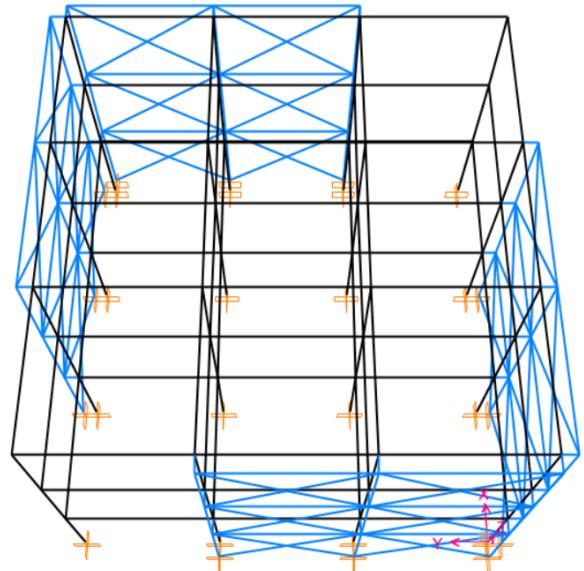
3



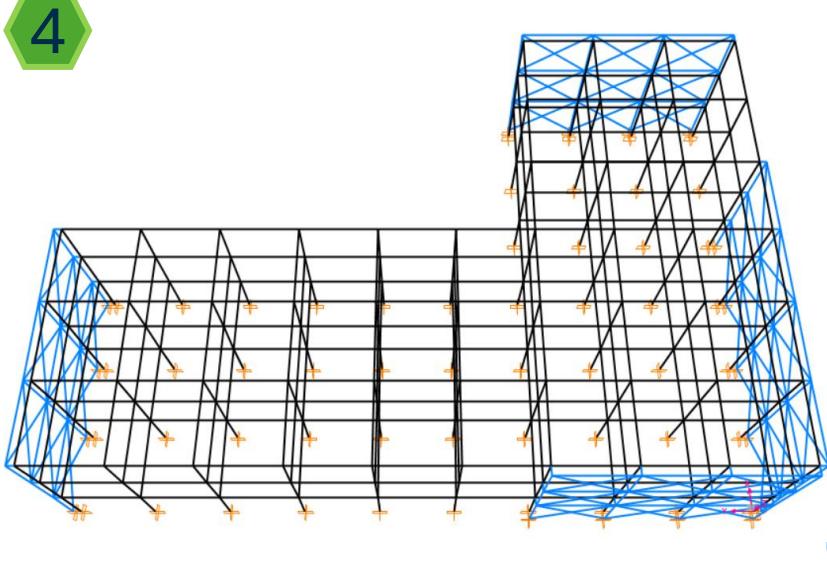
5



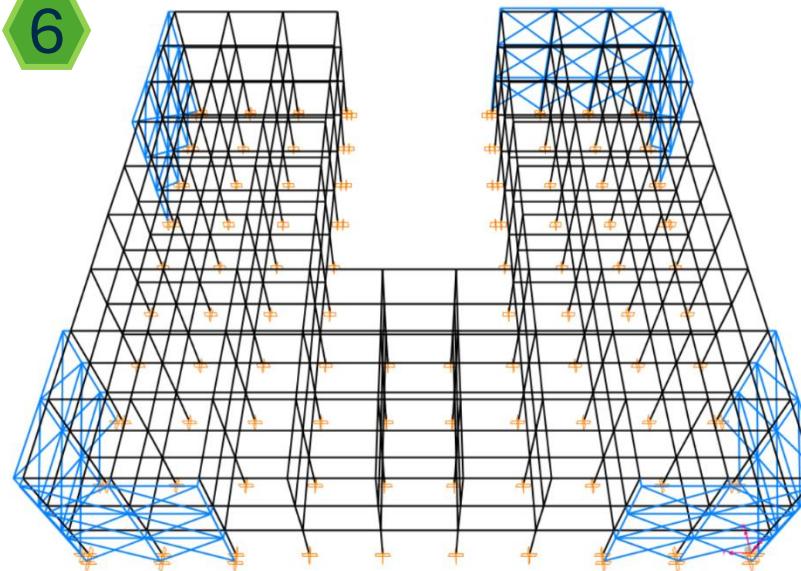
2



4



6



# Machine Learning

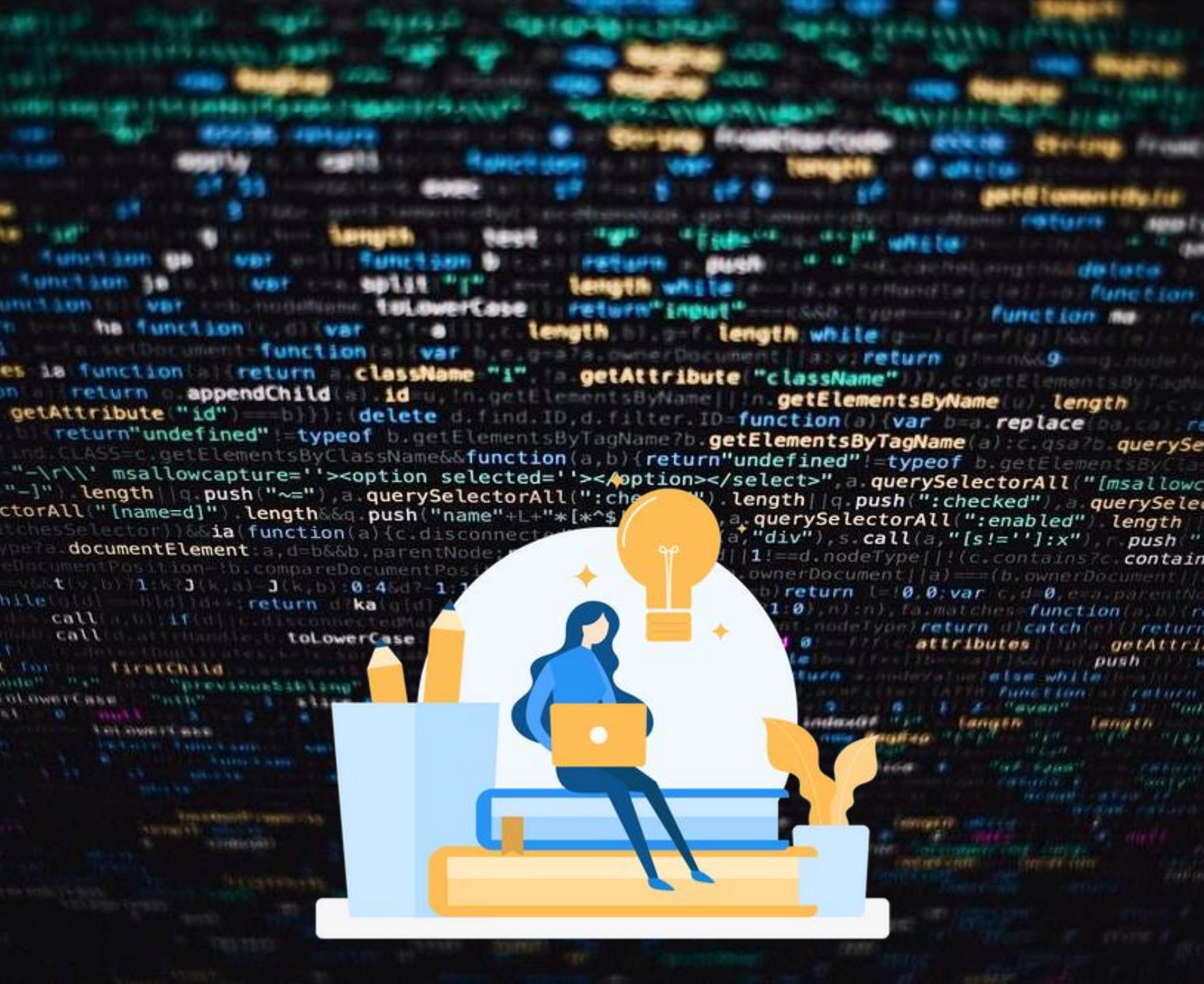
Modelli che apprendono dai dati

Regessione e classificazione

Random Forest, SVM

Reti neurali

- Machine learning introduction

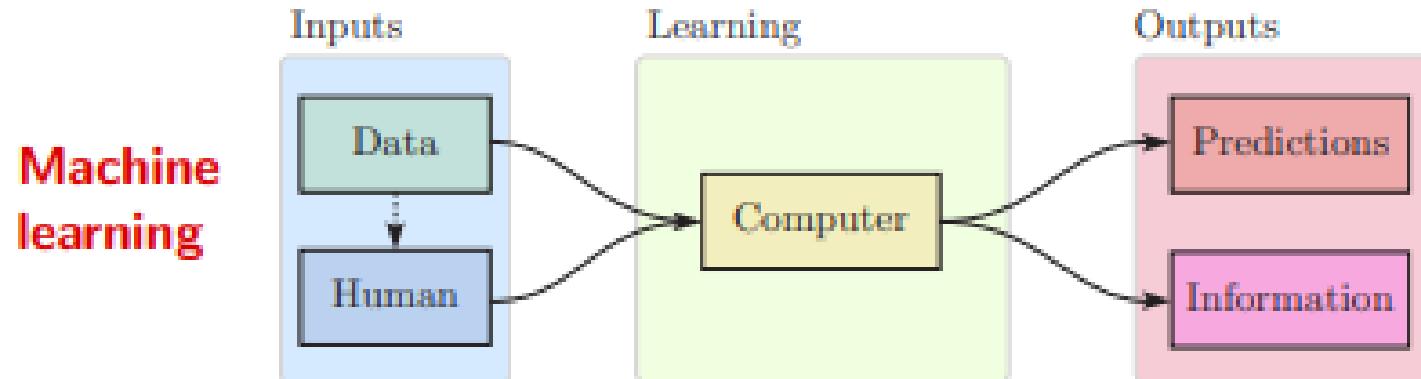


# Cos'è il Machine Learning?

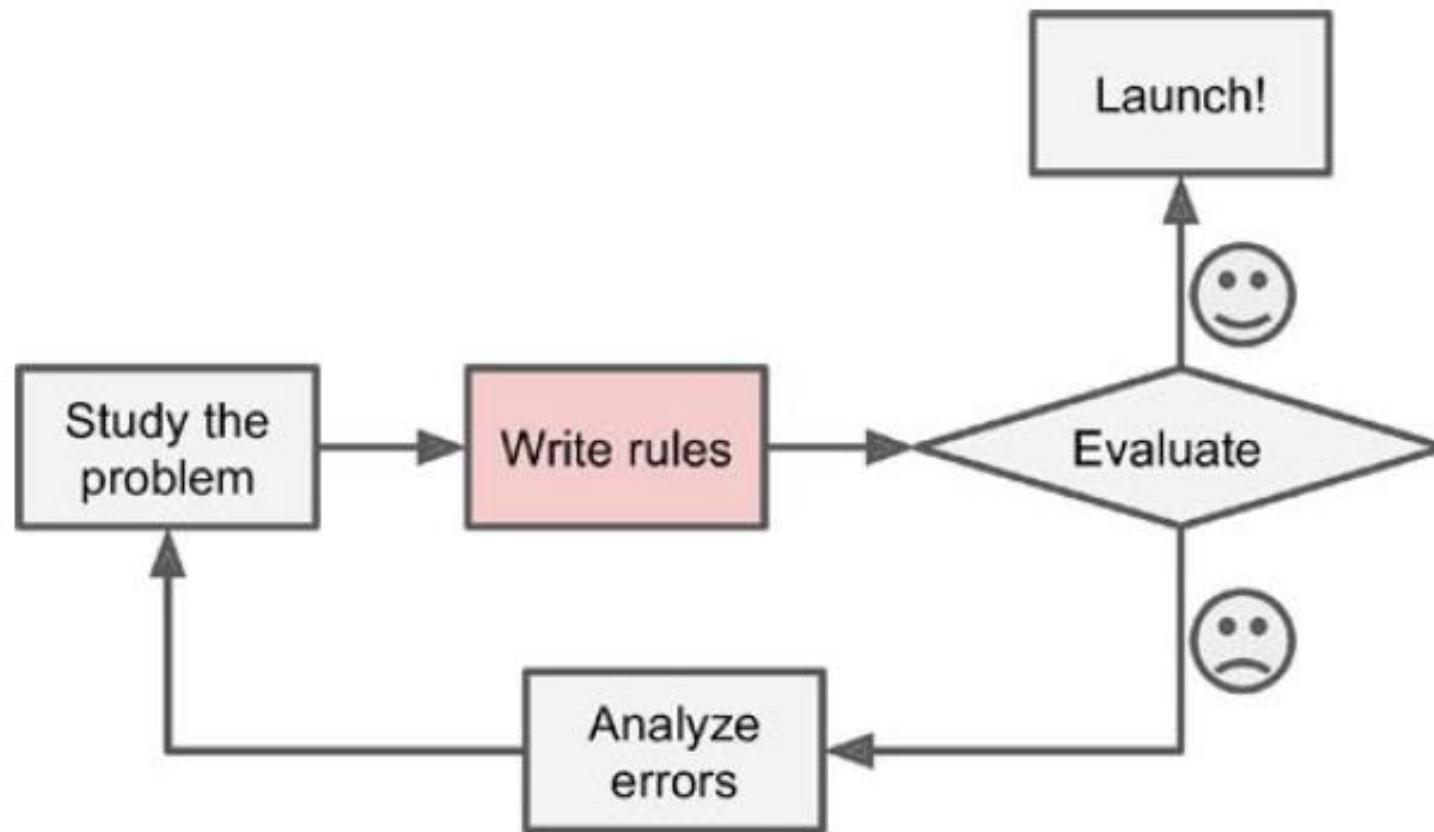
- **Il Machine Learning (ML) è la scienza (e l'arte) della programmazione dei computer affinché possano apprendere dai dati.**

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

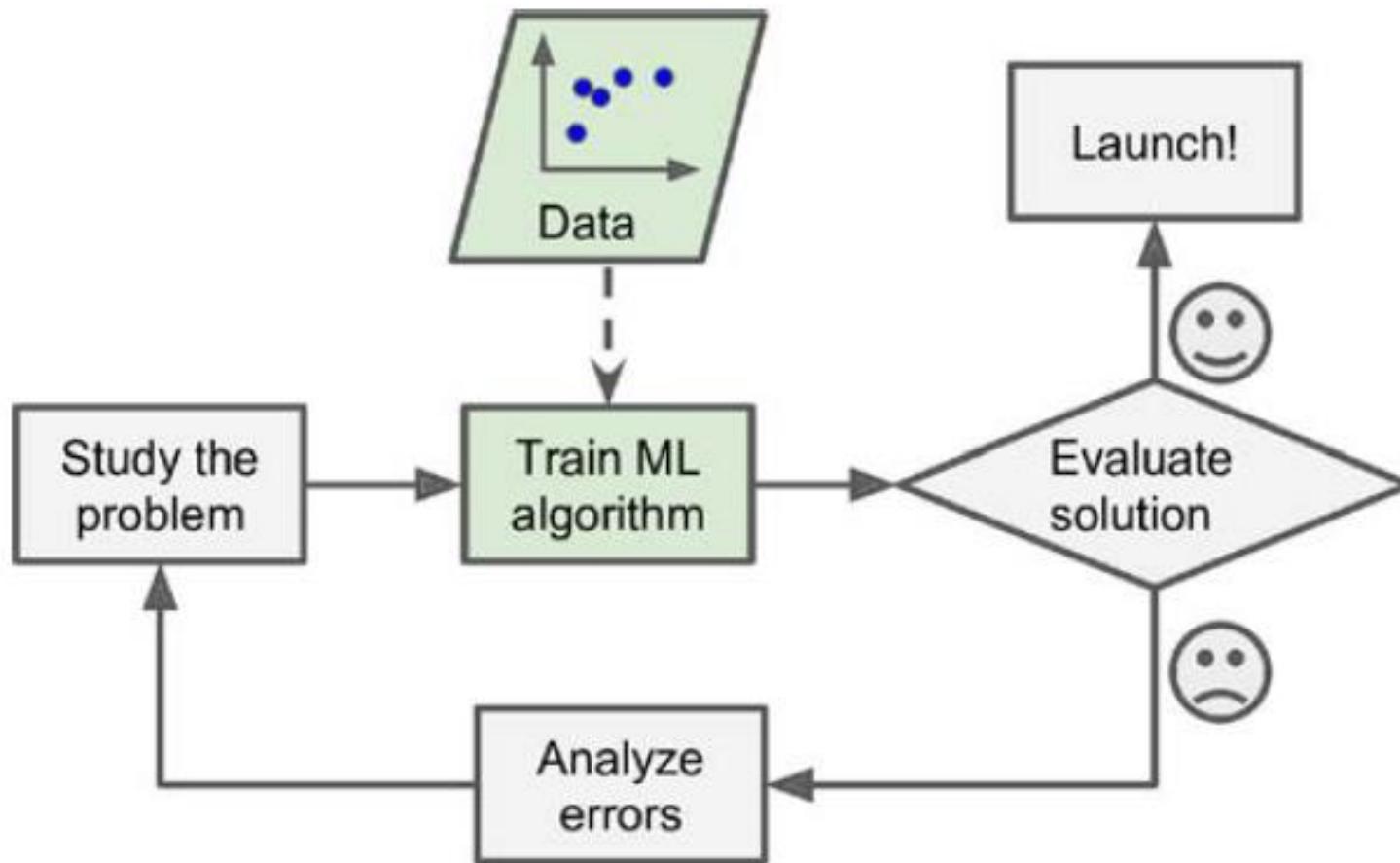
Si dice che un programma per computer apprende dall'esperienza E rispetto a un compito T e a una misura di performance P, se la sua performance su T, misurata da P, migliora con l'esperienza E.—Tom Mitchell, 1997



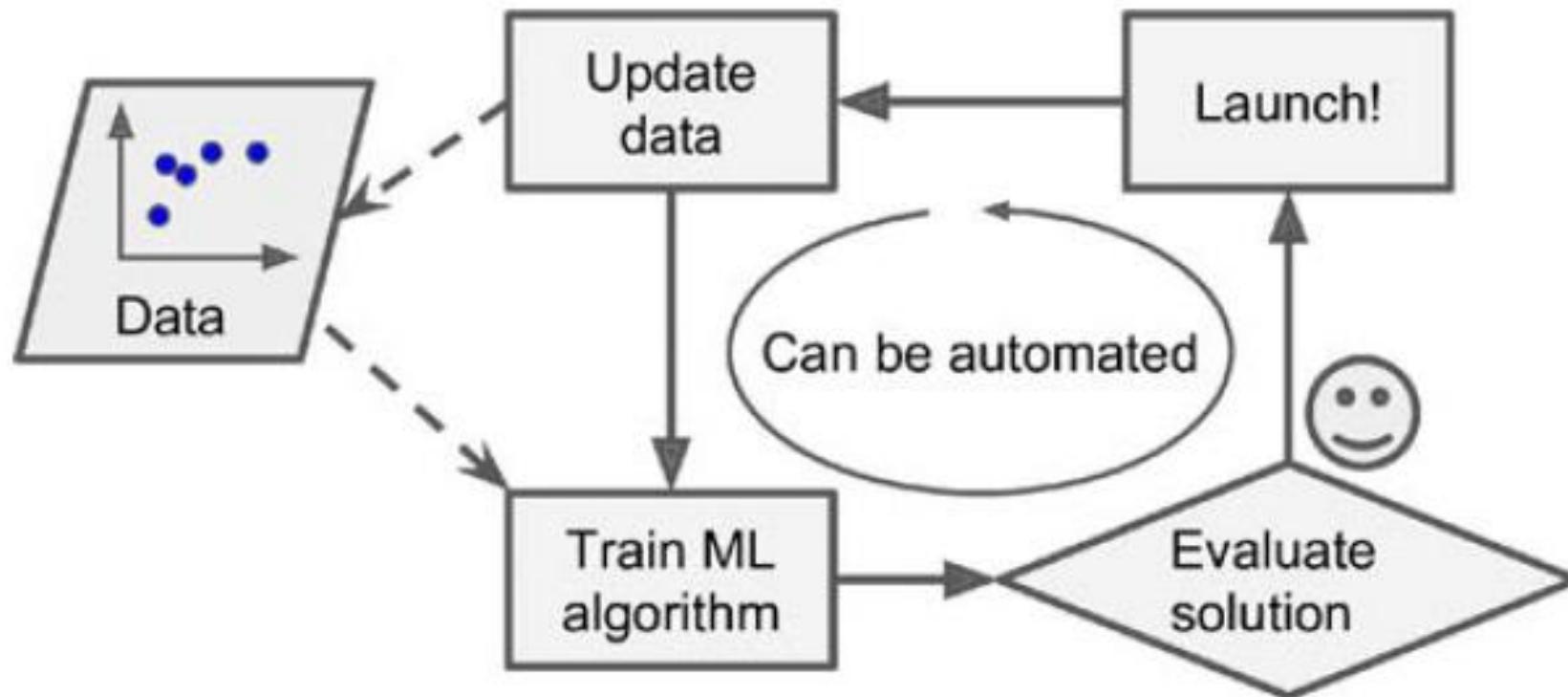
# L'approccio tradizionale



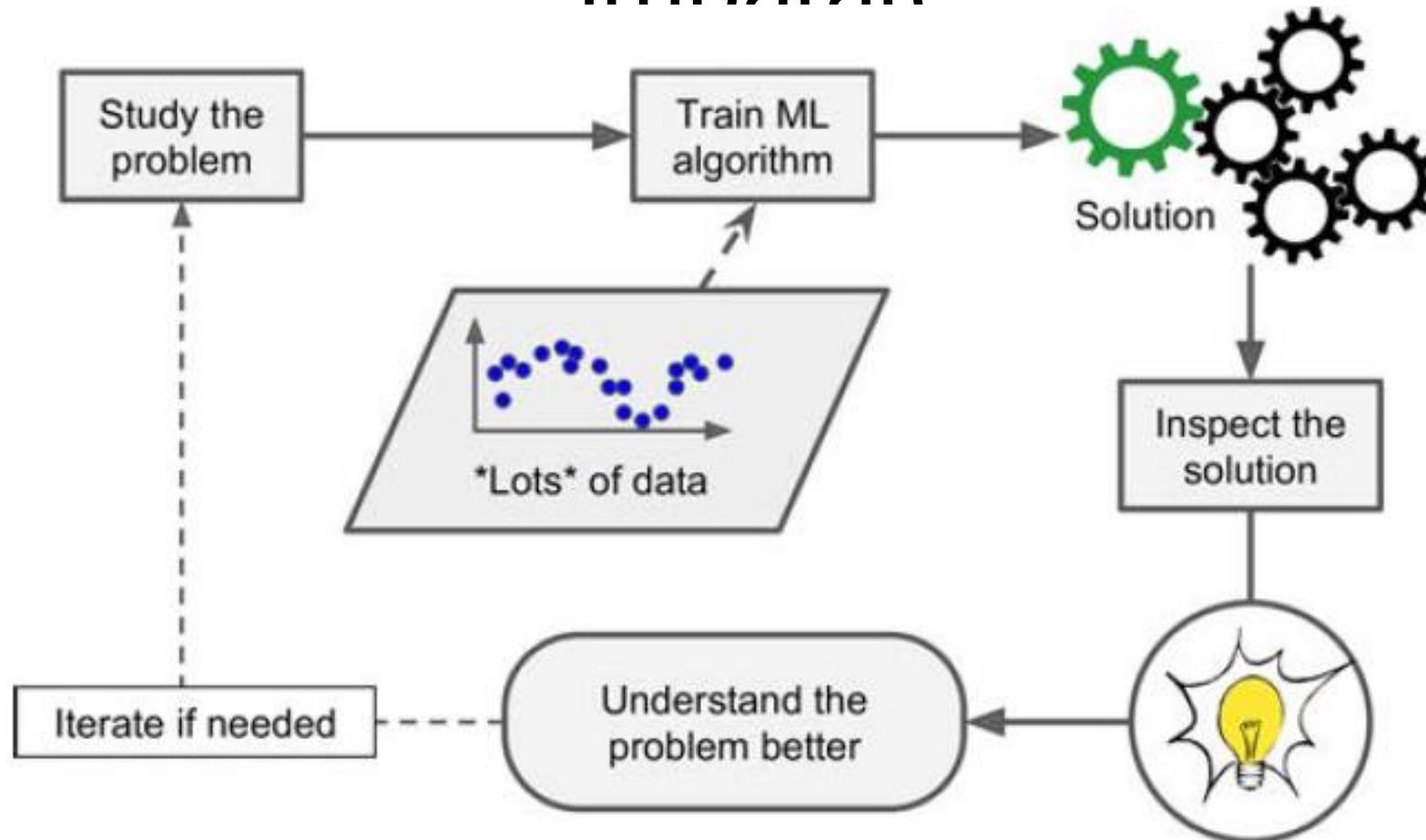
# L'approccio del Machine Learning



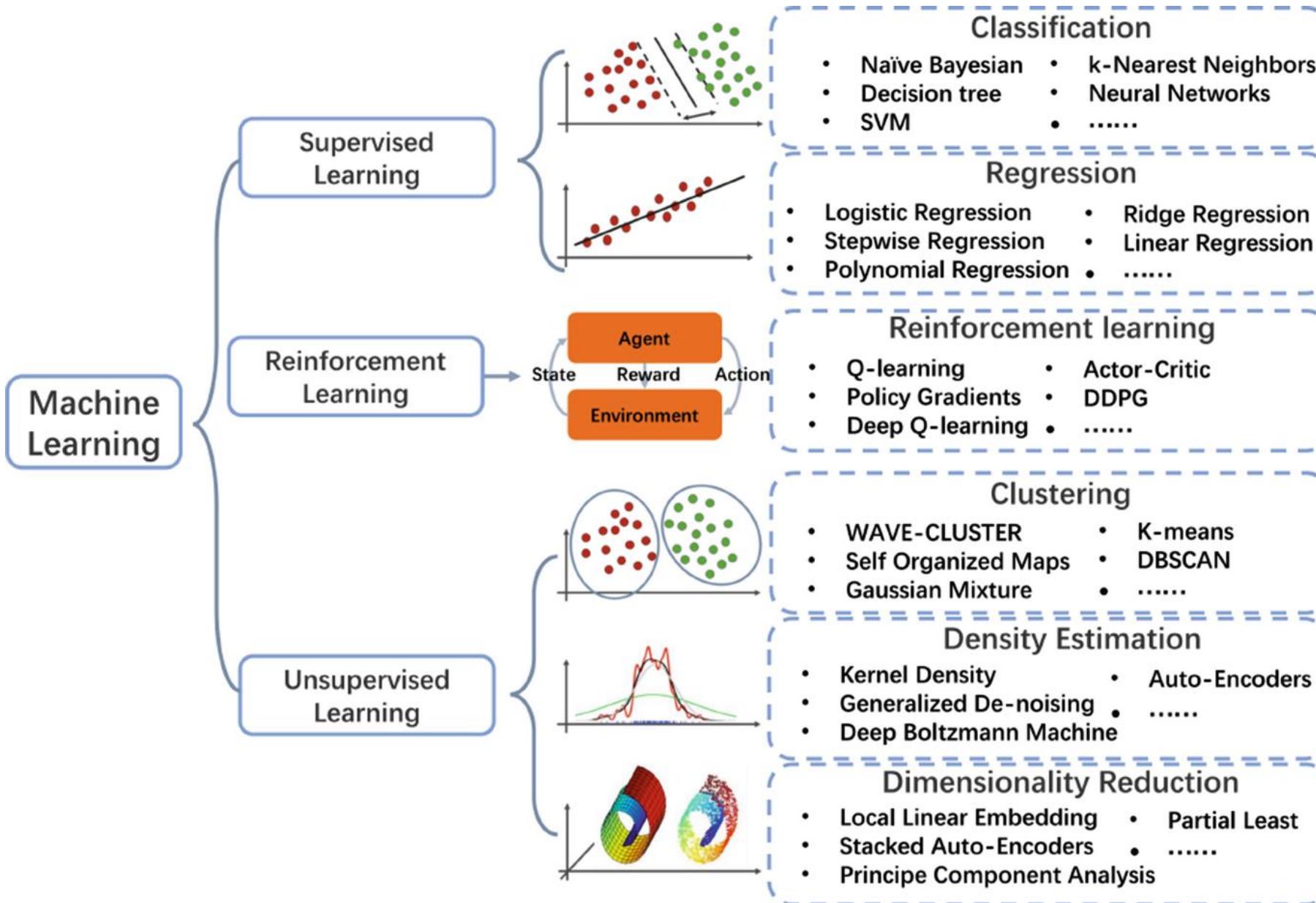
# Adattamento automatico al cambiamento



# Il Machine Learning può aiutare gli esseri umani a imparare

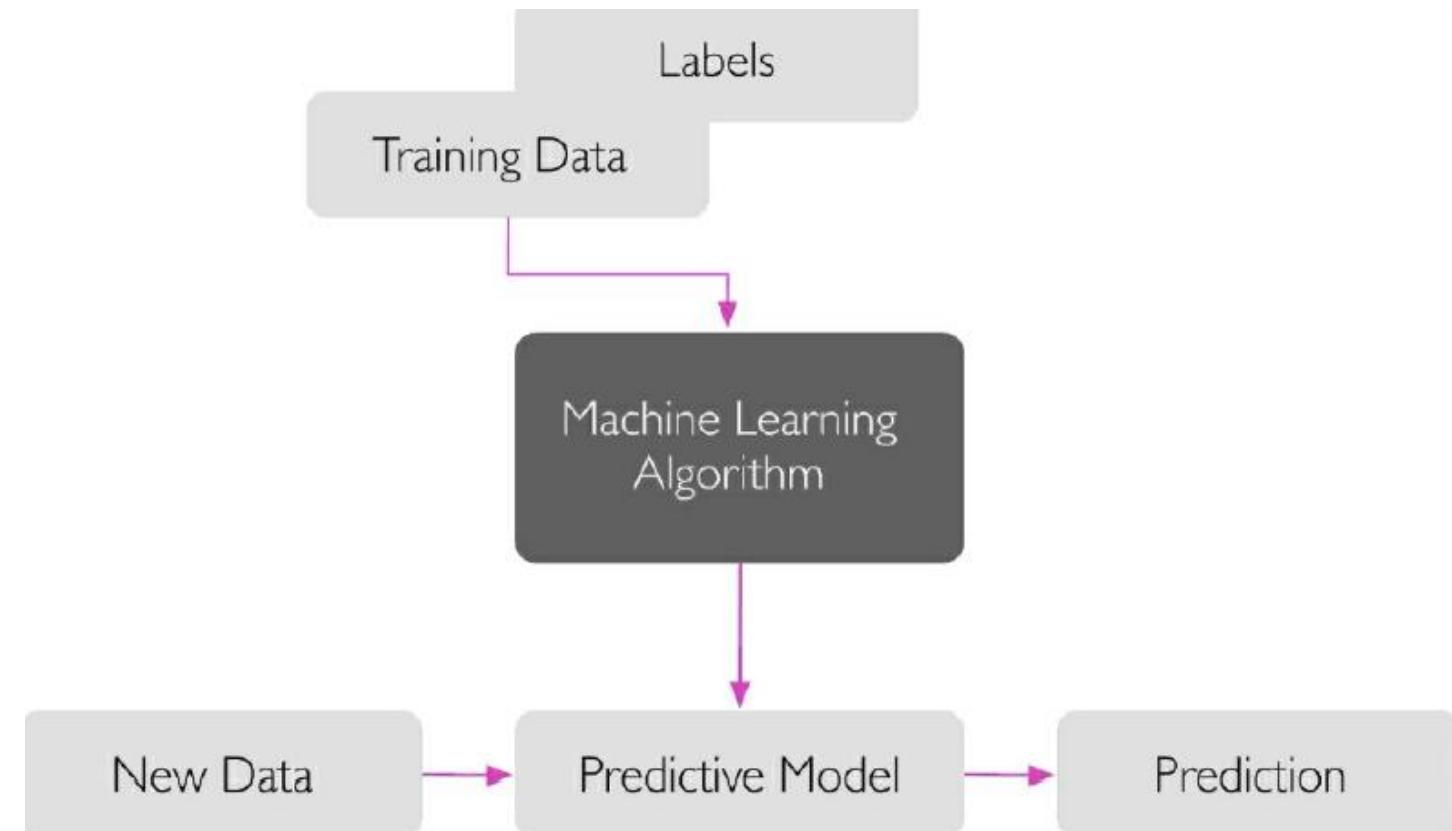


# Tipi di sistemi di machine learning

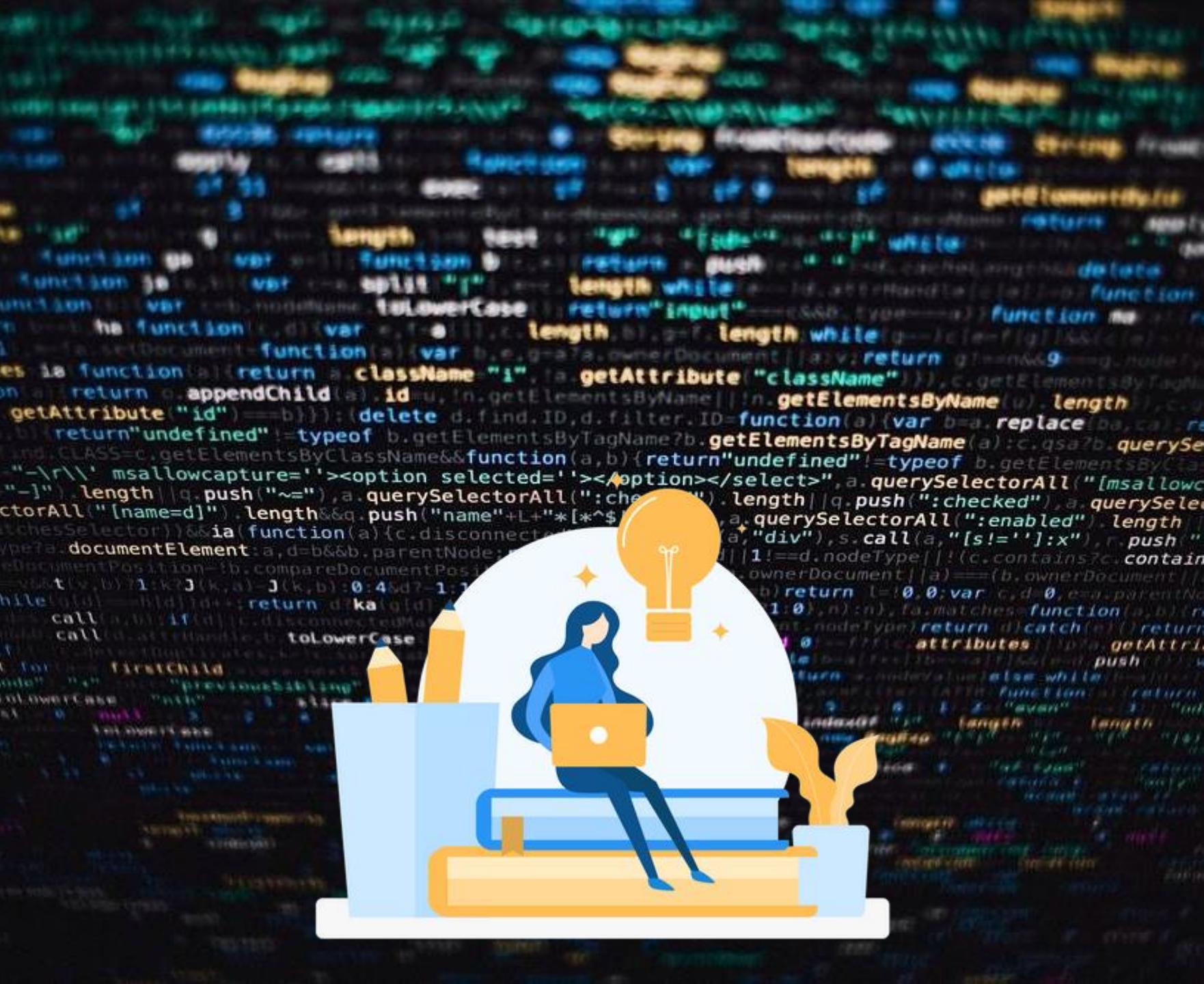


# Supervised learning: classification and regression

- ❑ 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**

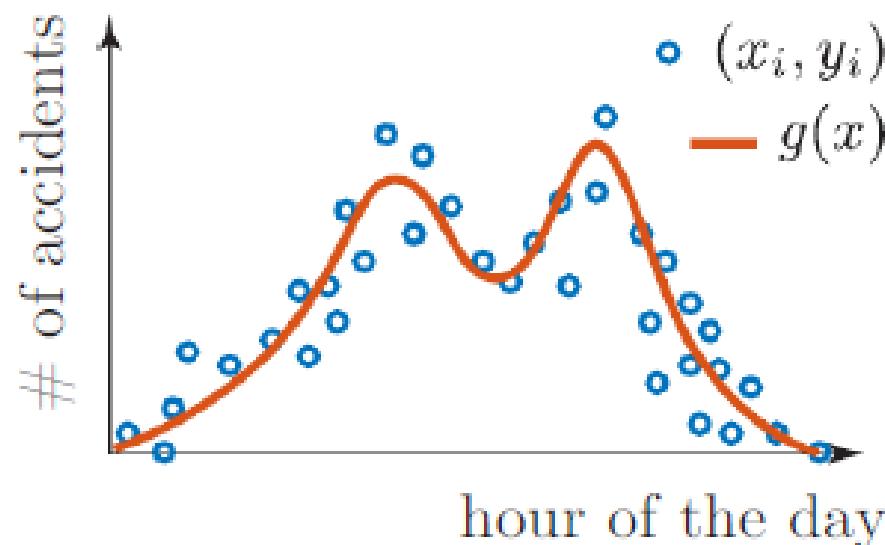
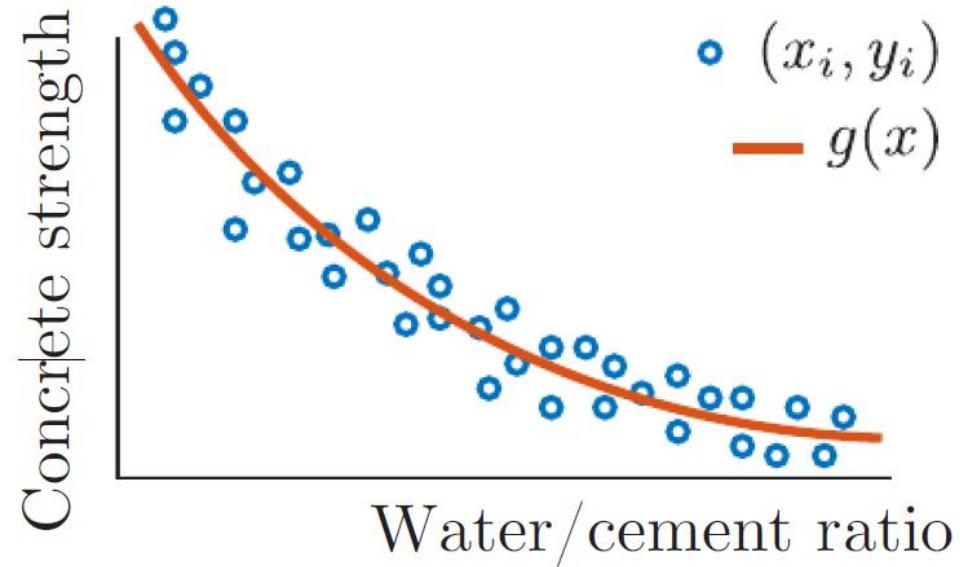
$$\mathcal{D} = \{(x_i, y_i), \forall i \in \{1 : D\}\}$$

$x_i \in \mathbb{R}^x$  :   
 Covariate  
 Attribute  
 Regressor

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

**Model**

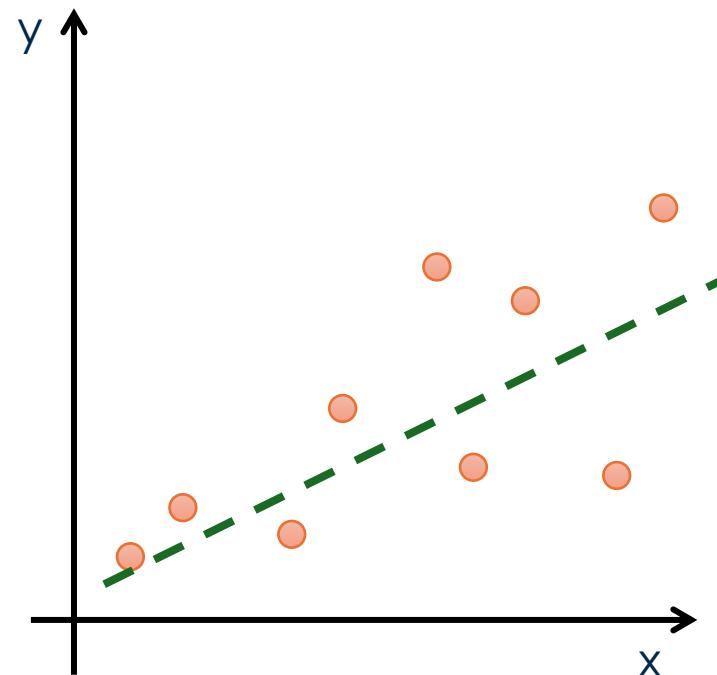
$$g(x) \equiv \text{fct}(x)$$



# Regressione vs Interpolazione

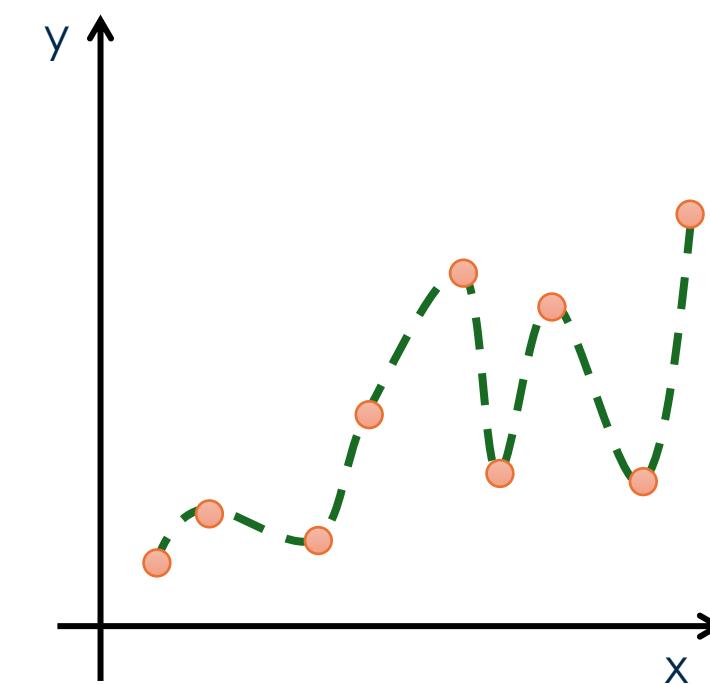
Want to find a such that for all i:

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



Want to find a such that for all i:

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



# Linear Regression

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

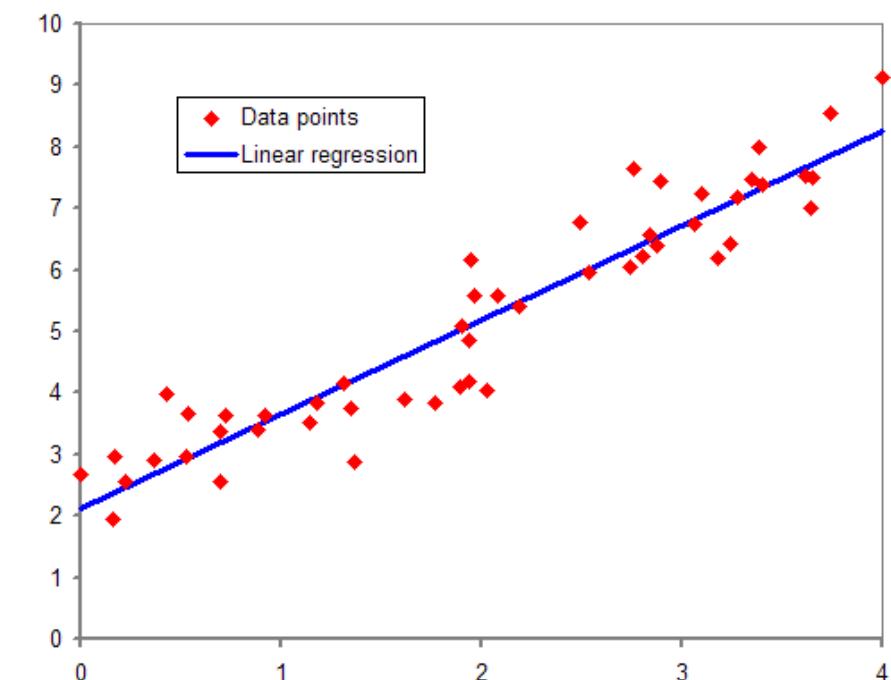
D pairs of points where  $\mathbf{x}_i = [x_1, x_2, \dots, x_N]^T \in \mathbb{R}^N$  are covariates, also called attributed or regressors.

$y_i \in \mathbb{R}^1$  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

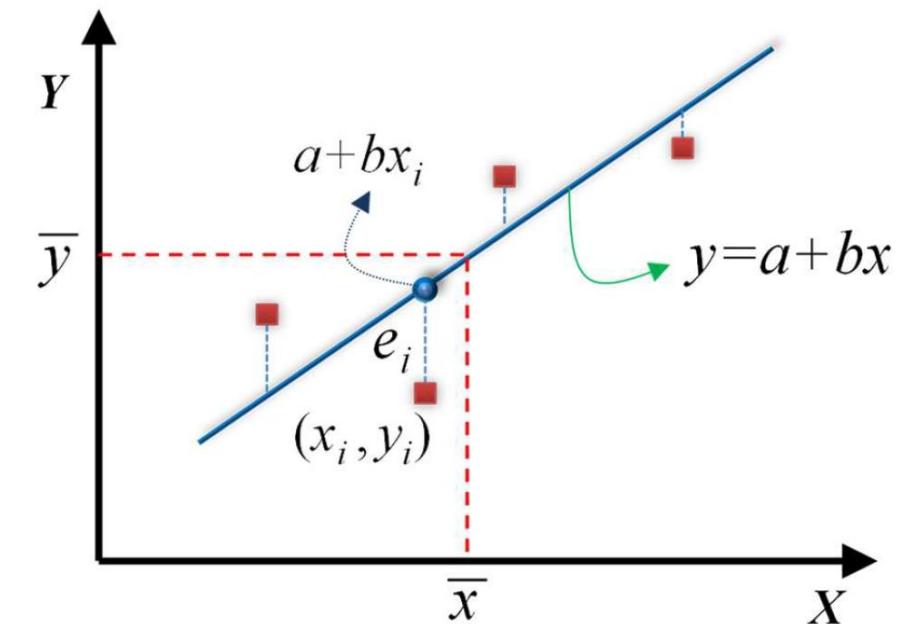
La forma più comune di regressione lineare è chiamata aggiustamento dei minimi quadrati.

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**



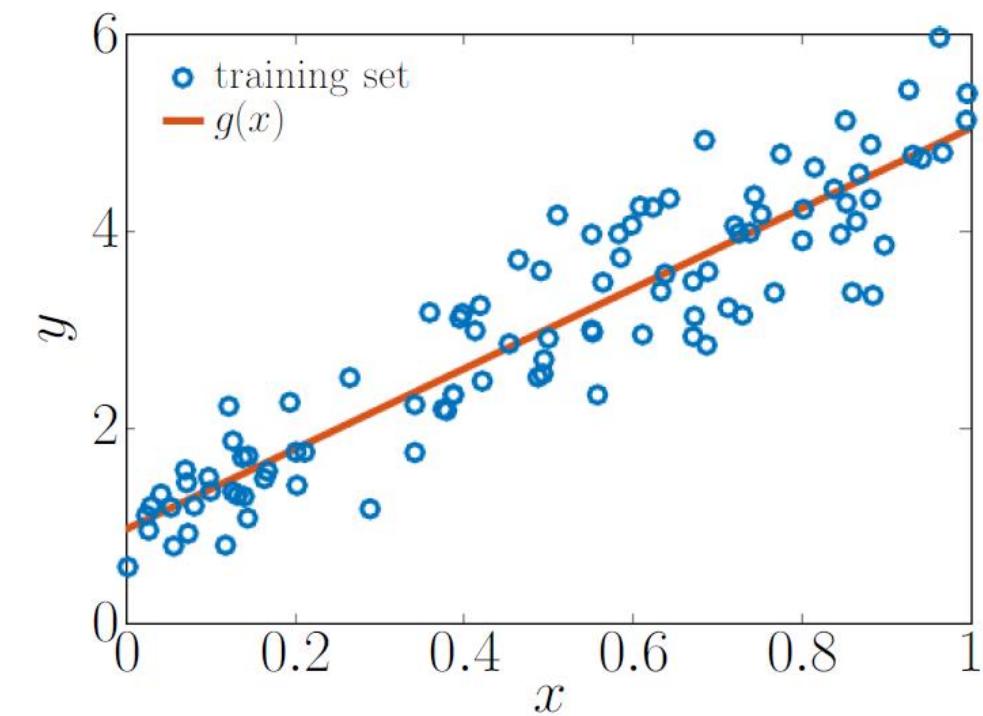
# Regressione lineare

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:

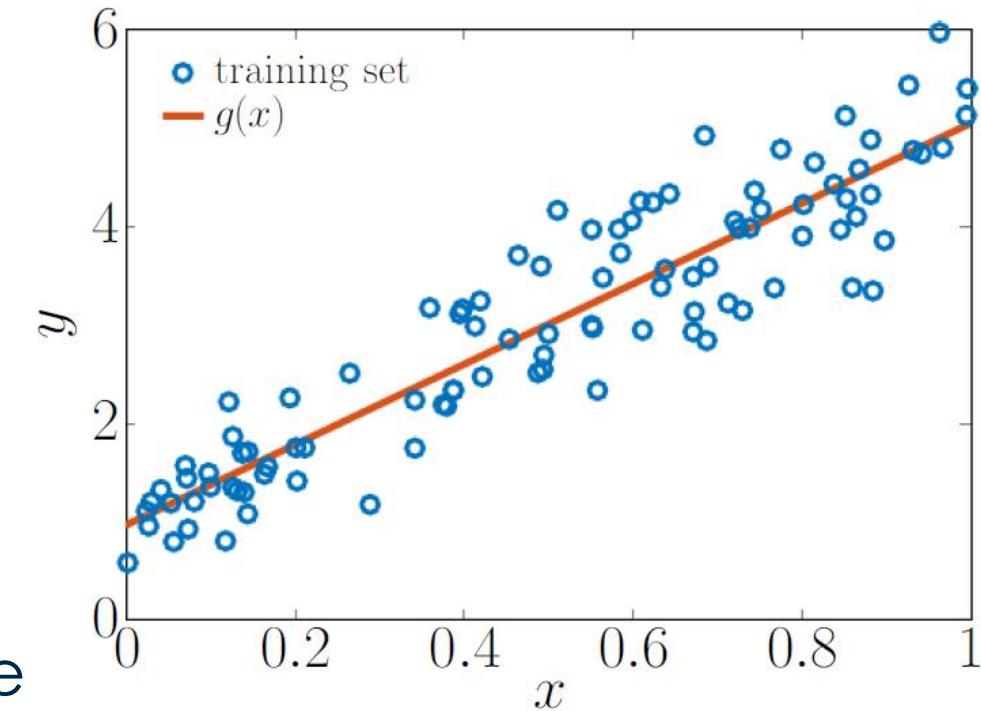
In matrix form  $g(x) = b_0 + b_1 x = [b_0 \ b_1] \begin{bmatrix} 1 \\ x \end{bmatrix}$

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,*

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

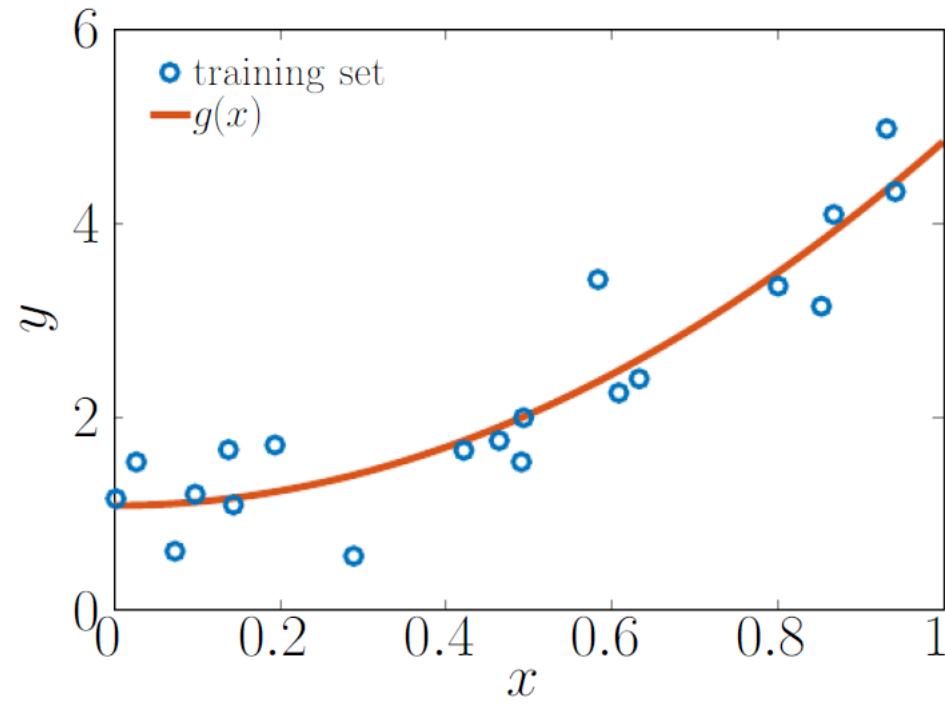
$$g(x) = b_0 + b_1 \phi_1(x) + b_2 \phi_2(x) + \dots + b_B \phi_B(x) = \mathbf{X}\mathbf{b},$$

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

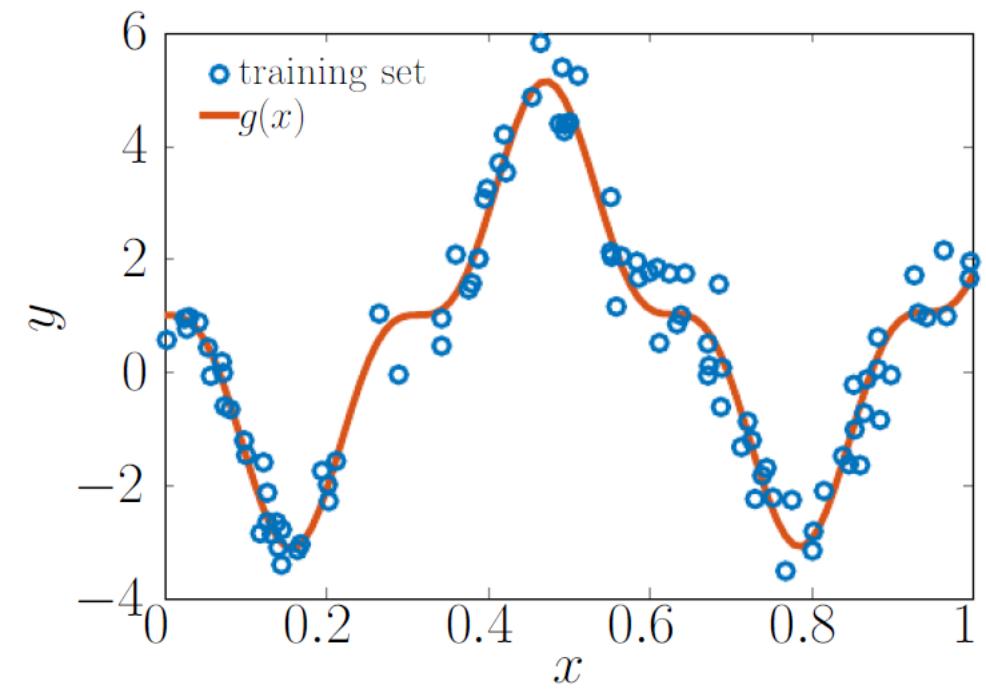
$$\boxed{\mathbf{b}^* = (\mathbf{X}^\top \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^\top \mathbf{y}.}$$

# 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  $x$ .



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

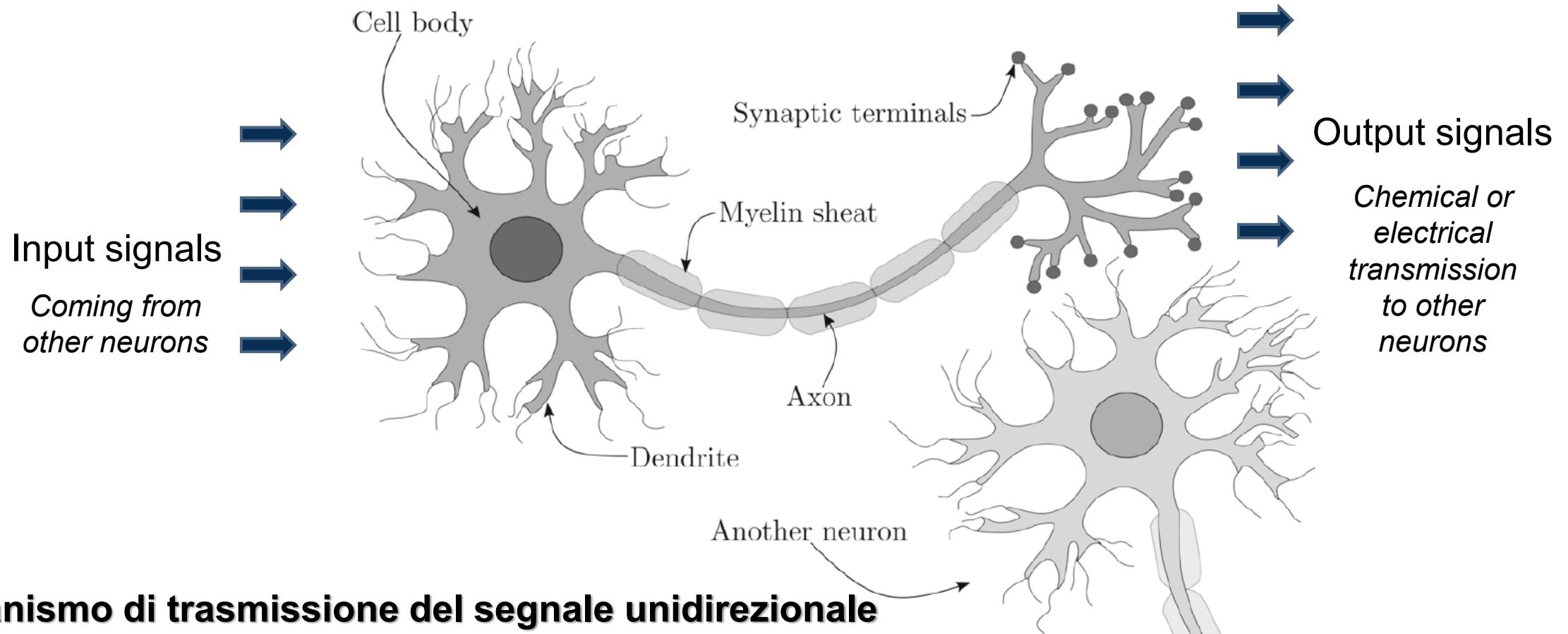


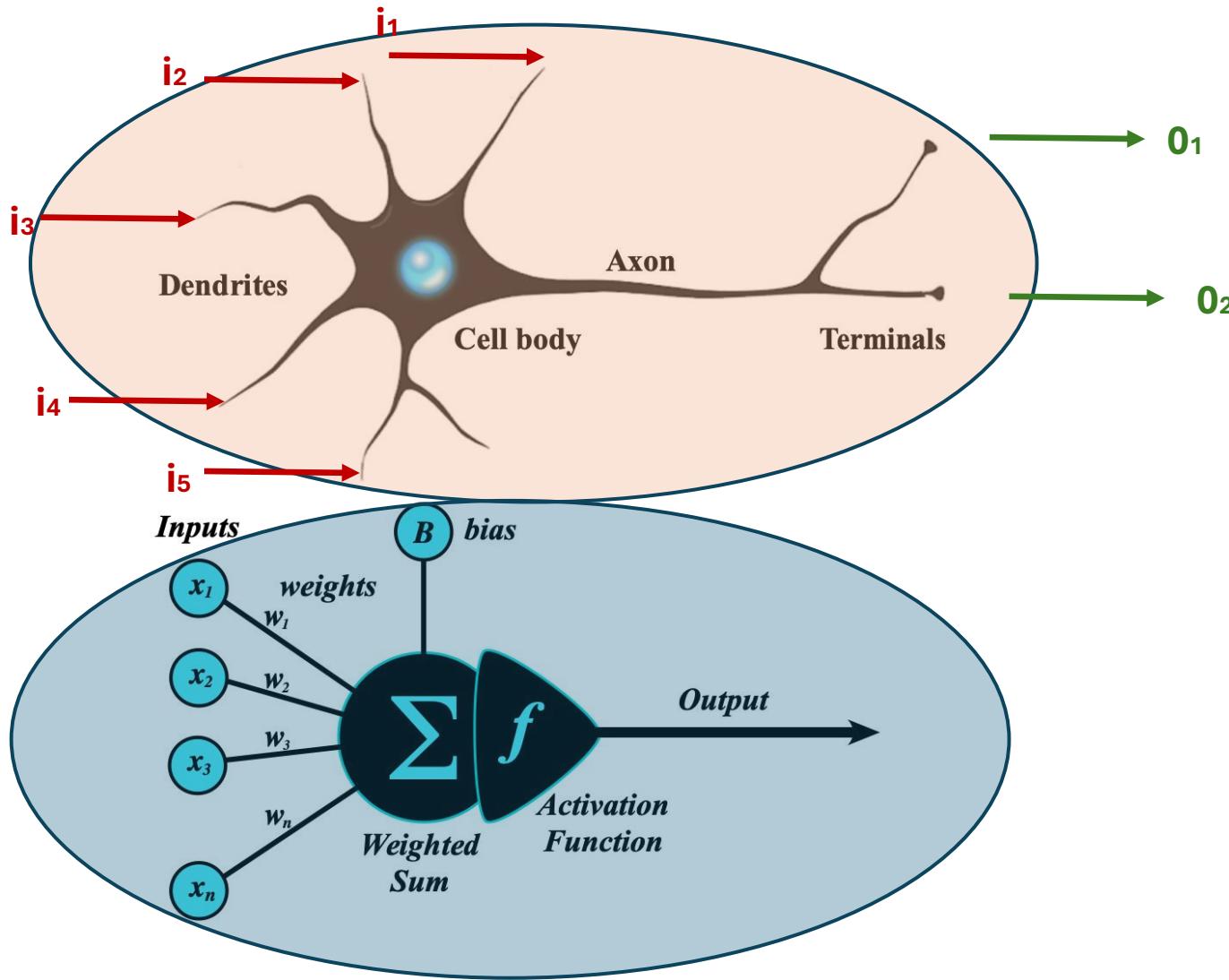
$$(b) g(x) = b_0 - b_2 \sin(10x)^3$$

# Rete Neurale Artificiale (ANN)

## McCulloch-Pitts (MCP) Neuron (1943)

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





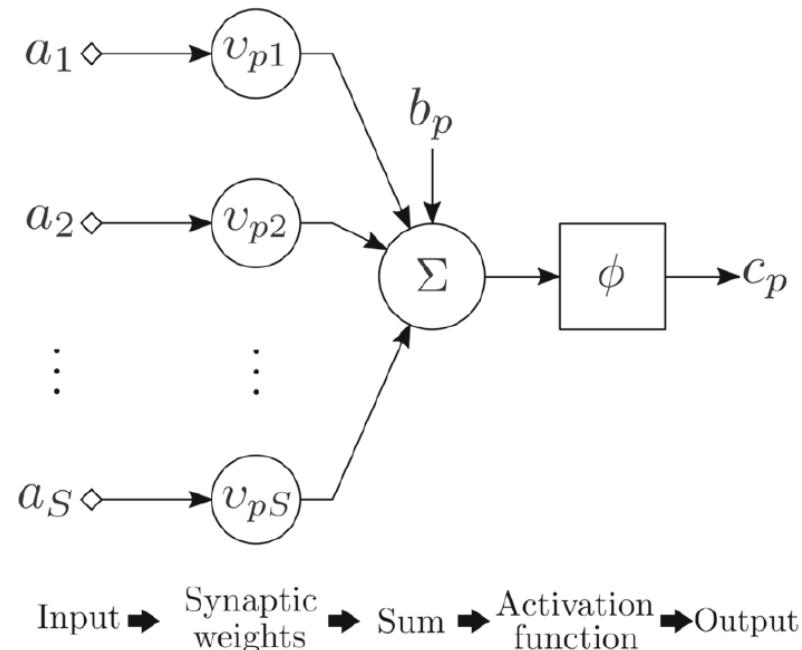
## Natural neuron

## Mathematical model

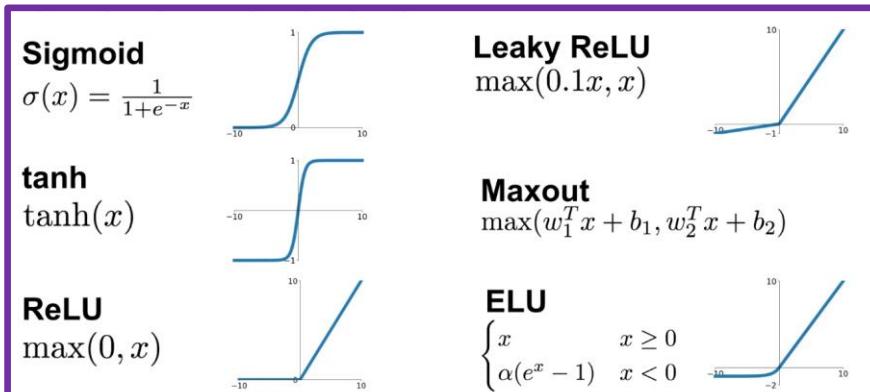
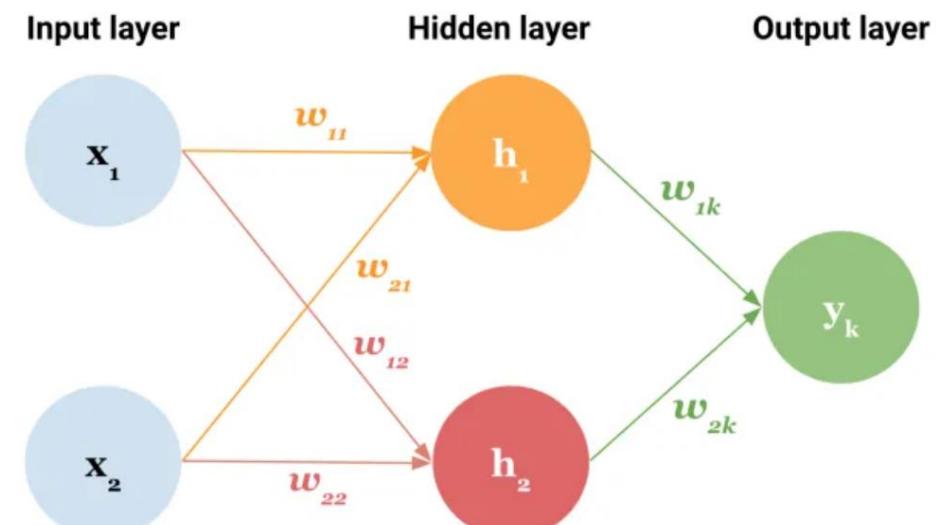
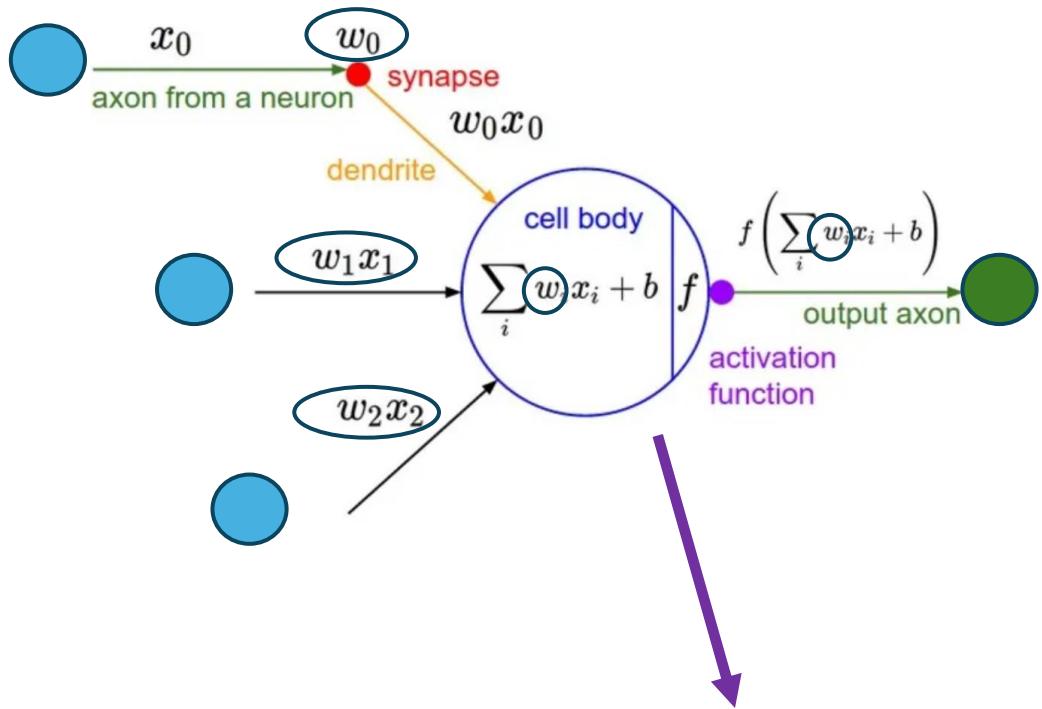
# Artificial Neural Network

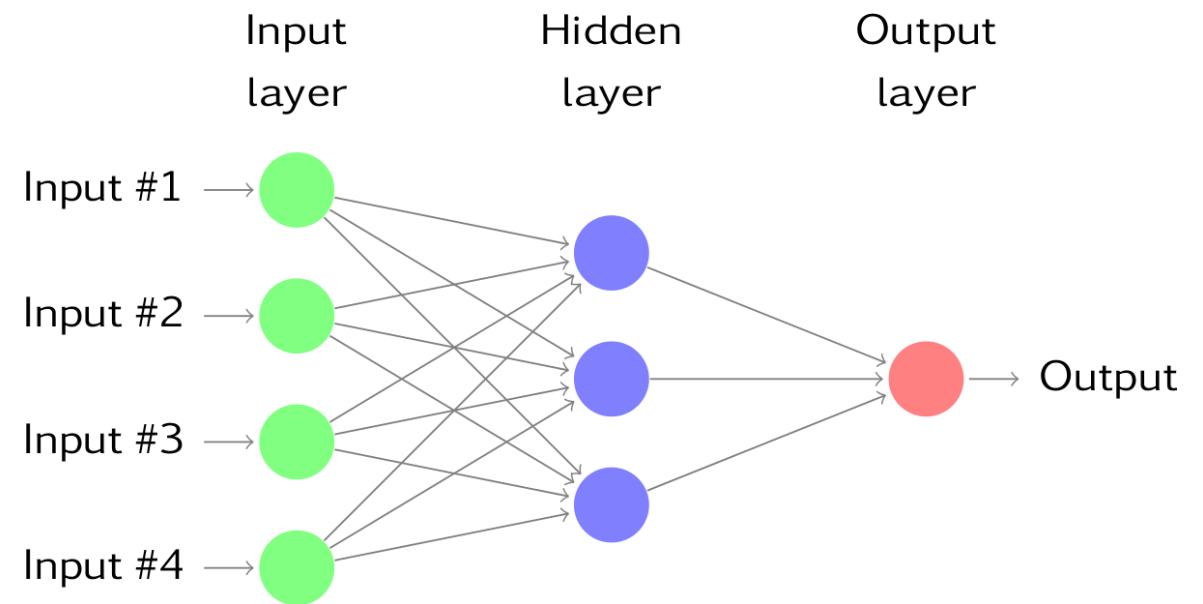
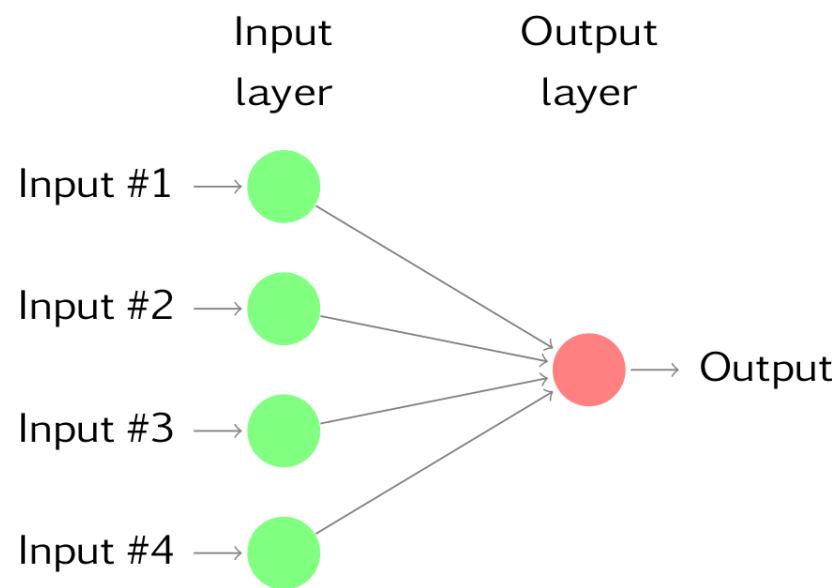
## McCulloch-Pitts (MCP) Neuron (1943)

- 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.

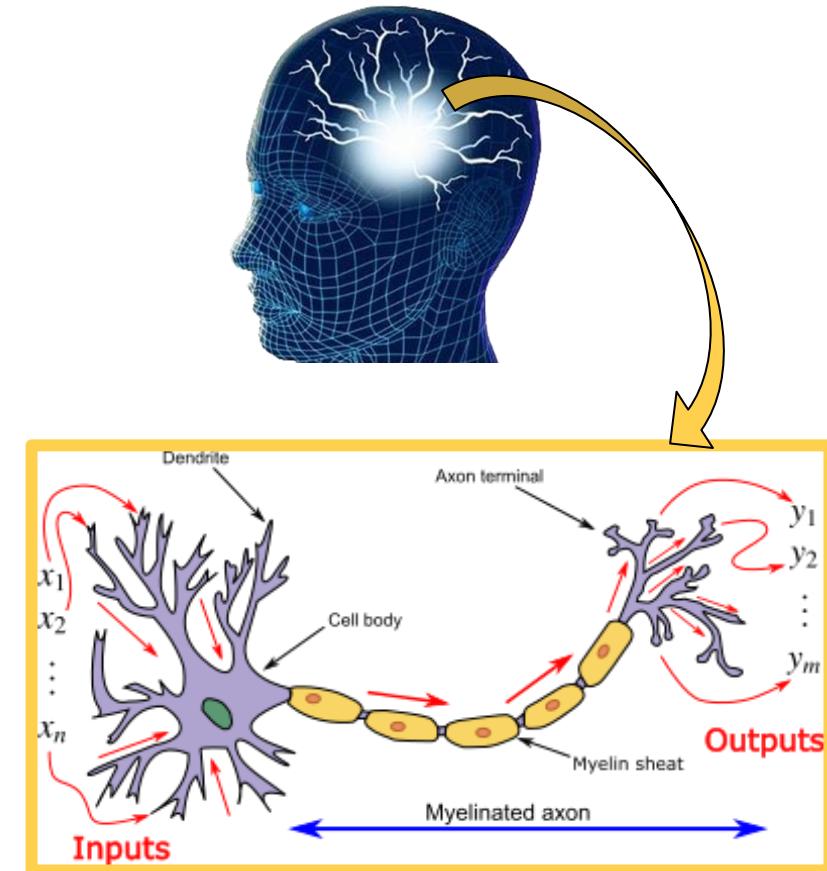


Utilizes learning algorithms that derive meaning out of data by using a hierarchy of multiple layers that mimic the neural networks of our brain.



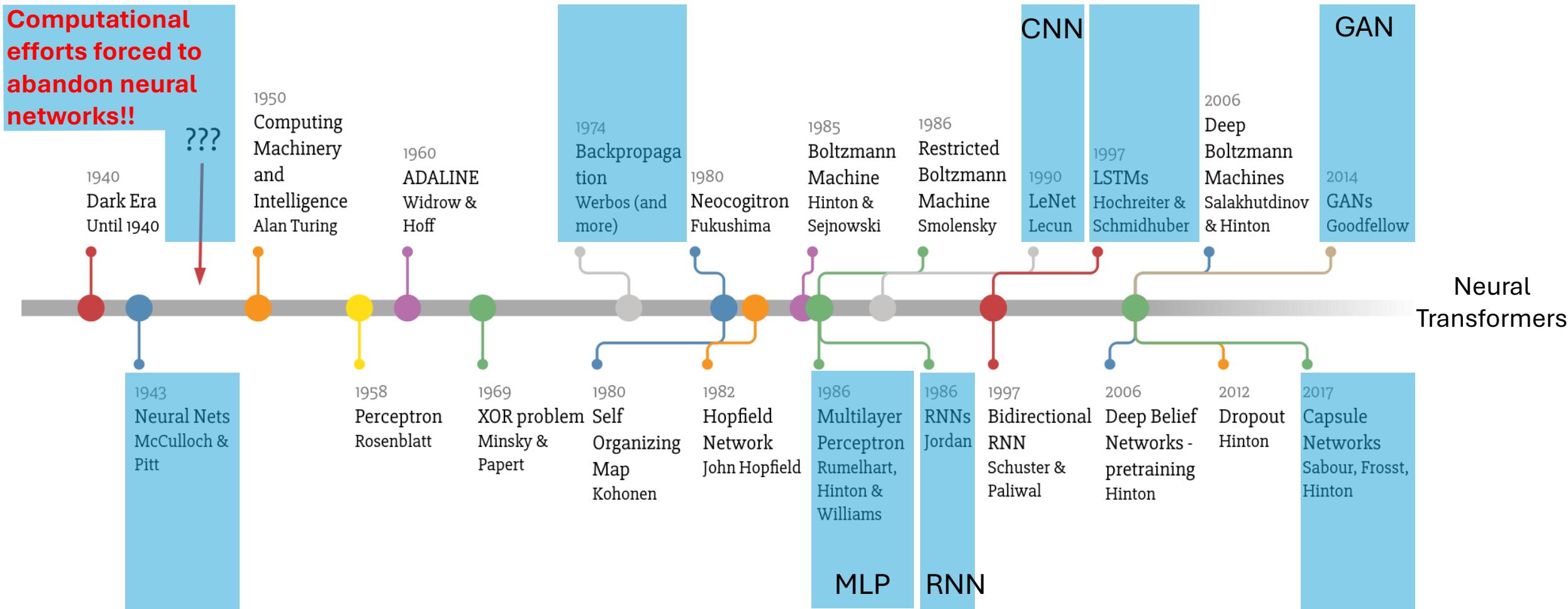
If you provide the system tons of information, it begins to understand it and respond in useful ways.

Inspired by Nature,  
Brain and Neuroscience



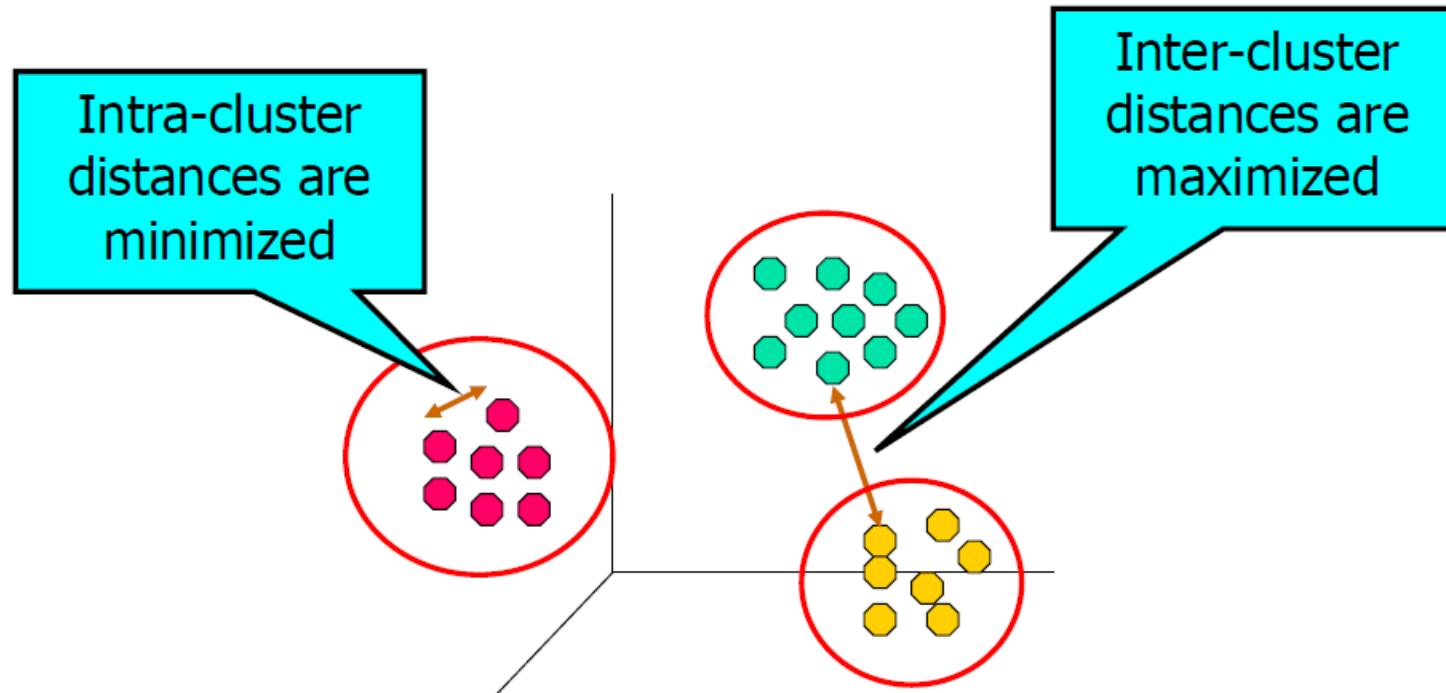
Phenomenological model  
(schematization) of a neuron

# Deep Learning Timeline



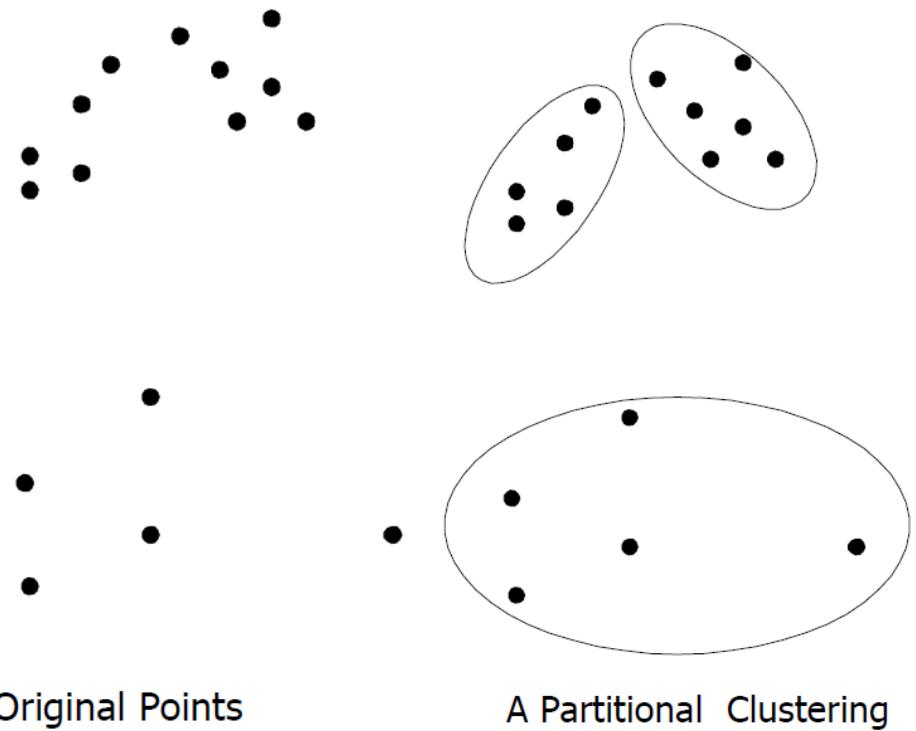
# Analisi di clustering

- 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

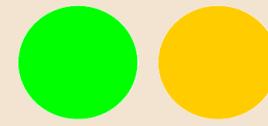
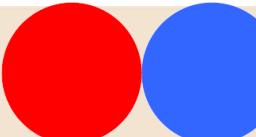


# Types of clusters

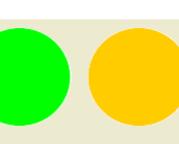
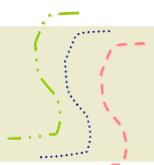
Well-separated clusters



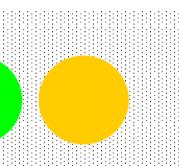
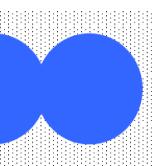
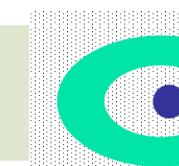
Center-based clusters



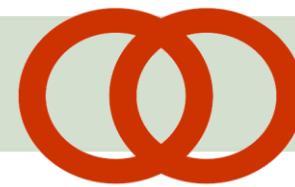
Contiguous clusters



Density-based clusters



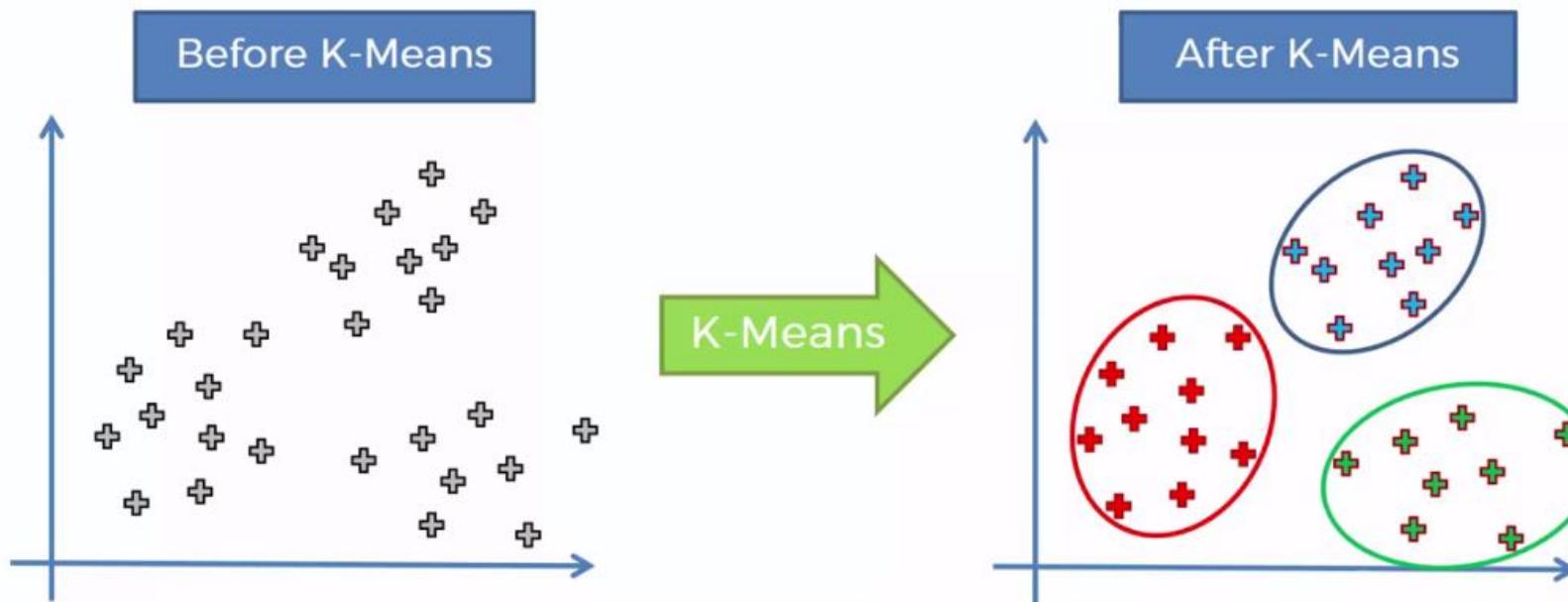
Property or Conceptual



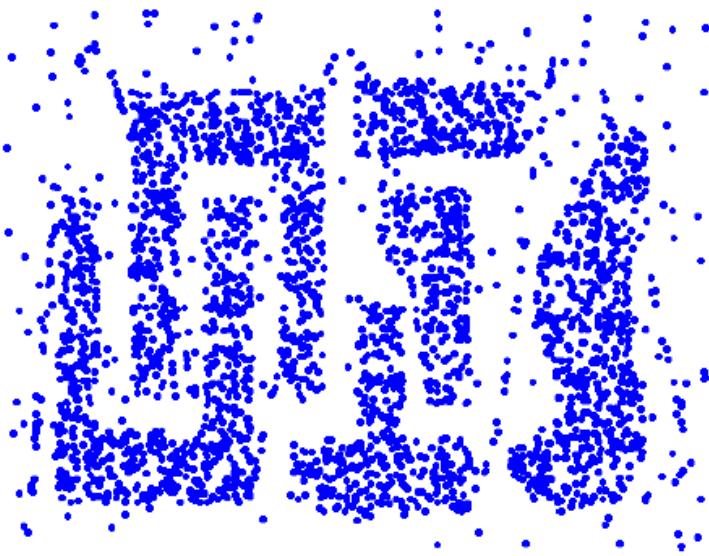
Described by an Objective  
Function

# Algoritmi di clustering

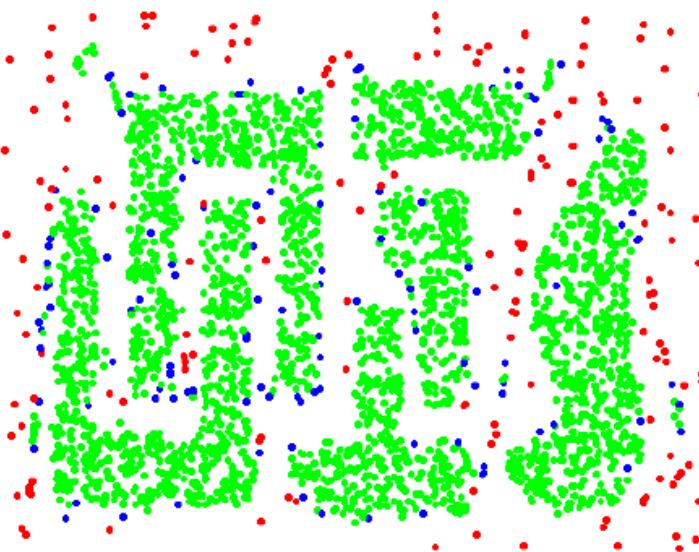
- K-means e sue varianti
- Clustering gerarchico
- Clustering basato sulla densità



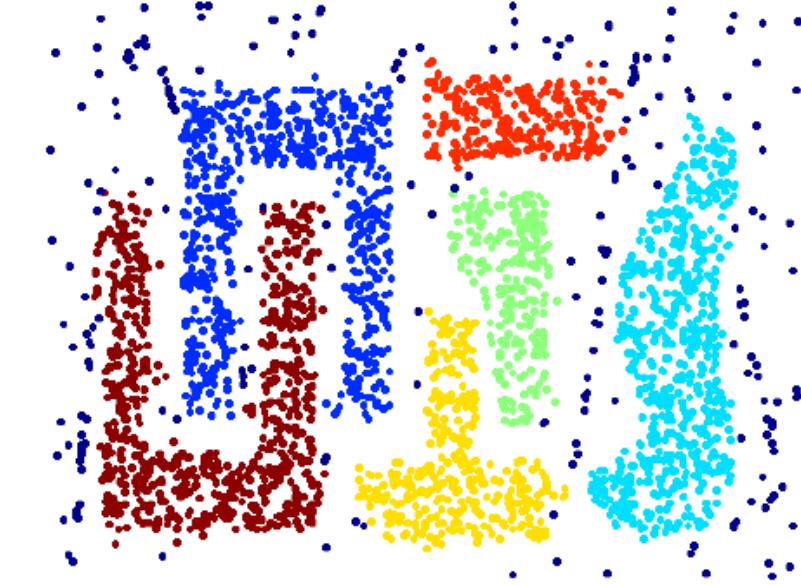
# DBSCAN



Original Points



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



Clusters

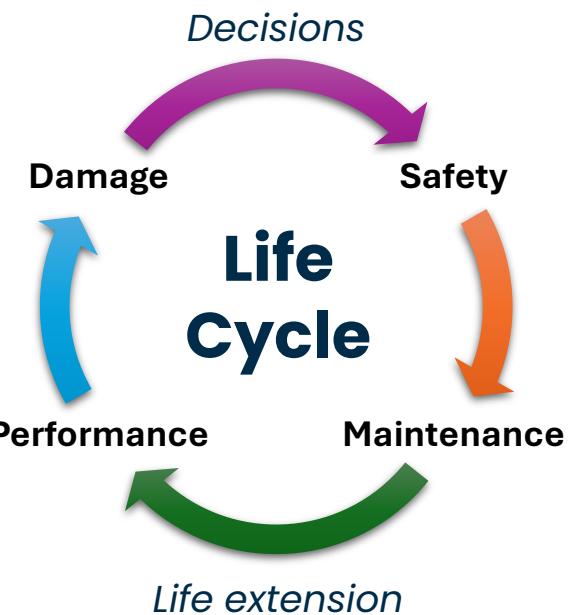
- **Introduzione a**
- **Monitoraggio**  
**della salute**  
**strutturale**

- Perché la AI è necessaria....



# Paradigma SHM aumentato

## Monitoring



## Damage Identification Process

### Actions

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

### Damage Diagnosis

### Damage Detection

### Damage Localization

### Damage Type Identification

### Future Smart Structures

### Damage Prognosis

### Damage Severity Quantification

Increasing level  
of difficulty

0

Levels of  
SHM  
Paradigms

1

2

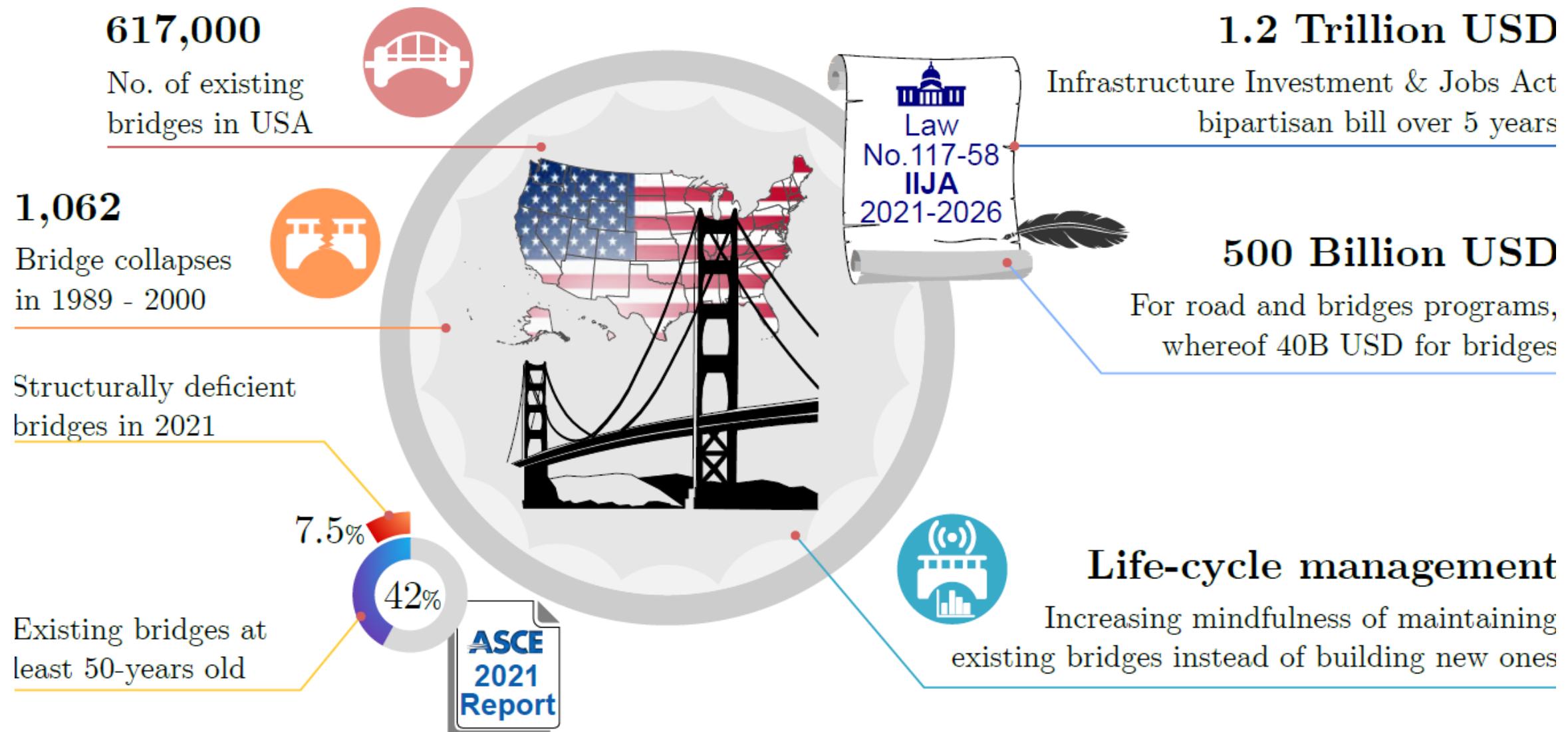
3

4

5

6

# Strategie SHM all'estero: prospettiva statunitense in sintesi



# SHM Strategia Europea

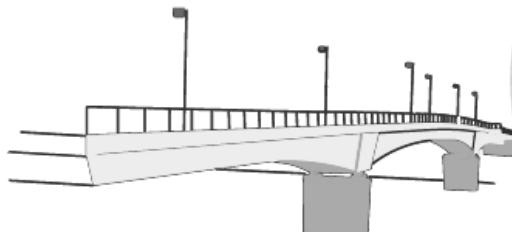
**38 Billion EUR**

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%



**Funded by the European Union**  
NextGenerationEU

**EU Green Transition**

EU Green Deal in 2019 in line with UN Agenda 2030

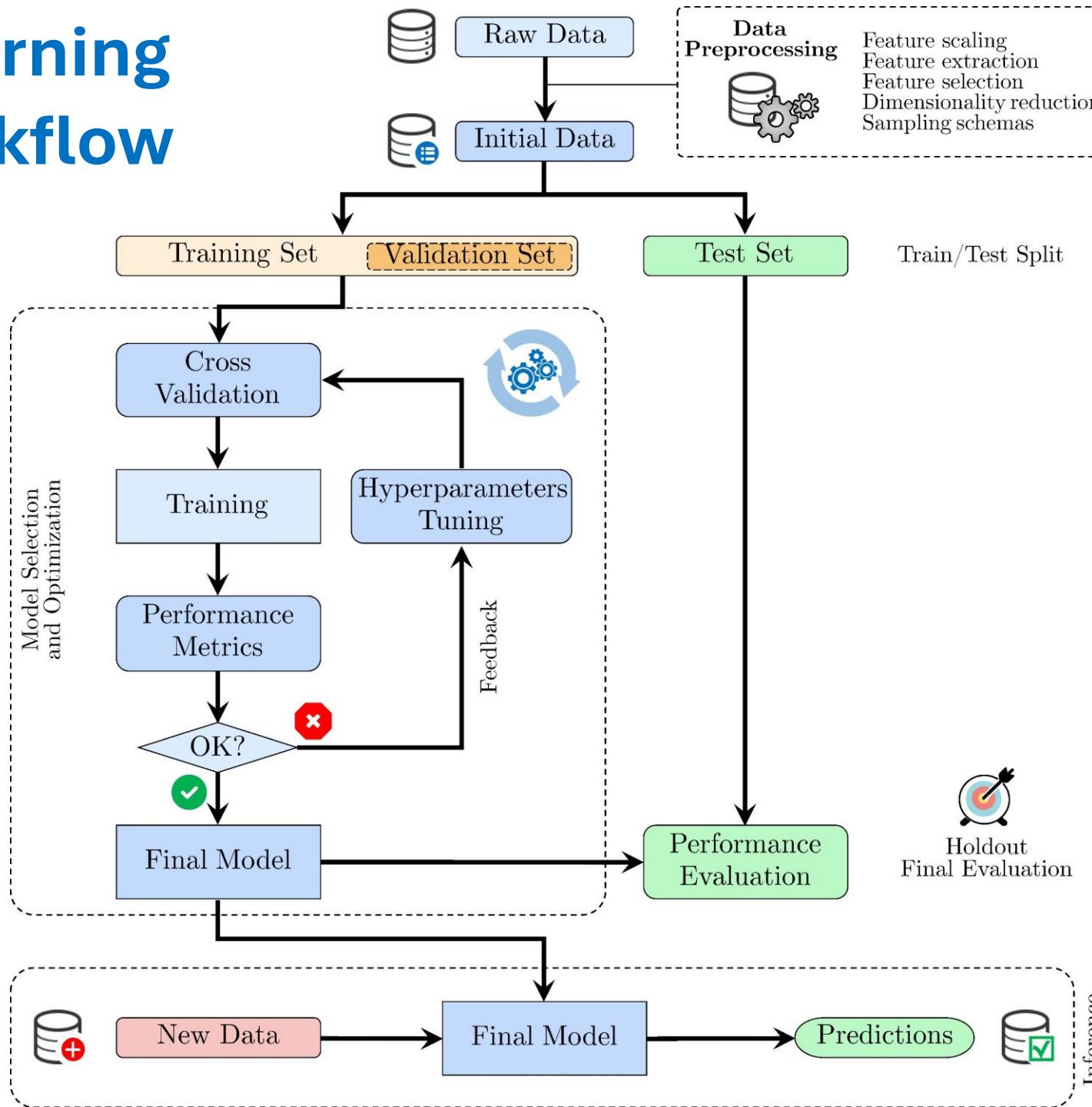


**31,4 Billion EUR**

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



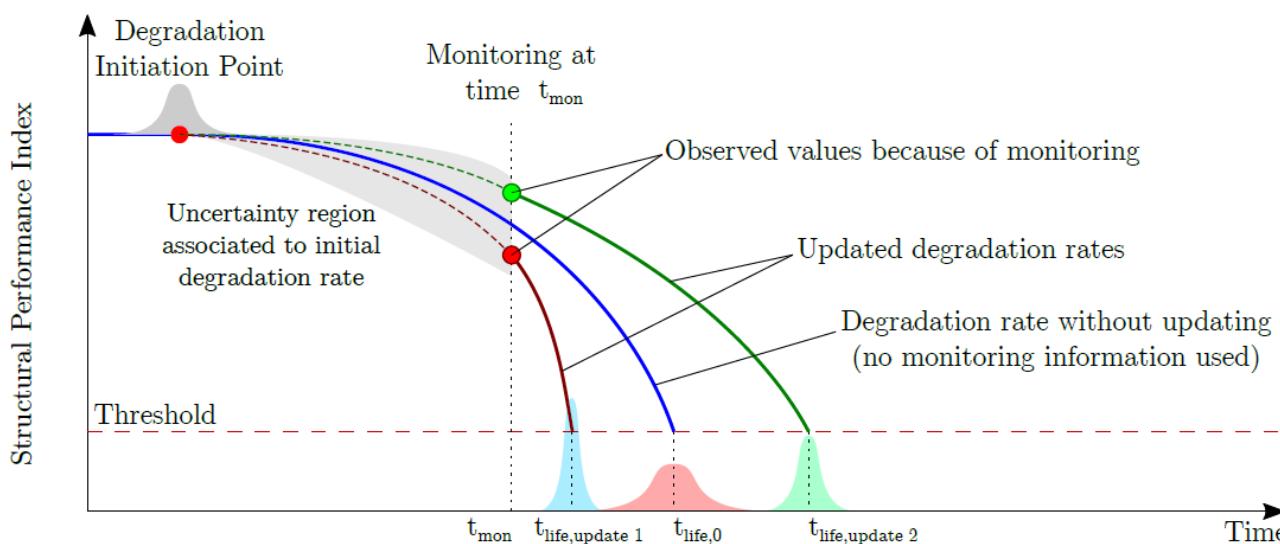
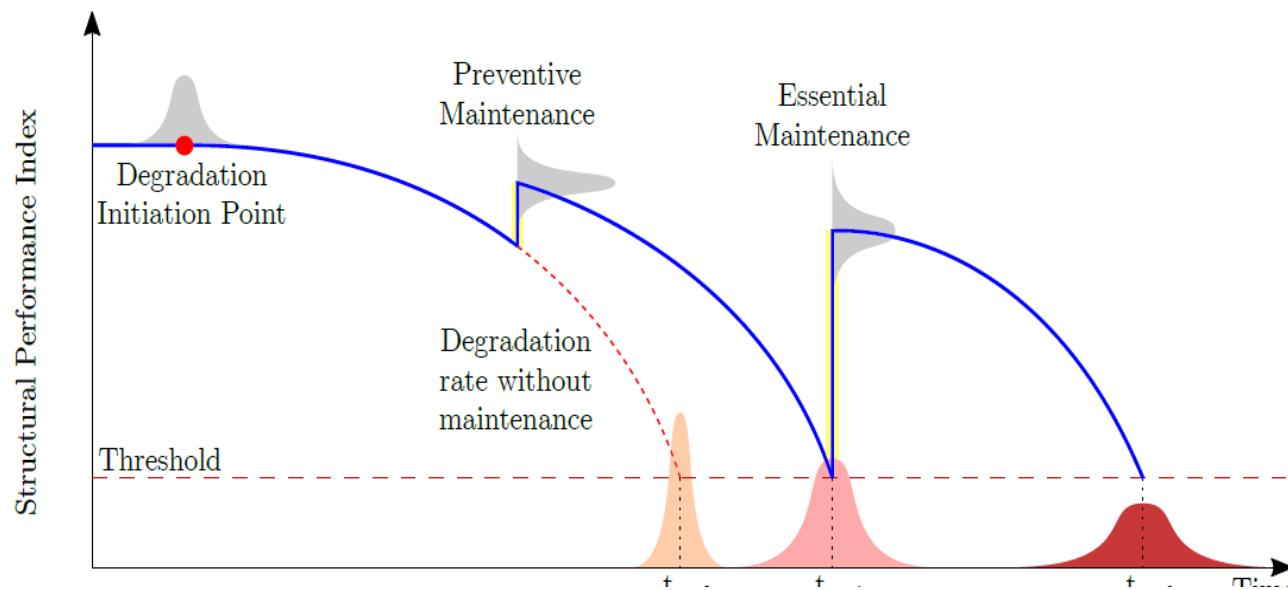
# Machine Learning General Workflow



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

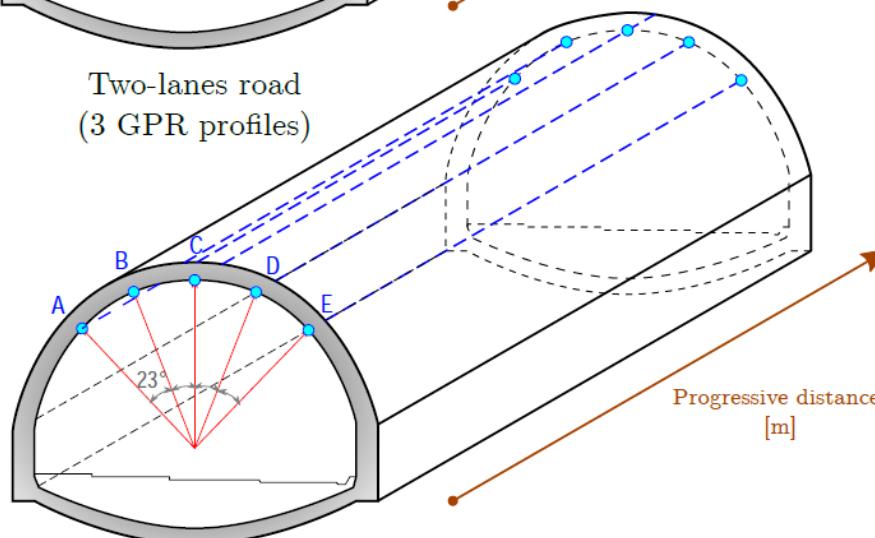
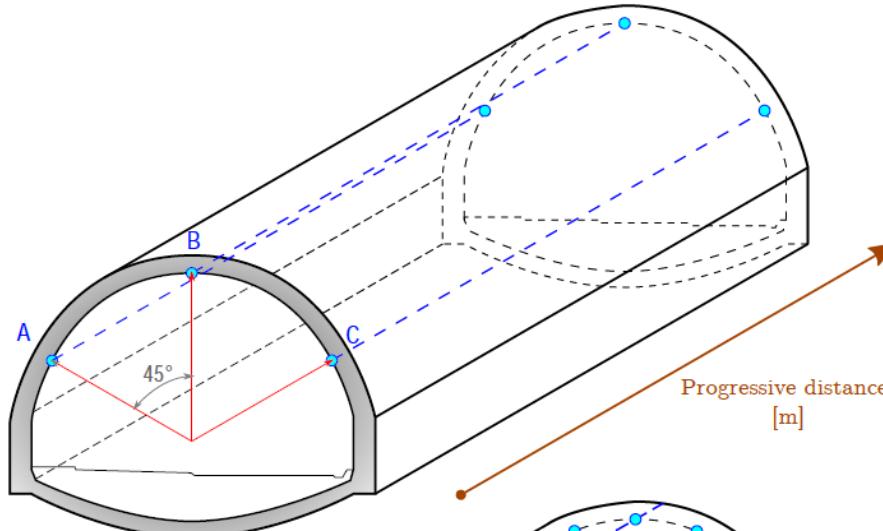


# Filosofie di rilevamento e manutenzione dei danni

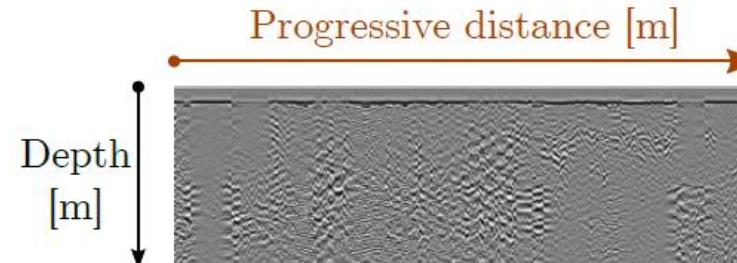


# Test e valutazione non distruttivi per il rilevamento dei danni

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

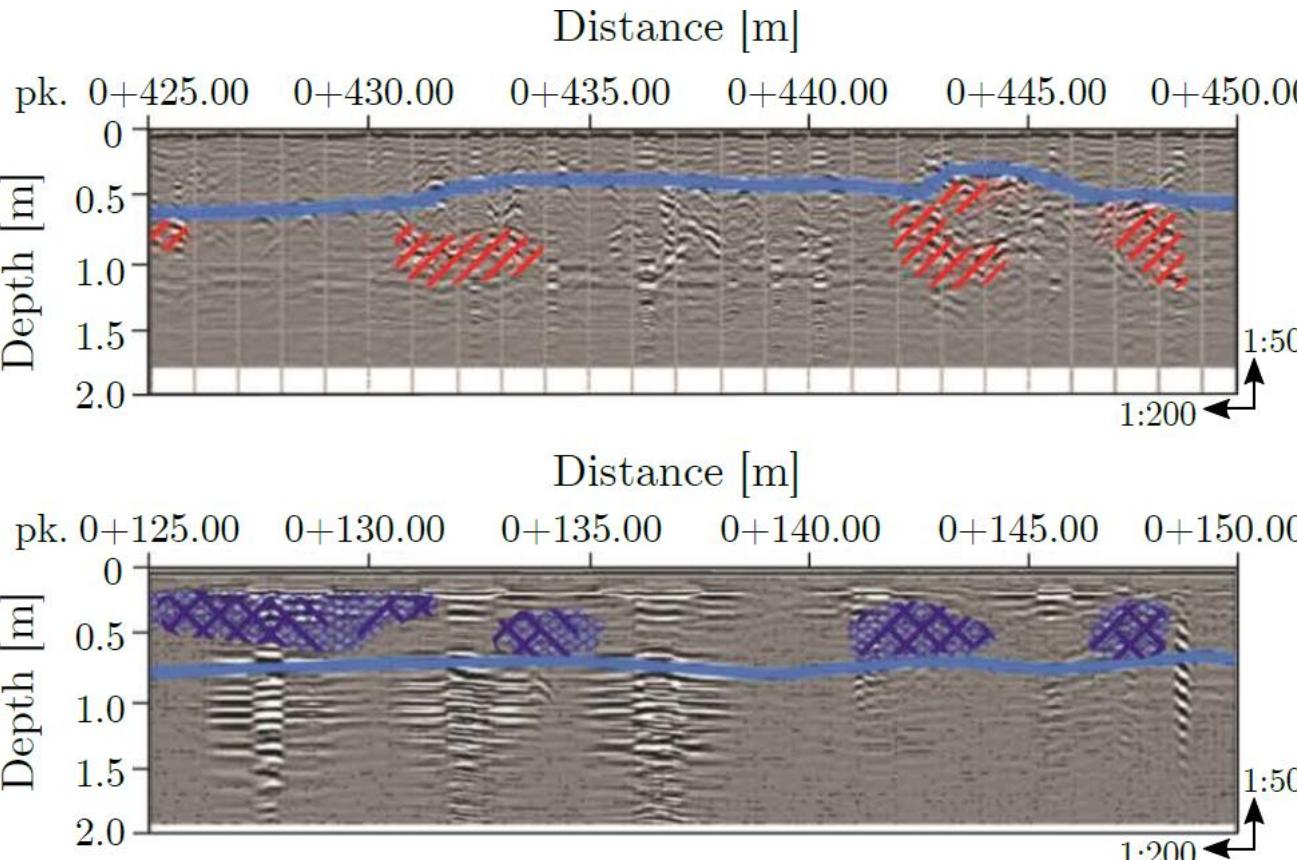


Impulsi a onde elettromagnetiche ad alta frequenza (10-2600 MHz).  
La propagazione di tale impulso è influenzata dalle caratteristiche dielettriche del materiale.  
La qualità della resa dipende fortemente da alcuni agenti, ad esempio la presenza d'acqua (fenomeni di riflessione e diffrazione)



# 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

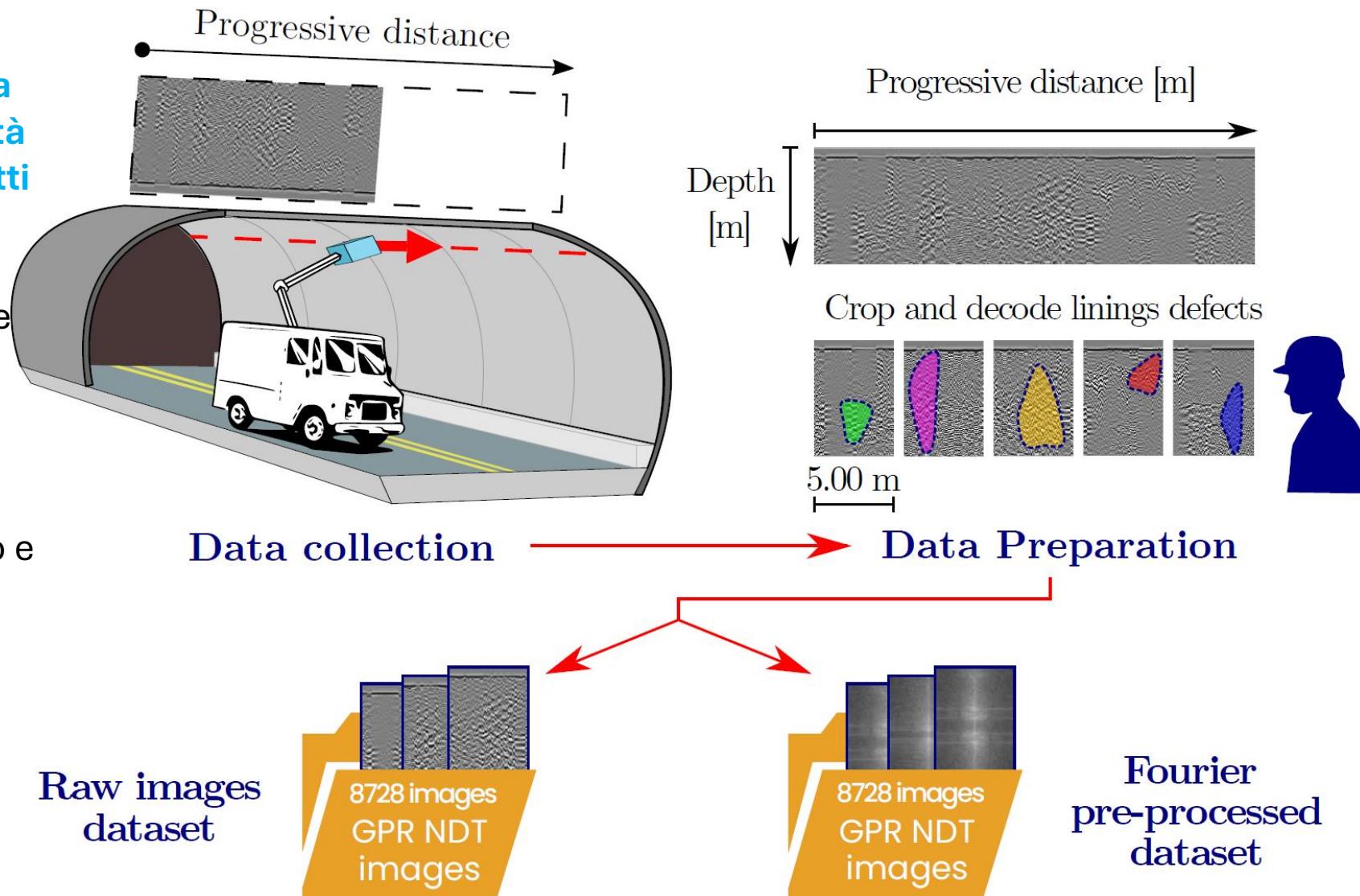
## Tunnel linings GPR profiles dataset construction

- Since 10/2019 **Road tunnel**

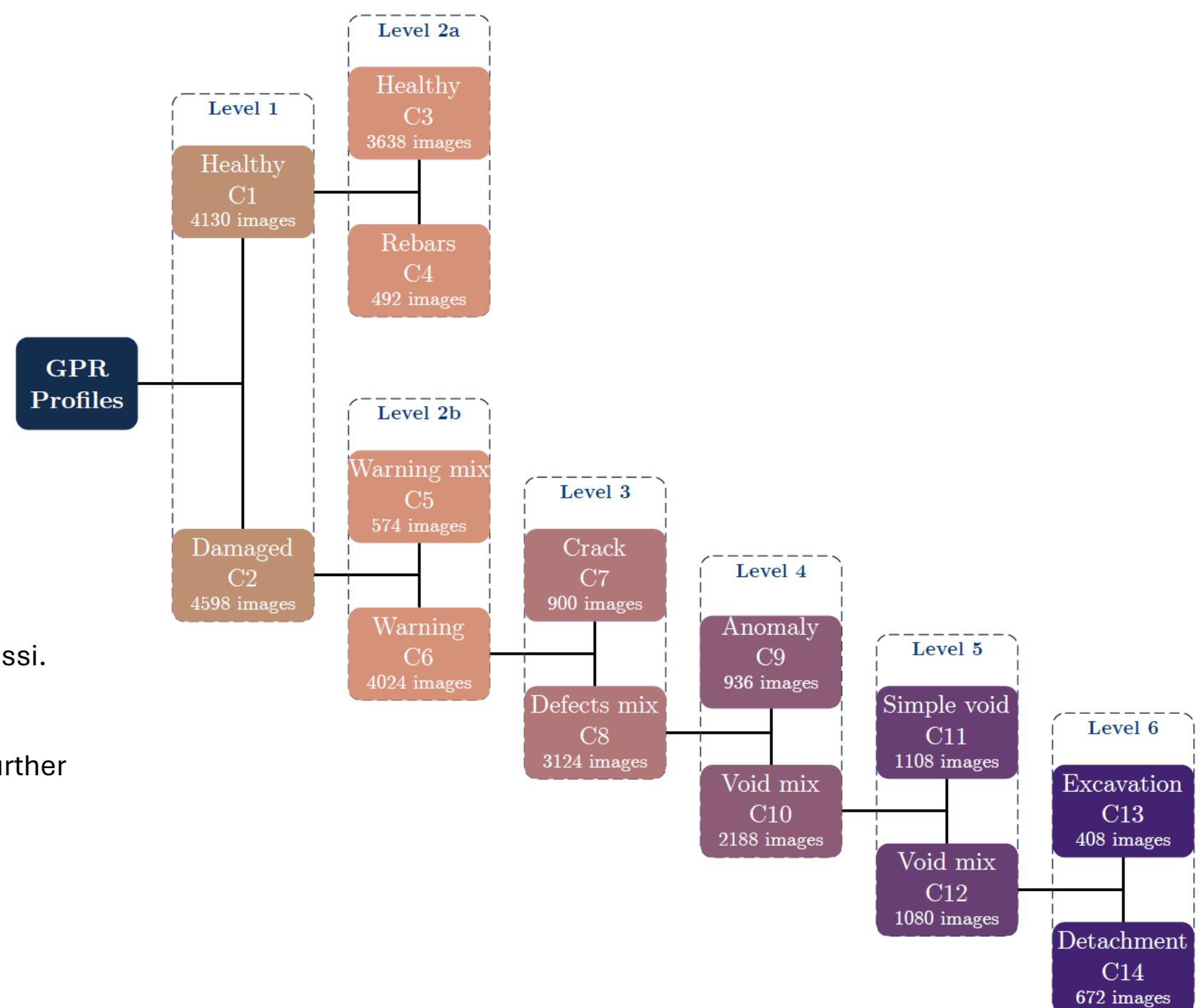
**Piano di valutazione organizzato da ASPI, Autostrade per l'Italia, società per azioni italiana che gestisce tratti autostradali in concessione**

- 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.

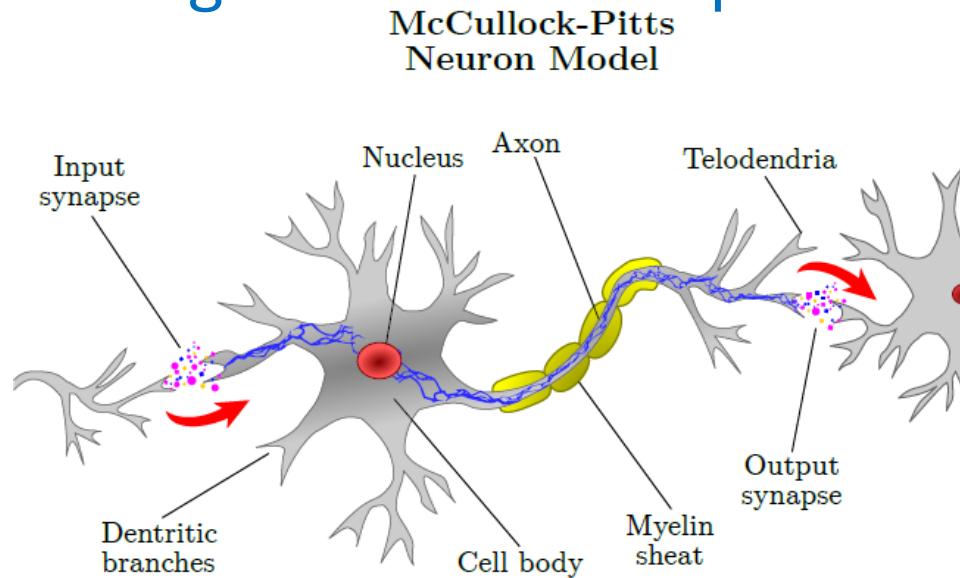


# Albero di classificazione dei difetti gerarchici e multilivello nel rivestimento di tunnel



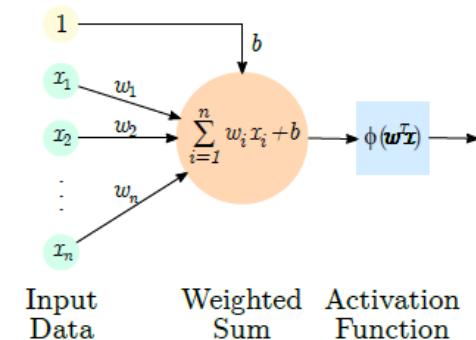
# Nondestructive Testing and Evaluation for damage detection

## Tunnel linings GPR flaws deep learning classification

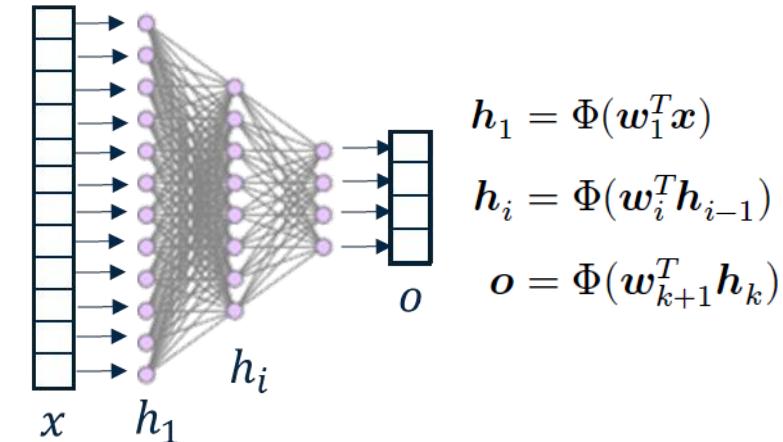


Rosenblatt's Perceptron Model

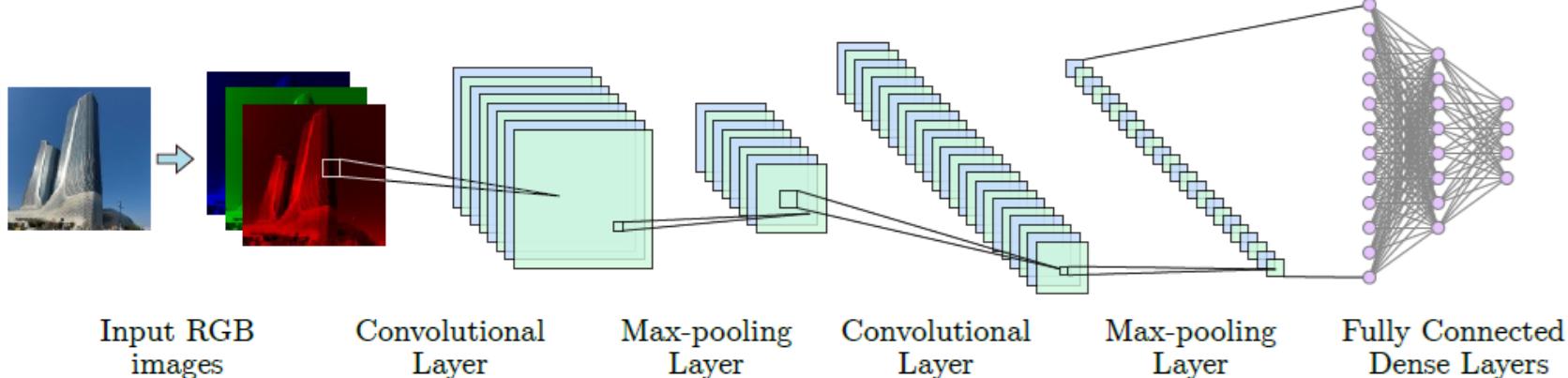
$$z = \phi(\mathbf{w}^T \mathbf{x})$$



Multi-Layer Perceptron (MLP)

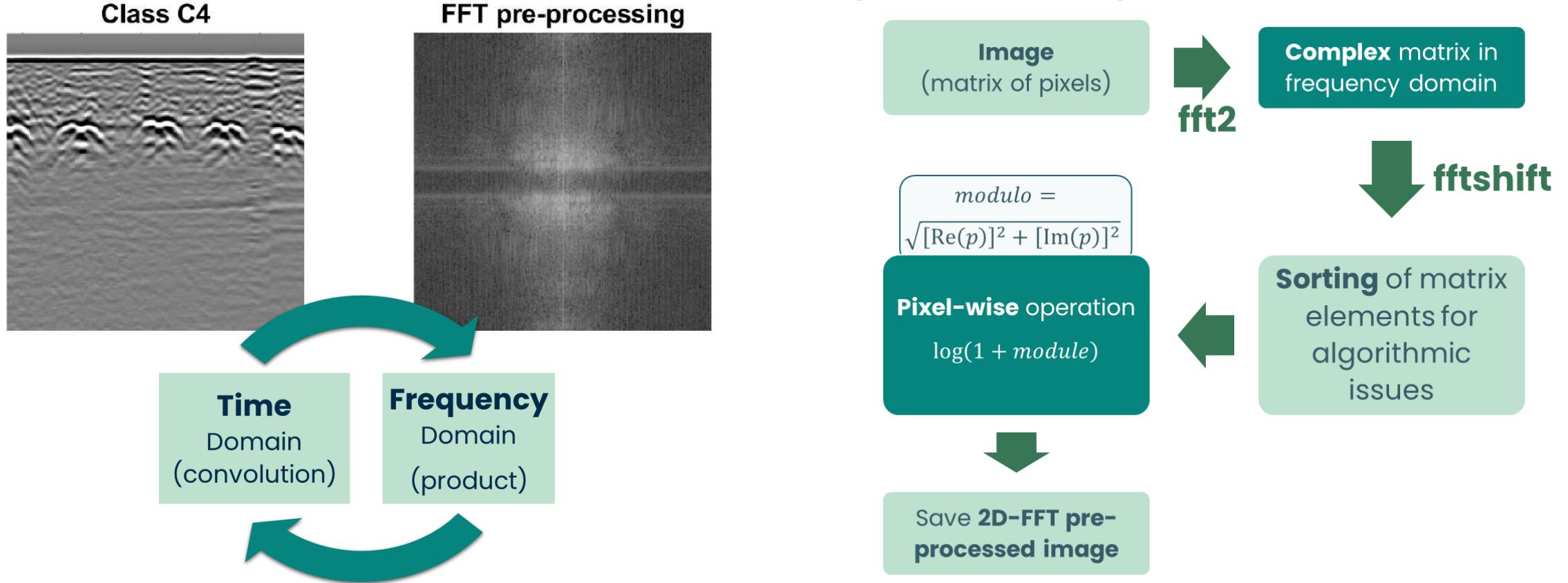


Convolutional Neural Network (CNN)



# Nondestructive Testing and Evaluation for damage detection

## GPR profiles and 2D Fourier Transform for image processing

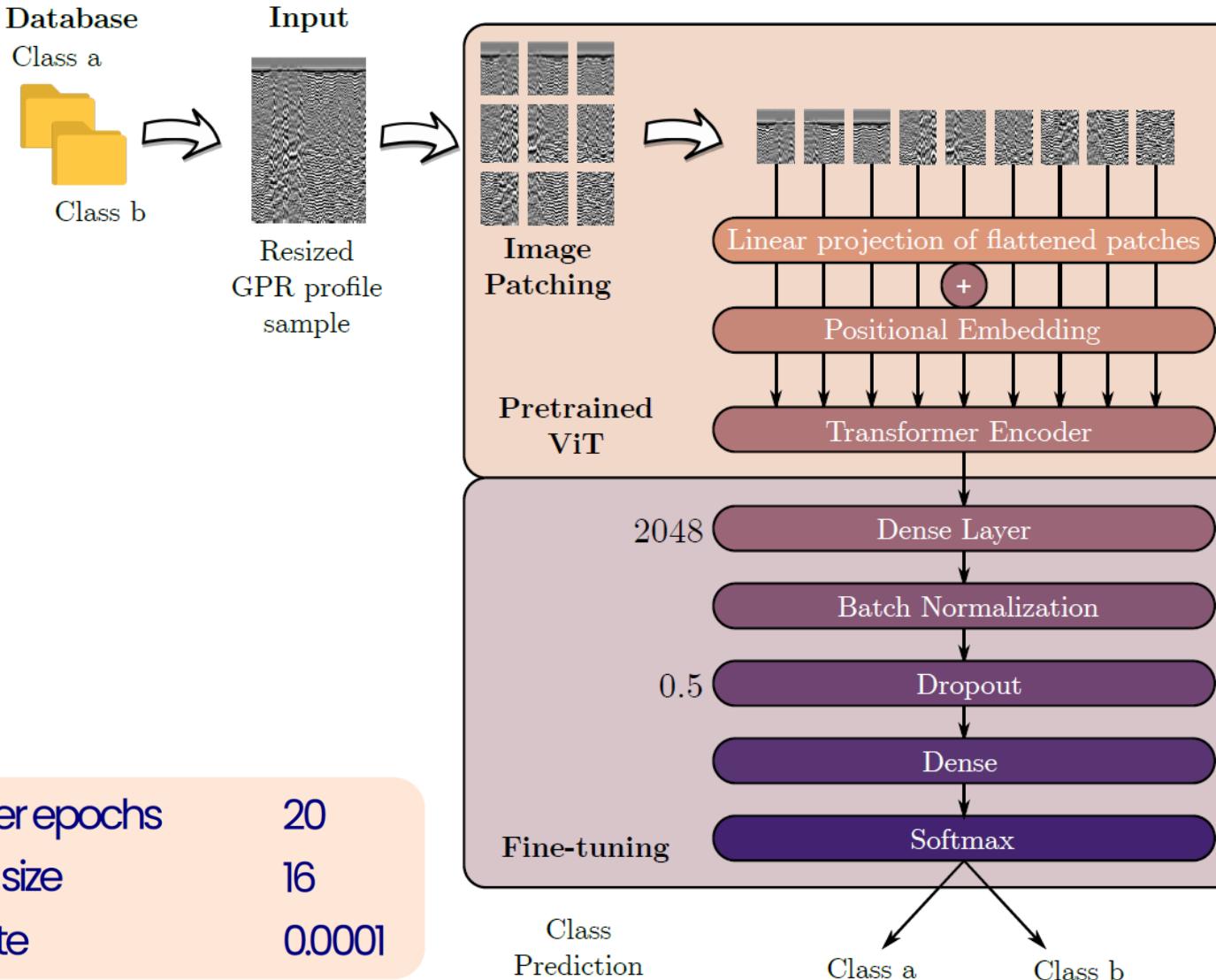


**FFT2D** : more **efficient convolution/correlation** operations in frequency domain

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

# Vision Transformer: ViT-L16 model

archi



Max number epochs

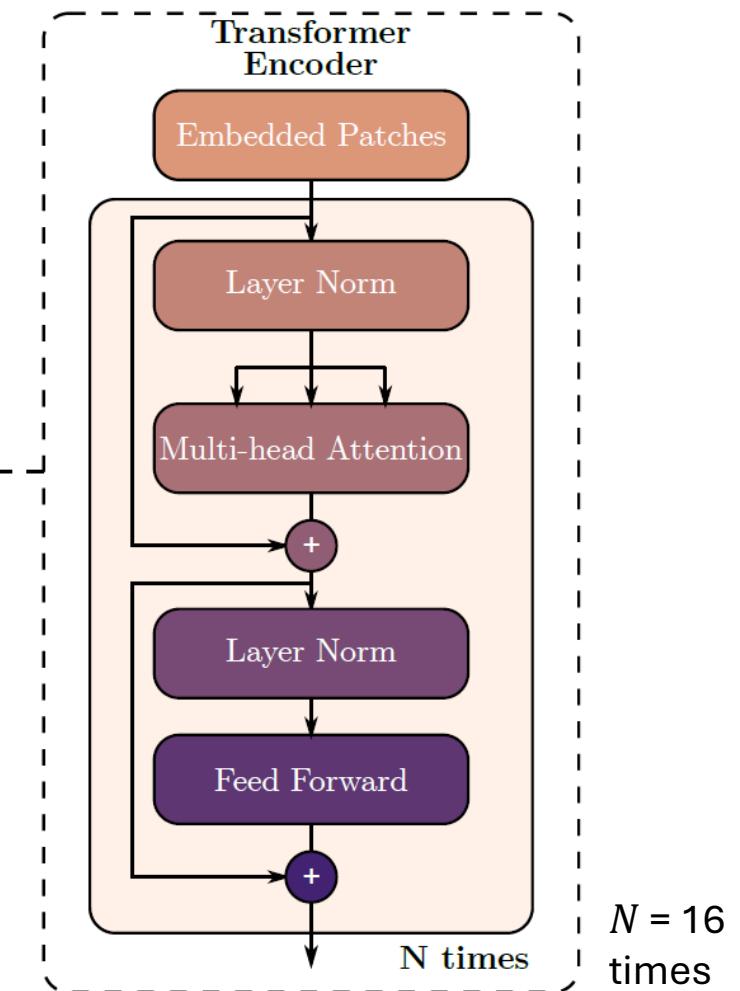
20

Mini-batch size

16

Learning rate

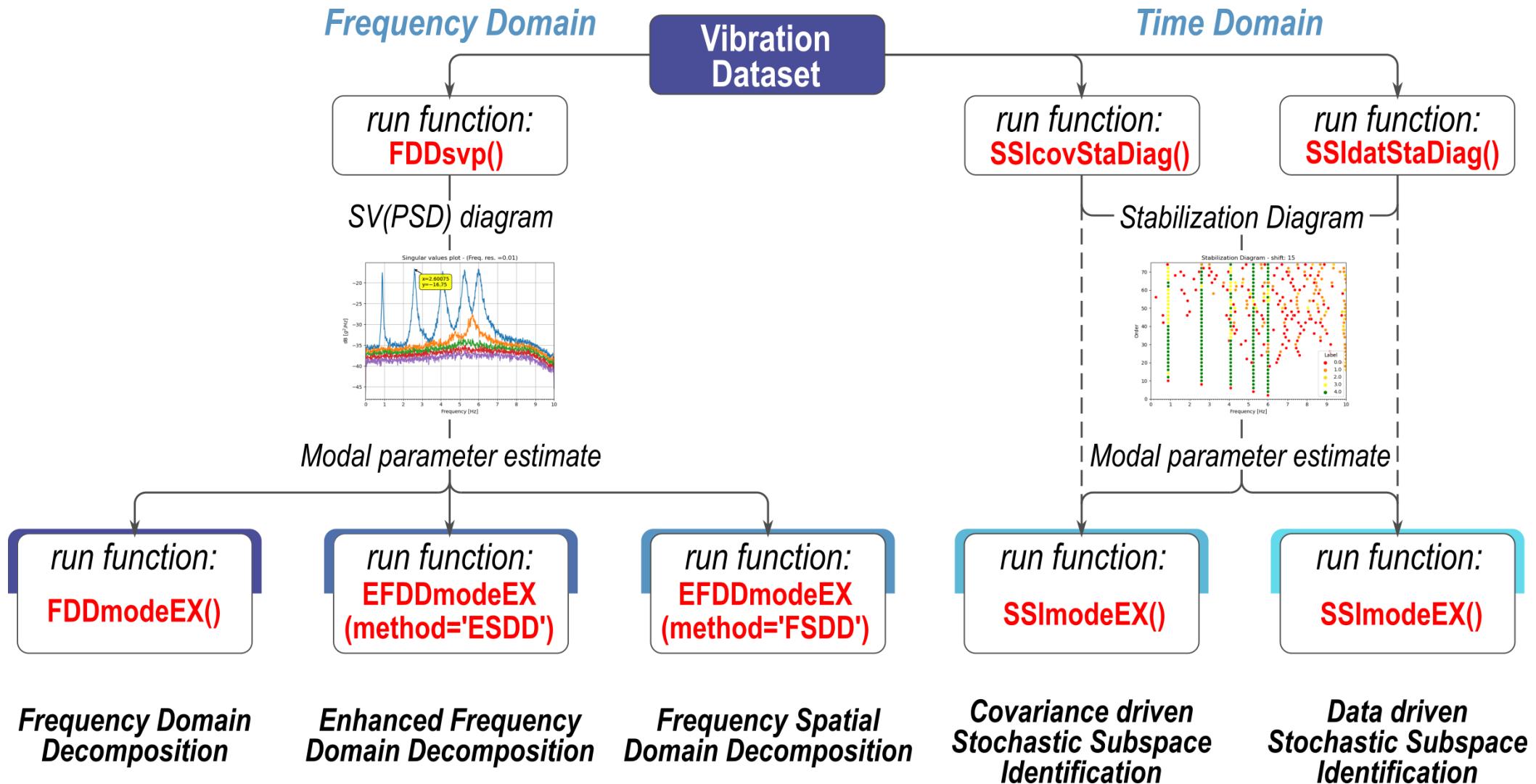
0.0001



# • Analisi modale operativa convenzionale



# PyOMA: a python implementation for OMA

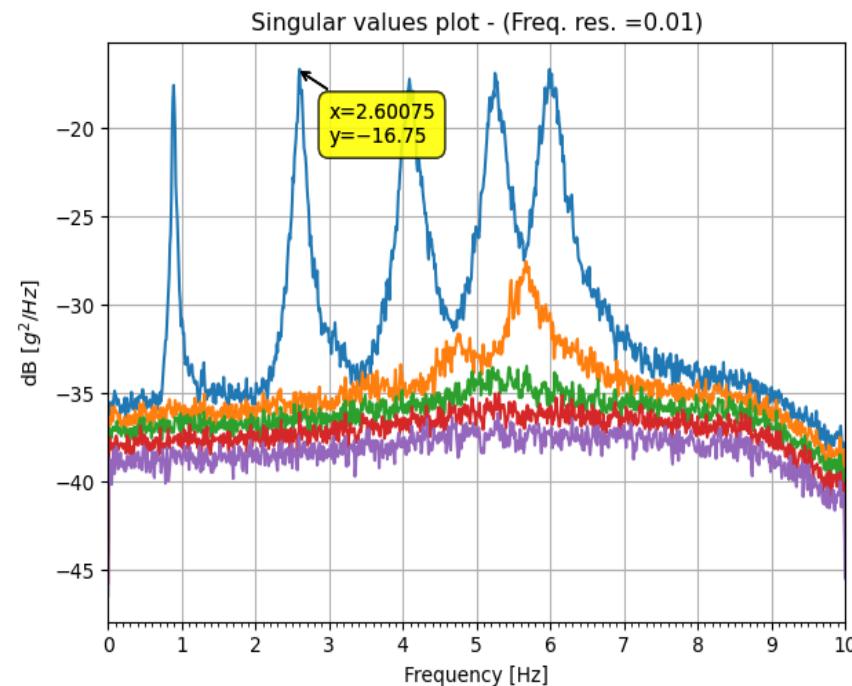
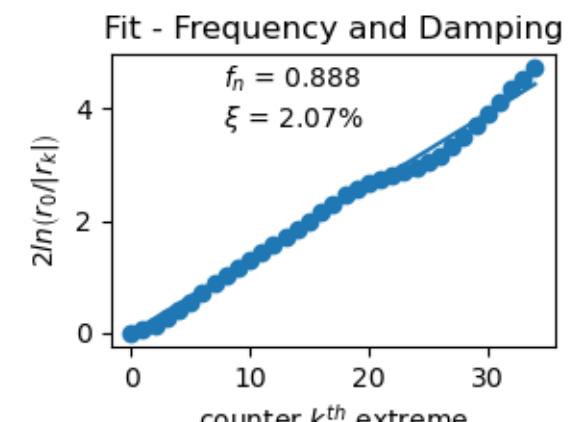
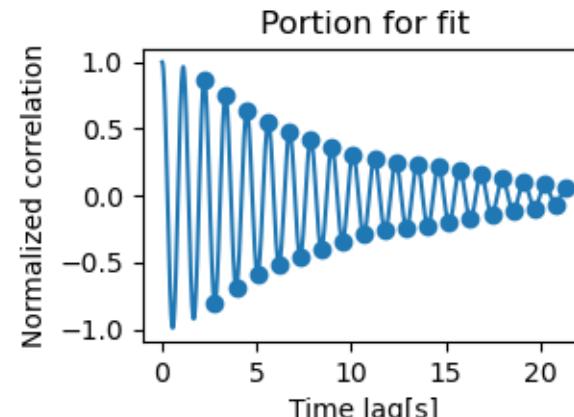
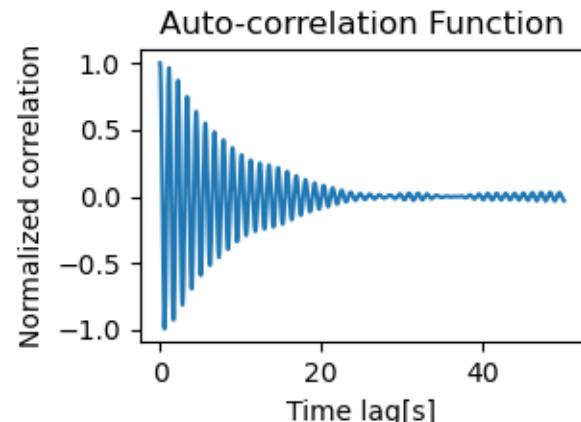
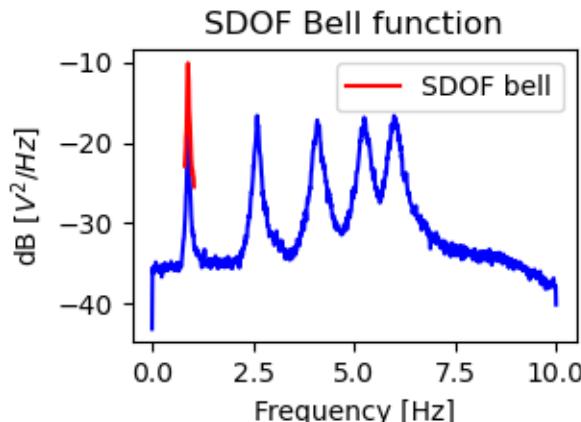


# Frequency-domain decomposition: peak-picking

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

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

- 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**).



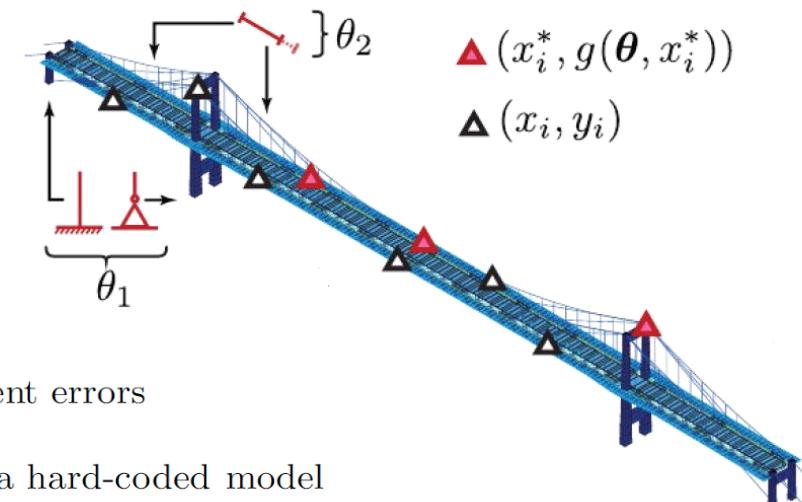
# Ottimizzazione: Calibrazione e aggiornamento del modello

- Foremost **Model parametrization**:  
Defines Parameter  $\theta$  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.

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

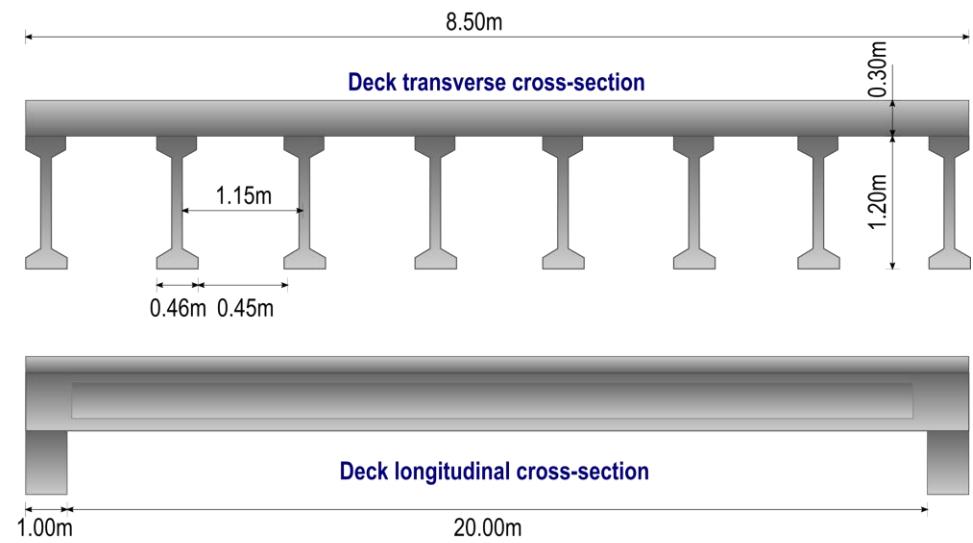
Prediction errors



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".



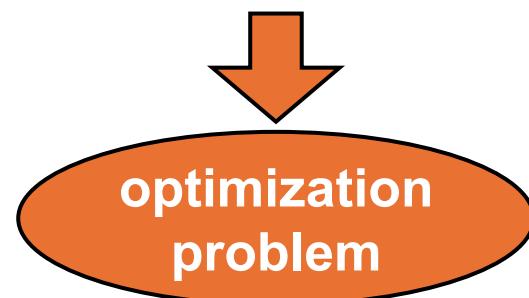
- Invecchiamento delle strutture in cemento esistenti patrimonio
- Sviluppo di metodi economici e non distruttivi per stimarne la capacità strutturale
- Analisi Modale Operativa (OMA)
- Aggiornamento del modello per parametri concreti: modulo di Youngs E
- Forza di compressione massima  $f_{ck}$

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

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

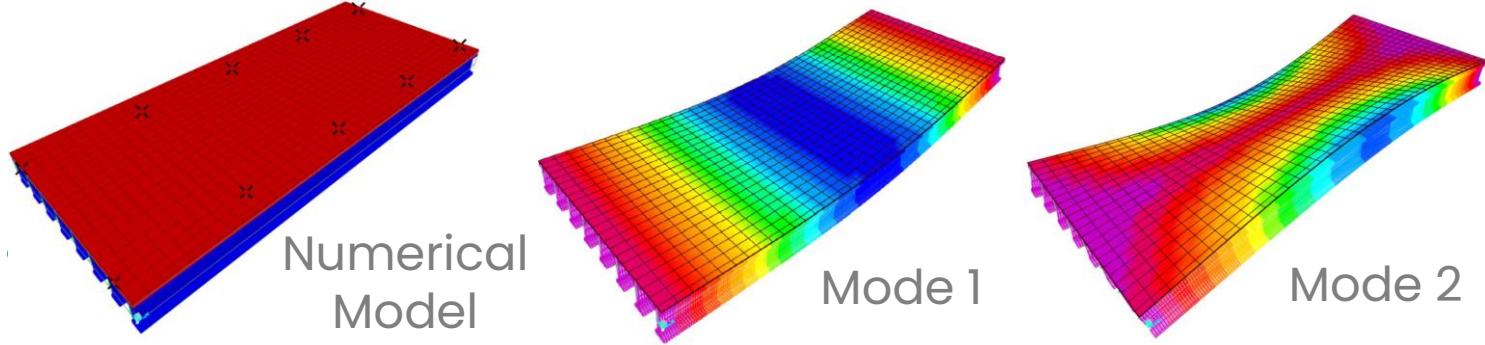
$$h_r(\mathbf{x}) = 0 \quad r = 1, \dots, n_r$$

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



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

# FE model updating



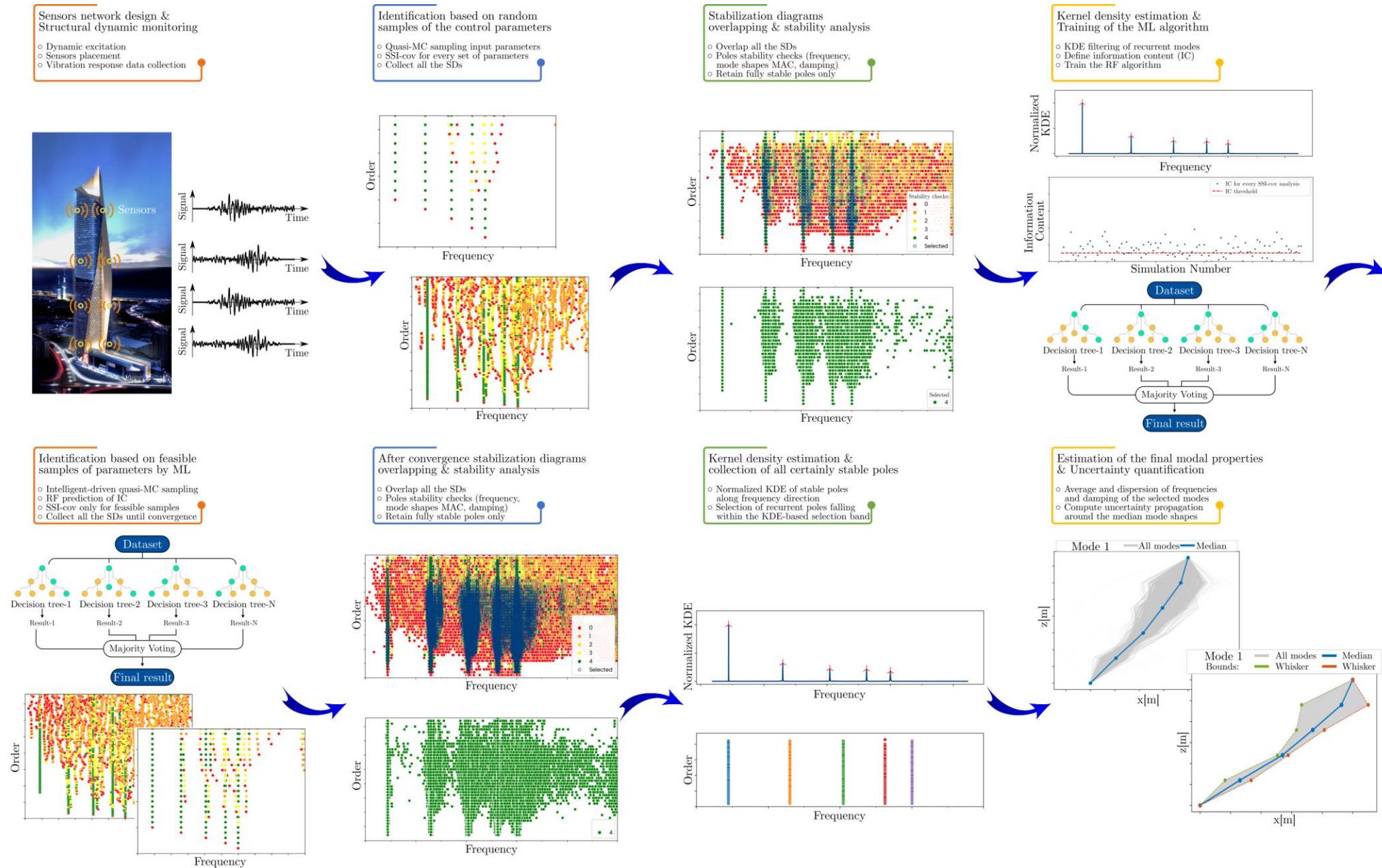
- FE model in **SAP2000** beams and shells, with pinned-pinned boundary restraints
- Cost or **objective function** (OF) **for model updating**: discrepancy simulated and experimental responses in terms of frequency and modal assurance criterion (MAC)

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

- 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]	$\sigma_f$ [MPa]	$E$ [MPa]	$\sigma_E$ [MPa]	Param.	OF		$f_1$		$f_2$		$f_3$		$f_4$	
	$S_1$	$S_T$	$S_1$	$S_T$	$S_1$	$S_T$	$S_1$	$S_T$	$S_1$	$S_T$	$S_1$	$S_T$	$S_1$	$S_T$	
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)

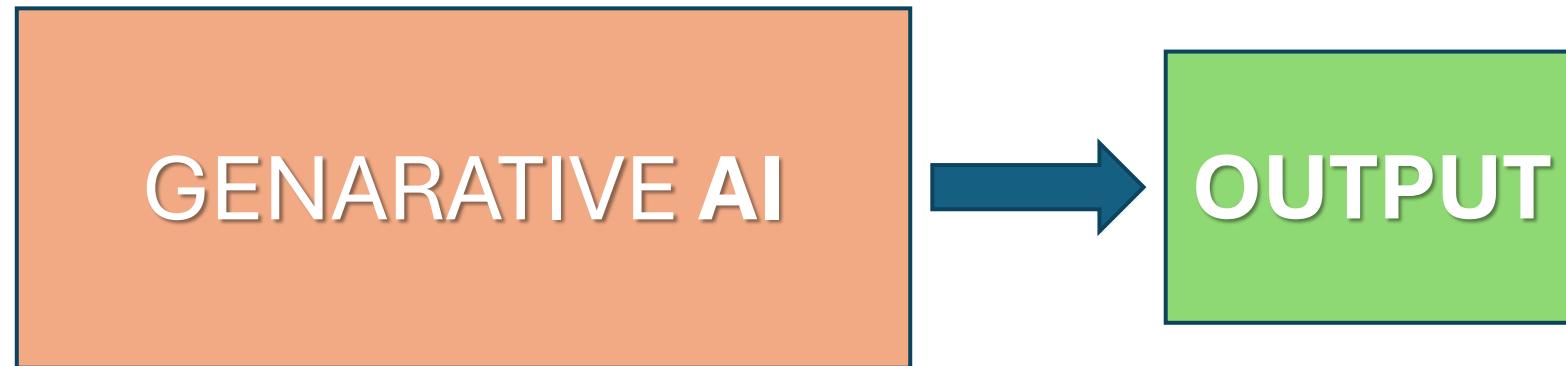
- **classificare o distinguere tra categorie di dati esistenti.** Analizza gli input per prevedere etichette, rispondere a domande o prendere decisioni, interpreta o categorizza ciò che già esiste.
- **Esempi:**
  - Classification (e.g., "Is this a cat or dog?")
  - Prediction (e.g. "Will this structure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



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

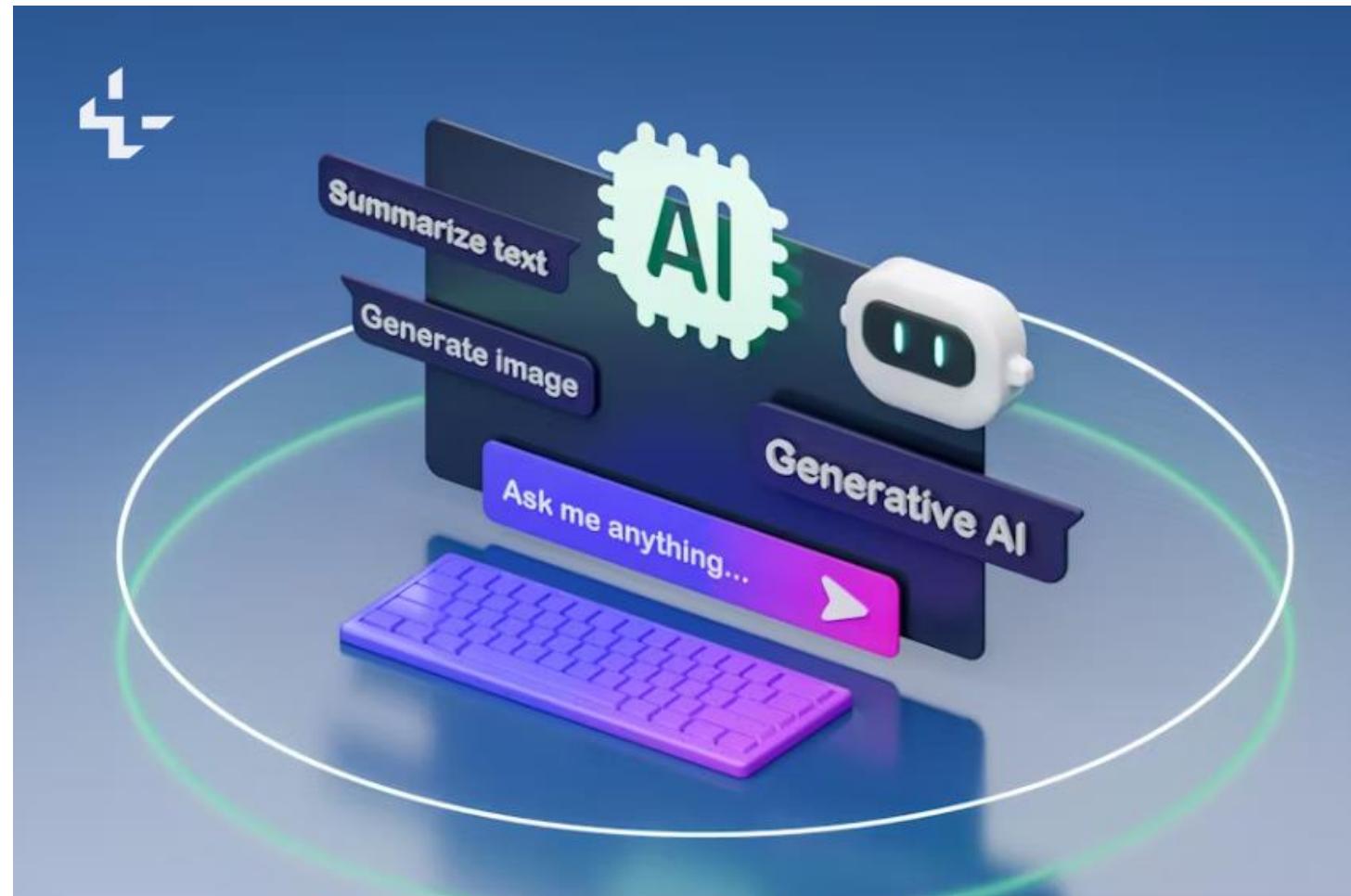
## GENERATIVE AI

- 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).*

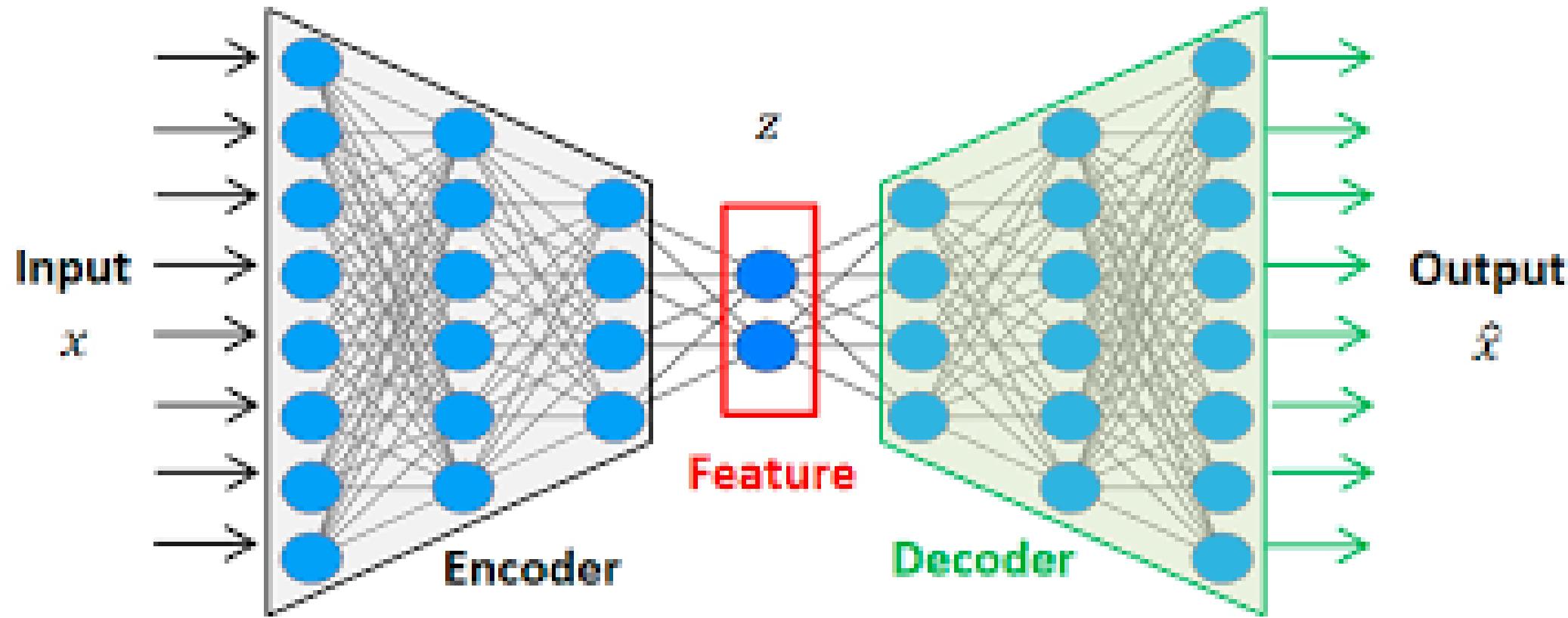


## Introduzione: Cos'è l'IA? E quando si tratta di «Generativo»?

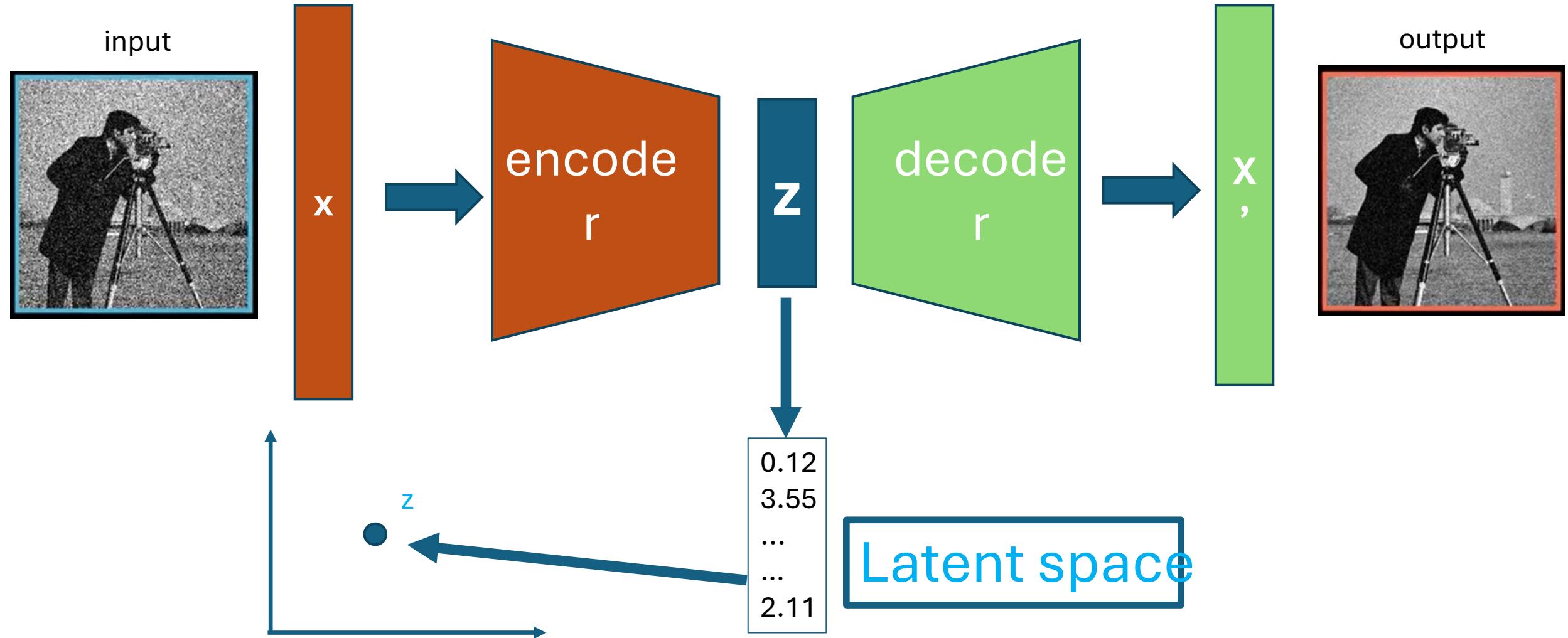
- Fondamenti dell'IA: Sistemi che svolgono compiti che richiedono intelligenza umana (apprendimento, ragionamento).
- Sottoinsiemi: Machine Learning (ML), Deep Learning (DL), Reti Neurali (NN).
- IA discriminativa vs generativa:
- Discriminatore: Classifica/analizza i dati esistenti (ad esempio, rilevamento 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))



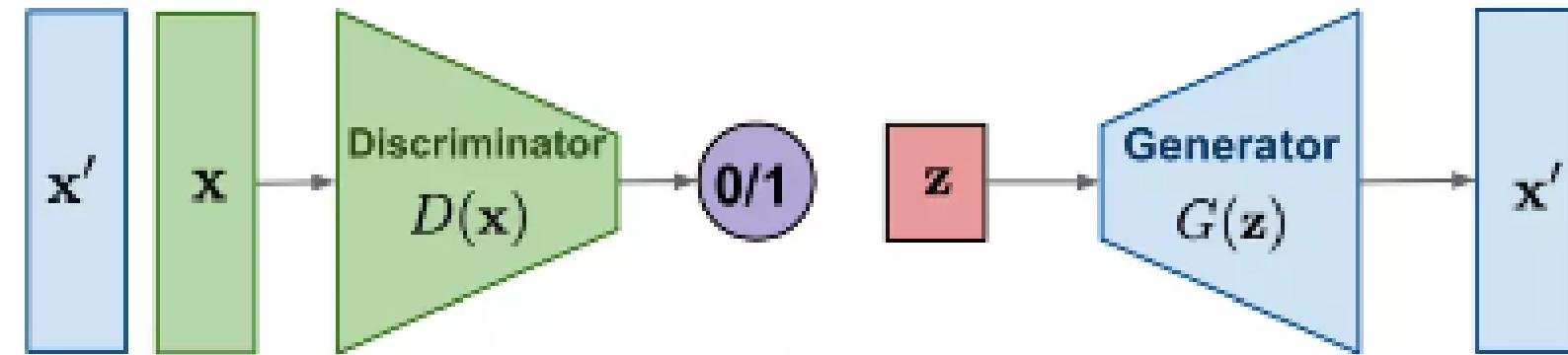
*“L'IA generativa non sta sostituendo gli ingegneri—sta ampliando la loro immaginazione.”*



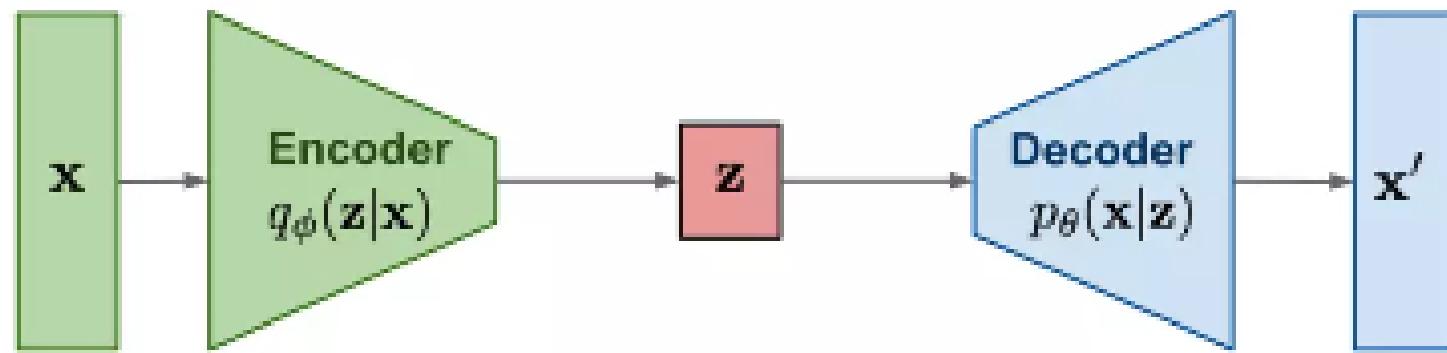
# Generative AI: Main Concepts & Methods



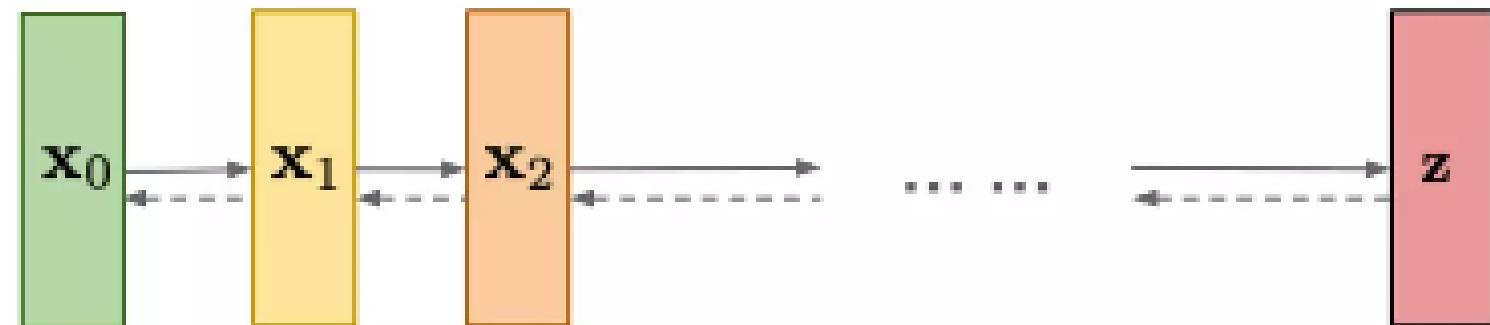
**GAN:** Adversarial training



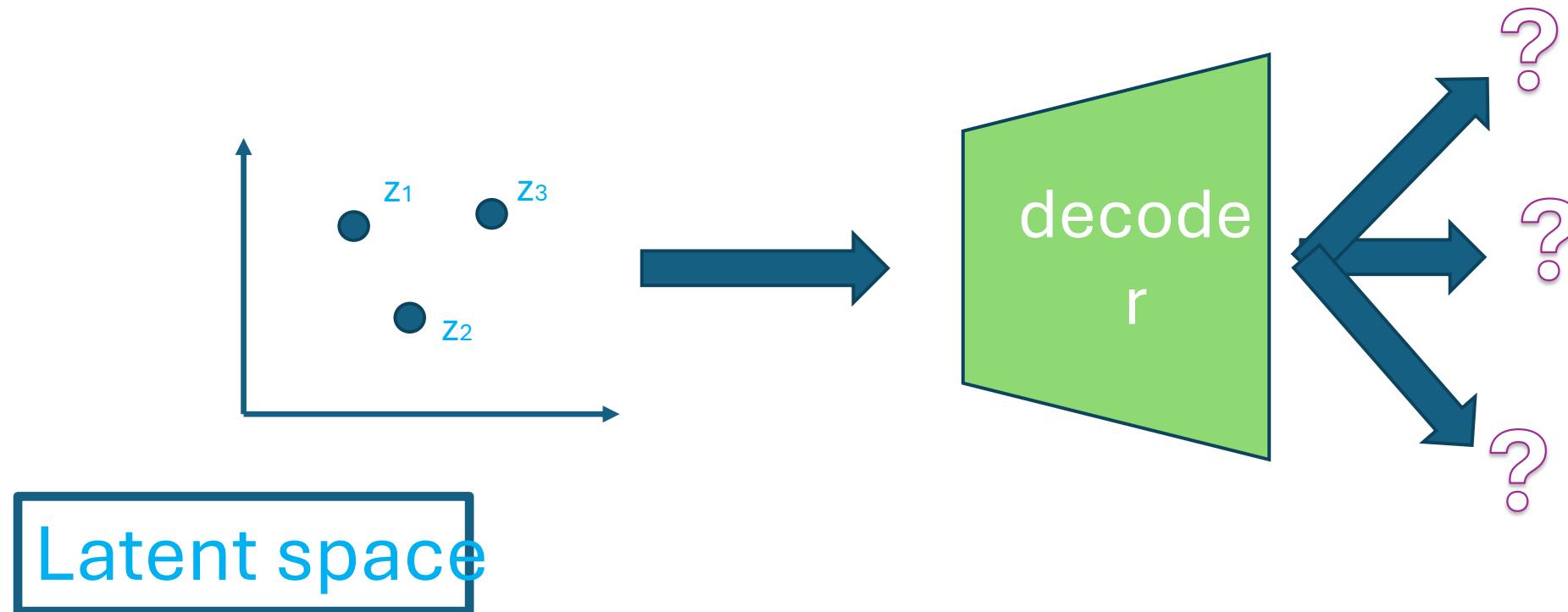
**VAE:** maximize variational lower bound



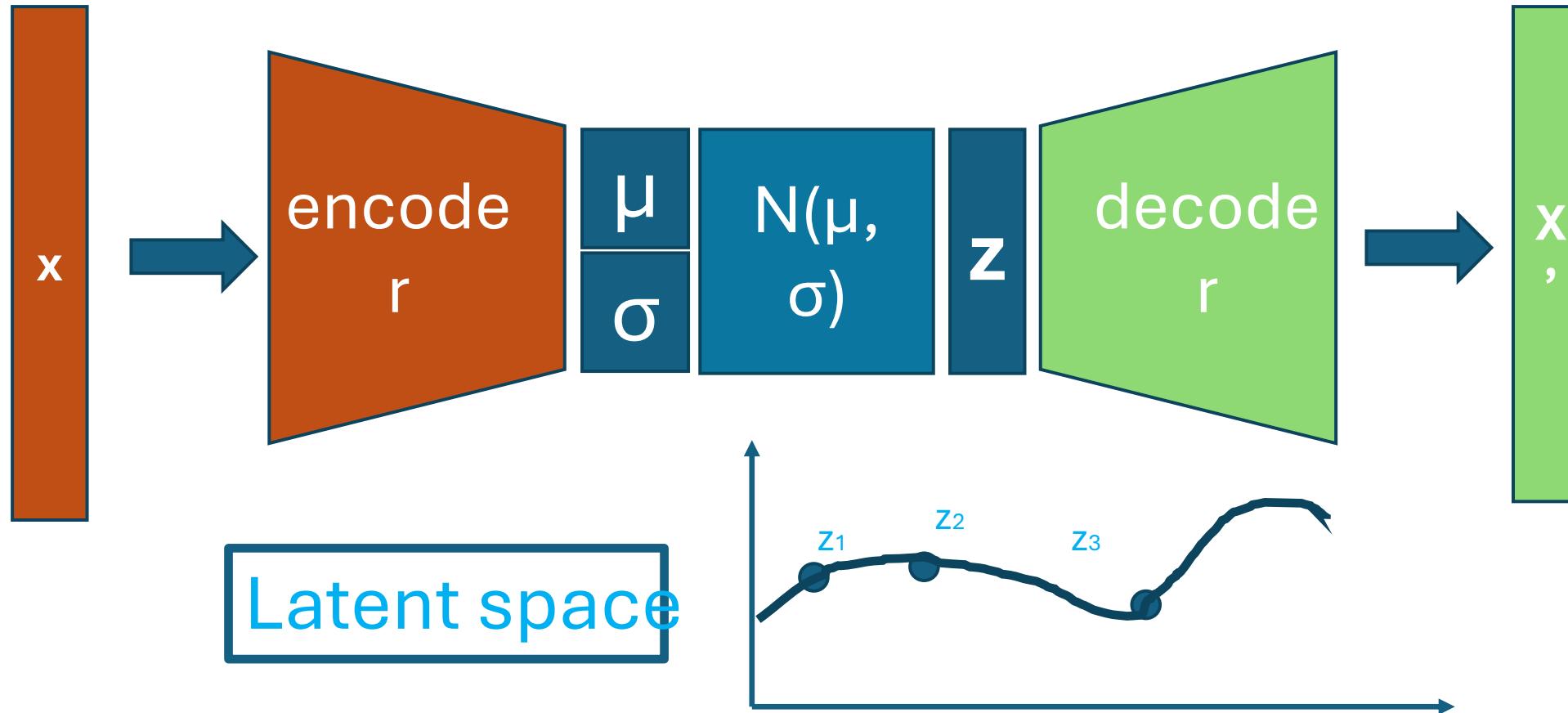
**Diffusion models:**  
Gradually add Gaussian noise and then reverse



# Generative AI: Main Concepts & Methods

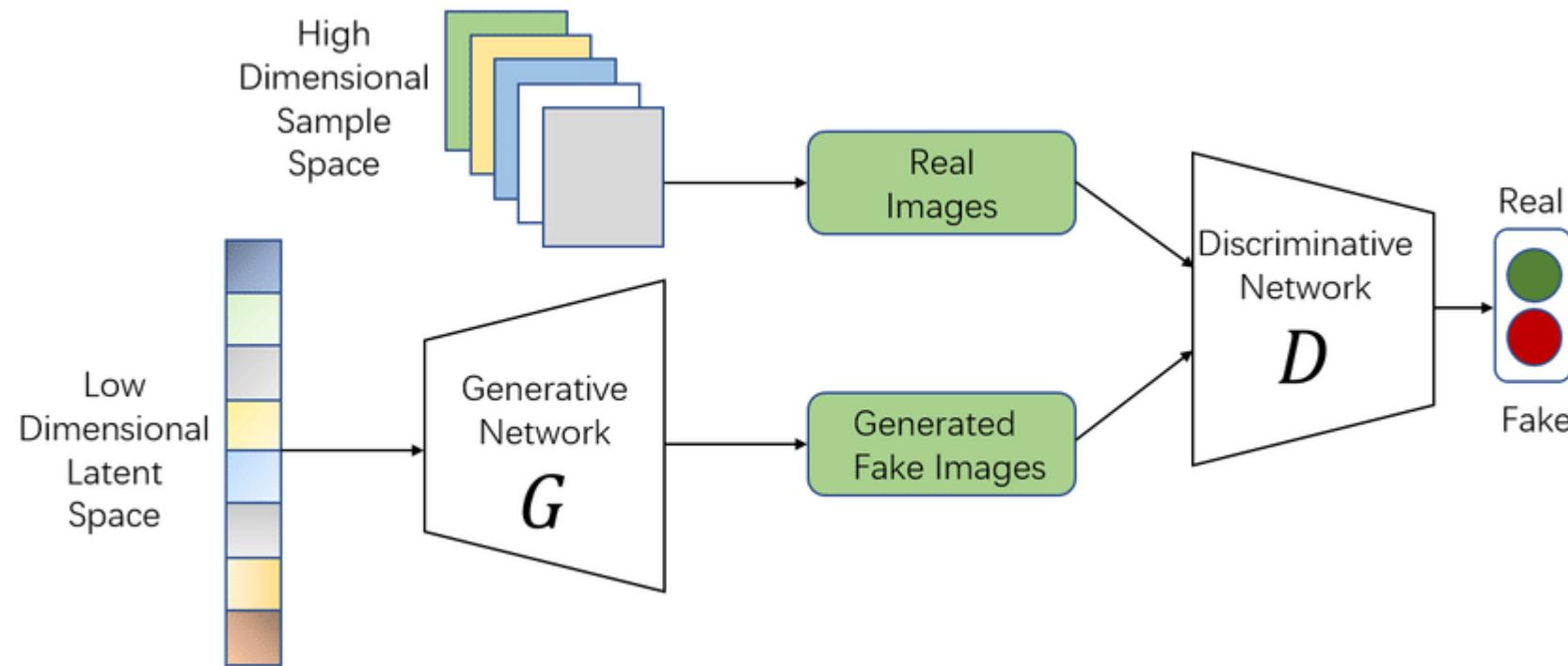


# Generative AI: Main Concepts & Methods



# 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:**

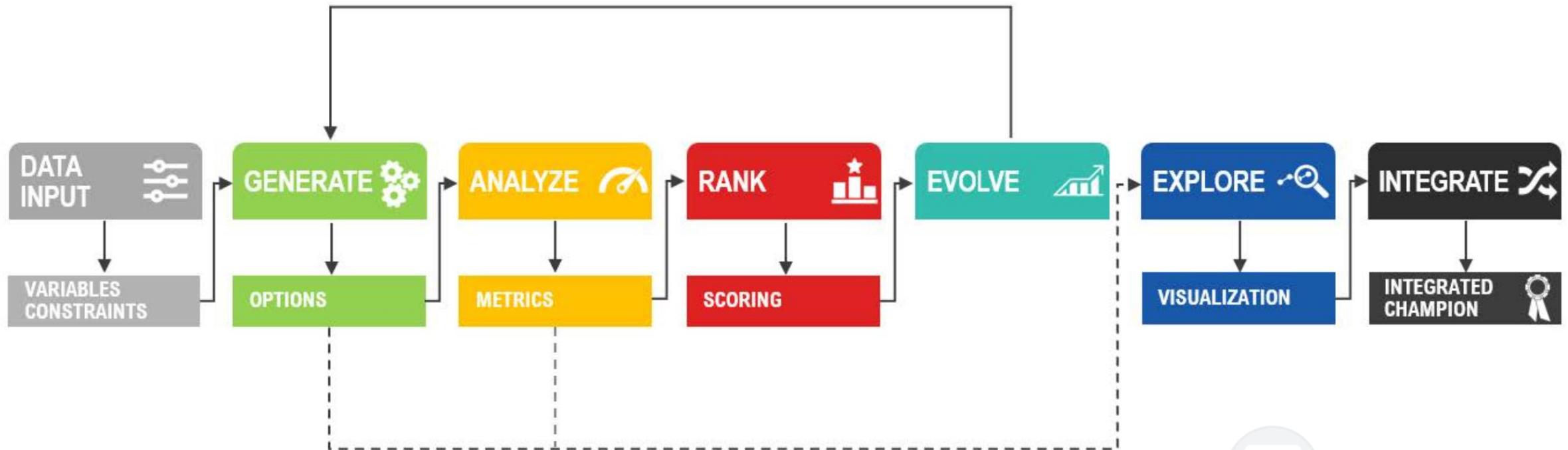
- Componenti ottimizzate per topologia
- Progetti di ponti che bilanciano estetica e carico

- **Sustainability:**

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

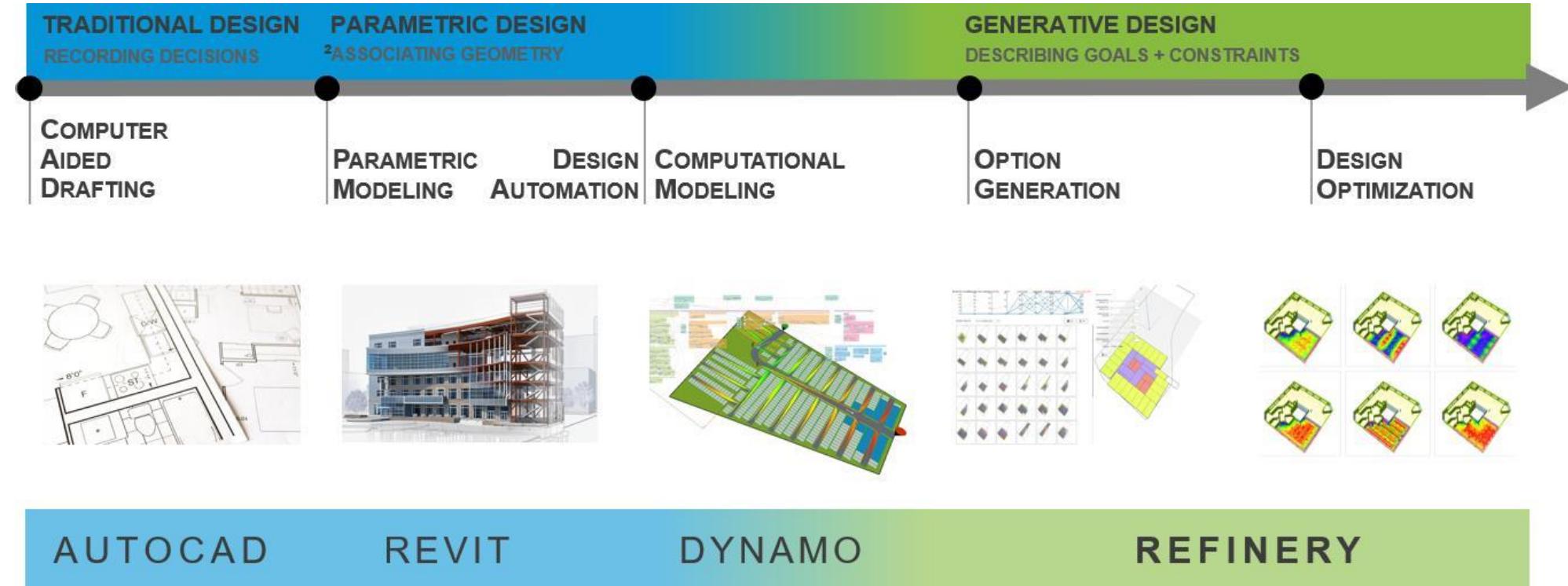


# IA generativa: applicazioni attuali



Autodesk

# IA generativa: applicazioni attuali



Autodesk

## GeaAI in AEC: Future Perspectives

- **Short-Term (1–3 years):**

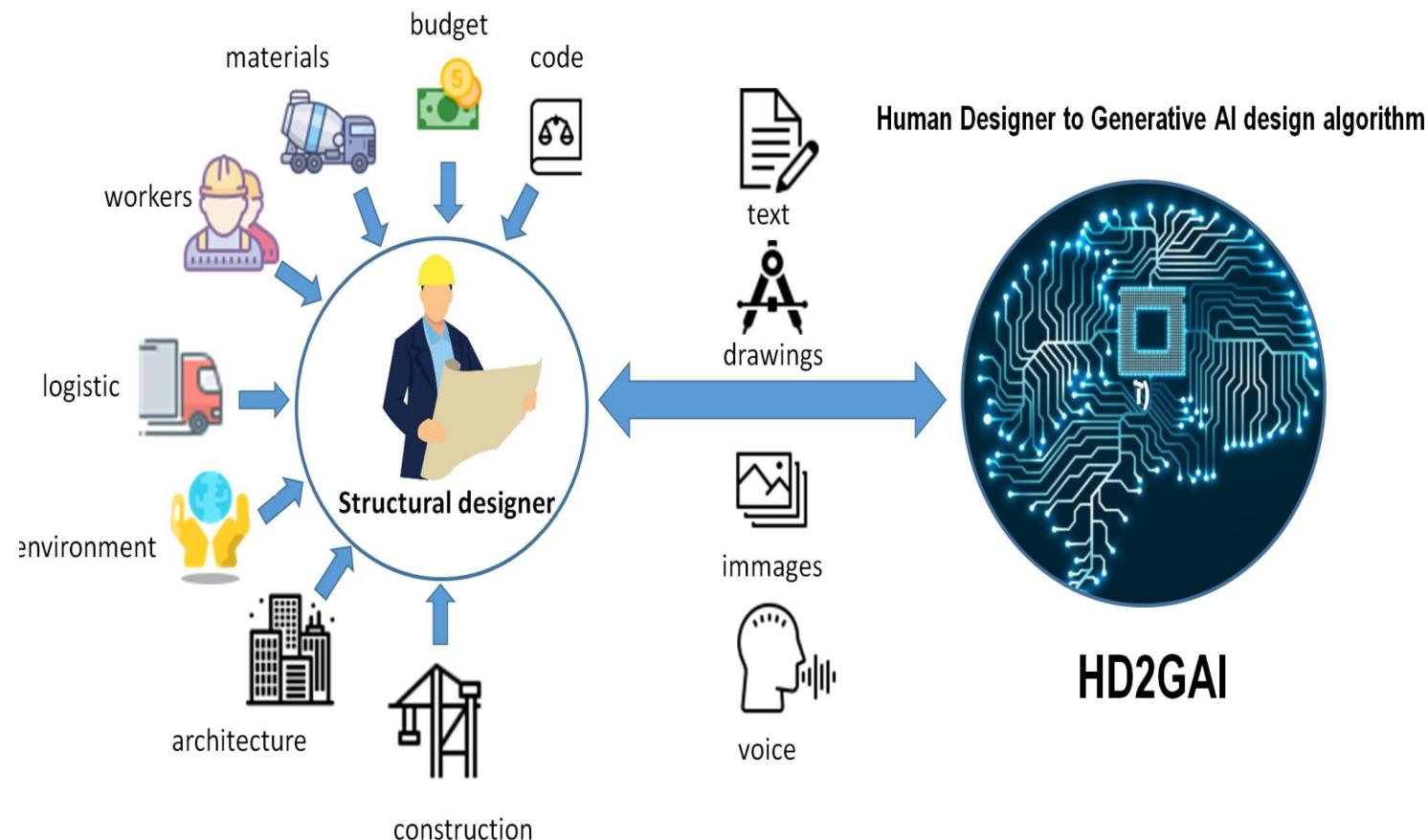
- **Multimodal Models:** Combine text, BIM data, and sketches for holistic design.
- **Generative Digital Twins:** AI-driven real-time adaptation of structures.

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

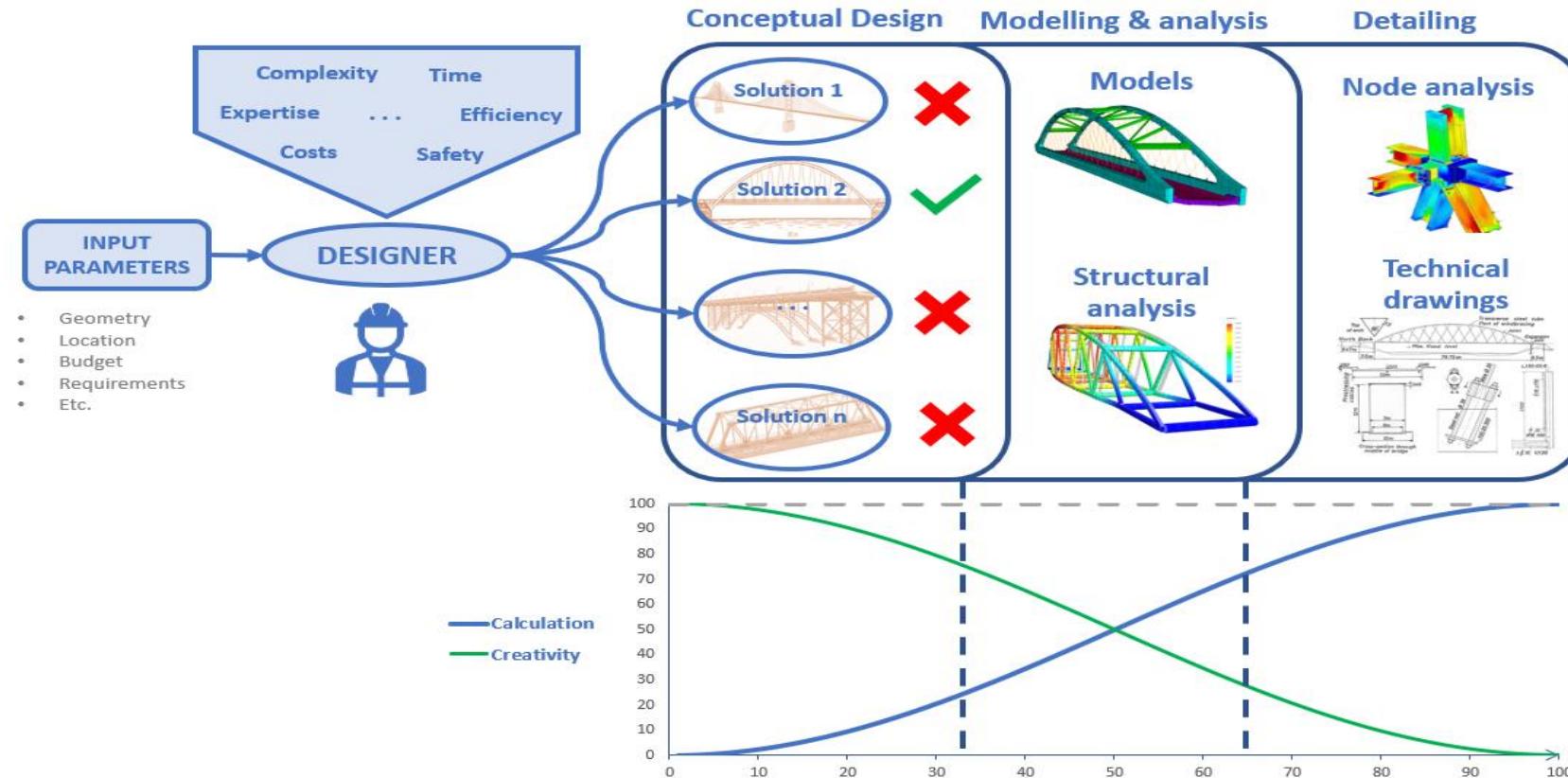
- **Autonomous AEC Ecosystems:** AI designs, optimizes, and constructs with minimal human input.
- **Bio-Hybrid Structures:** AI merges organic growth patterns with engineering.

- **Ethical Frontiers:**

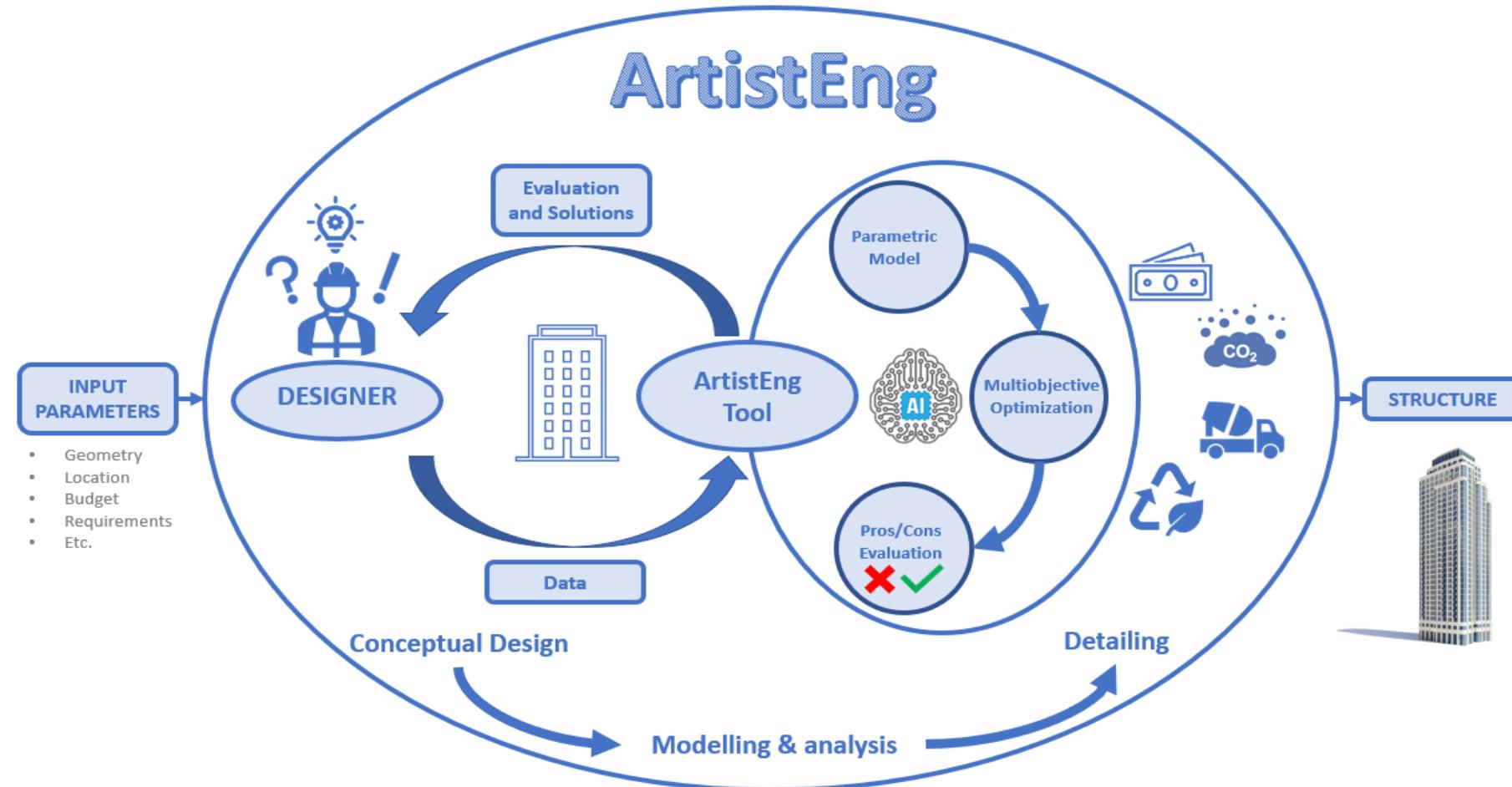
- Bias mitigation (e.g., avoiding over-optimization for cost at safety's expense).
- Regulatory frameworks for AI-generated designs.



# 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  
Coord. Progetto - Ing. C. Barbuta  
Prevenz. Incendi - Dott. M. Zappaterra  
Infrastrutture volo - Ing. S. Tappi  
- Ing. M. Vitiello  
- Ing. A. Allegrucci  
- Geom. M. De Fenza  
- Ing. F. Ferraro  
- Arch. A. Novelli  
- Ing. S. Valenza  
- Ing. C. Parenti  
- Ing. M. Mitsch  
- 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

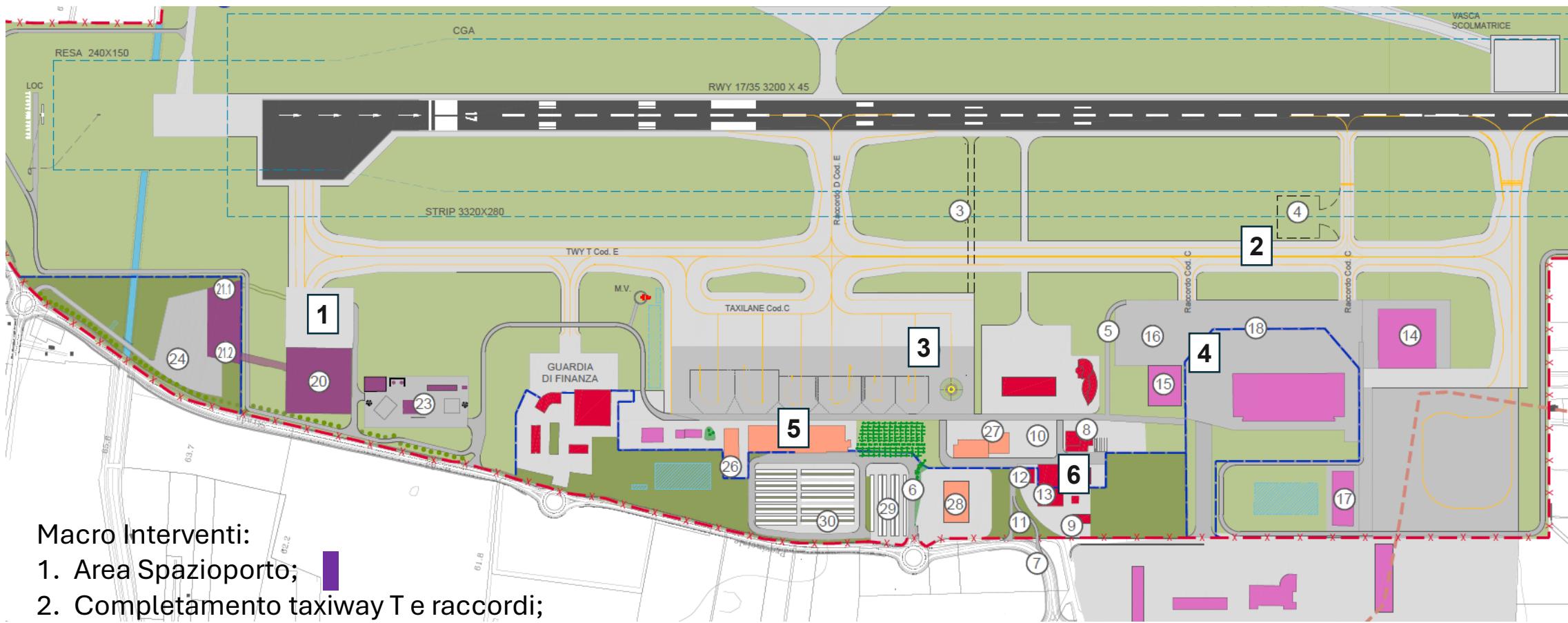
- Prof. G.C. Marano  
- Prof. A. Manuello Bertetto  
- Ing. J. Melchiorre



Benedetto Camerana  
Studio

Opere per la realizzazione dello Spazioporto

## 2. Attualizzazione interventi PSA e Protocolli Sostenibilità



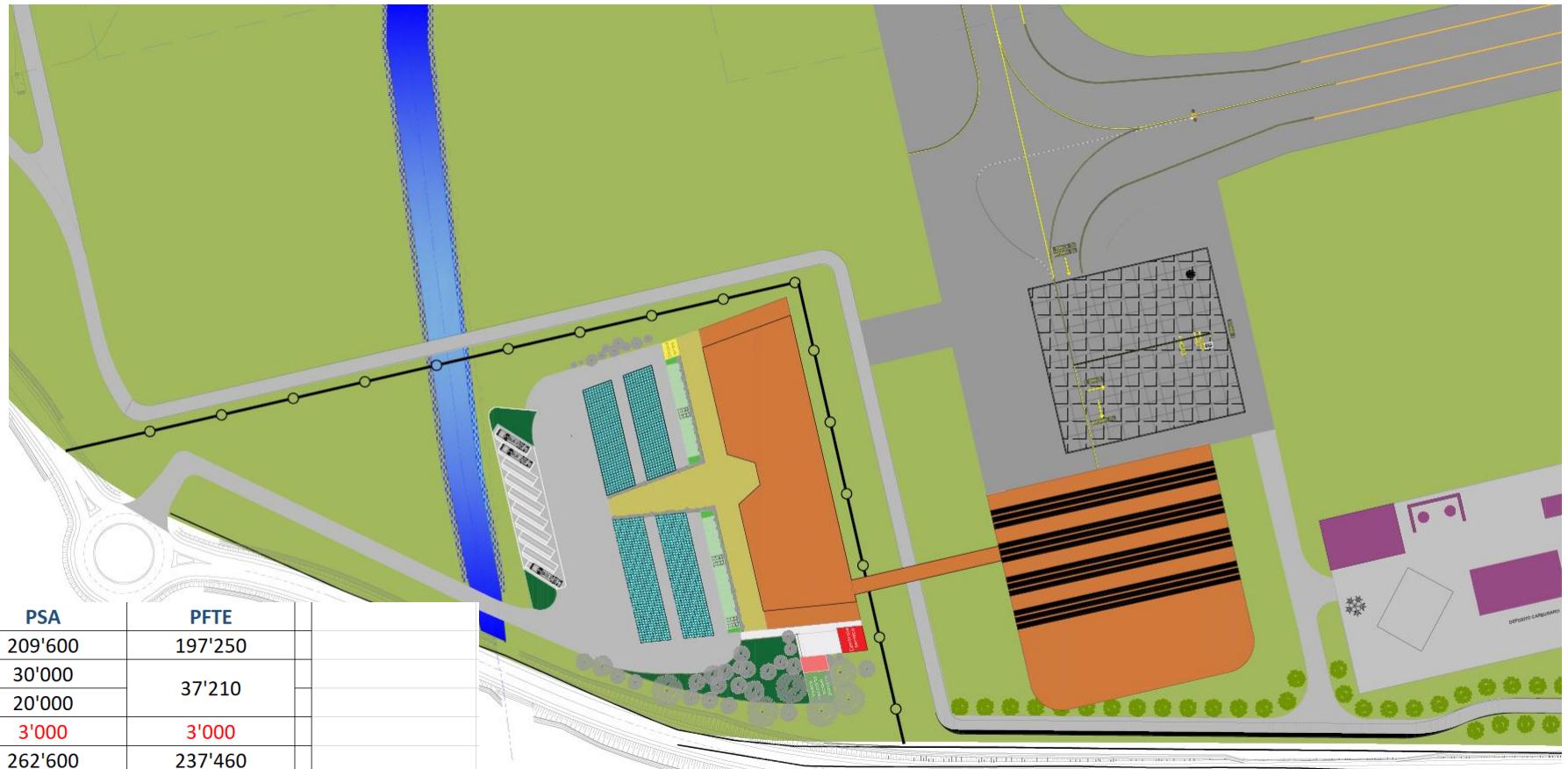
Macro Interventi:

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;

Versione 10 ottobre 2023

## 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
<b>Totale</b>	<b>262'600</b>	<b>237'460</b>
Superfici pavimentate	27'200	27'700
		<b>AUTORIZZATO</b>
<b>Totale complessivo Grottaglie</b>	<b>492'900</b>	<b>467'760</b>
		<b>493'085</b>

## 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:

- ❖ Lancio 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**.

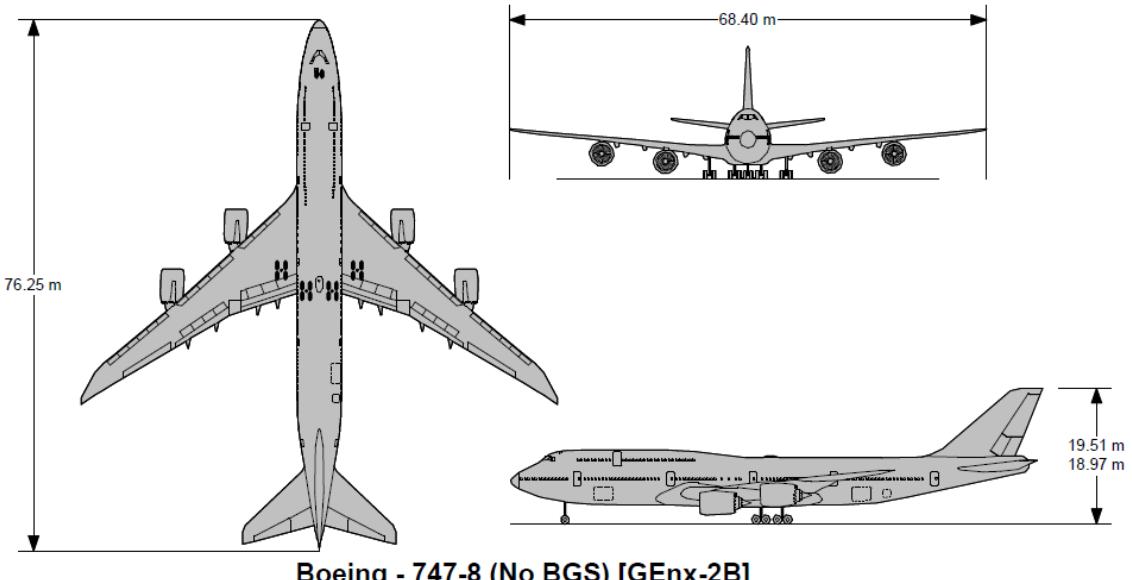
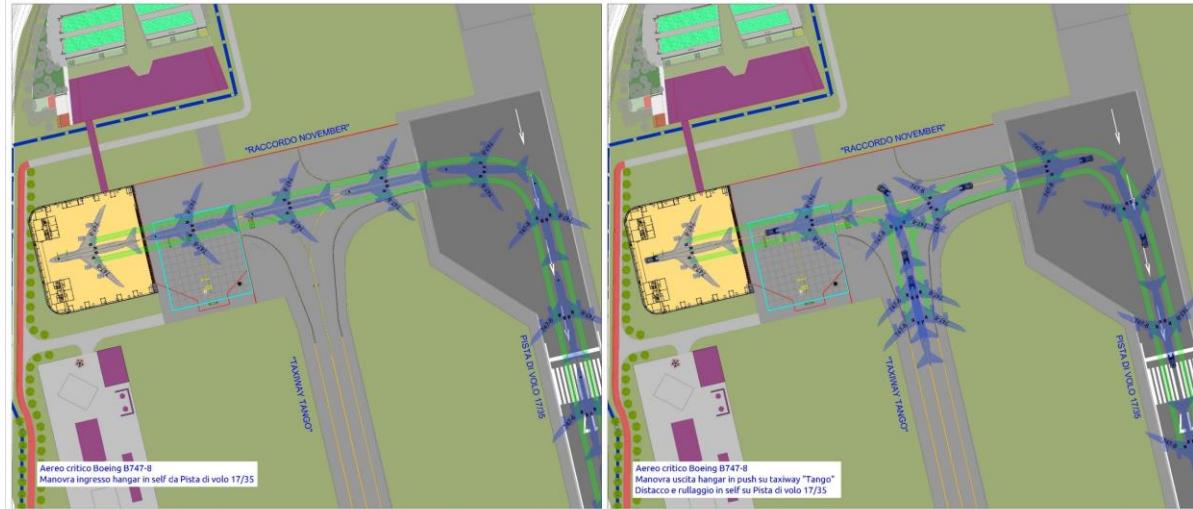


Per quanto riguarda il **Volo d'alta quota (near space)**, sempre a titolo indicativo lo Spazioporto potrà accogliere modelli tipo lo **Skydweller** - velivolo ad energia solare per possibili prove di volo con le seguenti caratteristiche:

- ❖ 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.

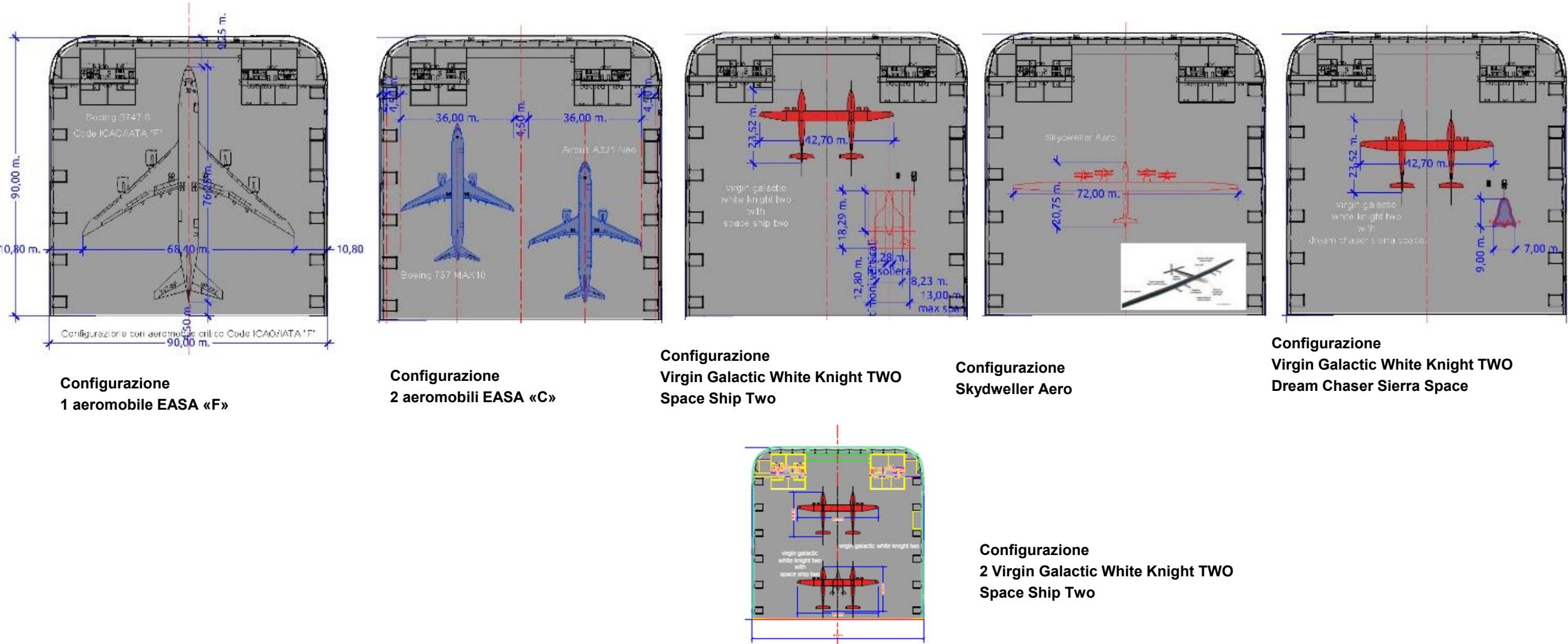


Boeing - 747-8 (No BGS) [GEnx-2B]



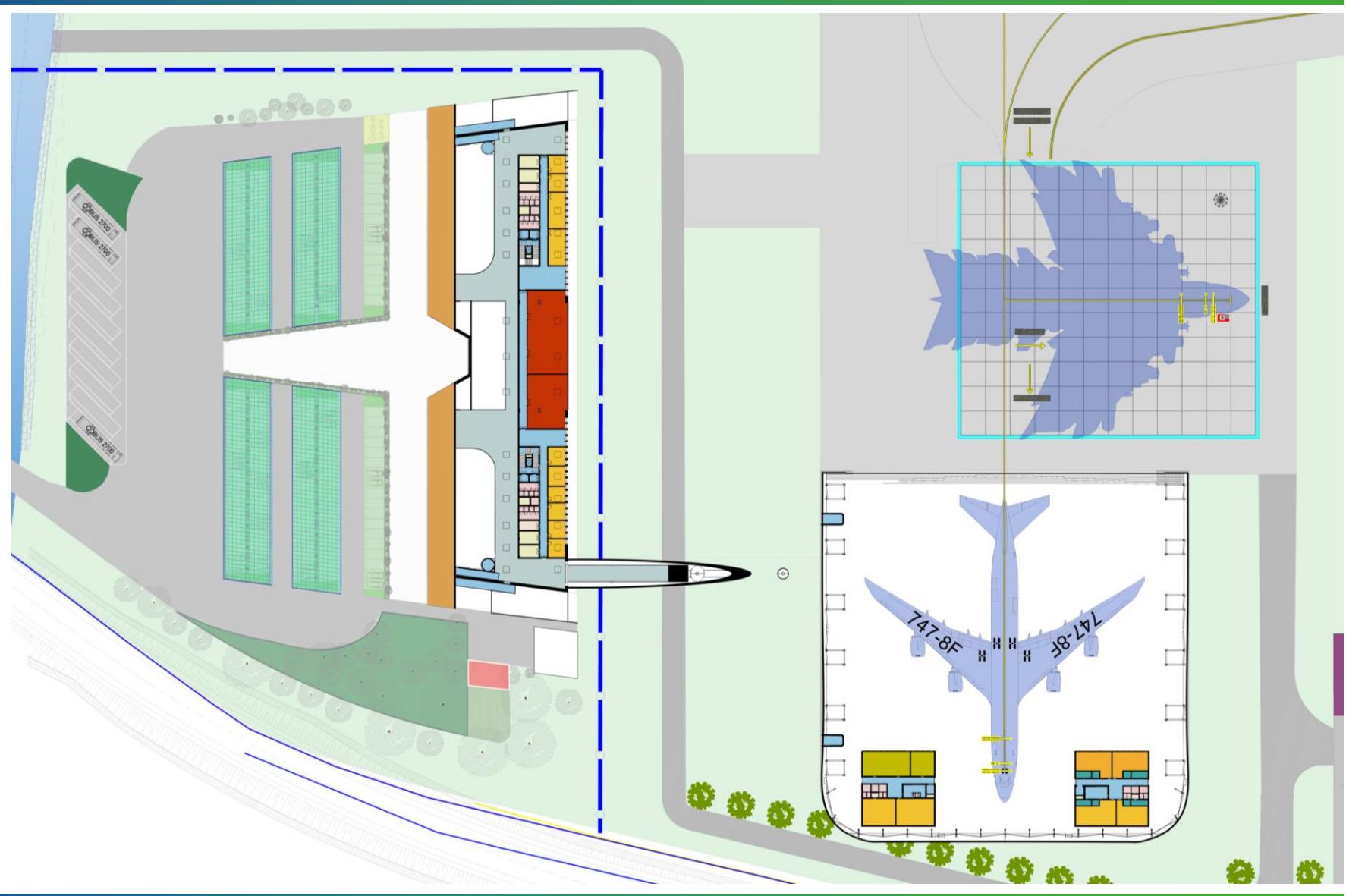
## 4. Il PFTE - Infrastrutture di volo

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.



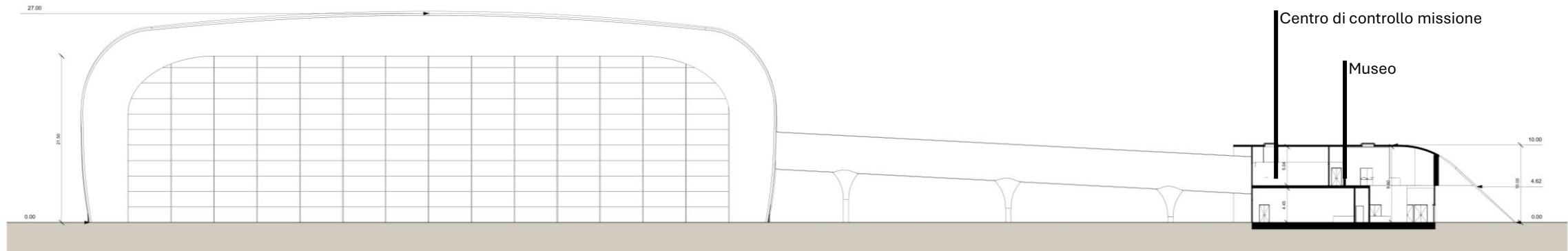
## 4. Il PFTE - Architettura

Planimetria  
Piano Primo

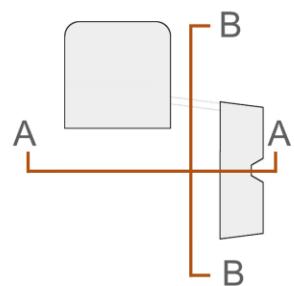
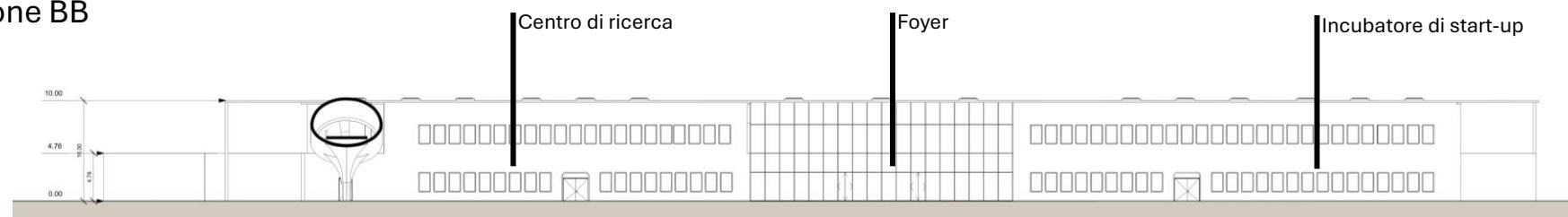


## 4. Il PFTE - Architettura

Sezione AA

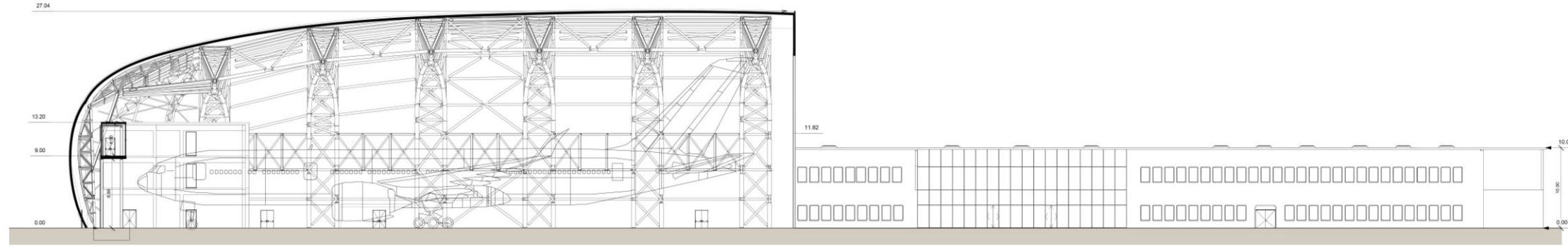


Sezione BB

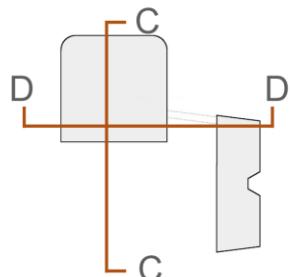
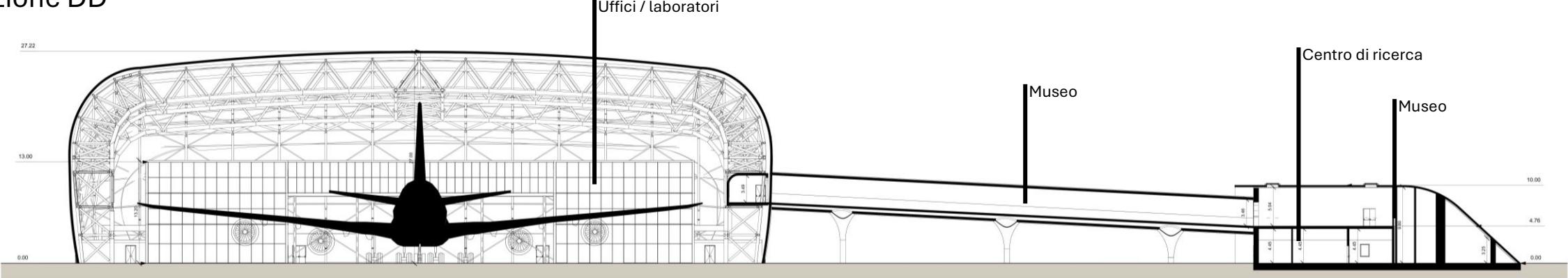


## 4. Il PFTE - Architettura

Sezione CC



Sezione DD

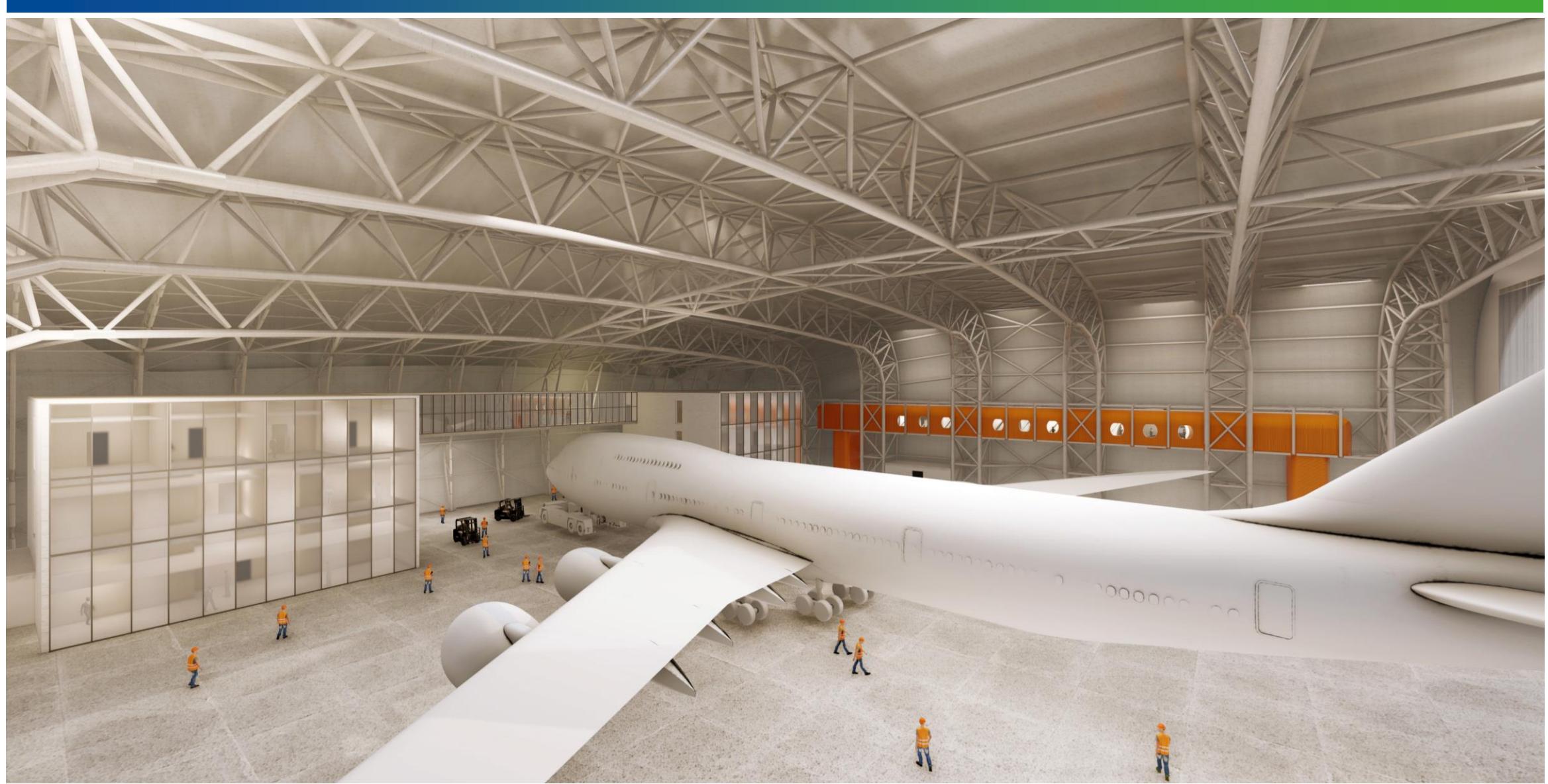




## 4. Il PFTE - Architettura



## 4. Il PFTE - Architettura

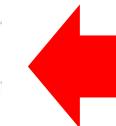
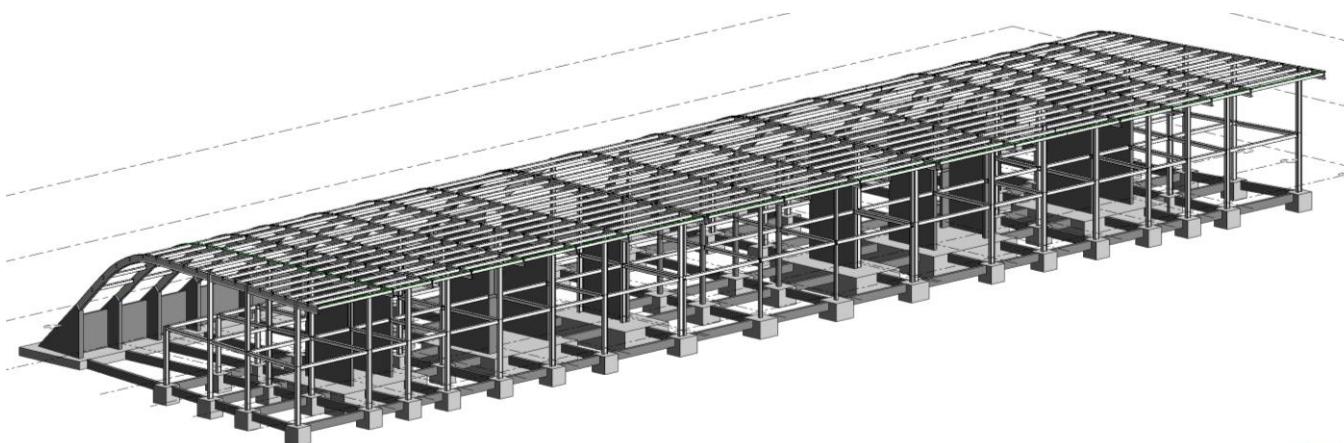
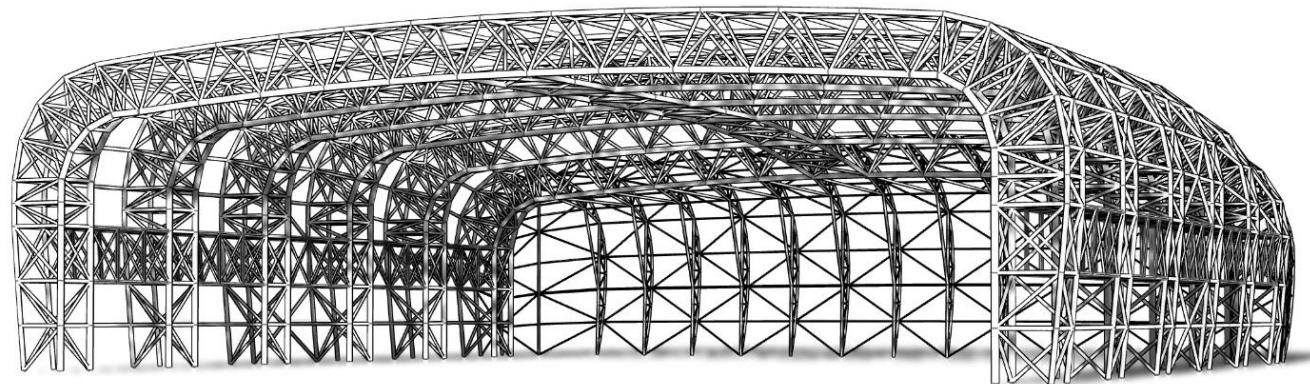




## 4. Il PFTE - Strutture

### 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.

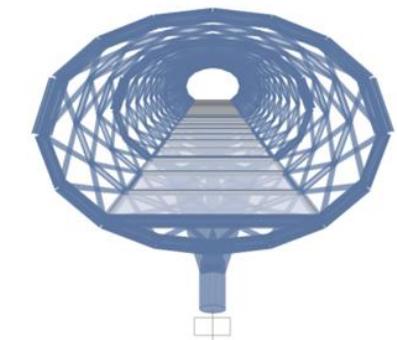
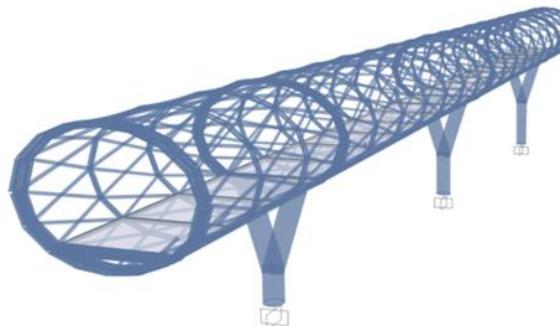


### EDIFICIO POLIFUNZIONALE

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

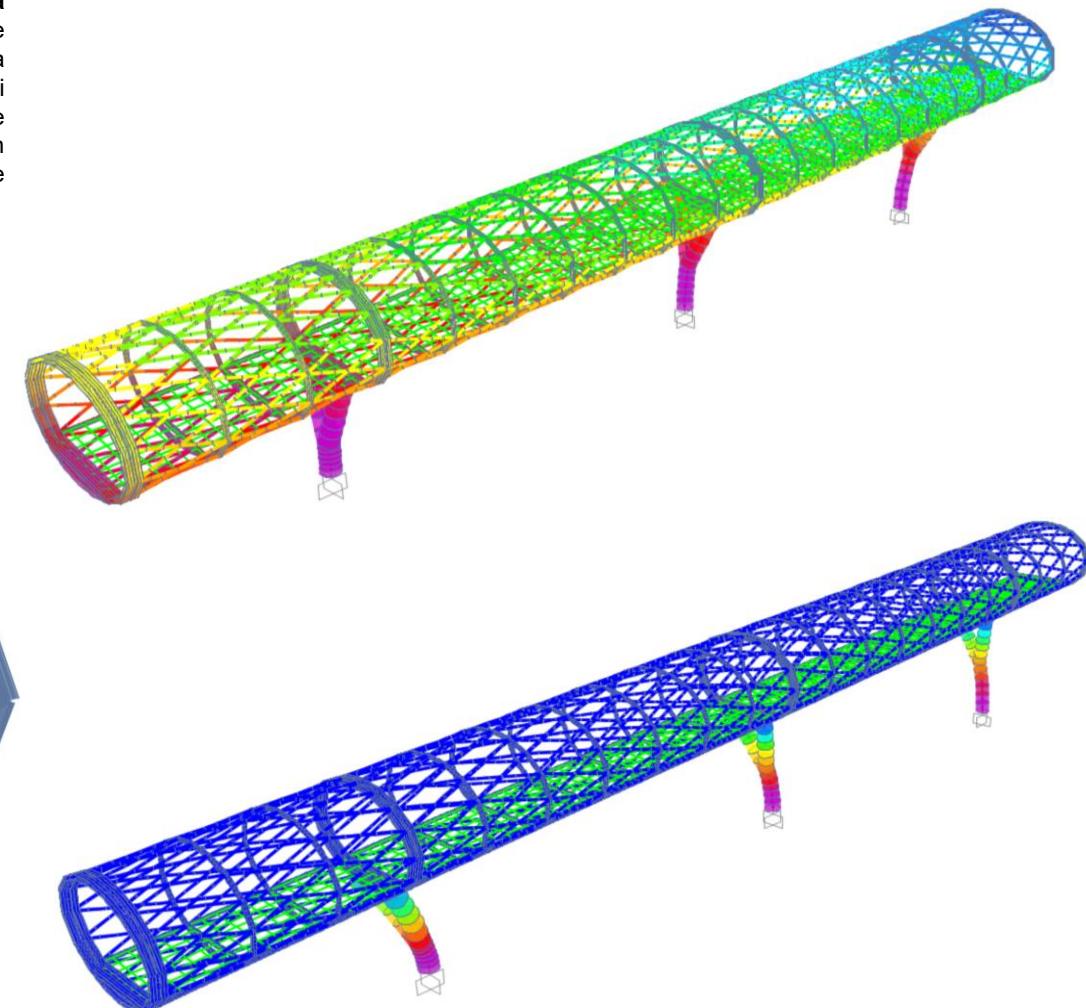
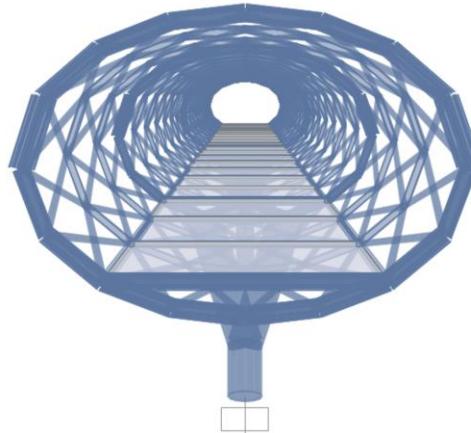
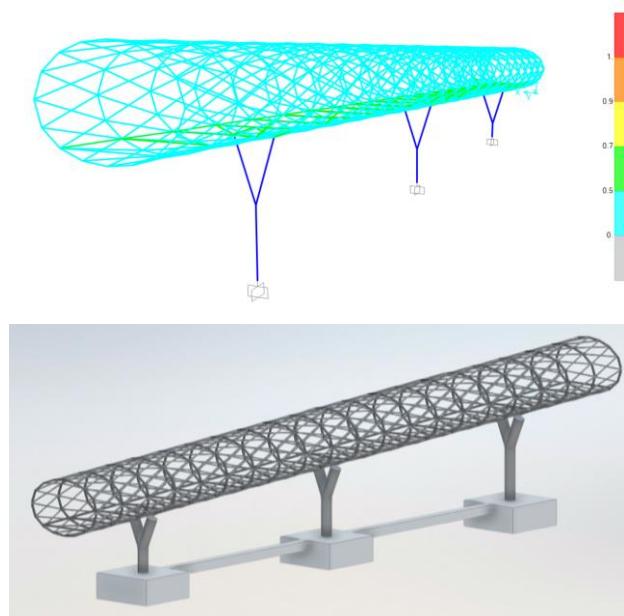
### PASSERELLA PEDONALE

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

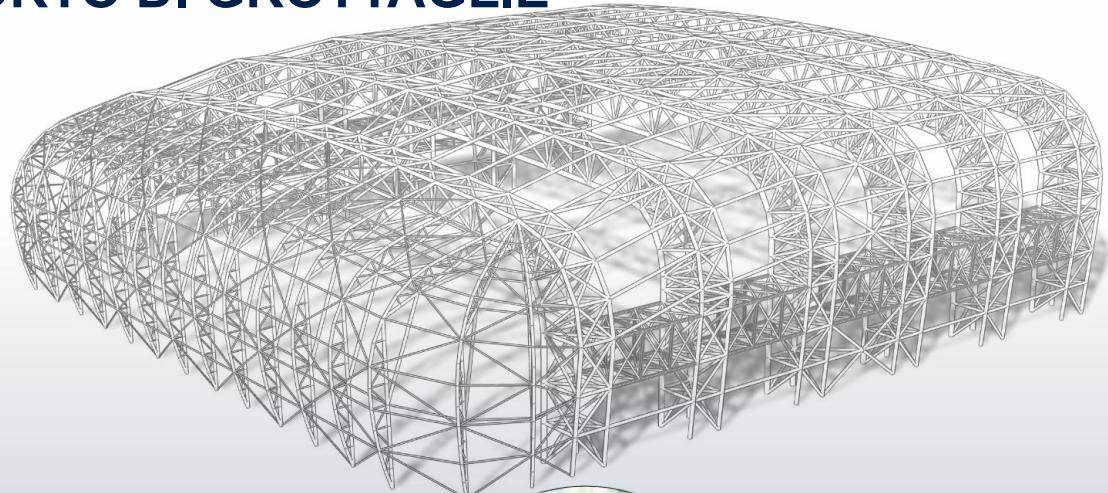
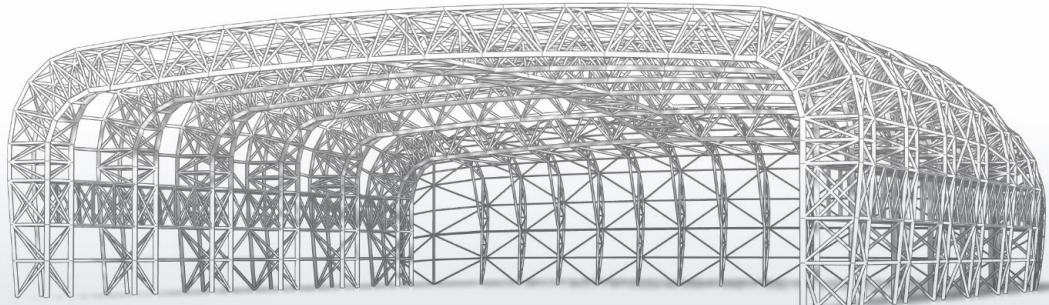


### PASSERELLA PEDONALE

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



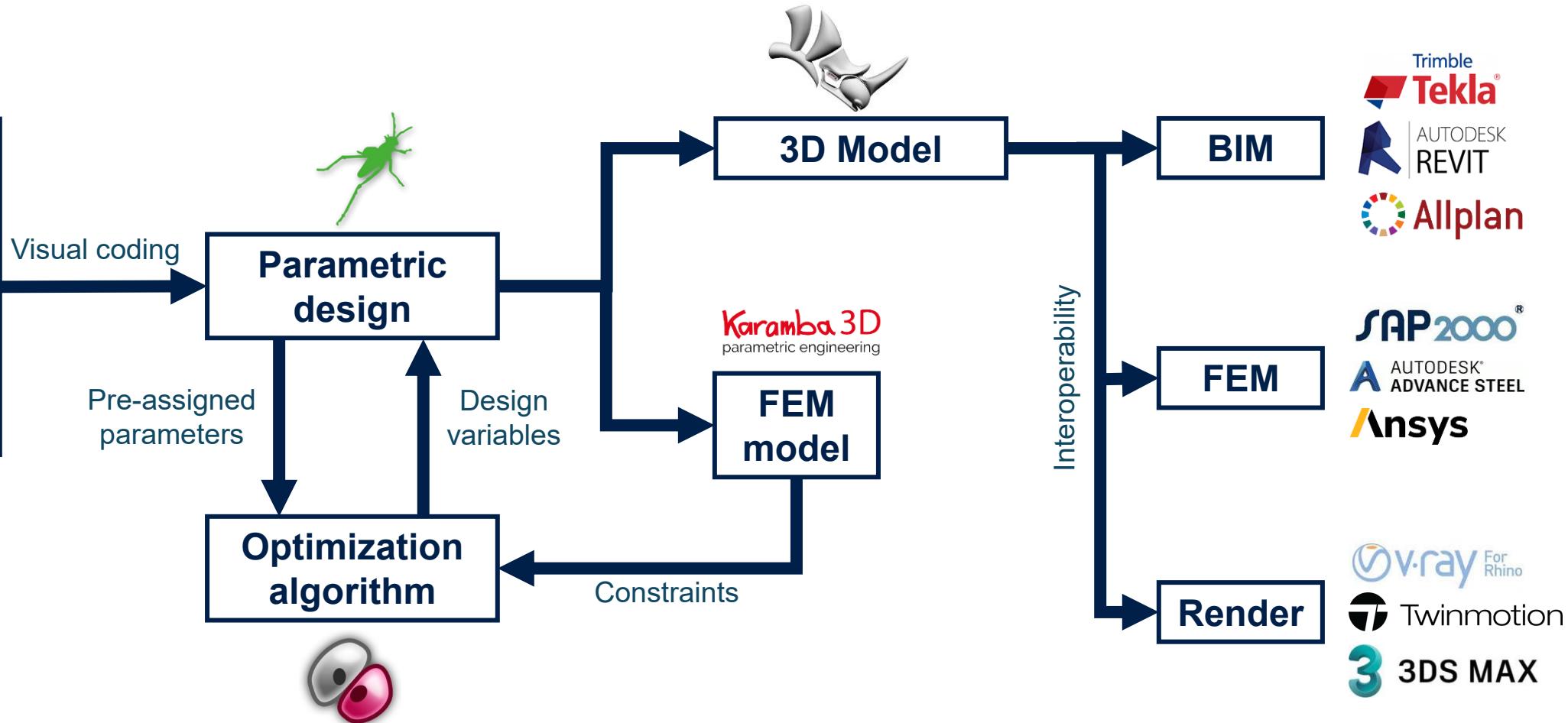
Prof. G. C. Marano

# Progetto parametrico per ottimizzazione

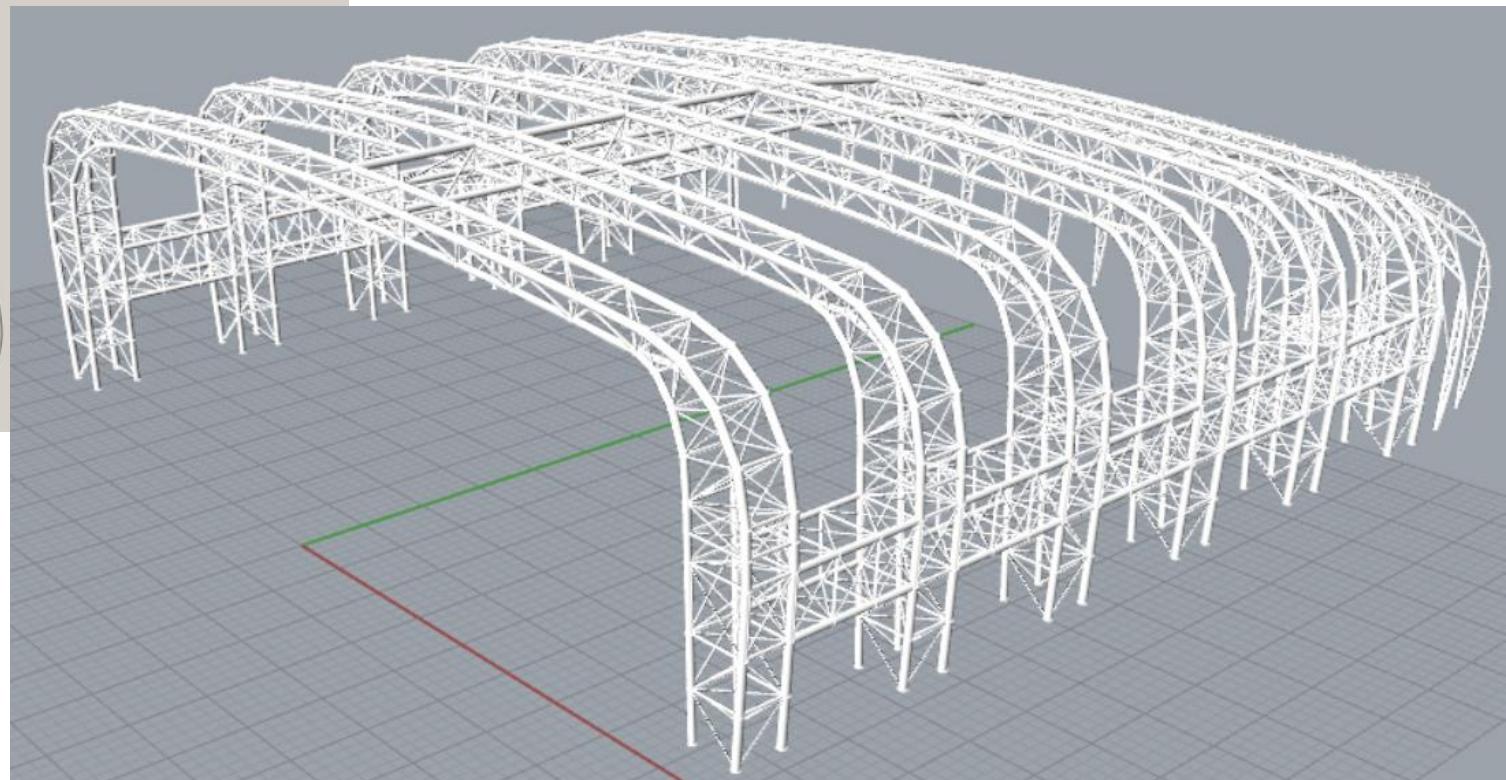
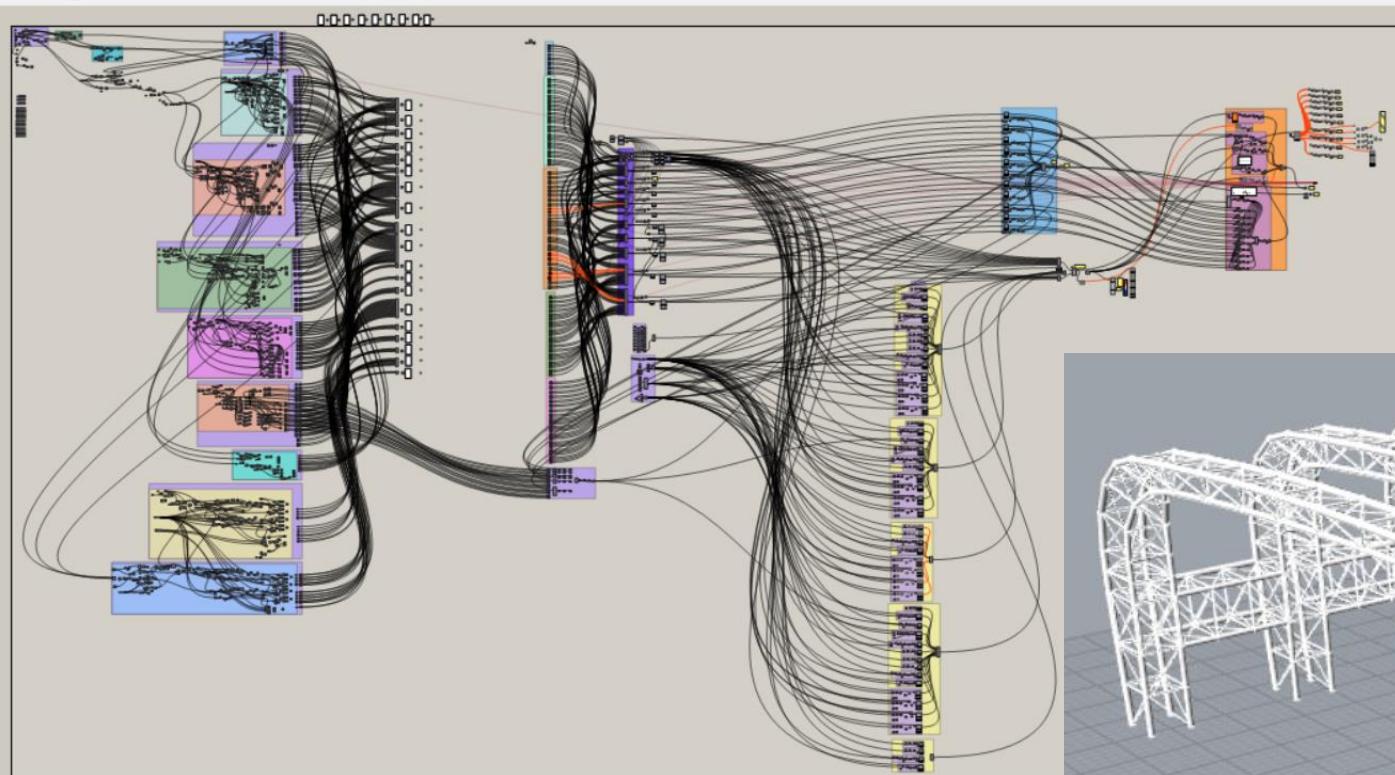
## User

**Input data:**

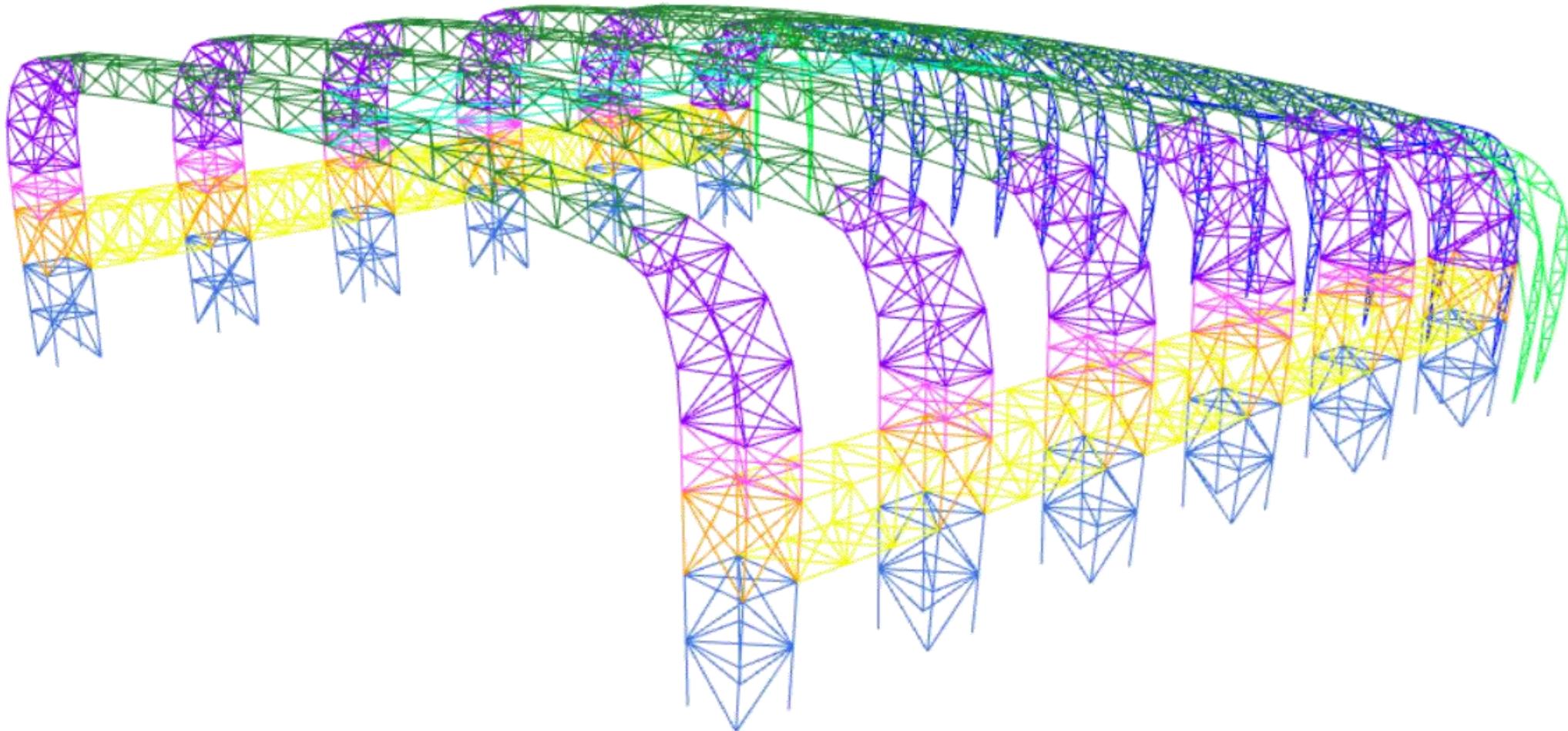
- Geometry
- Shape
- Section type
- Material
- External loads
- Mesh
- Constraints



# Modello parametrico



# Struttura modulare per facilitare la fase di assemblaggio



# Problema di ottimizzazione

## Funzione obiettivo:

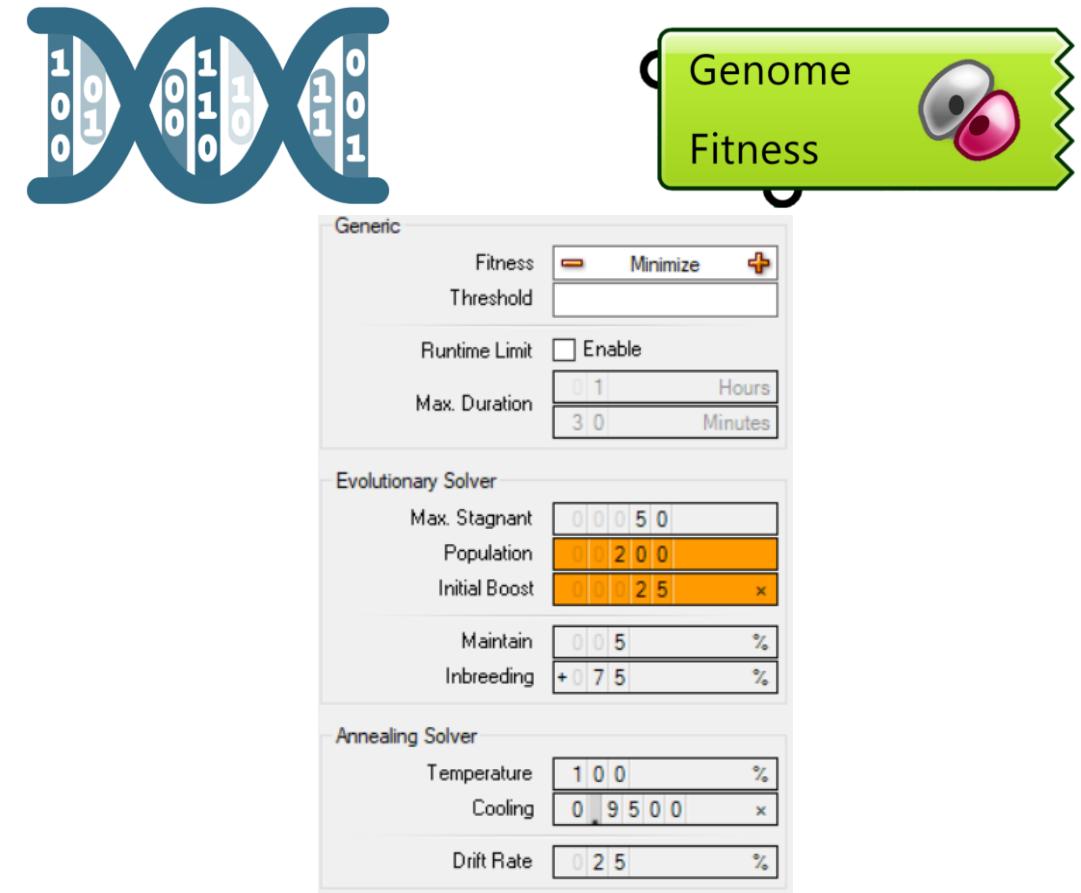
Minimizzazione quantitativo di acciaio strutturale [ton].

## 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:**

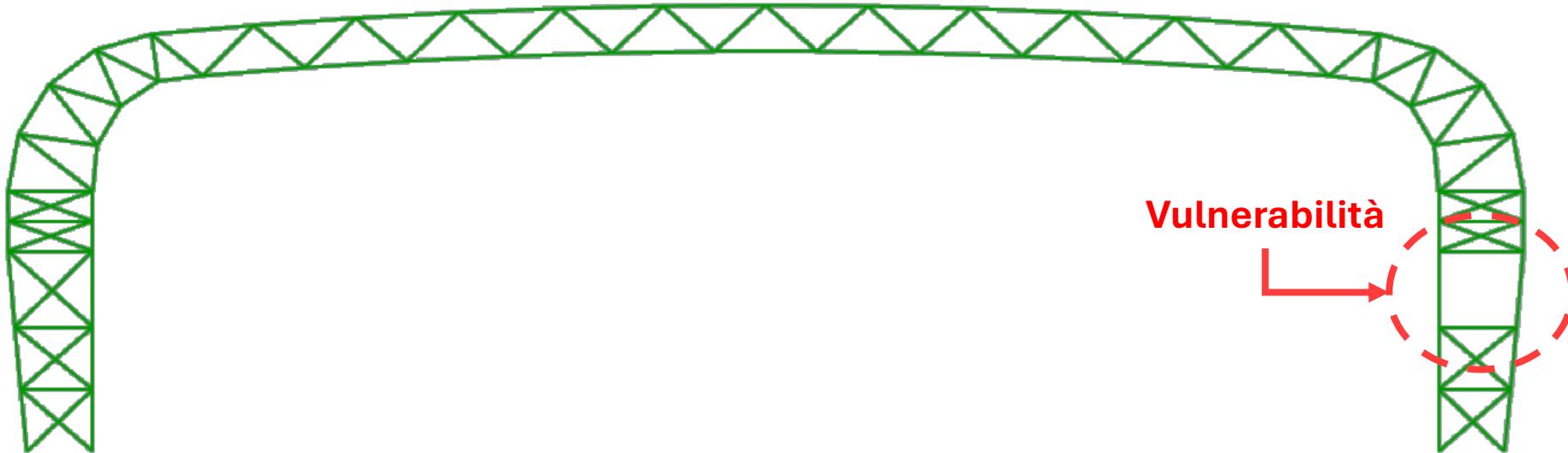
$$C_3 = 1,5 * 0,5 Q_2 + Q_3$$

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

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

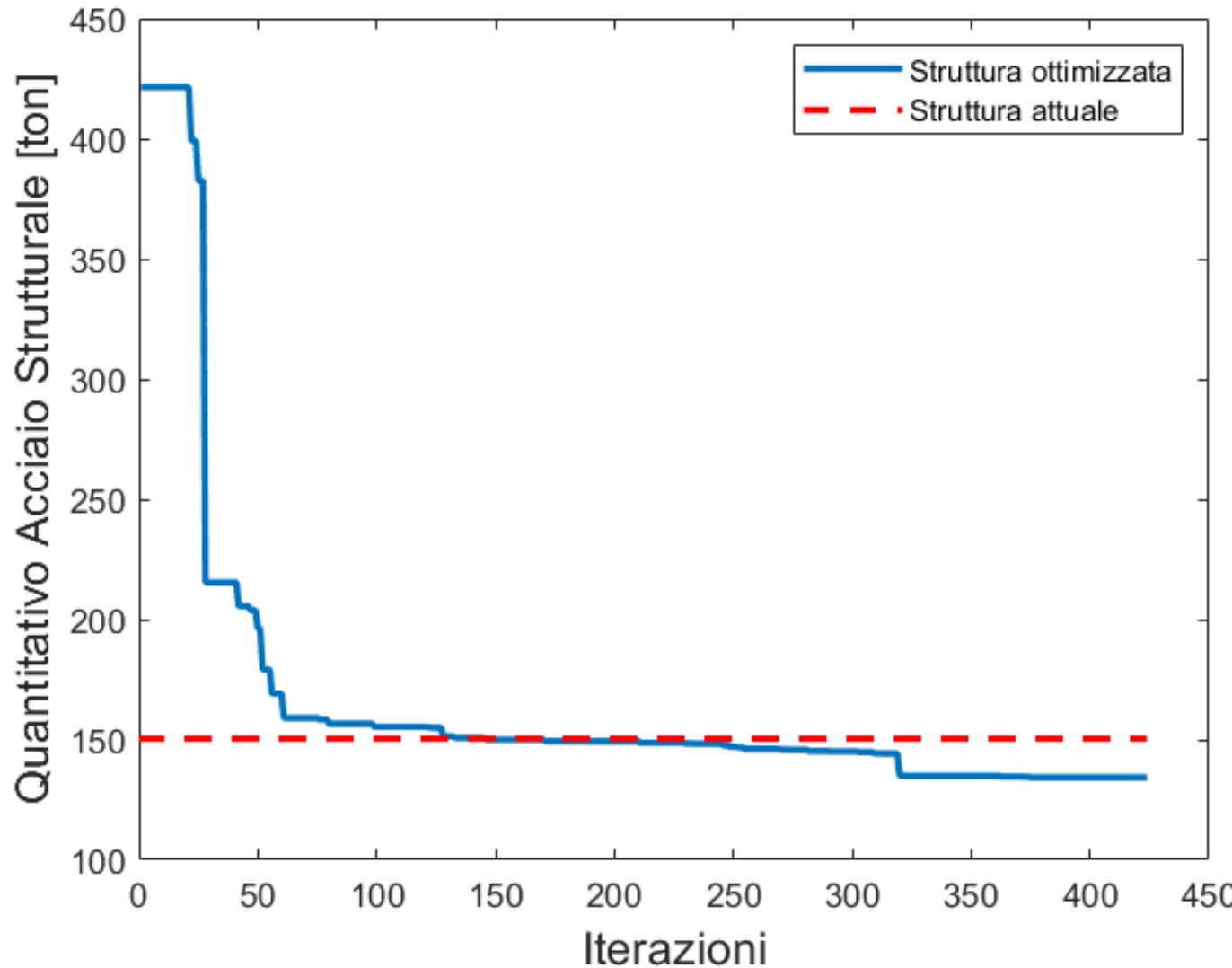
# Ottimizzazione portale critico

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.



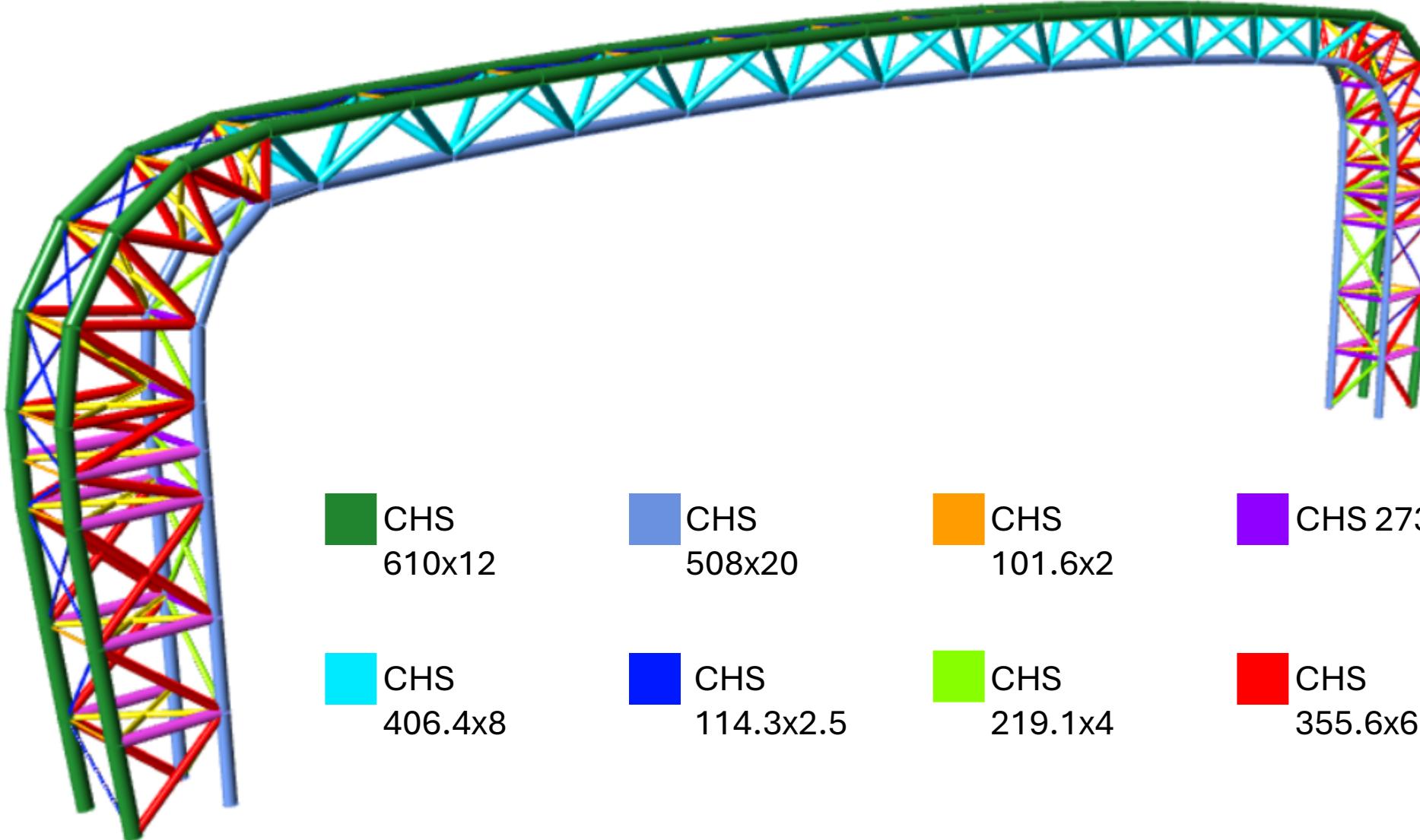
**N.B.** Nell'analisi semplificata adottata, la verifica di questo portale risulta essere fin **troppo cautelativa** in quanto nel modello **non sono presenti le resistenze date dalle strutture di collegamento dei portali** che mitigano la vulnerabilità introdotta dalla passerella. In questo modello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

# Risultati ottimizzazione portale critico



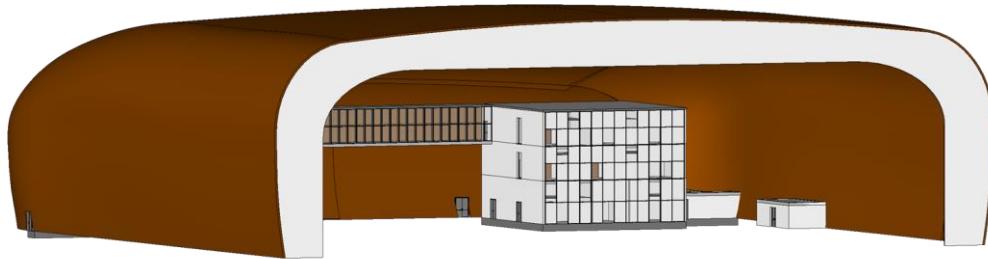
**Riduzione  
acciaio**  
=   
**10,8%**

# Portale critico ottimizzato

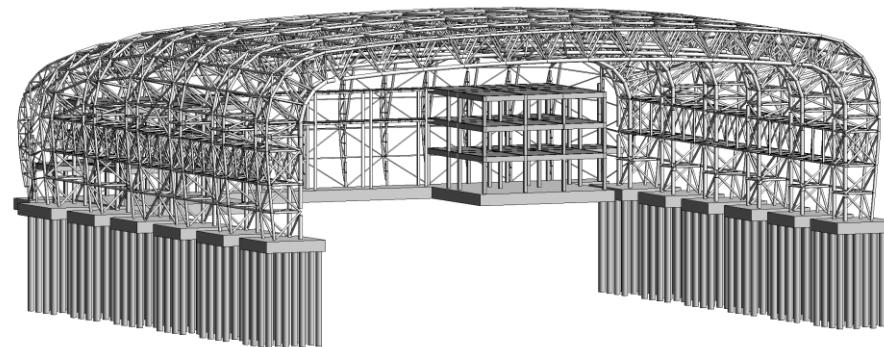


## 4. Il PFTE – L'utilizzo della tecnologia BIM nel progetto

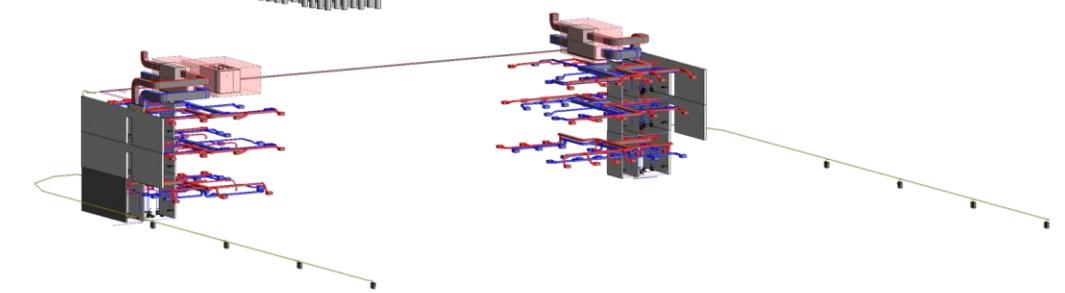
### MODELLI MULTIDISCIPLINARI – Hangar



Modello Architettonico



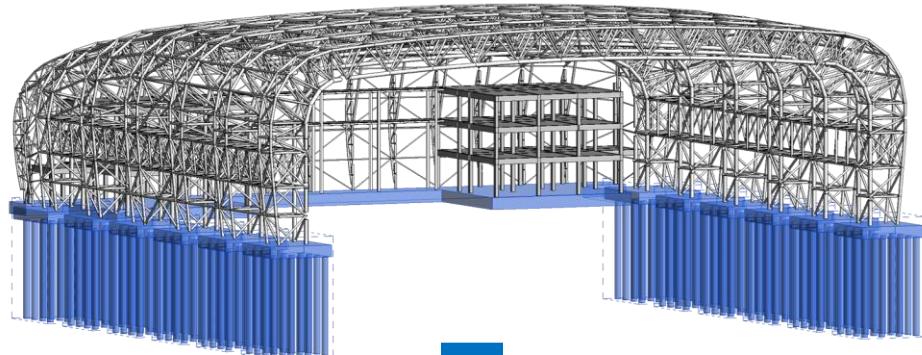
Modello Strutturale



Modello Impiantistico

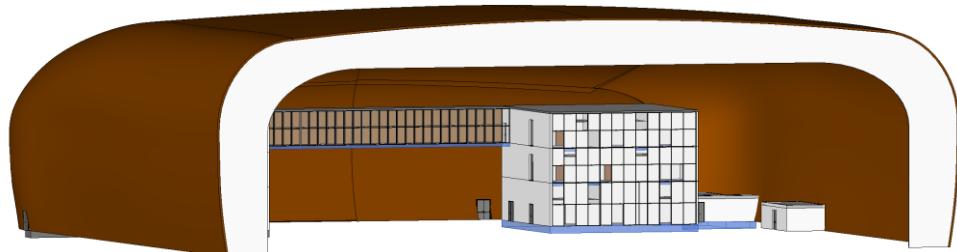
## 4. Il PFTE – L'utilizzo della tecnologia BIM nel progetto

QTO STR



### **<Abaco delle fondazioni strutturali>**

QTO ARC



## <Abaco dei pavimenti>

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