

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

Relazione per la prova finale
***«Analisi numerica dell'aerodinamica dei corpi
tozzi: il caso studio dell'Ahmed body»***

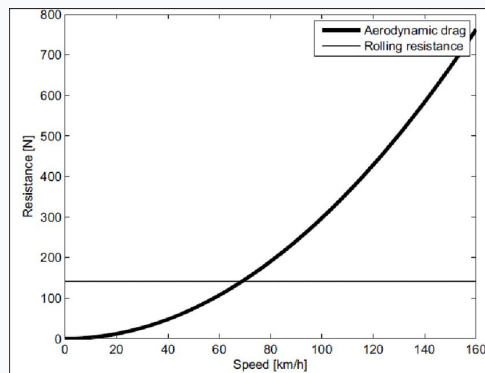
Tutor universitario: Prof. Francesco Picano

Laureando: *Manelli Andrea*

Padova, 15/07/2026

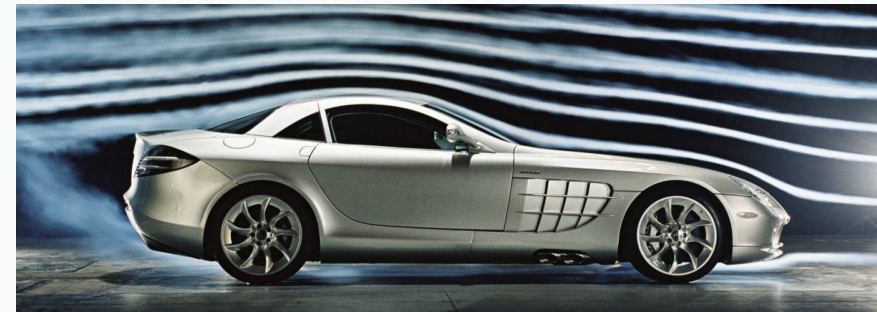
Ottimizzazione Energetica

Se in passato le linee geometriche dei veicoli venivano definite quasi esclusivamente da vincoli estetici, di sicurezza e di affidabilità, le moderne esigenze di mercato e le normative ambientali impongono una drastica riduzione dei consumi di carburante e delle emissioni di CO_2 .



La Natura del Drag

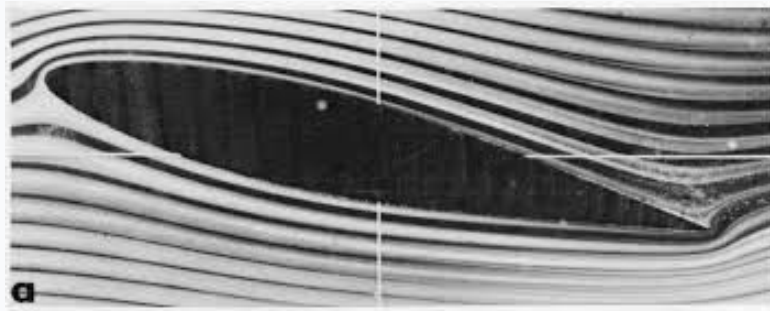
Mentre i velivoli sono progettati per minimizzare l'attrito, i veicoli stradali presentano un'architettura vincolata dall'abitabilità e dai volumi interni. Questo impone lo studio di flussi separati ad alto numero di Reynolds, governati da dinamiche fortemente tridimensionali.



- ✓ **Inquadramento della Fisica dei Corpi Tozzi:** Comprensione dei meccanismi di generazione della resistenza di forma e distacco dello strato limite.
- ✓ **Caratterizzazione del caso di riferimento:** Analisi teorico-sperimentale del modello semplificato denominato "Ahmed Body".
- ✓ **Analisi Comparativa della Modellazione CFD:** Analisi critica delle capacità predittive degli approcci RANS rispetto alle simulazioni ad alta fedeltà LES.
- ✓ **Valutazione dell'Effetto dello Slant Angle:** Studio parametrico dell'inclinazione del lunotto posteriore sulla topologia della scia.

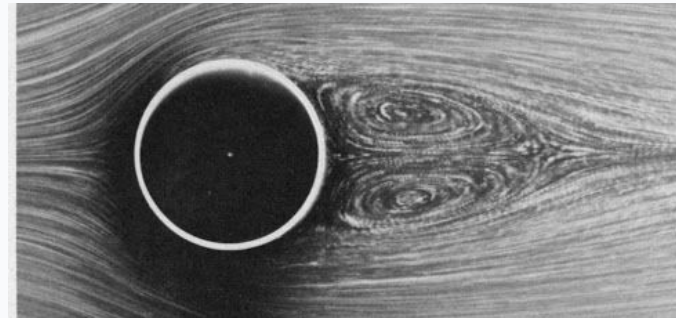
Corpi Affusolati

- I corpi affusolati presentano una geometria in grado di assecondare le linee di corrente del fluido, riducendo al minimo i fenomeni di distacco dello strato limite.
- Scia posteriore estremamente stretta e un ottimo recupero di pressione sul retro.
- La resistenza aerodinamica è dominata quasi interamente dall'attrito viscoso superficiale (resistenza di attrito).



Corpi Tozzi

- I corpi tozzi presentano variazioni geometriche repentine o spigoli vivi che impongono al flusso un gradiente di pressione avverso non sostenibile dallo strato limite.
- Ampia scia posteriore turbolenta e una zona di forte bassa pressione immediatamente dietro al corpo.
- La resistenza è governata quasi totalmente dalla differenza di pressione tra il fronte e il retro (resistenza di forma).



Ruolo della Turbolenza: Un flusso turbolento possiede un contenuto energetico maggiore vicino alla parete rispetto ad uno laminare, ritardando la separazione.

Influenza geometrica: Nei corpi tozzi con spigoli vivi la separazione è geometrica e non è influenzata dal numero di Reynolds.

Sezioni Quadrate vs Rettangolari: Separazione netta agli spigoli di monte e un'ampia scia posteriore rispetto alla riadesione parziale prima della separazione finale.

PARAMETRO PRINCIPALE (NUMERO DI REYNOLDS)

$$Re = \frac{\rho \cdot V_{\infty} \cdot L}{\mu}$$

Coefficienti di pressione e di forza

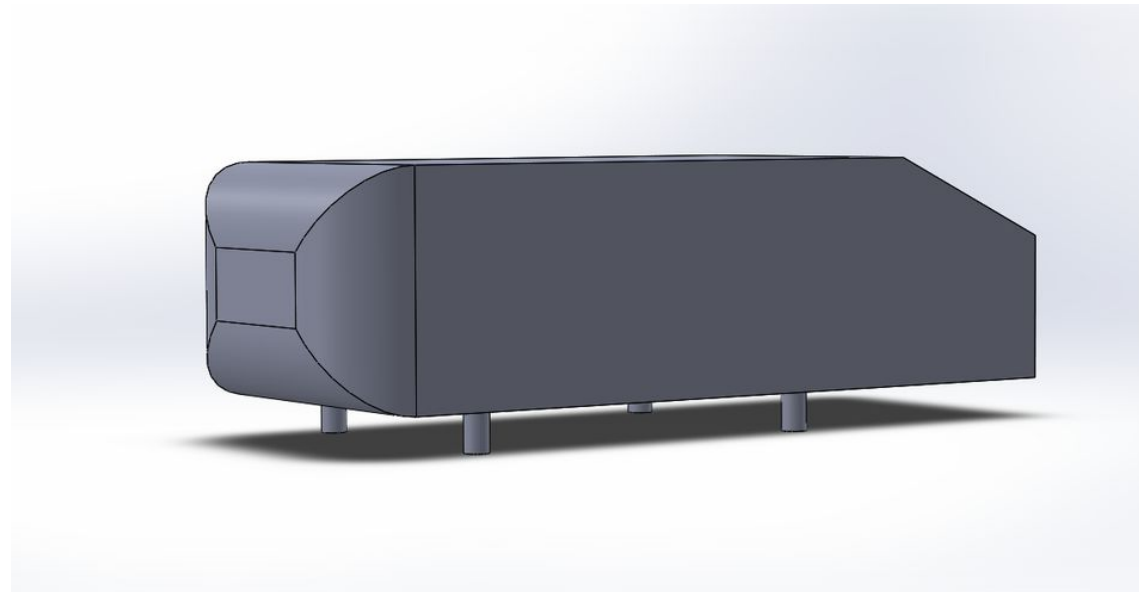
- $$C_p = \frac{p - p_0}{\frac{1}{2} \rho V^2} \quad C_{ps} = 1 - \left(\frac{V_s}{U} \right)^2$$
- $$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho V^2 L}$$
- $$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho V^2 L}$$

Origine

Introdotta da S. R. Ahmed nel 1984, questo modello geometrico rappresenta lo standard internazionale per lo studio dei flussi nei corpi tozzi stradali. Pur mancando di dettagli complessi come specchietti, ruote o sottoscocca, riproduce fedelmente i macro-fenomeni fisici posteriori delle vetture reali.

Perché un modello semplificato?

La semplificazione geometrica consente di isolare in modo rigoroso l'effetto delle strutture vorticosche della scia e della rampa posteriore, rendendo i risultati perfettamente replicabili sia in galleria del vento sia nei codici CFD.

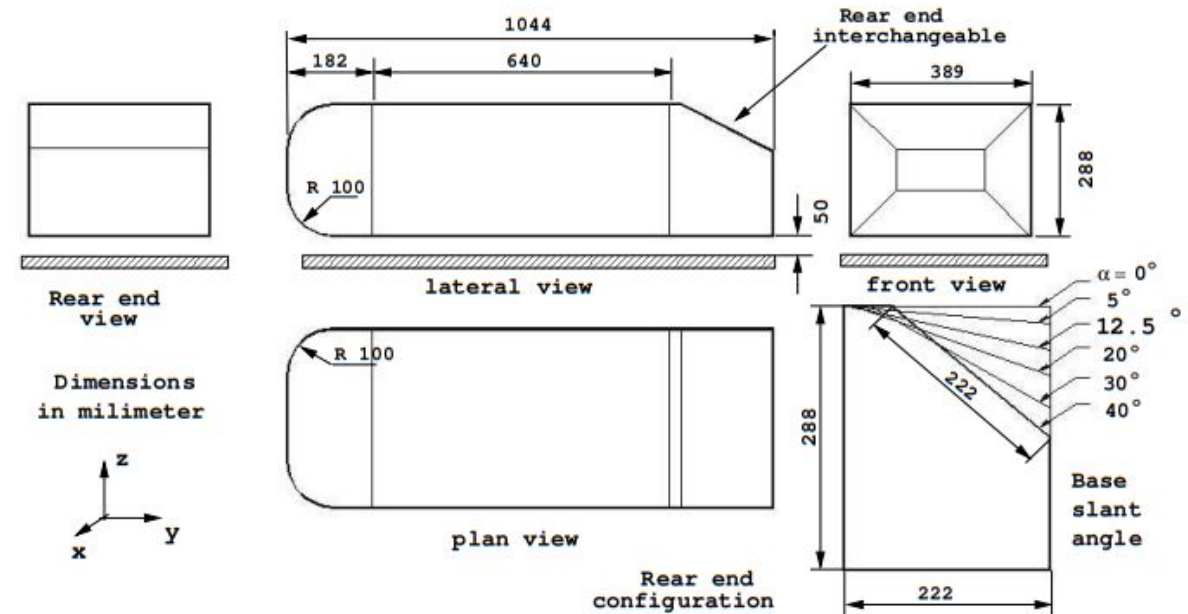


Caratteristiche geometriche

L'Ahmed body è geometricamente diviso in tre sezioni principali: la parte anteriore arrotondata, progettata per garantire un ingresso del flusso d'aria il più pulito possibile; il corpo centrale rettangolare ed il piano inclinato posteriore (slant plane).

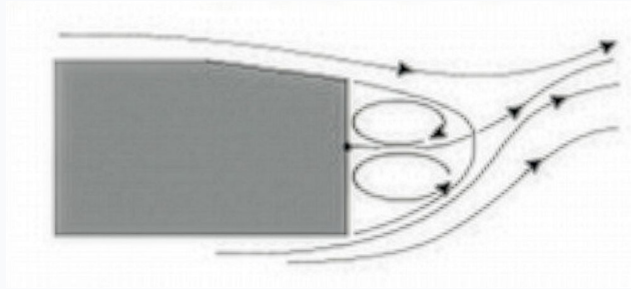
Slant angle (α)

Rappresenta l'inclinazione del lunotto posteriore. È il parametro geometrico fondamentale per analizzare i fenomeni di separazione del flusso e calcolare la variazione del coefficiente di resistenza.



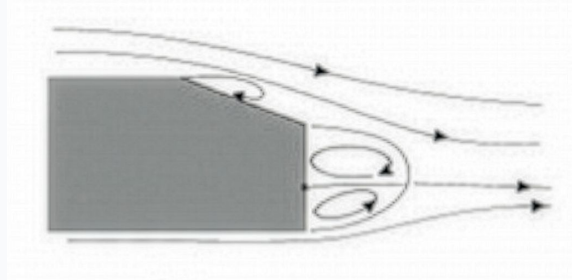
$\alpha < 12.5^\circ$

Flusso bidimensionale che mostra una spiccata aderenza geometrica. La separazione si localizza esclusivamente in corrispondenza della parete verticale posteriore.



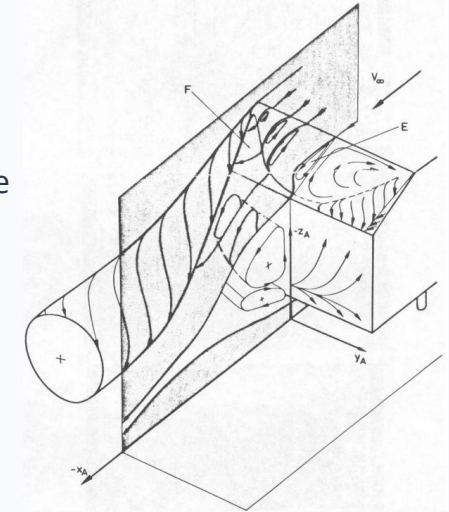
$\alpha = 12.5^\circ$

Comparsa di un'ulteriore bolla di separazione locale localizzata al livello dello spigolo di raccordo superiore tra il tetto e la rampa.



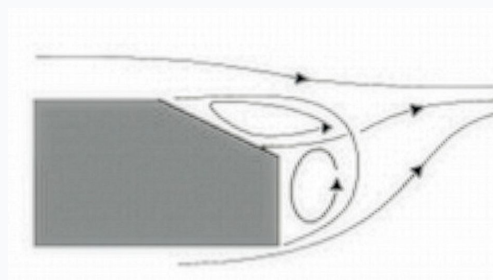
$12.5^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$

Flusso fortemente tridimensionale. I vortici di estremità si intensificano, inducendo una forte depressione sulla rampa.

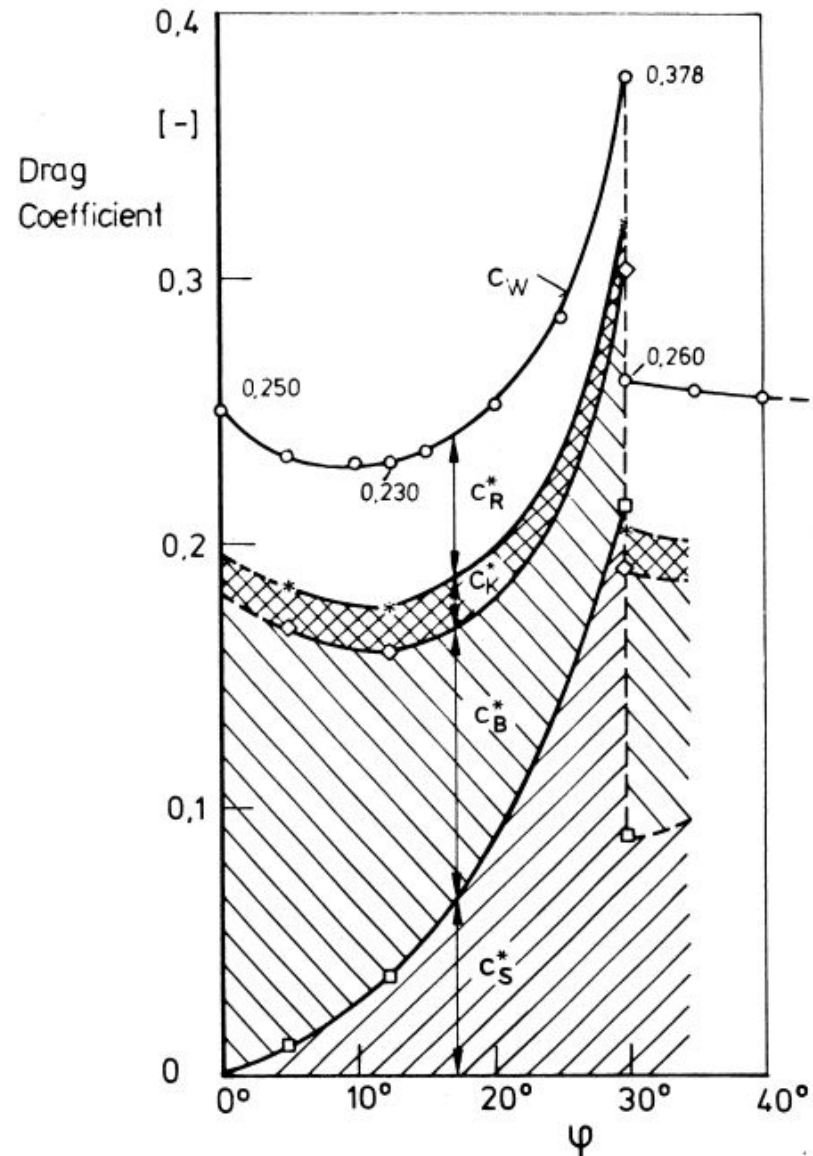


$\alpha > 30^\circ$

Rottura totale delle strutture longitudinali. Il flusso si separa completamente fin dallo spigolo superiore.



Metodologia CFD	Principio Fisico	Accuratezza su Flussi Separati (Ahmed Body)
DNS Simulazione Numerica Diretta	Risolve esplicitamente sia il campo di moto medio sia l'intero spettro delle fluttuazioni turbolente, senza alcun modello di chiusura.	Onere computazionale elevato. Viene limitato alla ricerca scientifica di base o a modelli più snelli.
RANS Reynolds Averaged Navier-Stokes	Focus sul flusso medio e sugli effetti della turbolenza sulle proprietà del flusso medio.	Economica ma limitata. Tende a sovrastimare o sottostimare la riadesione nella zona critica tra 25° e 30°.
LES Large Eddy Simulation	Risolve direttamente le grandi scale turbolente; modella solo l'effetto delle scale più piccole (SGS).	Buon compromesso tra accuratezza ed efficienza . Il campo fluidodinamico transitorio richiede impegno in termini di memoria e volume di calcolo.



Punto di Minimo (12.5°): Identifica la configurazione di ottimo aerodinamico. Lo strato limite aderisce alla rampa senza separarsi.



Il Picco Critico (30°): Si assiste al massimo sviluppo energetico dei vortici longitudinali d'angolo, seguito da un distacco netto della vena fluida sul bordo inferiore della rampa



Crollo oltre i 30°: La separazione totale immediata distrugge i vortici di estremità determinando un calo del C_D totale.

Geometria Posteriore

Dall'esame delle diverse configurazioni dello slant angle è emerso chiaramente che il comportamento della scia posteriore non evolve linearmente, ma è governato da regimi transitori fortemente dettati da angoli critici.

Modellazione numerica

Mentre i modelli RANS rimangono lo standard per studi preliminari di design rapido, l'approccio LES è imprescindibile per risolvere correttamente i flussi altamente instabili e separati.

Sviluppi Futuri

L'Ahmed body rimane un banco di prova imprescindibile per lo sviluppo di nuove metodologie numeriche. La comprensione delle interazioni tra flusso e geometrie semplificate costituisce il fondamento critico per guidare il design dei futuri automezzi.

Grazie per l'attenzione