



Fondamenti di Intelligenza Artificiale per l'Ingegneria Civile

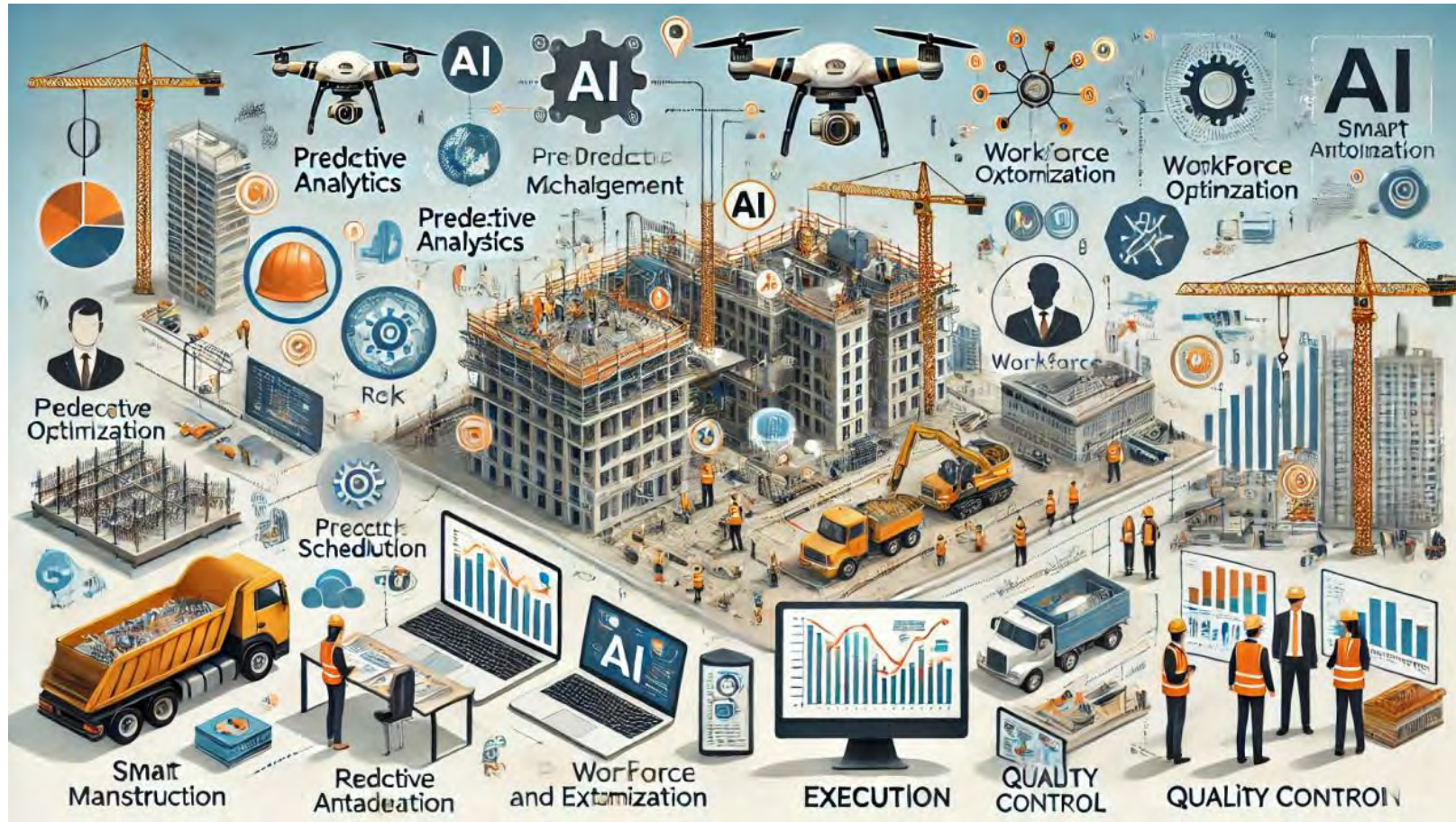


Prof. Ing. Giuseppe Carlo Marano
Politecnico di Torino



Convegno online – 14 Aprile 2026

Ma perché usare la AI nel settore della ingegneria civile????



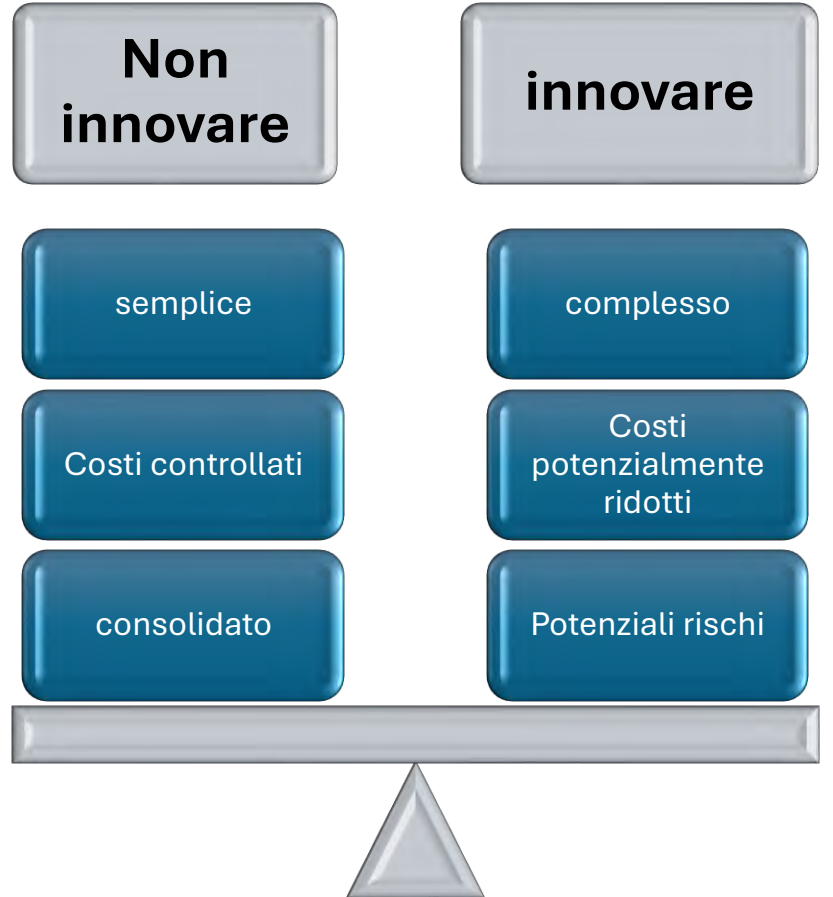
Il significato di innovazione nell'ingegneria

*SE NON SAI DOVE ANDARE, OGNI
STRADA SARÀ SBAGLIATA*



(H. Kissinger)

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



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 deterministici

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

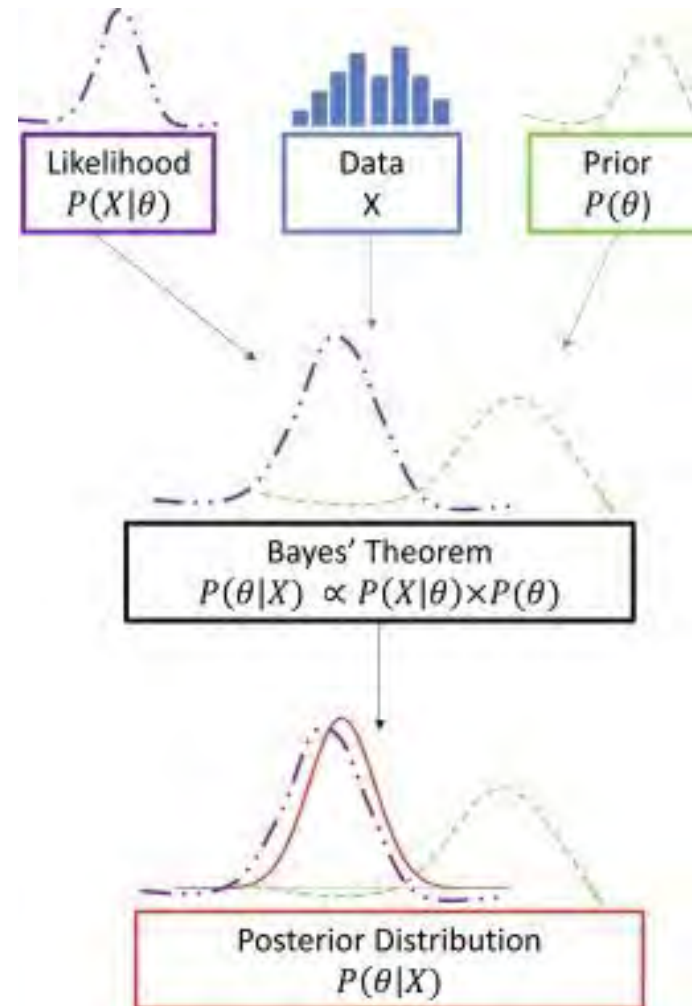
Non è una black box incontrollabile

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

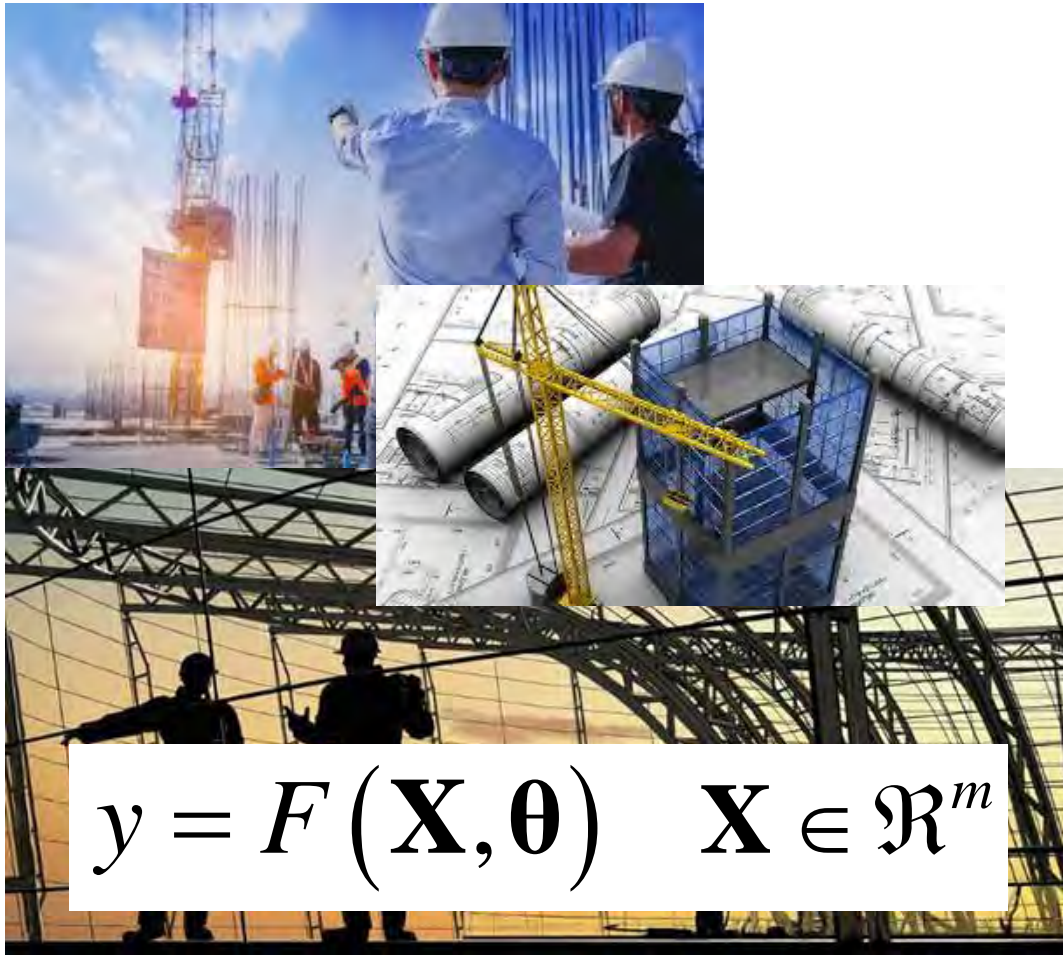




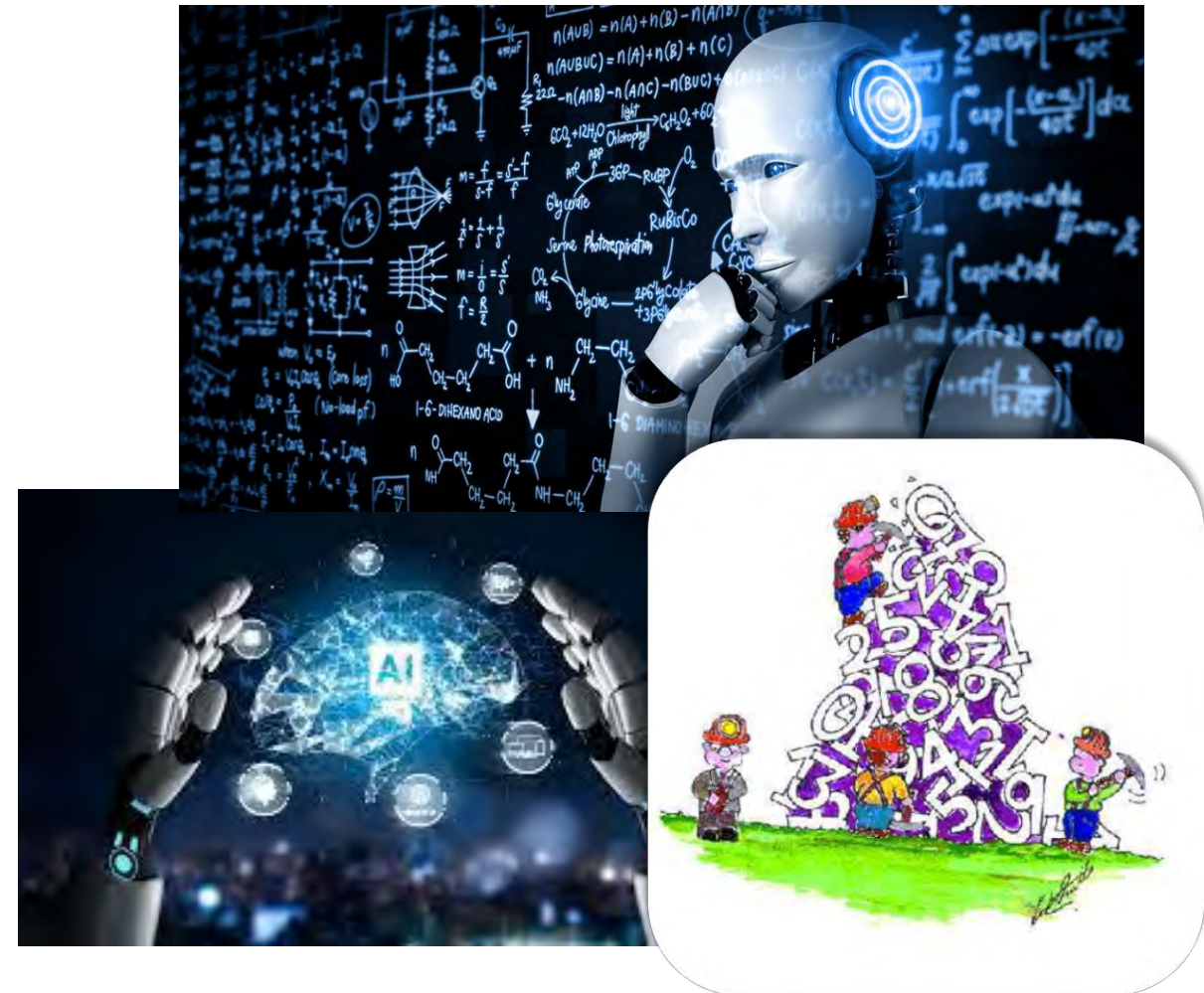
Architecture, Engineering and Construction

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.

Ingegneria Civile

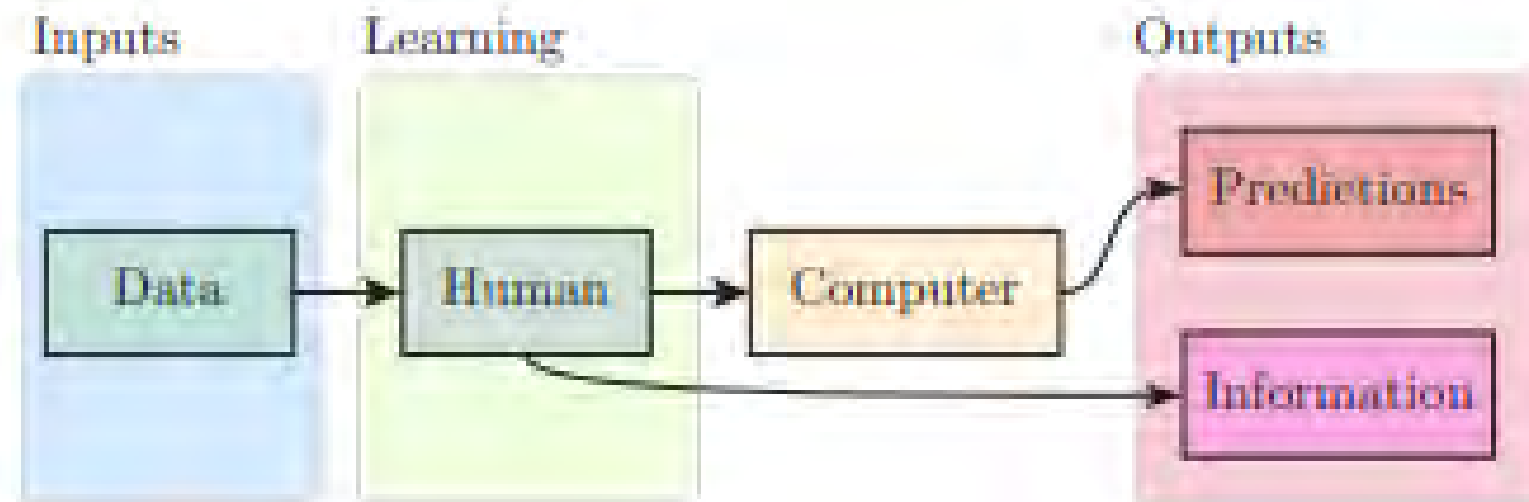


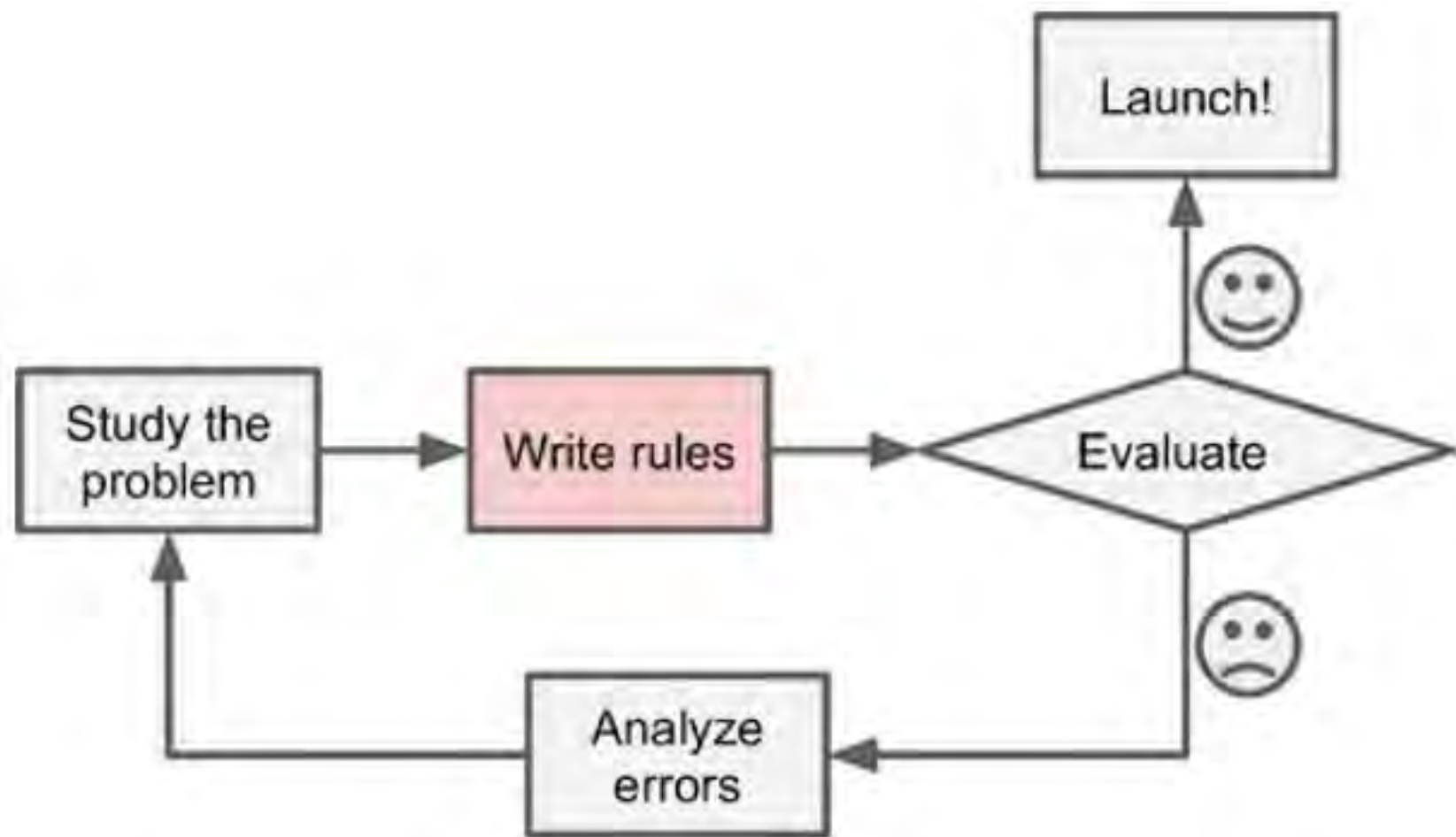
Artificial intelligence



Come usiamo ora il computer....

**Business
as usual**





L'Ingegneria Civile è basata sulle equazioni...

$\frac{1}{u_3} ; \frac{h_1}{u_1} = \frac{h_2}{u_3} ; G_N^A = G_N^B = \frac{N}{F} = \frac{10000}{66} = 152$
 $\frac{Mh_1}{S_{u1}} = \frac{Mh_2}{S_{u3}} ; \frac{h_1}{u_1} = \frac{h_2}{u_3} ; G_N^A = G_N^B = \frac{N}{F} = \frac{10000}{66} = 152$

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

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

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

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

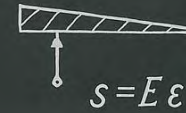
$\frac{N}{F} = \frac{10000}{66} = 152$
 $\frac{Mh_1}{S_{u1}} = \frac{Mh_2}{S_{u3}} ; \frac{h_1}{u_1} = \frac{h_2}{u_3} ; G_N^A = G_N^B = \frac{N}{F} = \frac{10000}{66} = 152$

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

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

ANALYTICAL FORMULATIONS

Statics
 $\sum F = 0$



Elasticity
 $\sigma = E \epsilon$

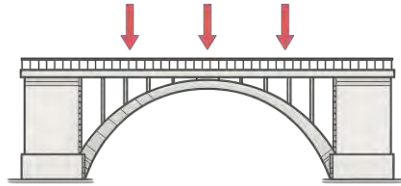
Dynamics

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

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

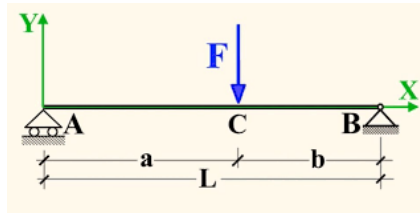


Formulazione analitica concettuale



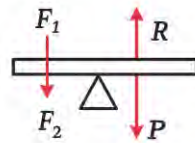
Realtà fisica

- 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

$$\Sigma F = 0 \quad \frac{d^2u}{dx^2} = q$$

$$\sigma = F = E$$

$$\frac{d}{ds} \Delta \downarrow R$$

$$Mu + cKu = F(t)$$

Formulazione matematica

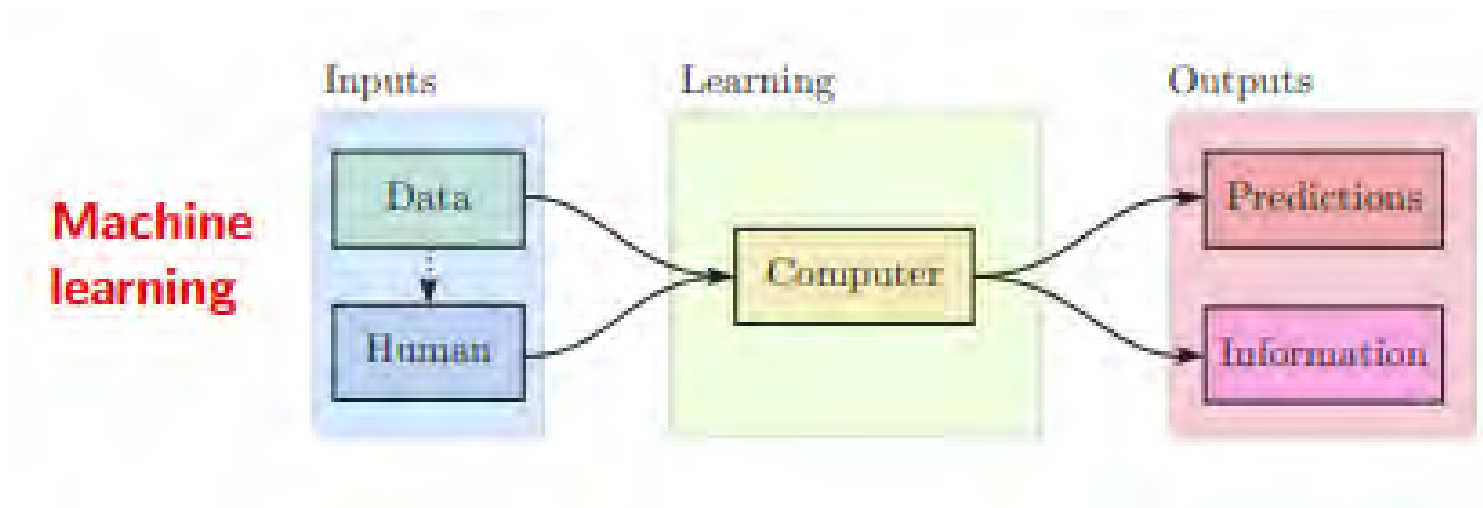
- Differential equations, matrix forms

Applicazione ingegneristica

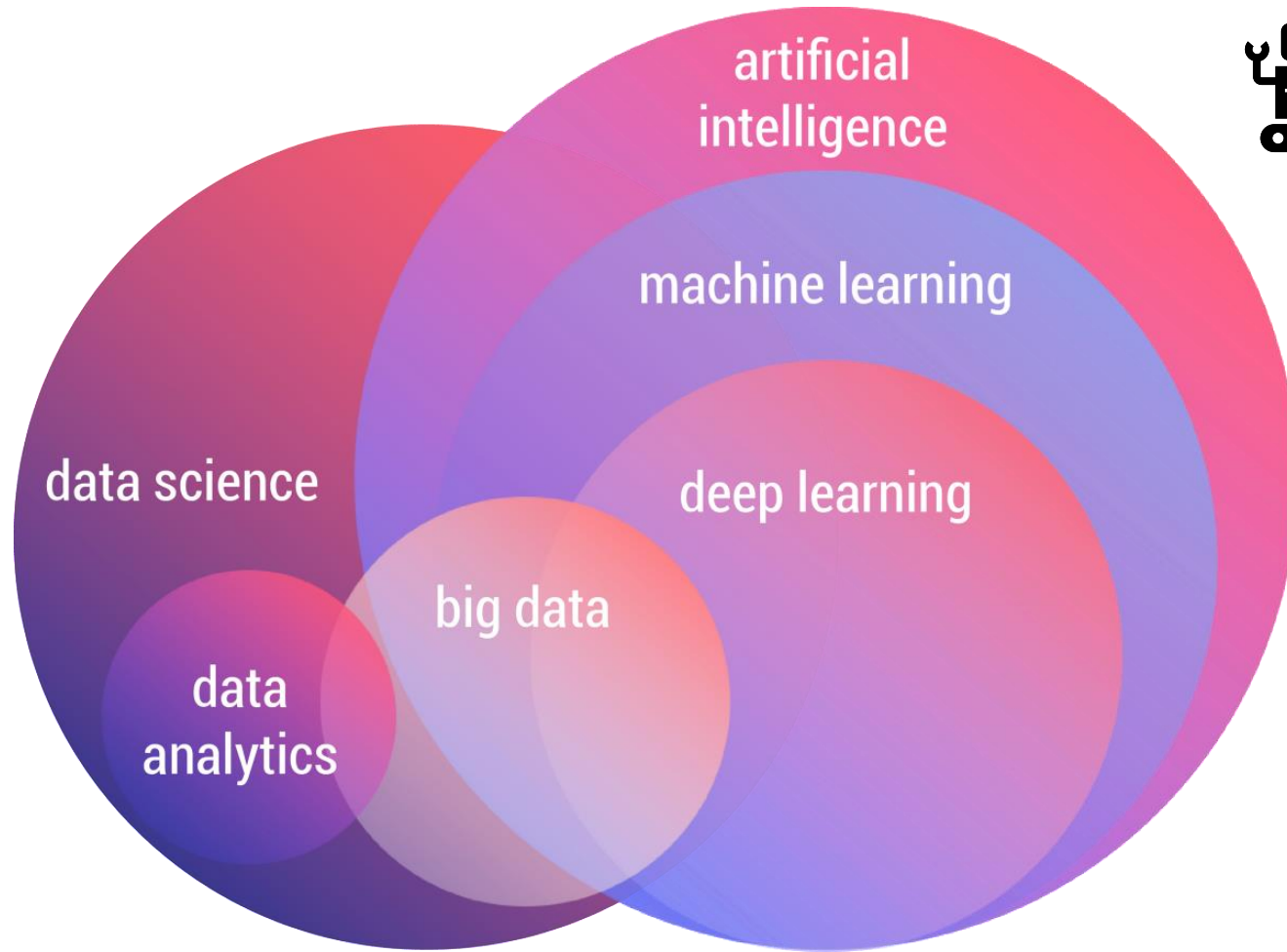
- Analytical / Numerical Solution, closed form, FEM, FDM, BEM



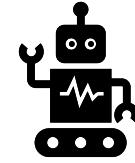
Come invece sfrutta il computer la AI (leggi Machine learning)



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

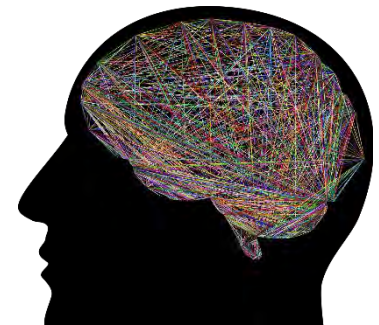


Estrai
informazioni
dai dati!
Oggi è
fondamentale

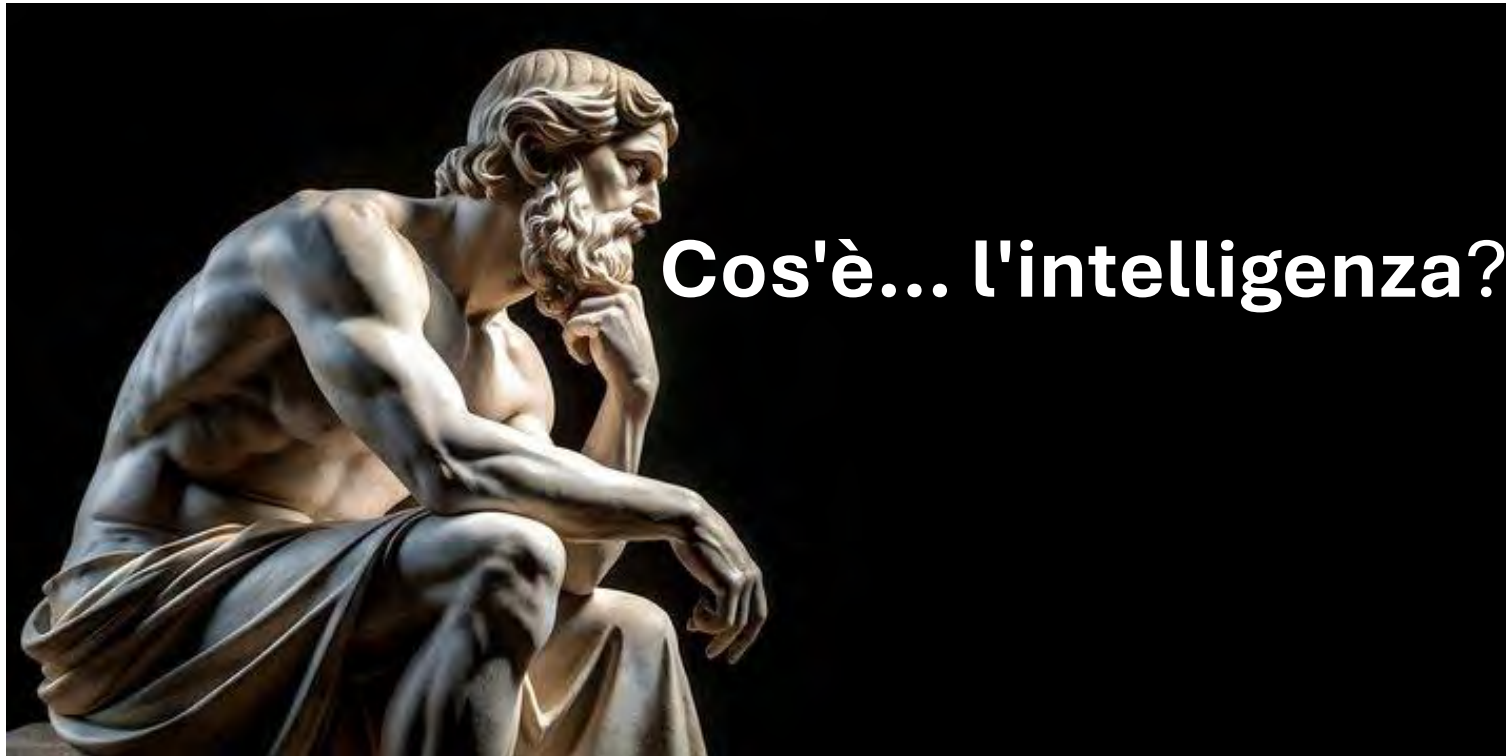


AI: simulazione di un comportamento intelligente simile a quello umano

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?



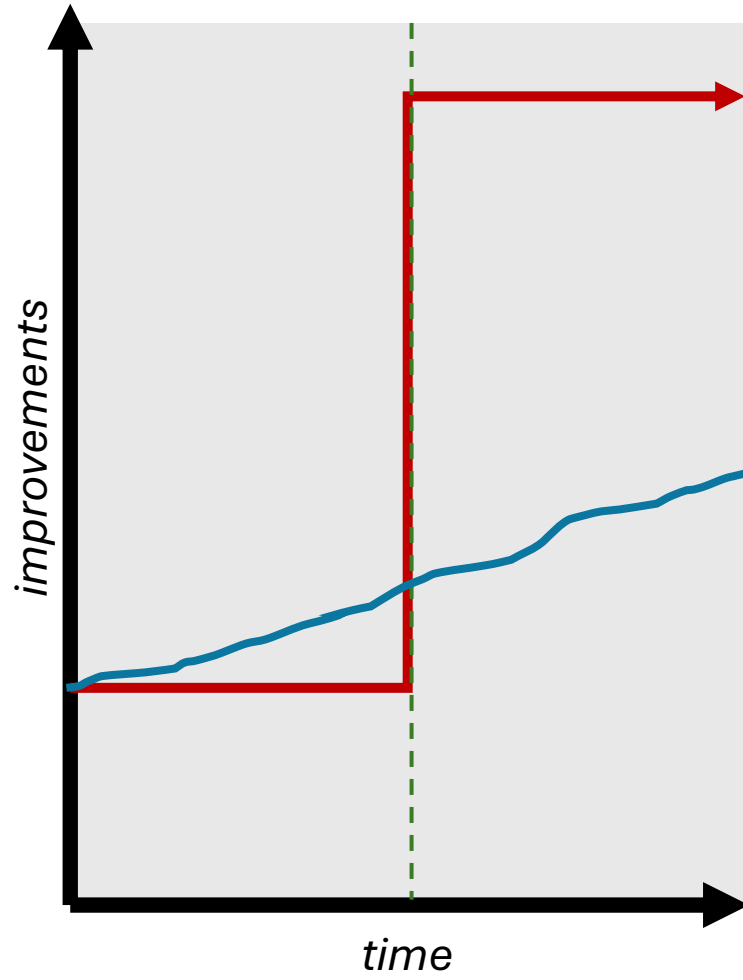
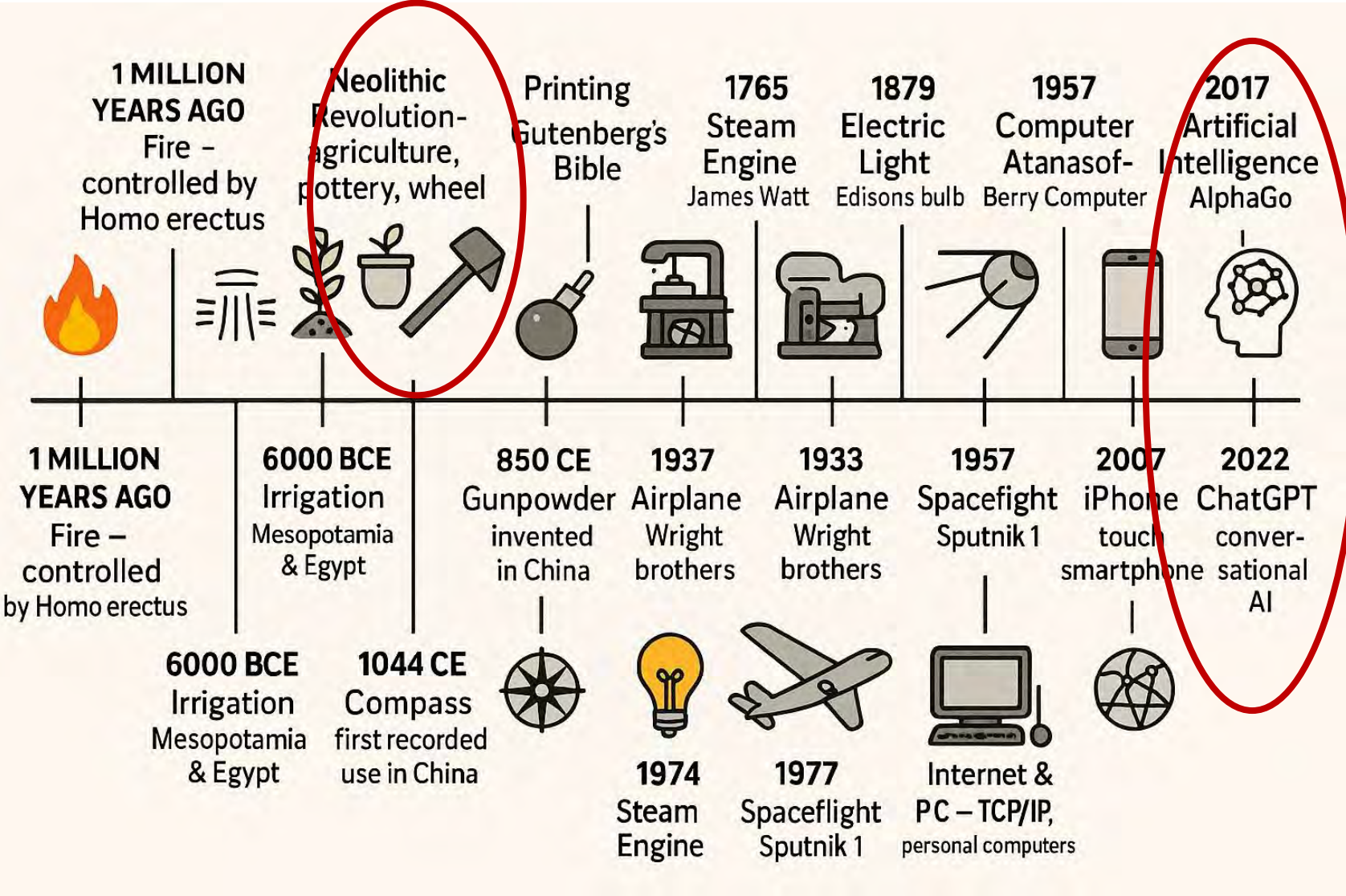
WHAT IS INTELLIGENCE?

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

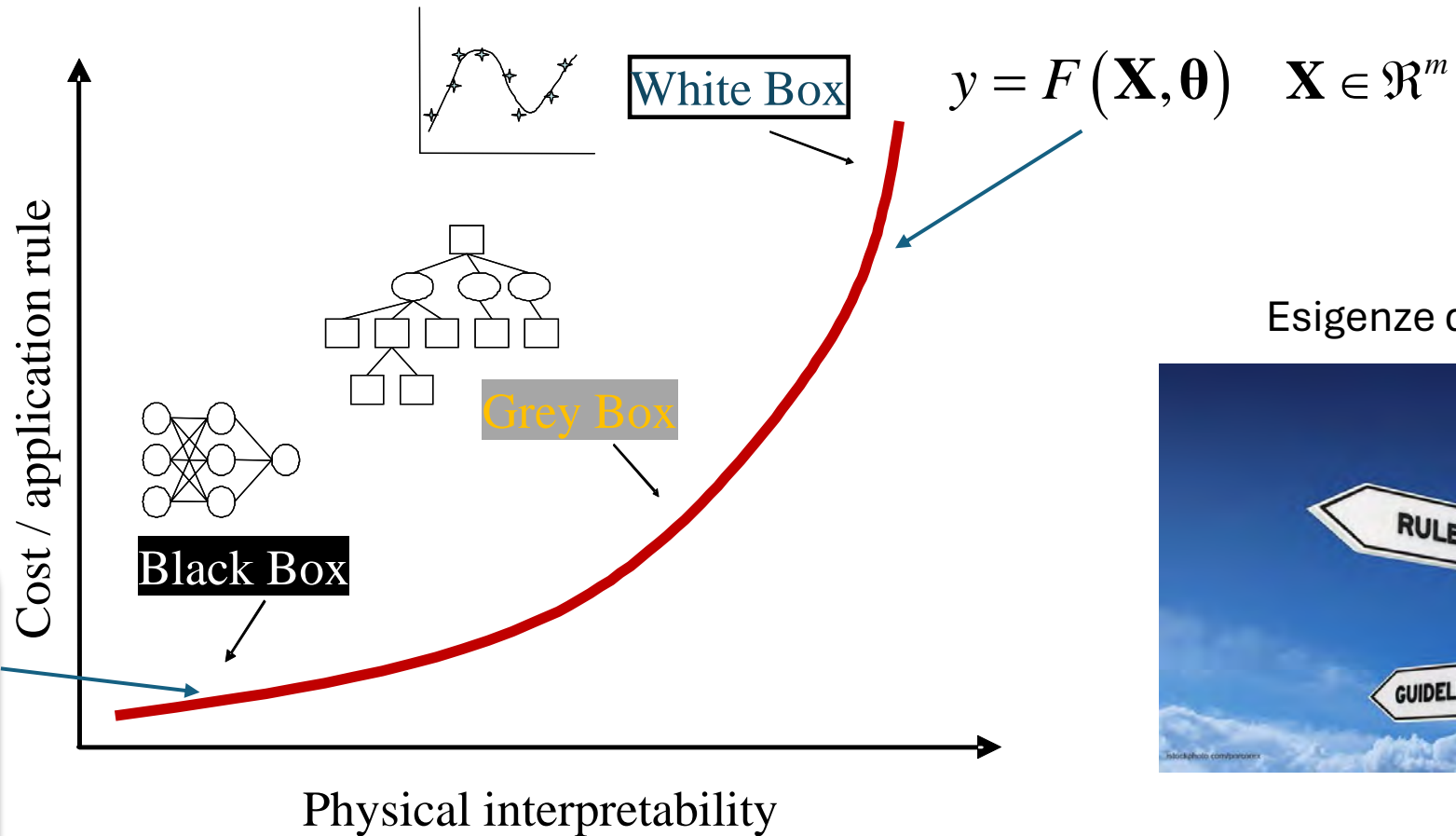


Scopri l'ordine nascosto nel mezzo del caos

Rivoluzioni tecnologiche: motori di cambiamento



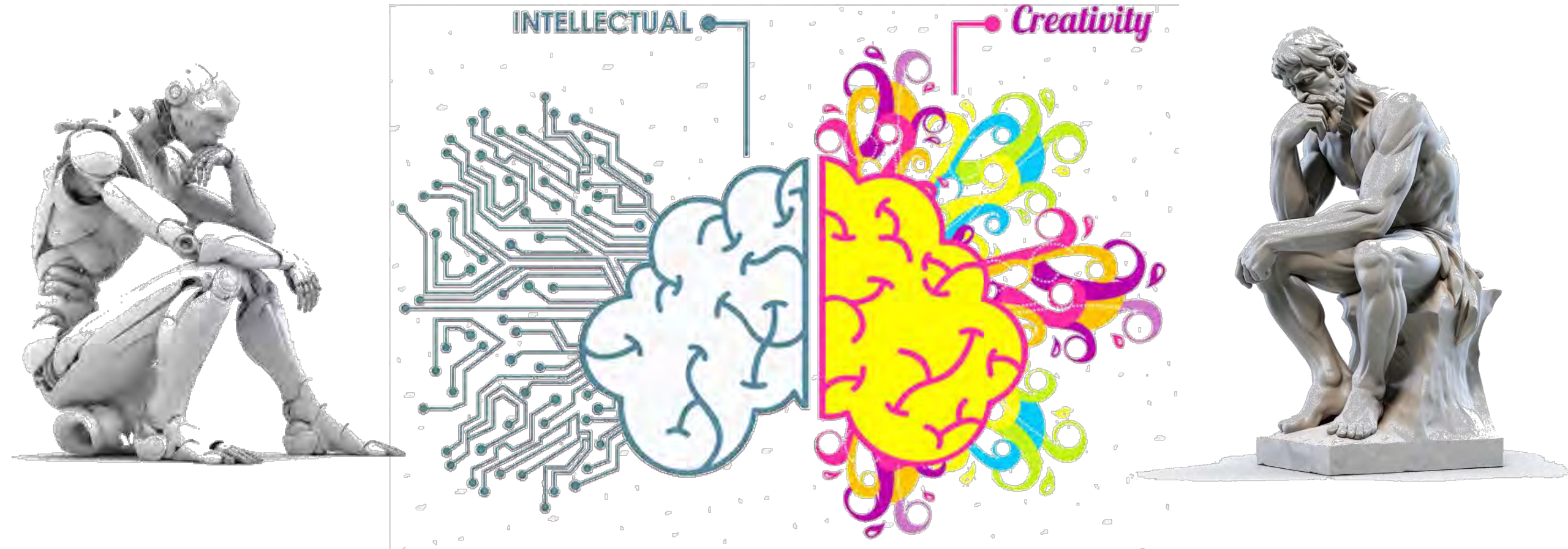
Classificazione dei modelli di conoscenza



Esigenze di ingegneria civile



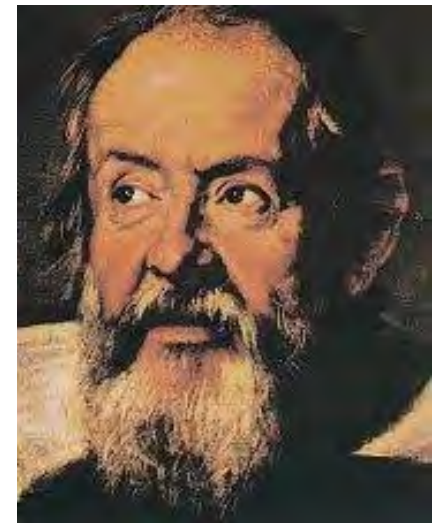
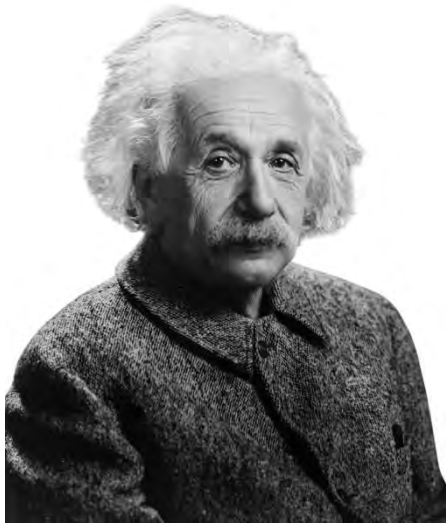
Includere la Visione AI nell'Ingegneria Civile???

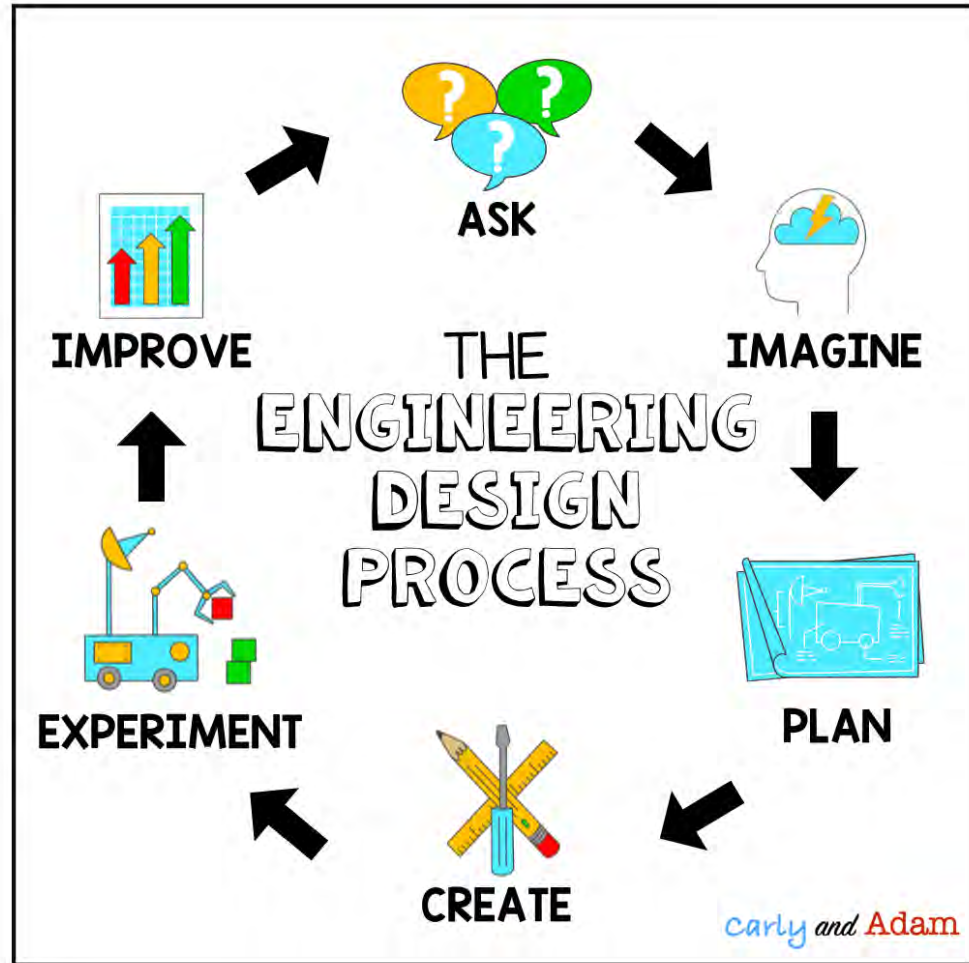


Futuro dell'IA nell'Ingegneria Civile

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







Perché avere a che fare con **AI**?

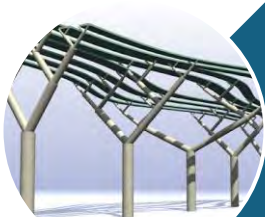
DOMANDE APERTE NELLA GESTIONE DELLE COSTRUZIONI



Complexity

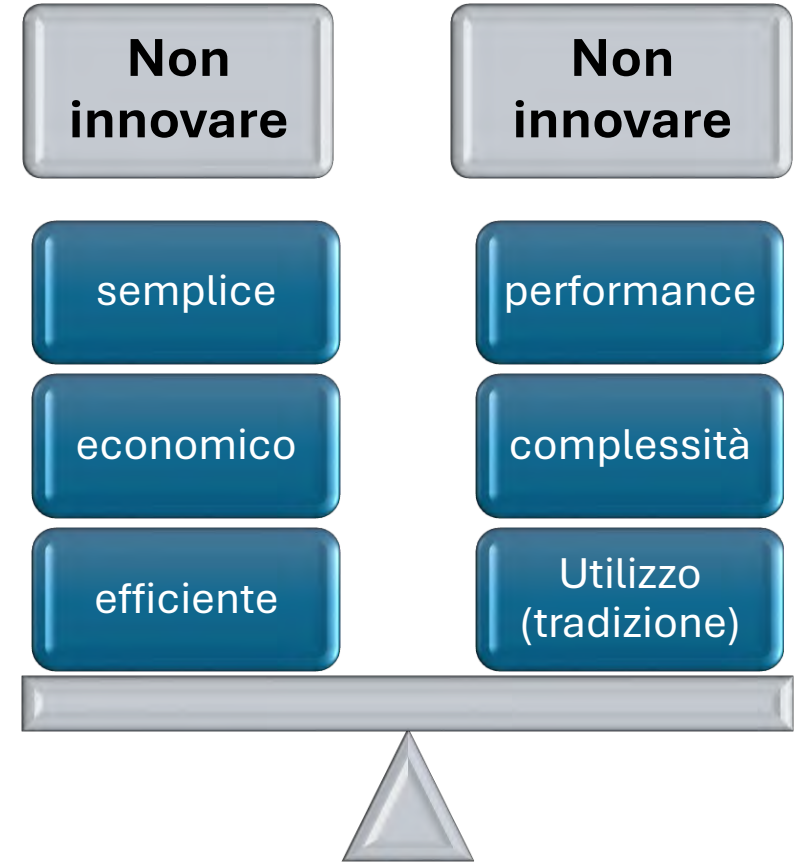


Structural Health Monitoring



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.

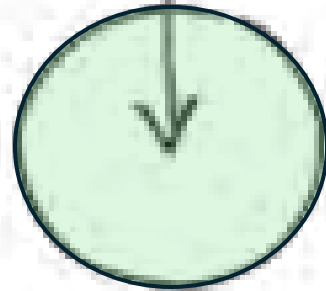
Lo spostamento delle persone dalle aree rurali a quelle urbane ha messo sempre più sotto pressione un'infrastruttura già sovraccaricata.

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

Your
comfort
zone



Where
the magic
happens



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

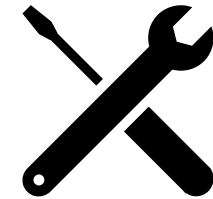
$$\min \{ f(\mathbf{x}) \}$$

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

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

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

Design Vector

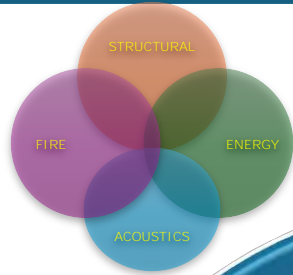


tools

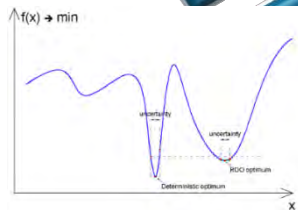
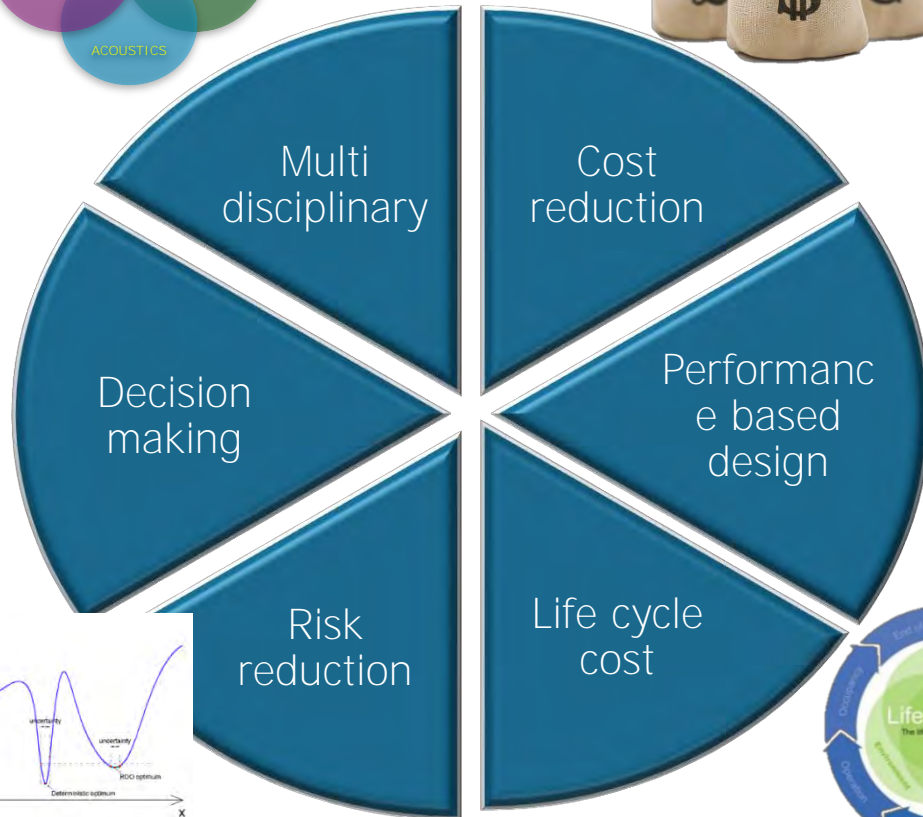
Paradigm

- 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)

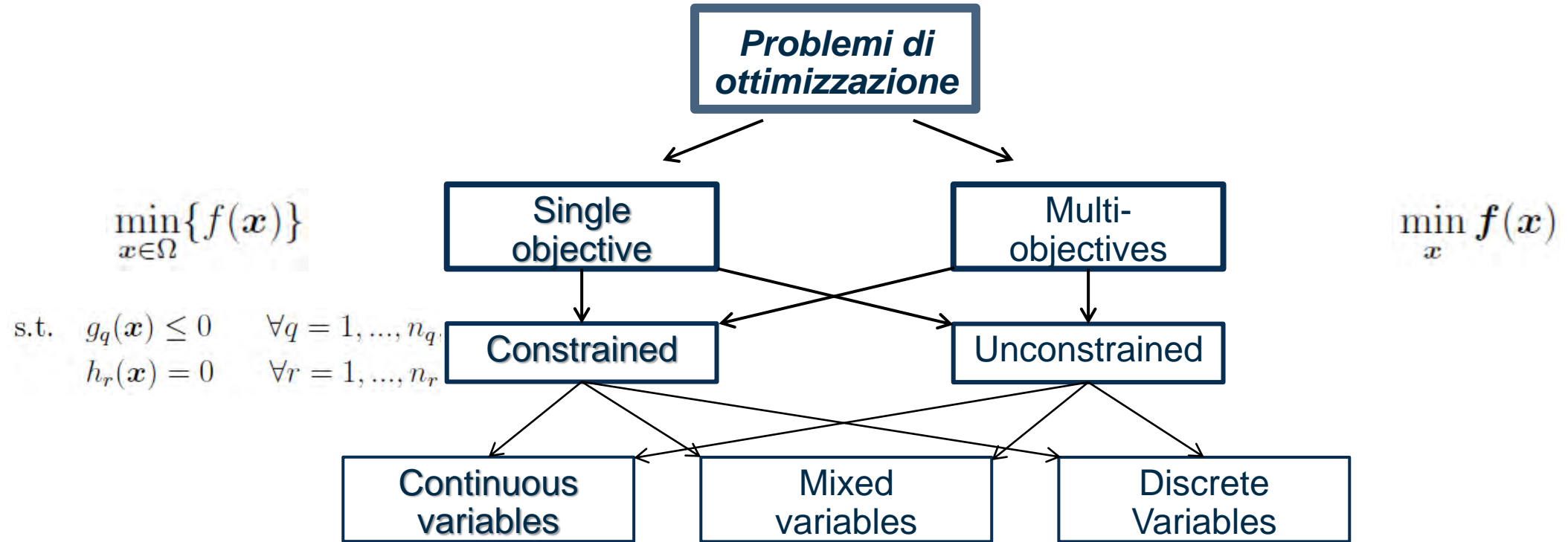


Gottfried Leibnitz (1646-1716) (Differential calculus methods of optimization)



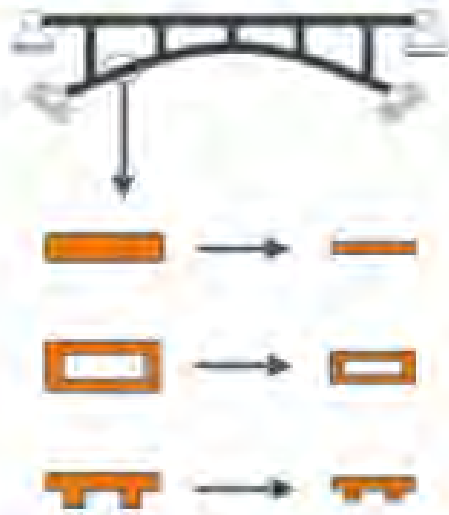
Harold William Kuhn (1925-2014) (Necessary and sufficient conditions for the optimal solution of programming problems, game theory)

Problemi di ottimizzazione

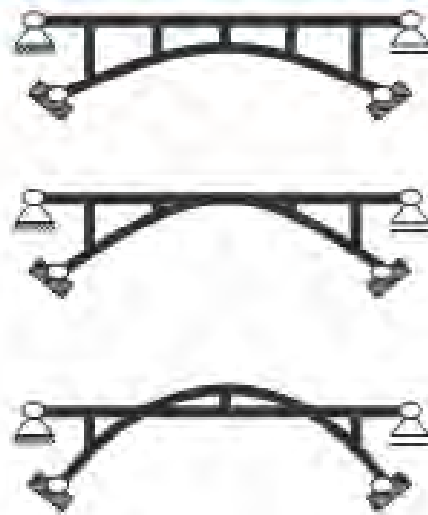


State of the Art: Optimization as Better Design

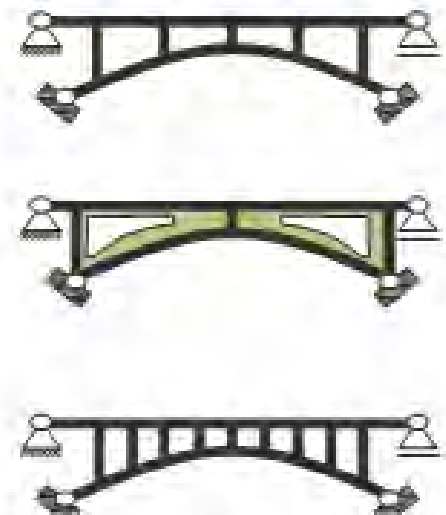
Sizing



Shape Optimization



Topology



Algoritmi non classici (Soft Computing)

Trattano paradigmi ispirati socialmente, fisicamente e/o biologicamente

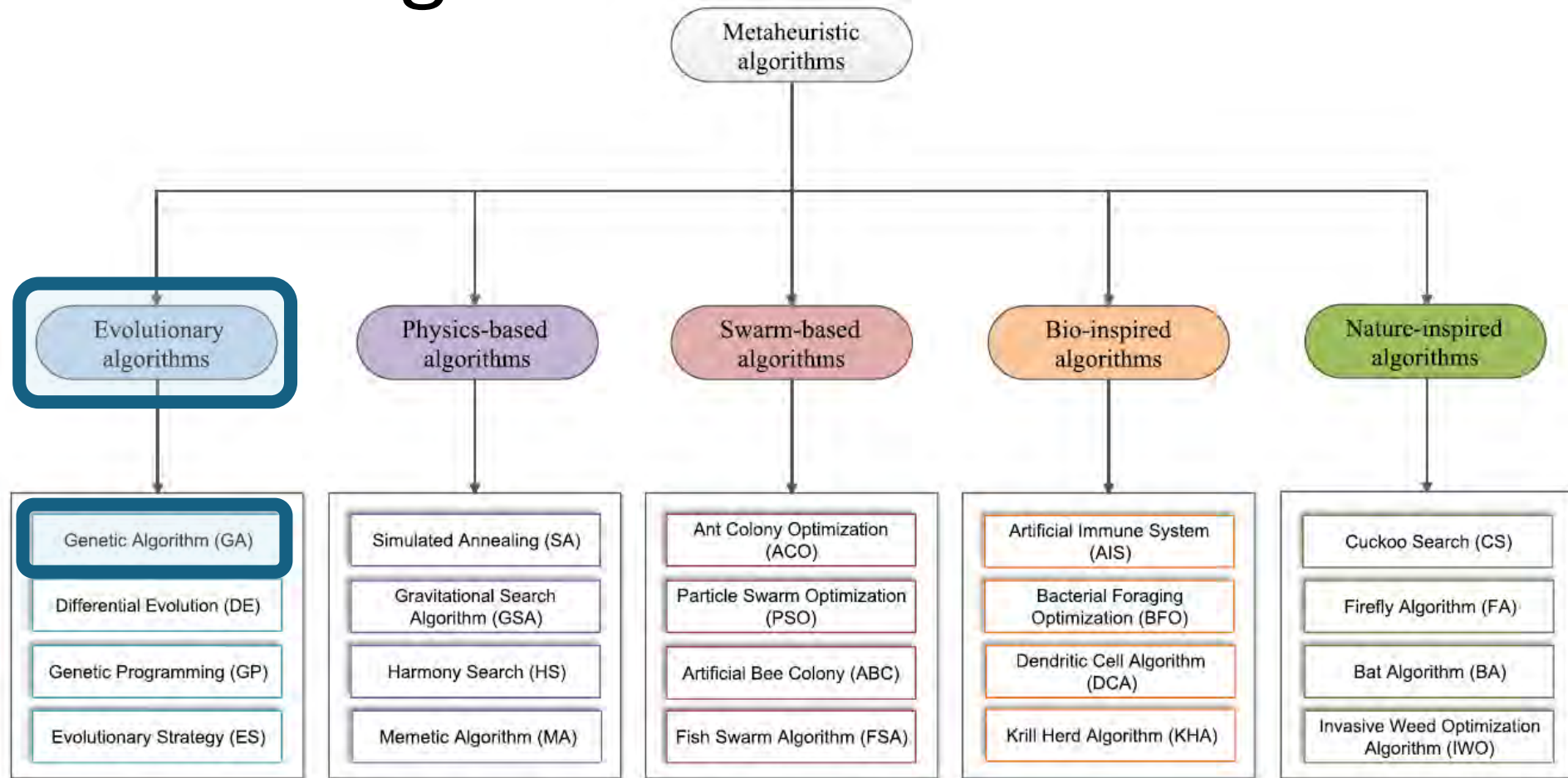
In this field, the most popular soft computing techniques are **Artificial Neural Networks** and **Evolutionary Algorithms (EA)**

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.

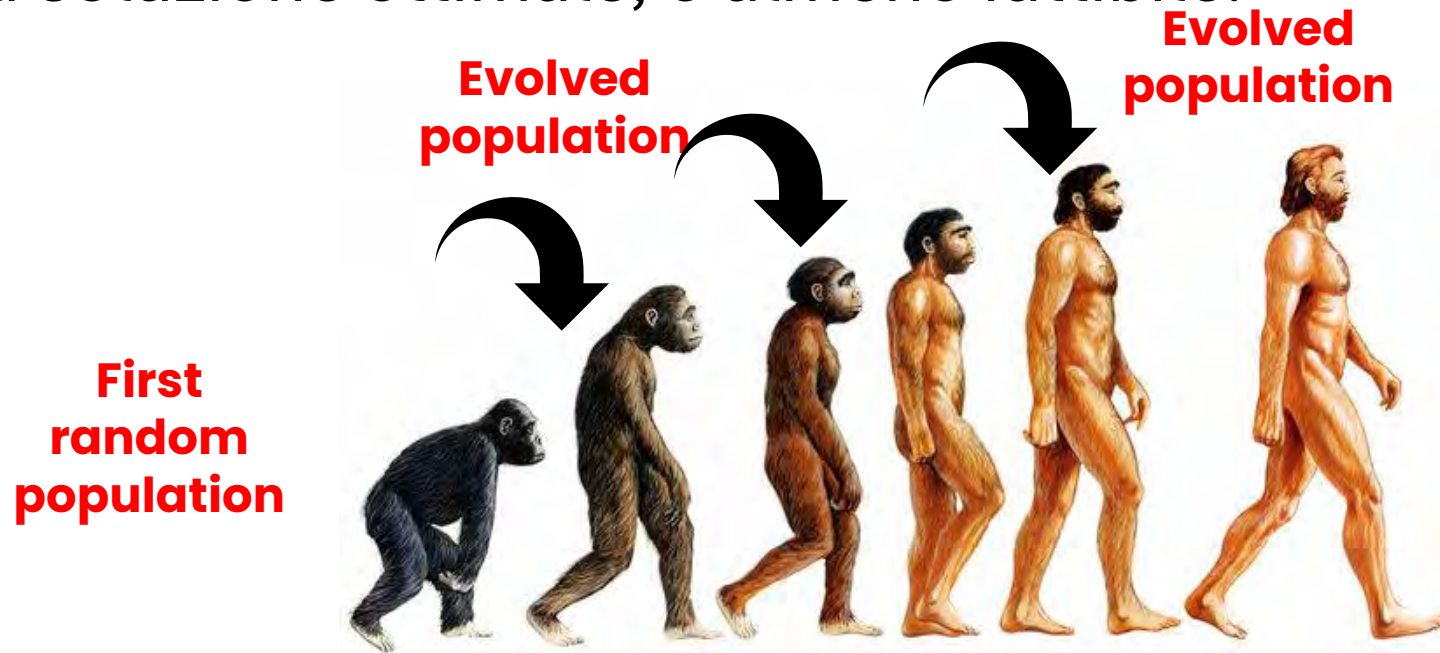


Metaheuristic algorithms

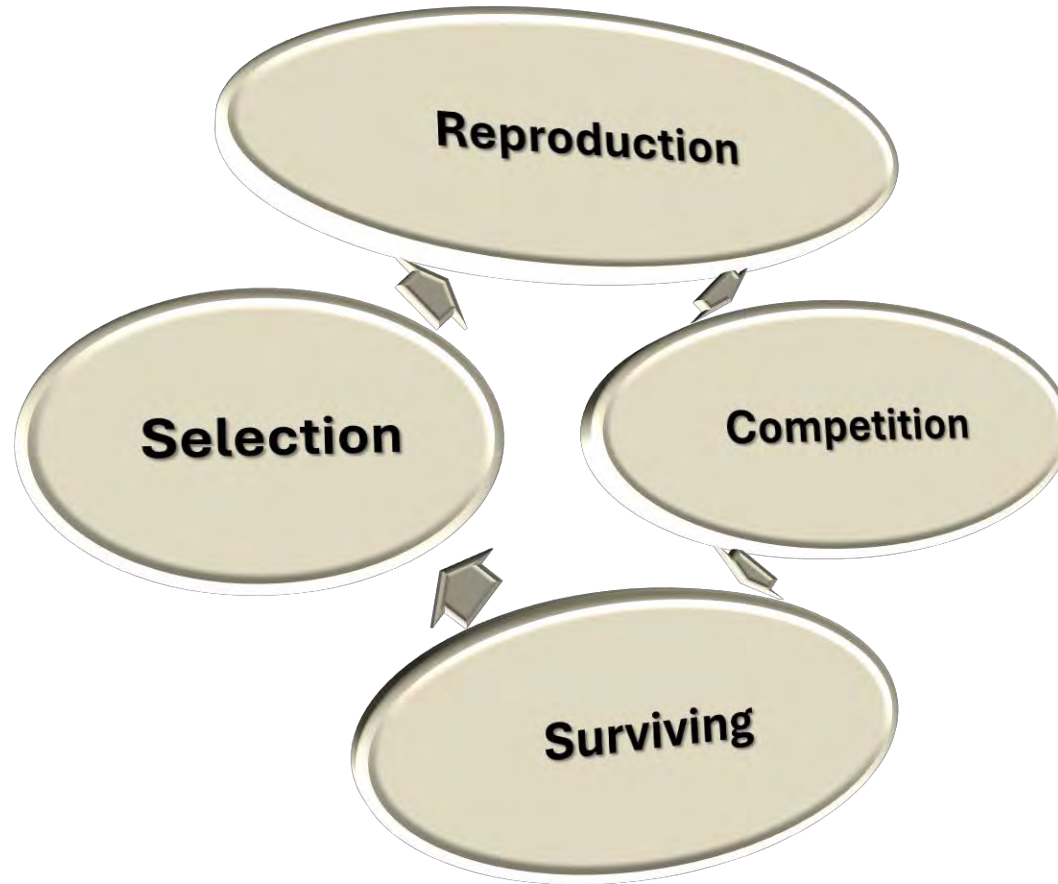
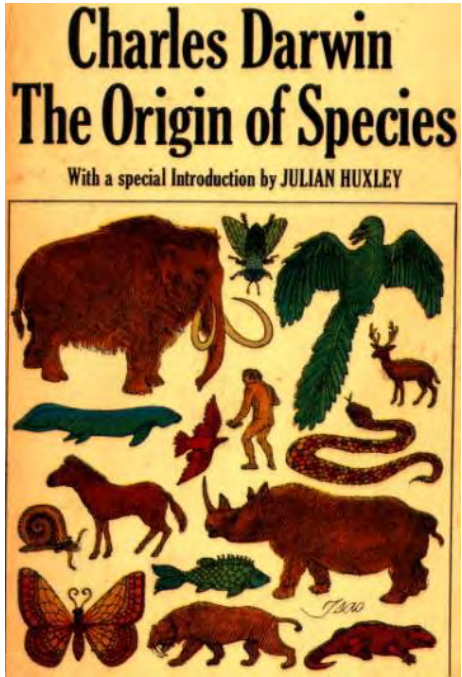


Calcolo evolutivo

- 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)



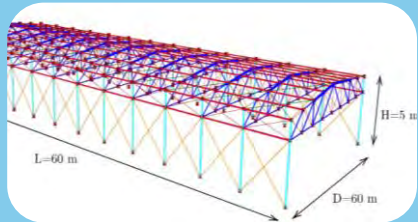
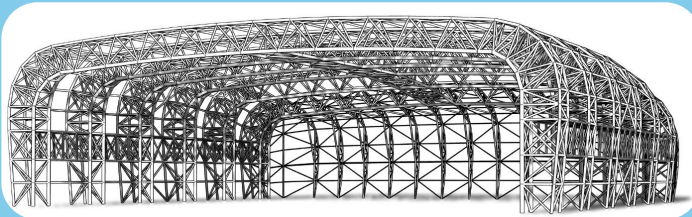
GA's are based on Darwin's theory of evolution

Evolutionary computing evolved in the 1960's.

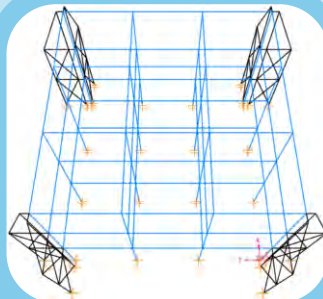
GA's were created by John Holland in the mid-70's.

STRUCTURAL OPTIMIZATION

OPTIMAL DESIGN OF STEEL STRUCTURES



New Structures

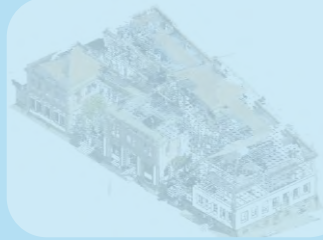


Retrofitting Systems

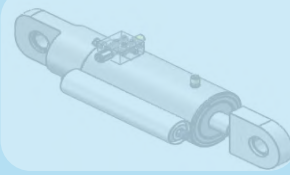
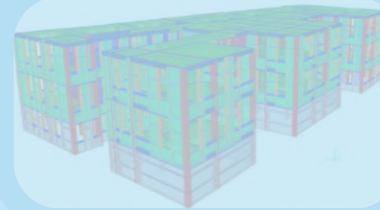


Parametric / Optimization Tools

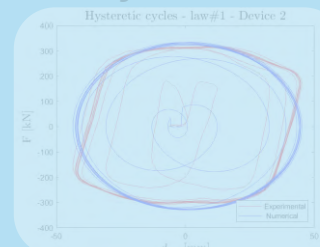
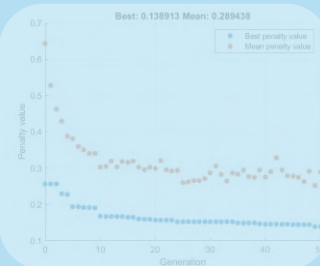
OPTIMAL FINE-TUNING OF NUMERICAL MODELS



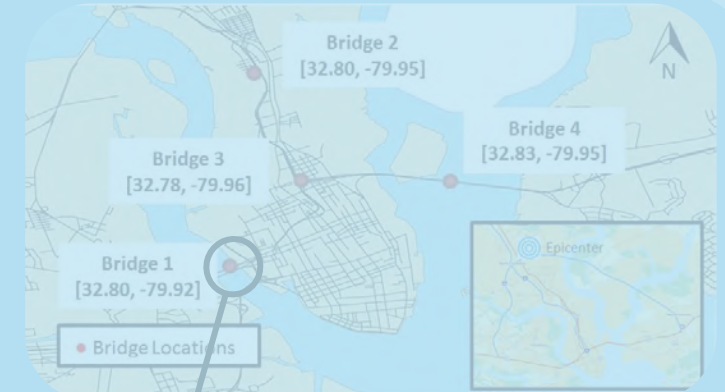
Existing Buildings



Dissipative Systems



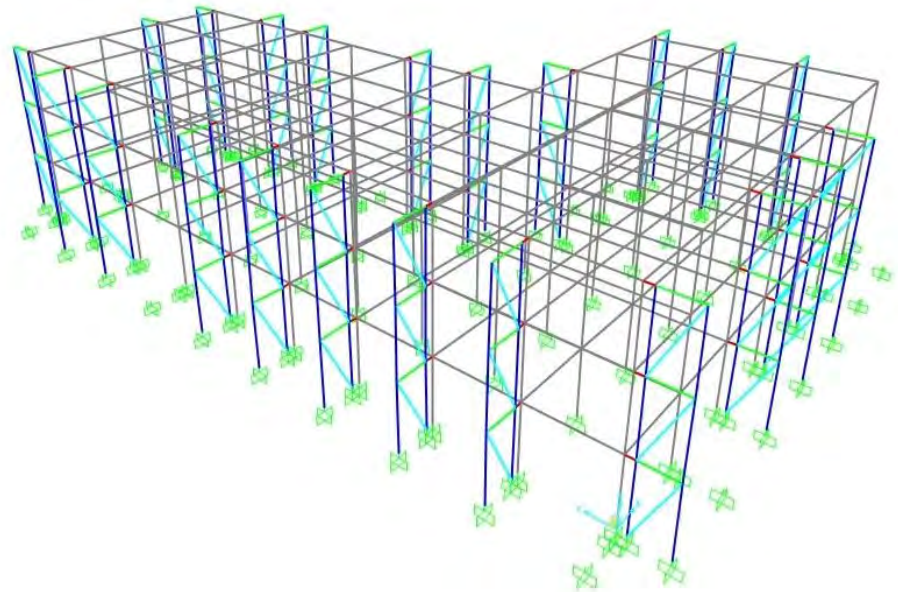
OPTIMAL PRIORITIZATION MANAGEMENT OF INFRASTRUCTURE NETWORKS



Optimal Retrofitting Strategy



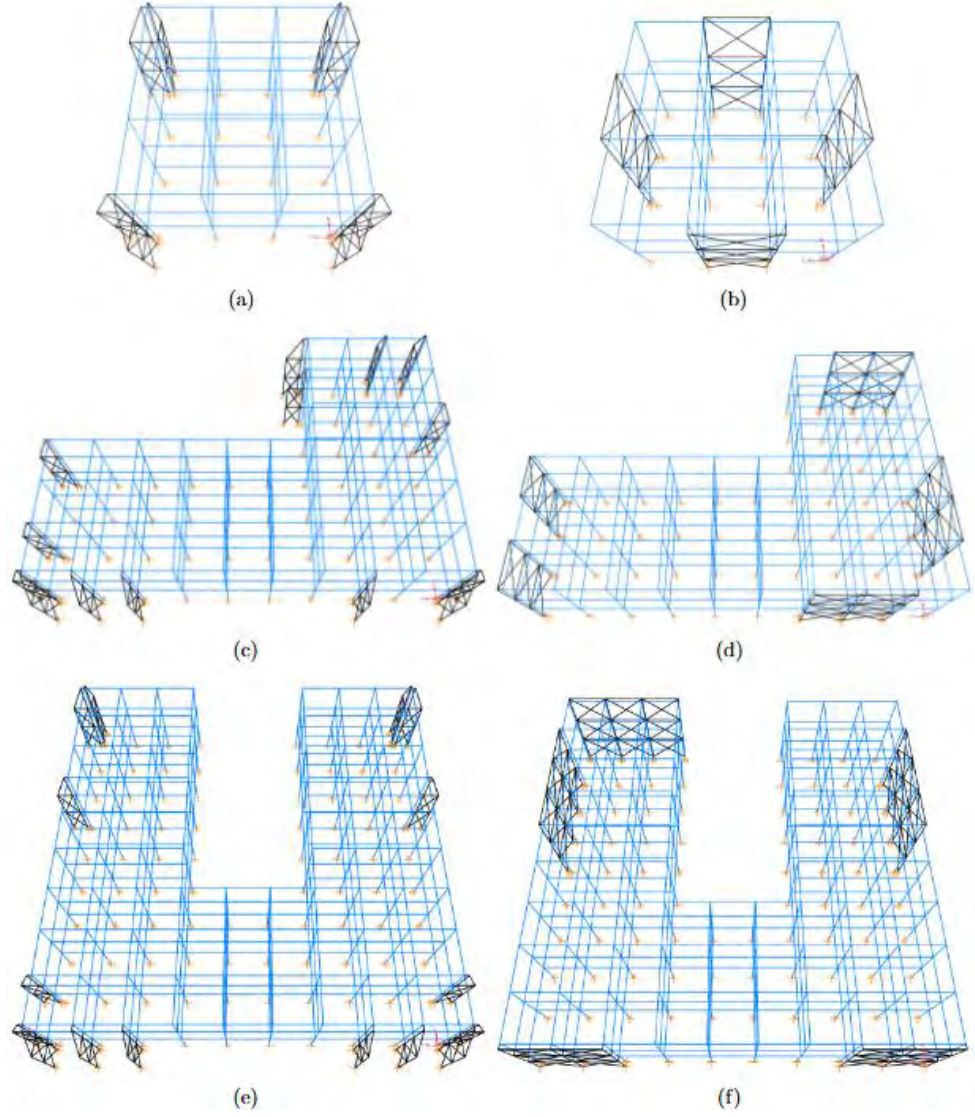
● **STRUCTURAL OPTIMIZATION** → **Optimal Retrofitting**



OBJECTIVE FUNCTION:
Minimization of the **Structural Cost**

Subjected to:

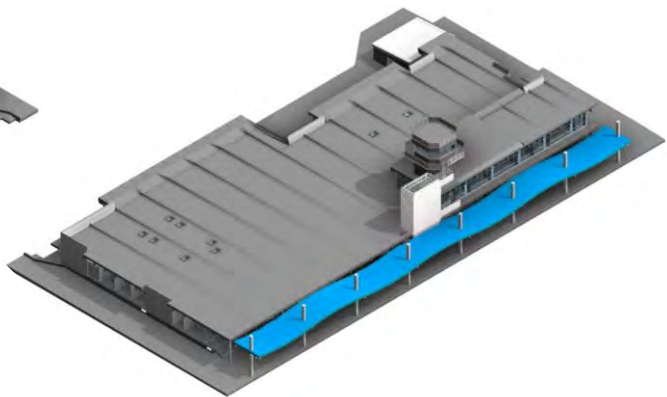
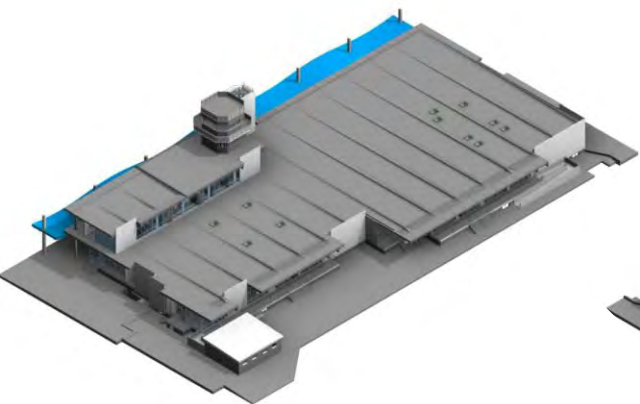
- Structural constraint → **Safety**
- Performance constraint → **Displacement-based**



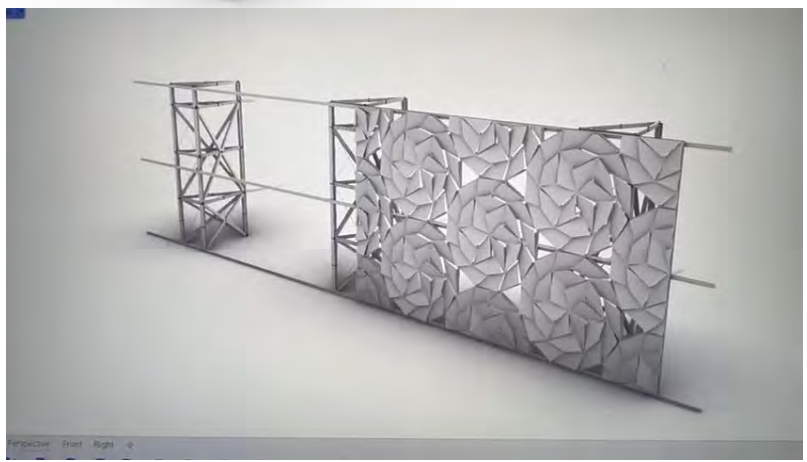
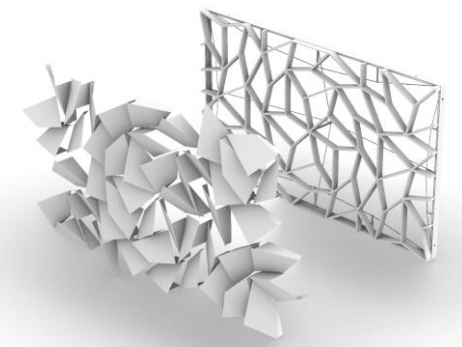
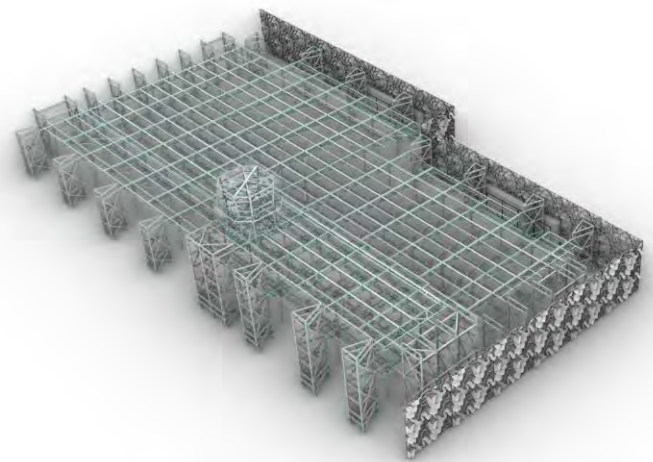
● STRUCTURAL OPTIMIZATION → Optimal Retrofitting

Practical Application of Real-World Projects

As-Built Building

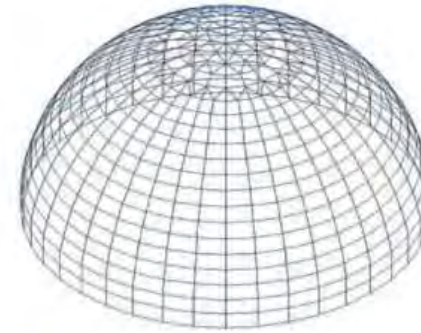


Retrofitted Scenario



State of the Art: Optimization as Better Design

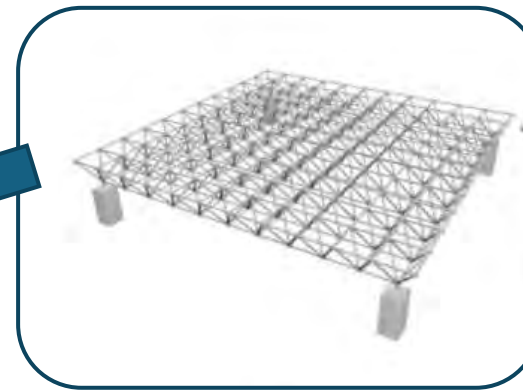
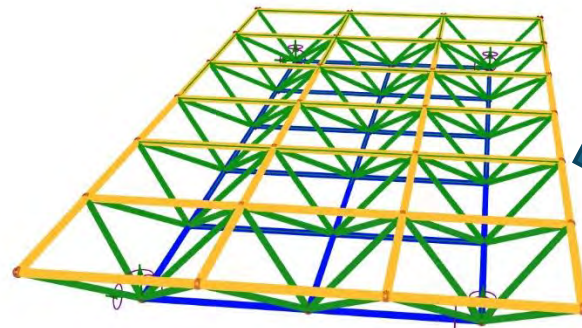
Space frame



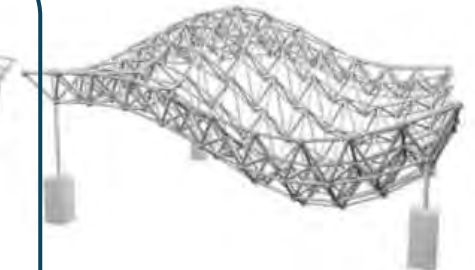
Dome



Arch



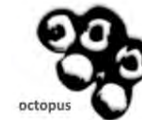
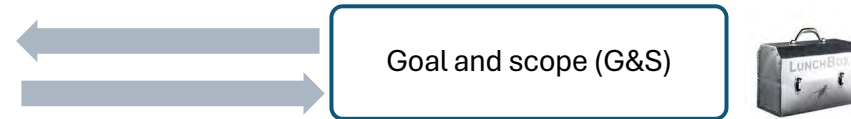
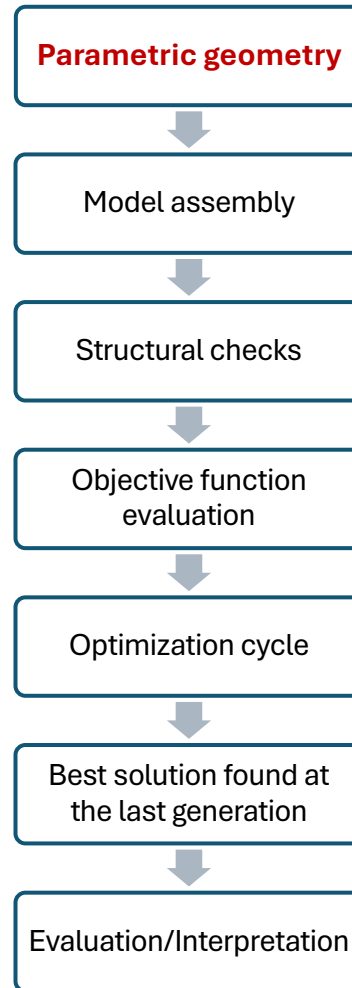
Flat



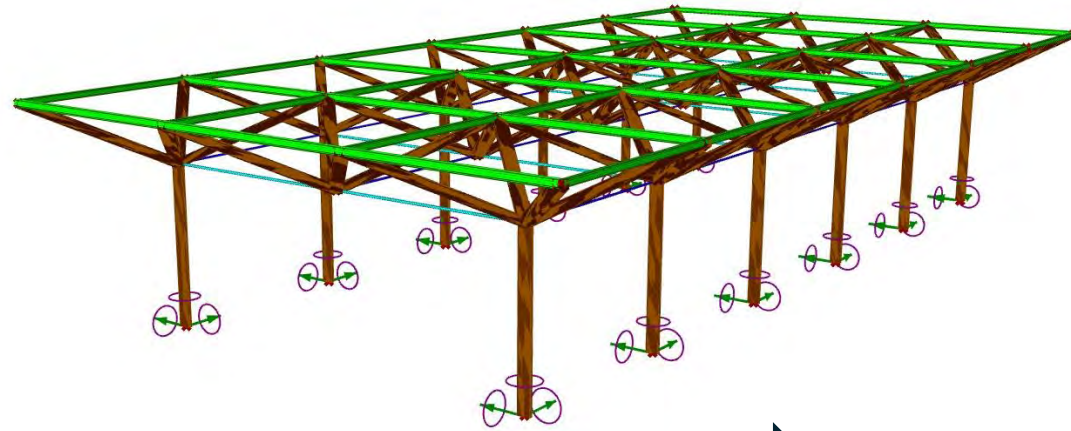
Special Shape

Stato dell'arte: ottimizzazione come design migliore

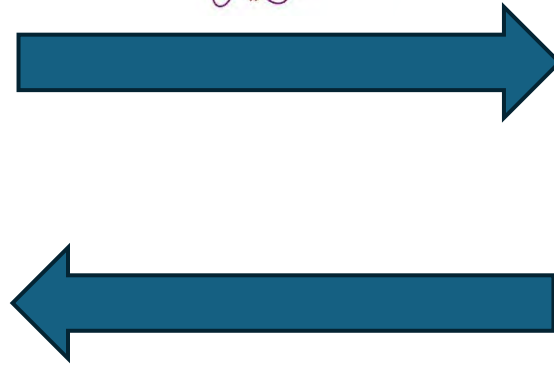
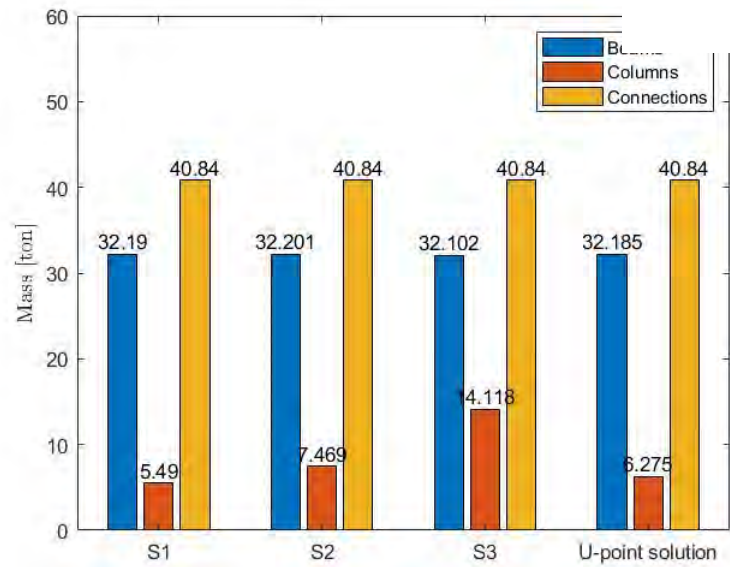
Overall procedure flow - Methodology



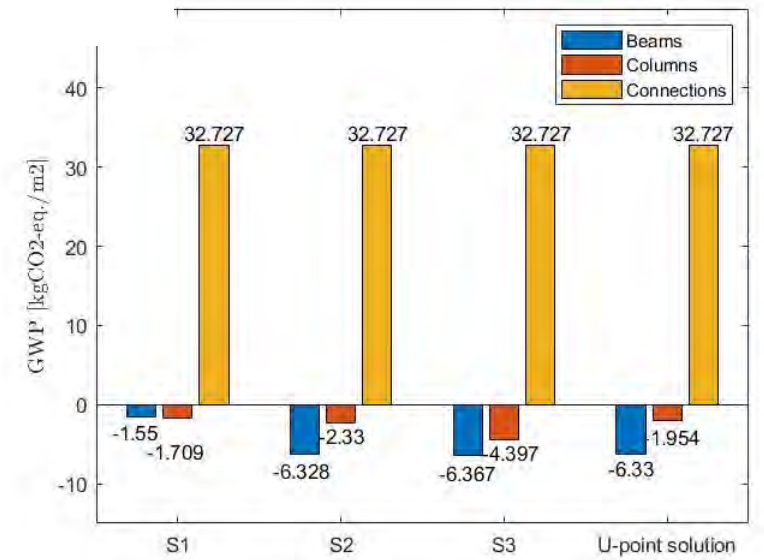
LCA integration



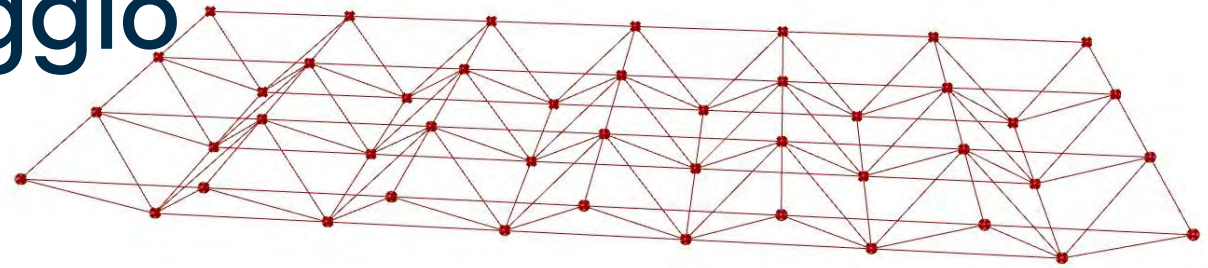
Mass



CO2 Emission



Studio di caso: Geometria parametrica e assemblaggio del modello



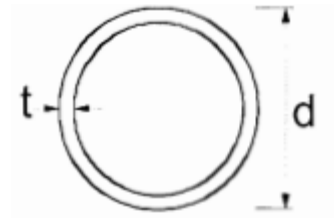
Space frame pre-design

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

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

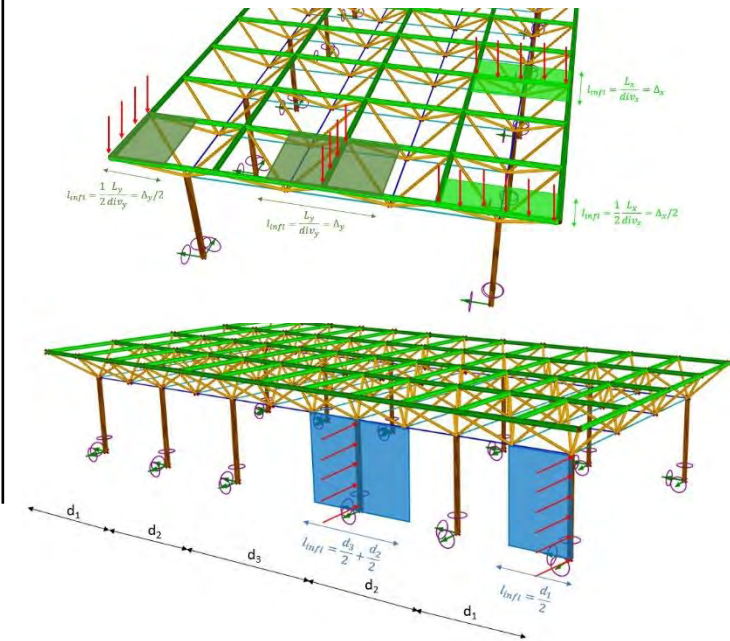
Beam cross-sections

Steel S355, CHS (EN10219-2)

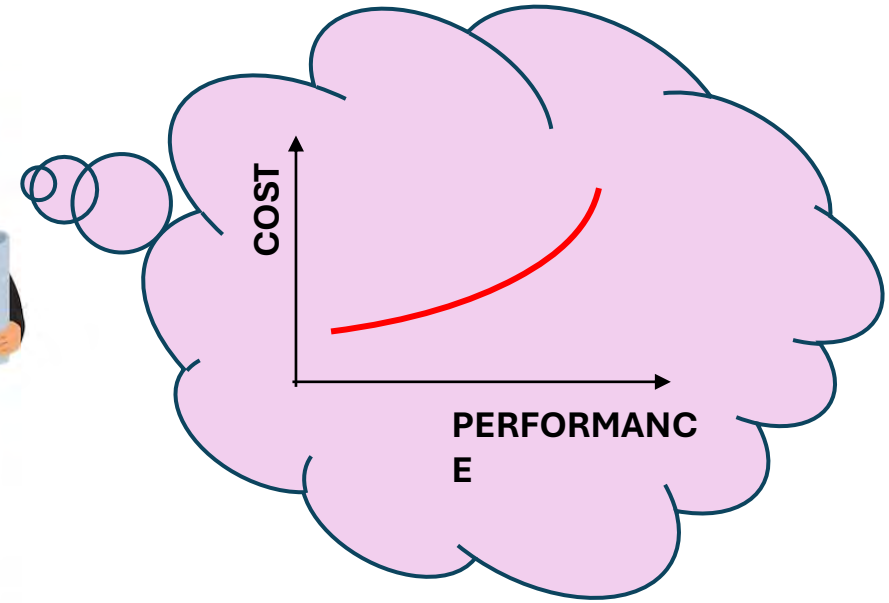
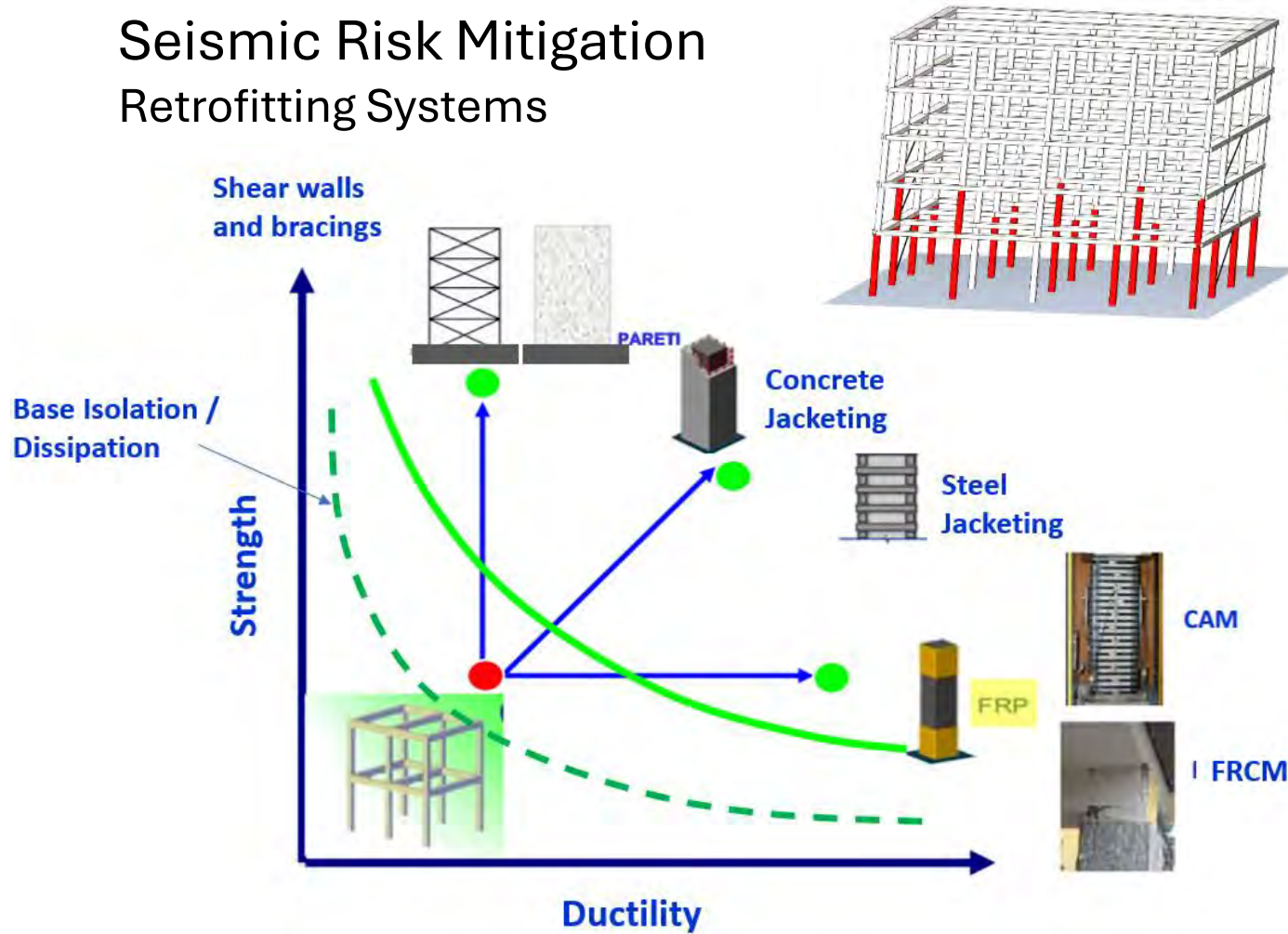


Applied Loads (ULS combination):

- Gravitational and Horizontal loads



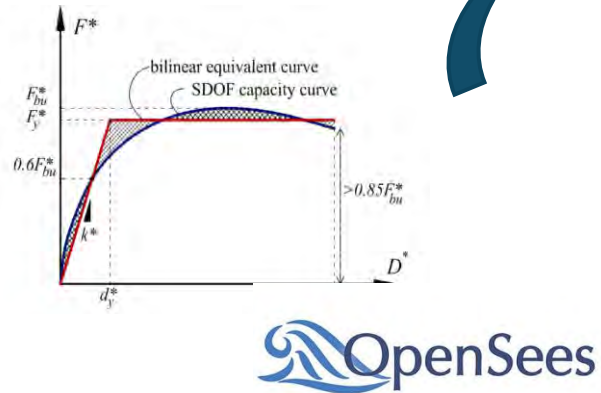
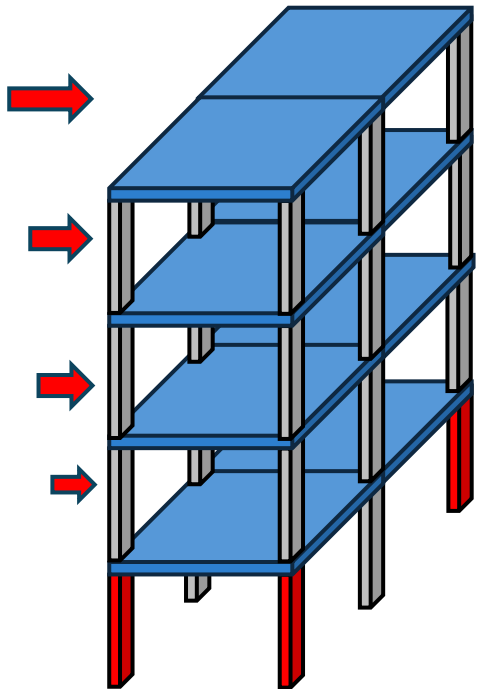
Seismic Risk Mitigation Retrofitting Systems



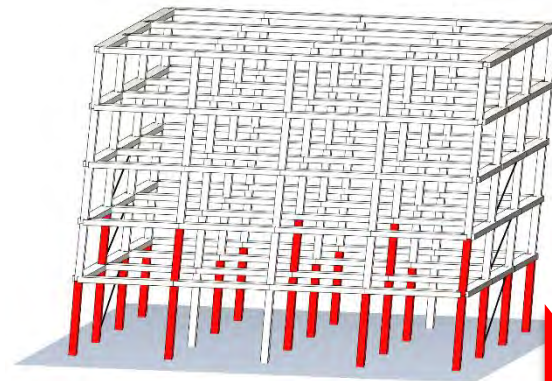
Impact

- Costs
- Invasiveness
- Downtime

Analisi del modello e valutazione della fitness



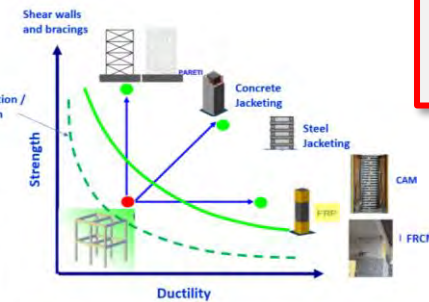
FINAL OUTPUT



MATLAB
Genetic Algorithm (GA)



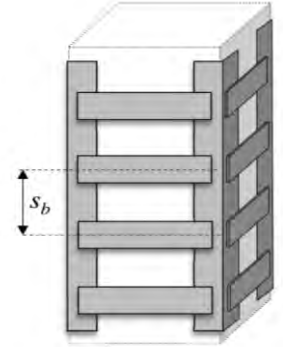
L'individuo più forte o "più adatto" è quello associato ai costi di retrofitting più bassi sotto un vincolo di sicurezza prefissato



Posizione e quantità di rinforzo minimizzando i costi

Genotype

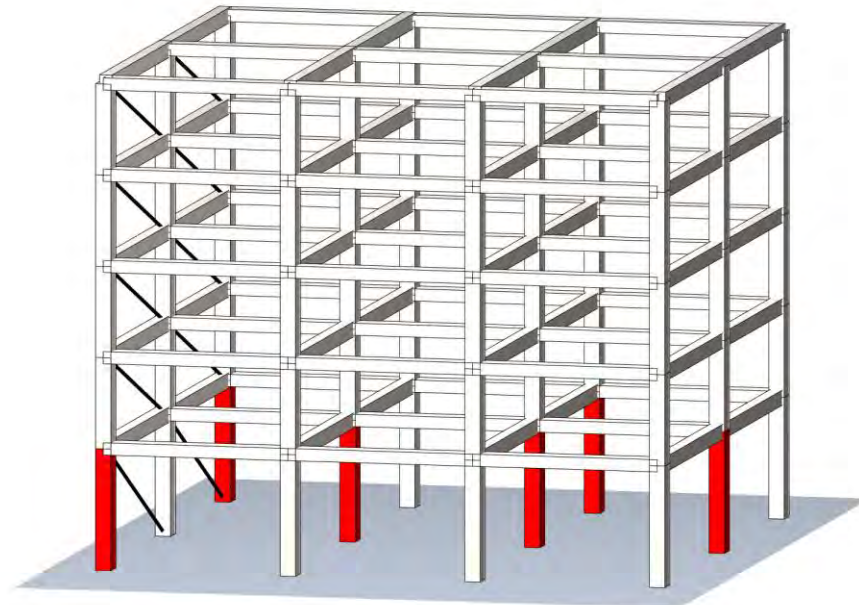
$$\mathbf{b} = \begin{pmatrix} s_b \\ \mathbf{p} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_b \\ c_{11} \\ c_{21} \\ c_{31} \\ c_{41} \\ c_{61} \\ c_{71} \\ c_{81} \\ c_{91} \\ c_{12} \\ c_{22} \\ c_{32} \\ c_{42} \\ c_{62} \\ c_{72} \\ c_{82} \\ c_{92} \end{pmatrix}$$



0 → Unretrofitted column
1 → Retrofitted column

Genetic algorithm – Design vector encoding

Phenotype



Fitness

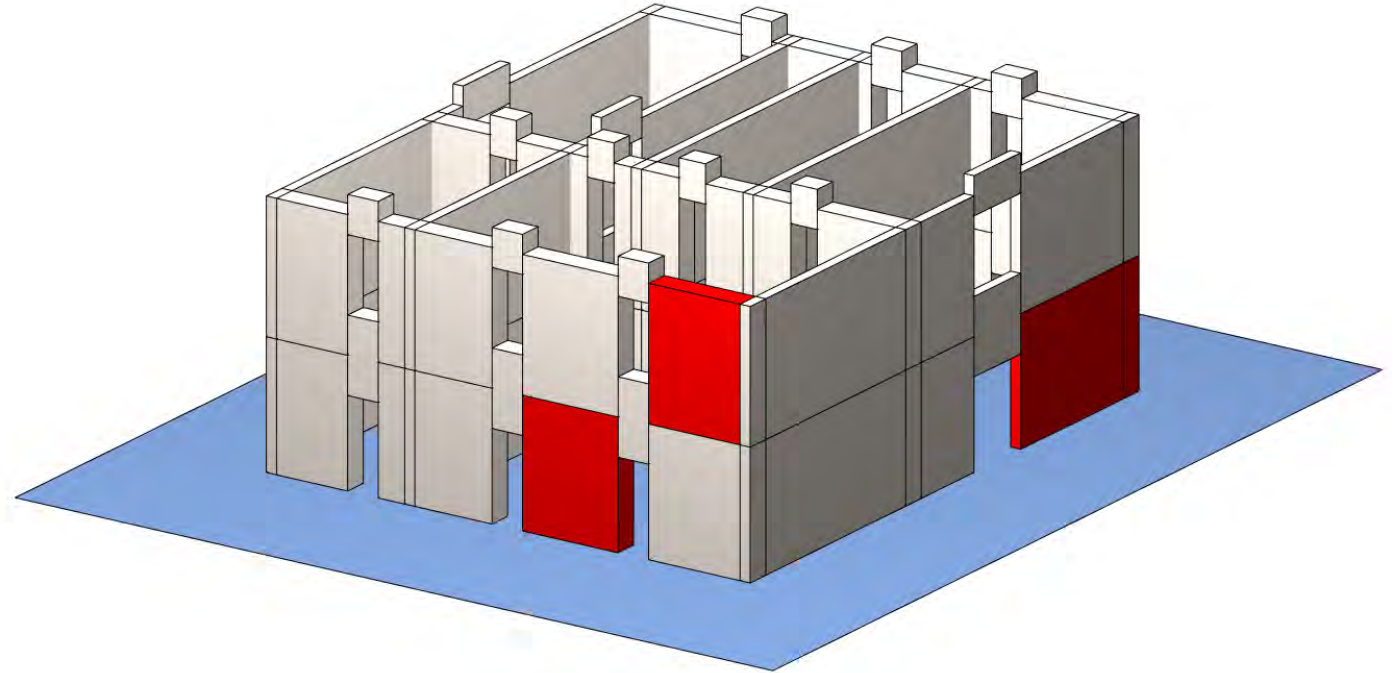
Cost of the intervention

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

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

$0 \rightarrow$
unreinforced

$1 \rightarrow$ reinforced

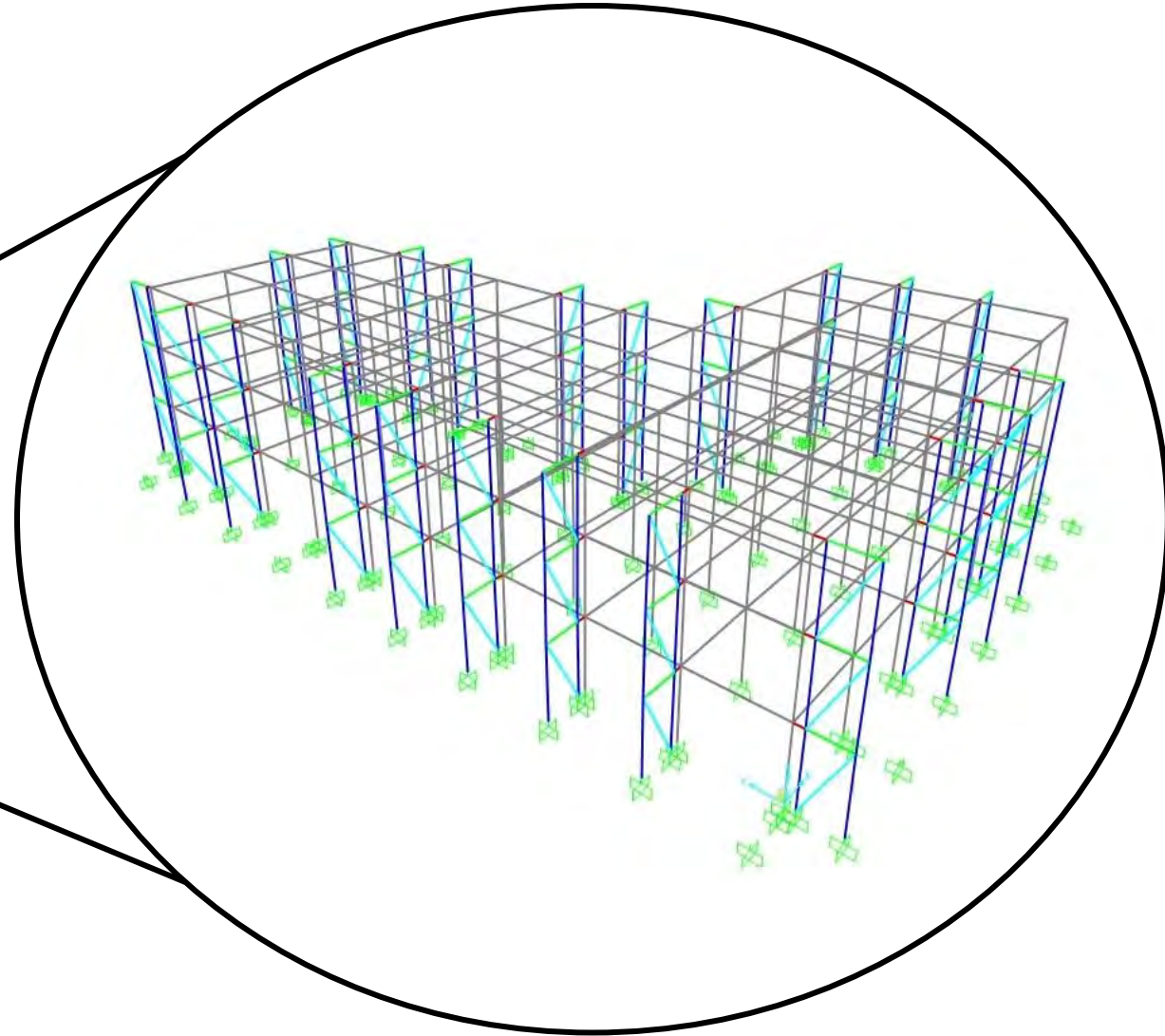
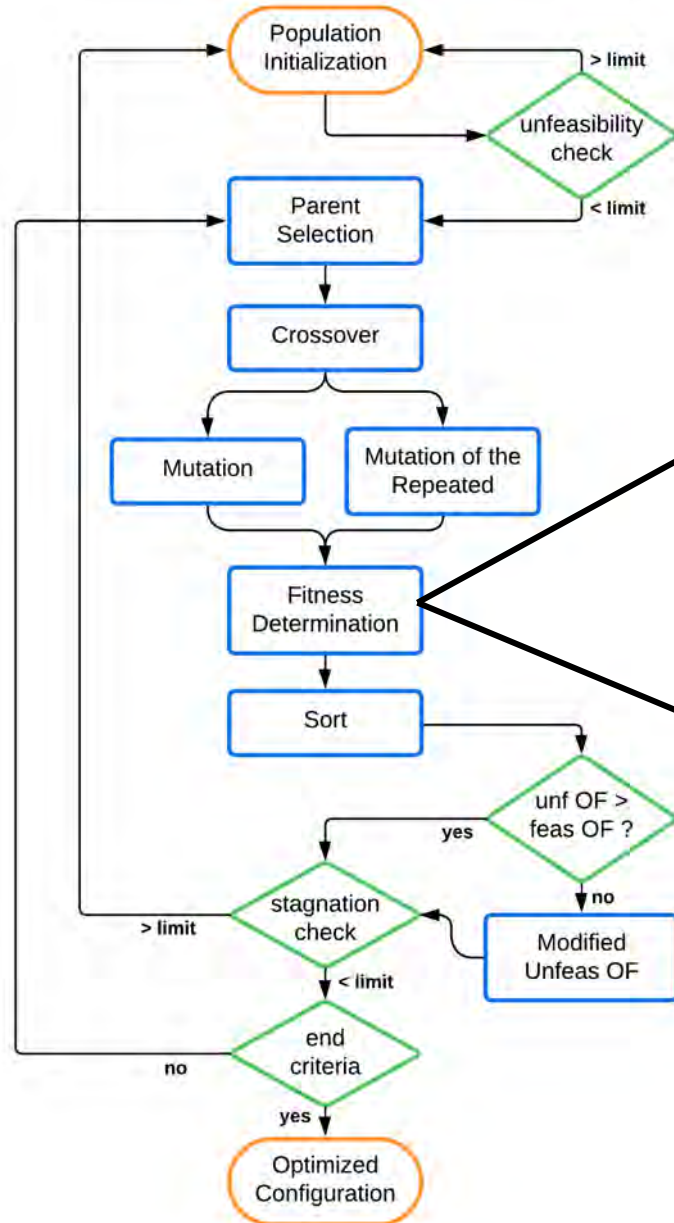


Ogni variabile decisionale (binarie) rappresenta la posizione del sistema di retrofitting all'interno della struttura

OPTIMIZATION ALGORITHM

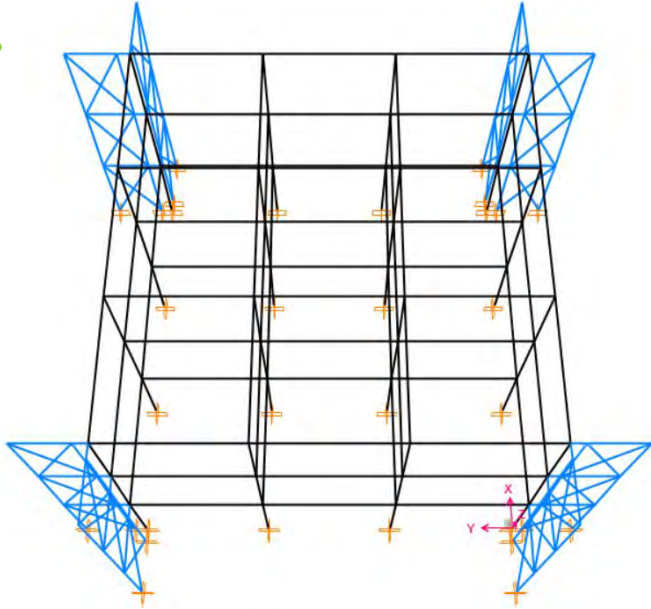
&

FEM ANALYSES

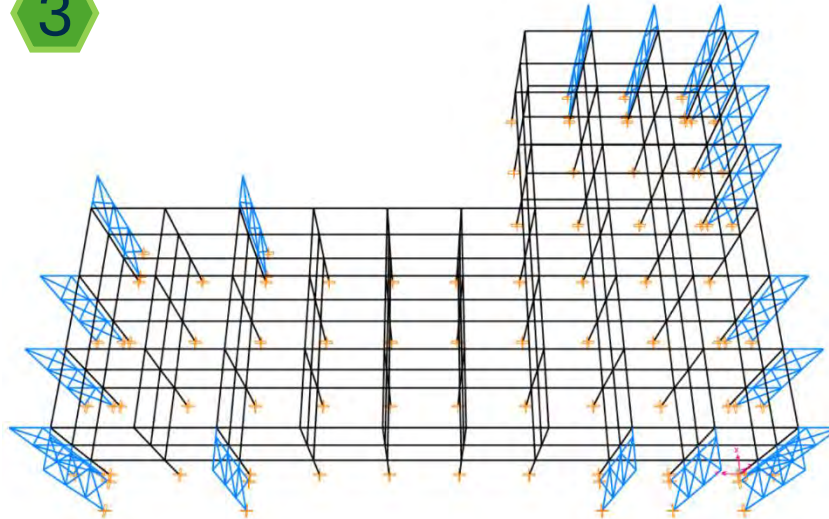


RESULTS: FINAL CONFIGURATIONS

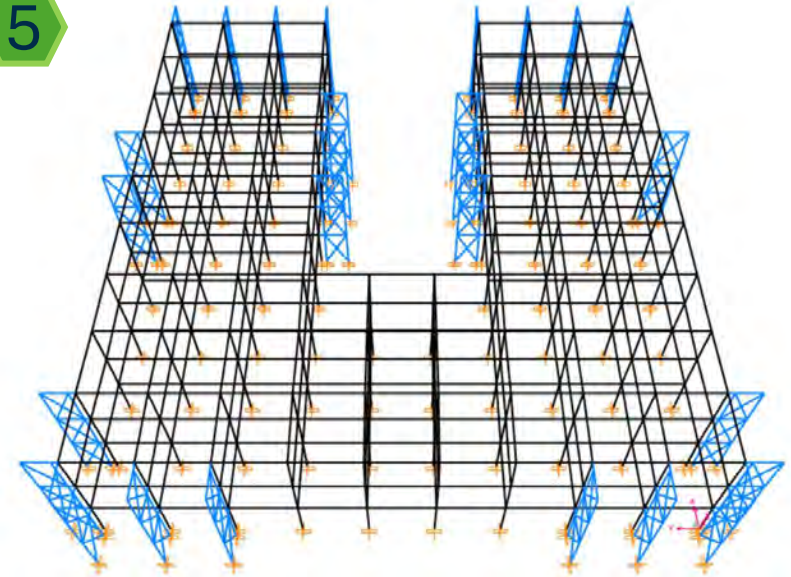
1



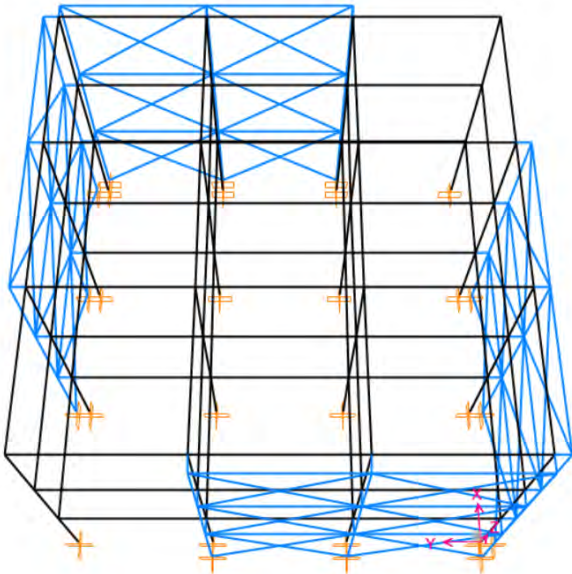
3



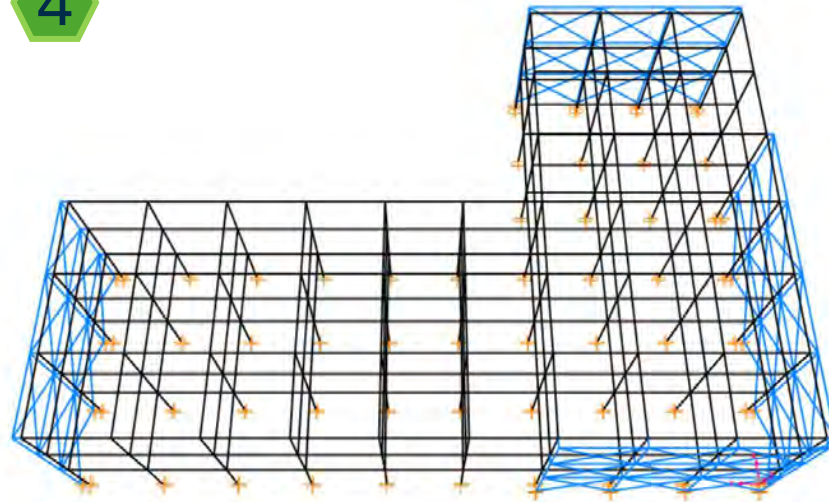
5



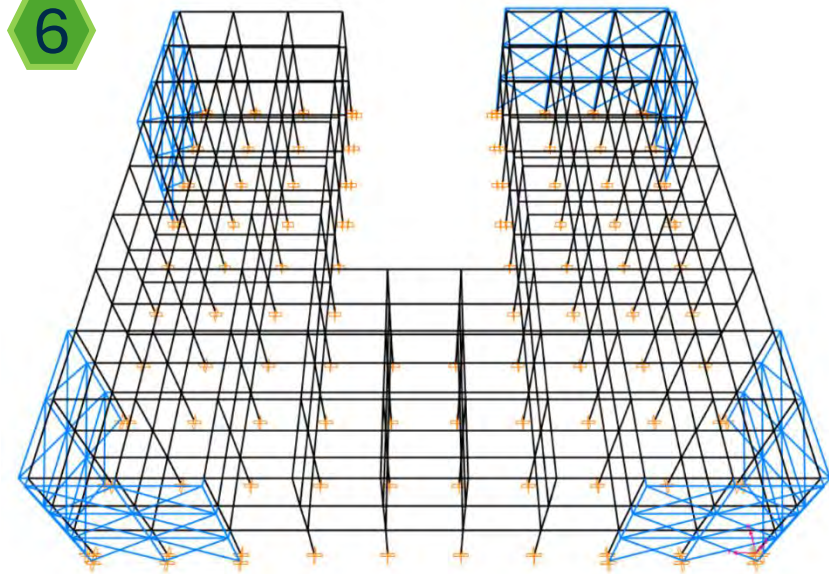
2



4



6



Machine Learning

Modelli che apprendono dai dati

Regressione e classificazione

Random Forest, SVM

Reti neurali

- Machine learning introduction

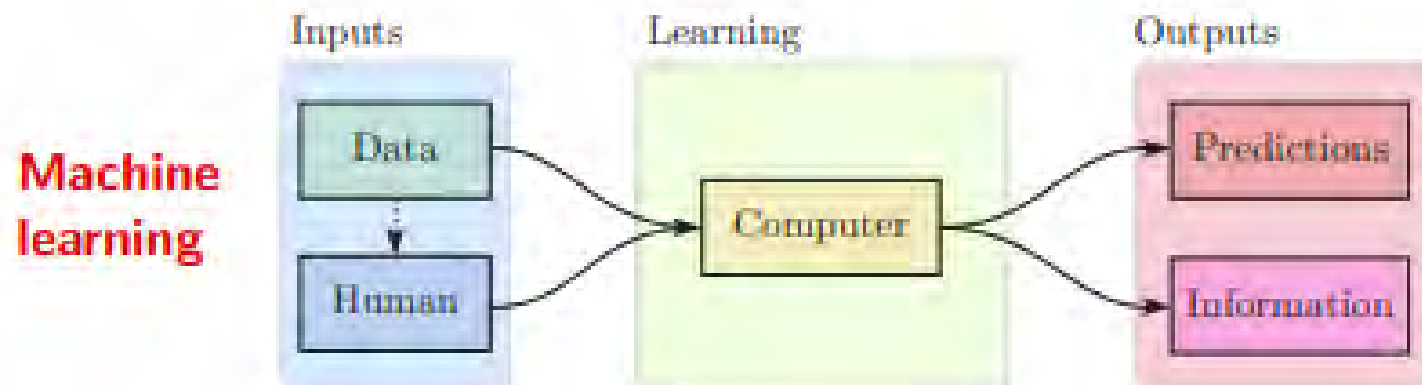


Cos'è il Machine Learning?

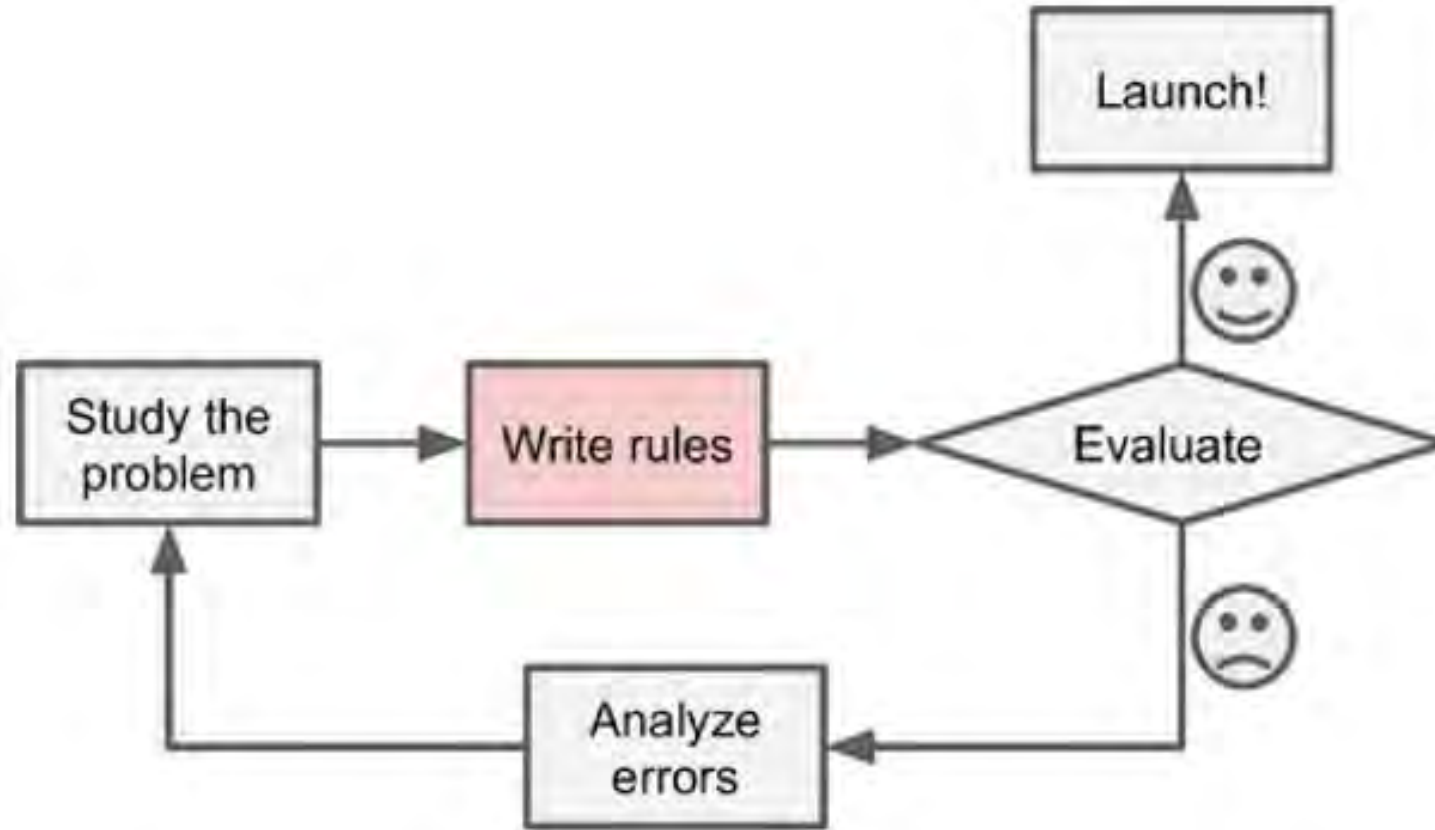
- **Il Machine Learning (ML) è la scienza (e l'arte) della programmazione dei computer affinché possano apprendere dai dati.**

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

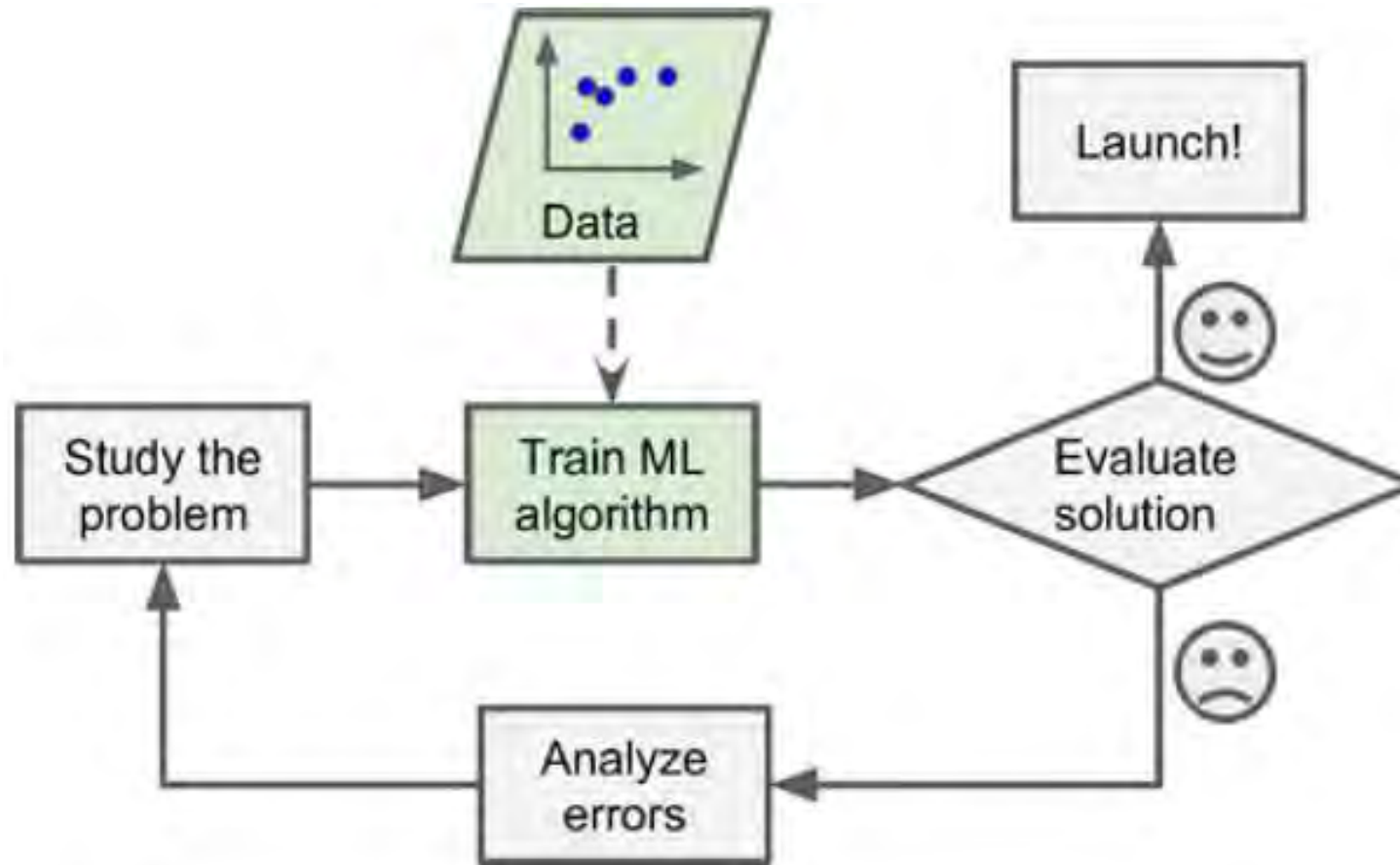
Si dice che un programma per computer apprende dall'esperienza E rispetto a un compito T e a una misura di performance P , se la sua performance su T , misurata da P , migliora con l'esperienza E .—Tom Mitchell, 1997



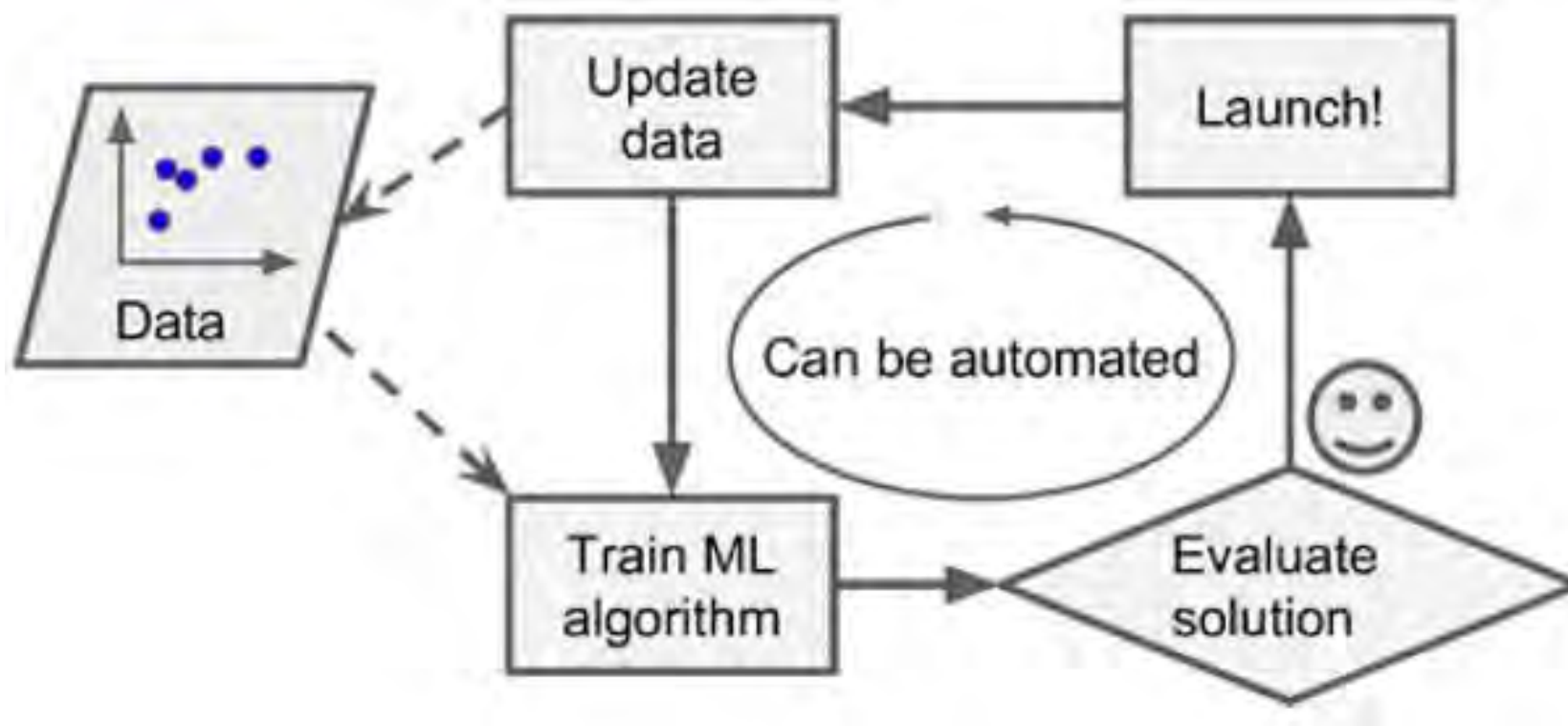
L'approccio tradizionale



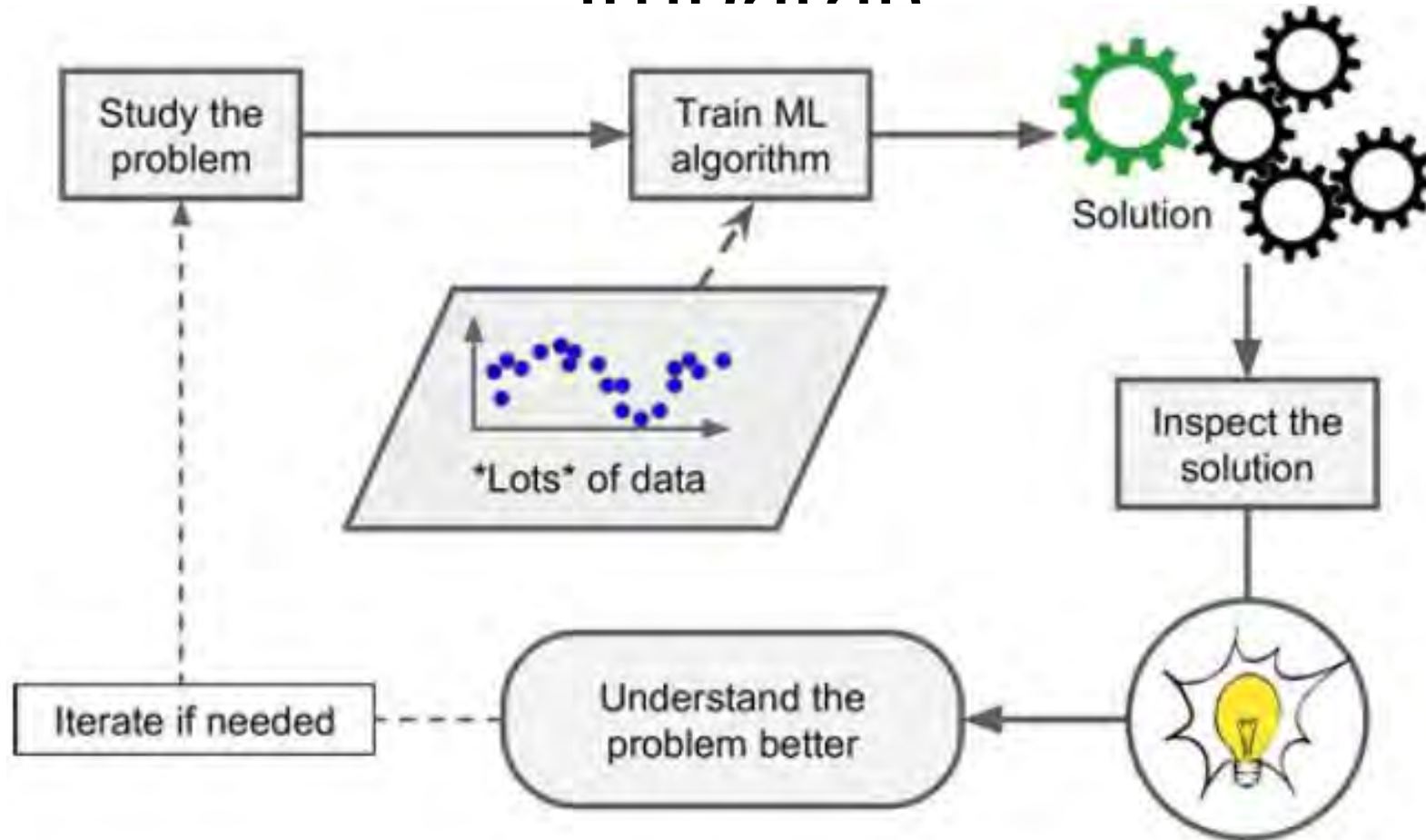
L'approccio del Machine Learning



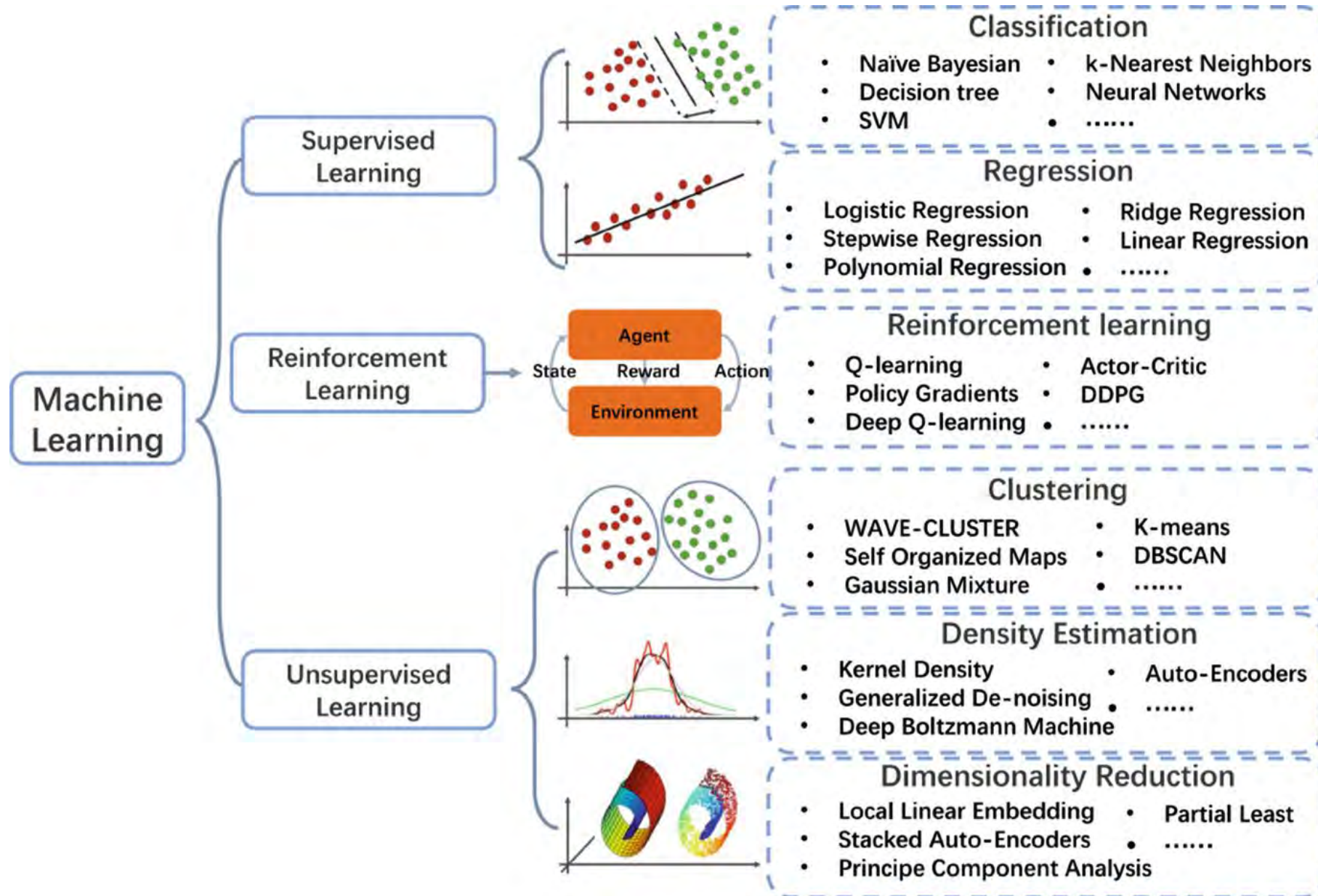
Adattamento automatico al cambiamento



Il Machine Learning può aiutare gli esseri umani a imparare

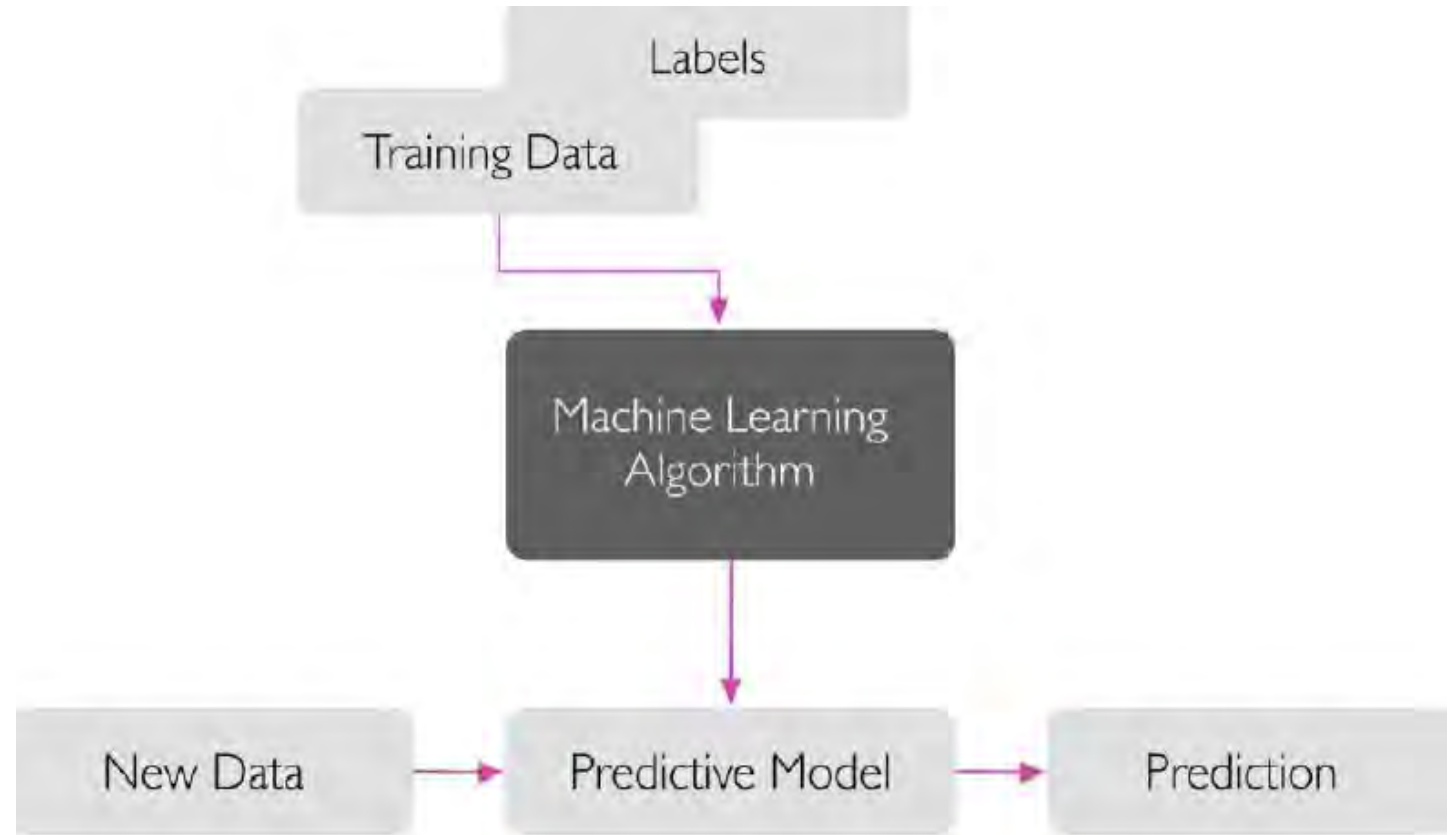


Tipi di sistemi di machine learning



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

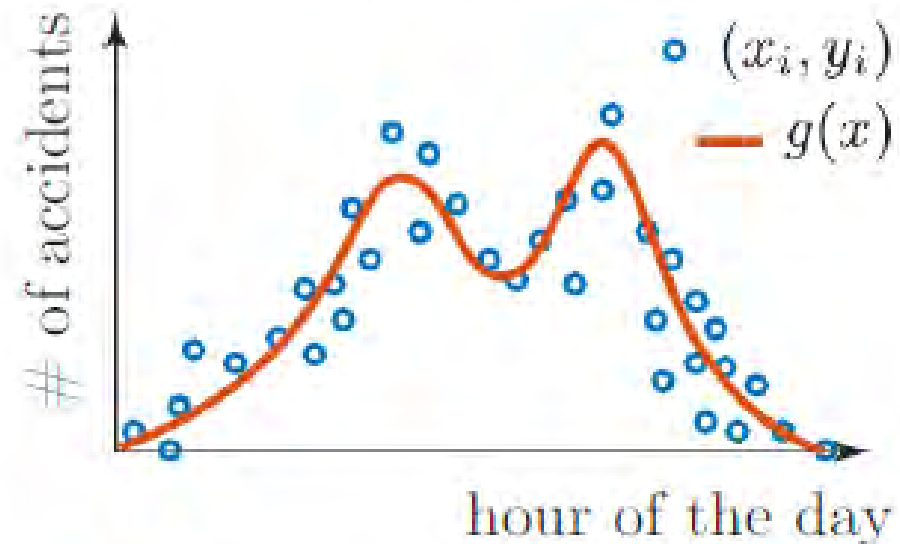
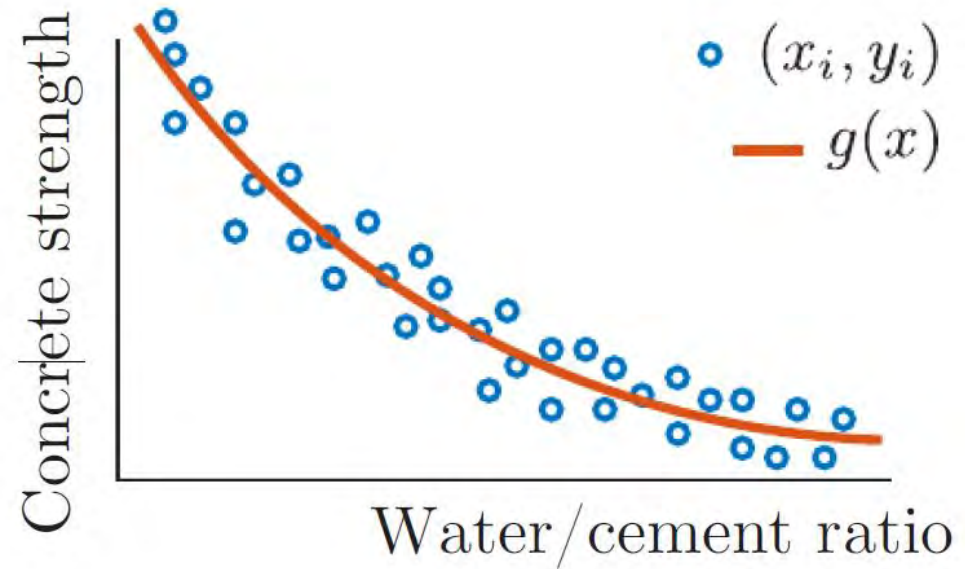
$$\mathcal{D} = \{(x_i, y_i), \forall i \in \{1 : D\}\}$$

$$x_i \in \mathbb{R}^x : \begin{cases} \text{Covariate} \\ \text{Attribute} \\ \text{Regressor} \end{cases}$$

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

Model

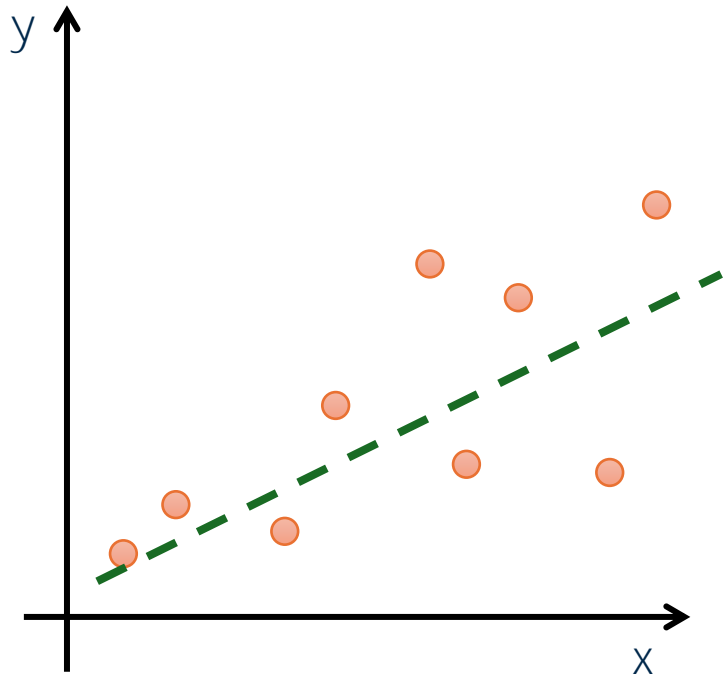
$$g(x) \equiv \text{fct}(x)$$



Regressione vs Interpolazione

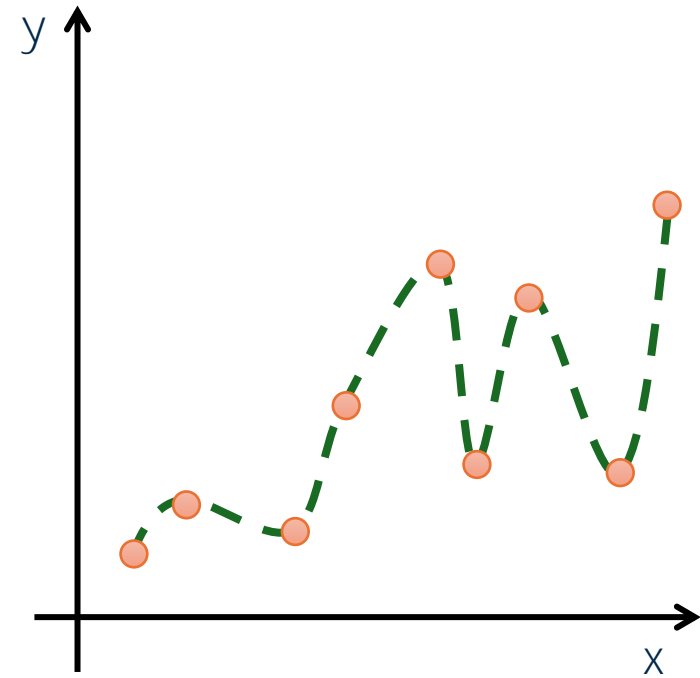
Want to find a such that for all i:

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



Want to find a such that for all i:

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



Linear Regression

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

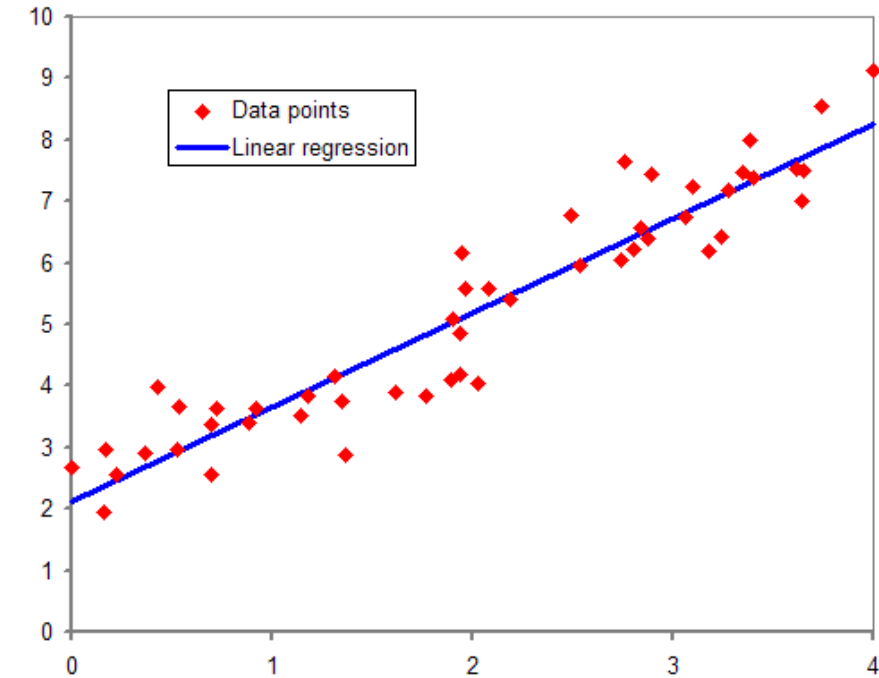
D pairs of points where $\mathbf{x}_i = [x_1, x_2, \dots, x_N]^T \in \mathbb{R}^N$ are covariates, also called attributed or regressors.

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

The regressor is a function such that

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

The simpler model is linear regression.



Regressione lineare

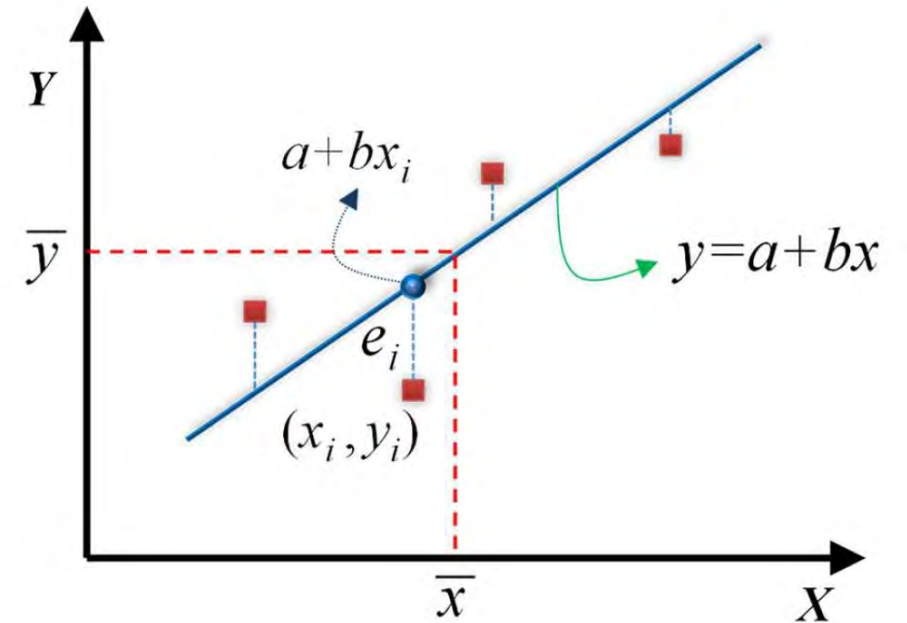
La forma più comune di regressione lineare è chiamata aggiustamento dei minimi quadrati.

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

$Y|X$



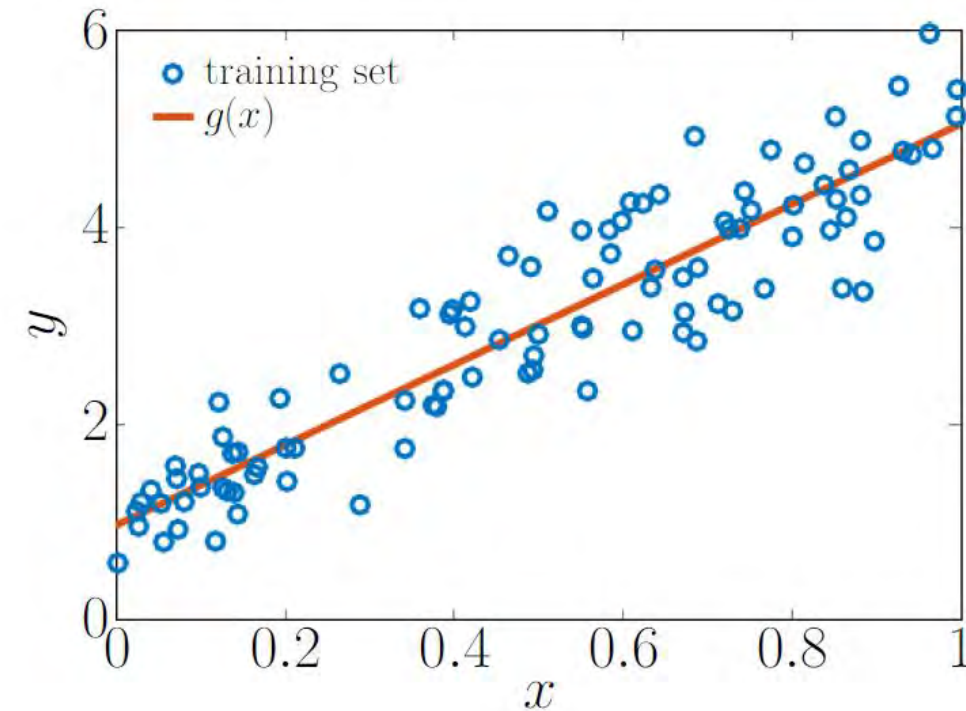
Regressione lineare

Lineare significa rispetto ai suoi parametri.

In generale, con una sola covariata x :

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

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 $g(x) = b_0 + b_1x = [b_0 \ b_1] \begin{bmatrix} 1 \\ x \end{bmatrix}$

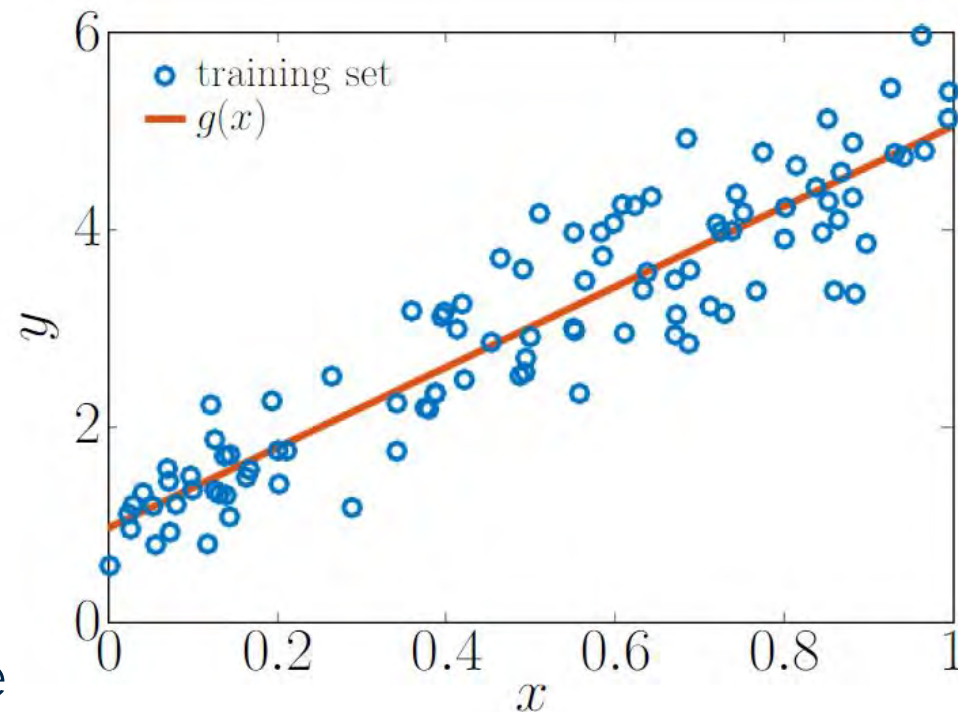
Identity Matrix

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

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,*

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

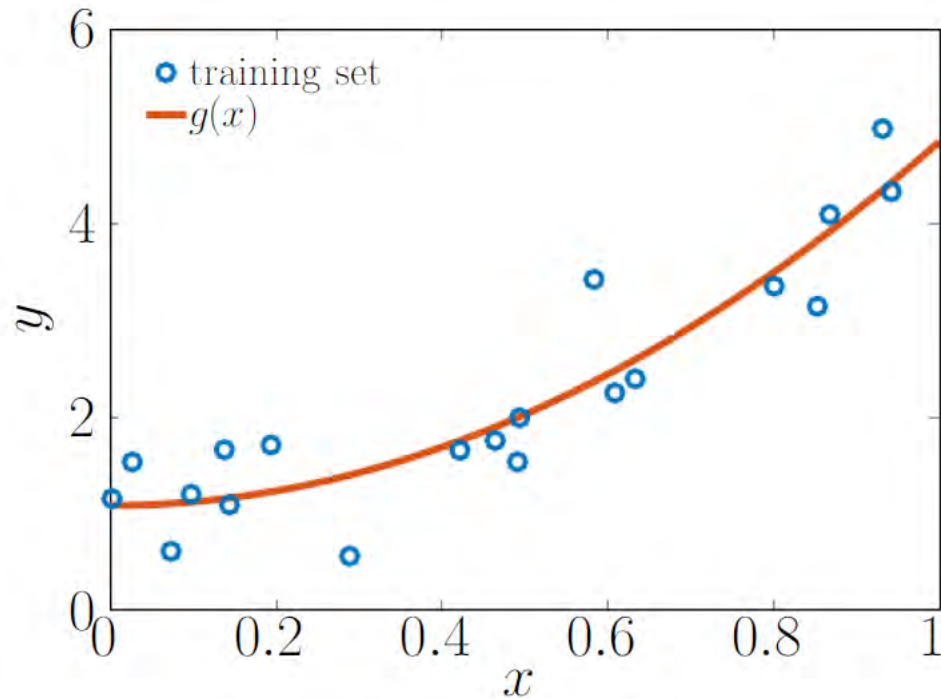
$$g(x) = b_0 + b_1\phi_1(x) + b_2\phi_2(x) + \dots + b_B\phi_B(x) = \mathbf{X}\mathbf{b},$$

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

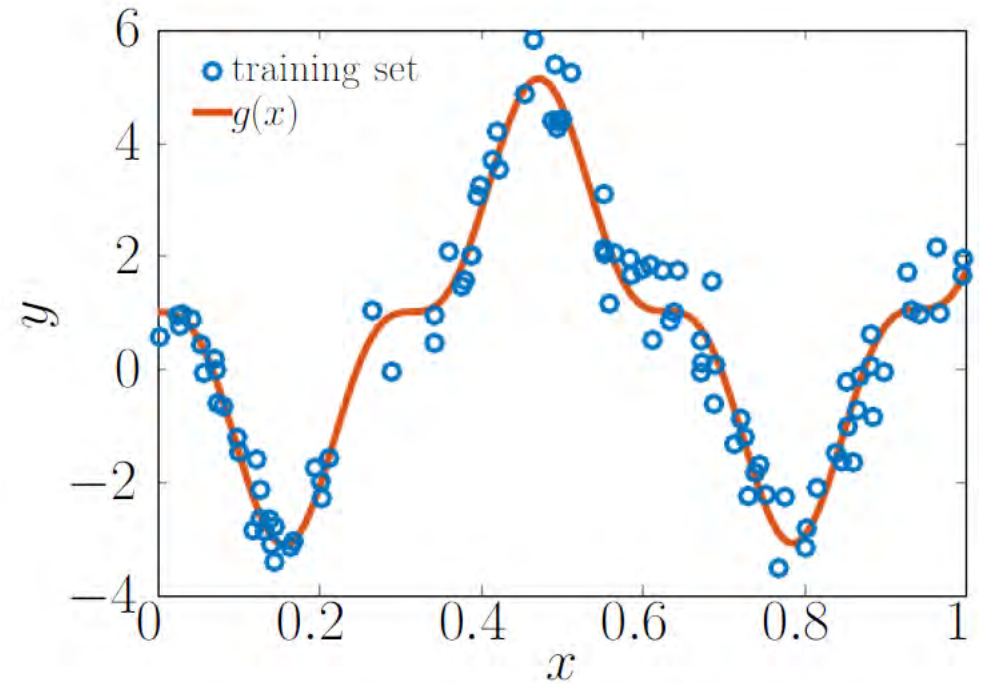
$$\mathbf{b}^* = (\mathbf{X}^T\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}^T\mathbf{y}.$$

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) $g(x) = b_0 + b_1x^2$

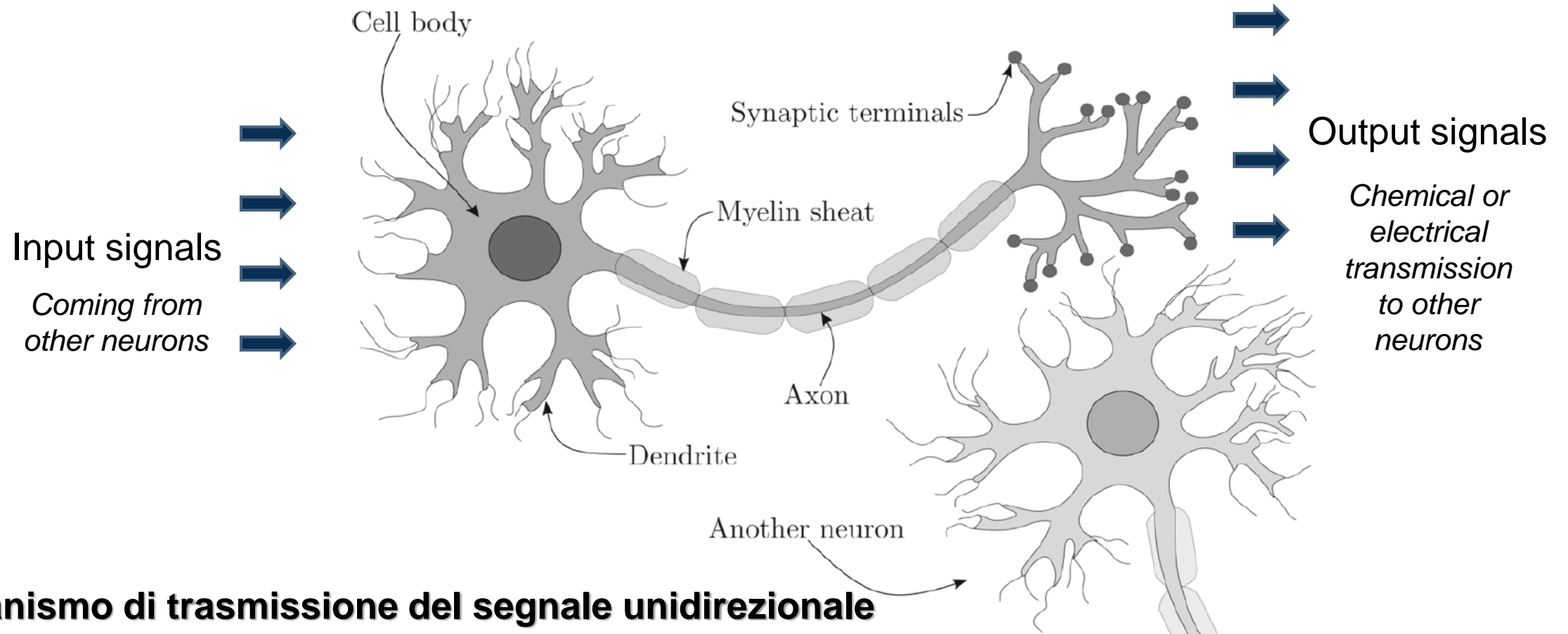


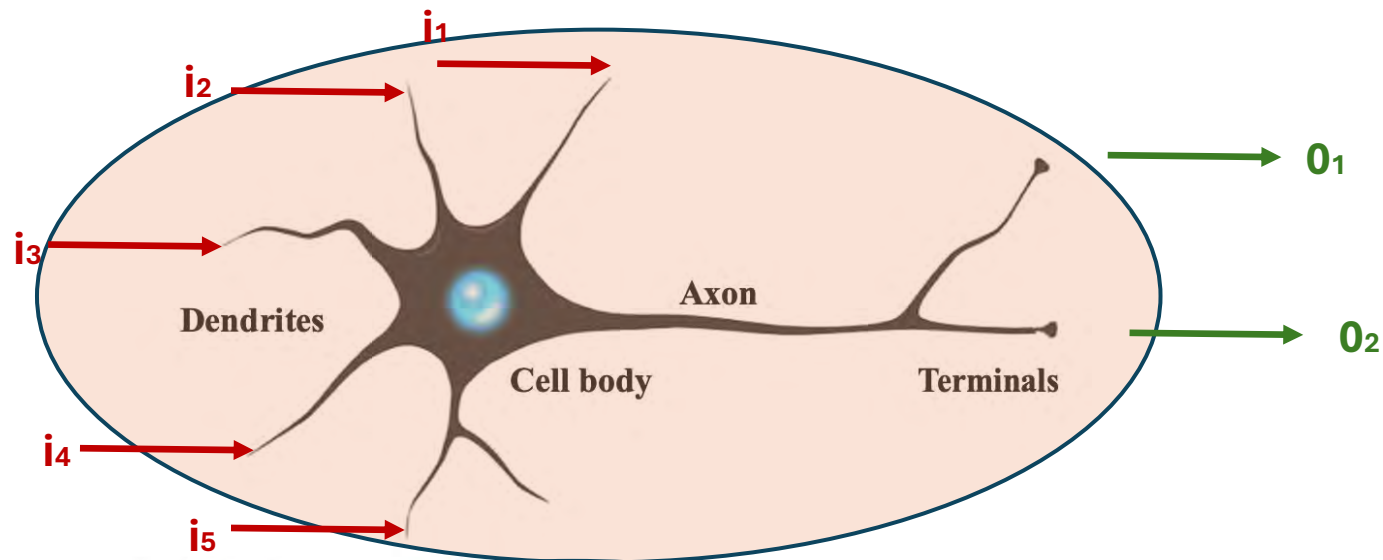
(b) $g(x) = b_0 - b_2 \sin(10x)^3$

Rete Neurale Artificiale (ANN)

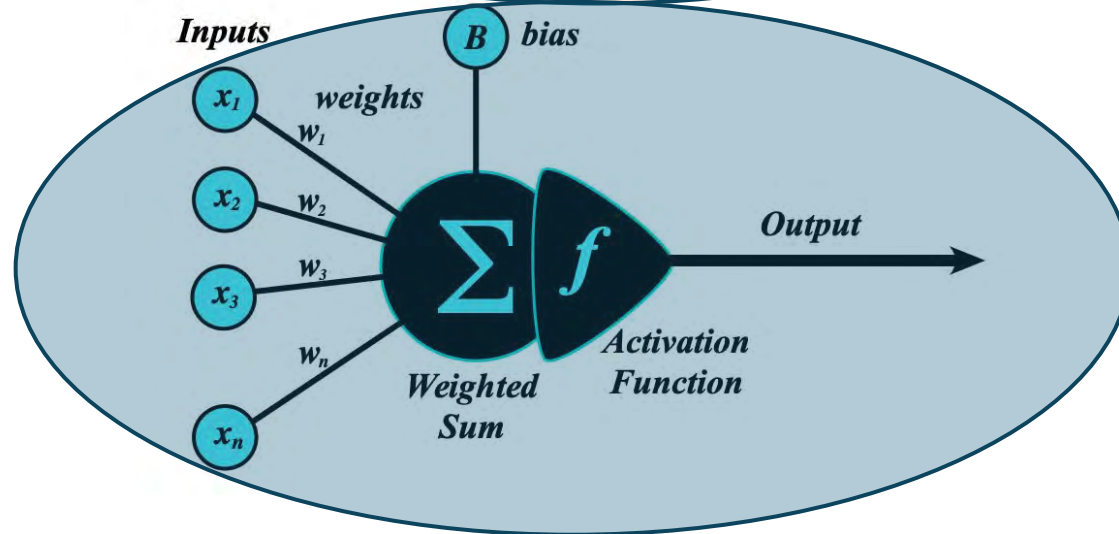
McCulloch-Pitts (MCP) Neuron (1943)

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





Natural neuron

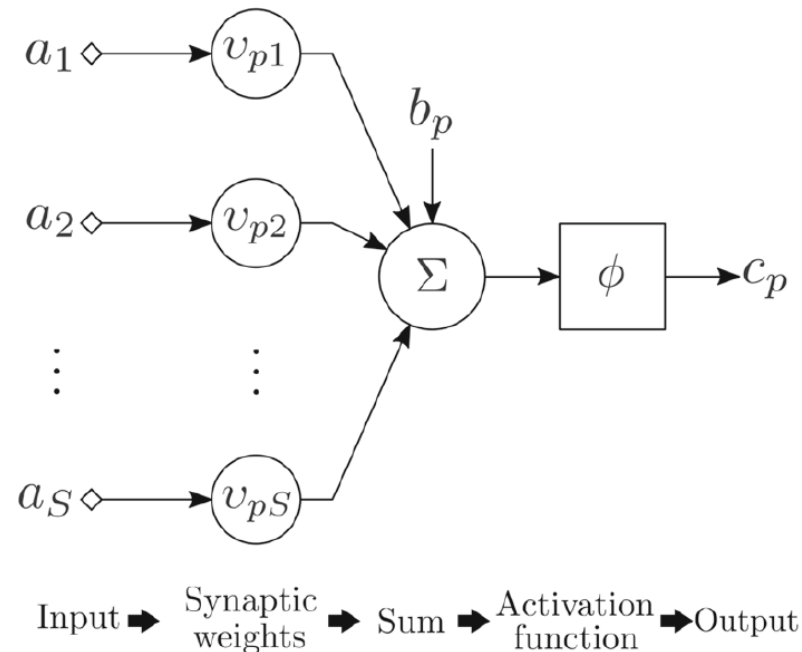


Mathematical model

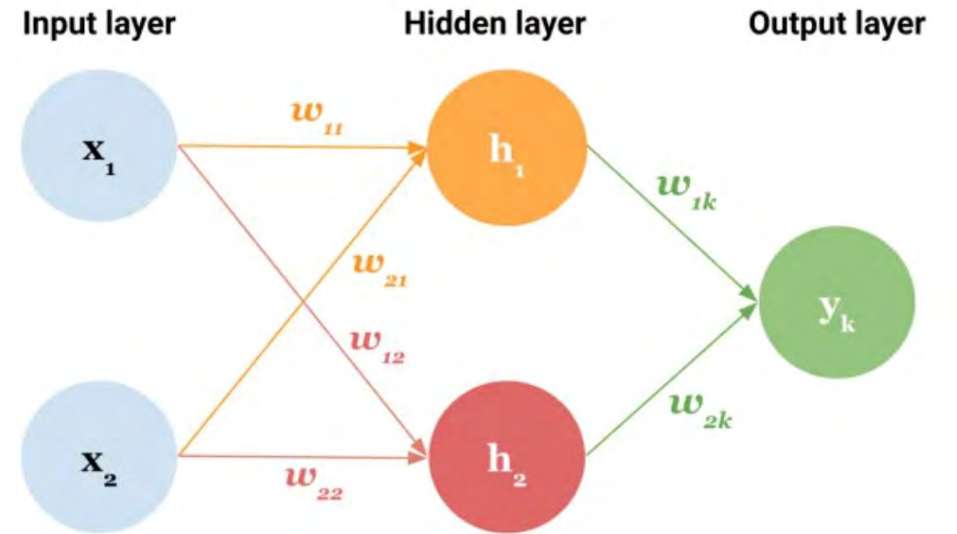
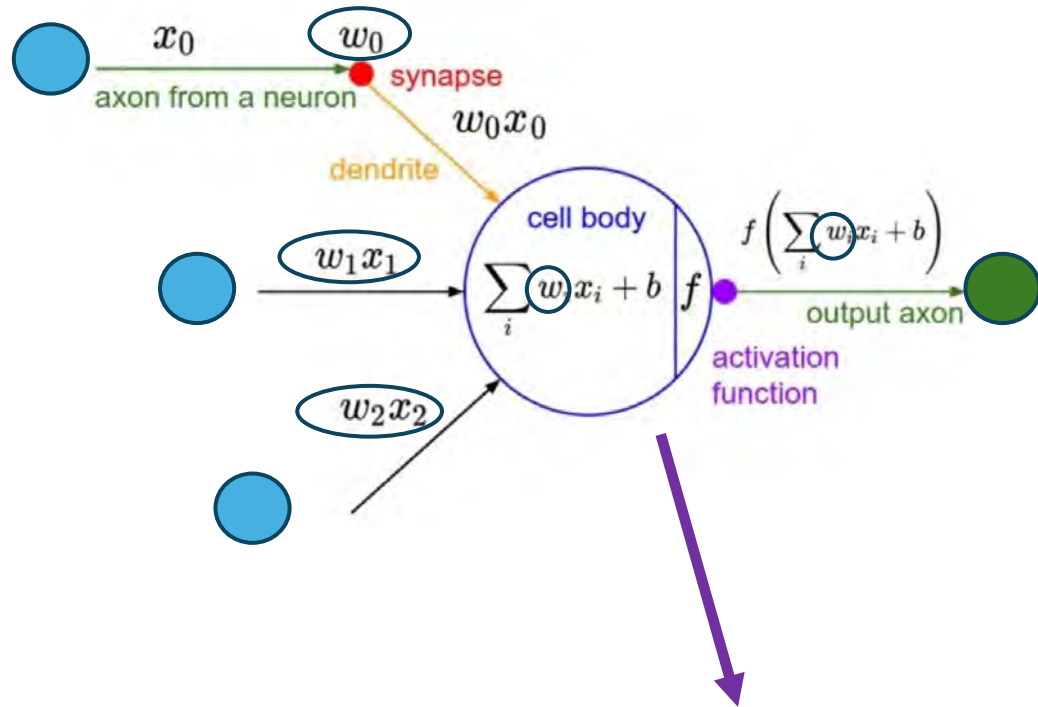
Artificial Neural Network

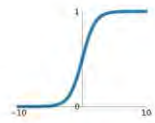

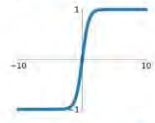
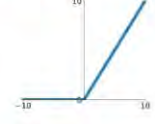

McCullock-Pitts (MCP) Neuron (1943)

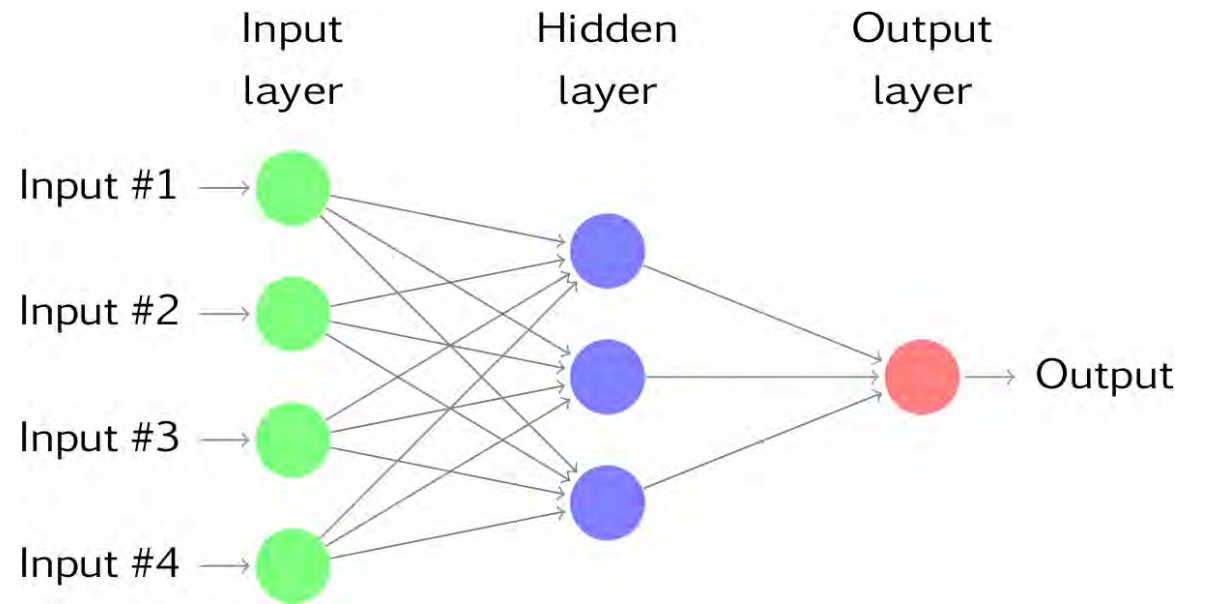
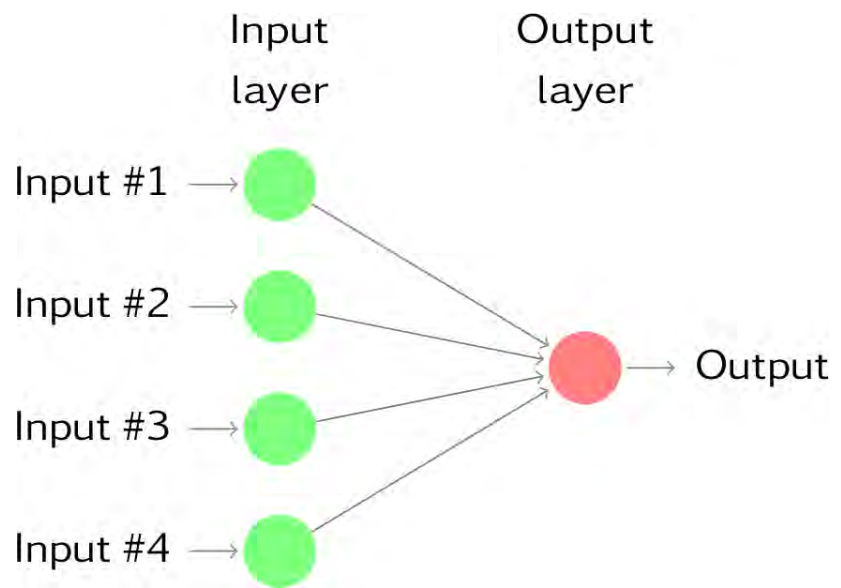
- Semplificato come una porta logica con output binario $[0,1]$ (o $[-1,1]$)
- Il segnale di ingresso accumulato raggiunge un valore di soglia, il segnale in uscita viene trasmesso attraverso l'assone
- Pochi anni dopo, F. Rosenblatt formalizzò la regola del Perceptron (RNA con un solo neurone)



Modello matematico



Sigmoid $\sigma(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$ 	Leaky ReLU $\max(0.1x, x)$ 
tanh $\tanh(x)$ 	Maxout $\max(w_1^T x + b_1, w_2^T x + b_2)$
ReLU $\max(0, x)$ 	ELU $\begin{cases} x & x \geq 0 \\ \alpha(e^x - 1) & x < 0 \end{cases}$ 



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?

Inspired by Nature,
Brain and Neuroscience



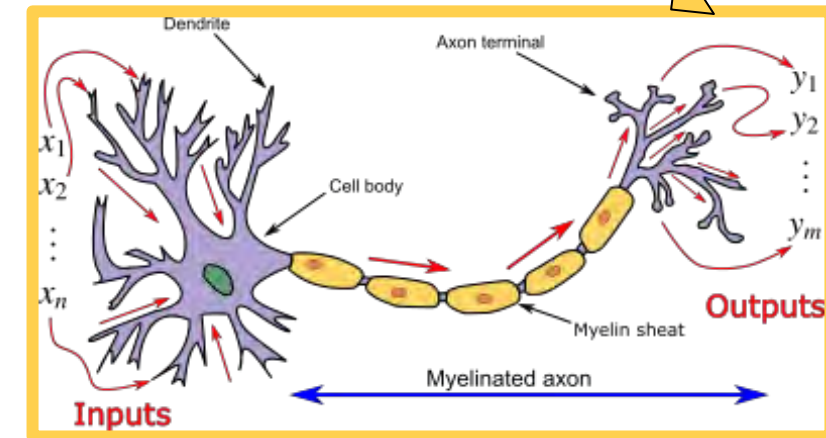
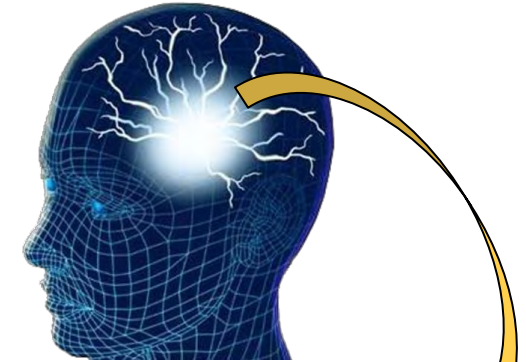
Part of the **machine learning** field of learning representations of data. Exceptional effective at learning patterns.



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



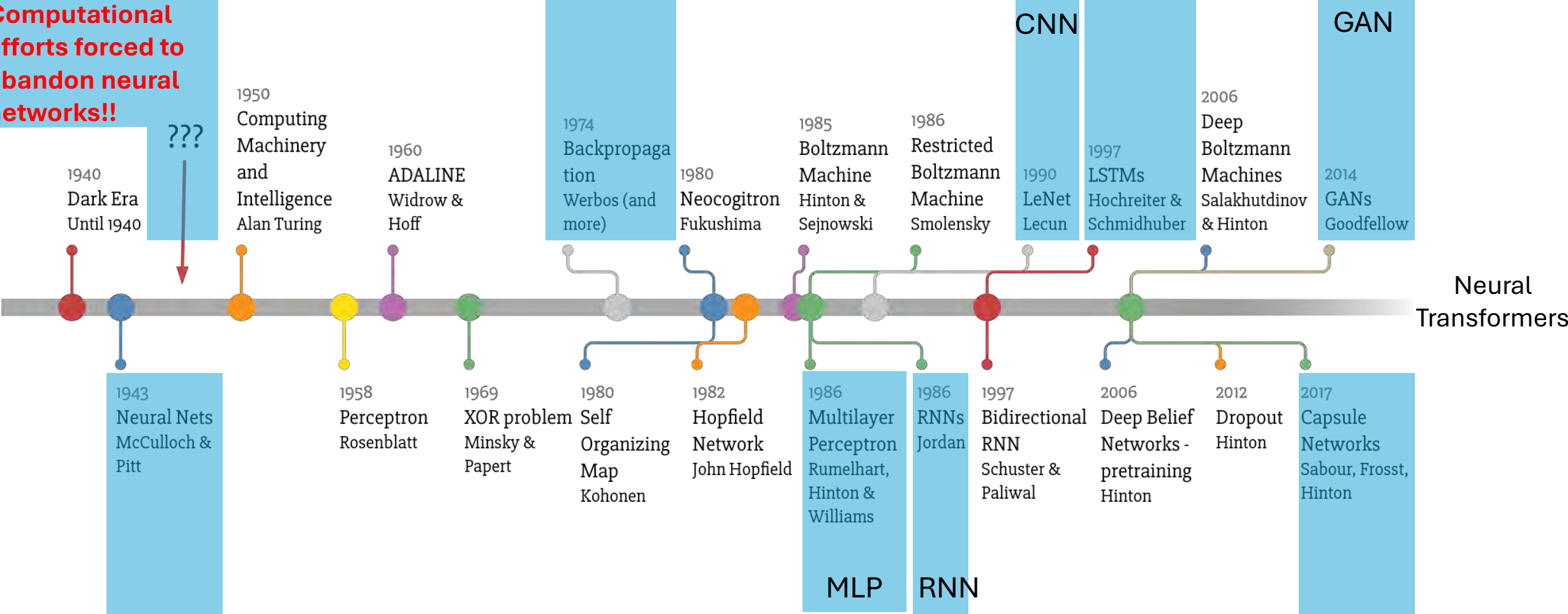
If you provide the system tons of information, it begins to understand it and respond in useful ways.



Phenomenological model
(schematization) of a neuron

Deep Learning Timeline

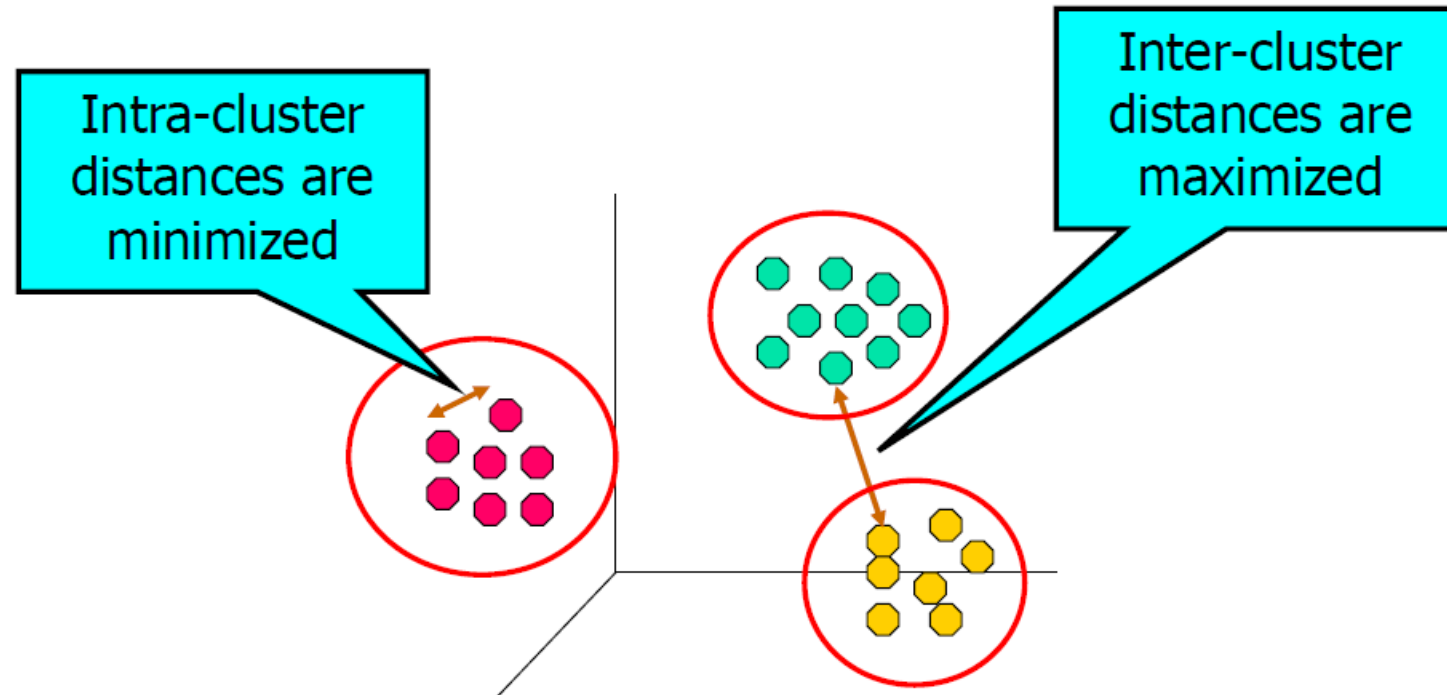
Computational efforts forced to abandon neural networks!!



Made by Favio Vázquez

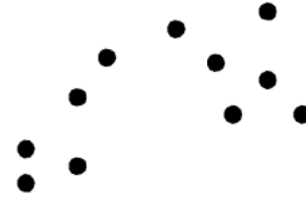
Analisi di clustering

- 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

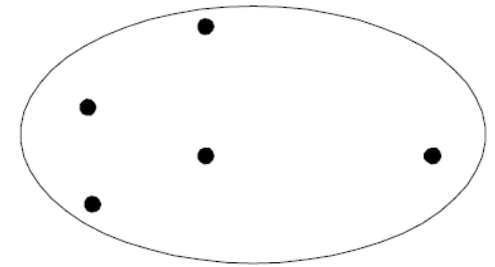
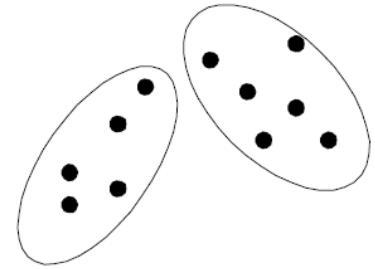


Tipi di cluster

- 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



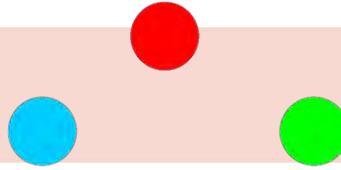
Original Points



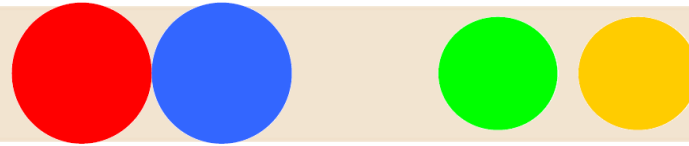
A Partitional Clustering

Types of clusters

Well-separated clusters



Center-based clusters



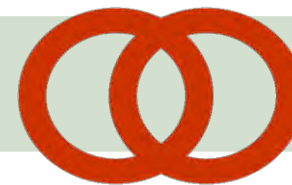
Contiguous clusters



Density-based clusters



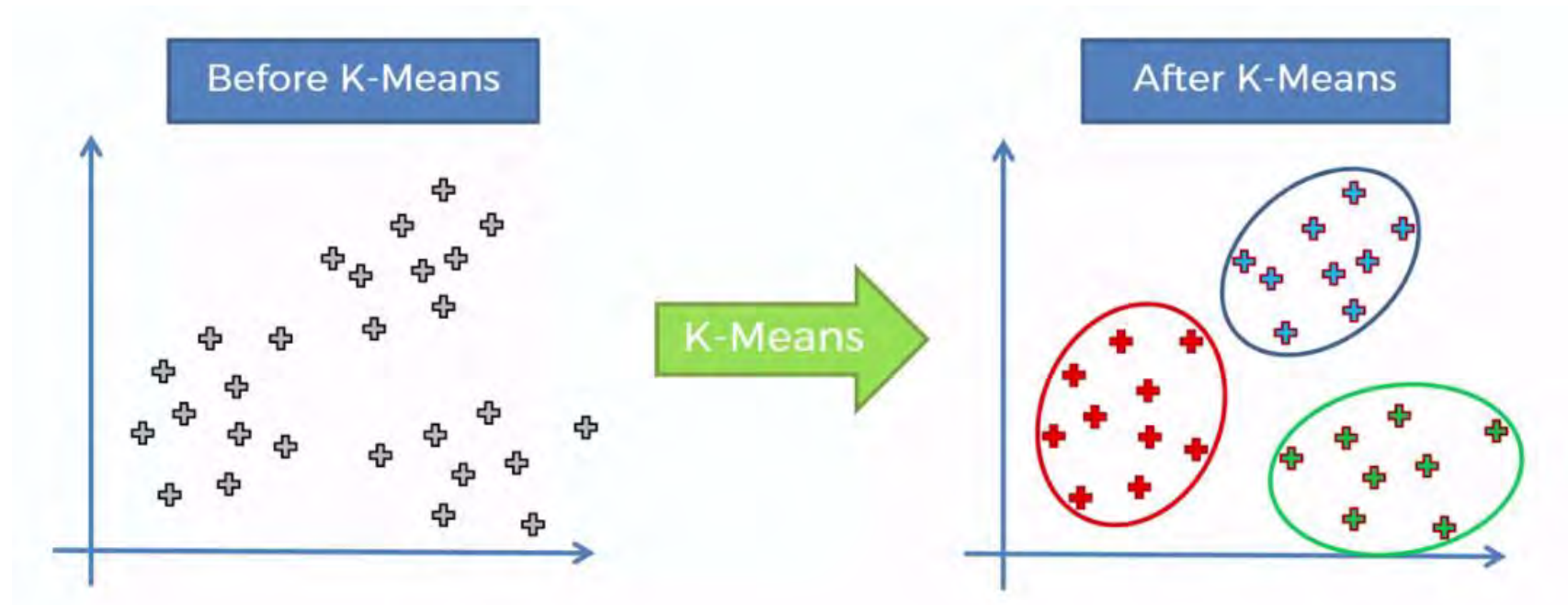
Property or Conceptual



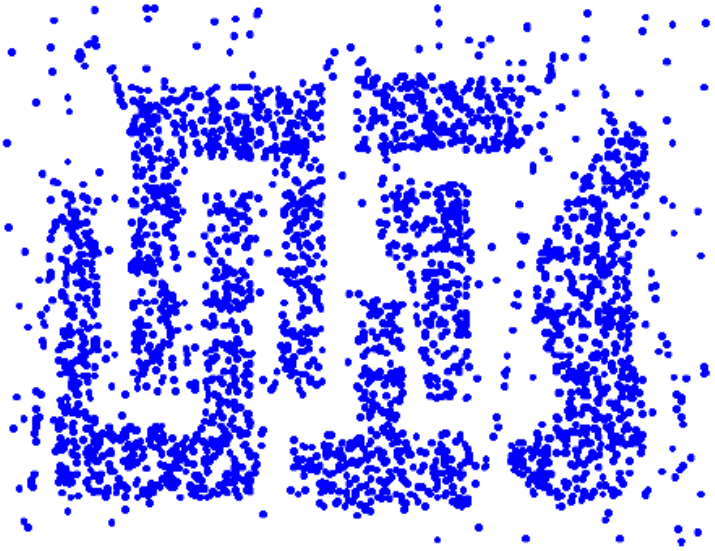
Described by an Objective Function

Algoritmi di clustering

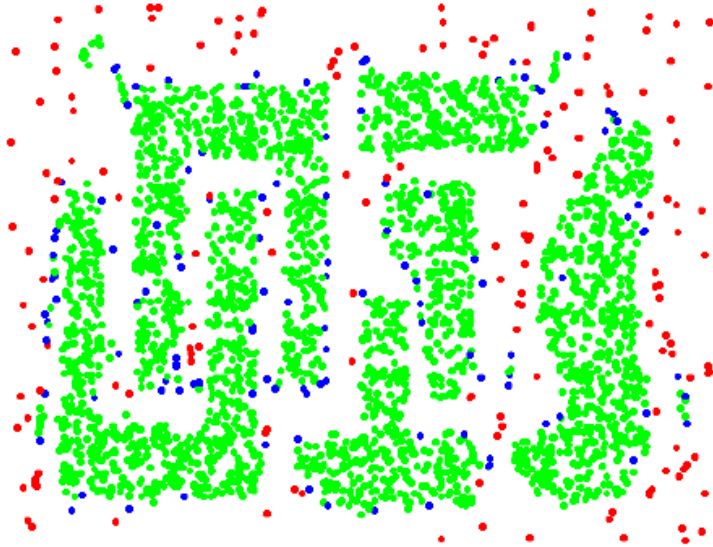
- K-means e sue varianti
- Clustering gerarchico
- Clustering basato sulla densità



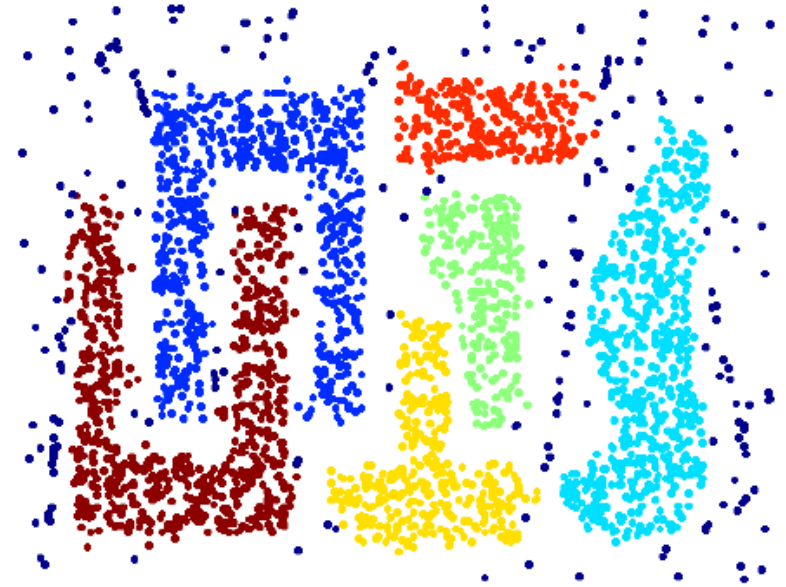
DBSCAN



Original Points



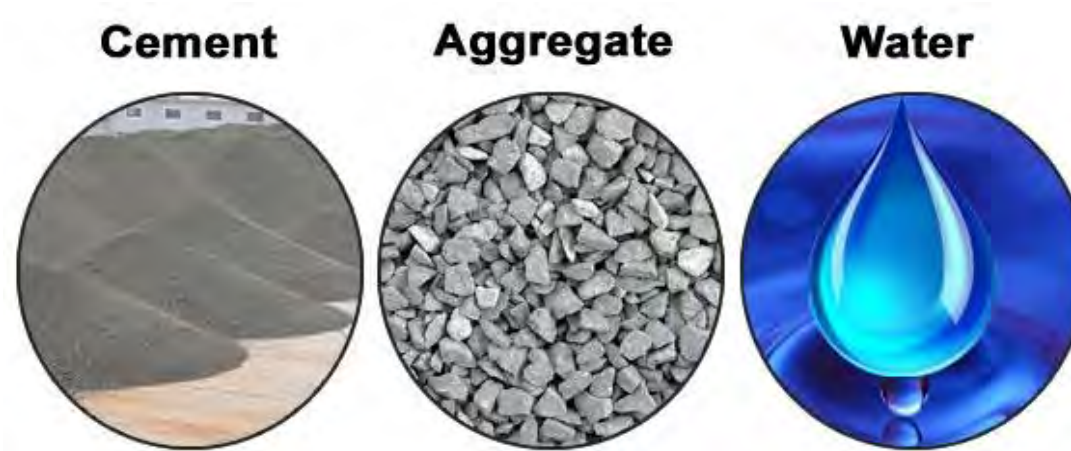
Point types: core,
border and noise



Clusters

Concrete Mix Design

Concrete is the world's most widely used construction material due to its versatility, durability and economy.

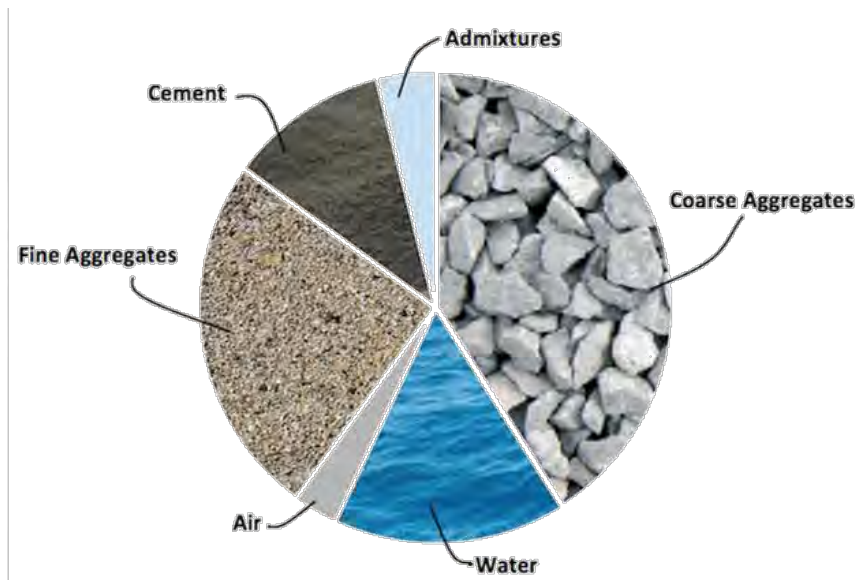


Concrete is a mixture of aggregates (sand + gravel or crushed stone) held together by a binder of cementitious paste, typically made up of Portland cement and water. It may also contain supplementary cementing materials (SCMs), such as fly ash or slag cement, and chemical admixtures.

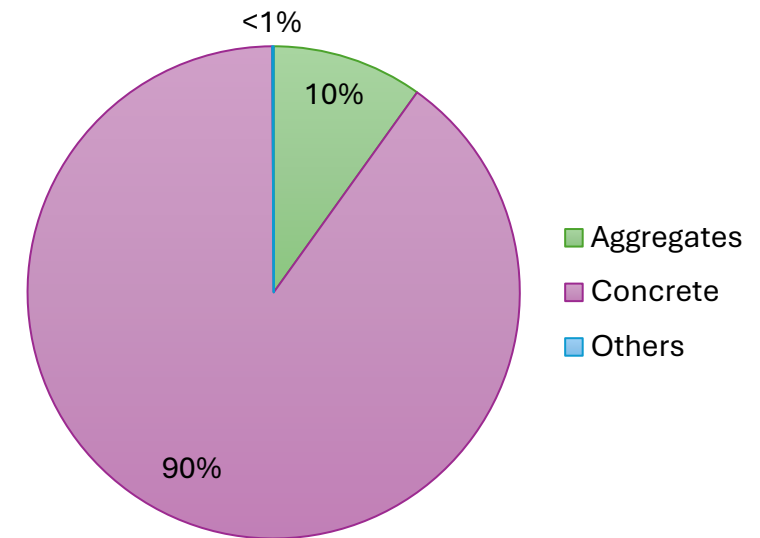
Concrete CO₂ emissions

Cement is a key ingredient in concrete, which is the most widely used manmade material on the planet, and has few, if any, viable alternatives. **Cement is incredibly dirty to produce:** while it only constitutes 10-15% of concrete's mass in a typical mix, it accounts for up to 90% of its greenhouse gas (GHG) emissions.

Concrete components

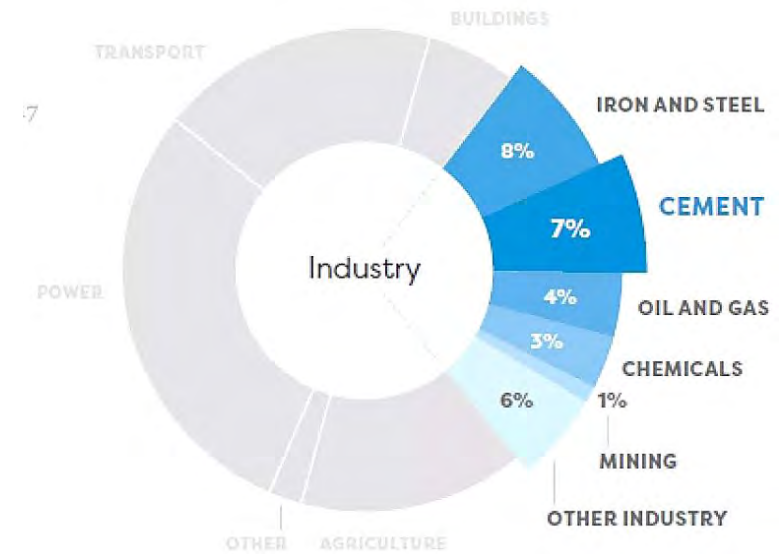
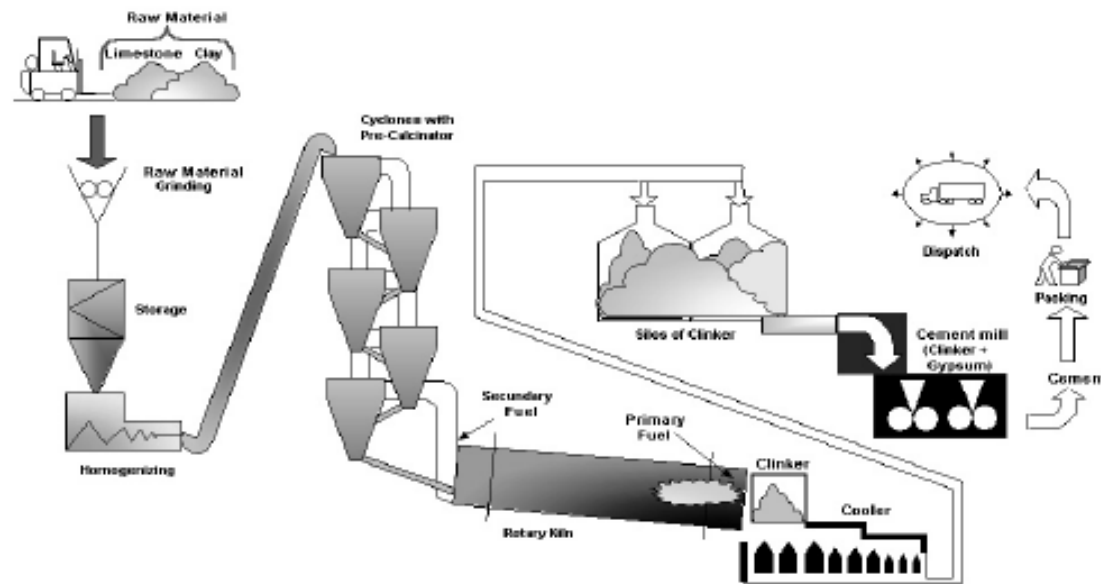


CO₂ emissions



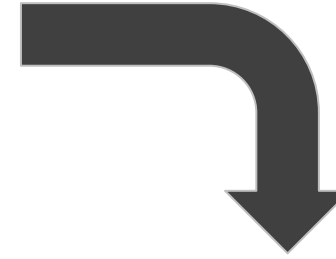
Cement industry emission

If the **cement** industry were a country it would rank as the world's fourth largest GHG emitter, just behind China, the U.S., and India, responsible for roughly **7-8% of global CO₂ pollution**.



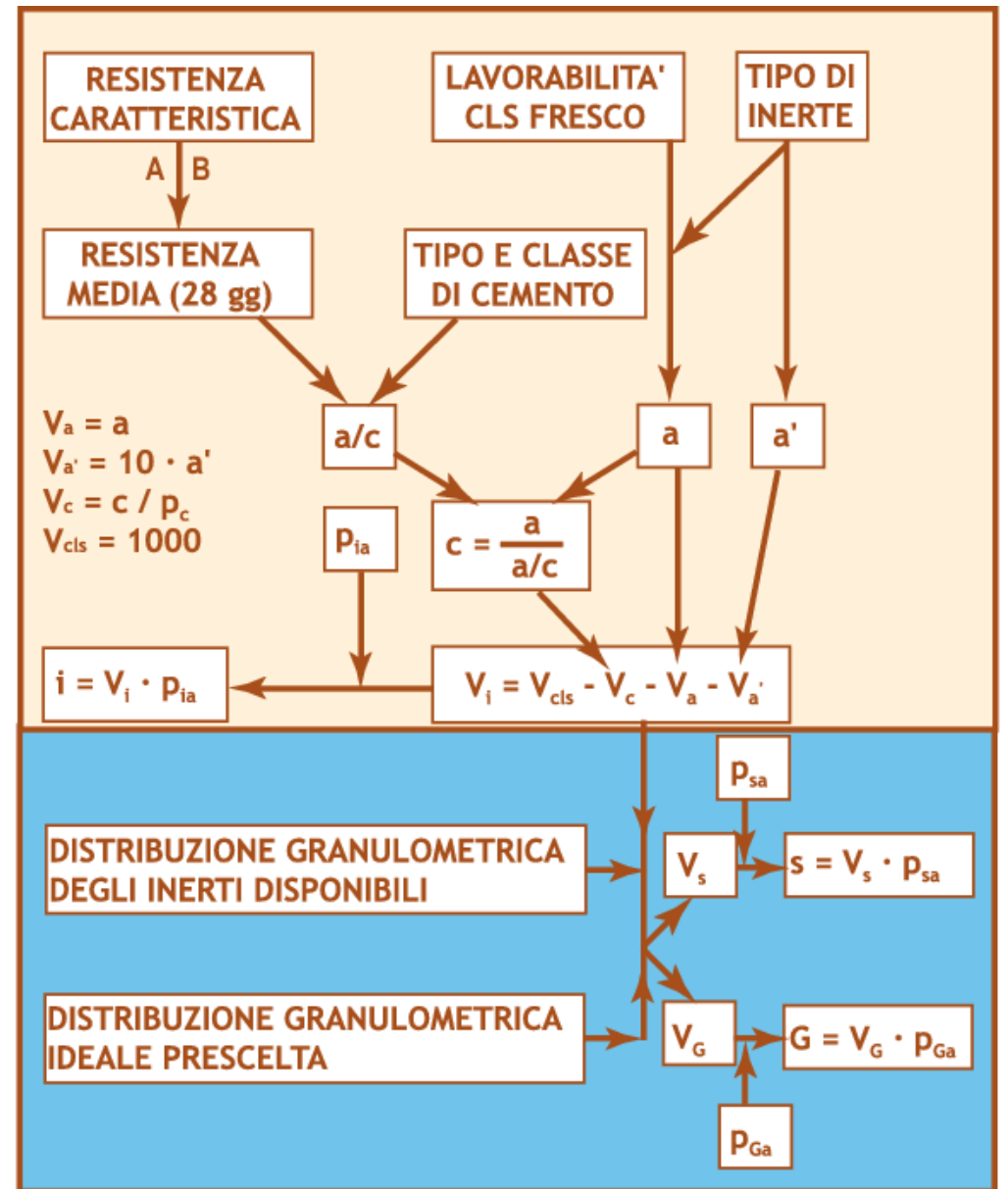
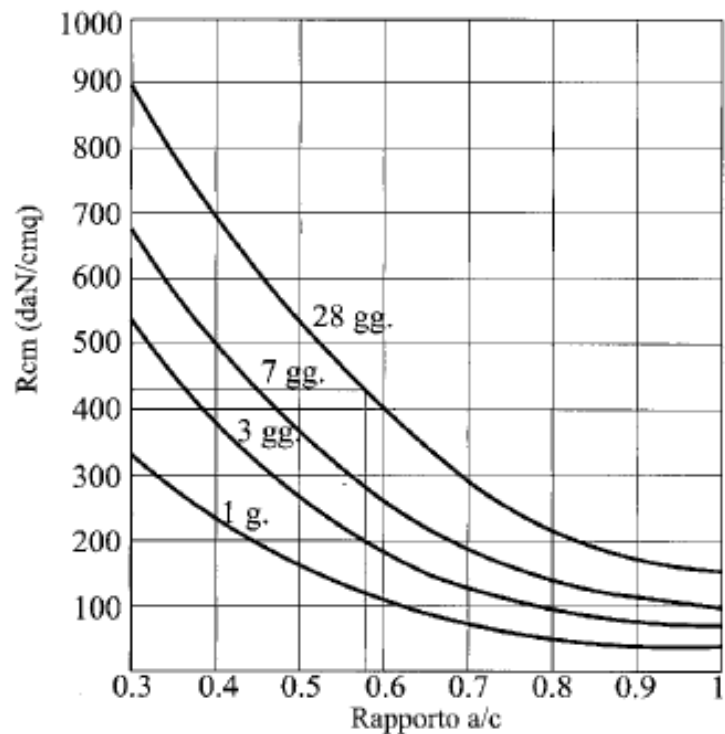
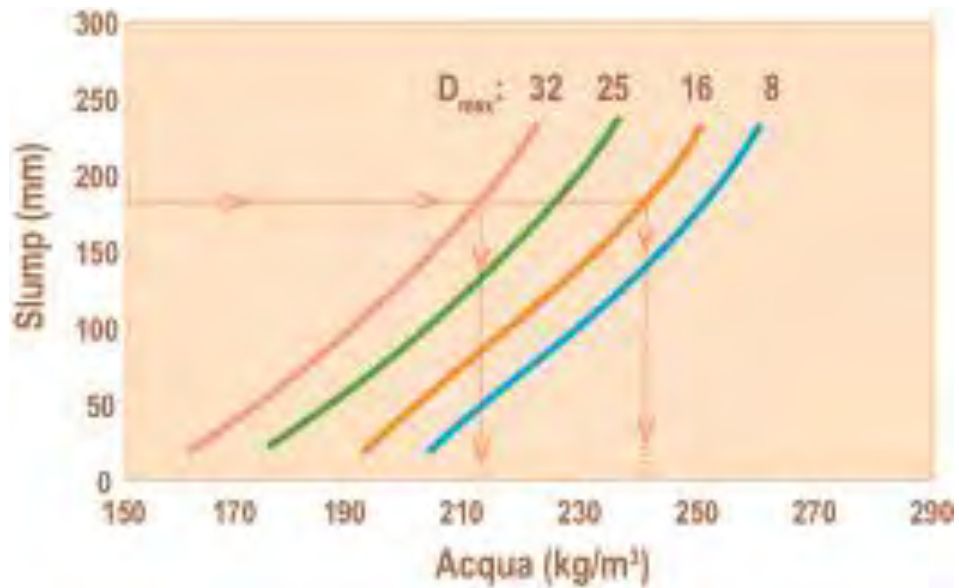
Le miscele di calcestruzzo devono essere “progettate” per garantire:

- strength
- Durability
- Workability
- cohesion.



Concrete mix design

- the science of deciding relative proportions of ingredients of concrete,
- achieve the desired properties in the most economical way
- are mostly based on empirical relations, charts, graphs, and tables developed as outcomes of extensive experiments and investigations of locally available materials



Materiali

Stagione

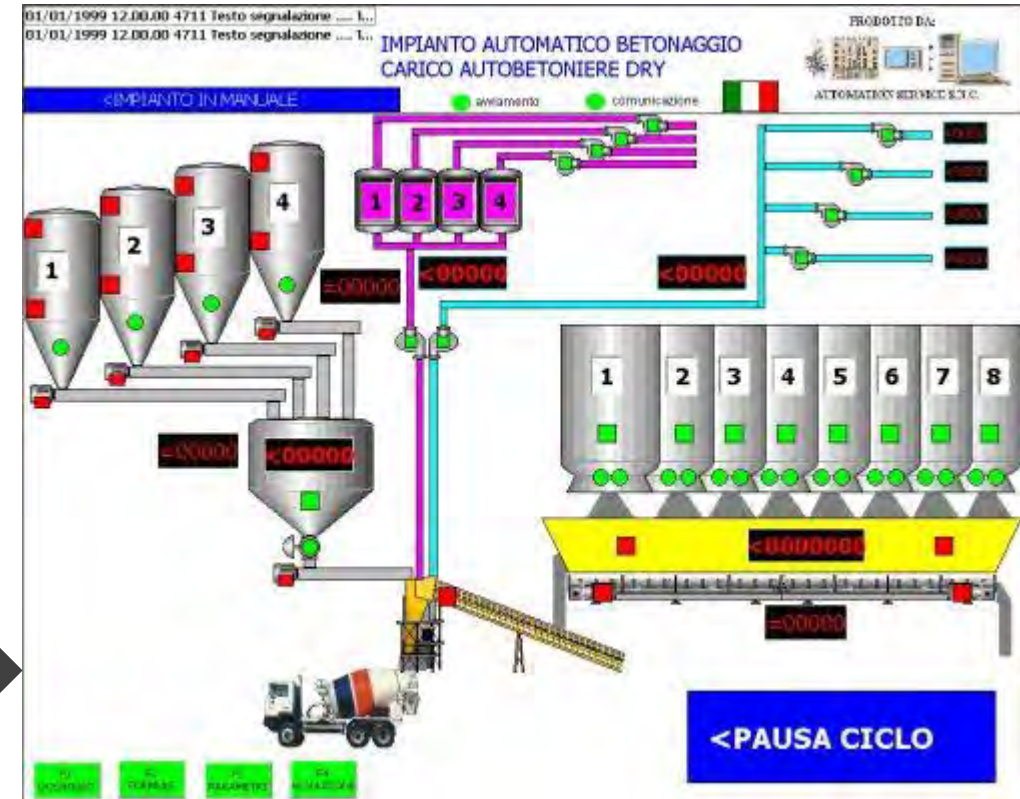
Ubicazione

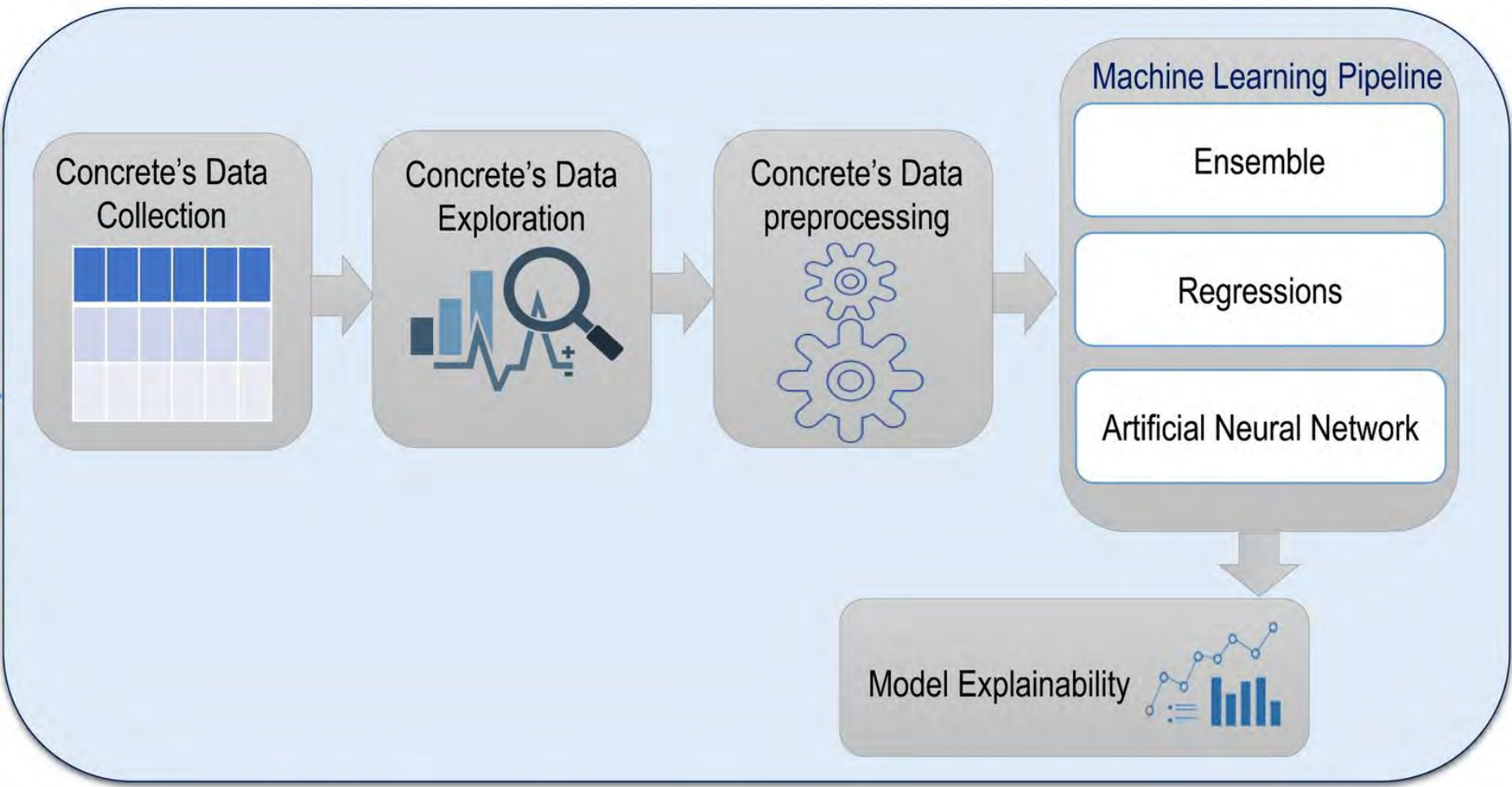
Prestazioni richieste

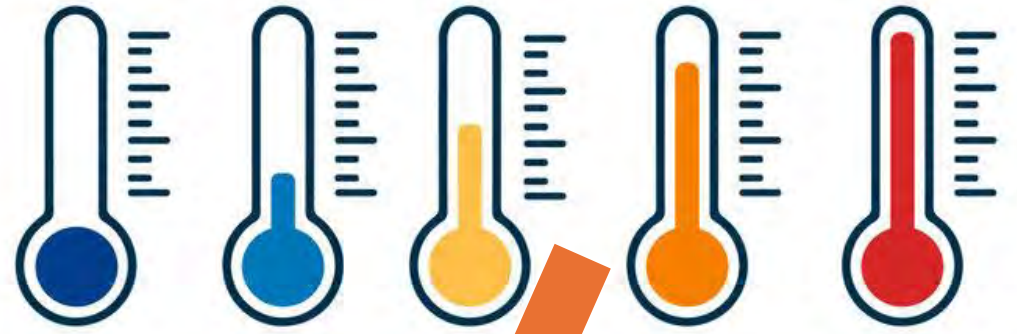
- Ricetta specifica per ogni richiesta (Rck, Slump, Dmax, a/c max, etc)

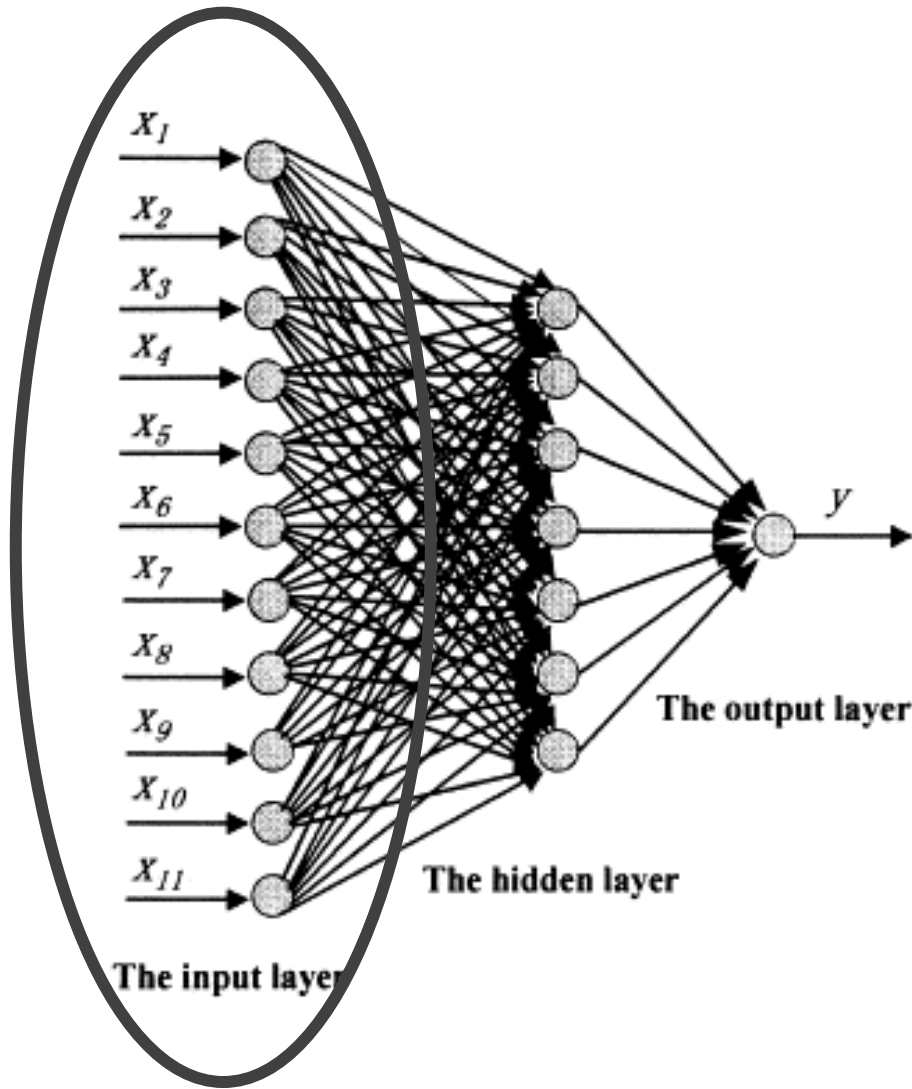
Laboratorio

Impianto









x_1 : The grade of cement

x_2 : The water-cement ratio

x_3 : Dosage of water

x_4 : Dosage of cement

x_5 : The maximum size of coarse aggregate

x_6 : The fine module of sand

x_7 : The sand-aggregate ratio

x_8 : The aggregate-cement ratio

x_9 : The slump

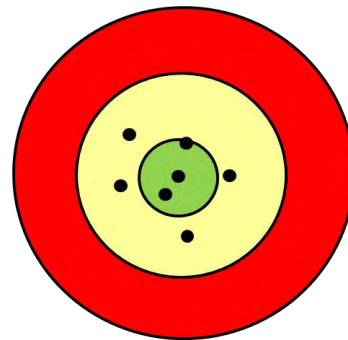
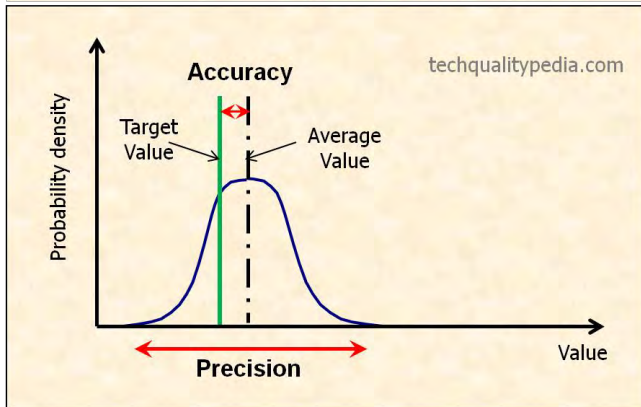
x_{10} : The effect of admixtures

x_{11} : Dosage of admixtures

y : 28d compressive strength of concrete



High Accuracy and Low Precision



Bullseye Example



Elaborazione dati istantanei e storici

Mix design «on time»

Caratteristiche materiali

Specifiche impianto

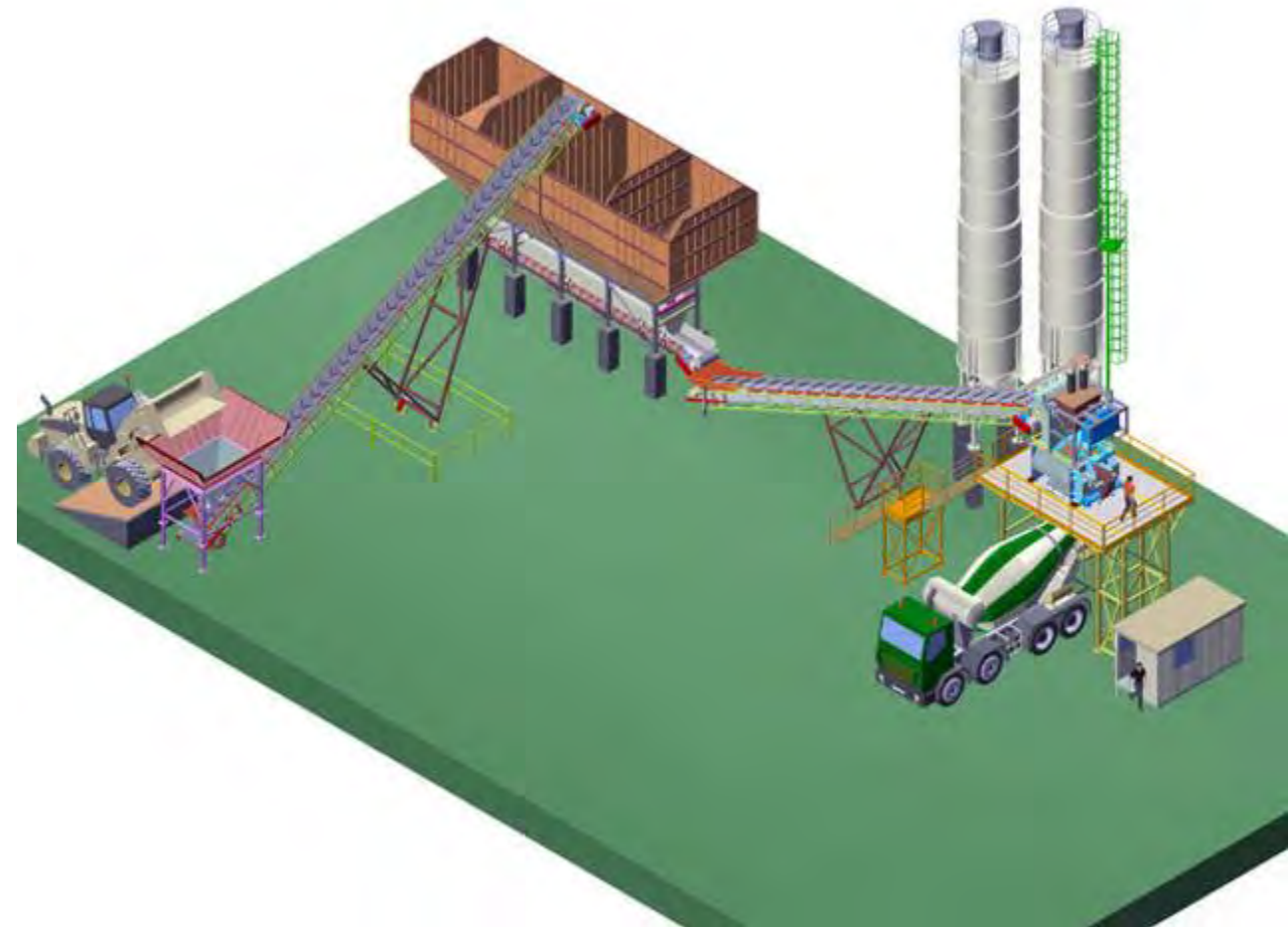
Record condizioni climatiche

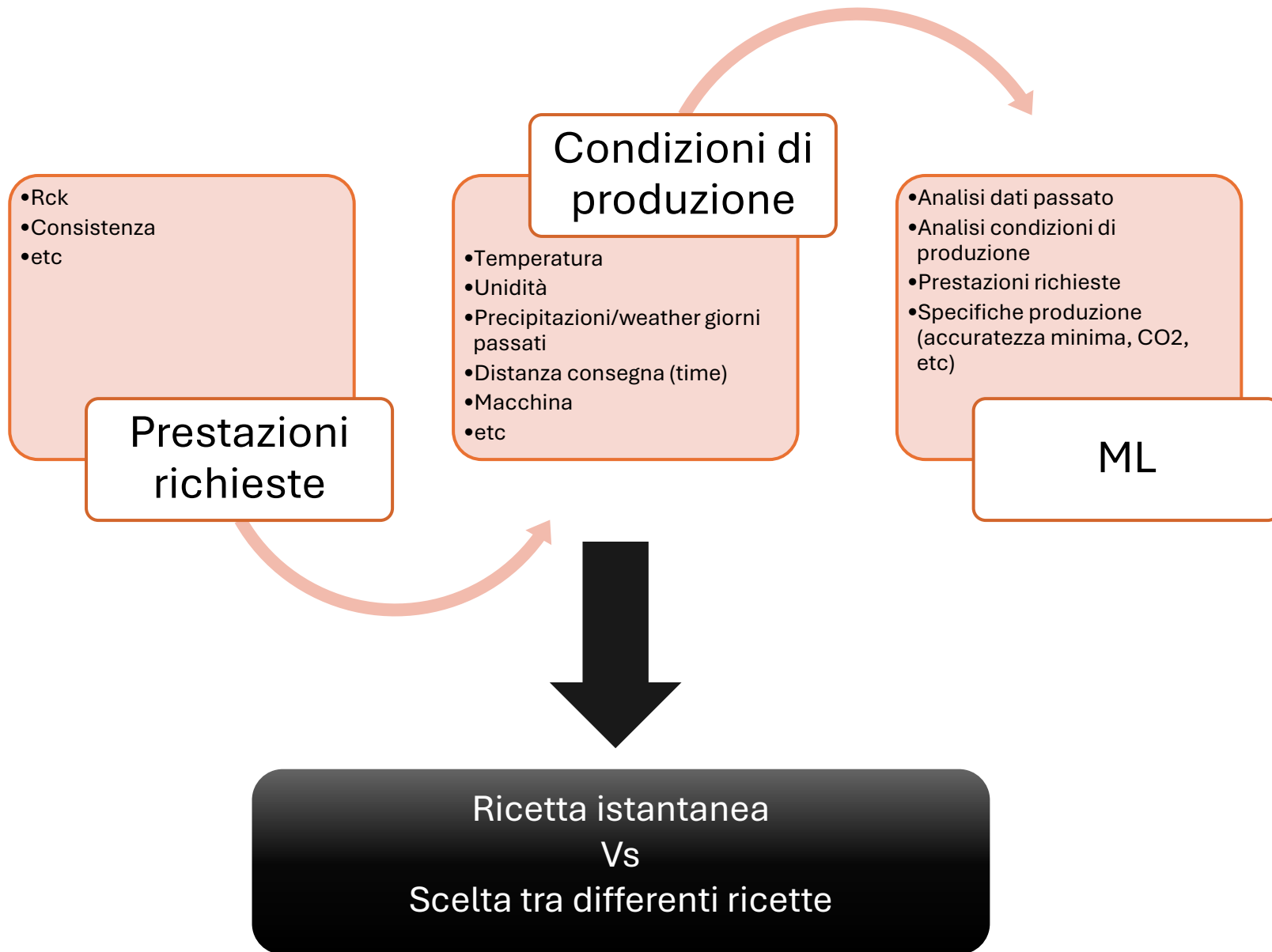
Tipo di miscela richiesta

Distanza/temperatura/umidità aria

trasporto

etc



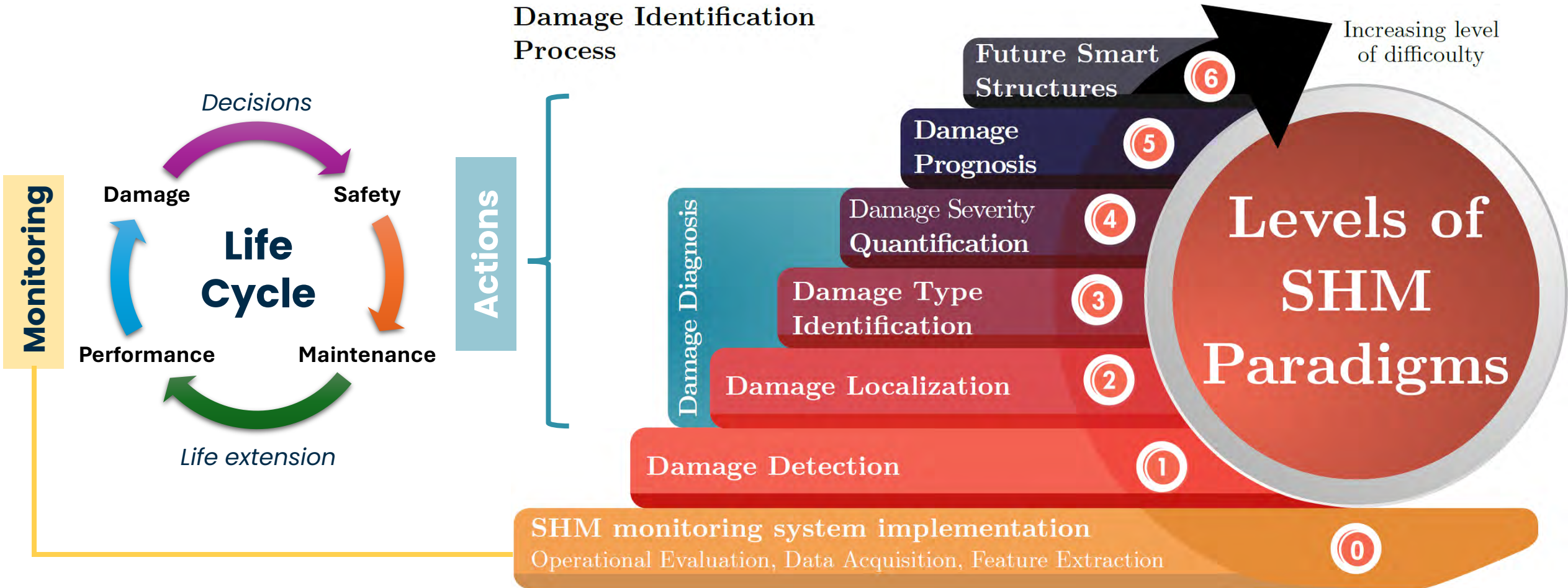


- **Introduzione a**
- **Monitoraggio della salute strutturale**

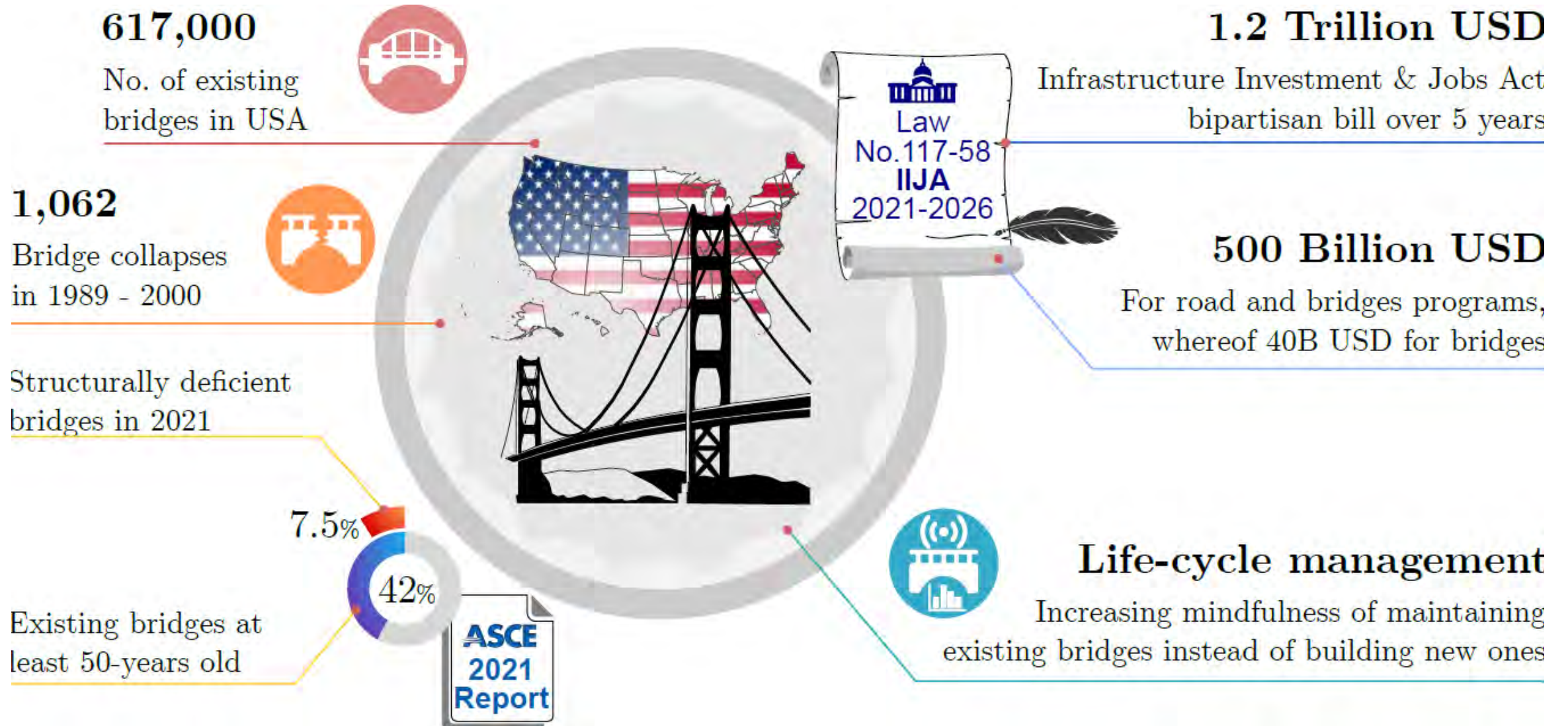
- Perché la AI è necessaria....



Paradigma SHM aumentato



Strategie SHM all'estero: prospettiva statunitense in sintesi



SHM Strategia Europea

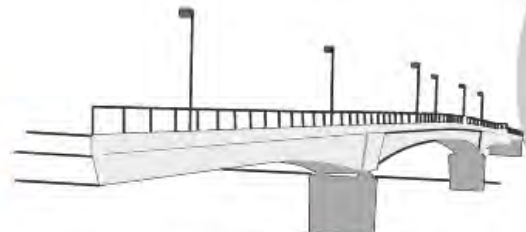
38 Billion EUR

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

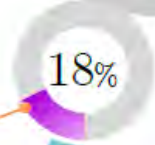


1960 - 1980

Construction era for 80% of Italian highways



Bridge collapse in Italy due to human factors

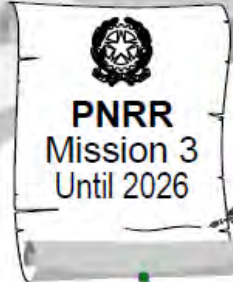


Collapse for degradation due to lack of maintenance



EU Green Transition

EU Green Deal in 2019 in line with UN Agenda 2030



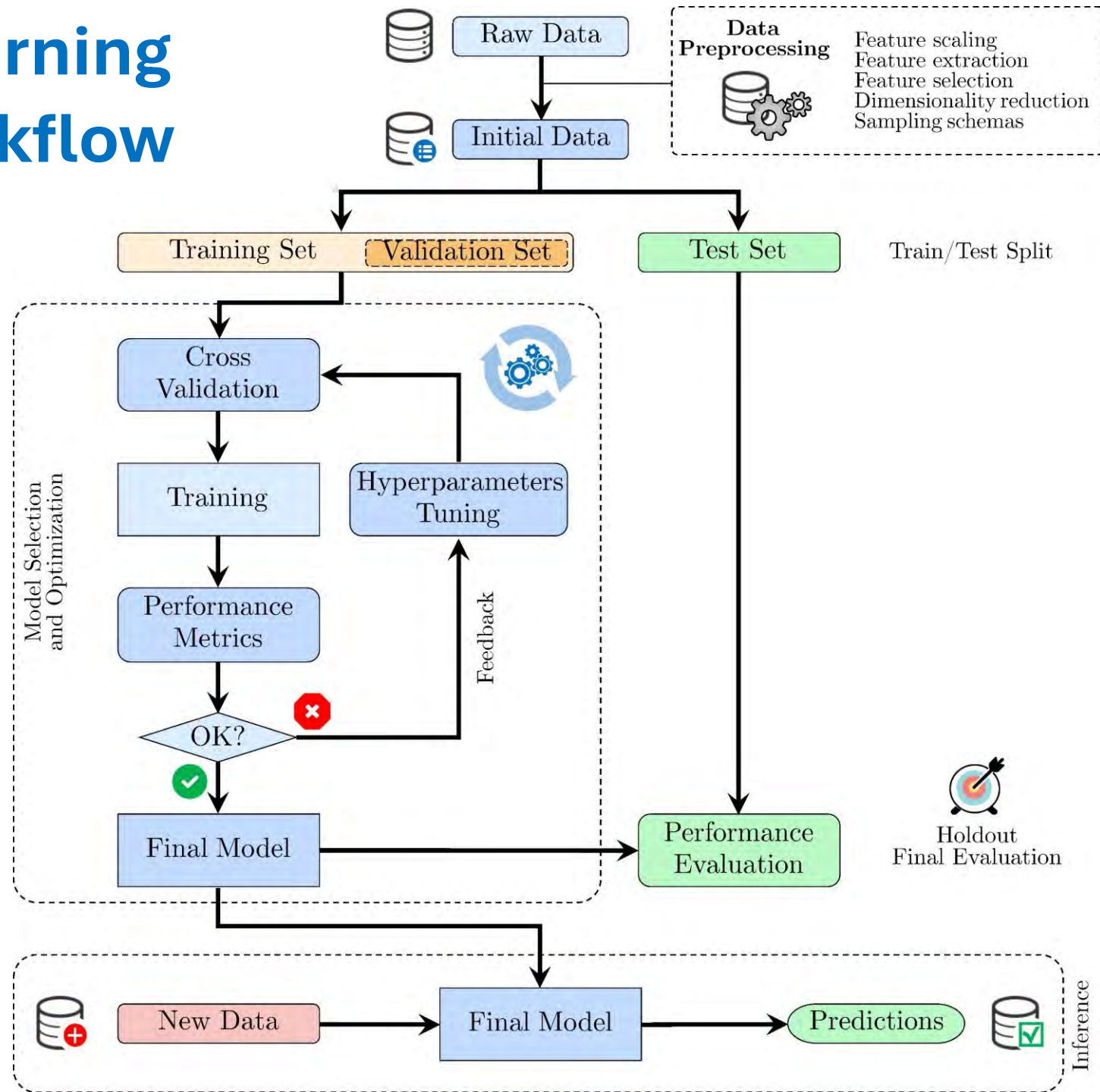
Funded by the European Union
NextGenerationEU

31,4 Billion EUR

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



Machine Learning General Workflow

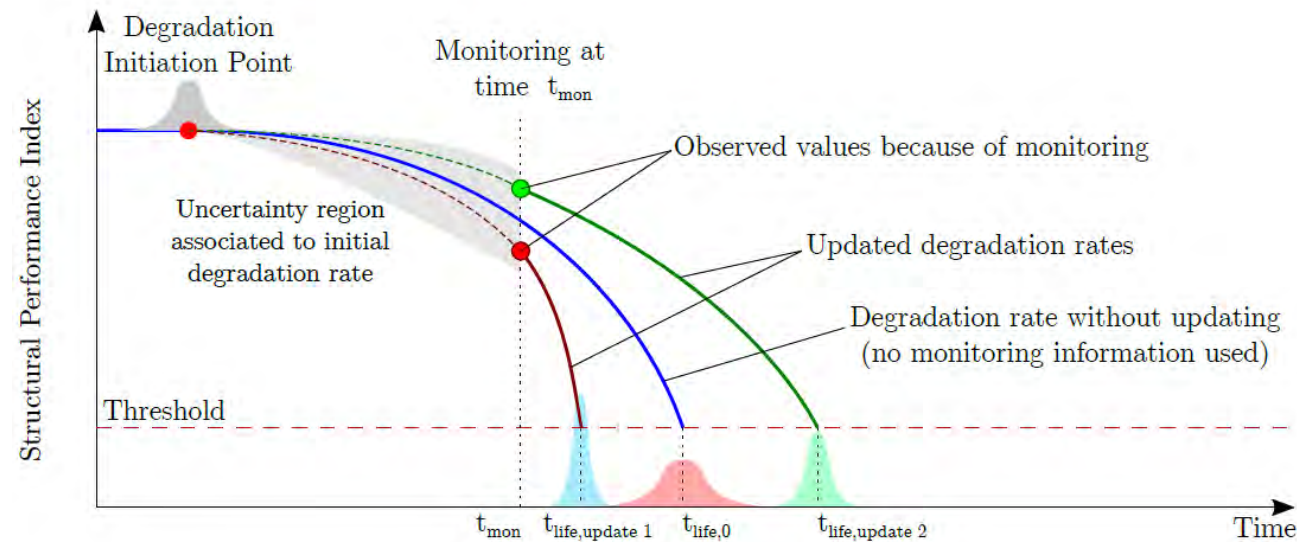
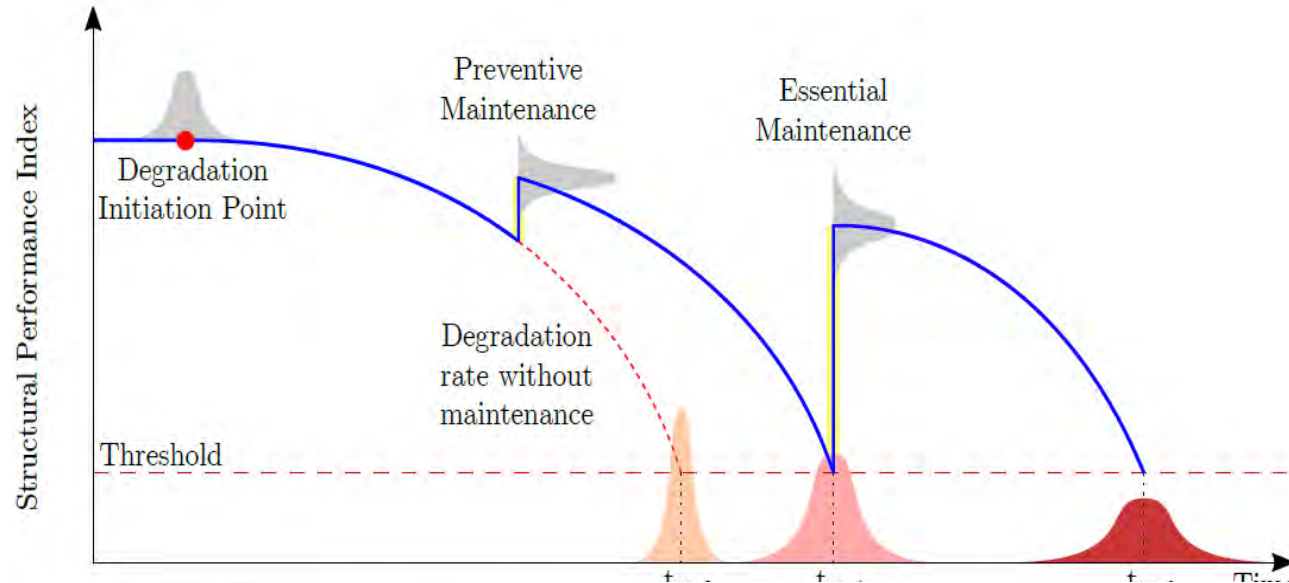


- **ML-aided
Damage
Detection
strategies**

- Artificial Intelligence integration for damage detection

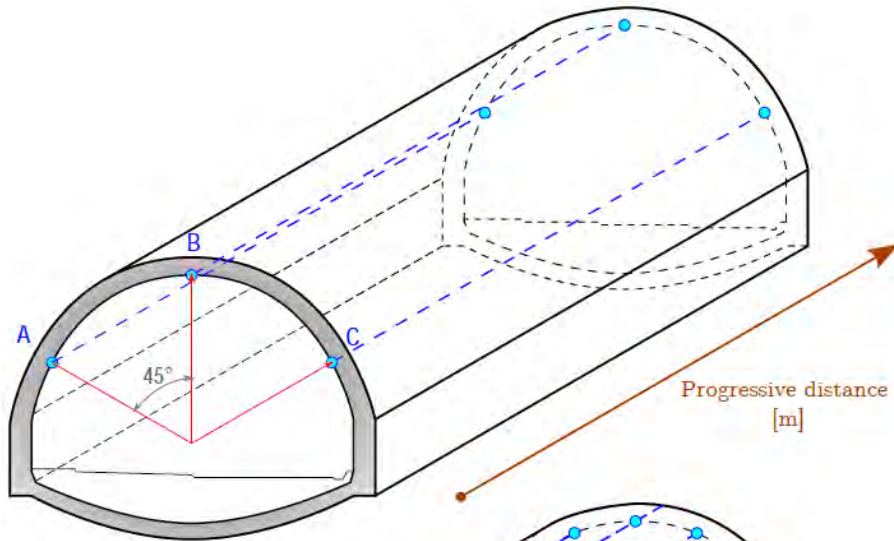


Filosofie di rilevamento e manutenzione dei danni

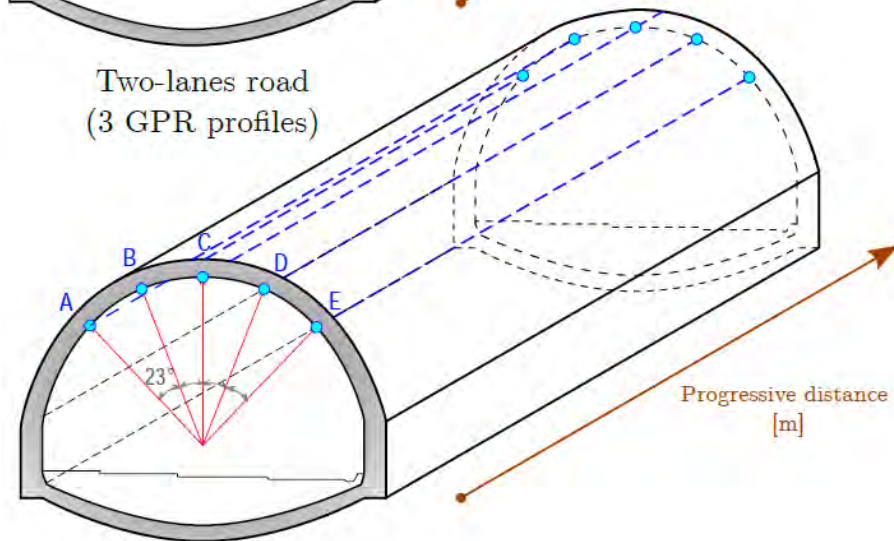


Test e valutazione non distruttivi per il rilevamento dei danni

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



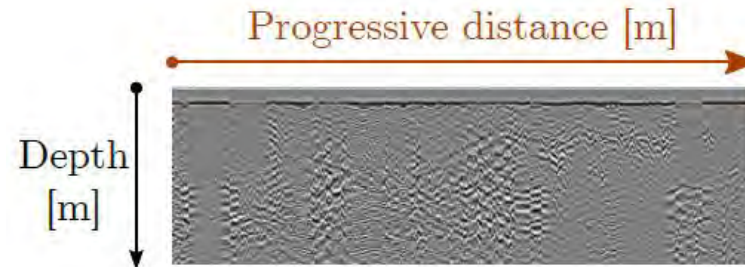
Two-lanes road
(3 GPR profiles)



Three-lanes road
(5 GPR profiles)

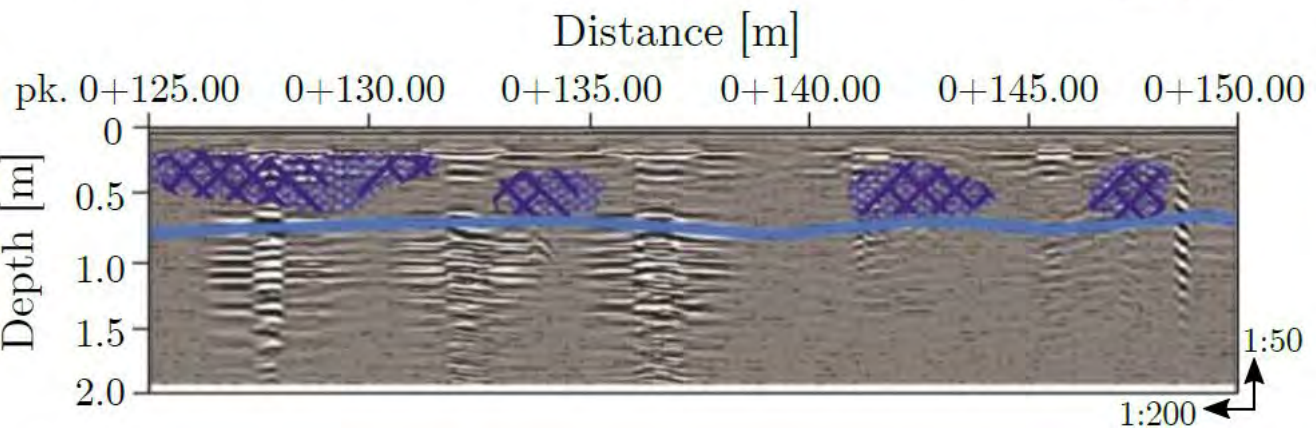
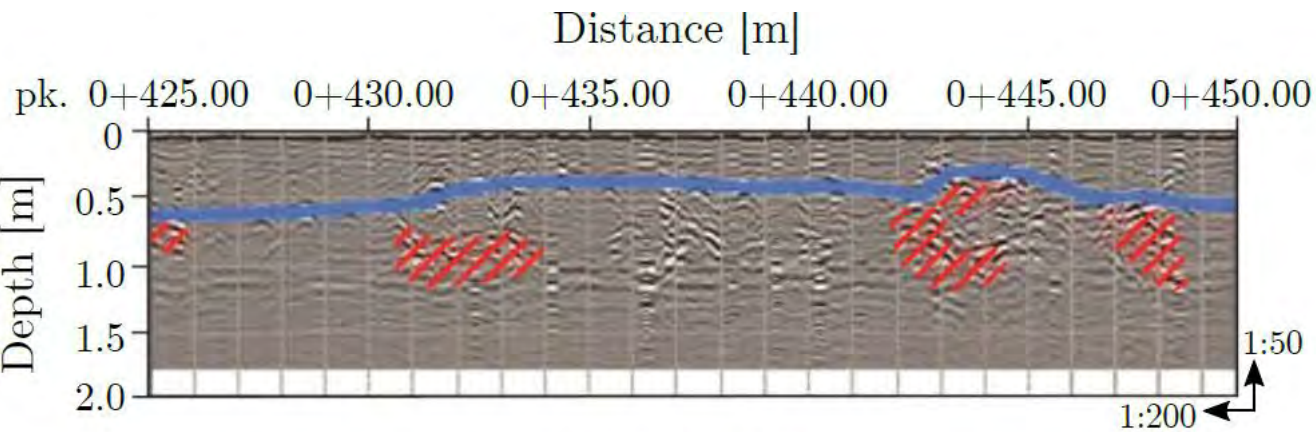
Impulsi a onde elettromagnetiche ad alta frequenza (10-2600 MHz).
La propagazione di tale impulso è influenzata dalle caratteristiche dielettriche del materiale.

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

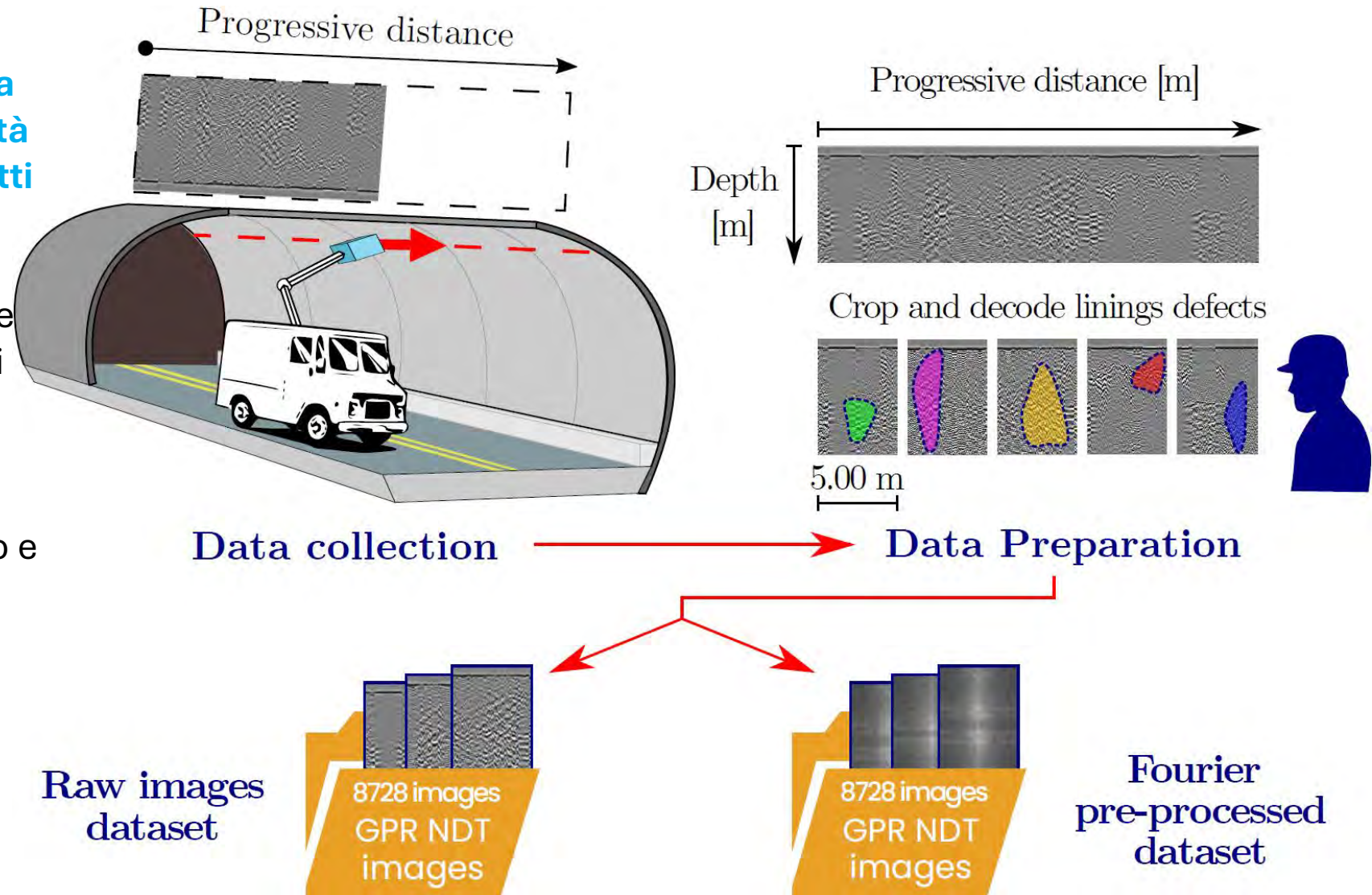
Test e valutazione non distruttivi per il rilevamento dei danni

Tunnel linings GPR profiles dataset construction

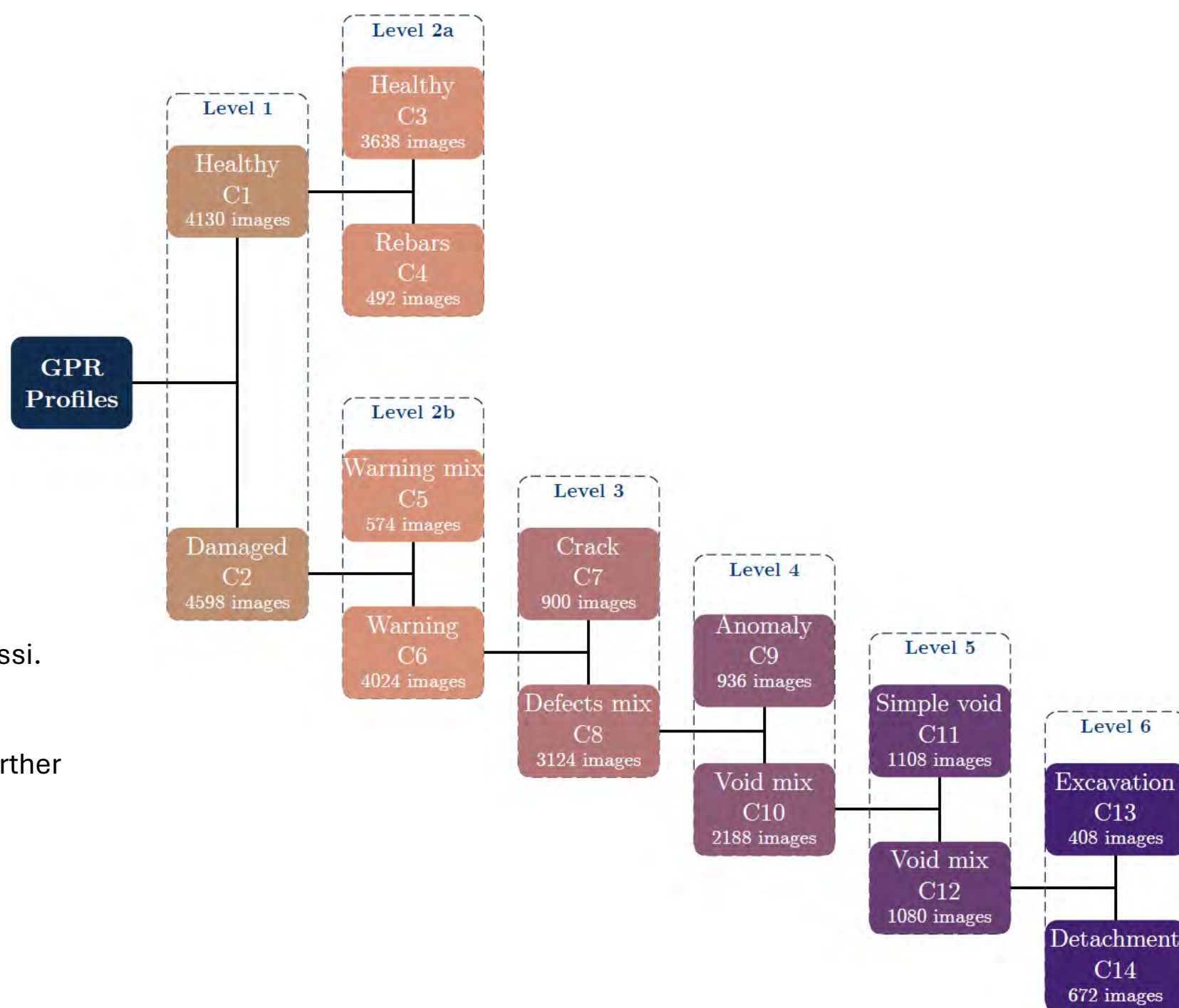
- Since 10/2019 **Road tunnel Piano di valutazione organizzato da ASPI, Autostrade per l'Italia, società per azioni italiana che gestisce tratti autostradali in concessione**

- 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 incrociata a 5 volte per le architetture CNN.



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



In totale, sono state considerate 14 classi.

Level 1: Healthy vs Unhealthy

Level 2a: Healthy vs Rebars

Level 2b: Generic Warning mix (to be further investigated)

Level 3: Find cracks

Level 4: Detect voids in linings

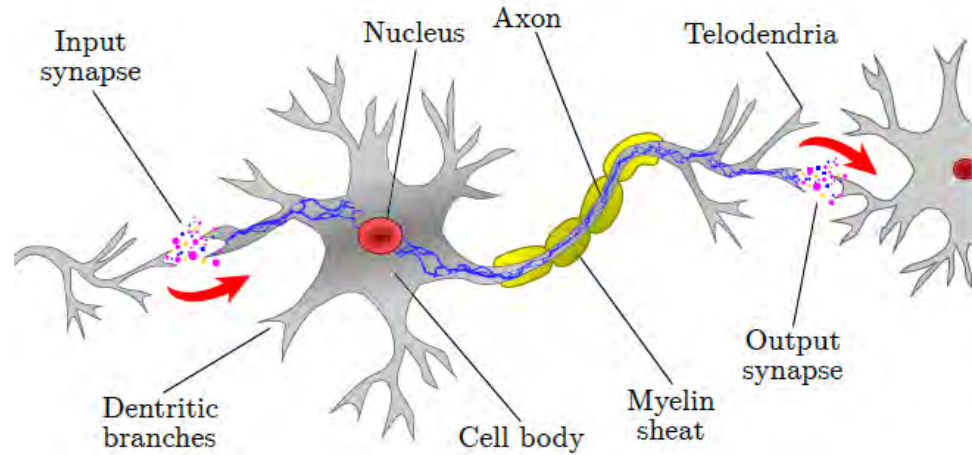
Level 5: Simple voids

Level 6: Excavation vs Detachments

Nondestructive Testing and Evaluation for damage detection

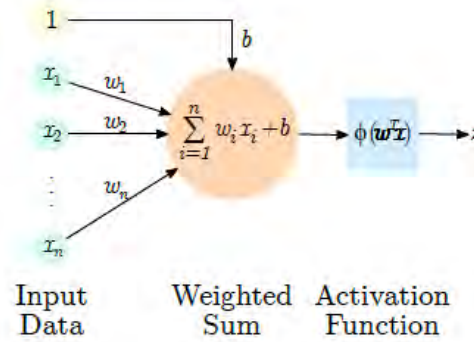
Tunnel linings GPR flaws deep learning classification

McCulloch-Pitts
Neuron Model

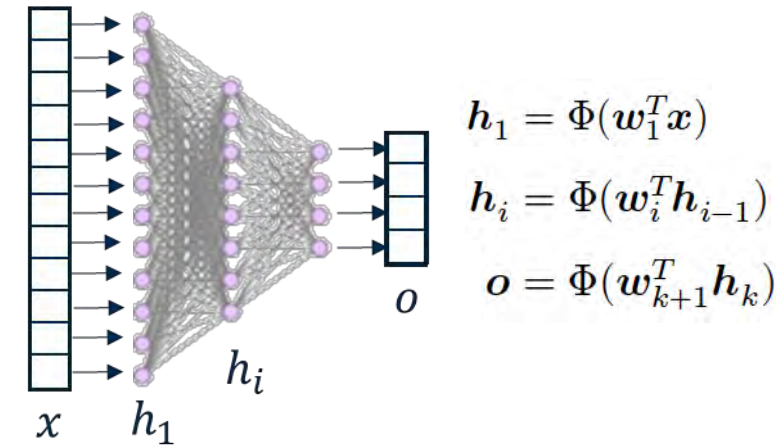


Rosenblatt's
Perceptron Model

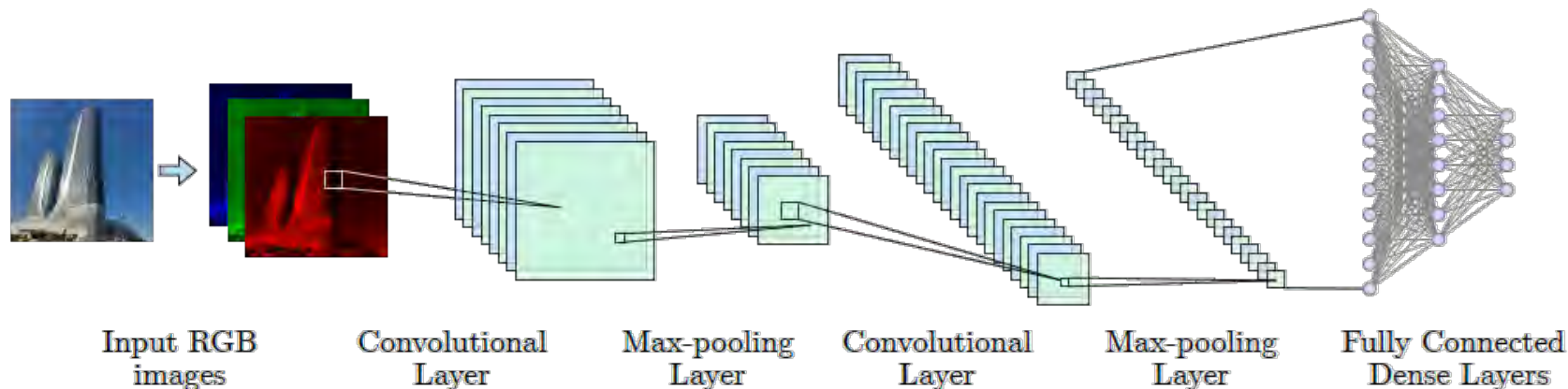
$$z = \phi(\mathbf{w}^T \mathbf{x})$$



Multi-Layer Perceptron (MLP)

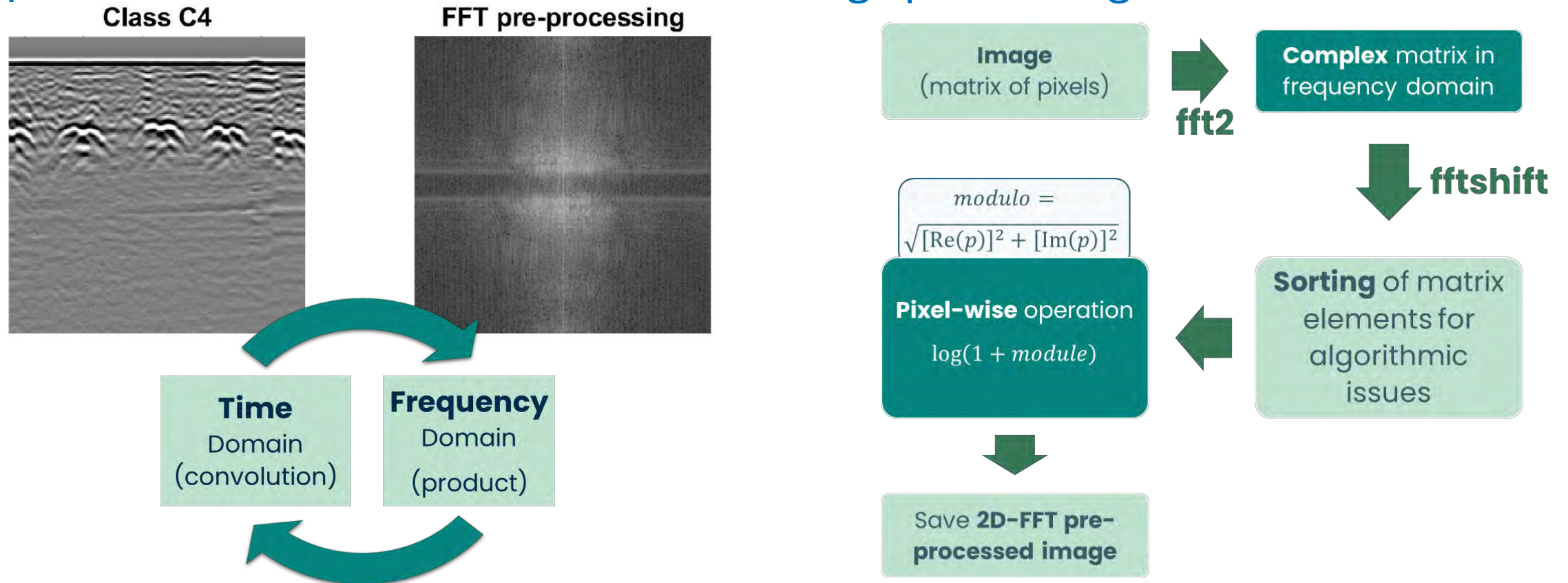


Convolutional
Neural Network
(CNN)



Nondestructive Testing and Evaluation for damage detection

GPR profiles and 2D Fourier Transform for image processing

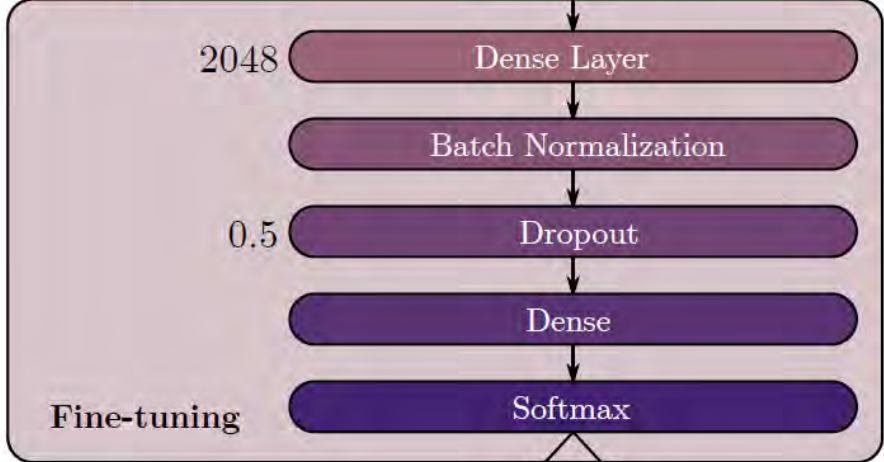
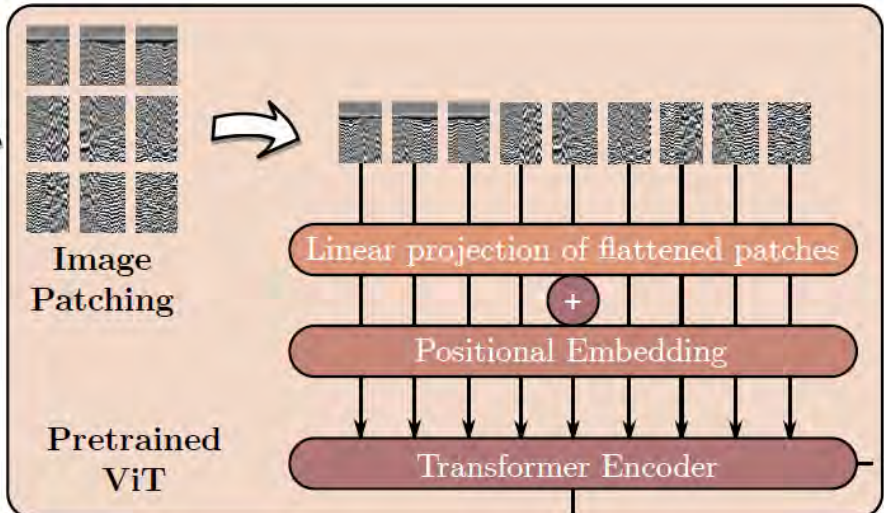
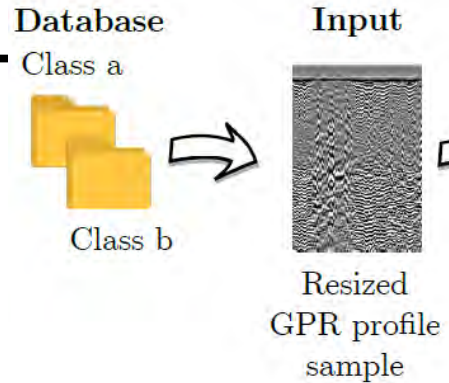


FFT2D : more **efficient convolution/correlation** operations in frequency domain

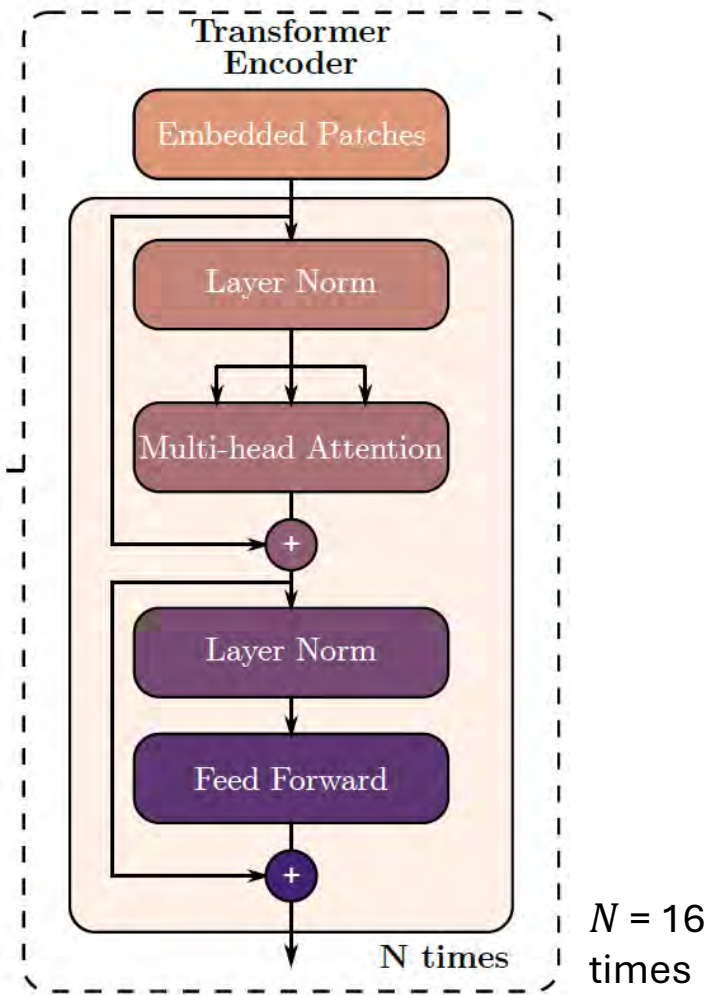
Correlation: $i(x, y) \circ h(x, y) = i(x, y) * h(-x, -y)$

Vision Transformer: ViT-L16 model

archi

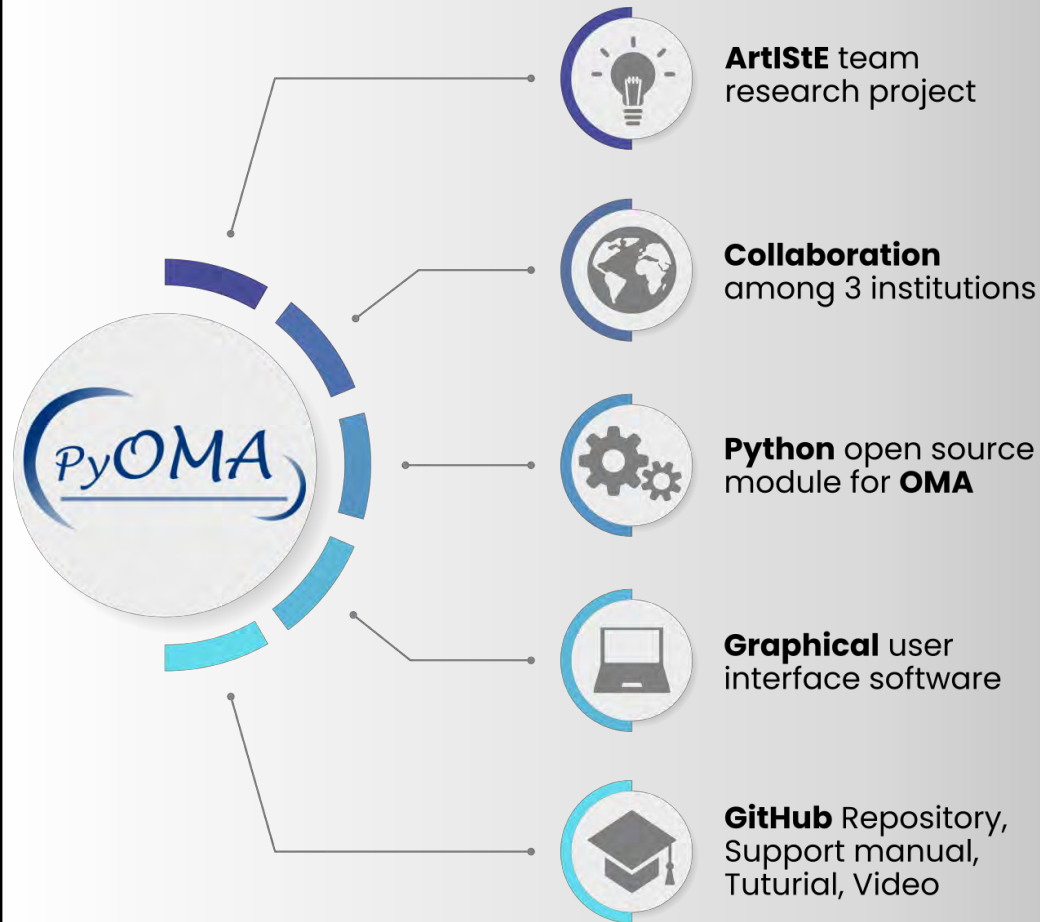


Class Prediction
Class a
Class b



Max number epochs	20
Mini-batch size	16
Learning rate	0.0001

• Analisi modale operativa convenzionale



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELL'AQUILA

Treteknisk

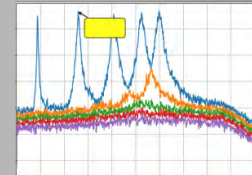


Politecnico di Torino

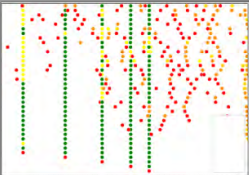


Python open source module for **OMA**

Frequency domain



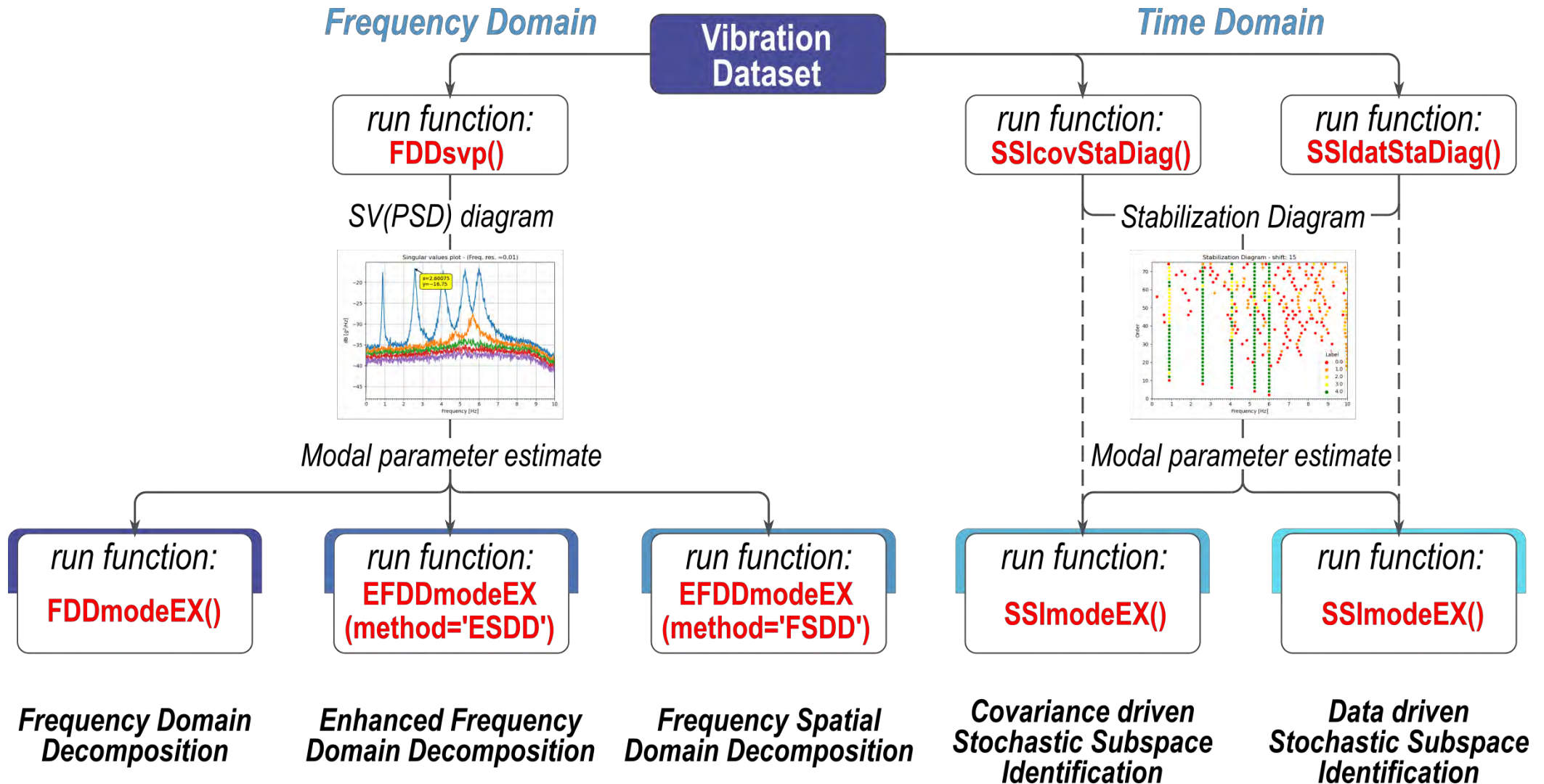
Time domain



Graphical user interface software



PyOMA: a python implementation for OMA

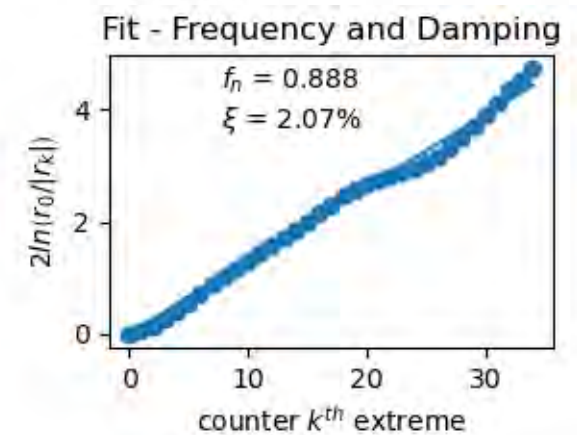
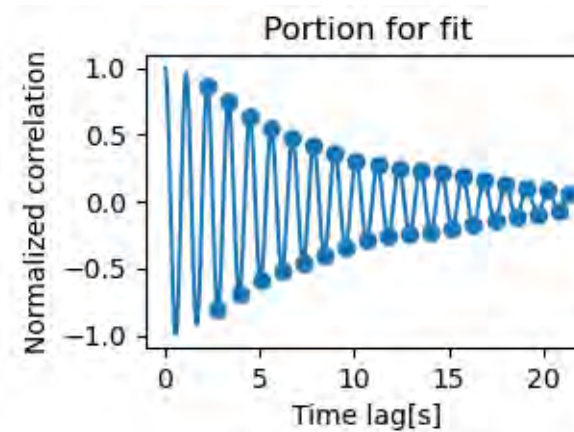
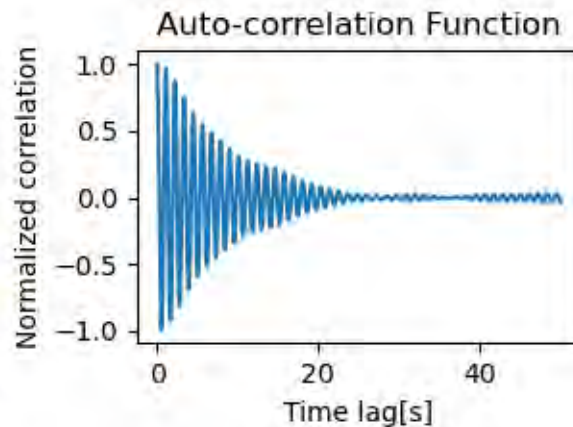
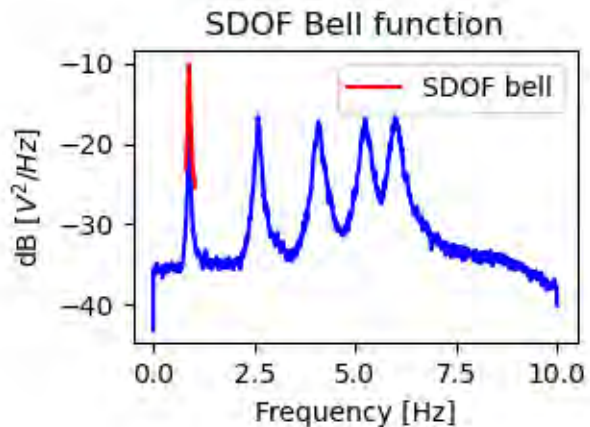
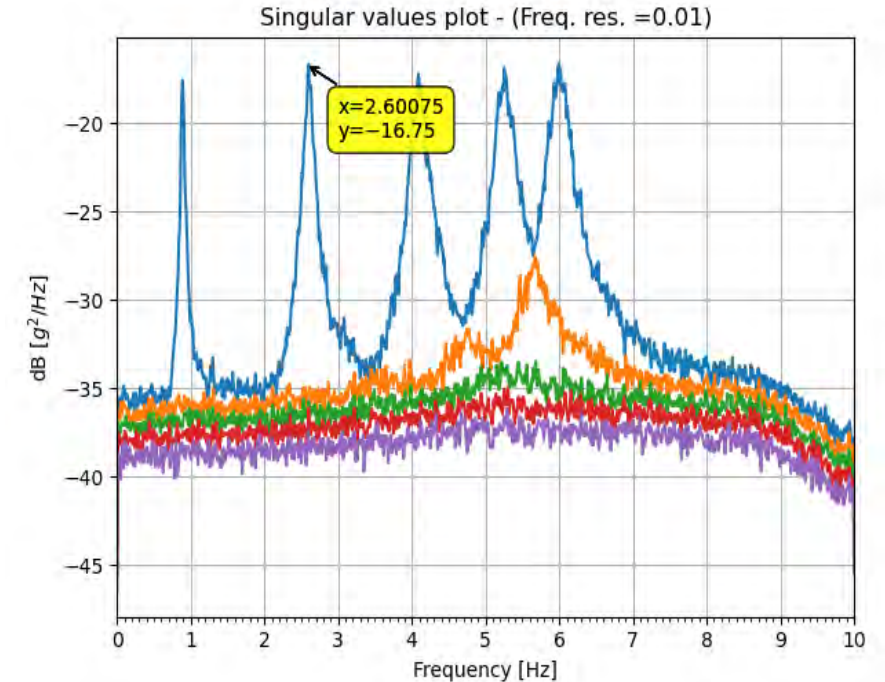


Frequency-domain decomposition: peak-picking

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

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

- 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

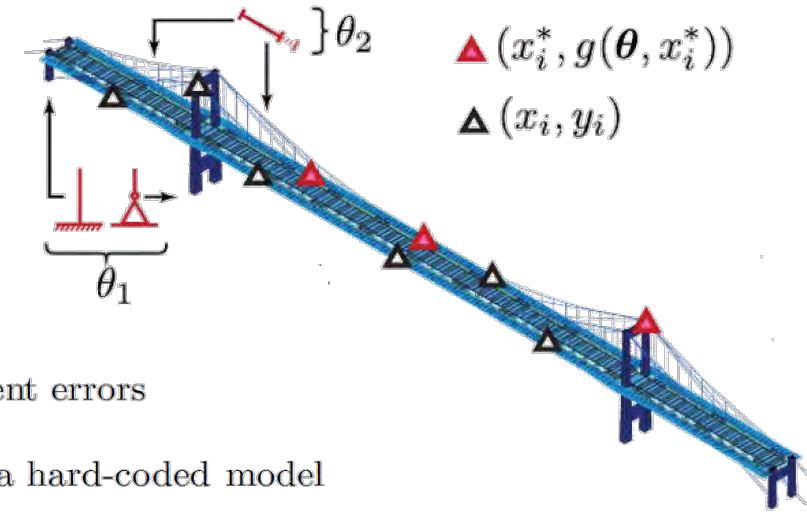
- Foremost **Model parametrization**: Defines Parameter θ to be updated
- Not all are directly observable
- *Deterministic Approaches*
- *Probabilistic Approaches* i.e. Bayesian Updating
- Observation may contain errors.

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

$$y = \underbrace{g(\theta, \mathbf{x})}_{\text{Deterministic predictions from a hard-coded model}} + \underbrace{\mathbf{w}(\mathbf{x})}_{\text{Covariates}} + \underbrace{\mathbf{v}}_{\text{Measurement errors}}$$

Prediction errors

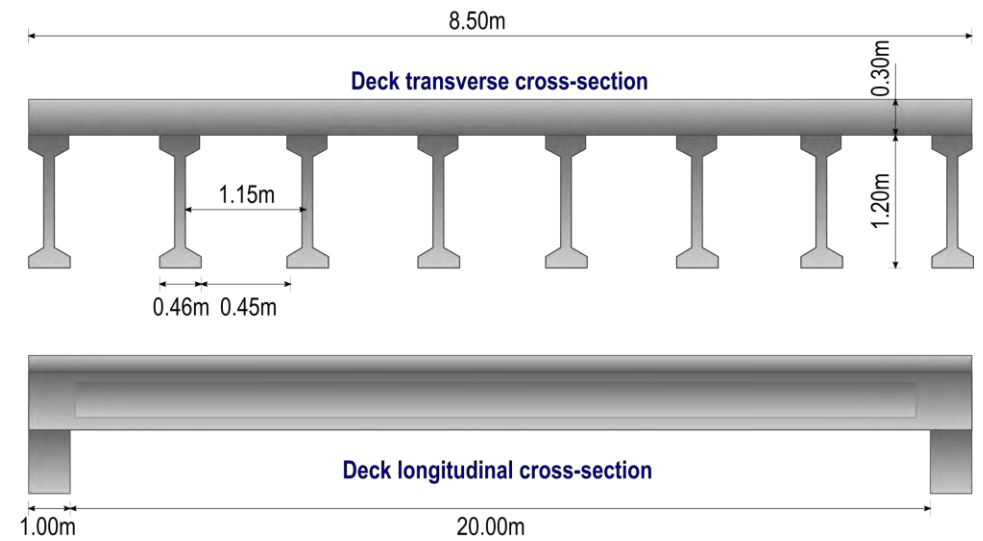
Observations



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

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

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}**

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

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

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

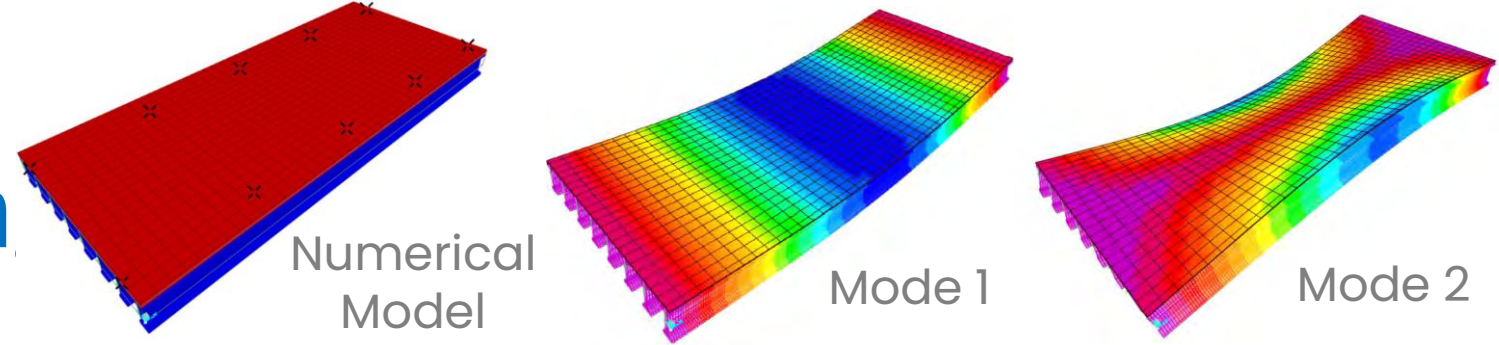
$$\mathbf{x} \in [\mathbf{x}^l, \mathbf{x}^u]$$



**optimization
problem**

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

FE model updatin



- 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)

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

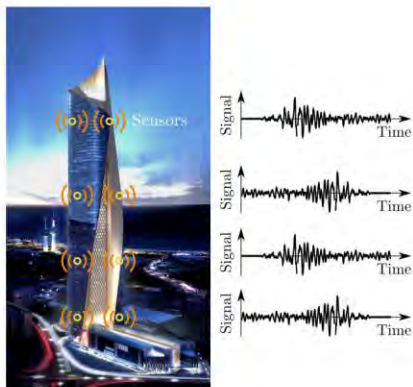
- Inverse problem (ill-posed, ill-conditioned) → **sensitivity analysis** to assess goodness of choice model parameters on OF (**Sobol Indicators**)
- Unknown model parameters: **Young's moduli of girder E_b and deck E_d**

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	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**)

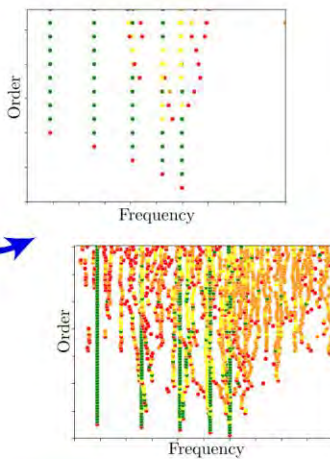
Sensors network design & Structural dynamic monitoring

- Dynamic excitation
- Sensors placement
- Vibration response data collection



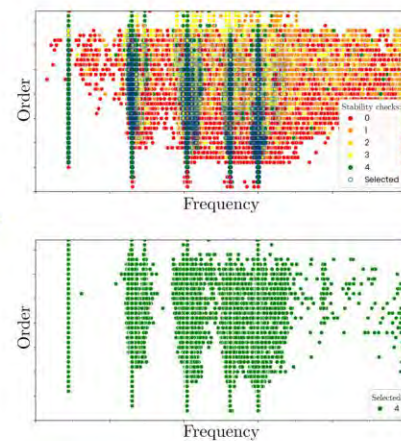
Identification based on random samples of the control parameters

- Quasi-MC sampling input parameters
- SSL-cov for every set of parameters
- Collect all the SDs



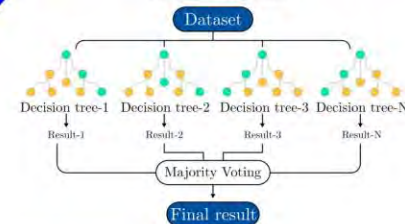
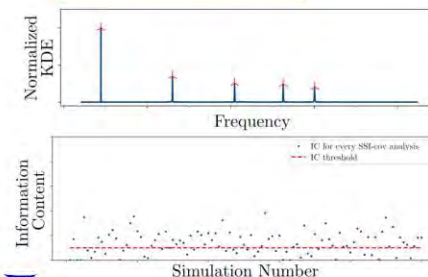
Stabilization diagrams overlapping & stability analysis

- Overlap all the SDs
- Poles stability checks (frequency, mode shapes MAC, damping)
- Retain fully stable poles only



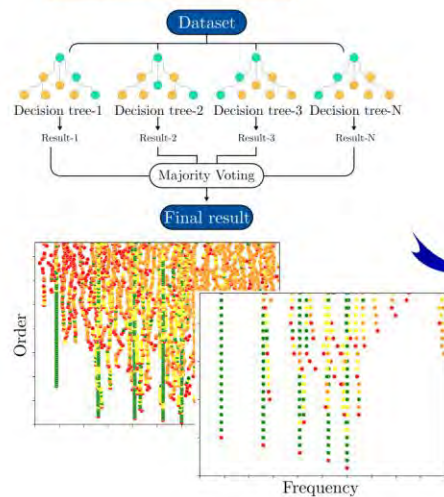
Kernel density estimation & Training of the ML algorithm

- KDE filtering of recurrent modes
- Define information content (IC)
- Train the RF algorithm



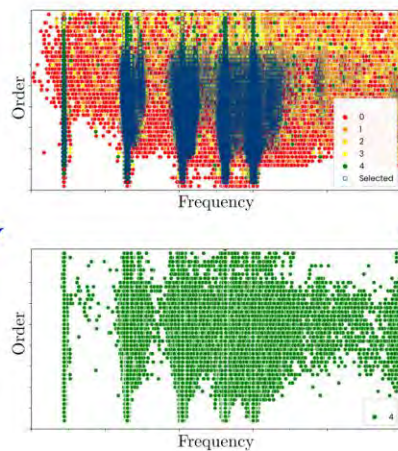
Identification based on feasible samples of parameters by ML

- Intelligent-driven quasi-MC sampling
- RF prediction of IC
- SSL-cov only for feasible samples
- Collect all the SDs until convergence



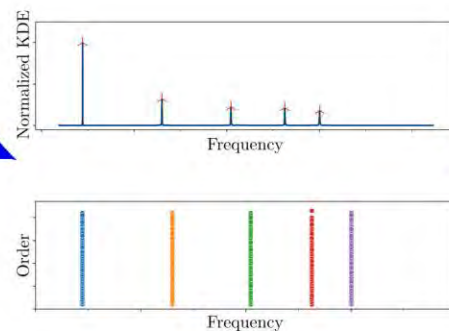
After convergence stabilization diagrams overlapping & stability analysis

- Overlap all the SDs
- Poles stability checks (frequency, mode shapes MAC, damping)
- Retain fully stable poles only



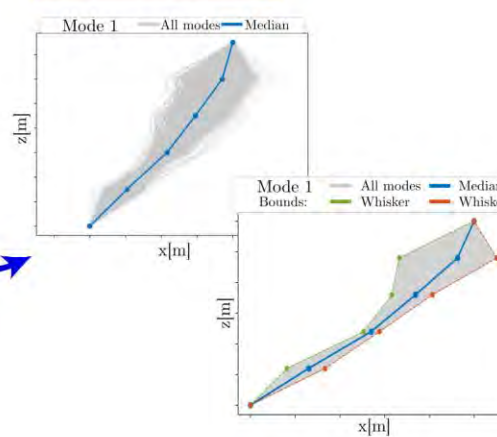
Kernel density estimation & collection of all certainly stable poles

- Normalized KDE of stable poles along frequency direction
- Selection of recurrent poles falling within the KDE-based selection band



Estimation of the final modal properties & Uncertainty quantification

- Average and dispersion of frequencies and damping of the selected modes
- Compute uncertainty propagation around the median mode shapes



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)

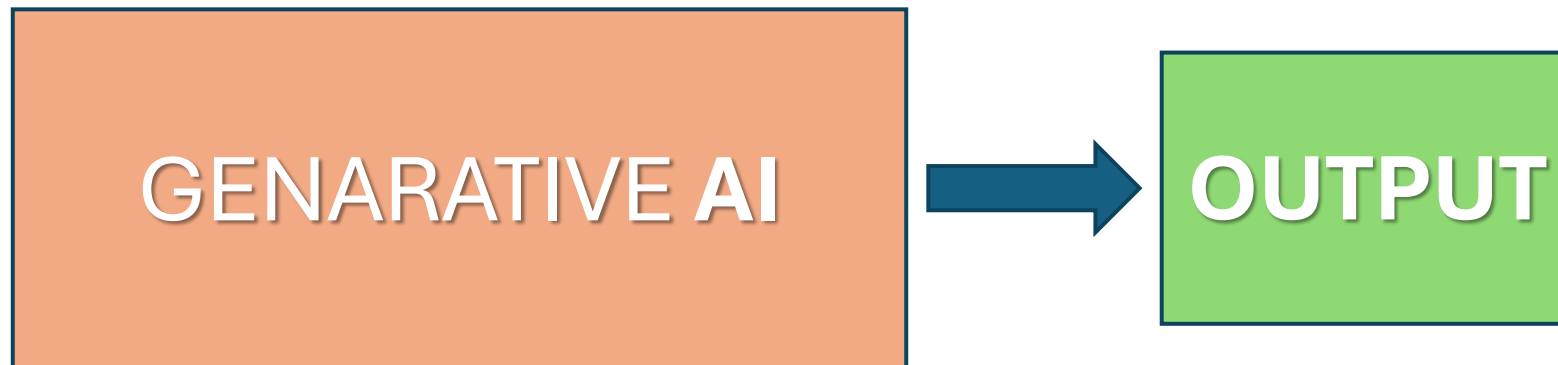
- **classificare o distinguere tra categorie di dati esistenti. Analizza gli input per prevedere etichette, rispondere a domande o prendere decisioni, interpreta o categorizza ciò che già esiste.**
- **Esempi:**
 - Classification (e.g., "Is this a cat or dog?")
 - Prediction (e.g. "Will this structure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



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

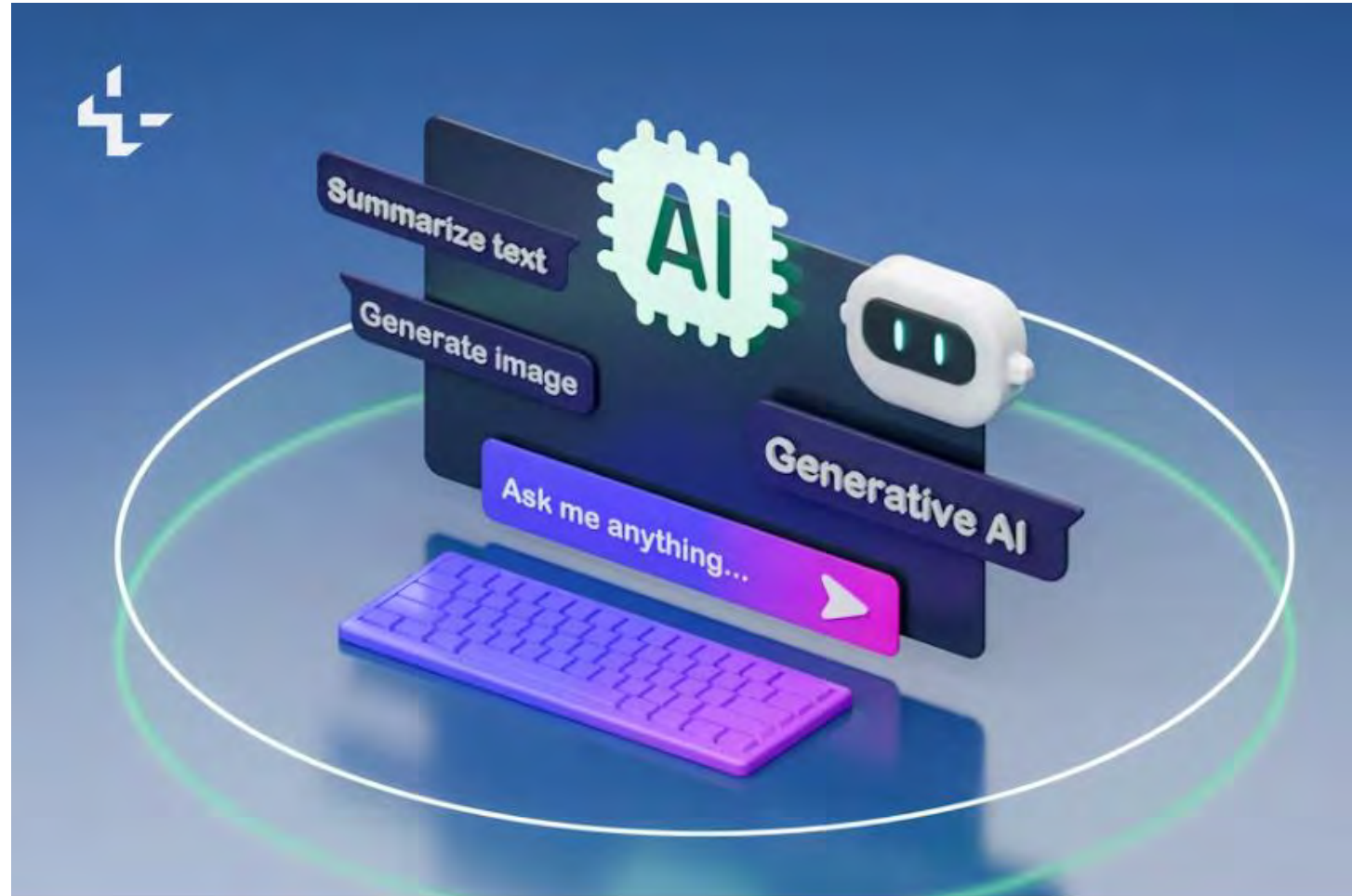
GENERATIVE AI

- 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).*

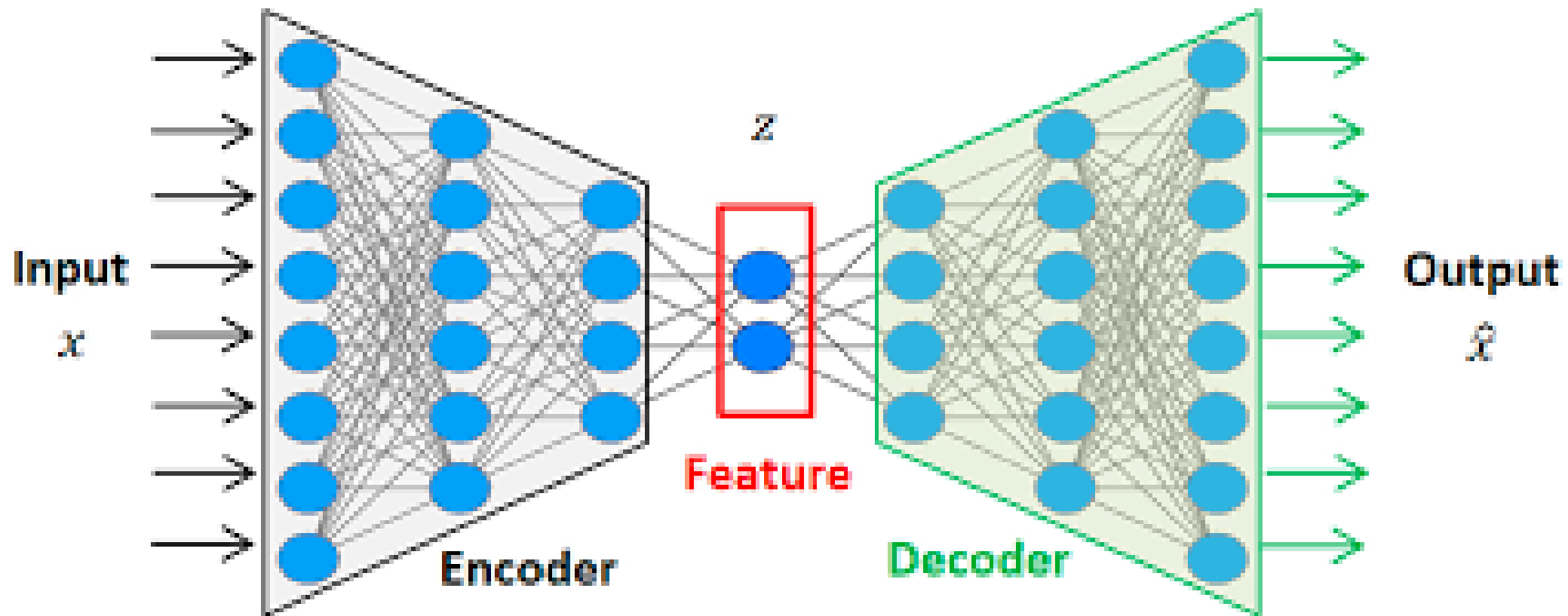


Introduzione: Cos'è l'IA? E quando si tratta di «Generativo»?

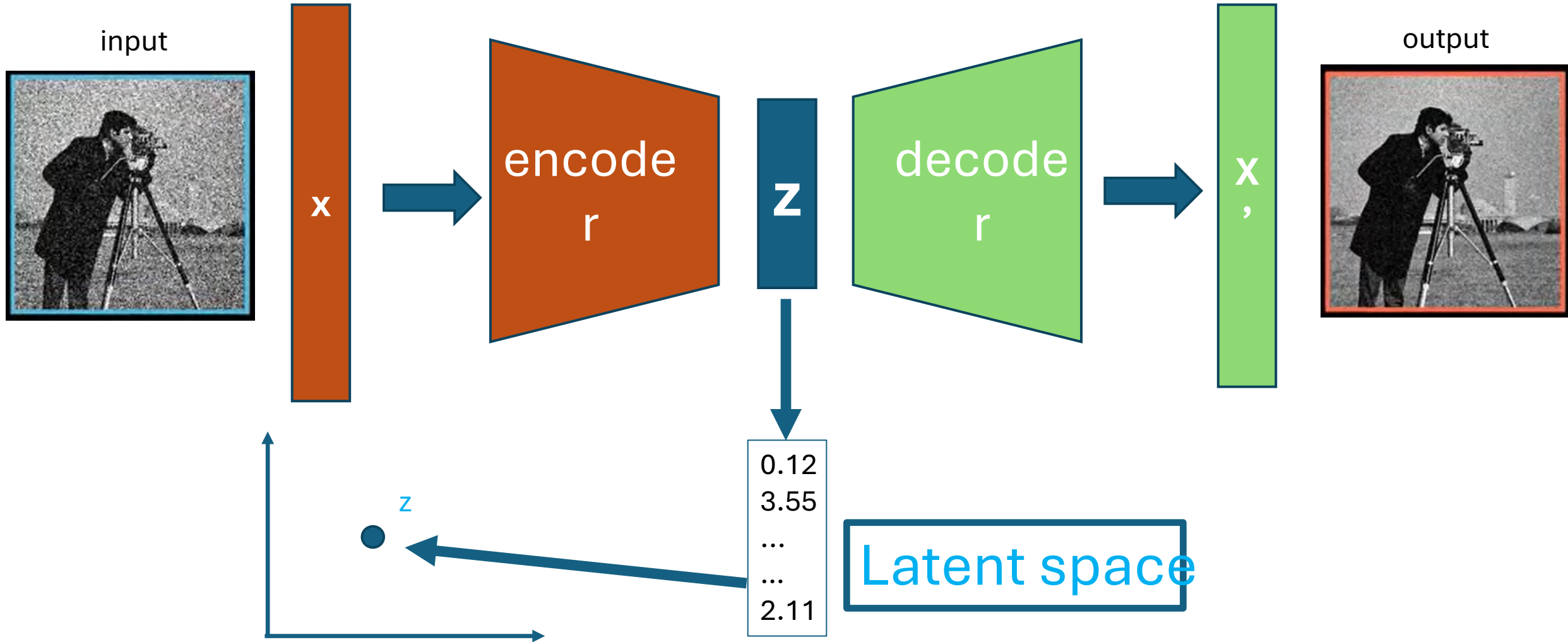
- **Fondamenti dell'IA: Sistemi che svolgono compiti che richiedono intelligenza umana (apprendimento, ragionamento).**
- **Sottoinsiemi: Machine Learning (ML), Deep Learning (DL), Reti Neurali (NN).**
- **IA discriminativa vs generativa:**
- **Discriminatorio: Classifica/analizza i dati esistenti (ad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



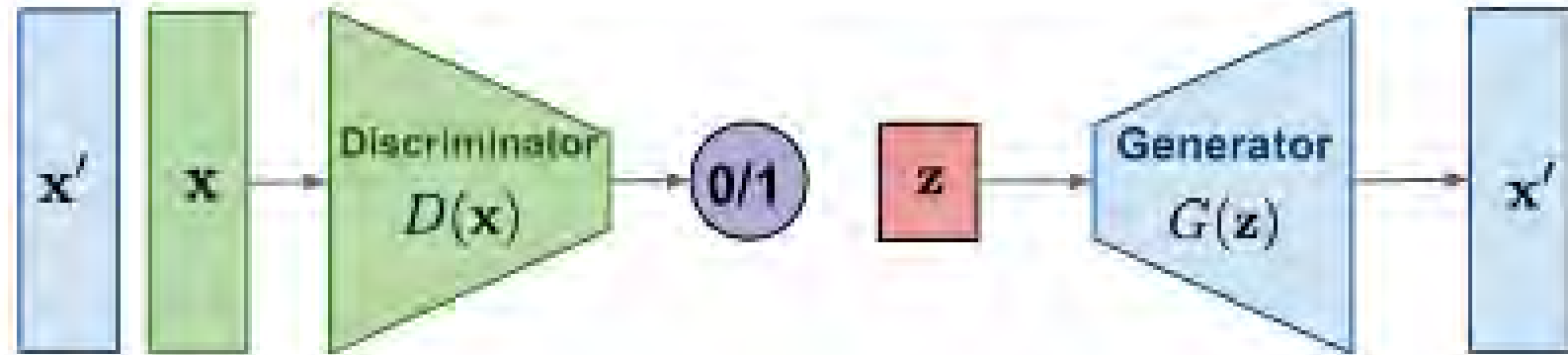
“L'IA generativa non sta sostituendo gli ingegneri—sta ampliando la loro immaginazione.”



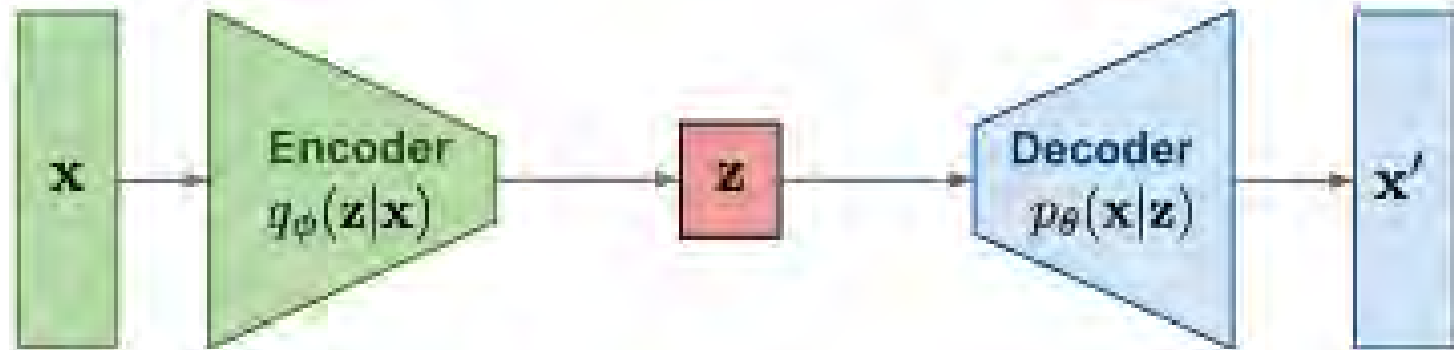
Generative AI: Main Concepts & Methods



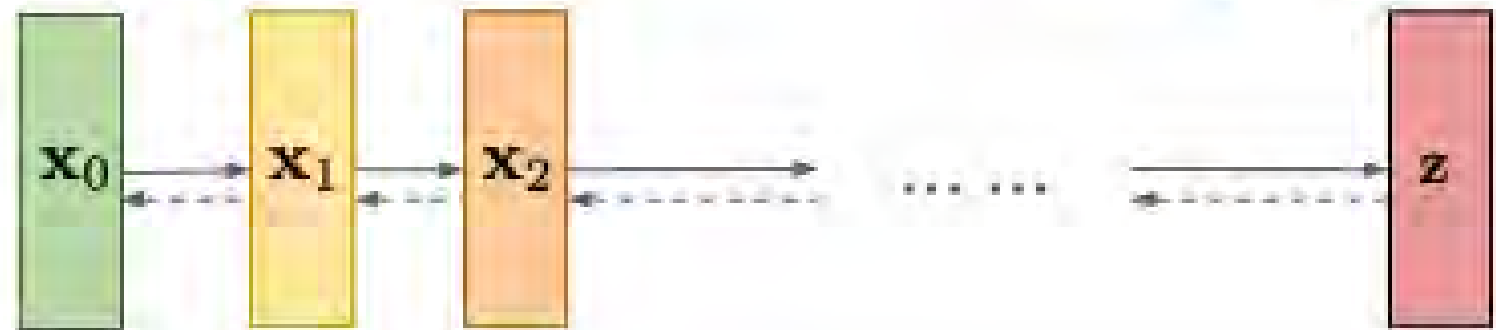
GAN: Adversarial training



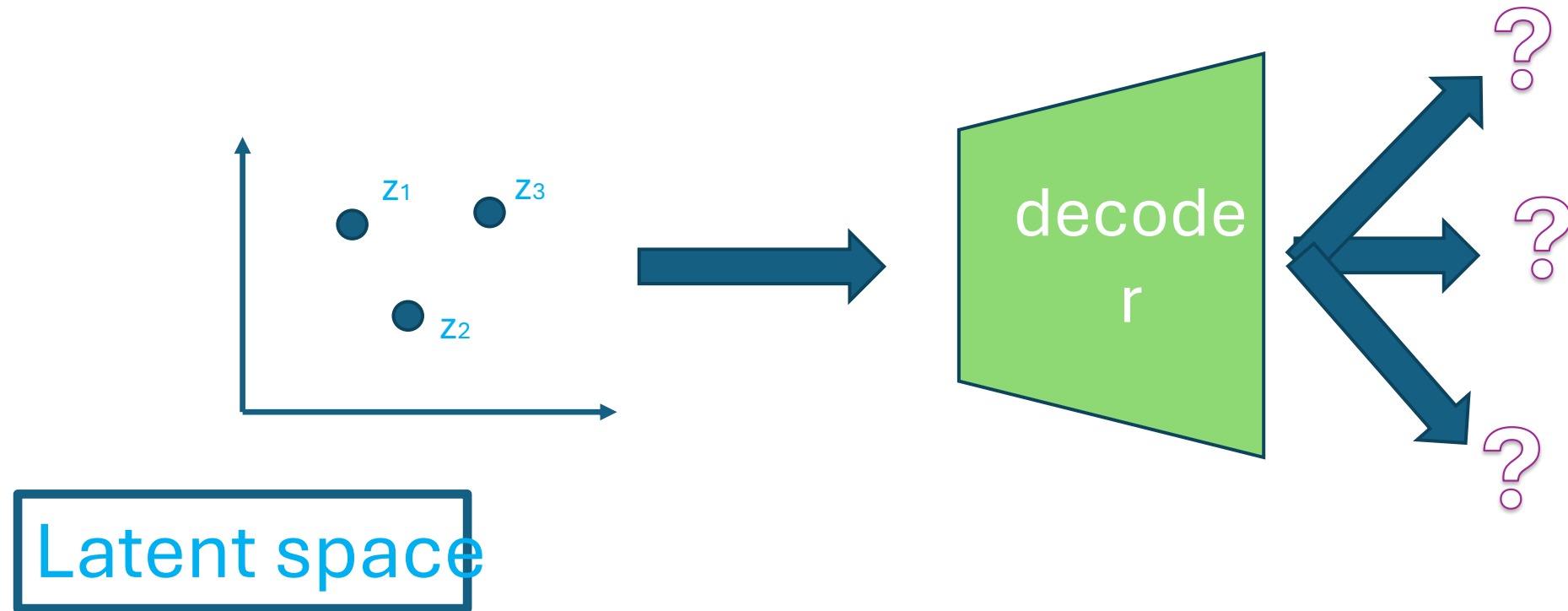
VAE: maximize variational lower bound



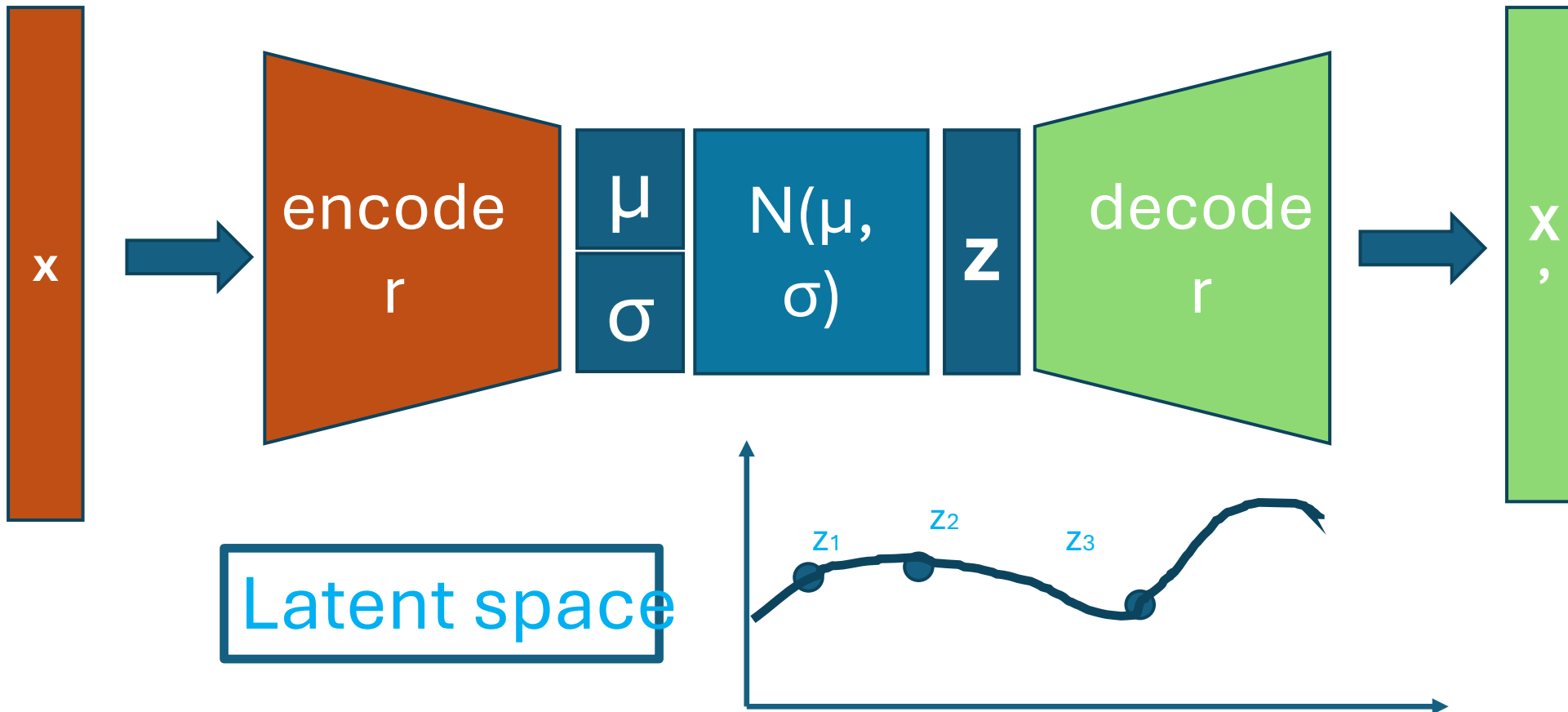
Diffusion models:
Gradually add Gaussian noise and then reverse



Generative AI: Main Concepts & Methods

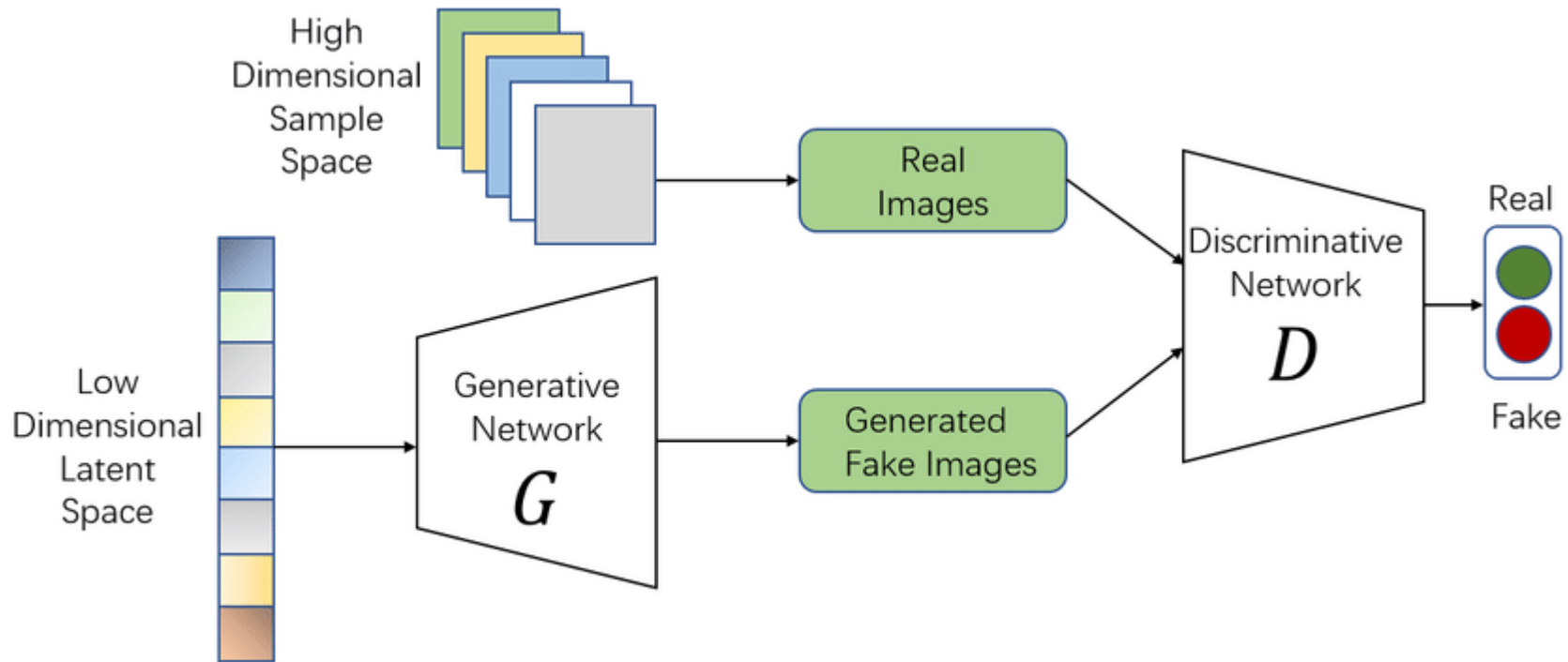


Generative AI: Main Concepts & Methods



Generative AI: Main Concepts & Methods

generative adversarial networks

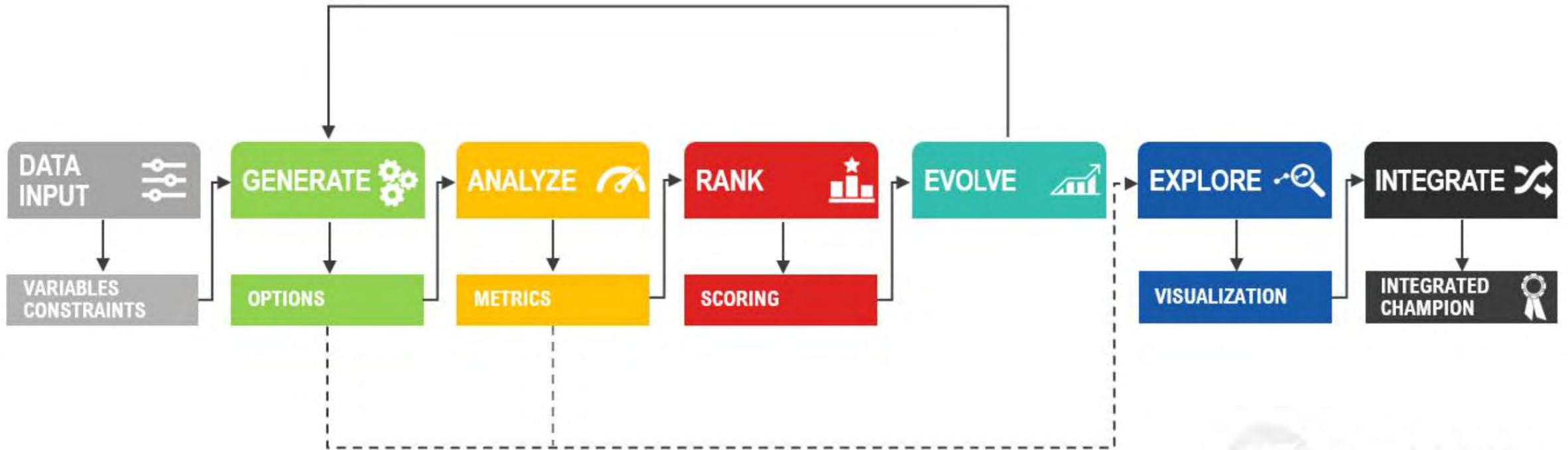


GenAI in AEC: Applicazioni attuali

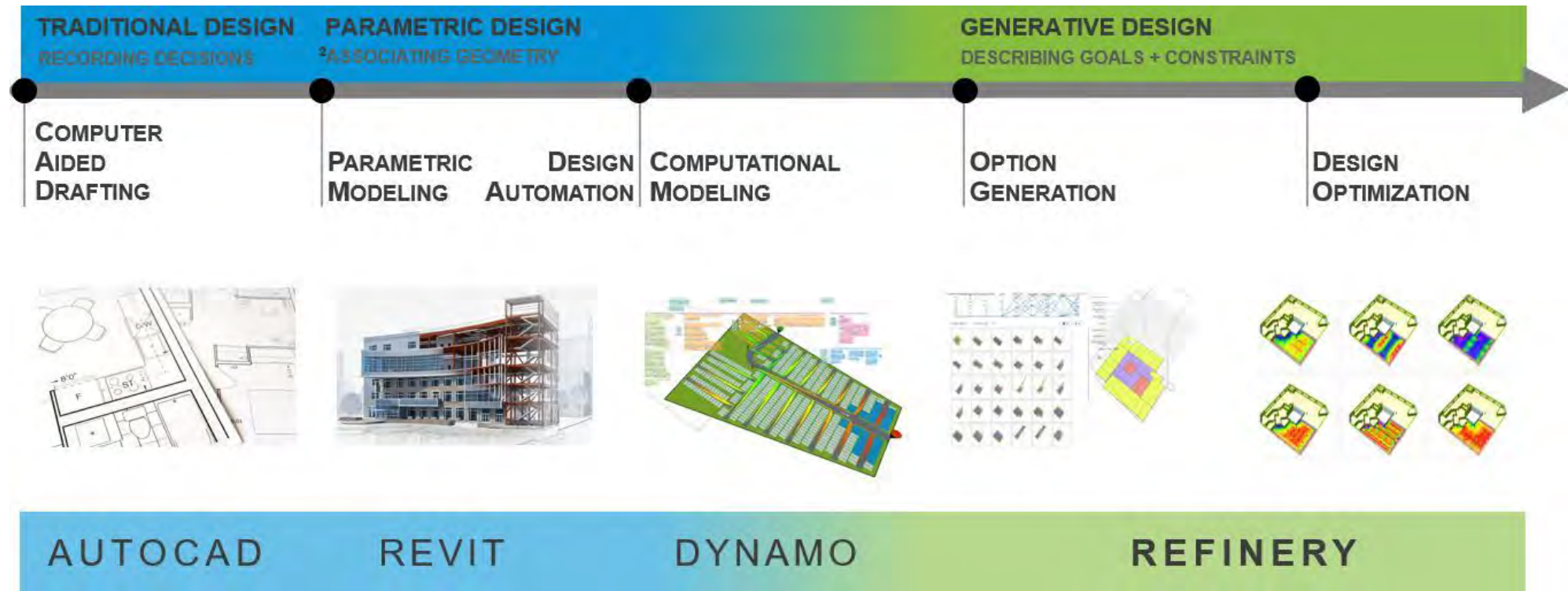
- **Architecture:**
 - Planimetrie automatiche
 - Layout edilizio a basso consumo energetico (design generativo sensibile al clima).
- **Engineering:**
 - Componenti ottimizzate per topologia
 - Progetti di ponti che bilanciano estetica e carico
- **Sustainability:**
 - Low-carbon concrete formulations (via generative material discovery).



IA generativa: applicazioni attuali

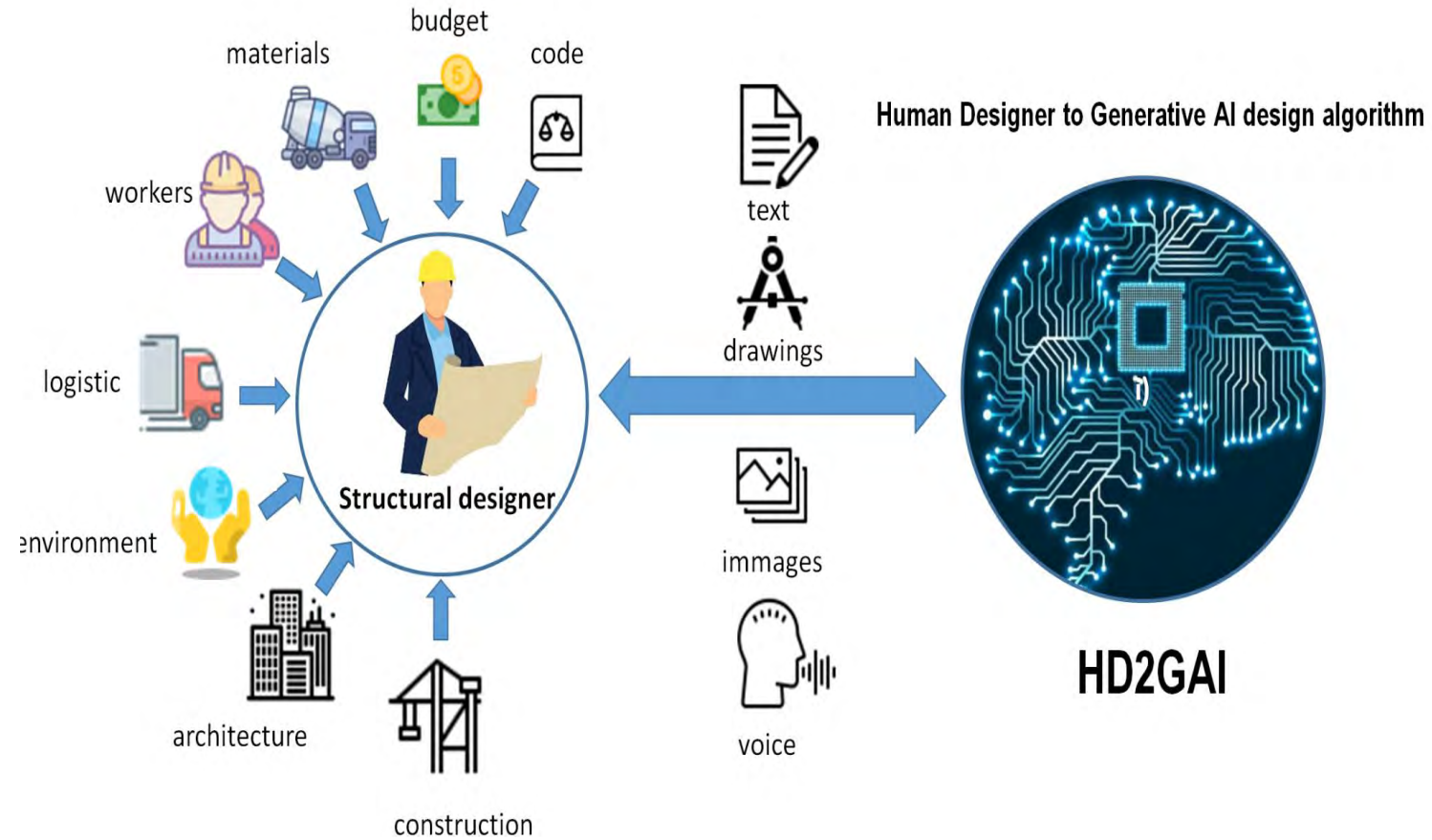


IA generativa: applicazioni attuali

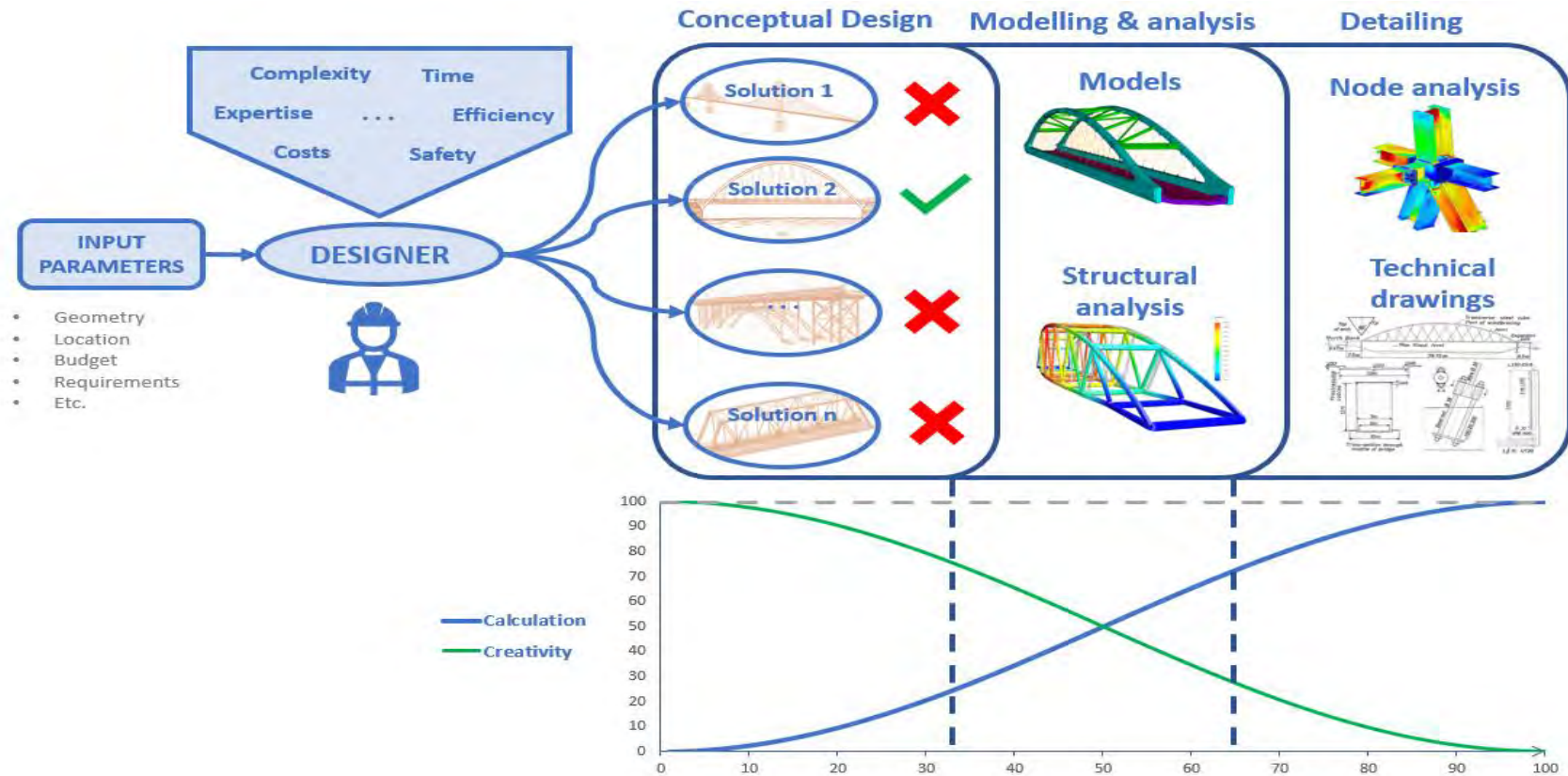


GeaAI in AEC: Future Perspectives

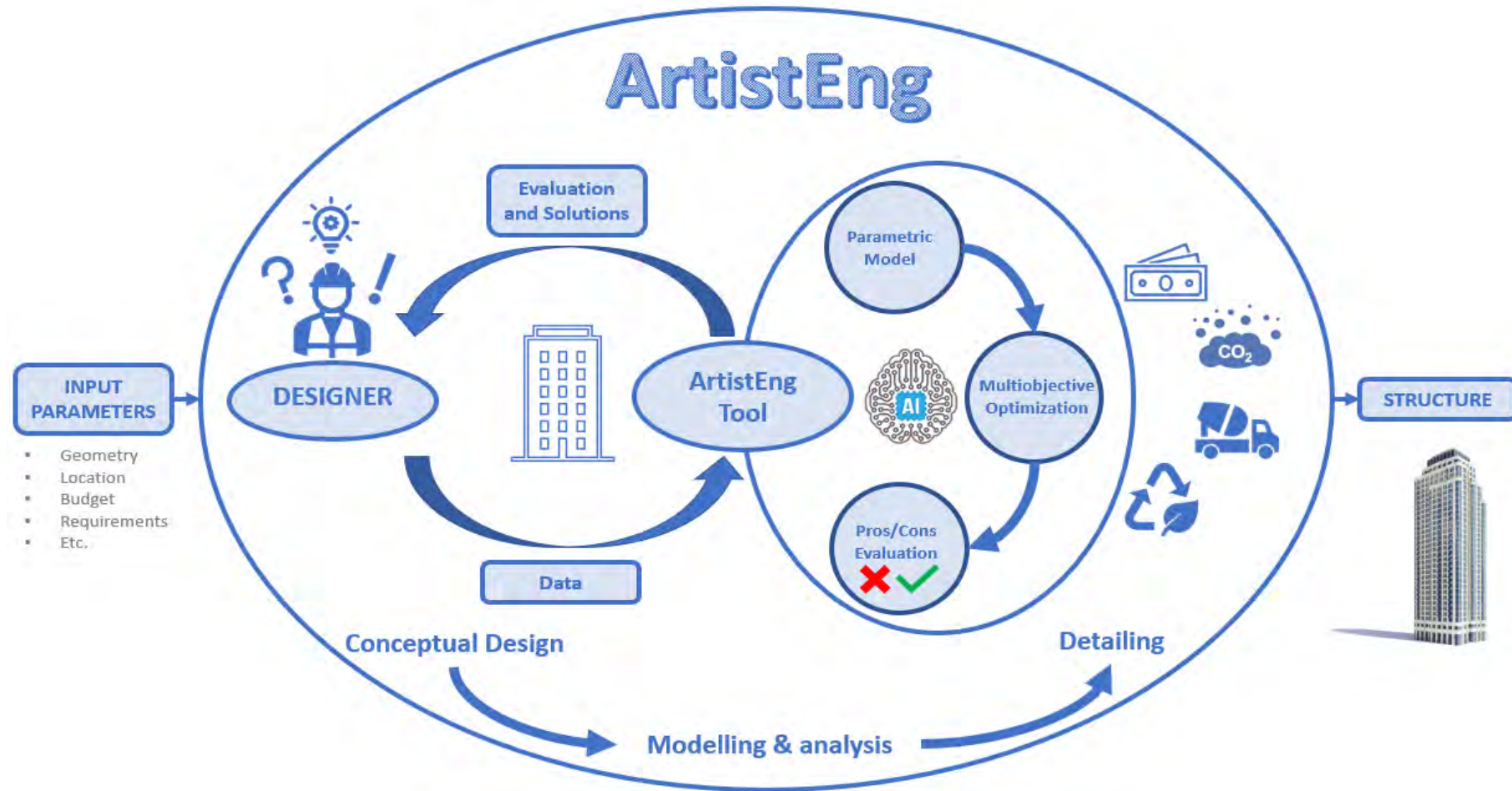
- **Short-Term (1–3 years):**
 - **Multimodal Models:** Combine text, BIM data, and sketches for holistic design.
 - **Generative Digital Twins:** AI-driven real-time adaptation of structures.
- **Long-Term (5+ years):**
 - **Autonomous AEC Ecosystems:** AI designs, optimizes, and constructs with minimal 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



REGIONE
PUGLIA

BARI BRINDISI FOGGIA TARANTO



PROGER



Benedetto Camerana
Studio



Politecnico
di Torino

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



Team Leader Ing. P. Cambula

- RIPS - Ing. C. Barbetta
- 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



Cordinamento

- Ing. V. Lombardi

Impianti

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



Coordinamento

- Ing. G. Ciullo
- Arch. G. Di Matteo

Geologia

- Dott. R. Pedone

Geotecnica

- Ing. P. Lovisolo

Strutture

- Ing. M. Bordi
- Ing. S. Caffè
- Ing. C. Attanasio
- Ing. E. Scoditti
- Ing. C. Rizzo

Bim

- 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



Politecnico di Torino

Strutture

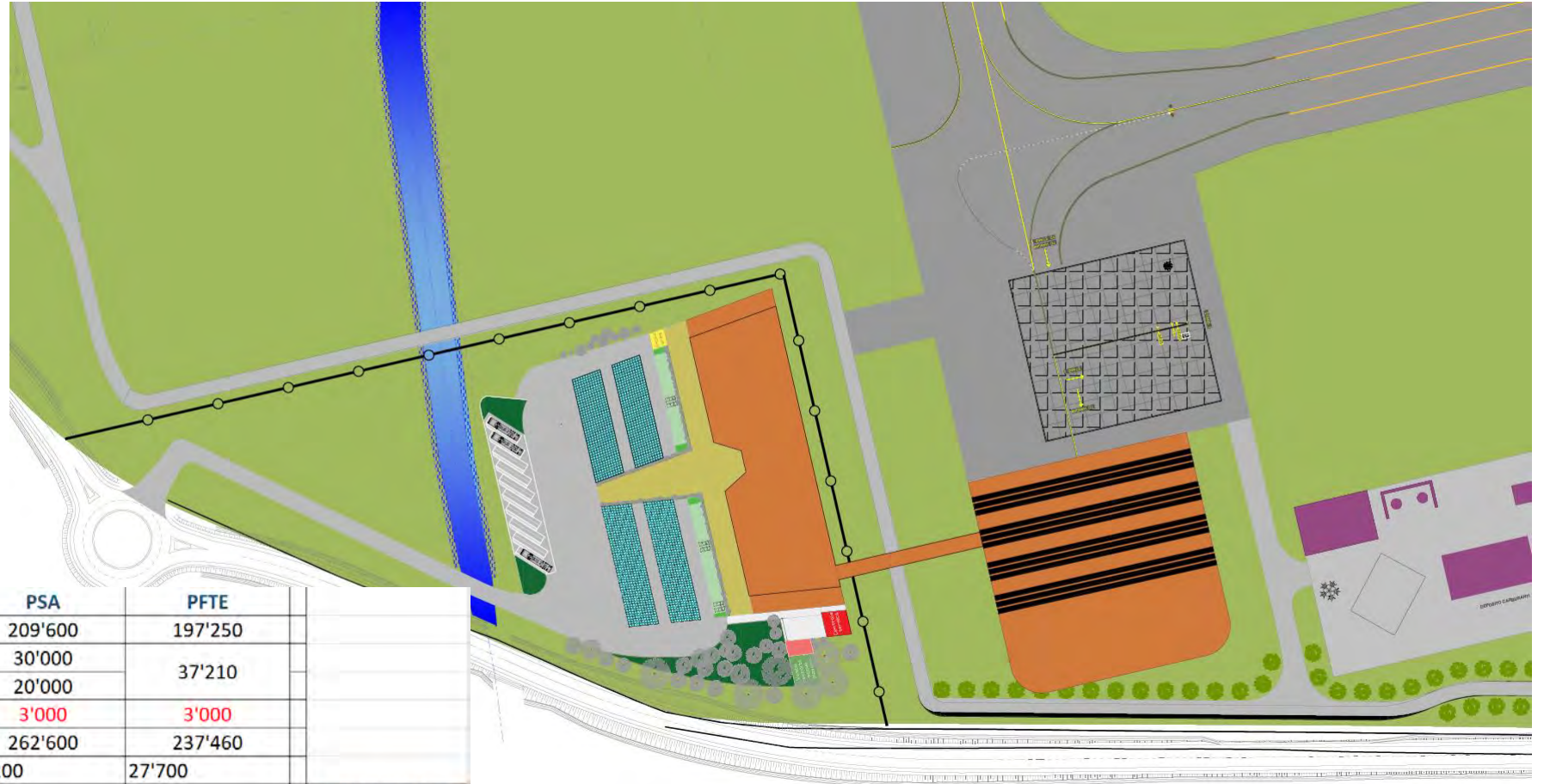
- - Prof. G.C. Marano
- - Prof. A. Manuello Bertetto
- - Ing. J. Melchiorre

Attualizzazione interventi PSA e Protocolli Sostenibilità



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 Grottagle	492'900	467'760	493'085

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 Spaziporto 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**.

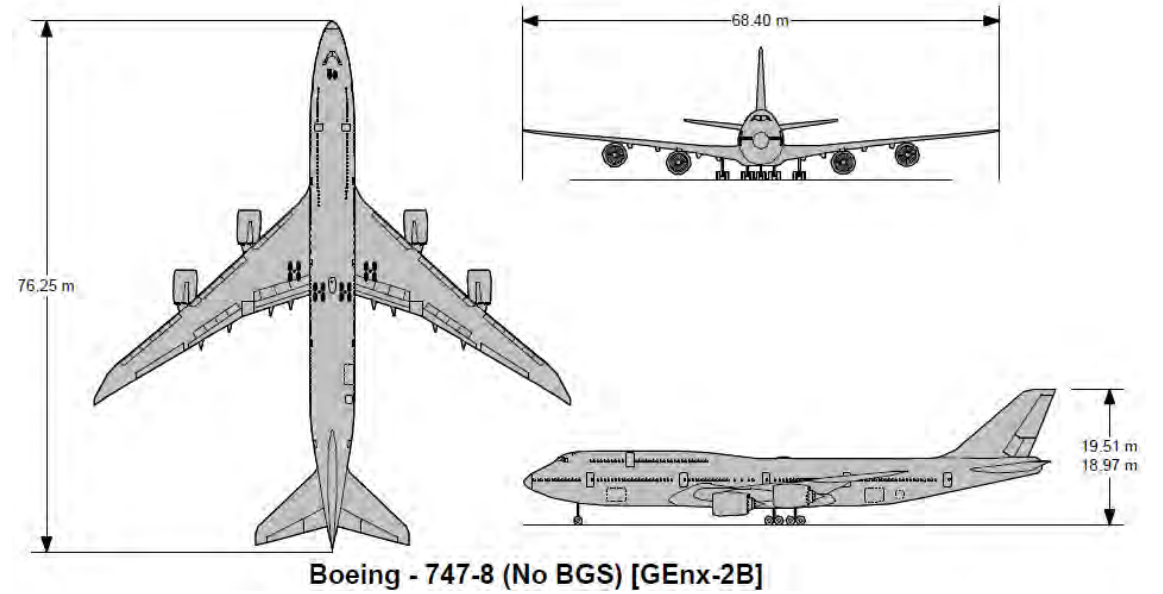
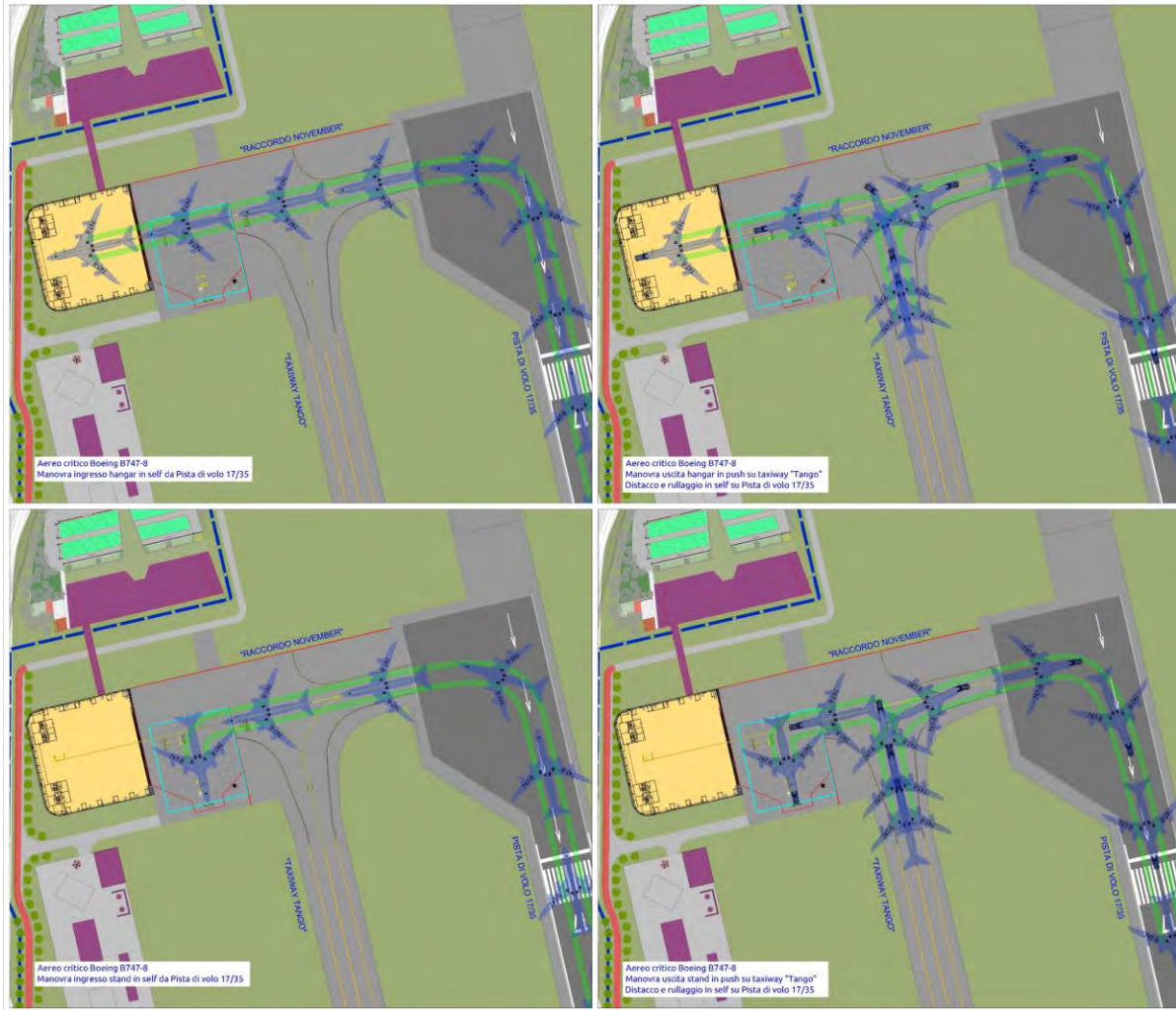


Per quanto riguarda il **Volo d'alta quota (near space)**, sempre a titolo indicativo lo Spaziporto potrà accogliere modelli tipo lo **Skydweller** - velivolo ad energia solare per possibili prove di volo con le seguenti caratteristiche:

- ❖ 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

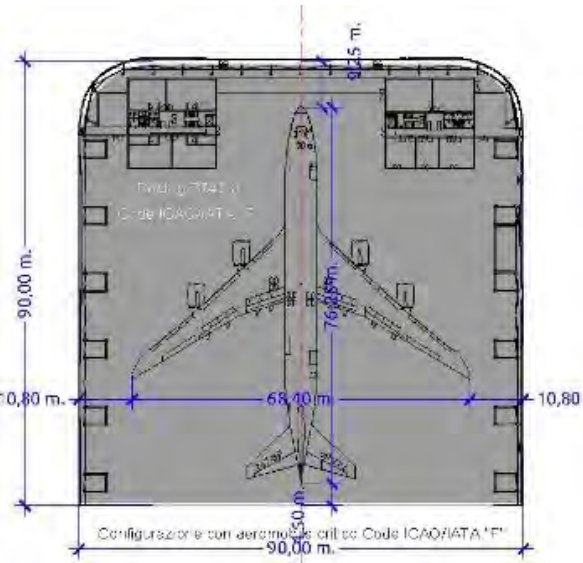
4. Il PFTE – Infrastrutture di volo

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.

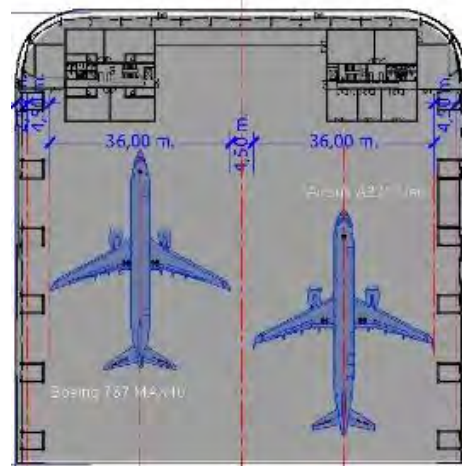


4. Il PFTE - Infrastrutture di volo

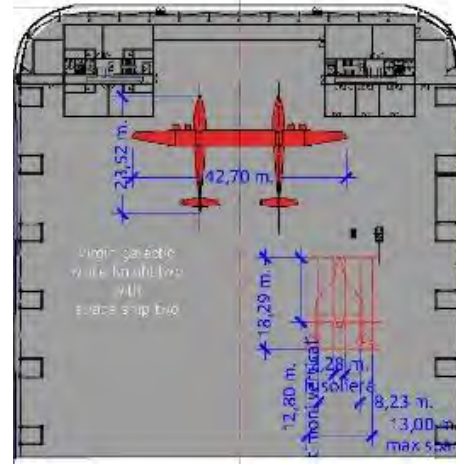
Allo stesso modo si è proceduto a dimensionare l'**HANGAR** a servizio delle operazioni di volo, in modo che possa accogliere la maggior parte dei velivoli con le tecnologie di volo ad oggi note.



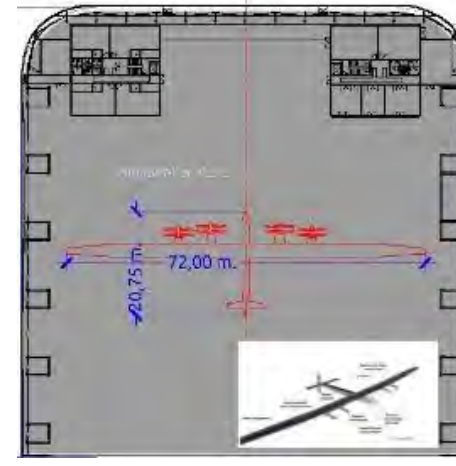
**Configurazione
1 aeromobile EASA «F»**



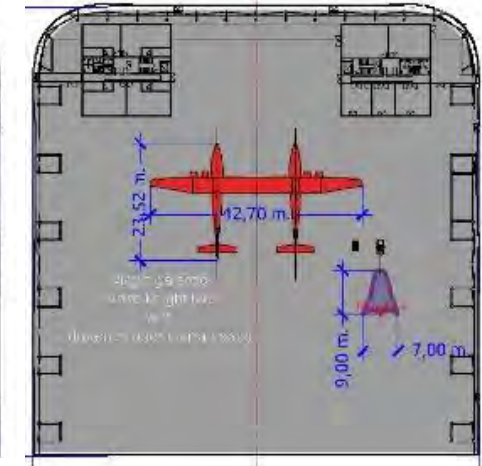
**Configurazione
2 aeromobili EASA «C»**



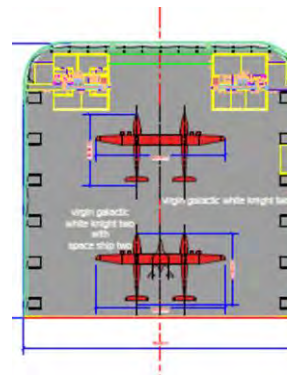
**Configurazione
Virgin Galactic White Knight TWO
Space Ship Two**



**Configurazione
Skydweller Aero**



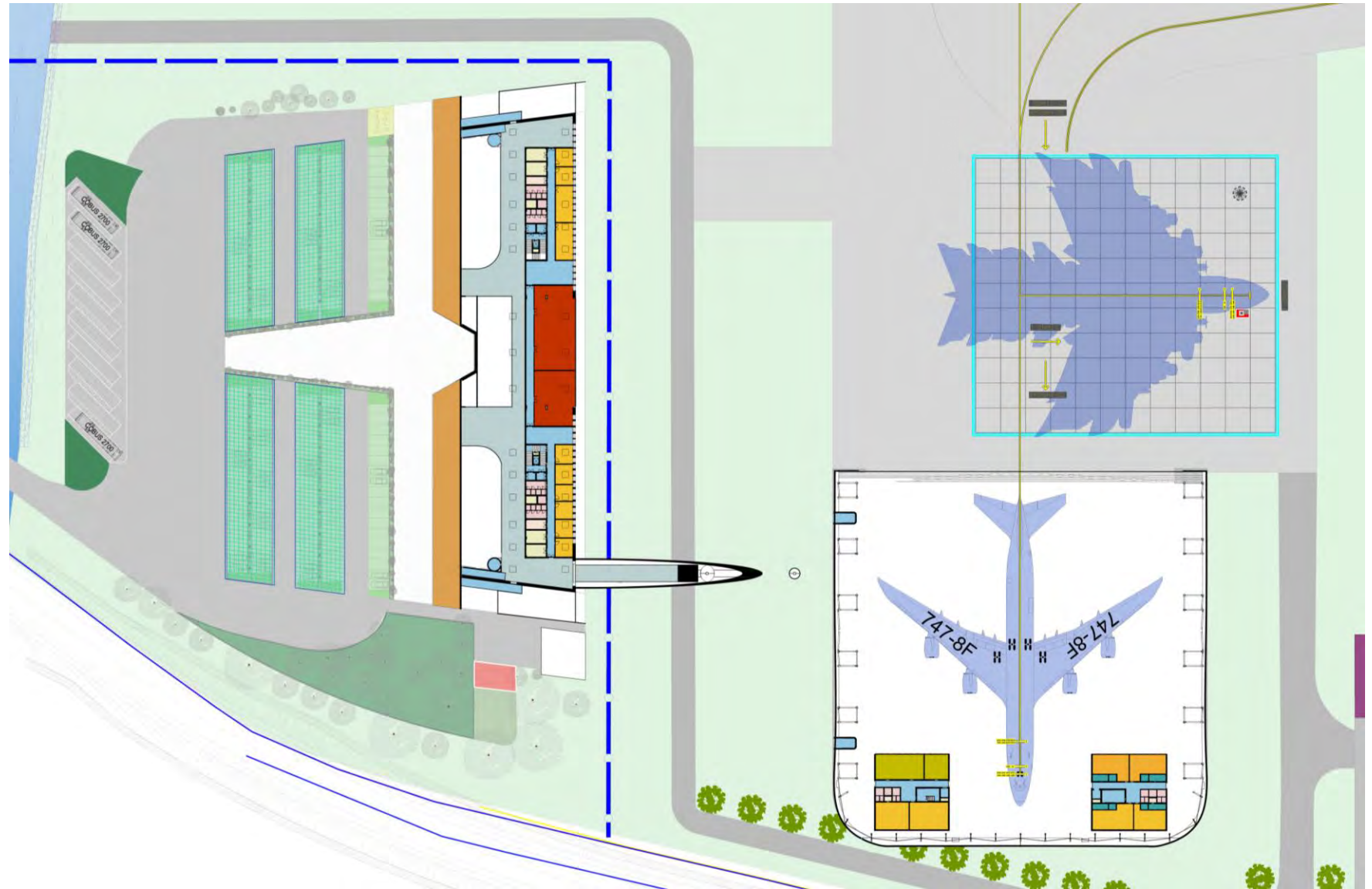
**Configurazione
Virgin Galactic White Knight TWO
Dream Chaser Sierra Space**



**Configurazione
2 Virgin Galactic White Knight TWO
Space Ship Two**

4. II PFTE - Architettura

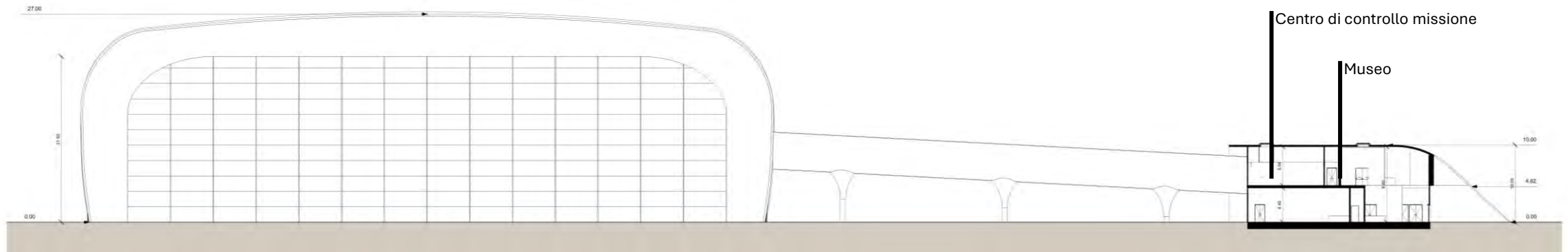
Planimetria
Piano Primo



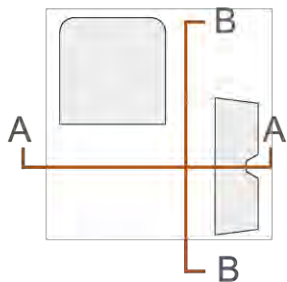
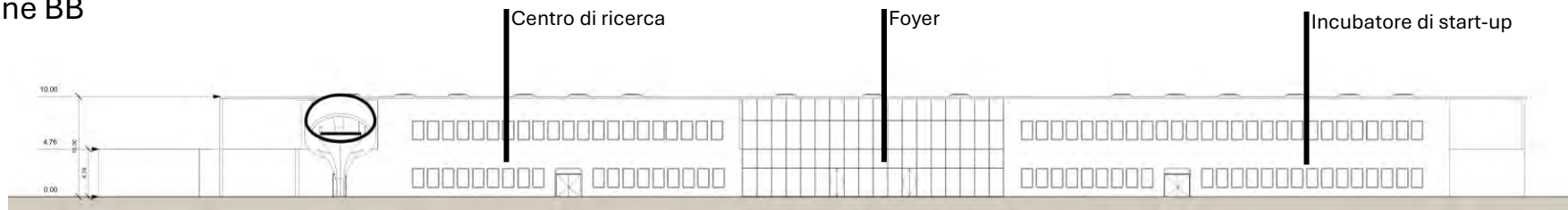
- LEGENDA
- Museo – Sale espositive
- Uffici – Laboratori
- Camera pulita
- Sala conferenze
- Centro di Controllo Missione
- Servizi igienici
- Training Center
- Spogliatoi – Guardaroba
- Deposito
- Distribuzione orizzontale e verticale
- Locali tecnici

4. II PFTE - Architettura

Sezione AA

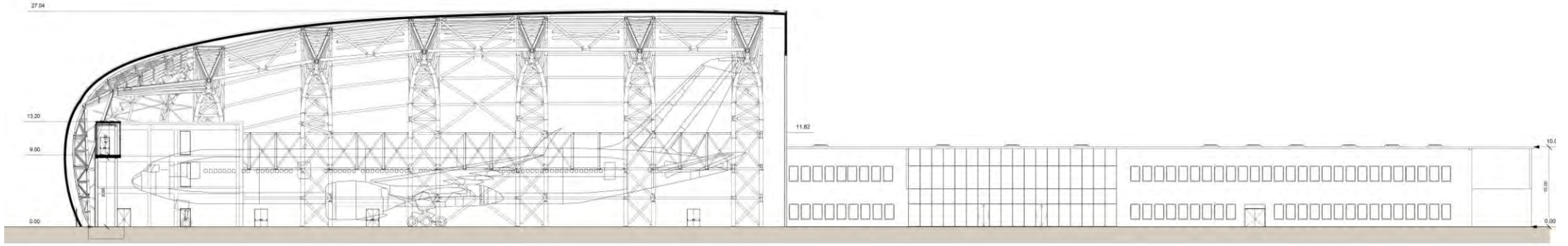


Sezione BB

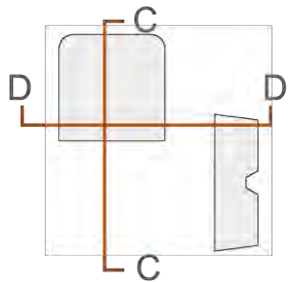
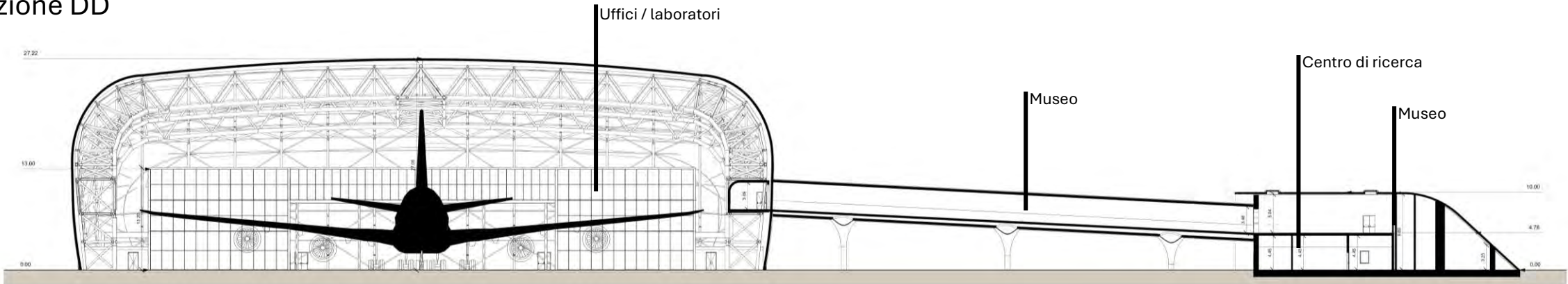


4. II PFTE - Architettura

Sezione CC



Sezione DD



4. II PFTE - Architettura



4. II PFTE - Architettura



4. II PFTE - Architettura

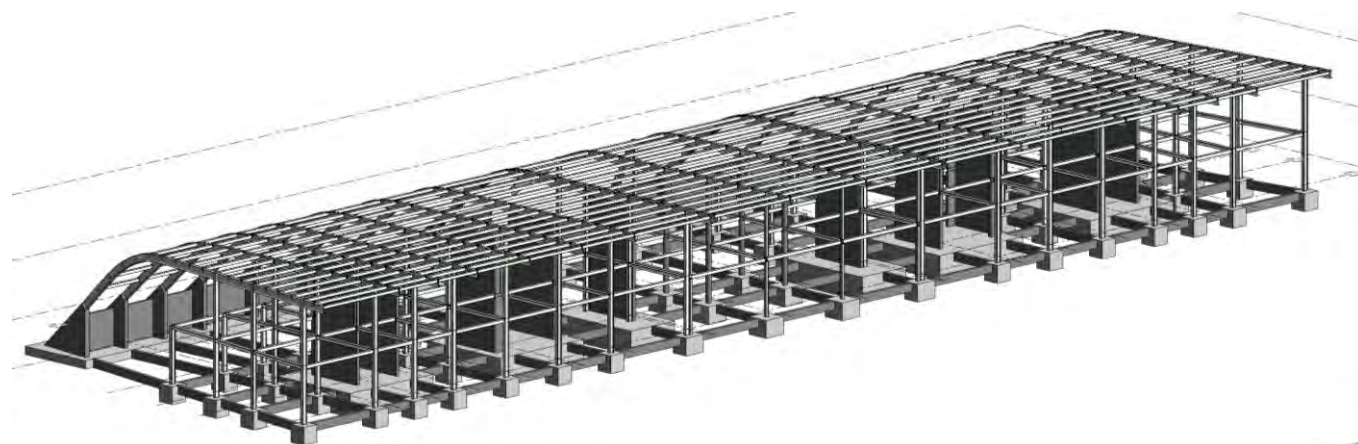
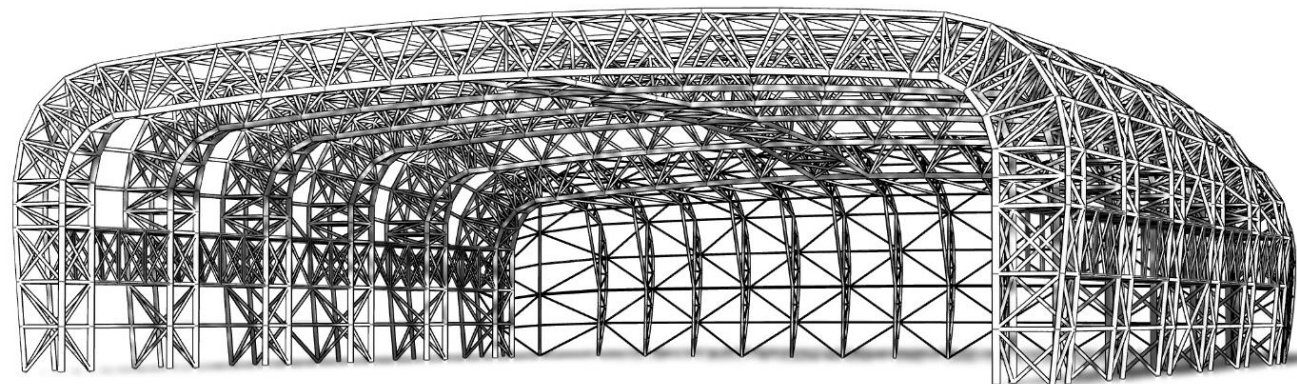




4. II PFTE - Strutture

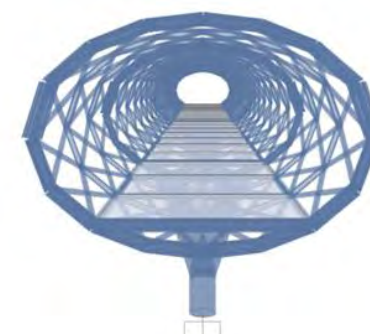
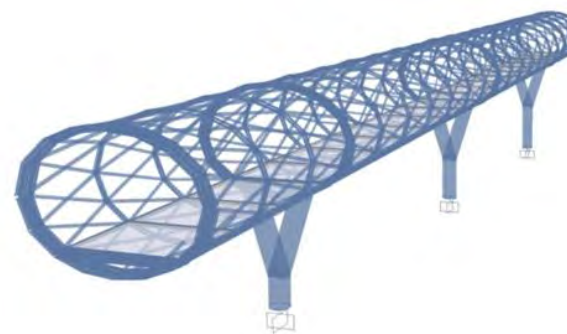
HANGAR

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



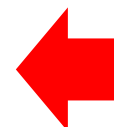
PASSERELLA PEDONALE

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



EDIFICIO POLIFUNZIONALE

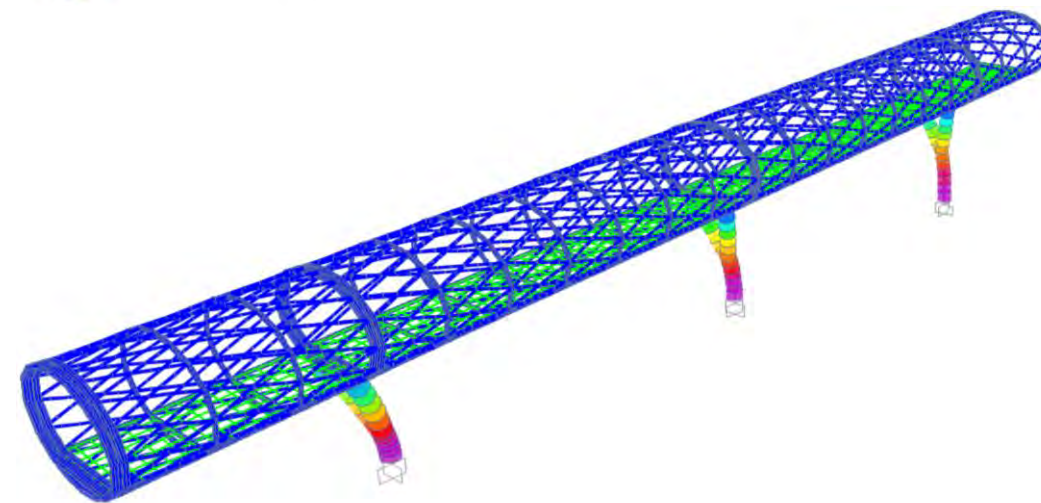
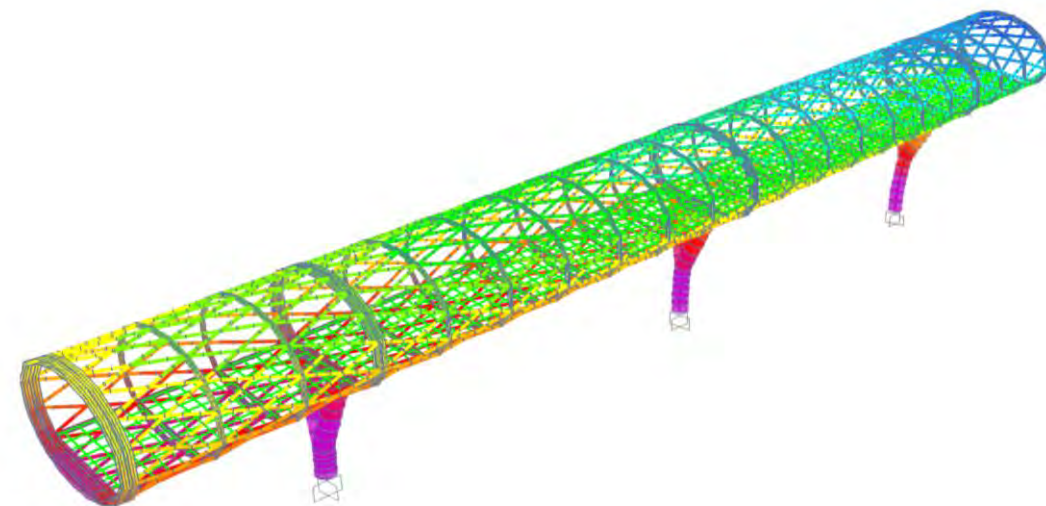
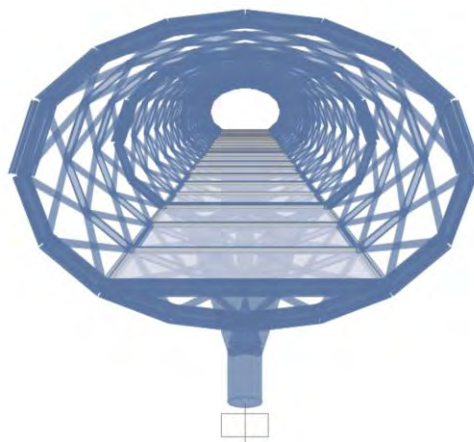
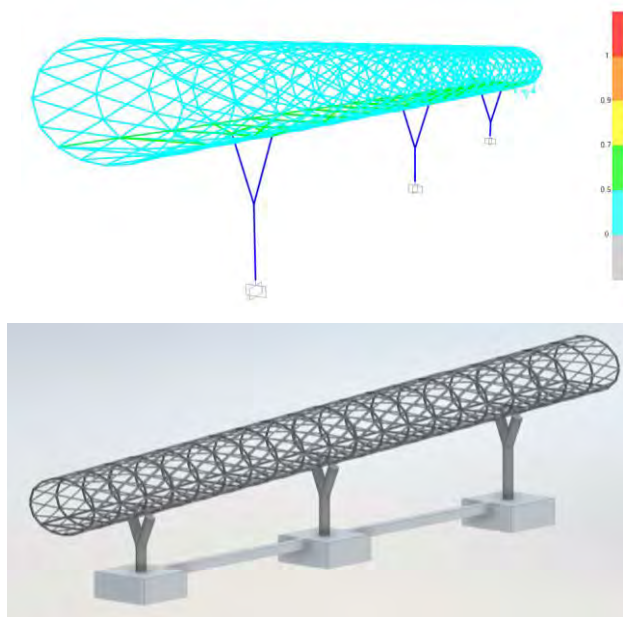
fabbricato di due piani di altezza, esteso per oltre 120 m nella direzione longitudinale e circa 35 metri in quella trasversale



4. II PFTE - Strutture

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.



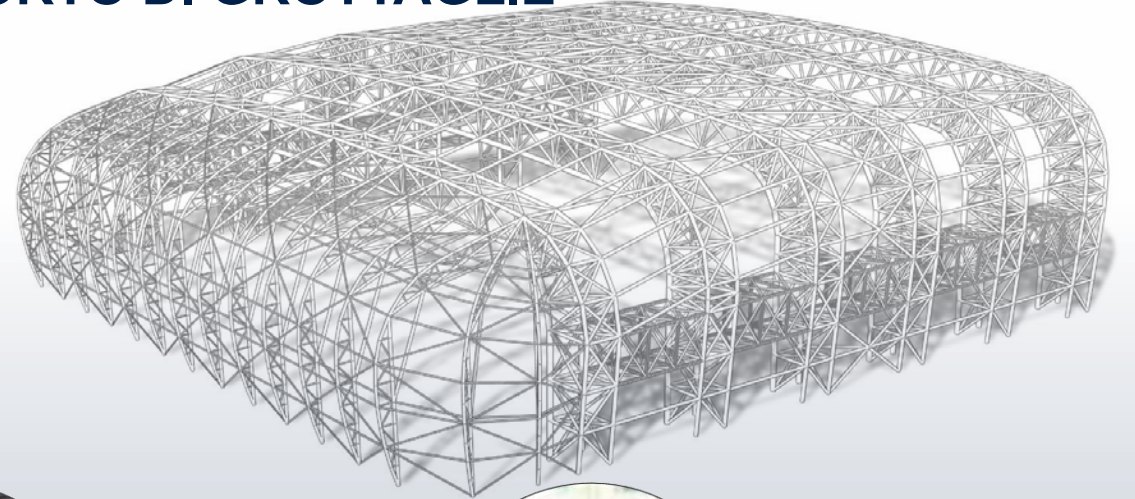
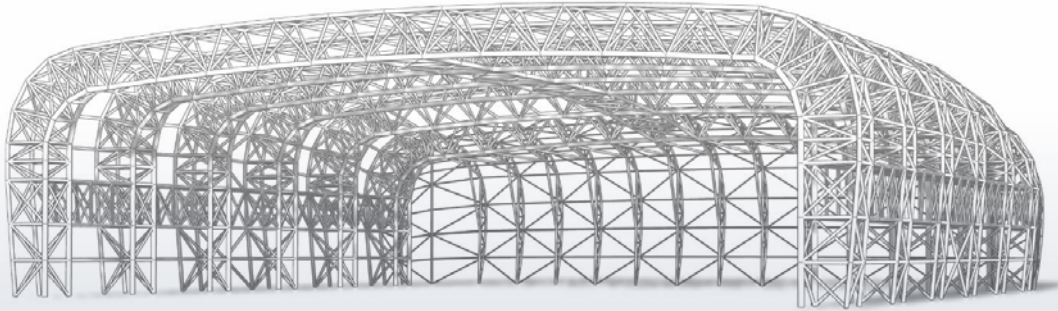


Politecnico
di Torino

Aeroporto di Grottaglie - SpazioPorto



PROGETTO PARAMETRICO E OTTIMIZZAZIONE STRUTTURALE DELL'HANGAR SPAZIOPORTO DI GROTTAGLIE



Ing. J. Melchiorre



Prof. A. Manuello



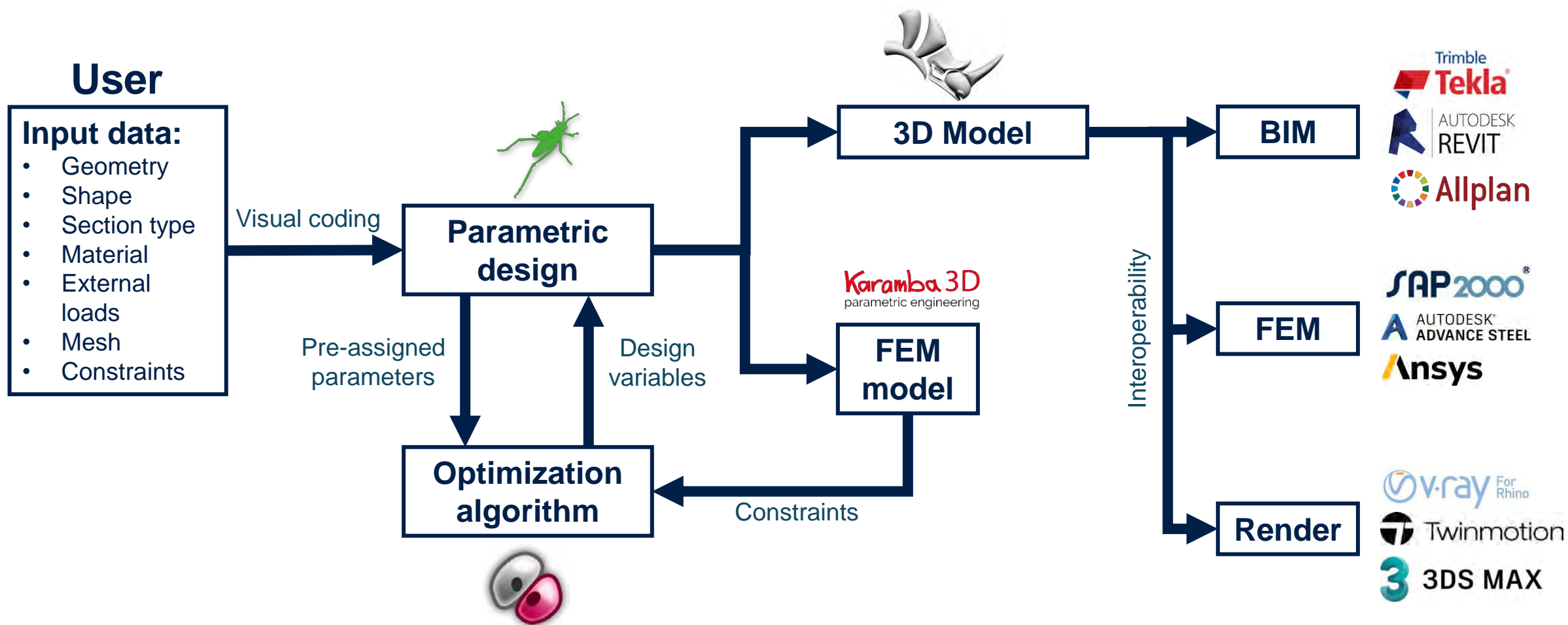
Prof. G. C. Marano



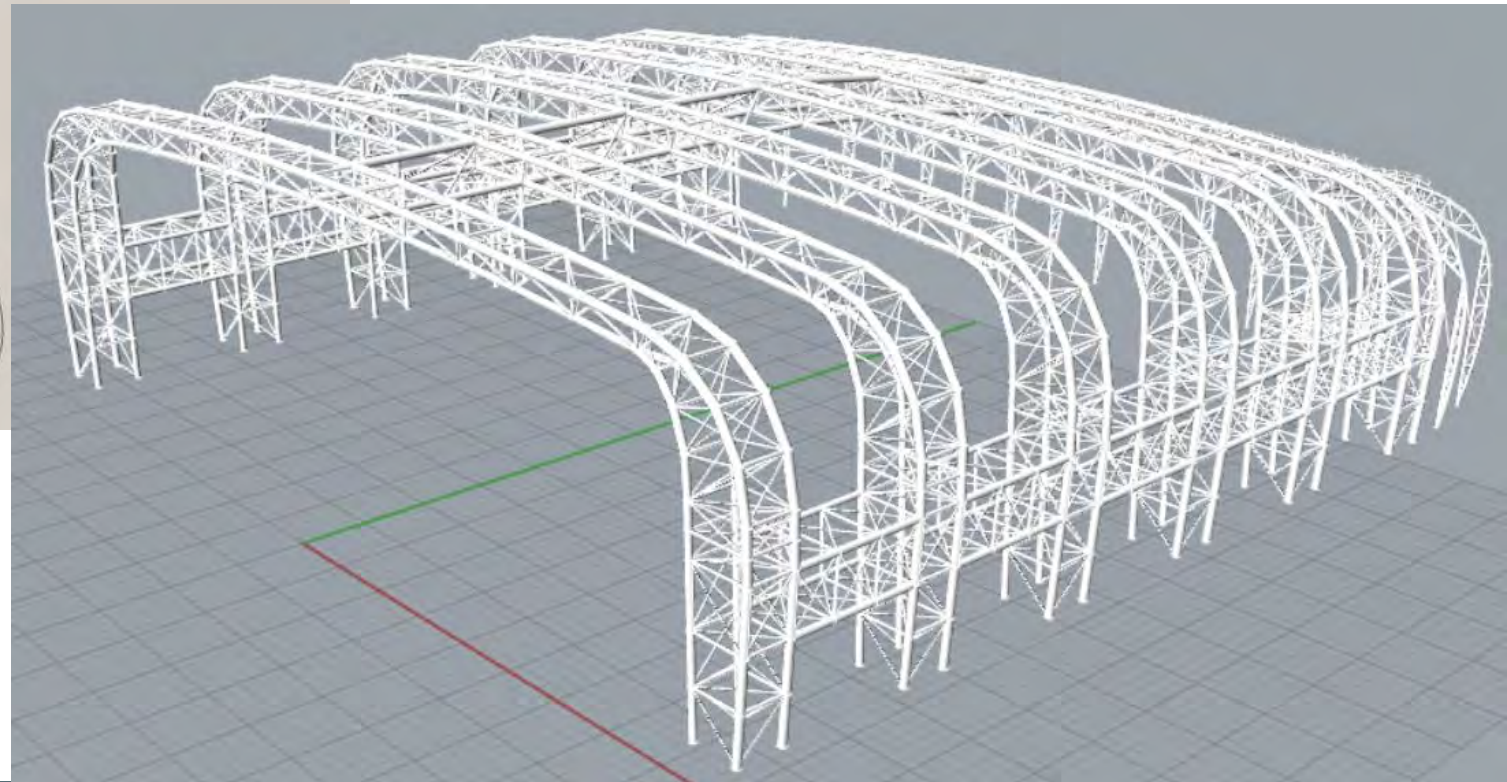
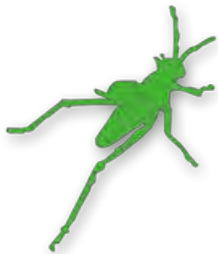
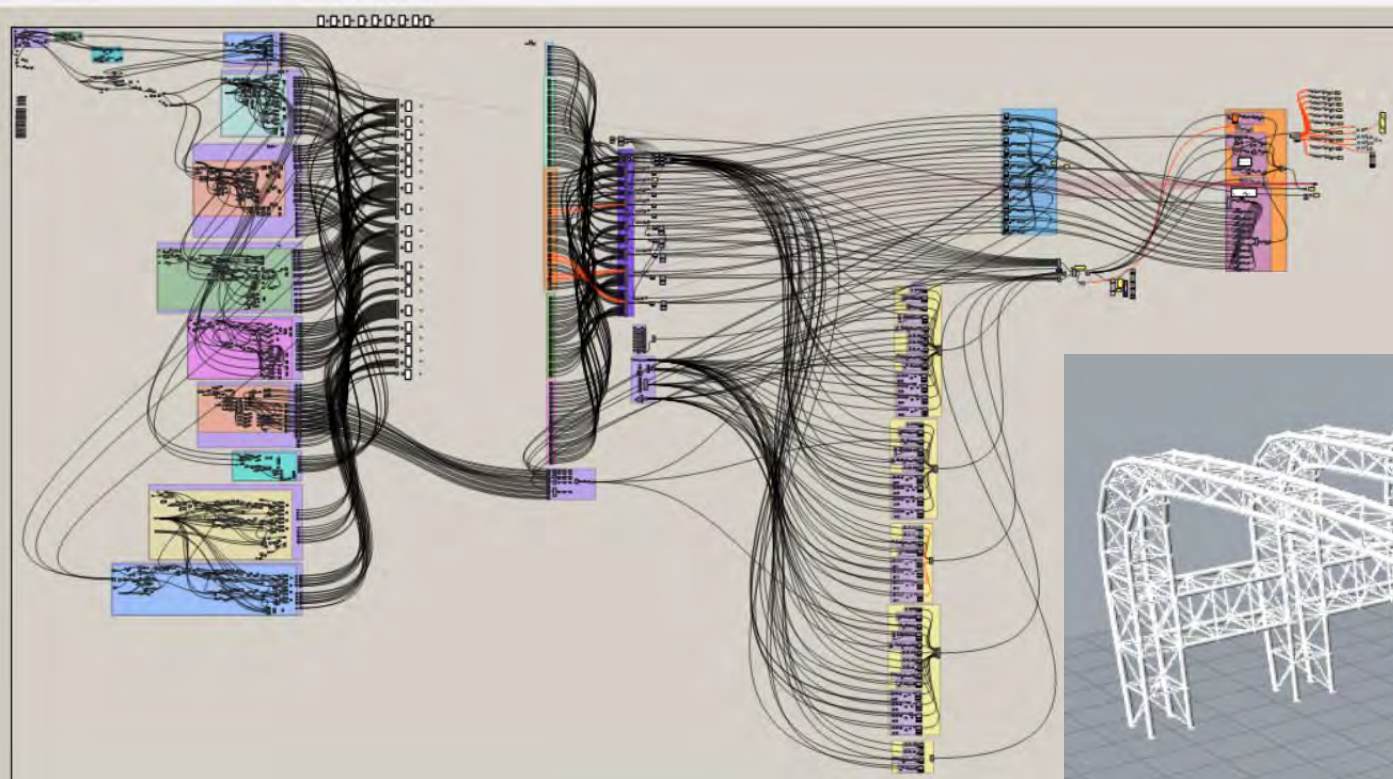
Benedetto Camerana
(Camerana&Partners)



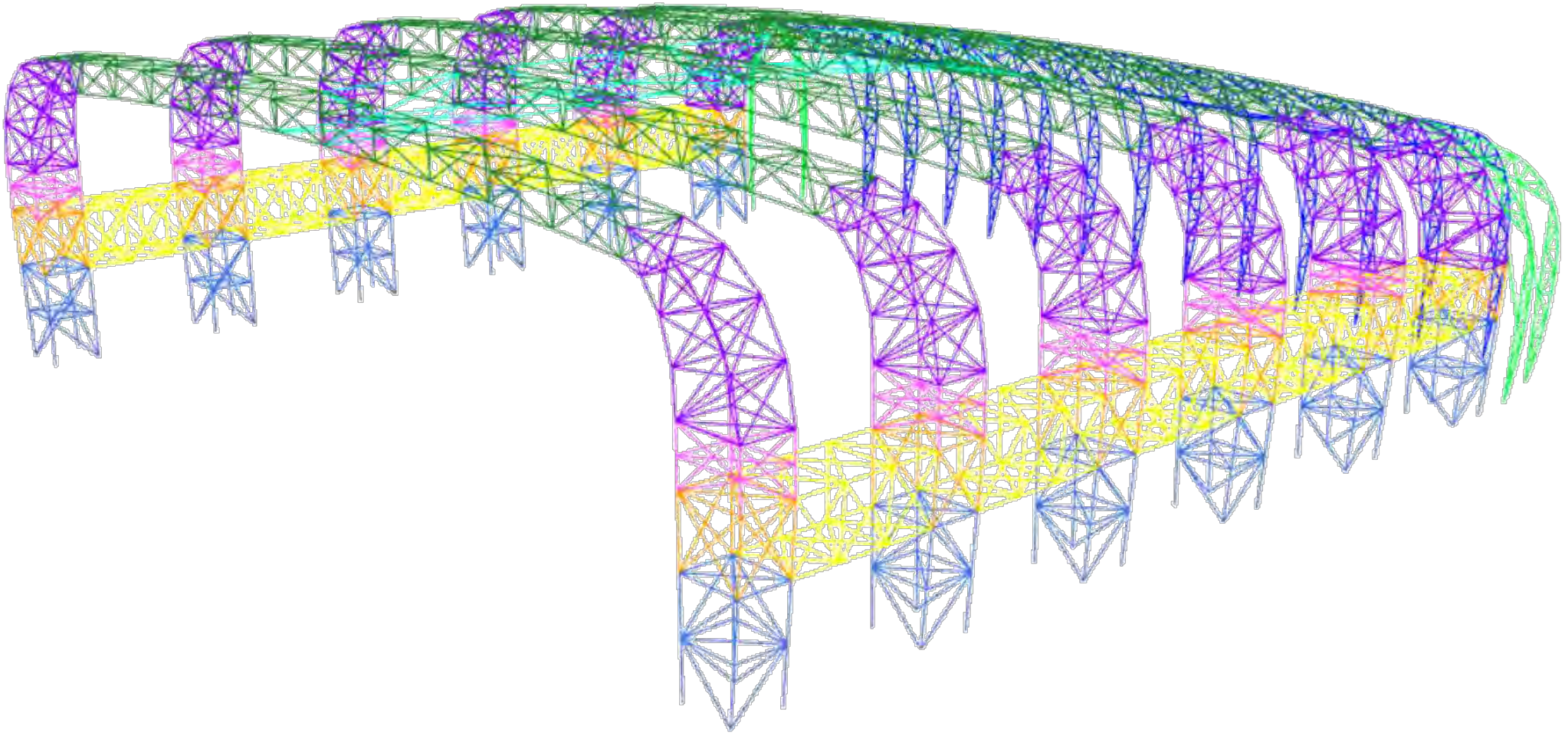
Progetto parametrico per ottimizzazione



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.



Generic	
Fitness	Minimize
Threshold	
Runtime Limit	<input type="checkbox"/> Enable
Max. Duration	3 Hours
	30 Minutes
Evolutionary Solver	
Max. Stagnant	50
Population	200
Initial Boost	25
Maintain	5 %
Inbreeding	+ 7.5 %
Annealing Solver	
Temperature	100 %
Cooling	0.9500
Drift Rate	2.5 %

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 carroponete.

Variabili

Q1: Variabili carroponete:

- 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:**

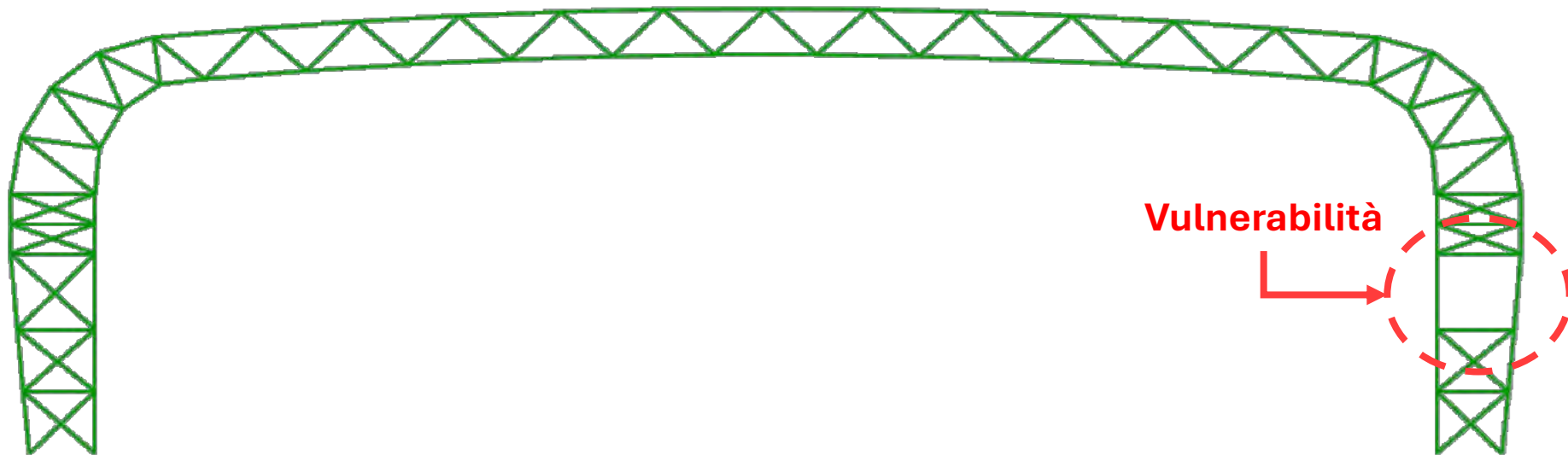
$$C_3 = 1,5 * 0,5 Q_2 + Q_3$$

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

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

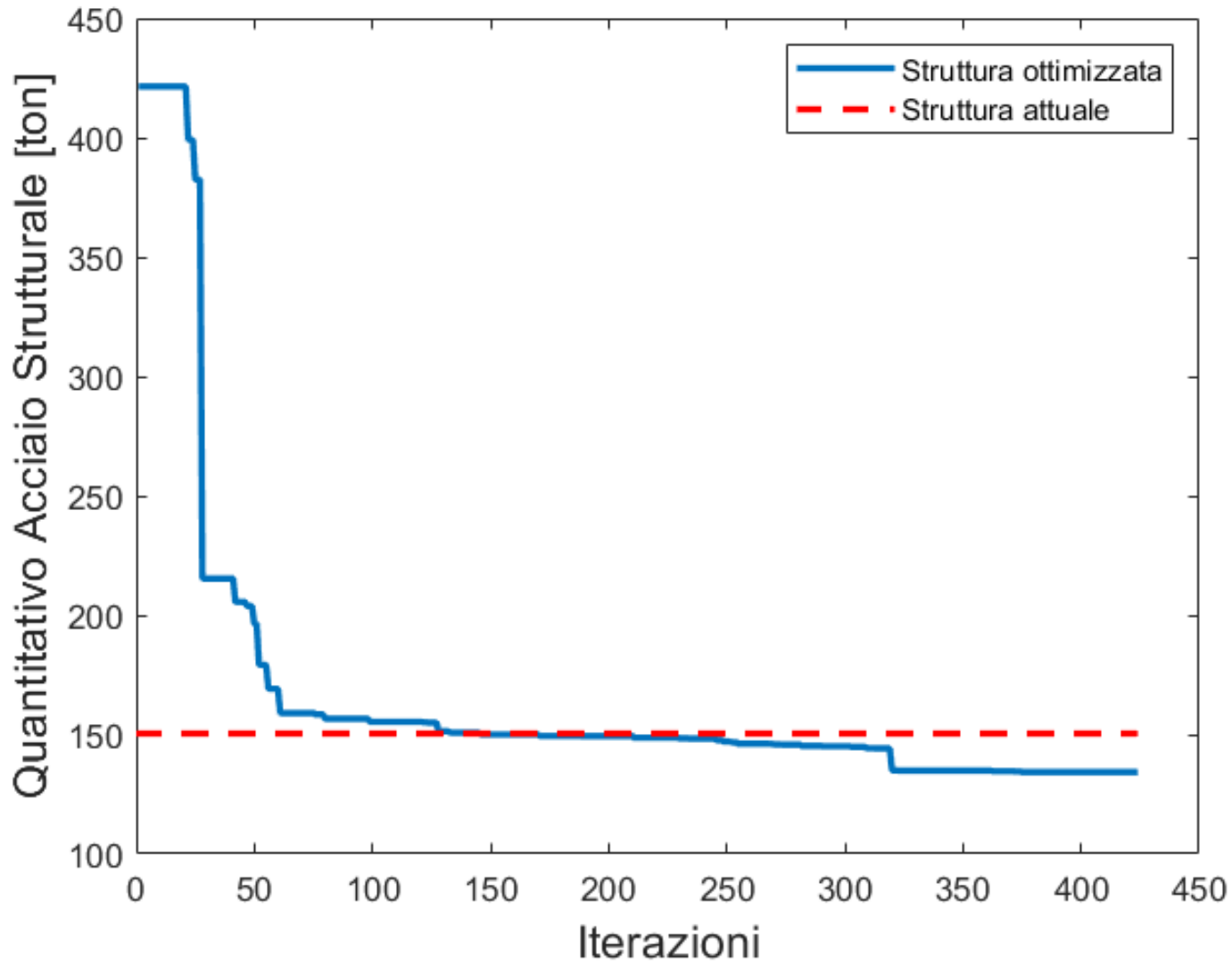
Ottimizzazione portale critico

Il portale critico è identificato come il **portale numero 4**, caratterizzato dalla presenza simultanea del carroponete 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.



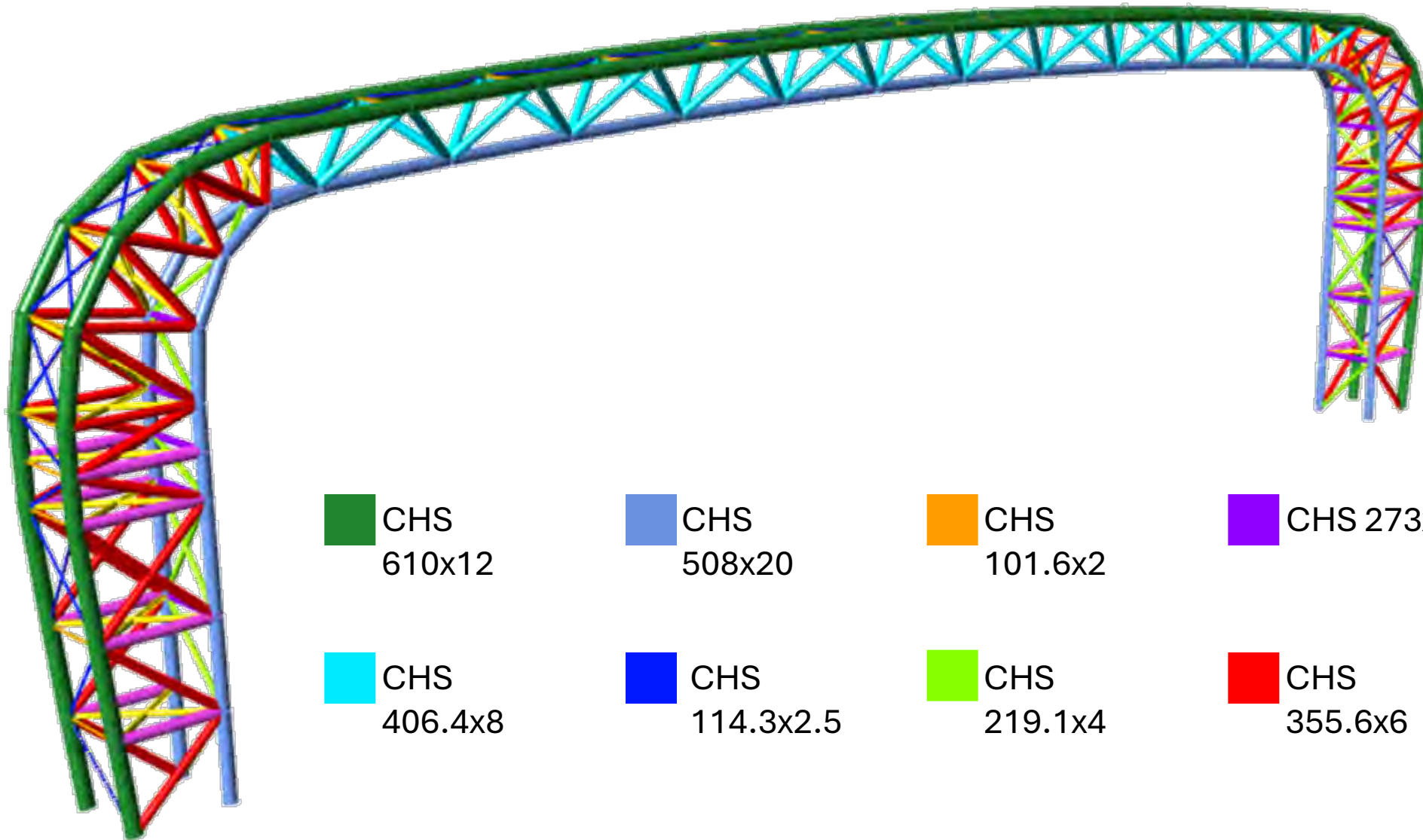
N.B. Nell'analisi semplificata adottata, la verifica di questo portale risulta essere fin **troppo cautelativa** in quanto nel modello **non sono presenti le resistenze date dalle strutture di collegamento dei portali** che mitigano la vulnerabilità introdotta dalla passerella. In questo modello non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

Risultati ottimizzazione portale critico



**Riduzione
acciaio
=
10,8%**

Portale critico ottimizzato



Altezza travatura
reticolare centrale
=
2,68m

■ CHS
610x12

■ CHS
508x20

■ CHS
101.6x2

■ CHS 273x5

■ CHS 457x8

■ CHS
406.4x8

■ CHS
114.3x2.5

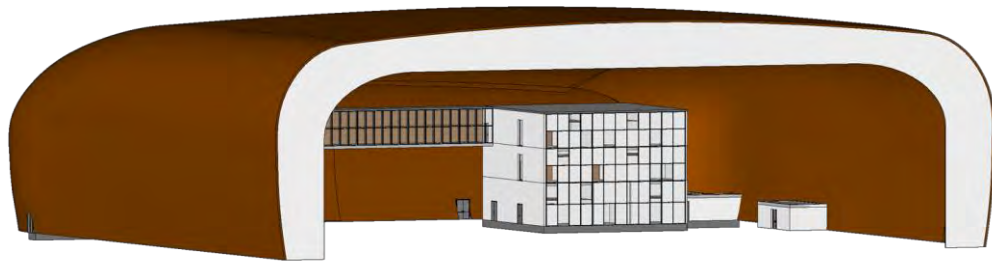
■ CHS
219.1x4

■ CHS
355.6x6

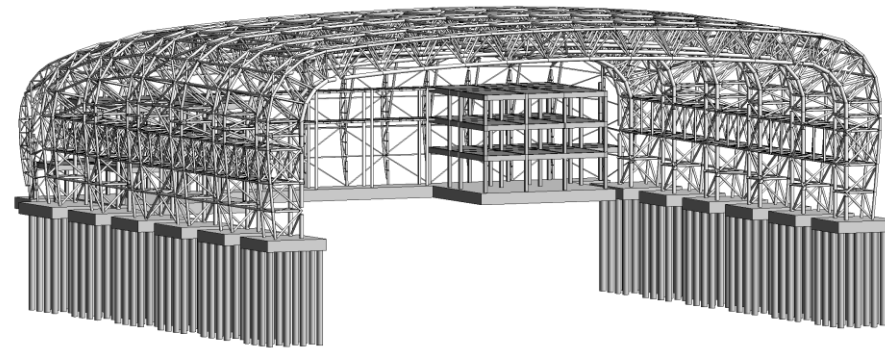
■ CHS
244.5x5

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

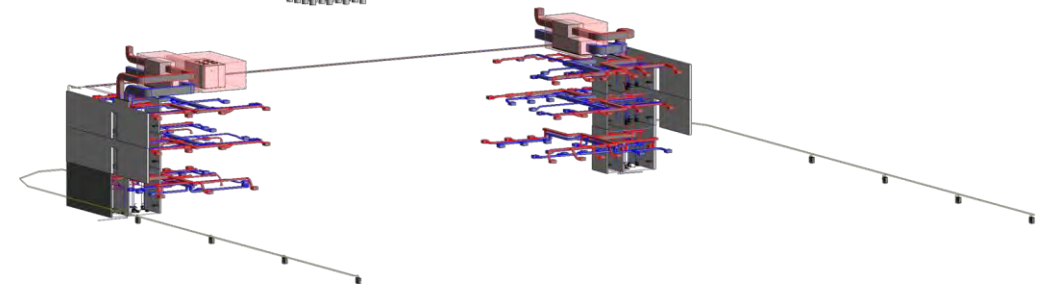
MODELLI MULTIDISCIPLINARI – Hangar



Modello Architettonico

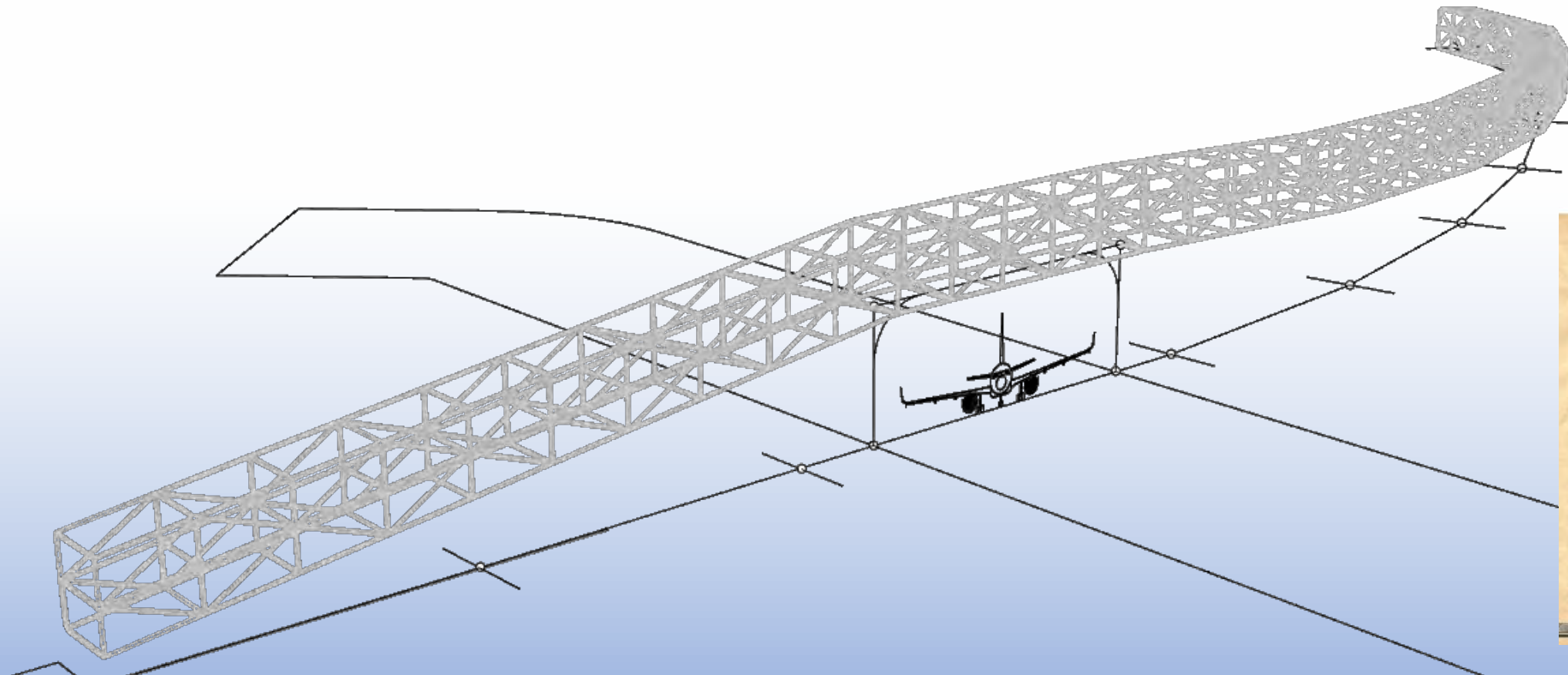


Modello Strutturale

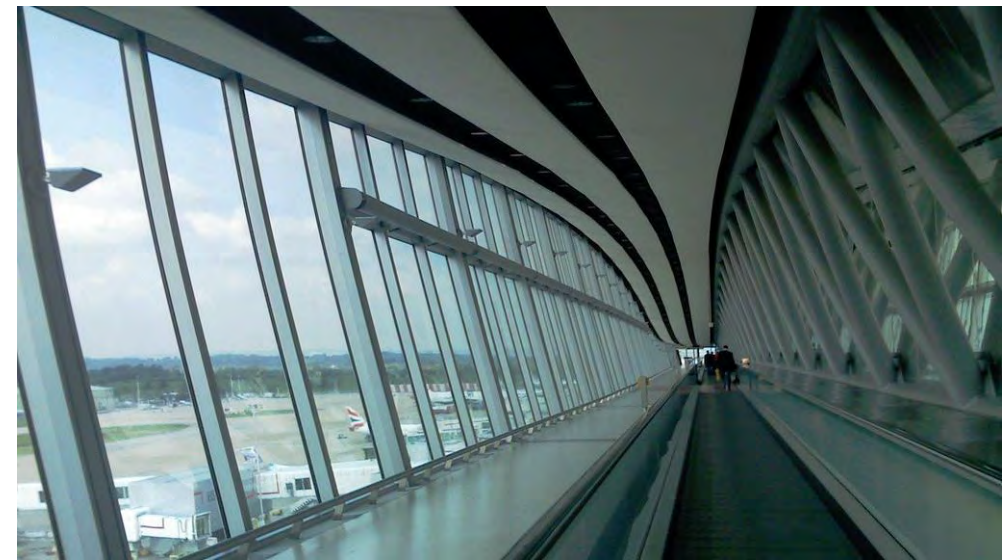


Modello Impiantistico

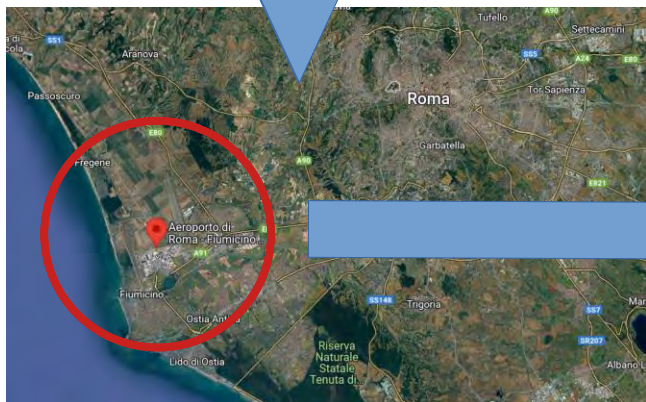
SOLUZIONI STRUTTURALI PRELIMINARI LA COSTRUZIONE DI PASSERELLA PEDONALE DI COLLEGAMENTO TRA TERMINAL 3 E EDIFICIO SATELLITE



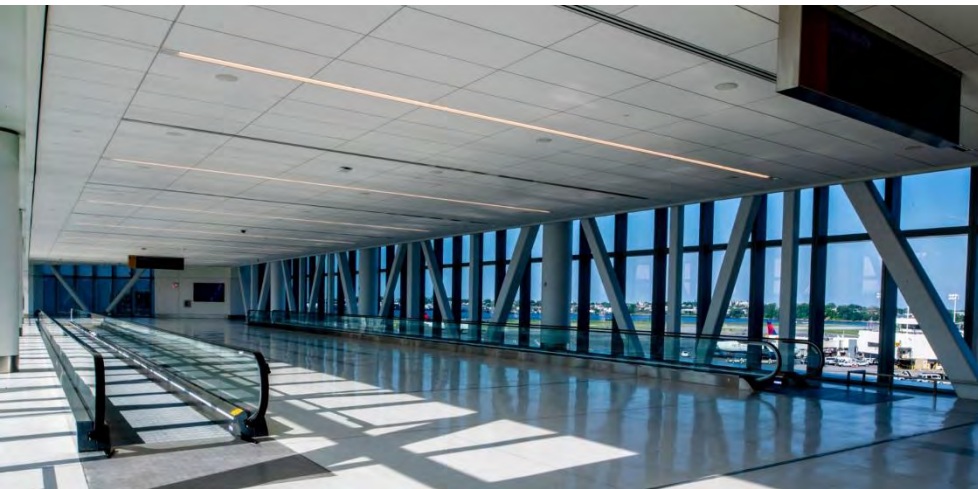
Passerella Pedonale dell'aeroporto di Londra - Gatwick



Inquadramento del percorso tranviario da convertire in pedonale



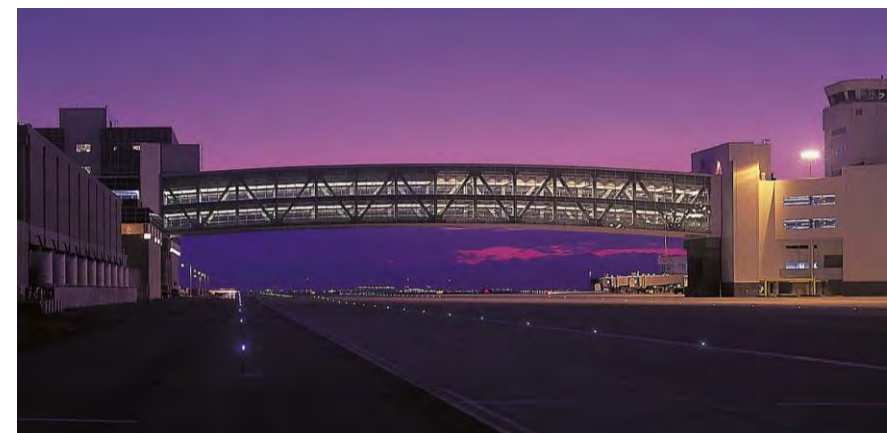
Passerella Pedonale dell'aeroporto di New York – La Guardia



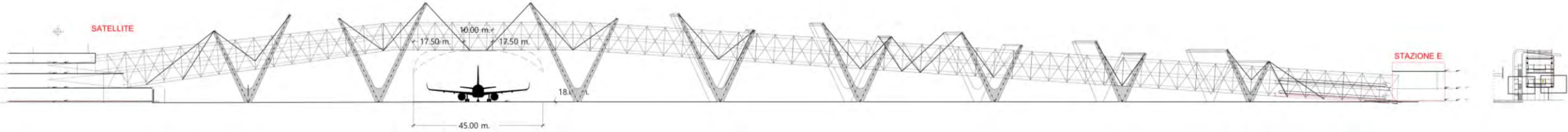
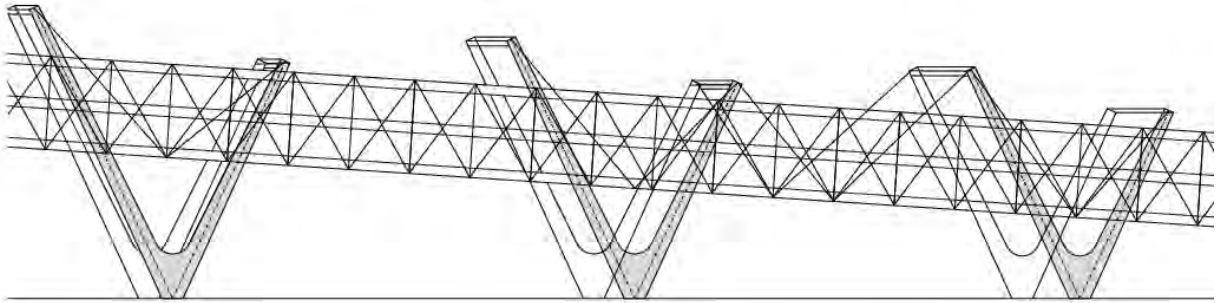
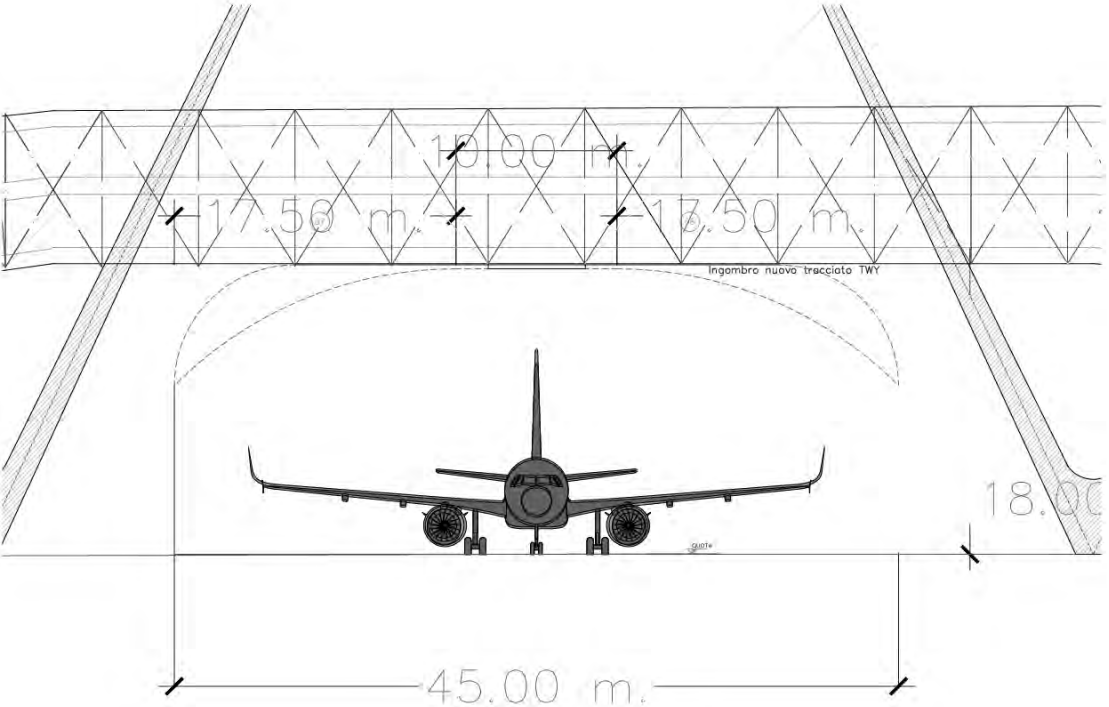
Passerella Pedonale a doppio livello dell'aeroporto di Denver (USA)

Il **ponte passeggeri del DIA** è un corridoio di collegamento tra il Terminal e il Concourse A. Il ponte è **largo 40 piedi (12 m)** e **lungo 365 piedi (110 m)**, il che lo rende il **ponte pedonale a campata libera più lungo degli Stati Uniti**.

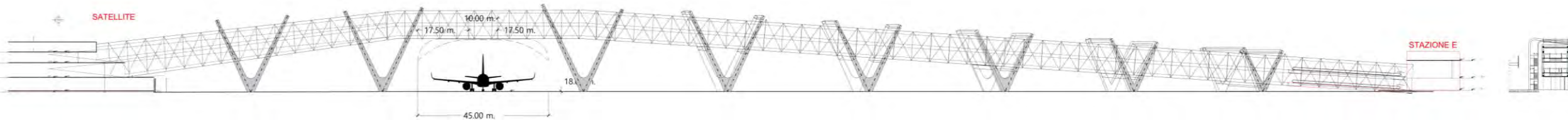
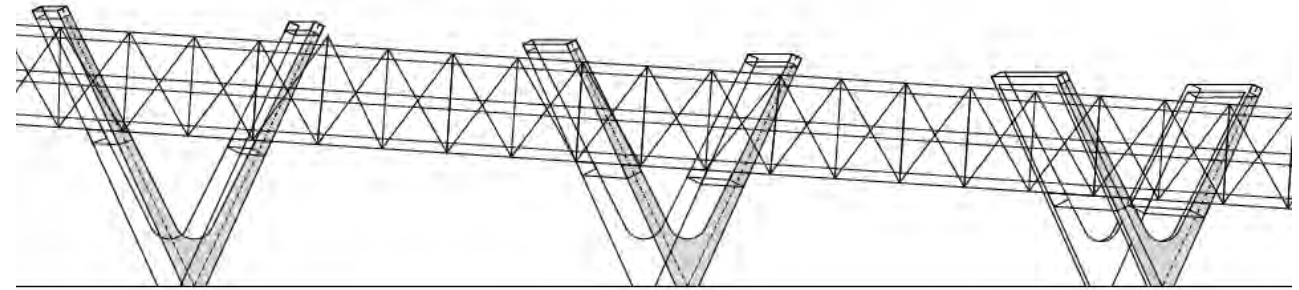
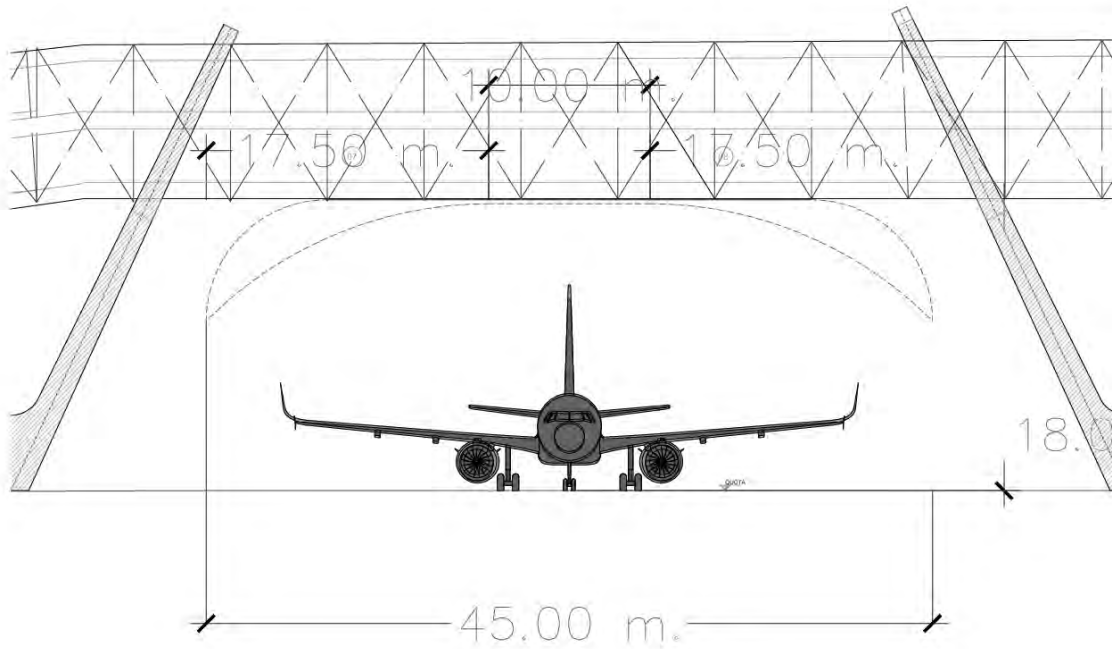
- **Location:** Denver, Colorado
- **Cost:** \$76,000,000
- **Size:** 17,500 sq. ft.
- **Date Completed:** 1993



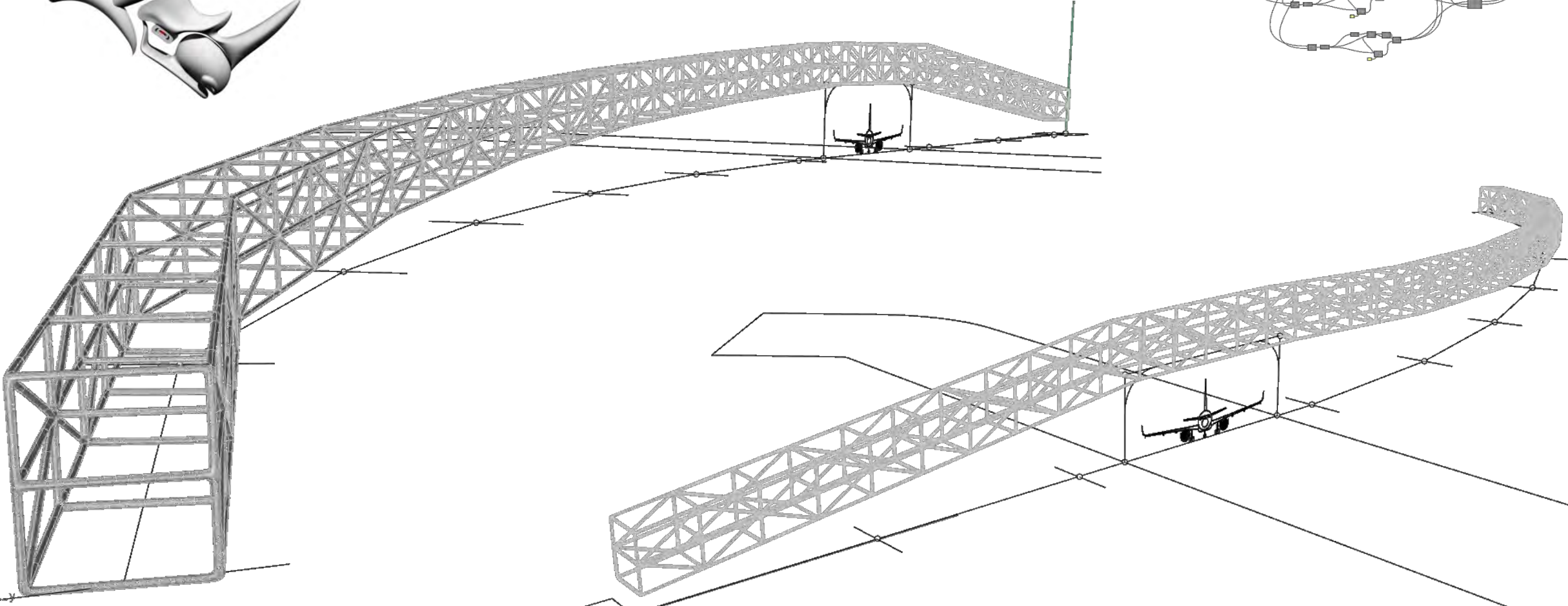
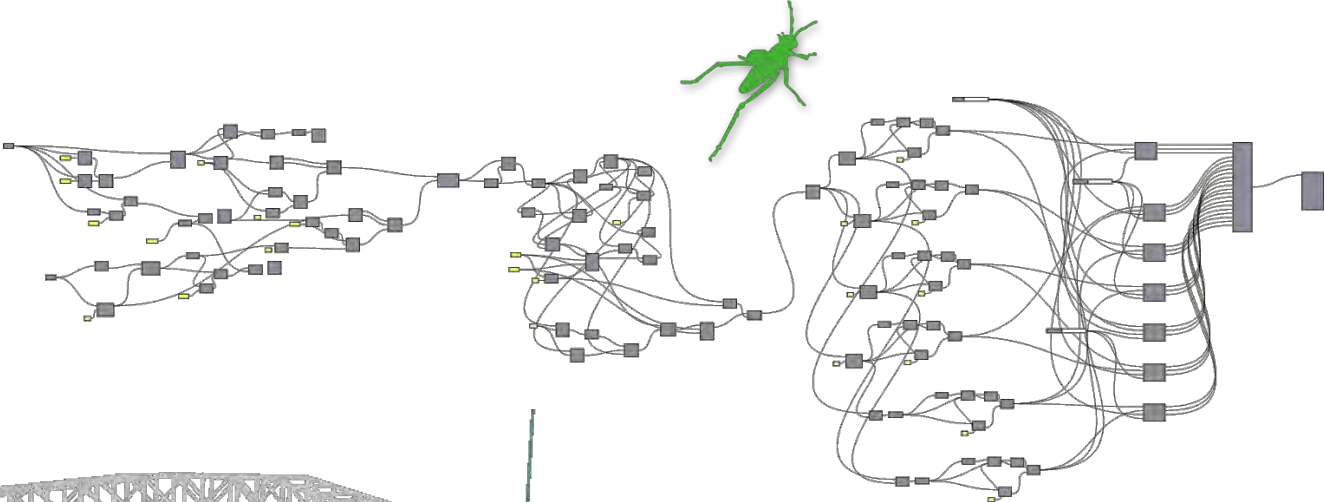
Proposta 1 - PoliTo



Proposta 2 PoliTo



Modello preliminare parametrico



FEM preliminare parametrico

G1: Carico permanente strutturale

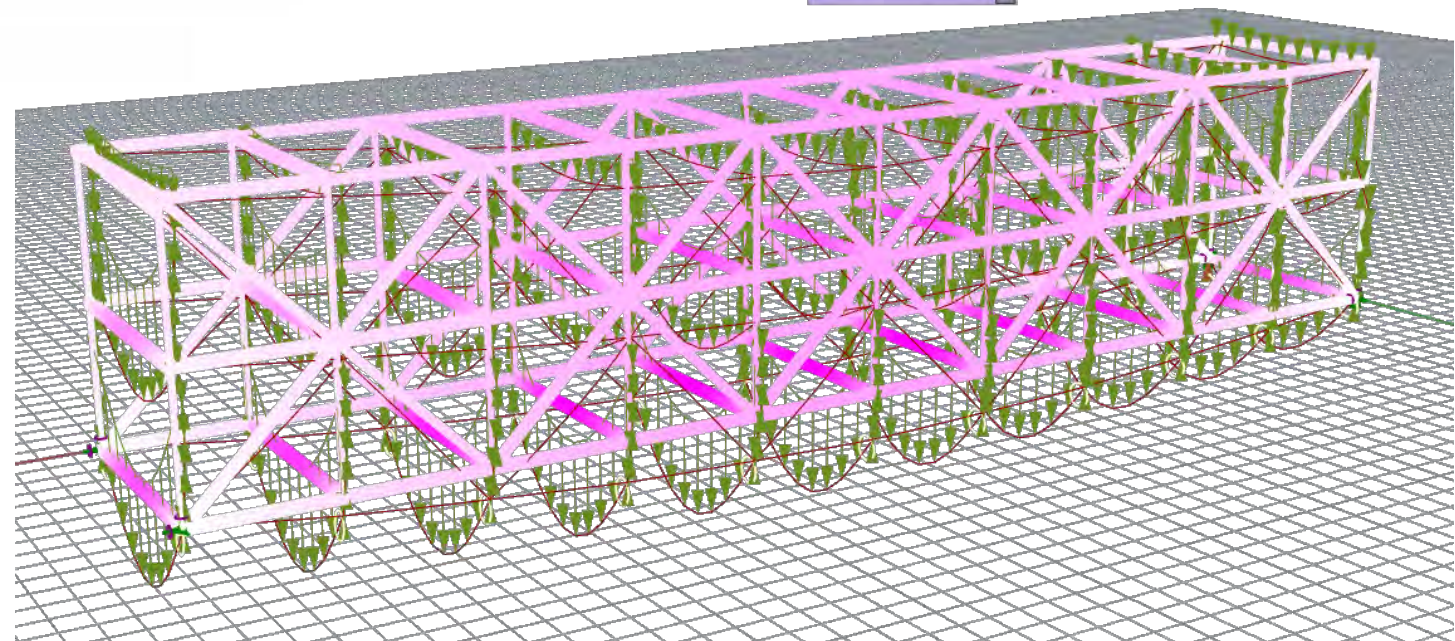
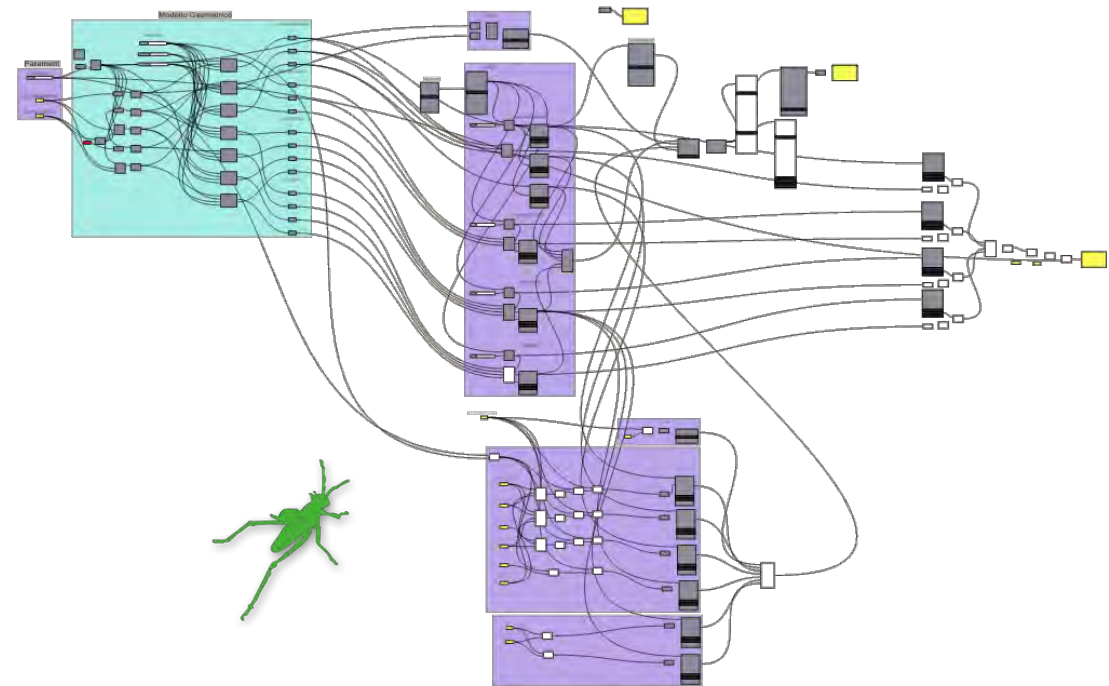
G2: Carico permanente non strutturale

- Peso solai *Comflor 60* (300 kg/m²) con soletta collaborante
- Peso finiture architettoniche (massetti e pavimenti 200 kg/m²)
- Peso finiture in copertura (150 kg/m²)
- Peso tappeti mobili (da scheda tecnica)
- Peso impianti e controsoffitti (50 kg/m²)
- Peso facciate (80 kg/m²)

Q: Sovraccarico accidentale folla

Acciaio strutturale

$$W = 3,06 * (1+0,1+0,15) = \underline{3,83 \text{ t/m}}$$



PROJECT WITH ALTA SCUOLA POLITECNICA

GENSTEEL: Physics-Informed Generative AI for Multi-Objective Optimal Design of Long-Span Steel Structures under Global Fabrication, Logistics and Erection Constraints

Can you imagine if there was an AI that could manage the entire construction process, from the early design until the end of construction, optimizing simultaneously every aspect of the project?

Partners:



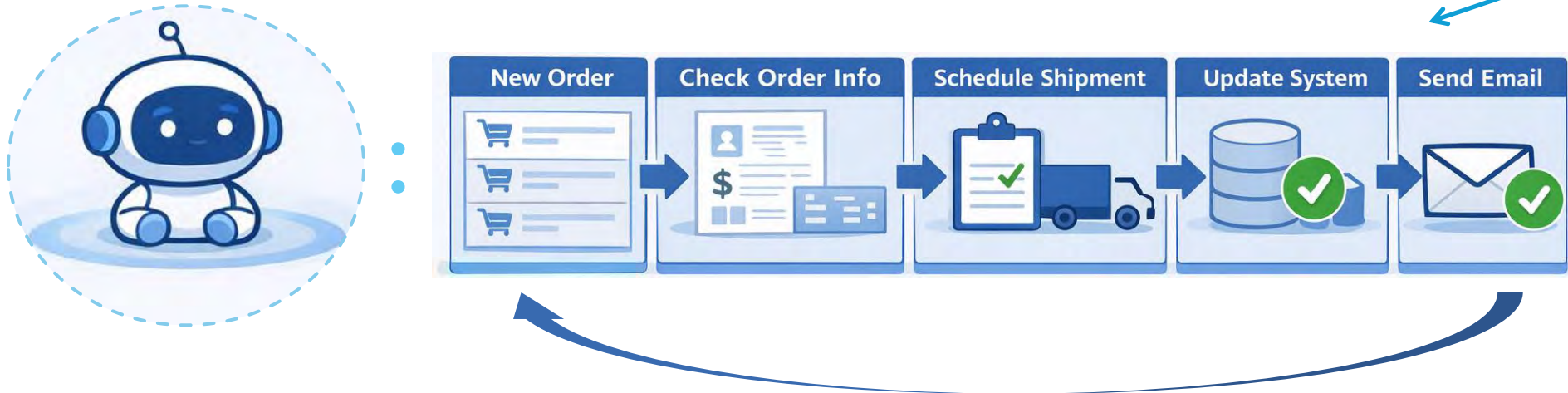
The next level → AGENTIC AI

AI Agents are entities designed to perform specific, well-defined tasks with minimal human intervention. Think of them as smart assistants that excel at executing goal-oriented workflows within a bounded scope.

Key Characteristics

- Single-purpose → one task only
- Low autonomy → does not decide what to do
- Rule-based flow → same steps every time
- No adaptation → does not improve or change behavior

Follows a fixed sequence of steps:
Input → Process → Output → Repeat
FOR EXAMPLE:



A simple way to think about it: A digital worker that performs one job, the same way, over and over.

The next level → AGENTIC AI

Instead of a single entity, **Agentic AI** involves multiple specialized AI Agents working together to tackle complex challenges in an autonomous way.

What it does:

- Interprets a high-level goal
- Breaks it into smaller tasks
- Assigns tasks to specialized AI agents
- Coordinates execution across agents
- Monitors results and adjusts

Follows a dynamic, goal-driven process:

Goal → Plan → Assign
→ Execute → Evaluate → Adjust

FOR EXAMPLE: →

Key Characteristics

- Goal-driven → not limited to one task
- High autonomy → decides what to do
- Multi-agent coordination → manages multiple agents
- Adaptive → learns and improves through feedback



A simple way to think about it: A manager that organizes and coordinates a team of AI agents to solve complex problems.

Initiative artiste

