

# Ottimizzazione Aerodinamica di una vettura di Formula SAE mediante CFD e Mesh Morphing

Relatore: Corrado Groth

Candidata: Gaia Marica

Correlatore: Stefano Porziani



**TOR VERGATA**  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

# Indice Presentazione

1. Ottimizzazione Aerodinamica: obiettivi e introduzione
2. Formula SAE: la competizione e l'approccio al problema
3. Flusso di processo
4. Primo caso: Ottimizzazione Aerodinamica di un Cubo
5. Secondo caso: Progetto Bodywork per la Scuderia di Tor Vergata

# Ottimizzazione Aerodinamica

La tesi si pone come obiettivo una prima comprensione degli strumenti di simulazioni CFD e di Mesh Morphing necessari per eseguire un'ottimizzazione in ambito aerodinamico, mediante due casi applicativi.

**Cubo:** caso introduttivo al problema dell'ottimizzazione, semplice per prendere confidenza con gli strumenti, con focus sulla parte anteriore.



**Progetto Bodywork per la Scuderia di Tor Vergata:** con la nuova stagione, a seguito della riprogettazione del telaio, è stato necessario sviluppare un nuovo muso.

**Ansys (rbf-morph)™**



**TOR VERGATA**  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

# Formula SAE

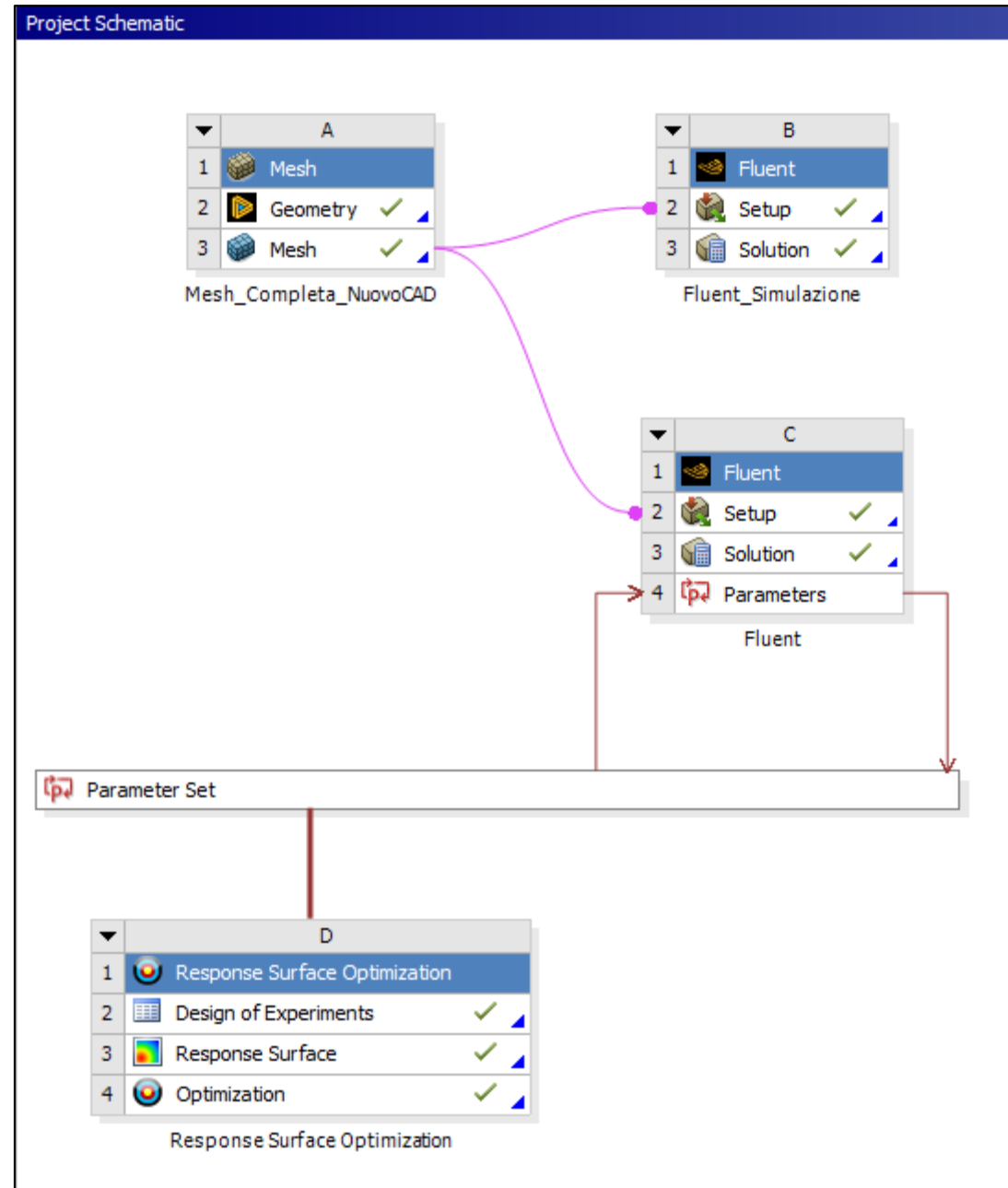
Ogni evento si articola in una fase preliminare in cui la vettura è sottoposta a rigidi controlli da parte dei commissari e la fase della competizione vera e propria, articolata in **3 prove statiche** e **4 prove dinamiche**.

- In ottica competizione, si è pensato di introdurre un nuovo approccio all'ottimizzazione aerodinamica: modifica automatica della griglia di calcolo e parametrizzazione delle modifiche di forme.



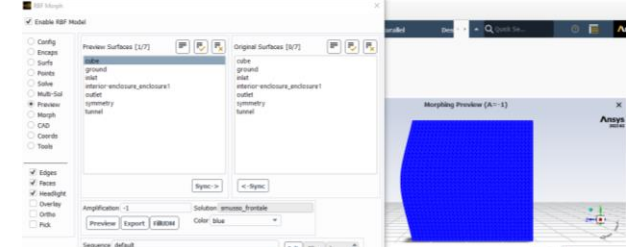
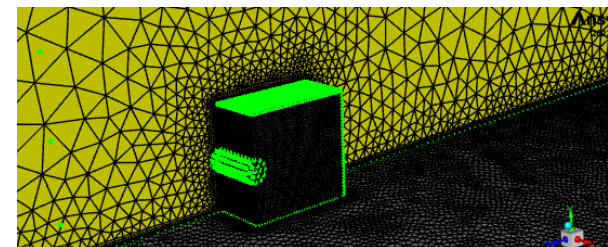
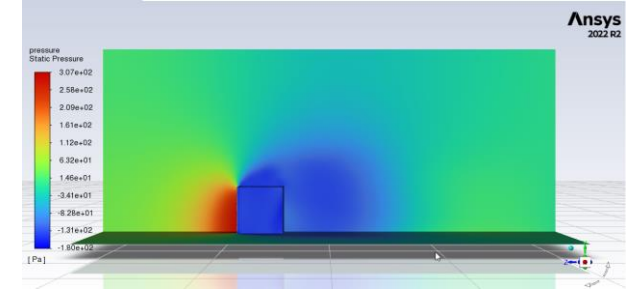
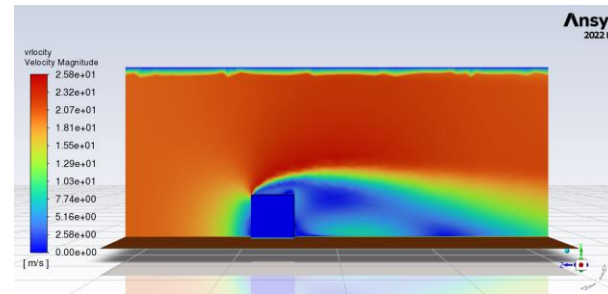
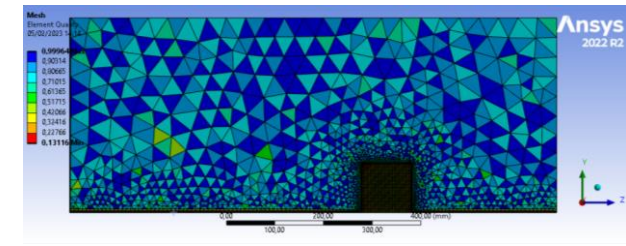
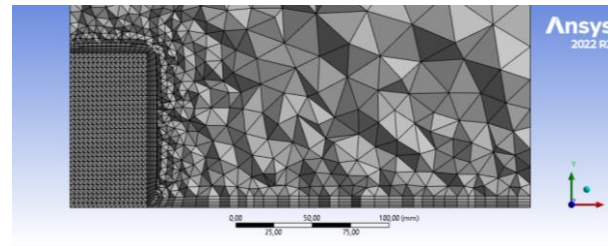
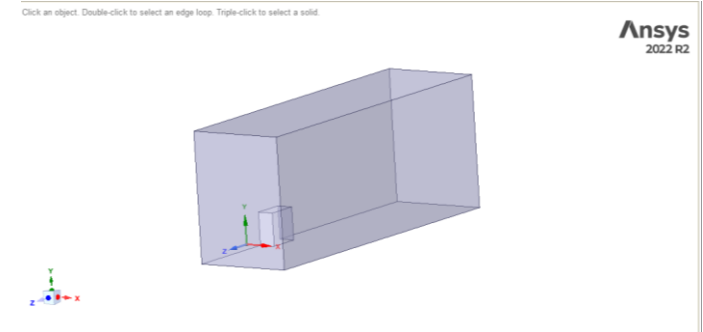
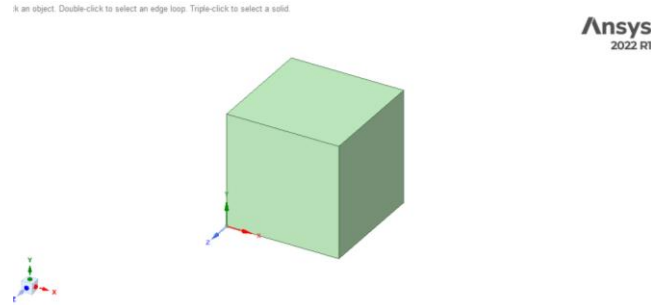
# Flusso di Processo

1. Preparazione della Geometria
2. Generazione della Mesh
3. Simulazioni CFD (valutazione delle prestazioni aerodinamiche)
4. Preparazione delle modifiche di forma mediante RBF-Morph
5. Parametrizzazione delle modifiche di forma e impostazione delle simulazioni CFD per l'ottimizzazione e simulazione baseline
6. Generazione della Design Of Experiments (DOE)
7. Superficie di Risposta e ricerca dei possibili punti ottimali
8. Verifica dei punti ottimali



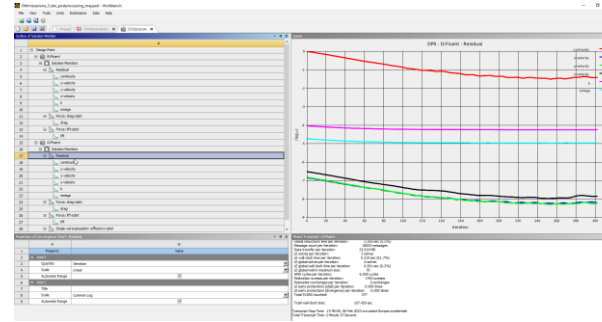
# Flusso di Processo

- Preparazione della geometria: disegno della geometria e creazione della relativa Enclosure.
- Generazione della mesh: discretizzazione del dominio, con *Inflations* in prossimità delle pareti.
- Simulazioni CFD: valutazione delle prestazioni aerodinamiche.
- Preparazione delle modifiche di forma:



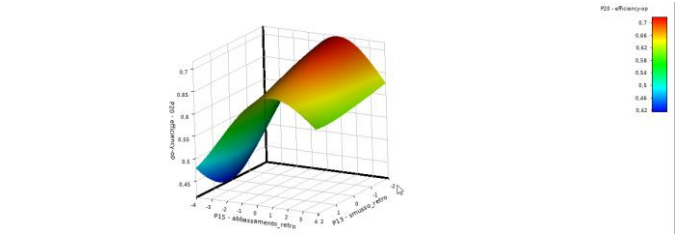
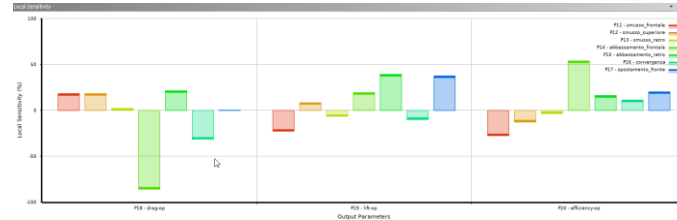


➤ Parametrizzazione delle modifiche di forma e impostazioni per le simulazioni CFD dei DP successivi con inizializzazione dalla soluzione a convergenza della baseline.

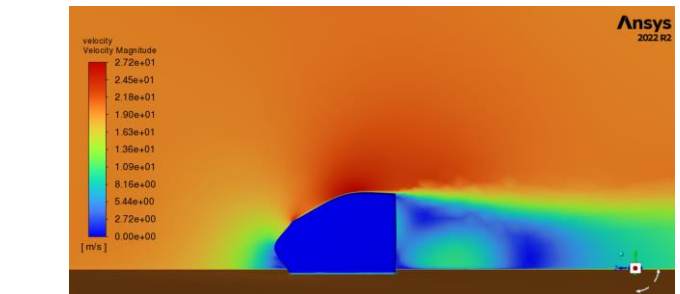
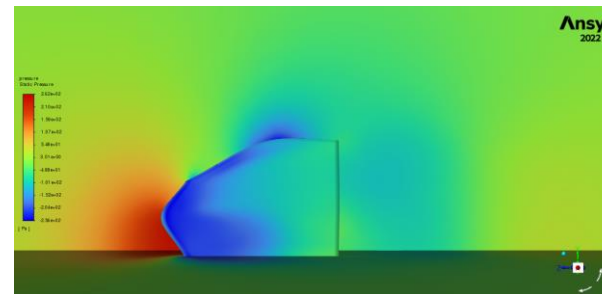


Iter	PI1 - shape_angle	PI2 - shape_angle	PI3 - shape_angle	PI4 - shape_angle	PI5 - shape_angle	PI6 - shape_angle	PI7 - shape_angle	PI8 - shape_angle	PI9 - shape_angle	PI10 - shape_angle	PI11 - shape_angle	PI12 - shape_angle	PI13 - shape_angle	PI14 - shape_angle	PI15 - shape_angle	PI16 - shape_angle	PI17 - shape_angle	PI18 - shape_angle	PI19 - shape_angle	PI20 - shape_angle
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
27	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

➤ Generazione della Design of Experiments (DOE): impostazione intervalli di valori delle modifiche di forma e algoritmo.



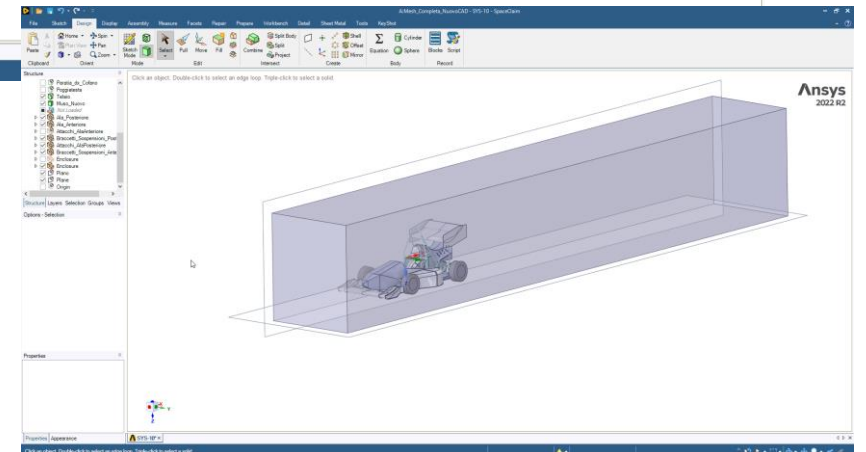
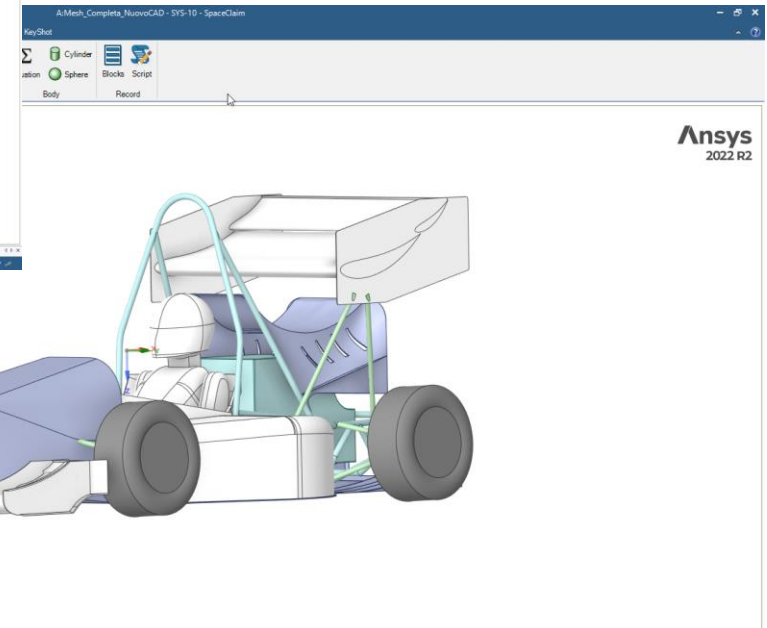
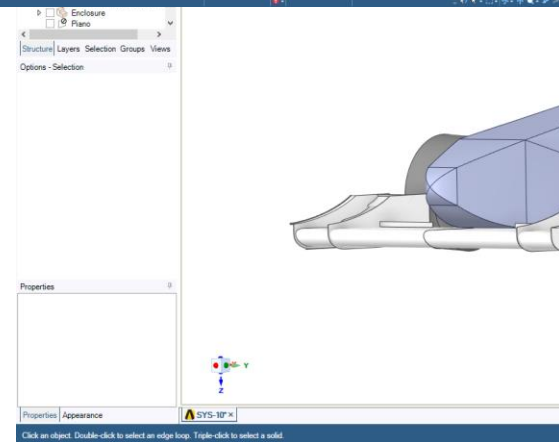
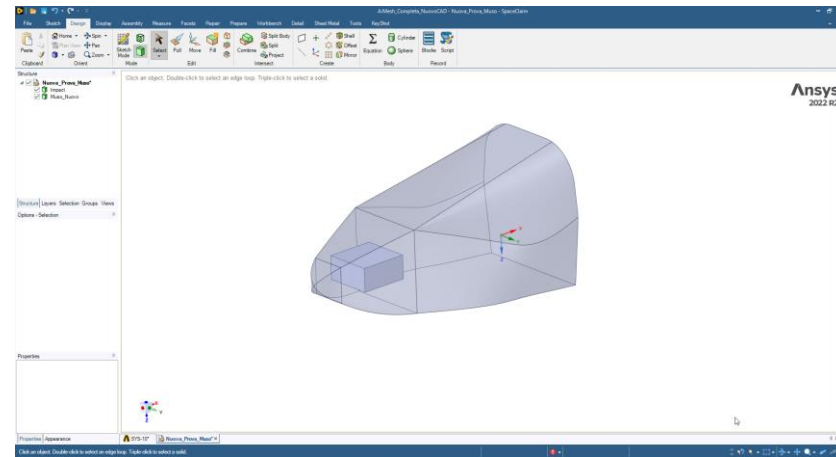
➤ Superfici di risposta e punti ottimali: grafici per la valutazione delle dipendenze tra parametri di input e di output.



➤ Verifica della configurazione ottimale

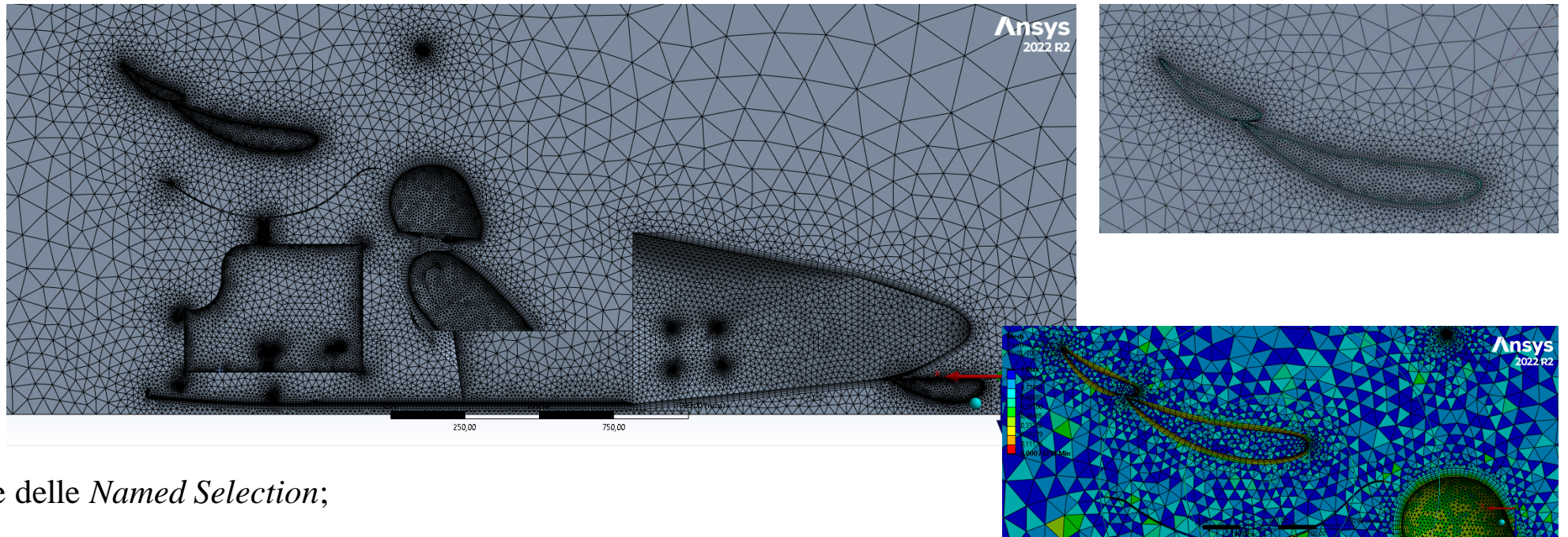
# CAD Artemide

- Disegno del nuovo muso sulla base del nuovo telaio, rispettando i vincoli regolamentari;
- Aggiornamento del CAD della passata stagione e semplificazione;
- Generazione dell' Enclosure e taglio della galleria mediante i piani di simmetria e di contatto tra ruote e asfalto.

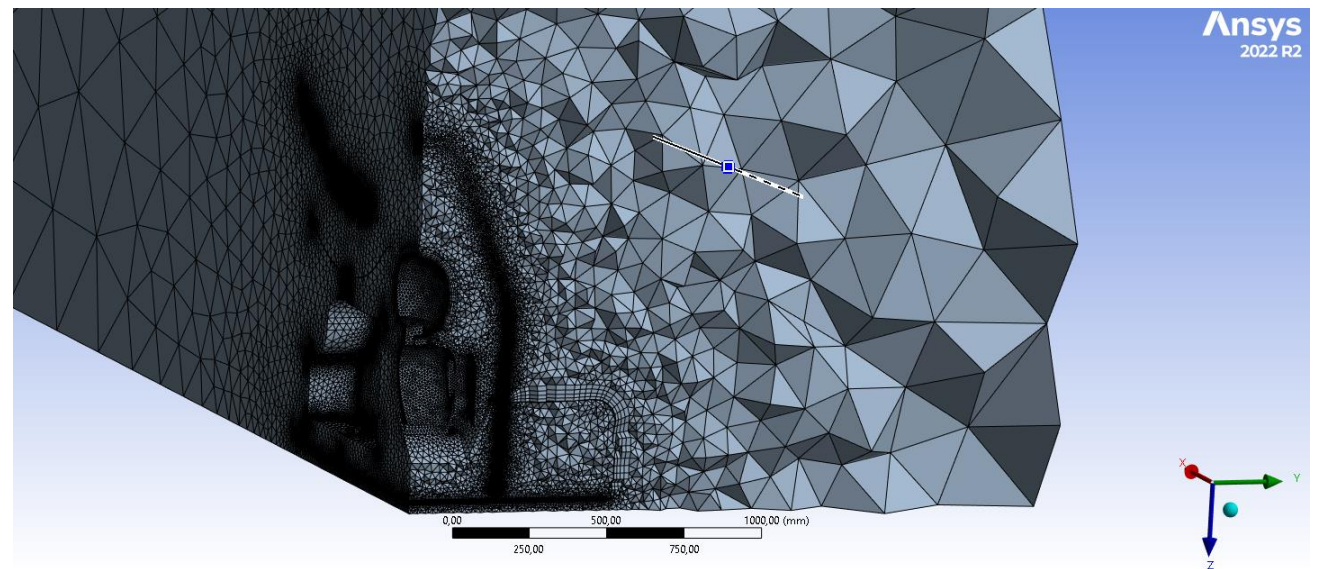




# Mesh

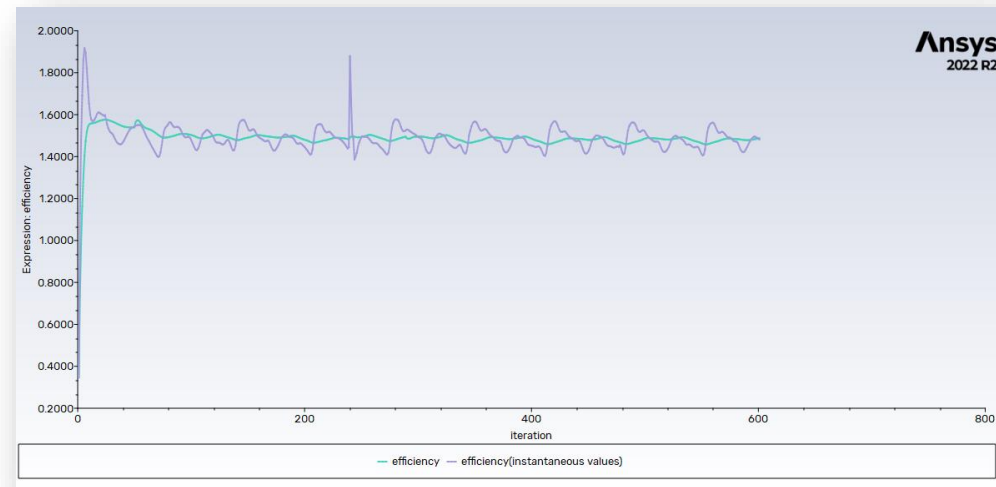


- Generazione delle *Named Selection*;
- Dimensione base degli elementi 450 mm;
- *Sizing* delle superfici più delicate;
- *Inflations* sulle superfici di maggiore interesse aerodinamico per la risoluzione dello strato limite;
- Analisi della qualità della mesh;
- Numero degli elementi: **4.803.571**
- Numero dei nodi: 1.217.766

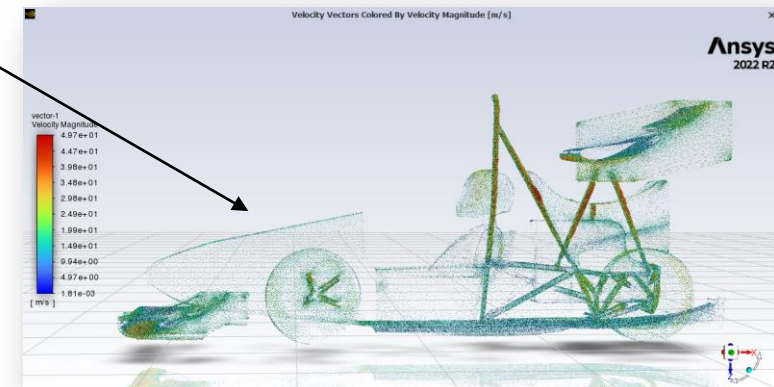
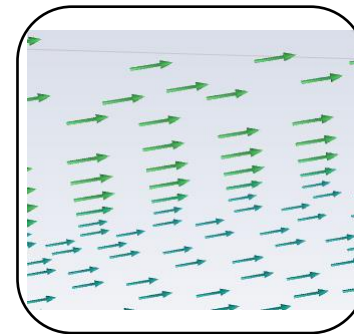
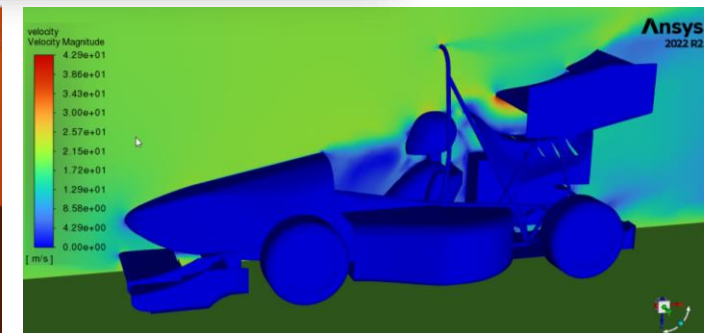


# Simulazioni CFD

- Fluido incompressibile;
- Modello di turbolenza k-omega SST (attivando la *Capture Curvature*);
- Modifica delle costanti turbolente;
- Velocità della sezione di ingresso pari a 20 m/s;
- Pressione nulla alla sezione di uscita;
- *Moving wall* per il ground ad una velocità pari a 20 m/s;
- Reference Value dell'area frontale calcolata mediante la funzione *Projected Area*;
- Report del coefficiente di drag, lift ed efficienza aerodinamica (con media degli ultimi 50 valori);
- Inizializzazione standard dalla sezione di ingresso;
- Numero di iterazioni pari a 600.



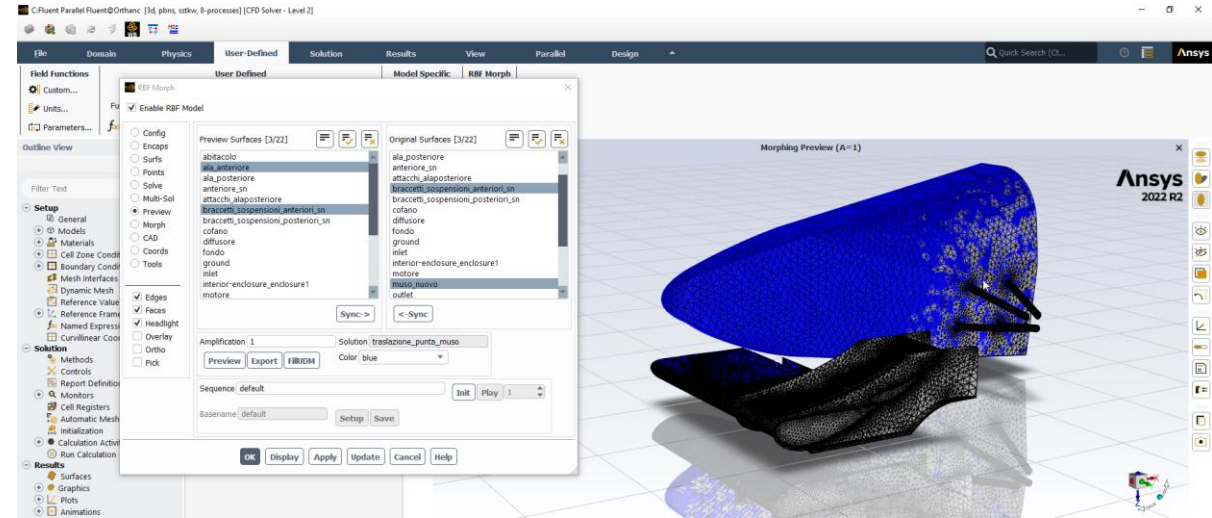
$$C_d = 1;$$
$$C_l = 1,44;$$
$$eff = 1,44$$



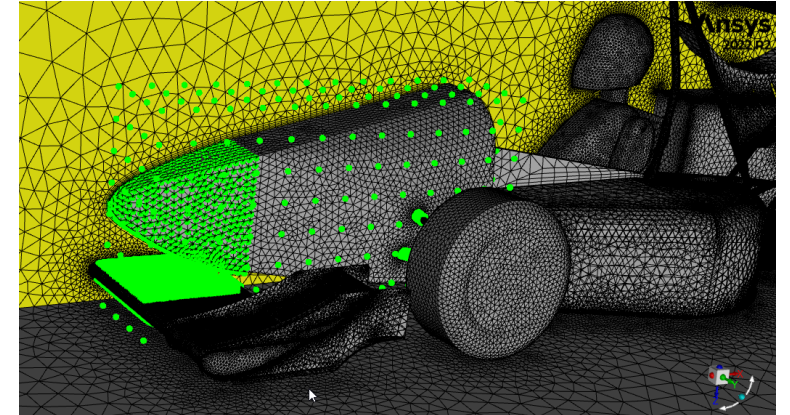
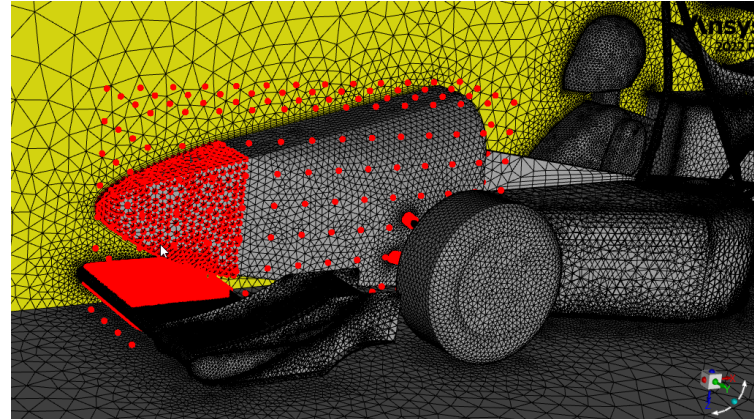


# Preparazione modifiche di forma

Poiché il corpo centrale del muso è vincolato dalla geometria del telaio, si è deciso di applicare modifiche di forma sulla punta del muso, tenendo presente l'ingombro interno dell'Impact.



- Abbassamento punta del muso
- Rotazione punta del muso
- Traslazione punta del muso



# Parametrizzazione delle modifiche di forma e Generazione della DOE

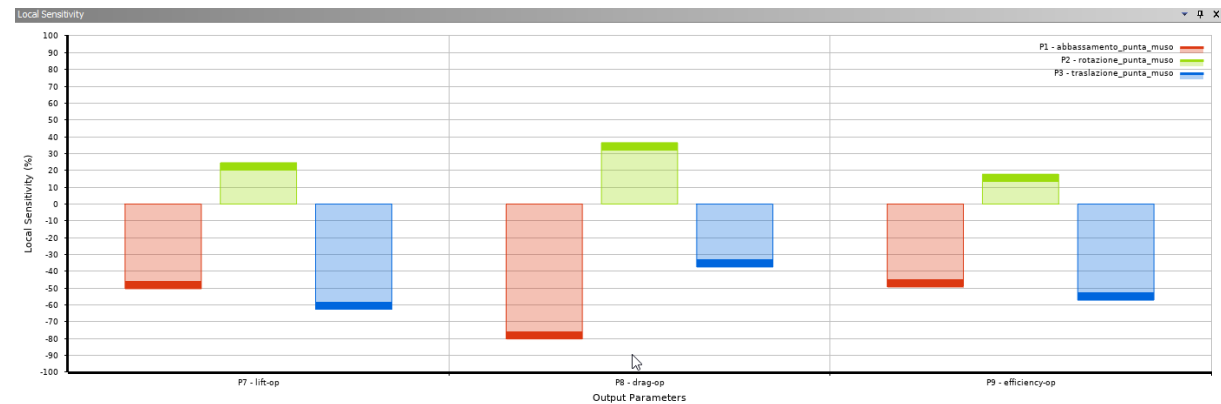
- Le modifiche di forma sono state parametrizzate ed è stata eseguita la simulazione baseline;
- Inizializzazione con la soluzione della baseline per DP successivi e riduzione del numero di iterazioni.



- Intervallo di variazione delle modifiche di forma sulla base della qualità della mesh;
- Algoritmo *Optimal Space-Filling Design* per la generazione della DOE;
- Design Points generati: 16.

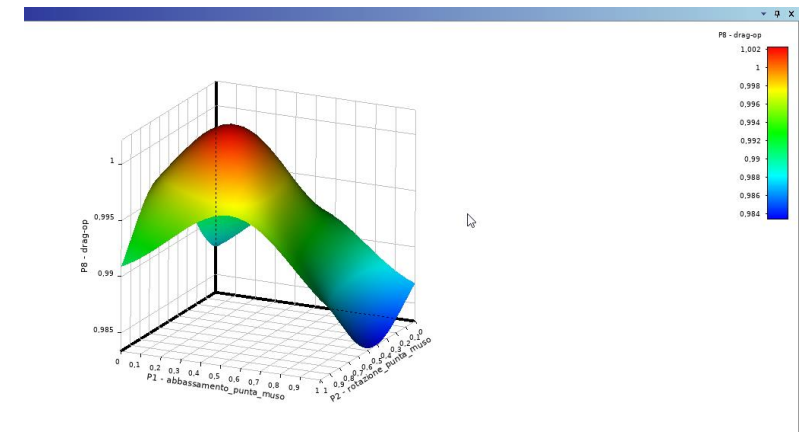
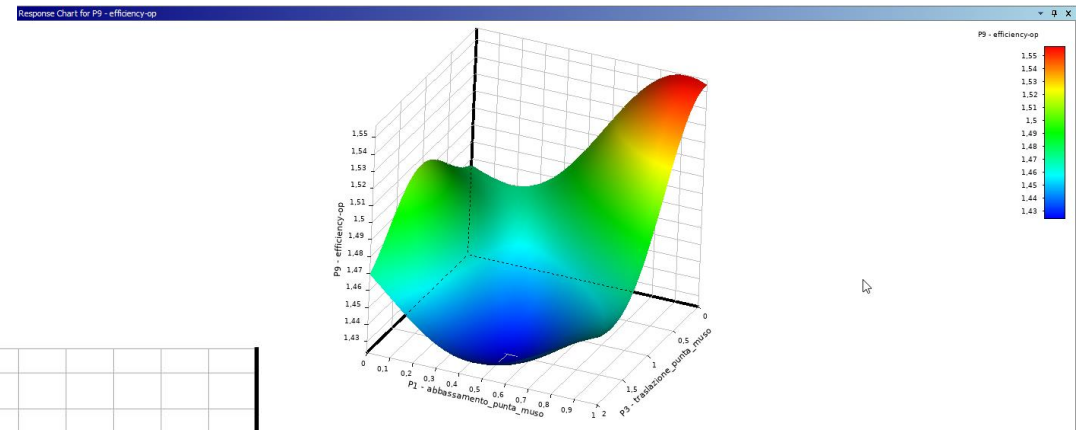
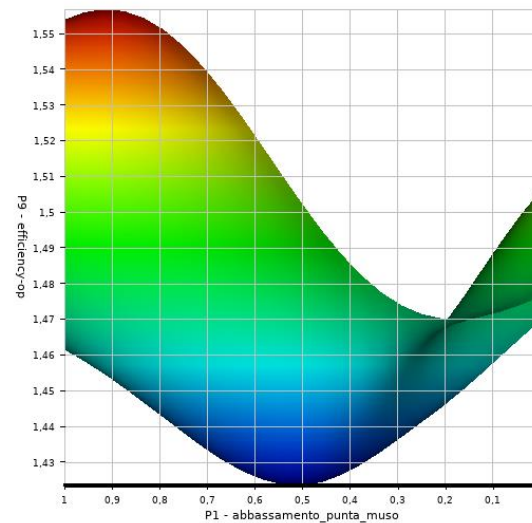
Table of Outline A2: Design Points of Design of Experiments

	A	B	C	D	E	F	G
1	Name	P1 - abbassamento_punta_muso	P2 - rotazione_punta_muso	P3 - traslazione_punta_muso	P7 - lift-op	P8 - drag-op	P9 - efficiency-op
2	1 DP 13	0,83333	0,76667	0,33333	1,5168	0,98529	1,5395
3	2 DP 6	0,36667	0,83333	0,2	1,4554	0,99876	1,4572
4	3 DP 2	0,1	0,63333	1,5333	1,4628	0,99533	1,4696
5	4 DP 12	0,76667	0,1	1,4	1,4404	0,98846	1,4572
6	5 DP 1	0,033333	0,16667	1,1333	1,5161	0,98937	1,5324
7	6 DP 15	0,96667	0,36667	0,73333	1,4847	0,98316	1,5101
8	7 DP 10	0,63333	0,3	0,066667	1,4954	0,98795	1,5137
9	8 DP 14	0,9	0,56667	1,6667	1,4294	0,98562	1,4503
10	9 DP 9	0,56667	0,43333	0,86667	1,4442	0,99767	1,4476
11	10 DP 8	0,5	0,7	1,9333	1,4362	0,99352	1,4456
12	11 DP 4	0,23333	0,96667	1	1,4557	0,99442	1,4639
13	12 DP 3	0,16667	0,5	0,46667	1,4738	1,0026	1,47
14	13 DP 7	0,43333	0,033333	0,6	1,4271	0,99342	1,4365
15	14 DP 11	0,7	0,9	1,2667	1,4438	0,99683	1,4484
16	15 DP 5	0,3	0,23333	1,8	1,4225	0,99152	1,4347



# Superficie di risposta

- ✓ In alto, andamento dell'efficienza rispetto all'abbassamento e alla traslazione della punta del muso;
- ✓ In basso, andamento del coefficiente di drag rispetto all'abbassamento e alla rotazione della punta del muso.

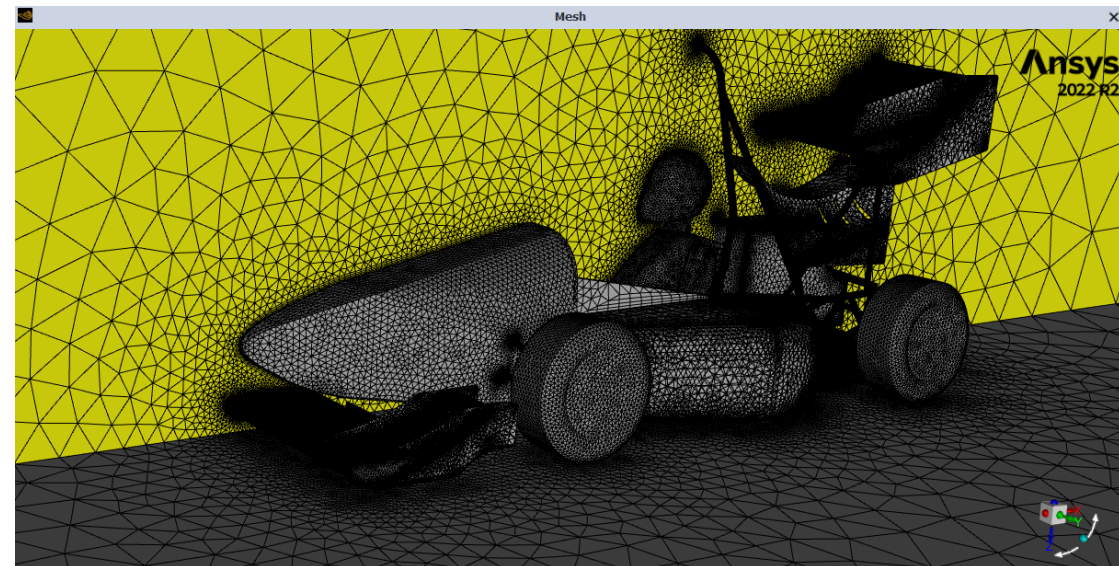


# Ottimizzazione

Table of Outline A2: Design Points of Design of Experiments

	A	B	C	D	E	F	G
1	Name	P1 - abbassamento_punta_muso	P2 - rotazione_punta_muso	P3 - traslazione_punta_muso	P7 - lift-op	P8 - drag-op	P9 - efficiency-op
2	1 DP 13	0,83333	0,76667	0,33333	1,5168	0,98529	1,5395

- ✓ Il punto ottimale ottenuto presenta un'efficienza del 1,54;
- ✓ L'incremento percentuale rispetto alla configurazione iniziale è del 7%.





# Conclusioni

- ✓ Incremento dell'efficienza aerodinamica di Artemide del 7%, lavorando solamente sul muso;
- ✓ Nuova metodologia per la Scuderia di Tor Vergata per l'ottimizzazione aerodinamica di un componente;

*Questo studio vuole essere solo un punto di partenza che possa consentire alla Scuderia di Tor Vergata di continuare a migliorarsi.*

GRAZIE PER  
L'ATTENZIONE!



TOR VERGATA  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA