



**PROGETTO IMPRESE X INNOVAZIONE = [X]<sup>3</sup>**

---

Workshop

# MODELLIZZAZIONE E PROTOTIPAZIONE VIRTUALE DEI PRODOTTI

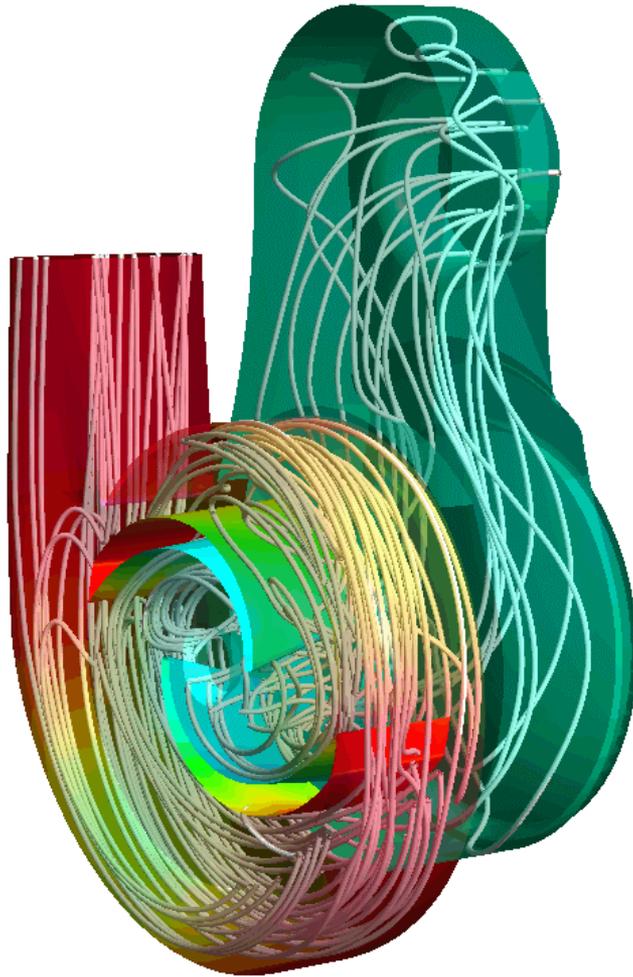
CINECA

26-27 febbraio 2008

## **DINAMICHE E PROSPETTIVE DEL SETTORE DELLA MODELLIZZAZIONE E PROTOTIPAZIONE VIRTUALE**

*Stefano Odorizzi*

*Università di Padova*



- **Background**
  - Potenzialità e fortuna dell'approccio CAE
- **CAE, Sperimentazione virtuale ed innovazione**
  - Impatto sulla competitività
- **Situazione e tendenze a livello europeo**
  - Proiezioni (Daratech)
  - Indagini
  - Priorità e sfide
    - Come percepite dal mondo scientifico
    - Come percepite dall'industria
    - Come percepite dai produttori dei software
    - Come percepite dai responsabili della formazione
- **MDO, PIDO, BI & MDO**
  - Approccio integrato
- **Conclusioni**



## SPERIMENTAZIONE PROTOTIPAZIONE VIRTUALE - iDP

Un prototipo virtuale, o 'digital mock-up', è la simulazione al computer di un prodotto fisico che possa essere presentato, analizzato e testato in relazione ad aspetti che ne riguardano il ciclo di vita - quali la sua progettazione, l'ingegnerizzazione, la produzione, l'impiego ed il riciclaggio - come se si operasse su un modello fisico reale. La costruzione e l'impiego di un prototipo virtuale è chiamata prototipazione virtuale (VP)

*“Virtual prototype, or digital mock-up, is a computer simulation of a physical product that can be presented, analyzed, and tested from concerned product life-cycle aspects such as design/engineering, manufacturing, service, and recycling as if on a real physical model. The construction and testing of a virtual prototype is called virtual prototyping (VP)”*

*G.Gary Wang 'Definition and Review of Virtual Prototyping' (Jcise-2001-76, University of Manitoba)*



## EVOLUZIONE DEL PROCESSO PROGETTUALE

**REALTA' FISICA**

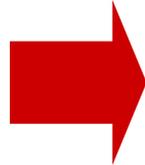
**LEGGI DELLA FISICA**

**SOLUZIONI DELLA MATEMATICA**

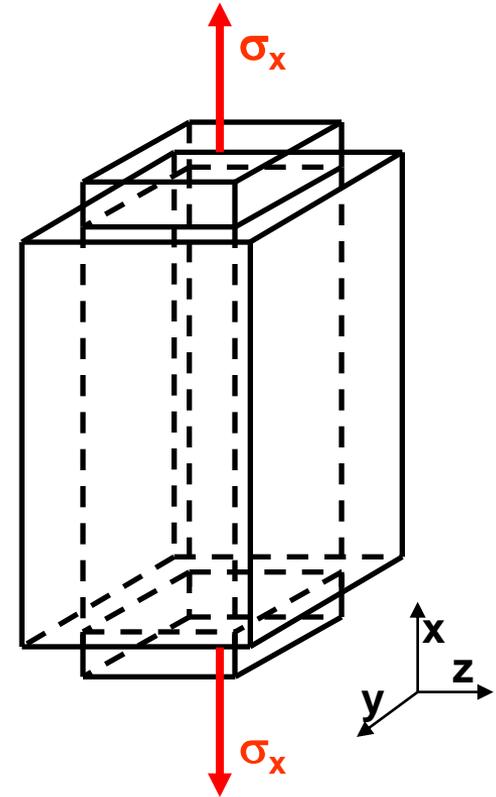
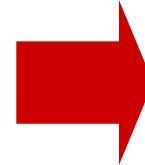
**APPLICAZIONI INGEGNERISTICHE**

**(KNOW-HOW)**

# EVOLUZIONE DEL PROCESSO PROGETTUALE



$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + X = 0 \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + Y = 0 \\ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + Z = 0 \end{cases}$$

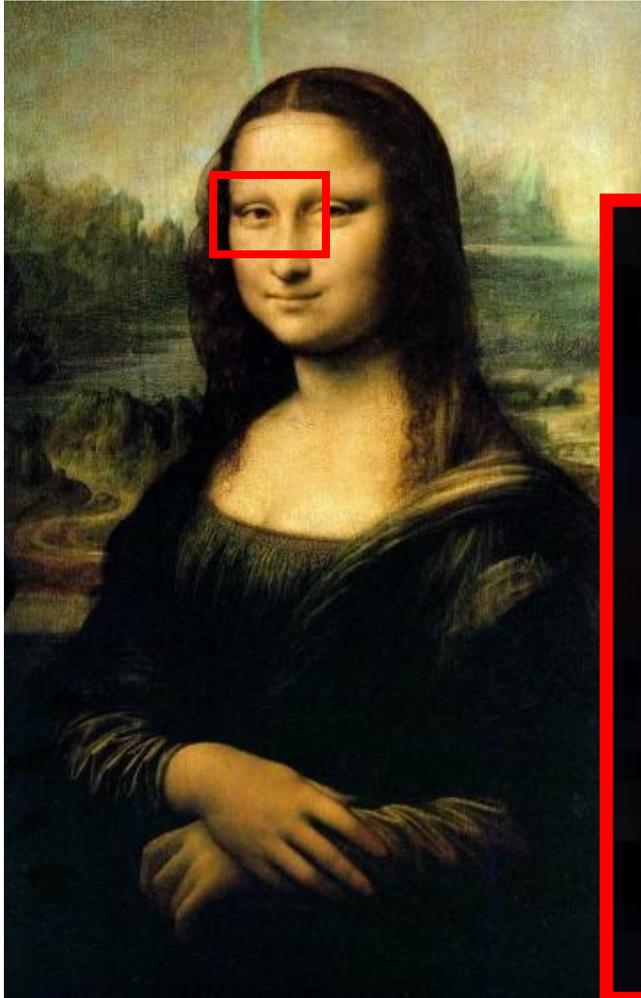


$$\begin{cases} \Delta \sigma_x + \frac{m}{m+1} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial X}{\partial x} = \frac{1}{m+1} \Delta \psi \\ \Delta \sigma_y + \frac{m}{m+1} \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + 2 \frac{\partial Y}{\partial y} = \frac{1}{m+1} \Delta \psi \\ \Delta \sigma_z + \frac{m}{m+1} \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + 2 \frac{\partial Z}{\partial z} = \frac{1}{m+1} \Delta \psi \\ \Delta \tau_{xy} + \frac{m}{m+1} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y} + \frac{\partial Y}{\partial x} + \frac{\partial X}{\partial y} = 0 \\ \Delta \tau_{yz} + \frac{m}{m+1} \frac{\partial^2 \psi}{\partial y \partial z} + \frac{\partial Z}{\partial y} + \frac{\partial Y}{\partial z} = 0 \\ \Delta \tau_{zx} + \frac{m}{m+1} \frac{\partial^2 \psi}{\partial z \partial x} + \frac{\partial X}{\partial z} + \frac{\partial Z}{\partial x} = 0 \end{cases}$$

**SINTESI PROGETTUALE (KOW-HOW, ESPERIENZA)**

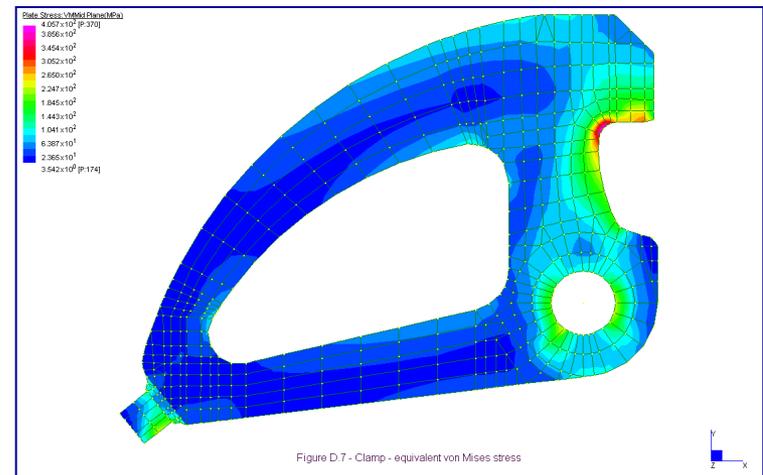
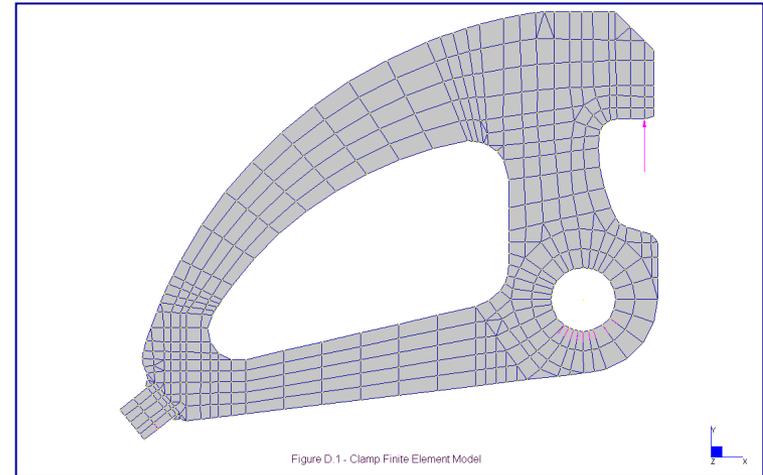
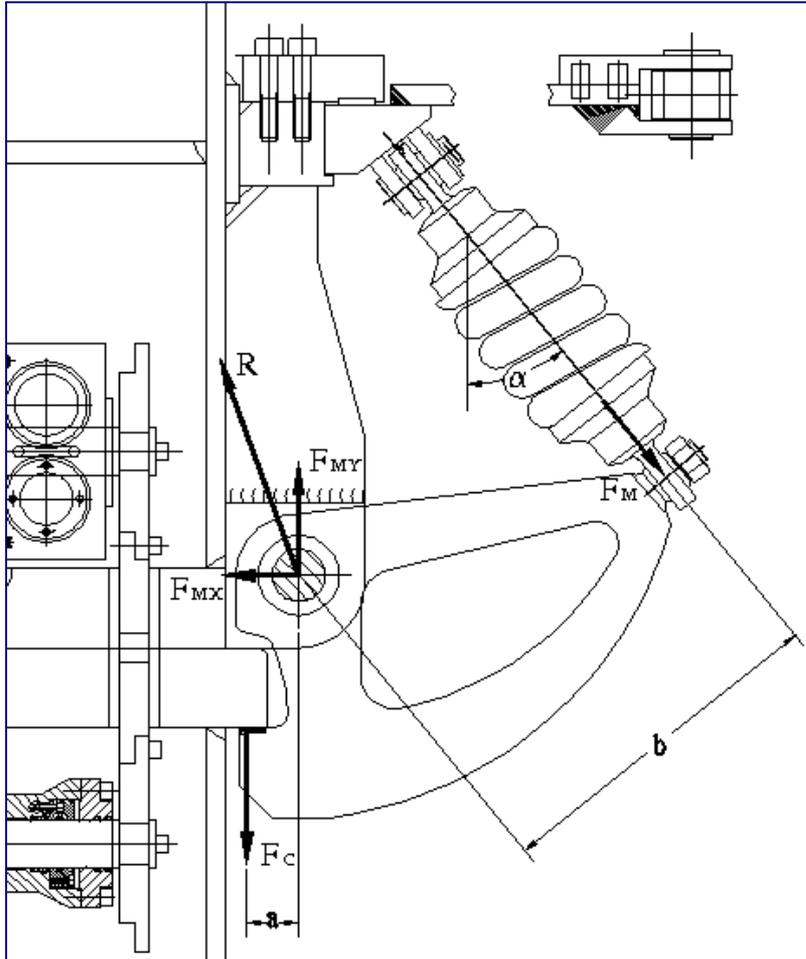


## APPROCCIO NUMERICO (CAE)



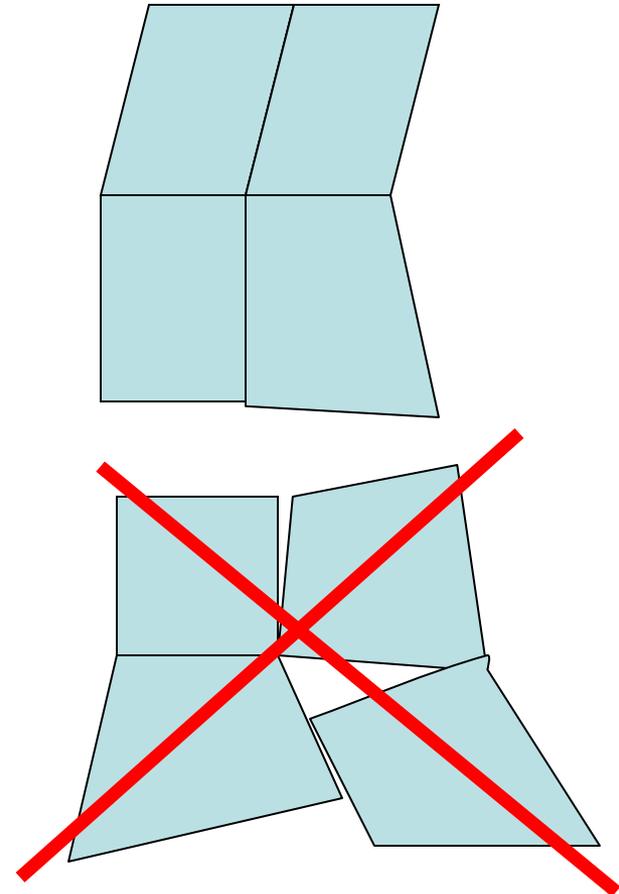
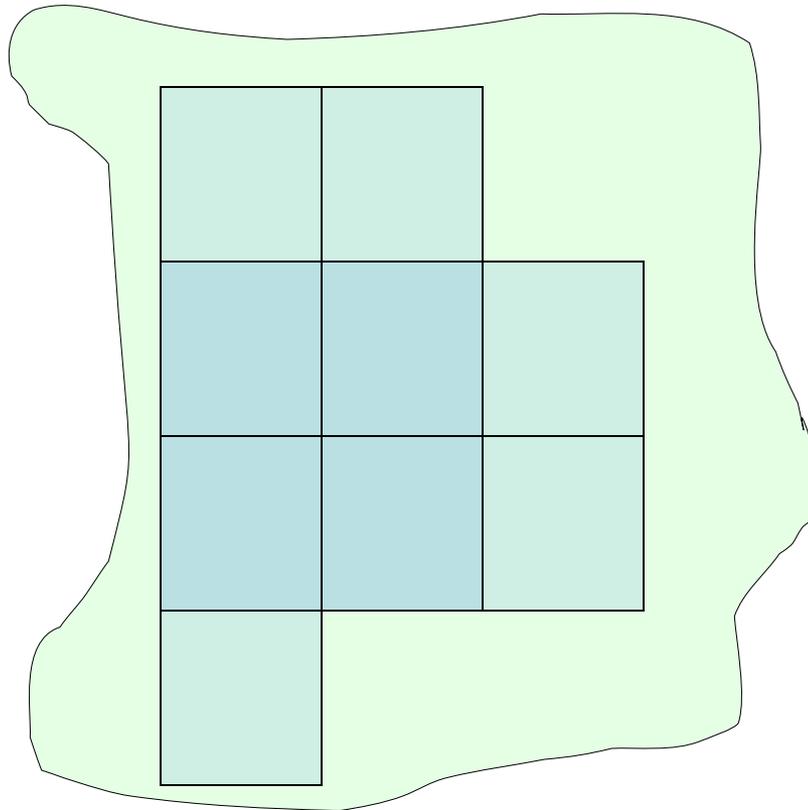


# APPROCCIO NUMERICO (CAE)



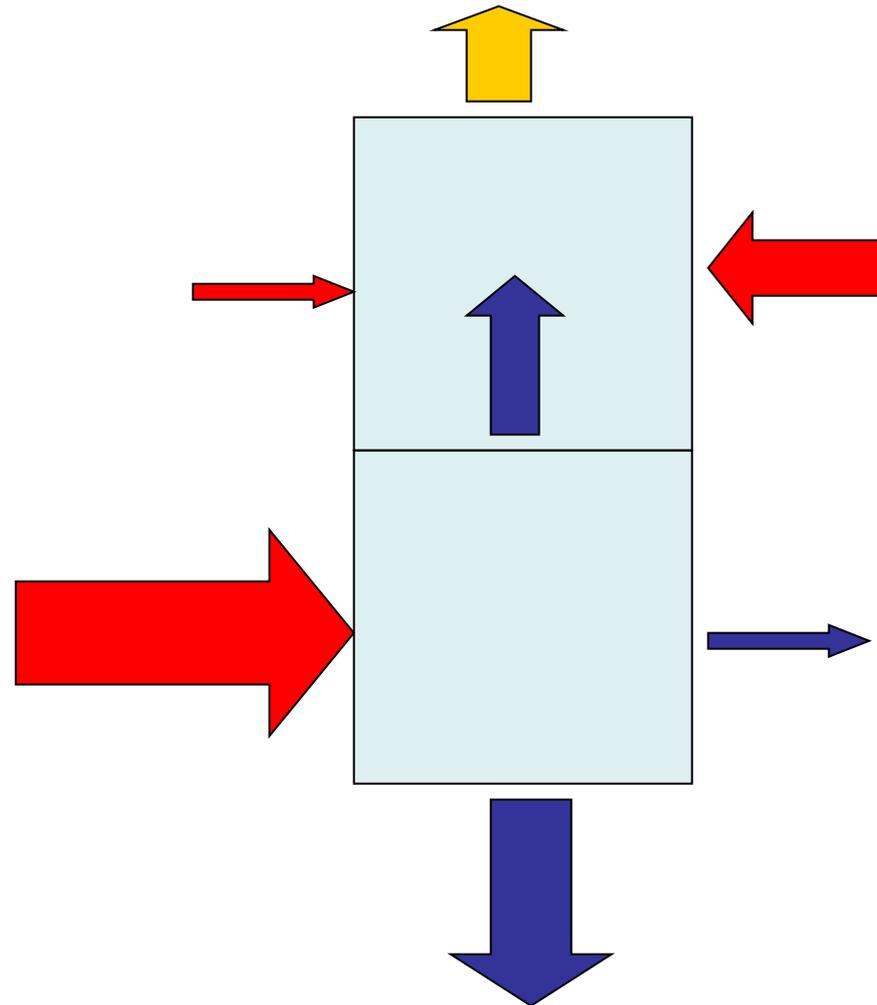
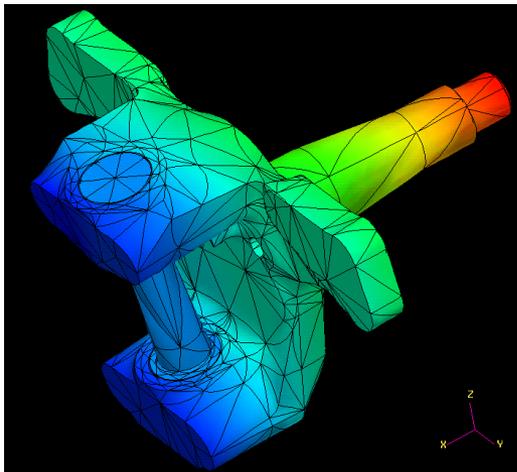
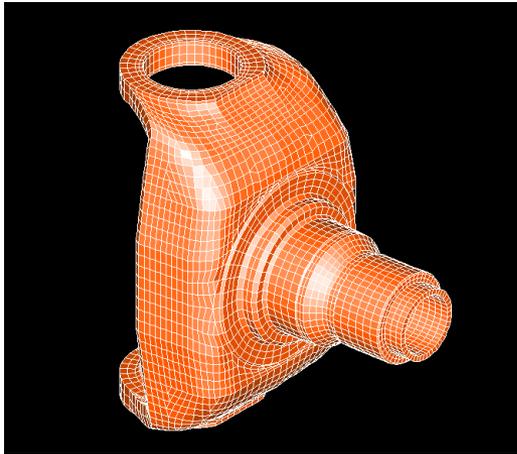


## APPROCCIO NUMERICO (CAE)



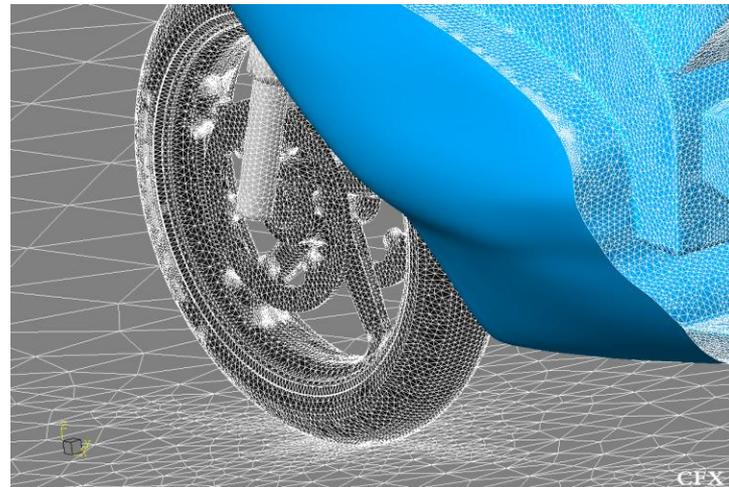
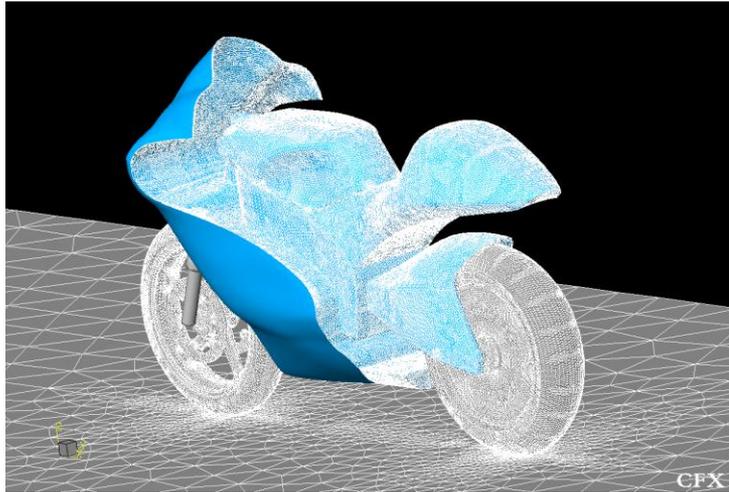


## APPROCCIO NUMERICO (CAE)





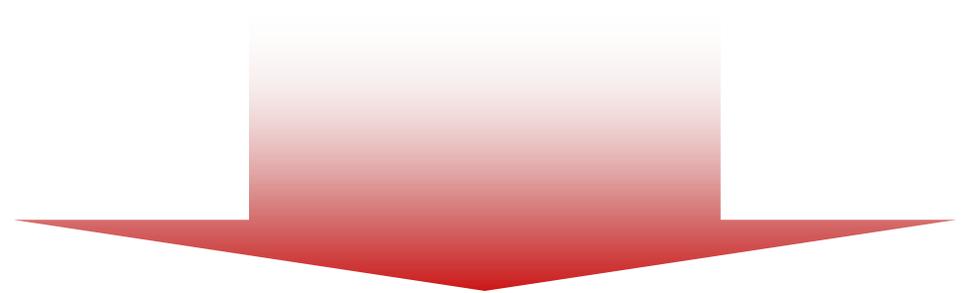
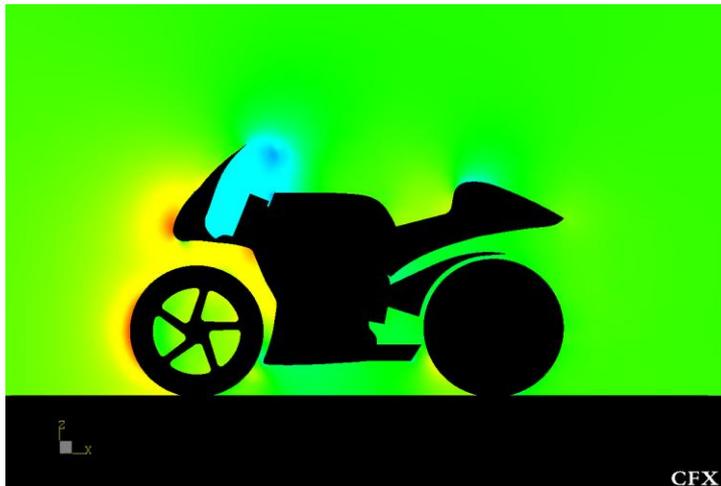
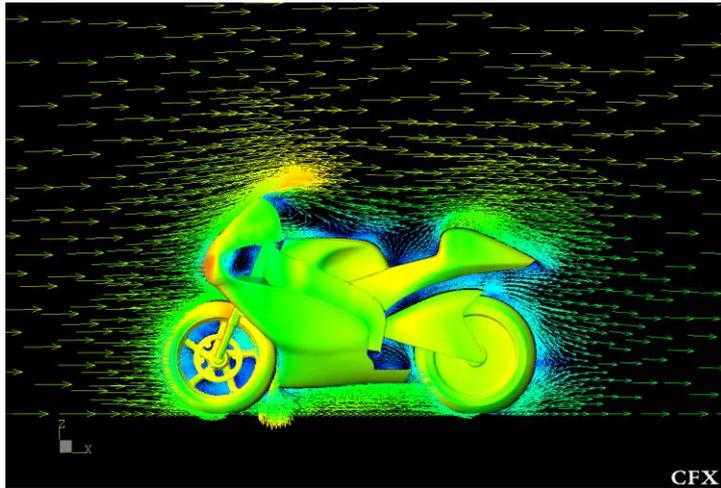
## APPROCCIO CAE: POTENZIALITA' E FORTUNA



- **Estrema semplificazione metodologica**
  - La complessità ‘trasformata’ in sequenze elementari ricorsive: il limite è la potenza di calcolo
- **Estrema generalità**
  - Soluzioni per classi di sistemi di equazioni
  - ‘Standardizzazione metodologica’ (qualità)
- **Trasferibilità delle conoscenze**
  - Ingegnerizzazione ‘collaborativa’
  - Valorizzazione delle conoscenze/contributi



## APPROCCIO CAE: POTENZIALITA' E FORTUNA



**IMPATTO INDUSTRIALE  
INNOVAZIONE  
COMPETITIVITA'**

- **External main influences on industry growth <sup>(1)</sup>**
  - demographics
  - trends in needs
  - change in the relative position of substitutes
  - changes in the position of complementary products
  - penetration of the customer groups
- **Role of innovation (In relation to product design)**
  - “Product innovation can allow it to serve new needs, can improve the industry’s position vis-a-vis substitutes, and can eliminate or reduce the necessity of scarce or costly complementary products. **Thus product innovation can improve an industry’s circumstances relative to the 5 external causes of growth, and thereby increase the industry’s growth rate.** Product innovations have played a major part in fuelling the rapid growth of motorcycles, bicycles, and chain saws, for example”.

(1) M.E. Porter, *On competitive strategy*

- **Innovazione è cambiamento**
  - Valorizzazione della 'core knowledge'
- **Innovazione**
  - Prodotto
  - Tecnologie/processi
  - Metodi
- **Innovazione e progettazione virtuale**
  - Metodo (processo di progettazione)
  - Uno degli approcci possibili
  - Meglio se correlato a metriche di prodotto e di processo

**1987**

*"A key part of the transition from the 'industrial' to the 'information' society is the progressive transformation of traditional organisations and companies into **knowhow companies**."*

K. E. Sveiby, T. Lloyd, Managing Know How, 1987

**2000**

*"Intangibles such as **R&D and proprietary know-how**, intellectual property, workforce skills, world-class supply networks and brands **are now the key drivers** of wealth production, while physical and financial assets are increasingly regarded as commodities"*

Report of the European High Level Expert Group on the Intangible Economy, 2000

## Crescita dell'utilizzo industriale del 400% entro il 2014

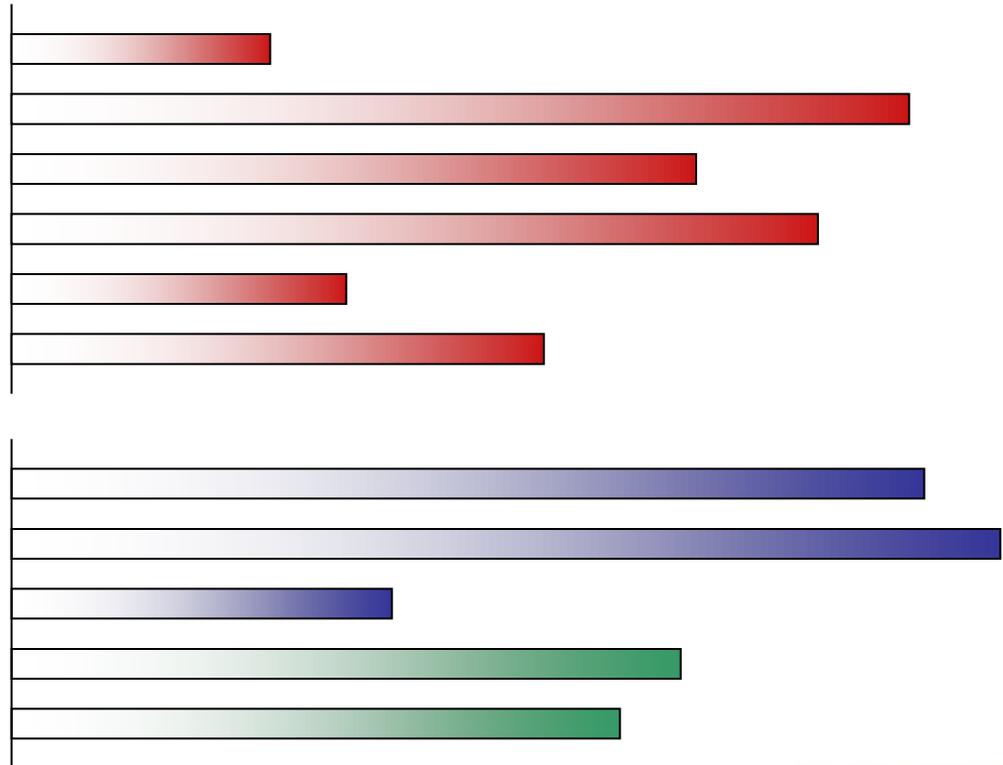
Fonte: Daratech, Engineering IT Market Research and Technology Assessment

### Tecnologie 'verticali'

- Risposta meccanica
- Termo-fluidodinamica (CFD)
- Multibody – cinetodinamica
- Simulazione di processo
- Acustica
- Sicurezza

### Tecnologie 'orizzontali'

- Integrazione CAD-CAE
- MDO – PIDO – BIDO
- KBE
- (Reliability – Robust Design)
- (Design by analysis)



### **Fenet (2005)**

Coordinamento: Nafems, the International Association of the Engineering Analysis Community

Finanziamento: Comunità Europea

Partecipanti: 140 aziende, produttori software, ricerca, università.

### **Rapporto del 'Blue Ribbon Panel' sulla 'Simulation Based Engineering Science' (2006)**

Coordinamento: National Science Foundation - USA

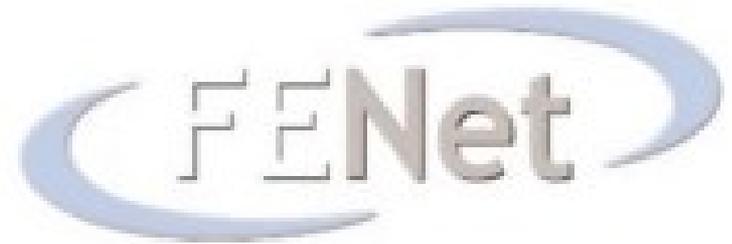
Membri: Thomas J.R. Hughes, Ted Belytschko, J. Timsley Oden, Jacob Fish, Chris Johnson, David Keyes, Alan Laub, Linda Petzold, David Srolovitz, Sideney Yip

“Revolutionizing Engineering Science through Simulation”

### Fenet

#### **BUSINESS DRIVERS AND TECHNOLOGY ISSUES CONFRONTING:**

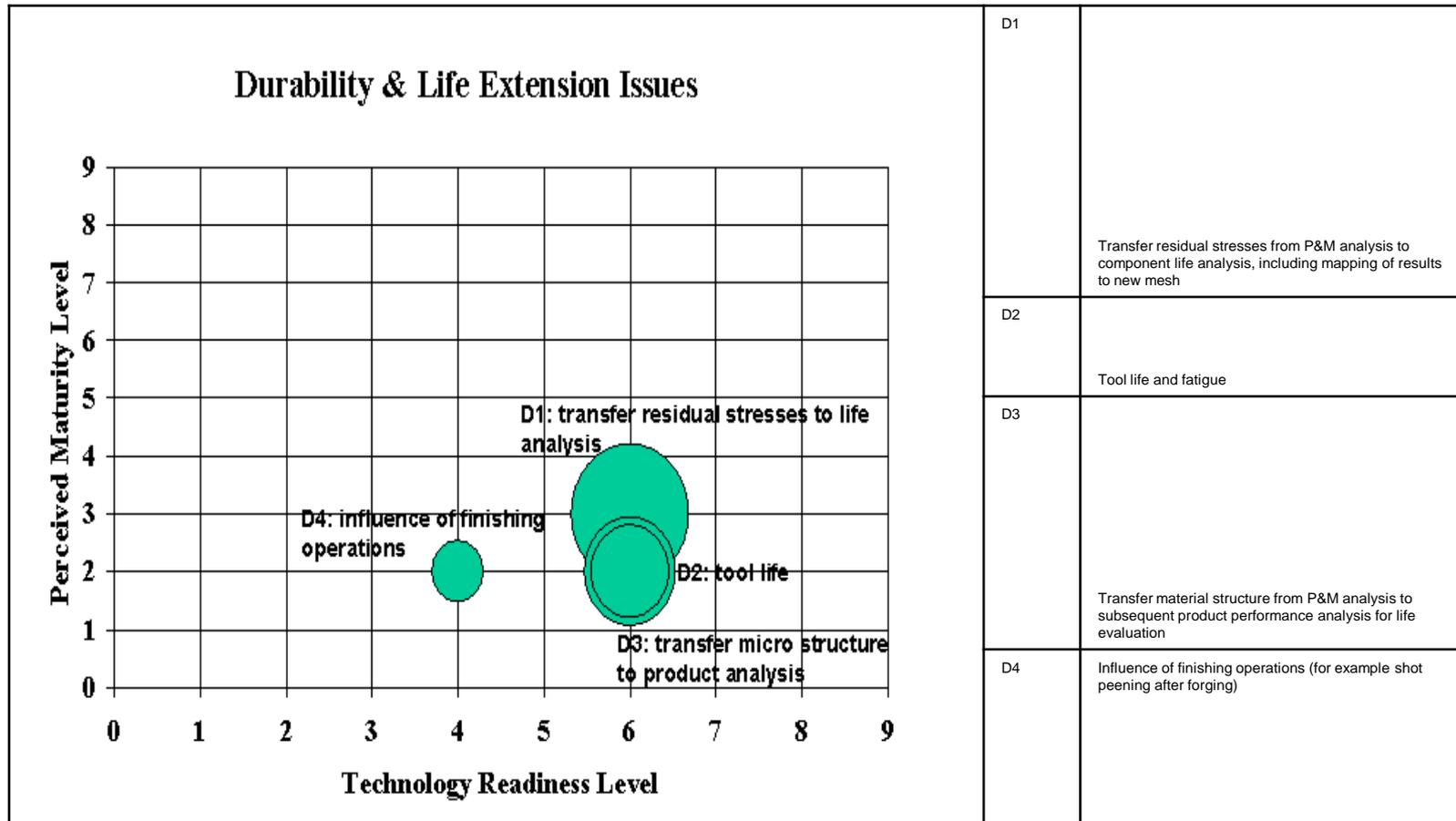
- automotive industry
- aerospace industry
- civil engineering industry
- process and manufacturing industry
- consumer goods industry
- power industry
- biomechanics industry
- marine&offshore industry



#### **Grouped according to four technology areas:**

- Durability and life extension
- Product and system optimisation
- Multiphysics and analysis technology
- Education and dissemination

## Fenet: maturità delle tecnologie



### Fenet: automotive industry requirements

#### **DURABILITY & LIFE EXTENSION - MODELLING/ANALYSIS REQUIREMENTS**

- Fracture mechanics, crack growth and assesment and residual strength prediction (adaptive mesh)
- Composite materials characterisation
- Fatigue life prediction & assesment
- Damage/deterioration modelling and assesment
- Reliability and probabilistic analyses
- Creep and related time-dependent phenomena
- Buckling and post-buckling
- Modelling and assesment of residual stresses (due to welding, moulding, casting, etc.)
- Modelling and assesment of bonding
- Modelling and assesment of welds

### Fenet: automotive industry requirements

#### PRODUCT & SYSTEM OPTIMISATION - MODELLING/ANALYSIS REQUIREMENTS

- Linear multidisciplinary optimisation (structural)
- Nonlinear multidisciplinary optimisation
- Linear/nonlinear multiobjective optimisation
- Linear/nonlinear shape optimisation
- Less memory consuming codes
- Use of general purpose optimisation tools for 'non-FE' models
- Use of decision support tools for management issues
- Use of decision support tools for design issues

### Fenet: automotive industry requirements

#### MULTI PHYSICS & ANALYSIS TECHNOLOGY - MODELLING/ANALYSIS REQUIREMENTS

- Multi disciplinary robust design
- As manufactured models
- As assembled models
- Product virtual assessment
- Standards to link highly specialised codes
- Structure-compressible fluid interaction
- Structure-incompressible fluid interaction
- Coupled analysis for structure/aero-elastics/aerodynamics/acoustics
- Thermo-mechanical interaction ad thermo-elastic deformation
- Structure-aerodynamics, thermodynamics interaction
- ....
- Structure-kinematics control logic
- ...
- Multi-scale analysis
- Micro-Macro scale thermal/thermo-mechanical analysis

### Fenet: automotive industry requirements

#### MULTI PHYSICS & ANALYSIS TECHNOLOGY - MODELLING/ANALYSIS REQUIREMENTS

- .....
- Sheet & plate metal forming
- Forging
- Casting
- Moulding
- Extrusion
- Joining
- Welding processes
- Heat treatment processes
- Contact analysis
- Dynamic (near-)-real-time mathematical model test correlation/update
- .....
- Support for materials (Physical Representation, Failure, Damage, Multi-scale..)
- .....
- Integration of virtual reality
- Coupling of FEA with other techniques

### Rapporto del 'Blue Ribbon Panel' sulla 'Simulation Based Engineering Science' "Revolutionizing Engineering Science through Simulation"

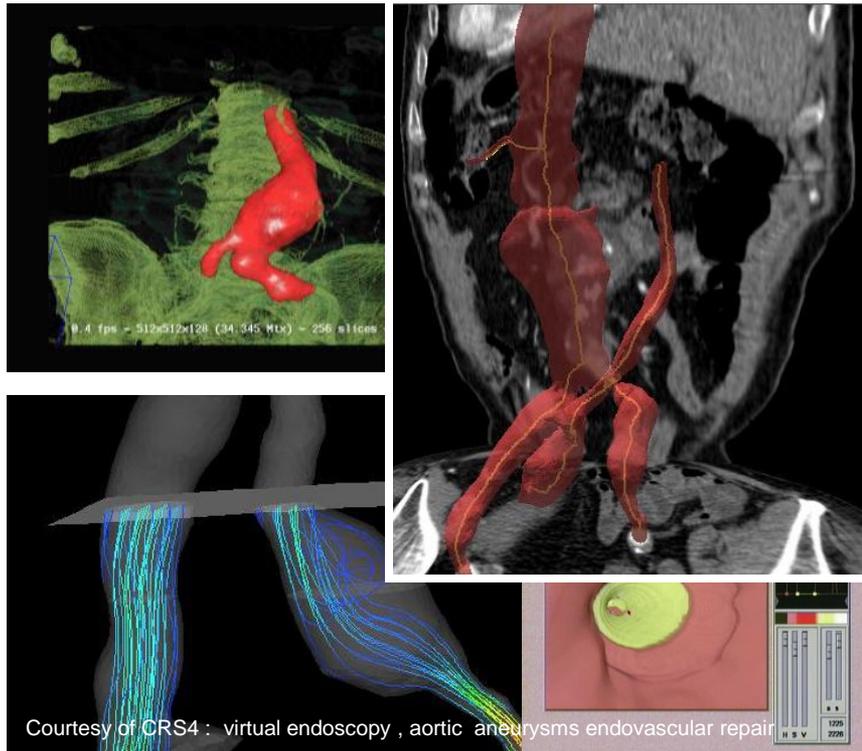
#### Definizioni - Premesse

- SBES: l'insieme delle discipline che forniscono i presupposti scientifici e matematici per la simulazione di sistemi ingegnerizzati.
- SBES: la fusione di conoscenze e tecniche dell'ingegneria tradizionale con le conoscenze e tecniche della 'computer science', della matematica e delle scienze fisiche e sociali.
- L'**impatto** già consistente di questi approcci nei diversi settori dell'ingegneria **non** è l'indice più rilevante delle potenzialità della SBES: **ci sono, all'orizzonte, un gran numero di tecnologie che non possono essere capite, sviluppate, industrializzate ed utilizzate senza l'uso della simulazione.** E si tratta di **tecnologie che sono, o saranno, critiche per la leadership** di una nazione in settori della scienza e **dell'ingegneria**, e che quindi costituiscono, o costituiranno a breve, una assoluta priorità per ogni nazione

## SITUAZIONE E TENDENZE: RAPPORTI/INDAGINI

Rapporto del 'Blue Ribbon Panel' sulla 'Simulation Based Engineering Science' "Revolutionizing Engineering Science through Simulation"

### Il pay-off della SBES

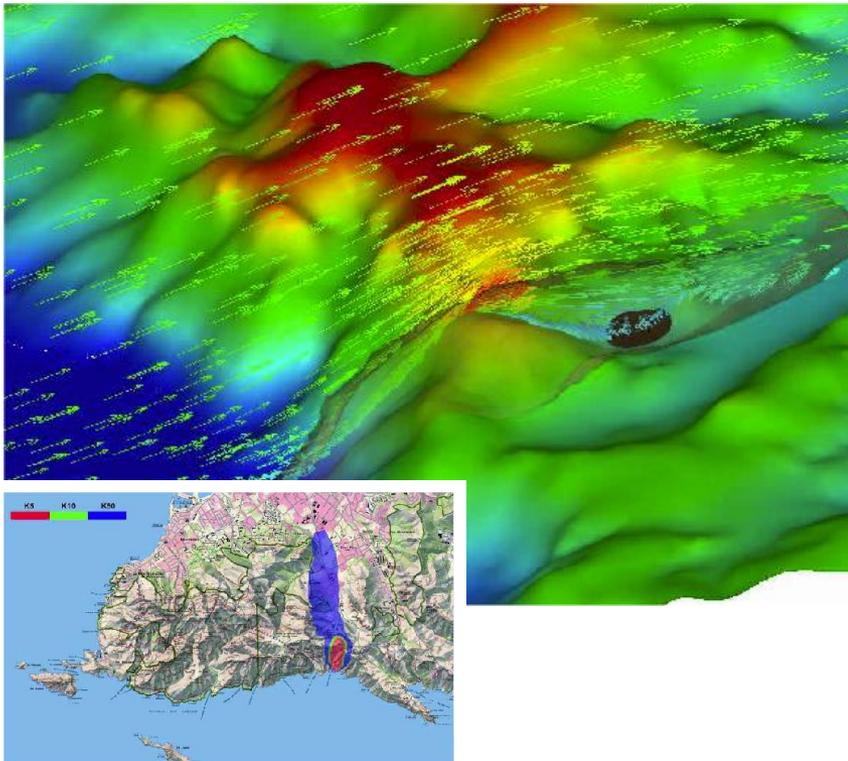


- Nella **medicina**...nella quale la maggior parte delle malattie (cardiache, respiratorie, neoplastiche, ...) e delle relative cure... comportano reazioni fisiche complesse ed interazioni tra sistemi biologici dal livello molecolare alla scala dell'organismo. La simulazione ne può aumentare radicalmente la comprensione, e contribuire, quindi, al miglioramento delle cure ....

## SITUAZIONE E TENDENZE: RAPPORTI/INDAGINI

Rapporto del 'Blue Ribbon Panel' sulla 'Simulation Based Engineering Science' "Revolutionizing Engineering Science through Simulation"

### Il pay-off della SBES



- Nella **sicurezza nazionale**, in relazione allo sviluppo di sistemi che proteggano l'uomo e le infrastrutture, e, quindi, in relazione all'ambiente (ad esempio rispetto alla polluzione di inquinanti), a catastrofi naturali (terremoti, uragani), alla gestione delle riserve d'acqua ed alimentari, alla distribuzione dell'energia...

- .....

### Rapporto del 'Blue Ribbon Panel' sulla 'Simulation Based Engineering Science' "Revolutionizing Engineering Science through Simulation"

#### Il pay-off della SBES

- Nell'**innovazione** quanto all'identificazione ed all'impiego di nuovi materiali, dove i **modelli multiscala** e la simulazione stanno trasformando la scienza e la tecnologia stessa di sviluppo. La SBES apre frontiere inimmaginabili quanto alla possibilità di manipolare materiali metallici, ceramici, semiconduttori, supermolecolari e polimerici, producendo strutture e sistemi con proprietà fisiche, chimiche, elettroniche, ottiche e magnetiche senza precedenti. La SBES è destinata a giocare un ruolo chiave nella nanoscienza,...permette di legare metodi elettronico-strutturali necessari per trattare le nuove nanostrutture e le relative proprietà funzionali con tecniche sia a livello atomico che a mesoscala.... La base concettuale della simulazione del comportamento dei materiali abbraccia tutte le scienze fisiche; **i modelli multiscala sono quantificabili**, e, quindi, le assunzioni empiriche possono essere sostituite da descrizioni basate sulla fisica; i fenomeni possono essere visualizzati evidenziando aspetti che non potrebbero essere evidenziati da nessun altro sistema di osservazione sperimentale

### Rapporto del 'Blue Ribbon Panel' sulla 'Simulation Based Engineering Science' "Revolutionizing Engineering Science through Simulation"

#### Il pay-off della SBES

- Nell'industria la SBES è ormai ovunque. La sua piena valorizzazione richiede, però:
  - che si sviluppino sistematicamente **modelli multi-scala**;
  - che si espandano i metodi oggi disponibili per la simulazione, a livello macroscopico, di **processi manifatturieri**, tenendo conto di comportamenti a livello **meso e nano**;
  - che si implementino sistemi capaci di trattare effettivamente l'integrazione di sistemi complessi in ottica di **ottimizzazione multi-obiettivo e multi-disciplinare**, e di **progettazione robusta**;
  - che si possa accertare la validità della sperimentazione virtuale attraverso tecniche di **validazione**, verifica, e **qualificazione delle incertezze**;
  - che si migliori ulteriormente quanto disponibile per la generazione dei modelli, in relazione a geometrie complesse e/o a dimensioni complessive del modello, sia in sede di pre-processamento che di post-processamento.

## SBES – Priorità e sfide

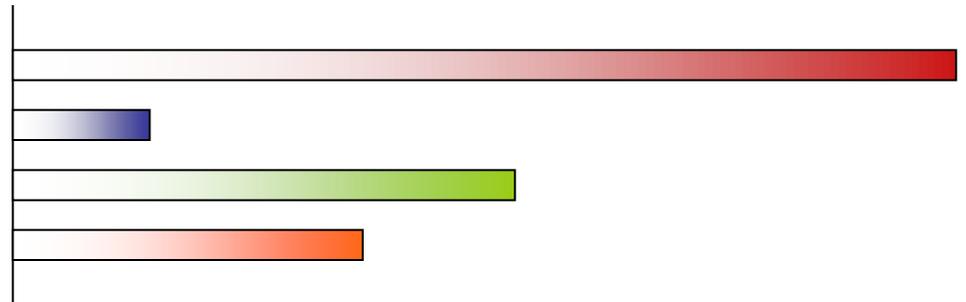
### Sviluppo di modelli multi-scala

Comunità scientifica

Sviluppatori di software commerciali

Sviluppatori di software specialistici

Industria/utilizzatori



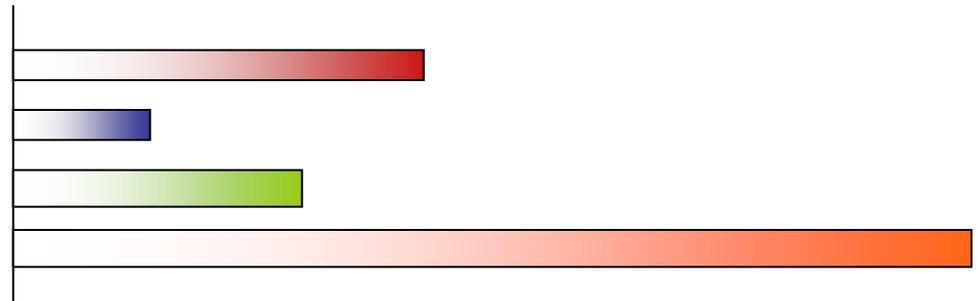
### V & V (Validazione e verifica)

Comunità scientifica (1)

Sviluppatori di software commerciali

Sviluppatori di software specialistici

Industria/utilizzatori (2)



- (1) Karl Popper (filosofo della scienza): “una teoria scientifica non può essere validata, può solo essere invalidata”
- (2) Confidenza per l’assunzione delle decisioni. Trattamento delle incertezze.

## SBES – Priorità e sfide

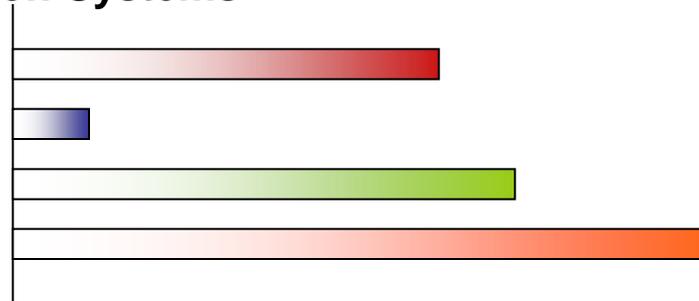
### DDAS – Dynamic Data Driven Application Systems

Comunità scientifica

Sviluppatori di software commerciali

Sviluppatori di software specialistici

Industria/utilizzatori



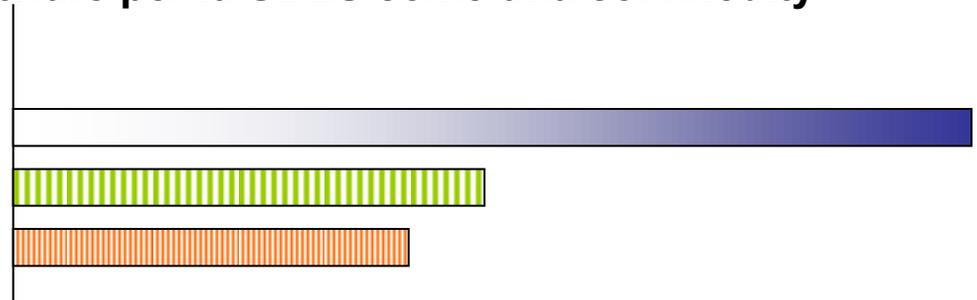
### L'utilizzatore guarda/non guarda ai software per la SBES come una commodity

Comunità scientifica

Sviluppatori di software commerciali (1)

Sviluppatori di software specialistici

Industria/utilizzatori

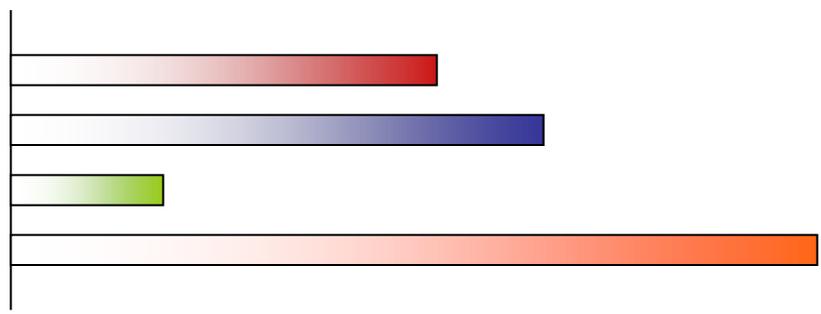


(1) Lo sviluppatore di software commerciale segue la "domanda" del mercato – spesso viziata

## SBES – Priorità e sfide

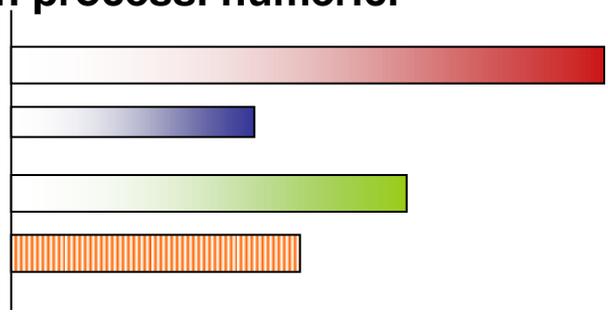
### Gestione e visualizzazione dei dati

- Comunità scientifica
- Sviluppatori di software commerciali
- Sviluppatori di software specialistici
- Industria/utilizzatori



### Trasposizione di processi matematici in processi numerici

- Comunità scientifica
- Sviluppatori di software commerciali
- Sviluppatori di software specialistici
- Industria/utilizzatori



### **SBES – Priorità e sfide**

#### **Conoscenze (1), Formazione, Profili professionali**

Comunità scientifica

Sviluppatori di software commerciali

Sviluppatori di software specialistici

Industria/utilizzatori



(1) “The crisis of the knowledge explosion”

## MDO, PIDO, BI & MDO

According to DARATECH: *“Process integration and design optimization (PIDO) comprises software and services intended to help users automate and manage the setup and execution of digital prototyping, simulation and analysis tools; optimize one or more aspects of a product design by iterating analyses of the design across a range of input parameters toward a specified set of target conditions; and integrate or coordinate analysis results from multiple physical domains in order to yield a more holistic model of product performance.”*



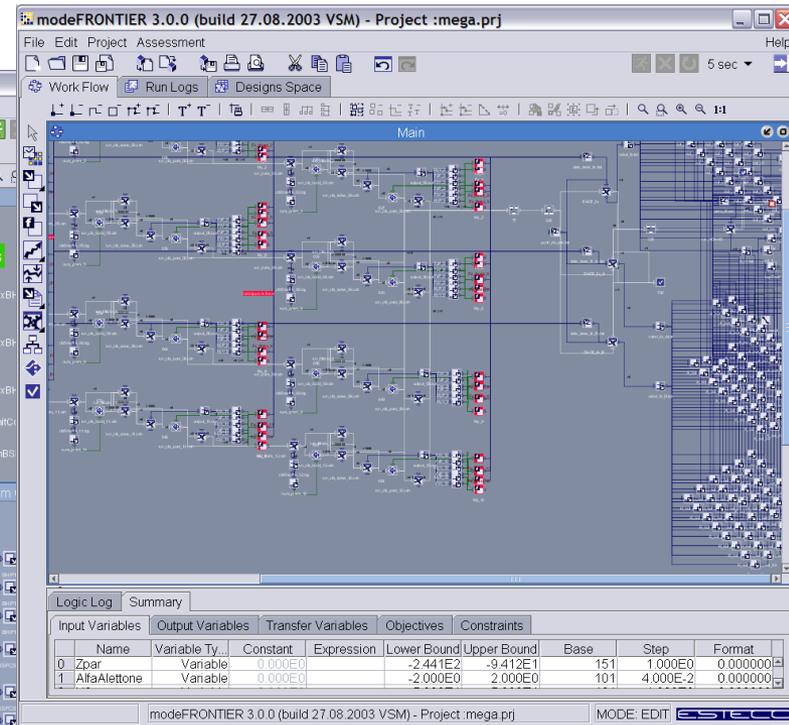
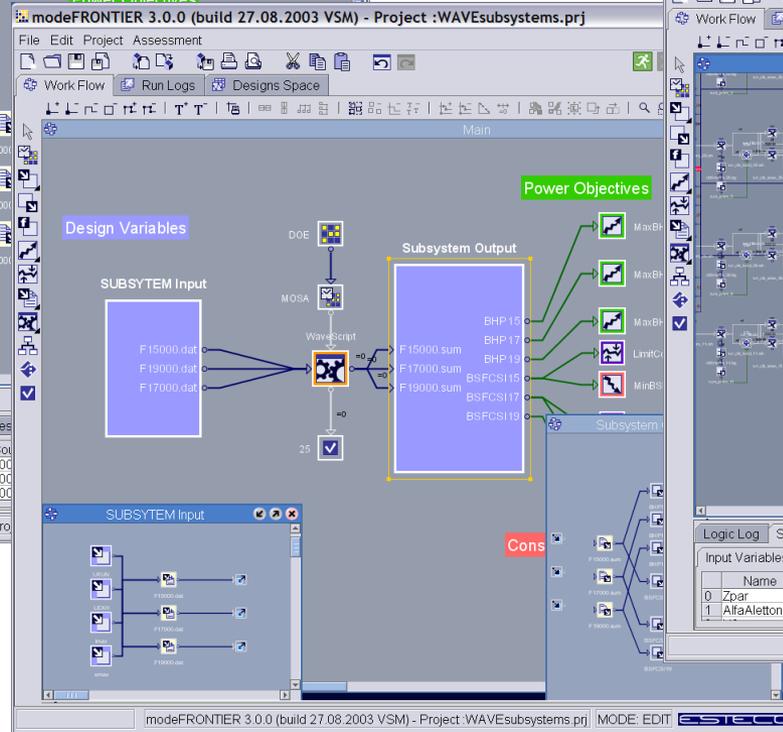
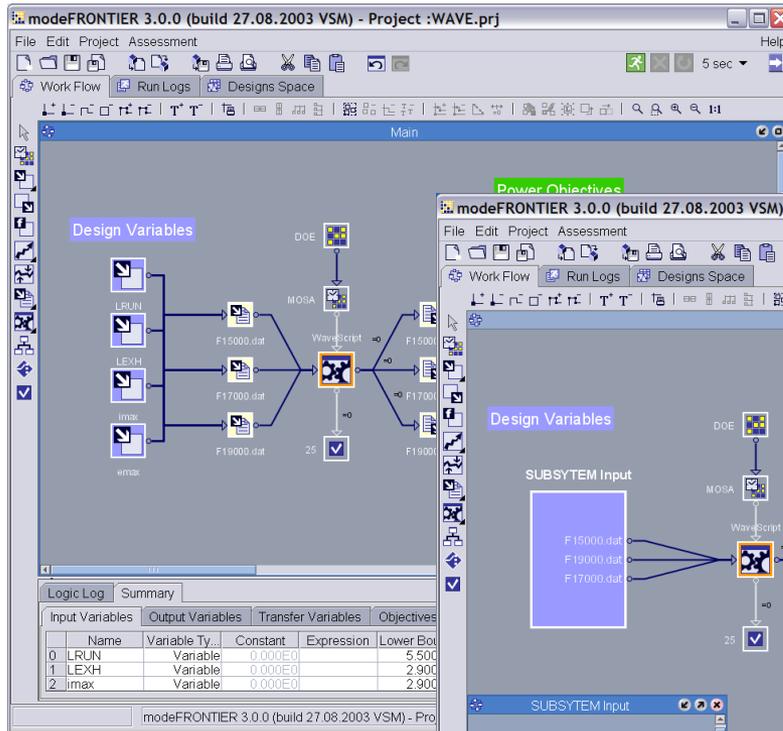
## MDO, PIDO: PRINCIPI

- Un sistema/ambiente per la PIDO è costituito da tre componenti principali:
  - Un sistema per l'integrazione delle applicazioni e la descrizione della logica del processo
  - Algoritmi per il DOE, l' MDO, e l'interpolazione dei dati (RSM, e simili)
  - Sistemi per il data-mining, la rappresentazione/documentazione dei risultati, ed il supporto all'assunzione delle decisioni



## P.I. e gestione della logica del processo

### Semplici WORKFLOWS

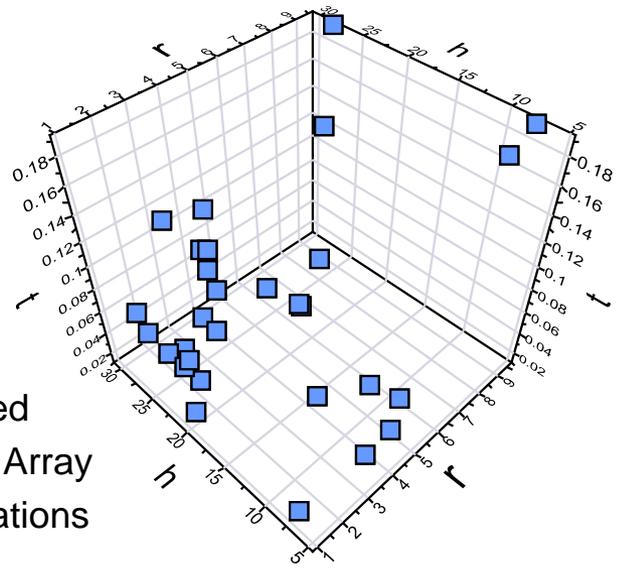


**SOTTOSISTEMI**

**COMPLESSITA'**

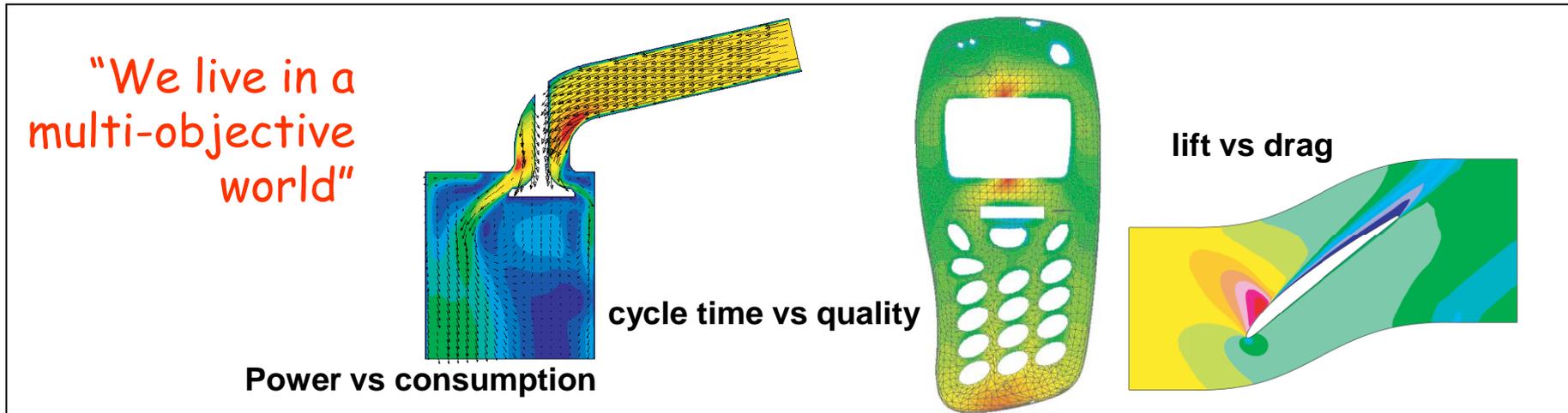
# D.O.E. – Design of Experiments

- Random Sequence
- Sobol Sequence
- Full Factorial
- Cubic-Face-Centered
- Taguchi Orthogonal Array
- Montecarlo Perturbations
- Reduced Factorial
- Latin Square
- Latin Hypercube
- D-Optimal
- Cross Validation
- Constraint Satisfaction



“DOE techniques allow the user to try to extract as much information as possible from a limited number of test runs”

## Algoritmi di ottimizzazione



Algoritmi genetici

Teoria dei giochi

BFGS

Simplex

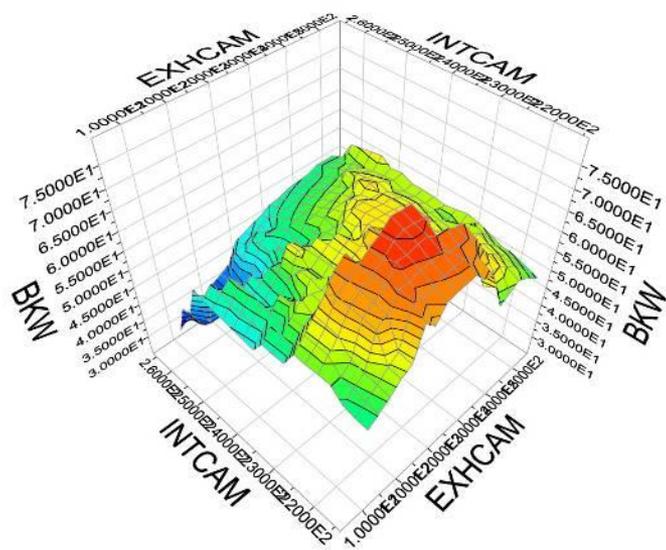
SQP

Simulated Annealing

Derandomized evolution strategies

-----

# RSM – Response Surface Methods



“Ideal method where a single simulation run can take hours or even days. It represents the added value for processing data from real experiments ”

- Interpolatori multi-lineari (K-Nearest)
- Interpolatori polinomiali ed esponenziali
- Interpolatori non-lineari (Kriging)
- Reti neurali
- Processi Gaussiani (algoritmi stocastici)
- .....

## Supporto all'assunzione delle decisioni – Data assessment

### Supporto alle decisioni

Design relationships

Attribute relationships

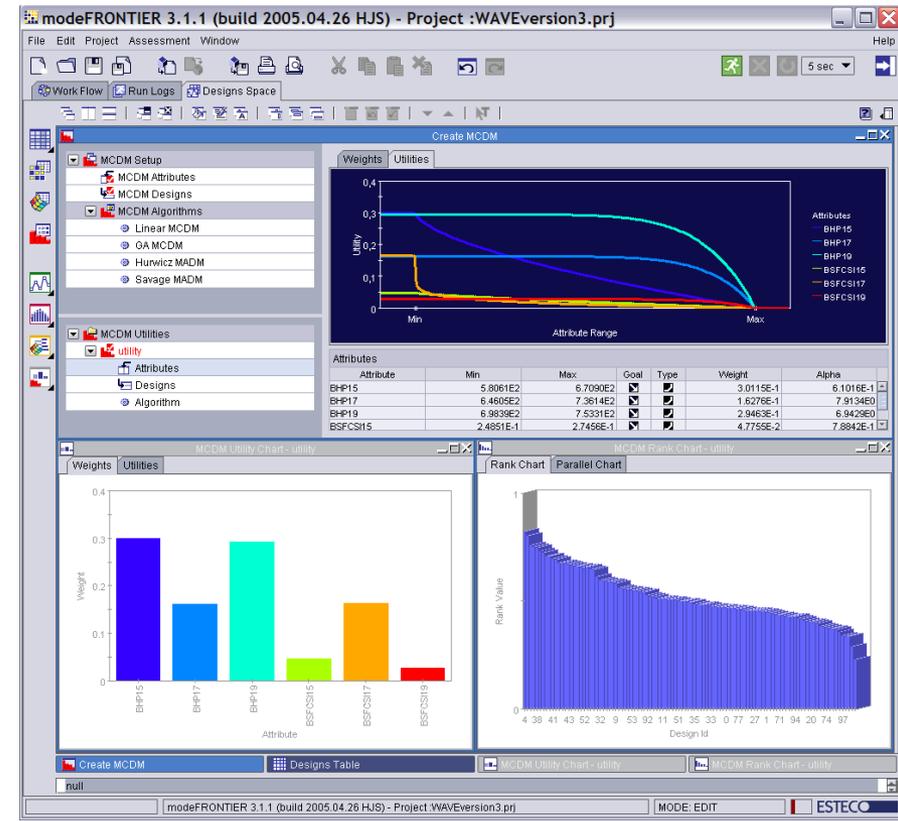
Linear Search (della funzione utilità)

Genetic Algorithm Search (della funzione utilità)

MCDM

Algoritmi di Hurwicz, Savage,

.....





## SPERIMENTAZIONE VIRTUALE: UTILITA'

- **(La sperimentazione virtuale afferisce all'innovazione metodologica)**
- **Implicite nell'utilizzo delle tecnologie**
  - Precisione, livello di informazione
  - Previsioni (prima e seconda specie)
  - Esplorazione dello 'spazio di progetto'
- **Conseguenti alla reingegnerizzazione del processo**
  - Simulazione: elemento di comunicazione, documentazione, unificazione ed integrazione del processo, e dei relativi flussi di conoscenze
  - Focus su metriche diverse: orientamento delle scelte progettuali all'ottimo del prodotto
  - Attenzione agli scenari operativi (ed alla qualità); esplorazione degli scenari stessi
  - Evidenza di aspetti legati alla produzione, utilizzo e manutenzione del prodotto
  - Accelerazione dei processi di apprendimento (e trasferimento di know-how)
  - Riduzione del time-to-market (competitività)



**REALTA' FISICA**

**LEGGI DELLA FISICA**

**SOLUZIONI DELLA MATEMATICA**

**APPROCCIO NUMERICO**

**SOFTWARE**

**MODELLI**

**INTEGRAZIONE**

**(ESPERIENZA)**