

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

Relazione per la prova finale

***Studio aerodinamico di sistemi per il
miglioramento della performance in
veicoli ad alte prestazioni stradali***

Tutor universitario: Prof. Francesco Picano

Laureando: *Roy Leis*

Matricola: 2041923

Padova, 15/07/2026

In questa relazione si andranno a trattare i sistemi aerodinamici volti a migliorare efficienza e prestazioni dei veicoli stradali, dimostrando come l'aerodinamica sia di fondamentale importanza nell'ambito automotive.

Inizialmente si accennerà alla storia delle automobili e come gli studi aerodinamici erano incentrati sul miglioramento dell'efficienza e del comfort. Con la crescita del motorsport poi si è passati ad una concezione di aumento di performance introducendo appendici aerodinamiche a configurazione fissa; con l'avanzare dell'elettronica poi queste appendici sono diventate a configurazione attiva, capaci di adattarsi in tempo reale alle esigenze del veicolo.

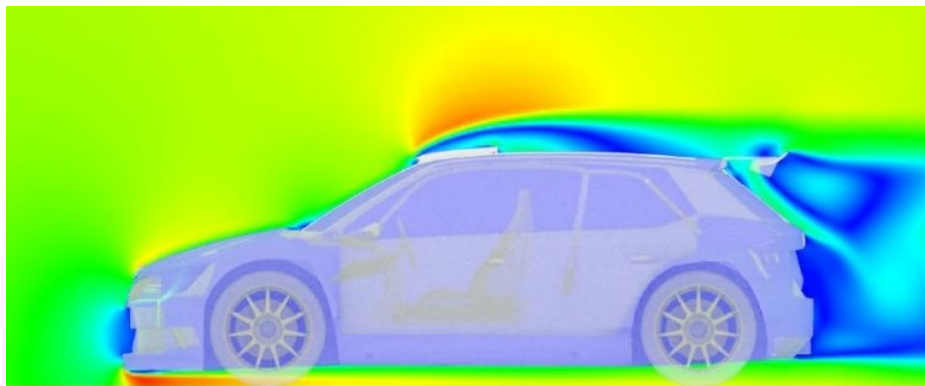
OBBIETTIVI DELLO STUDIO

- Analizzare i principi fondamentali dell'aerodinamica applicata ai veicoli
- Trattare i vari sistemi aerodinamici fissi e attivi andando ad analizzare gli effetti sul veicolo
- Esaminare diversi casi applicativi reali delle tecnologie attive e d'avanguardia in uso nel settore automotive

Fine dell'ottocento → Introduzione di forme più sinuose archiviando la classica forma a carrozza

Anni '20-'30 → Applicazione della forma di profili alari al veicolo ma troncati (Kamm Tail)

Anni '70 → Grave crisi petrolifera, nascita delle auto utilitarie e uso dell'aerodinamica mirato alla riduzione dei consumi



Fattori che portarono all'utilizzo dell'aerodinamica applicata

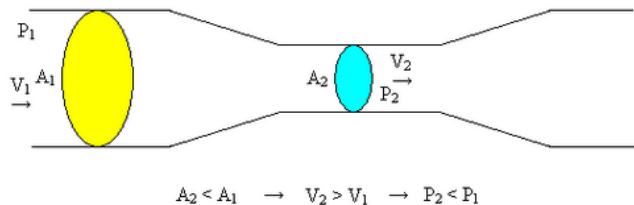
- Competizioni come terreno di prova per le tecnologie più innovative (Can-Am)
- Test in gallerie del vento
- Evoluzione dell'elettronica integrata nei veicoli
- Aumento della potenza di calcolo che ha permesso l'uso di software CFD

Equazioni di Navier-Stokes e teorema di Bernoulli

$$\begin{cases} \nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \\ \rho \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} \right) = \rho \mathbf{g} - \nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{u} \end{cases}$$

Il teorema di Bernoulli afferma che, per un fluido incompressibile ($\rho = \text{costante}$), all'aumentare della sua velocità, o diminuisce la pressione, o diminuisce l'energia potenziale del fluido stesso:

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = \text{Cost.}$$



Drag, Lift ed Efficienza

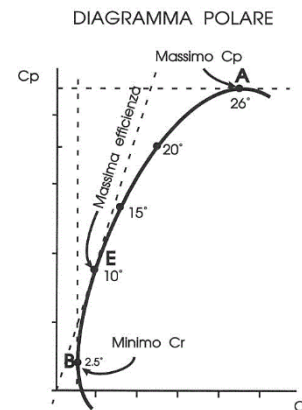
Le principali forze agenti su un corpo in movimento attraverso l'aria sono resistenza (drag) e portanza (lift)

$$L = \frac{1}{2} \rho S u^2 C_L$$

$$D = \frac{1}{2} \rho S u^2 C_D$$

In ambito automobilistico è essenziale tenere in considerazione l'efficienza aerodinamica, che lega le due forze sopracitate

$$E = \frac{L}{D}$$

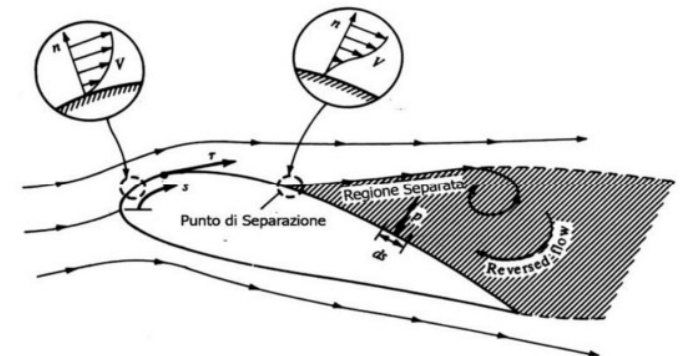


Strato Limite

Strato vicino alla parete nel quale le forze viscose non possono essere trascurabili

Numero di Reynolds: parametro fondamentale che descrive il rapporto tra le forze d'inerzia e le forze d'attrito viscose

Distacco dello strato limite dovuto ad un gradiente di pressione avverso che causa un aumento notevole di drag e stallo del profilo



FRONT END

- **Splitter**

Piano orizzontale che si estende parallelo al terreno montato alla fine del paraurti frontale

Bilanciare la distribuzione di downforce tra parte anteriore e posteriore quando il veicolo è in movimento

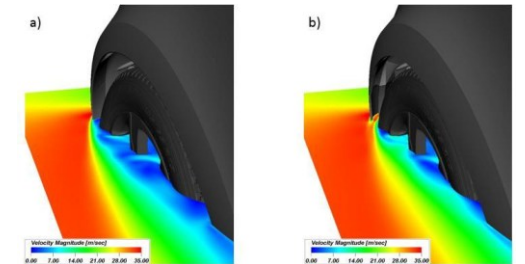
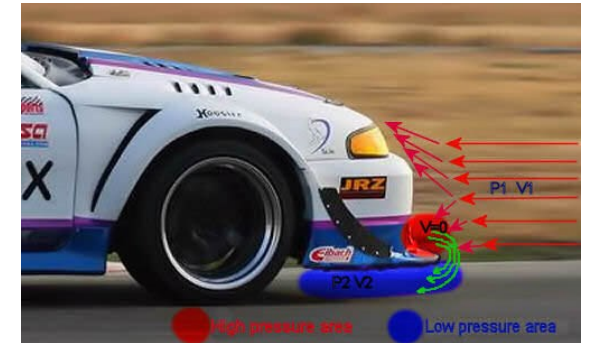
- **Air Dams**

Prese d'aria modellate appositamente le quali hanno un duplice compito: quello di ridurre eventuale lift anteriore e di ridurre la resistenza aerodinamica

Air Curtains e S-ducts

- **Canard**

Sono piccole appendici aerodinamiche applicate allo spoiler anteriore vicino alle estremità di un'auto per creare deportanza

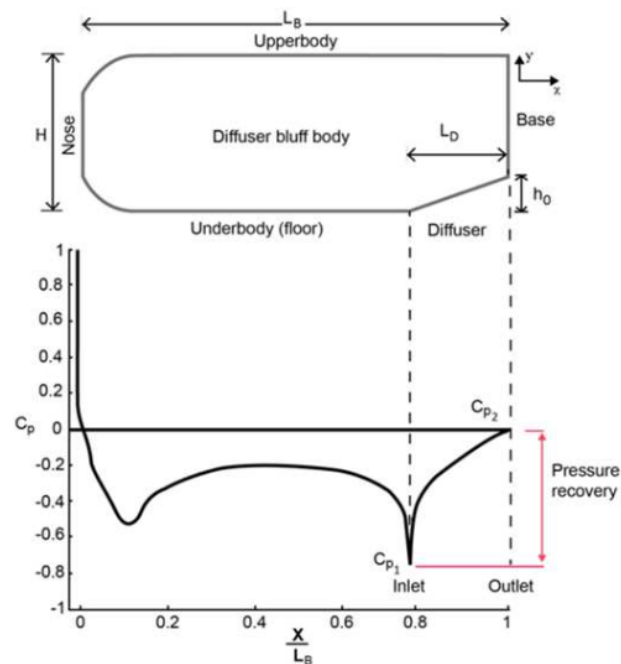


UNDERBODY

- Diffusore**

Sezione aumenta gradualmente dall'inizio alla fine con una perdita progressiva di energia cinetica che viene convertita in pressione

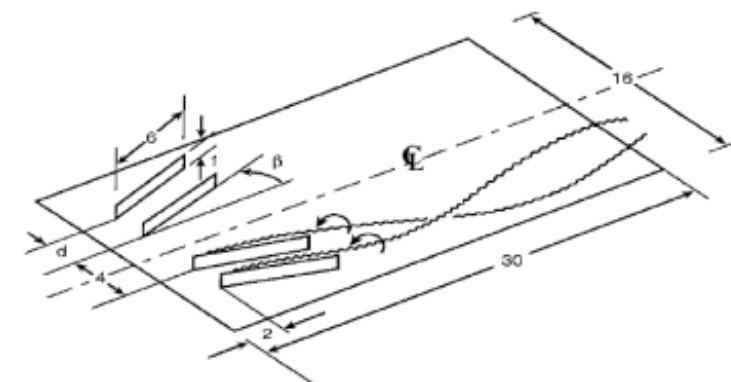
La sua peculiarità è l'altissima efficienza dato che produce pochissima resistenza aerodinamica rispetto alla downforce generata



- Vortex Generators**

Piccoli ostacoli, posti sulla superficie, i quali provocano un minuscolo “rimescolamento” dell’aria, re-energizzando lo strato limite che, diventando di tipo turbolento e non più laminare resiste al distacco

Devono essere progettati in maniera scrupolosa poichè il vortice è un fenomeno dissipativo che aumenta il drag



REAR END

- **Rear wing e spoiler**

Lo spoiler viene montato direttamente sulla carrozzeria dell'auto mentre la rear wing viene installata su appositi supporti

Componenti utilizzati per creare deportanza e ridurre il lift posteriore, lavorando in simbiosi con il diffusore

Utilizzo di ala a più elementi per aumentare l'angolo di attacco e di endplates per ridurre le vorticità dell'ala finita

- **Gurney flaps**

Sono supplementi aerodinamici molto ridotti, hanno un'altezza di circa 1-5 % rispetto alla corda dell'ala, montati perpendicolarmente alla parte in pressione lungo il trailing edge



Nati per ovviare i limiti statici dei sistemi fissi e consentono di rispondere in tempo reale ai requisiti del moto

Active air flaps



Dispositivi aerodinamici attivi che utilizzano flap mobili la cui posizione angolare viene regolata in risposta a dei parametri operativi per modulare il flusso d'aria



Active Grills shutter



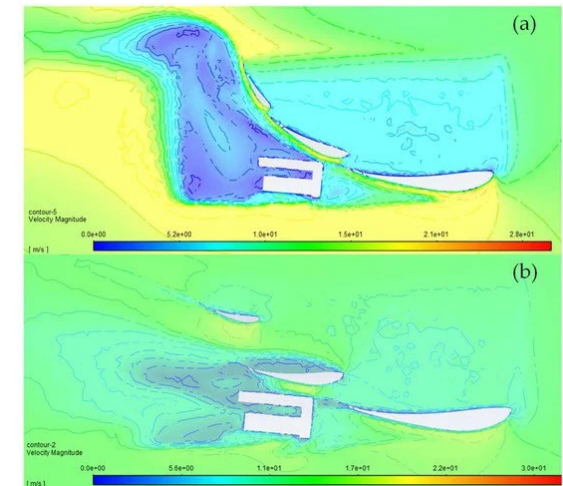
Active diffuser Flaps



Active Body flaps

DRS (Drag Reduction System)

Sistema aerodinamico attivo introdotto inizialmente nella formula 1 che usa l'apertura di un sistema muti elemento nella rear wing del veicolo per ridurre drasticamente il drag fino all'80%

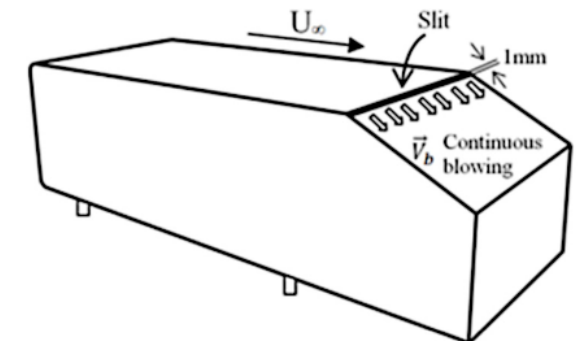
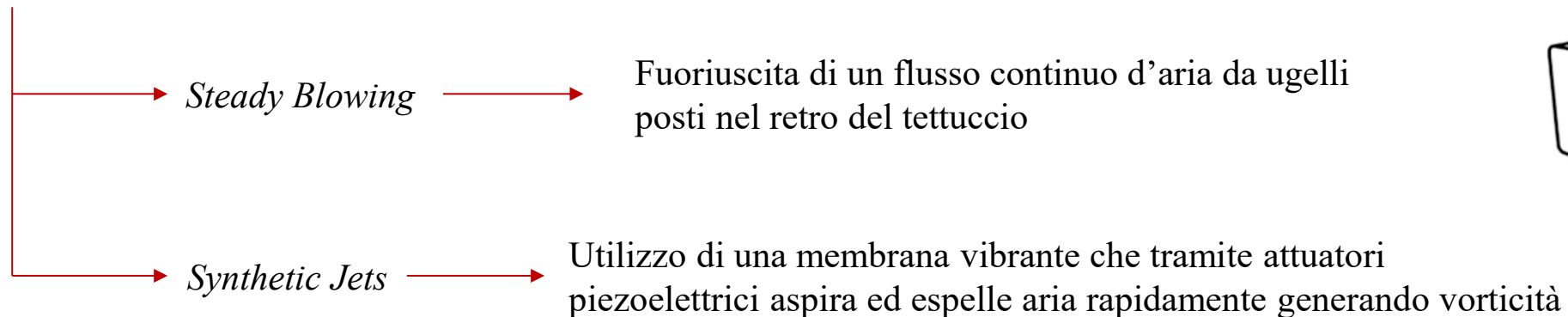


Active Ride Height

Modifica l'angolo di rake tramite le sospensioni del veicolo per variare l'altezza da terra del sottoscocca per spostare il punto di carico aerodinamico e migliorare l'inserimento in curva

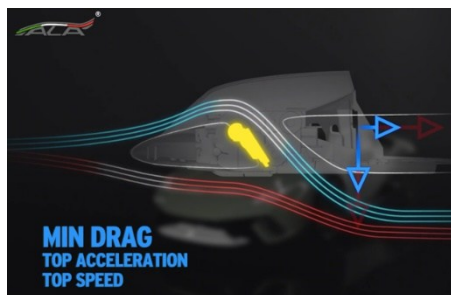
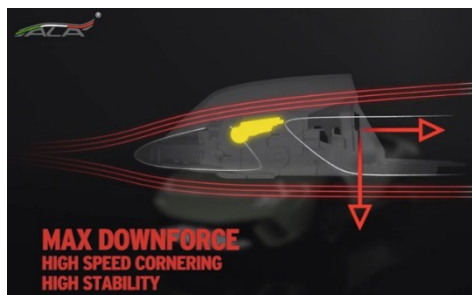


Active Flow Control

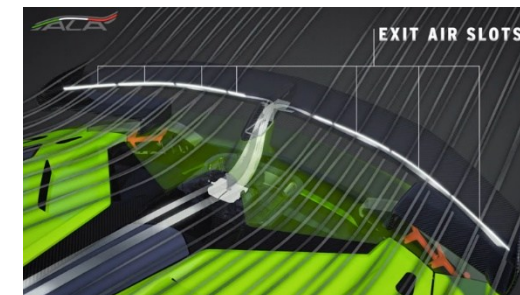


Introduzione del sistema ALA (Aerodinamica Lamborghini Attiva)

Funzionamento splitter anteriore



Funzionamento della rear wing cava



- Aero Vectoring: la canalizzazione dell'ala cava posteriore è sdoppiata e controllata da due elettrovalvole indipendenti; la parte più interna alla curva rimane chiusa mentre l'altra metà rimane aperta



Questa relazione ha fornito una panoramica su quanto sia importante al giorno d'oggi l'aerodinamica in ambito automotive trattando i diversi sistemi aerodinamici fissi e attivi utilizzati

Come si è visto nell'ambito della performance questi studi hanno come obiettivo principale la ricerca di un giusto equilibrio tra drag aerodinamico e deportanza

Nonostante si sia arrivati ad un punto molto avanzato questi studi continuano tutt'oggi a perfezionarsi, come visto nei casi applicativi, cercando di sfruttare le tecnologie innovative degli ultimi anni come l'uso di materiali a memoria di forma o l'integrazione dell'intelligenza artificiale

- “Aerodynamics of Road Vehicles: From Fluid Mechanics to Vehicle Engineering”, 4a ed. Warrendale, PA: SAE International, W.-H. Hucho – 1998
- “Race Car Aerodynamics: Designing for Speed”, 2a ed. Cambridge, MA: Bentley Publishers, J. Katz - 1995.
- “Aerodinamica”, 2a ed. Padova: CEDAM, G. Graziani – 2007
- “Fundamentals of Aerodynamics”, 6a ed. New York, NY: McGraw-Hill, J. D. Anderson Jr. – 2016
- “Aerodynamic Effect of the Gurney Flap on the Front Wing of a F1 Car and Flow Interactions with Car Components” – M. Basso, C. Cravero, D. Marsano
- “CFD-Based research on control strategy of the opening of Active Grille Shutter on automobile” - JiaCheng Li, YaDong Deng, YiPing Wang, Chuqi Su, Xun Liu
- “A Review of Active Aerodynamic Systems for Road Vehicles” – J. Piechna
- “Review of research on vehicles aerodynamic drag reduction method”, International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering 14(2):35-47,2014 - M.N. Sudin, M. A. Abdullah, S. A. Shamsudin, F. R. Ramli, M. M. Tahir
- “An Overview of Drag Reduction Methods in Road Cars” – U. Ravelli, S. Ravelli
- Automobili Lamborghini S.p.A., "Focused on Performance: The new Lamborghini Huracán Performante" Press Release, Sant'Agata Bolognese, Italy, Mar. 2017.