

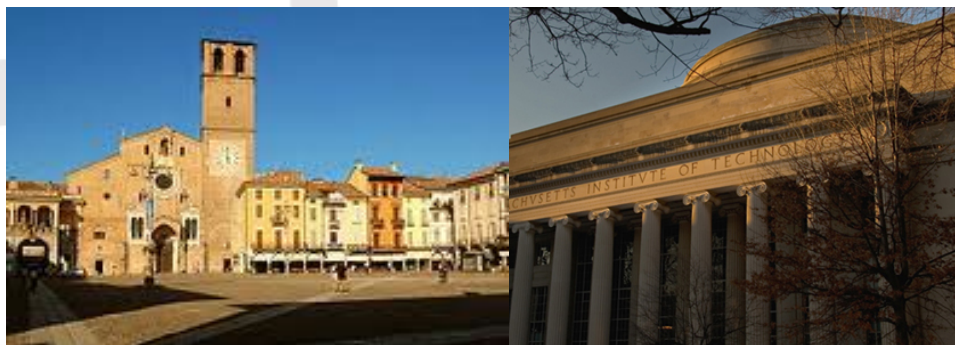
Gianluigi Rozza

Il valore aggiunto della simulazione per l'industria: tecniche di simulazione e progettazione per prevedere, garantire e mantenere le performance dei prodotti:

Calcolo Scientifico per l'Innovazione

2 Luglio 2015

Ricerca, Innovazione e Trasferimento
Tecnologico
@ SISSA MathLab
Gianluigi.Rozza@sissa.it

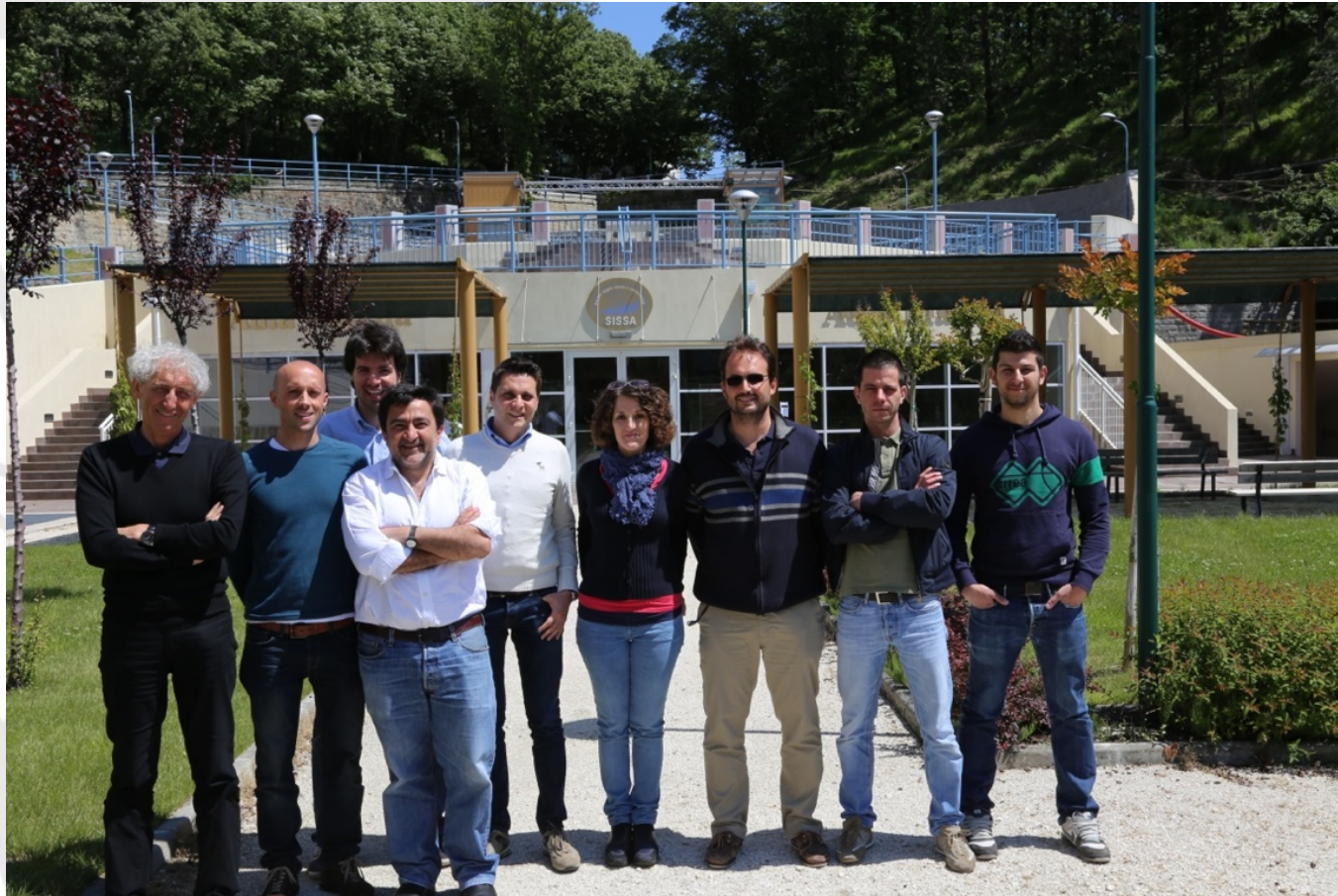


Trieste SISSA mathLab (2010)

Progetto Ambizioso: nuovo campus, supercalcolo,
Formazione (master, dottorati),
industria, scienza



SISSA Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati, Trieste Laboratorio mathLab



Innovating with mathematics

<http://mathlab.sissa.it>

2010 5 unita', 2012 8 unita', 2015 20 unita'



SISSA Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati, Trieste Laboratorio mathLab



Innovating with mathematics

<http://mathlab.sissa.it>

2010 4 unita', 2012 8 unita', 2015 20 unita'



SISSA mathLab: Missione e Struttura

Un nuovo laboratorio interdisciplinare per la SISSA che costituisca il terzo pilastro tra ricerca sperimentale e teorica: la simulazione (Area Matematica)

Una struttura che sappia aprirsi ai bisogni del territorio e intercettare le moderne esigenze del mondo industriale, medico e istituzionale nella modellistica matematica, scienza e ingegneria computazionale e nella simulazione numerica (ambiente, sostenibilità, economia del mare)

Un nuovo dottorato alla SISSA: **AMMA, Analisi Matematica, Modelli e Applicazioni** e un nuovo **master HPC**

Network di collaborazioni scientifiche internazionali (EU-COST, ERC, ESF, H2020,...) [PRIN,FIR]

Parchi Scientifici e Tecnologici, Regione, Confindustria

Un supercalcolatore installato a Miramare: **Ulysses**



Medicina, Ambiente, Ingegneria, Società

Modelli per la previsione e la simulazione

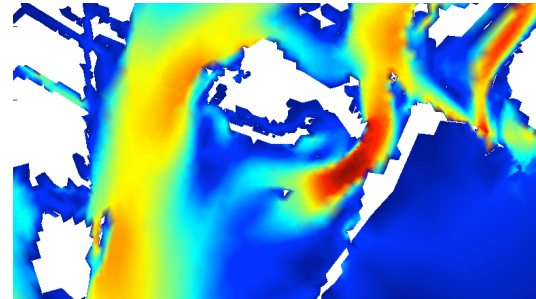
Studiare l'affidabilità di una struttura, minimizzare la resistenza e gli attriti in un mezzo di trasporto o progettare un dispositivo biomedico in grado di ridurre i rischi post-operatori sono alcuni esempi in cui entra in gioco la matematica applicata e l'ingegneria computazionale.

Analisi Matematica del comportamento di sistemi complessi

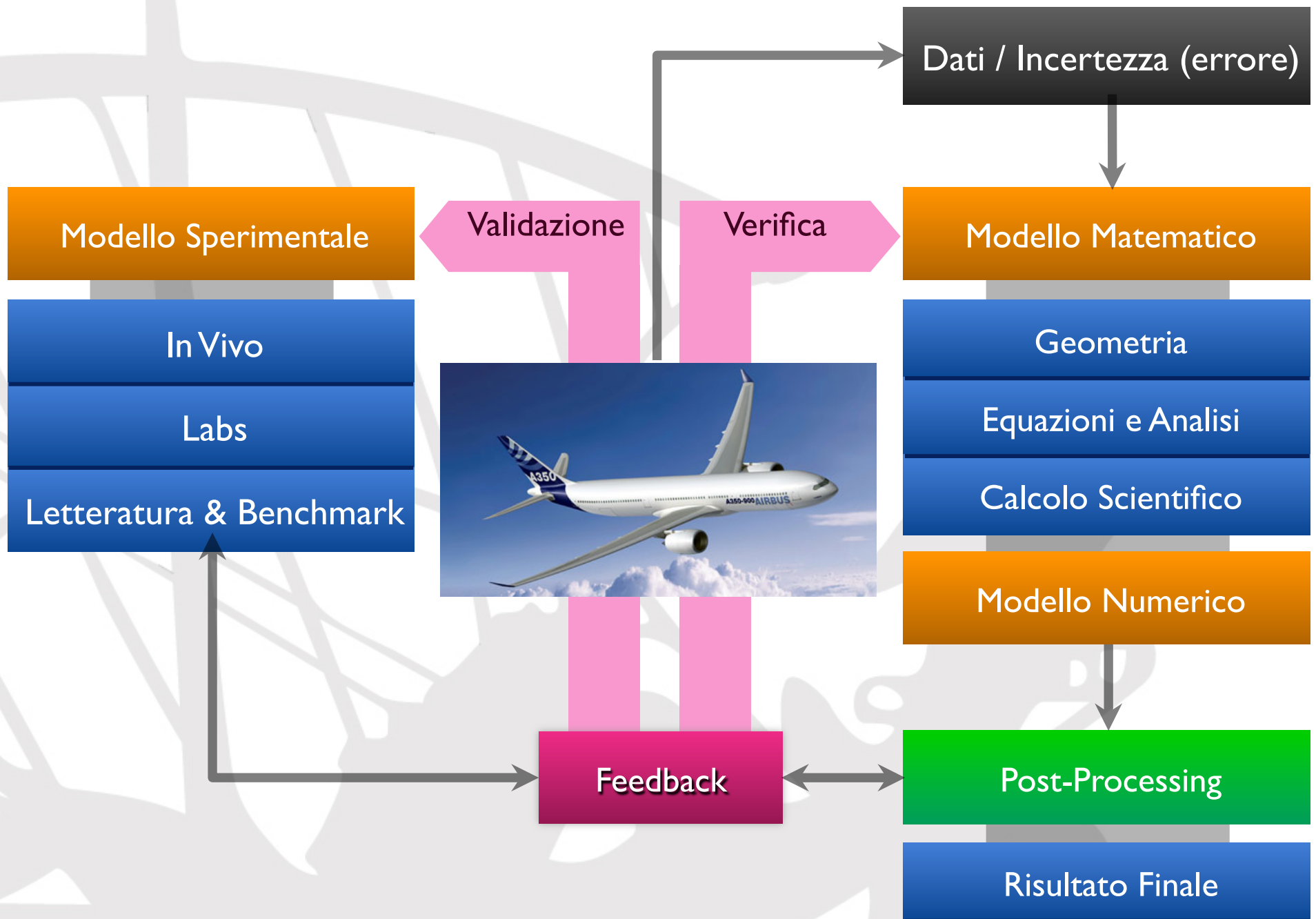
Comprendere e analizzare il comportamento di un sistema spesso molto complesso e di grande dimensione è la sfida della modellistica matematica e del calcolo scientifico applicato all'ingegneria.

Utilizzo di Modelli come supporto alle decisioni

Lo sviluppo matematico è necessario per informare chi prende decisioni sulla base di previsioni, criteri di ottimizzazione e comprensione dei sistemi complessi



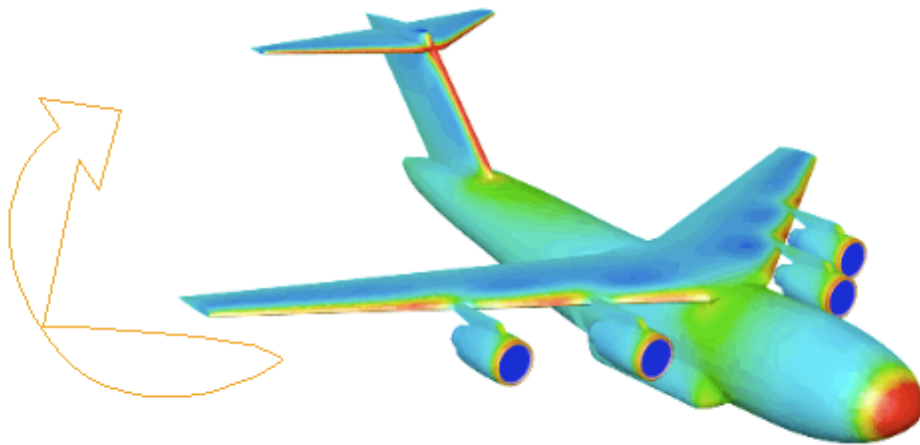
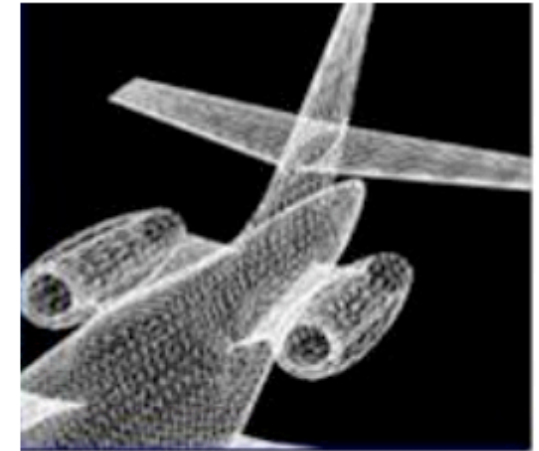
CSE: Modellistica Matematica e Numerica



CSE: Modellistica Matematica e Numerica



$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0$$
$$\frac{\partial (\rho \mathbf{u})}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{u} \otimes (\rho \mathbf{u})) + \nabla p = 0$$
$$\frac{\partial (\rho e)}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{u}(\rho e + p)) = 0$$



```
set_parameters( &N_time_steps, &N_newton_step)
for(i=0; i<N_time_steps; i++){
  delta_t = time(i+1)-time(i);
  for( j=0; j<N_newton_steps; j++ ) {
    compute_jacobian (delta_t, matrix);
    compute_rhs_and_init_sol(sol, rhs);
    solve_linear_system (Matrix, sol, rhs);
    if (test_newton_conv (sol) ) return;
  }
  if( options[write_sol] == YES ) write_sol();
  test_convergence (sol, delta_t, i);
}
```



Fenomeni Fisici



Formulazione Matematica

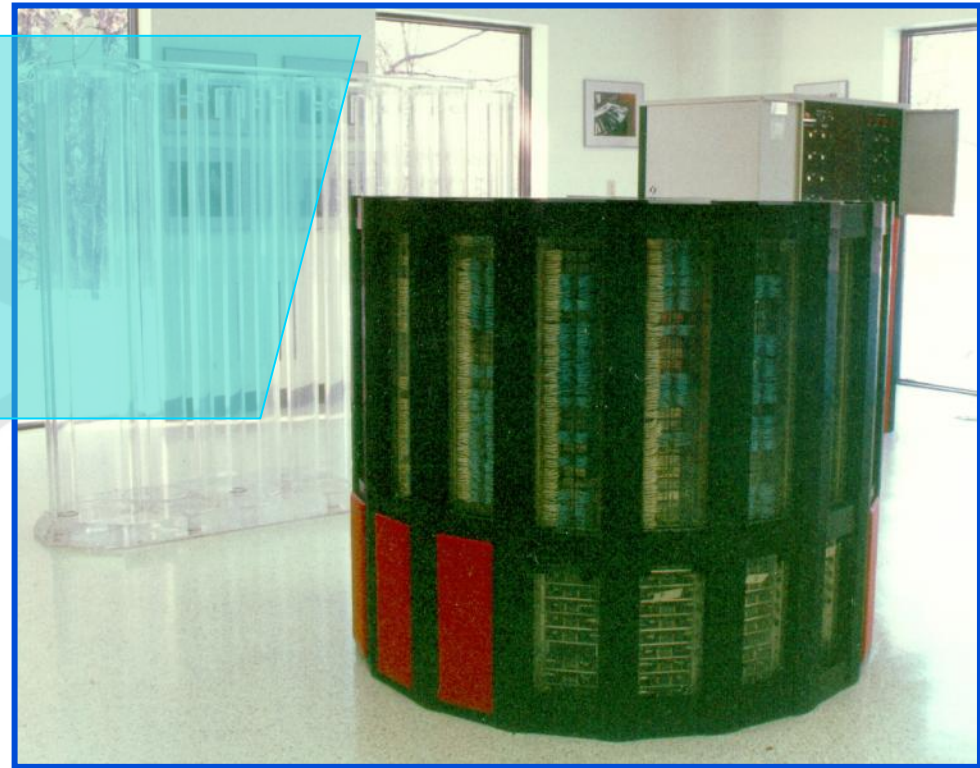


Soluzione Numerica

Calcolo "classico": Computers e SuperComputers

1985: CRAY-2

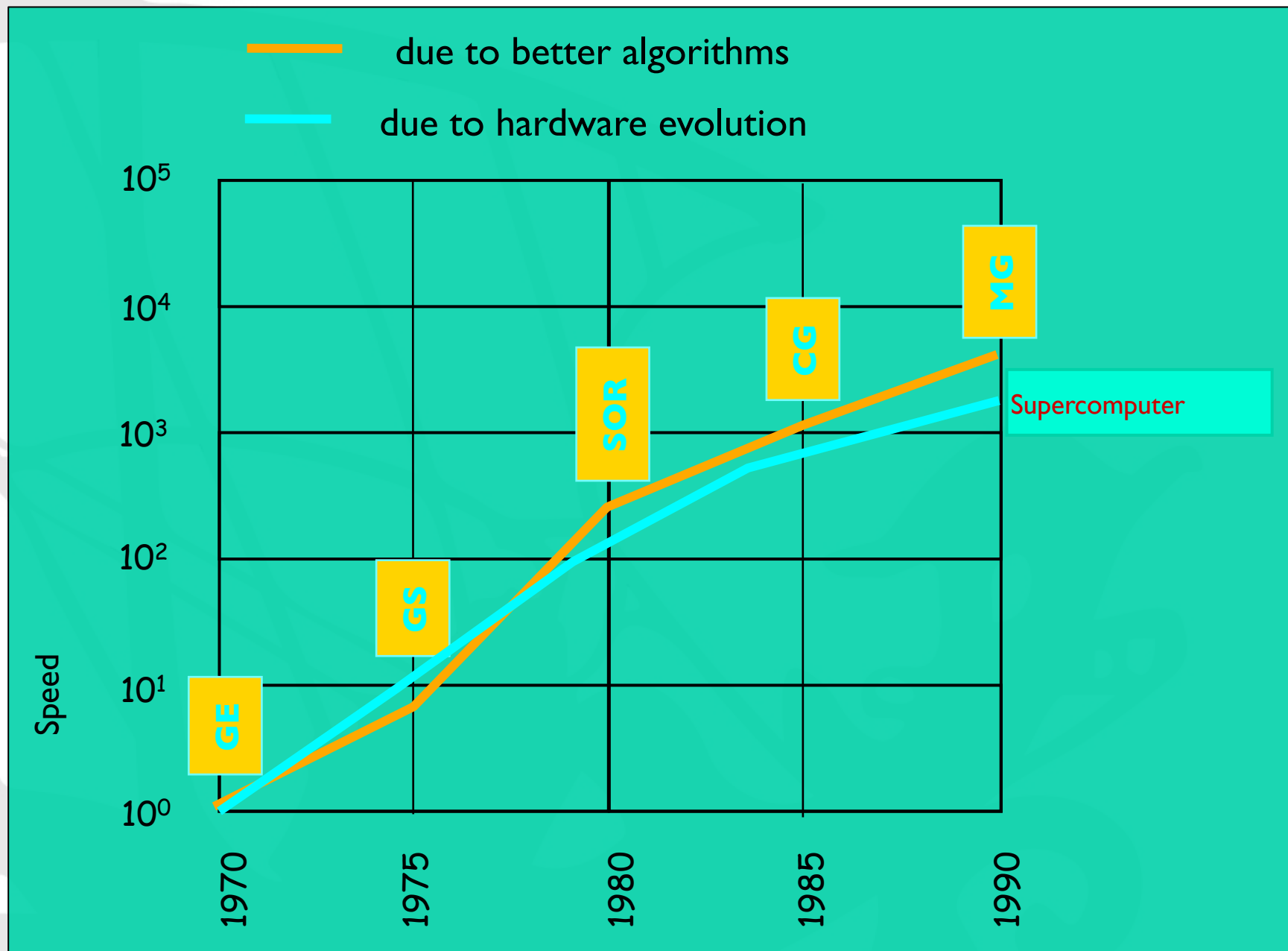
- 4 processori
- 1.95 Gflop/s di picco
- 2 GB memoria



2005: BlueGene/L (IBM)

- 131072 processori
- 280600 Gflop/s di picco
(il 27.10.2005)
- 32768 GB memoria

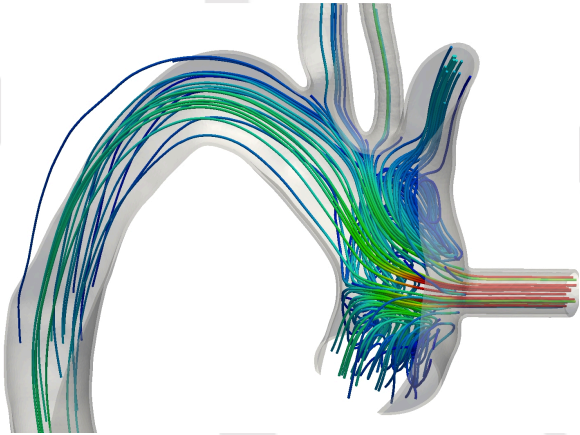
L'accelerazione matematica: "muscoli e cervello"



TIANHE-1A - Tianjin, CINA



2 566 000 000 000 000 000
più di 2.5 milioni di miliardi
di operazioni al secondo



Simulazione Numerica per rappresentare fenomeni complessi (1990-2000)

Controllo Ottimale per ottimizzare e controllare sistemi complessi (2000-2010)

Parametrizzazione dei sistemi e quantificazione dell'incertezza (2010- ...)

Nuova esigenza del Calcolo Scientifico
in Ingegneria e Scienze computazionali:

Calcolo in Tempo Reale (~1-10 secondi per avere il risultato)

Nuova frontiera:

Metodi a Basi Ridotte per sistemi parametrizzati

Riduzione dell'Ordine del Modello

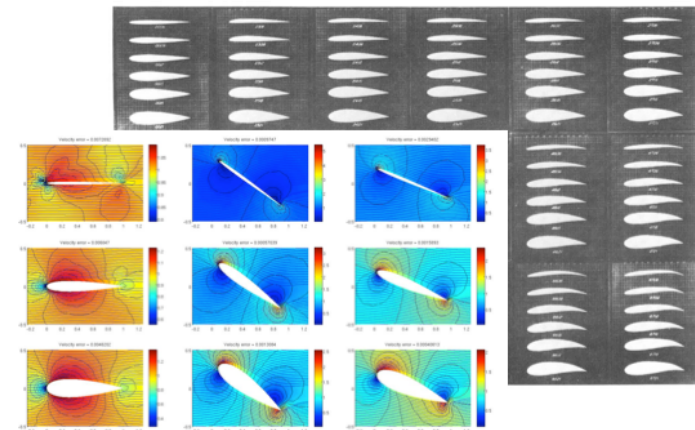
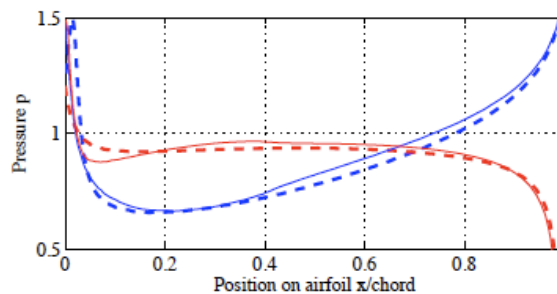
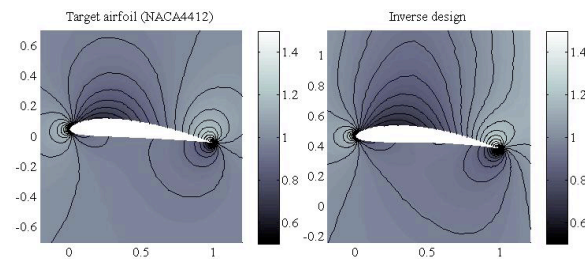
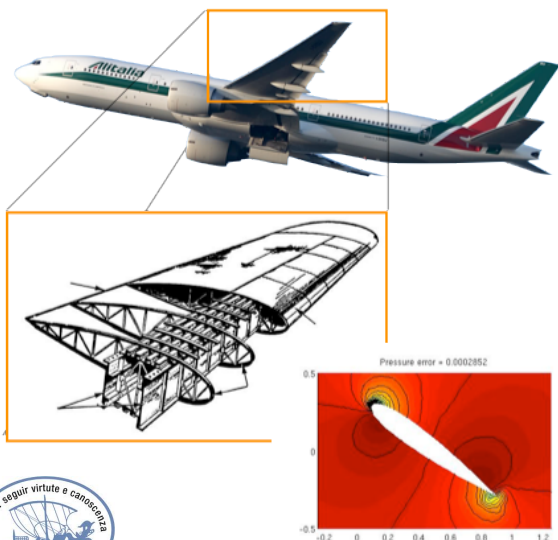
Calcoli Offline/Online, riutilizzo di calcoli in memoria e database

Ottimizzazione e controllo (processi, posizione, prestazioni)

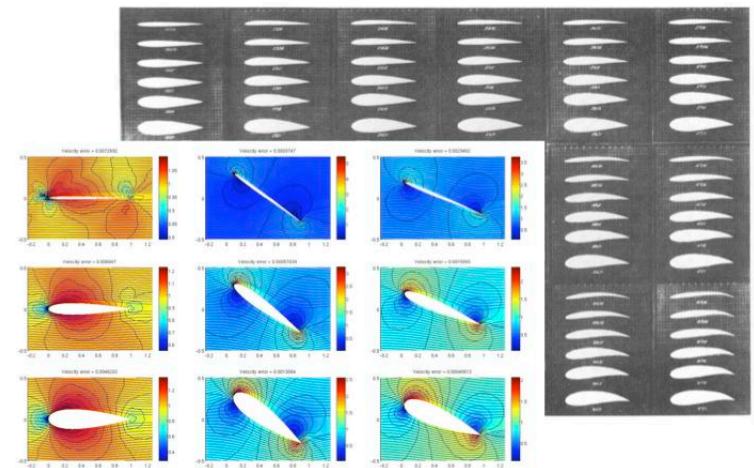
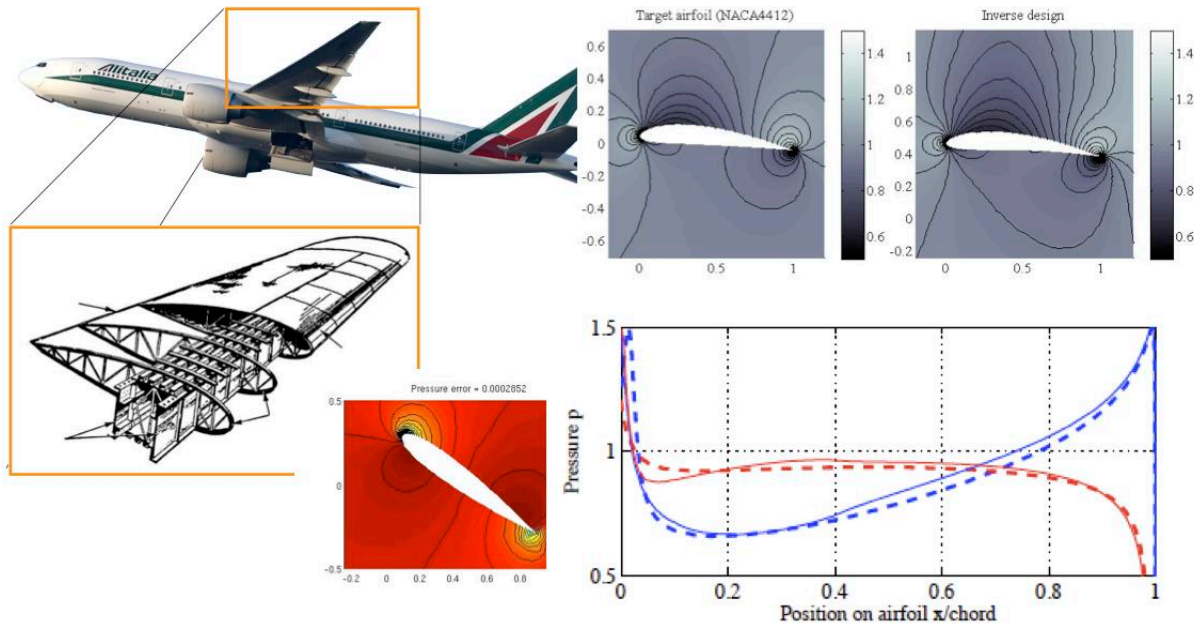
Valutazioni multiple di tipo Input-Output (anche in cascata, black-box)

Problemi parametrizzati inversi e analisi di sensitività su fattori di influenza

Problemi di quantificazione dell'incertezza in scenari complessi



Esempio problema parametrico



HPC Offline-Online

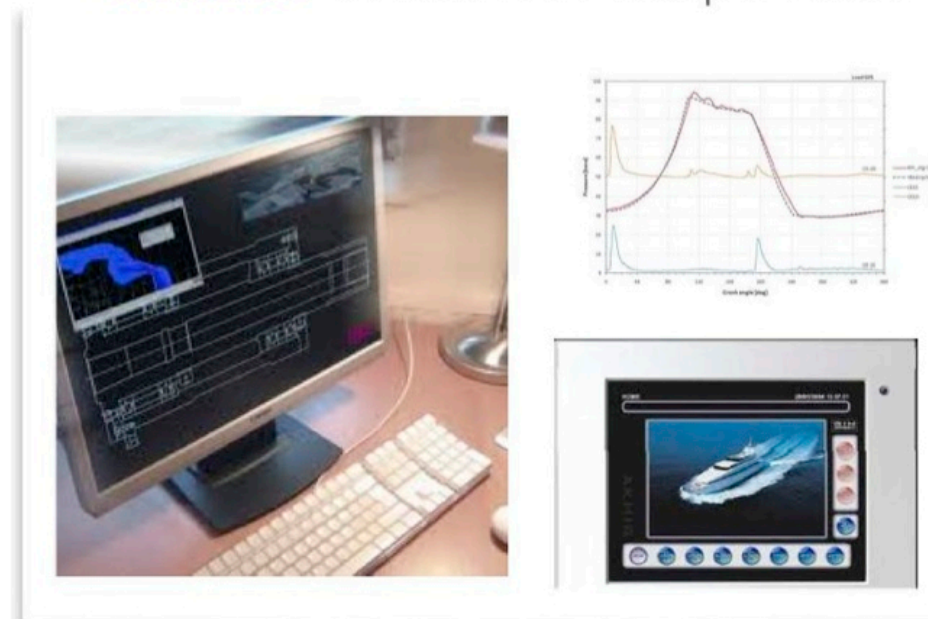
Esportare il calcolo scientifico ovunque
(grande impresa, PMI, ospedali)

Offline: HPC facilities



“Science” driven

Online: in situ e in tempo reale



“Industrial needs” driven

L'idea chiave della riduzione computazionale per il controllo

Calcolo **Offline**/**Online**

Collaborazione computazionale tra metodi classici e ridotti

Mantenimento codici già in uso (e testati) e loro accoppiamento con librerie a basi ridotte

Data assimilation, parametrizzazione, diagnostica di funzionamento di sistemi complessi

Strumenti di design e progettazione usati anche nella vita operativa del sistema

Offline: HPC facilities



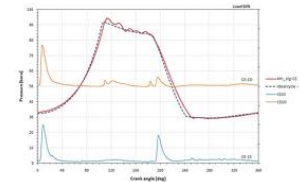
CINECA, costruttori e CR etc...

Calcolo di un "database"

(base di soluzioni del problema)

large-scale, high-cost. Scenari noti e probabili da simulare preventivamente.

Online: in situ e in tempo reale



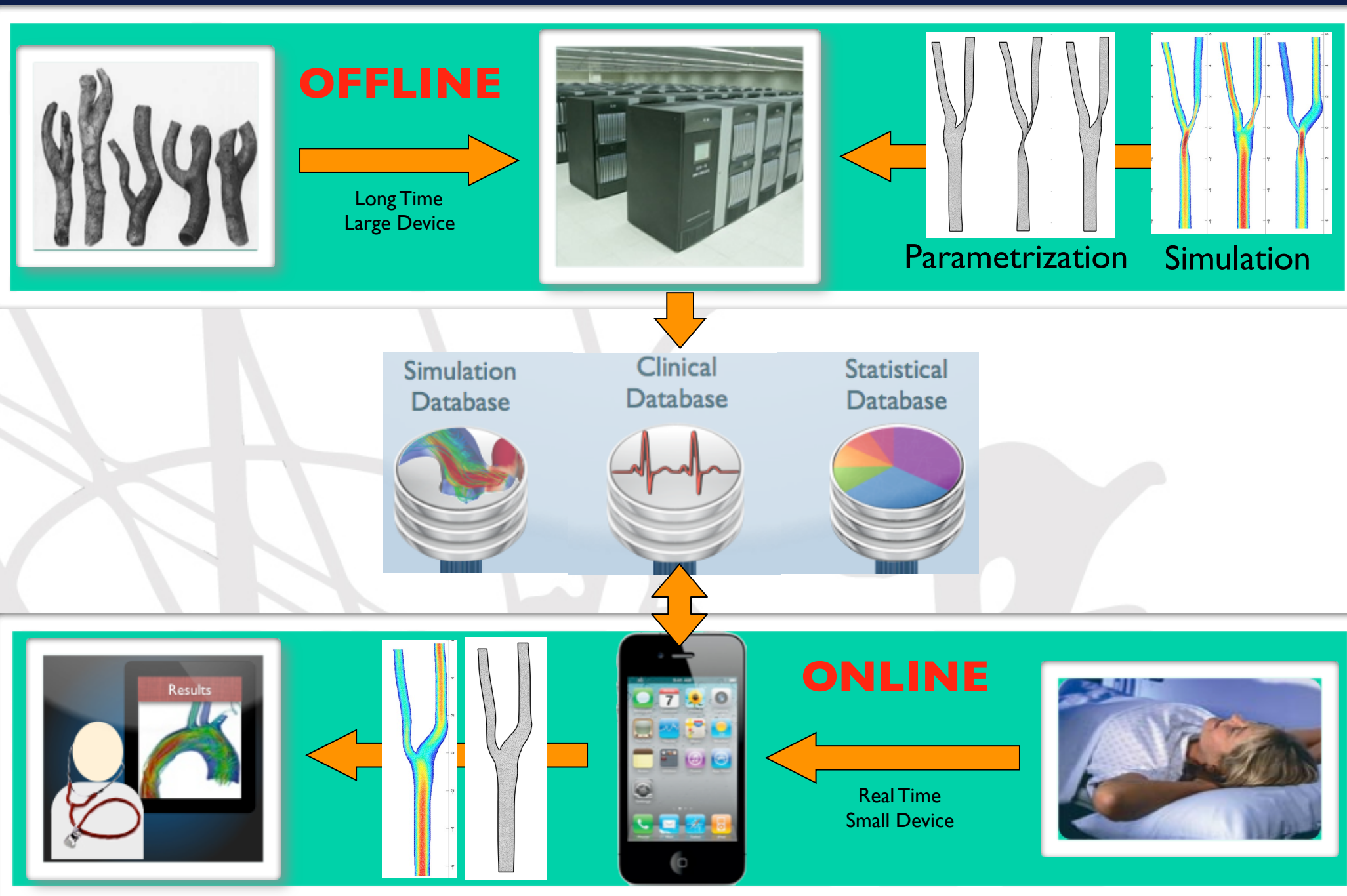
Industria, cantiere, ospedale, mezzi

Soluzione di un problema ridotto
(per ogni nuovo valore dei parametri)

small-scale, low-cost, real-time. Apps.

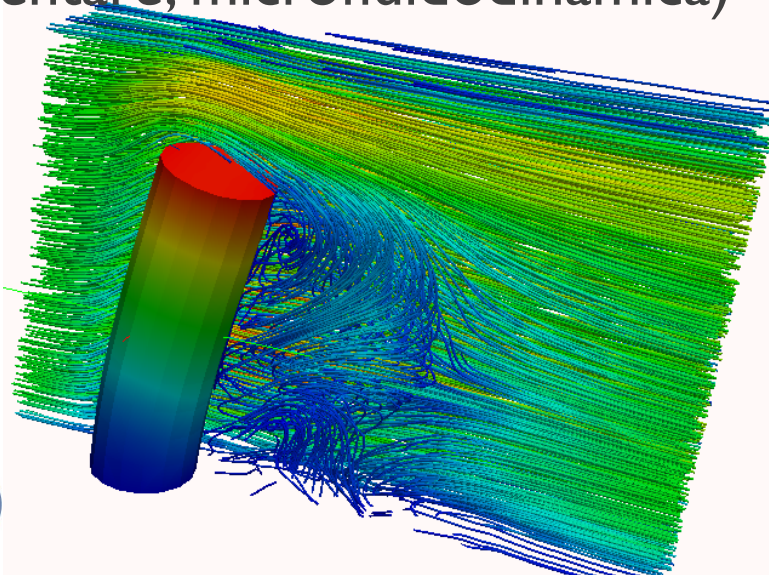
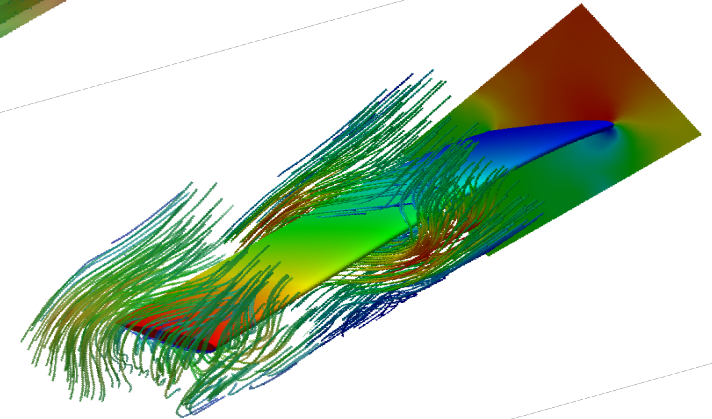
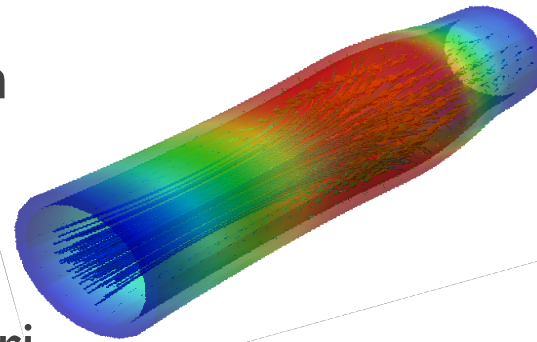
Computer locali e di bordo (es)

Verso l'integrazione...di sistemi (molto) complessi



Scopi e Know-How: Industria e studi parametrici

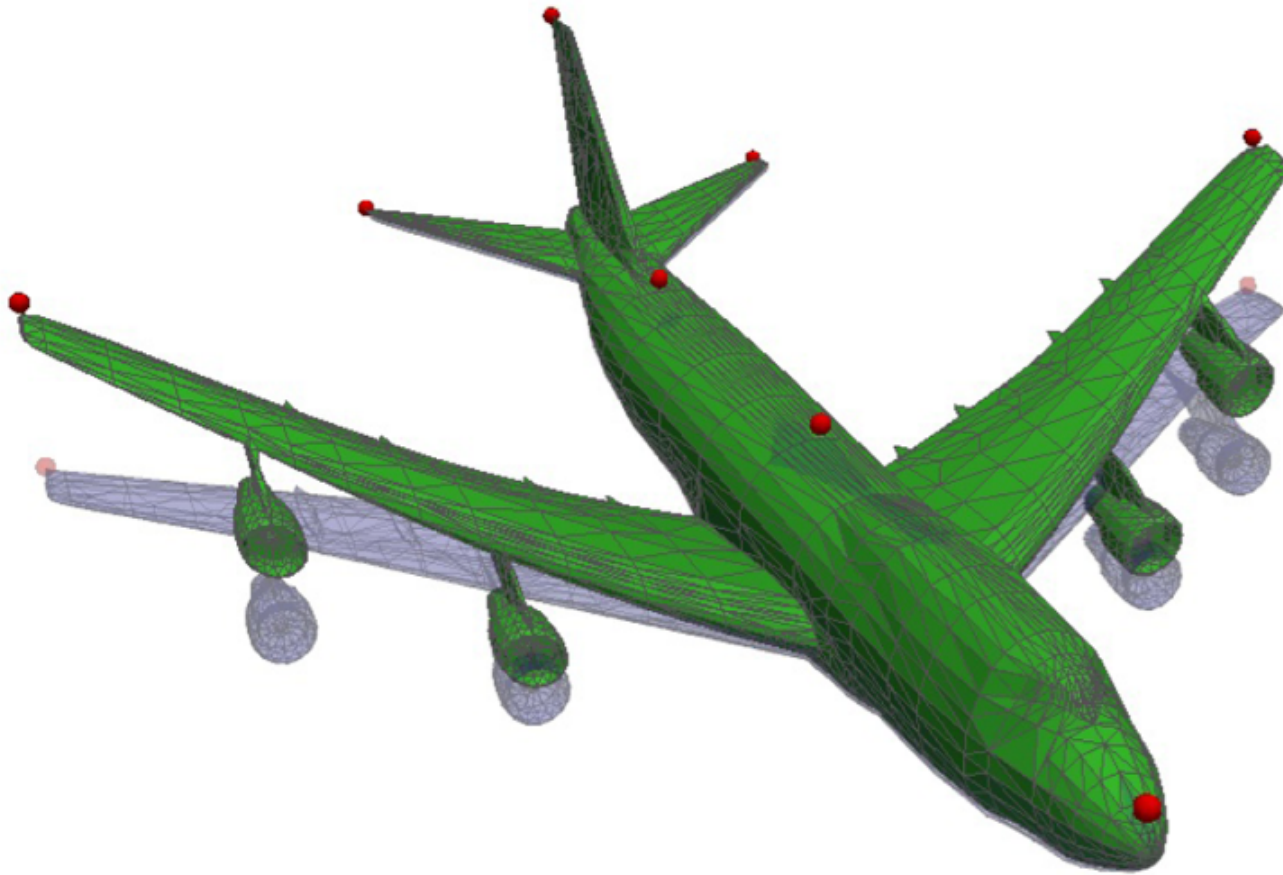
- Design di profili/configurazioni che ottimizzino performances di interesse in idrodinamica/aerodinamica (min drag, max lift)
- Analisi di sensitività rispetto a parametri fisici/geometrici rilevanti
- Ottimizzazione e controllo di flussi (turbomacchine, tribologia, industria alimentare, microfluidodinamica)



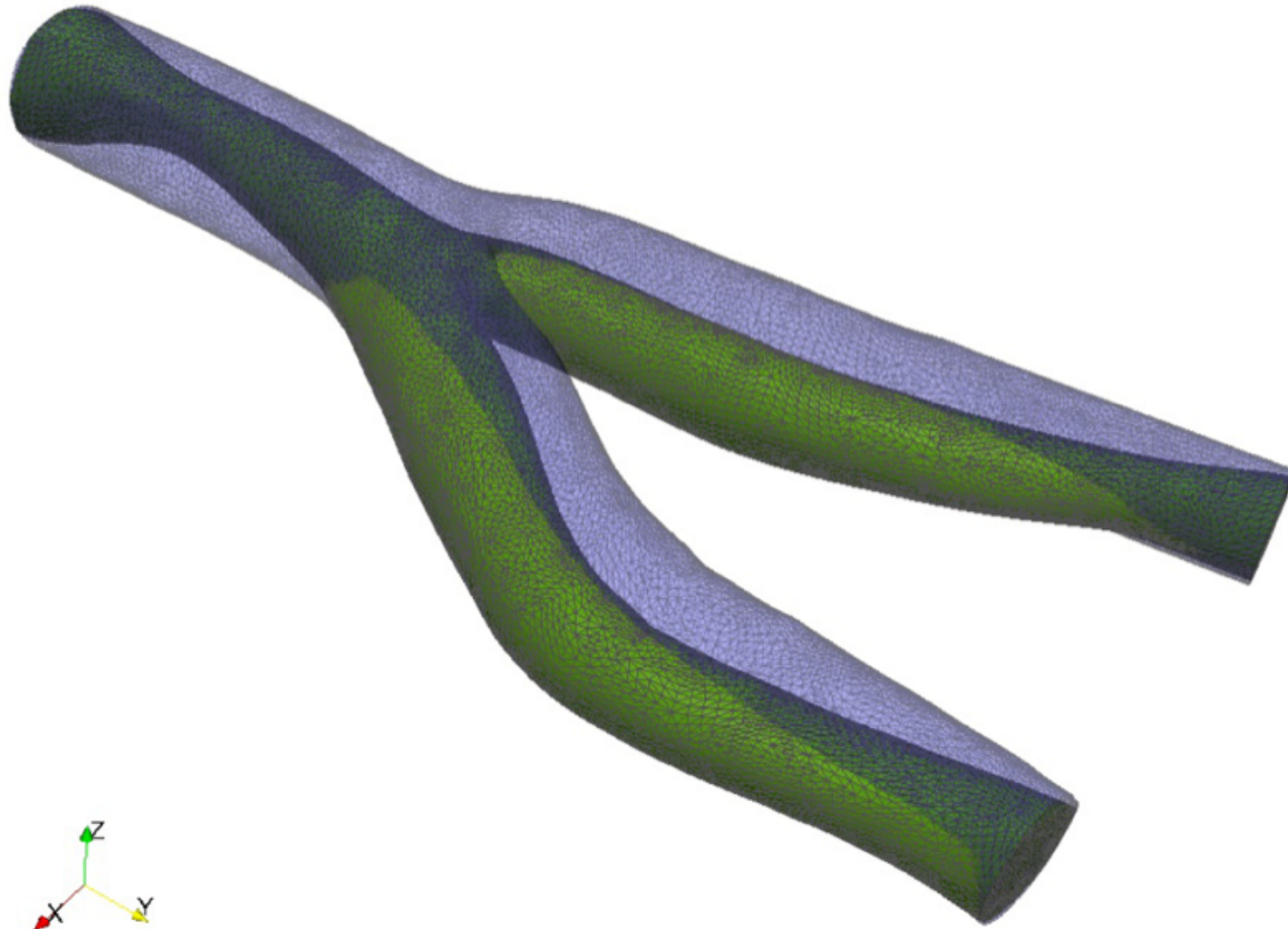
Problemi parametrizzati per:

- flussi viscosi e a potenziale
- elasticità e interazione fluido-struttura,
- trasmissione del calore, analisi termica,
- aerodinamica e idrodinamica
- ingegneria del vento e offshore

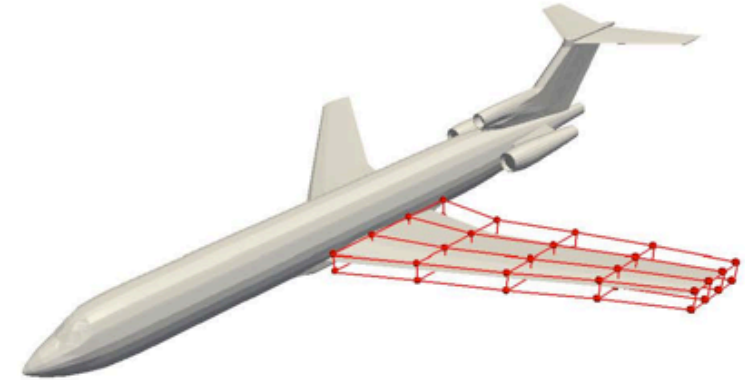
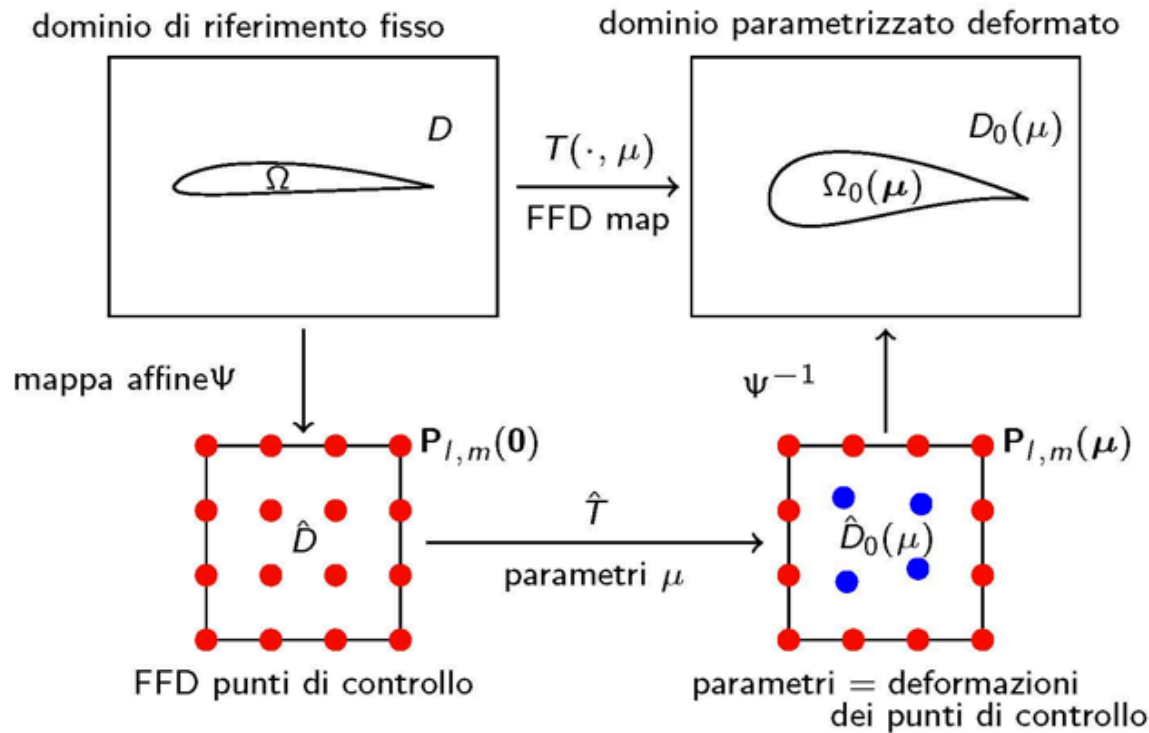
Sistemi Complessi Parametrizzati nell'Industria



Sistemi Complessi Parametrizzati in Medicina



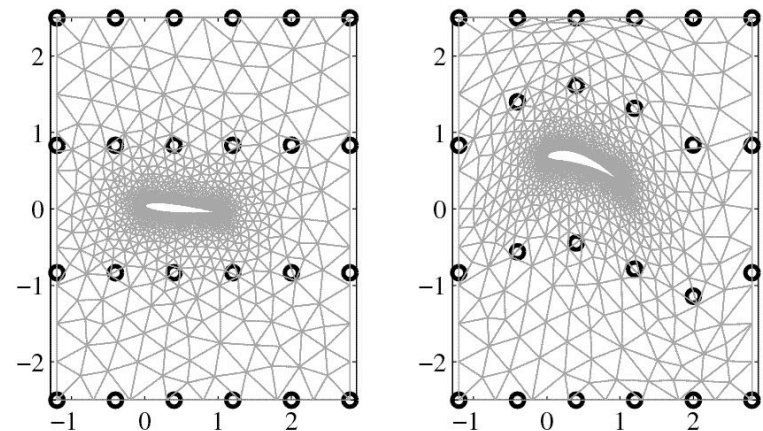
Parametrizzazioni di forma efficienti: riduzione geometrica



punti di controllo FFD (red bullets) su una struttura di ala

Caratteristiche:

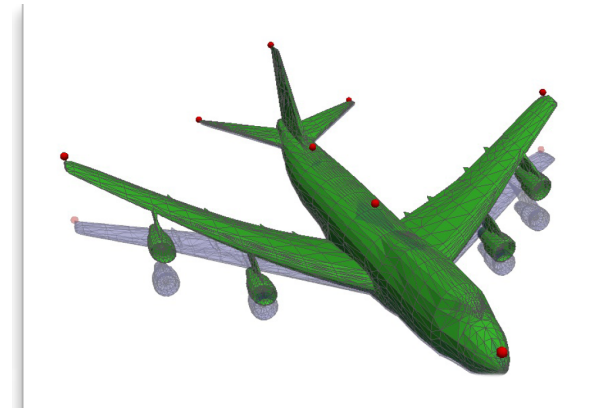
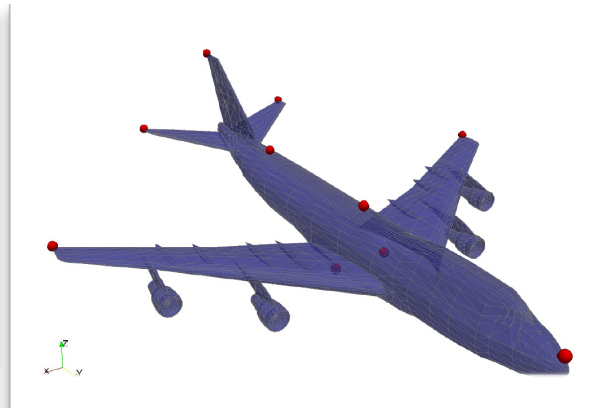
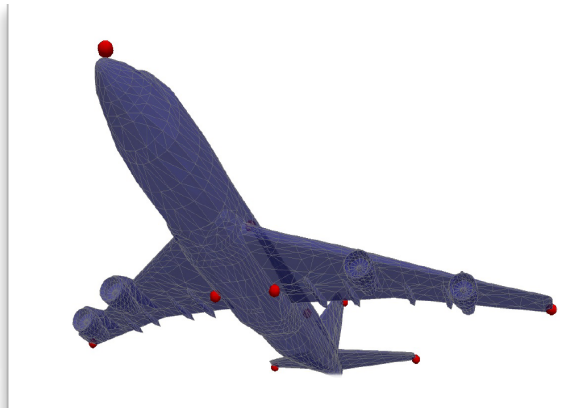
- ✓ pochi parametri di design
- ✓ parametrizzazioni versatili ("Free-Form")
- ✓ semplice implementazione



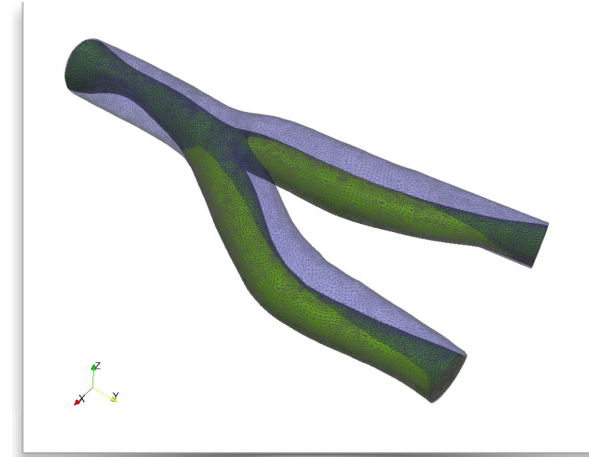
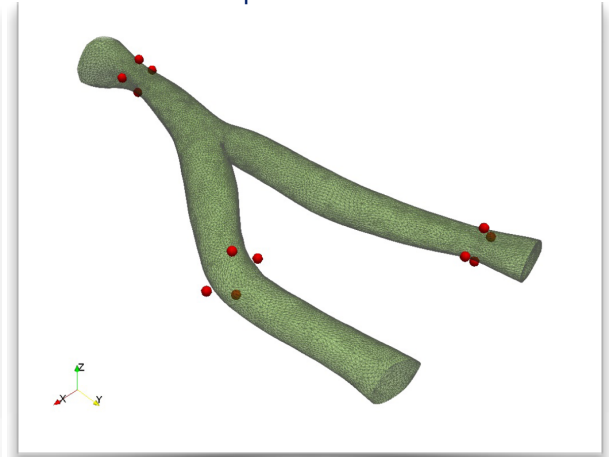
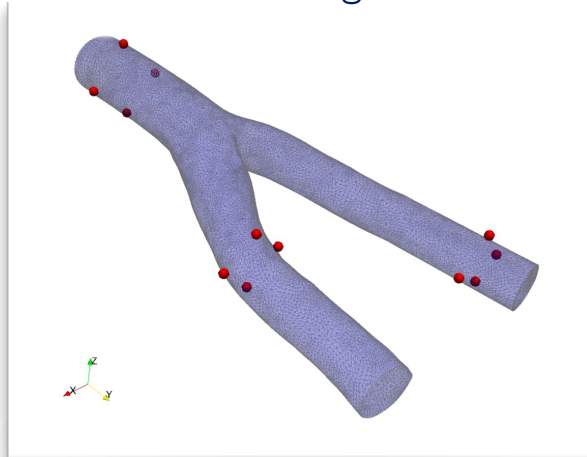
Esempi di parametrizzazione di forme complesse e ricostruzione

Deformazioni aeroelastiche su un velivolo
(Radial Basis Functions)

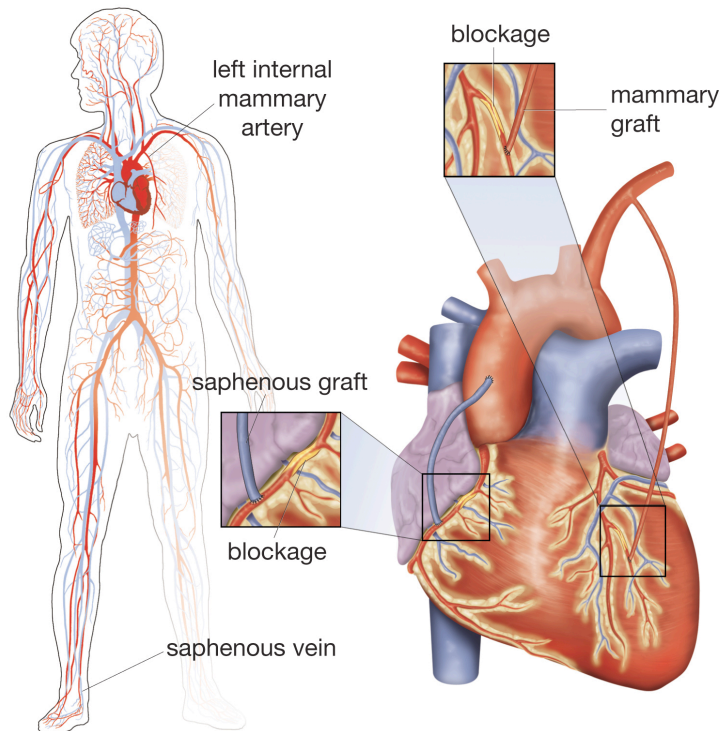
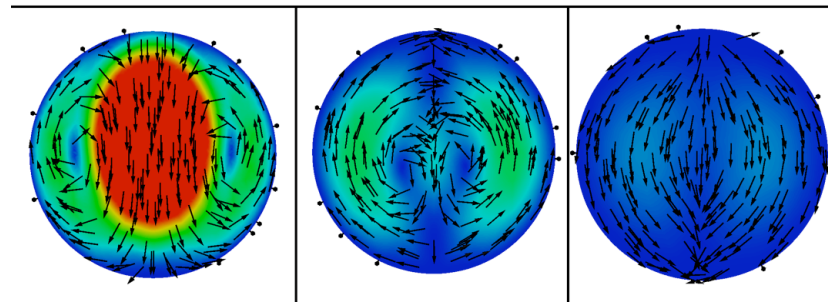
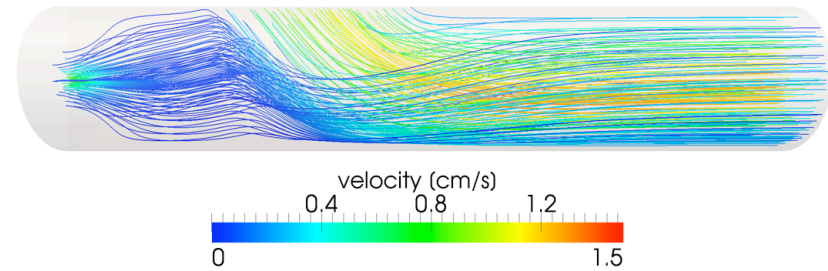
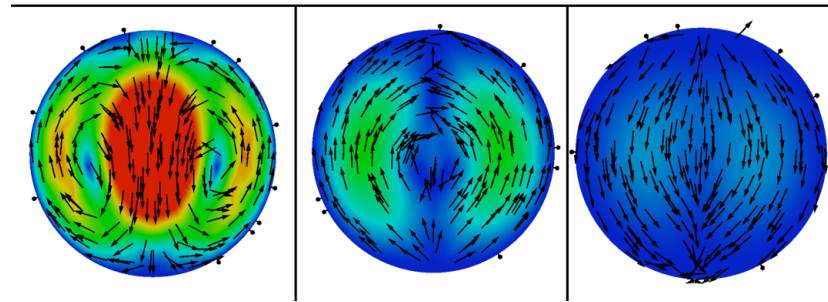
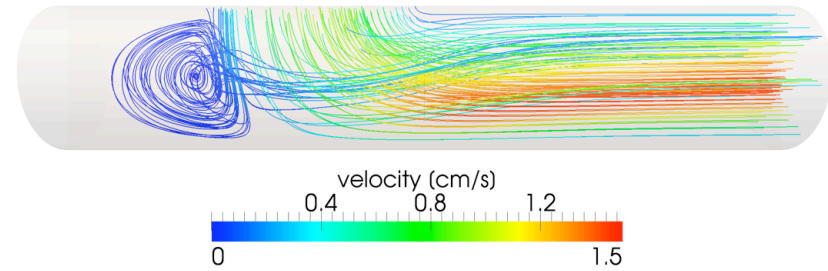
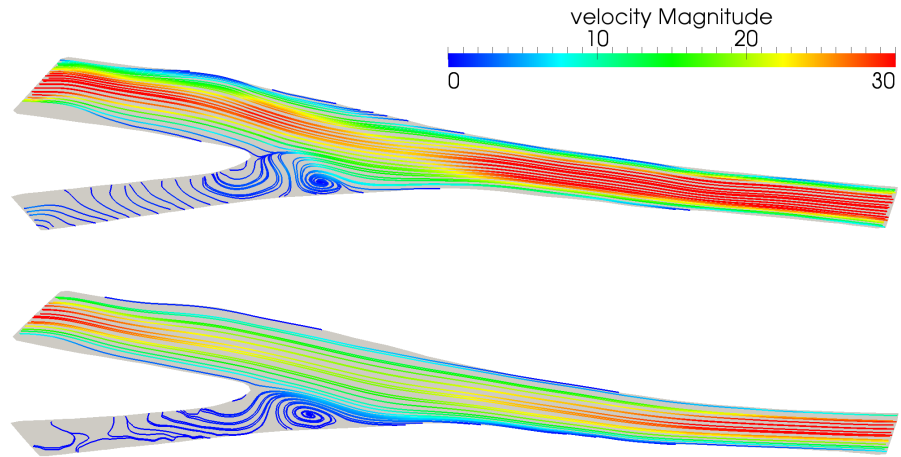
Interesse in ambito offshore e ing. vento,
strutture.



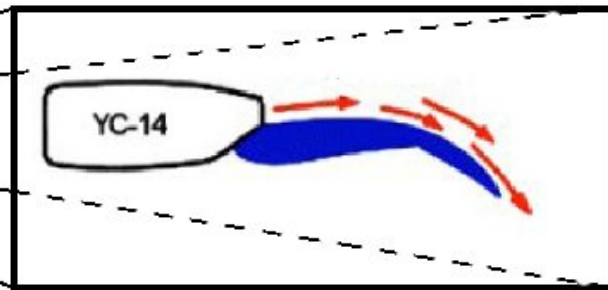
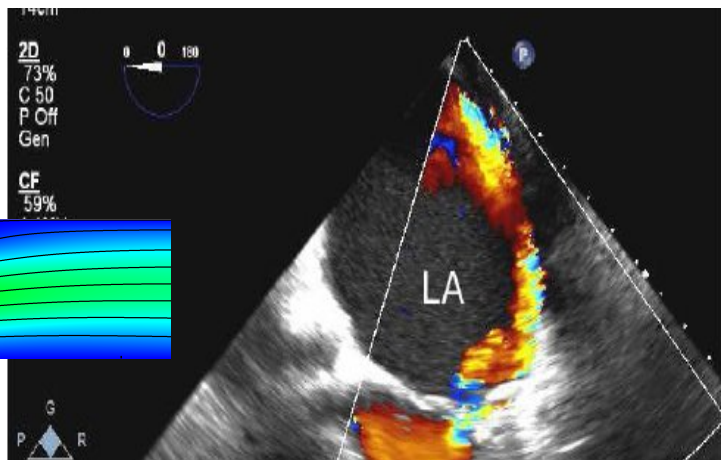
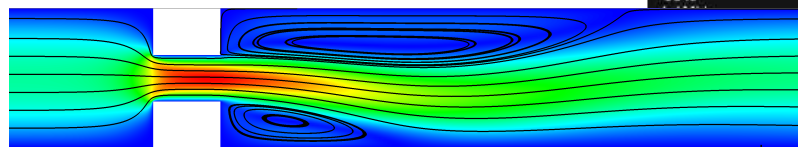
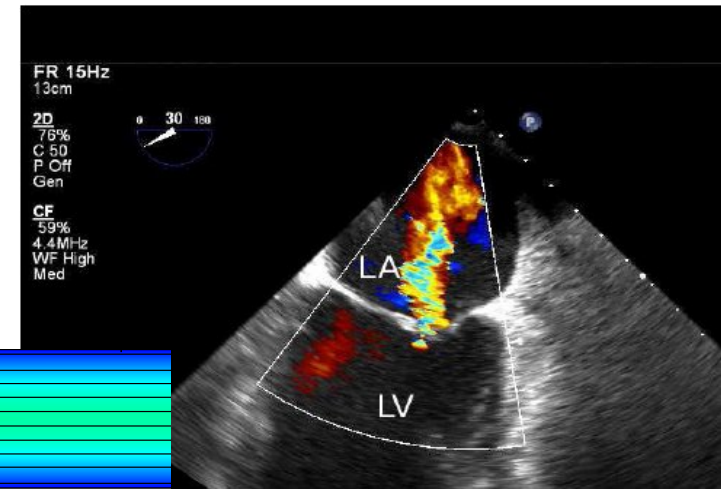
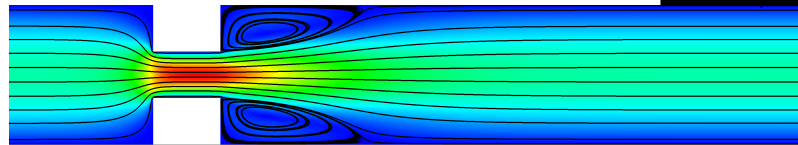
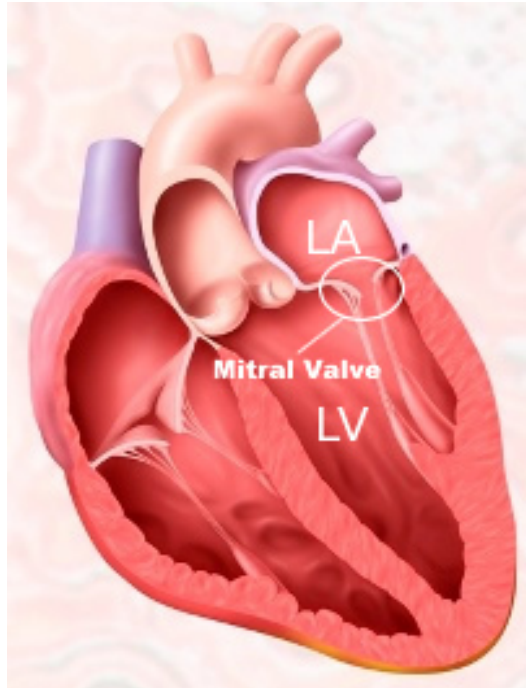
Ricostruzione geometrie di una carotide pulsante



Dalla Fisiologia all'ingegneria chirurgica

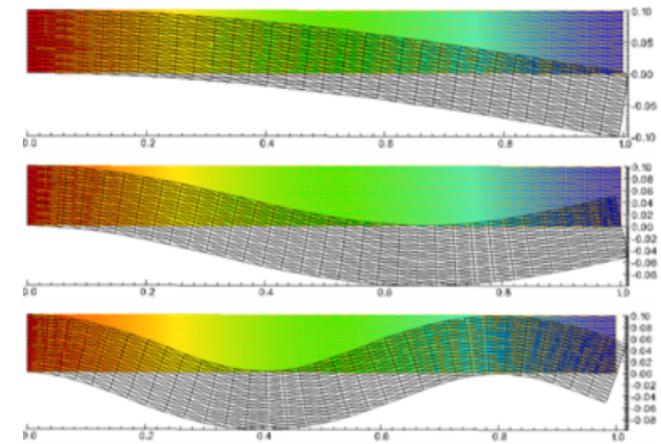
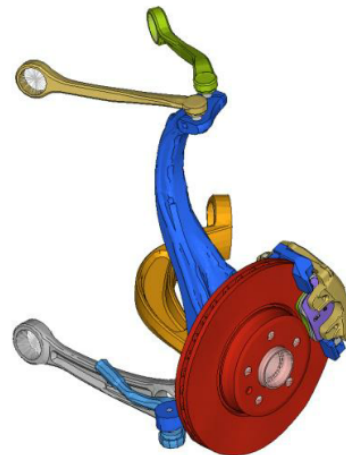
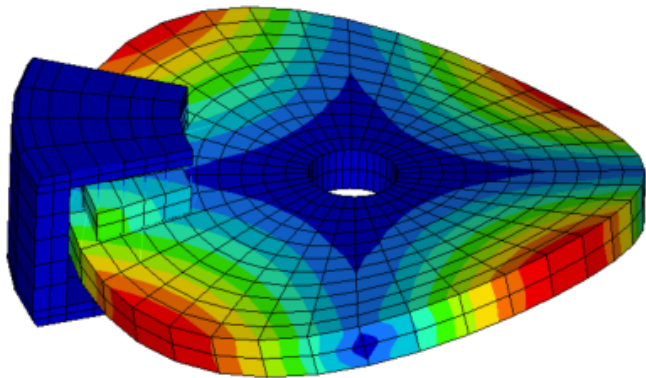
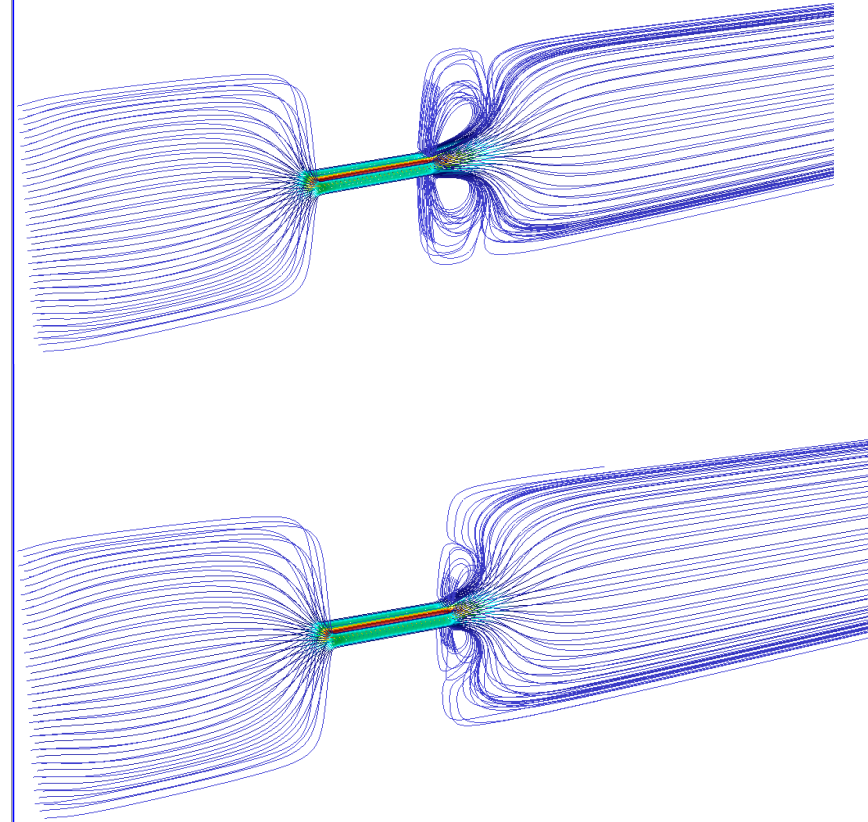
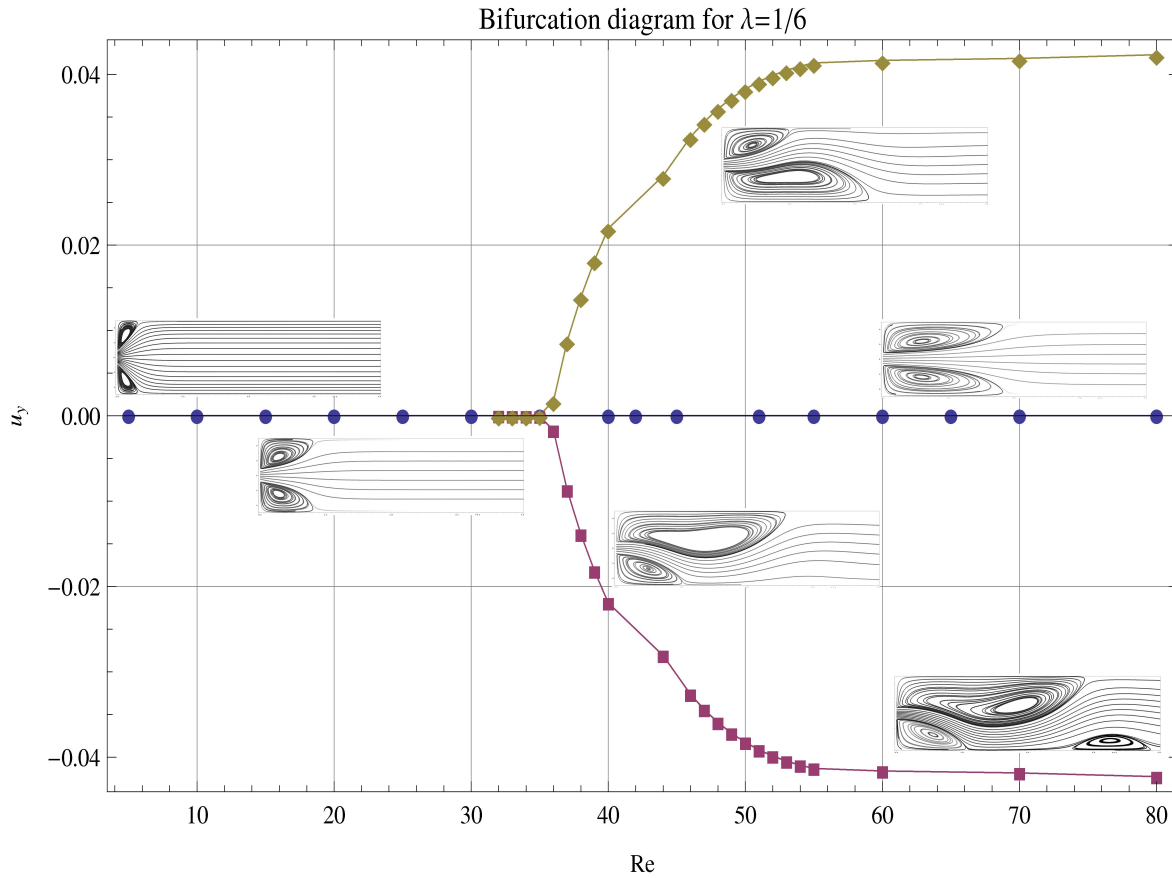


Stabilita' dei flussi, CFD complessa

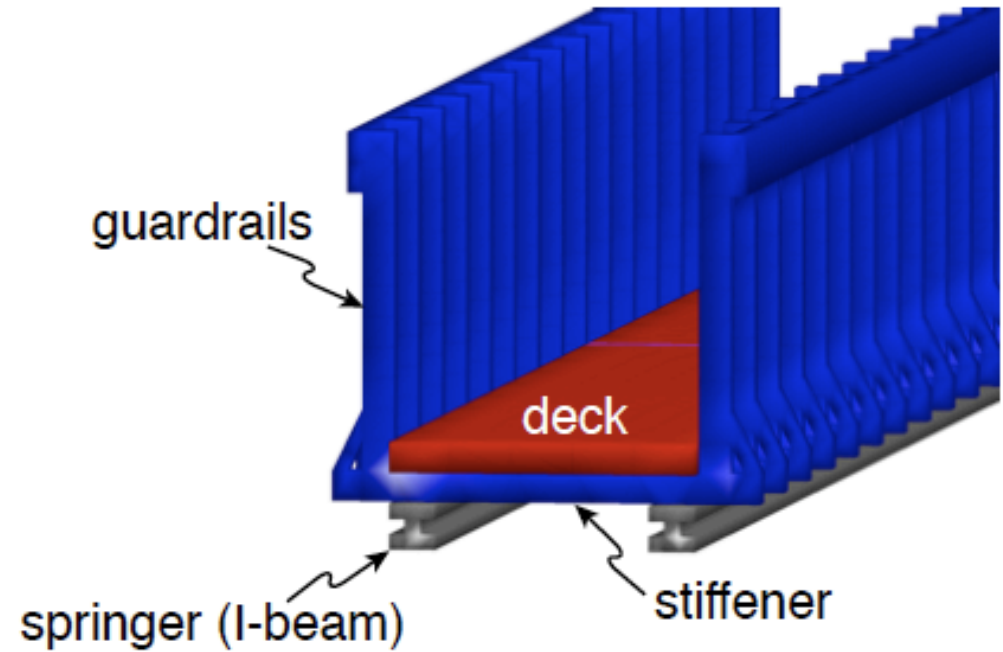


Effetto Coanda:
noto in Aeronautica

Non solo cardiovascolare...strutture e impianti frenanti!



Progetto Modulare Parametrico...Calcoli in Real Time



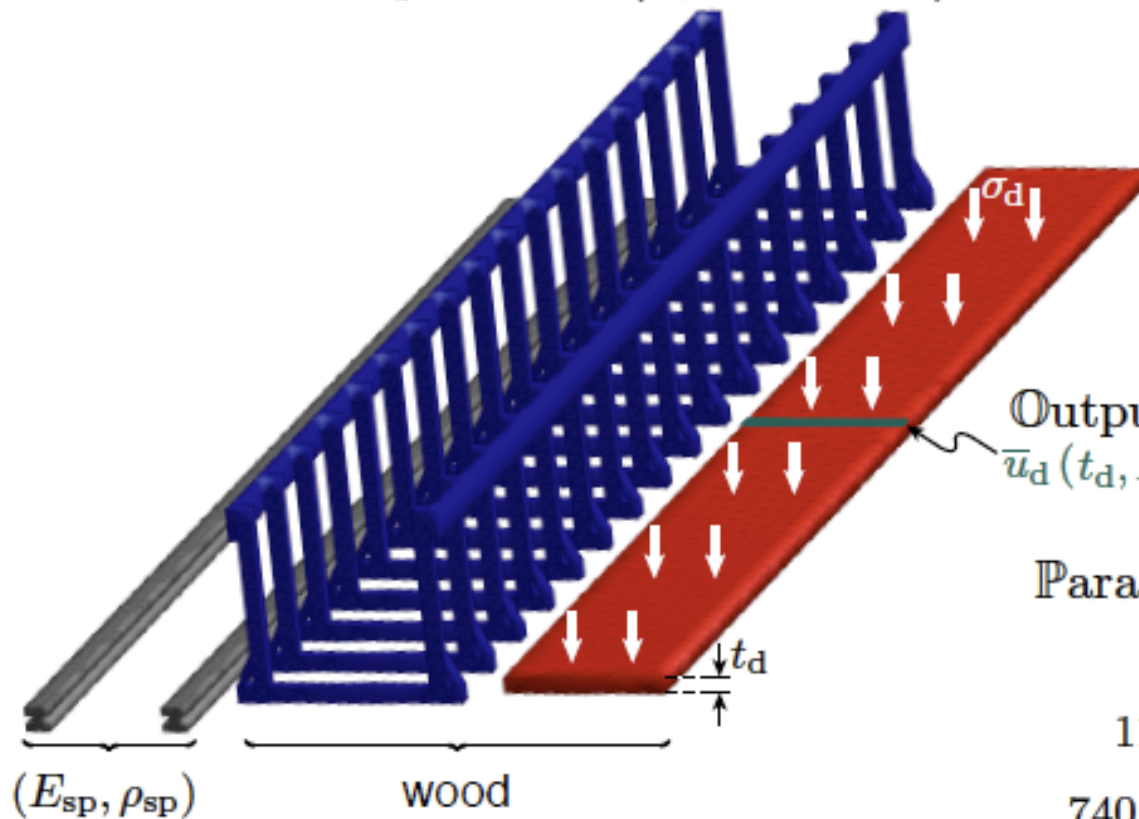
Acknowledgement: Prof.A.T. Patera

[More information on the webpage: http://augustine.mit.edu](http://augustine.mit.edu)

Rapid Reliable Solution of the μ PDEs of Continuum Mechanics and Transport

Real Time Computing: Ingegneria Strutturale (LEGO)

Field \equiv Displacement(\mathbf{x} ; Parameter)



$$E_{\text{wood}} = 11 \text{ (GPa)}$$

$$\rho_{\text{wood}} = 740 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$E_{\text{steel}} = 200 \text{ (GPa)}$$

$$\rho_{\text{steel}} = 7,800 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Output(Parameter)
 $\bar{u}_d(t_d, E_{sp}, \rho_{sp}, \sigma_d)$ (m)

Parameter Domain: $P = 4$

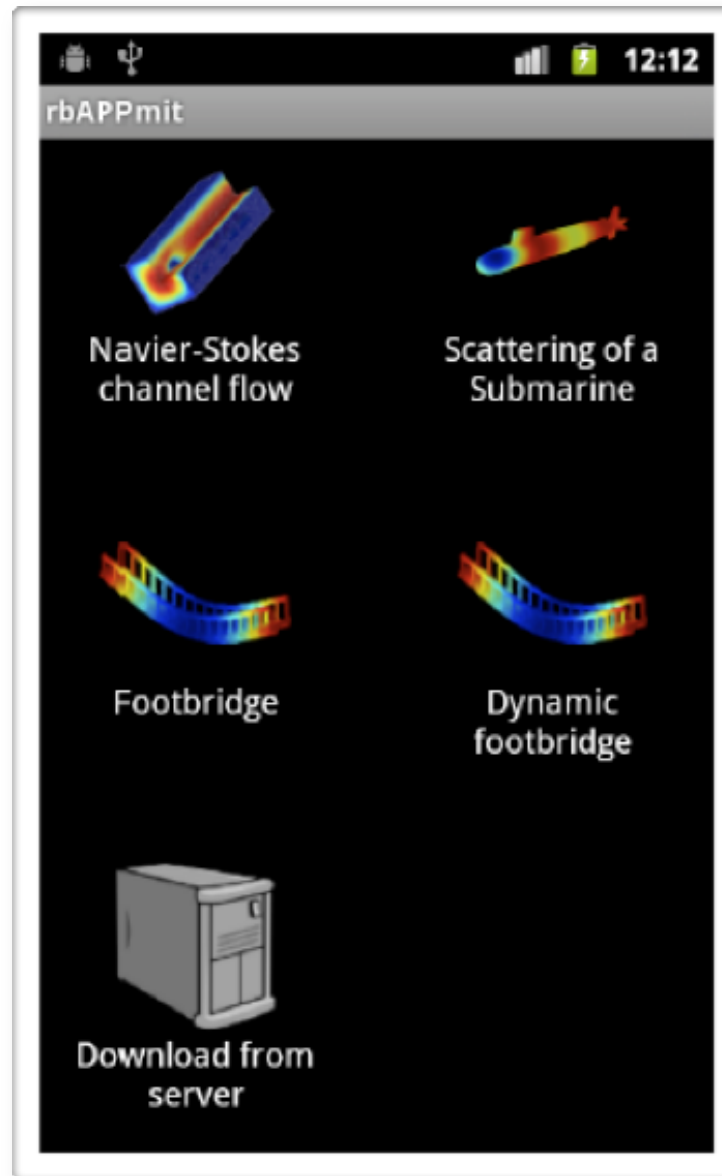
$$2 \leq t_d \leq 20 \text{ (cm)}$$

$$11 \leq E_{sp} \leq 200 \text{ (GPa)}$$

$$740 \leq \rho_{sp} \leq 7,800 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$20 \leq \sigma_d \leq 1,000 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

Real Time Computing



Real Time Computing (carichi, cricche, danni, frecce)

rbAPPmit

About This Problem Reduced Basis Solve

Footbridge

Set RB dimension

Online N = 75

Set parameters

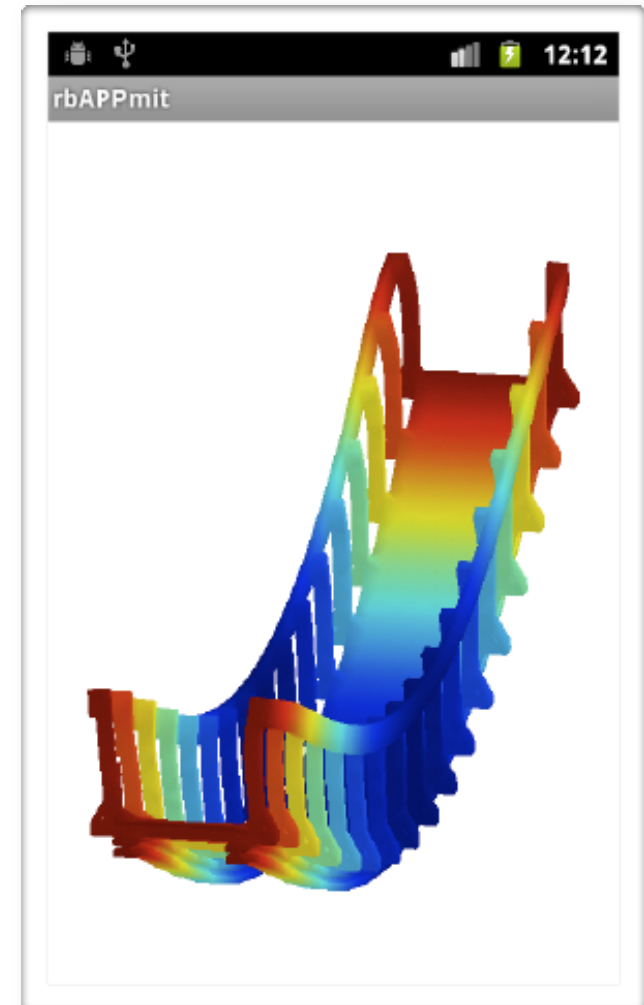
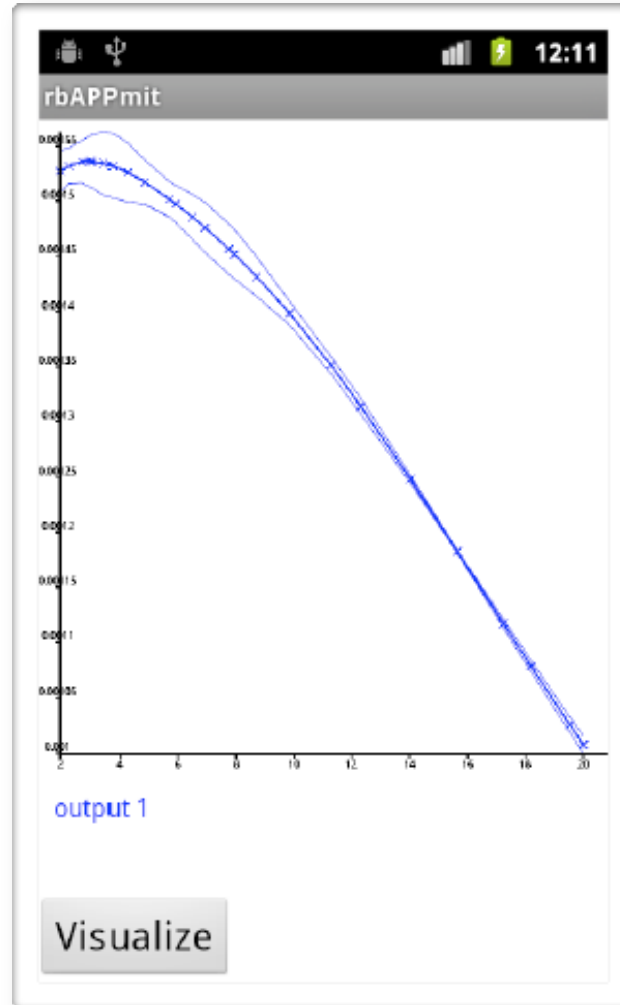
t_d 2.000

E_sp 11.00

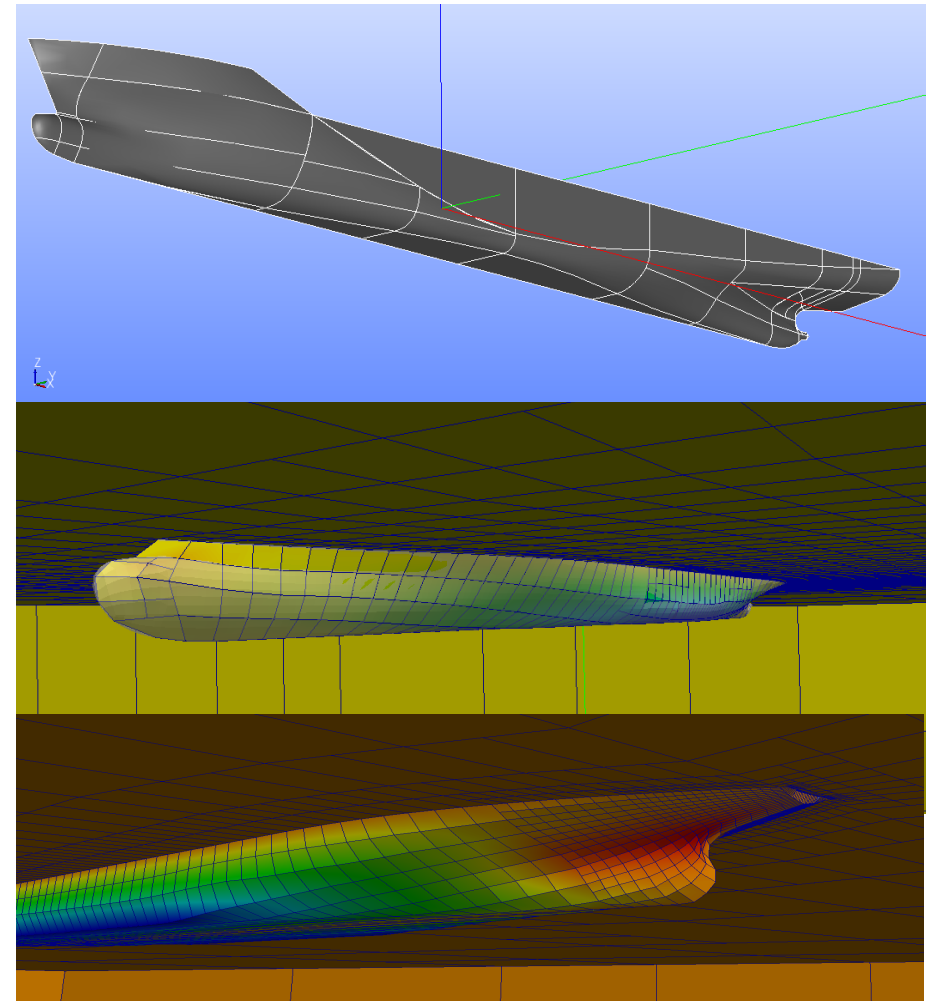
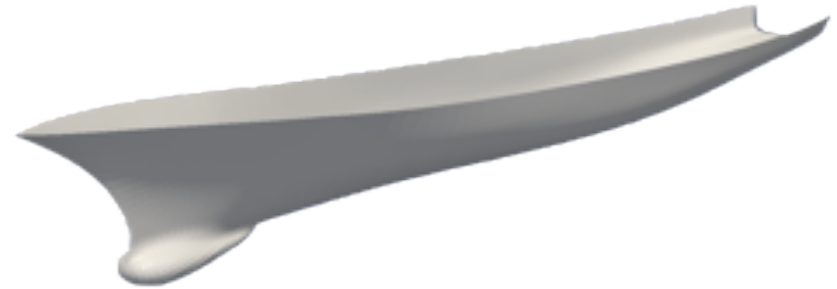
rho_sp 740.0

f Sweep

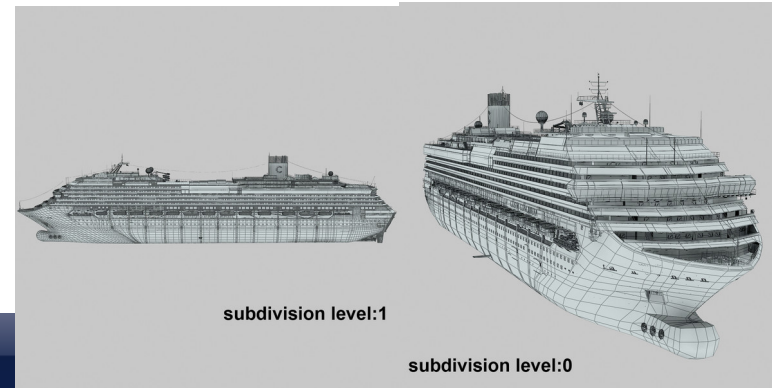
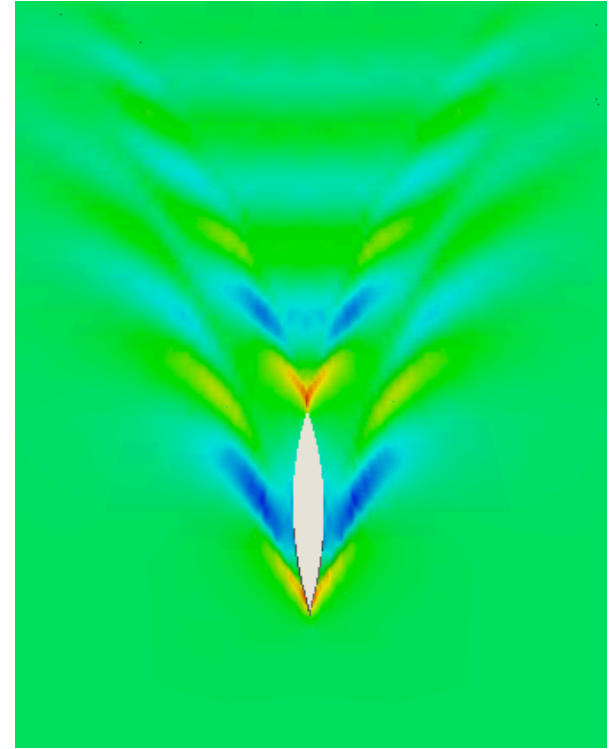
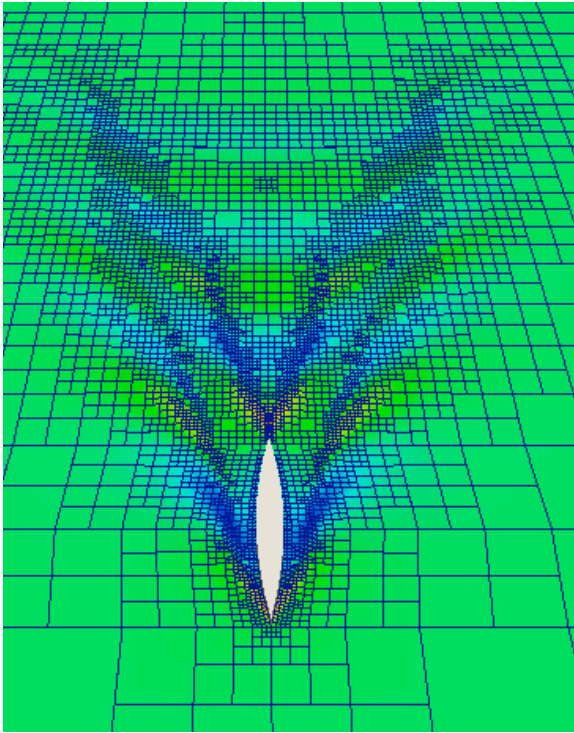
Solve μ Sweep



- ✓ Interfaccia diretta con i file CAD di progetto
- ✓ Generazione automatica e non assistita delle griglie di calcolo
- ✓ Adattività delle griglie computazionali sia in spazio che in tempo
- ✓ Simulazione CFD di qualità.
- ✓ Ottimizzazione scafi/carene/scarichi/eliche
- ✓ Controllo flussi



Il mare.....



<http://mathlab.sissa.it/>

