

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

***Relazione per la prova finale
«Analisi dell'aerodinamica dell'ala
anteriore di una vettura di Formula 4»***

Tutor universitario:

Prof. Federico Dalla Barba

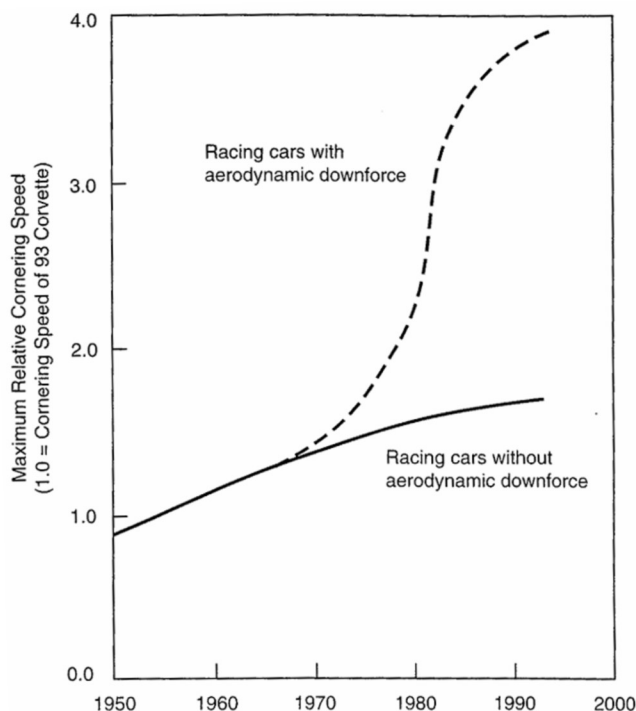
Laureando: *Federico Cuccato*

Padova, 22/09/2026

Gestione dell'aerodinamica nel motorsport - Principali obiettivi

Si tratta di generazione di carico, riduzione di resistenza all'avanzamento, raffreddamento dei circuiti interni, gestione della dinamica del veicolo.

Ai fini della presentazione, ci si focalizzerà su **deportanza e resistenza**, forze causate in seguito al moto di un corpo in un fluido (aria nel nostro caso), e come esse influenzano il mondo delle vetture ad alte prestazioni.



Aggiungere carico (massa) non inerziale.

- Guadagno visibile soprattutto in **curva**.

$$\longrightarrow F_z = \mu F_y$$

- *Downforce* e *Drag* sono quantificabili numericamente come:

$$-L = \frac{1}{2} \rho v^2 A C_l \qquad D = \frac{1}{2} \rho v^2 A C_d$$

Aerodinamica nella categoria *Formula*, applicazioni e storia

Tra le categorie presenti nella serie, la Formula 4 è una categoria propedeutica alla Formula 1, gestita dalla FIA e nata nel 2013.



Ampie limitazioni in fase di progetto imposte dal regolamento, soprattutto lato aerodinamico.



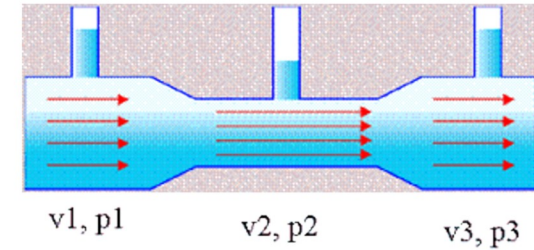
Design del fondo sfruttato per produrre deportanza nella Lotus John Player Special, 1978
Nella F4, il fondo è di omologazione unica e non modificabile.

- Realizzazione della **replica fedele** di un'**ala anteriore** di una vettura di Formula 4 in ambiente CAD (Solidworks)
 - Il regolamento ufficiale è stato rispettato, eventuali semplificazioni di design sono state giustificate.
- Simulazione **CFD su STARCCM+**, con obiettivo lo studio dei flussi attorno al modello.
 - Creazione del dominio fluido, processo di *meshing* e inizio del processo iterativo
- Post processing e Conclusioni**
 - Analisi delle scene di velocità, di pressione e vortici, con conclusioni sull'intero lavoro svolto.

Introduzione - Benefici aerodinamici, criticità e vulnerabilità dell'ala anteriore

↓
Campo fluidodinamico
potenzialmente
indisturbato e in prossimità
dell'asfalto

↓
Venti laterali, scie di altri
veicoli, comportamento in
curva e urti potenziali



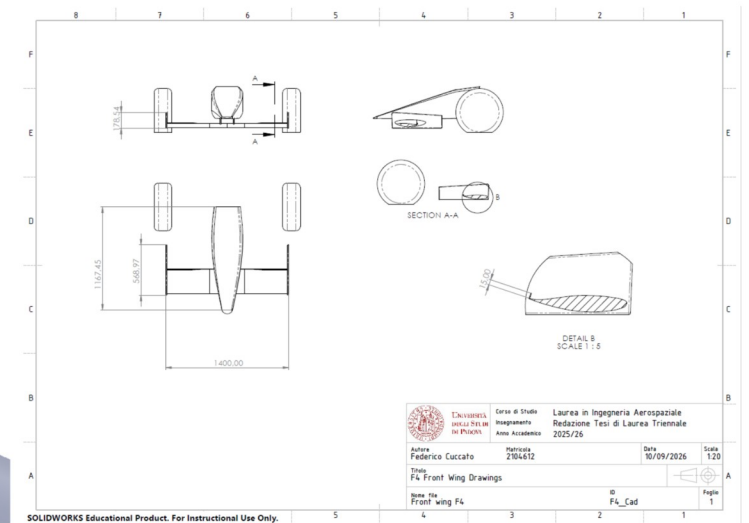
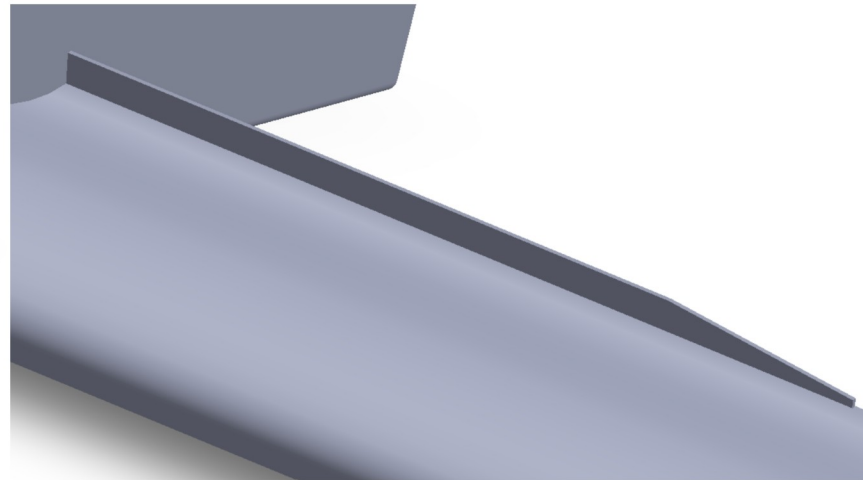
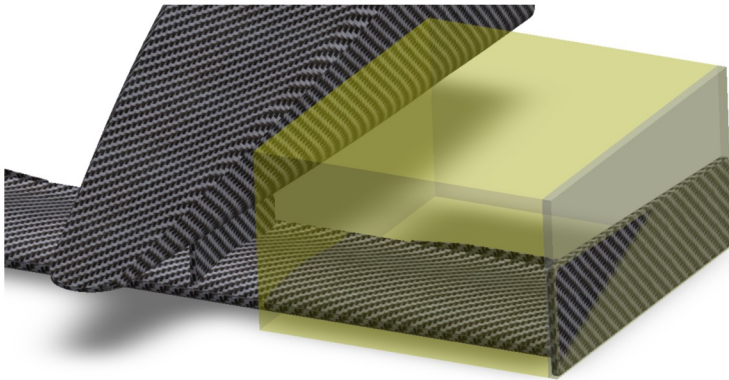
$$v1 < v2$$

$$p1 > p2$$

$$v2 > v3$$

$$p2 < p3$$

Rulebox, semplificazioni operate e presentazione **modello** CAD



La simulazione è stata impostata a **50 m/s** e modellata utilizzando le **RANS**, basate sulla scomposizione delle grandezze fluidodinamiche.

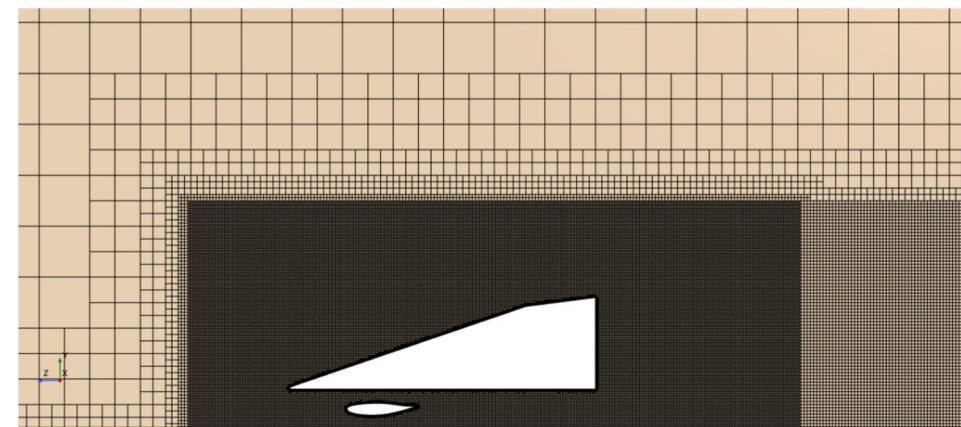
Termine medio sul quale si basano le RANS

$$\frac{\partial(\rho U_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_i U_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \overline{\rho u'_i u'_j} \right] \quad (2.2)$$

E' stato utilizzato il modello **k- ω SST**, che determina le proprietà turbolente mediante due equazioni di trasporto per l'**energia cinetica turbolenta k** e la **dissipazione specifica** in energia termica ω .

→ k- ω in prossimità delle pareti, k- ϵ lontano.

Dopo aver creato il dominio fluido con *Boolean Subtract Operation*, assegnamo una mesh grazie ad *Automated Mesh*. Sono state applicate due *Custom Meshes*, una per la scia e una per la zona circostante al modello. Simulazione stoppata a **300** iterazioni.



Il modello è stato discretizzato grazie a *Surface Remesher*, che lavora sulla superficie della geometria, *Trimmed Cell Mesher*, che costruisce la mesh volumetrica del fluido, e *Prism Layer Mesher*

Analisi scene di velocità, di pressione (statica) e di vorticità.

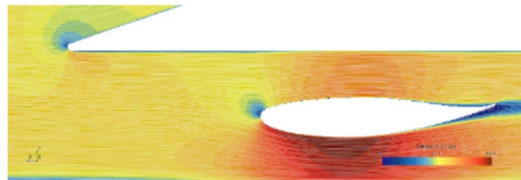


Figura 3.3: Zoom sul profilo del *nosecone*

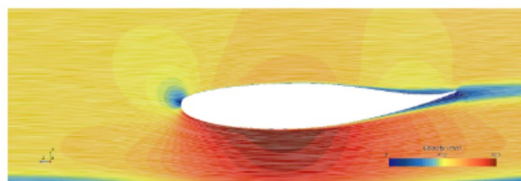


Figura 3.4: Scena di Velocità di un profilo senza Gurney Flap

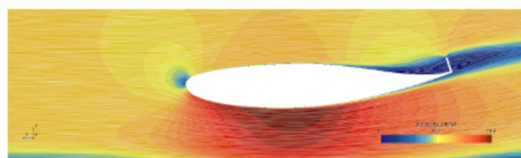


Figura 3.5: Scena di Velocità di un profilo con Gurney Flap

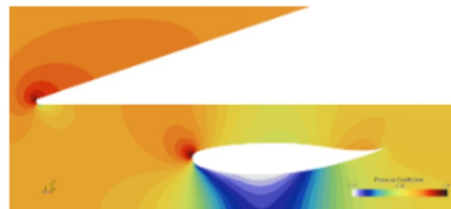


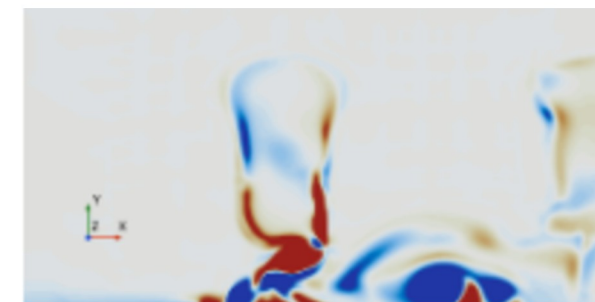
Figura 3.11: Coefficiente di Pressione Statica nella sezione centrale



Figura 3.12: Coefficiente di Pressione Statica nella sezione della ruota



Figura 3.15: Scena di vorticità lungo asse Z, sezione a valle del Gurney

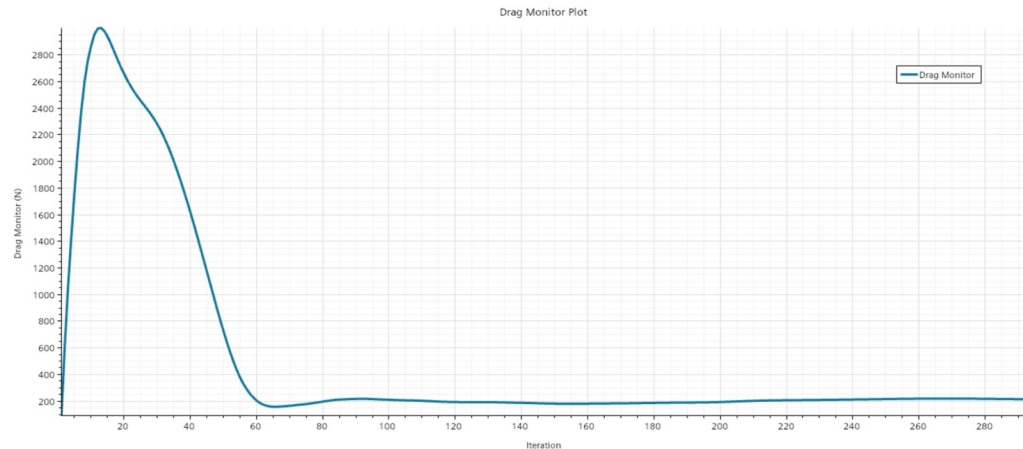


Il Gurney sposta il recupero della pressione **più a valle** (corda aumenta), il ricircolo dietro la lastra piana è una media.

Ruota in movimento simile a quanto studiato sul **cilindro** a potenziale. Quanto osservato sulle scene di velocità si conferma anche nelle scene di pressione.

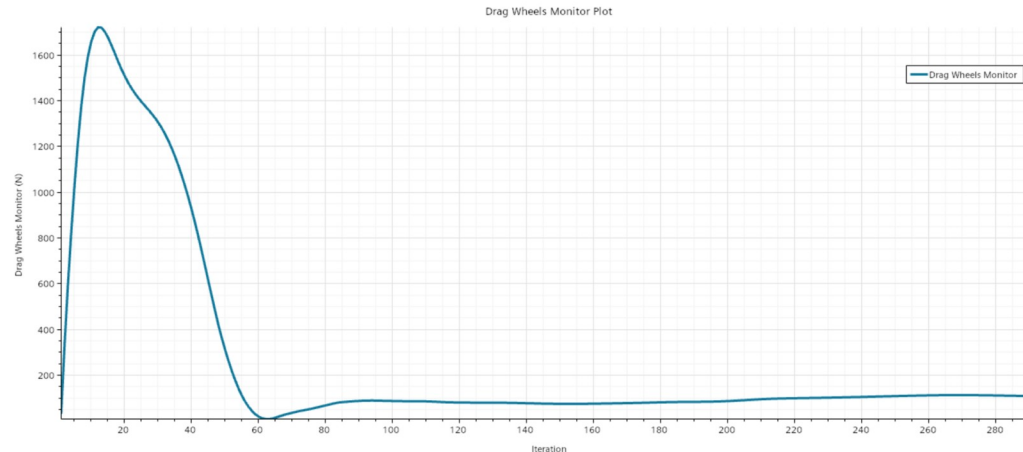
Forte presenza del vortice nel fondo e **vortice di estremità**. Scena importante per il progetto aerodinamico del resto della vettura.

La presente simulazione CFD, basata sulle RANS, è un processo **iterativo**. Dai grafici plottati iterazione per iterazione, la convergenza* è stata raggiunta dopo 230 iterazioni per *Downforce* totale e 100 per *Drag* totale.



Importante il rapporto resistenza totale su resistenza generata dalle ruote:

$$\frac{D_{wheels}}{D_t} = \frac{106,64N}{211,31N} = 0,51$$



La deportanza ottenuta a 50 m/s in tale configurazione è per il 96,6% prodotta dall'ala anteriore, con *endplates* e Gurney Flap.

* Il numero di iterazioni massime è molto ridotto rispetto allo standard industriale

L'analisi semplificata di una parte di vettura fornisce, in prima battuta, una valida approssimazione del comportamento del flusso attorno al modello.

Questo risulta utile per il **design aerodinamico** dei sistemi presenti a valle l'ala, per esempio il fondo.

Le scene di vorticità,
per esempio, risultano
utili a tale scopo.

→ Design pance,
T-Tray e concetto di
outwash



Sotto le ipotesi di lavoro adottate, i risultati ottenuti sono da considerarsi coerenti con il comportamento aerodinamico atteso. Si è inoltre confermata l'importanza dei software CFD in fase di progetto.

Ringrazio per l'attenzione