

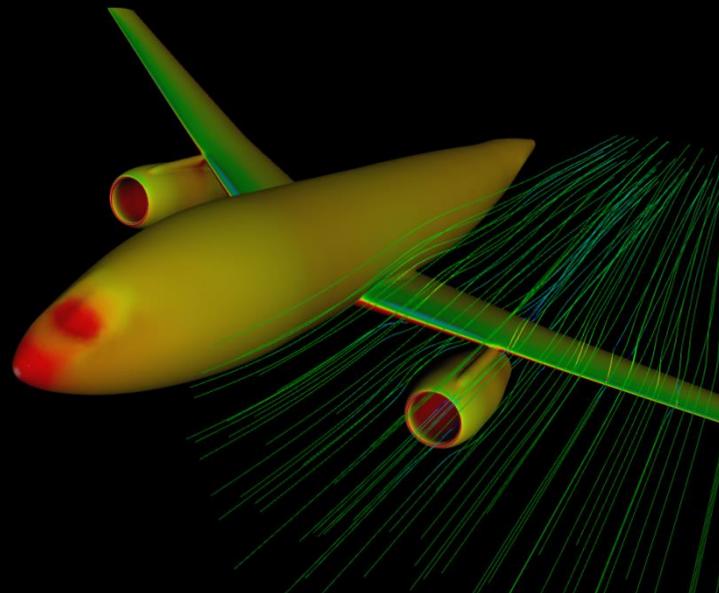
Università degli Studi di Roma  
Tor Vergata

Facoltà di Ingegneria  
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

# DLR-F6 DESIGN OPTIMIZATION BY MEANS OF RADIAL BASIS FUNCTIONS MESH MORPHING

Relatore  
Ing. Marco Evangelos Biancolini

Correlatori  
Dr. Emiliano Costa  
Ing. Corrado Groth



Candidato  
Marco Gozzi

# MORPH lab



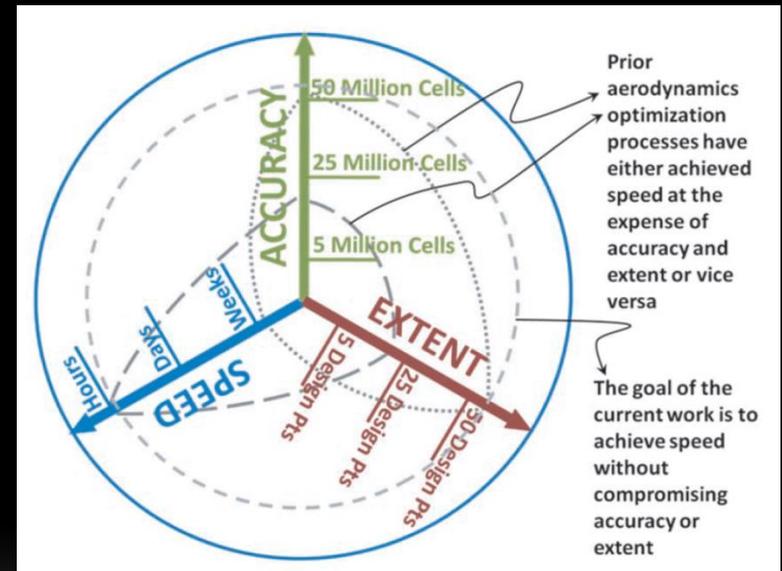
Innovative benchmark technology for aircraft engineering design and efficient design phase optimisation



## Obiettivi

Ottimizzazione di:

- accuratezza
- tempo di calcolo
- numero delle varianti esaminate
- Studio dell'influenza di alcuni parametri dell'ala e del posizionamento della gondola rispetto a quest'ultima di un DLR-F6
- Ricerca della configurazione ottimale che ne massimizzi l'efficienza aerodinamica

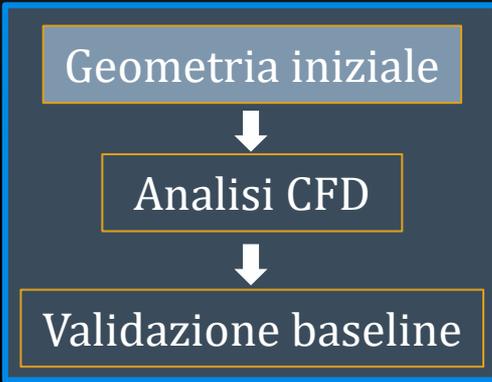


# Sommario

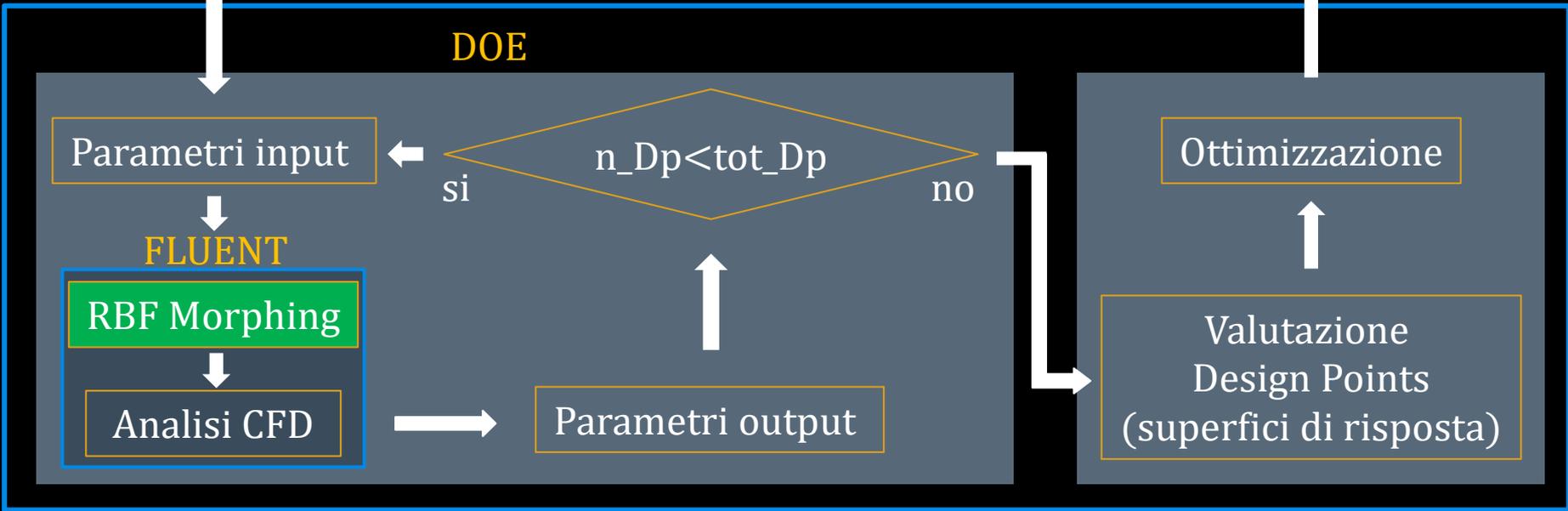
- Introduzione
- Studio preliminare (validazione baseline)
- Mesh morphing
- Ottimizzazione e risultati
- Conclusioni e sviluppi futuri

# Workflow

## FLUENT



## WORKBENCH



Introduzione

Studio  
preliminare

Mesh  
morphing

Ottimizzazione  
e risultati

Conclusioni

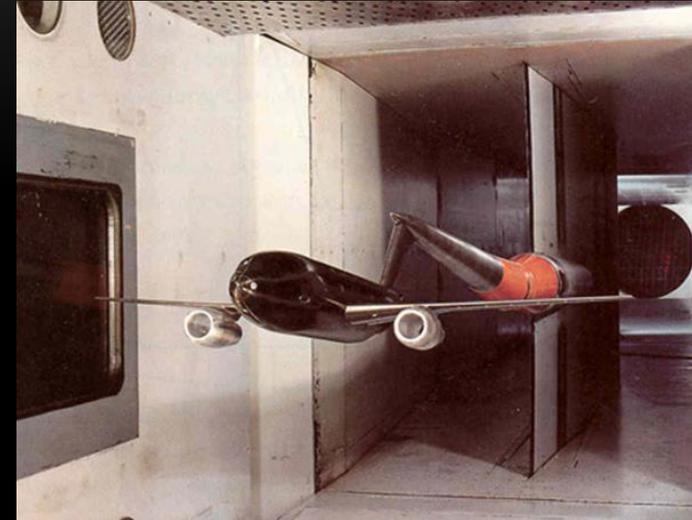
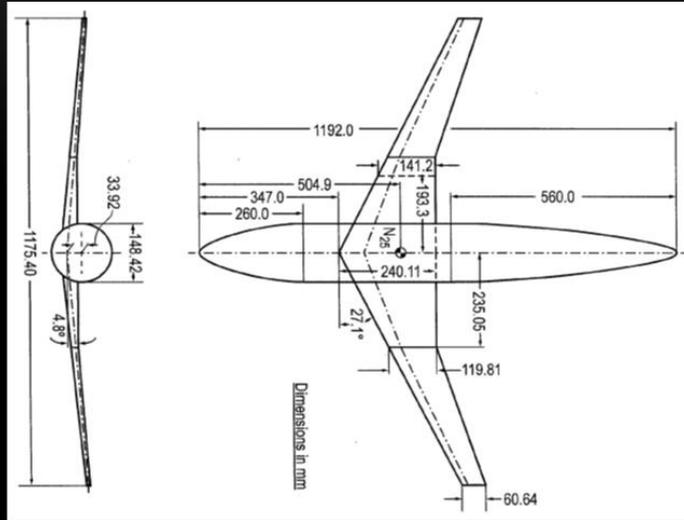
# Il modello del DLR-F6 - Studi precedenti

Aereo commerciale per trasporto passeggeri.

5 Workshop commissionati dall' AIAA i cui obiettivi erano:

- Valutare lo stato dell'arte dei metodi computazionali come pratico strumento per la predizione di forze e momenti sui velivoli.
- Fornire un forum imparziale per valutare l'efficacia degli codici esistenti e delle tecniche di modellazione basati sulle equazioni di Navier-Stokes.
- Identificare le aree che necessitavano di ulteriori ricerche e sviluppo.

## Il modello del DLR-F6: Workshop 2



Features principali del Workshop 2:

- Presenza del gruppo pilone-gondola
- Presenza di due profili alari differenti lungo l'ala (DFVLR-R4 e DFVLR-R4/4)

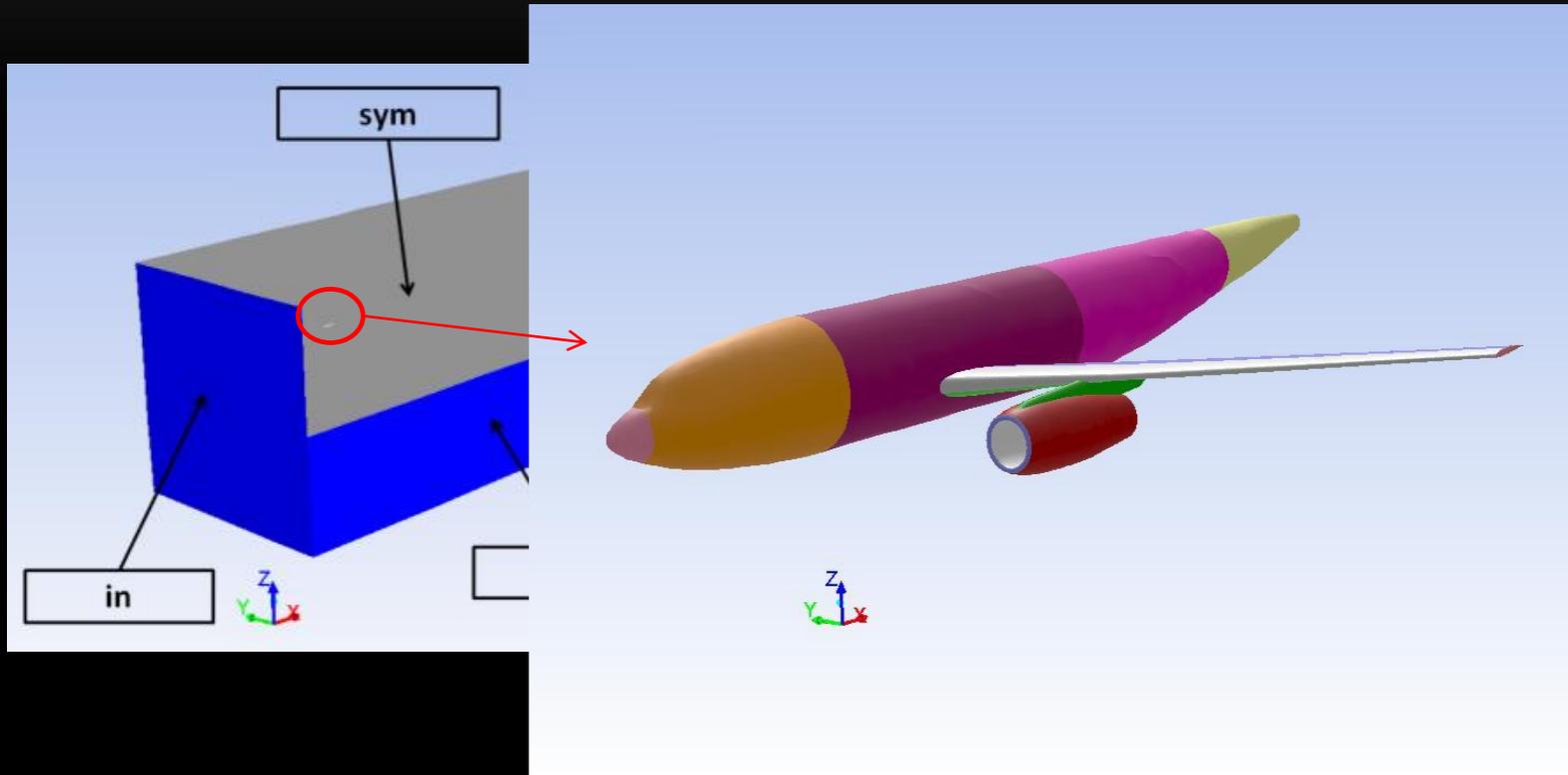
# Acquisizione della mesh di calcolo

Ibrida non strutturata

MESH	Cells	Faces	Nodes
3 milioni	2929321	6776292	1089953
14 milioni	13641888	32724676	5887240

Mesh Quality			
Type	Minimum Orthogonal Quality	Maximum Aspect Ratio	Maximum Skewness
3 milioni	9.02621e-02	9.77633e+02	0.8846979
14 milioni	4.20095e-3	1.25469e+04	0.985118

# Acquisizione della mesh di calcolo



## Simulazioni C.F.D.

### Equazioni

- 3 dal bilancio della quantità di moto
- 1 dalla conservazione della massa
- 1 dalla conservazione dell'energia
- 1 dall'eq. di stato dei gas perfetti

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{V_0} \rho \vec{u} dV + \oint_{S_0} \rho \vec{u} (\vec{u} * \hat{n}) dS + \oint_{S_0} p \hat{n} dS = \vec{F}_S + \vec{F}_V$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{V_0} \rho dV + \oint_{S_0} \rho \vec{u} * \hat{n} dS = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{V_0} \rho \varepsilon dV + \int_{S_0} \rho \varepsilon \vec{u} * \hat{n} dS = \dot{L} + \dot{Q}$$

### Incognite

- 3 componenti della velocità
- 1 scalare della pressione
- 1 scalare della densità
- 1 scalare della temperatura

$$p = \rho RT$$

## Simulazioni C.F.D.

Condizioni di crociera:

$$Re = 3 * 10^6$$

$$Ma=0,75$$

$$\alpha = 1^\circ$$

$$T= 305 \text{ K}$$

Modello di turbolenza: Spalart-Allmaras (1 eq.)

Solutore: Esplicito

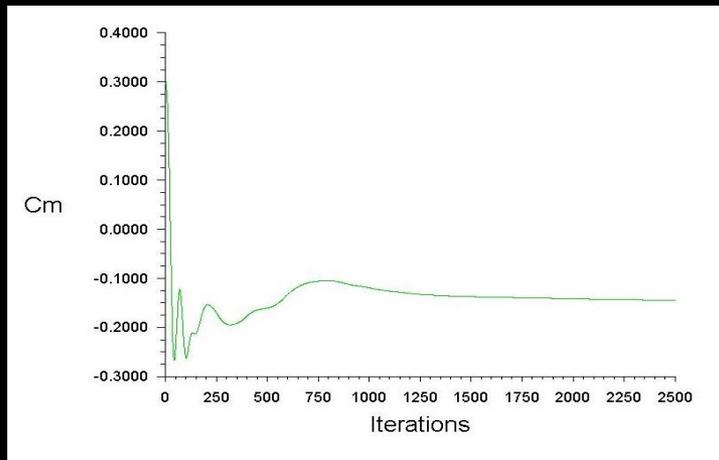
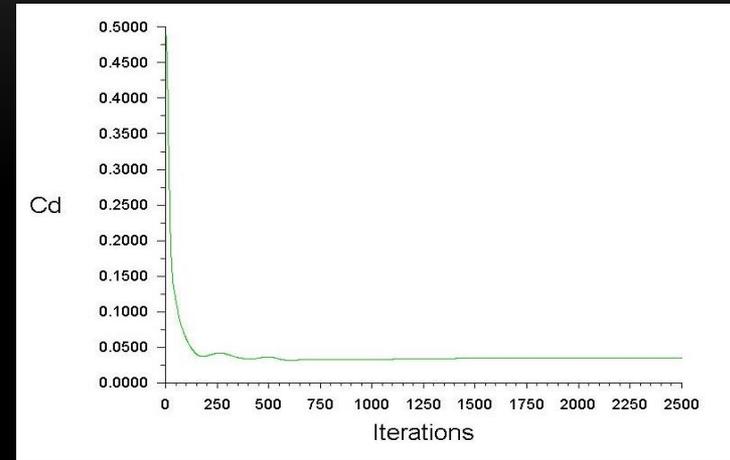
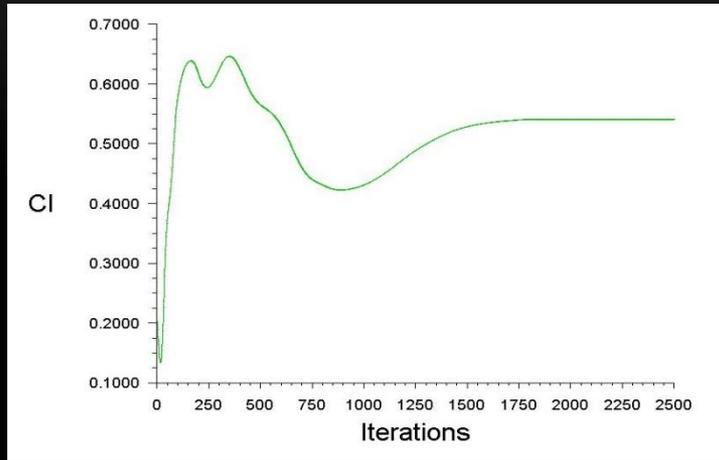
Fluido: Comprimibile, Regime stazionario

### HPC

Workstation HP Z 820

- processori: 2 Intel(R) Eight-core @ 2.70 GHz.
- RAM: 128 Gb

## Risultati baseline 3 milioni di celle



Iterazioni: 2500  
Tempo di calcolo: 5 ore

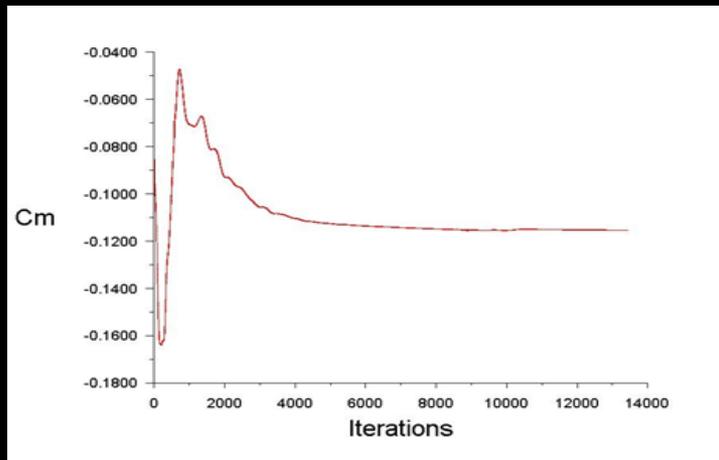
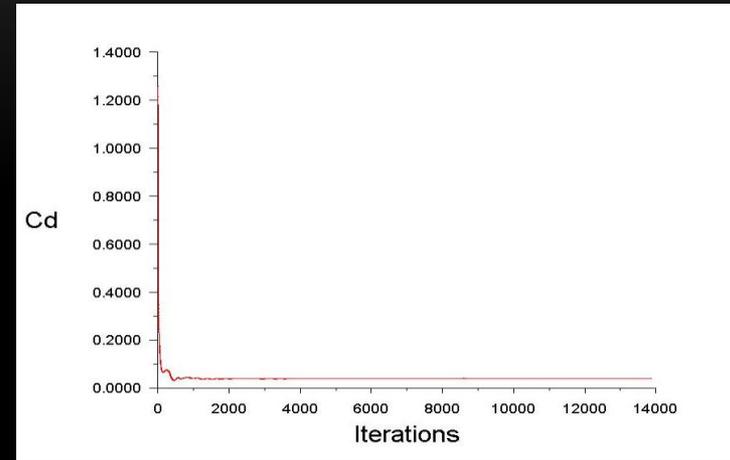
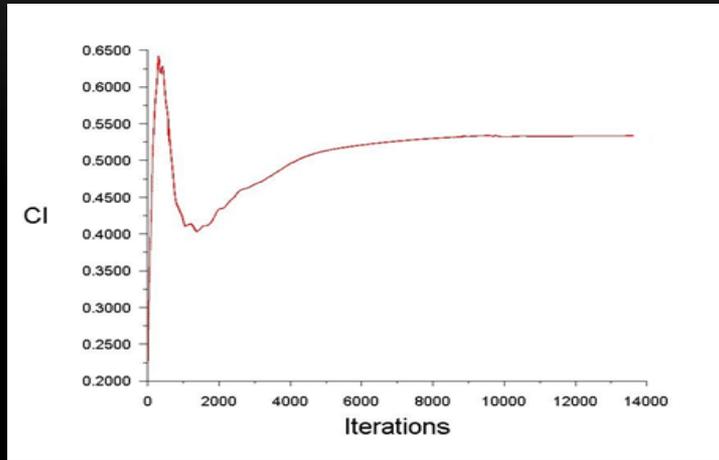
$$Cl = 0,541$$

$$Cd = 0,0404$$

$$Cm = -0,132$$

$$\text{Efficiency} = 13,39$$

## Risultati baseline 14 milioni di celle



Iterazioni: 14000  
 Tempo di calcolo: 65 ore

$Cl = 0,528$   
 $Cd = 0,0381$   
 $Cm = -0,114$

Efficiency = 13,86

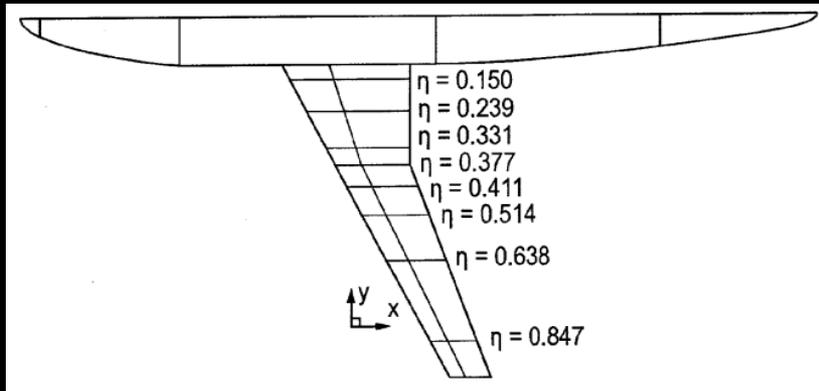
## Risultati baseline

Mass Flow Rate	3 milioni (kg/s)	14 milioni (kg/s)
in	121235.48	121495.77
out	-121235.46	-121494.91
Net	0.015625	0.8515625

Variazione del flusso netto inferiore al 0,001%

# Validazione baseline

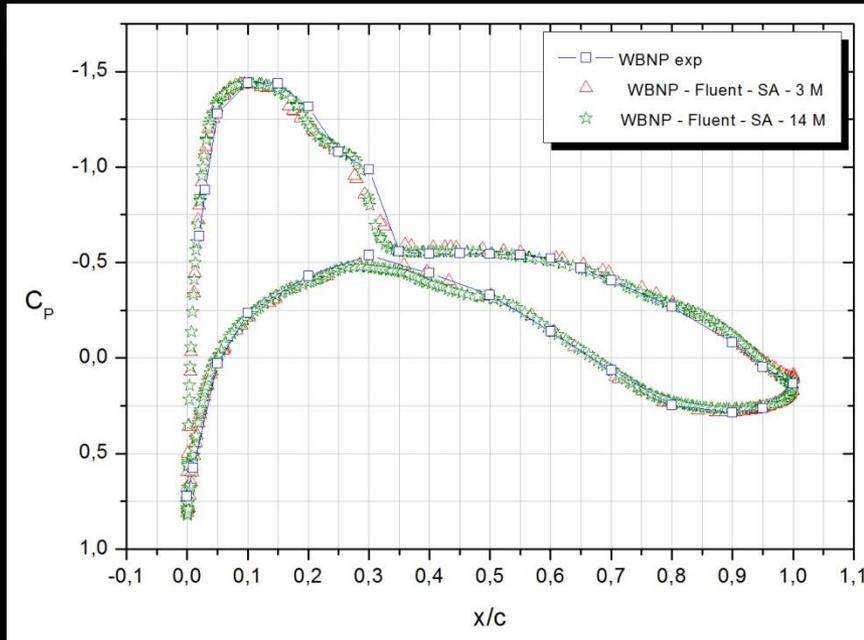
## Coefficiente di pressione



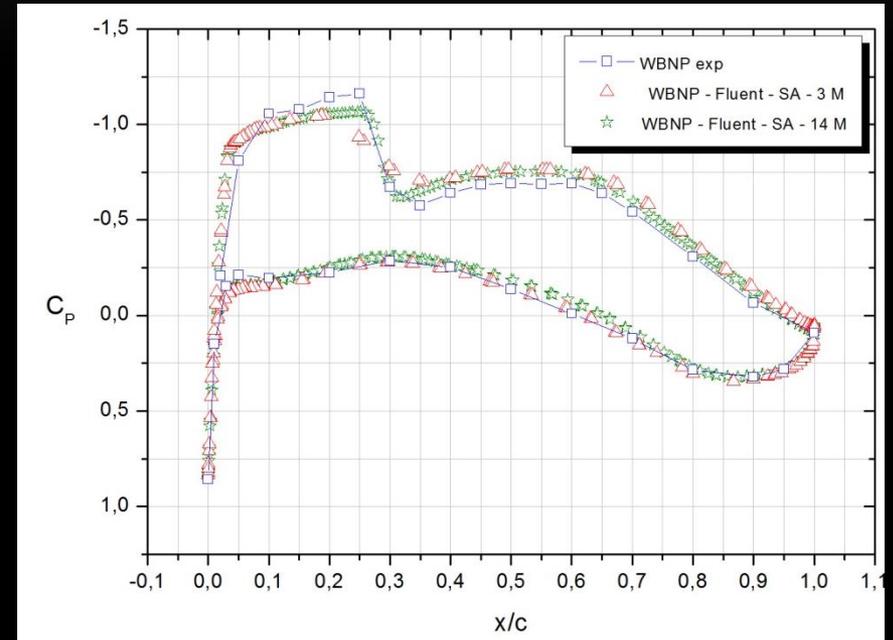
$$c_p(x) = \frac{p(x) - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2}$$

# Validazione baseline

## Coefficiente di pressione



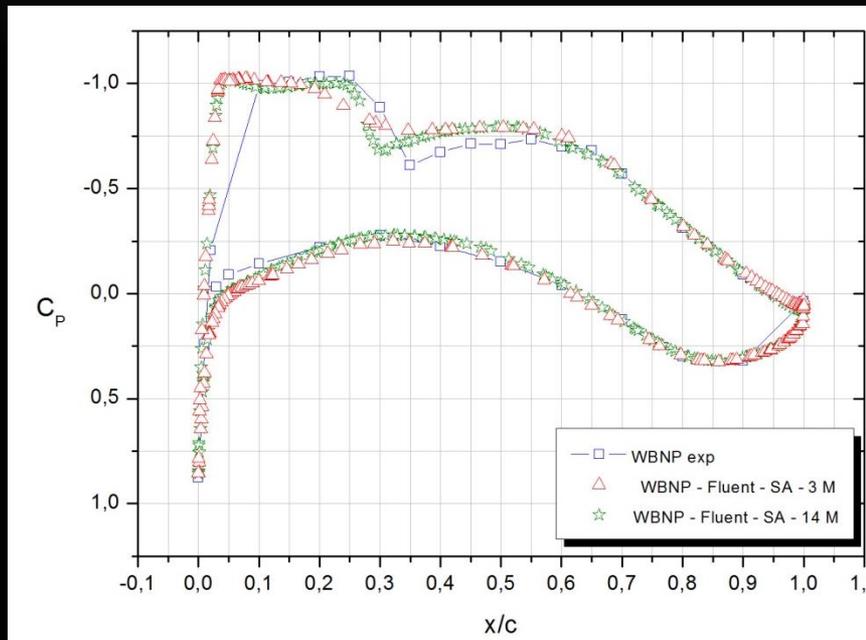
$\eta = 0,239$



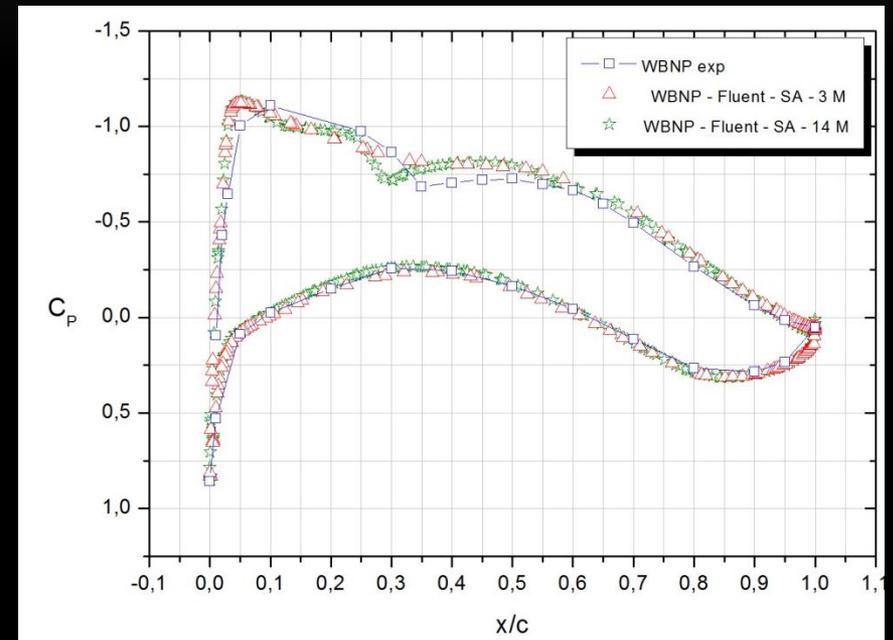
$\eta = 0,377$

# Validazione baseline

## Coefficiente di pressione



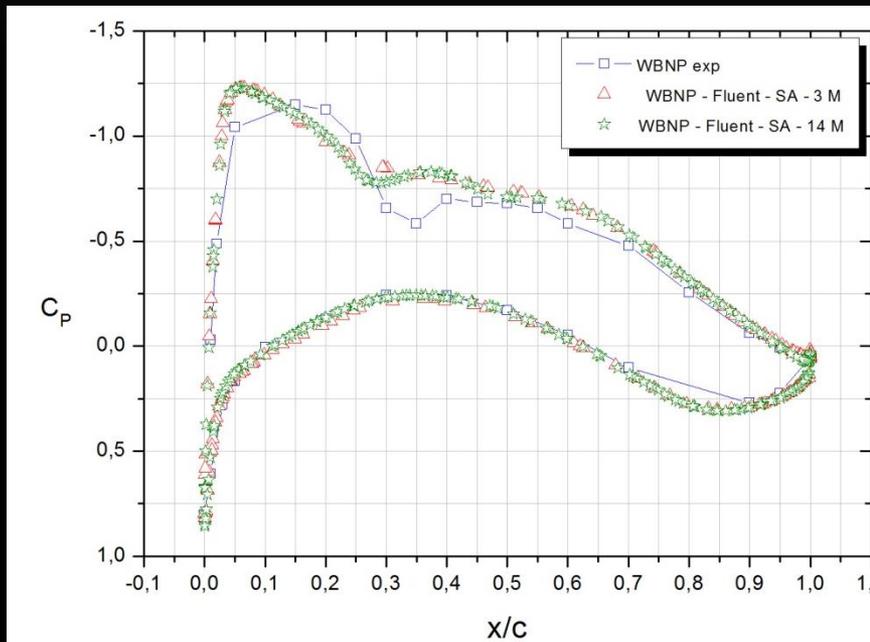
$\eta = 0,411$



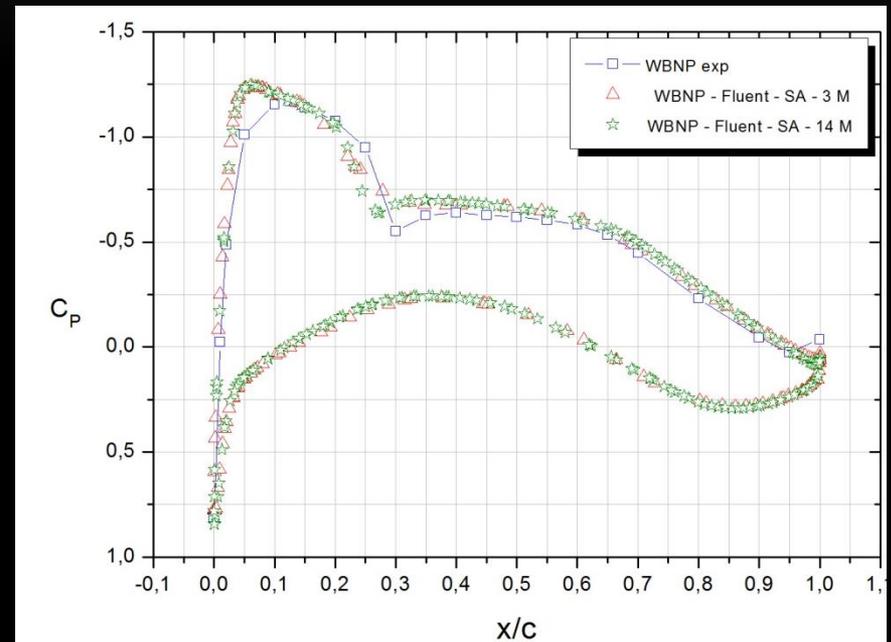
$\eta = 0,514$

# Validazione baseline

## Coefficiente di pressione



$\eta = 0,638$



$\eta = 0,847$

# Mesh morphing

## 8 parametri di forma

### Parametri ala

- Freccie alari (sweep)
- Angolo di diedro
- Angoli di twist

### Parametri gondola

- Traslazione orizzontale lungo l'asse x
- Traslazione verticale lungo l'asse z
- Rotazione attorno all'asse y

### Obiettivi

- Minimizzare il **Drag**
- Massimizzare il **Lift** ed **Efficienza**

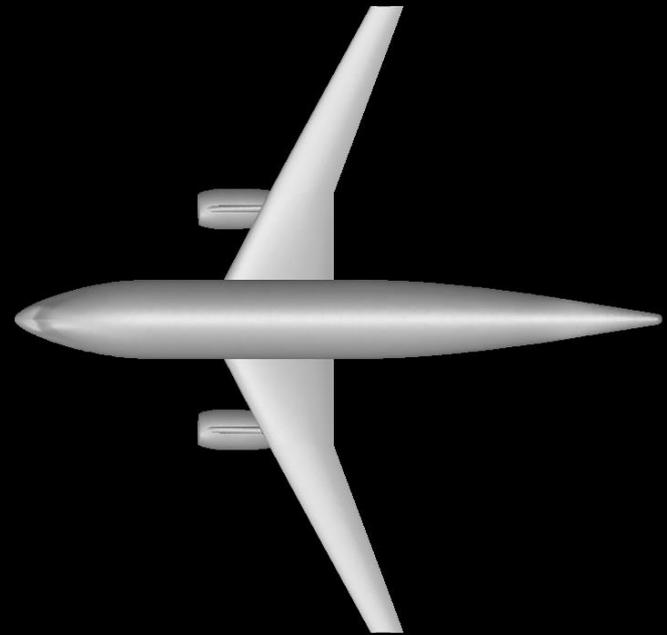
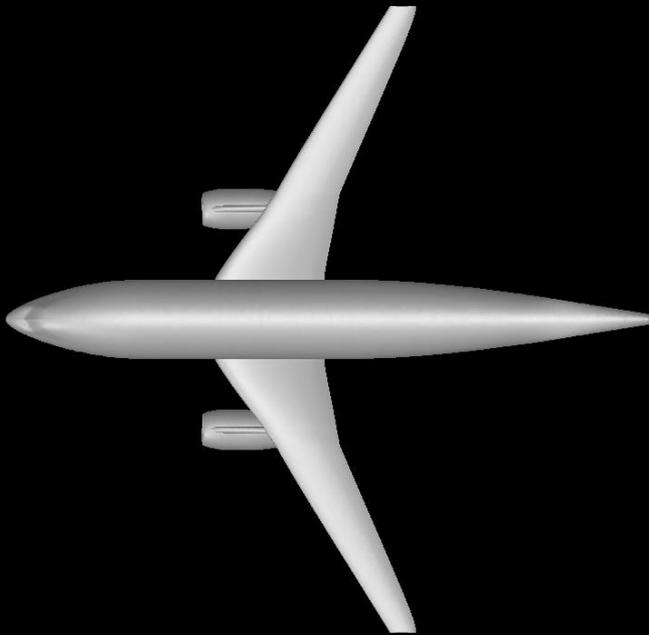
### Considerazioni

La modifica di tali parametri può influire pesantemente su:

- Stabilità
- Manovrabilità
- Sicurezza

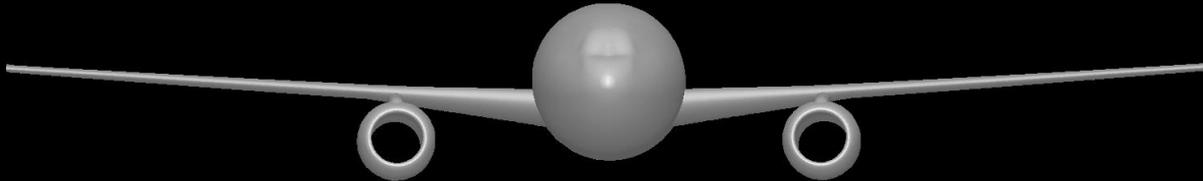
# Mesh morphing

Frecce alari



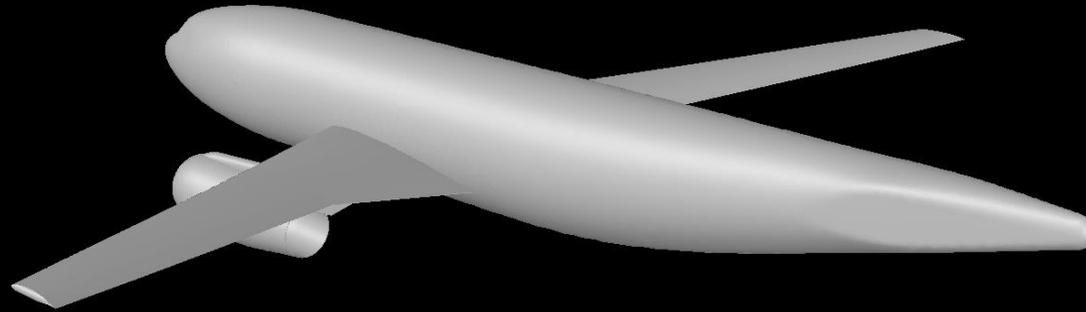
# Mesh morphing

Angolo di diedro



# Mesh morphing

## Angoli di twist



# Mesh morphing

## Spostamento motore

### Effetti

- Distribuzioni dei pesi sull'aereo

Vibrazioni e rumore

Efficienza del motore

Coefficienti aerodinamici in relazione all'interazione tra i flussi

Stabilità

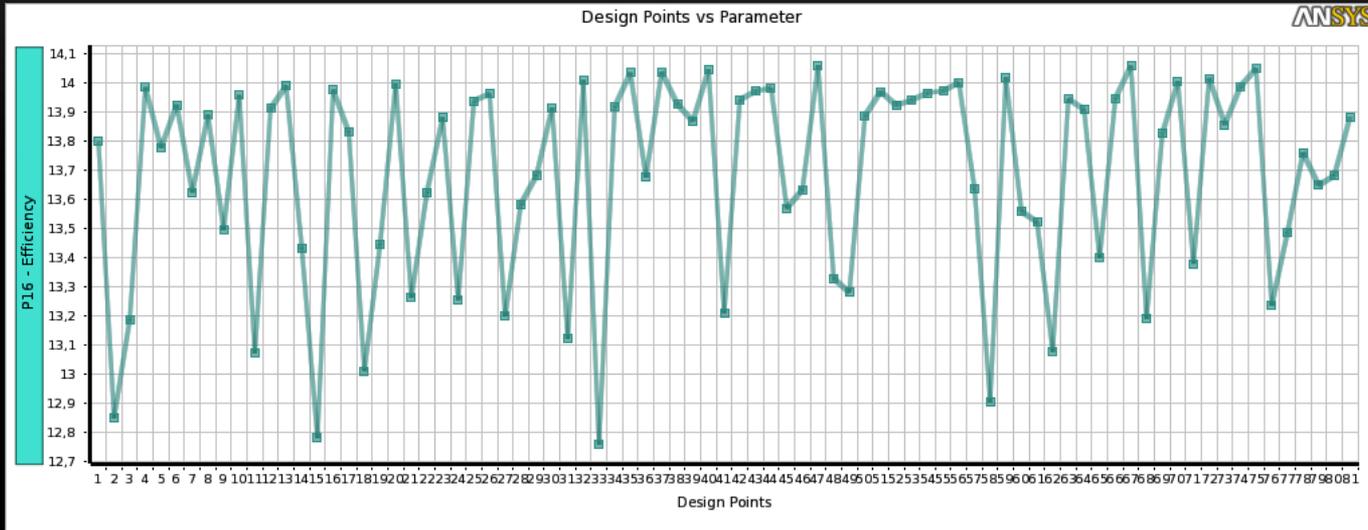
Accessibilità e manutenzione

Range:

- Traslazione asse x =  $\pm 1$  mm
- Traslazione asse z =  $\pm 1$  mm
- Rotazione asse y =  $\pm 1^\circ$



# Design of Experiments



8 parametri



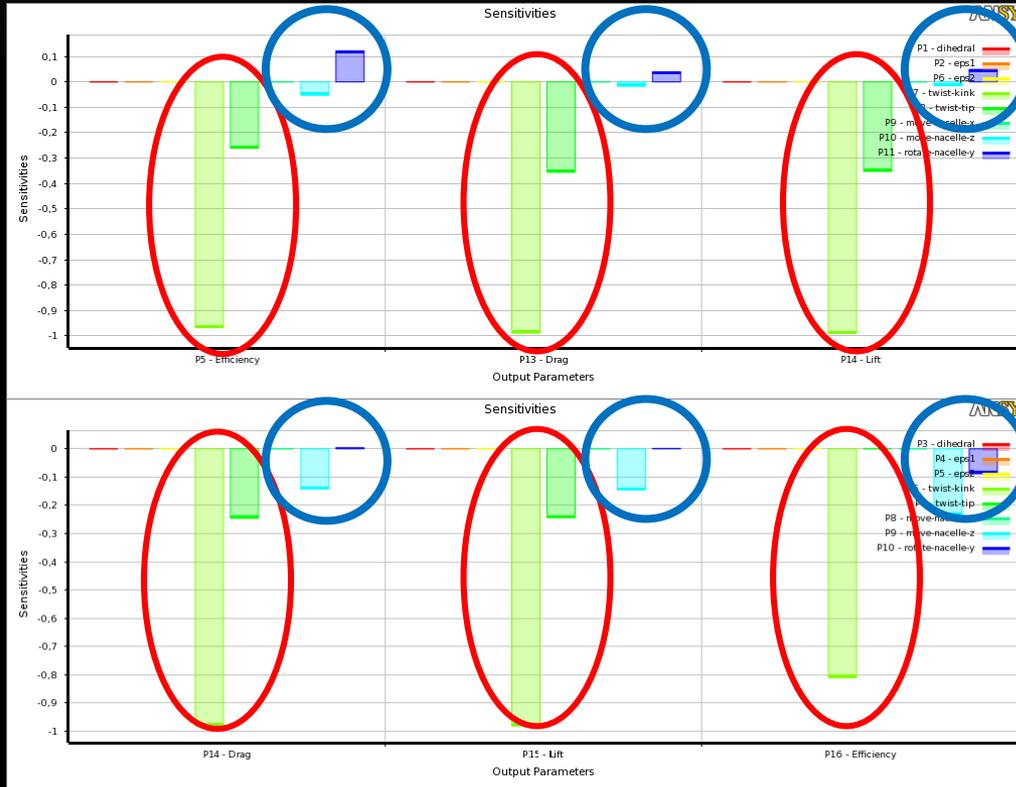
81 *Design Points* tramite campionamento *Optimal Space Filling*

# Design of Experiments

## Sensibilità ai parametri

3 milioni

14 milioni



Parametri maggiormente influenti:

ALA

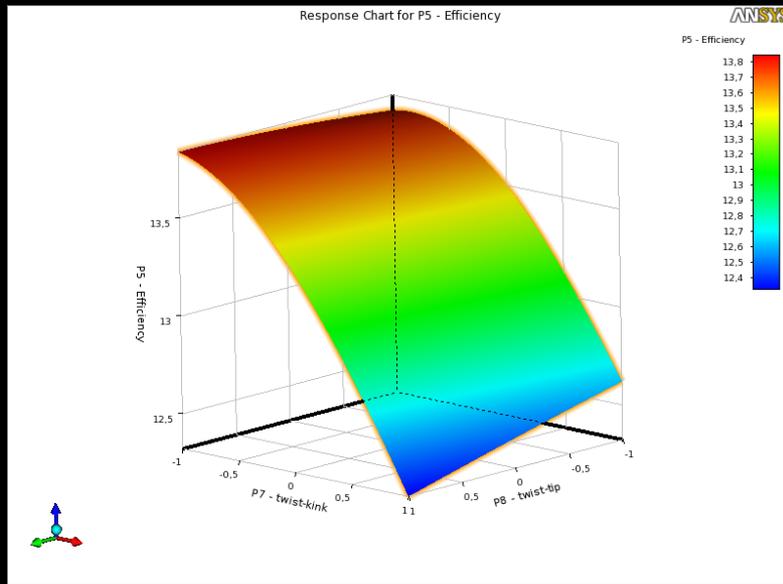
- Twist kink
- Twist tip

GONDOLA

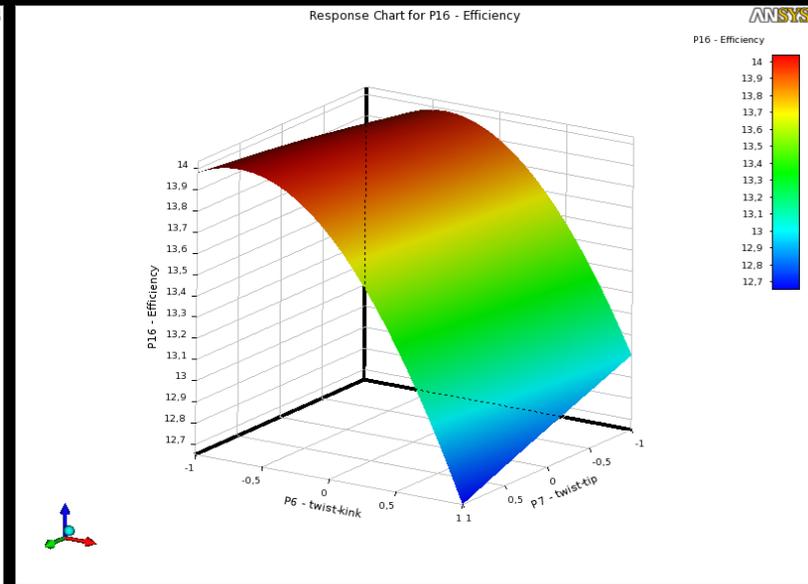
- Rotazione
- Traslazione verticale

# Design of Experiments

## Sensibilità ai parametri



3 milioni di celle



14 milioni di celle

# Design of Experiments

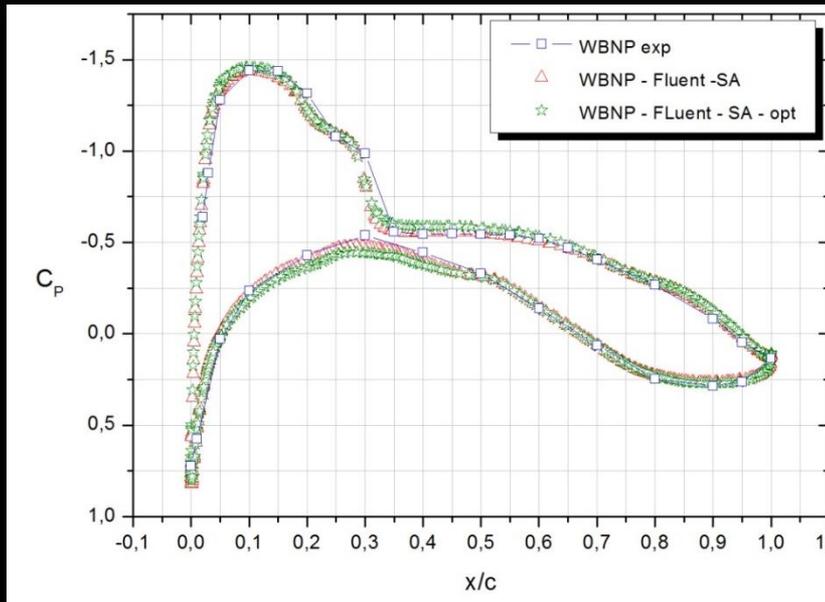
## Scelta candidati

DESIGN POINT	dihedral	eps1	eps2	twist-kink	twist-tip	move-nacelle-x	move-nacelle-z	rotate-nacelle-y
Baseline	0	0	0	0	0	0	0	0
Candidate A	-0,81	0,135	-0,916	0,690	-0,378	0,646	0,395	0,0689
Candidate B	-0,874	-0,397	-0,688	0,706	0,446	-0,086	0,264	0,881
Candidate C	-0,068	-0,389	-0,982	0,521	-0,662	0,162	0,37262	0,137

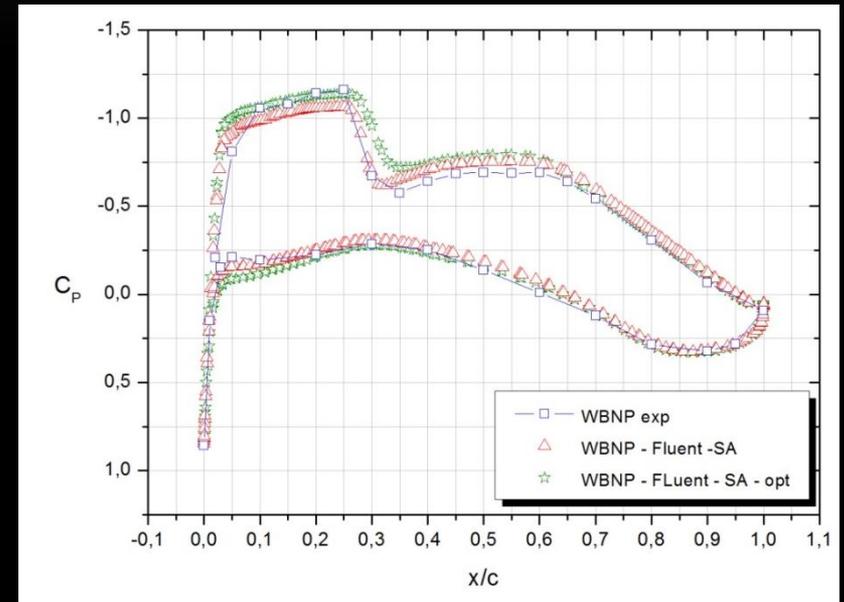
DESIGN POINT	Cd	Cl	Cm	Drag (N)	Lift (N)	Efficiency	$\Delta$ -Efficiency
Baseline	0,0381	0,528	-0,114	110,42	1530,9	13,86	---
Candidate A	0,0397	0,559	-0,118	115,20	1621,2	14,07	1,56%
Candidate B	0,0407	0,573	-0,117	117,86	1660,5	14,09	1,67%
Candidate C	0,0398	0,560	-0,123	115,39	1621,9	14,06	1,44%

# Confronto dei risultati

## Coefficiente di pressione



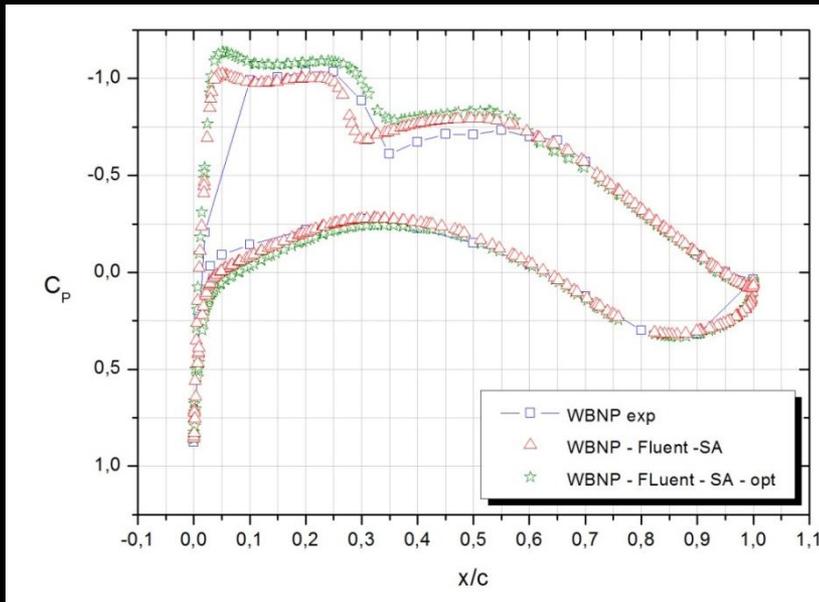
$\eta = 0,239$



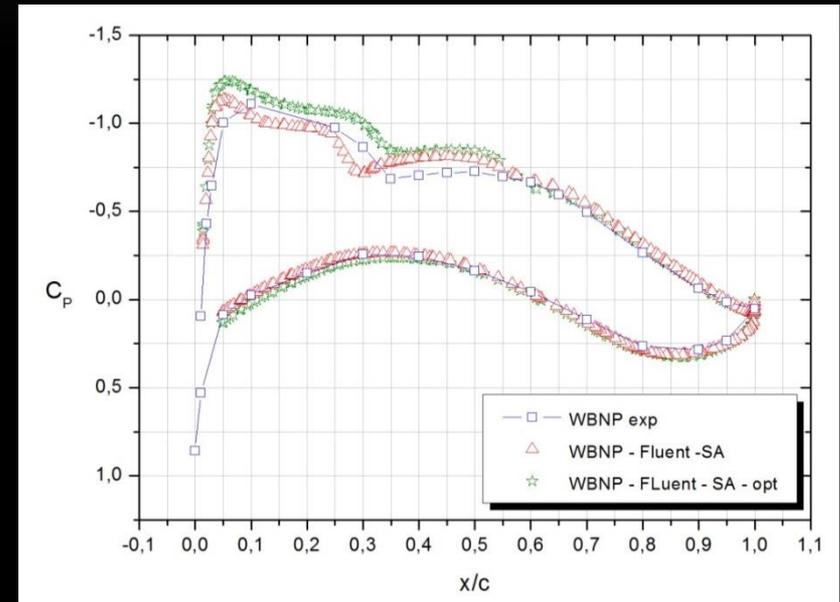
$\eta = 0,377$

# Confronto dei risultati

## Coefficiente di pressione



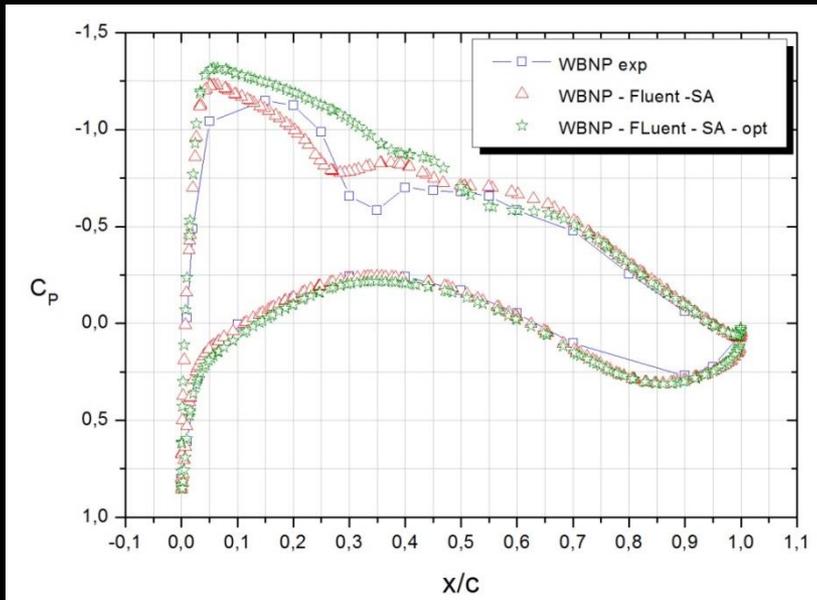
$\eta = 0,411$



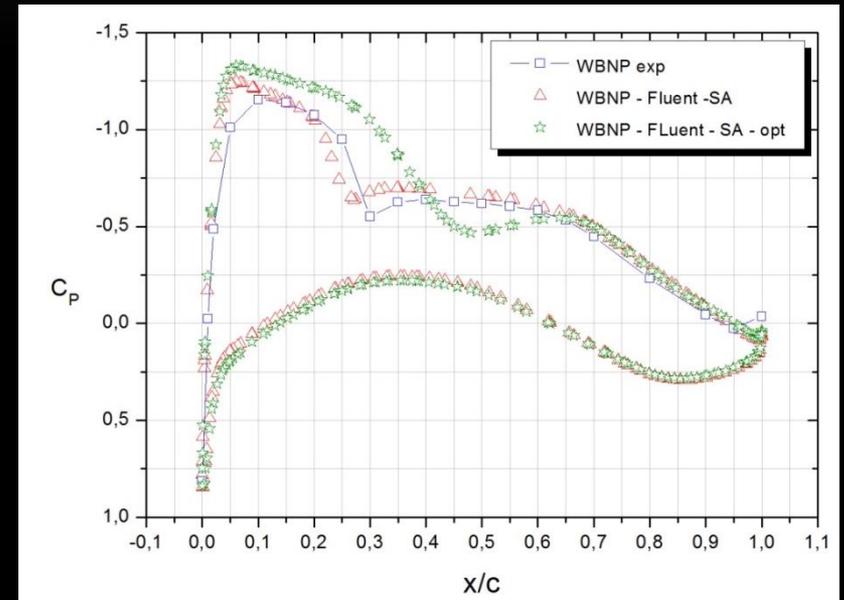
$\eta = 0,514$

# Confronto dei risultati

## Coefficiente di pressione



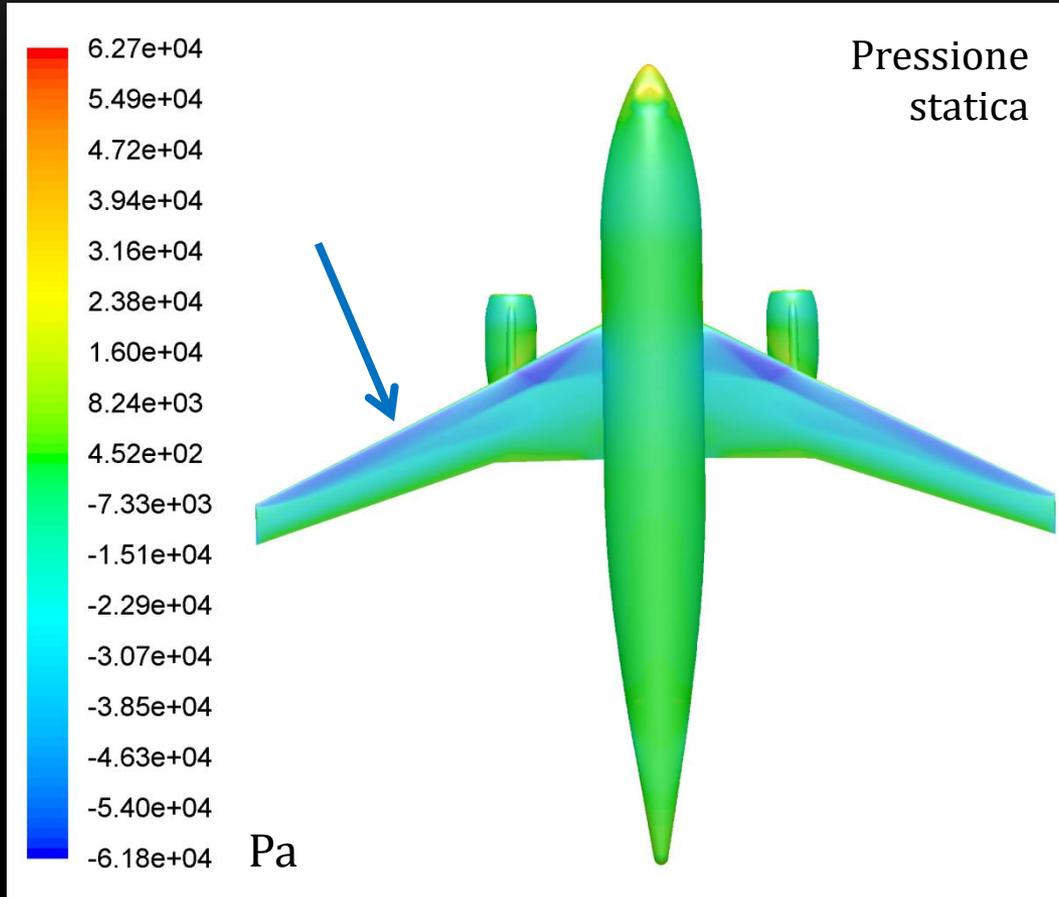
$\eta = 0,638$



$\eta = 0,847$

# Confronto dei risultati

Configurazione  
Baseline  
ottimizzata



## Conclusioni

- Il workflow utilizzato si è dimostrato molto efficace ai fini dell'ottimizzazione di forma e può essere applicato ovunque si voglia conseguire tale obiettivo
- Il modello di turbolenza si è rivelato un ottimo compromesso tra onere di calcolo e precisione della soluzione
- L'utilizzo delle *RBF* ha permesso di studiare un ampio spettro di combinazioni dei parametri scelti attraverso la parametrizzazione della mesh dimostrando di essere *grid independent*
- Nella configurazione scelta si è riscontrato un incremento della portanza con un conseguente aumento dell'efficienza

## Sviluppi futuri

- Studiare l'influenza di altri parametri in ingresso quali:
  - l'angolo di calettamento dell'ala sulla fusoliera
  - modifica dei profili alari lungo l'ala
- Implementare l'uso delle RBF per lo studio *FSI* (*fluid-structure interaction*) come già effettuato in altri ambiti

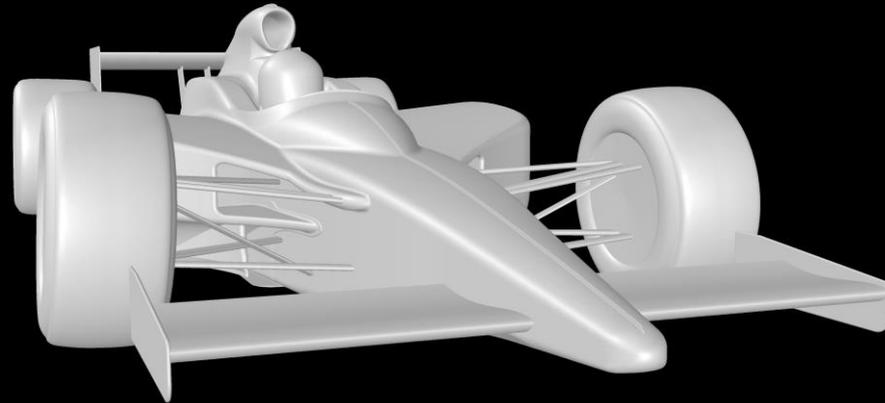
## Sviluppi futuri



Collaborazione con la Dallara automobili per il progetto universitario **Morph-Lab**

Per lo studio di una macchina formula indy:

- FSI dei modi di vibrare dell'alettone anteriore
- Ottimizzazione di forma
- Ottimizzazione di setup



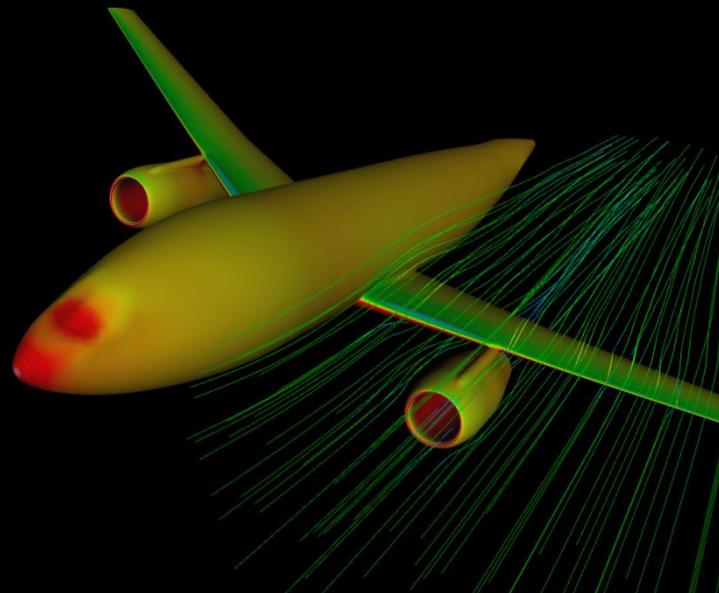
Università degli Studi di Roma  
Tor Vergata

Facoltà di Ingegneria  
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

# DLR-F6 DESIGN OPTIMIZATION BY MEANS OF RADIAL BASIS FUNCTIONS MESH MORPHING

Relatore  
Ing. Marco Evangelos Biancolini

Correlatori  
Ing. Emiliano Costa  
Ing. Corrado Groth



Candidato  
Marco Gozzi