



**TOR VERGATA**  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

# **OTTIMIZZAZIONE AERODINAMICA DI UN CASCO DA CICLISMO PER TIME-TRIAL**

LAUREANDO: Antonio Sgambellone

RELATORE: Prof. Corrado Groth

CORRELATORE: Ing. Andrea Lopez

3/5/2023



# Sommario

---

## 1. Introduzione

- Problema
- Richiami teorici: mesh morphing
- Richiami teorici: design of experiment (DOE) e superfici di risposta
- Software utilizzati

## 2. Workflow

- Workflow utilizzato
- Geometria baseline: mesh e setting CFD
- Parametri di forma
- Ottimizzazione (setting)

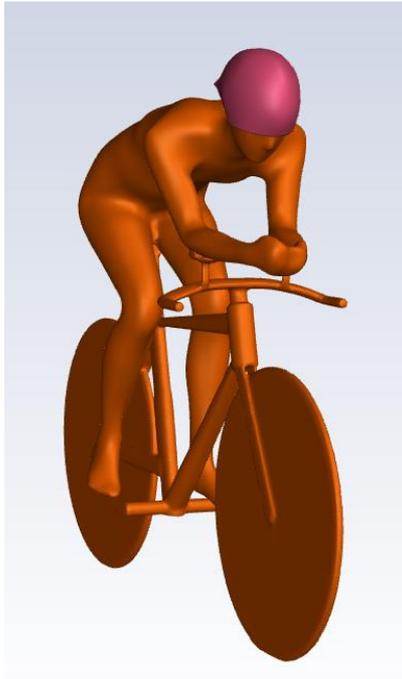
## 3. Risultati

- Geometria baseline: drag, contour di pressione e di velocità
- Ottimizzazione: superfici di risposta e sensibilità
- Miglior DP e confronto con la geometria baseline

## 4. Conclusioni

- Conclusioni

## Problema



### Casco da ciclismo per time-trial

- Quando un corpo si muove in un fluido si generano delle forze di attrito tra corpo e fluido stesso. La risultante delle forze di attrito e di pressione nella direzione di avanzamento del corpo, ma in verso opposto, costituisce la resistenza aerodinamica, o drag.
- In questo studio è stato esaminato un sistema costituito dal ciclista riportato in figura e l'obiettivo consiste nel minimizzare il drag ottimizzando il design del casco.

# Mesh morphing

## RBF (Radial Basis Function)

$$\begin{aligned}
 f^x(x) &= \sum_{i=1}^m \gamma_i^x \phi(\|c_i - x\|) + \beta_1^x + \beta_2^x x_1 + \beta_3^x x_2 + \beta_4^x x_3 \\
 f^y(x) &= \sum_{i=1}^m \gamma_i^y \phi(\|c_i - x\|) + \beta_1^y + \beta_2^y x_1 + \beta_3^y x_2 + \beta_4^y x_3 \\
 f^z(x) &= \sum_{i=1}^m \gamma_i^z \phi(\|c_i - x\|) + \beta_1^z + \beta_2^z x_1 + \beta_3^z x_2 + \beta_4^z x_3
 \end{aligned}$$

Peso e funzione radiale

Termine polinomiale

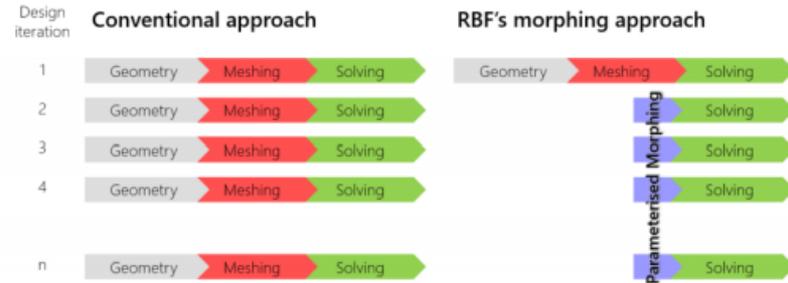
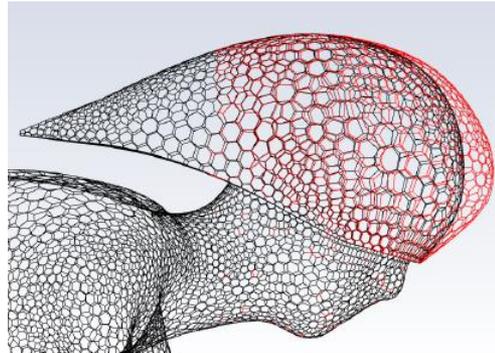
$$\begin{bmatrix} M & P \\ P^T & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \gamma \\ \beta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} g \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Con  $M = \phi(\|c_i - c_j\|)$   
 $P_j = [1 \ x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n]$

Condizioni al contorno

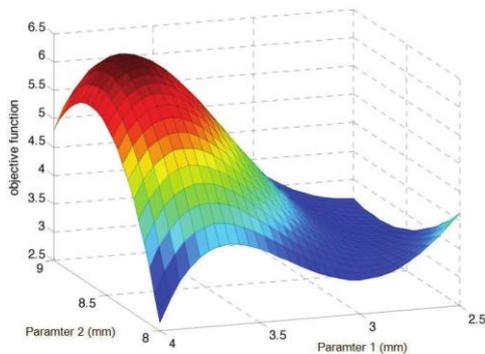
### VANTAGGI MESH MORPHING

- Facile e veloce
- Metodo mesh-less
- Elevata espressività
- No rumore re-meshing
- Topologia inalterata



## DOE e superfici di risposta

- Il processo di “Design of Experiment” (DOE) permette di ottimizzare la geometria di un oggetto andando a variare simultaneamente diversi parametri. Con questa tecnica si dissemina di punti dominio delle variabili di forma per setacciare tutte le possibili combinazioni e trovare poi i valori di ottimo grazie ad algoritmi di ottimizzazione.



- La superficie di risposta viene creata proprio interpolando i punti ottenuti dalla DOE. Tale superficie è una funzione matematica che lega i parametri forma ai parametri di output (drag).
- Una volta estrapolata tale superficie si può individuare l'ottimo usando il gradiente della funzione (metodo di discesa del gradiente), o popolando lo spazio dei parametri con punti calcolati proprio sulla superficie.

Introduzione

Workflow

Risultati

Conclusioni



## Software utilizzati

**Ansys**

- Workbench
- SpaceClaim
- Meshing
- Fluent
- DesignXplorer

**rbf**<sup>TM</sup>

- RBF Morph

Introduzione

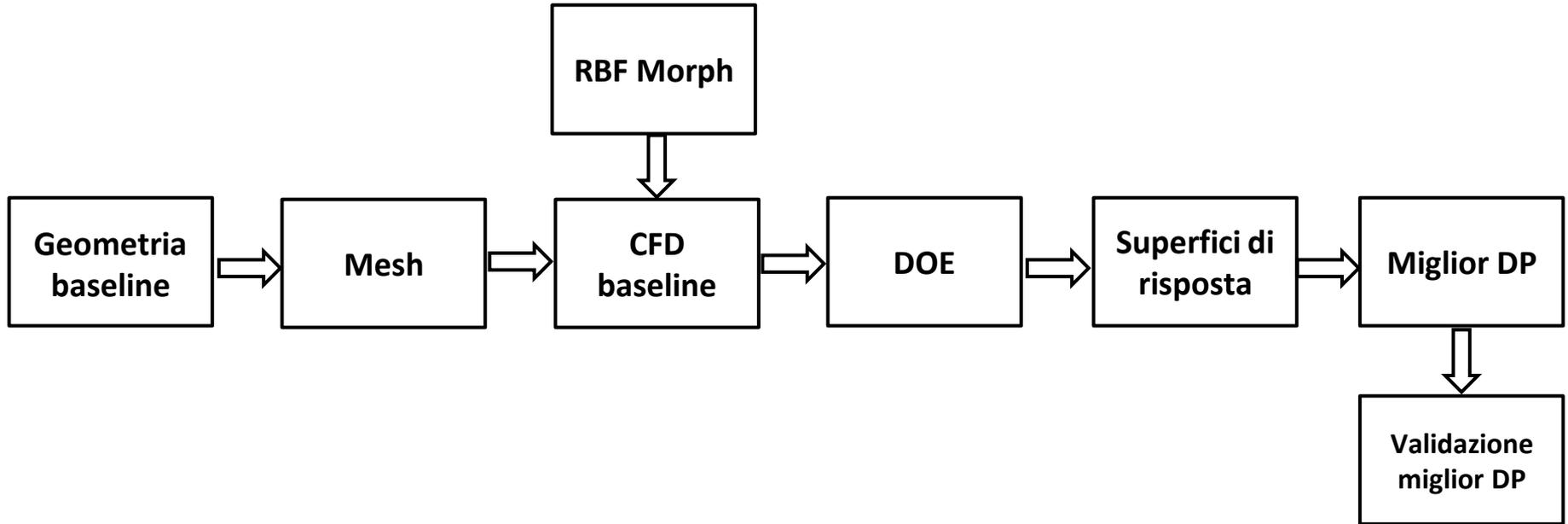
**Workflow**

Risultati

Conclusioni



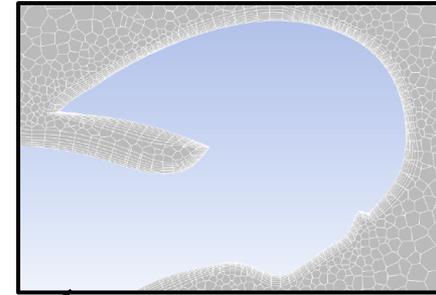
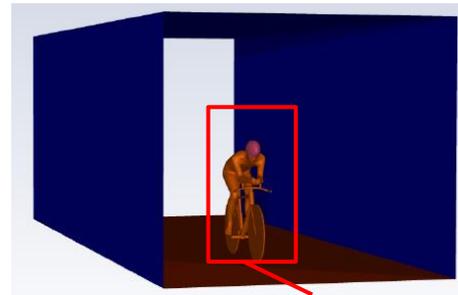
## Workflow



## Geometria baseline

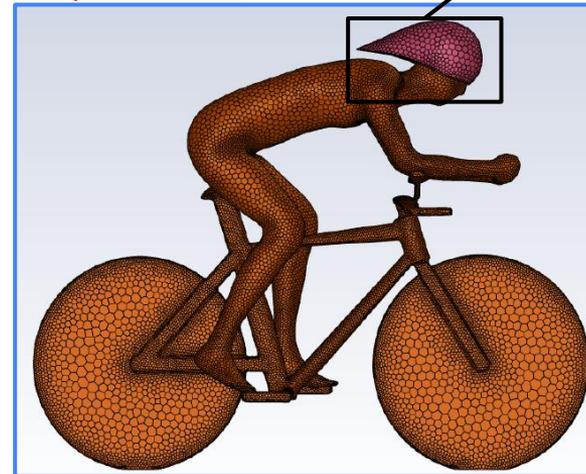
### Mesh

- 572 mila celle
- 2,95 milioni di facce
- 1,97 milioni di nodi
- Minimum orthogonal quality: 0,197
- Maximum aspect ratio: 97,046



### Setting CFD

- Velocità dell'aria: 13.8 m/s
- Turbolenza: 5%
- Superfici di casco, atleta e suolo: no slip wall
- Superfici laterali e superiore del dominio di calcolo: symmetry
- Pressione dell'aria all'outlet del campo computazionale: valore atmosferico
- Modello risolutivo per le equazioni RANS: k- $\omega$  SST



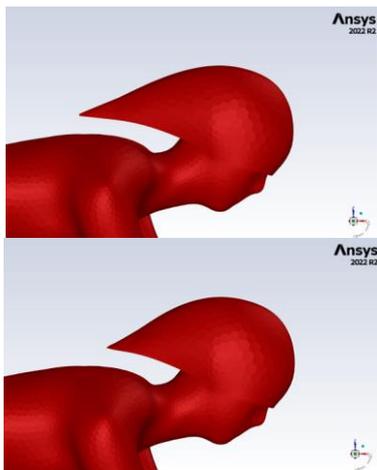
Introduzione

Workflow

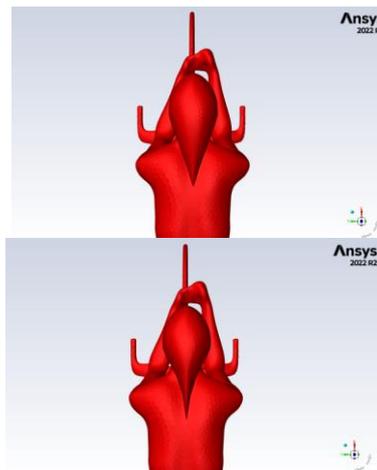
Risultati

Conclusioni

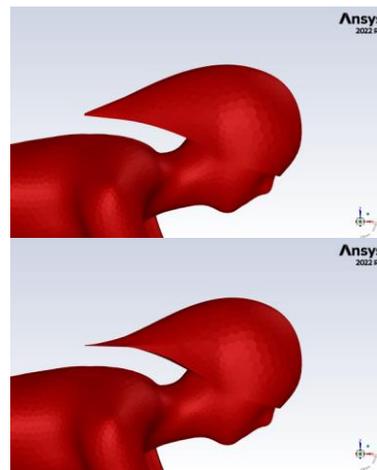
## Parametri di forma



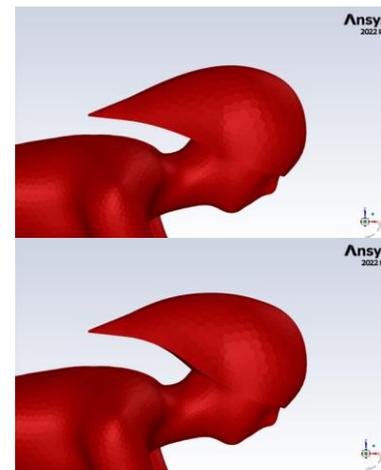
Ingombro della coda  
in direzione X



Ingombro della coda  
in direzione Y



Ingombro della coda  
in direzione Z



Posizionamento della  
coda in direzione Z

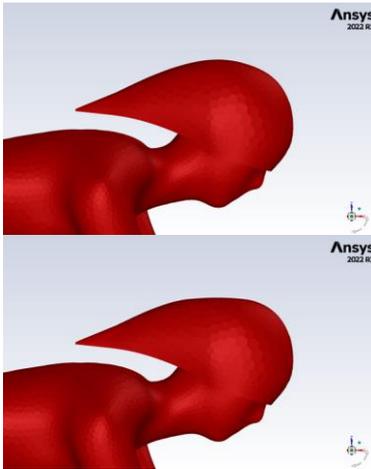
Introduzione

Workflow

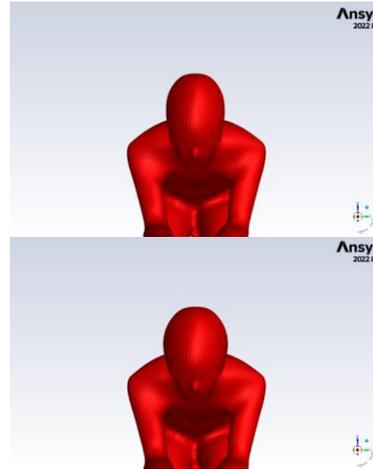
Risultati

Conclusioni

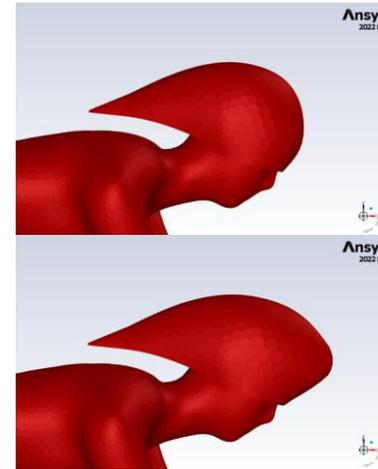
## Parametri di forma



Ingombro superiore  
della zona centrale



Ingombro laterale  
della zona centrale



Avanzamento della  
zona frontale

## Ottimizzazione

### Setting

- DOE type: Optimal Space-Filling Design
- Numero di design points: 80
- Metodo di ottimizzazione: MOGA

	A	B
1	Property	Value
2	Design Points	
3	Preserve Design Points After DX Run	<input type="checkbox"/>
4	Failed Design Points Management	
5	Number of Retries	0
6	Design of Experiments	
7	Design of Experiments Type	Optimal Space-Filling Design
8	Design Type	Max-Min Distance
9	Maximum Number Of Cycles	10
10	Samples Type	CCD Samples
11	Random Generator Seed	0
12	Design Point Report	
13	Report Image	None

	A	B
1	Property	Value
2	Design Points	
3	Preserve Design Points After DX Run	<input type="checkbox"/>
4	Failed Design Points Management	
5	Number of Retries	0
6	Optimization	
7	Method Selection	Auto
8	Estimated Number of Evaluations	33600
9	Method Name	MOGA
10	Tolerance Settings	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Verify Candidate Points	<input type="checkbox"/>
12	Number of Initial Samples	7000
13	Number of Samples Per Iteration	1400
14	Maximum Allowable Pareto Percentage	70

Introduzione

Workflow

Risultati

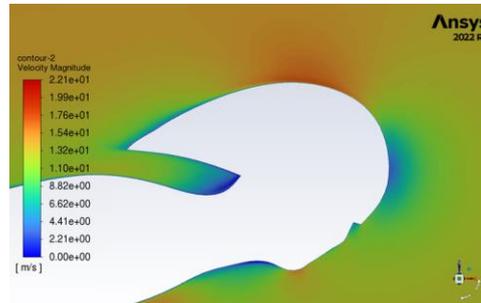
Conclusioni

## Geometria baseline

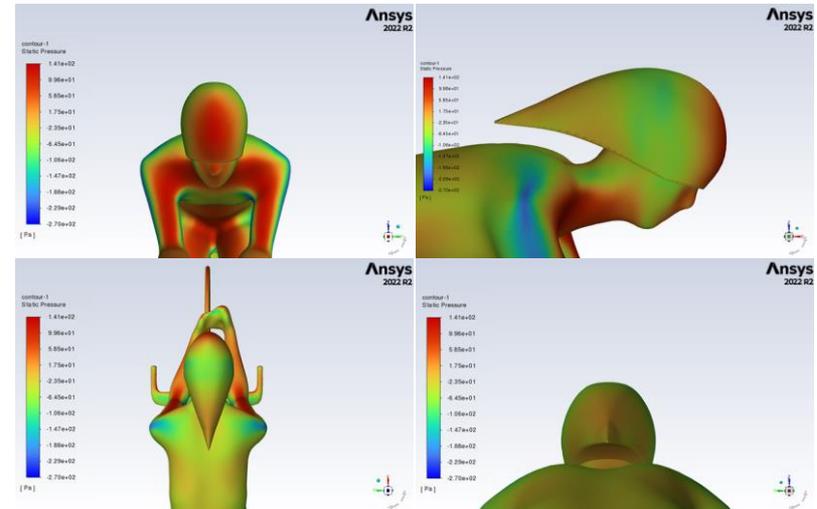
### Drag [N]

- Ciclista + casco (bici inclusa): 34,700
- Casco: 1,558
- Ciclista (bici inclusa): 33,142

### Contour di velocità



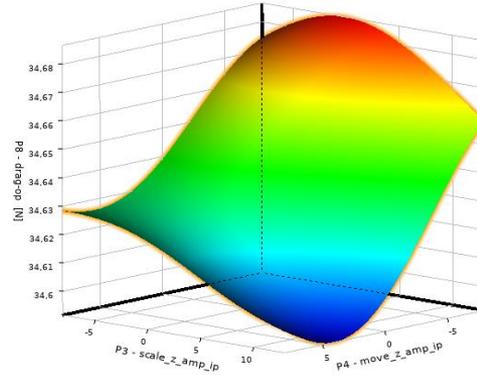
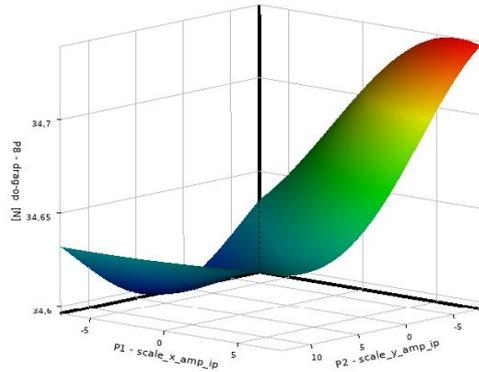
### Contours di pressione statica



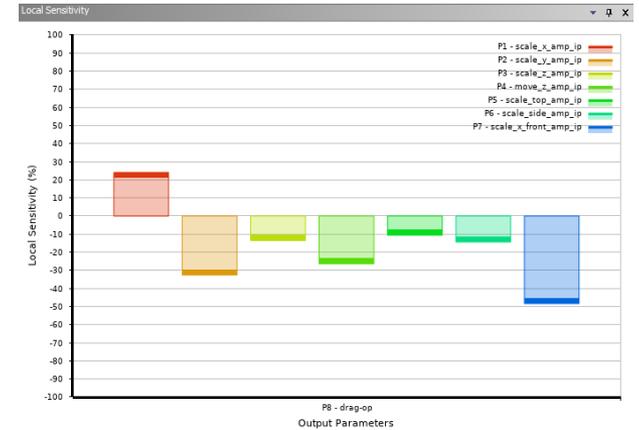


# Ottimizzazione

## Superfici di risposta



## Sensibilità



Introduzione

Workflow

Risultati

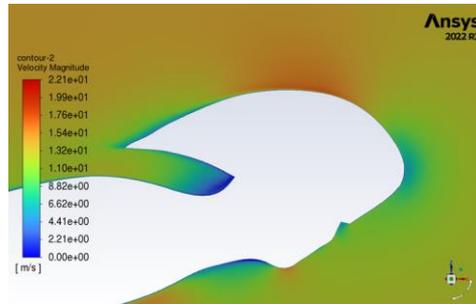
Conclusioni

## Miglior design point

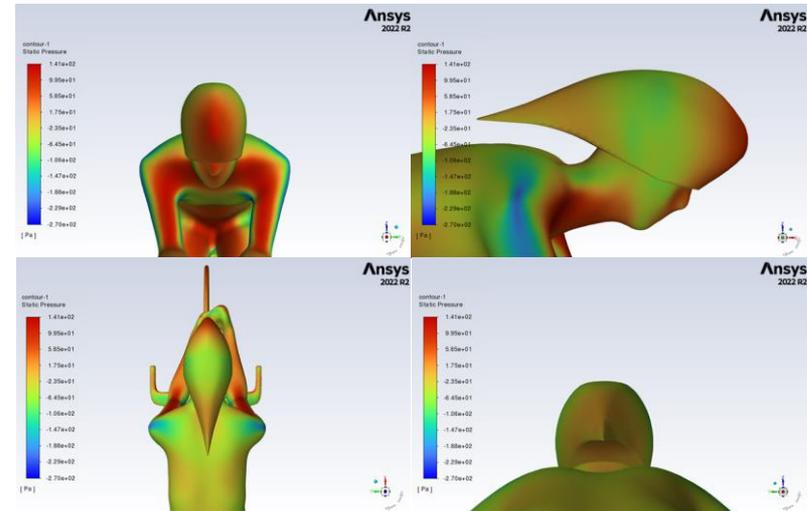
### Drag [N]

- Ciclista + casco (bici inclusa): 34,508
- Casco: 1,302
- Ciclista (bici inclusa): 33,206

### Contour di velocità



### Contours di pressione statica



## Confronto con la geometria baseline

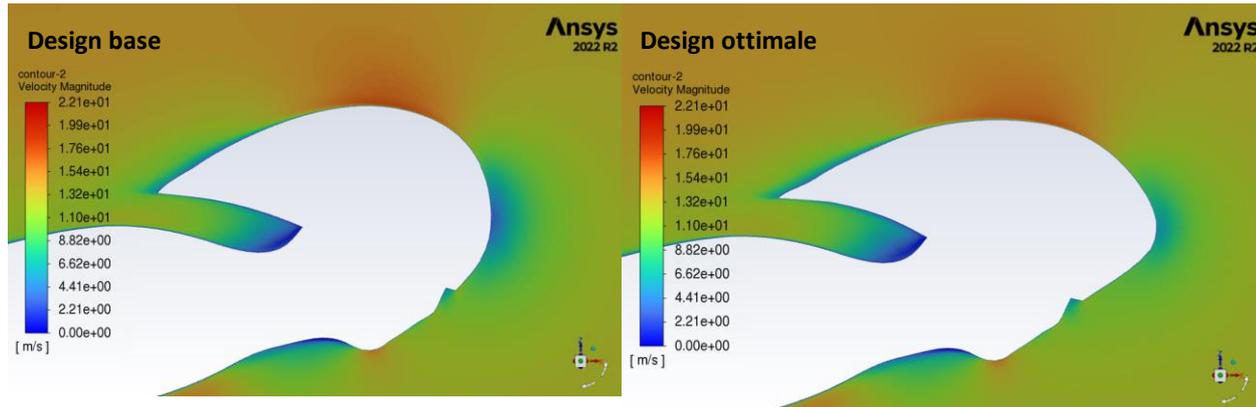
### Drag design base [N]

- Ciclista + casco (bici inclusa): 34,700
- Casco: 1,558
- Ciclista (bici inclusa): 33,142

### Drag design ottimale [N]

- Ciclista + casco (bici inclusa): 34,508 (-0,55%)
- Casco: 1,302 (-16,43%)
- Ciclista (bici inclusa): 33,206 (+0,19%)

### Contour di velocità



Introduzione

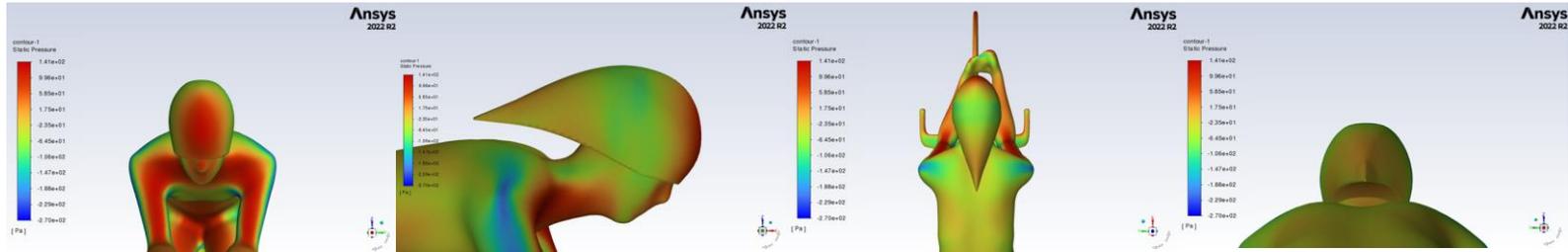
Workflow

Risultati

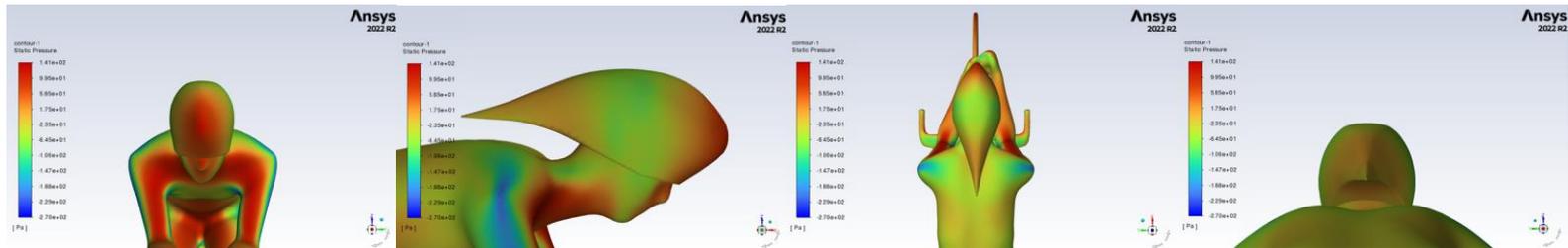
Conclusioni

## Miglior design point e confronto con la geometria baseline

### Contours di pressione statica



Design base



Design  
ottimale



## Conclusioni

- L'obiettivo di questo studio consisteva nel mostrare come, attraverso un software CFD (Ansys Fluent) e la sua integrazione con un programma di mesh morphing quale RBF Morph, fosse possibile ottimizzare la forma di un casco e minimizzare il drag generato dal sistema ciclista-casco (bicicletta inclusa).
- Agendo sulla sola calotta di protezione, ovvero una porzione decisamente limitata rispetto al sistema tutto, i miglioramenti in termini di resistenza totale sono modesti (-0,55%). D'altro canto per il solo casco si ha un abbattimento ben più marcato dei valori di drag (-16,43%).

	<b>Drag [N]</b>
<b>Ciclista + casco (bici inclusa)</b>	<b>34,508 (-0,55%)</b>
<b>Casco</b>	<b>1,302 (-16,43%)</b>



**TOR VERGATA**  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

**GRAZIE**

Antonio Sgambellone

OTTIMIZZAZIONE AERODINAMICA DI UN CASCO DA  
CICLISMO PER TIME-TRIAL

