



Università degli Studi di Genova

Scuola Politecnica

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Valutazione delle performance di uno strumento CFD open source per lo sviluppo di un energy harvester

Candidato: Alberto Rossi

Relatore: Prof. A. Bottaro

Correlatore: Dott. Ing. S. Olivieri

Genova 31/03/2015

INTRODUZIONE

➤ **ENERGY HARVESTING:**

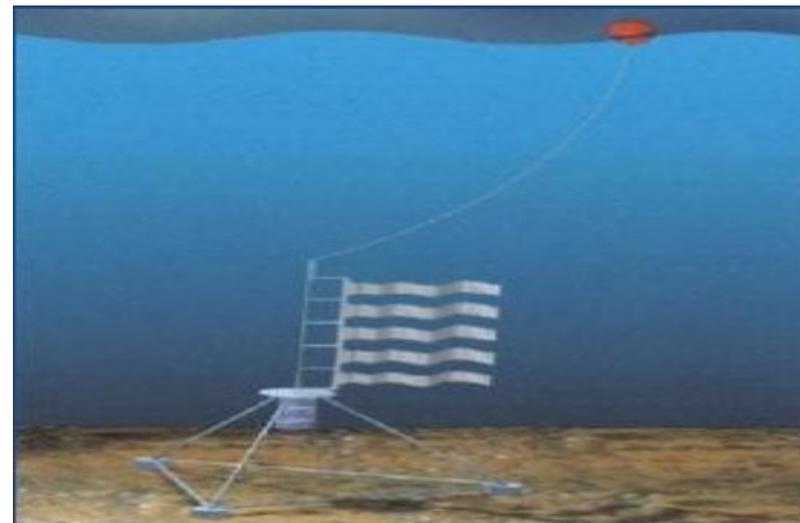
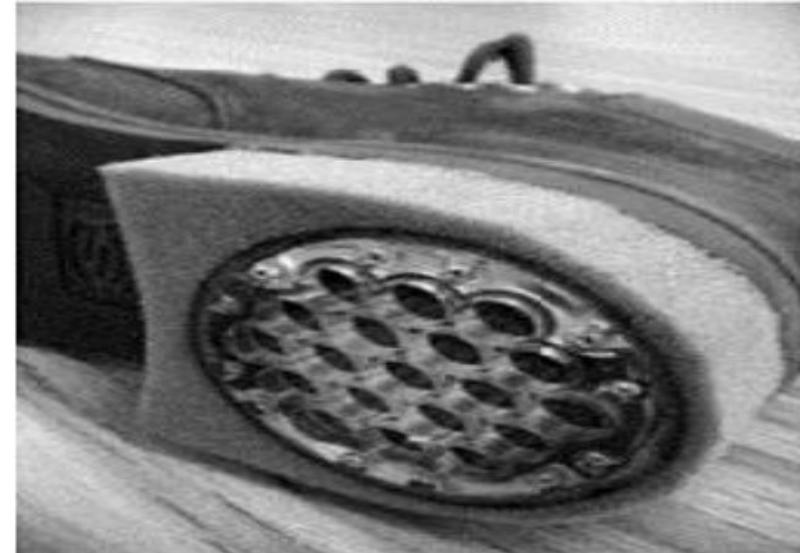
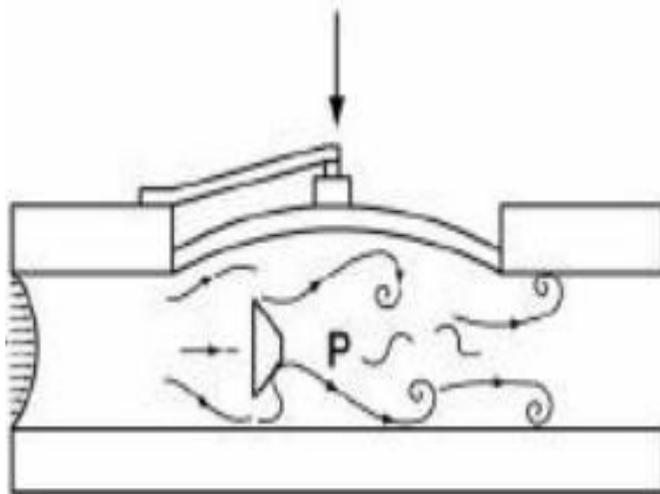
➤ Sfruttare il contenuto energetico dell'ambiente che ci circonda.

➤ Flussi di materia

➤ Moti vibrazionali

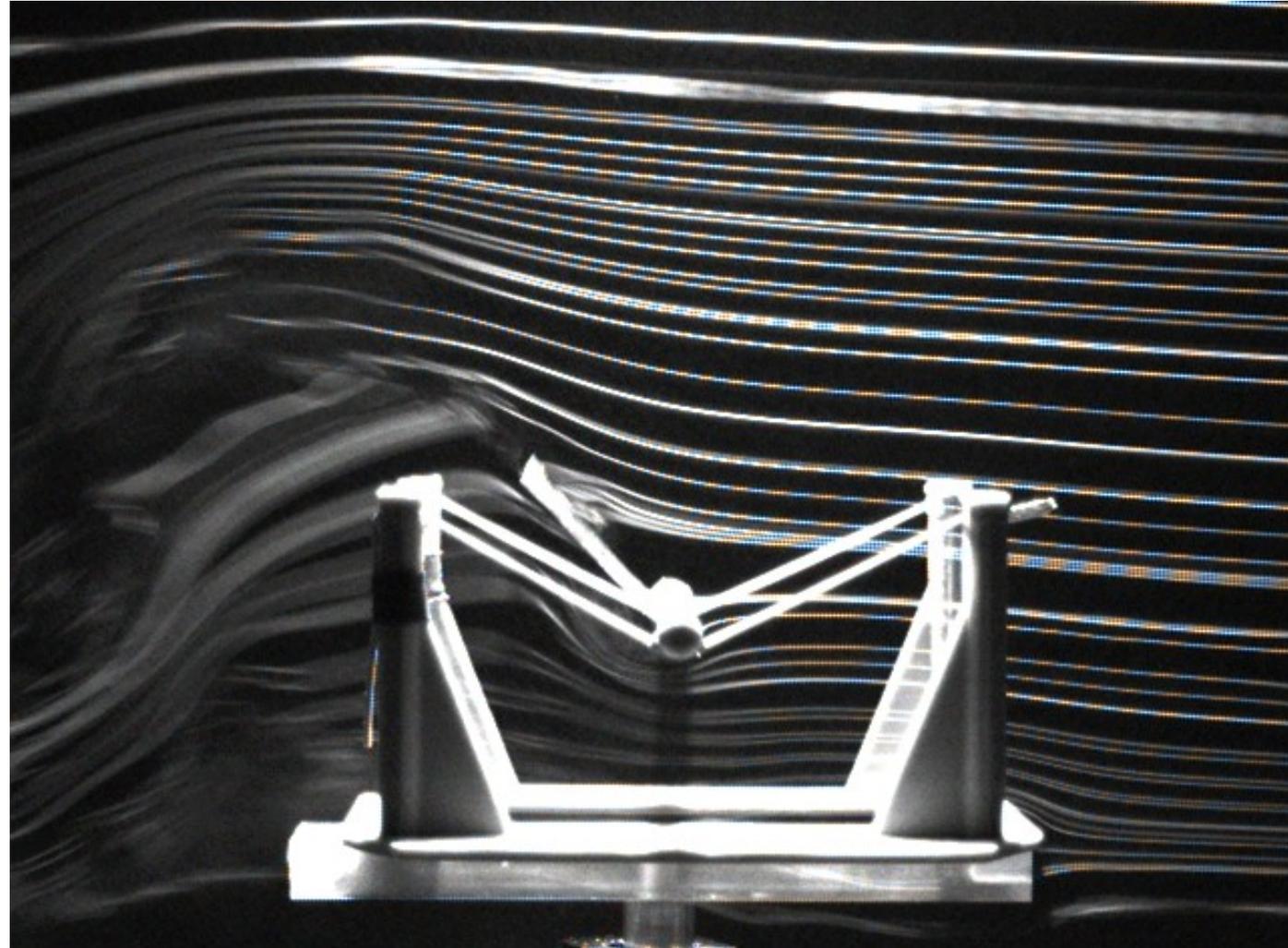
➤ Energia magnetica

➤ Energia termica



OGGETTO DELLA TESI

- Energy harvester che sfrutta i principi dell'aeroelasticità.
- Possibilità di estrazione di energia:
 - Induzione elettromagnetica
 - Elastomeri capacitivi
- Possibile applicazione alle reti **WINS**.



SCOPO DELLA TESI (1/2)

Modello studiato:

- Bidimensionale
- Flusso incomprimibile ed uniforme.

Equazioni di Navier-Stokes:

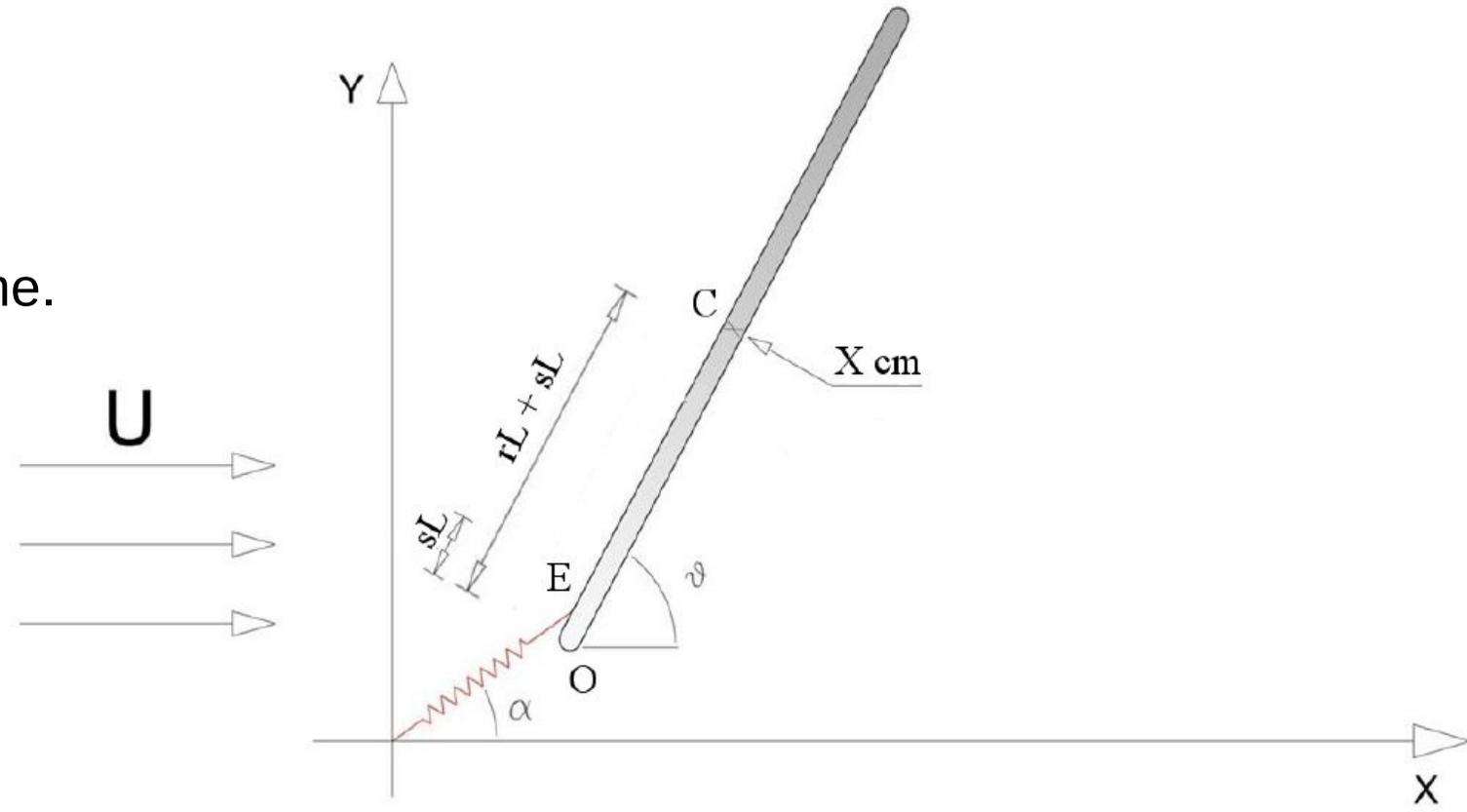
$$\rho \frac{D\mathbf{U}}{Dt} = \rho \mathbf{f} - \nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{U}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{U} = 0$$

- Legge elastica lineare (Hooke):

$$\mathbf{F} = -kx$$

- Assenza di gravità



SCOPO DELLA TESI (2/2)

➤ Valutazione delle prestazioni del codice

OpenFOAM per analisi **CFD**

(Computational Fluid Dynamics).

Open  FOAM

The Open Source CFD Toolbox

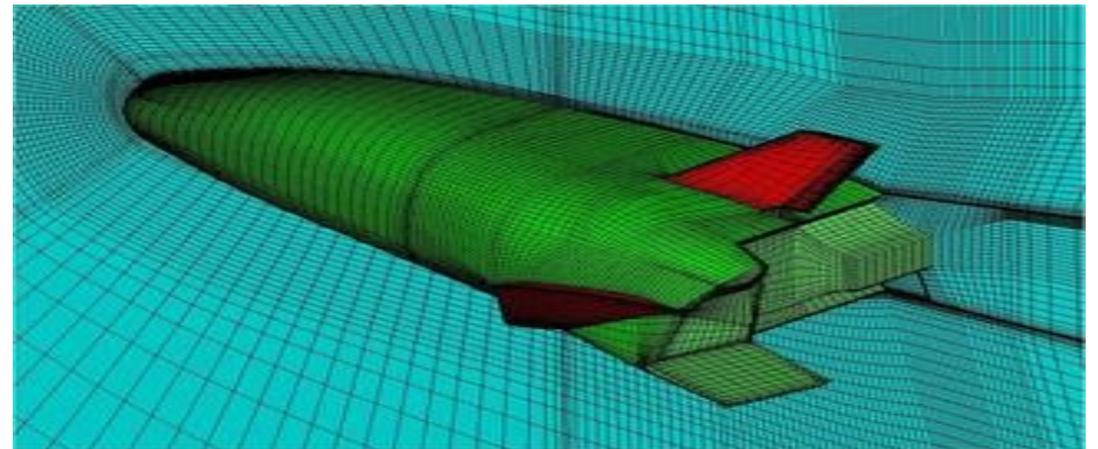
www.OpenFOAM.org

OBIETTIVI:

I. Analisi di grid dependency per configurazione statica (ala fissata) monitorando i coefficienti aerodinamici:

$$C_l = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho_f AU^2} \quad C_d = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho_f AU^2}$$

II. Simulazioni dinamiche. Confronto con risultati ottenuti da precedenti studi.

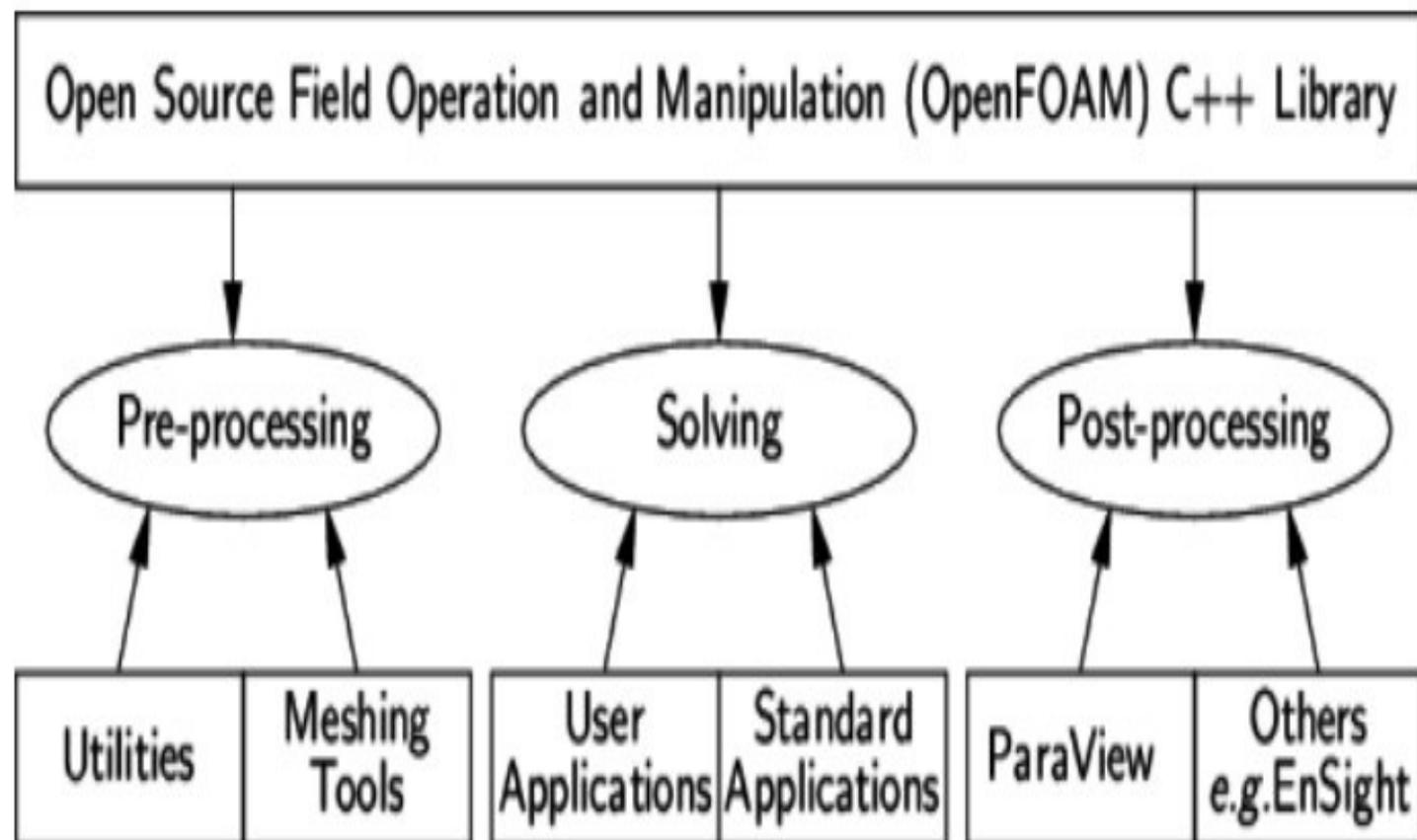


OpenFOAM

➤ Codice *general purpose*: vasta gamma di applicazioni (aerodinamica, scambio termico, finanziario...)

➤ *Open source*

➤ Possibilità di personalizzazione del codice



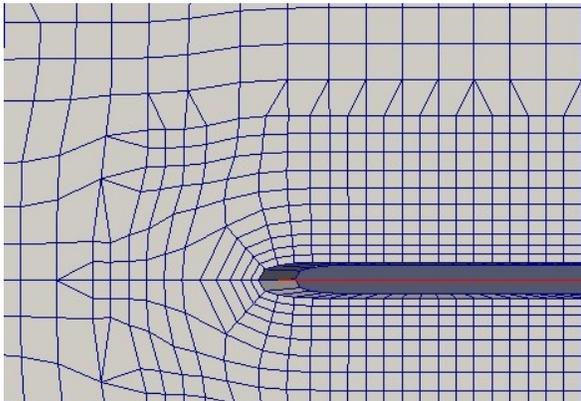
GRID DEPENDENCY

- Valutazione delle differenze di risultato tra un gruppo di mesh con raffinamento crescente
- Definisce la risoluzione minima della mesh che deve essere adottata per garantire un'indipendenza del risultato da essa.

MESH UTILIZZATE

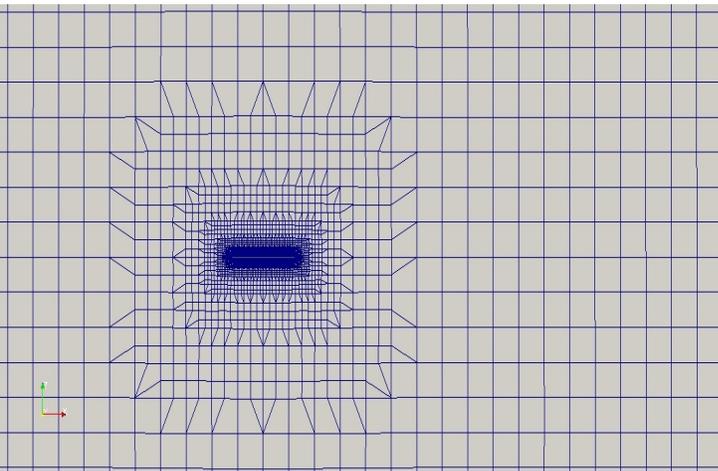
IDENTIFICAZIONE MESH:

- Carattere alfabetico indica la risoluzione della mesh di base.
- Pedice numerico che indica l'inserimento di box di raffinamento per aumentare la risoluzione intorno all'ala.

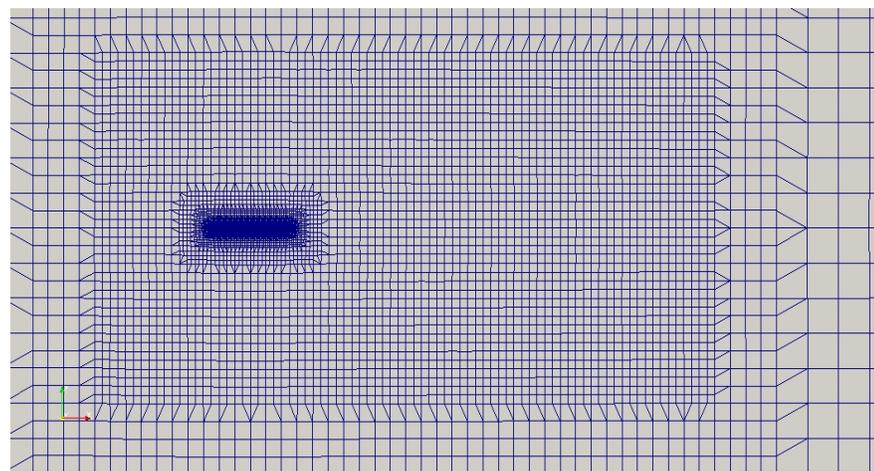


(Raffinamento sul corpo)

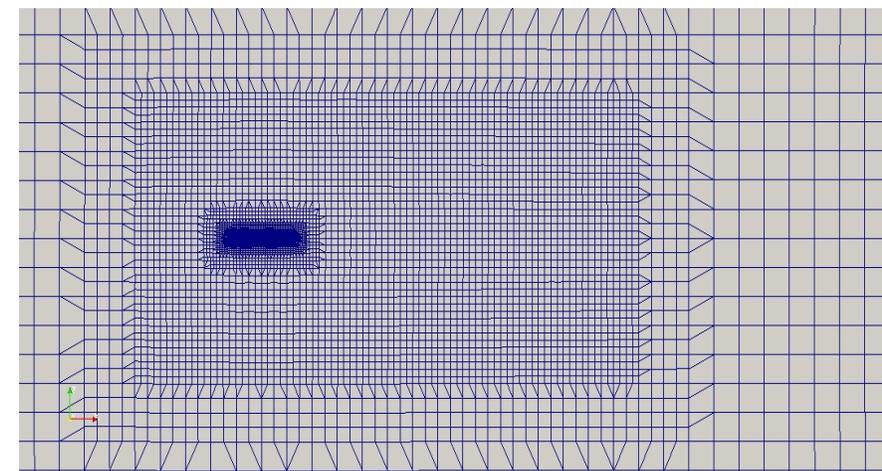
mesh	Δ_{max}	Δ_{min}	Δ_1	Δ_2	n° celle
a_1	40% c	0.625% c	-	-	9274
a_2	40% c	0.625% c	20% c	-	12178
a_3	40% c	0.625% c	20% c	5% c	9646
a_4	40% c	0.625% c	10% c	5% c	12178
b_1	20% c	0.313% c	-	-	25444
b_2	20% c	0.313% c	10% c	-	37516
b_3	20% c	0.313% c	10% c	2.5% c	27946
b_4	20% c	0.313% c	5% c	2.5% c	37756



a_1



a_2

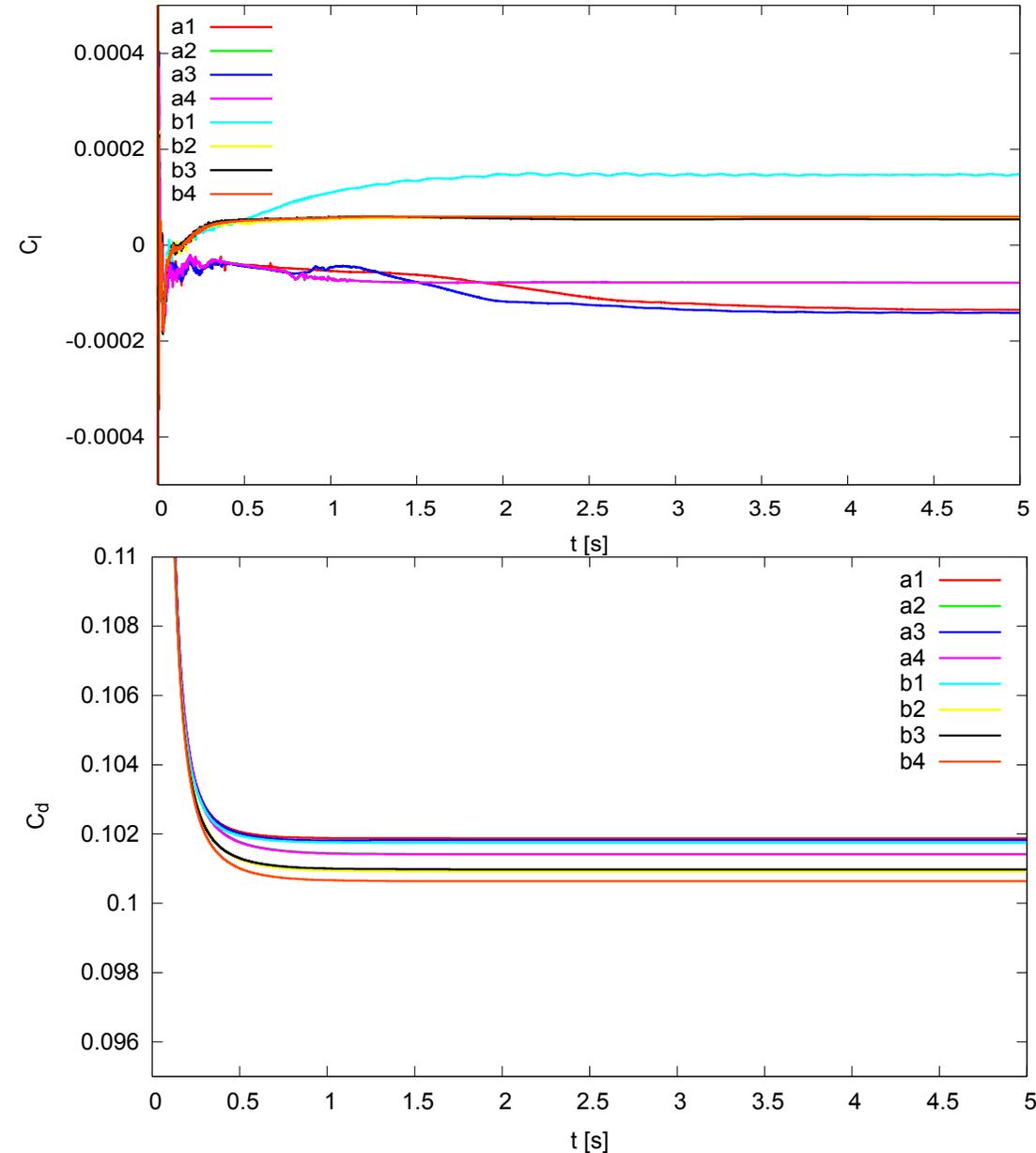


a_3

RISULTATI CASO STATICO 0°

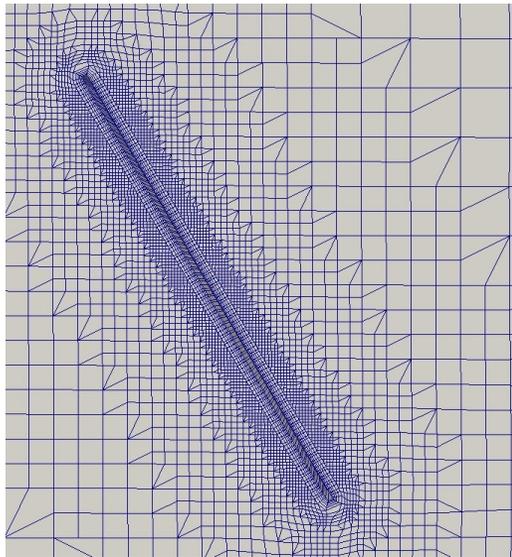
- Tutte le griglie utilizzate convergono a un valore costante.
- Coefficiente di resistenza dello stesso ordine di grandezza per tutte le mesh e coefficiente di portanza praticamente nullo.

mesh	C_d	C_l
a_1	1.01874×10^{-1}	-13.4940×10^{-5}
a_2	1.01422×10^{-1}	-7.82189×10^{-5}
a_3	1.08230×10^{-1}	-14.1424×10^{-5}
a_4	1.01411×10^{-1}	-7.87764×10^{-5}
b_1	1.01750×10^{-1}	14.8666×10^{-5}
b_2	1.00918×10^{-1}	5.69054×10^{-5}
b_3	1.00984×10^{-1}	5.87680×10^{-5}
b_4	1.00636×10^{-1}	6.04700×10^{-5}



RISULTATI PER ALTRI ANGOLI DI ATTACCO

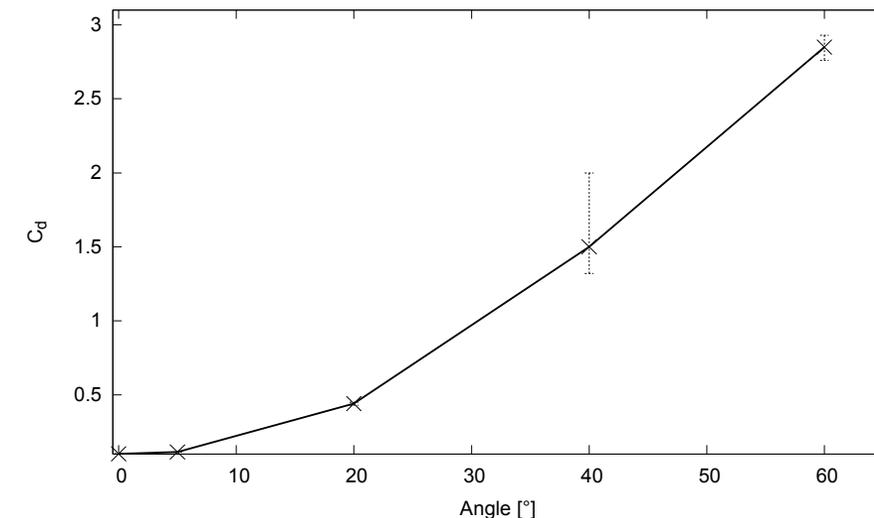
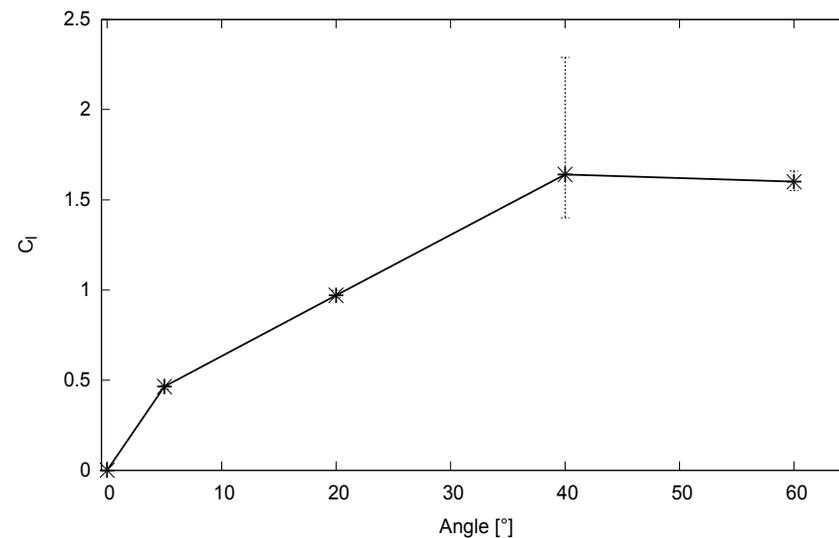
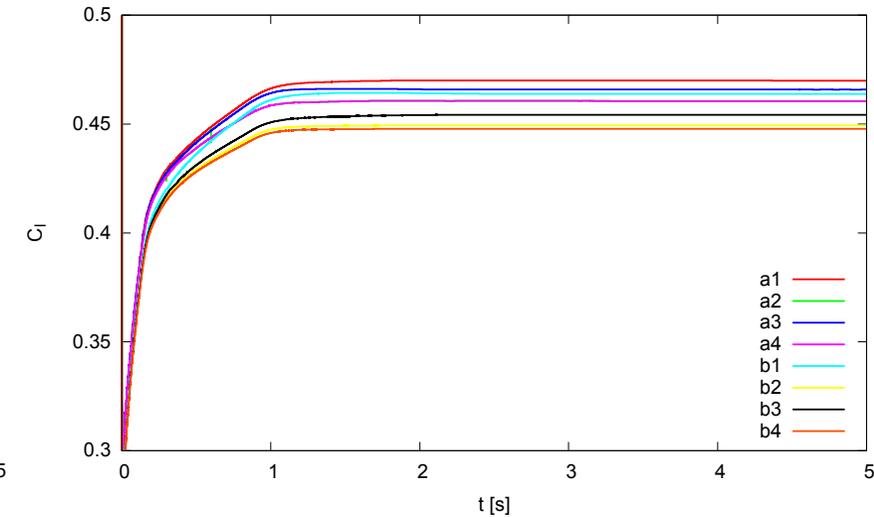
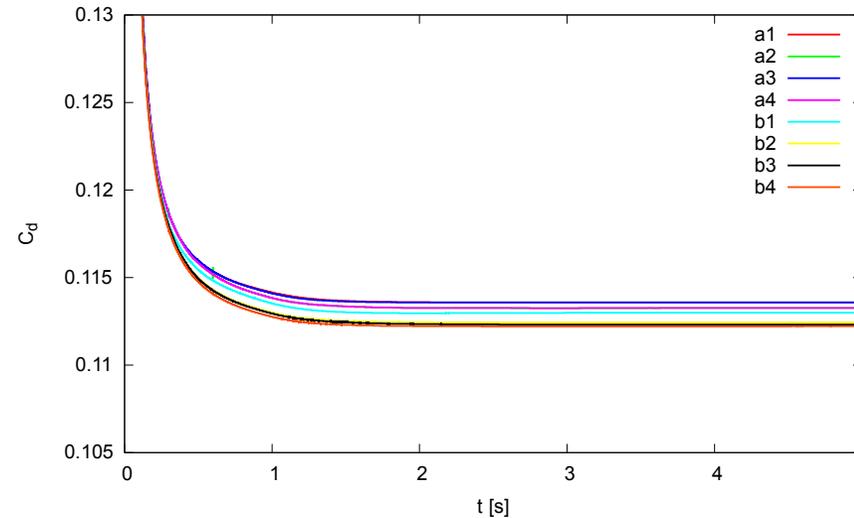
- Per il caso a 5° si è rilevato che c'è indipendenza dei risultati al variare delle mesh.



(Ala disposta a 60°)

- Per lo studio dell'ala disposta ad angoli di attacco maggiori di 20° sono necessarie mesh più precise di quelle utilizzate.

(Analisi a 5°)



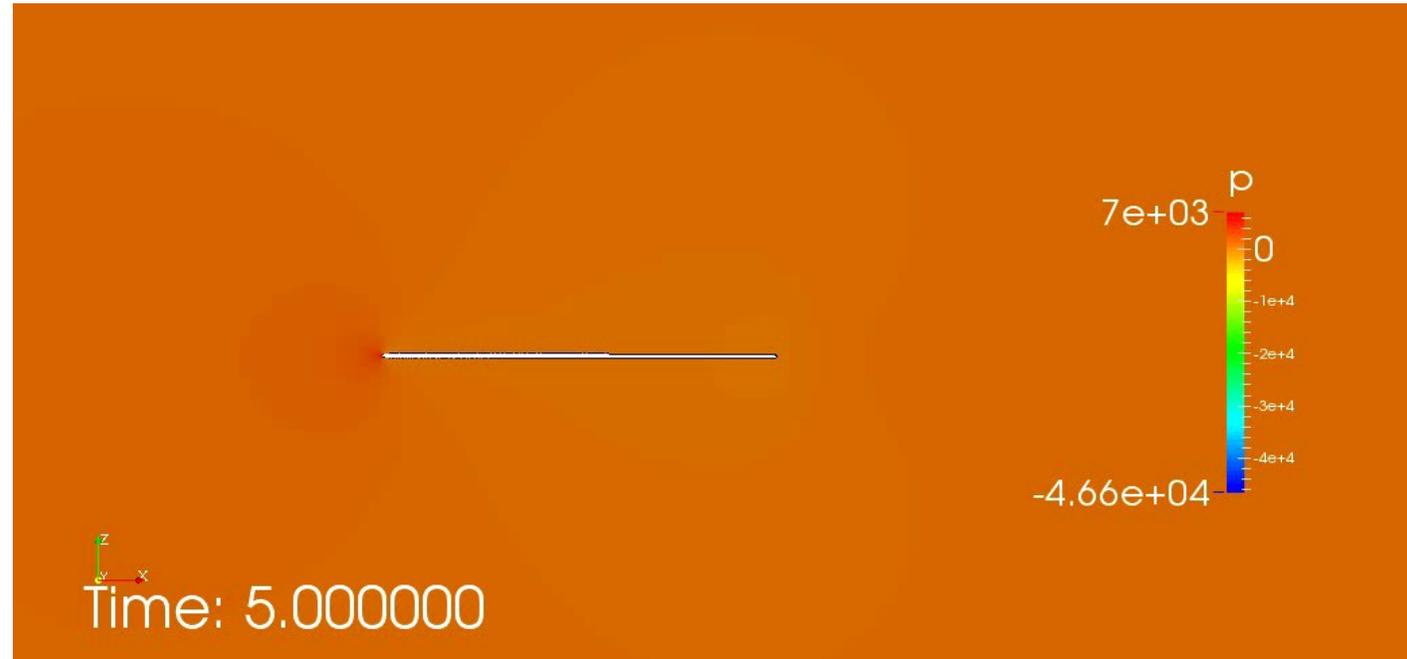
SIMULAZIONI DINAMICHE

- Simulazioni riguardanti il reale funzionamento del dispositivo.
- Si ottengono moti instabili autosostenuti a causa del fluttering.
- L'insorgere del fenomeno dipende dai seguenti parametri adimensionali:

- Densità dell'ala adimensionale:

$$\rho_w^* = \frac{\rho_w \delta}{\rho c}$$

- ρ : densità del fluido.
- ρ_w densità dell'ala.
- δ spessore dell'ala.
- c corda dell'ala.



- Flessibilità adimensionale della molla:

$$\frac{1}{k^*} = \frac{\rho U^2}{k}$$

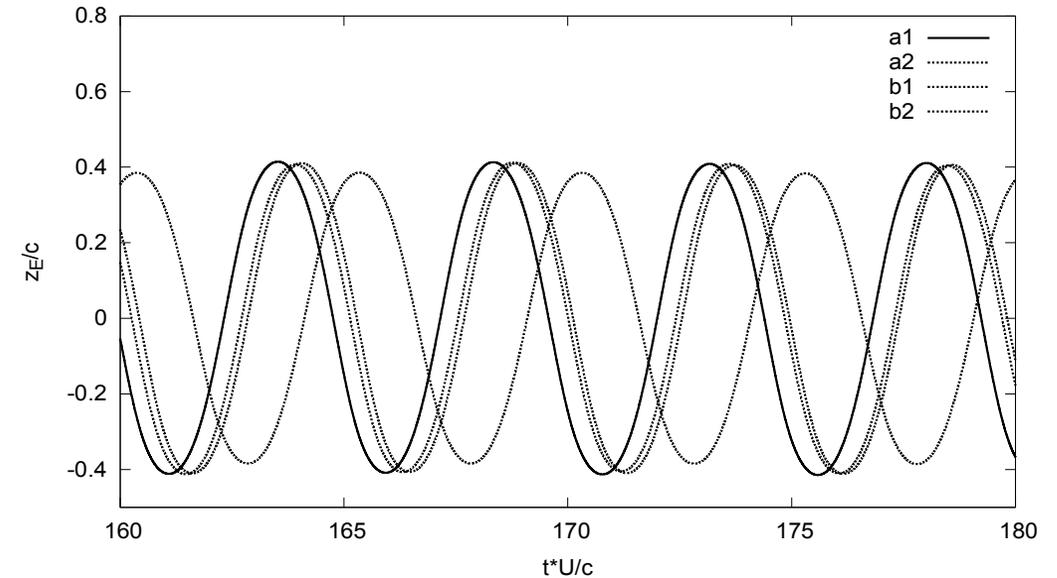
- k rigidezza dimensionale della molla.
- U velocità del fluido indisturbato.

GRID DEPENDENCY CASI DINAMICI

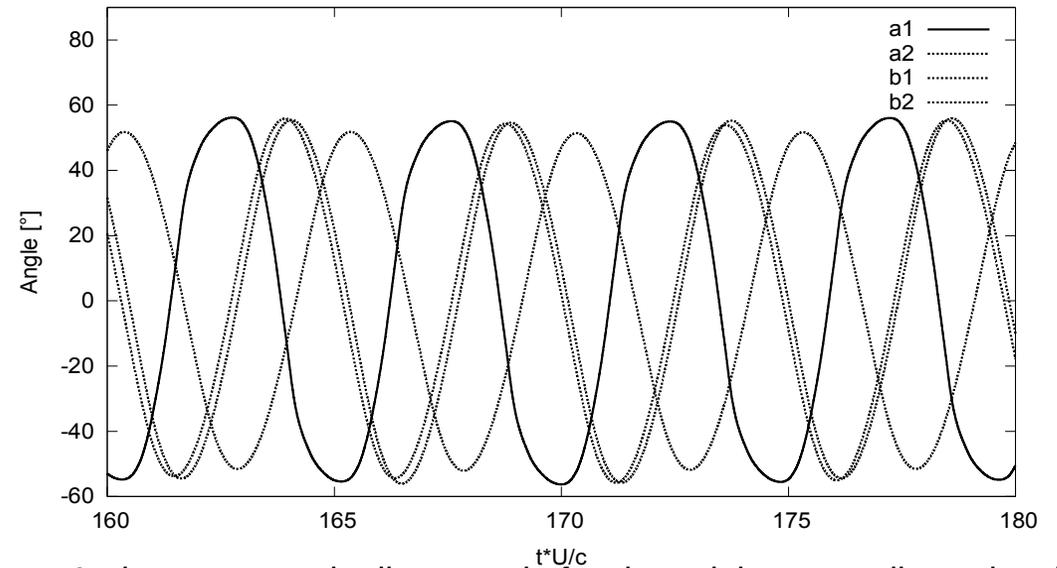
➤ $\rho_w^* = 3.5, 1/k^* = 0.35$

➤ Andamenti dell'angolo di attacco e coordinata verticale del punto di attacco della molla periodici e ampiezze simili fra loro.

➤ I risultati delle mesh utilizzate sono affidabili.



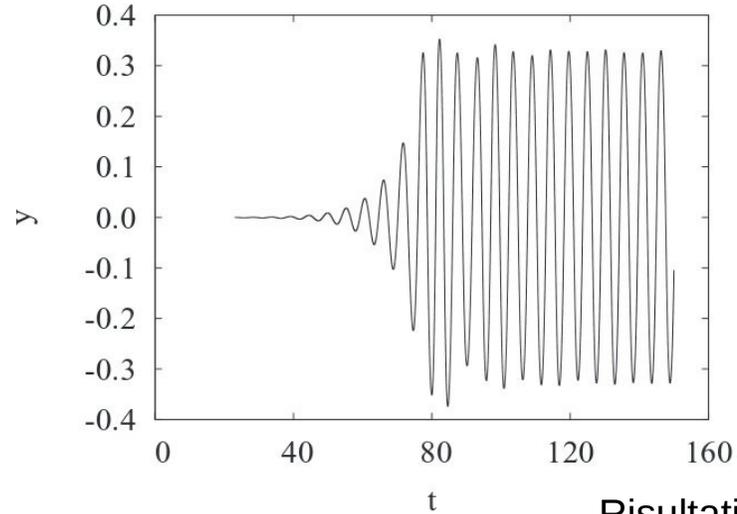
Andamento coordinata verticale in funzione del tempo adimensionale



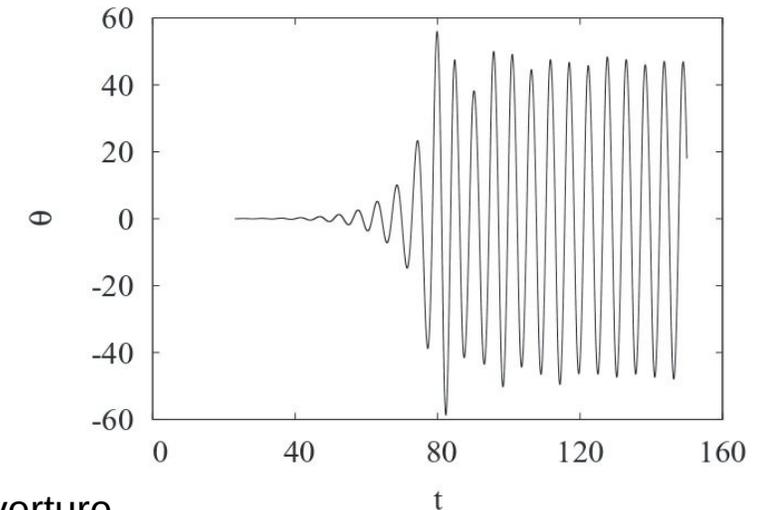
Andamento angolo di attacco in funzione del tempo adimensionale

BENCHMARKING (1/2)

- $\rho_w^* = 3.5$, $1/k^* = 0.35$
- Caso caratterizzato da un moto instabile autosostenuto nel tempo partendo da posizione orizzontale.

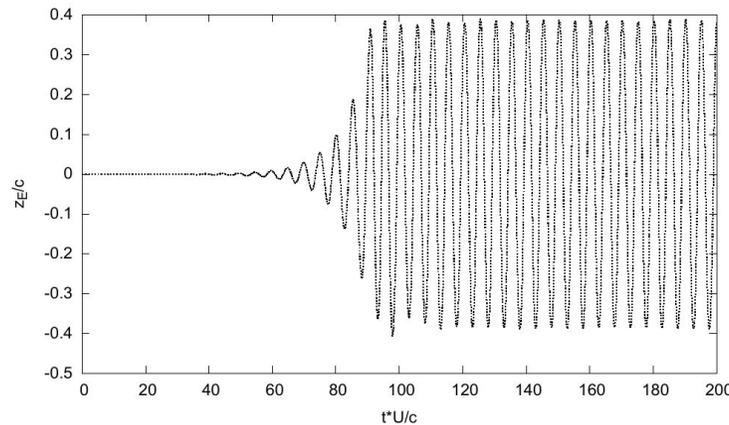


Risultati Overture

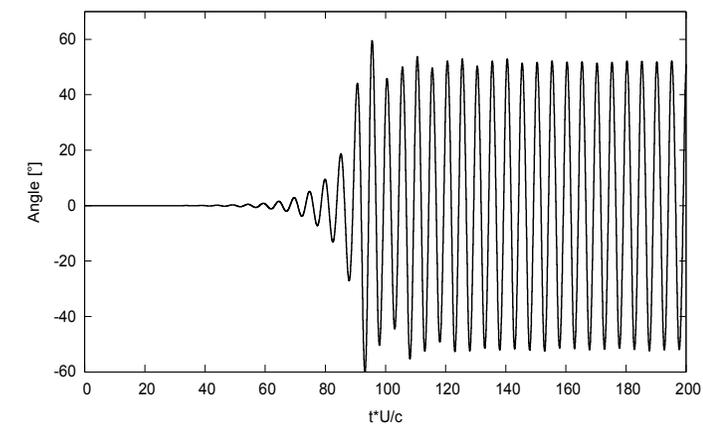


- Benchmark:

- Le soluzioni dei due codici risultano molto simili.



Risultati OpenFOAM

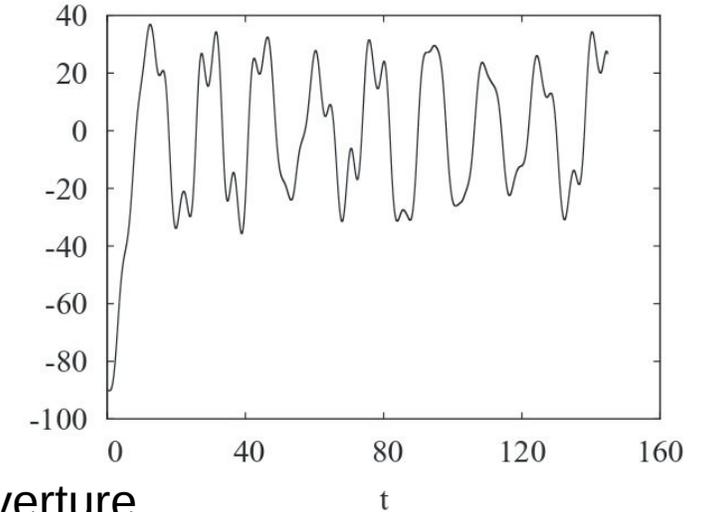
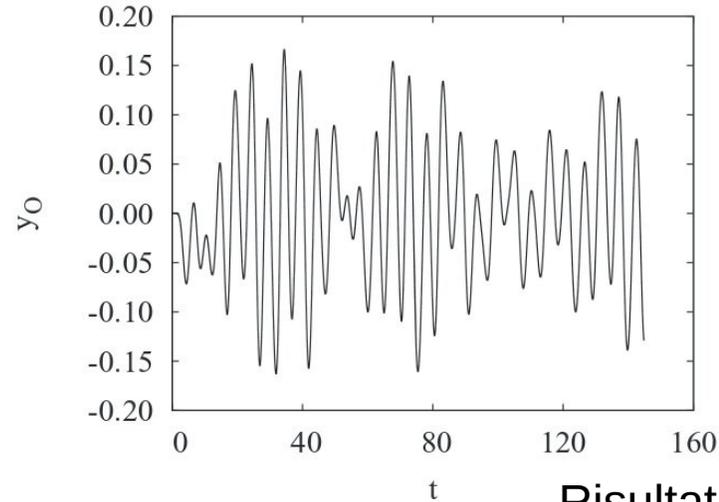


- Regime di Reynolds non influente sul regime di moto.

A Orchini, A Mazzino, J Guerrero, R Festa, and C Boragno. Flapping states of an elastically anchored plate in a uniform flow with applications to energy harvesting by fluid-structure interaction. *Physics of Fluids* (1994-present), 25(9):097105, 2013.

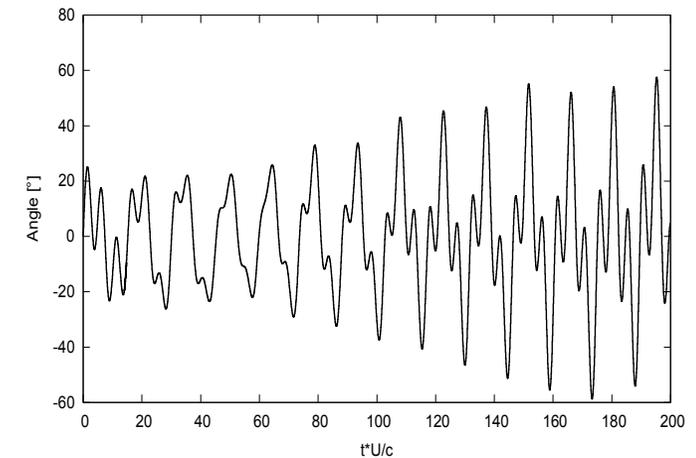
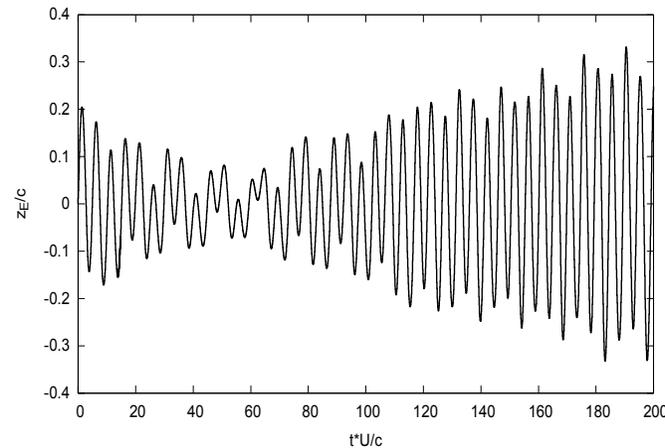
BENCHMARKING (2/2)

- $1/k^* = 0.1$, $\rho_w^* = 20$
- Caso che mostra un'instabilità sottocritica, ovvero solo con una adeguata perturbazione iniziale si innesca un moto instabile autosostenuto.



Benchmark:

- Risultati dei due codici non risultano simili ma entrambi rilevano un moto instabile autosostenuto.
- Sistema sottocritico presenta una forte influenza dalle condizioni iniziali.



Risultati OpenFOAM

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

- L'analisi di grid dependency ha mostrato le risoluzioni adeguate per lo studio del problema.
- cfMesh meshatore affidabile e funzionale per casi bidimensionali.
- Casi dinamici stesse nature del sistema a quelle trovate con Overture.
- Proseguimento degli studi del modello teorico.
- Implementazione del modello fino a emulare l'esperimento in galleria del vento.