



CALCOLO AEROELASTICO HIGH FIDELITY MEDIANTE HPC

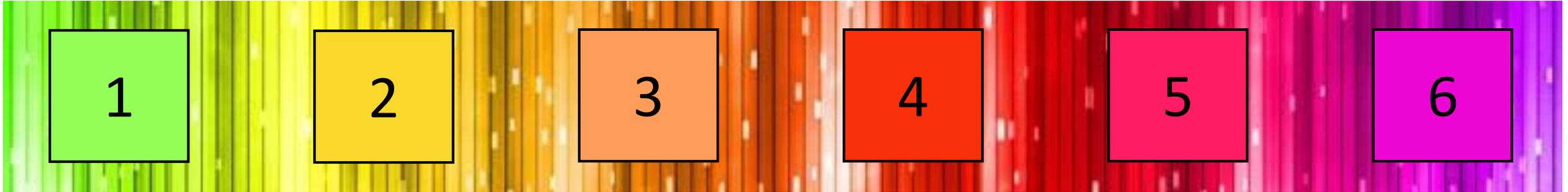


CANDIDATO: REGINE DOMENICO
RELATORE: PROF. MARCO E. BIANCOLINI
CORRELATORE: ING. C. GROTH

Introduzione

Analisi

Work in Progress



Obiettivi

Risultati

Conclusioni

1. INTRODUZIONE

Nello studio del comportamento fluidodinamico si utilizzano spesso metodi CFD che trascurano le deformazioni. Tuttavia, esistono casi in cui tale ipotesi non è accettabile in quanto la deformazione strutturale può avere un impatto rilevante sulle performance calcolate: in tal maniera, i risultati del calcolo CFD risulteranno differenti rispetto a quanto riscontrabile nella realtà.



1. INTRODUZIONE

ANALISI FSI: COSA SONO

Per studiare la mutua influenza tra fluido e struttura (FSI, Fluid-Structure Interaction) esistono in letteratura numerosi approcci. In questa tesi è stato seguito un approccio *high fidelity*. In generale, esistono 3 metodologie *high fidelity*:

- One-Way;
- Two-Ways;
- Sovrapposizione Modale.



1. INTRODUZIONE

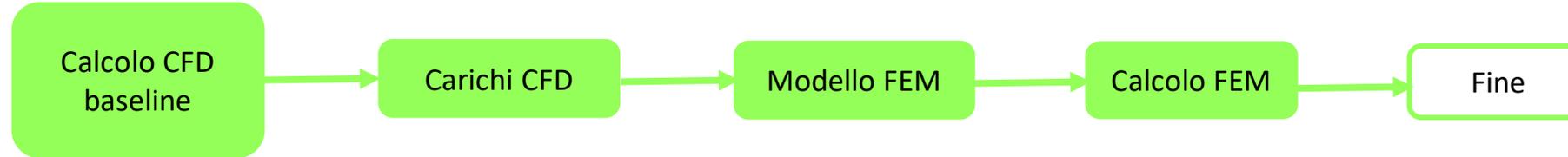
SOFTWARE UTILIZZATI

- Siemens Femap with NX Nastran;
- Ansys Fluent;
- RBF Morph.

Le analisi FSI sono state svolte su HPC in ambiente Linux.



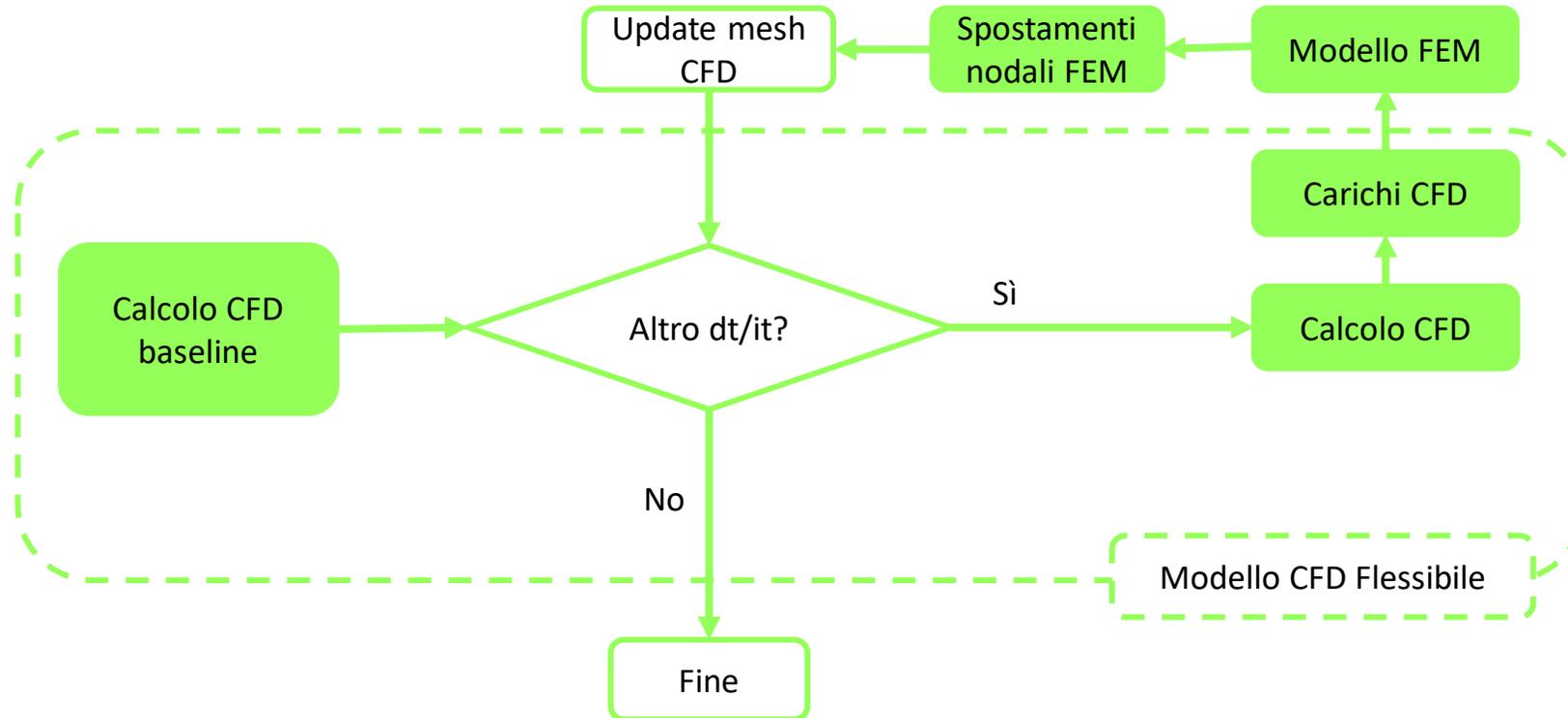
1. INTRODUZIONE



METODOLOGIA ONE-WAY

Si esegue una prima analisi CFD tradizionale. Si esportano da questa i carichi, i quali vengono importati sul modello FEM e si fa un'analisi statica strutturale.

1. INTRODUZIONE



METODOLOGIA TWO-WAYS

Si esegue una prima analisi CFD tradizionale. Si esportano da questa i carichi, i quali vengono importati sul modello FEM, si svolge un'analisi statica strutturale e si importano le deformazioni così calcolate sul modello CFD, per poi rifare il calcolo fluidodinamico. Si ripete il processo finché non si raggiunge la convergenza degli spostamenti.

1. INTRODUZIONE

FORMULAZIONE PARAMETRICA DELLA MESH

Ogni posizione nodale della mesh può essere stimata utilizzando la sua posizione originaria come input:

$$\mathbf{x}_{node_{new}} = \mathbf{x}_{node} + \begin{bmatrix} S_x(\mathbf{x}_{node}) \\ S_y(\mathbf{x}_{node}) \\ S_z(\mathbf{x}_{node}) \end{bmatrix}$$

La teoria modale è lineare, non serve utilizzare la formula RBF per ogni update della mesh. Si usa la seguente combinazione lineare:

$$\mathbf{X}_{CFD} = \mathbf{X}_{CFD0} + \sum_{m=1}^n \eta_m \Delta \mathbf{u}_m$$

METODOLOGIA DI SOVRAPPOSIZIONE MODALE: FSI STATICA

I modi e le frequenze di una struttura sono ottenibili dalla risoluzione del problema agli autovalori:

$$\mathbf{K}\mathbf{u} = \omega^2 \mathbf{M}\mathbf{u}$$

L'ortogonalità dei modi ed il comportamento passa-basso semplificano il problema. La normalizzazione rispetto alla massa semplifica ulteriormente il contesto:

$$\Delta \mathbf{u}_m^T \mathbf{M} \Delta \mathbf{u}_m = 1$$

$$\Delta \mathbf{u}_m^T \mathbf{K} \Delta \mathbf{u}_m = \omega_m^2$$

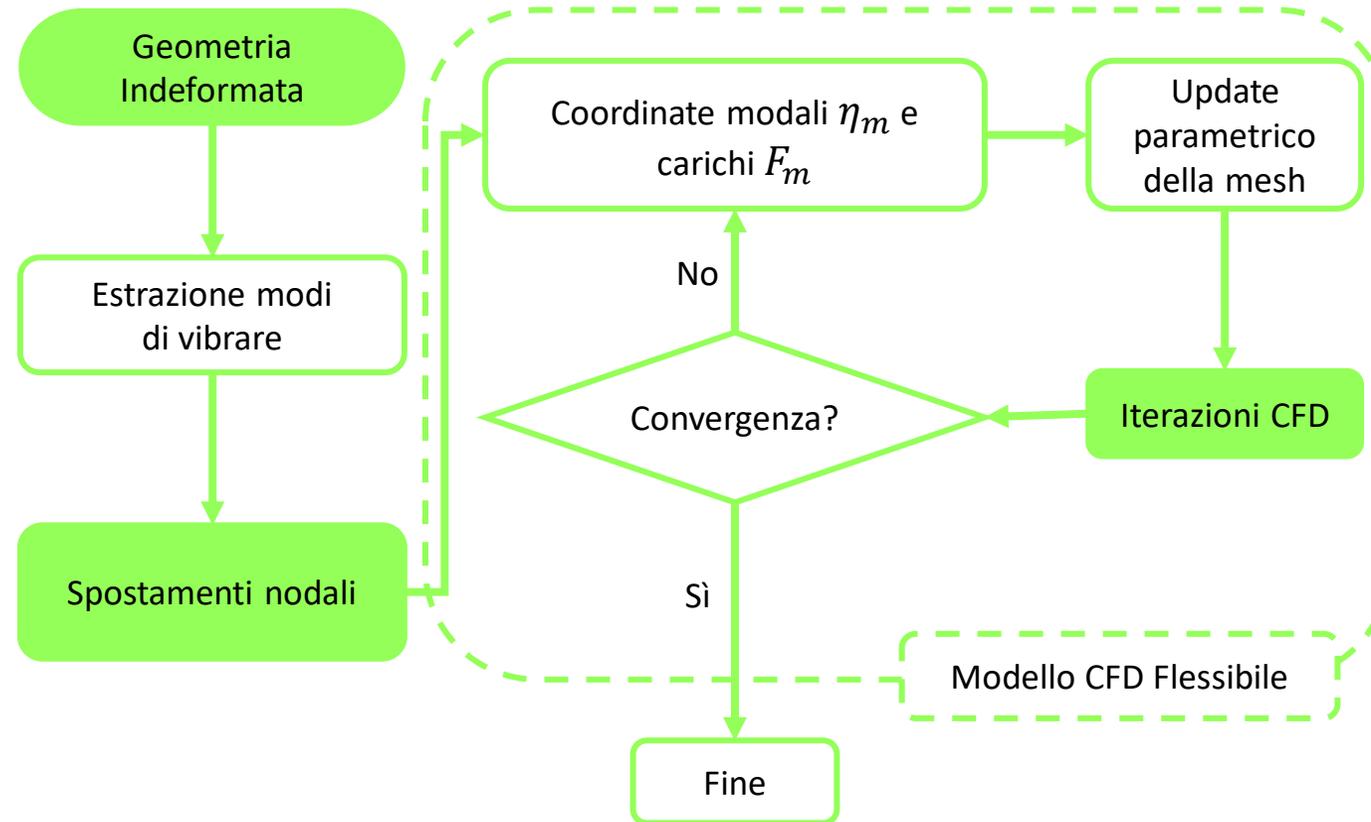
$$\mathbf{u} = \sum_{m=1}^n \Delta \mathbf{u}_m \eta_m = \Delta \mathbf{u} \boldsymbol{\eta}$$

$$\ddot{\eta}_m + \omega_m^2 \eta_m = F_m$$

$$m = 1, 2, \dots, n$$

$$\omega_m^2 \eta_m = F_m$$

1. INTRODUZIONE



METODOLOGIA DI SOVRAPPOSIZIONE MODALE

Vengono estratti dal FEM i modi di vibrare della struttura, quindi questi vengono importati sul modello CFD. In tal maniera, non è necessario interfacciare continuamente i due solver.

1. INTRODUZIONE

RBF

Il mesh morphing è una tecnica che permette di deformare la mesh tramite l'imposizione di un campo di moto ad una serie di punti sorgente. Questa tecnica consente di eliminare l'operazione di remeshing, velocizzando le analisi FSI. Il mesh morphing si può implementare utilizzando le Radial Basis Functions (RBF), dove lo spostamento dei punti di valutazione si calcola risolvendo la seguente equazione scalare:

$$s(x) = \sum_{i=1}^{n_s} \gamma_i \phi(\|x - x_{k_i}\|) + h(x) \quad \text{con} \quad h(x) = \beta_1 + \beta_2 x + \beta_3 y + \beta_4 z$$

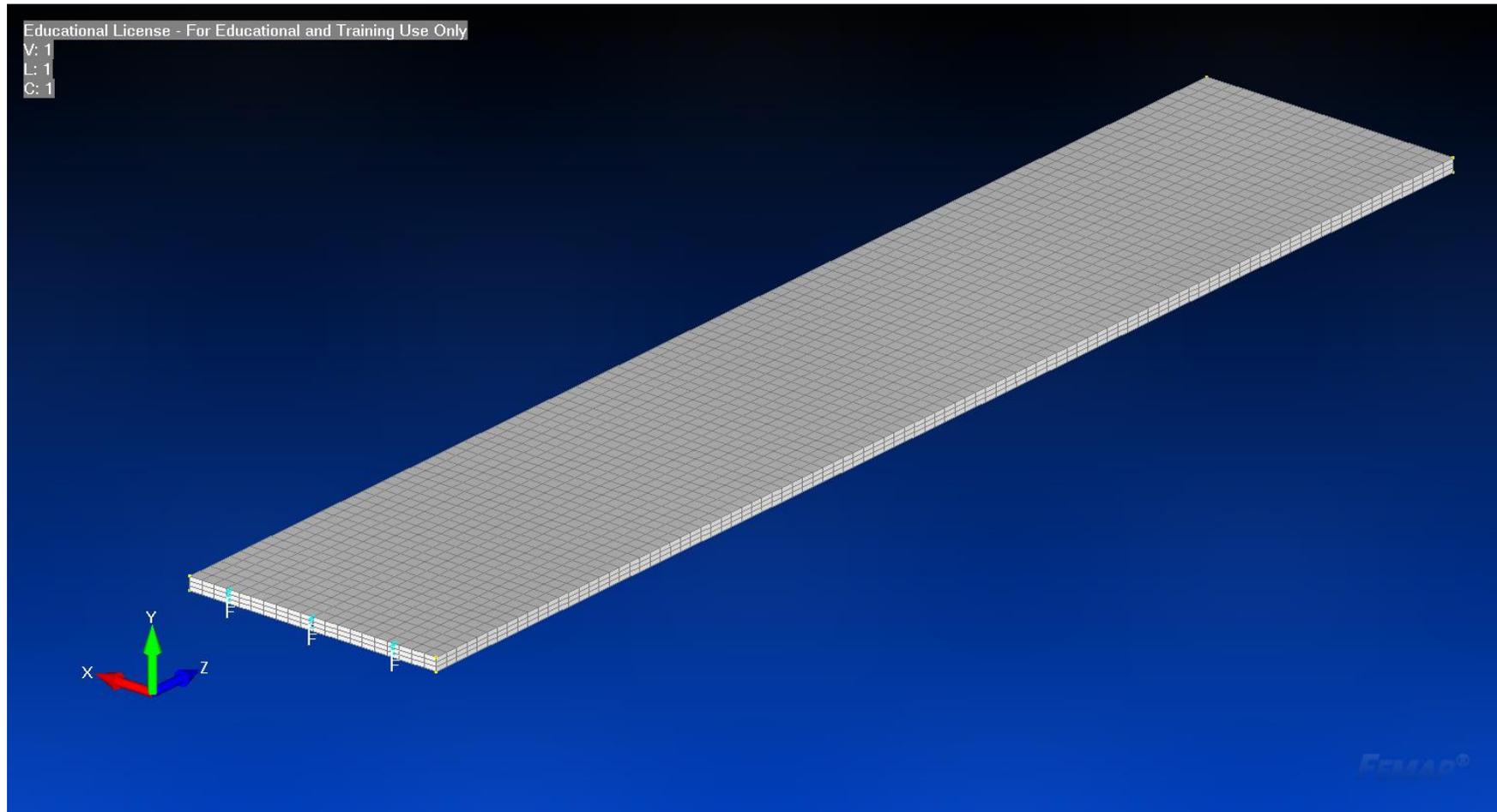
Si passa quindi alla risoluzione di tre RBF per interpolare un campo vettoriale:

$$\begin{cases} s_x(x) = \sum_{i=1}^{n_s} \gamma_i^x \phi(\|x - x_{k_i}\|) + \beta_1^x + \beta_2^x x + \beta_3^x y + \beta_4^x z \\ s_y(x) = \sum_{i=1}^{n_s} \gamma_i^y \phi(\|x - x_{k_i}\|) + \beta_1^y + \beta_2^y x + \beta_3^y y + \beta_4^y z \\ s_z(x) = \sum_{i=1}^{n_s} \gamma_i^z \phi(\|x - x_{k_i}\|) + \beta_1^z + \beta_2^z x + \beta_3^z y + \beta_4^z z \end{cases}$$

OBIETTIVI

- Automatizzare entrambe le metodologie di analisi FSI Two-Ways e di sovrapposizione modale in ambiente Linux
- Confrontare i risultati e l'onere temporale delle due suddette metodologie

3. ANALISI



LASTRA PIANA: SETUP FEM

Si tratta di un caso semplificato, realizzato con lo scopo di testare il funzionamento dei due workflow proposti.
Vincoli: Incastro in un'estremità.

Proprietà della mesh FEM	
Elementi	Nodi
10614	8484

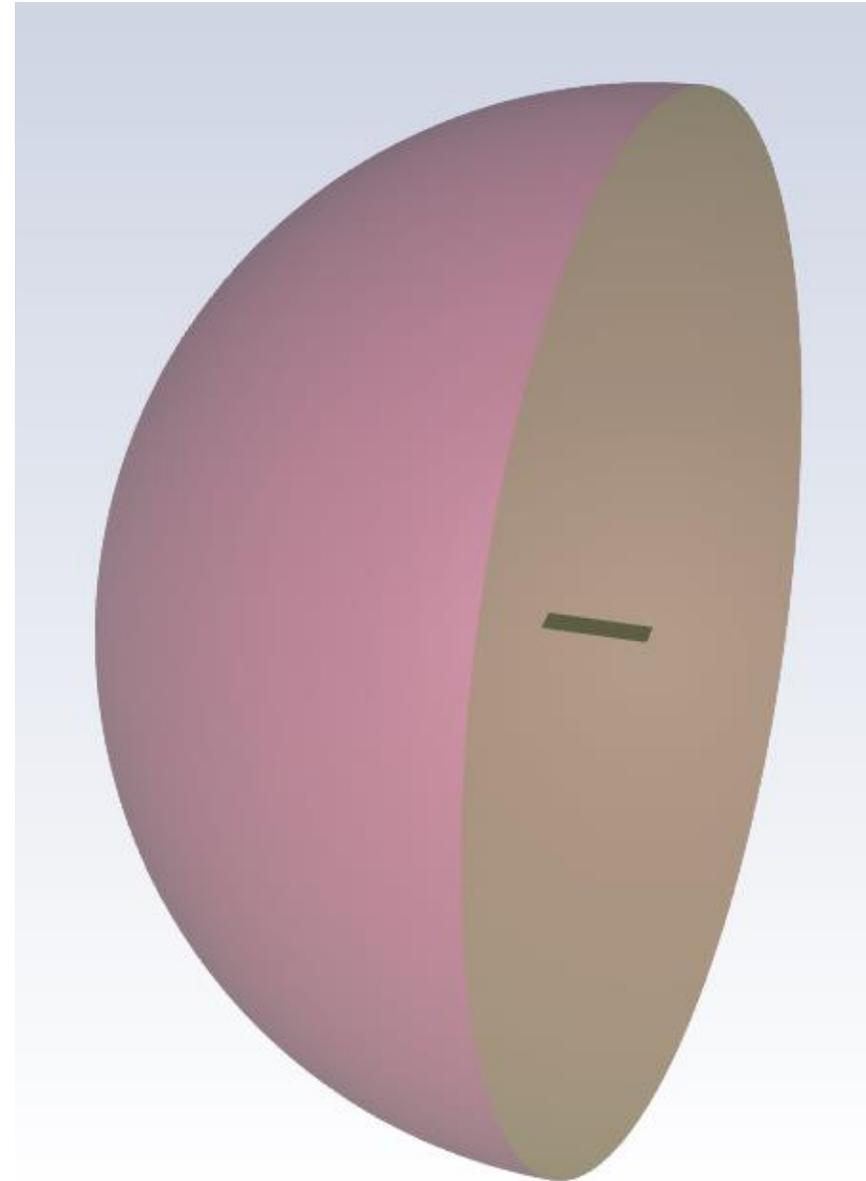
3. ANALISI

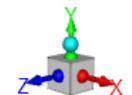
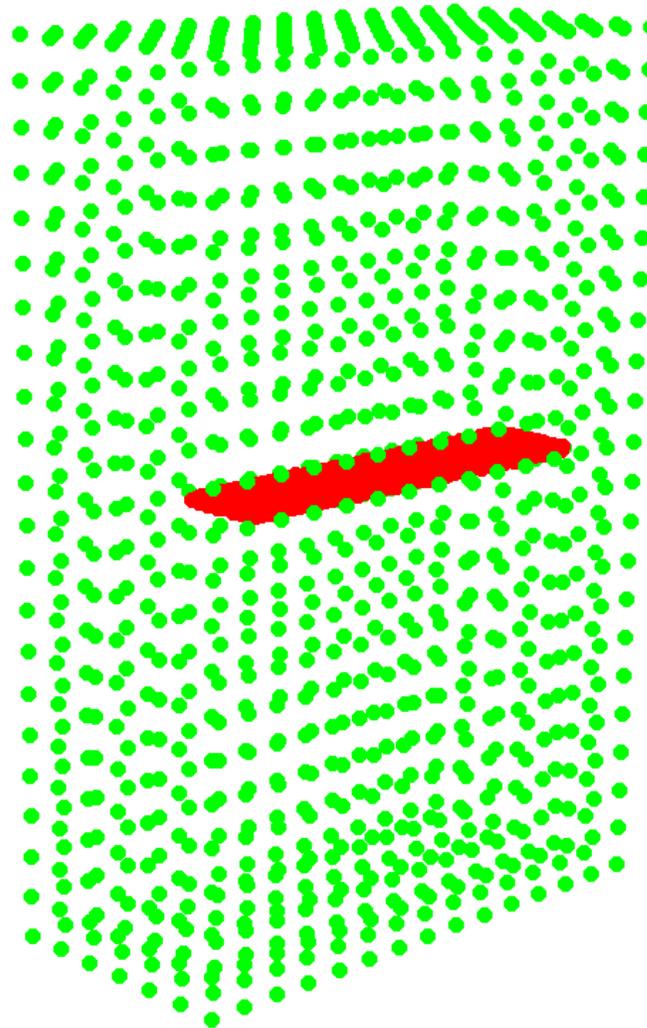
LASTRA PIANA: SETUP CFD

- Modello di turbolenza S-A;
- Pressure Farfield:
 - Mach = 0.4;
 - Angolo di attacco = 20°
- Wall: No Slip

Proprietà della mesh CFD

Celle	Facce	Nodi	Partizioni
53529	334875	258447	4





LASTRA PIANA: SETUP RBF

Dopo aver generato il modello CFD è stato eseguito il setup RBF, in particolare identificando il dominio di campionamento.

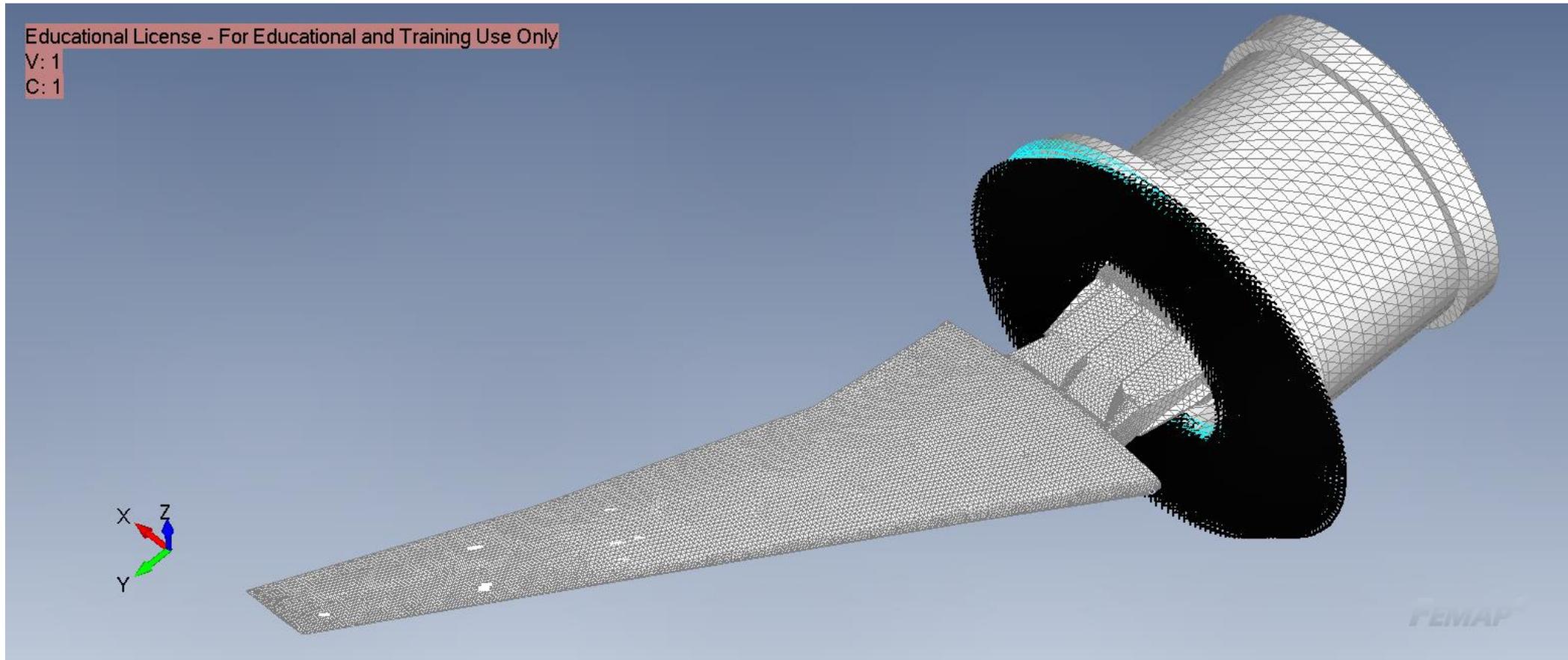
3. ANALISI

HIRENASD

Si tratta di un caso utilizzato come benchmark per le analisi FSI. Le mesh utilizzate sono disponibili nel database «NASA First Aeroelasticity Workshop» e riproducono una geometria realmente esistente. Nella mesh FEM sono presenti delle masse di bilanciamento opportunamente collocate, in maniera tale da garantire che le analisi vibratorie restituiscano esattamente le stesse frequenze misurate sul modello reale. Si vuole evidenziare la presenza di uno shaker, tale da consentire il moto dell'ala rispetto la fusoliera (che è vincolata).



3. ANALISI



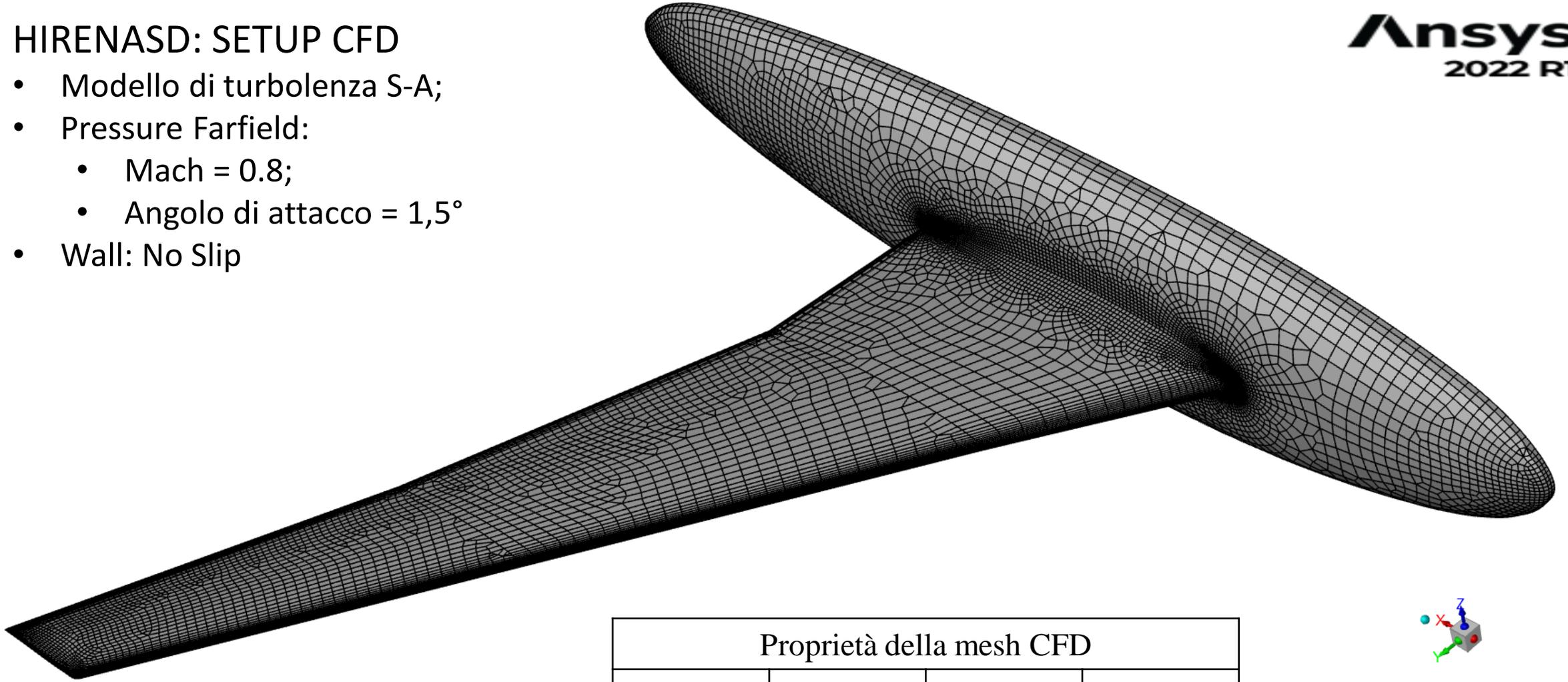
HIRENASD: SETUP FEM SU NX NASTRAN
Vincoli: incastro sullo shaker.

Proprietà della mesh FEM	
Elementi	Nodi
225112	357545

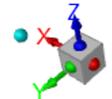
3. ANALISI

HIRENASD: SETUP CFD

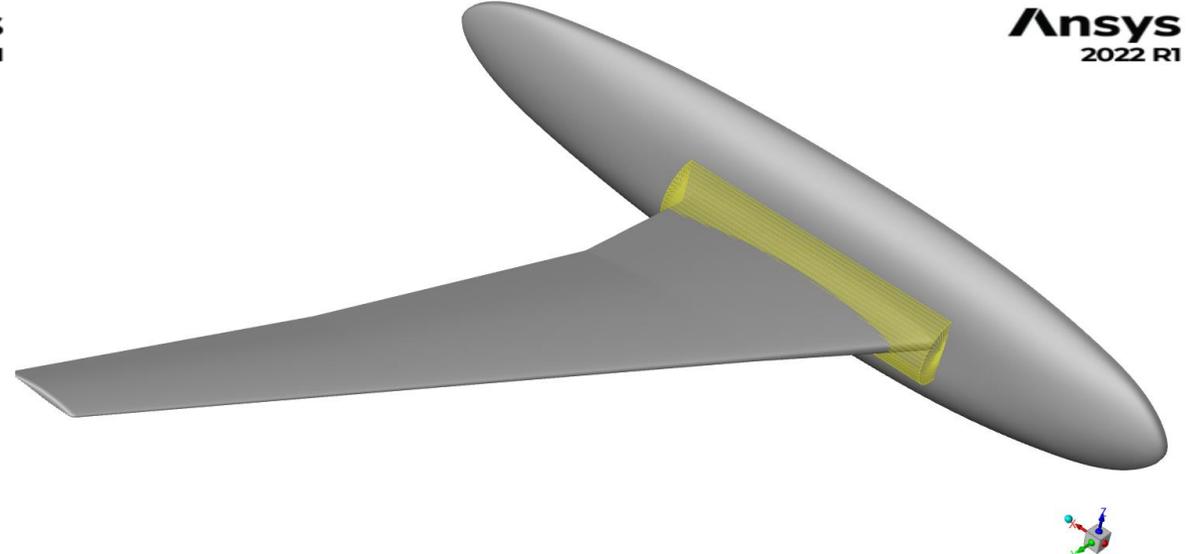
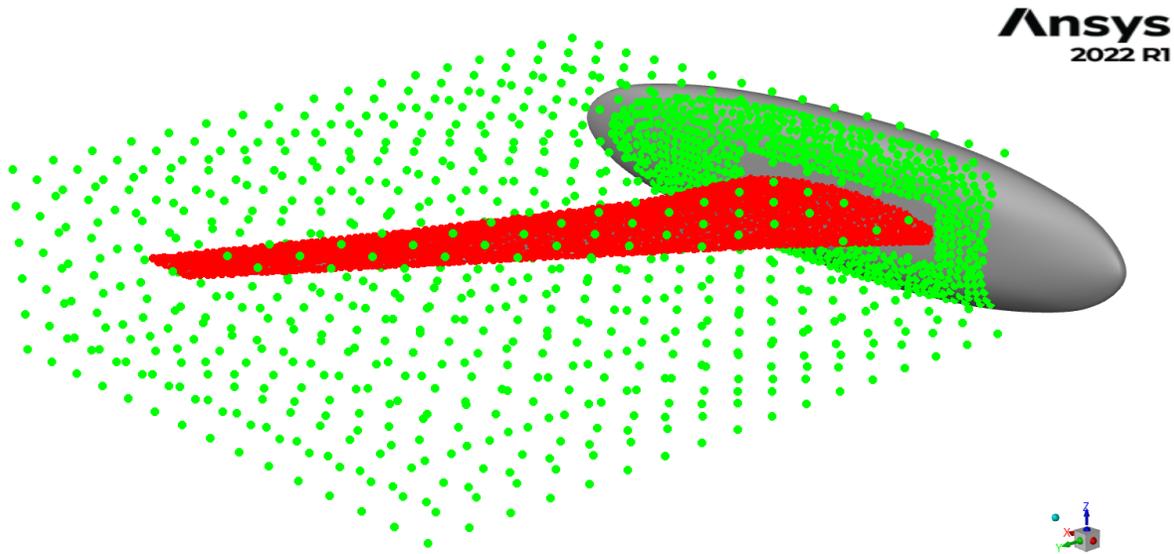
- Modello di turbolenza S-A;
- Pressure Farfield:
 - Mach = 0.8;
 - Angolo di attacco = 1,5°
- Wall: No Slip



Proprietà della mesh CFD			
Celle	Facce	Nodi	Partizioni
13169981	32398946	7206319	4



3. ANALISI

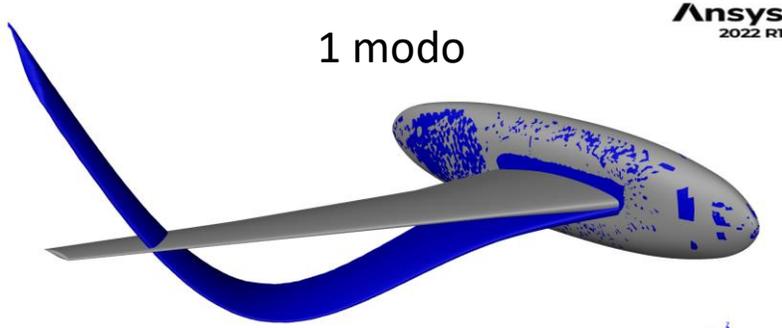


HIRENASD: SETUP RBF

Il setup RBF prevede la creazione del dominio di azione e la realizzazione di un encap tra il profilo alare e la fusoliera, così da rendere l'ala libera di muoversi proprio come il caso reale (di fatto, si simula la presenza dello shaker).

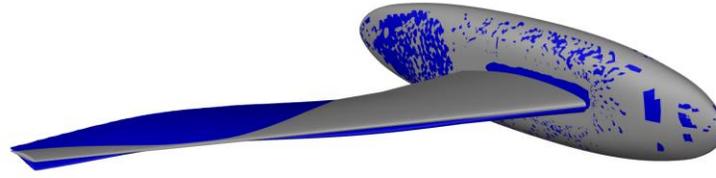
3. ANALISI

1 modo



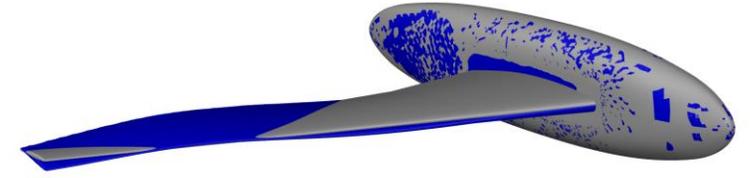
Ansys
2022 R1

2 modi



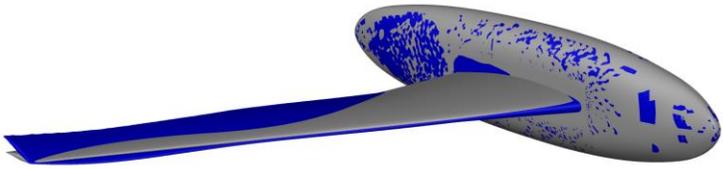
Ansys
2022 R1

3 modi



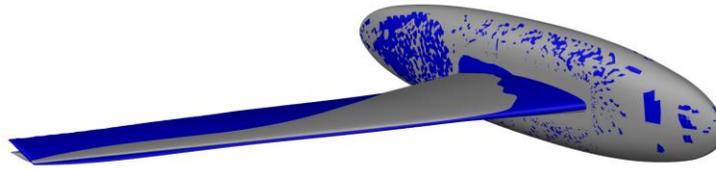
Ansys
2022 R1

4 modi



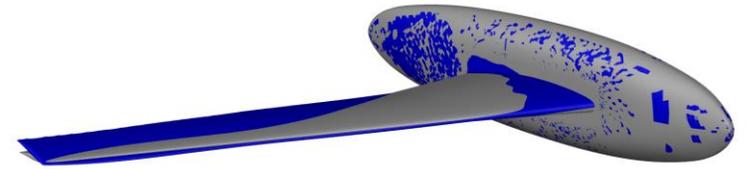
Ansys
2022 R1

5 modi



Ansys
2022 R1

6 modi

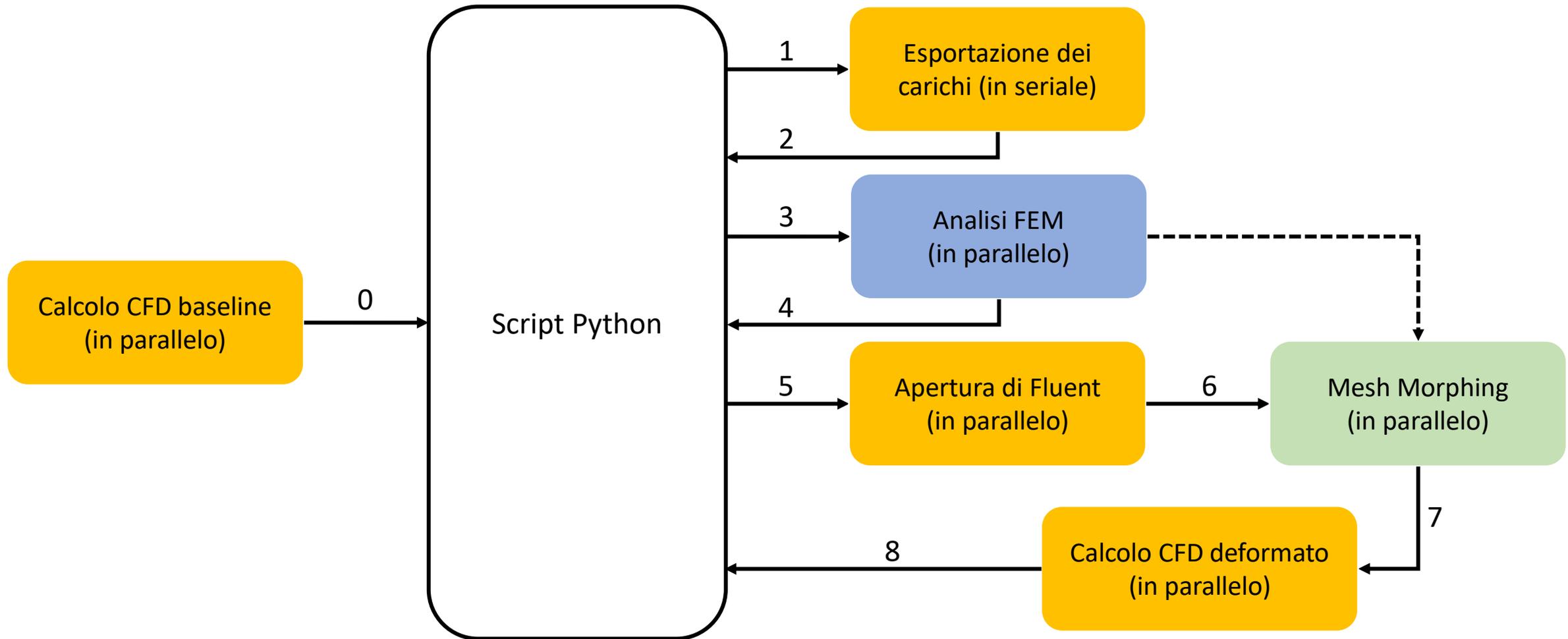


Ansys
2022 R1

HIRENASD: QUALIFICA DELLA BASE MODALE

Prima di eseguire l'analisi con la metodologia di sovrapposizione modale, è bene eseguire una qualificazione della base modale per verificare quanti siano i modi di vibrare aventi un effetto significativo sulla deformazione strutturale.

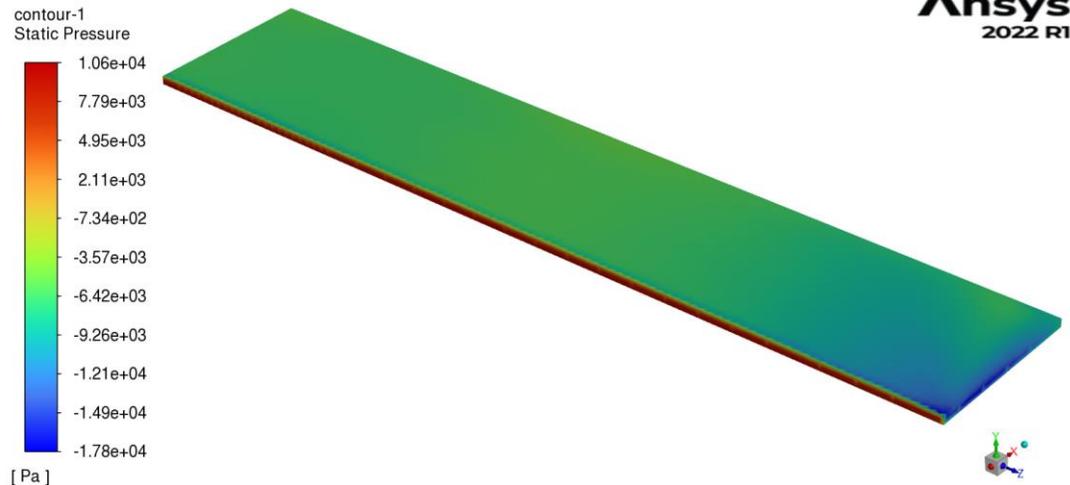
3. ANALISI



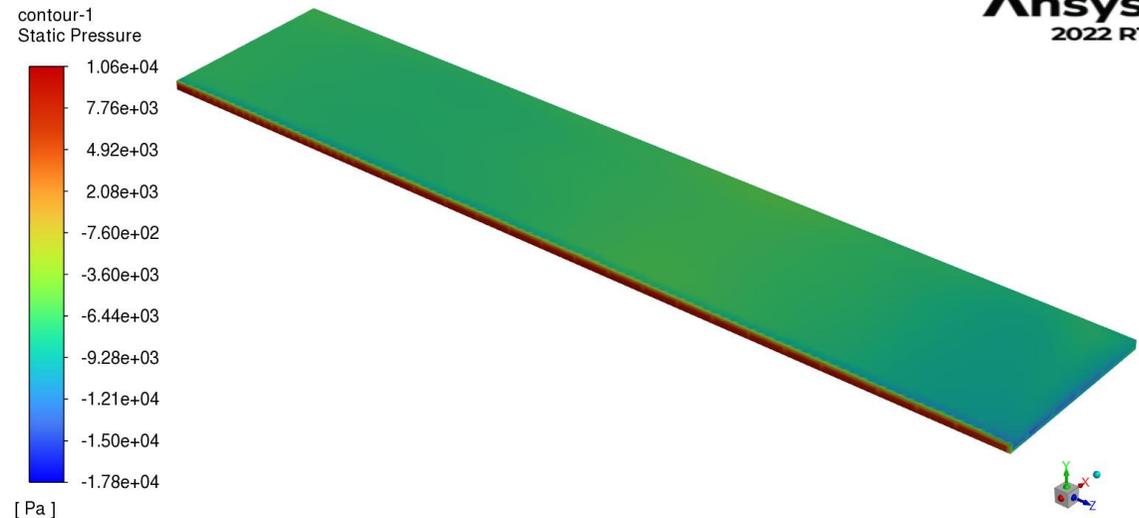
WORKFLOW AUTOMATICO ANALISI TWO-WAYS

Si riporta nella presente slide l'algorithmo utilizzato per la realizzazione del workflow automatizzato per le analisi Two-Ways.

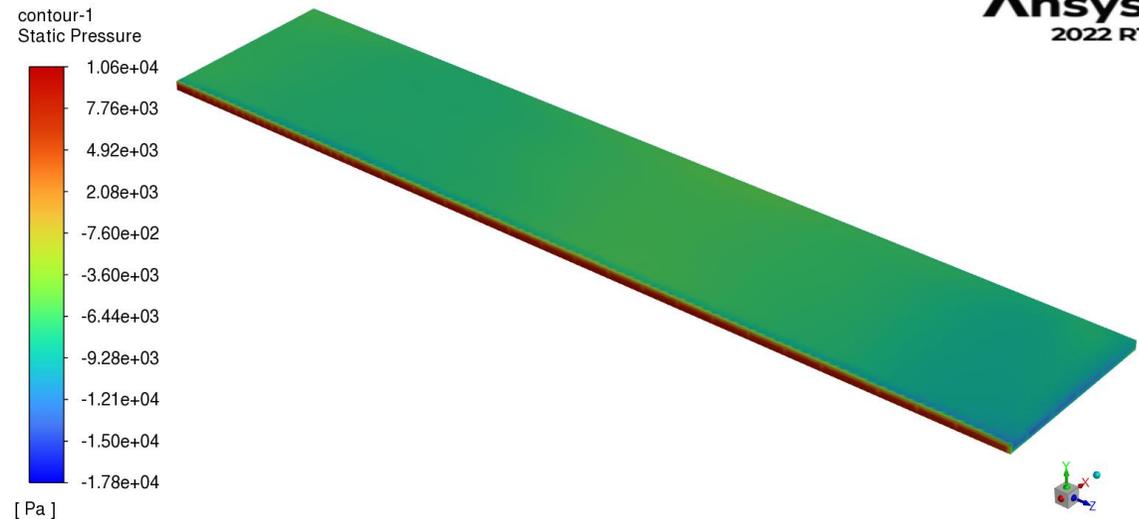
4. RISULTATI



Baseline



Modale



Two-Ways

LASTRA PIANA: RISULTATI

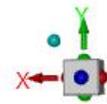
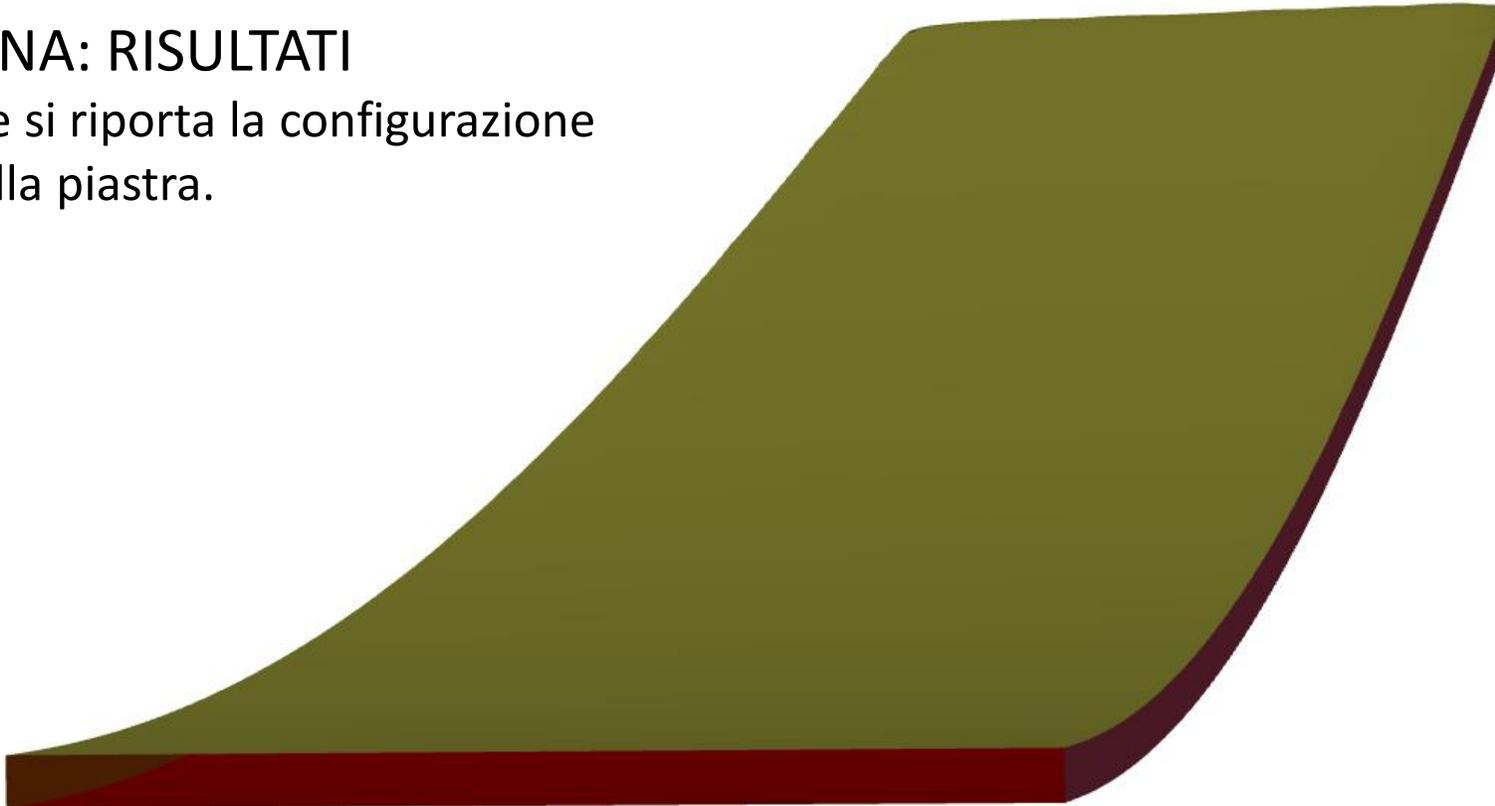
Dai contour delle mappe di pressione, si può vedere come l'implementazione di entrambe le metodologie fornisca dei risultati praticamente coincidenti.

4. RISULTATI

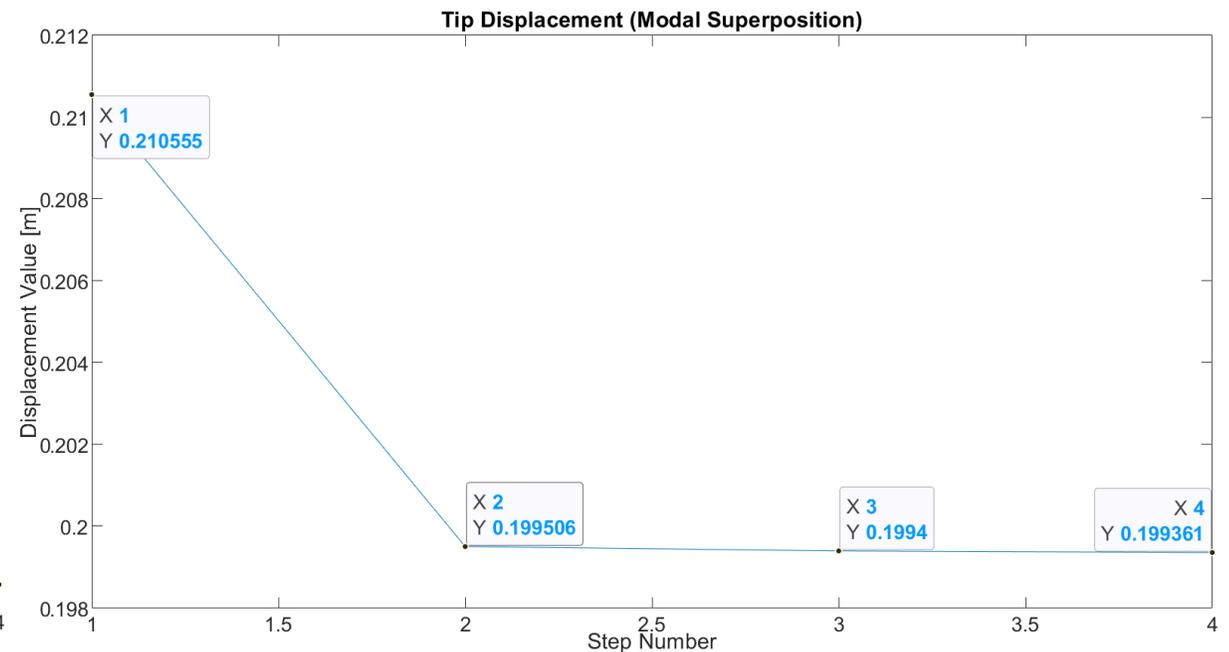
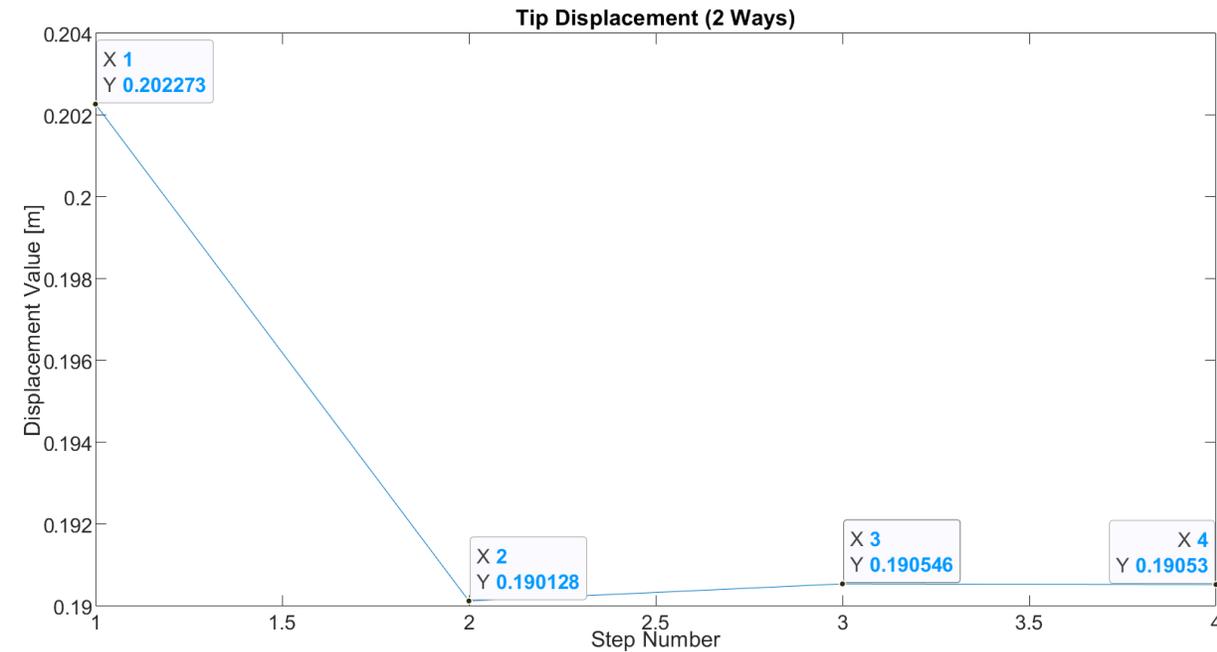
Ansys
2022 R1

LASTRA PIANA: RISULTATI

In questa slide si riporta la configurazione deformata della piastra.



4. RISULTATI



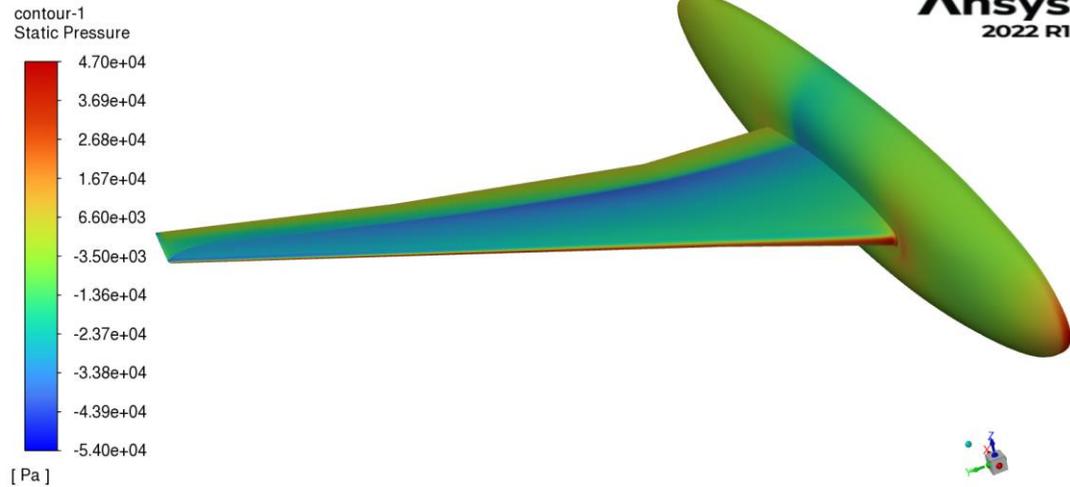
	Two-Ways	Modal	$\Delta\%$
Disps [mm]	190,53	199,36	4,42%

	Two-Ways	Modal	Rigid
C_L	0,4160	0,4136	0,4169
C_D	0,0029	0,0026	0,0015

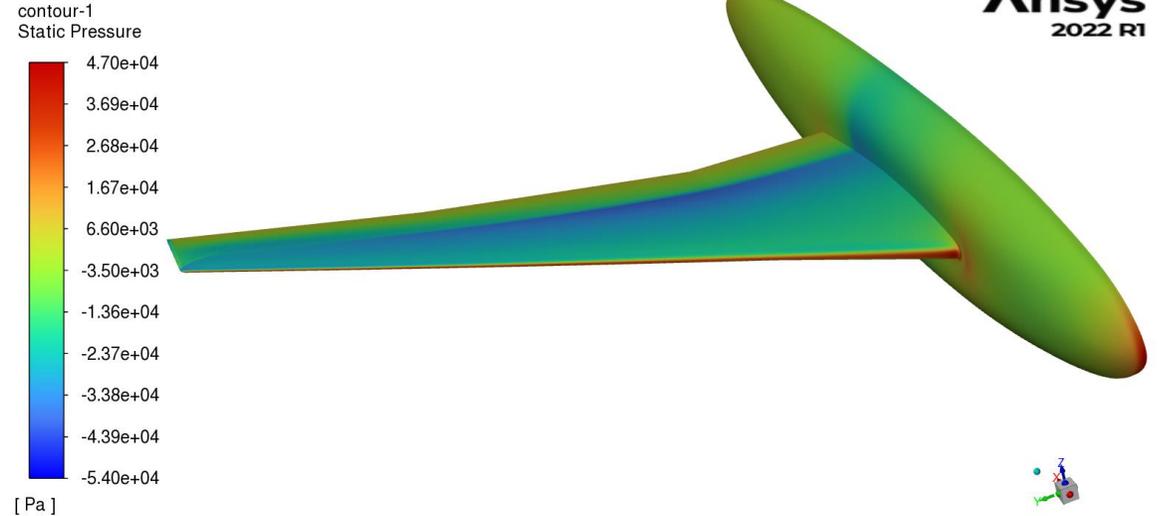
LASTRA PIANA: RISULTATI

Dall'analisi dello spostamento al tip, si può osservare un andamento simile per il raggiungimento della convergenza e la quasi coincidenza dei valori ottenuti. Il leggero scarto presente è dovuto alle interazioni viscosive, che non sono considerate nel metodo Two-Ways qui implementato. Anche i coefficienti di Lift e Drag risultano molto simili.

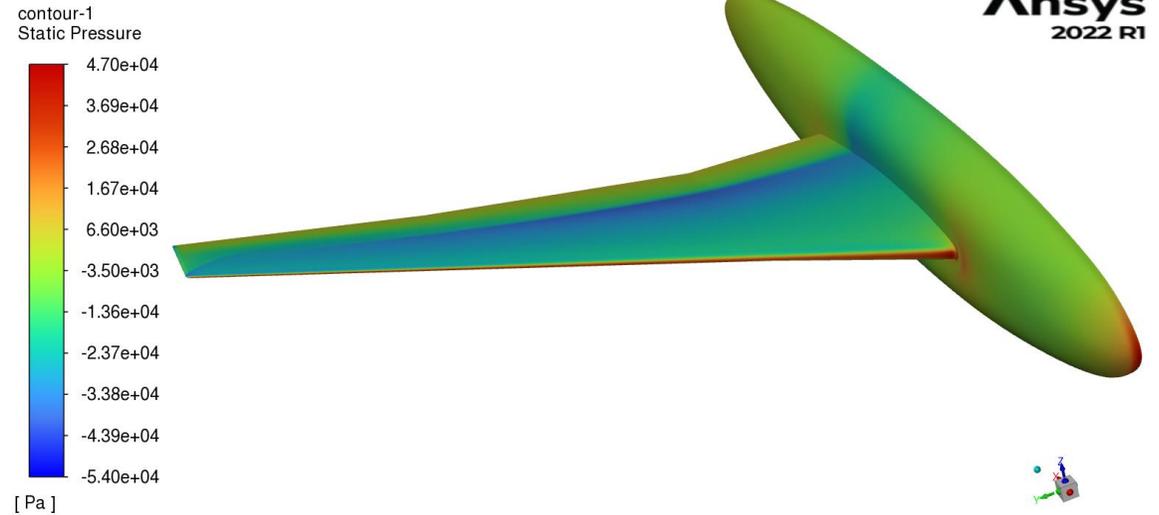
4. RISULTATI



Baseline



Modale



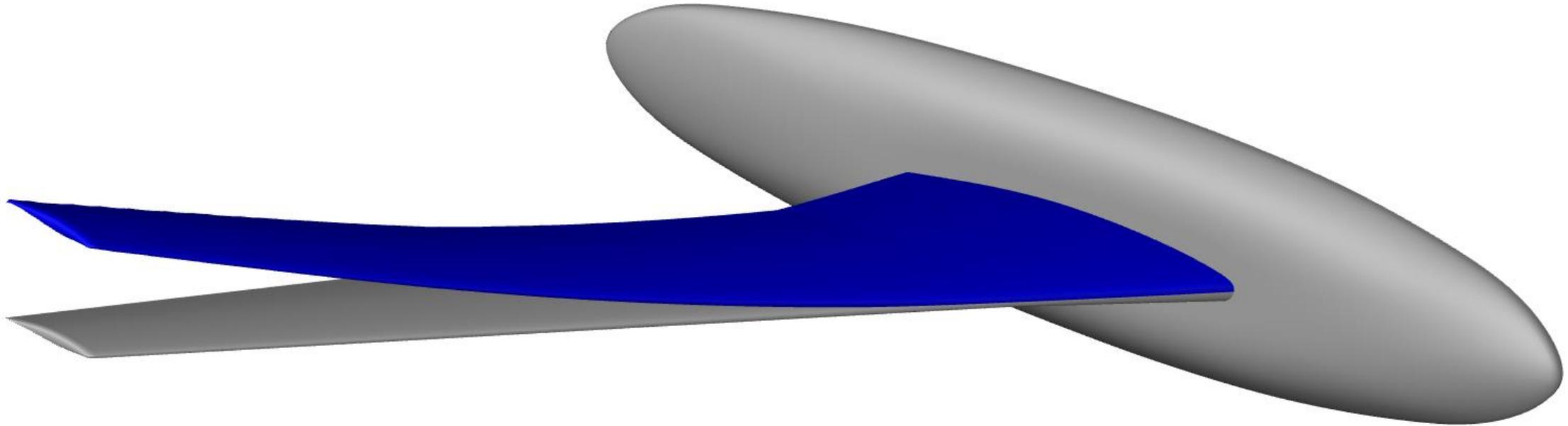
Two-Ways

HIRENASD: RISULTATI

Dai contour delle mappe di pressione, si può vedere come l'implementazione di entrambe le metodologie fornisca dei risultati praticamente coincidenti. Si ha una leggera variazione di pressione statica nei pressi del tip.

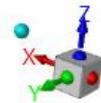
4. RISULTATI

Ansys
2022 R1



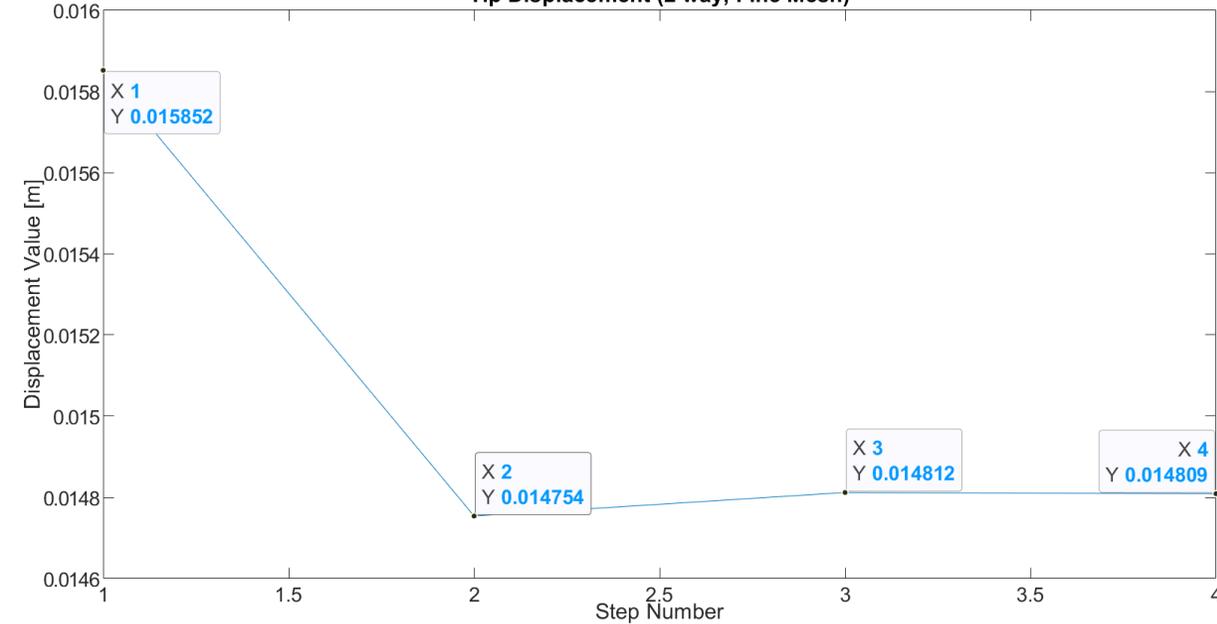
HIRENASD: RISULTATI

Nella presente slide si riporta la configurazione deformata di HIRENASD.

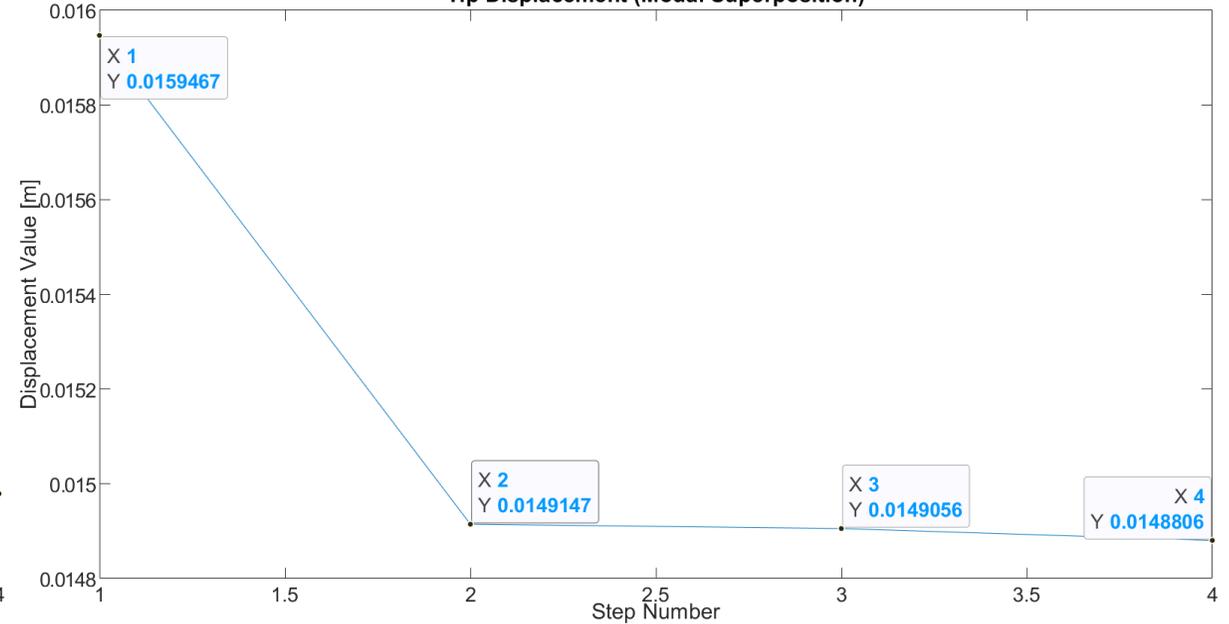


4. RISULTATI

Tip Displacement (2 way, Fine Mesh)



Tip Displacement (Modal Superposition)

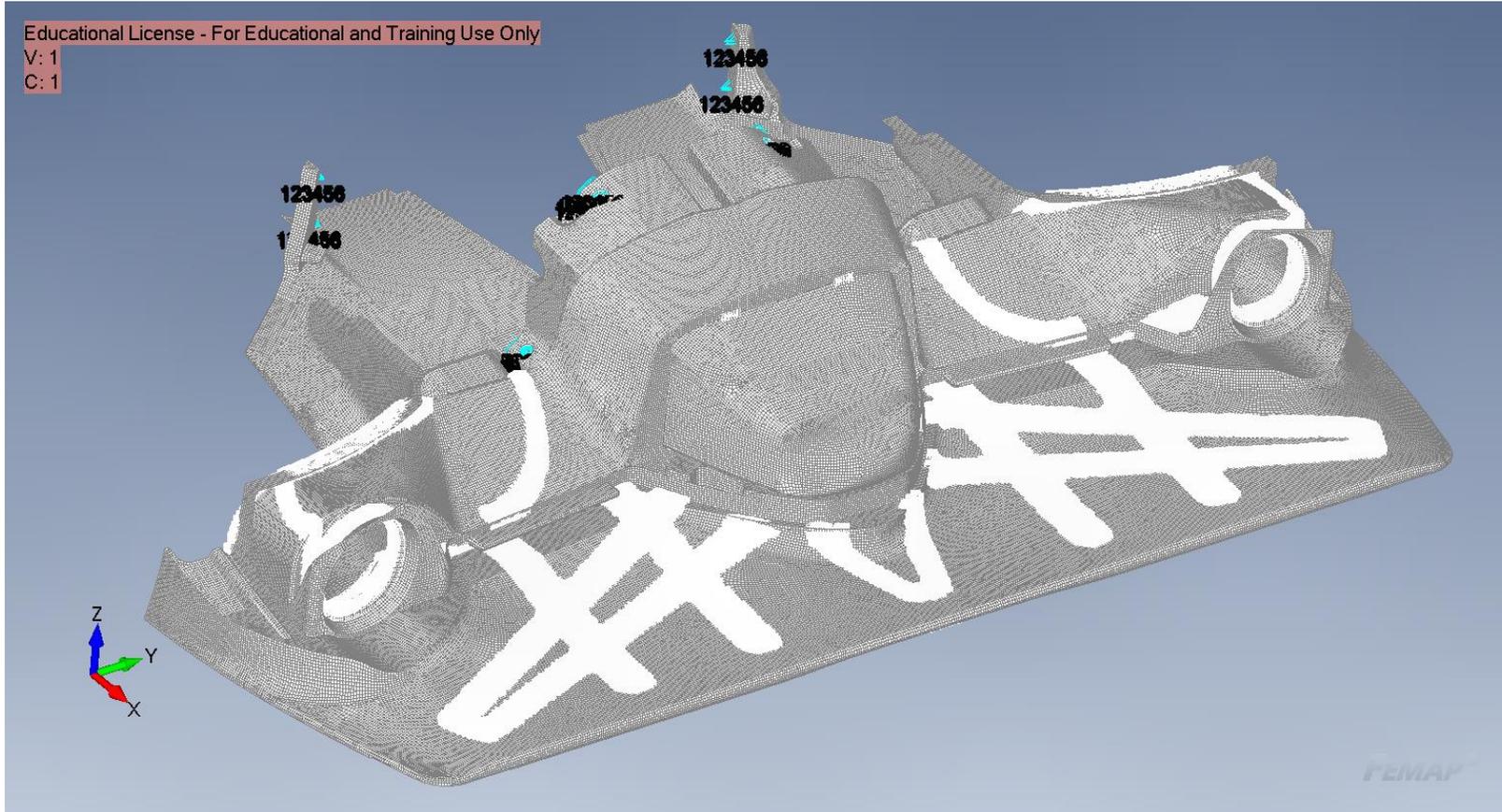


	Two-Ways	Two-Ways	$\Delta\%$	Literature	$\Delta\%$
Disps [mm]	14,81	14,89	0,05%	14,26	4,2%

	Two-Ways	Modal	Rigid
C_L	0,3395	0,3395	0,3568
C_D	0,0144	0,0144	0,0137

HIRENASD: RISULTATI

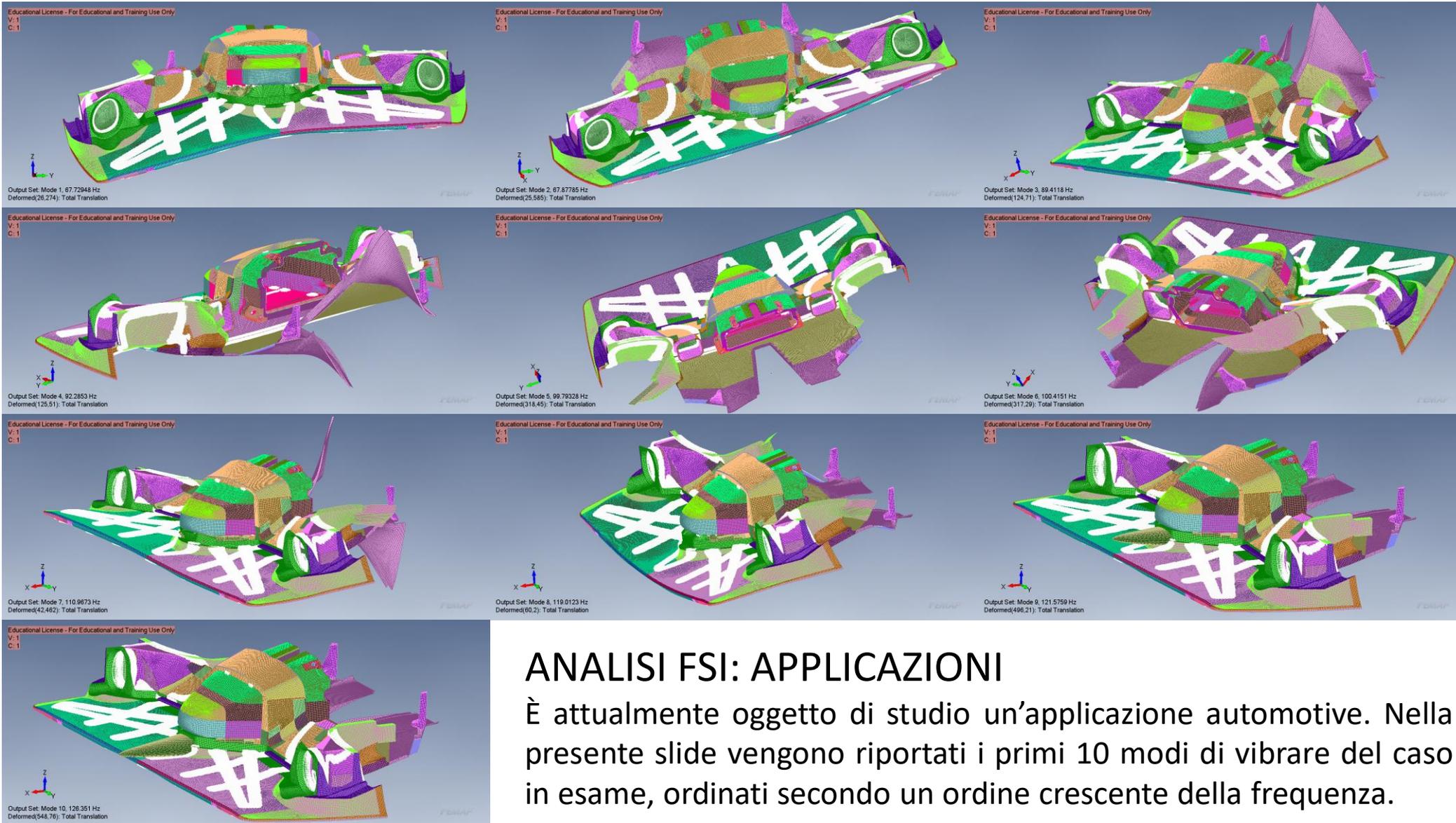
Dall'analisi dello spostamento al tip, si può osservare un andamento simile per il raggiungimento della convergenza e la quasi coincidenza dei valori ottenuti, i quali differiscono dello 0,5%. La leggerissima differenza apprezzabile è dovuta alla non considerazione delle interazioni viscose nel metodo Two-Ways qui implementato. Dato il bassissimo valore di questa differenza, C_l e C_d risultano coincidenti.



ANALISI FSI: APPLICAZIONI

Le analisi FSI si possono utilizzare in una molteplicità di campi. Un esempio è il campo automotive: specialmente laddove siano richieste elevate performance, studiare l'effetto della deformazione strutturale sulle performance aerodinamiche risulta cruciale.

5. WORK IN PROGRESS



ANALISI FSI: APPLICAZIONI

È attualmente oggetto di studio un'applicazione automotive. Nella presente slide vengono riportati i primi 10 modi di vibrare del caso in esame, ordinati secondo un ordine crescente della frequenza.

6. CONCLUSIONI

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Le due strategie di analisi FSI risultano entrambe affidabili. Una discriminante per la scelta potrebbe essere il tempo di analisi: dalla tabella a lato si evince come la metodologia di sovrapposizione modale risulti conveniente. Le analisi sono state svolte su HPC in ambiente Linux, su Intel Xeon Gold 6152, di cui sono stati utilizzati 20 cores, con 256 Gb di RAM a disposizione. Si vogliono sottolineare i seguenti aspetti:

- Le analisi di sovrapposizione modale sono utilizzabili solamente in campo lineare, il Two-Ways richiede un costante trasferimento di dati.
- Prima di lanciare un'analisi di sovrapposizione modale, è bene effettuare una qualifica della base modale per verificare quanti siano i modi influenti sul campo deformativo della struttura. Tale procedura non richiede molto tempo, pertanto la sovrapposizione modale risulta la strategia vincente da un punto di vista temporale.
- Ambedue le metodologie di analisi FSI sono state automatizzate tramite script in Python, che va ad utilizzare opportuni journal files (per Fluent) e bulk data files (per Nastran).

	Two-Ways	Modale
Tempi	4h 15min 2s	58min 59s



CALCOLO AEROELASTICO HIGH FIDELITY MEDIANTE HPC



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

CANDIDATO: REGINE DOMENICO

RELATORE: PROF. MARCO E. BIANCOLINI

CORRELATORE: ING. C. GROTH