

Introduzione al Corso

Modellazione dei Sistemi a Fluido

Prof. Tiziano Ghisu

5 ottobre 2022

Contenuti

- Introduzione
 - Cosa è / non è la CFD
 - Alcune applicazioni
 - Ingredienti per la CFD
- Passi di una simulazione numerica
 - Definizione del modello fisico
 - Discretizzazione
 - Soluzione numerica
- Esempi
- Conclusioni

Introduzione – Cosa è / non è la CFD

La fluidodinamica è la scienza che studia il comportamento dei fluidi (in svariate condizioni)

La fluidodinamica numerica (CFD o Computational Fluid Dynamics) simula il comportamento dei fluidi, risolvendo numericamente le equazioni che descrivono il loro comportamento

Introduzione – Cosa è / non è la CFD

Vantaggi:

- La CFD consente di simulare il comportamento dei fluidi, con notevole risparmio di tempo e risorse
- La CFD consente di condurre esperimenti senza disturbare il flusso, cosa non sempre possibile con gli strumenti di misura convenzionali
- La CFD consente di simulare il comportamento di fluidi in posizioni o situazioni complicate (pericolose o di difficile accesso)
- La CFD può essere usata per confrontare varie soluzioni di progetto (e indirizzare quindi lo stesso).

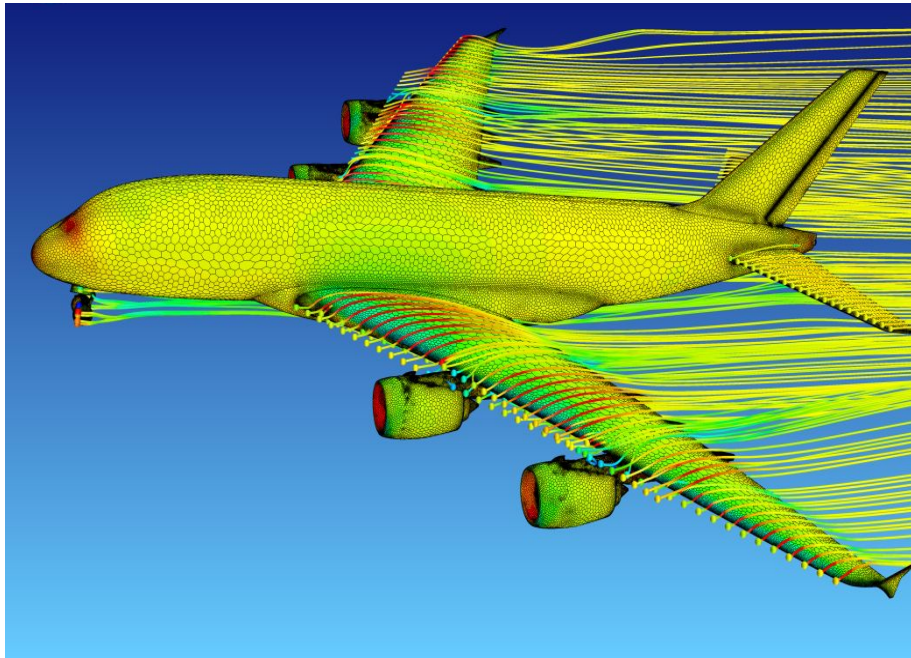
Introduzione – Cosa è / non è la CFD

Limiti:

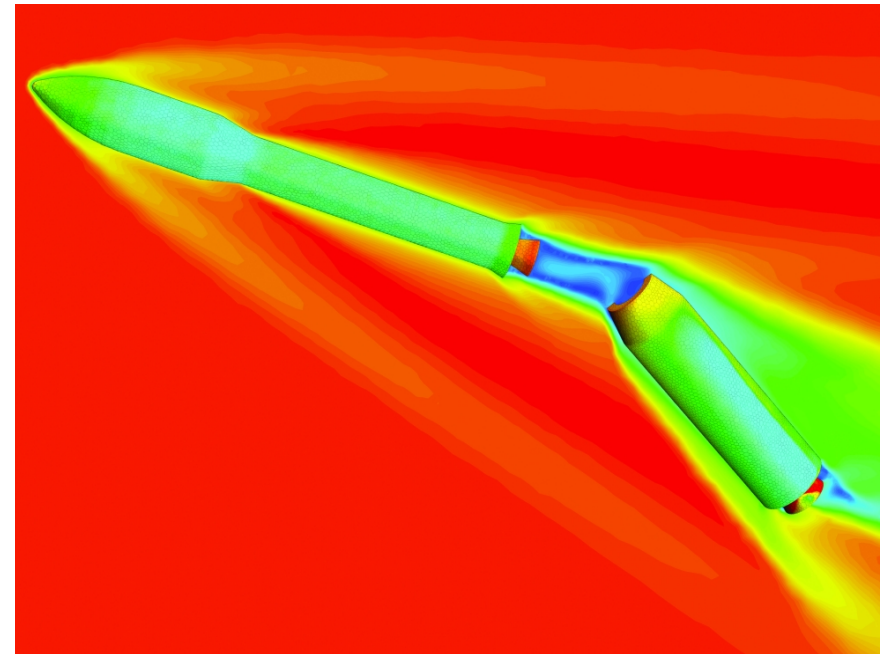
- La CFD necessita di un'adeguata conoscenza dei fenomeni simulati e dei metodi numerici.
- Nonostante il significativo e continuo aumento delle risorse di calcolo e dell'efficienza dei metodi numerici, non tutti i fenomeni possono essere simulati adeguatamente (large systems, complex phenomena, time-dependent problems)
- La CFD ha bisogno di essere combinata a altre risorse (analisi sperimentale) per validazione e verifica

Introduzione - Impieghi della CFD

(Sistemi aerospaziali)



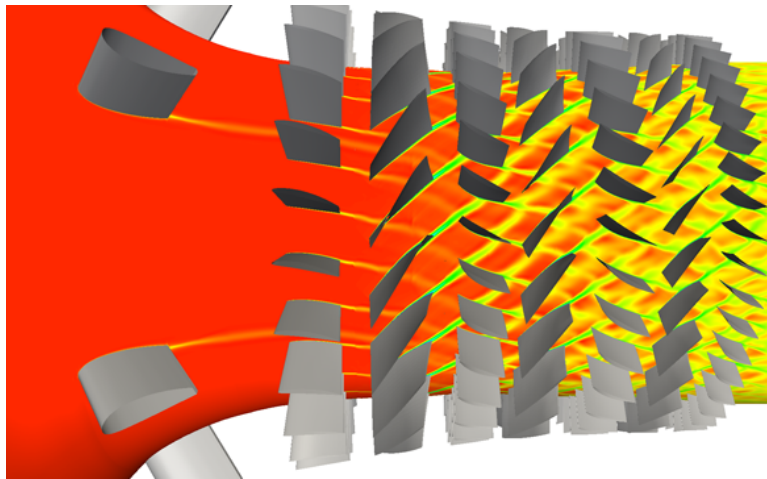
Passenger aircraft



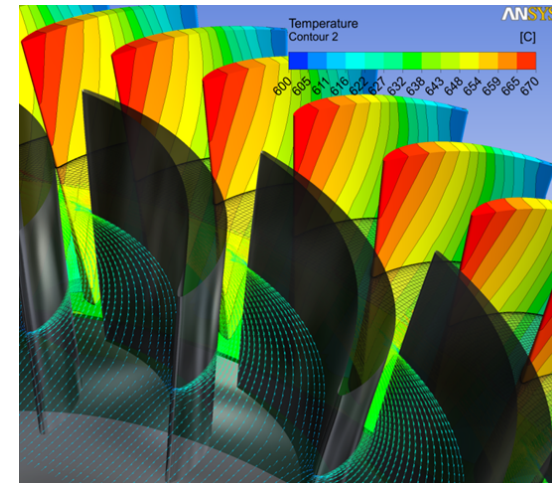
Hypersonic vehicle

Introduzione - Impieghi della CFD

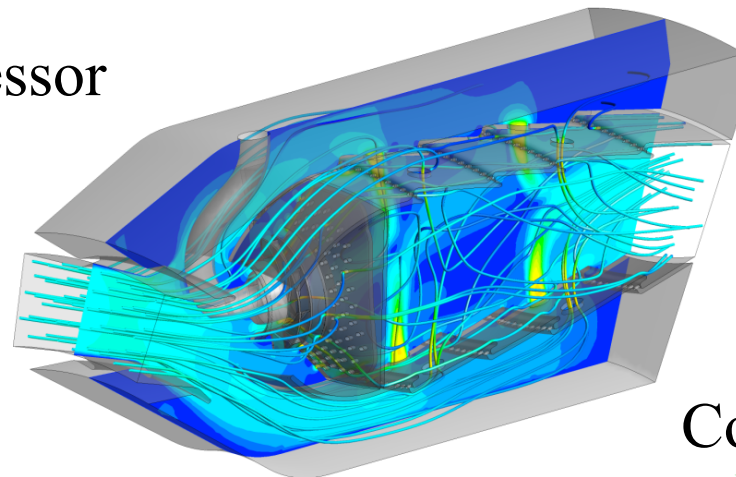
(Sistemi aerospaziali)



Axial Compressor



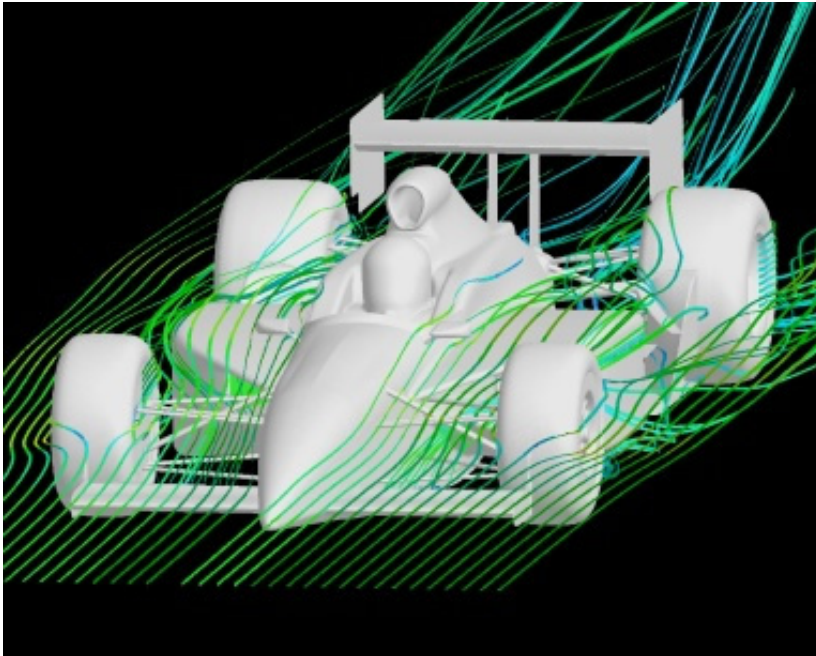
Axial Turbine



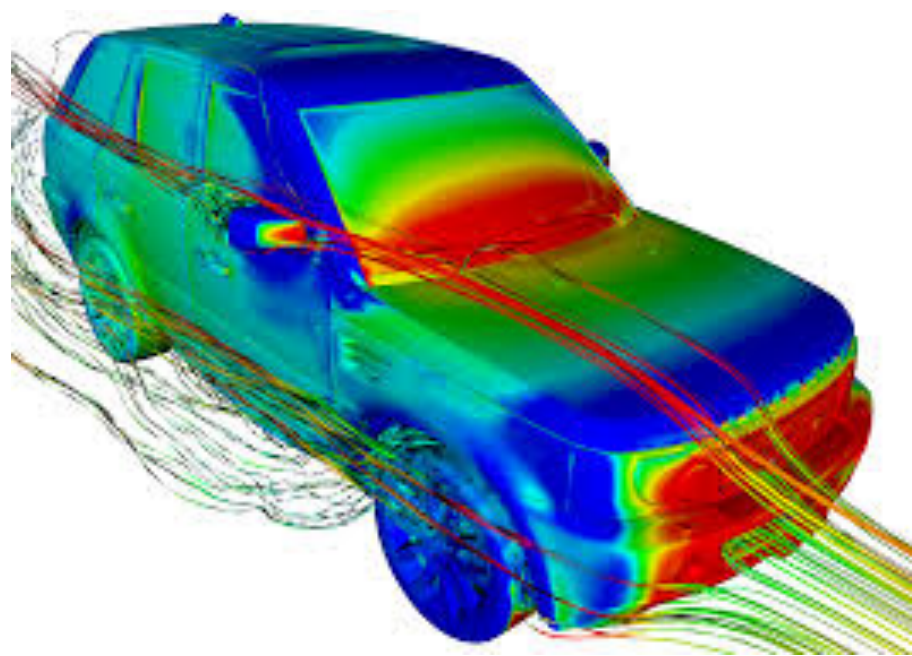
Combustion chamber

Introduzione - Impieghi della CFD

(Industria automobilistica)



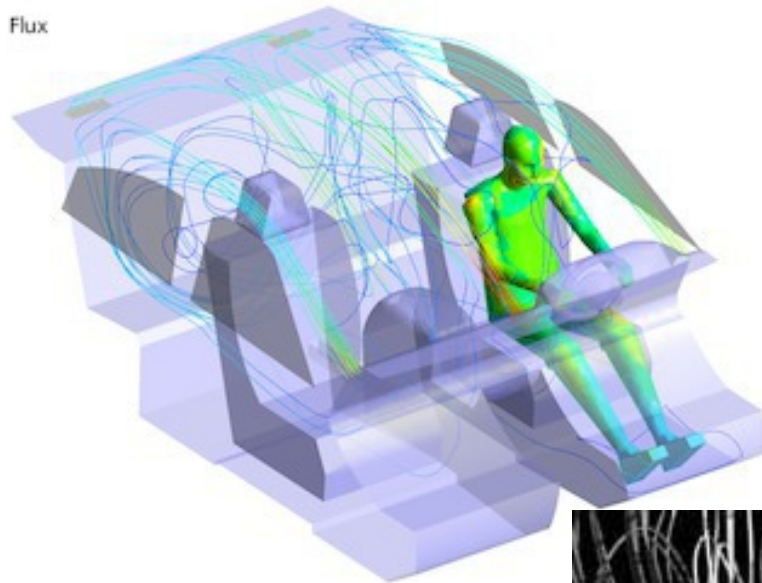
F1 car



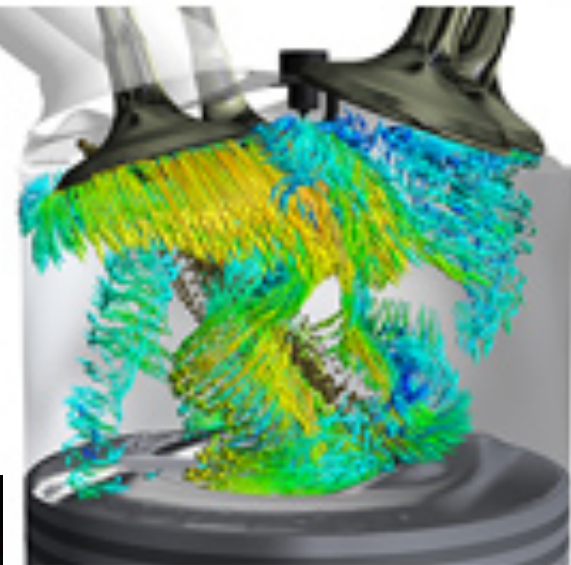
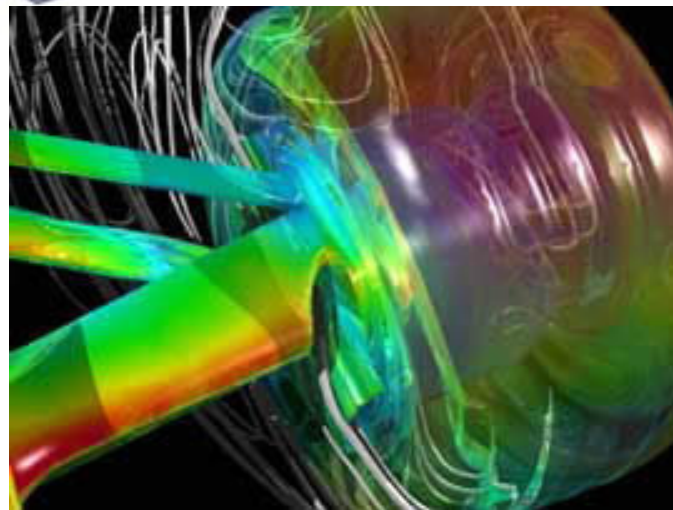
Road car

Introduzione - Impieghi della CFD

(Industria automobilistica)



Internal confort

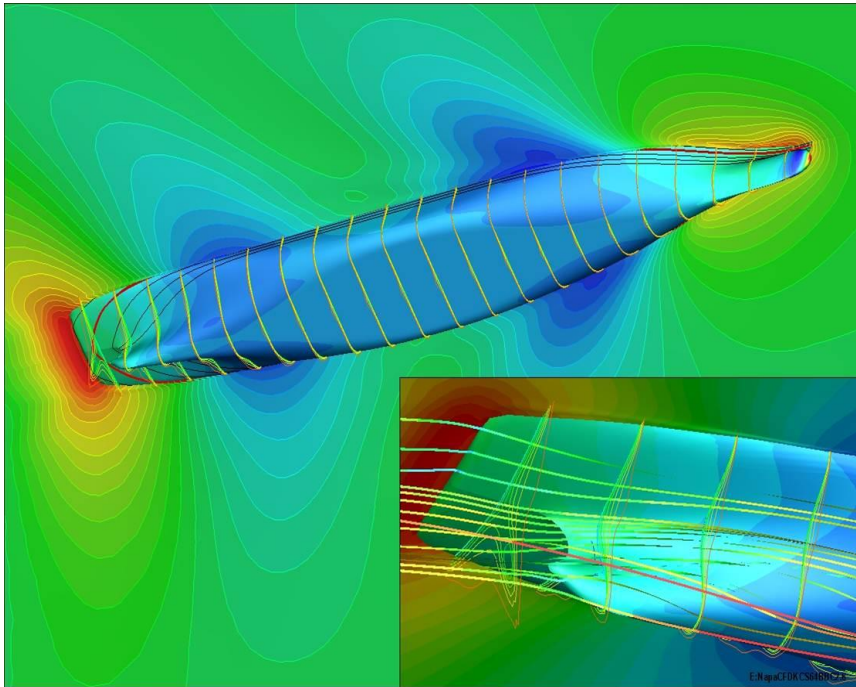


IC engine

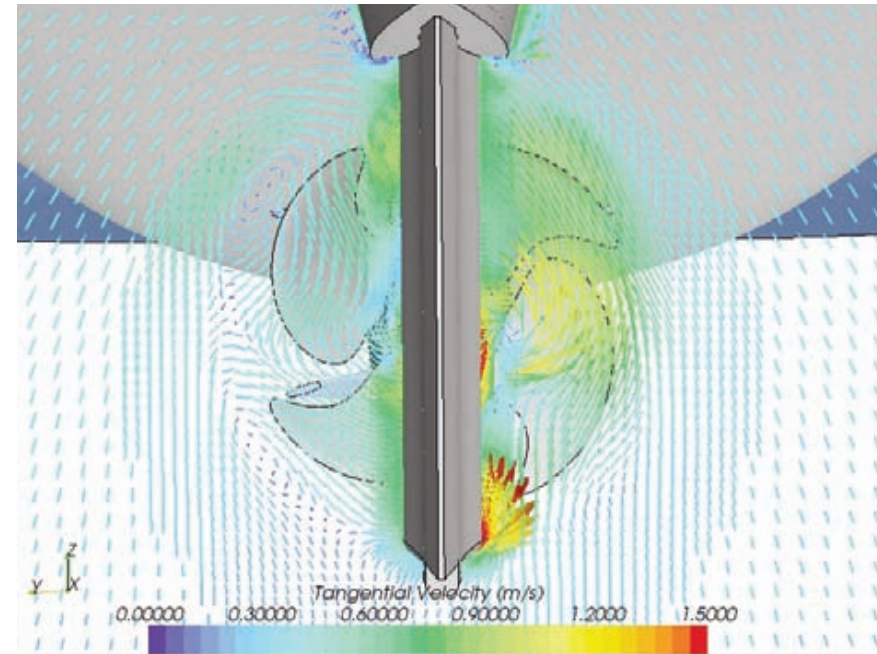
Brakes cooling

Introduzione - Impieghi della CFD

(Industria navale)



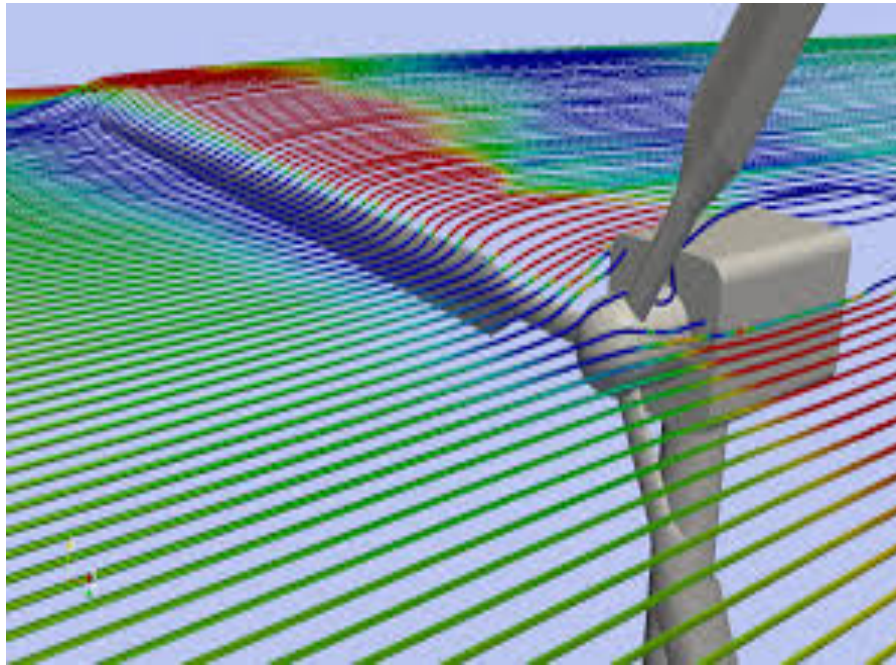
Yacht hull



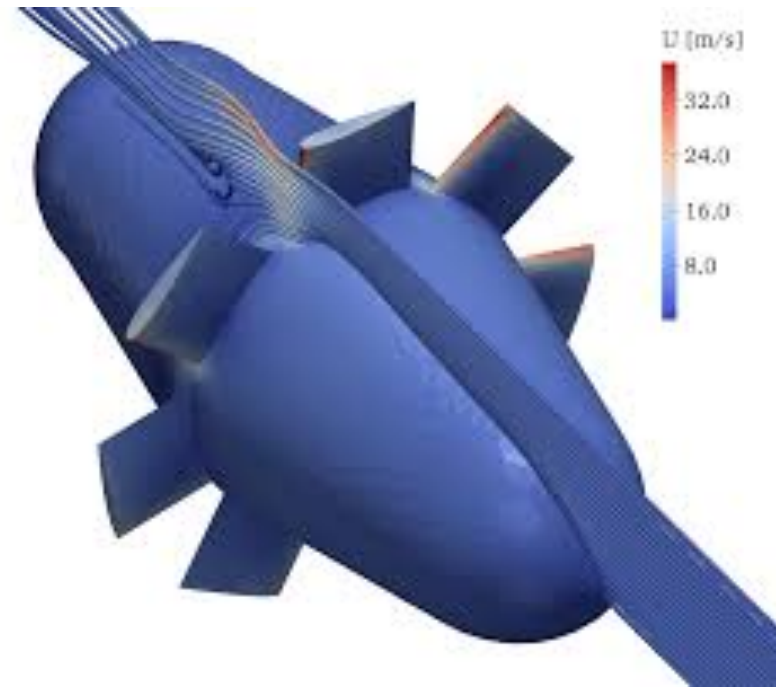
Ship propeller

Introduzione - Impieghi della CFD

(Energie rinnovabili)

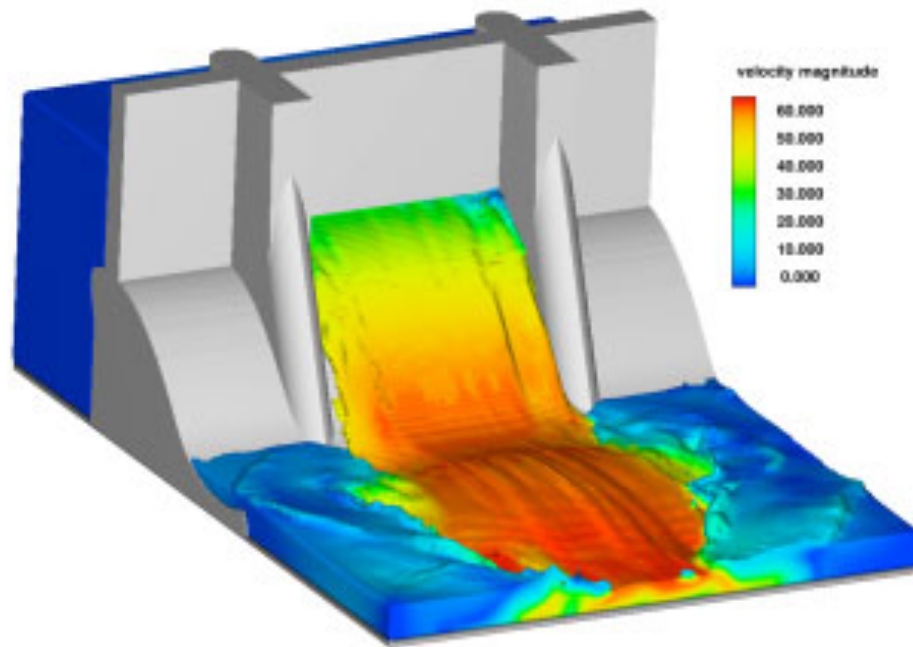


Wind energy

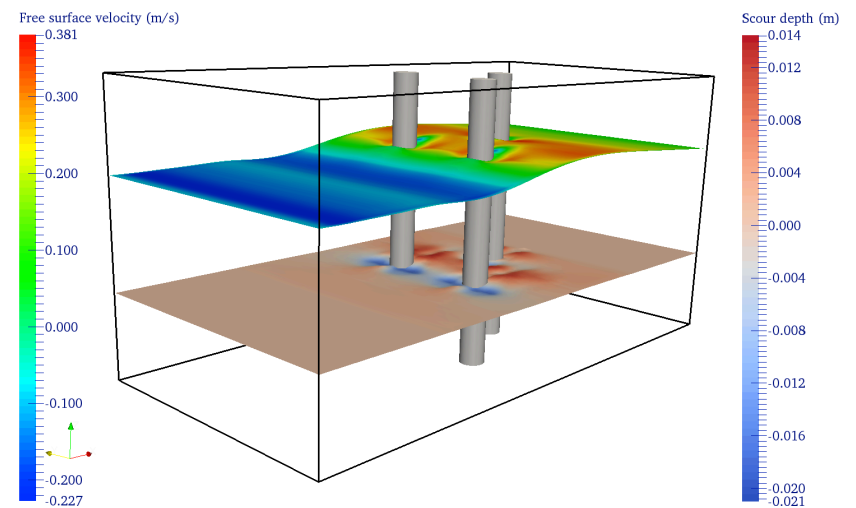


Wave energy

Introduzione - Impieghi della CFD (Idraulica)

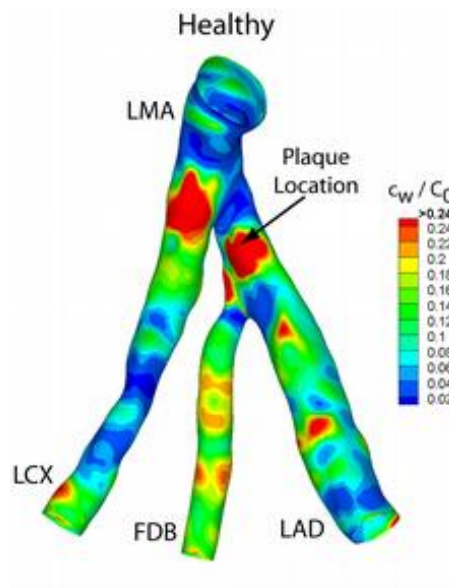


Water dam

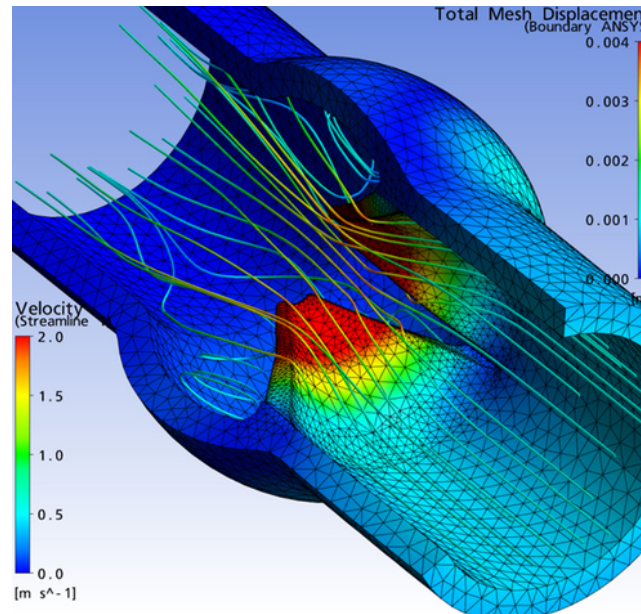


Water scour

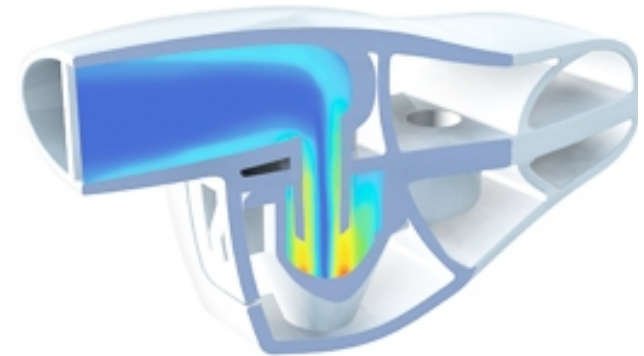
Introduzione - Impieghi della CFD (Medicina)



Blood flux



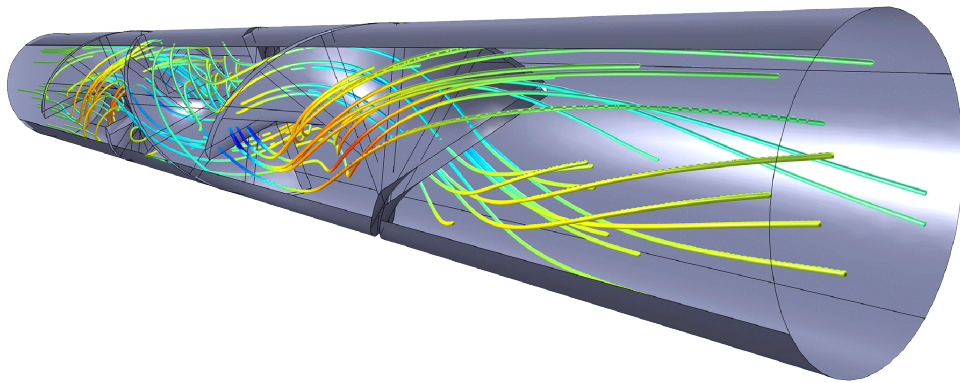
Aortic valve



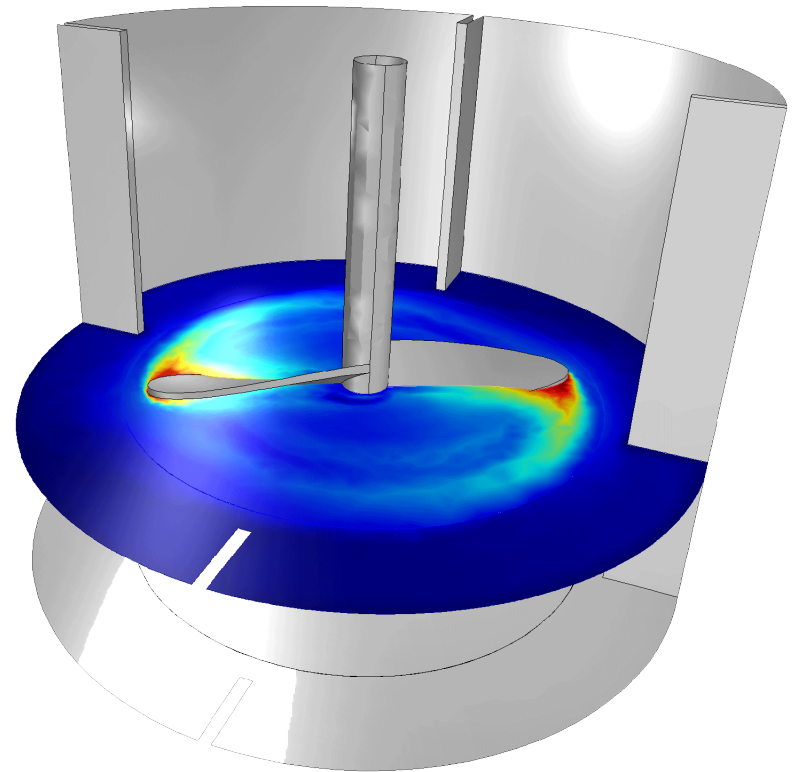
Drug inhaler

Introduzione - Impieghi della CFD

(Applicazioni industriali)



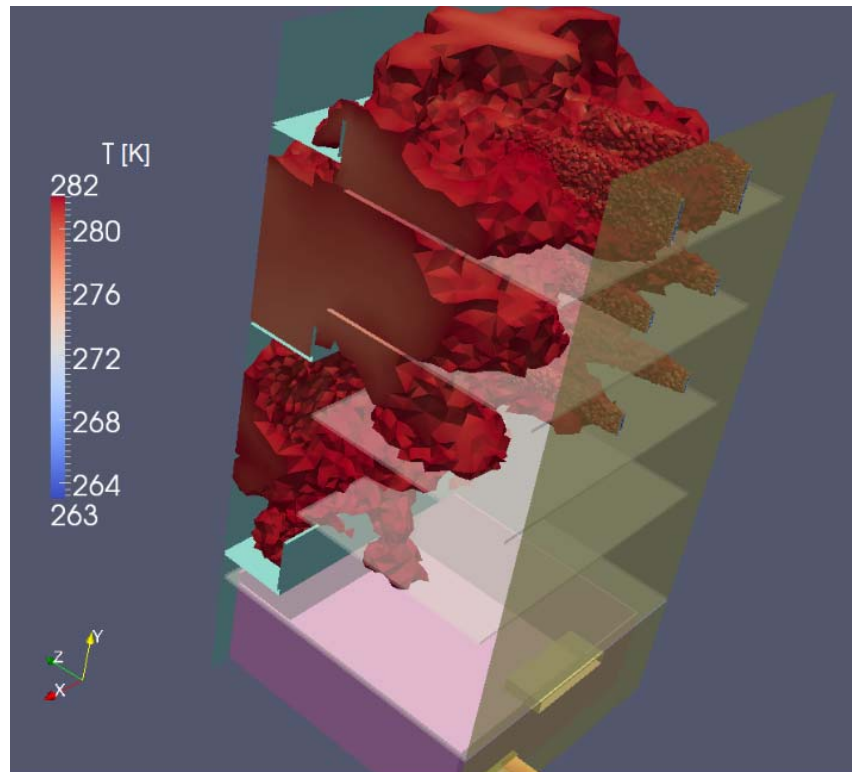
Static mixer



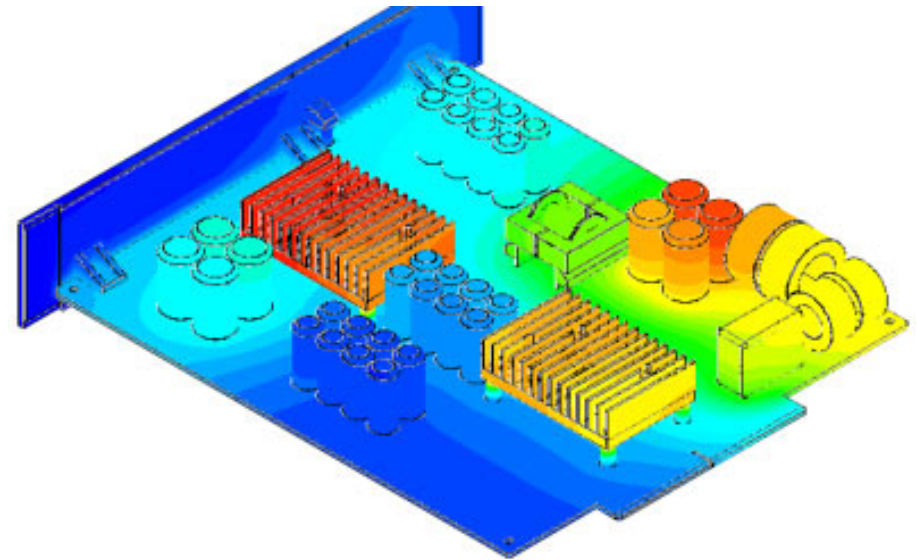
Rotating mixer

Introduzione - Impieghi della CFD

(Applicazioni industriali)



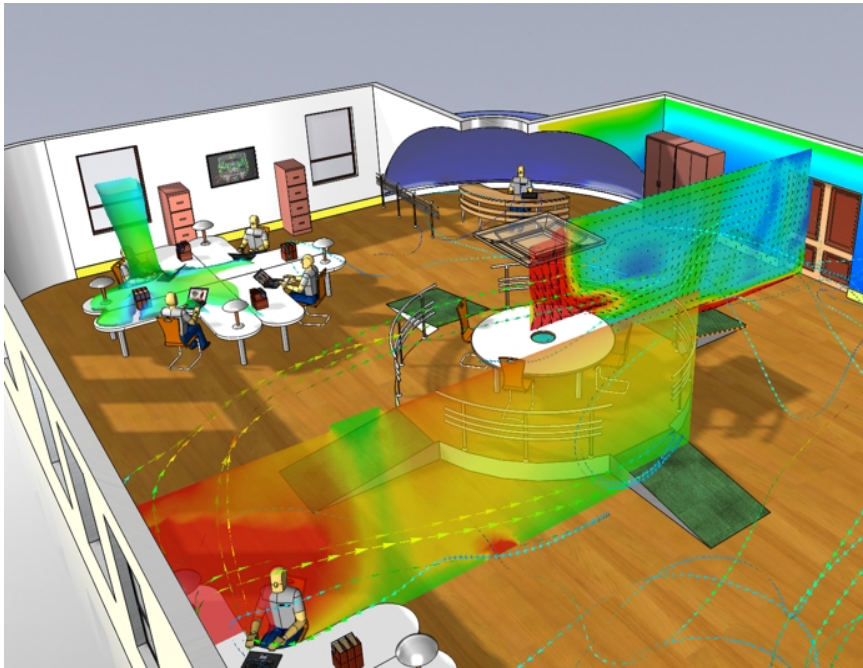
Refrigerator



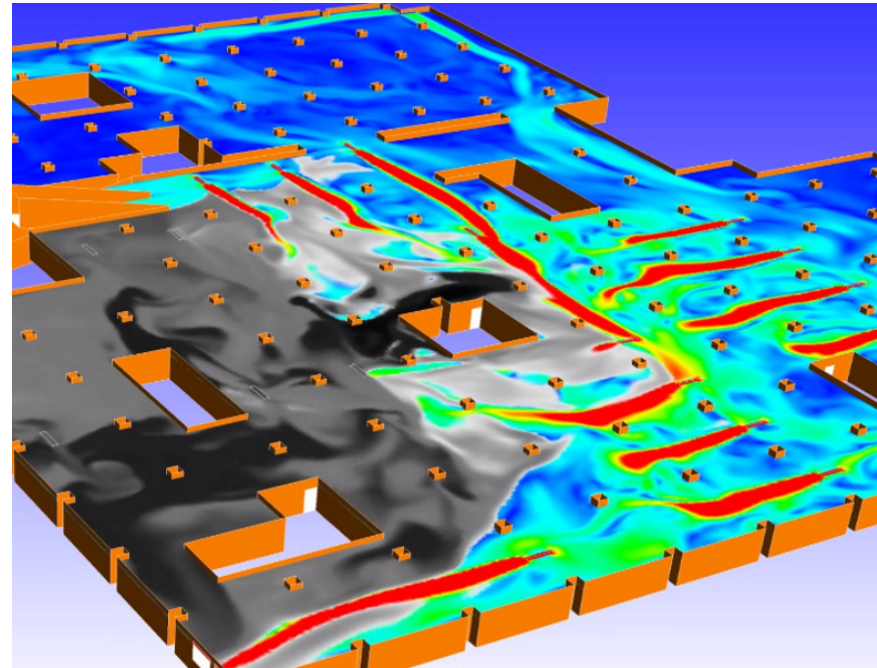
PC motherboard

Introduzione - Impieghi della CFD

(Trattamento dell'aria)

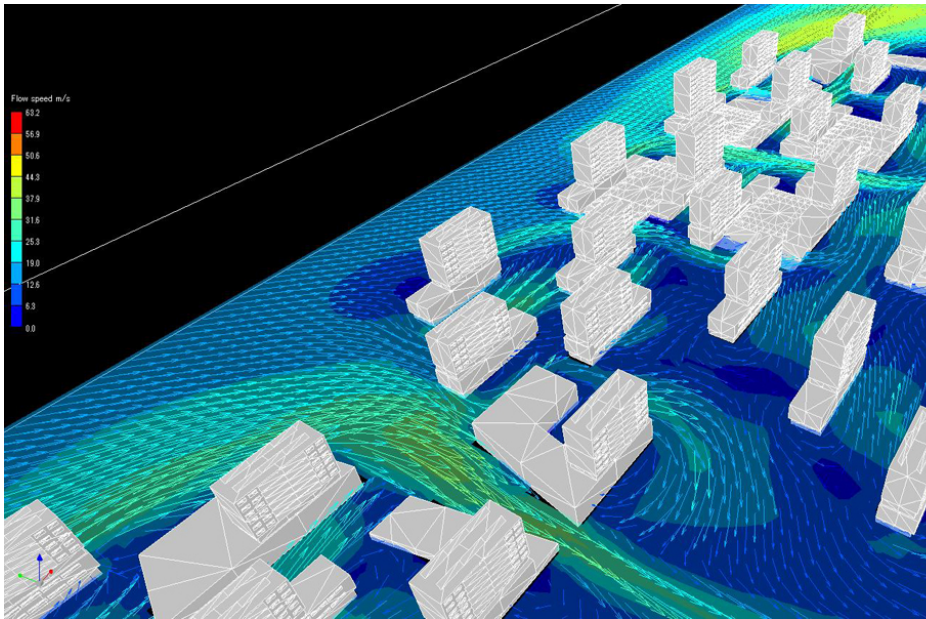


Room ventilation

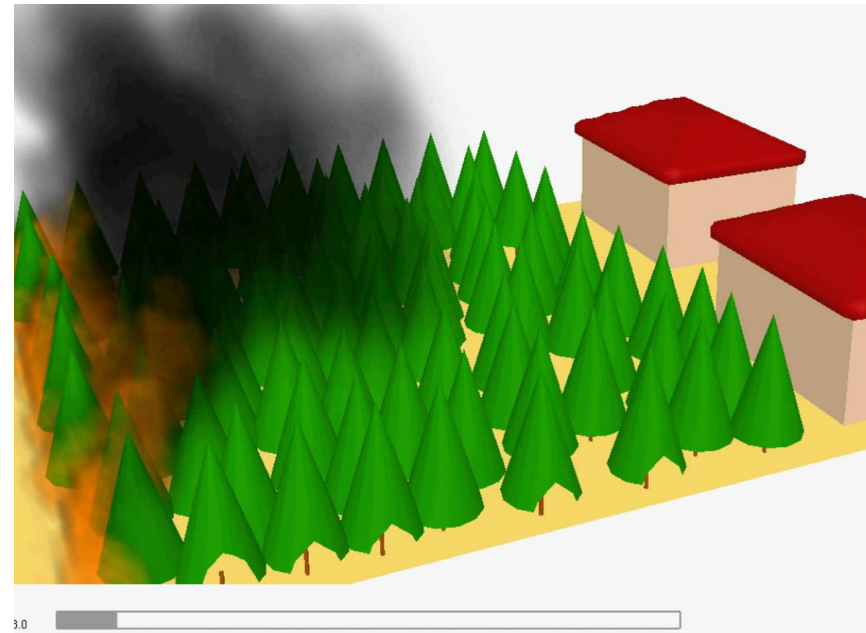


Smoke extraction

Introduzione - Impieghi della CFD (Ambiente)



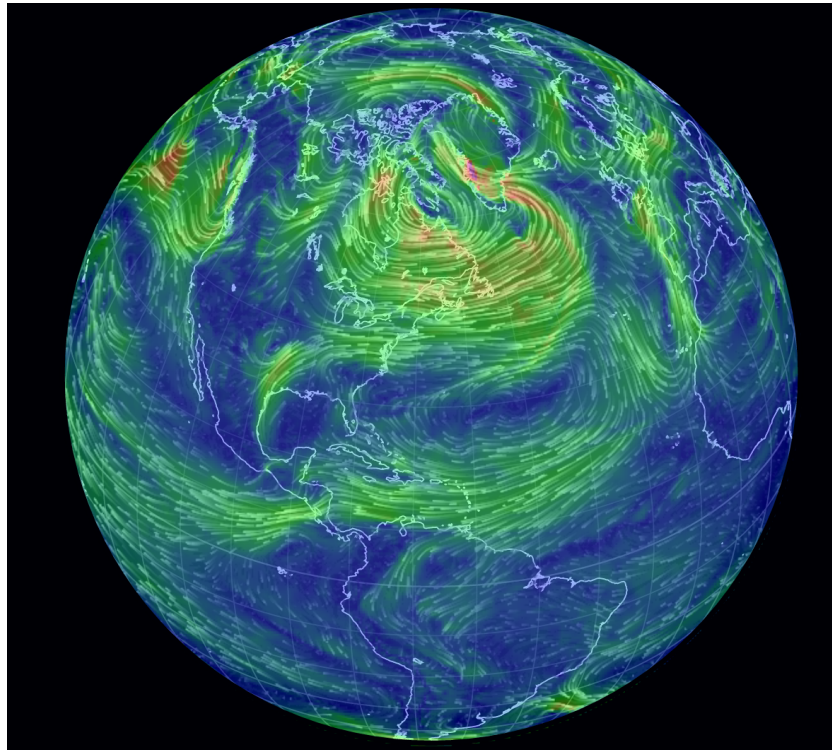
Dispersion



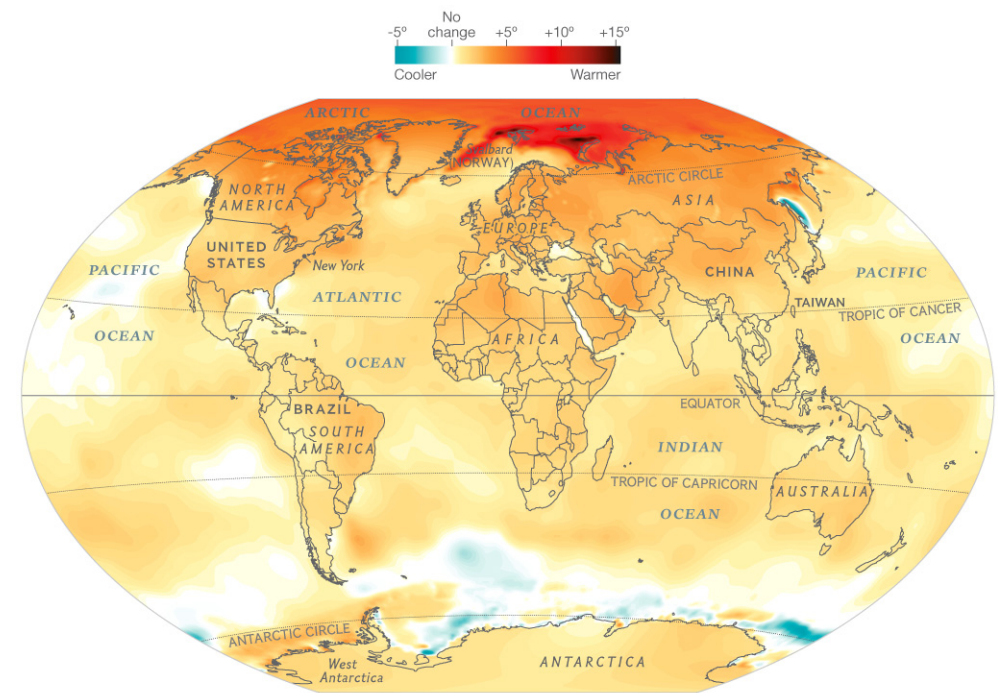
Wildland fire

Introduzione - Impieghi della CFD

(Previsioni)



Weather forecasting



Future scenarios

Introduzione - Impieghi della CFD (Sport)



Cycling



Ski jump

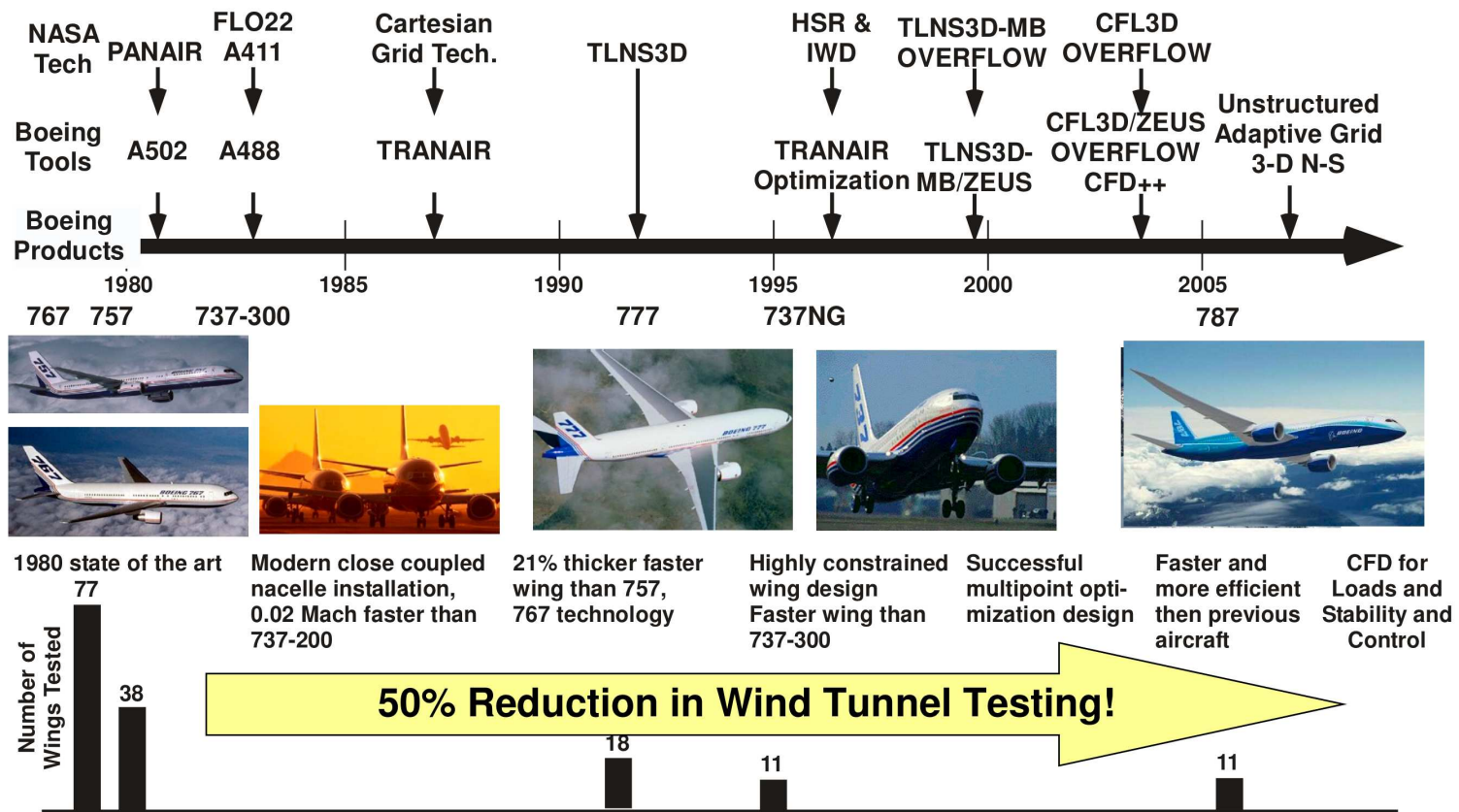
Introduzione - Impieghi della CFD

CFD Contribution to A380

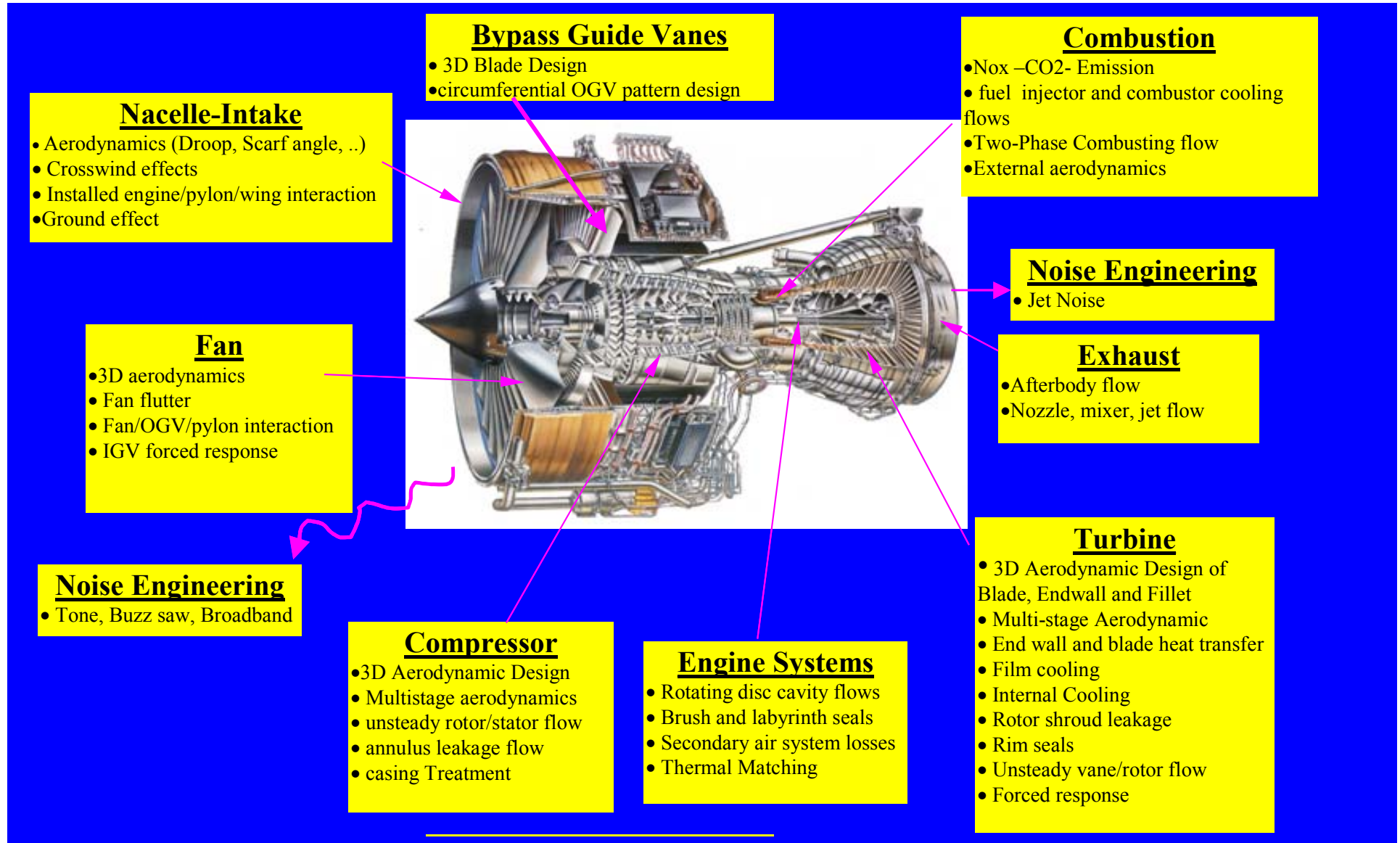


Introduzione - Impieghi della CFD

The Impact of CFD on Configuration Lines and Wind Tunnel Testing



Introduzione - Impieghi della CFD



Introduzione - Impieghi della CFD



70s



80s



90s



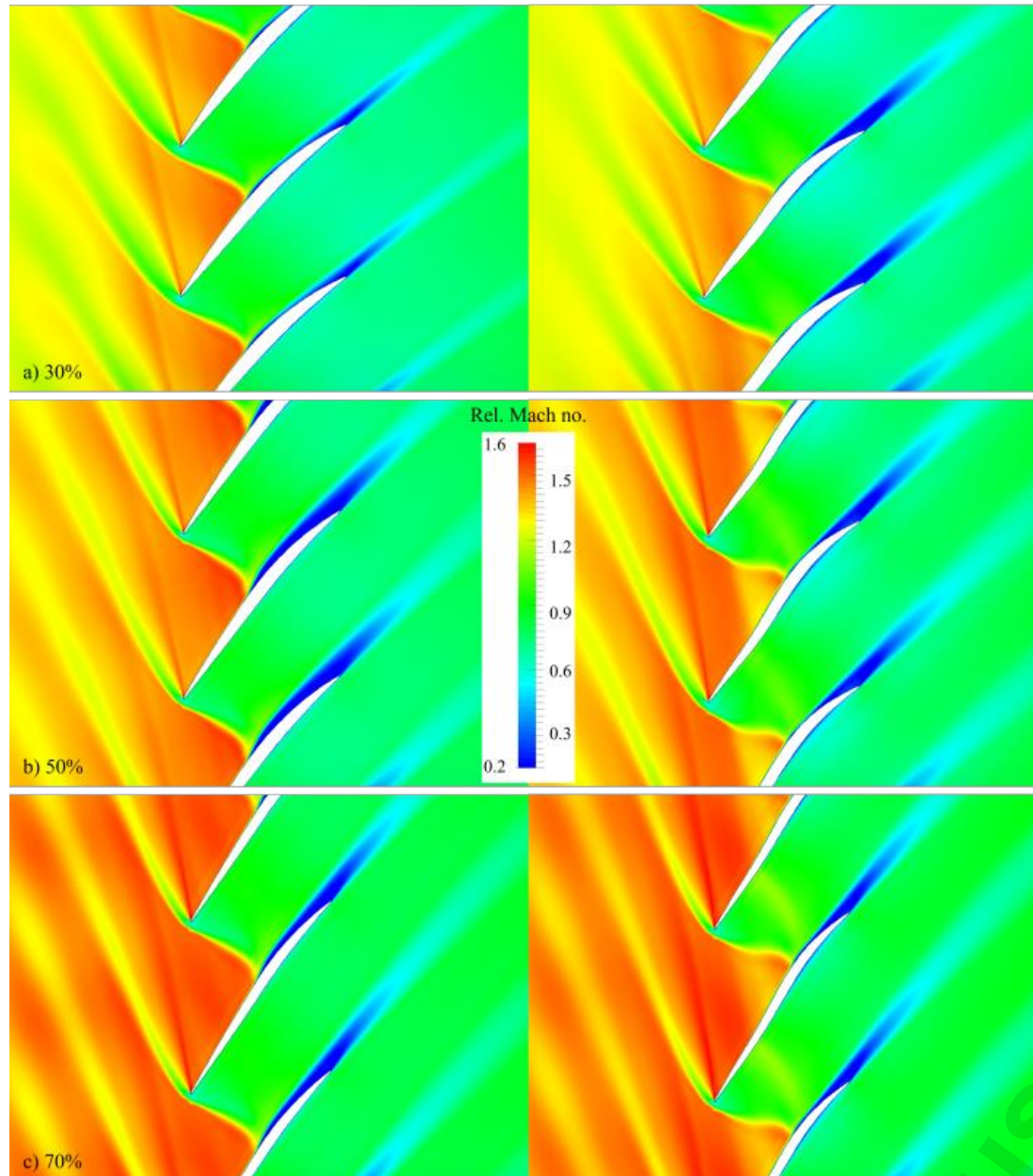
2000 -



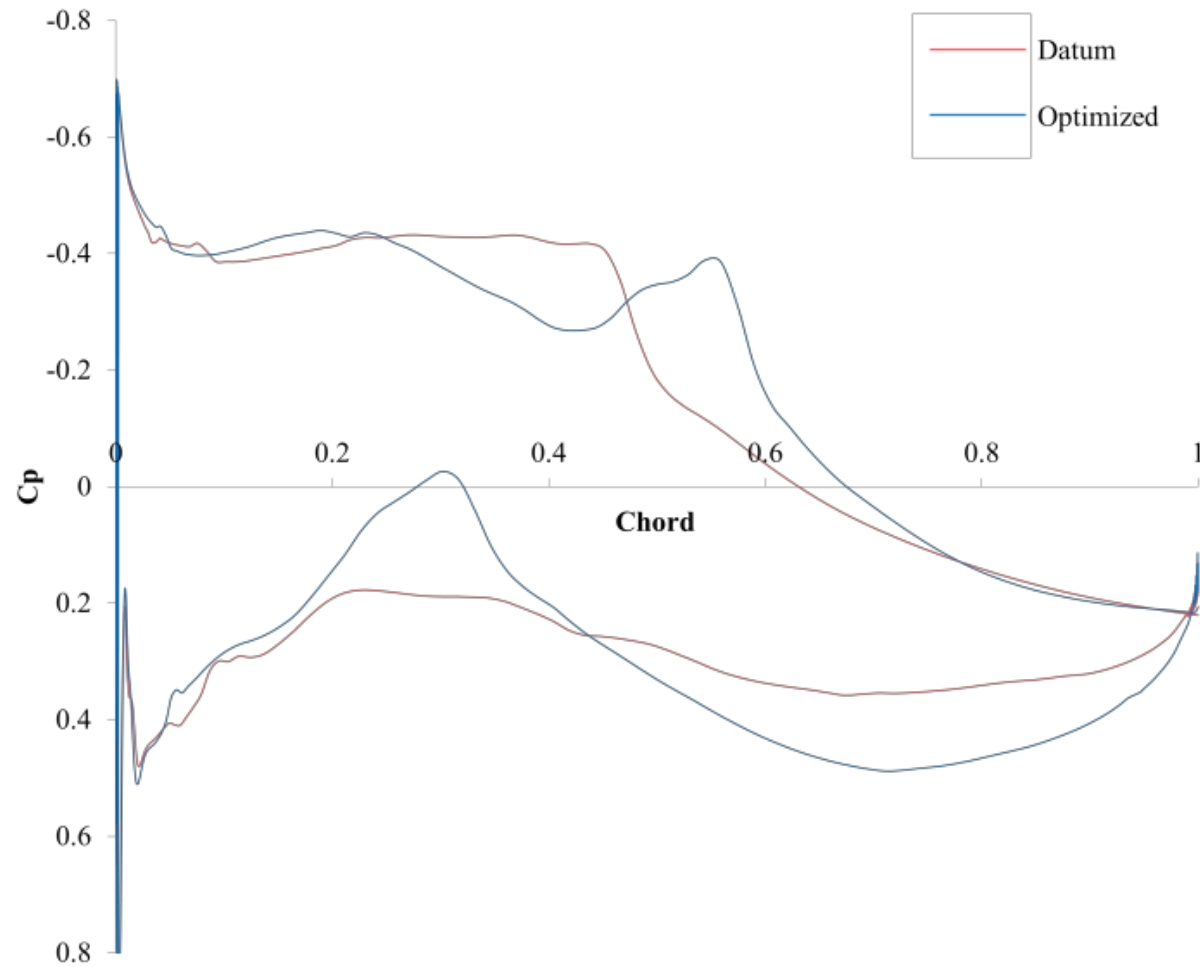
Introduzione – Ingredienti per la CFD



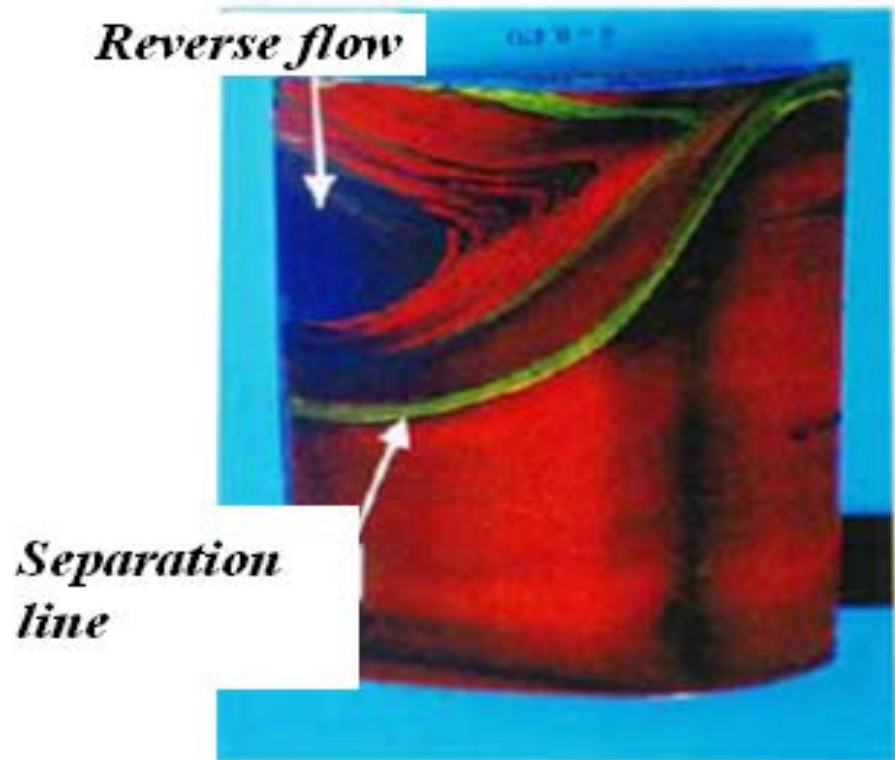
Introduzione - Impieghi della CFD



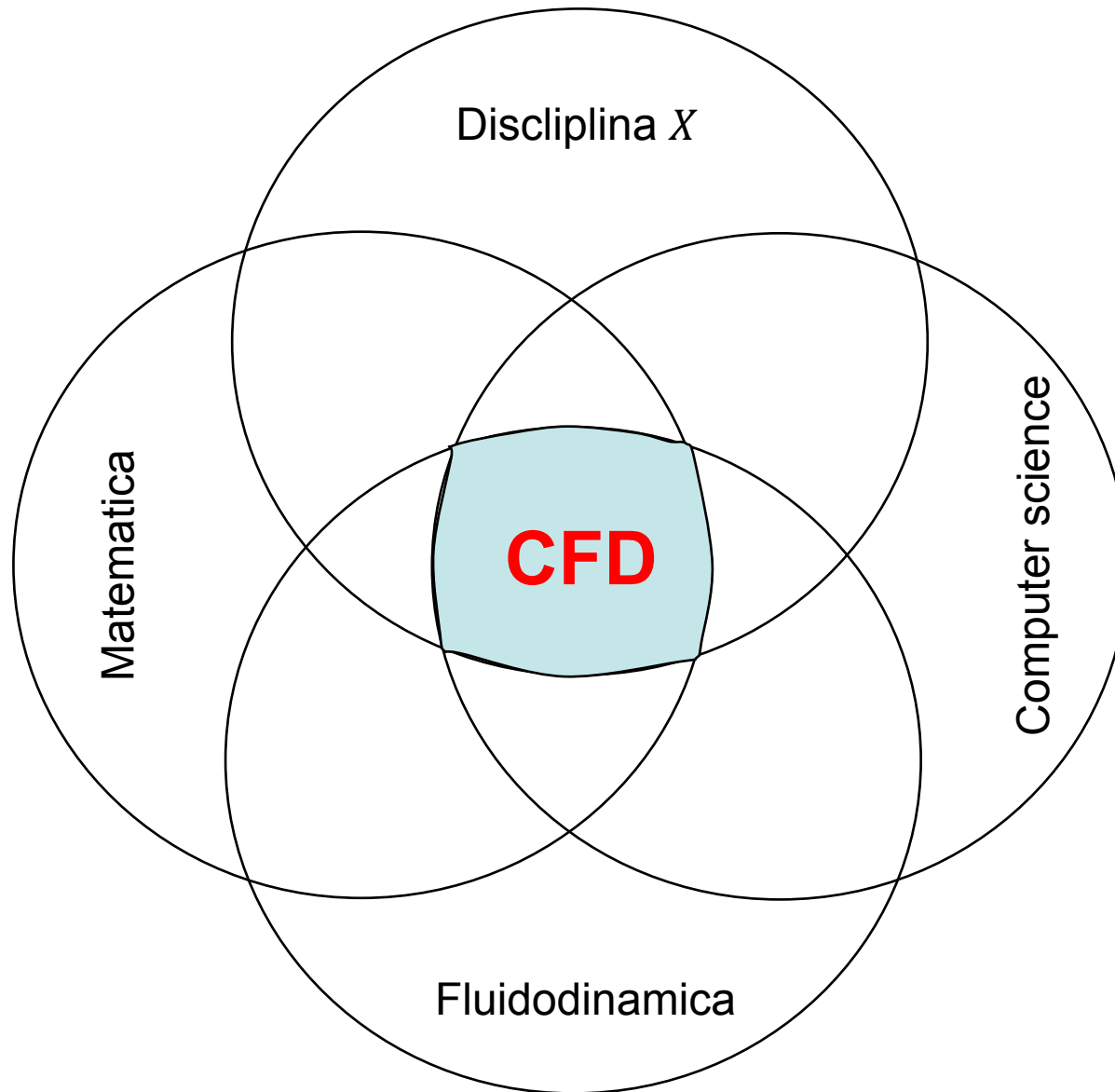
Introduzione - Impieghi della CFD



Introduzione - Impieghi della CFD



Introduzione – Ingredienti per CFD



Discliplina X:

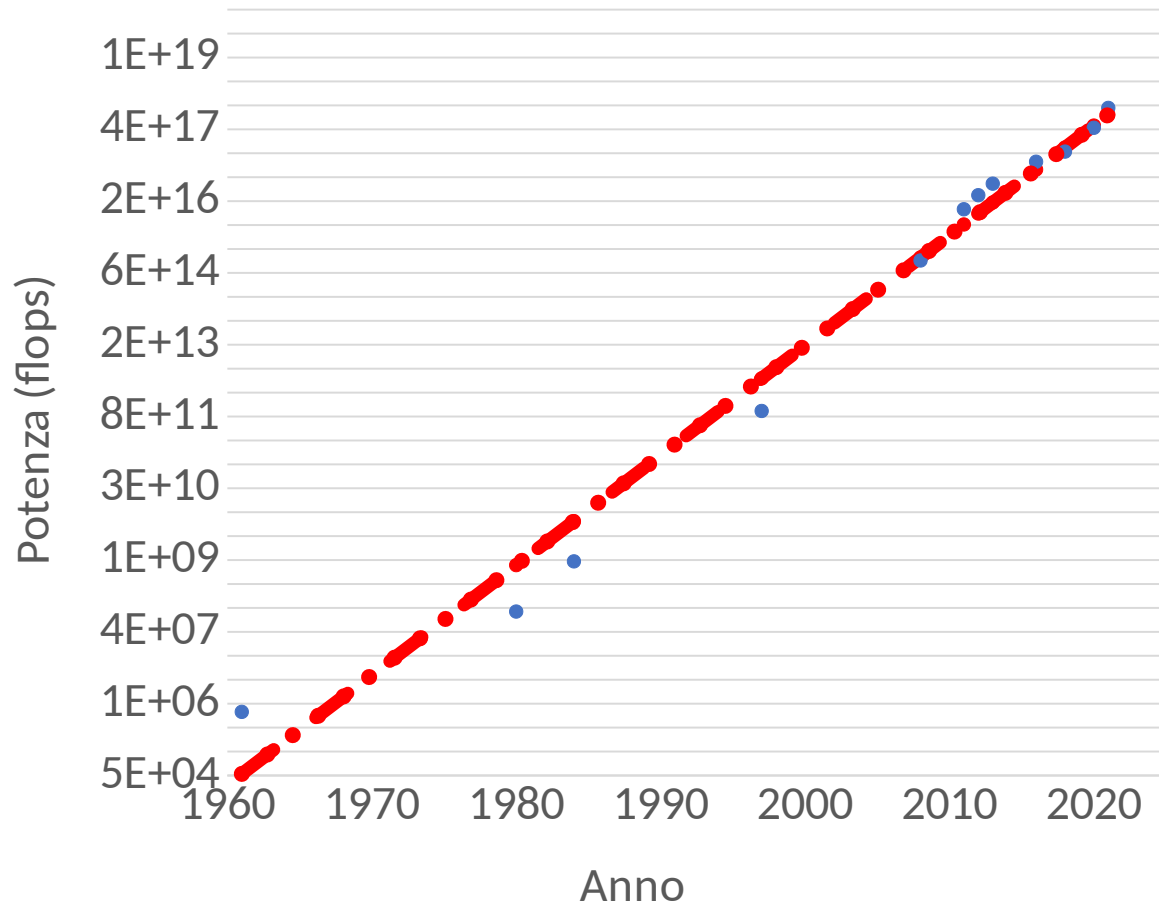
- Aeronautica
- Idraulica
- Chimica di processo

Introduzione – Ingredienti per la CFD (Crescita in potenza di calcolo)

| Anno | Computer | Potenza di calcolo |
|------|-------------------|--------------------|
| 1961 | IBM 7030 Stretch | 1 Megaflop |
| 1980 | Cray 1 | 100 Megaflops |
| 1984 | M-13 | 1 Gigaflop |
| 1997 | Asci Red | 1 Teraflop |
| 2008 | IBM Roadrunner | 1 Petaflop |
| 2011 | Fujitsu K | 10.5 Petaflops |
| 2012 | Cray XK7 | 20 Petaflops |
| 2013 | Tiahne 2 | 34 Petaflops |
| 2016 | Sunway TaihuLight | 93 Petaflops |
| 2018 | Summit | 148 Petaflops |
| 2020 | Fugaku | 442 Petaflops |
| 2021 | Frontier | 1.1 Exaflops |

- Il mio portatile (2018) ha una Potenza di calcolo di 116 Gflops
- La mia workstation (2019, circa 2000 euro) ha una potenza di calcolo di 1.7 Tflops
- La scheda grafica piu' potente (NVIDIA Titan V, circa 3000 euro) ha una potenza di calcolo di 110 Tflops

Introduzione – Ingredienti per la CFD (Crescita in potenza di calcolo)



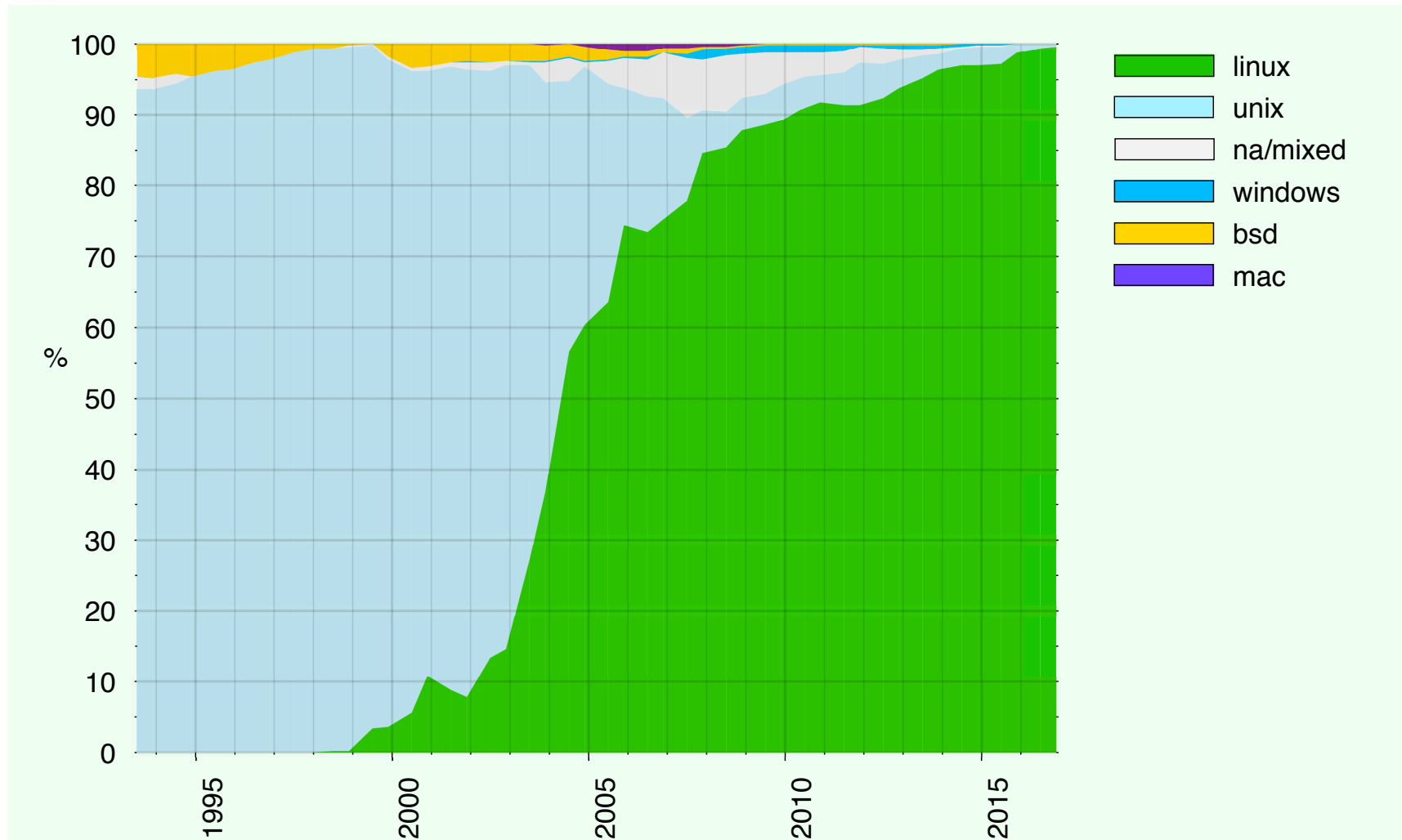
- Il mio portatile (2018) ha una Potenza di calcolo di 116 Gflops
- La mia workstation (2019, circa 2000 euro) ha una potenza di calcolo di 1.7 Tflops
- La scheda grafica piu' potente (NVIDIA Titan V, circa 3000 euro) ha una potenza di calcolo di 110 Tflops
- La potenza di calcolo cresce di 1.66 volte ogni anno, raddoppia ogni 2.33 anni, cresce di 10 volte ogni 5.57 anni

Introduzione – Ingredienti per la CFD (Maggiori potenze di calcolo attuali)

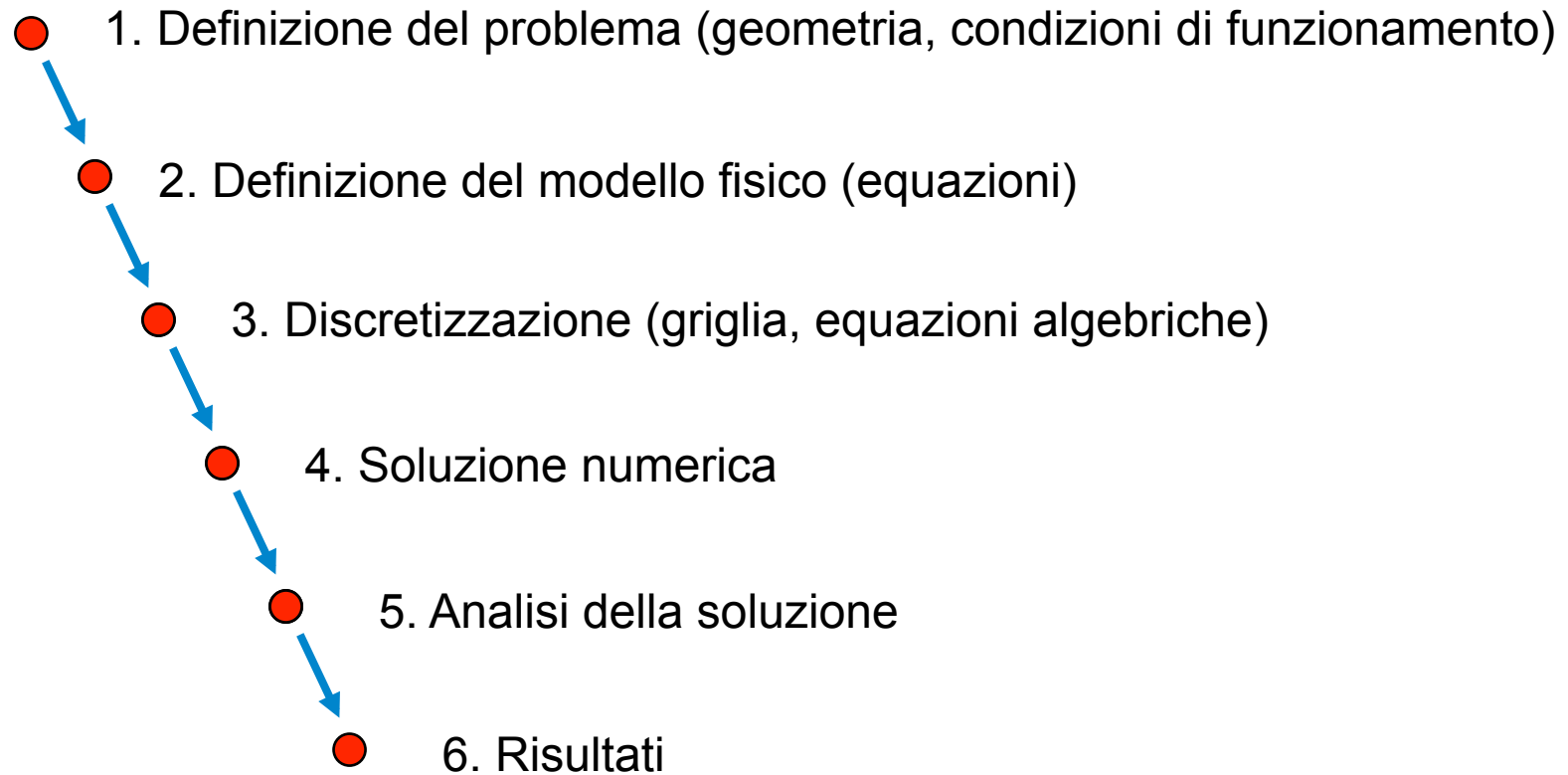
| | Computer | Nazione | Potenza (flops) | Cores (milioni) | Potenza (MW) | Sistema Operativo |
|----|-------------------|----------------|------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|
| 1 | Frontier | United States | 1.10E+18 | 8.73 | 21.1 | Cray OS |
| 2 | Fugaku | Japan | 4.42E+17 | 7.63 | 29.9 | RedHat Linux |
| 3 | LUMI | Finland | 1.52E+17 | 1.11 | 2.9 | Cray OS |
| 4 | Summit | United States | 1.49E+17 | 2.41 | 10.1 | RedHat Linux |
| 5 | Sierra | United States | 9.46E+16 | 1.57 | 7.4 | RedHat Linux |
| 6 | Sunway TaihuLight | China | 9.30E+16 | 10.65 | 15.4 | SunWay RaiseOS |
| 7 | Perlmutter | United States | 7.09E+16 | 0.76 | 2.6 | Cray OS |
| 8 | Selene | United States | 6.35E+16 | 0.56 | 2.6 | Ubuntu Linux |
| 9 | Tianhe-2A | China | 6.14E+16 | 4.98 | 18.5 | Kylin Linux |
| 10 | Adastra | France | 4.61E+16 | 0.32 | 0.9 | Cray OS |

Introduzione – Ingredienti per la CFD

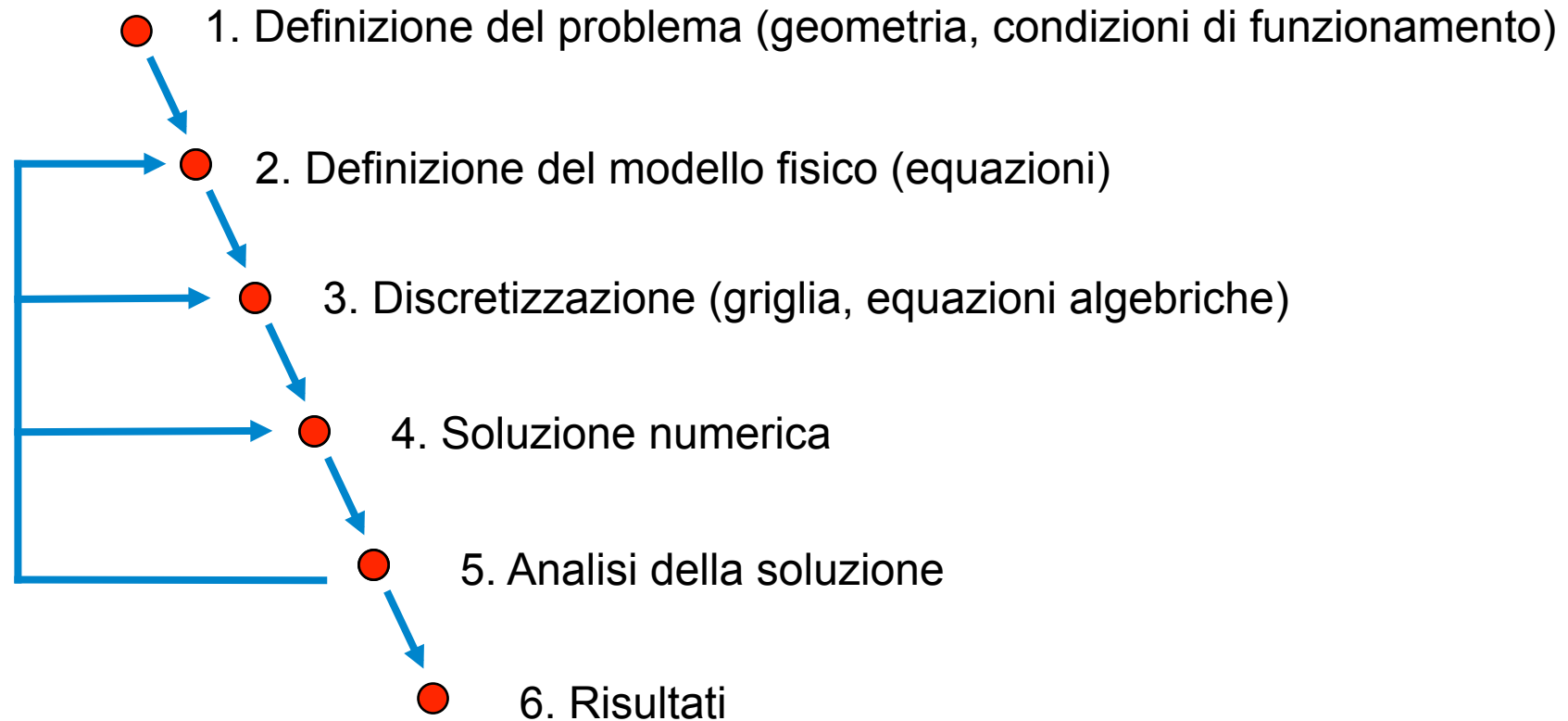
(Distribuzione potenze di calcolo - sistema operativo)



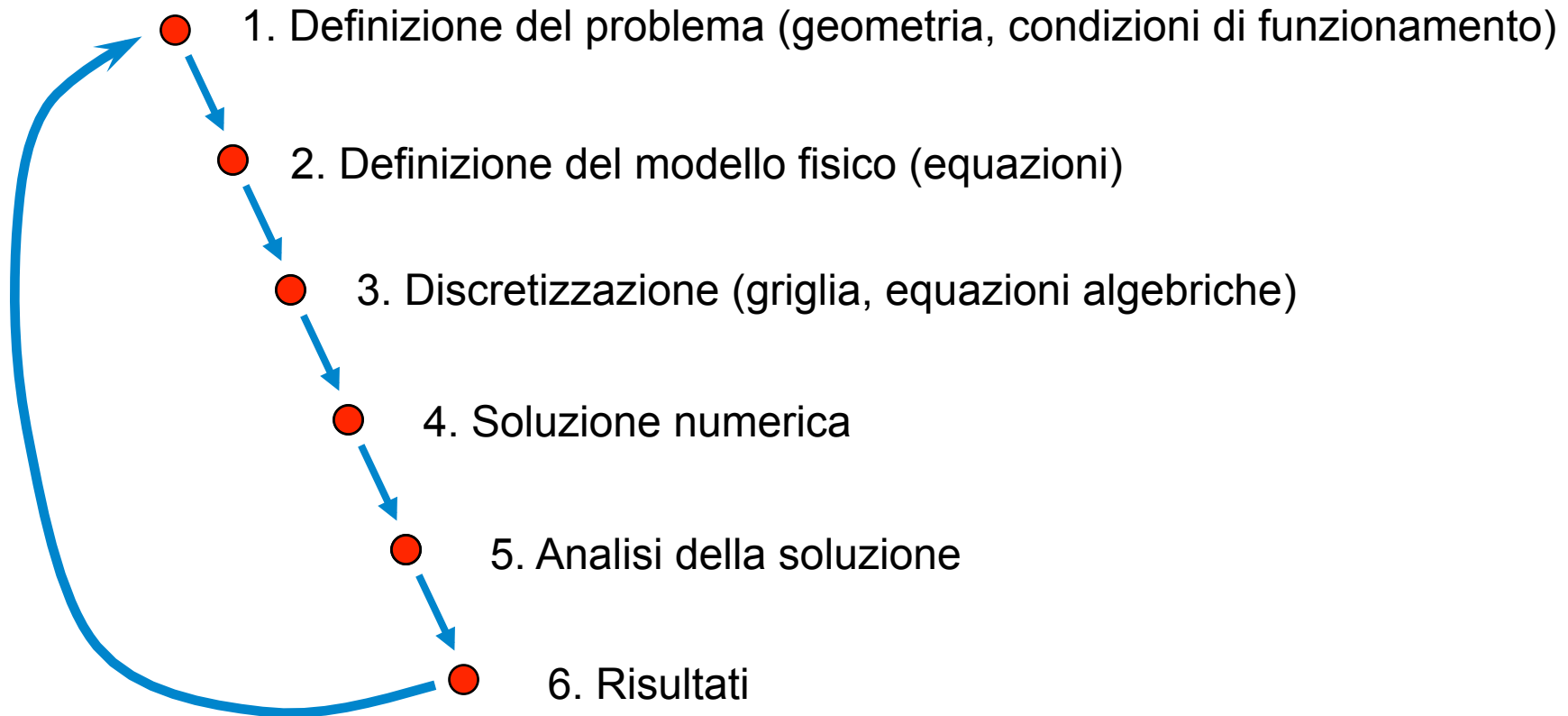
Passi di una simulazione numerica



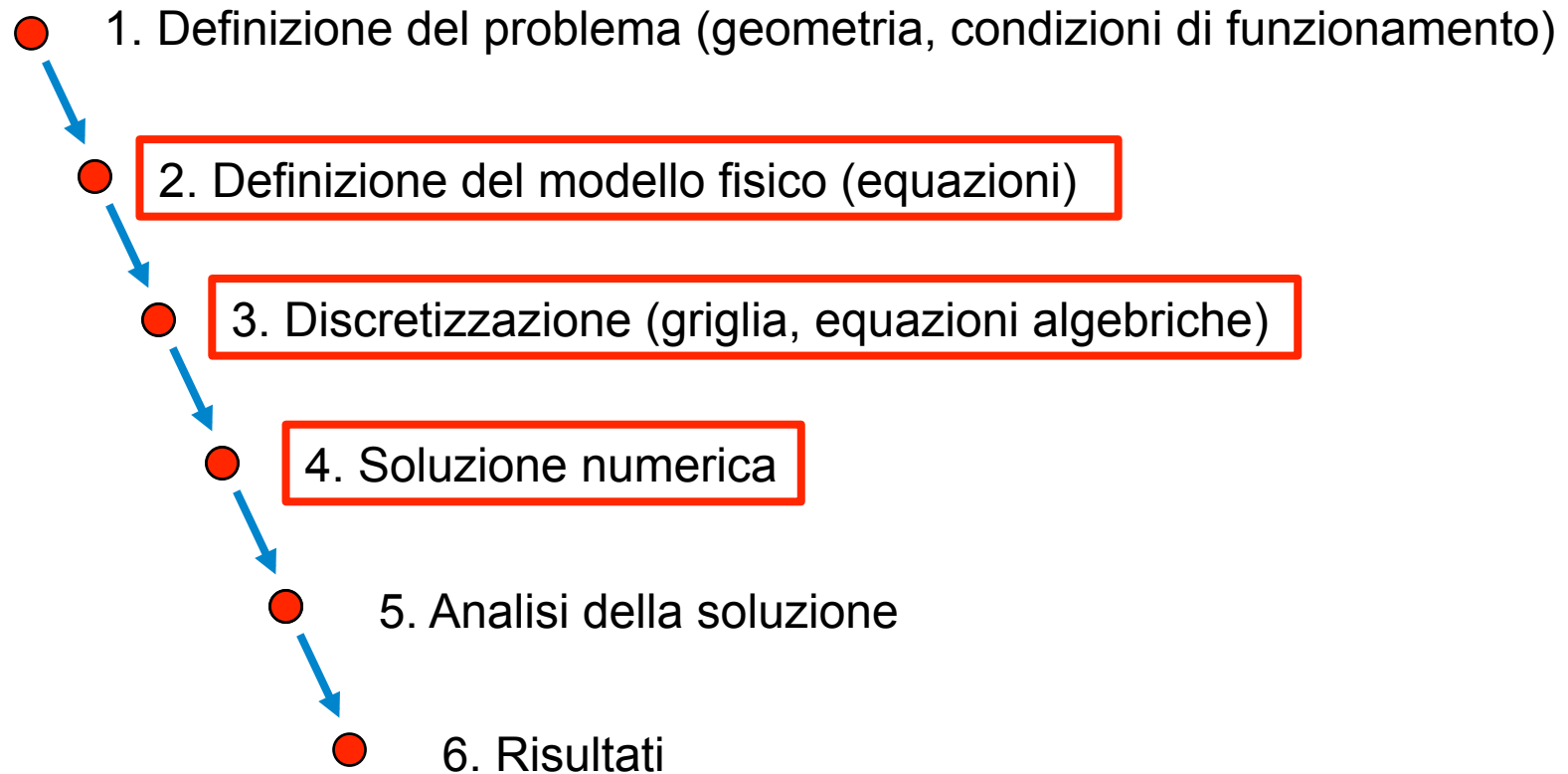
Passi di una simulazione numerica



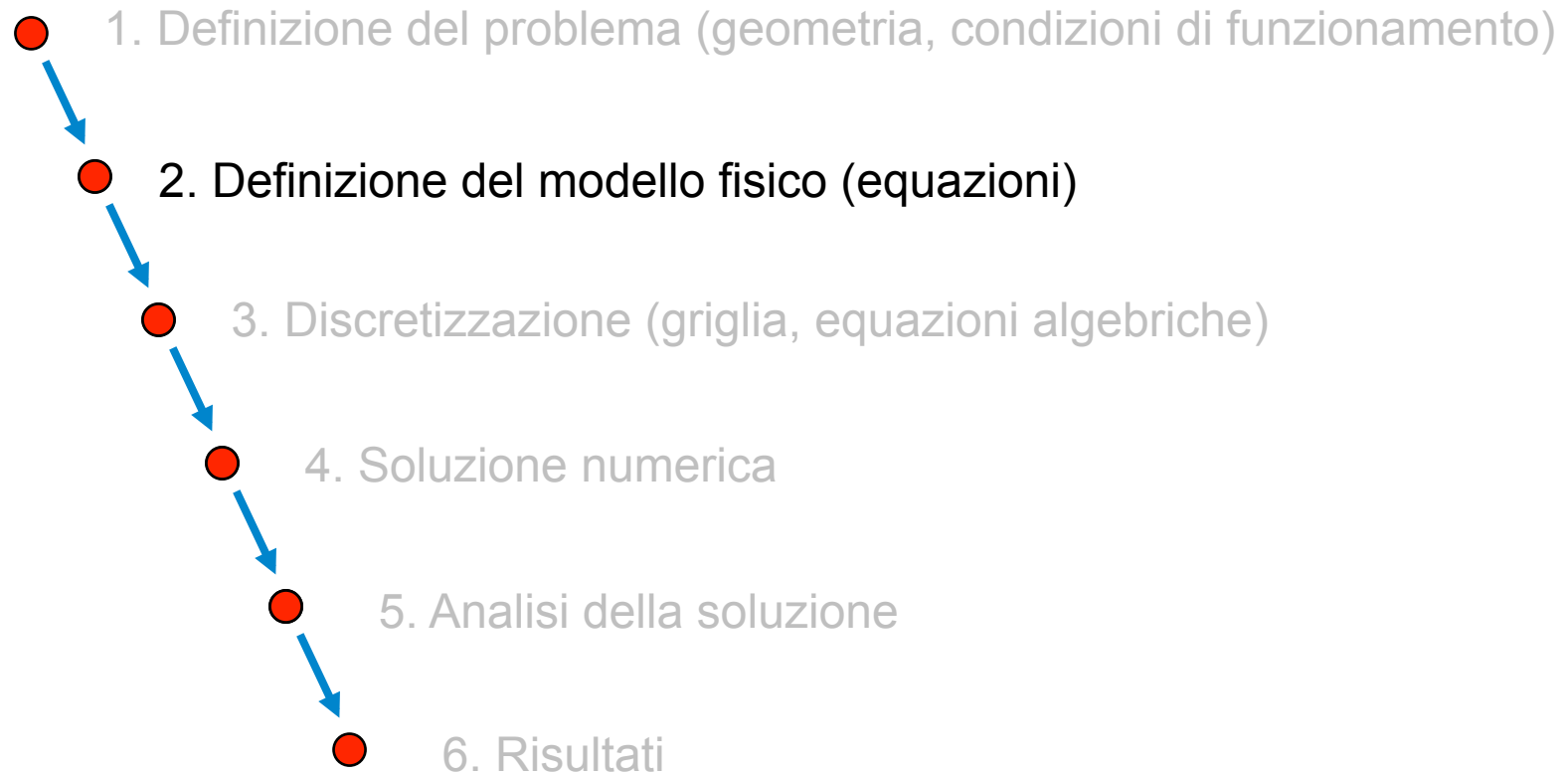
Passi di una simulazione numerica



Passi di una simulazione numerica



Passi di una simulazione numerica



Passi di una simulazione numerica

2. Definizione del modello fisico (equazioni)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0$$

CONS. MASSA

$$\frac{\partial(\rho \vec{V})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) = -\nabla p + \nabla \cdot \bar{\bar{\tau}} + \vec{S}_v$$

CONS. Q.TÀ DI MOTO

$$\frac{\partial \rho e}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V} e) = -\nabla \cdot (p \vec{V}) + \nabla \cdot (\bar{\bar{\tau}} \cdot \vec{V}) + \nabla \cdot (k \nabla T) + S_e$$

CONS. ENERGIA

+ CONDIZIONI AL CONTORNO

Passi di una simulazione numerica

2. Definizione del modello fisico (equazioni)

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} &= 0 && \text{CONS. MASSA} \\ \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial \rho u u}{\partial x} + \frac{\partial \rho u v}{\partial y} + \frac{\partial \rho u w}{\partial z} &= \left(-\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right) + S_x \\ \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial \rho u v}{\partial x} + \frac{\partial \rho v v}{\partial y} + \frac{\partial \rho v w}{\partial z} &= \left(-\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \right) + S_y \\ \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial \rho u w}{\partial x} + \frac{\partial \rho v w}{\partial y} + \frac{\partial \rho w w}{\partial z} &= \left(-\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) + S_z \\ \frac{\partial \rho e}{\partial t} + \frac{\partial \rho e u}{\partial x} + \frac{\partial \rho e v}{\partial y} + \frac{\partial \rho e w}{\partial z} &= -\frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} + \\ &\quad \frac{\partial \tau_{xx} u}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx} u}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx} u}{\partial z} + \\ &\quad \frac{\partial \tau_{xy} v}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy} v}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy} v}{\partial z} + \\ &\quad \frac{\partial \tau_{xz} w}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz} w}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz} w}{\partial z} + \\ &\quad \frac{\partial k \frac{\partial T}{\partial x}}{\partial x} + \frac{\partial k \frac{\partial T}{\partial y}}{\partial y} + \frac{\partial k \frac{\partial T}{\partial z}}{\partial z} + S_e \end{aligned}$$

3 EQUAZIONI
CONS. Q.TÀ DI MOTO

CONS. ENERGIA

+ CONDIZIONI AL CONTORNO

Passi di una simulazione numerica

2. Definizione del modello fisico (equazioni)

- 4 variabili indipendenti: t, x, y, z

- 13 variabili dipendenti: $\rho, p, T, u, v, w, e, 6\tau_{ij}$

- 5 equazioni differenziali

- 2 equazioni di stato

- modello per il tensore degli sforzi (fluido Newtoniano)

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \lambda \nabla \cdot \vec{V}$$

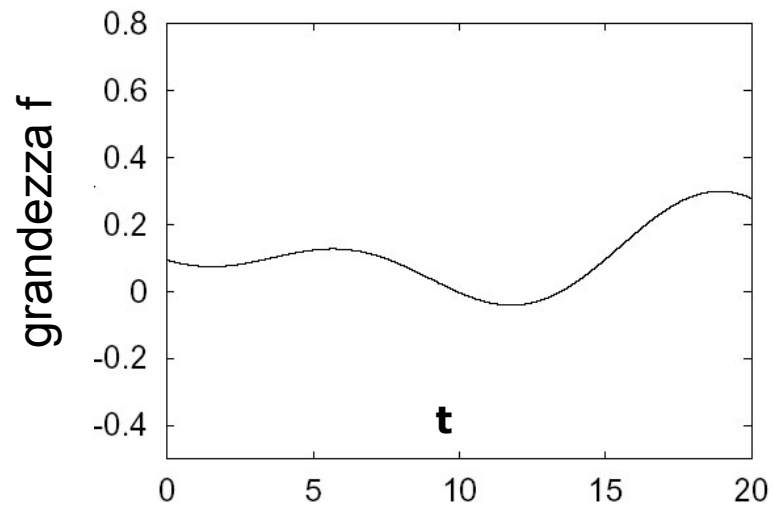
5 variabili, 5 equazioni differenziali → OK

Passi di una simulazione numerica

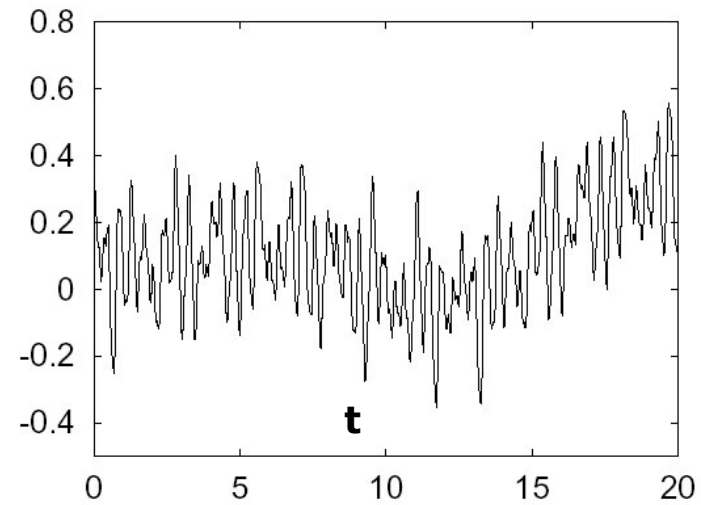
2. Definizione del modello fisico (equazioni)

PROBLEMA: SCALE

Flusso laminare



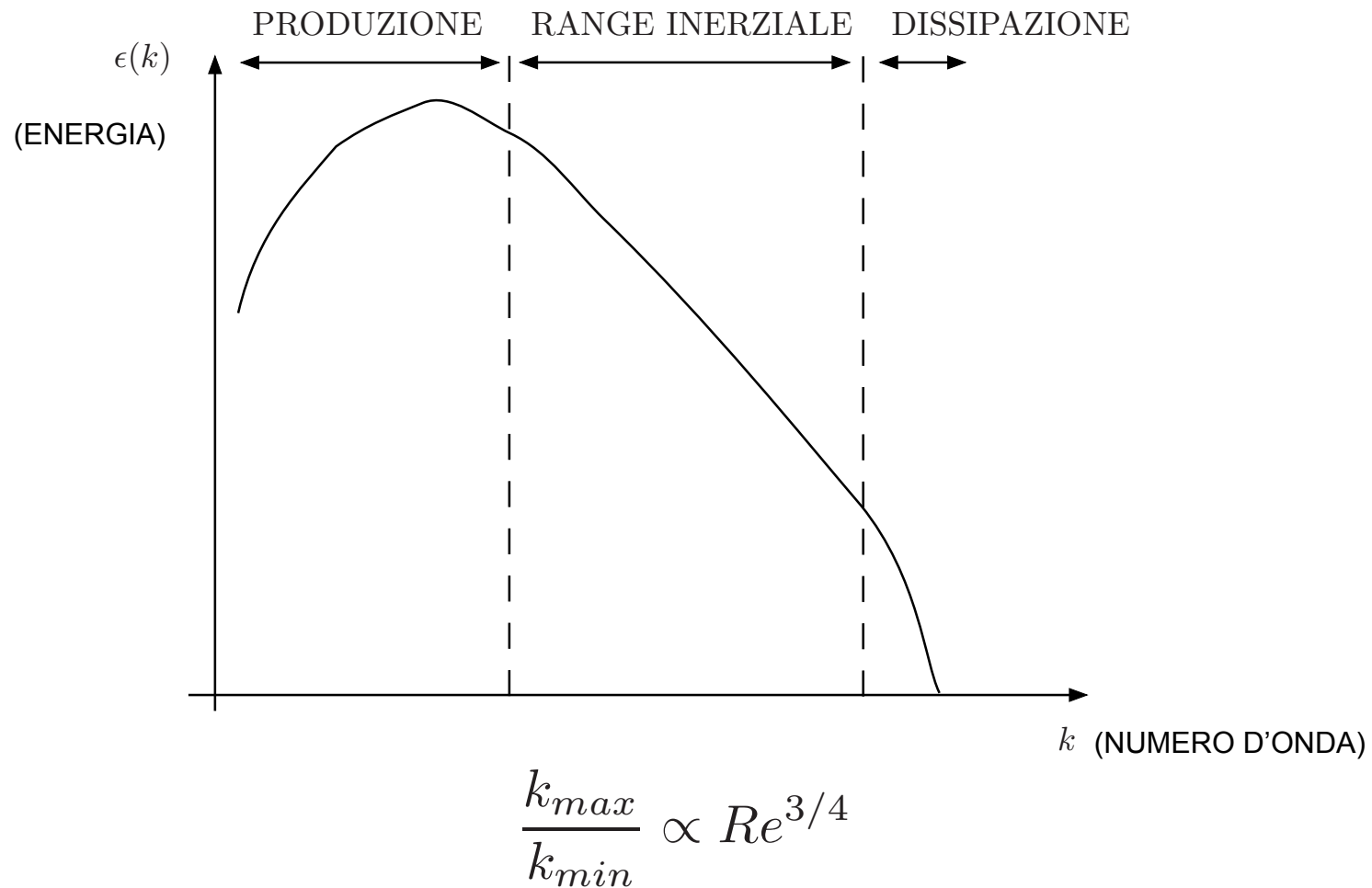
Flusso turbolento



Passi di una simulazione numerica

2. Definizione del modello fisico (equazioni)

PROBLEMA: SCALE



Passi di una simulazione numerica

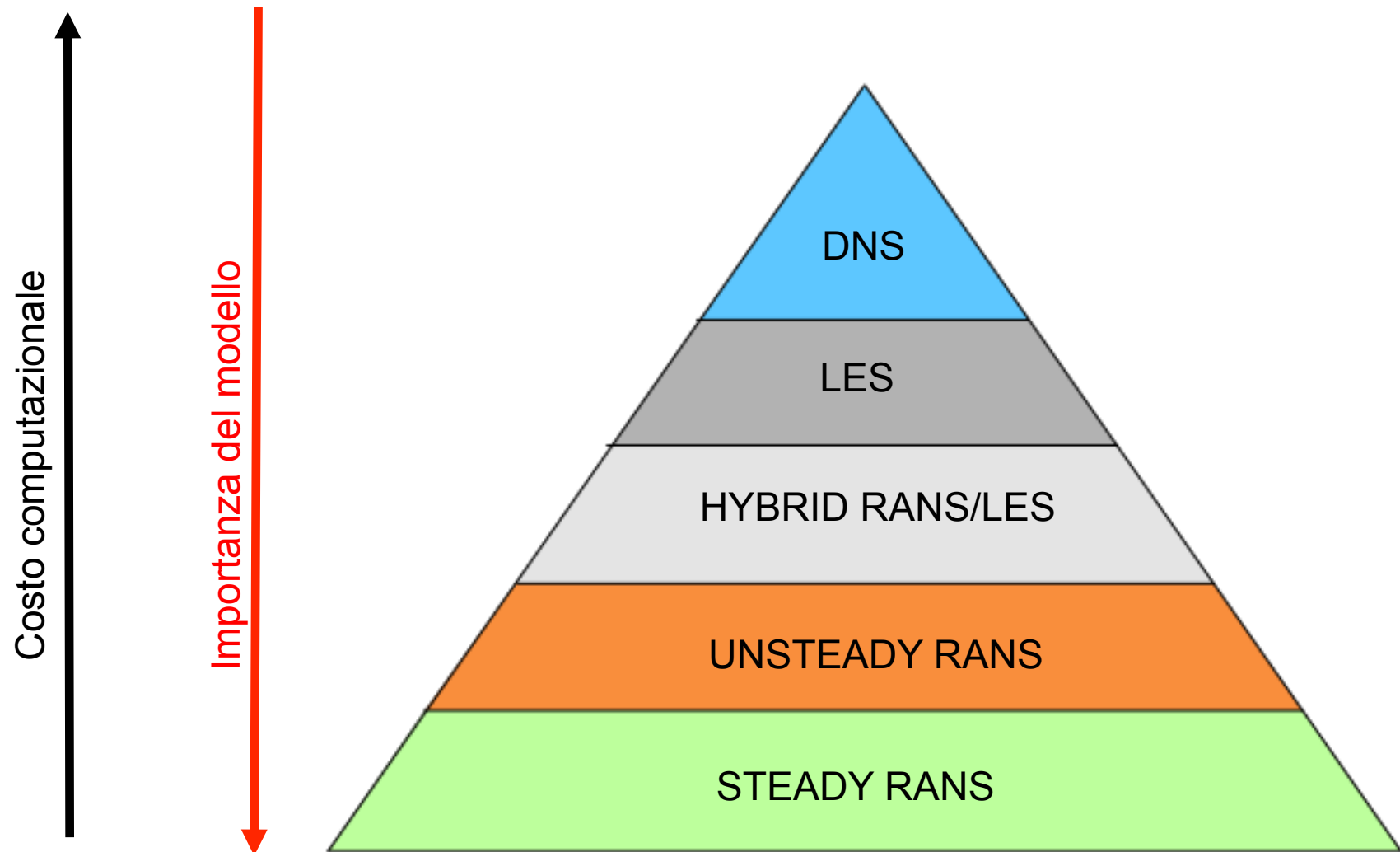
2. Definizione del modello fisico (equazioni)

SOLUZIONI:

1. **DNS**: Risolvo tutte le scale della turbolenza. Sono però necessarie risoluzioni spaziali e temporali adeguate (costo $\propto Re^3$)
2. **LES**: Risolvo solo le scale più grandi (non-isotrope) e “modello” quelle minori (il costo computazionale è elevato ma minore di un DNS)
3. **RANS**: “Medio” le equazioni costitutive. Non risolvo la turbolenza ma modello l’effetto che questa ha sul flusso medio. Il costo è sostenibile e questo è l’approccio più comune a livello industriale. Esistono una varietà di modelli sviluppati negli anni per simulare in modo soddisfacente diverse categorie di flussi (è importante scegliere quello più adatto). I più famosi sono il $k - \epsilon$, $k - \omega$, Spalart-Allmaras, RSM.

Passi di una simulazione numerica

2. Definizione del modello fisico (equazioni)



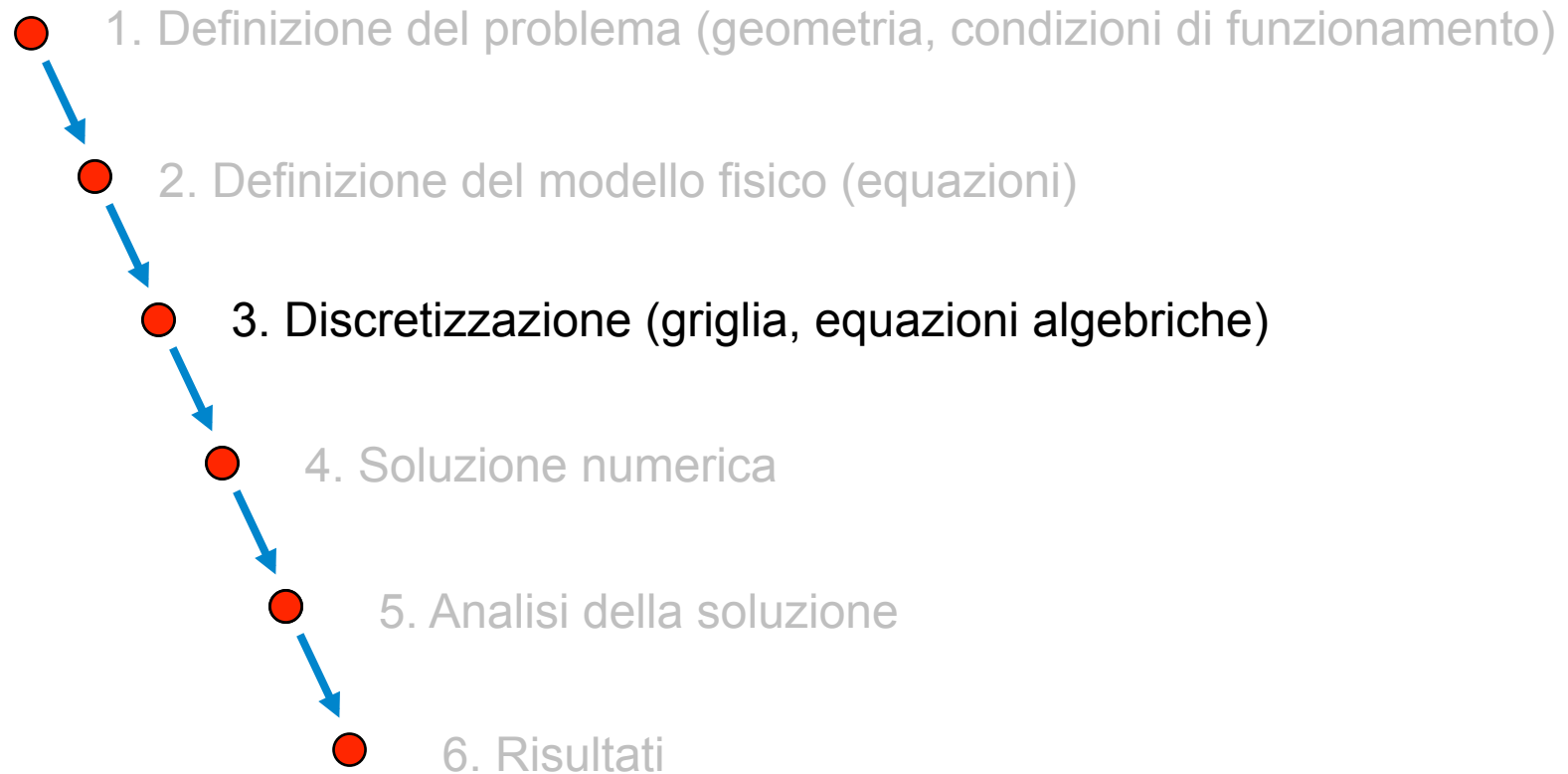
Passi di una simulazione numerica

2. Definizione del modello fisico (equazioni)

Costo computazionale necessario per la simulazione di un'ala a $Re=5e6$ e $AR=10$ (fonte University of Glasgow)

| approccio | scale modellate | celle | intervalli temporali | operazioni |
|------------|--------------------------|---------|----------------------|------------|
| DNS | nessuna | $1E+17$ | $1E+08$ | n $1E+25$ |
| LES | Sub-grid | $1E+12$ | $1E+08$ | n $1E+20$ |
| Hybrid LES | tutte a parete, sub-grid | $1E+10$ | $1E+07$ | n $1E+17$ |
| RANS | tutte | $1E+07$ | $1E+04$ | n $1E+11$ |

Passi di una simulazione numerica



Passi di una simulazione numerica

3. Discretizzazione

- Le equazioni di conservazione sono tutte forme particolari dell'equazione tipo:

FORMA DIFFERENZIALE

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V} \phi) = \nabla \cdot (\Gamma \nabla \phi) + S$$

1 2 3 4

1. Variazione nel tempo
2. Trasporto per convezione
3. Trasporto per conduzione
4. Produzione (termine sorgente)

Passi di una simulazione numerica

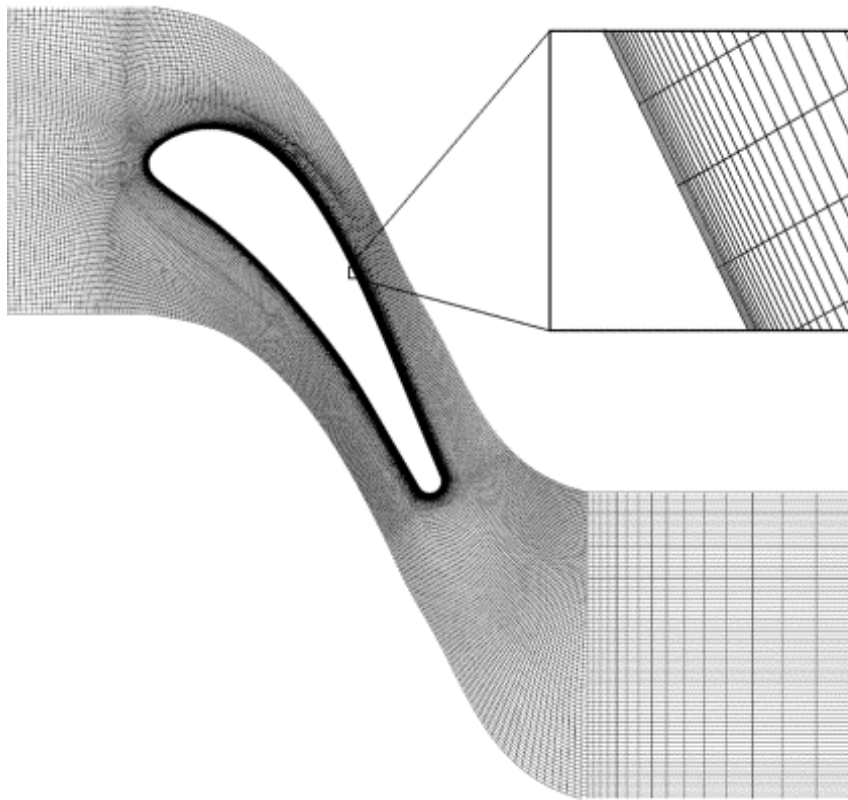
3. Discretizzazione

- 3a. Suddivido il dominio in celle (su ognuna delle quali vale l'equazione differenziale)
- 3b. Per ogni cella ricavo una versione algebrica dell'equazione differenziale, ottenendo così un sistema algebrico, che dovrà essere risolto con metodi appropriati

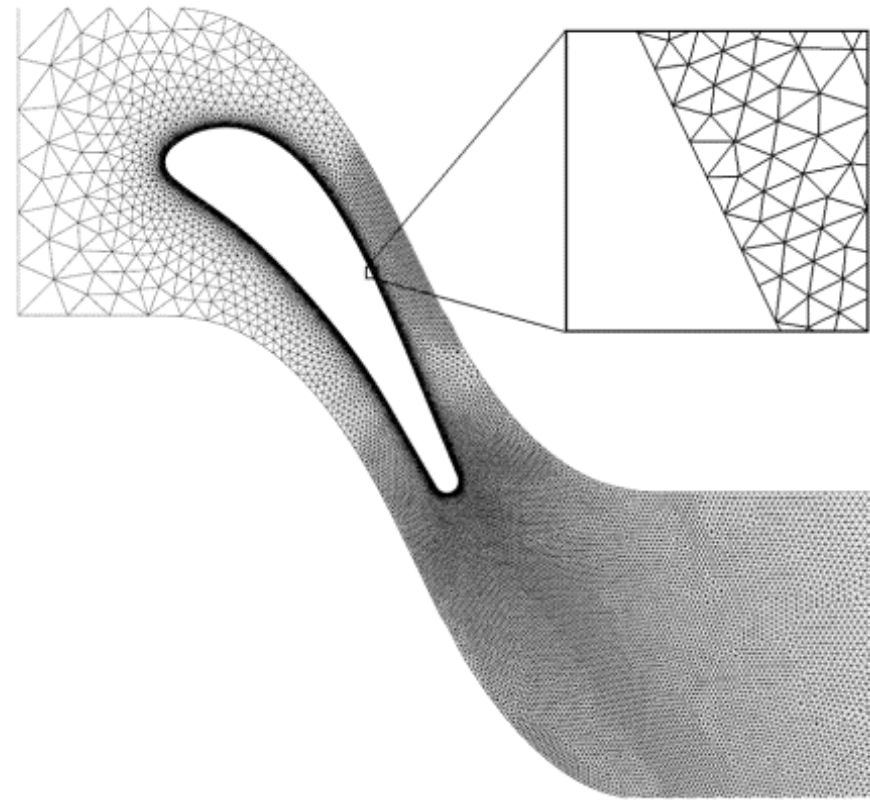
Passi di una simulazione numerica

3. Discretizzazione

3a. Suddivido il dominio in celle (su ognuna delle quali vale l'equazione differenziale)



GRIGLIA STRUTTURATA



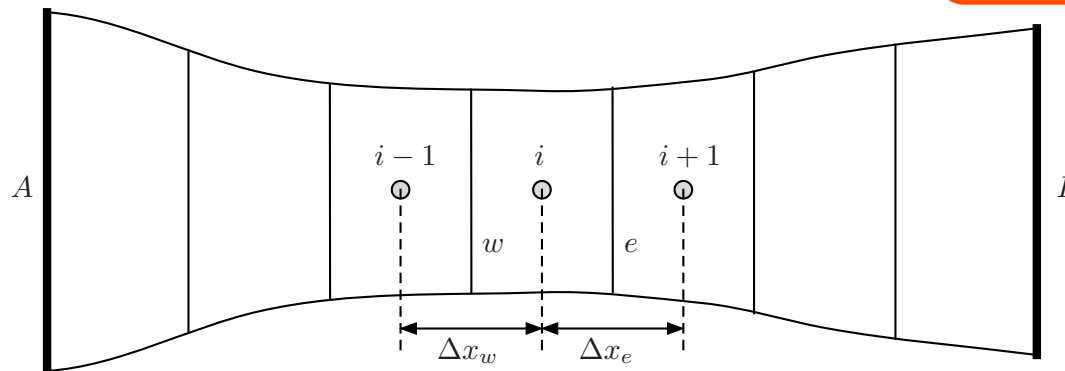
GRIGLIA NON-STRUTTURATA

Passi di una simulazione numerica

3. Discretizzazione

3b. Per ogni cella ricavo una versione algebrica dell'equazione differenziale, ottenendo così un sistema algebrico, che dovrà essere risolto con metodi appropriati

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\forall} \rho \phi d\forall + \int_{\Omega} (\rho \vec{V} \phi) \cdot \vec{n} d\Omega = \int_{\Omega} (\Gamma \nabla \phi) \cdot \vec{n} d\Omega + \int_{\forall} S d\forall$$



$$\int_{\forall} S d\forall \approx S_i \forall_i$$

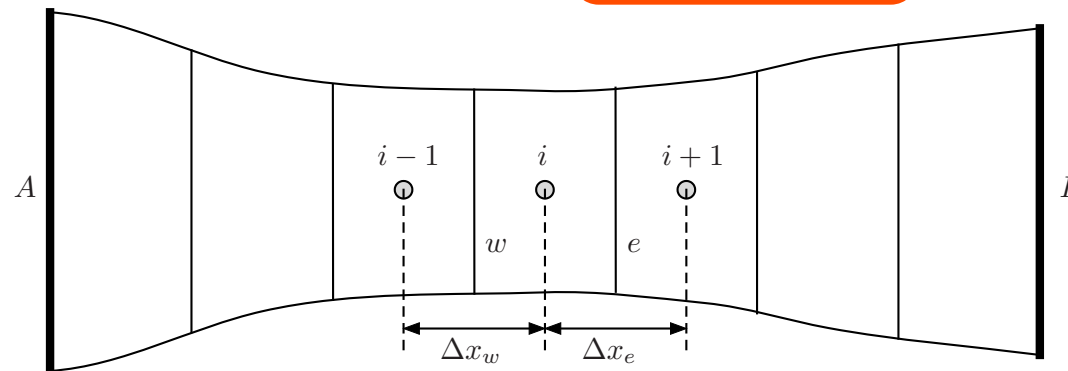
SECONDO ORDINE SPAZIALE

Passi di una simulazione numerica

3. Discretizzazione

3b. Per ogni cella ricavo una versione algebrica dell'equazione differenziale, ottenendo così un sistema algebrico, che dovrà essere risolto con metodi appropriati

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\forall} \rho \phi d\forall + \int_{\Omega} (\rho \vec{V} \phi) \cdot \vec{n} d\Omega = \int_{\Omega} (\Gamma \nabla \phi) \cdot \vec{n} d\Omega + \int_{\forall} S d\forall$$



$$\begin{aligned} \int_{\Omega} (\Gamma \nabla \phi) \cdot \vec{n} d\Omega &= \sum_{facce} \pm \left(\Gamma A \frac{d\phi}{dx} \right) = \\ &= - \left(\Gamma A \frac{d\phi}{dx} \right)_w + \left(\Gamma A \frac{d\phi}{dx} \right)_e \approx - \left(\frac{\Gamma A}{\Delta x} \right) (\phi_i - \phi_{i-1}) + \left(\frac{\Gamma A}{\Delta x} \right) (\phi_i - \phi_{i-1}) \end{aligned}$$

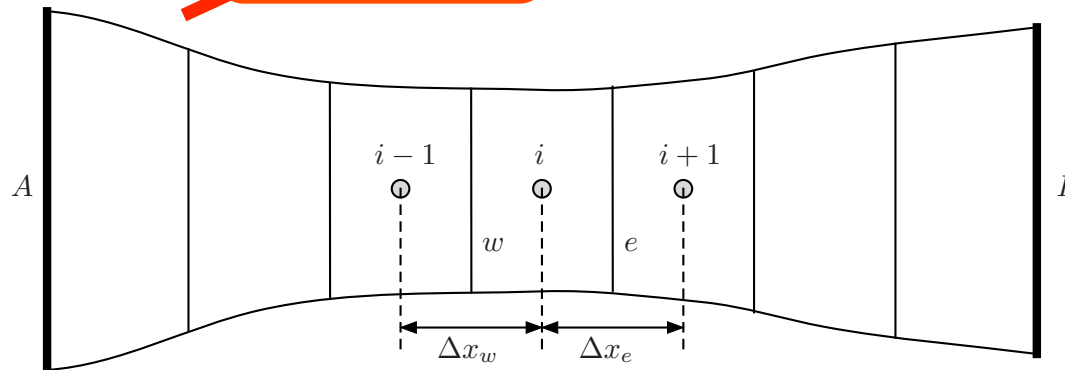
SECONDO ORDINE SPAZIALE

Passi di una simulazione numerica

3. Discretizzazione

3b. Per ogni cella ricavo una versione algebrica dell'equazione differenziale, ottenendo così un sistema algebrico, che dovrà essere risolto con metodi appropriati

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\forall} \rho \phi d\forall + \int_{\Omega} (\rho \vec{V} \phi) \cdot \vec{n} d\Omega = \int_{\Omega} (\Gamma \nabla \phi) \cdot \vec{n} d\Omega + \int_{\forall} S d\forall$$

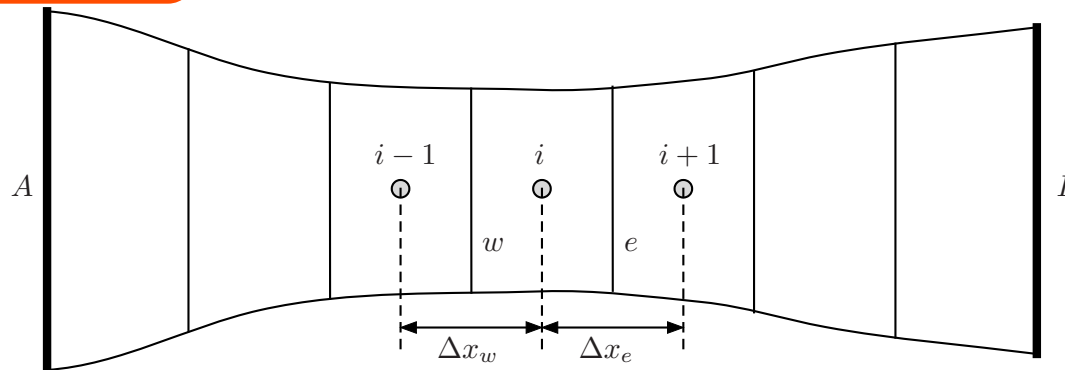


Passi di una simulazione numerica

3. Discretizzazione

3b. Per ogni cella ricavo una versione algebrica dell'equazione differenziale, ottenendo così un sistema algebrico, che dovrà essere risolto con metodi appropriati

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\forall} \rho \phi d\forall + \int_{\Omega} (\rho \vec{V} \phi) \cdot \vec{n} d\Omega = \int_{\Omega} (\Gamma \nabla \phi) \cdot \vec{n} d\Omega + \int_{\forall} S d\forall$$



$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\forall} \rho \phi d\forall \approx \rho_i \forall_i \frac{\phi_i^{n+1} - \phi_i^n}{\Delta t}$$

SECONDO ORDINE SPAZIALE, PRIMO ORDINE TEMPORALE

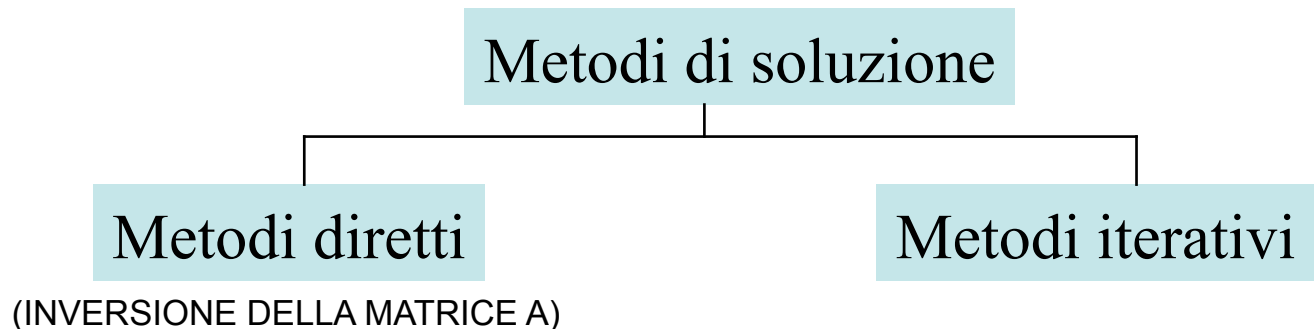
Passi di una simulazione numerica

4. Soluzione numerica

4. Mettendo insieme le equazioni algebriche ricavate al punto precedente, ottengo un sistema (con incognite i $\underline{\phi_i^n}$) che posso risolvere, date opportune condizioni al contorno

$$A\Phi = b$$

| | |
|-----------------|--|
| A | <i>MATRICE DEI COEFFICIENTI</i> |
| Φ^{n+1} | <i>VETTORE DELLE INCOGNITE AL TEMPO $n+1$</i> |
| $b = b(\Phi^n)$ | <i>VETTORE DEI TERMINI NOTI (CONTIENE LE CONDIZIONI AL CONTORNO)</i> |



Esempio. Barretta 1D $\int_{\Omega} k \nabla T \cdot \vec{n} d\Omega + \int_{\forall} q d\forall = 0$

$$L = 0.02$$

$$k = 0.5$$

$$q = 1000000$$

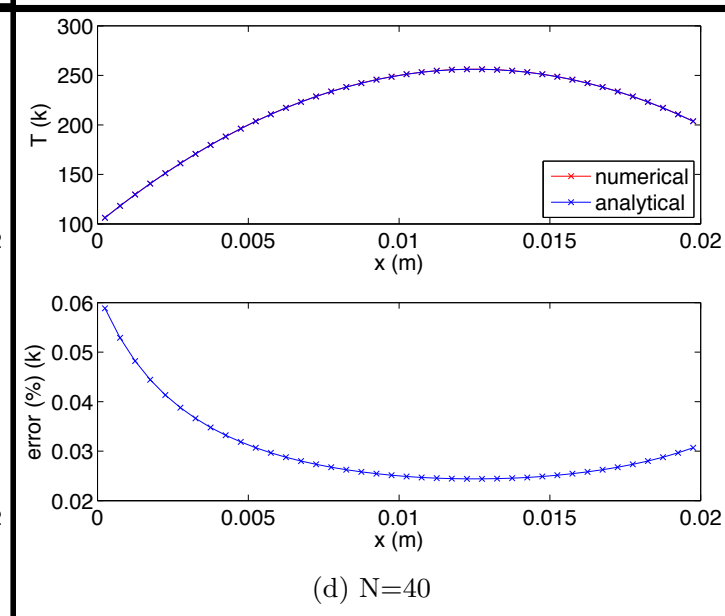
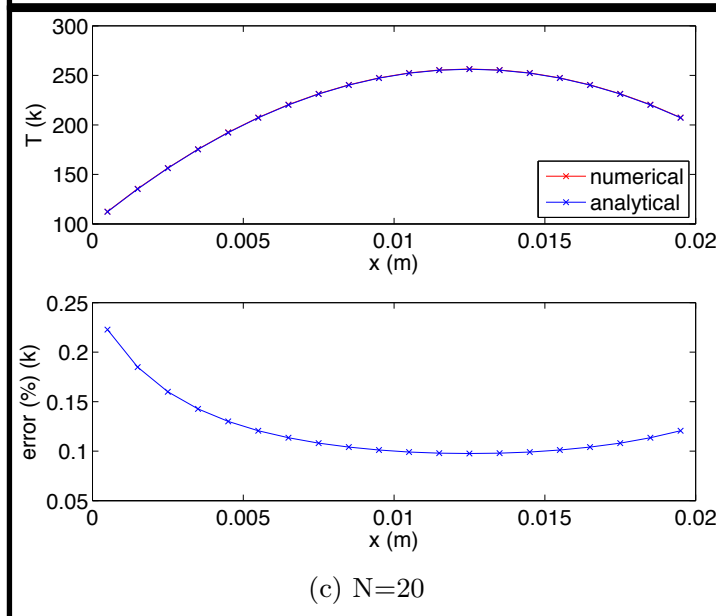
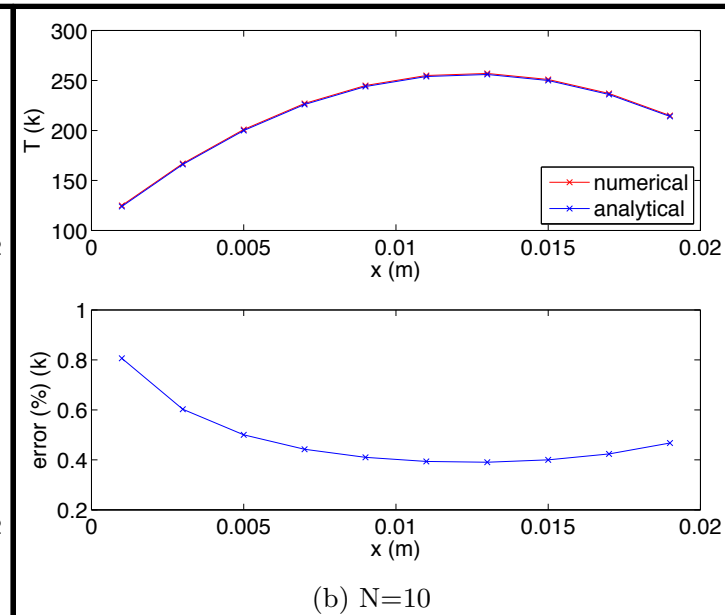
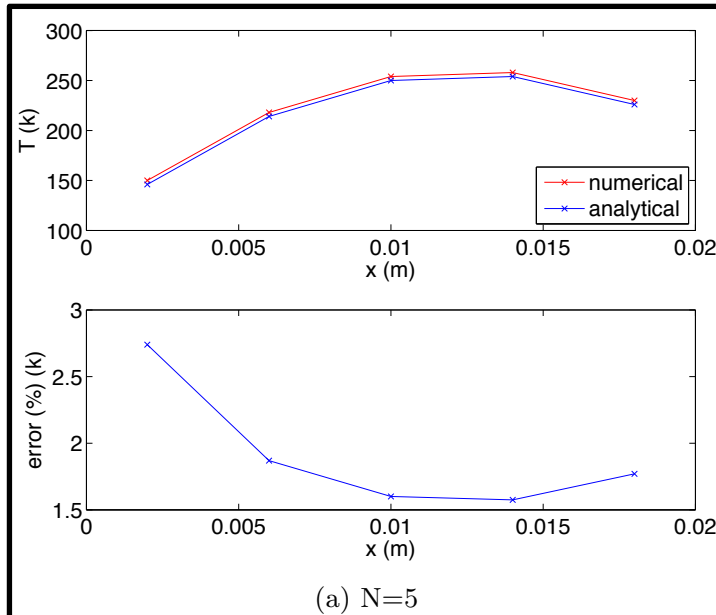
$$A = 1$$

$$\begin{cases} T_A = 100 \\ T_B = 200 \end{cases}$$

CONDIZIONI AL CONTORNO

Esempio. Barretta 1D

$$\int_{\Omega} k \nabla T \cdot \vec{n} d\Omega + \int_{\mathcal{V}} q d\mathcal{V} = 0$$

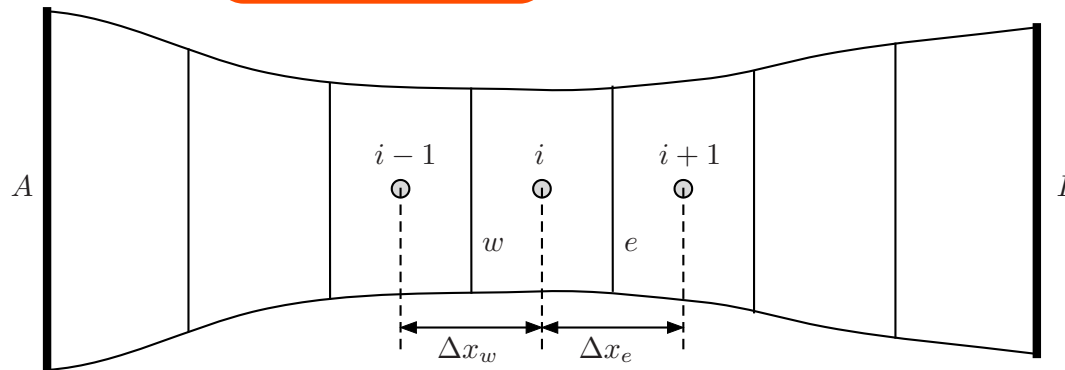


Passi di una simulazione numerica

3. Discretizzazione

3b. Per ogni cella ricavo una versione algebrica dell'equazione differenziale, ottenendo così un sistema algebrico, che dovrà essere risolto con metodi appropriati

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\forall} \rho \phi d\forall + \int_{\Omega} (\rho \vec{V} \phi) \cdot \vec{n} d\Omega = \int_{\Omega} (\Gamma \nabla \phi) \cdot \vec{n} d\Omega + \int_{\forall} S d\forall$$



$$\int_{\Omega} (\rho \vec{V} \phi) \cdot \vec{n} d\Omega = \sum_{\text{facce}} \pm (\rho V A \phi) =$$
$$- (\rho V A \phi)_w + (\rho V A \phi)_e \approx - (\rho V A)_w \frac{\phi_{i-1} + \phi_i}{2} + (\rho V A)_e \frac{\phi_i + \phi_{i+1}}{2}$$

SECONDO ORDINE SPAZIALE

Esempio. Convezione 1D

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\forall} \rho \phi d\forall + \int_{\Omega} (\rho \vec{V} \phi) \cdot \vec{n} d\Omega = \int_{\Omega} (\Gamma \nabla \phi) \cdot \vec{n} d\Omega + \int_{\forall} S d\forall$$

$$\rho = 1$$

$$\Gamma = 0 \text{ (no diffusione)}$$

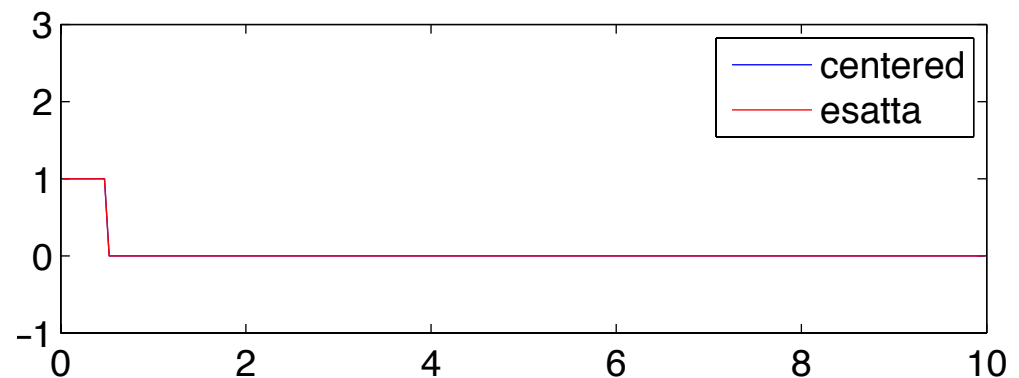
$$S = 0 \text{ (no produzione)}$$

$$A = 1 = \text{costante}$$

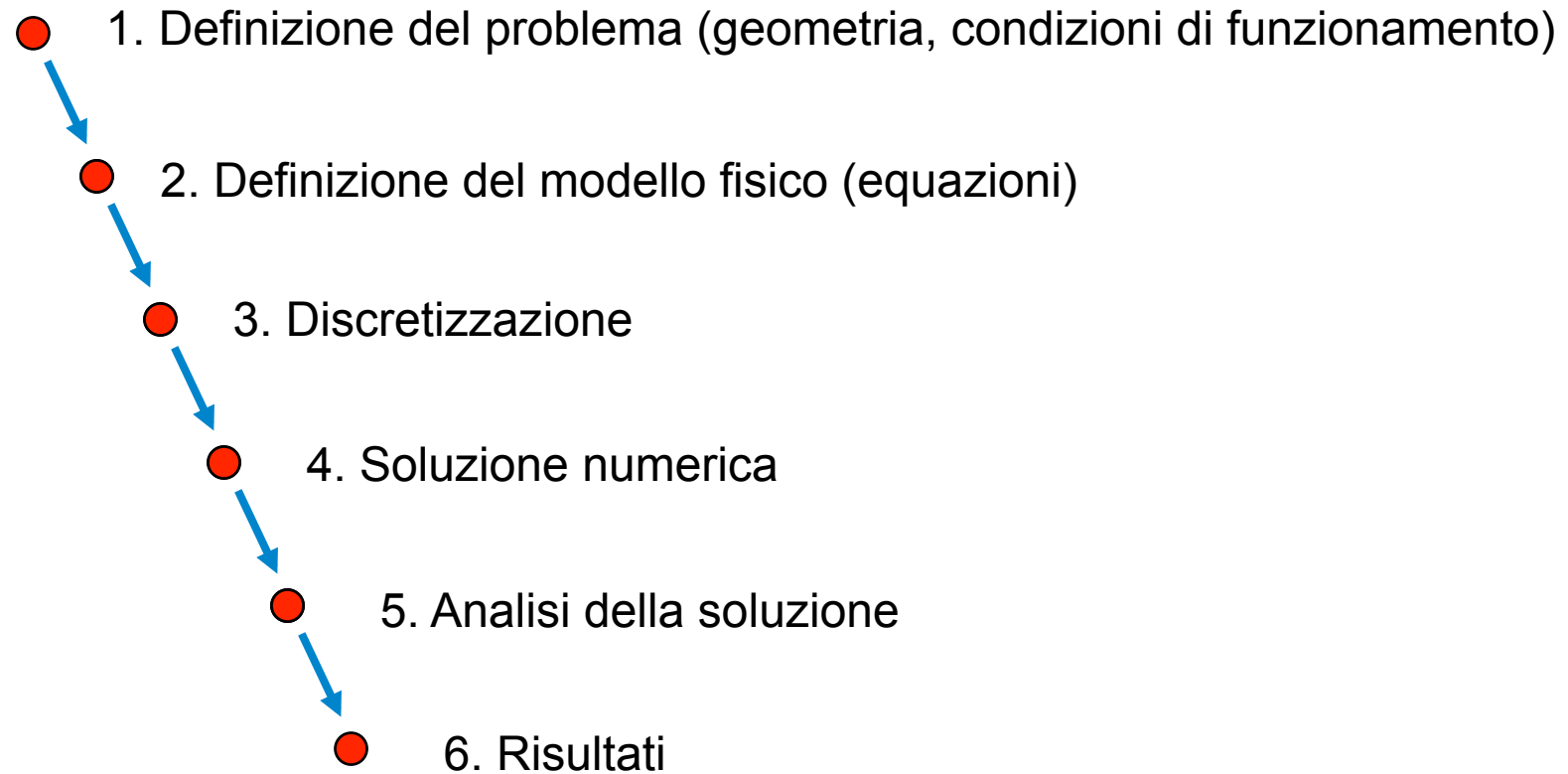
$$V = 2.5 = \text{costante}$$

$$\begin{cases} \phi_A = 1 \\ \frac{d\phi}{dx} = 0 \\ + \text{condizione iniziale} \end{cases}$$

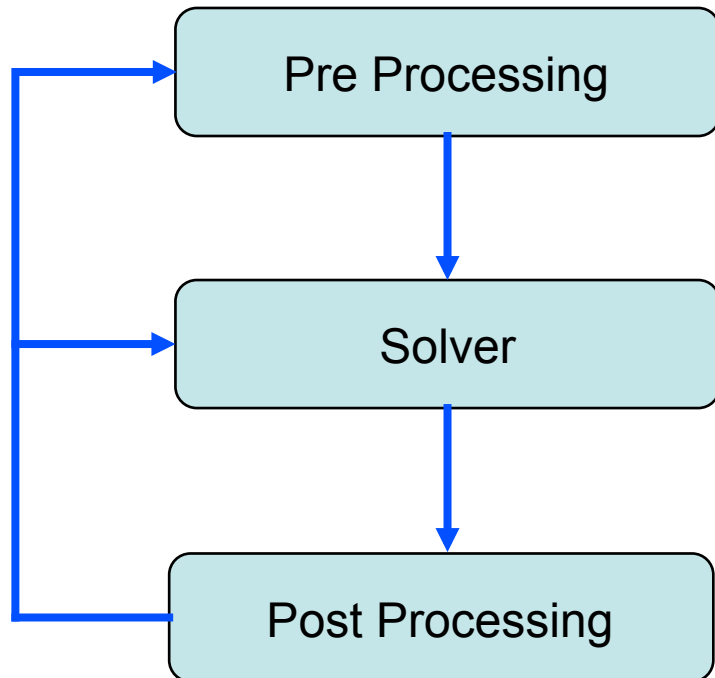
CONDIZIONI AL CONTORNO



Passi di una simulazione numerica



Passi di una simulazione numerica



Pre Processing:

- Definizione geometria
- Creazione mesh
- Definizione condizioni al contorno

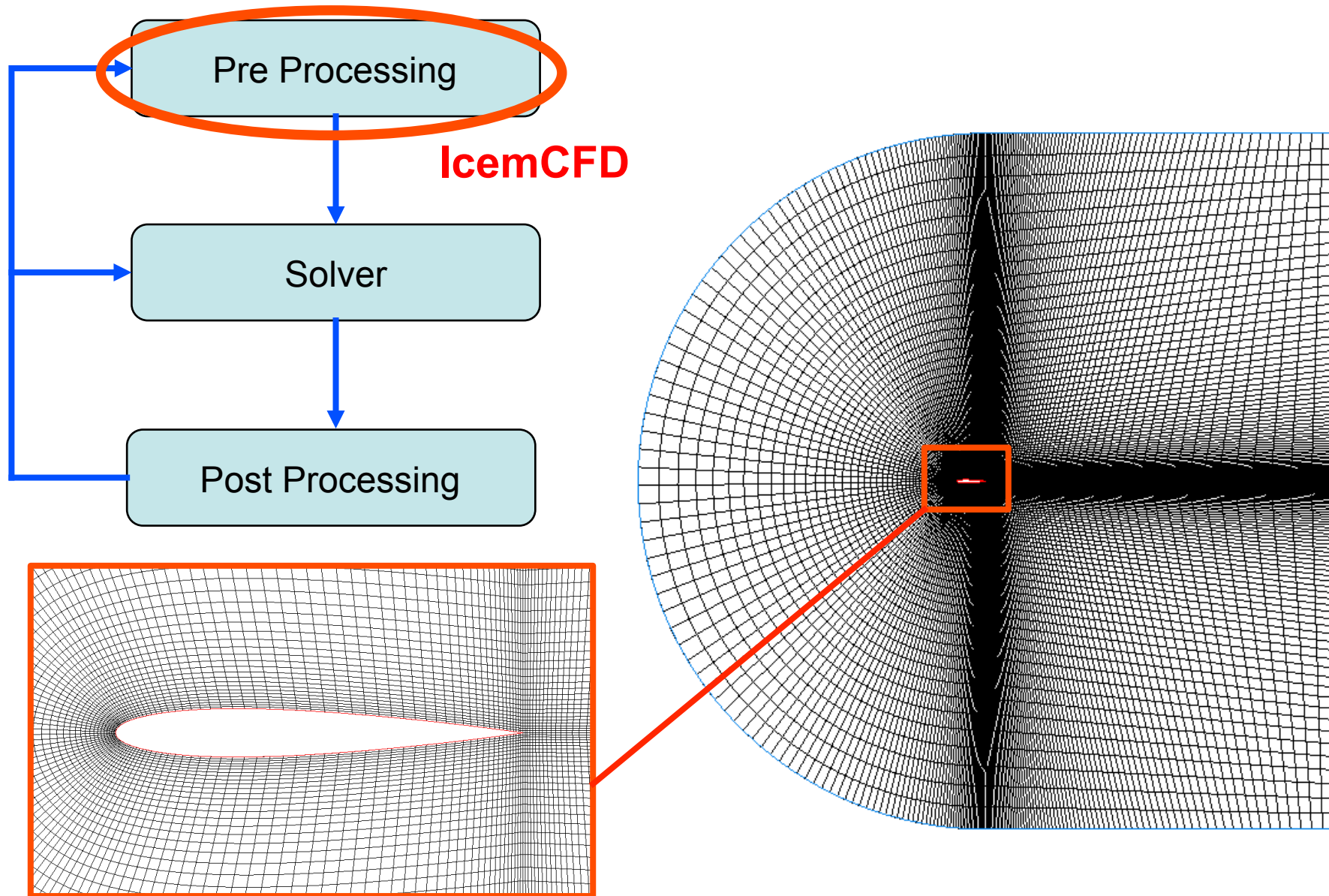
Solver:

- Specificazione del problema
- Simulazione

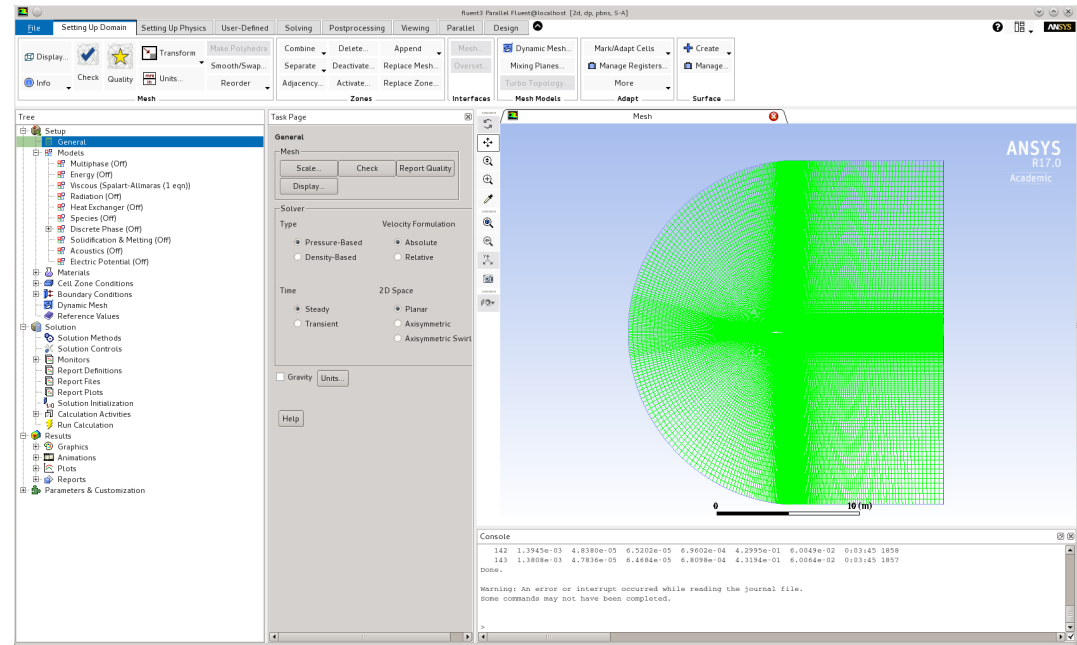
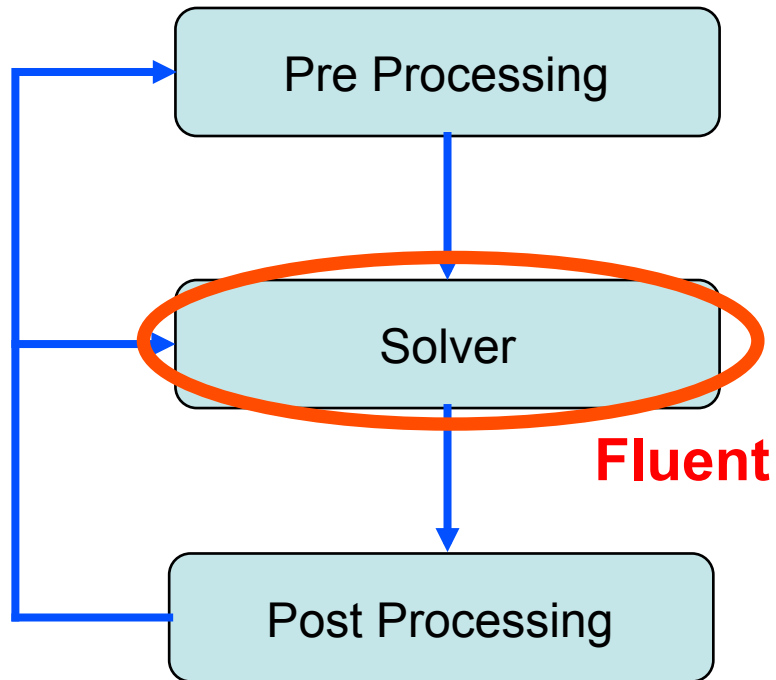
Post-processing:

- Analisi dei risultati
- Scrittura di un report

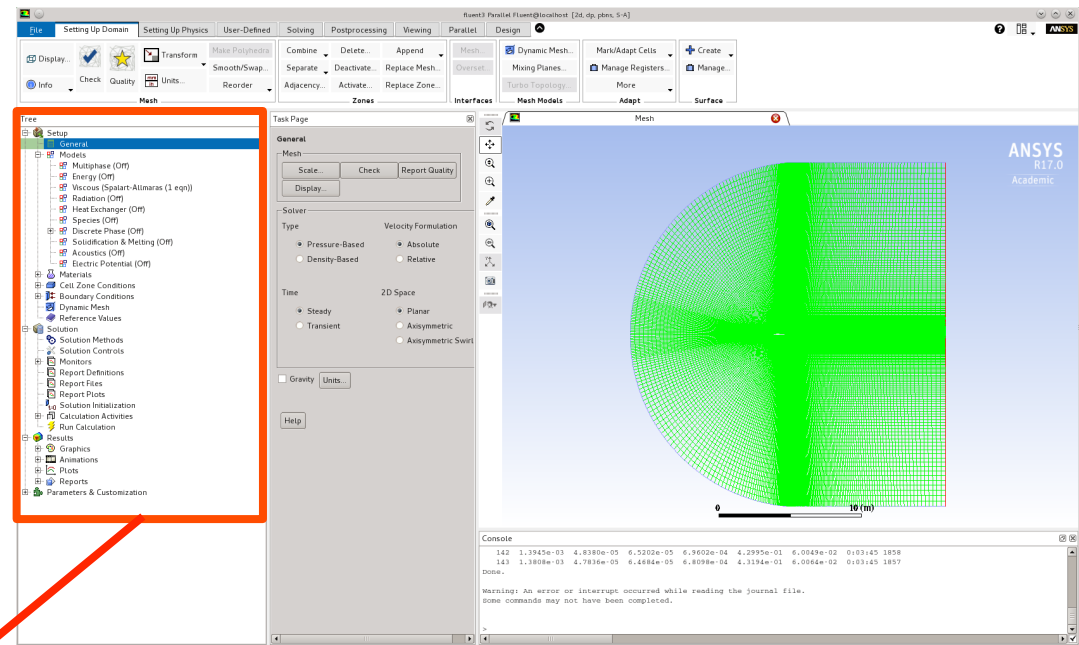
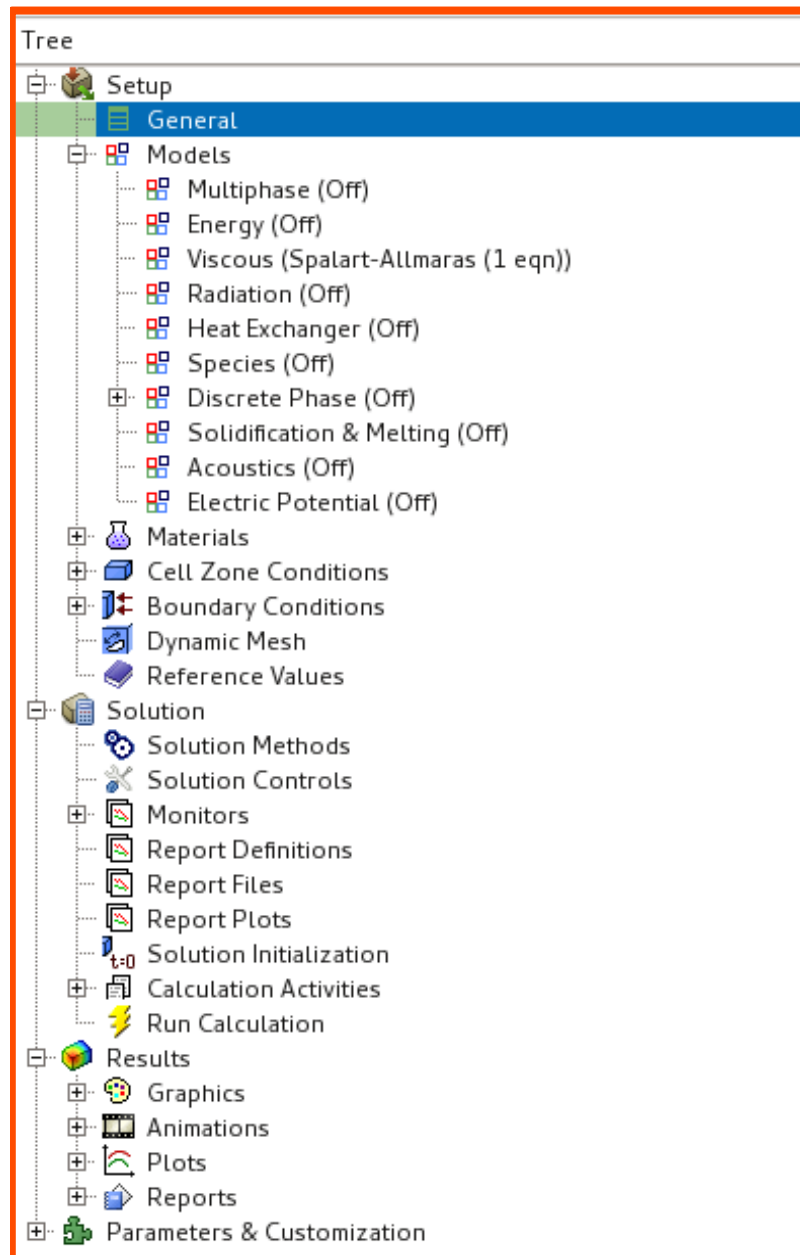
Passi di una simulazione numerica



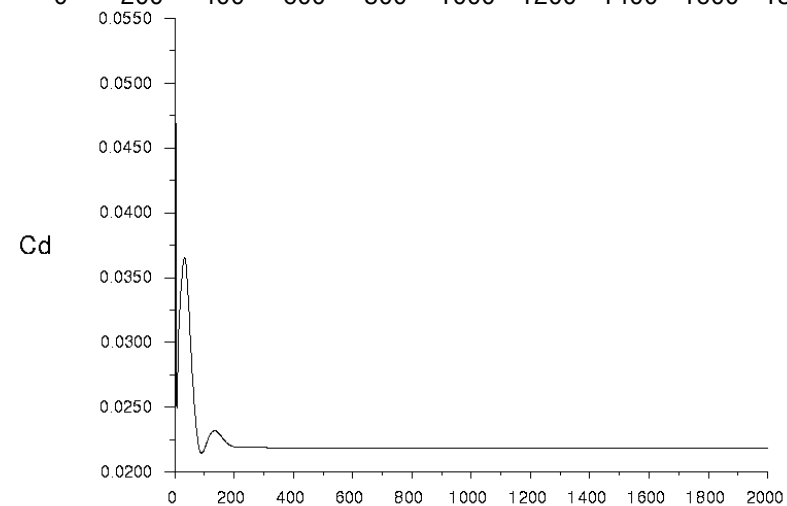
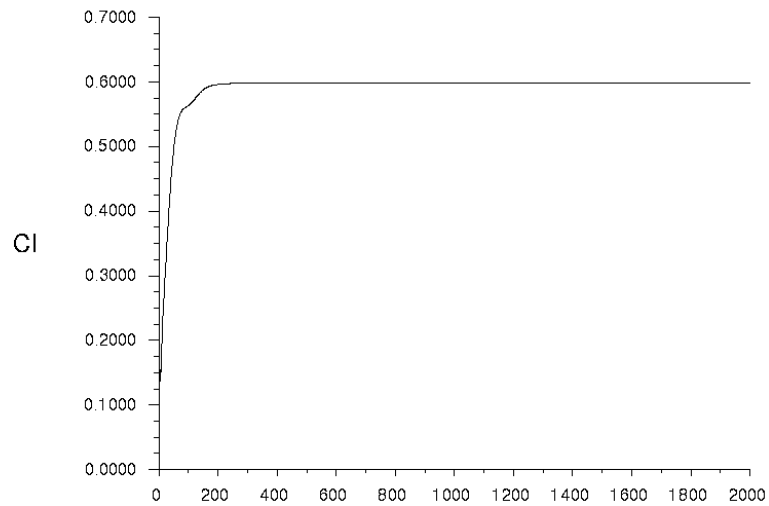
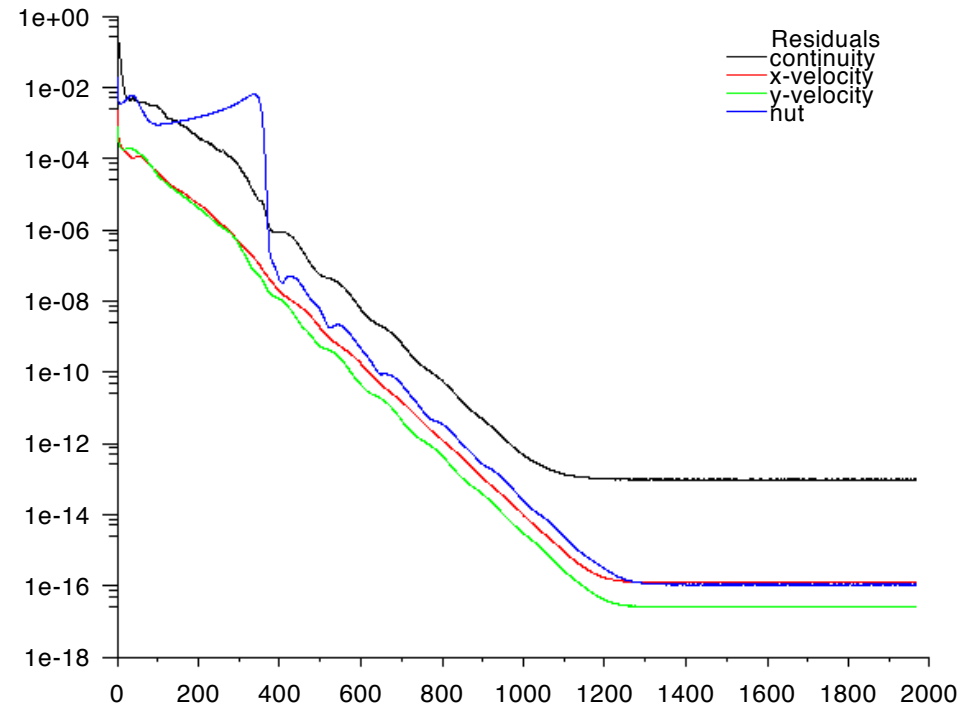
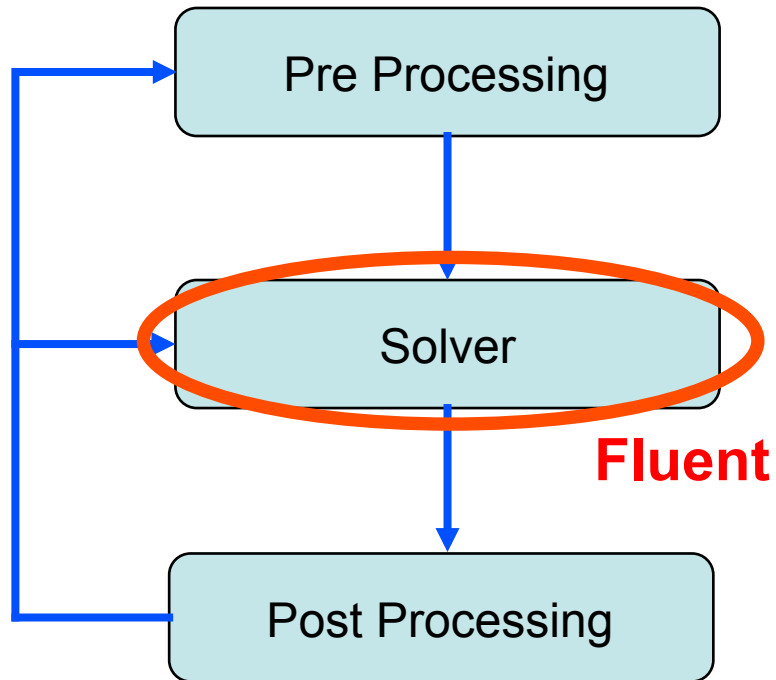
Passi di una simulazione numerica



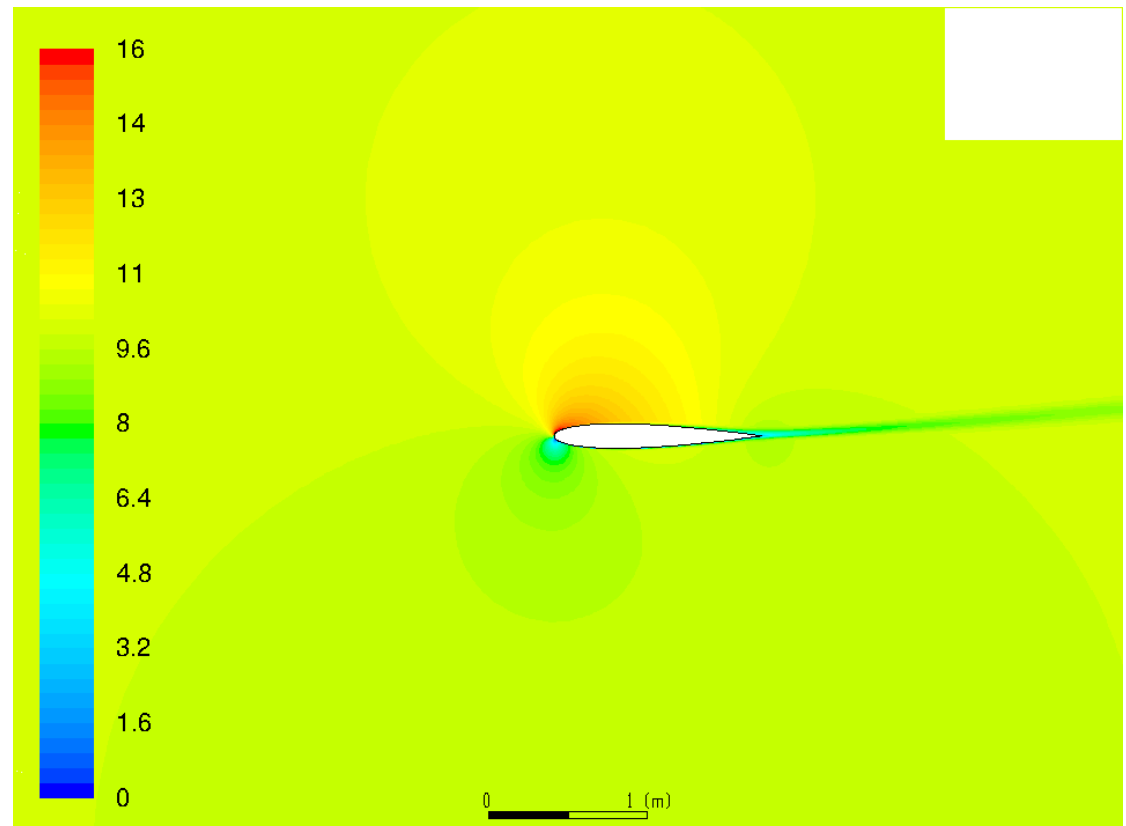
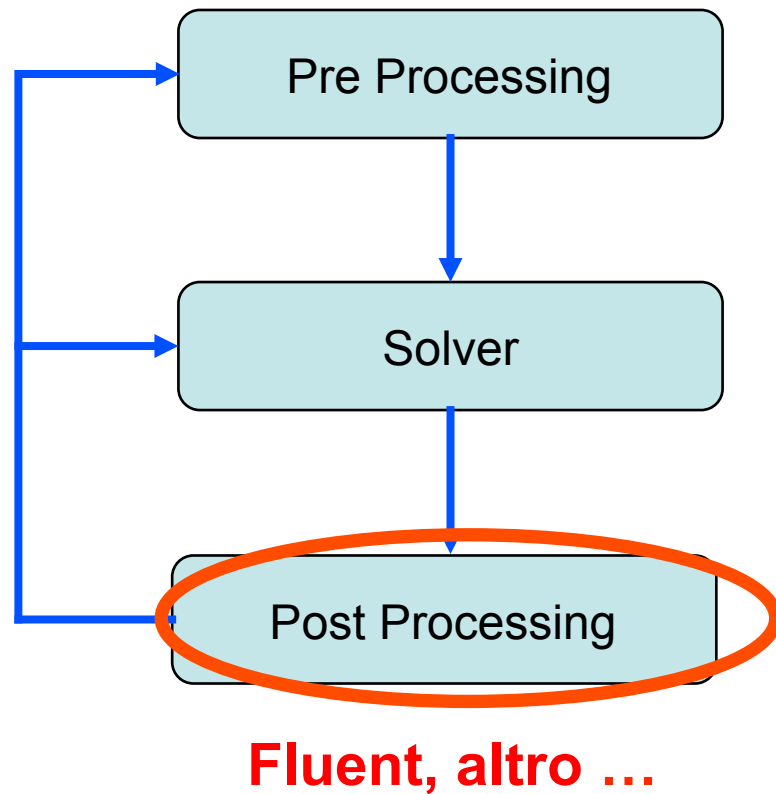
Passi di una simulazione numerica



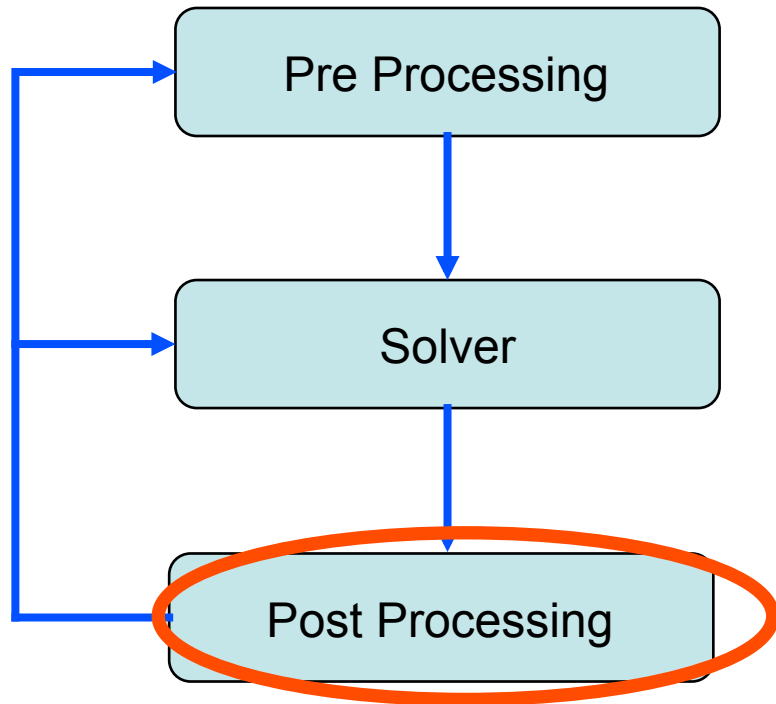
Passi di una simulazione numerica



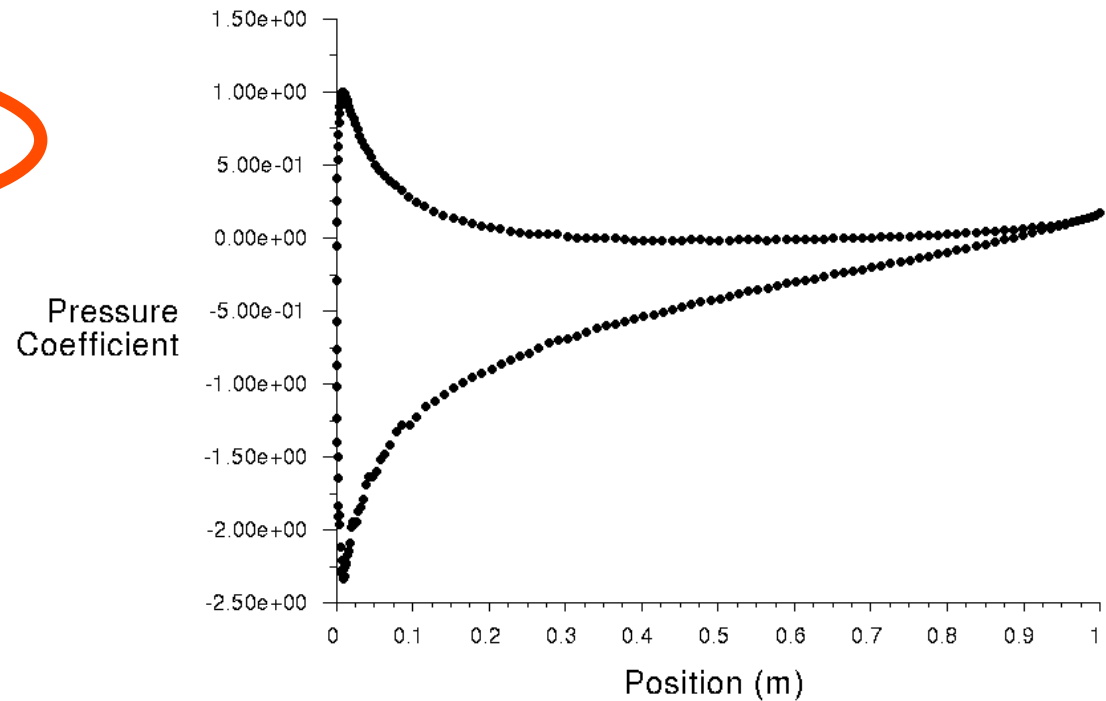
Passi di una simulazione numerica



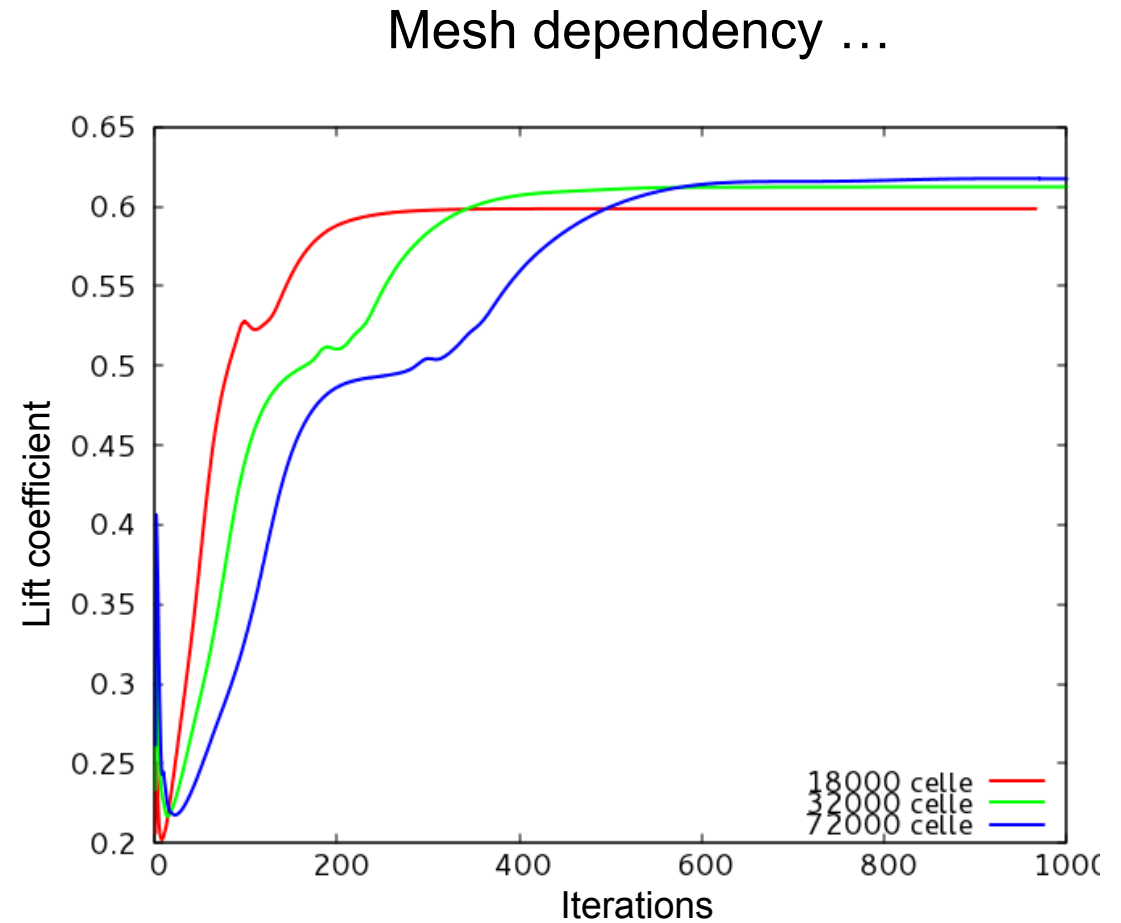
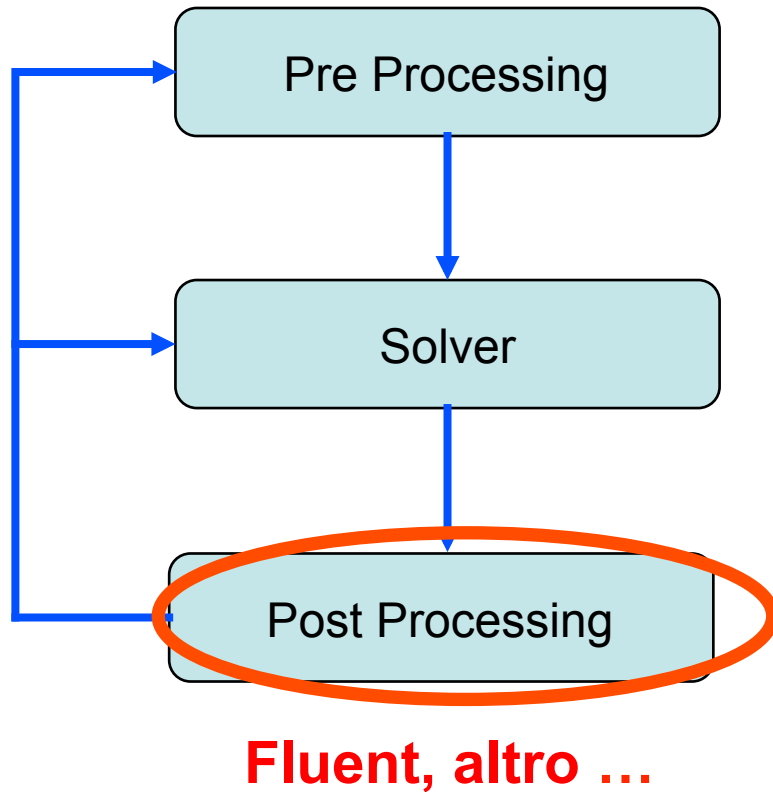
Passi di una simulazione numerica



Fluent, altro ...



Passi di una simulazione numerica



... Fonti di errore in CFD

Acknowledged Error

- Physical approximation error
 - Physical modeling error
 - Geometry modeling error
- Computer round-off error
- Iterative convergence error
- Discretization error
 - Spatial discretization error
 - Temporal discretization error

Unacknowledged Error

- Computer programming error
- Usage error

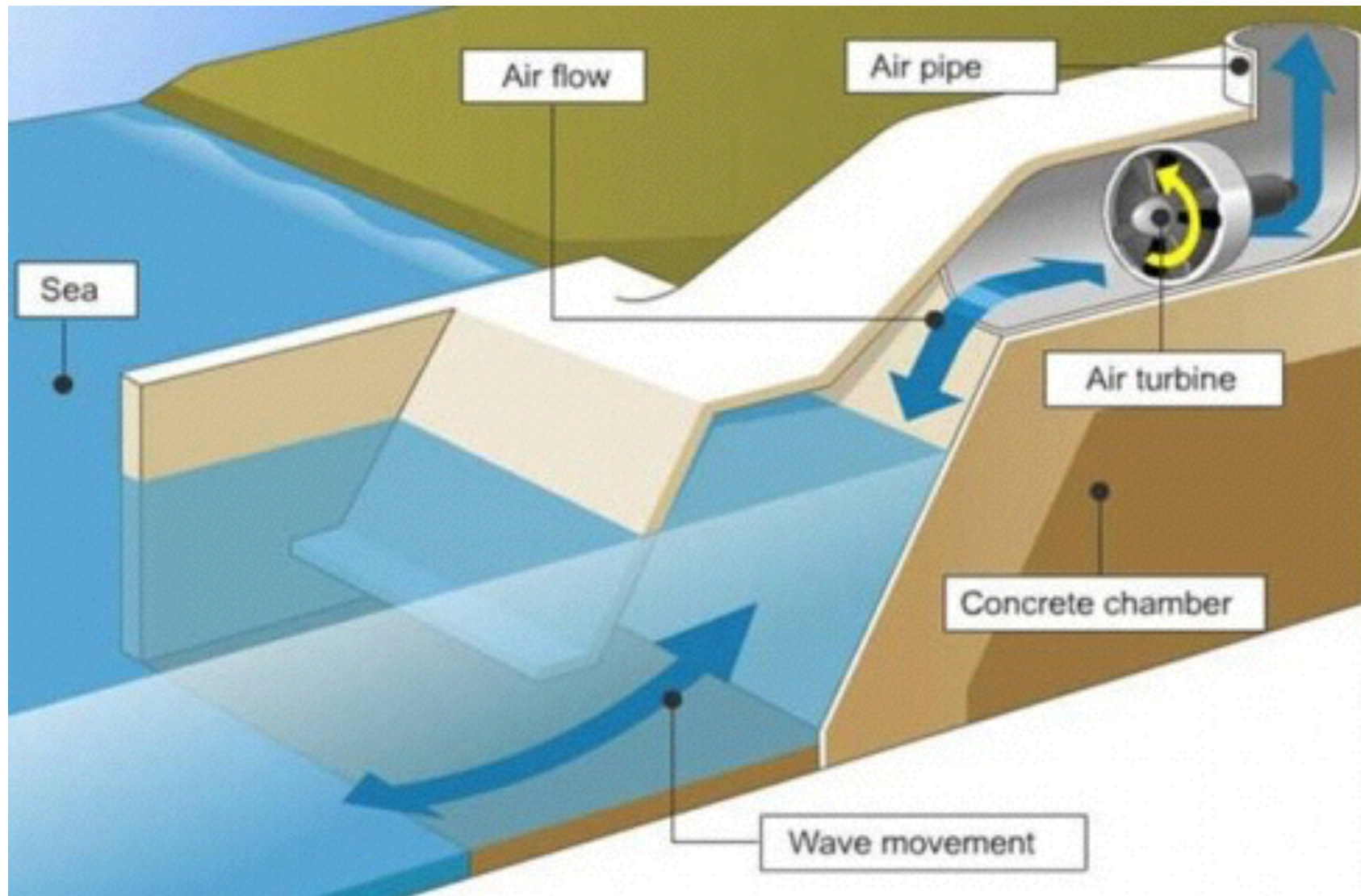
... Fonti di errore in CFD

- Modelling errors - the difference between the actual flow and the mathematical model we are using
- Discretisation errors - the difference between the exact solution of the mathematical model and the exact solution of the discretised equations implemented in the code
- Convergence errors - relating to the difference between the exact and iterative solutions of the discretised equations.

Conclusioni

- La CFD rappresenta un importante strumento:
 - Per aiutare nella comprensione di fenomeni complessi (congiuntamente alle prove sperimentali)
 - Per assistere nella progettazione (confronto di soluzioni, studi parametrici, ottimizzazione)

CFD 1 - Turbina Wells



CFD 1 - Turbina Wells

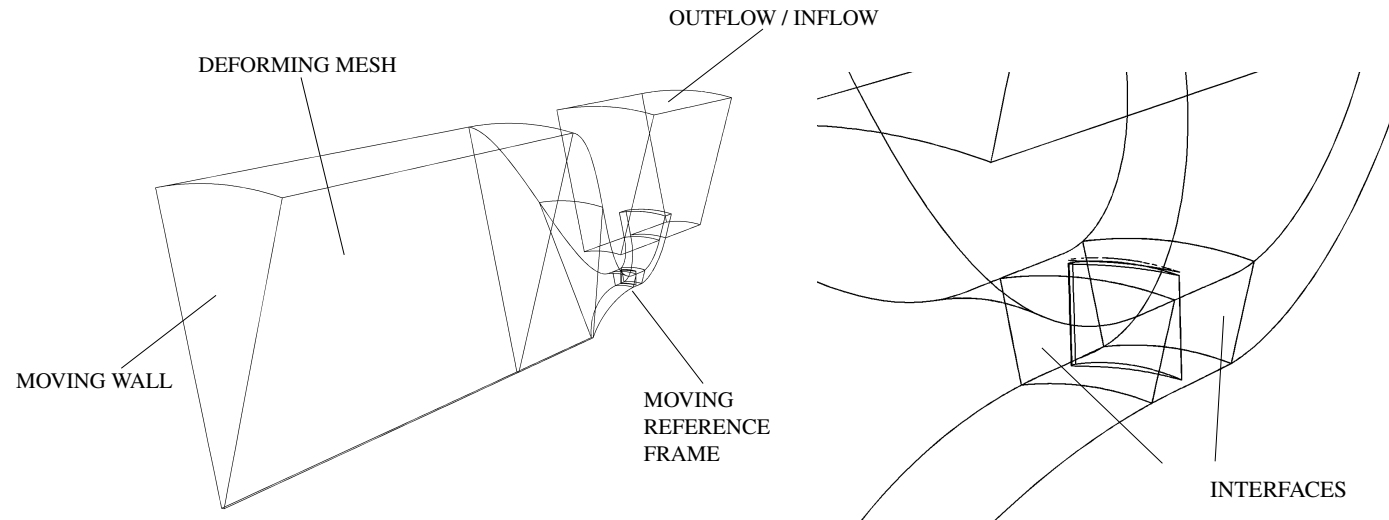


Figure 2: **Computational domain**

CFD 1 - Turbina Wells

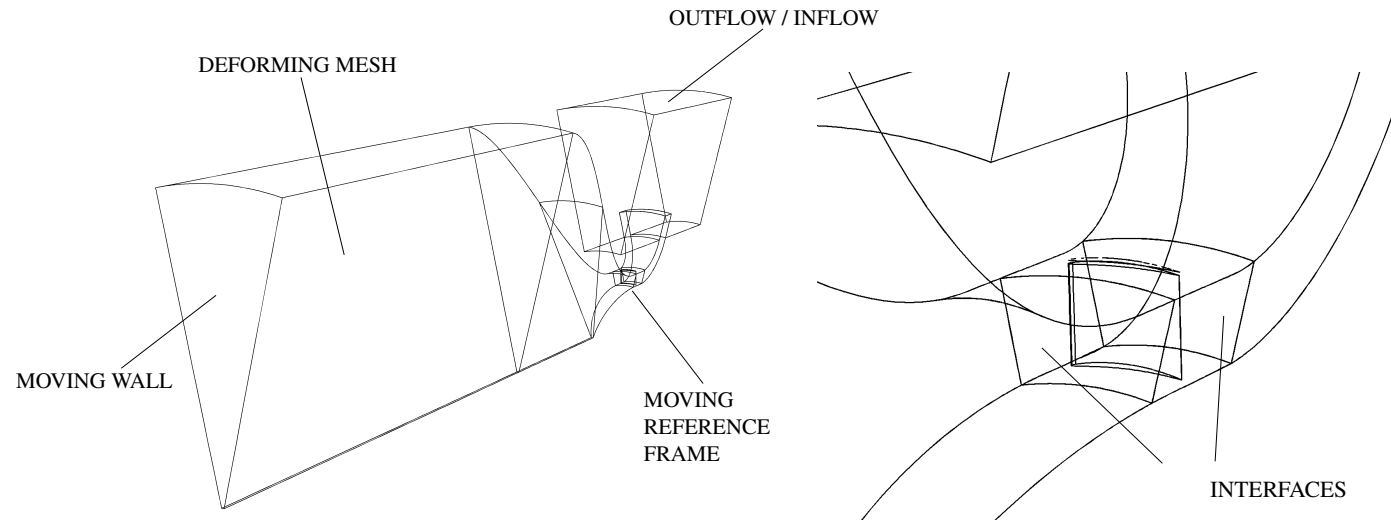
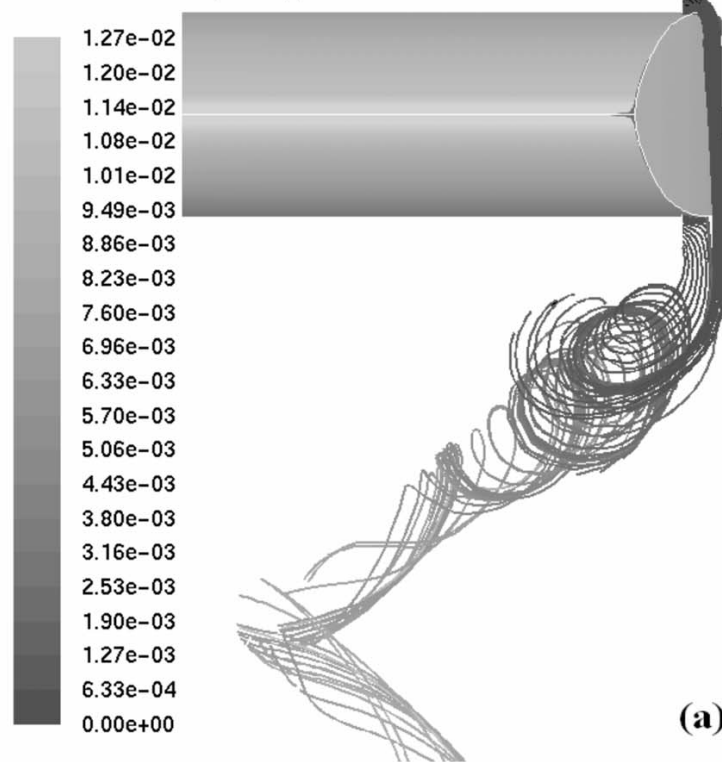


Figure 2: **Computational domain**

CFD 1 - Turbina Wells

Path Lines Colored by time (s)



Path Lines Colored by time (s)

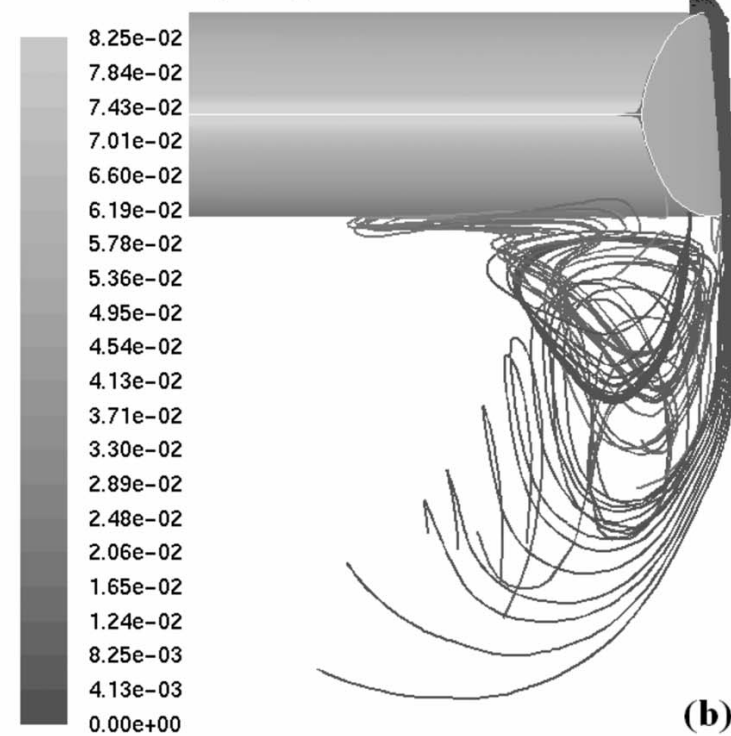
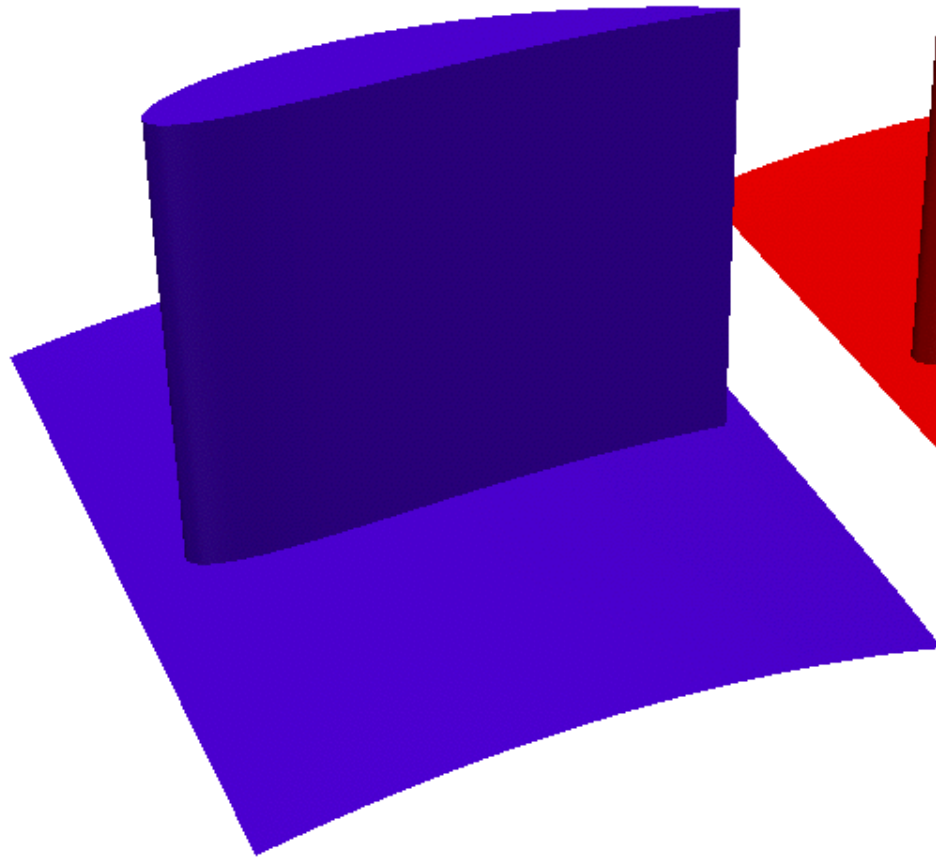


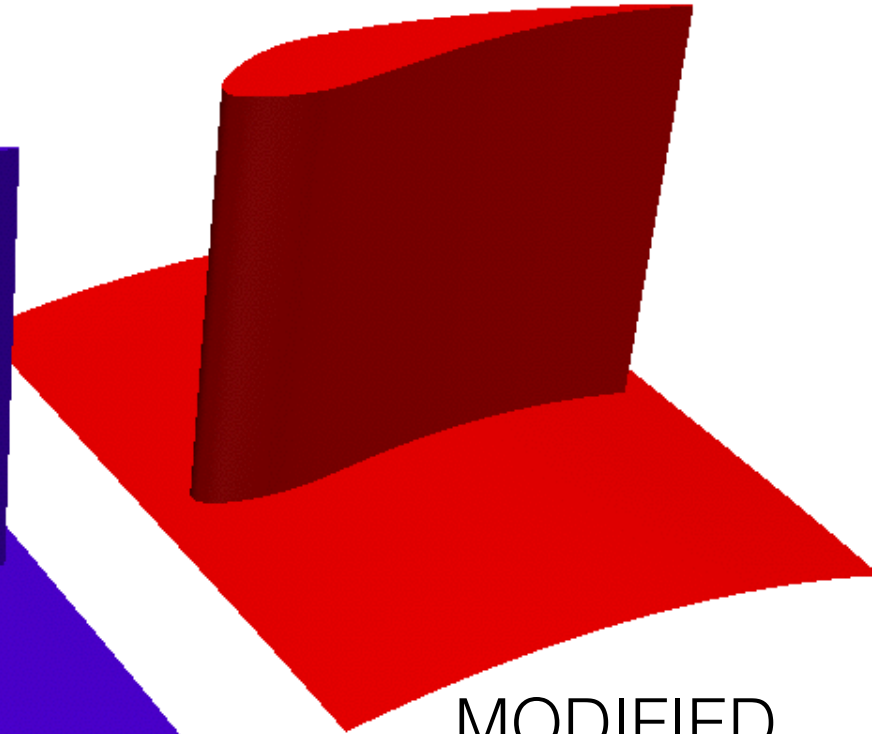
Fig. 31 Tangential view of the pathlines for (a) $U^* = 0.218$ and (b) $U^* = 0.238$

CFD 1 - Turbina Wells

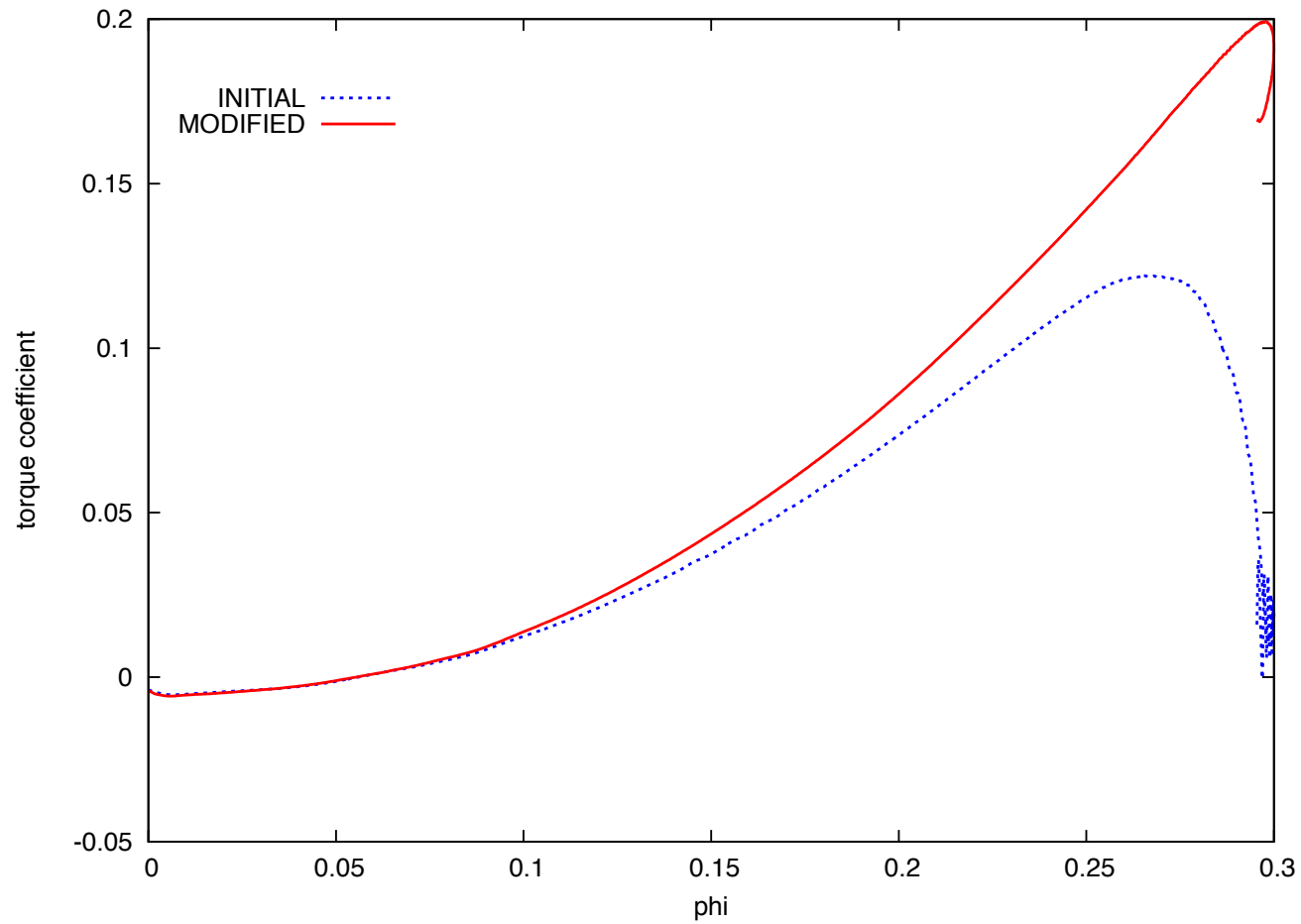
INITIAL



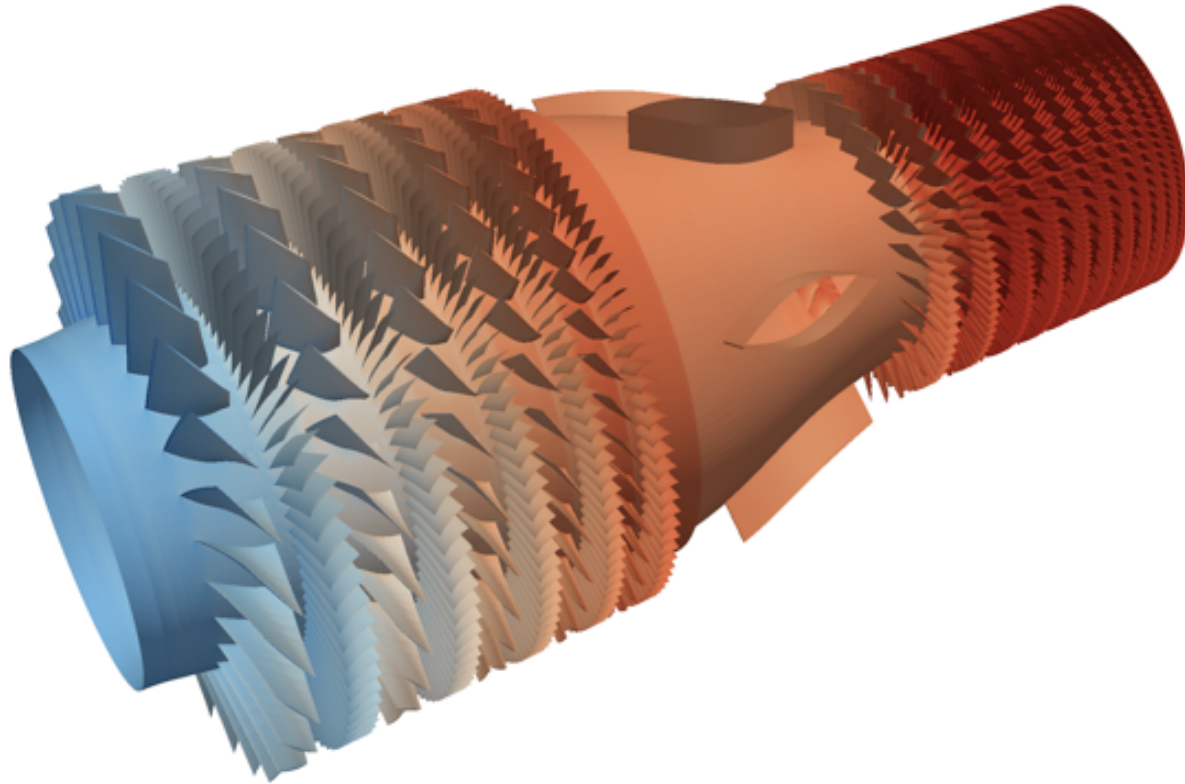
MODIFIED



CFD 1 - Turbina Wells



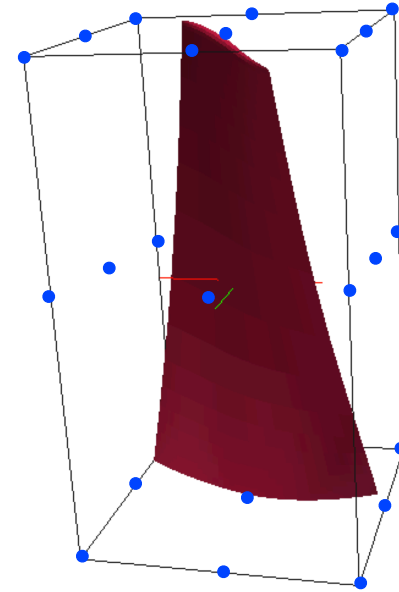
CFD 2 - Compensore



CFD 2 - Compresore

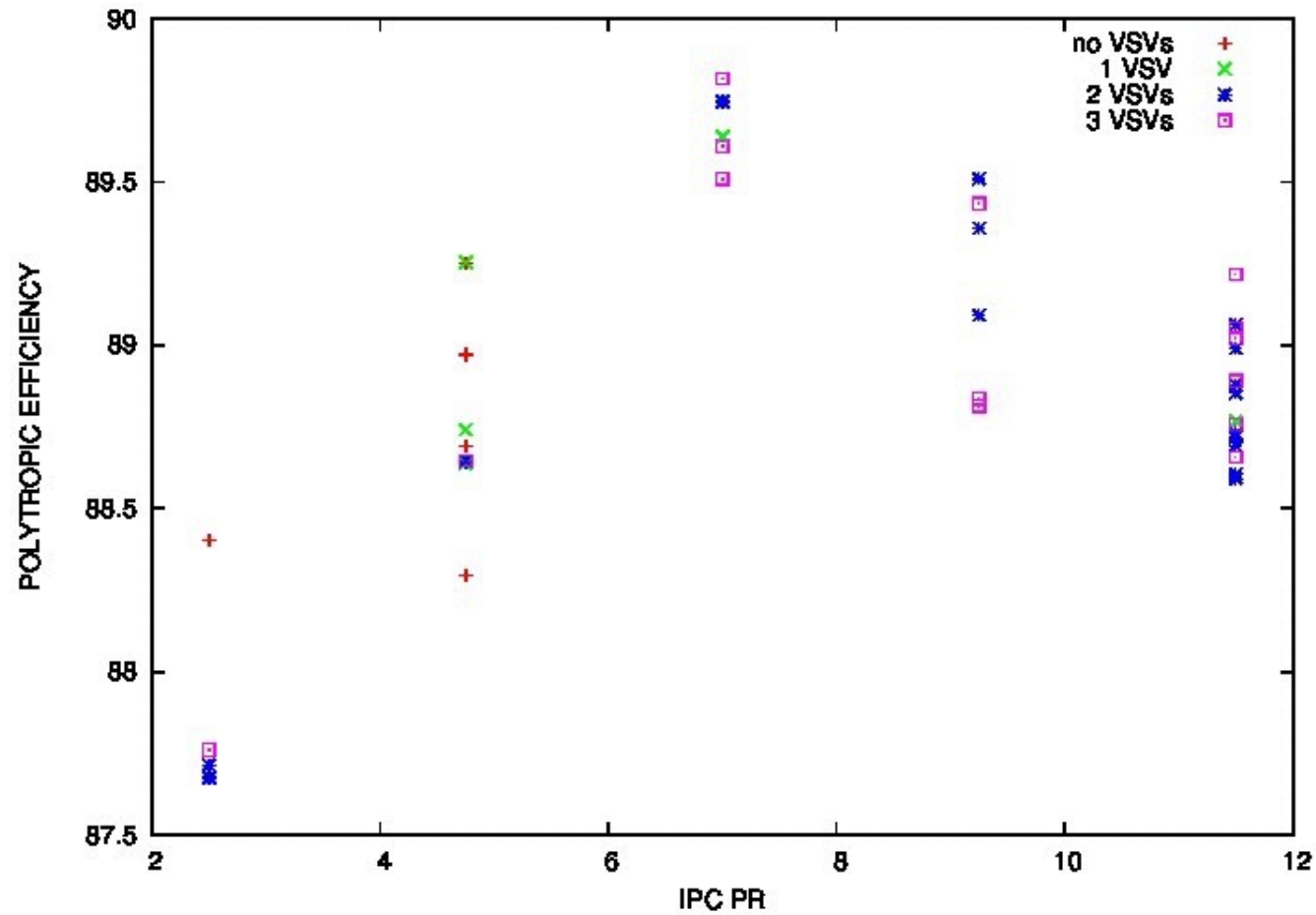


topology
optimisation



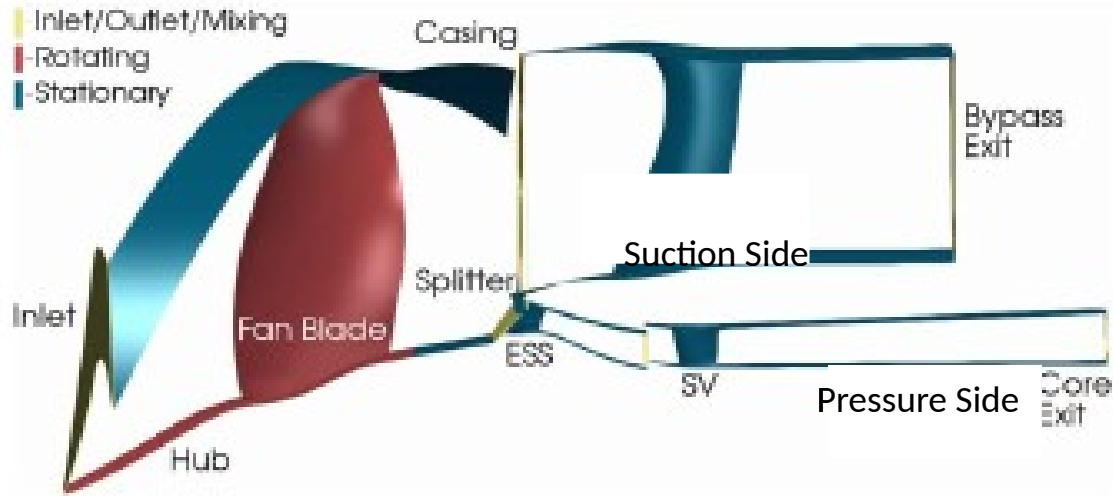
3D
optimisation

CFD 2 - Compresore



CFD 2 - Compresseore

ROBUST OPTIMUM

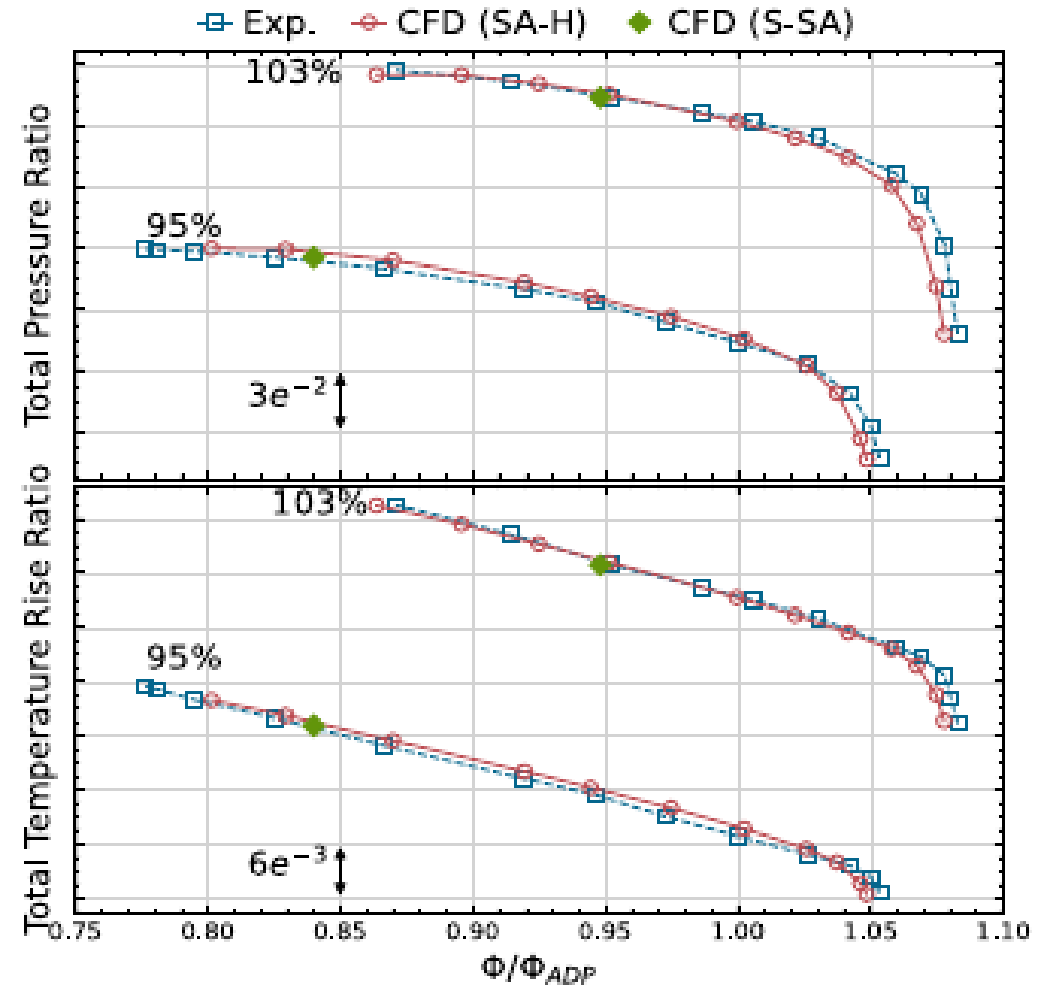


Meridional View

Isometric View

View from the Top

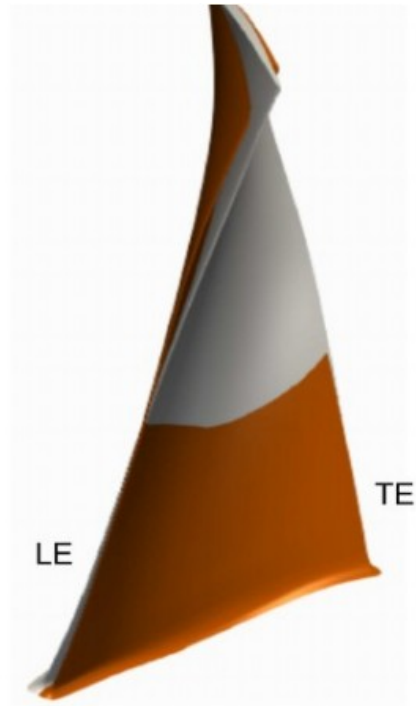
(picture distorted)



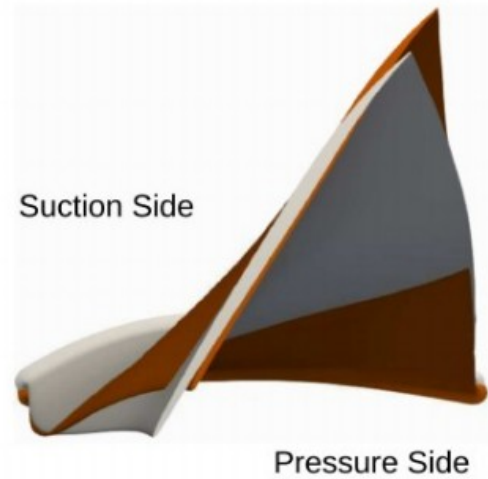
CFD 2 - Compresore



(a) Meridional View



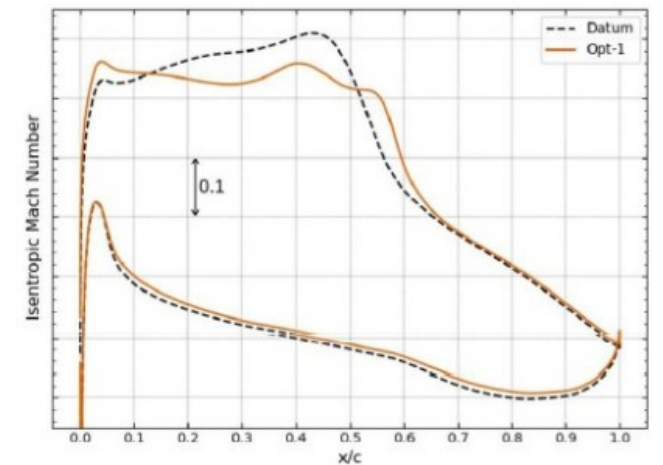
(b) Isometric View



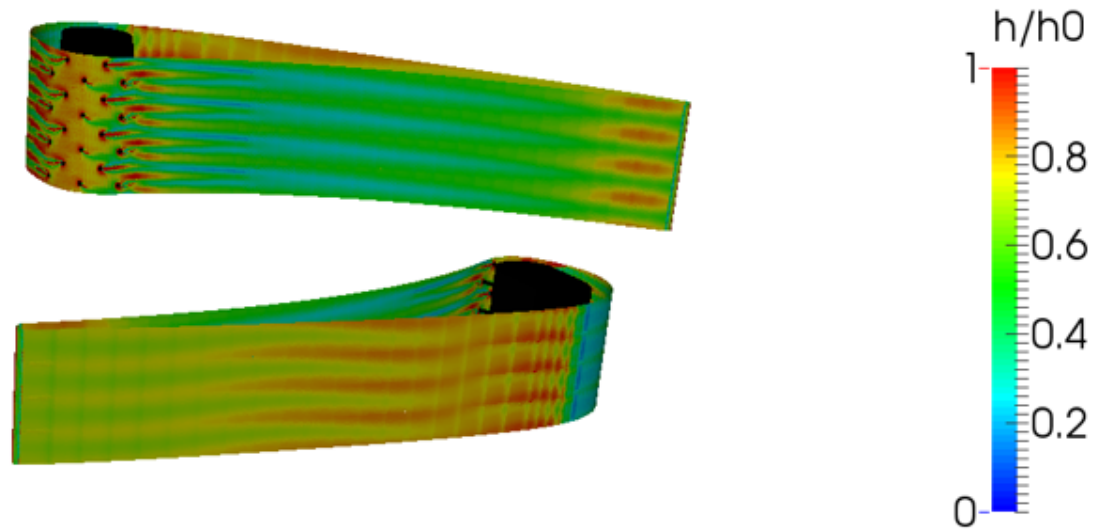
(c) View From the Top



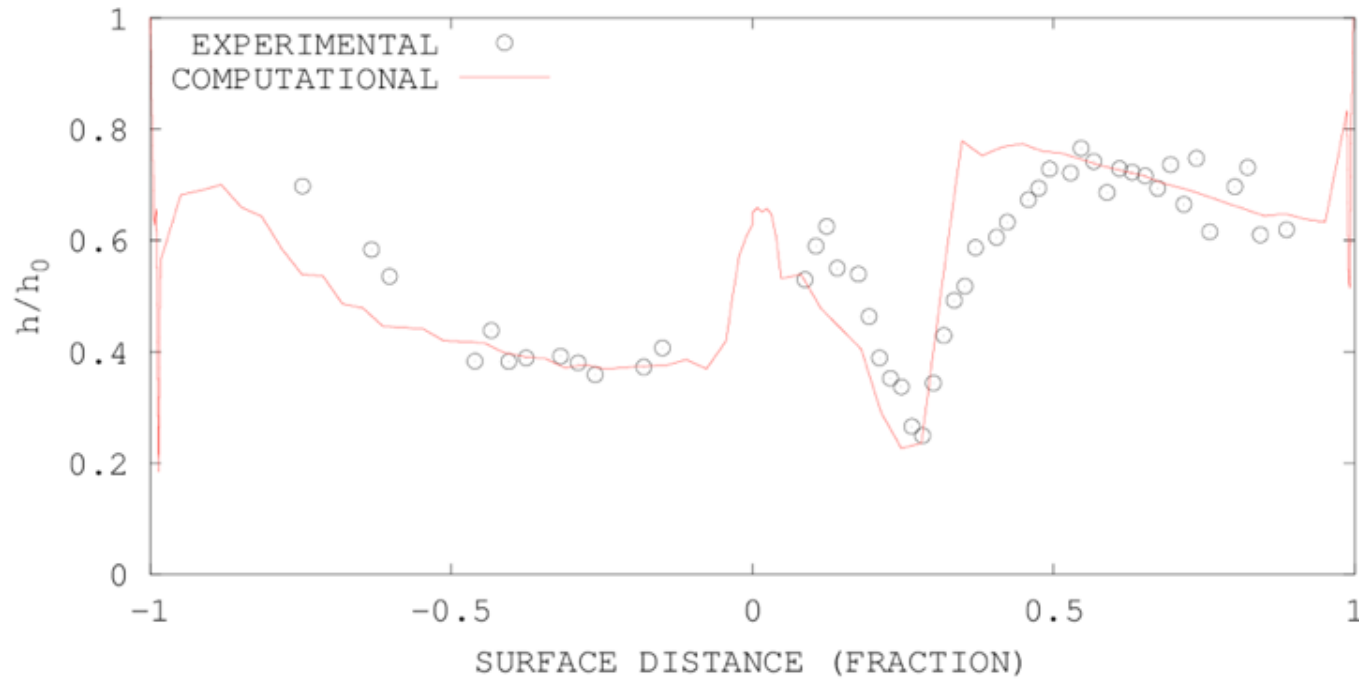
IS. MACH NUMBER 80% SPAN



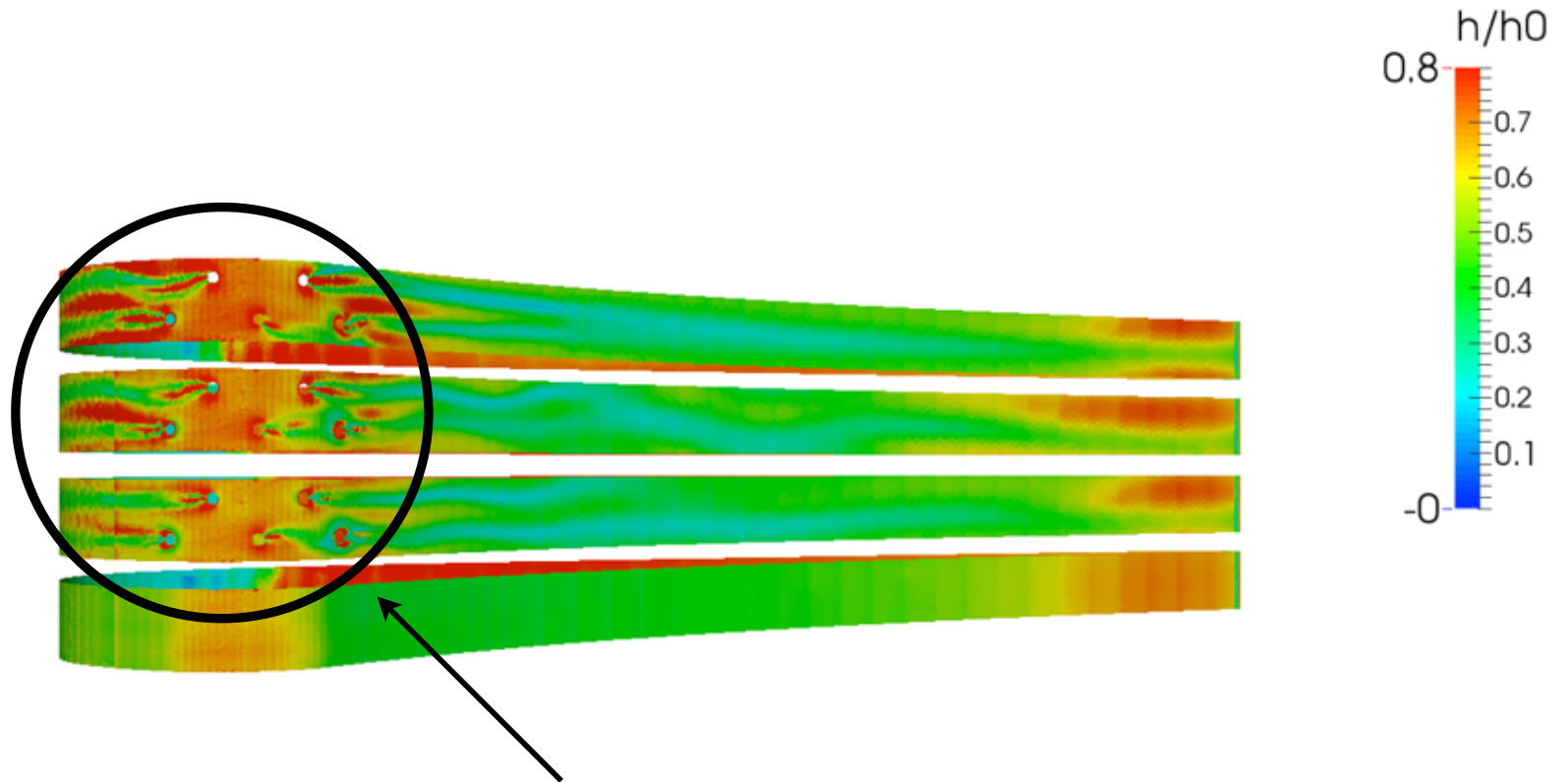
CFD 3 - Blade cooling



CFD 3 - Blade cooling

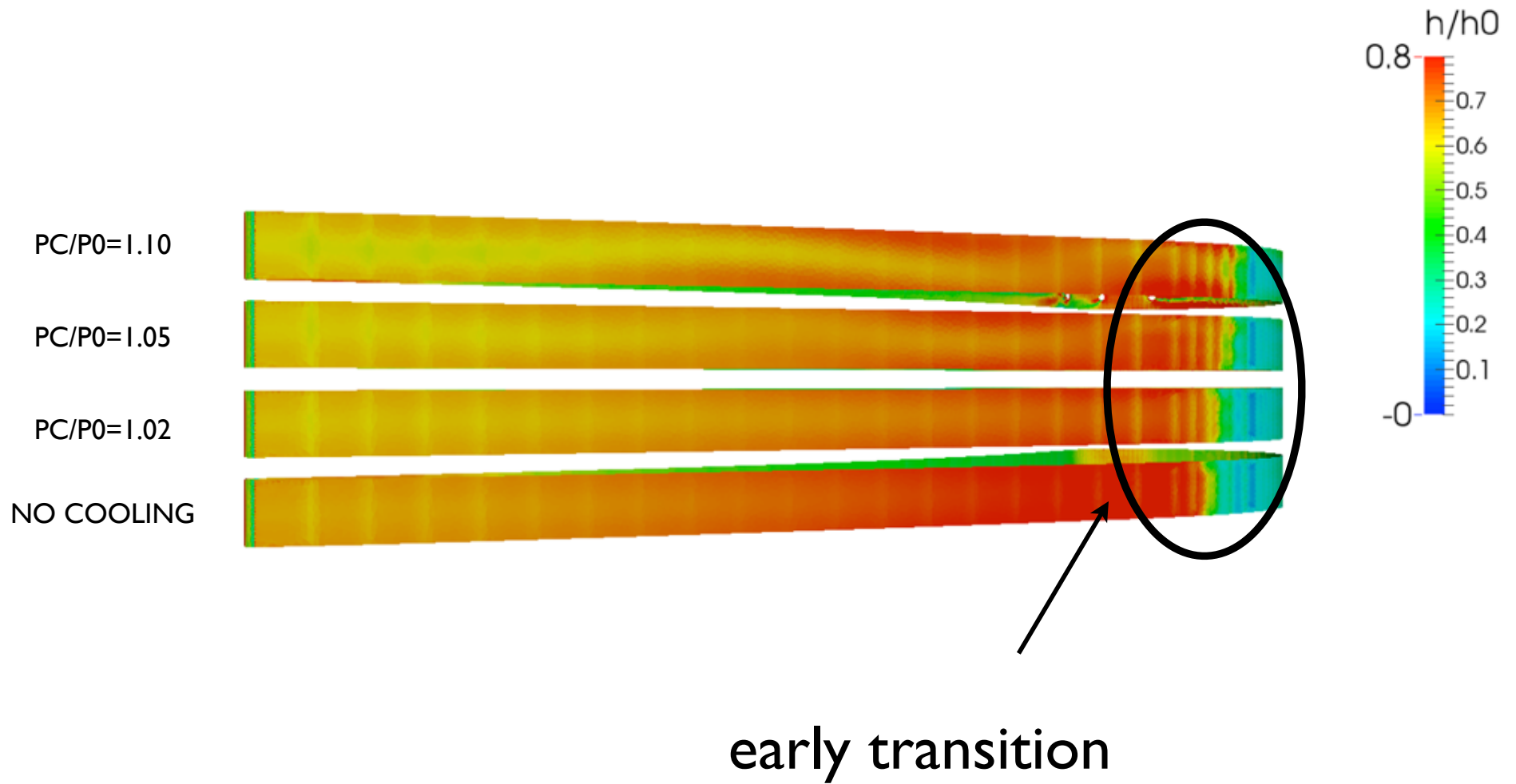


CFD 3 - Blade cooling

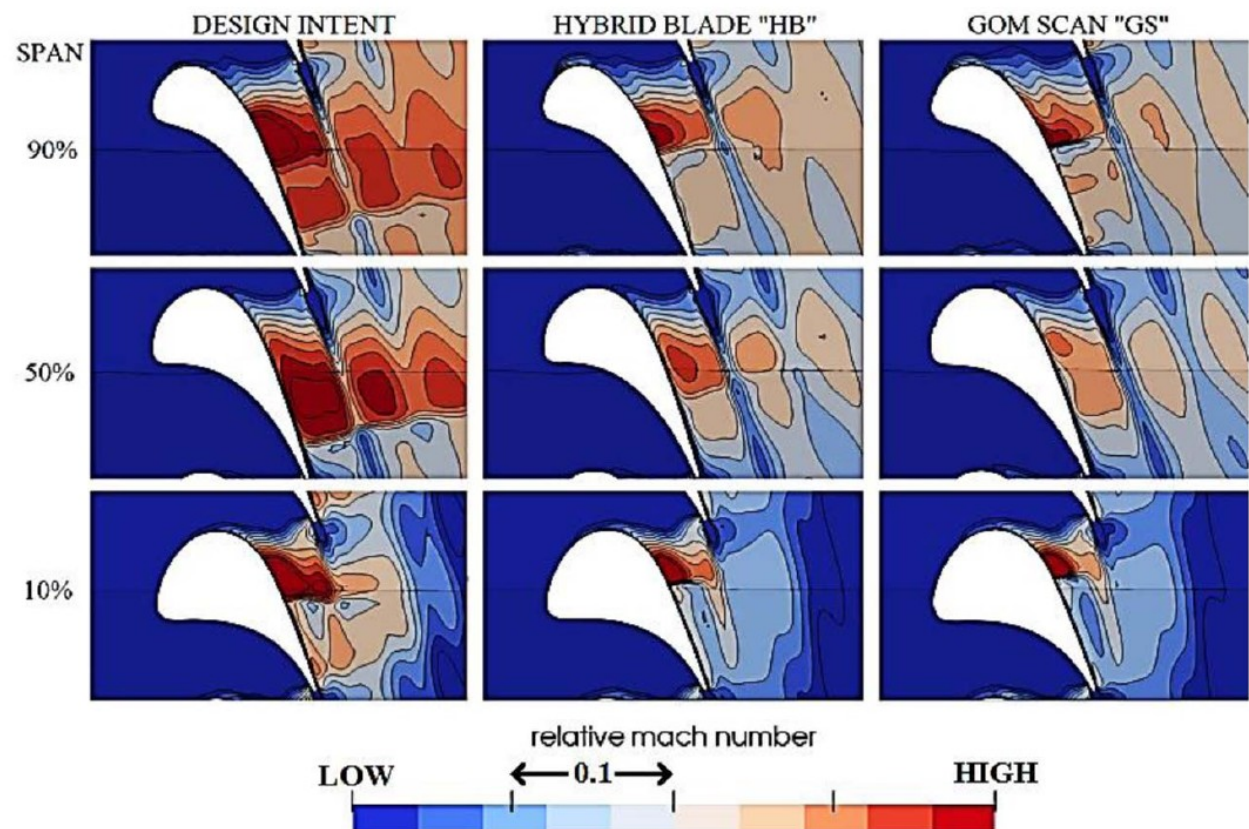
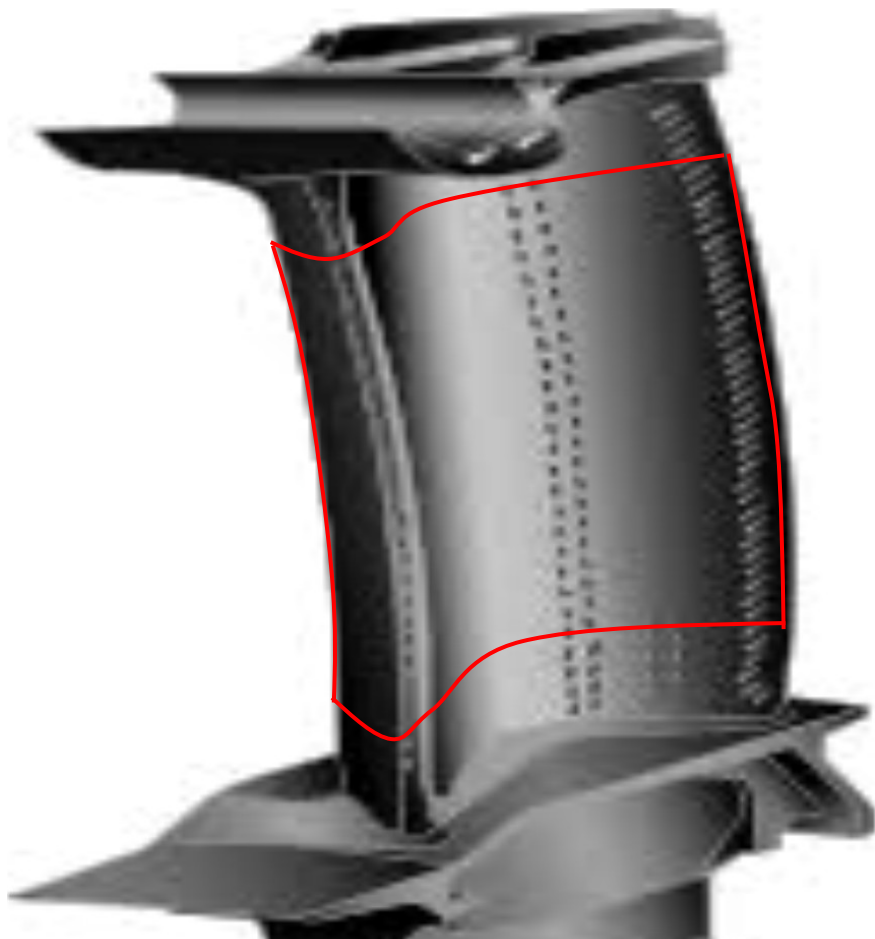


increased heat transfer in
leading edge region

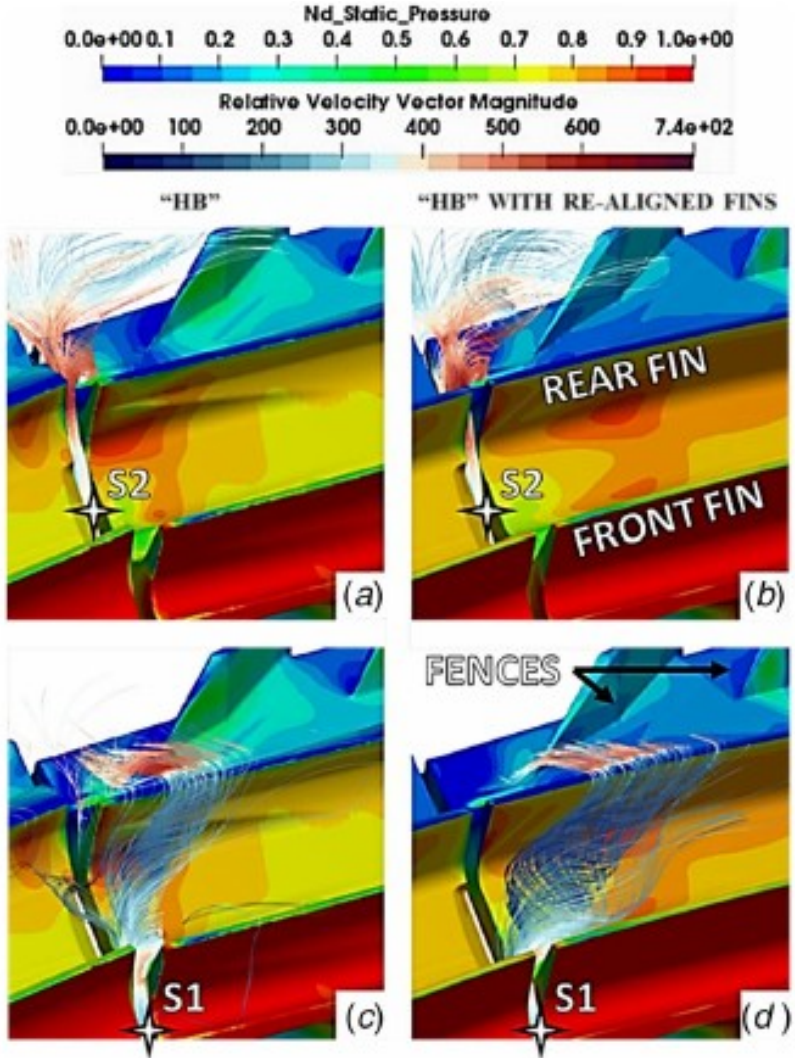
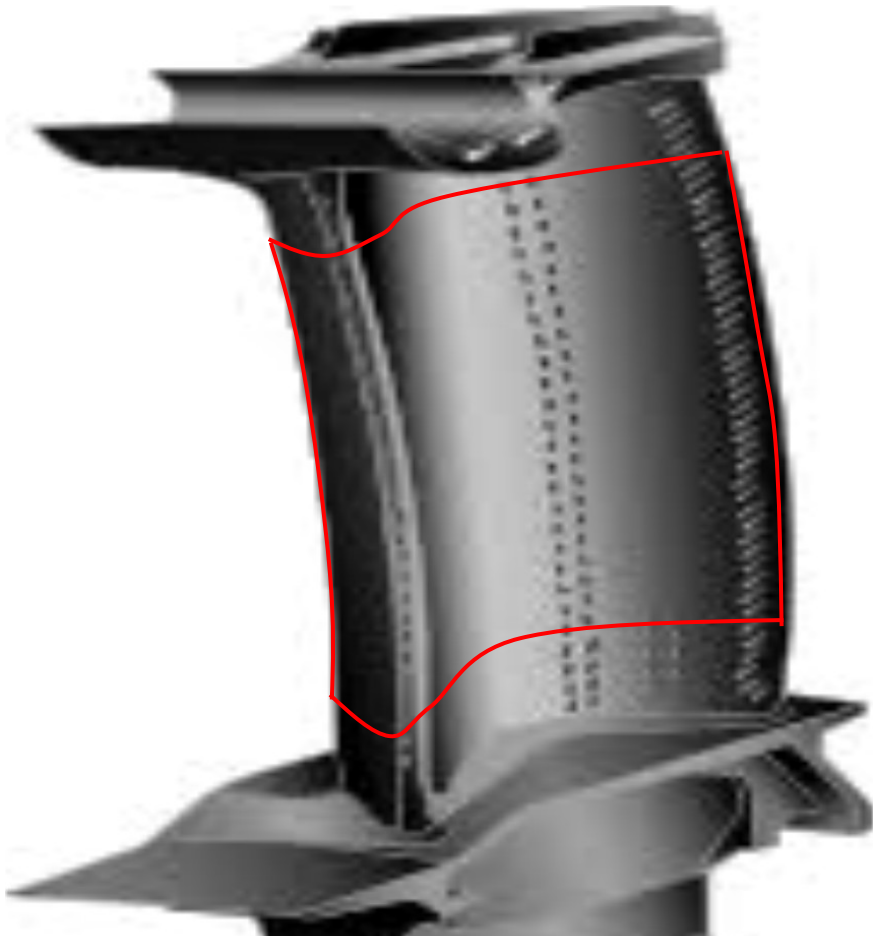
CFD 3 - Blade cooling



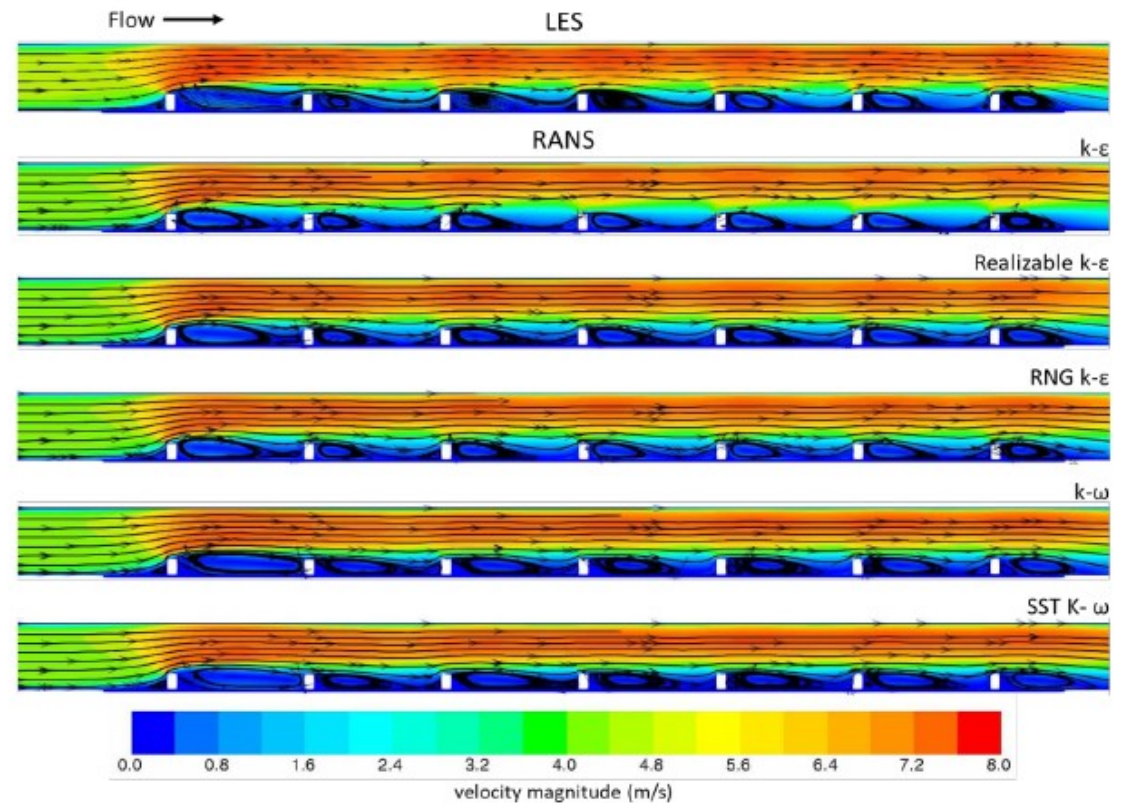
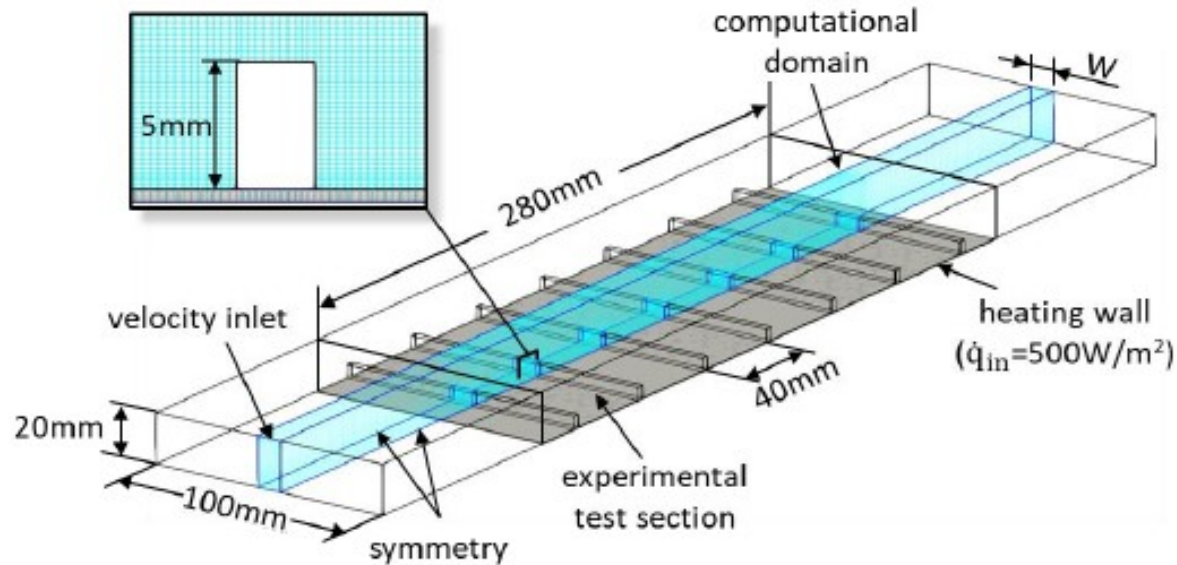
CFD 3 - Turbina



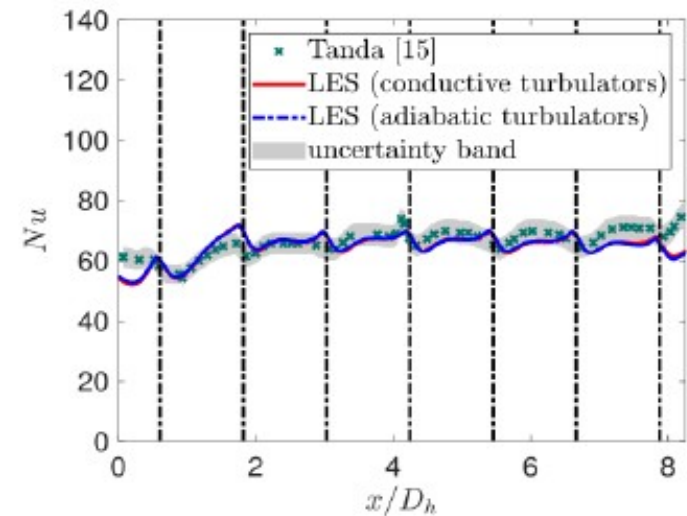
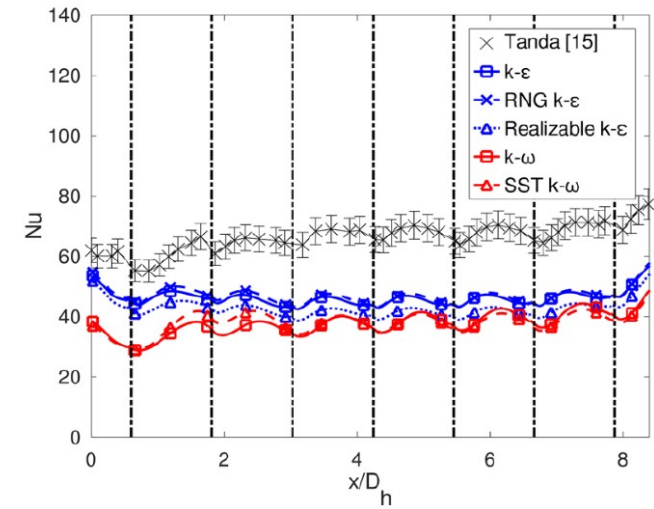
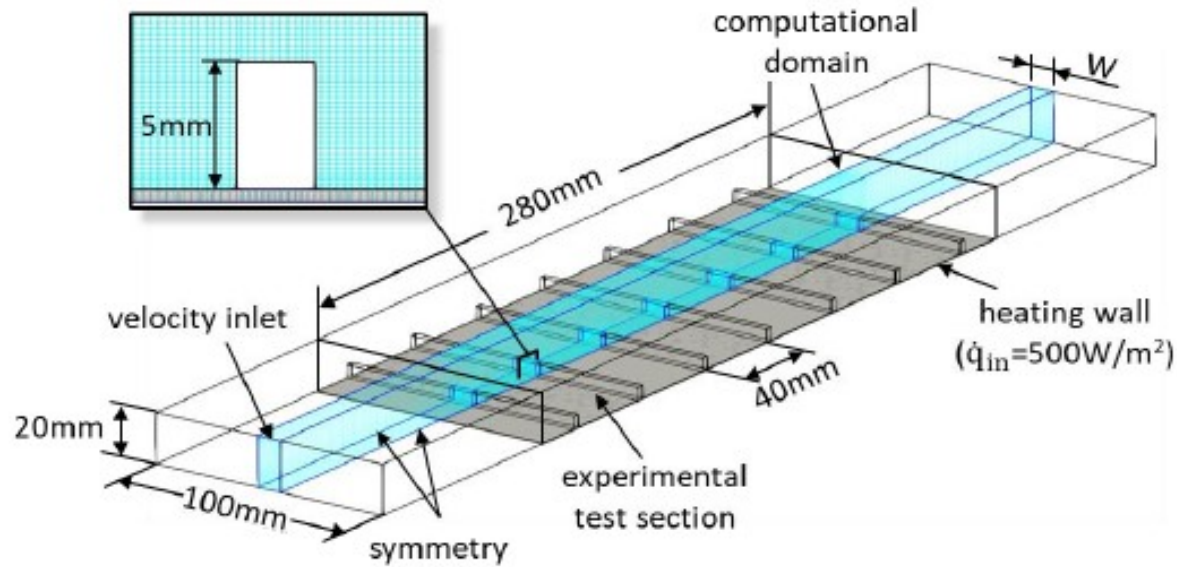
CFD 3 - Turbina



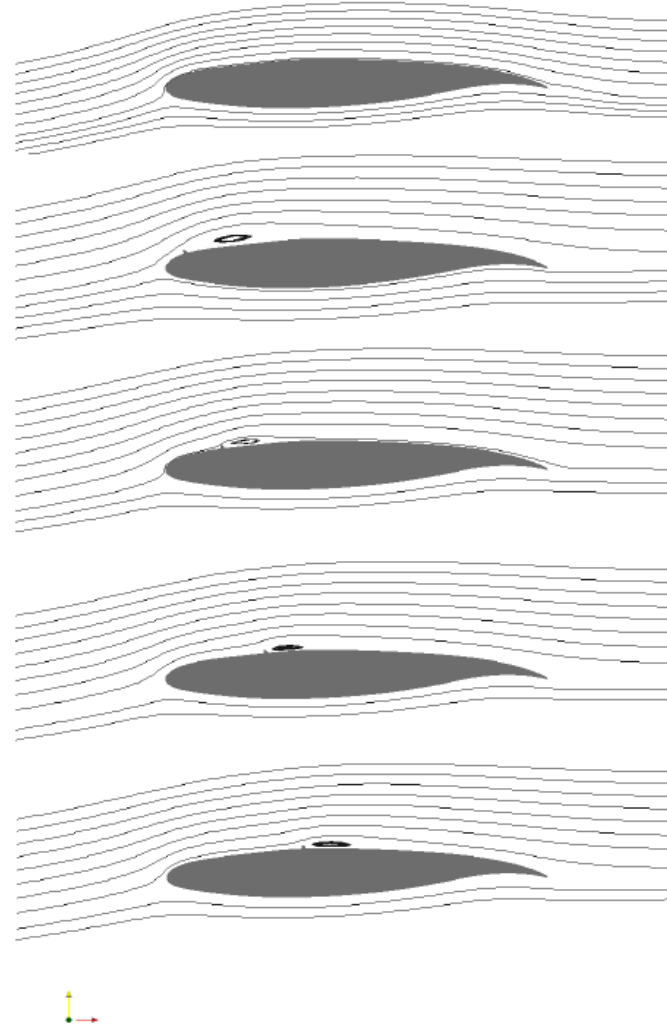
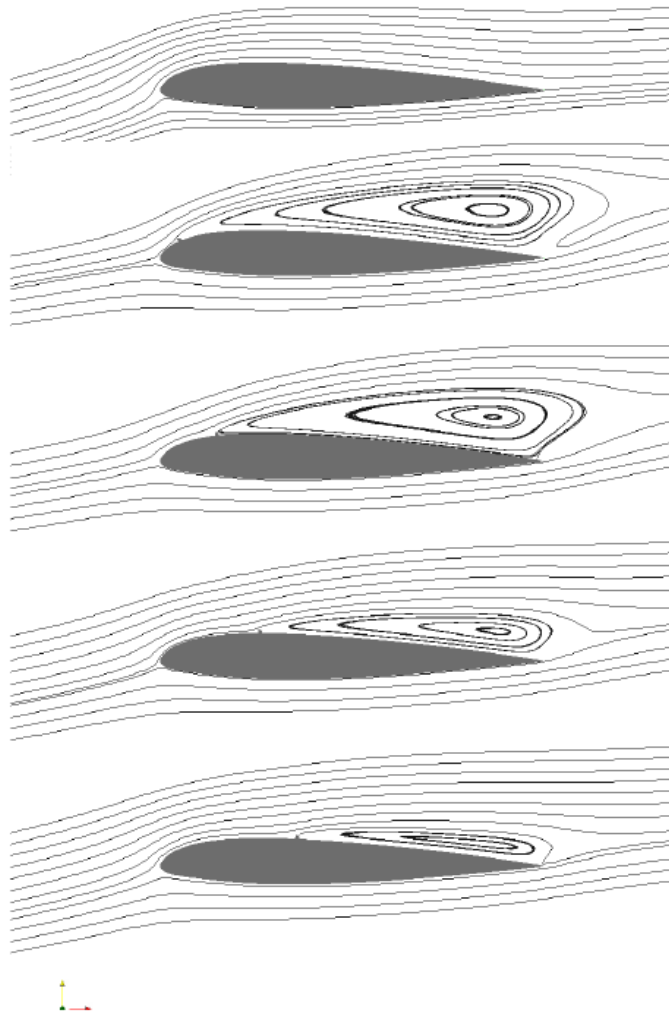
CFD 4 – Scambiatore di calore



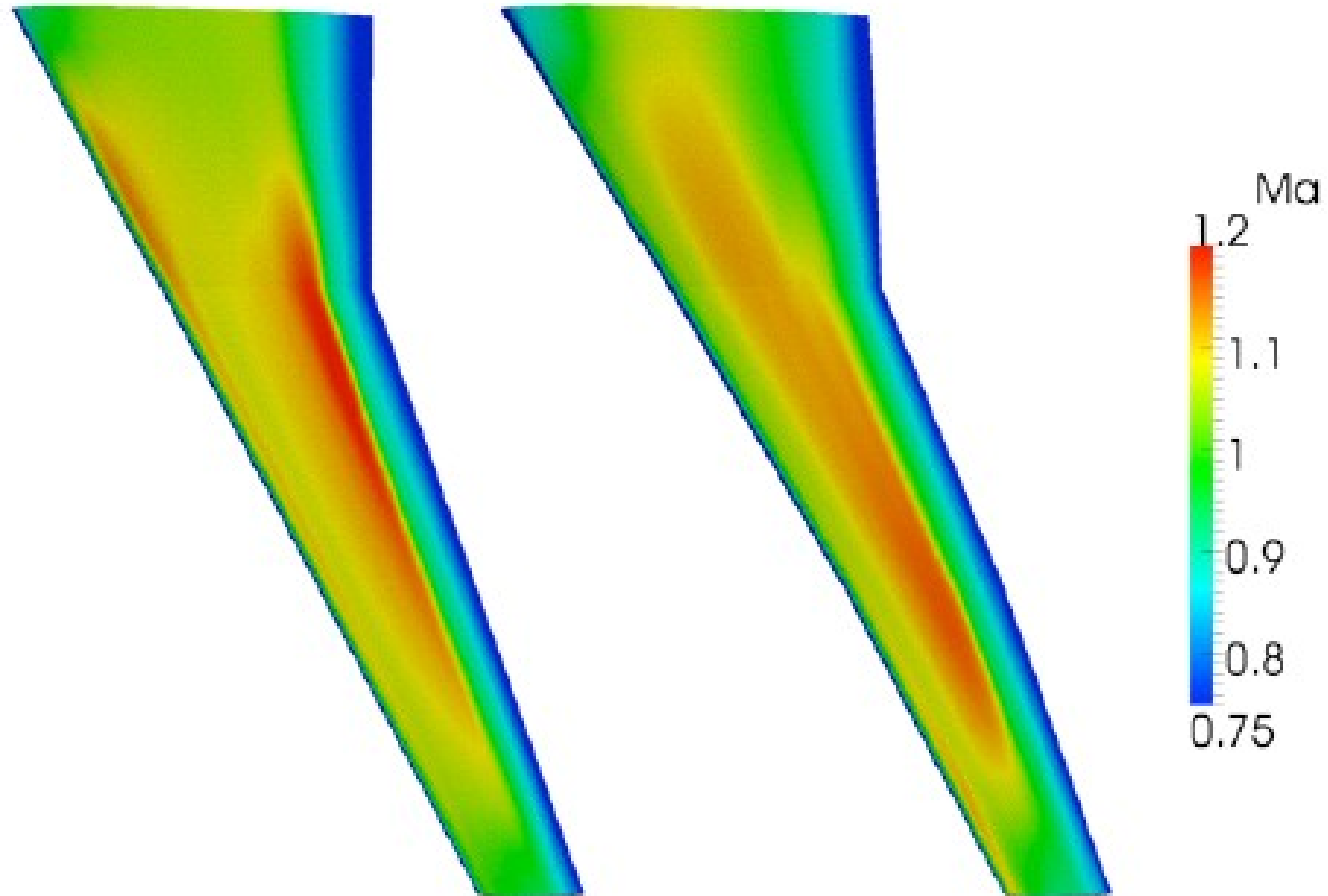
CFD 4 – Scambiatore di calore



CFD 5 – Profili alari



CFD 6 – Ali transoniche



CFD 7 – Incendi boschivi

Sardinian Web-based Wildfire Simulator (SWWS)

Main Settings

Additional Settings

Calculate gridded-wind

Run fire-spread

Run

Save outputs

Upload perimeter

Visualise fuel raster

Reset run

30 mins FIRE PERIMETERS

FINAL FIRE PERIMETER

Developed by Tiziano Ghisu

Map data ©2015 Google Terms of Use Report a map error

Obiettivi

Al termine del corso lo studente avrà acquisito le seguenti competenze:

- Individuare correttamente i modelli fisici e matematici per la risoluzione di problemi fluidodinamici
- scegliere adeguatamente i modelli numerici e valutare correttamente le condizioni al contorno
- utilizzare codici di calcolo commerciali di modellazione geometrica, generazione di griglia e risoluzione fluidodinamica

Prerequisiti

Lo studente dovrà conoscere le nozioni fondamentali di analisi matematica e di fluidodinamica

Contenuti

Il corso vuole fornire un'introduzione all'uso dei programmi di calcolo per la risoluzione numerica di problemi di fluidodinamica.

È prevista una prima parte di tipo teorico, volta a fornire le conoscenze di base sulla soluzione numerica delle equazioni differenziali ordinarie e delle equazioni alle derivate parziali. La seconda parte presenta le equazioni fondamentali della fluidodinamica, alcune loro peculiarità, ed i metodi numerici utilizzati nei programmi di calcolo fluidodinamico disponibili in commercio.

La turbolenza e lo strato limite, fondamentali nella maggior parte dei flussi di tipo "industriale", sono presentati nella terza parte, insieme alle modalità di soluzione oggi disponibili.

Durante il corso sarà svolta una serie di esercitazioni che porteranno lo studente all'utilizzo di programmi di generazione di griglie e di risoluzione numerica. Ampio spazio sarà dedicato al trattamento dei dati ottenuti dalle simulazioni.

Metodi Didattici

Parte I.

Introduzione (2 ore)

Richiami sulla soluzione numerica delle equazioni differenziali ordinarie (6 ore)

Equazioni differenziali alle derivate parziali (6 ore)

Esercitazioni su Matlab (4 ore)

Parte II.

Richiami di dinamica dei fluidi (6 ore)

Metodi numerici (6 ore)

Esercitazione introduttiva alla modellazione geometrica e alla soluzione numerica (6 ore)

Parte III.

Nozioni di base su turbolenza e strato limite (6 ore)

Equazioni RANS, LES e DNS. Modelli di turbolenza (6 ore)

Esercitazioni pratiche (12 ore)

Verifica dell'apprendimento

L'esame finale consisterà nella redazione di due relazioni sulle esercitazioni svolte a lezione (50% del voto) in una discussione della parte teorica del corso (50%).

Testi di riferimento

- Fondamenti di calcolo numerico, Giovanni Monegato, Editore CLUT, ISBN: 887992138X
- An Introduction to Computational Fluid Dynamics: the Finite Volume Method, H K Versteeg and W. Malalasekera, Ed. Person Prentice Hal, ISBN 9780131274983
- Computational Methods for Fluid Dynamics, JH Ferziger and M Peric, Ed. Springer, ISBN 978-3-642-56026-2
- Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, S. V. Patankar, Ed. CRC Press, ISBN 0891165223

Strumenti di Calcolo

- Matlab / Octave
- Pacchetto Ansys (IcemCFD, Fluent, Post-processing)