



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI  
FEDERICO II



# Prototipazione Virtuale

## *LECTURE 1*

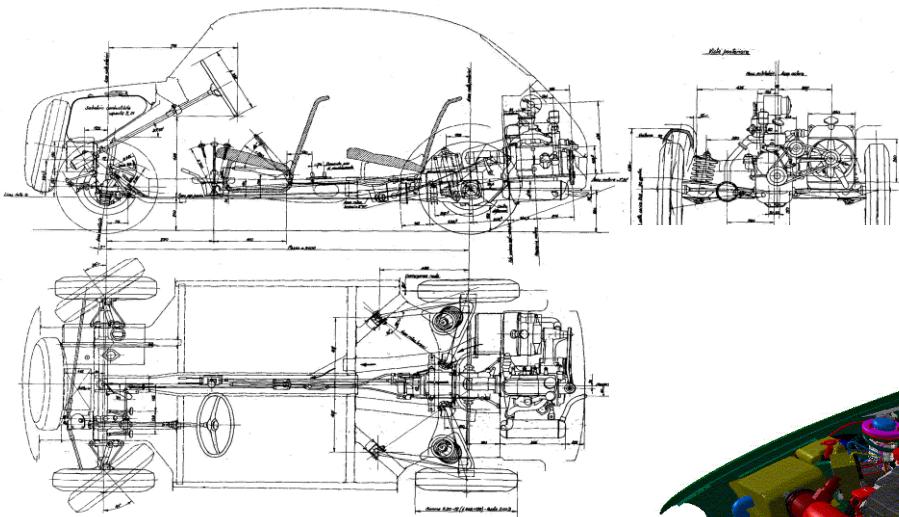
Product Development Process and Cax

**Giuseppe Di Gironimo**

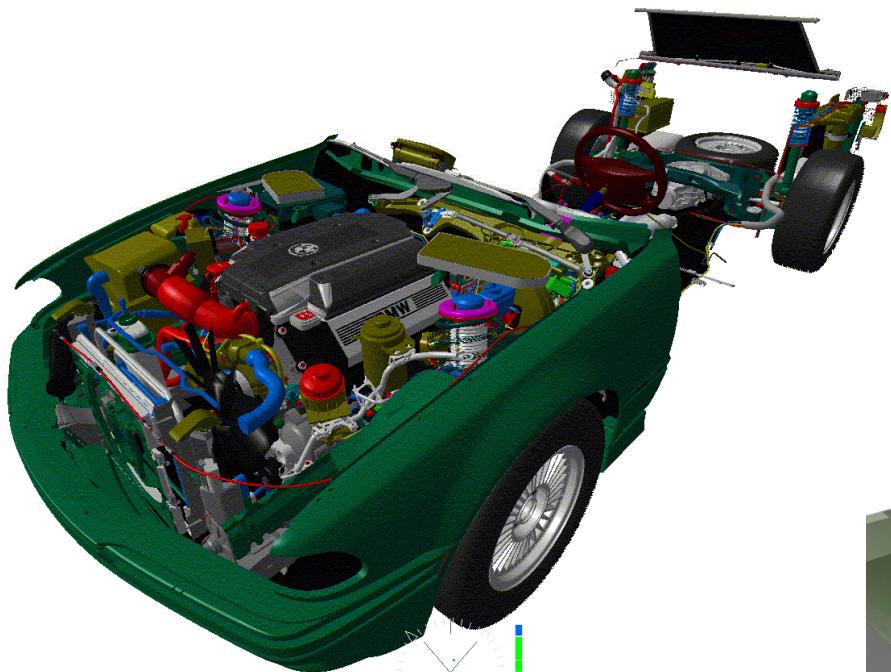
*giuseppe.digironimo@unina.it*

Raggruppamento Scientifico disciplinare ING- IND/15

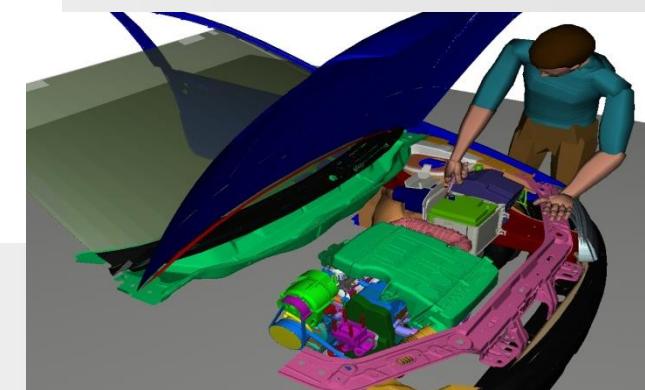
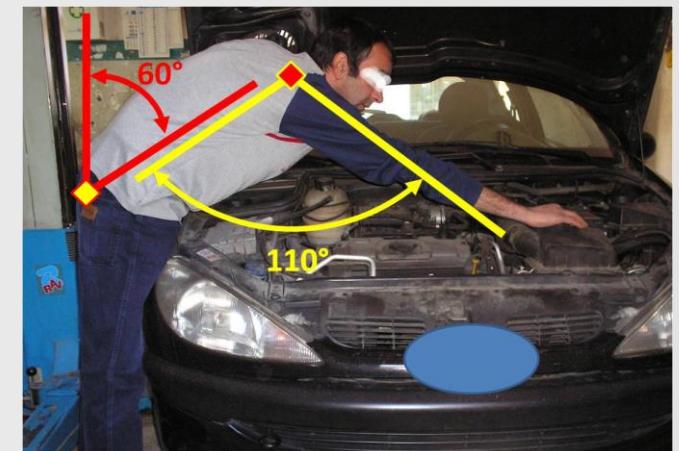
# Evoluzione del disegno



Il progetto deve tenere conto del corretto funzionamento del prodotto e dell'interazione della macchina con l'uomo (assemblaggio e manutenzione).  
- Human centered design



Modelli 3D



Modelli  
virtuali

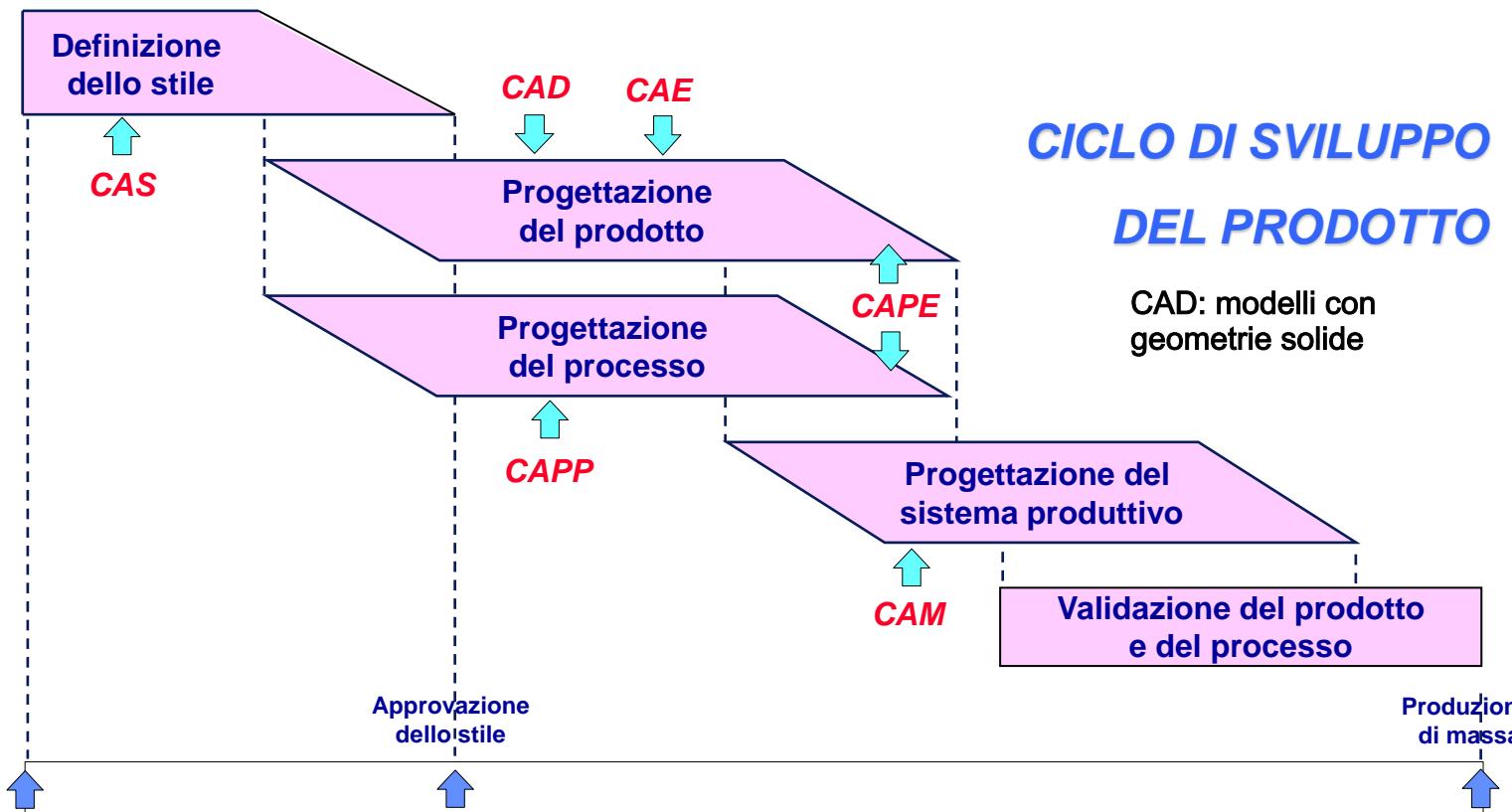
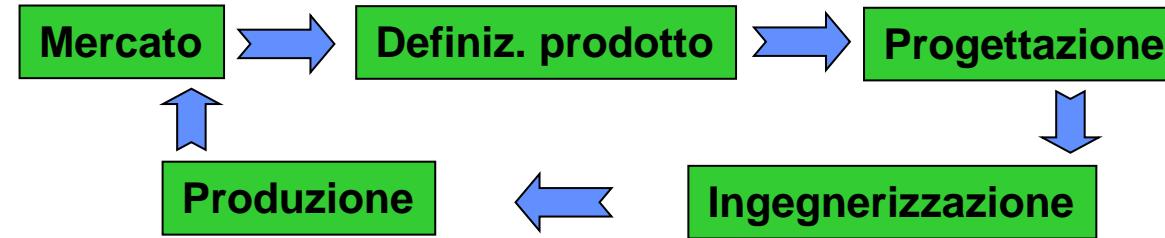
# Product Development Process and CAx

Il processo di sviluppo prodotto nasce dai requisiti che provengono dal mercato (innovazione prodotti esistenti oppure progettazione nuovo prodotto)

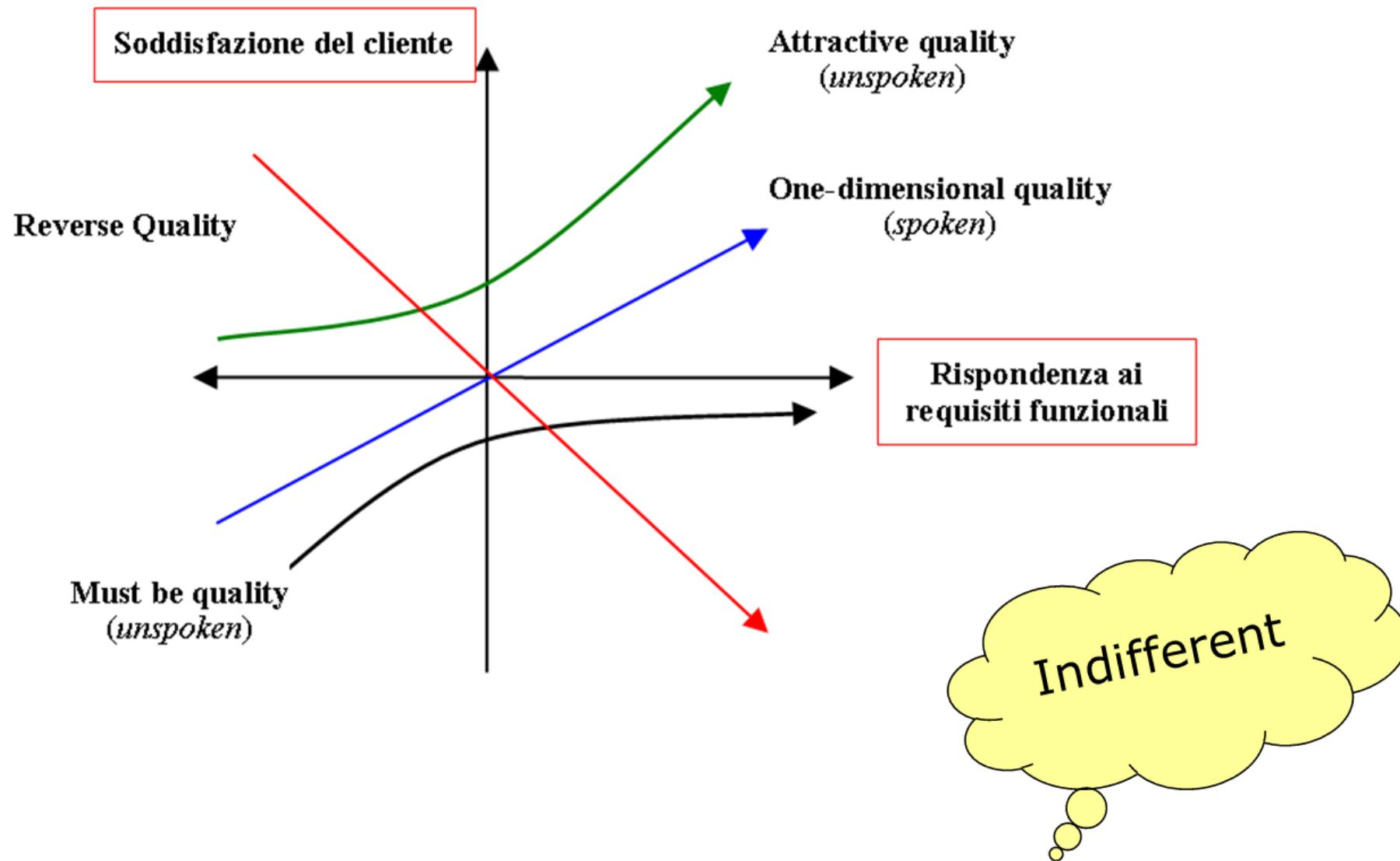
Definizione prodotto: ho definito il prodotto solo concettualmente (non materiali, dimensioni , collegamenti etc)

Progettazione di dettaglio:  
vengono fatte analisi cinematiche, dei carichi, verranno definite tutte le caratteristiche. Si considera il worst-case.

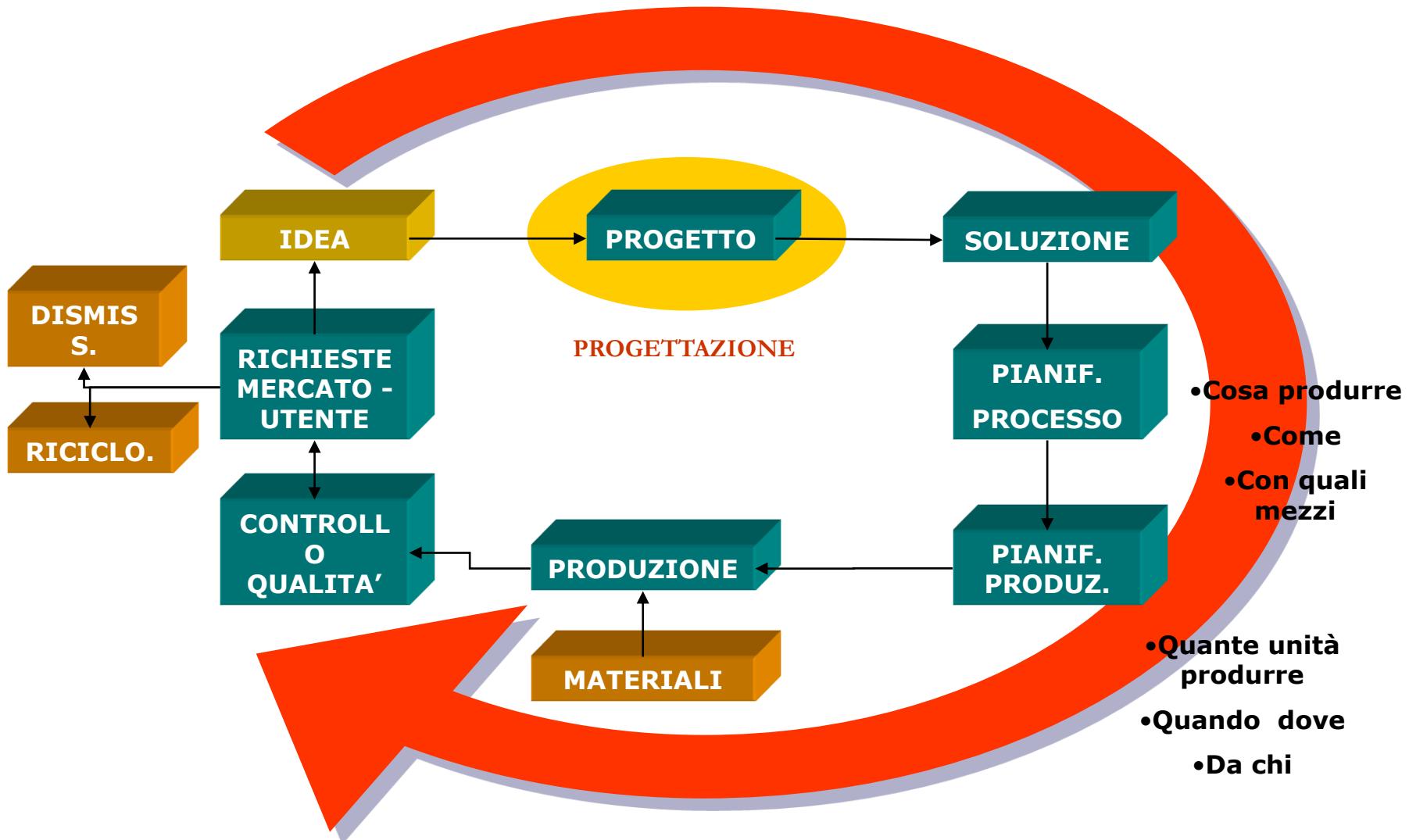
Ingegnerizzazione:  
dettagliamo, inserimento materiali, saldature, bulloni etc. per la realizzabilità



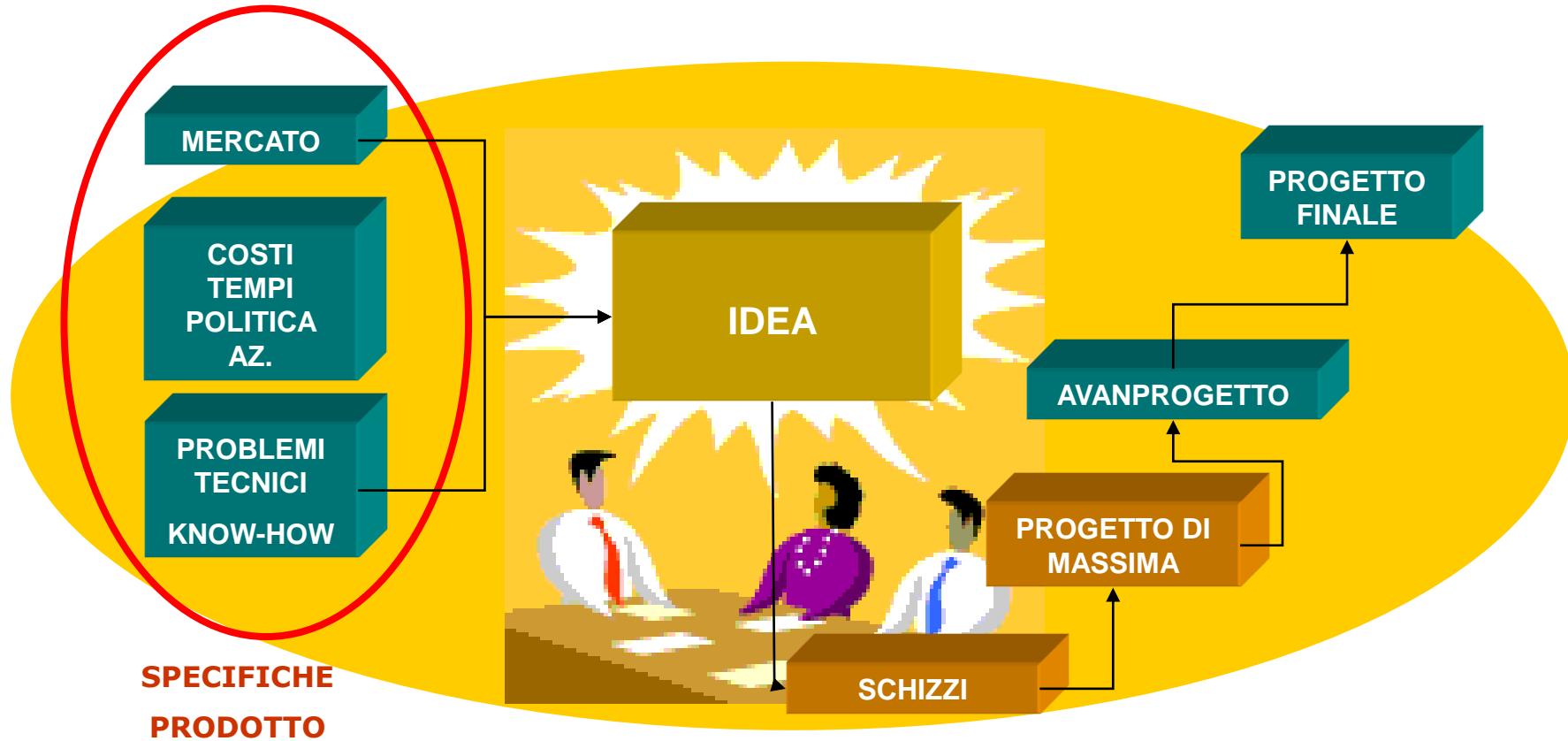
# Classificazione degli elementi di qualità (KANO)



# Ciclo di vita del prodotto



# La progettazione



- Massima semplicità degli organi
- Minimo numero di componenti
- Facilità di produzione, montaggio, riciclo
- Costo
- Reperibilità sul mercato dei componenti esterni

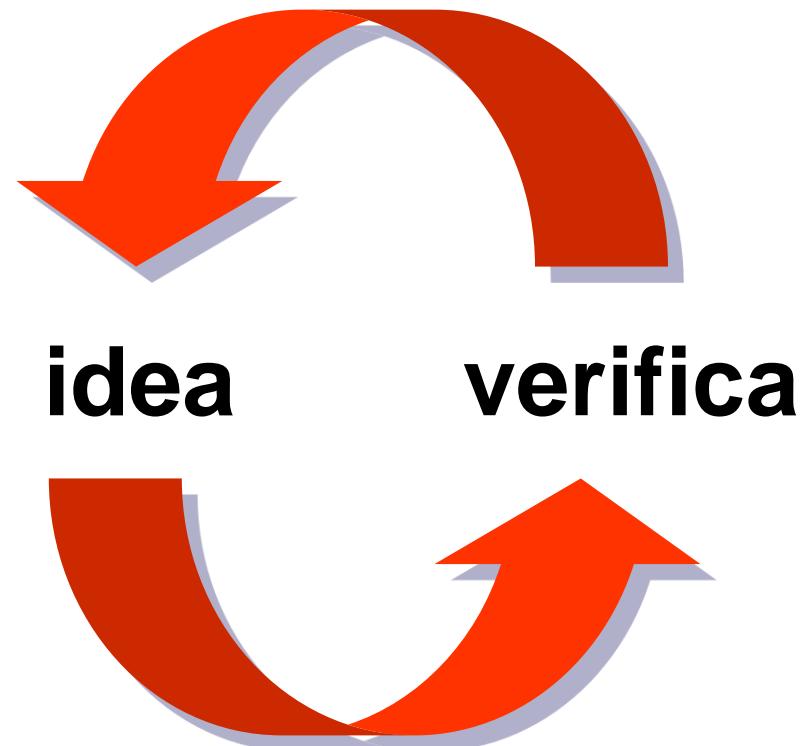
# La progettazione

**Progettare** significa concepire e comunicare una idea\prodotto rispondente a precisi requisiti (vincoli economici, estetici, funzionali, geometrici e tecnologici).

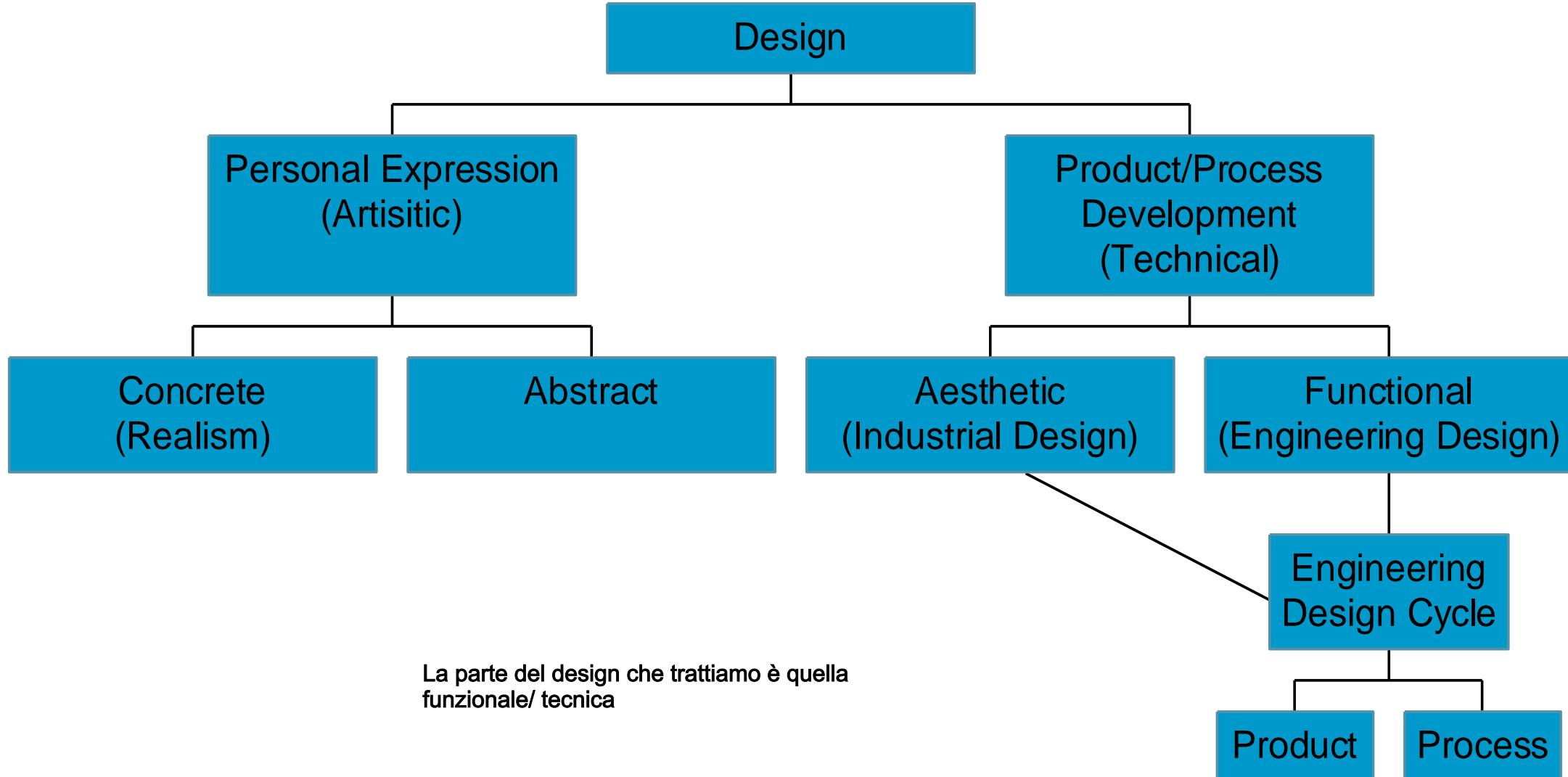
Il risultato è il **Progetto**: schizzi, schemi, rappresentazioni, modelli matematici, analisi di resistenza, di costi, di fabbricazione, ecc.

**E' costituito da 2 fasi:**

- Creativa
  - Risposta alle specifiche e vincoli progettuali
- Analisi e ottimizzazione
  - Forma, dimensioni, materiali, etc.



# Declination of «Design»



A photograph showing a person's hands working on a mechanical assembly, possibly a valve or pump, on a workbench. The person is wearing a brown long-sleeved shirt. The background shows various workshop tools and equipment.

# Design phases

- Problem identification and formalization
- Preliminary design
- Conceptual design
- Engineering Analysis
- Optimization
- Implementation and documentation

# 1) Problem identification and formalization

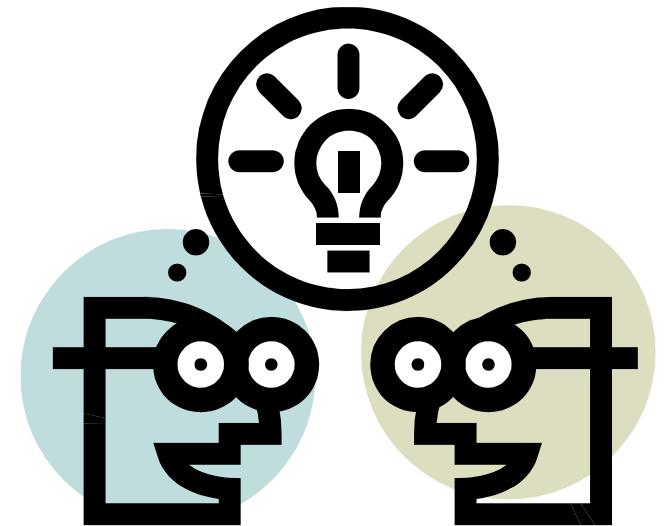
scrittura dei requisiti, che partendo da quelli dati dallo stack holder vanno scritti in termini funzionali e tecnici

- Description of the problem
- Requirements
- Conditions that must be met
- Create a priority list
- Limitations
- Determine the constraints (of cost, space, weight, environment, etc.)
- Has the problem already been addressed in the past?
- Are there already solutions to similar problems?



## 2) Preliminary design

- *BRAINSTORMING*
- Groups of 4-8 people
- Everyone provides their own ideas without evaluating them too much
- Even the most imaginative ideas are encouraged
- Highly creative stage
- Paper support through sketches



### 3) Conceptual design

- *Select the best preliminary ideas*
- *Evaluate the merits of each idea*
- *Combining ideas*
- *Refine the sketches*
- *Develop a single digital model on the computer*



# 4) Engineering analysis

Alla fine della fase precedente ho un unico modello concettuale che bisogna realizzare attraverso soluzioni tecniche effettive.

- *Apply engineering and scientific principles to evaluate the design*
- *FEM, Fatigue, Wear analysis*
- *Thermal analysis, etc.*
- *Using CAE software*
- *Ergonomic analysis*
- *Assemblability or assembly compatibility analysis*
- *Maintainability analysis*

È ancora possibile, in questa fase, tornare indietro ad una fase di design.



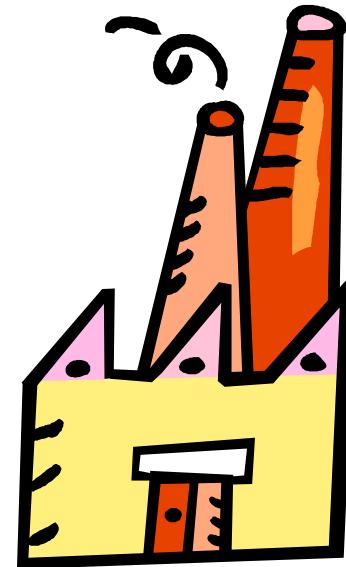
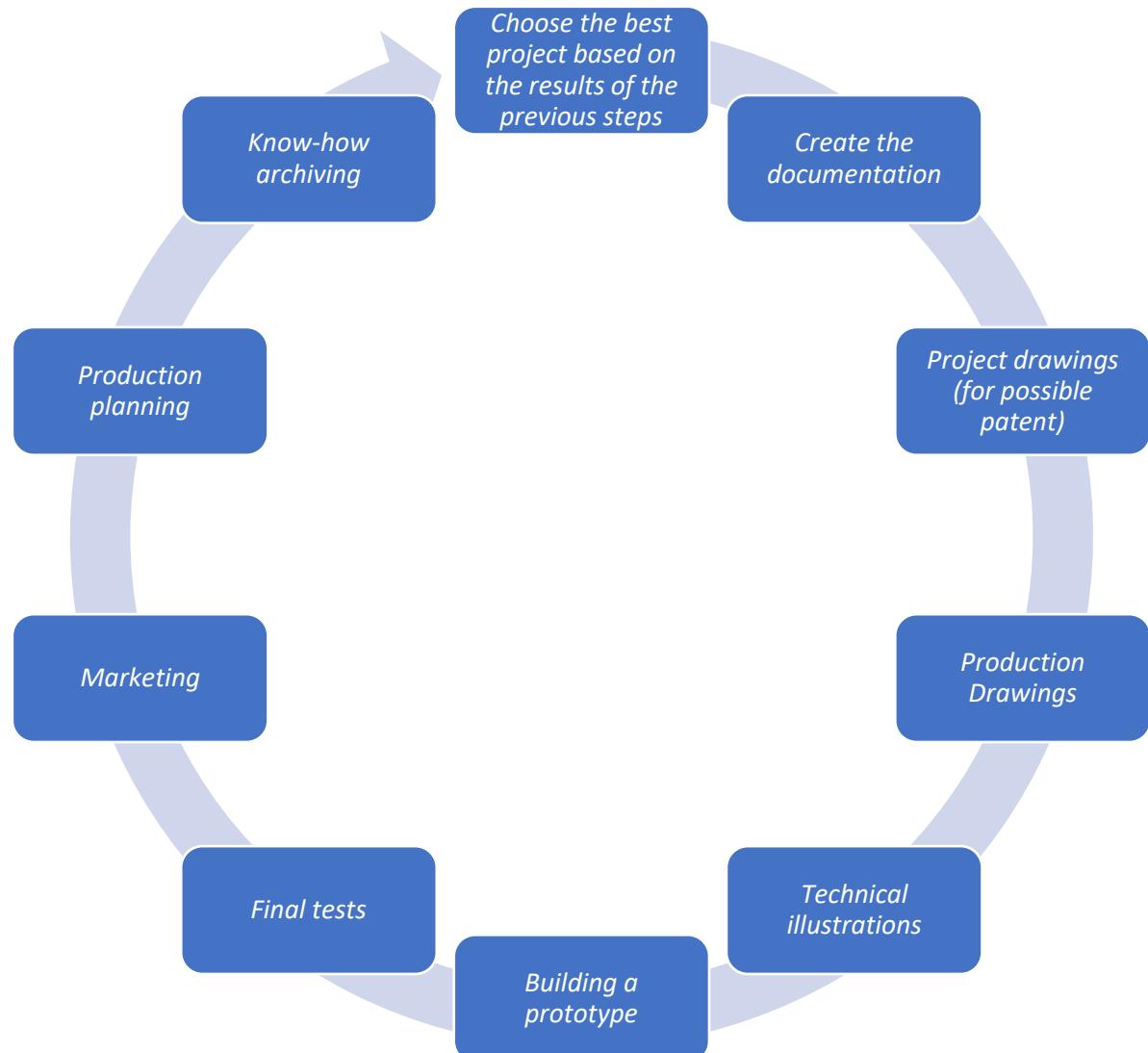


## 5) Optimization

- *Look at the best ideas from the previous step*
- *Improve the details of the project*
- *More sophisticated computer model (project view)*
- *How will the proposed solution integrate with the other systems?*
- *How will the parts be made?*
- *What materials will be used?*
- *Additive manufacturing*

Modelli più sofisticati: ottimizzazione materiale, dove si può eventualmente levare materiale etc.

# 6) Implementation and documentation

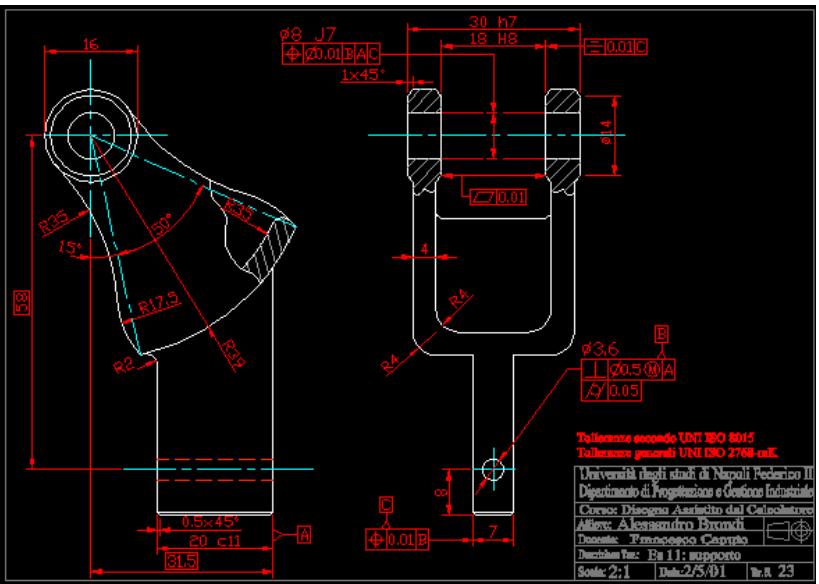


Know-how: come capire come conservare i risultati ottenuti classificando opportunamente le parti, associando ad ogni parte attributi e geometrie.  
Metodo Adotta Adatta Innova (AAI)

È importante fare un progetto robusto rispetto alle modifiche e facilmente leggibile anche da terzi

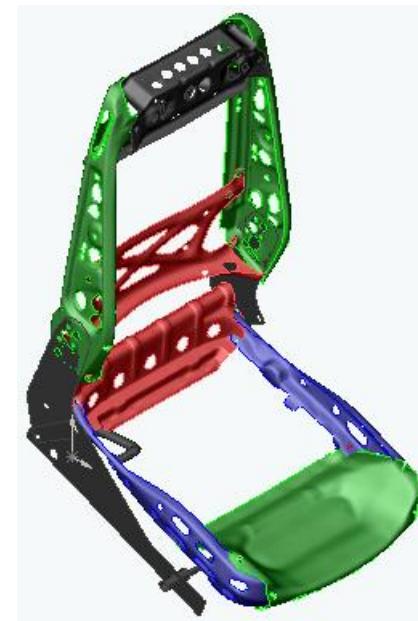
# Possibili Approcci

**Technical drawings**  
Drafting 2D  
(formato dvg)

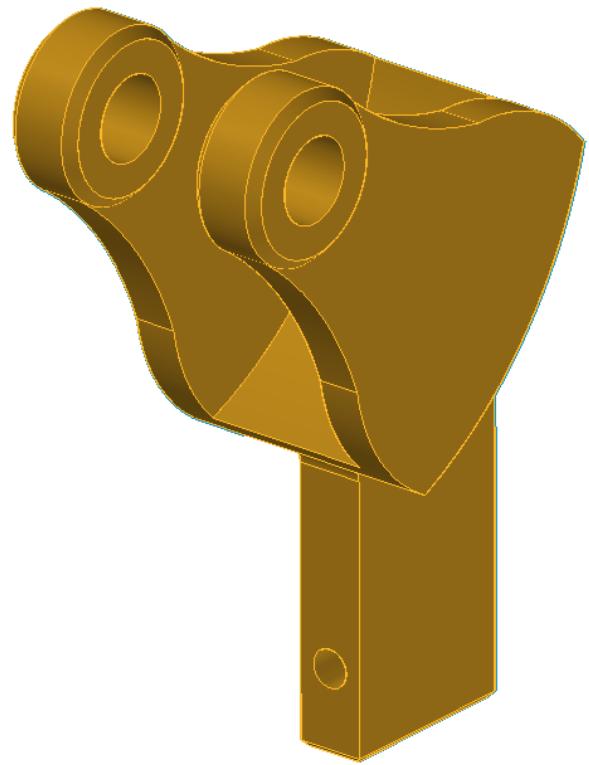


**Physical prototype**

**3D models**



**Virtual prototype**



# SYSTEMS ENGINEERING

## What is a System?

A system is an assembly of components, connected together in an organised way to form a whole, this showing properties of the whole, rather than properties of the components.

# SYSTEMS ENGINEERING

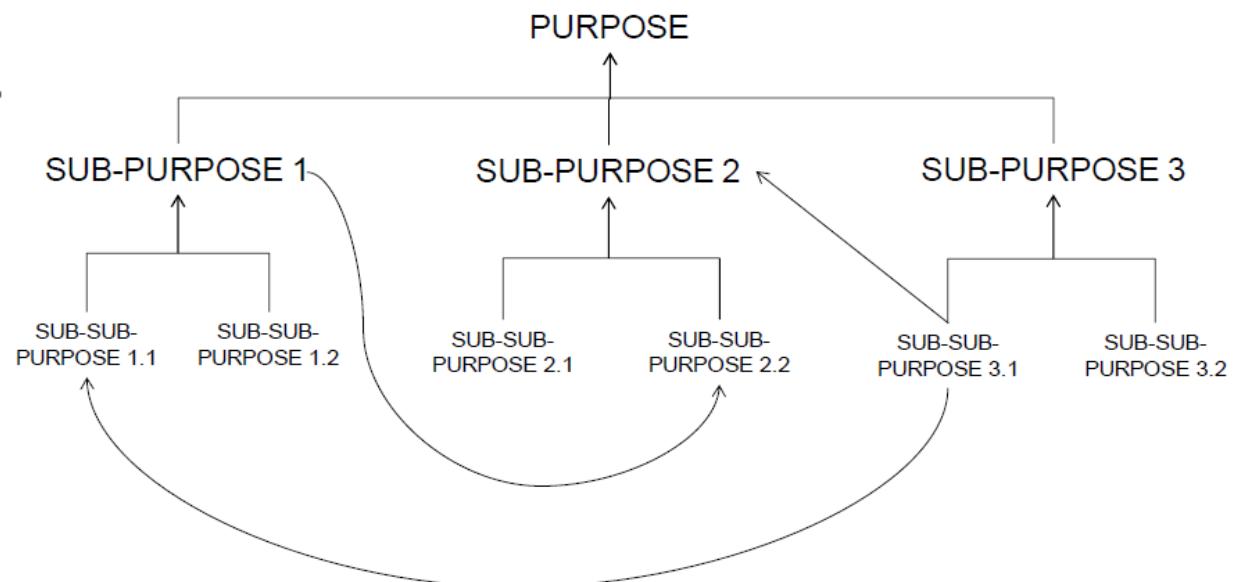
## *System Purpose*

All systems seek to achieve a purpose

The purpose is property of the whole and not in any of the components - **the purpose is the fundamental emergent behaviour we desire**

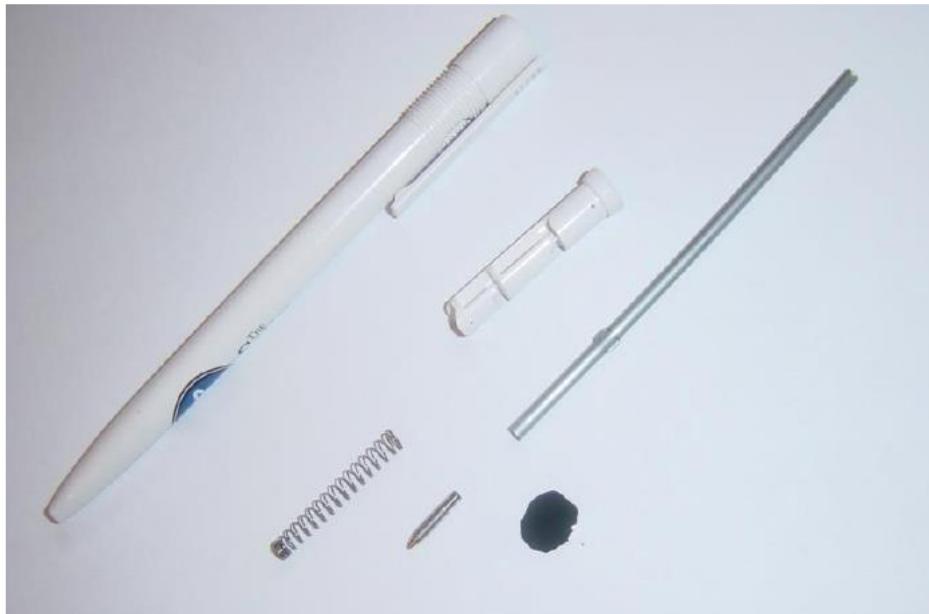
Some systems have more than one purpose

The purpose often requires the achievement of lower level purposes which in turn requires even lower level purposes which .... BUT it is rarely a simple hierarchy



# SYSTEMS ENGINEERING

## *System Purpose*



Components are affected by being in the system and the behaviour of the system is changed when a component is added to the system or when one leaves it

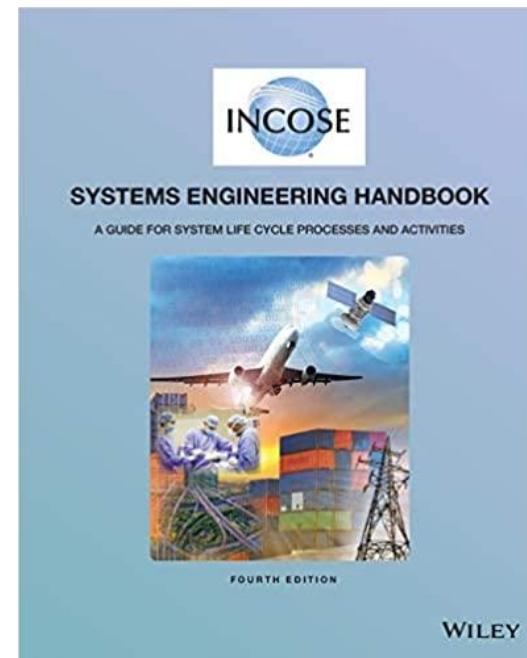
The properties of the pen as a whole are not found in any of the individual components – they emerge when the pen components are integrated



# SYSTEMS ENGINEERING

*“Systems Engineering is an interdisciplinary approach and means to enable the realization of successful systems. It focuses on defining customer needs and required functionality early in the development cycle, documenting requirements, and then proceeding with design synthesis and system validation while considering the complete problem. Systems Engineering considers both the business and the technical needs of all customers with the goal of providing a quality product that meets the user needs. (INCOSE)”*

The International Council on Systems Engineering (INCOSE)



# SYSTEMS ENGINEERING

## STEPS

- **Expression of the need:** the identification of a need based on the project approach.
- **Scope statement:** a document that expresses the demand (request) of the customer to the supplier. This document must be precise to ensure that the product is made in compliance with the expectations (waits).
- **Specification:** a consumer need analysis made by the supplier. It helps reduce complexity and define the limits.
- **Conception (design):** the process of inventing, creating and developing a product by using the knowledge, techniques, tools and methods of both Sciences and Techniques of the Industry (STI) and sustainable development.
- **Production:** the manufacturing of the elements which constitute the product.

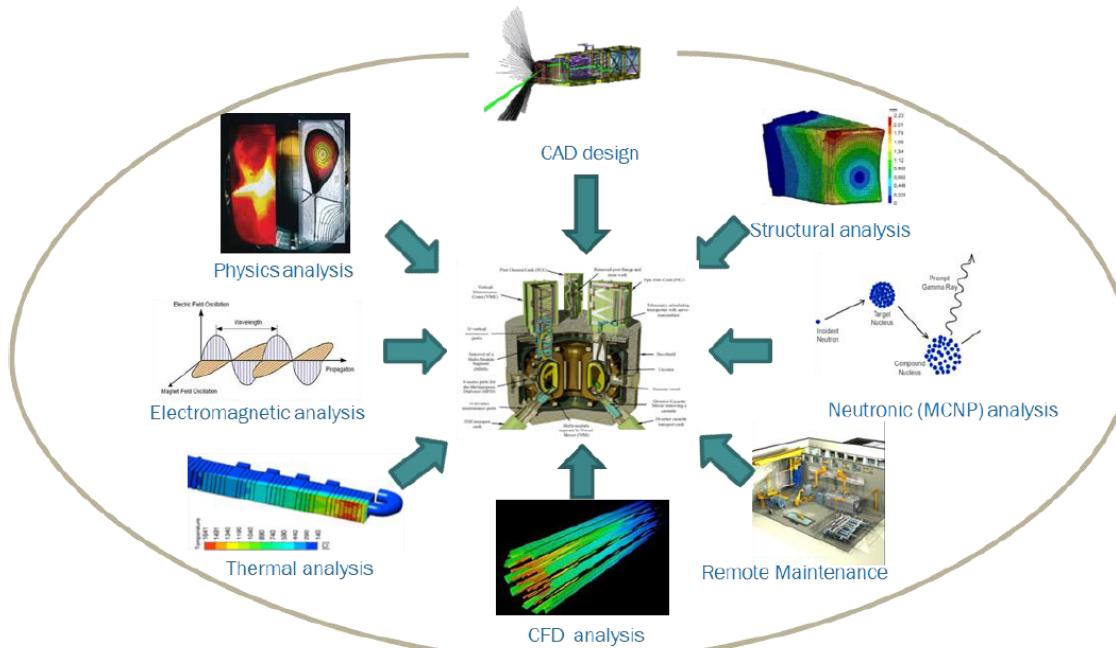
# SYSTEMS ENGINEERING

## A multidisciplinary project

- Multidisciplinary system requires skills in various disciplines: Mechanics, Electronics, Computing and many other fields.
- During the design, these disciplines interact with one another. It is important to manage the process of multidisciplinary engineering to make sure that the conceived product meets the customer needs.

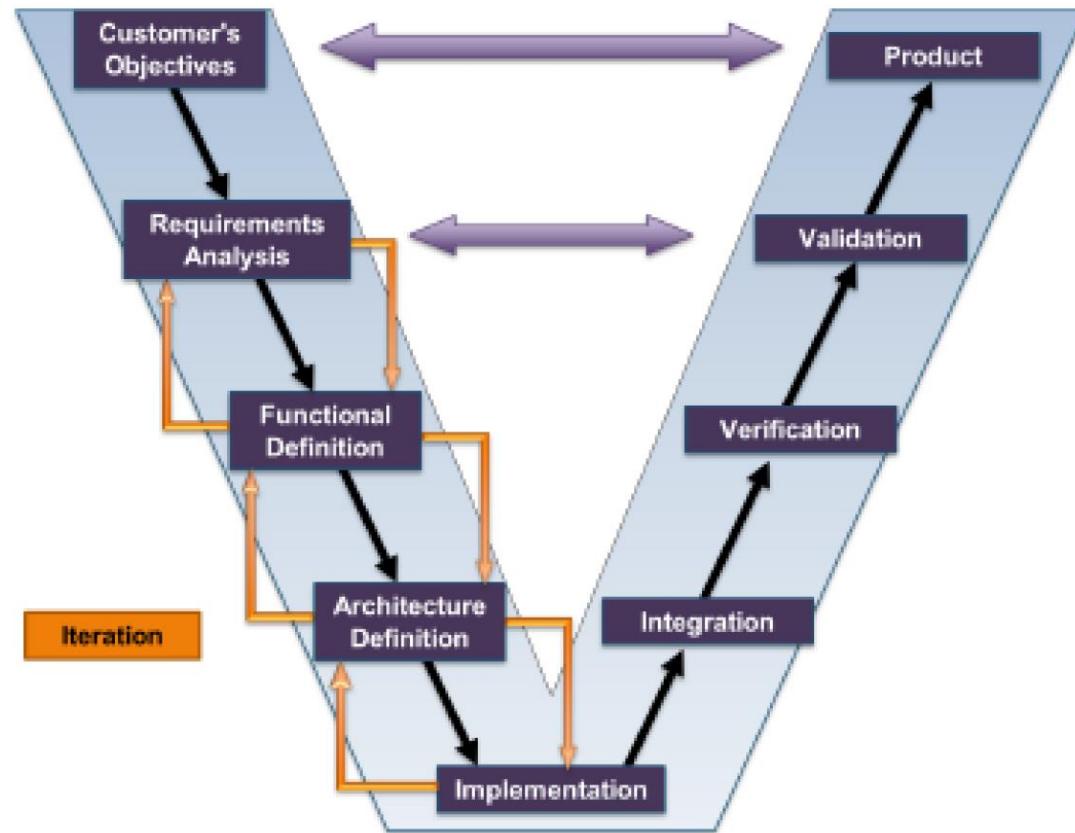
It is necessary to have:

- A common vision to share the same understanding.
- A structured process of development to integrate all the disciplines and the specialists in the same team.



# SYSTEMS ENGINEERING

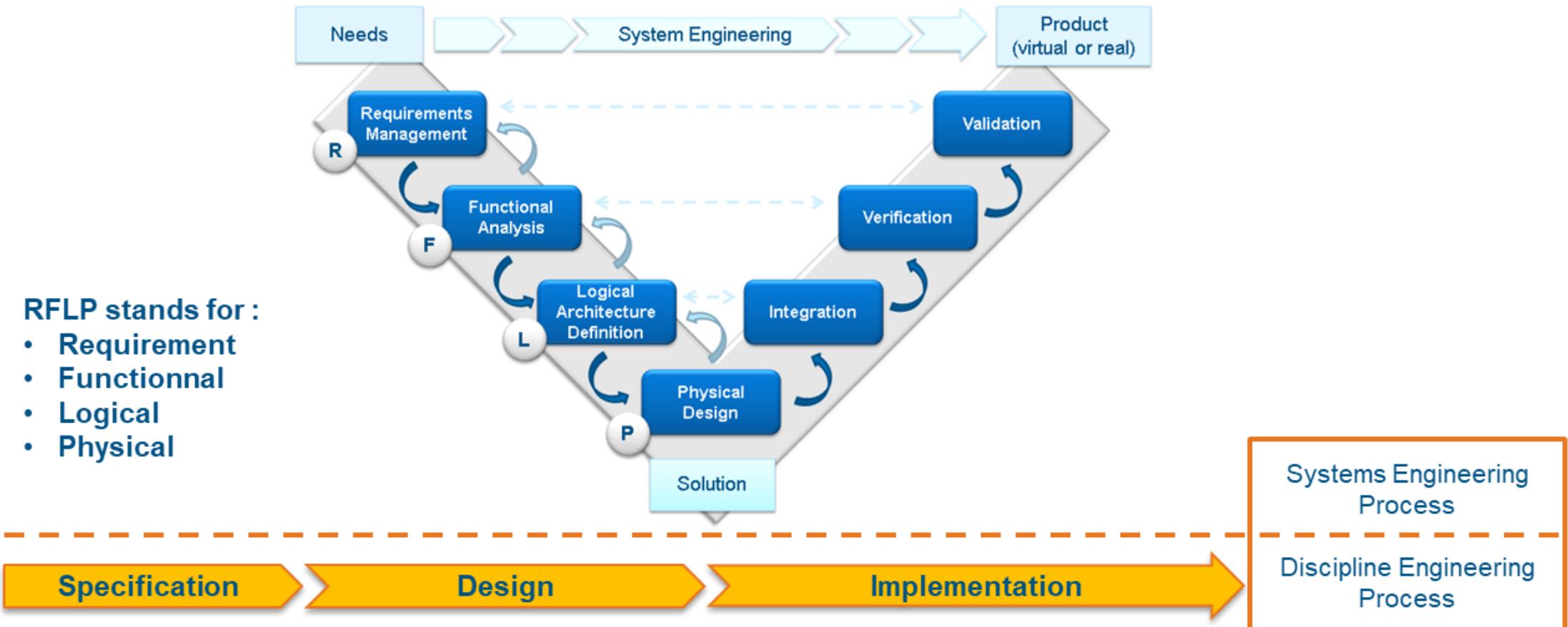
## V-MODEL



Sottolinea la necessità di definire piani di verifica durante lo sviluppo dei requisiti, la necessità di una convalida continua con i clienti e l'importanza della valutazione continua dei rischi e delle opportunità

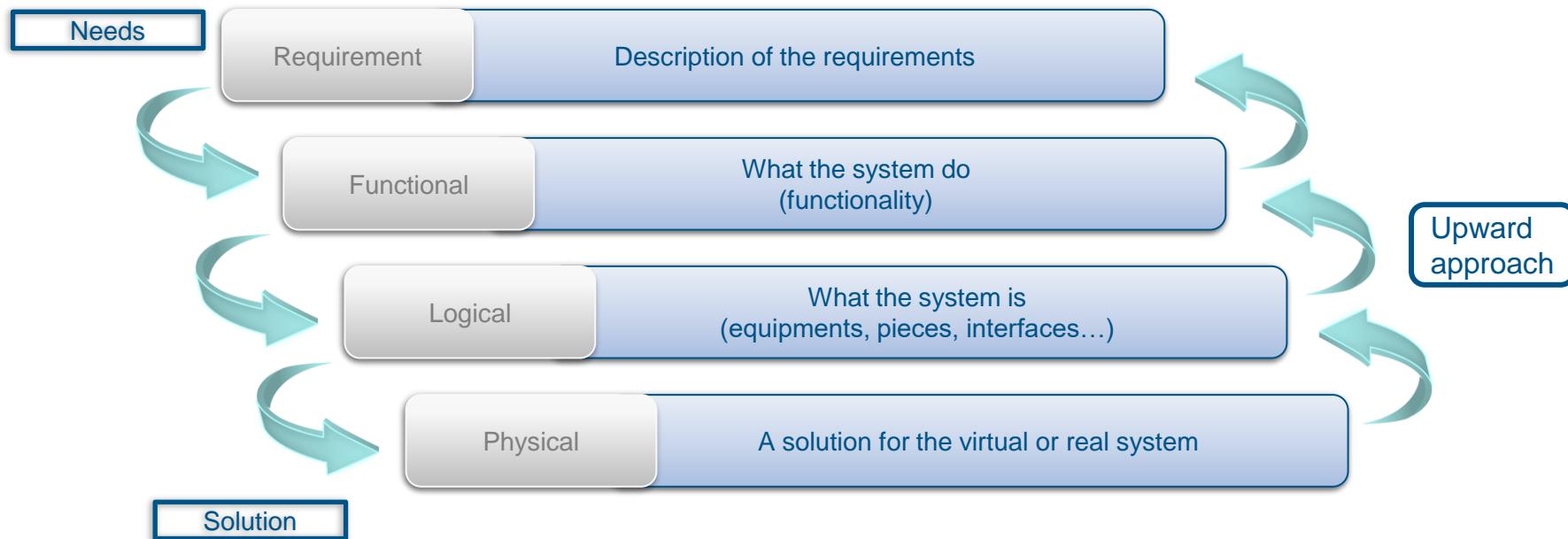
# SYSTEMS ENGINEERING

The RFLP is a Systems Engineering process based on the V cycle design process.



# SYSTEMS ENGINEERING

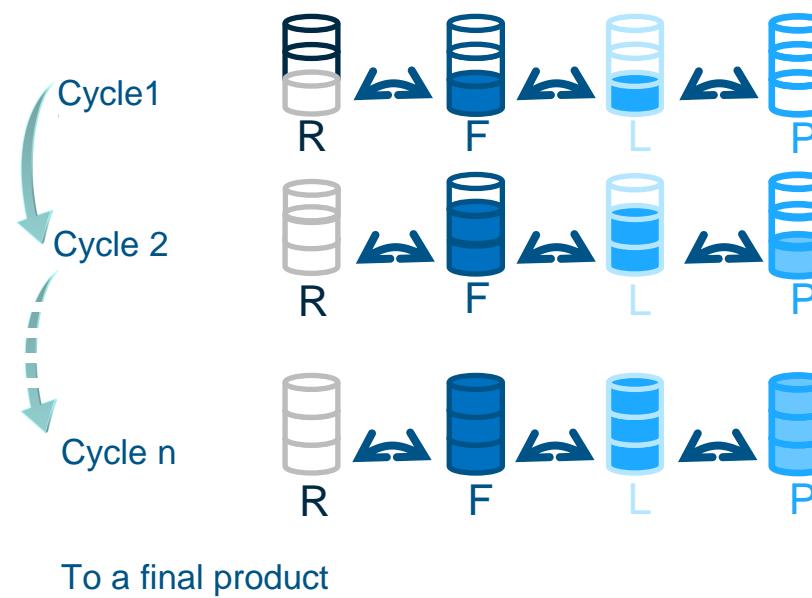
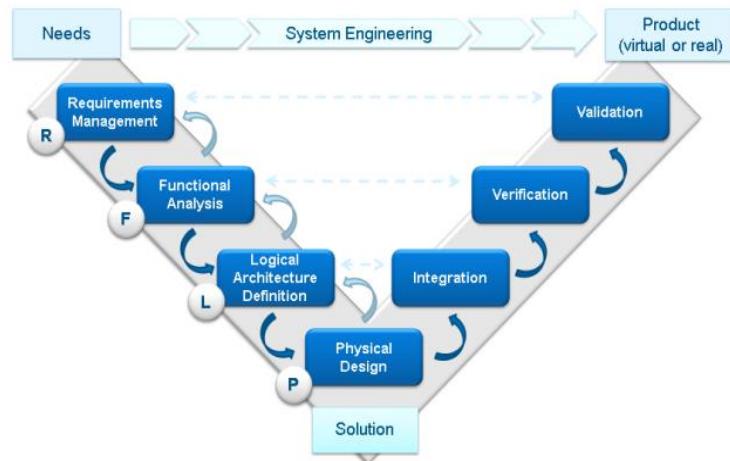
The RFLP is a Systems Engineering process based on the V cycle design process.



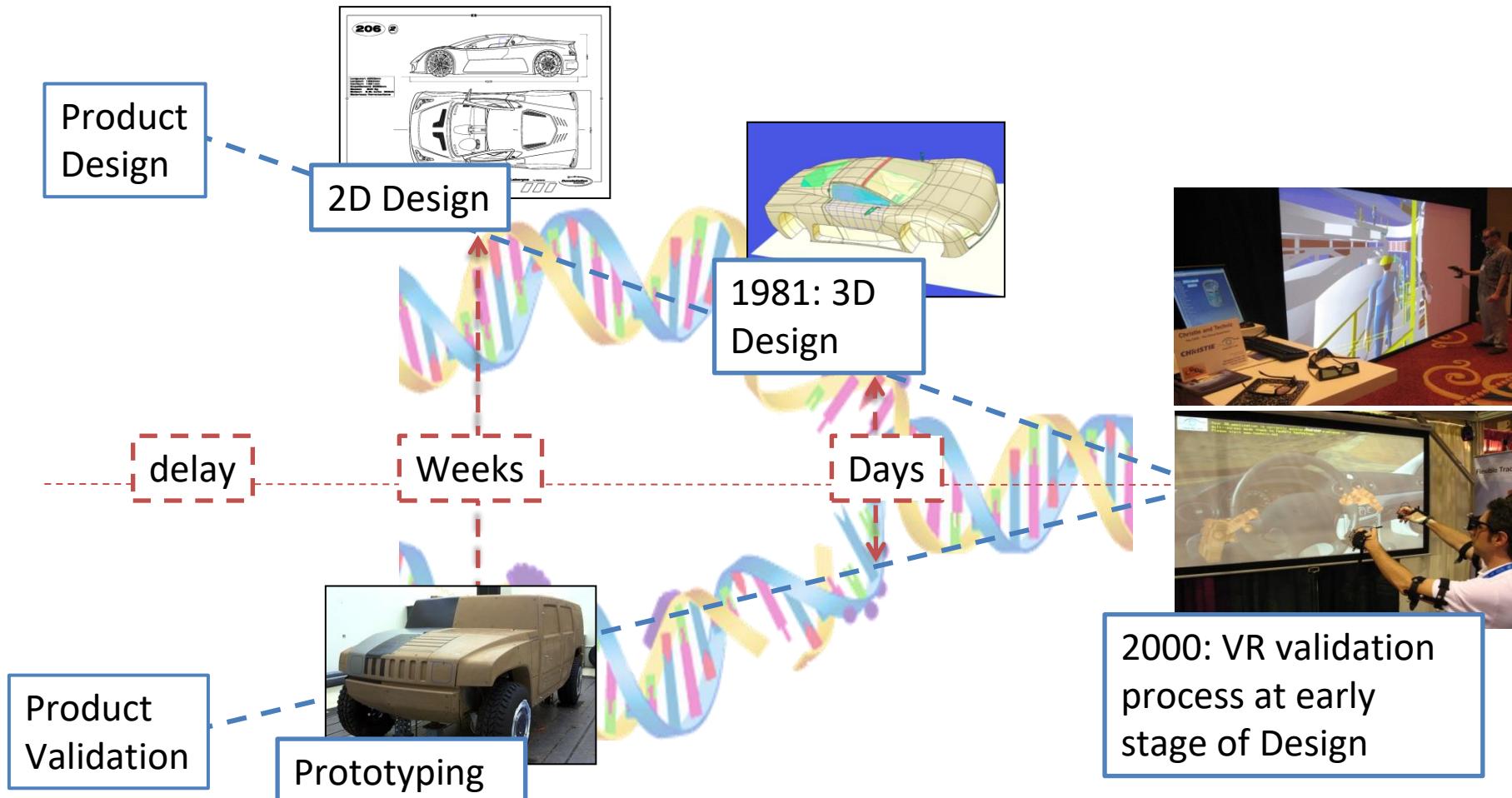
# SYSTEMS ENGINEERING

The RFLP is a Systems Engineering process based on the V cycle design process.

- Some interaction are necessary to complete the various steps of a project. The approach is not sequential but simultaneous.



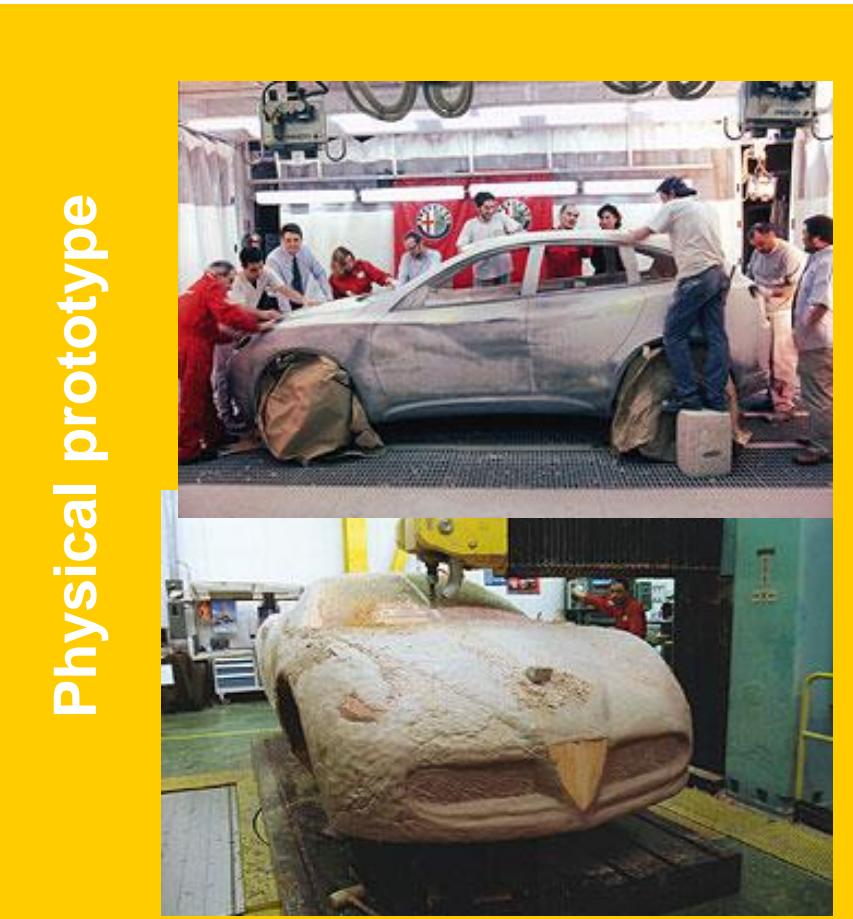
# Evolution of Design vs. Validation



# Physical vs Virtual Prototype

lezione 4 10

Physical prototype



Virtual Prototype





## Computer MIT Lincoln Labs TX-2

primo modello tridimensionale : wire frame (solo attraverso gli elementi di contorno)

**Sketchpad**  
*Ivan Sutherland*  
MIT 1963



CORNING



Inutile

# Model

- The model is a substitute for an object:
- Really existing
- That will be realized
- That will never be realized
- *Ex: Representation of a product that we only want to display*



*Modeling is the process of describing an object or scene so that we can eventually draw it.*

# Modeling

Each model contains two descriptions:

1. **The structural** description is basically the *geometry* of the model      Proprietà meccaniche dell'oggetto

2. **The appearance** describes how the surface of the model interacts with light:  
color, shininess, and transparency      bisogna anche descrivere l'ambiente in cui si trova l'oggetto



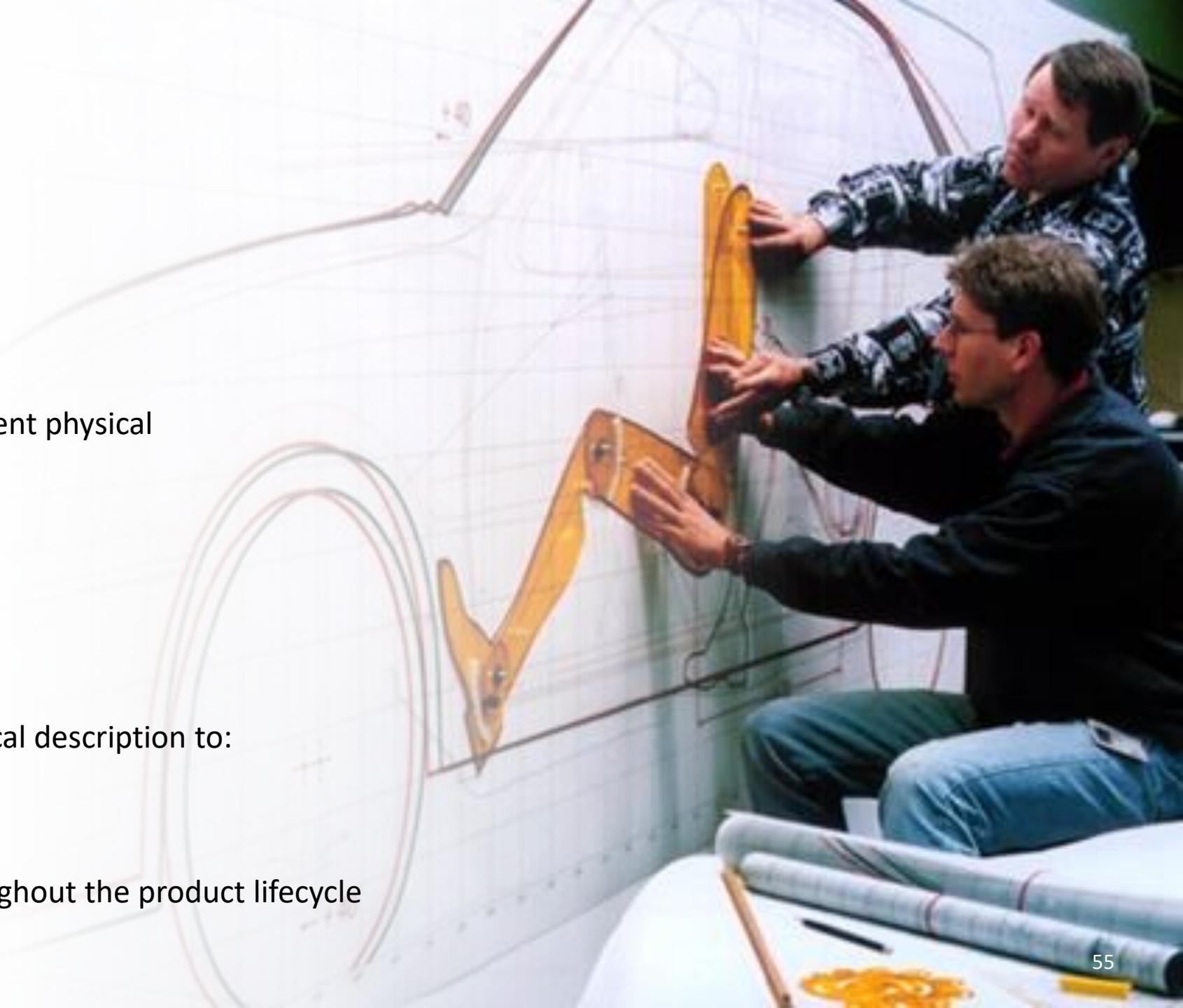
## From Physical to Mathematical models

Yesterday they were used to a large extent physical models:

- Models in plasticine or wood
- Sketches on paper
- Scale representations (e.g. aircraft)

Geometric modeling uses a mathematical description to:

- Reduce costs (e.g. cars, ships, etc.)
- Minimize the TTM
- Provide a common database throughout the product lifecycle

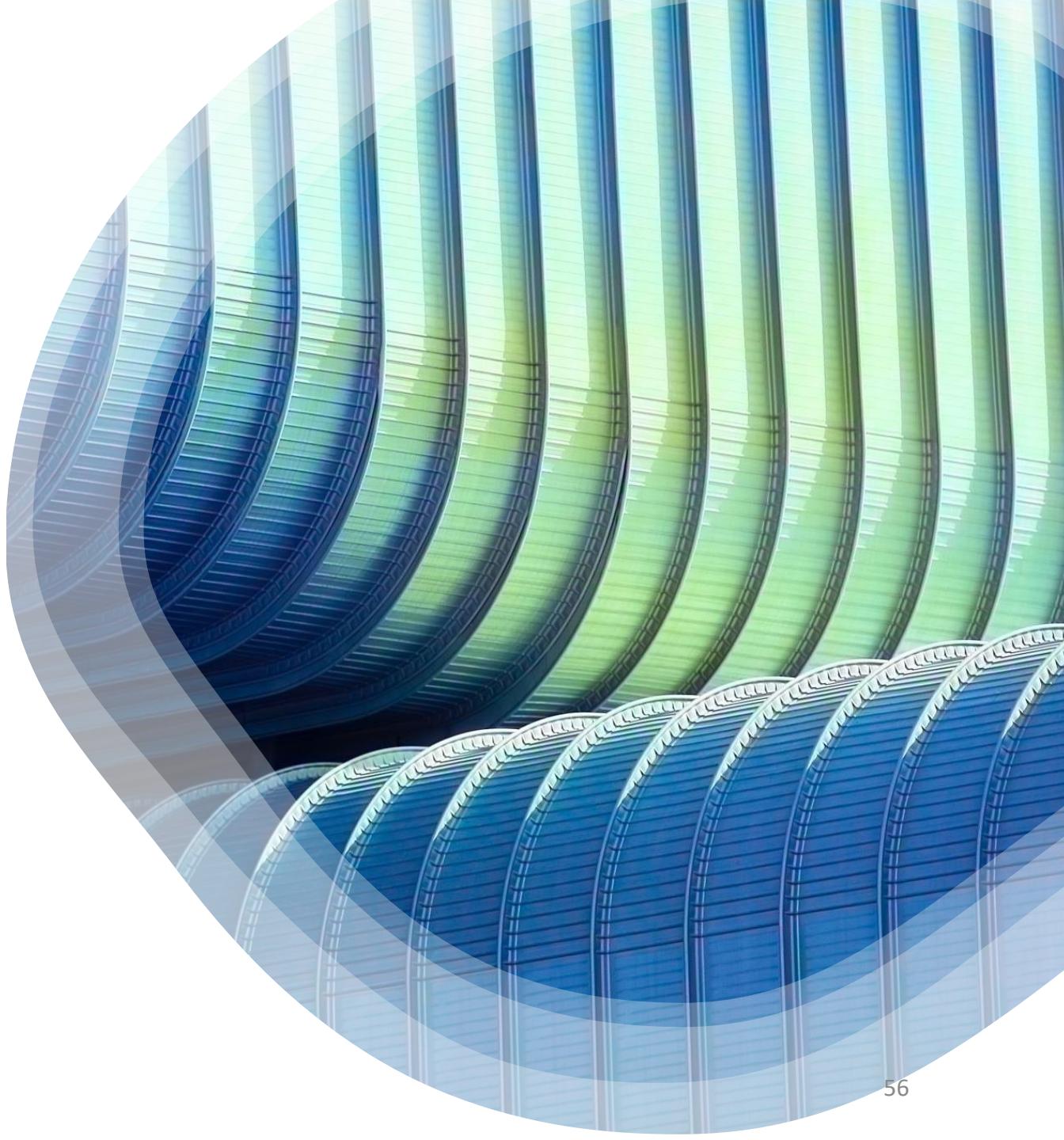


## **Virtual model**

A computer representation of an object or system with the required level of detail.

## **Virtual simulation**

Use of a mathematical and / or computerized model for the description of its behavior (kinematic, thermal, etc.) based on a set of initial parameters (boundary conditions).

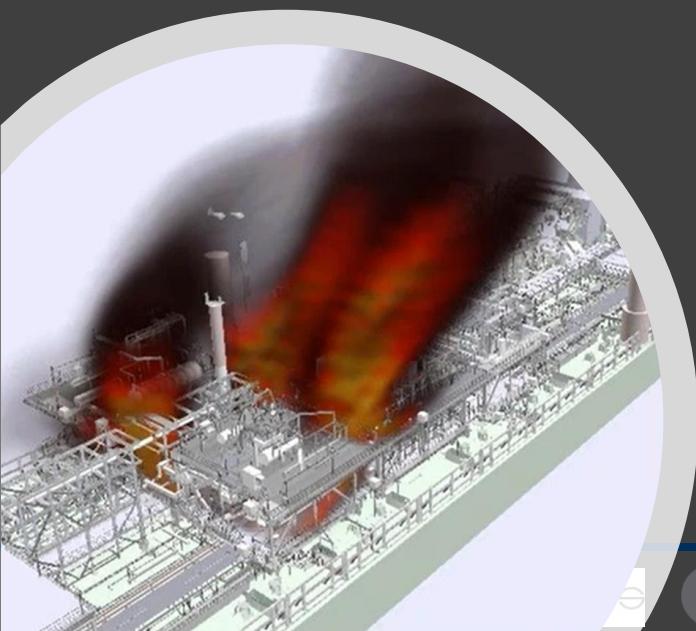
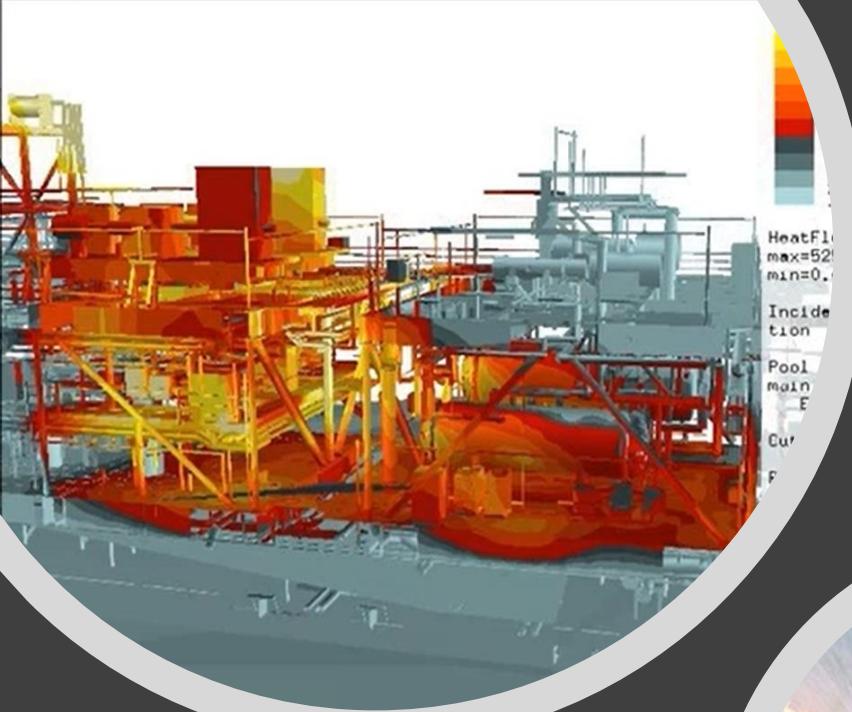


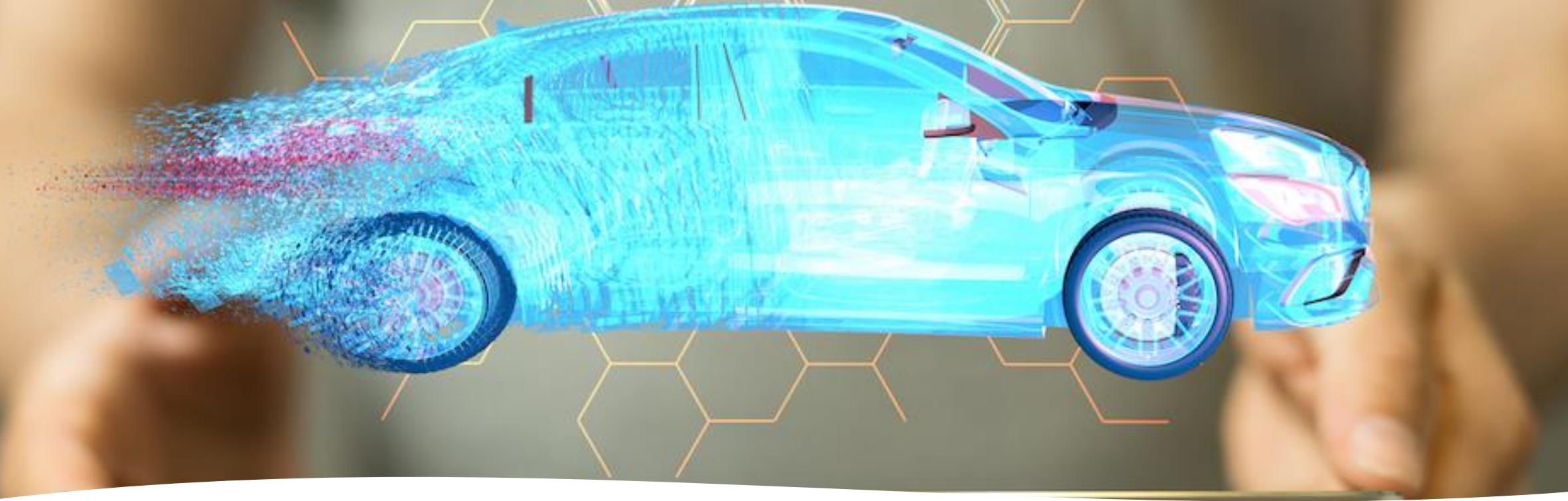
# Simulation... why?

Experimentation is not always possible:

- Inaccessible input and output data
- The experiment is too dangerous
- The cost of the experiment is too high
- The time needed may not be compatible with man
- The experiment can be disturbed or perturbed in an uncontrolled manner.

esempio: gravità





# Geometric modeling... ...what is?

Geometric modeling is the technique for representing (in digital format) the geometry of real or imaginary components.

- It was born at the end of 1960, with the electronic computer, to drive the numerically controlled machines.
- It is a multidisciplinary activity involving:

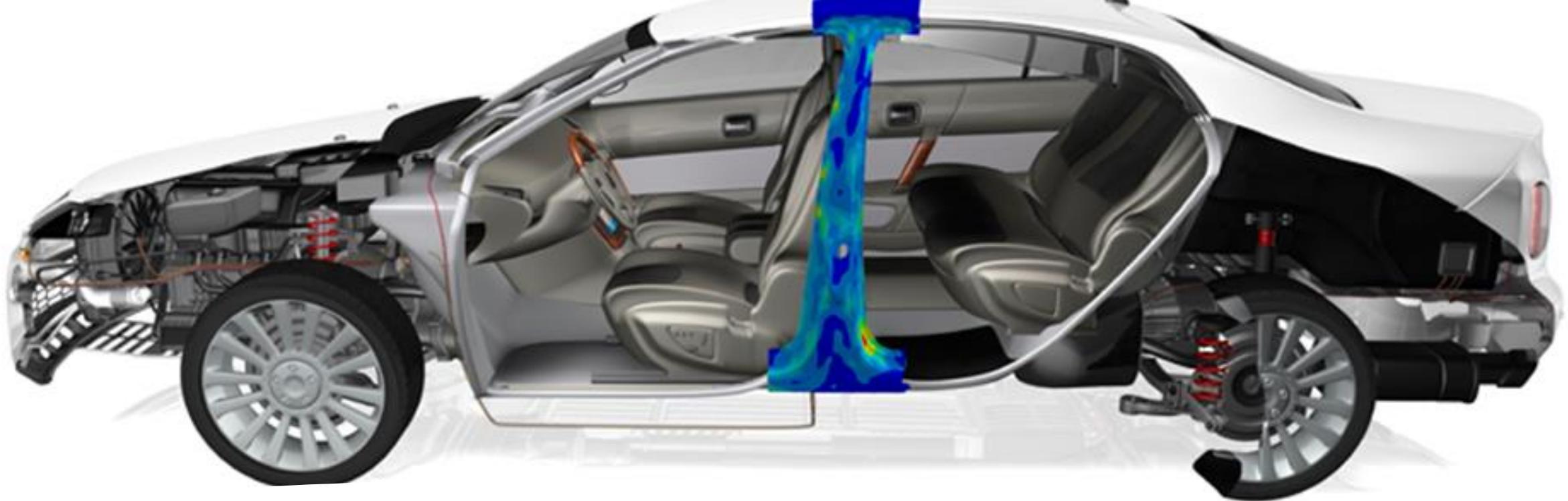
#### **Mathematics**

- Differential geometry, Linear and Boolean algebra, Topology
- Numerical methods, vectors and matrices, set theory

#### **Information technology**

- Data structures
- Algorithms
- Programming





# Virtual prototyping ... ...what is?

**Geometric modeling** will be “supplanted by **virtual prototyping** or product modeling, which not only includes the geometry of the object, but any information or data that is needed to design, develop, produce and support the product through its entire life cycle.”

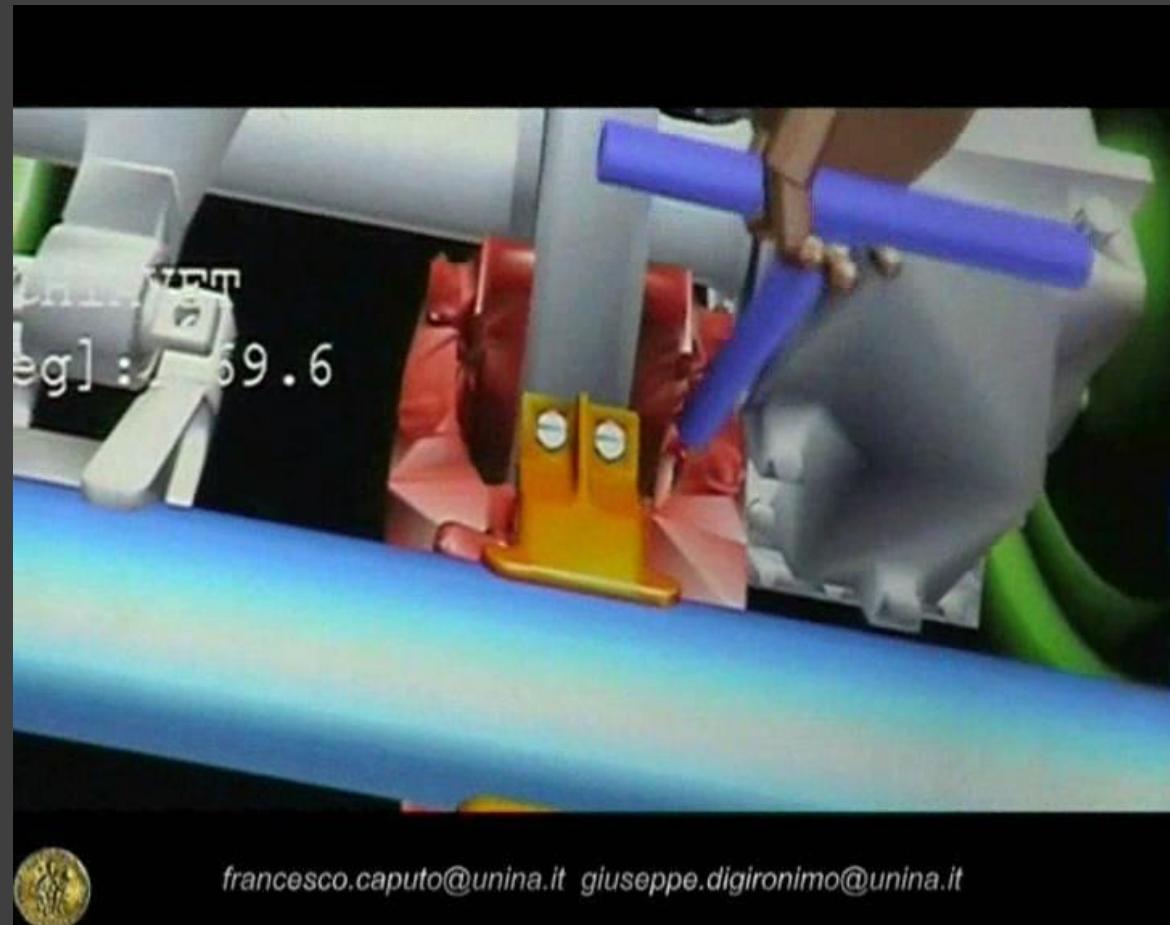
Ault, Holly K. (1999). 3-D Geometric Modeling for the 21<sup>st</sup> Century. *The Engineering Design Graphics Journal*, 63 (2), p.38.

non è ancora possibile sviluppare simulazioni che tengano conto  
di tutte le caratteristiche di un componente



# Virtual Reality

- ...methods and techniques that allow the design team to simulate human-product interaction when the product is still “immortal”.



[francesco.caputo@unina.it](mailto:francesco.caputo@unina.it) [giuseppe.digironimo@unina.it](mailto:giuseppe.digironimo@unina.it)

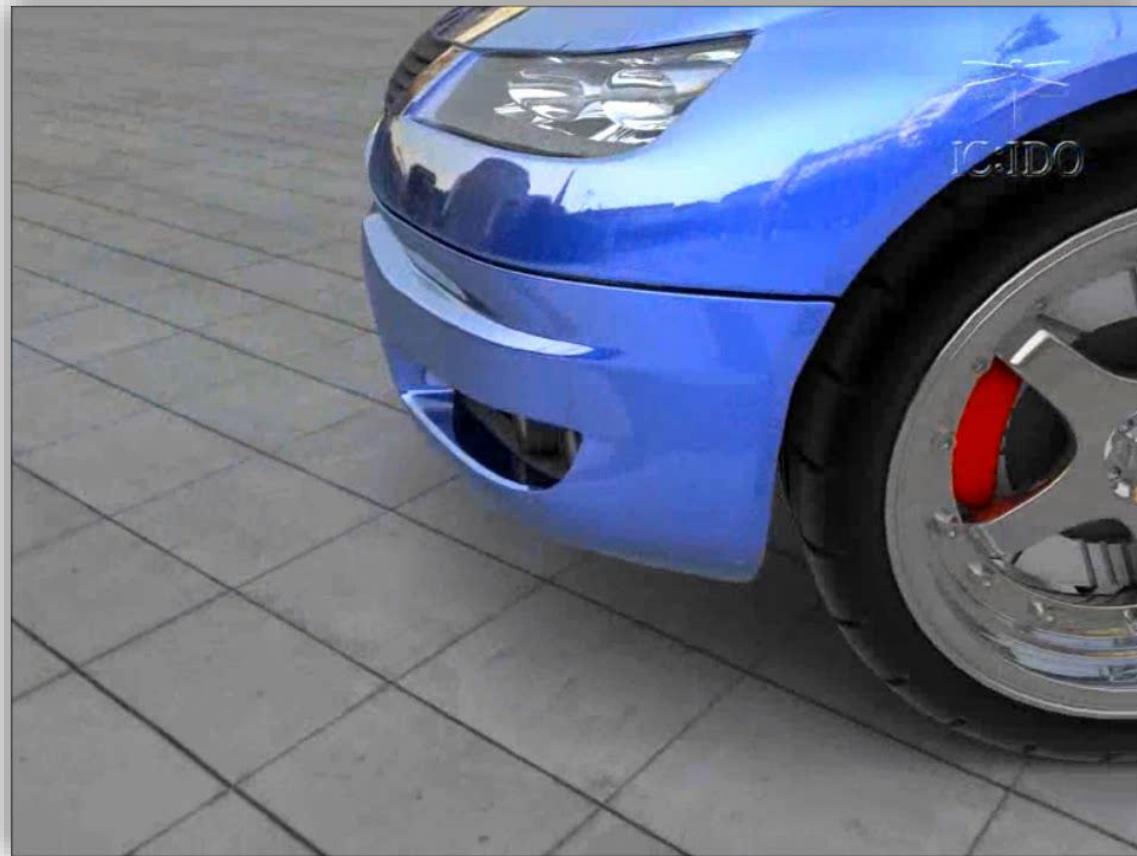


## Virtual Prototype

CAD model +

- ***Material, textures, shaders and lights***

In questa fase ci si preoccupa solo  
dell'aspetto estetico

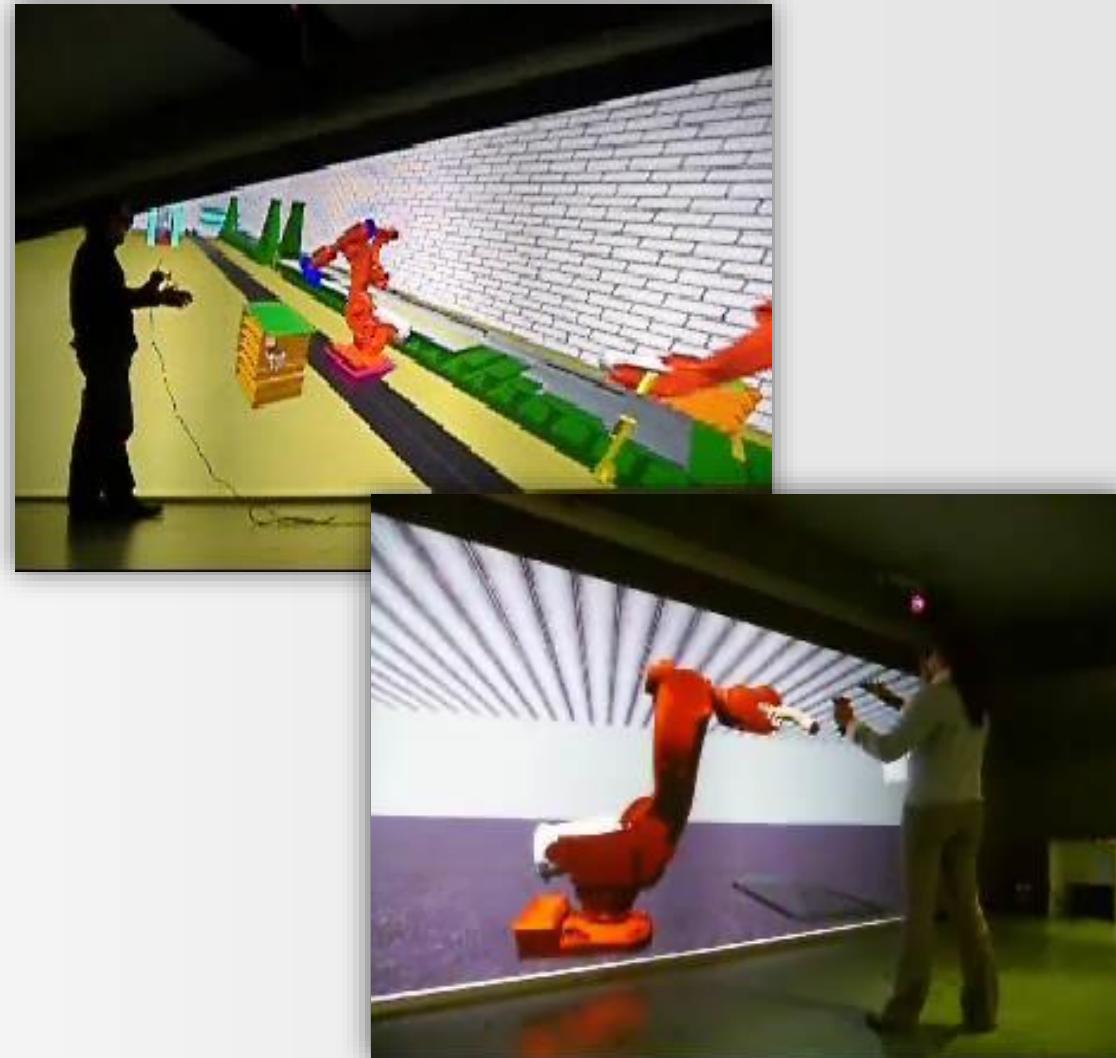


## Virtual Prototype

CAD model +

- *Material, textures, shaders and lights*
- **Kinematic behaviors**
  - **Direct**
  - **Inverse**

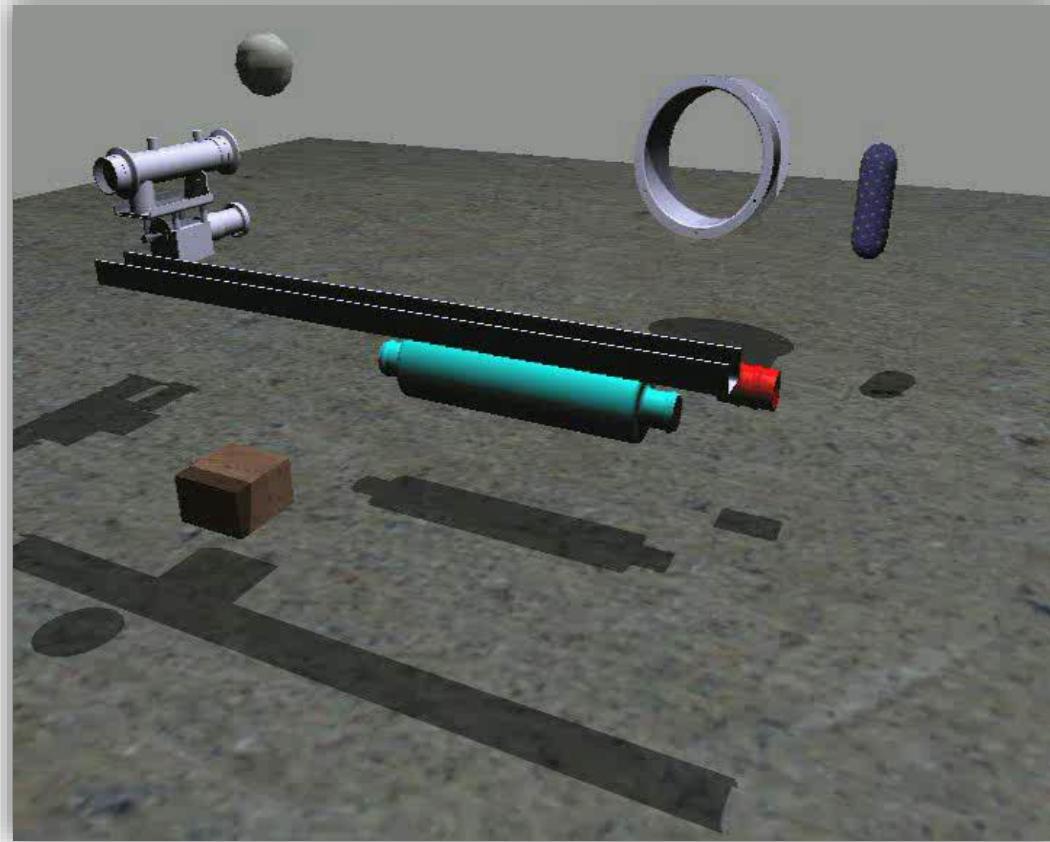
Non è importante l'estetica ma le proprietà meccaniche dei componenti



CAD model +

- *Material, textures, shaders and lights*
- *Kinematic behaviors*
  - *Direct*
  - *Inverse*
- ***Dynamic behaviors***
  - ***Rigid body***

Aggiungiamo le caratteristiche dinamiche del sistema.

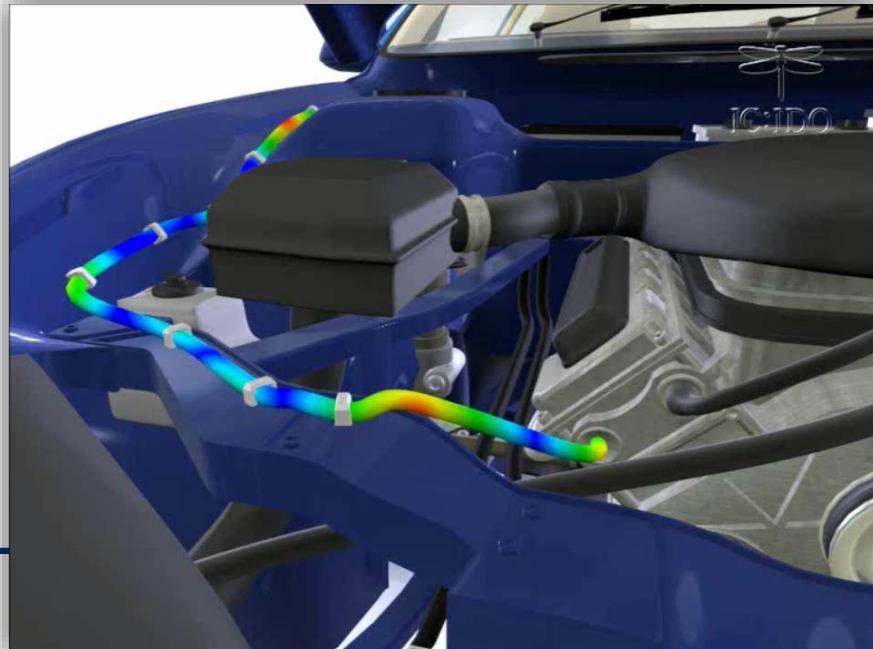
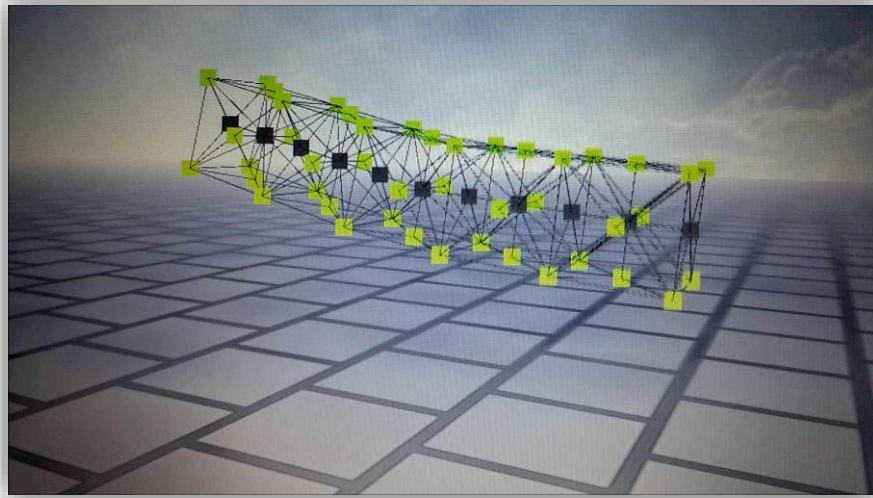


## Virtual Prototype

CAD model +

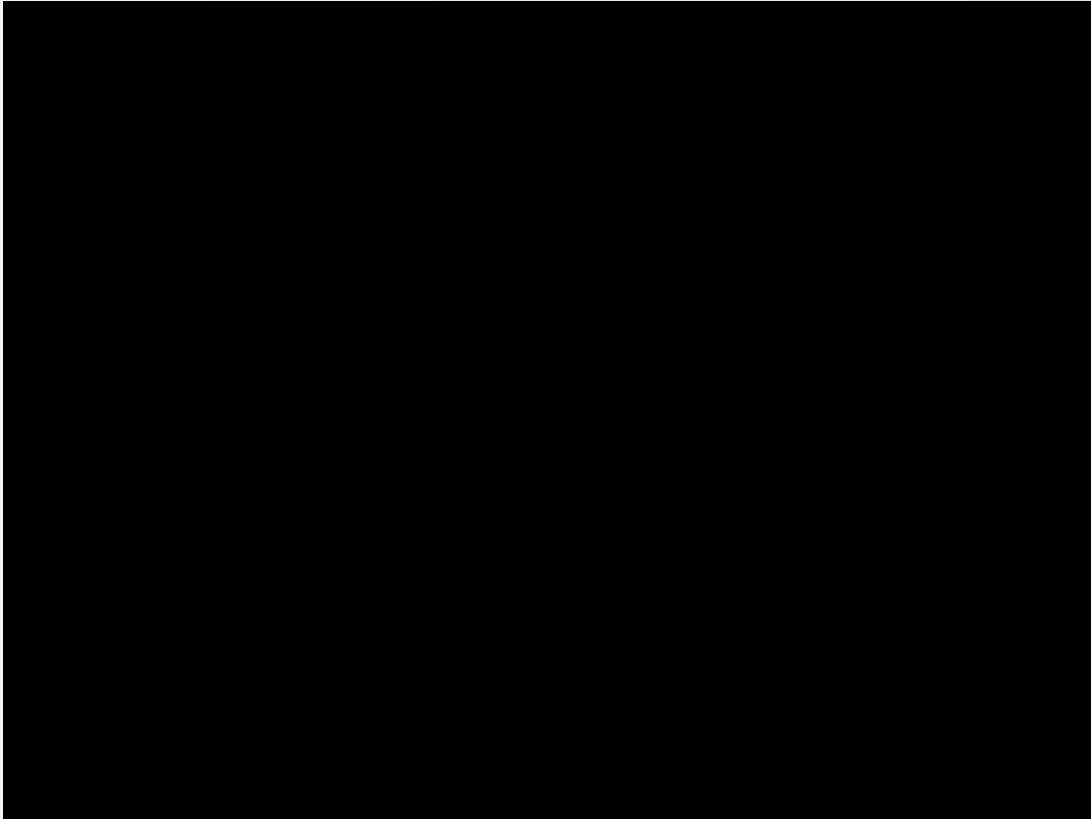
- *Material, textures, shaders and lights*
- *Kinematic behaviors*
  - *Direct*
  - *Inverse*
- ***Dynamic behaviors***
  - *Rigid body*
  - ***Deformable body***

Inseriamo caratteristiche circa la deformabilità del corpo



CAD model +

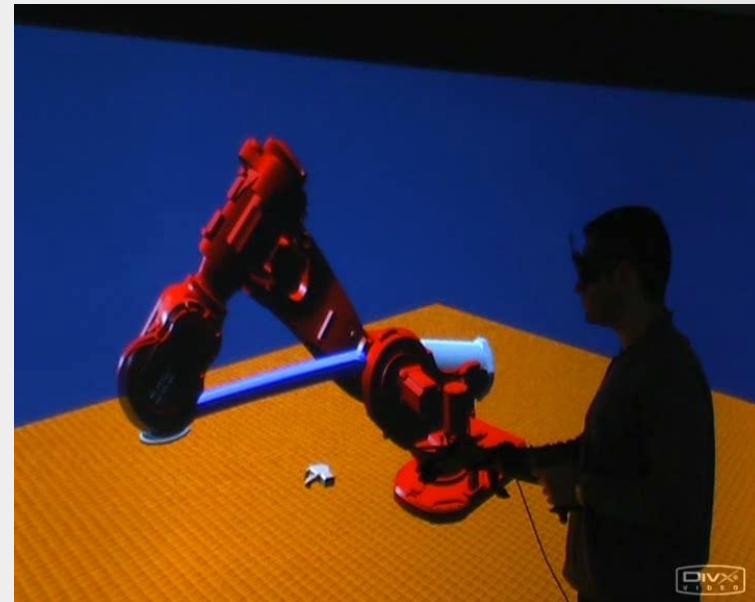
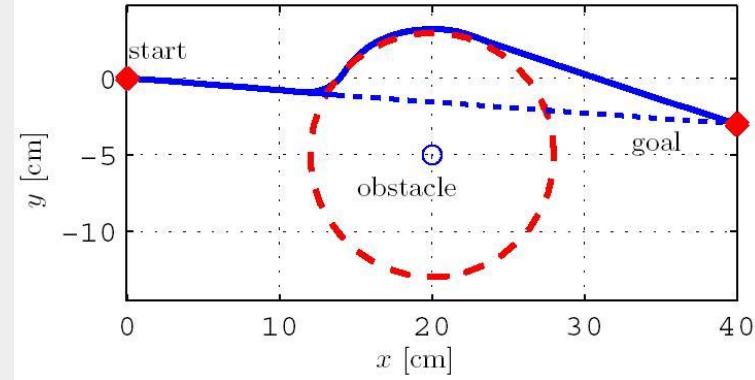
- *Material, textures, shaders and lights*
- *Kinematic behaviors*
  - *Direct*
  - *Inverse*
- *Dynamic behaviors*
  - *Rigid body*
  - *Deformable body*
- ***Sensitivity to collisions***
  - ***Detection***
  - ***Gliding***
  - *Avoiding*



## Virtual Prototype

CAD model +

- *Material, textures, shaders and lights*
- *Kinematic behaviors*
  - *Direct*
  - *Inverse*
- *Dynamic behaviors*
  - *Rigid body*
  - *Deformable body*
- ***Sensitivity to collisions***
  - *Detection*
  - *Gliding*
  - ***Avoidance***



# Modellazione geometrica al calcolatore

La descrizione matematica di un oggetto reale è molto complessa.  
Solo con l'ausilio di un calcolatore è possibile gestire tale complessità.  
La modellazione geometrica, è strettamente connessa con la visualizzazione e quindi la disciplina chiamata **computer grafica**.

# Utilizzi principali della modellazione

- Rappresentazione degli oggetti fisici e reali
- Sviluppo di prodotto che soddisfi le specifiche tecniche e i vincoli estetici e funzionali.
- Visualizzazione dell'oggetto per valutarlo, interpretarlo, svilupparlo e produrlo (es. disegni tecnici, disegni di produzione, manuali, etc...)

# Applicazioni

La **Modellazione geometrica** è utilizzata specialmente nelle seguenti applicazioni

- CAD, CAM
- Realtà virtuale
- Visualizzazione scientifica
- Analisi cinematica
- Robotica, computer vision

Altre...

- Videogiochi, video-produzione, modelli 3D via web, etc..

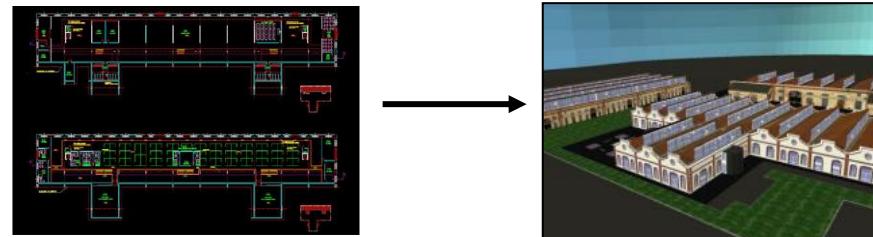
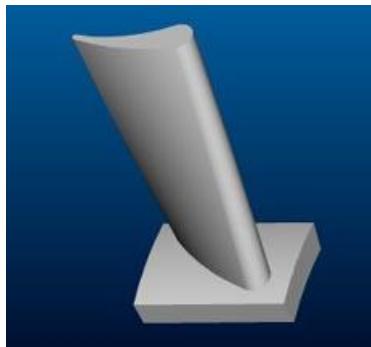
# Come vengono generati i modelli?

**Geometric Model o Modello geometrico:** la rappresentazione della forma 3D

**Geometric Modeling o Modellazione:** la tecnica di costruire il modello 3D

Metodi di generazione:

- Modellazione 3D
- 3D scan (reverse engineering)
- Simulazione e/o ottimizzazione
- Da rilievi cartografici e/o satellitari



# Quale è il modello da utilizzare ?

**Il modello digitale è sempre una rappresentazione approssimata. È un compromesso:**

- **Complessità di calcolo\archiviazione**
  - Tempo di modellazione
  - Visualizzazione
  - Dimensione del file
- **Complessità**
  - Numero di elementi
  - Geometria
  - Regole e vincoli
- **Efficienza**

Il modello rappresenta l'oggetto ai fini che ci interessano?

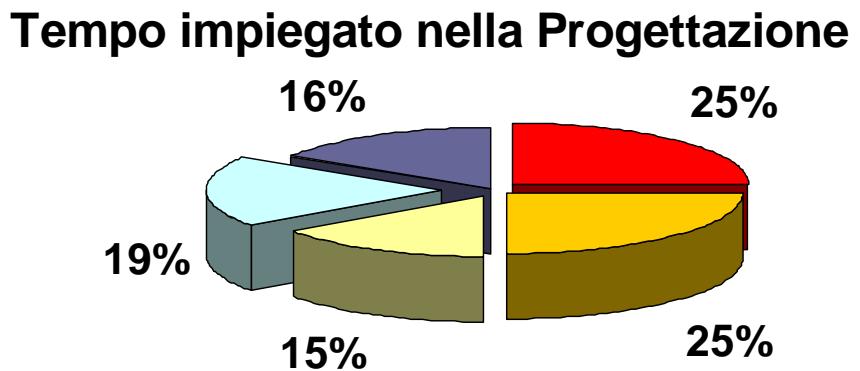


Con il CAD si può descrivere molto bene il modello matematico ma visualizzare con un livello di dettaglio ridotto

# La comunicazione grafica tecnica

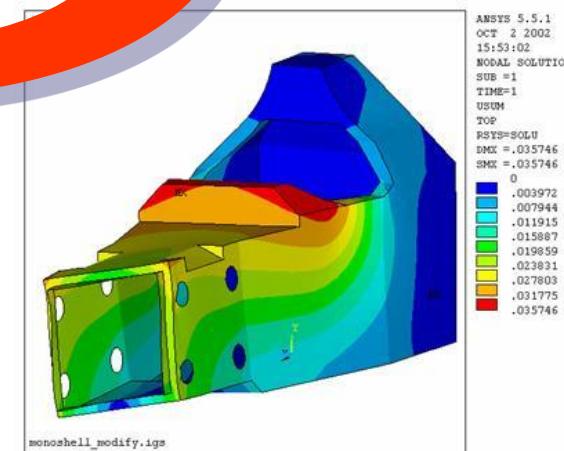
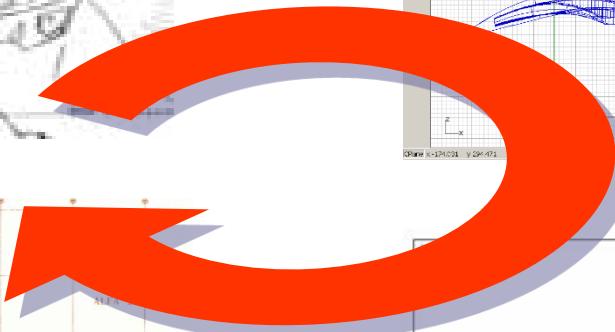
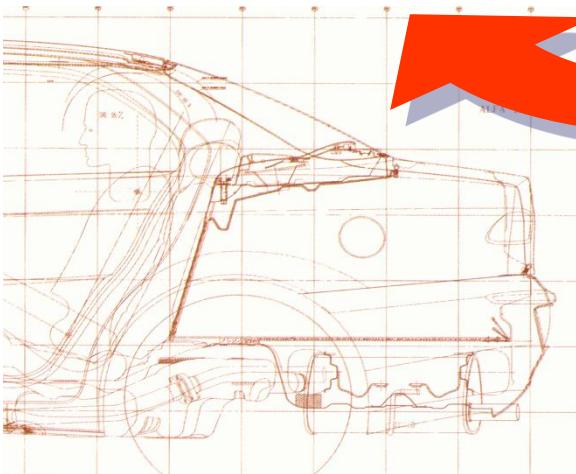
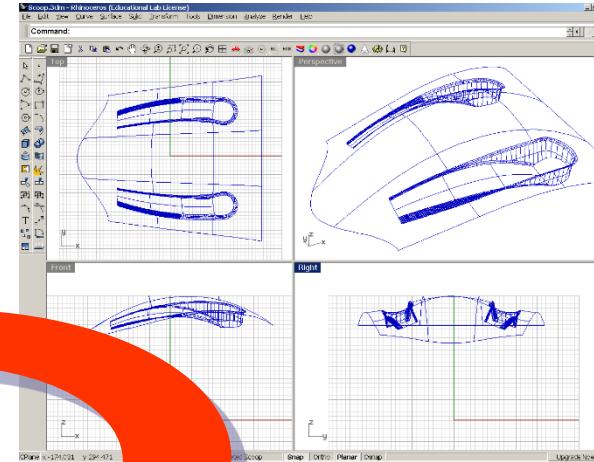
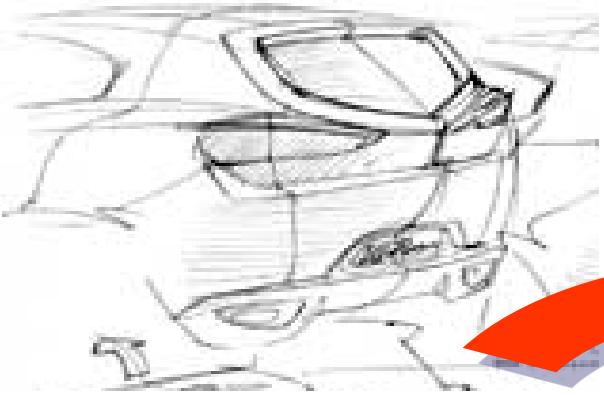
Circa il 92% del processo di progettazione usa la Comunicazione grafica per **sviluppare e comunicare** le soluzioni tecniche ai problemi .

La **CG** usa diversi strumenti (schizzi, disegni tecnici, **modelli CAD**, regole, schemi, documenti, etc.) ed è un linguaggio con regole ben precise.



- **Modellazione3D**
- **Progettazione Funzionale**
- **Analisi ingegneristica**
- **Ingegneria della produzione**
- **Altro**

# La grafica tecnica nel ciclo di vita del prodotto

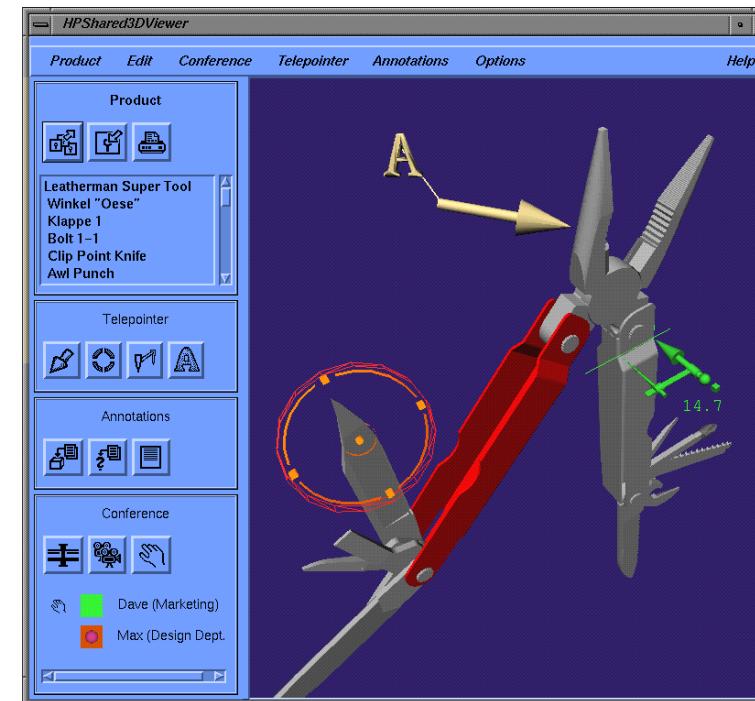


# Tipi di simulazione

Simulazione estetica



Simulazione funzionale



## Altri tipi di simulazione

Ergonomia di un abitacolo  
auto durante la guida  
notturna(BMW-  
Fraunhofer)



**Simulazione di un  
impianto produttivo**

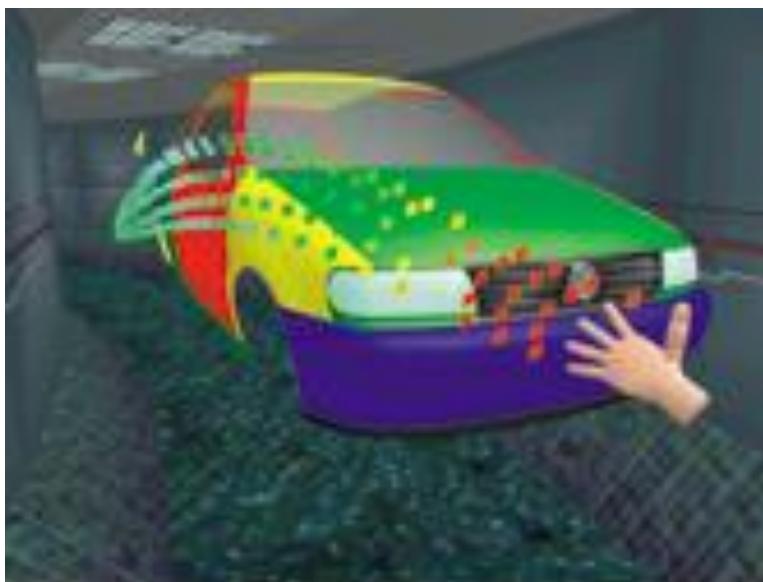


## Realtà virtuale

Studio dell'assemblaggio  
portiera in VR(VW)



Galleria del vento  
Virtuale



## Il Progetto

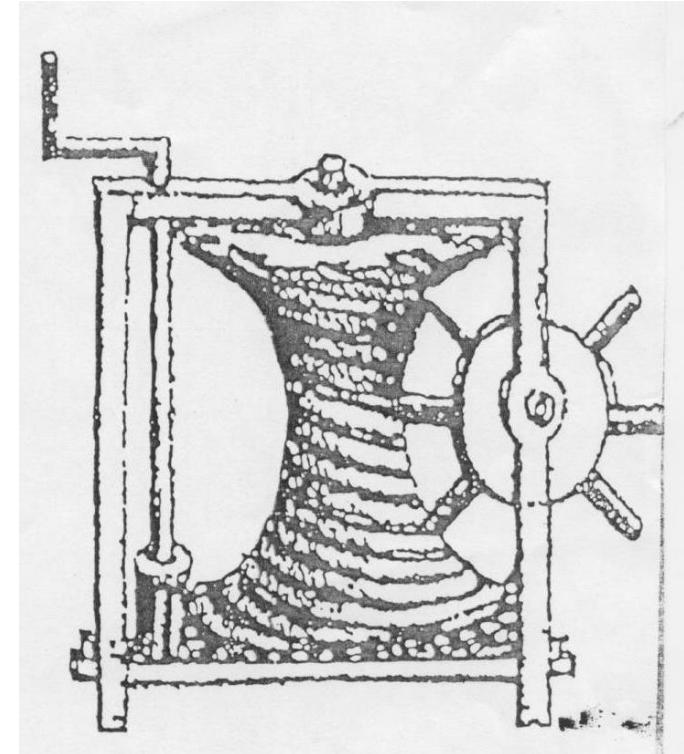
Il risultato della Progettazione è il **Progetto**.

E' il frutto della collaborazione di più persone **non può avere dei codici di linguaggio personale** ma **formale** affinché tutti lo comprendano

Il metodo più spontaneo di rappresentazione è quello **grafico**: **Il disegno tecnico**.

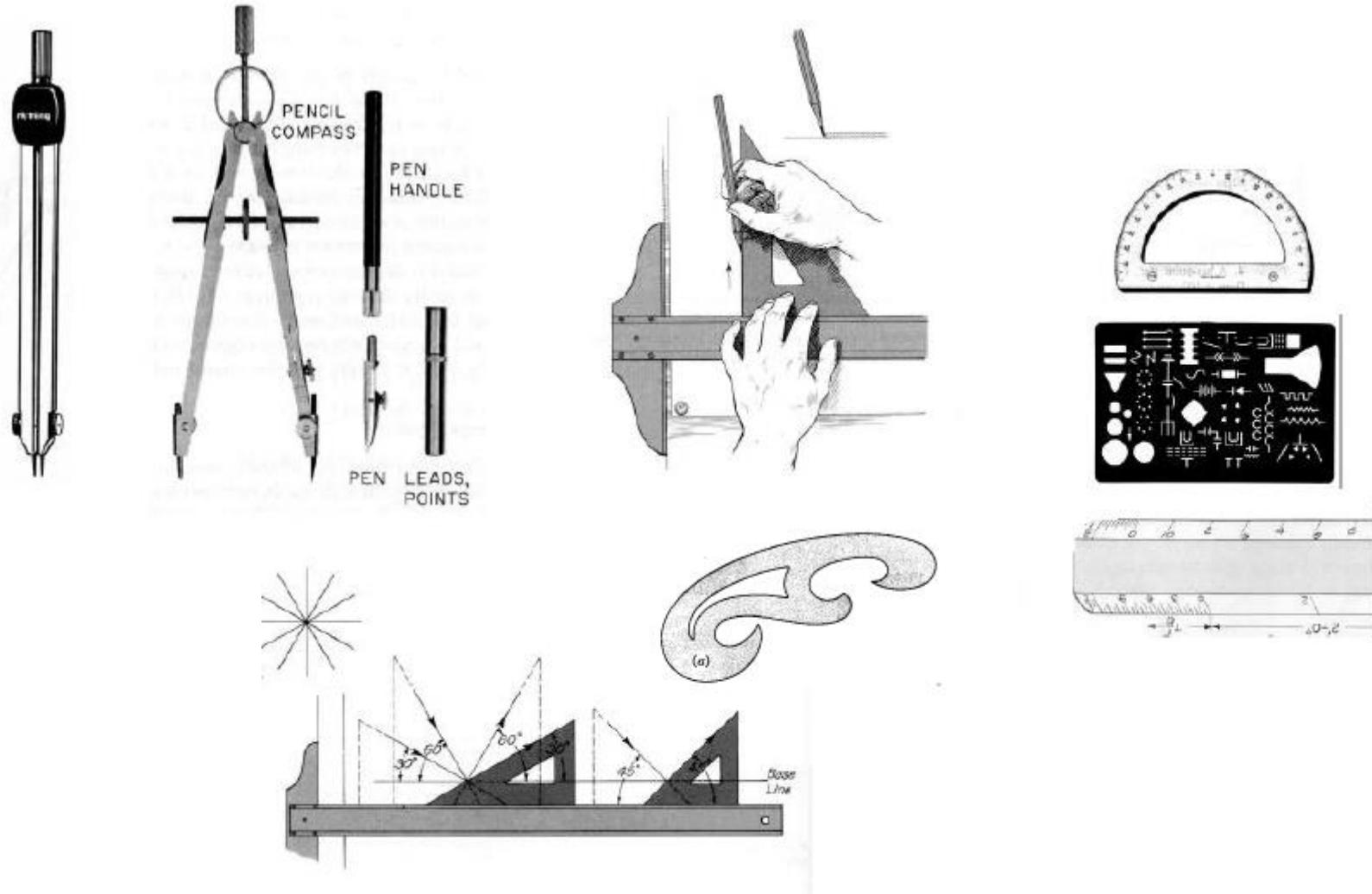
# L'evoluzione storica del disegno

- ~ 1700 Nasce con la rivoluzione industriale
  - Disegni fatti a mano con i tradizionali strumenti di disegno (tecnigrafi, squadre, matite, compassi, ecc).
- ~ 1800 nasce l'indicazione delle quote in modo esplicito (quotatura)
- ~ 1900 tolleranze dimensionali e più tardi le tolleranze geometriche
- ~ 1970 Avvento del CAD, ma **l'output cartaceo rimane**, lo strumento di comunicazione principale.

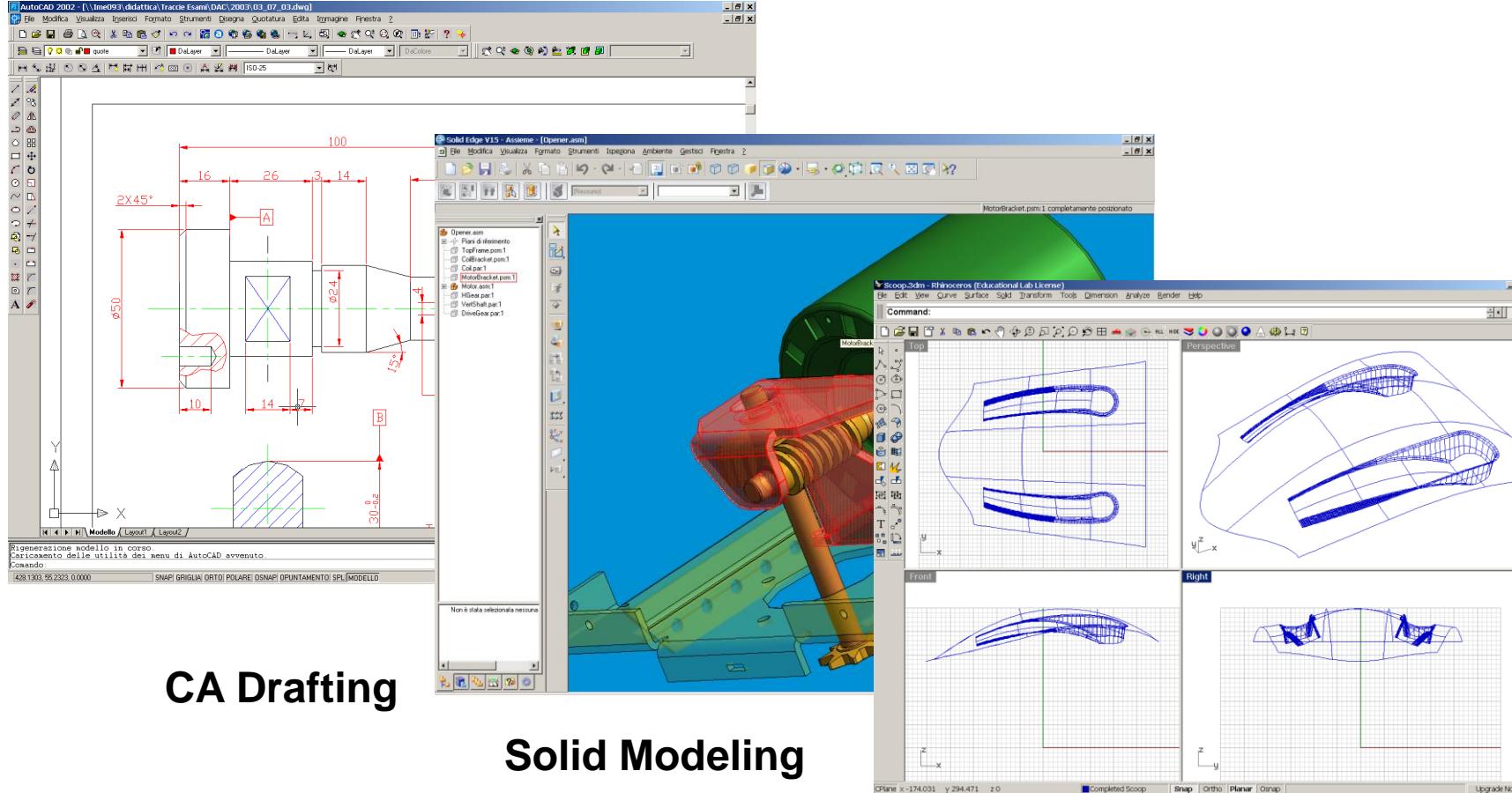


Leonardo da Vinci: "vite senza fine"

# Gli strumenti tradizionali



# I nuovi strumenti CAX



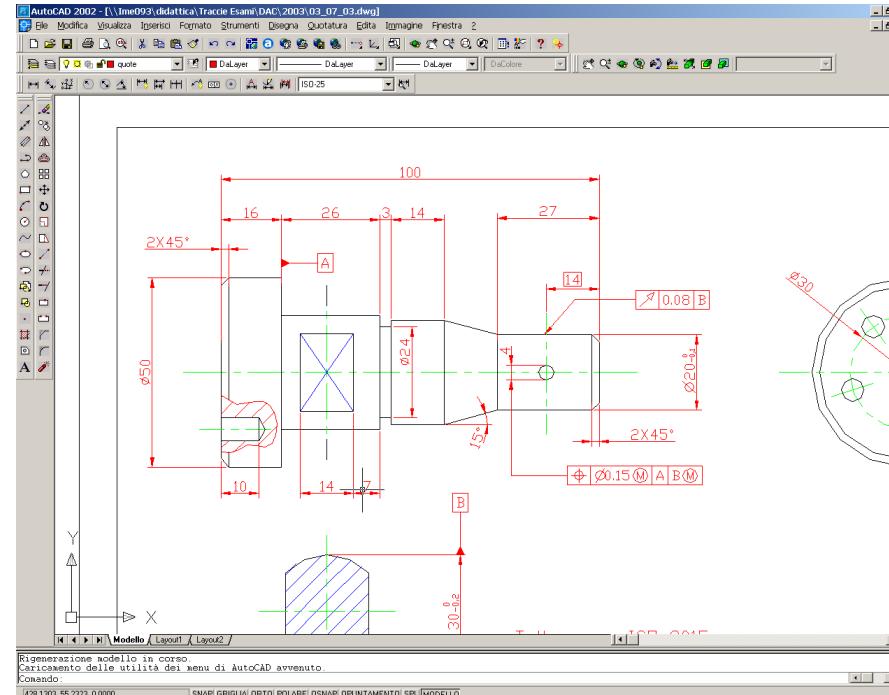
**CA Drafting**

**Solid Modeling**

**Free Form Modeling**

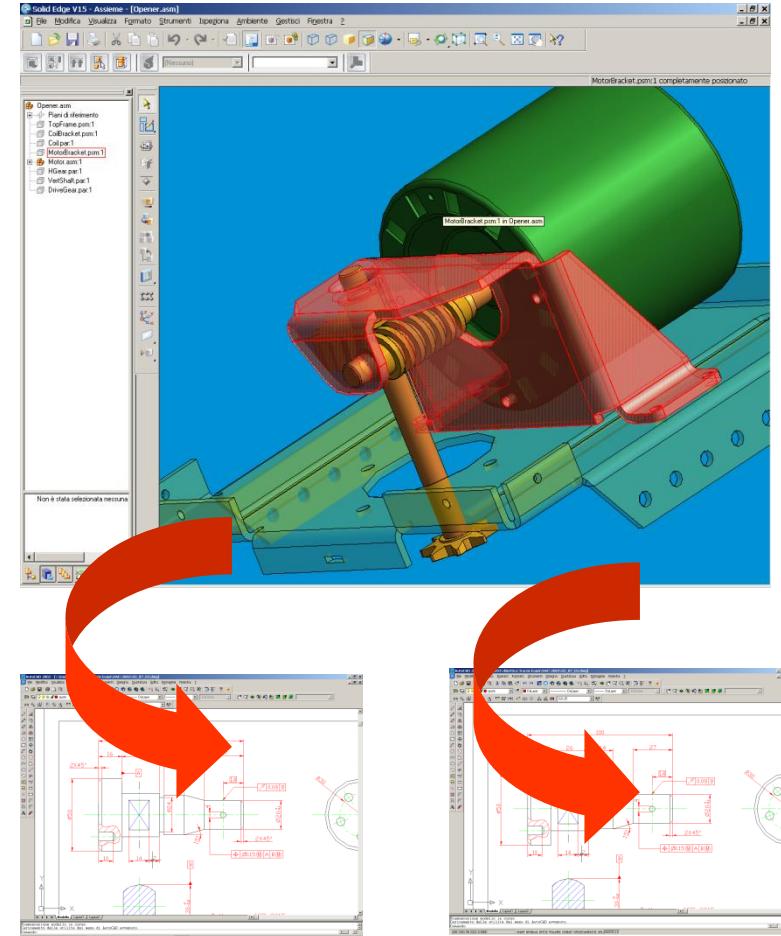
# Il Computer Aided Drafting (2D)

- Editing del Documento (non del modello)
- Aumenta la produttività con l'automazione di attività ripetitive
- La sola geometria catturata è quella del contorno
- L'oggetto è **Implicito** e va interpretato
- Un word-processing di documenti grafici per la comunicazione in linguaggio tecnico



# II Modello 3D\Solido

- Es. Solid Modelling (ProEngineer, CATIA, SolidWorks, SolidEdge, etc.)
- Modellazione del prodotto invece che del documento
- La forma è il riferimento per definire le caratteristiche funzionali e tecnologiche
- Associativo, Parametrico e feature based



# Il processo di progettazione

**Definizione:** Il *processo* di mettere insieme principi ingegneristici, risorse materiali, umane e creatività per industrializzare un nuovo prodotto.

In altre parole è come si integra la progettazione nel ciclo di vita di un prodotto.

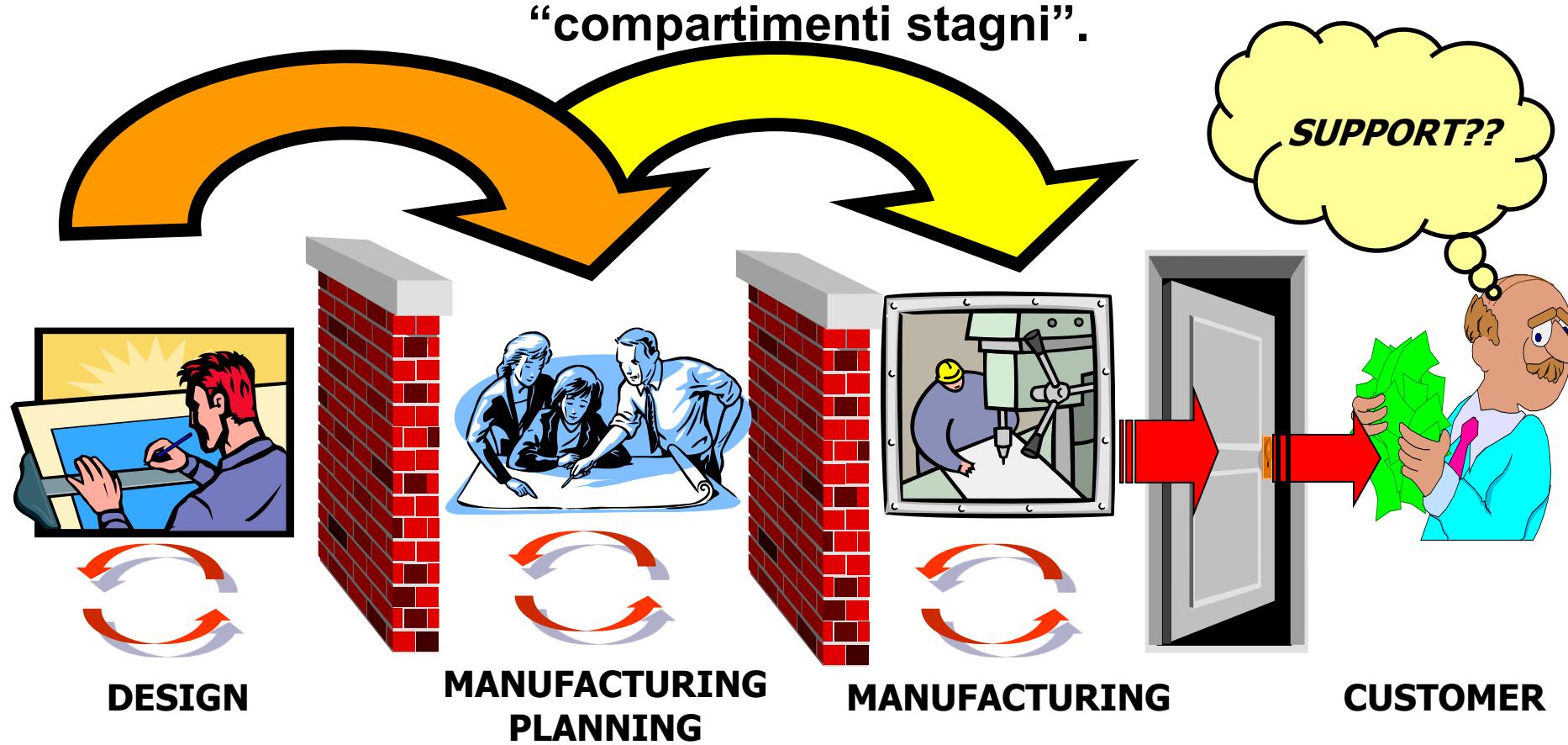
Due modelli:

- Sequenziale
- Parallello

# Modello sequenziale a “comparti”

ogni livello è ciclico su sè stesso

Un modello iniziale viene **ripetutamente** analizzato e modificato fino a passare alla fase successiva “compartimenti stagni”.



## Il modello sequenziale

- Functions Separated
- Functions Serially Executed
- No Interaction
- Maintenance Usually an Afterthought
- Time Consuming
- Costly
- Product a Series of Suboptimal reconsiderations

# Il modello parallelo: CE

il modello digitale consente di condividere molte informazioni sull'oggetto per simulare più aspetti "contemporaneamente".

**Definizione:** “*Concurrent Engineering is a systematic approach to the integrated, concurrent design of products and their related processes, including manufacturing and support. This approach is intended to cause the developers, from the outset, to consider all elements of the product life cycle from conception to disposal, including quality, cost, schedule, and user requirements.*”

(Institute for Defense Analysis (IDA) R-338, 1986)

# Sinonimi di Concurrent Engineering

A rose by another names:

**Simultaneous Engineering**

**Integrated Product Delivery**

**Integrated Product and Process Development**

**Team Design**

is **still** concurrent engineering.

# Modello Parallelo (CE)

Un laboratorio virtuale permette di dare informazioni semplificate a tutti

L'Ingegneria Simultanea  
(Concurrent Engineering)  
sovrappone  
temporalmente tre fasi  
principali:

- ideazione del prodotto
- perfezionamento
- Implementazione



**tutti gli addetti ai lavori intervengono in ogni fase o per quelle fasi di competenza al fine di ridurre tempi e costi (interdisciplinarietà).**

**Quindi le fasi vengono sviluppate in parallelo in modo da non avere più il processo iterativo della progettazione sequenziale.**

# Keys to Concurrent Engineering

- Systematic approach
- Technical Competence/Experiences
- Use of multidiscipline teams
- Technical Tool Availability (CAx Tools)
- environment to provide **information**
- for rapid intelligent decision-making
- **Communication**
- Information Tool Availability

# Obiettivo primario della CE

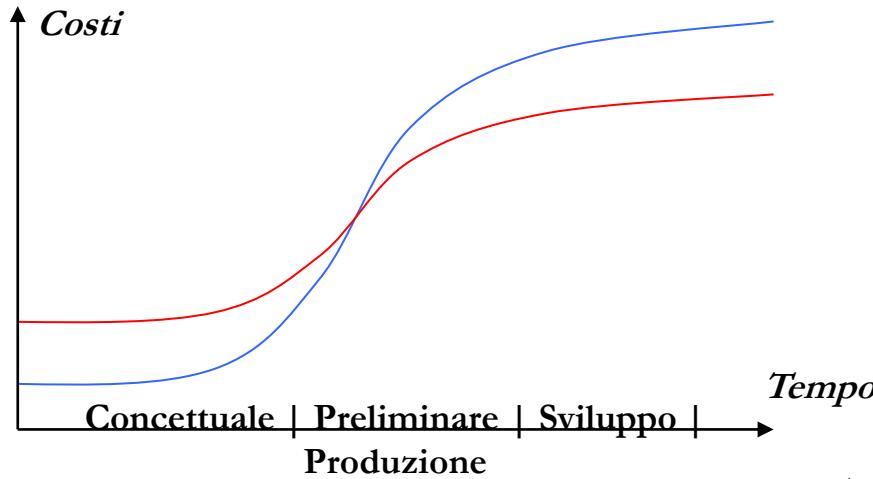
Razionalizzare e ottimizzare nelle prime fasi di sviluppo di prodotto

- La rispondenza ai requisiti di progetto
- La funzionalità
- La realizzabilità
- La manutenibilità
- Il riciclo

Con il fine di

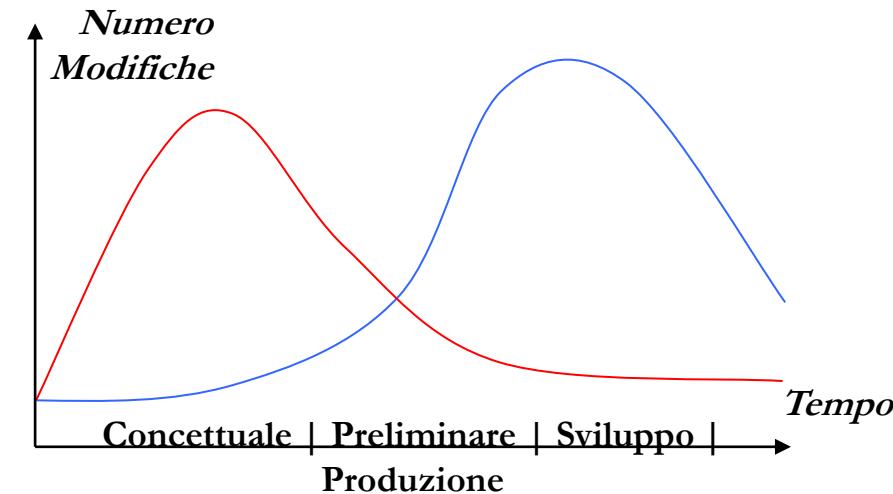
- Ridurre i costi e tempi
- Migliorare la qualità del prodotto

# Diagramma dei costi



- Proceso seriale
- Processo parallelo

**La CE aumenta i costi  
e le modifiche iniziali  
ma riduce i costi finali**



# Concurrent vs. Serial Engineering

- All Viewpoints Solicited
- Interdisciplinary Teams
- Life Cycle Cost Considered
- Attempt to Embody Concept Early - Before Committing to Detail Design
- Data/Information/Knowledge Exchange Planned and Encouraged
- Cycle Time and Cost Reduced

# Virtual Concurrent Engineering

Cooperative engineering

In un'ottica di aziende multinazionali

- I gruppi sono distribuiti **geograficamente** e culturalmente
  - Cosa significa la distanza fisica?
- Le **informazioni** sono generate e memorizzate in vari **formati** e **località**
  - Single Plant + Customers
  - Multiple Plants (Same Organization) + Customers
  - Multiple Organizations + Customers

Massive & diverse types of **information**

# Modello Parallelo (CE) nel dettaglio

## Concurrent Engineering Approach

