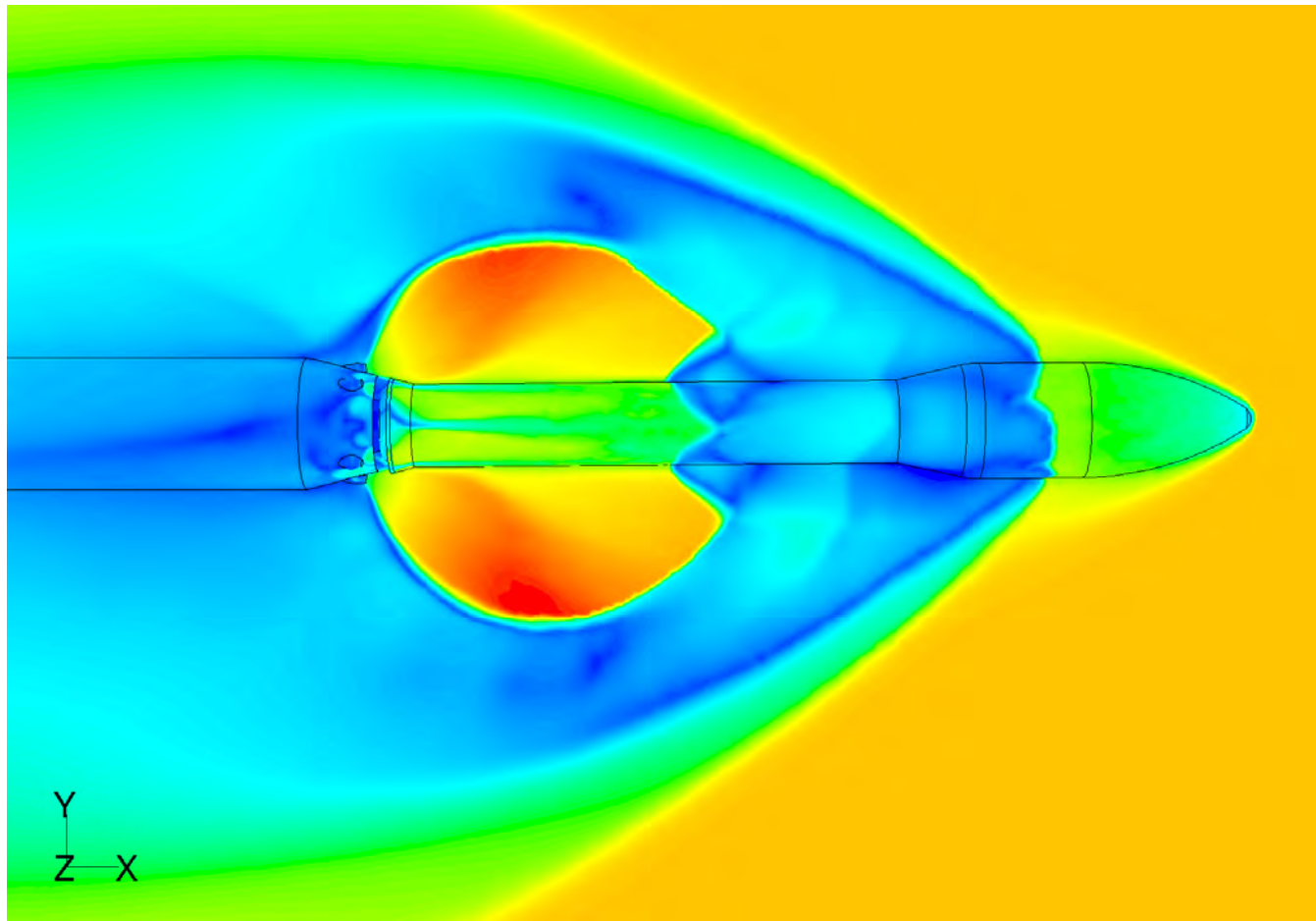


# Introduzione alla fluidodinamica computazionale

Fulvio Stella

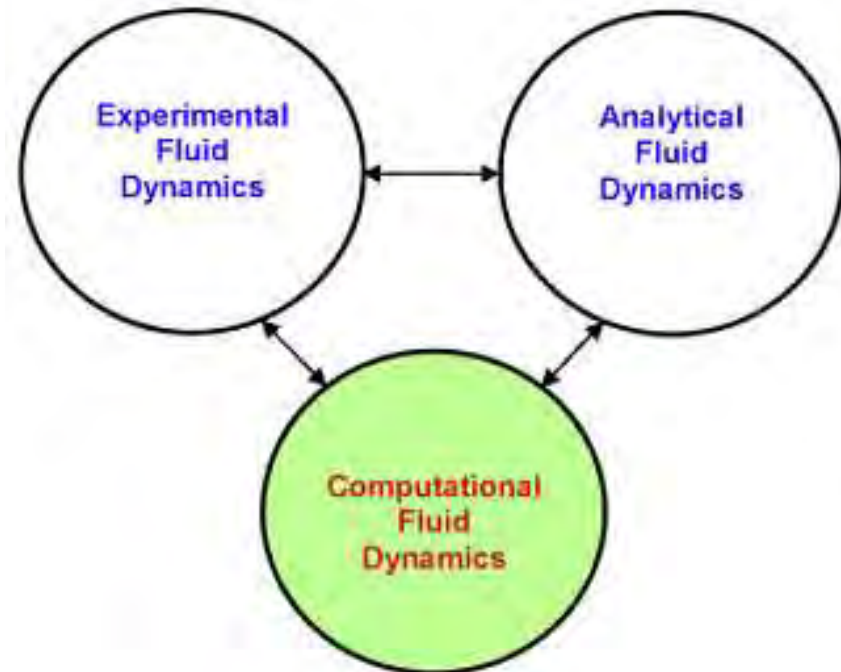
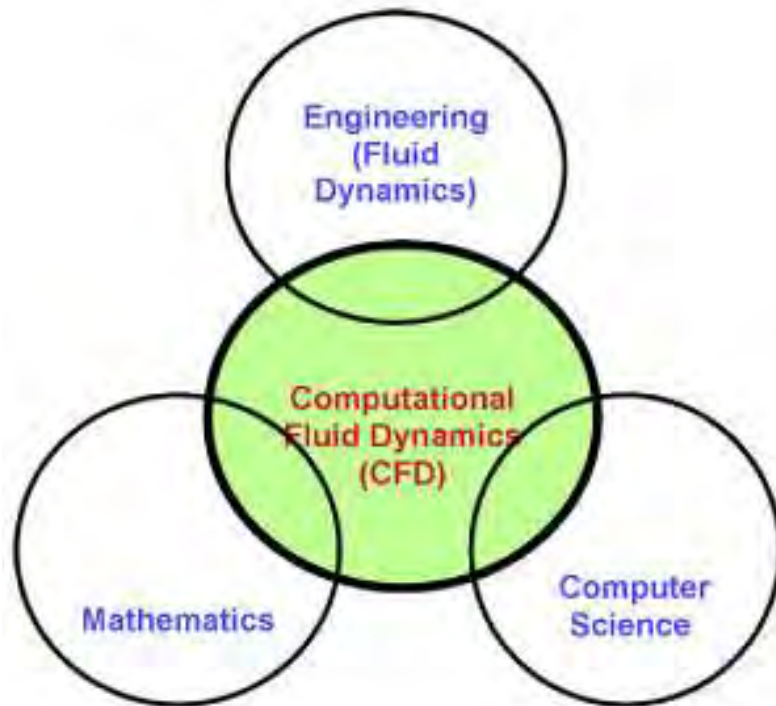


Che cosa è la CFD ?

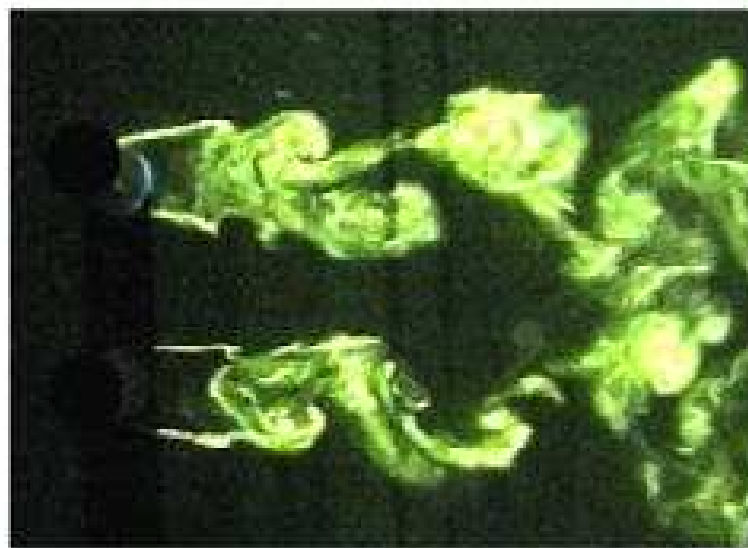
**Fluidodinamica Computazionale**  
(*Computational Fluid Dynamics*)

E' una disciplina che si propone lo studio dei problemi fluidodinamici  
mediante l'utilizzo del computer

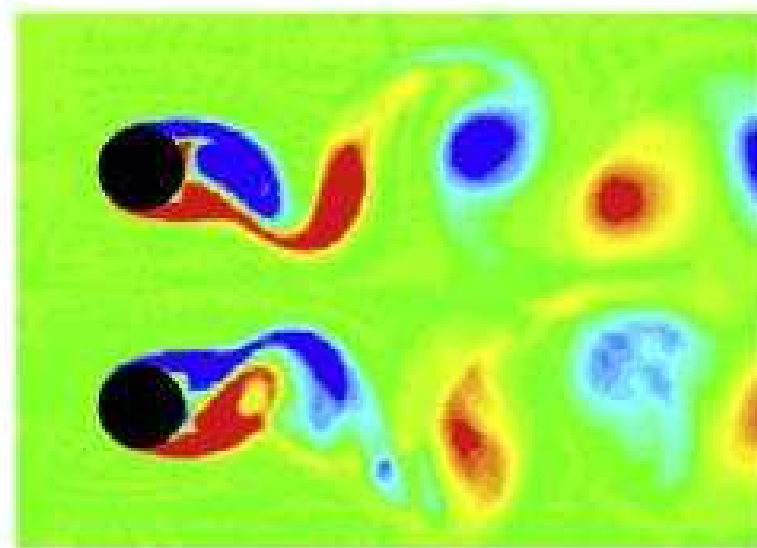
# Che cosa è la CFD ?



# Alcuni Risultati



(a)

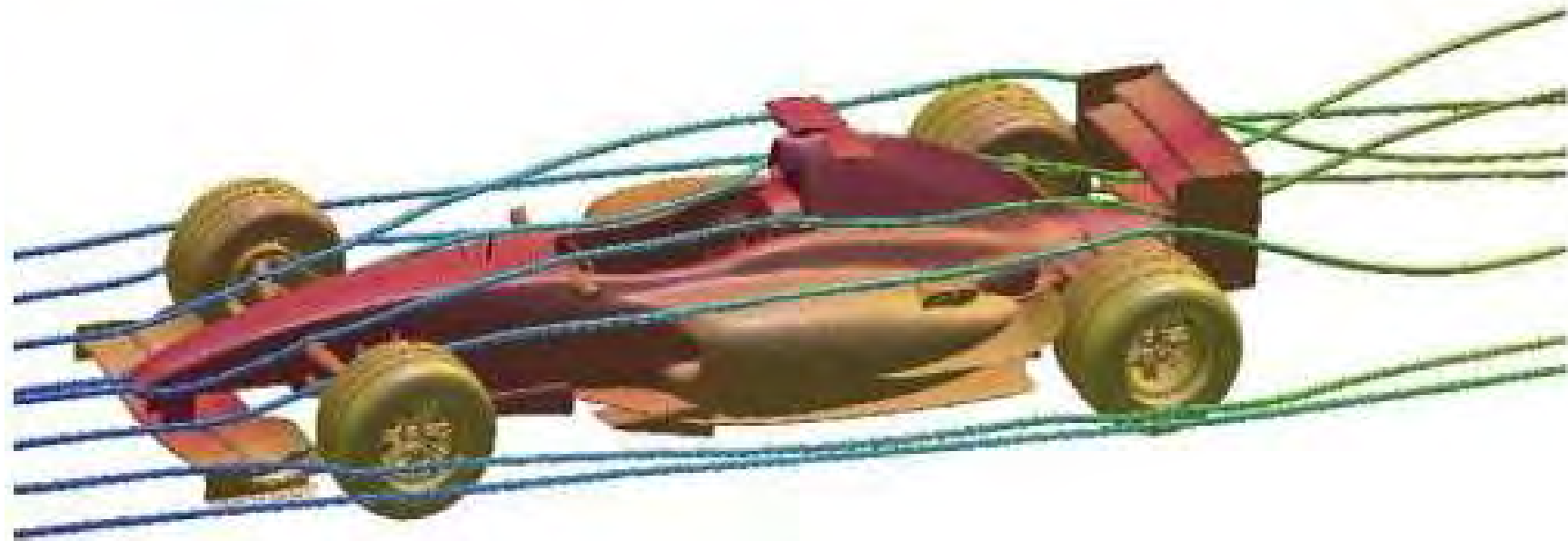
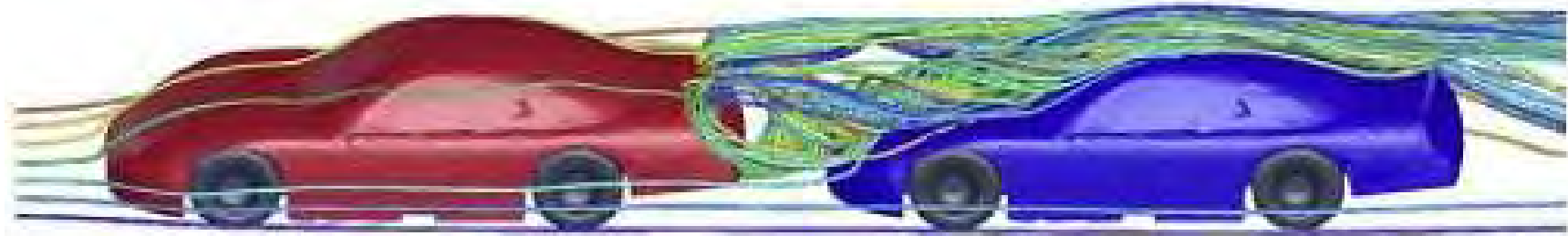


(b)

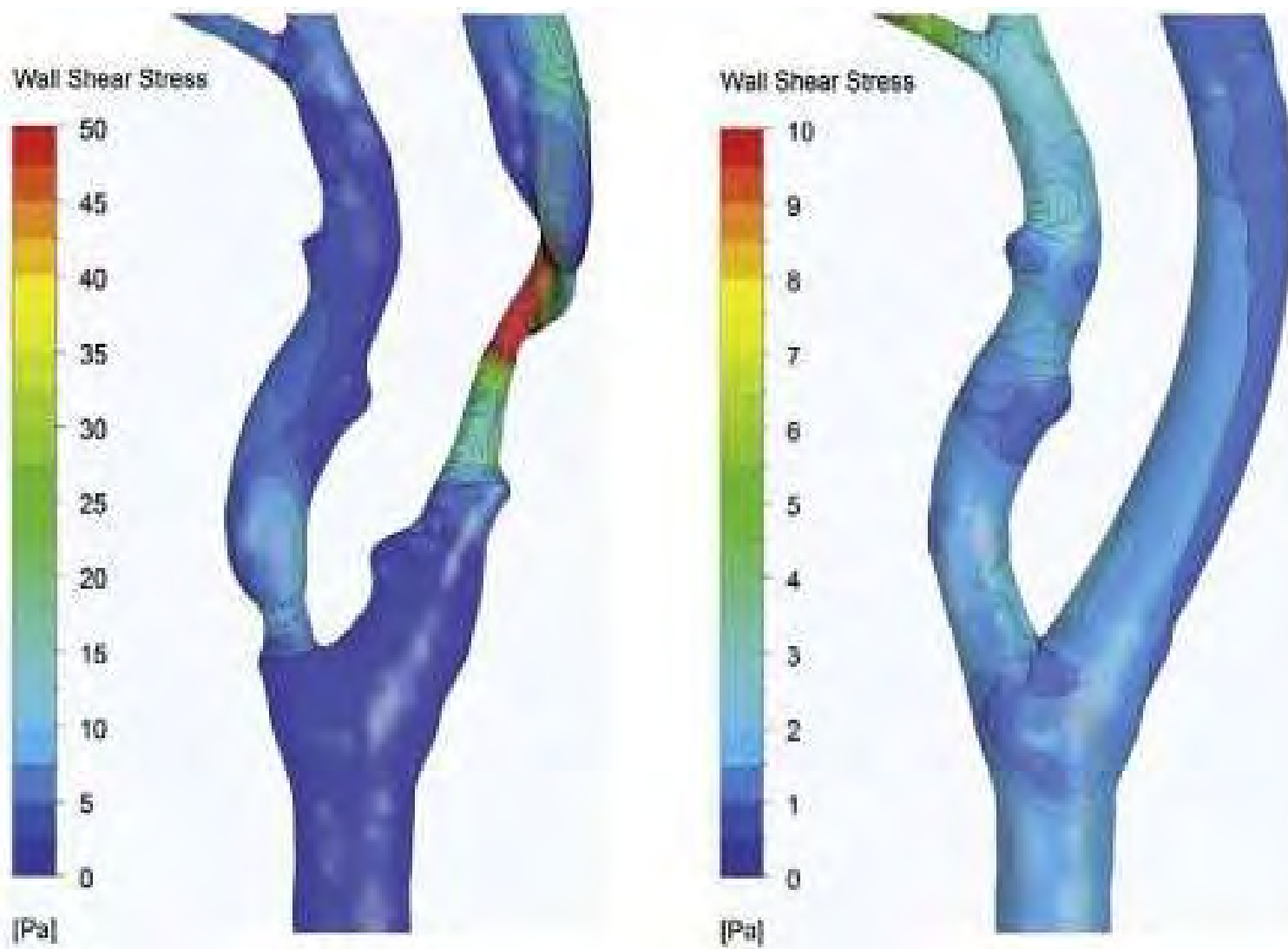
# Alcuni Risultati



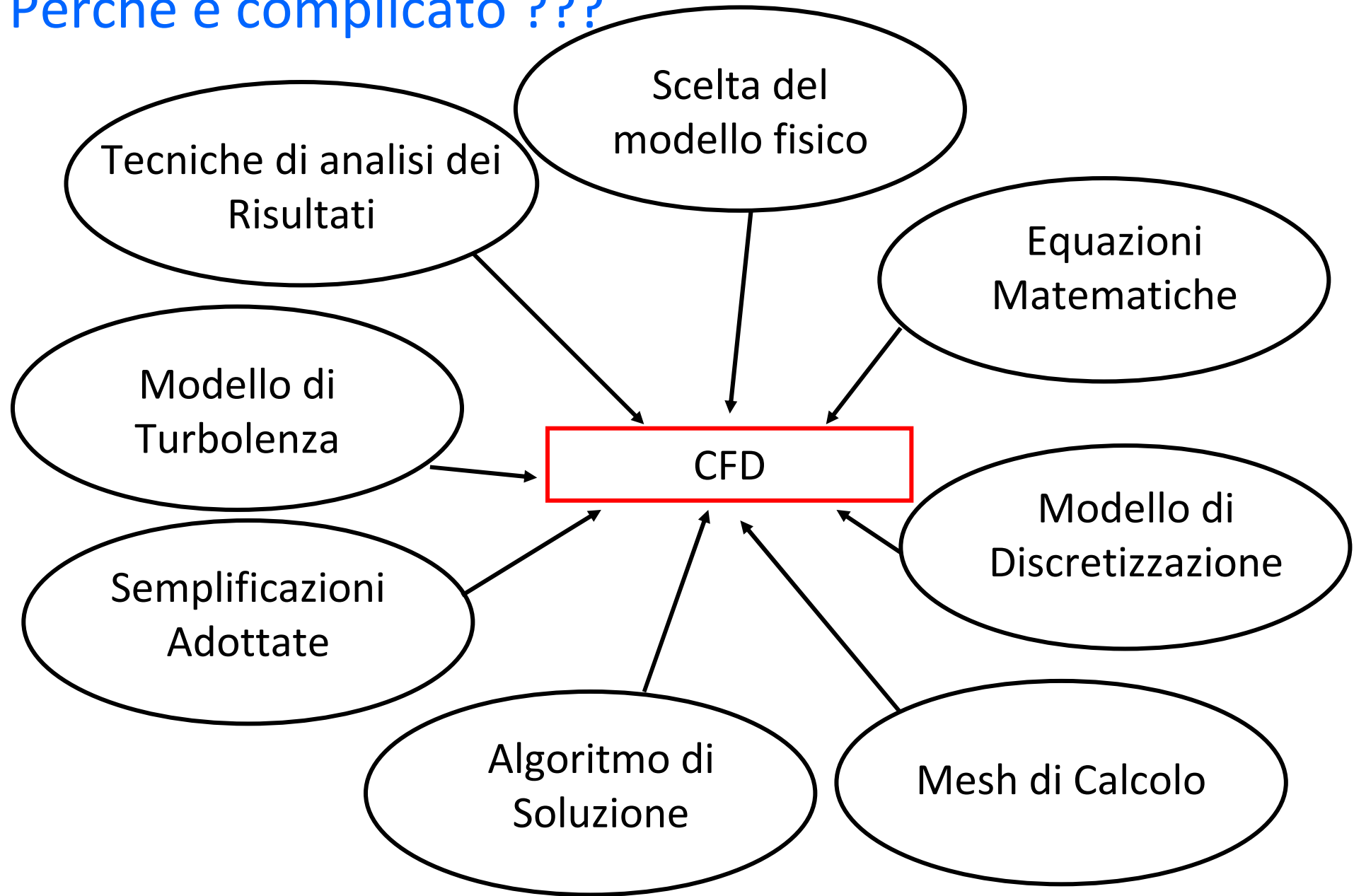
# Alcuni Risultati



# Alcuni Risultati



# Perché è complicato ???





# Equazioni per flussi incomprimibili

- conservazione della massa

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0$$

- conservazione della quantità di moto

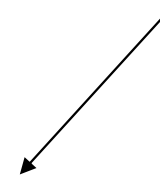
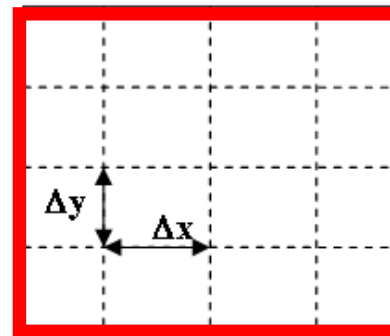
$$\frac{\rho D\vec{v}}{Dt} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{v}$$

- conservazione dell'energia

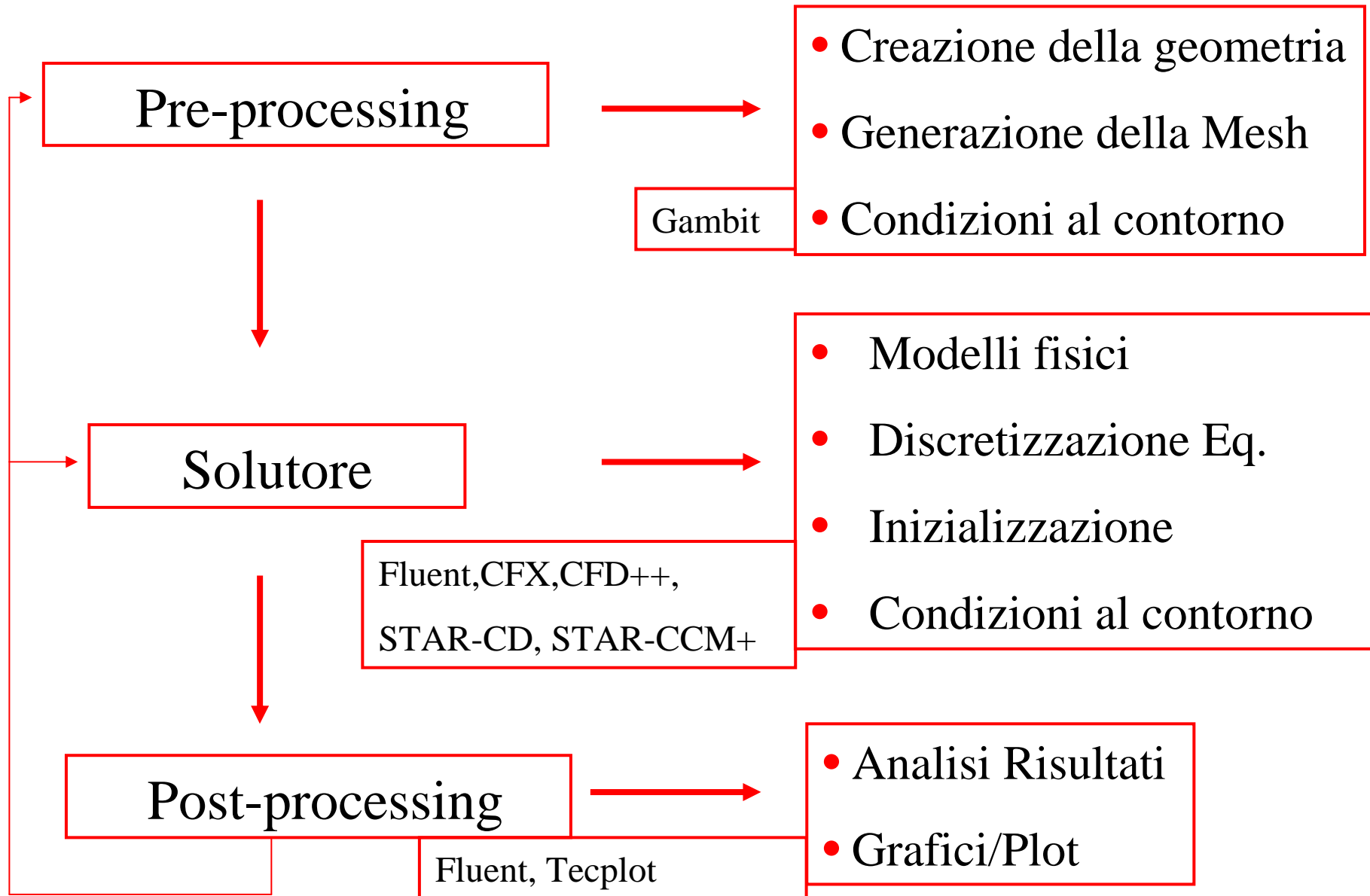
$$\rho c \frac{DT}{Dt} = \nabla \cdot (\mathbf{k} \nabla T)$$

# Condizioni al contorno

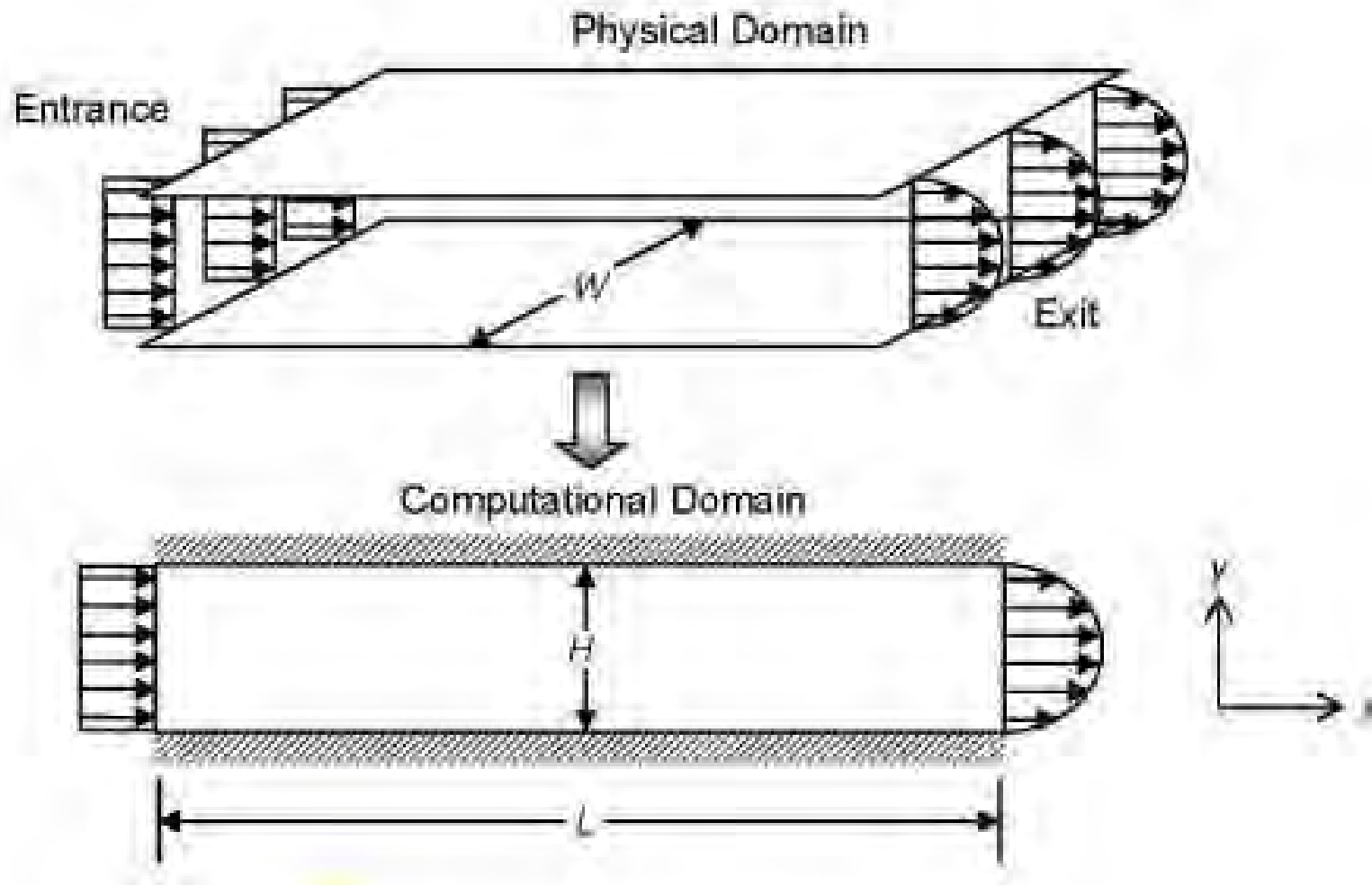
- Le equazioni di conservazione sono associate ad appropriate condizioni al contorno (B.C.)
- Le B.C. dipendono dal problema fisico in esame
- Dal punto di vista computazionale occorre imporre delle condizioni sulla frontiera del dominio di calcolo



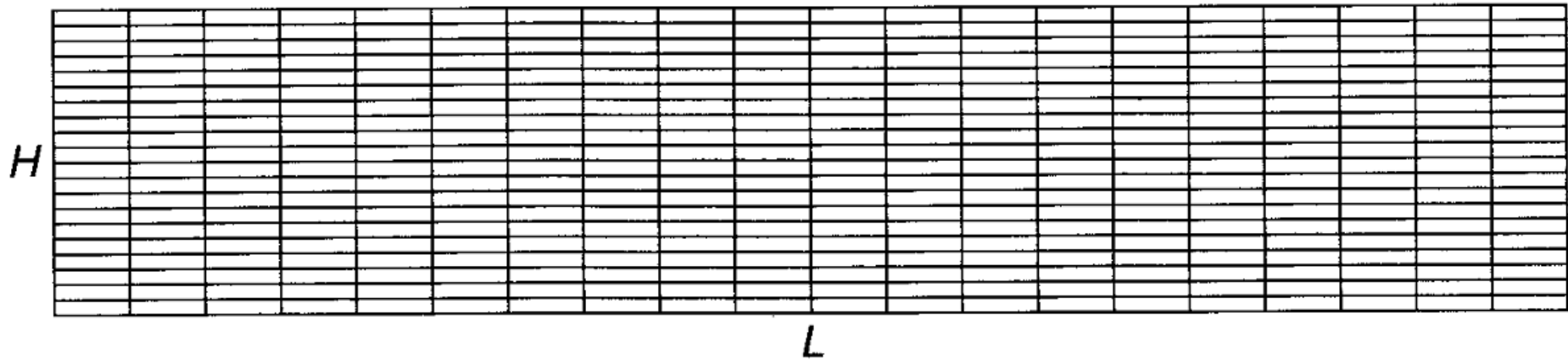
# Procedura Standard



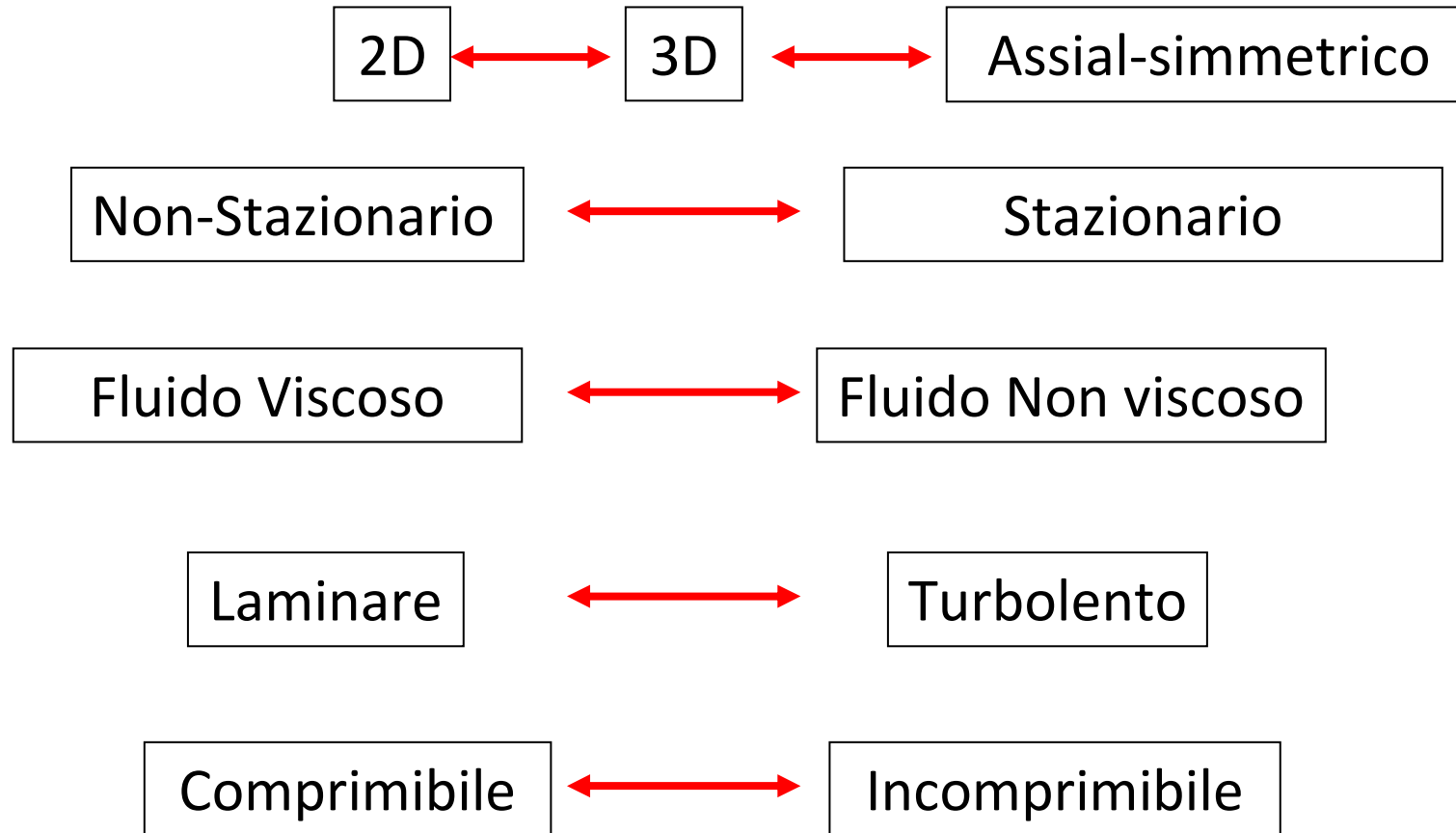
# Creazione della Geometria



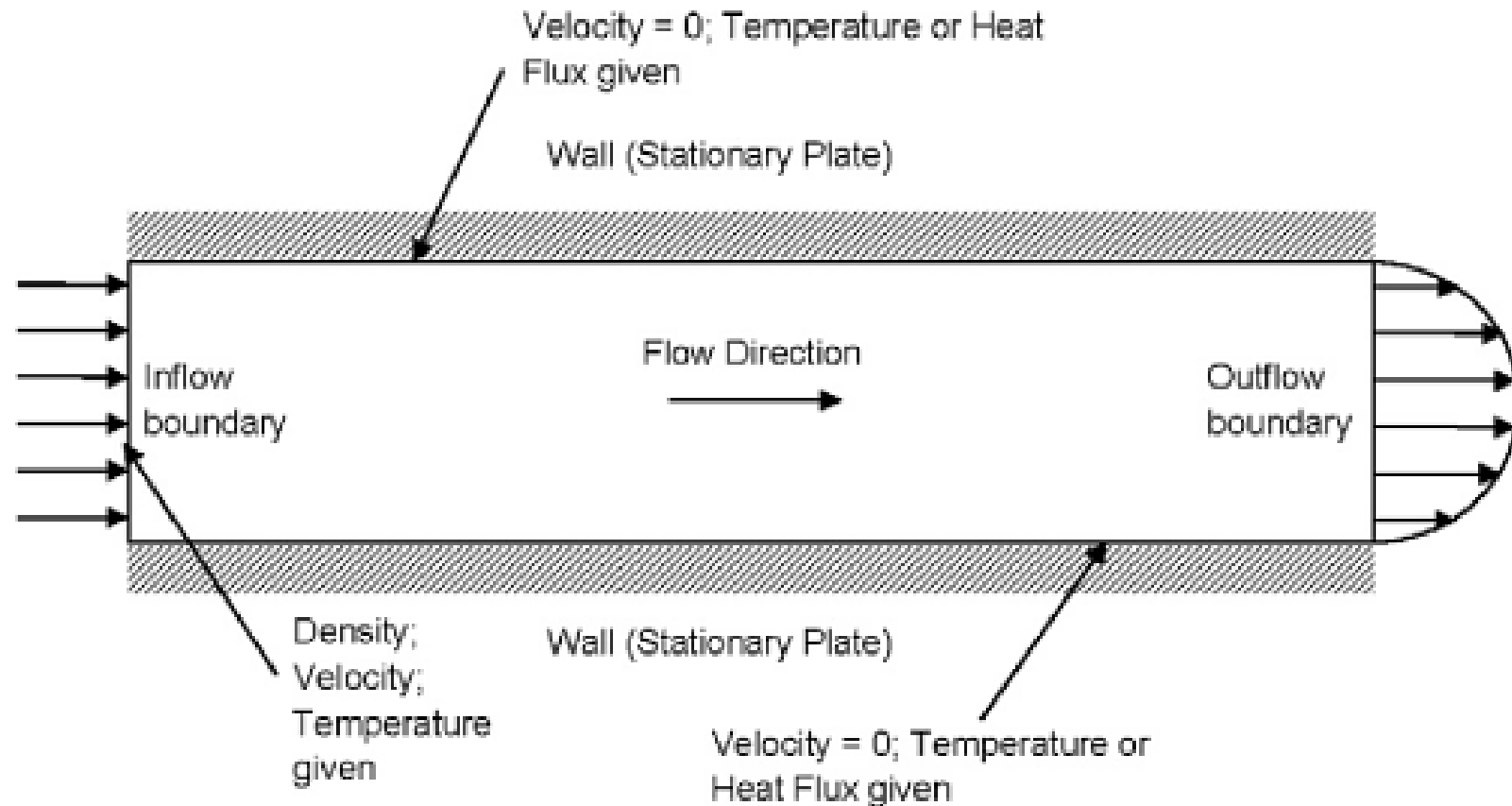
# Generazione della mesh



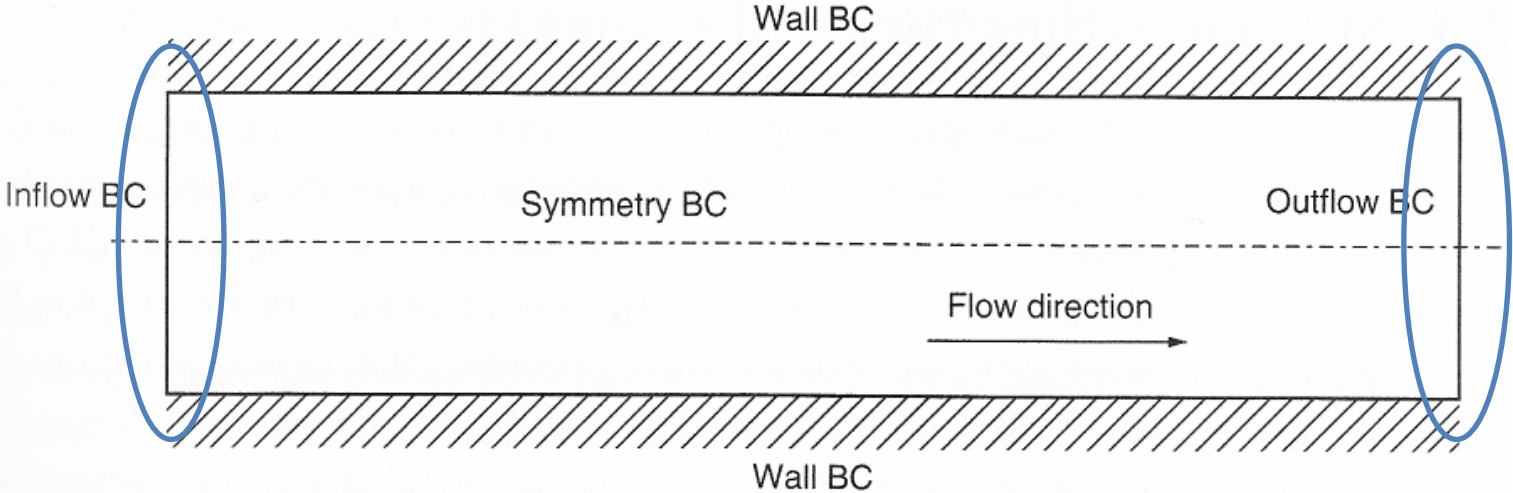
# Scelta Modellistica



# Condizioni al contorno



# Condizioni al contorno

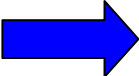


**Boundary Conditions**

Zone	Type
atomizer-wall	inlet-vent
central_air	intake-fan
co-flow-air	interface
default-interior	mass-flow-inlet
fluid	outflow
outer-wall	outlet-vent
<b>outlet</b>	pressure-far-field
periodic-a	pressure-inlet
swirling_air	<b>pressure-outlet</b>
	symmetry
	velocity-inlet
	wall

ID: 5

Buttons: Set... Copy... Close Help



**Pressure Outlet**

Zone Name: pressure-outlet-1

Momentum | Thermal | Radiation | Species | DPM | Multiphase | UDS

Gauge Pressure (pascal): 0 constant

Backflow Direction Specification Method: Normal to Boundary

Target mass-flow rate

Turbulence

Specification Method: Intensity and Length Scale

Backflow Turbulence Intensity (%): 10

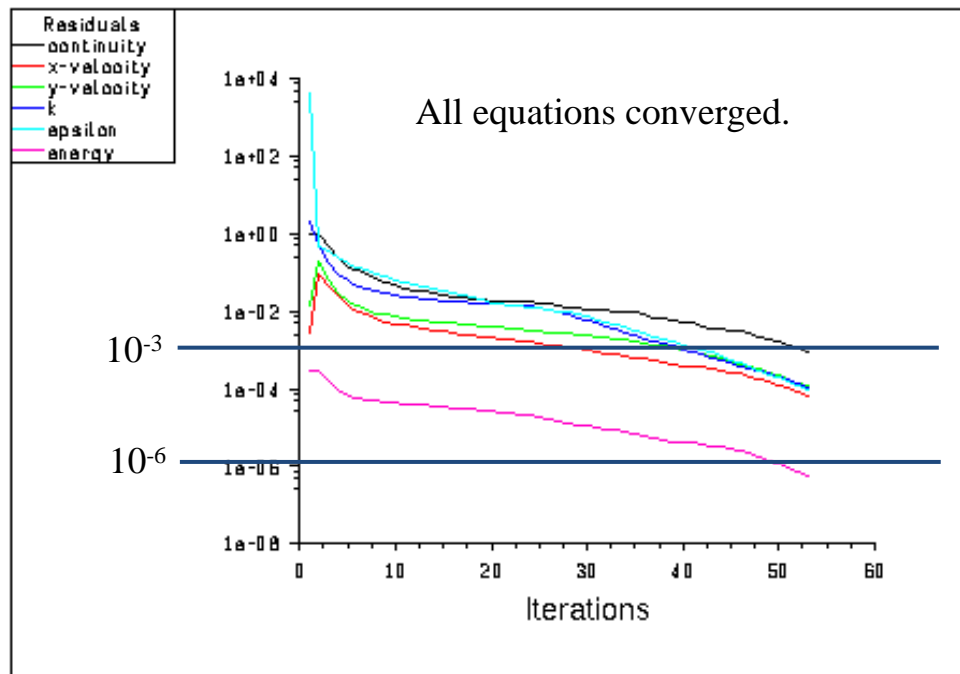
Backflow Turbulence Length Scale (m): 1

Buttons: OK Cancel Help



# Monitoraggio sulla convergenza della soluzione

□ Solve → Monitors → Residual...



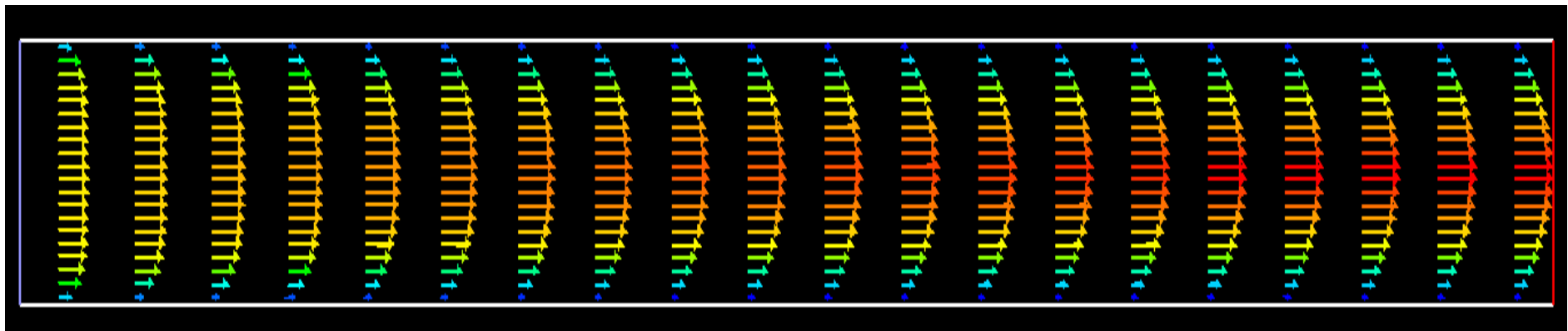
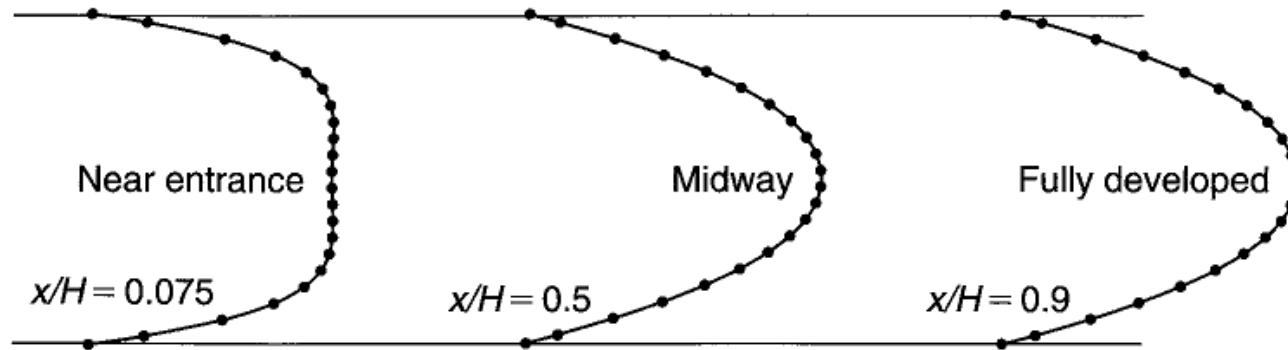
The Residual Monitors dialog box is shown with the following settings:

- Options:**  Print,  Plot
- Storage:** Iterations: 1000
- Normalization:**  Normalize,  Scale
- Plotting:** Window: 0, Iterations: 1000, Buttons: Axes..., Curves...
- Table:**

Residual	Monitor	Check Convergence	Convergence Criterion
continuity	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1e-05
x-velocity	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.001
y-velocity	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.001
energy	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1e-06

Buttons: OK, Plot, Renorm, Cancel, Help

# Post-Processing: risultati e visualizzazioni



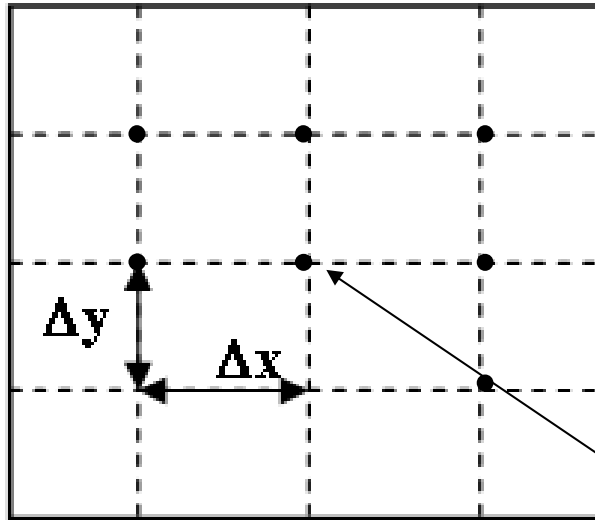
**ESEMPIO SEMPLICE**

# Griglie di Calcolo

# Griglie di Calcolo

- La MESH determina il passo di integrazione spaziale per la soluzione delle equazioni discretizzate che descrivono il comportamento del sistema

$\Delta x$  e  $\Delta y$ : passi di discretizzazione spaziale



Nodo di Calcolo  $i,j$

# Griglie di Calcolo

La definizione di mesh di “buona qualità” risulta essenziale per l’ottenimento di risultati affidabili da parte del solutore

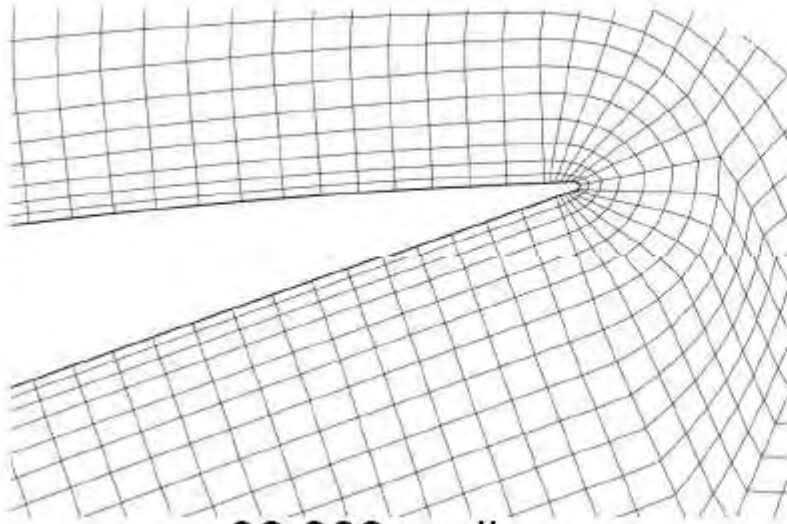
La MESH ottimale deve soddisfare dei requisiti:

- ✓ Fitta in zone di forti gradienti
- ✓ Rada in aree di bassi gradienti
- ✓ Celle poco distorte
- ✓ Rapporto di “stretching contenuto”

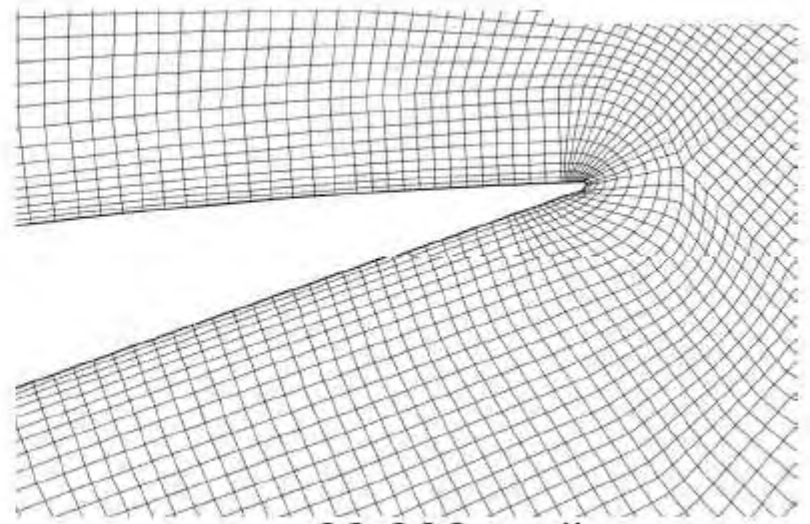
# Griglie: Numero ottimale di Nodi

- ❑ Il numero di nodi influenza la qualità della soluzione CFD;
- ❑ Il tempo di calcolo è direttamente legato al numero di nodi;
- ❑ È necessaria una soluzione di compromesso, utilizzando il numero minimo di nodi che assicura la precisione voluta.

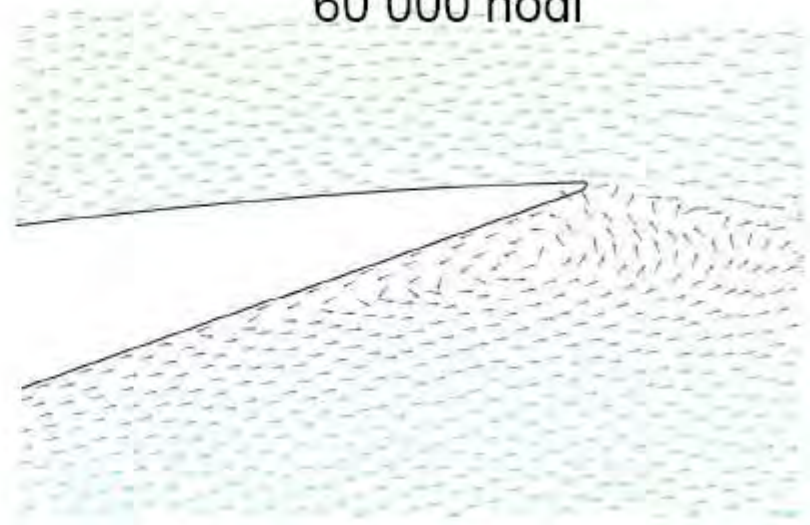
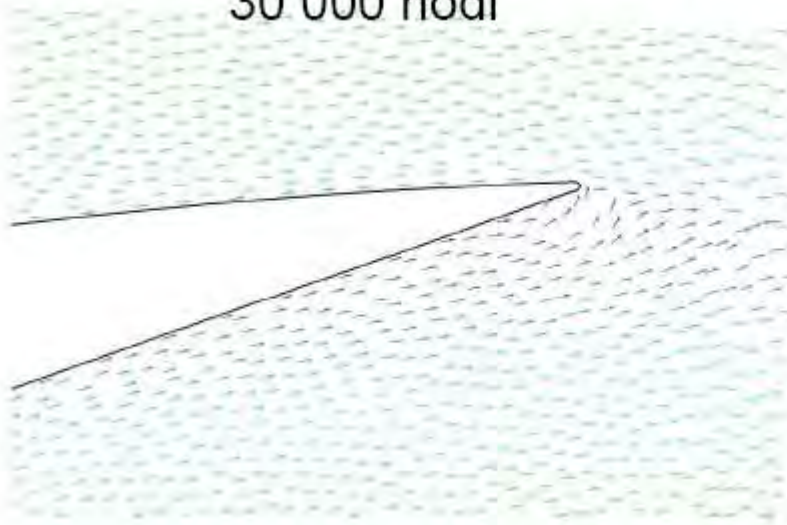
# Griglie di calcolo



30 000 nodi

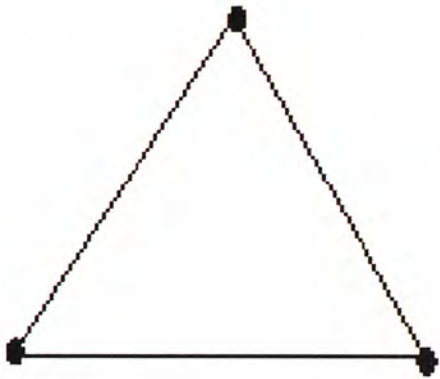


60 000 nodi

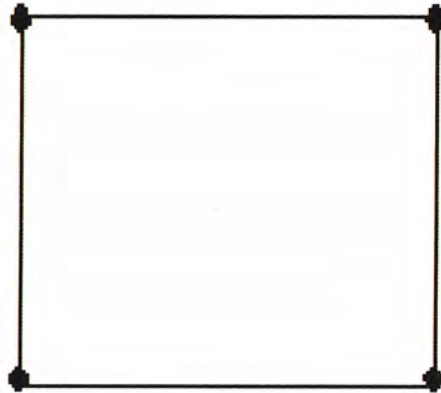




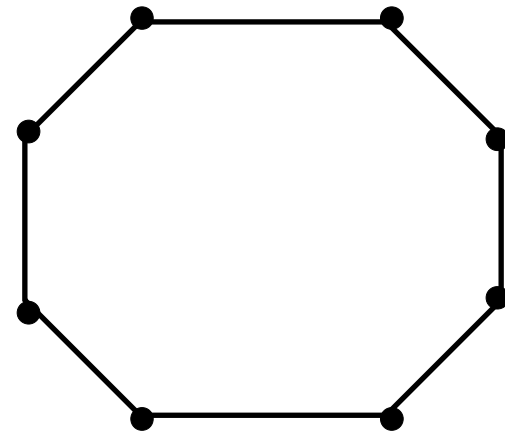
# Tipologia di elementi 2D



Triangolare

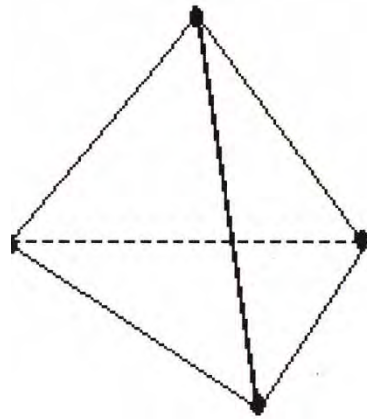


Quadrangolare

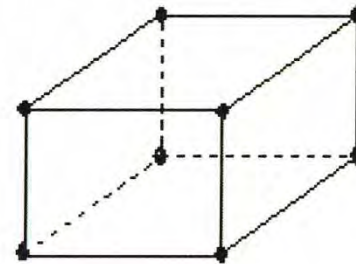


Poligonale

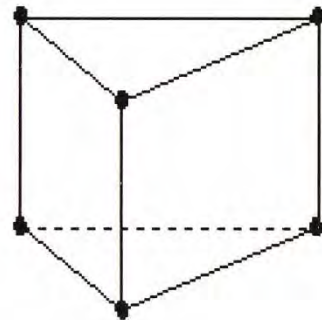
# Tipologia di elementi 3D



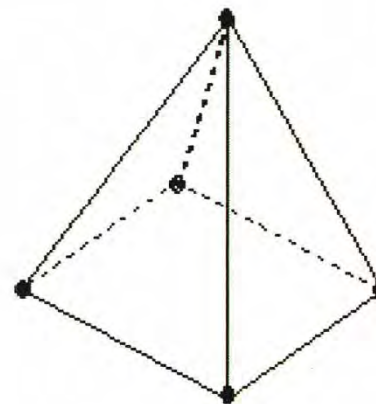
Tetragonale



Esagonale



Prismatica



Piramidale

# Criteri di qualità di una Mesh

La generazione di una mesh non è banale

Ogni mesh è specifica per un determinato problema fisico

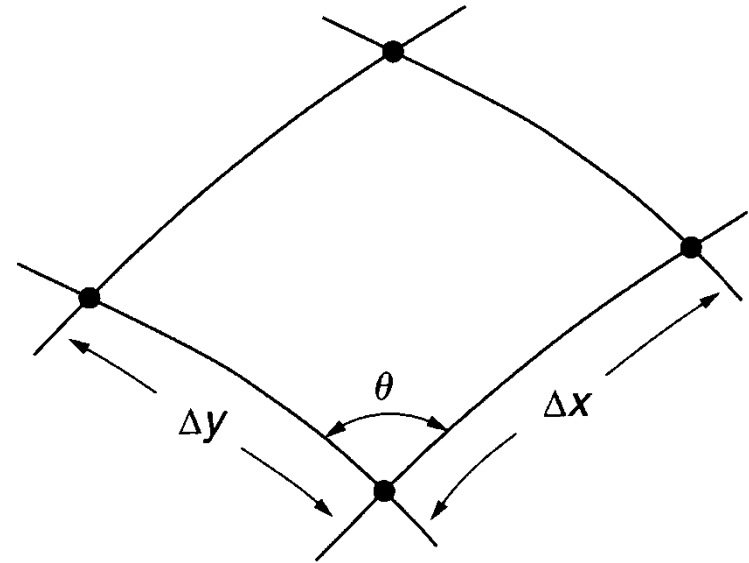
# Criteri di qualità di una Mesh

➤ Aspect ratio (allungamento)  
di una cella  $AR = \Delta Y / \Delta X$

➤ Distorsione (legata all'angolo  $\theta$ )

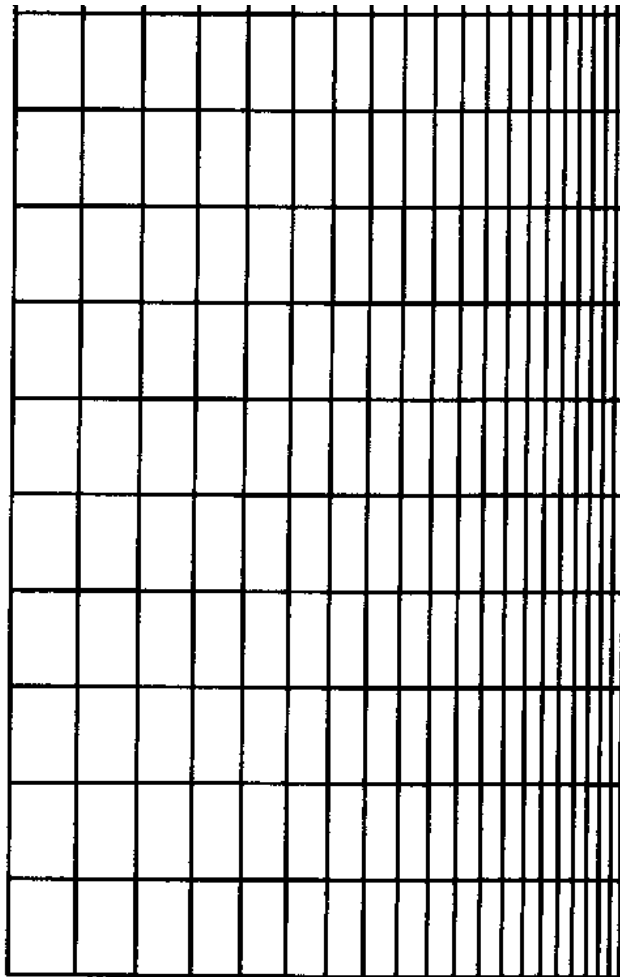
Si cerca di ottimizzare  $\theta$  ( $\approx 90^\circ$ -celle ortogonali)

Se  $\theta < 45^\circ$  o  $\theta > 135^\circ$  le celle sono distorte e la soluzione diviene poco accurata e/o instabile



# Criteri di qualità di una Mesh

- Stretching: graduale infittimento della mesh



da dati empirici

$$\frac{\Delta \mathbf{x}_{i+1}}{\Delta \mathbf{x}_i} < \sqrt{2}$$

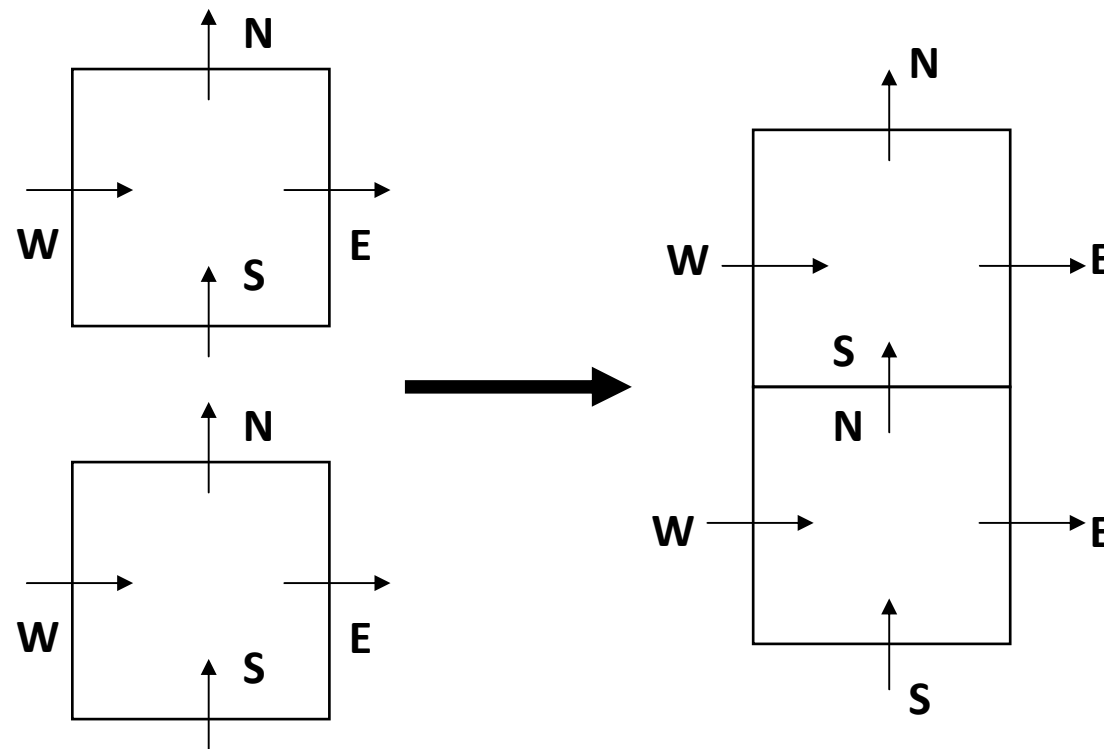
# Classificazione Topologica

Una mesh può assumere diverse configurazioni a seconda della disposizione delle celle

- ✓ Mesh Strutturate
- ✓ Mesh Strutturate a blocchi
- ✓ Non-Strutturate
- ✓ Poliedriche

# Mesh Strutturate

- ✓ Le celle sono quadrangolari (2D) o esaedrica (3D)
- ✓ In una mesh-strutturata le celle sono “ordinate”

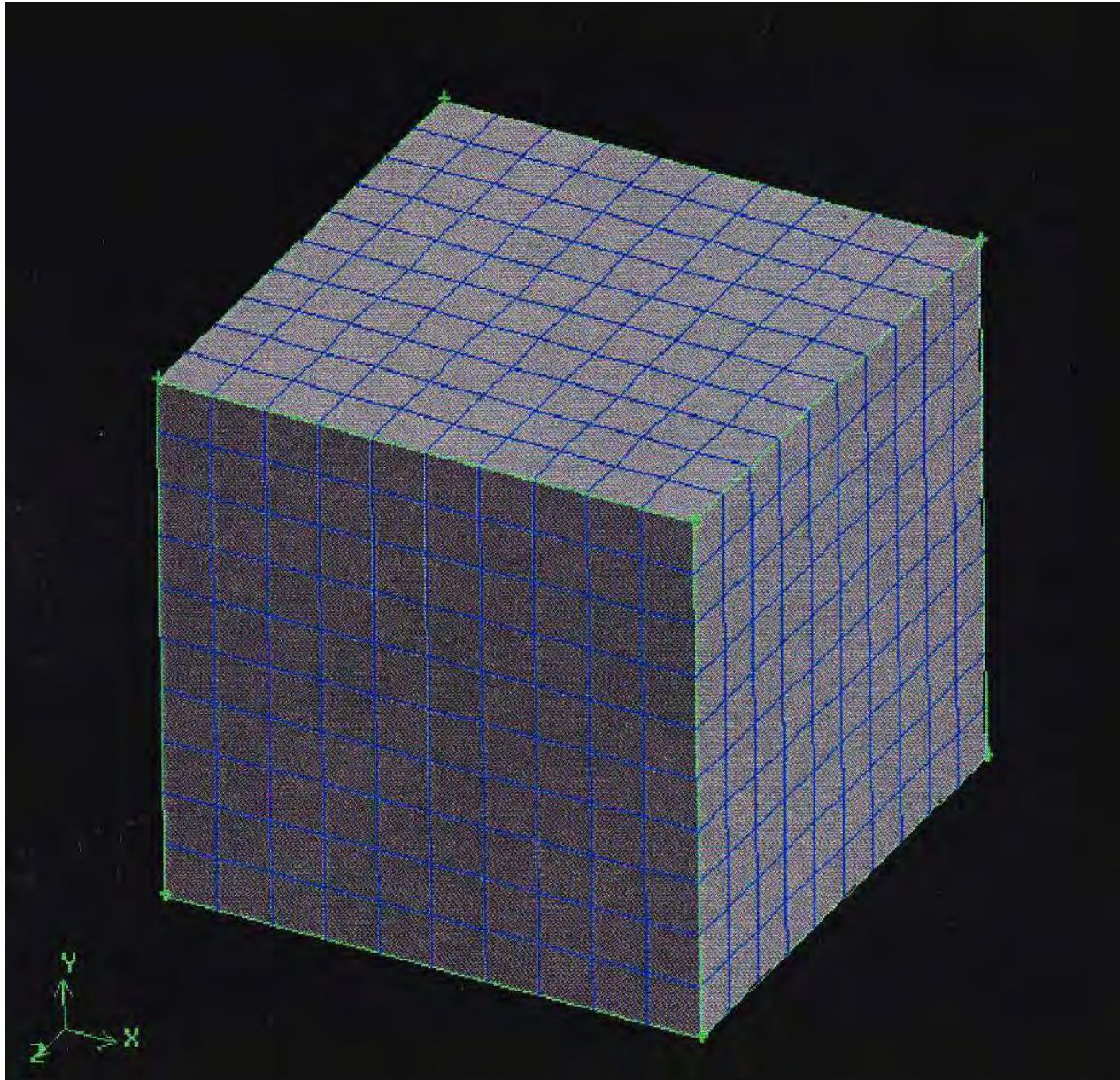


# Mesh Strutturate

- Le celle sono facilmente numerabili
- I vertici di ogni elemento di una cella possono essere rappresentati con un doppio (2D) o triplo indice (3D)
- Meno adatte per geometrie complesse o curvilinee

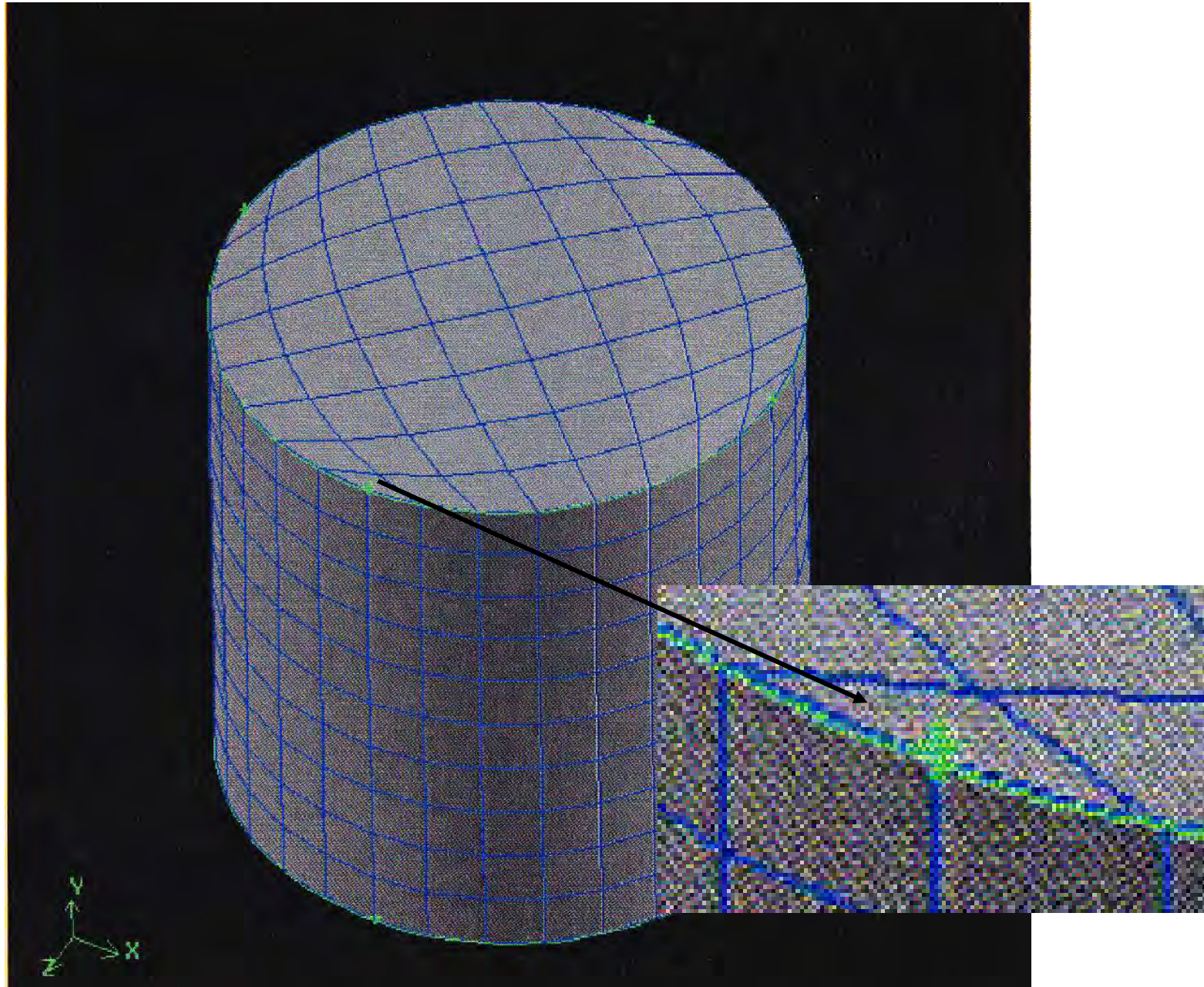


# Mesh Strutturate



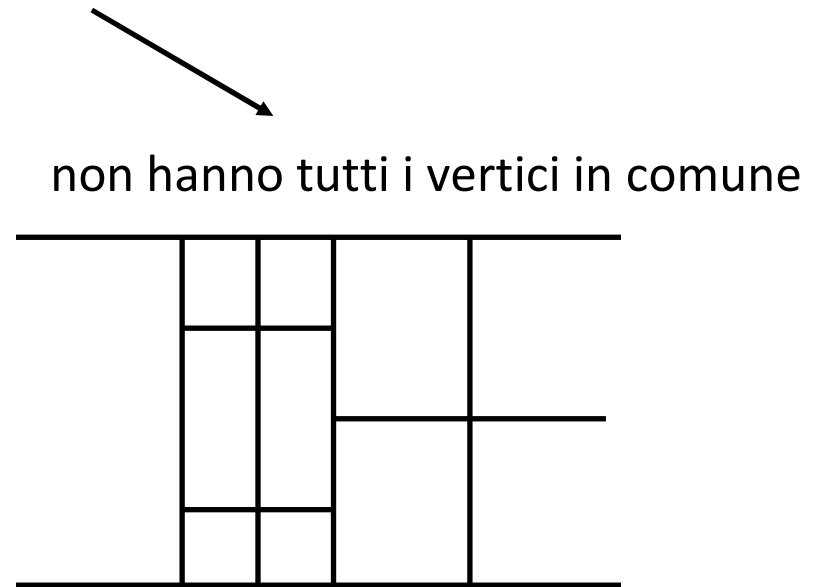
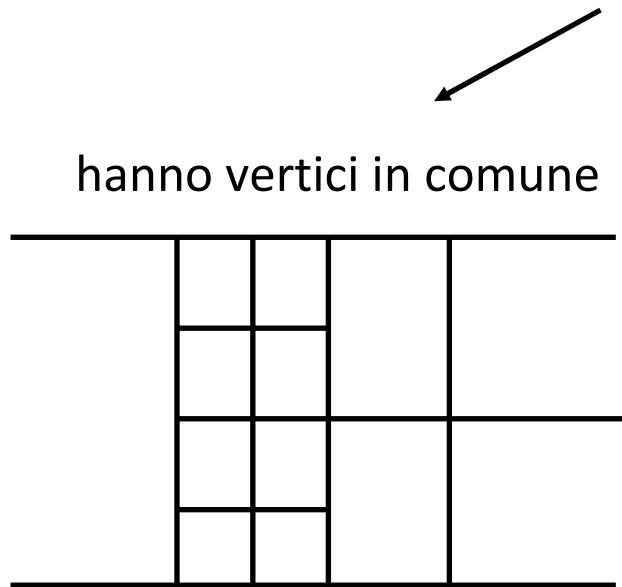


# Mesh Strutturate



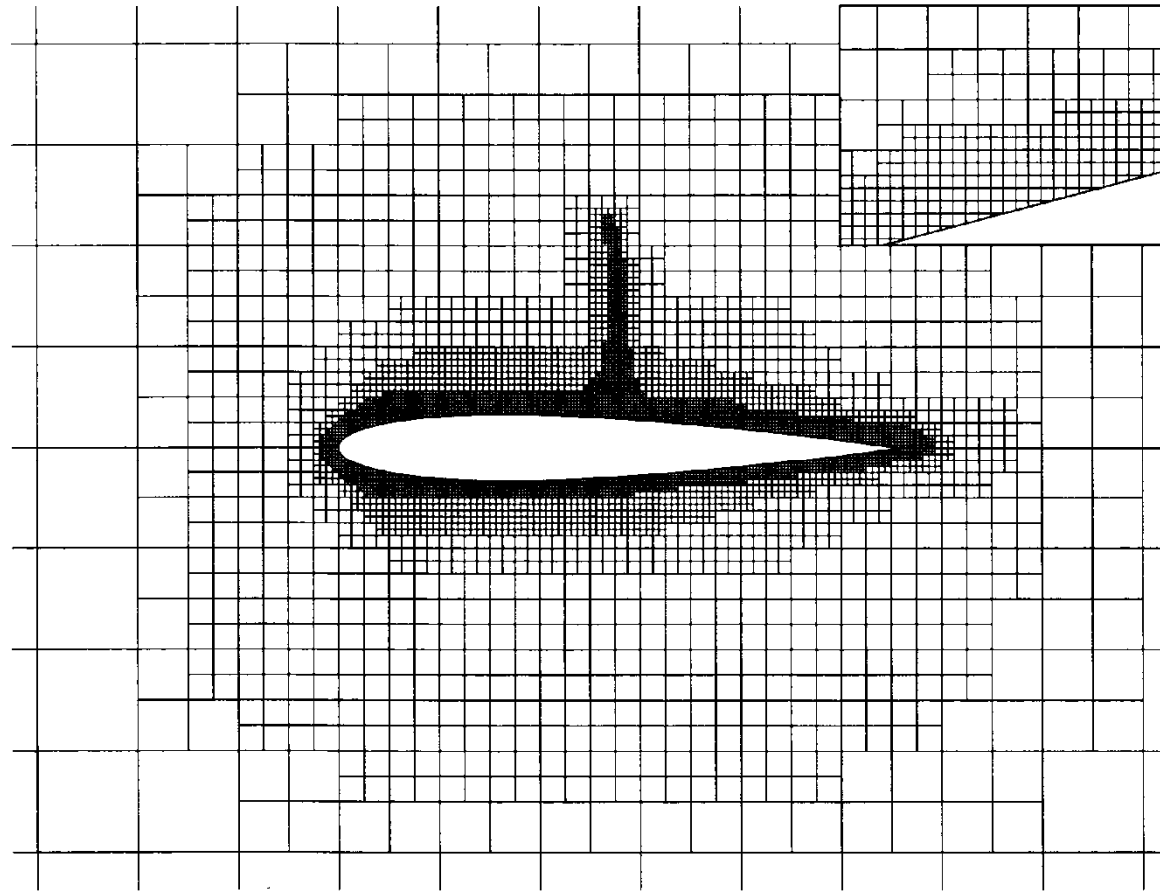
# Mesh Strutturate a Blocchi

- ✓ Il dominio è suddiviso in regioni, ognuna delle quali è una mesh strutturata
- ✓ Le mesh strutturate a blocchi consentono di utilizzare mesh più fitte in zone dove è richiesto
- ✓ L'interfaccia dei blocchi adiacenti può avere celle che



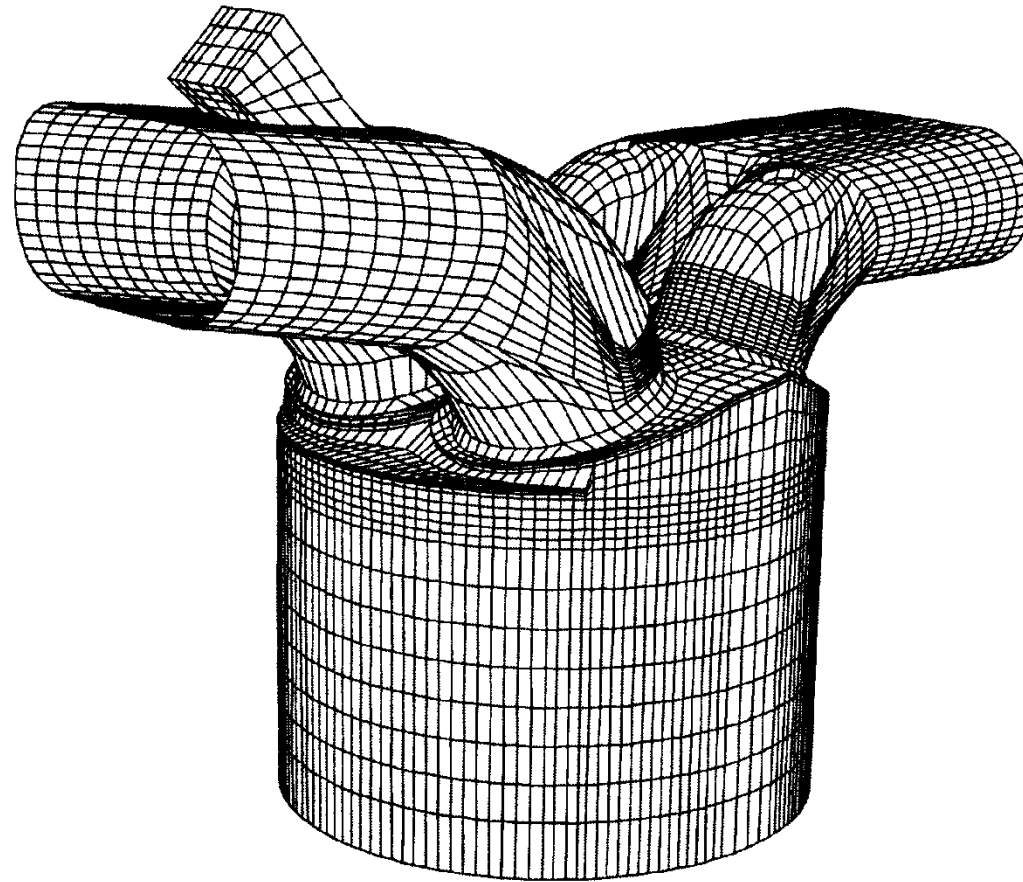
# Mesh Strutturate a Blocchi

Utilizzata per il calcolo del flusso intorno ad un profilo alare



# Mesh Strutturate a Blocchi

Si riescono a modellare anche geometrie piuttosto complesse

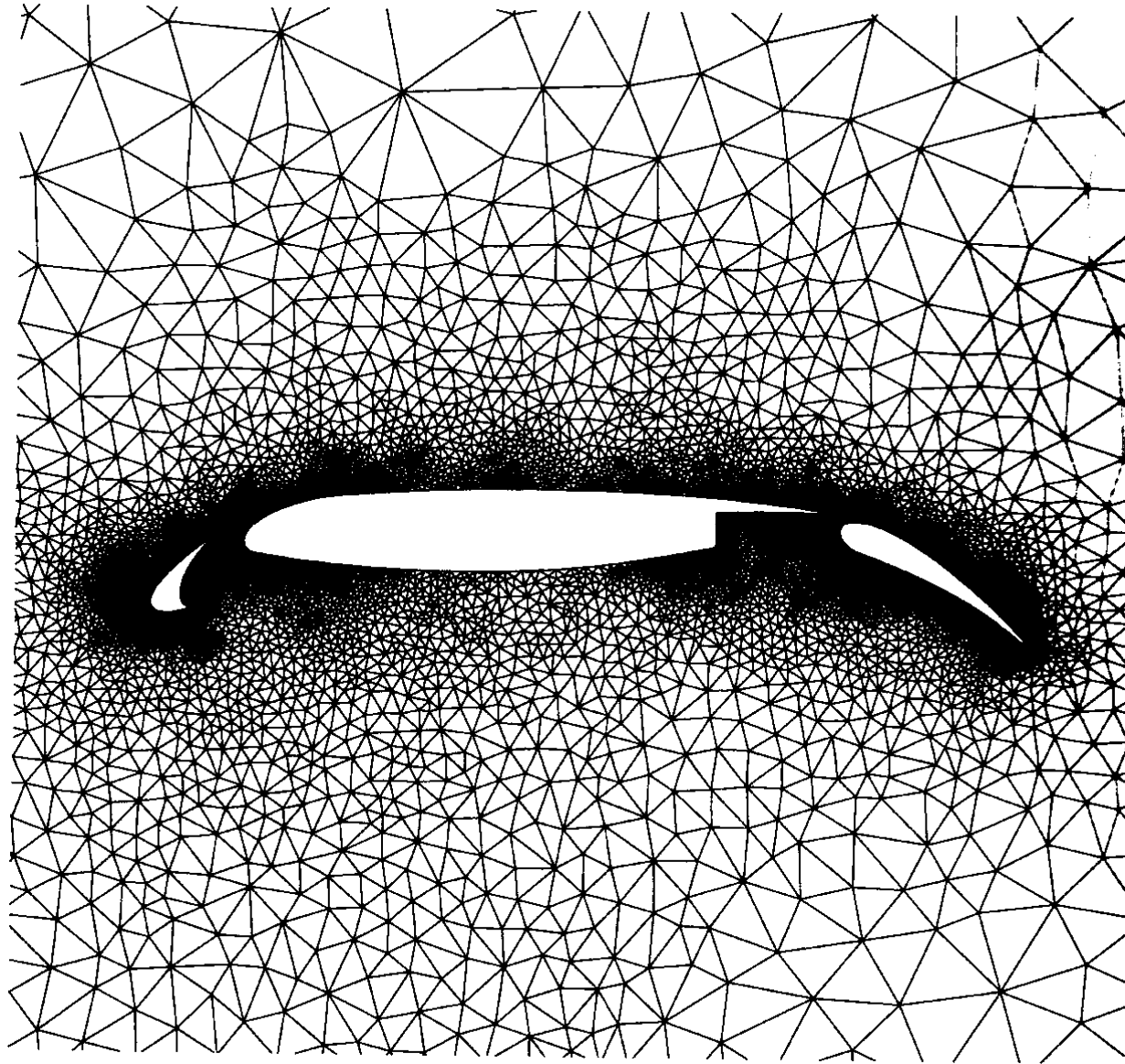


# Mesh Non Strutturate

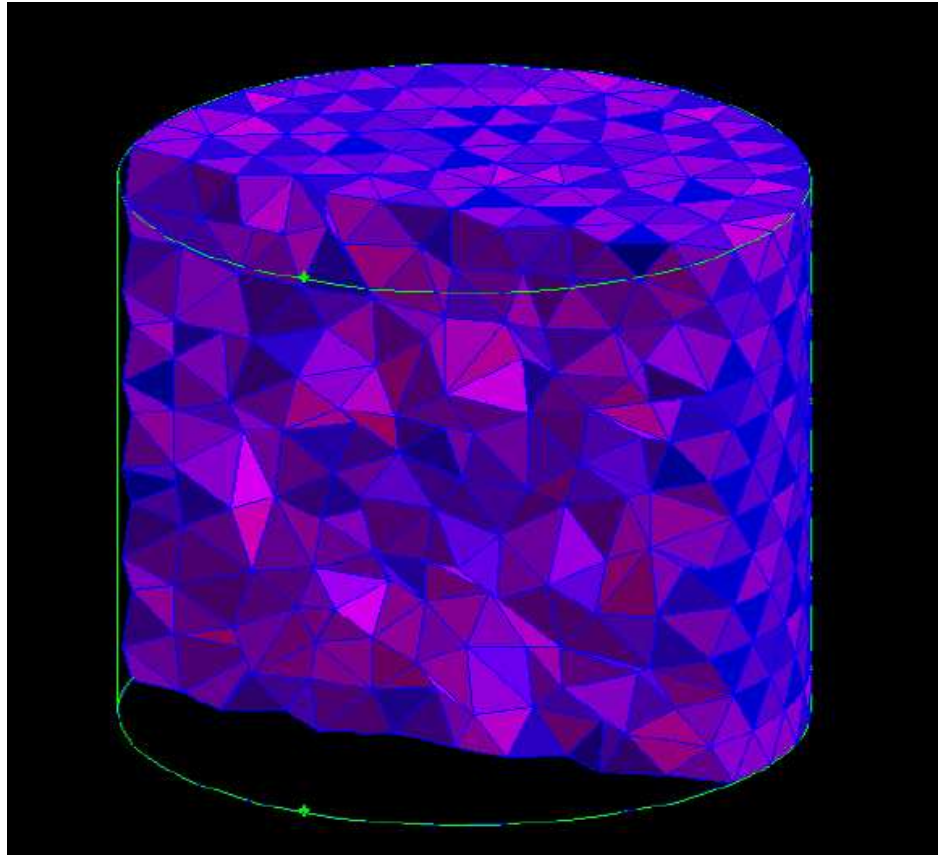
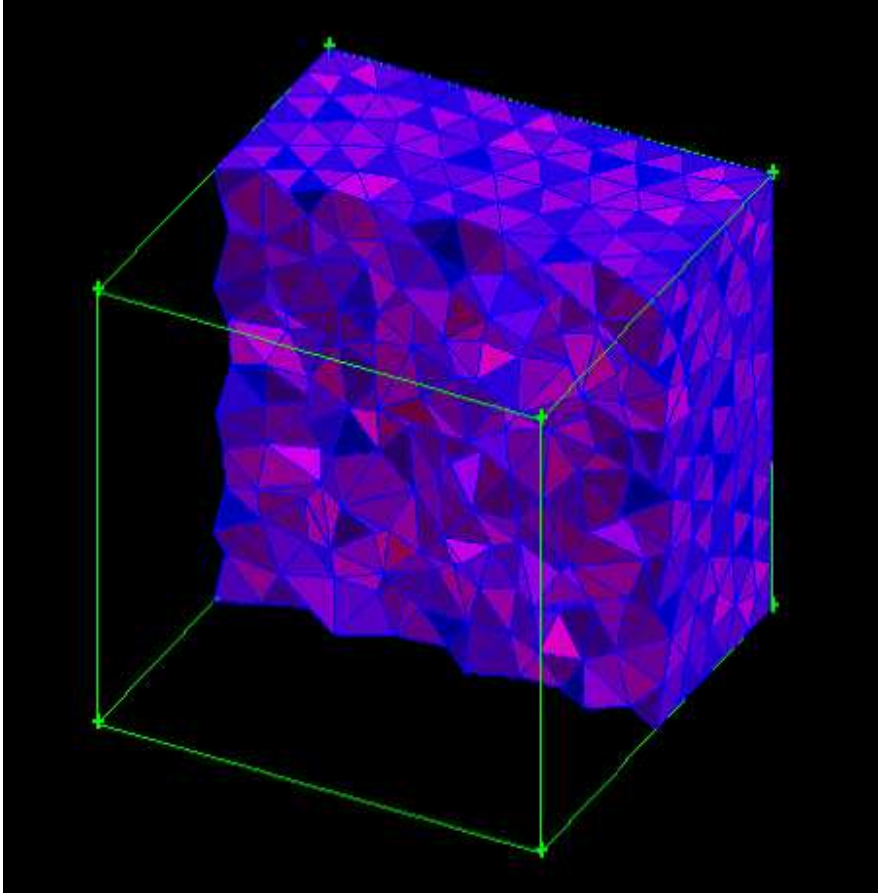
- ✓ Gli elementi che compongono una mesh non-strutturata possono essere di qualsiasi geometria
- ✓ Non esiste alcun ordine tra le celle
- ✓ E' possibile discretizzare geometrie più complesse

# Mesh Non-Strutturate

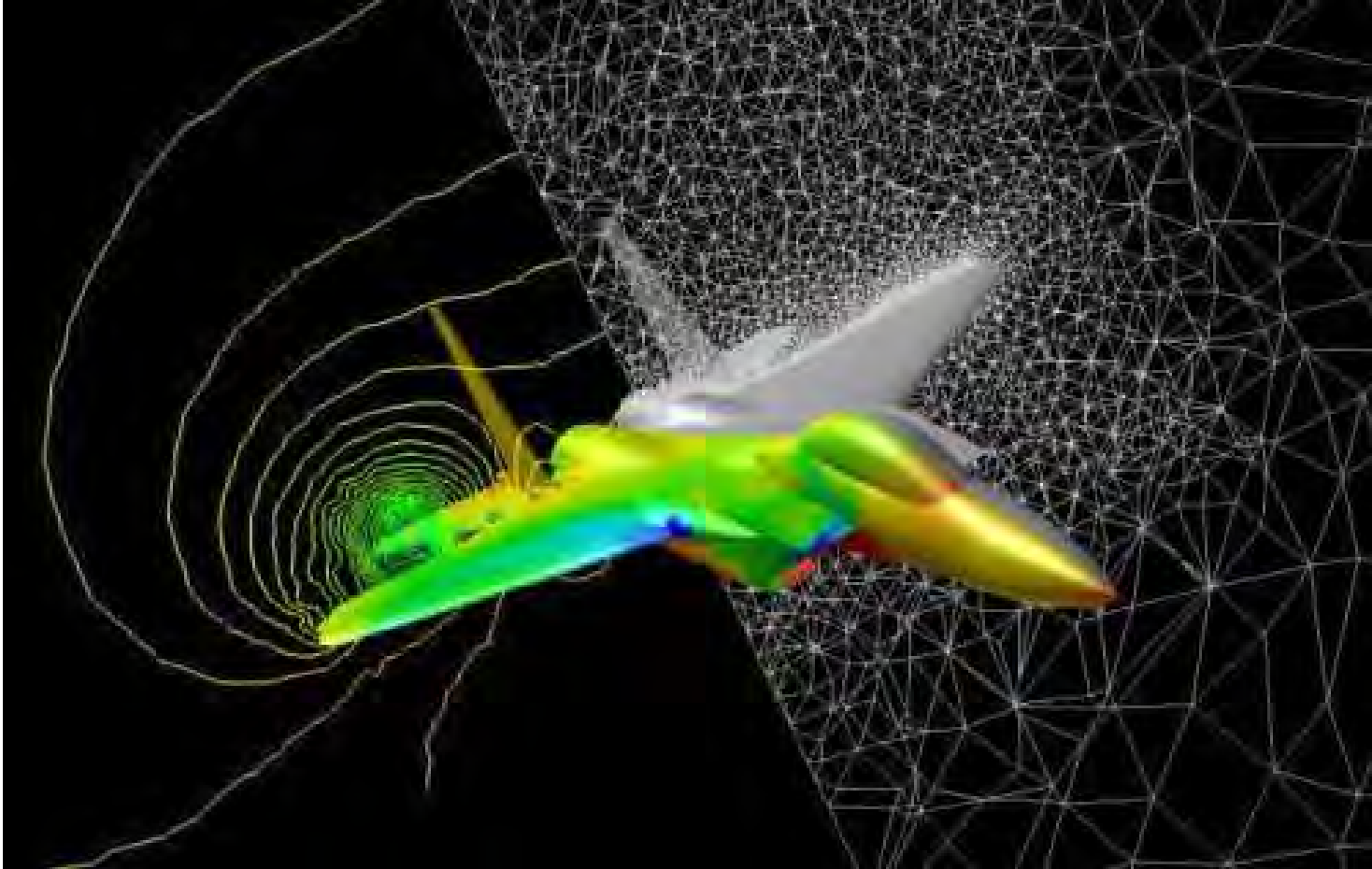
Utilizzata per il calcolo del flusso intorno ad un profilo alare

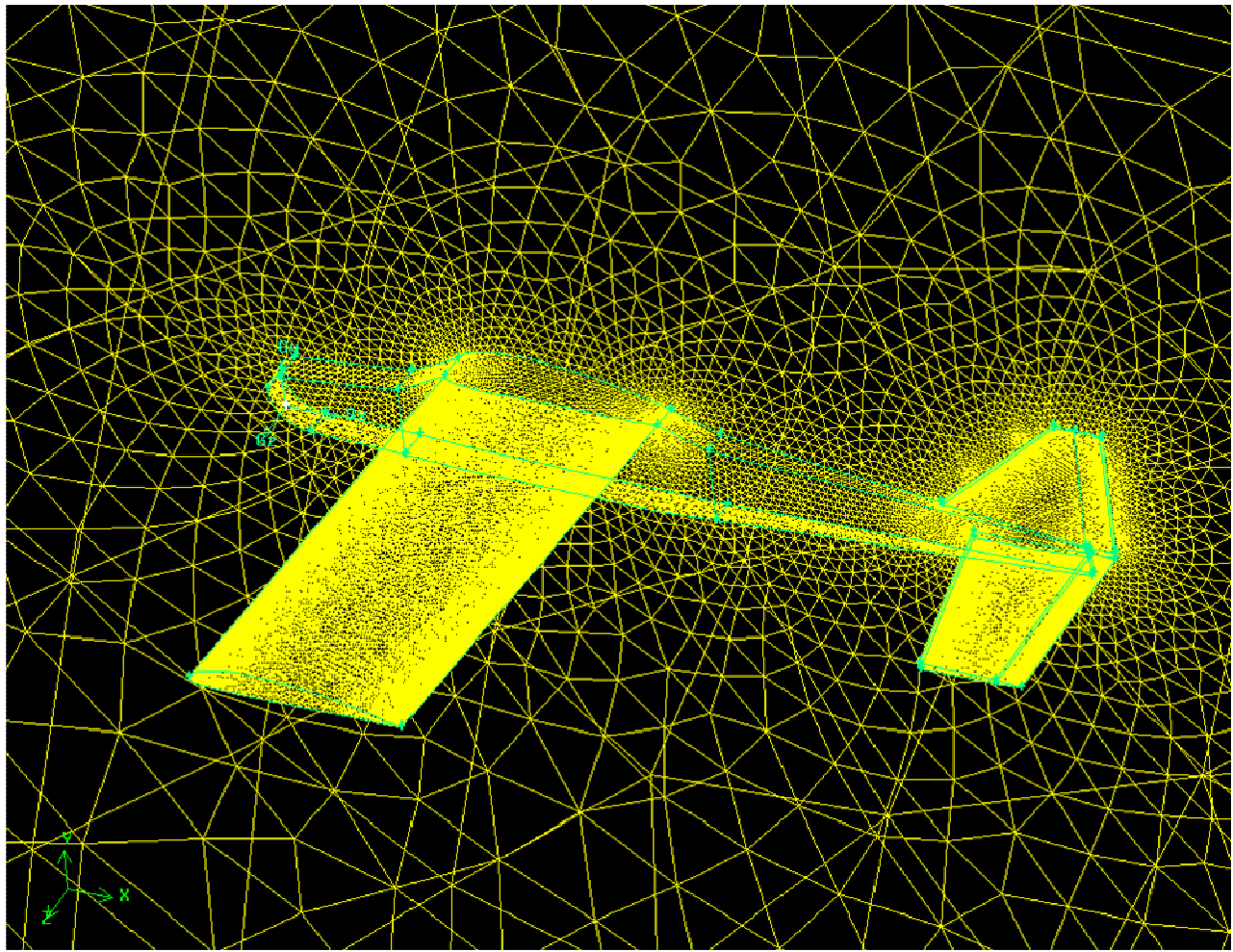






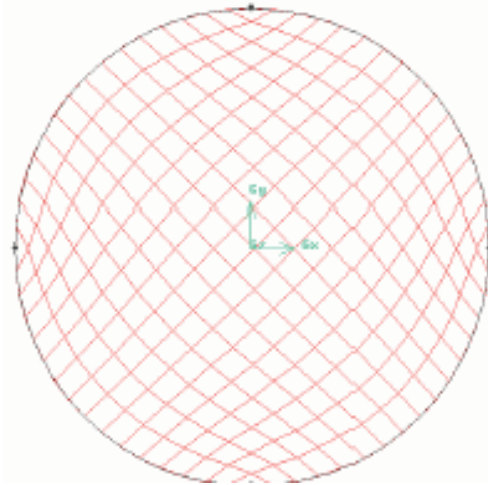




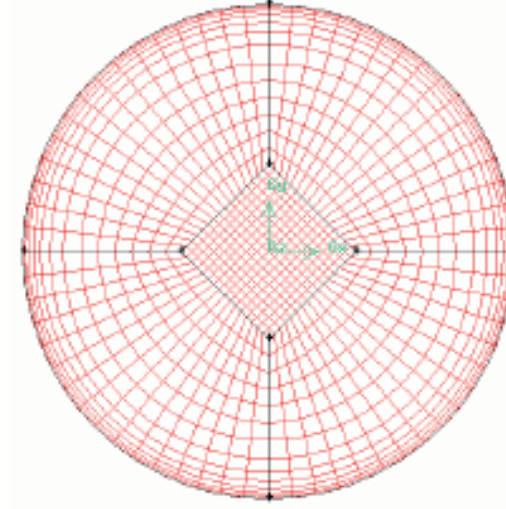


# Come “meshiare” un cerchio ?

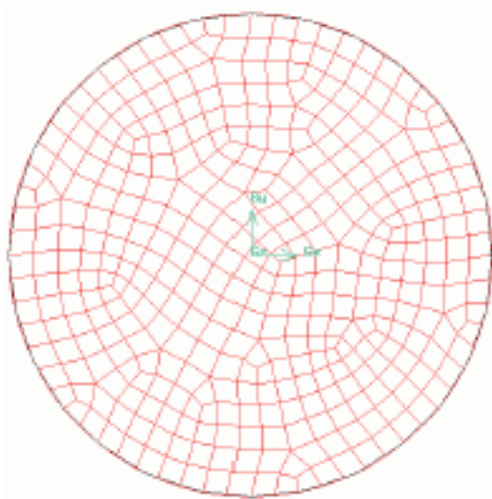
Strutturata



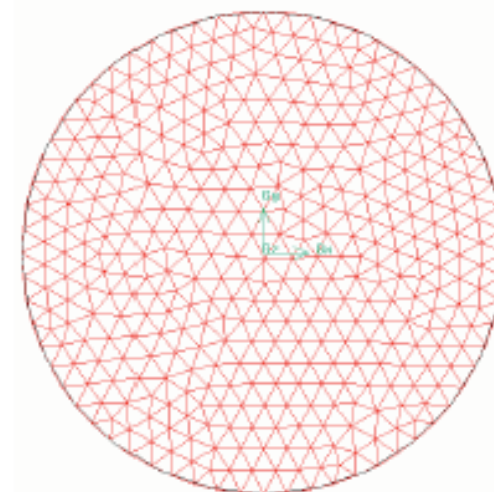
Strutturata a blocchi



Non-Strutturata

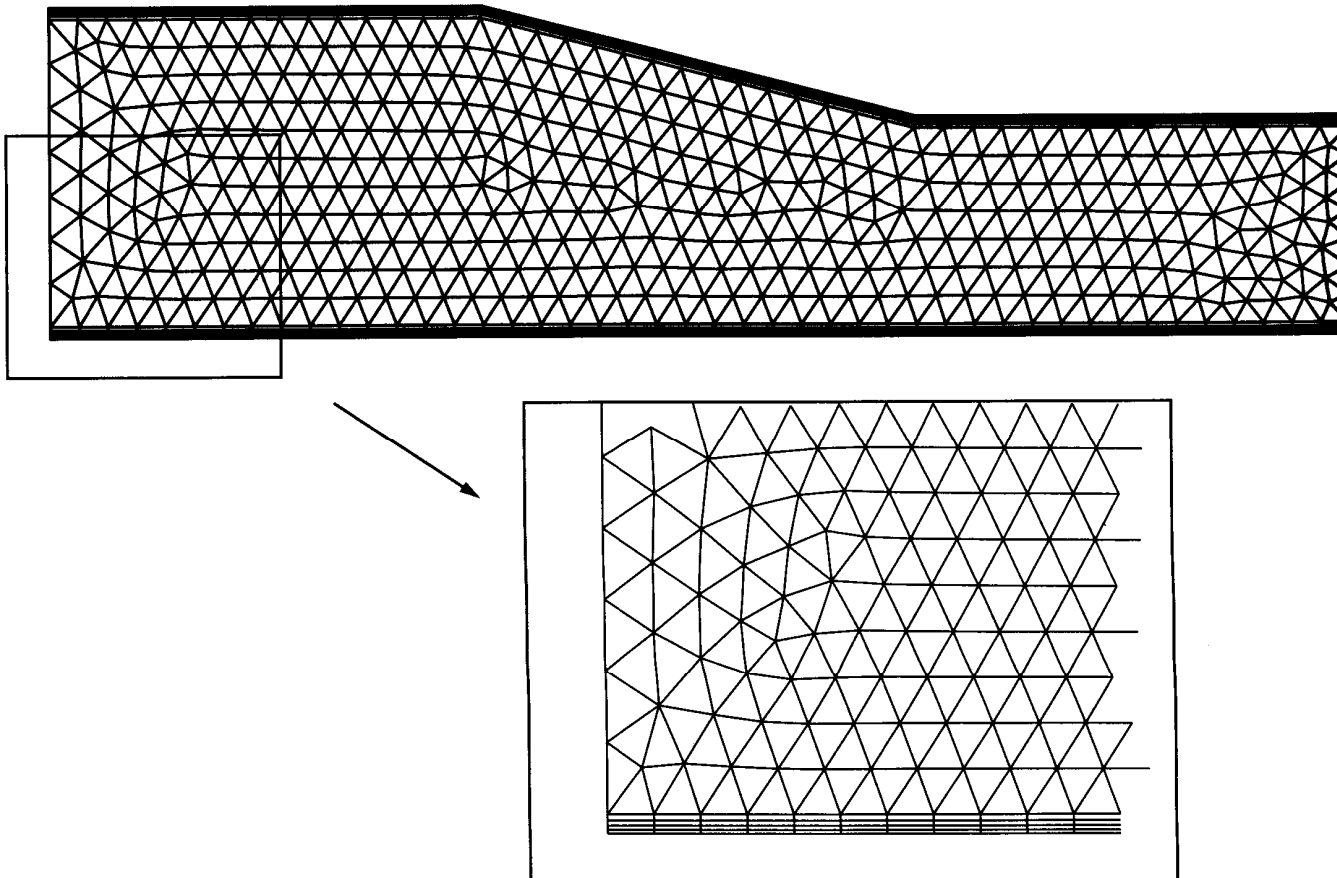


Non-Strutturata Triangolare



# Mesh Ibride

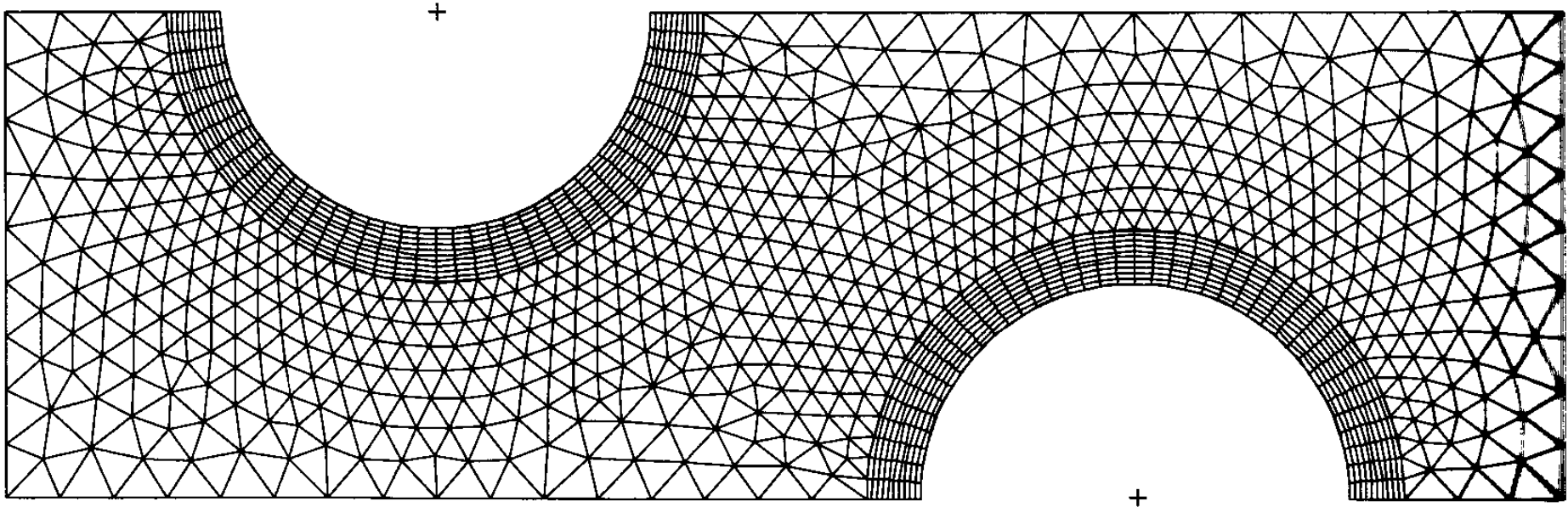
Combinano Tipi di elementi diversi



Sul bordo: Elementi strutturati quadrangolari

All'interno: Elementi non-strutturati triangolari

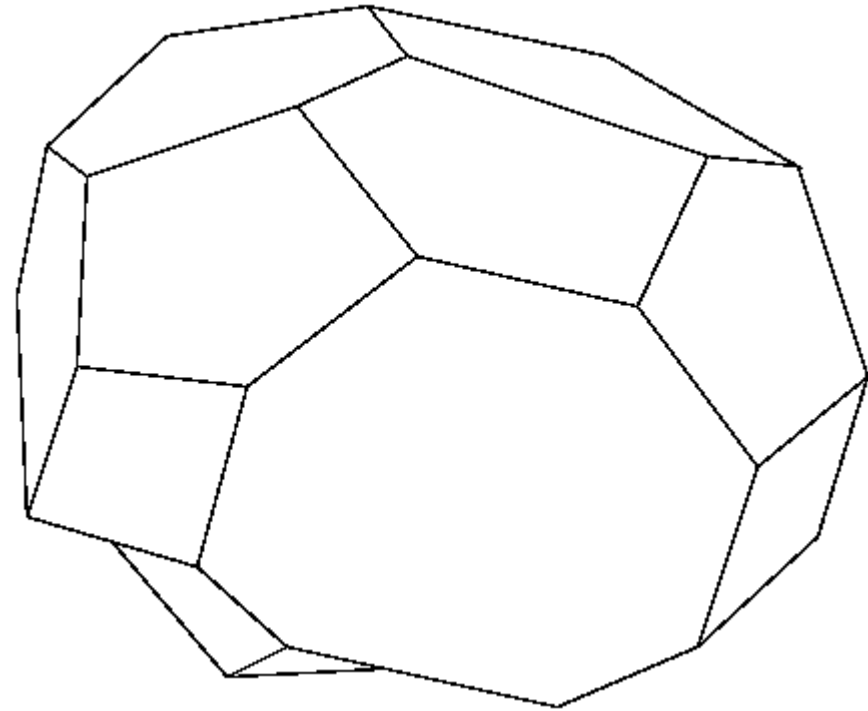
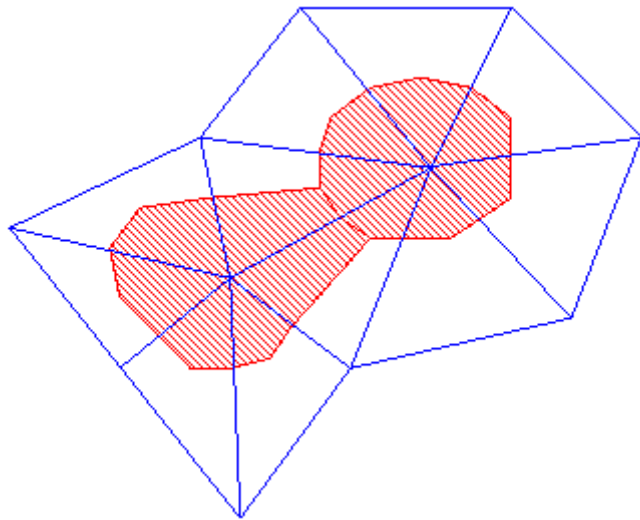
# Mesh Ibride



Accuratezza dove richiesto (STRATO LIMITE)

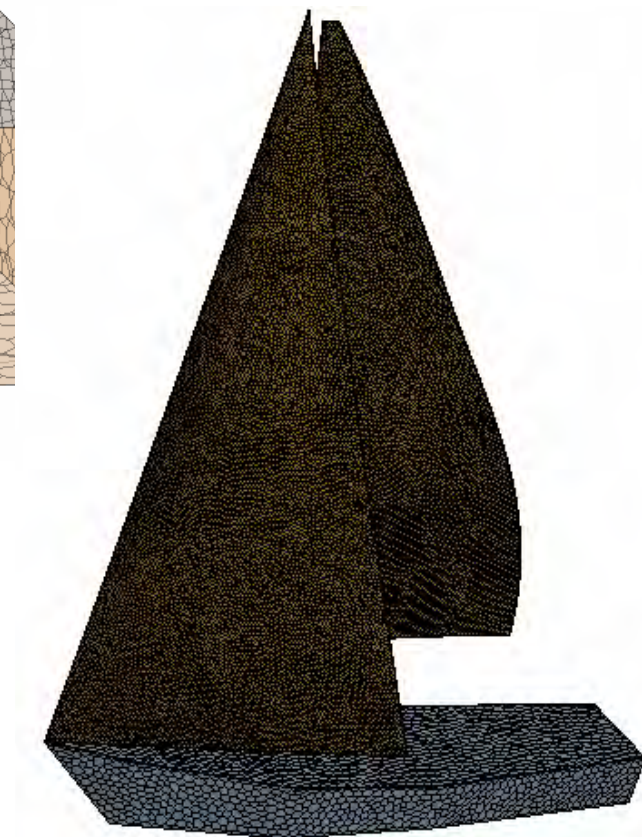
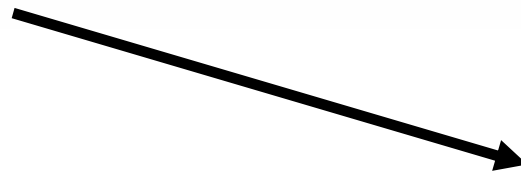
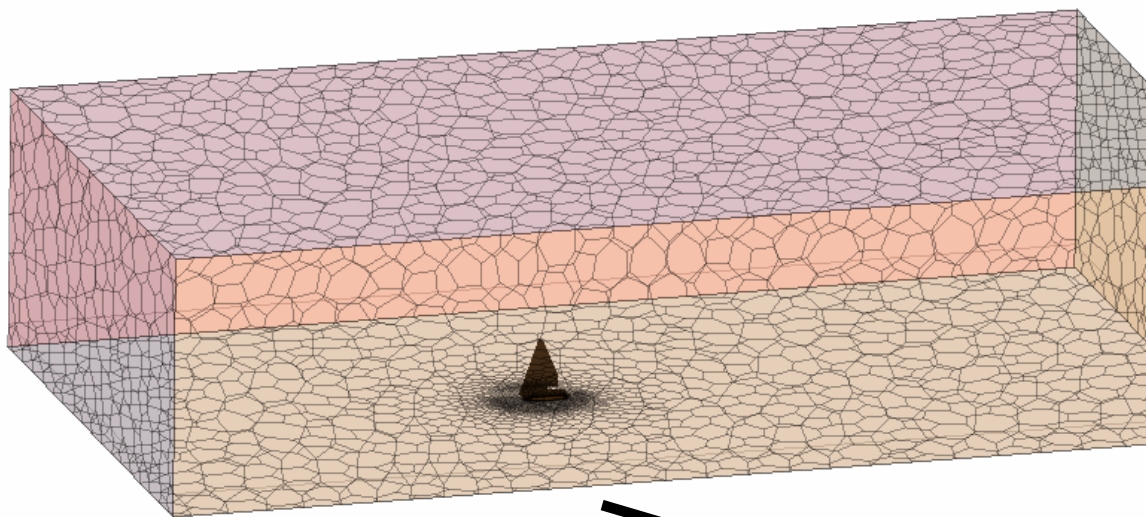
Discretizzazione accurata di qualsiasi geometria

# Mesh Poliedriche





# Mesh Poliedriche



**Pad Abort  
Launch  
Configuration**

