

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

Aerodinamica delle auto da corsa- dagli anni Sessanta ad oggi

Tutor universitario:

Prof. Francesco Picano

Laureando:

Giacomo Putignano

Padova, 14/03/2022

Perché l'automobilismo sportivo presenta forme così particolari?

Prima parte

Aerodinamica di base delle auto da corsa:

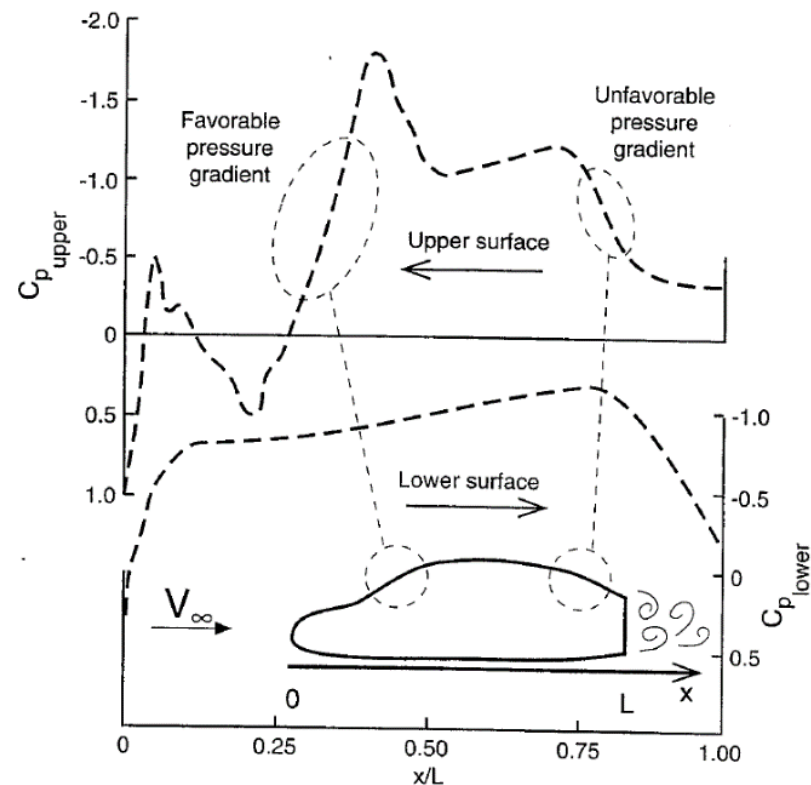
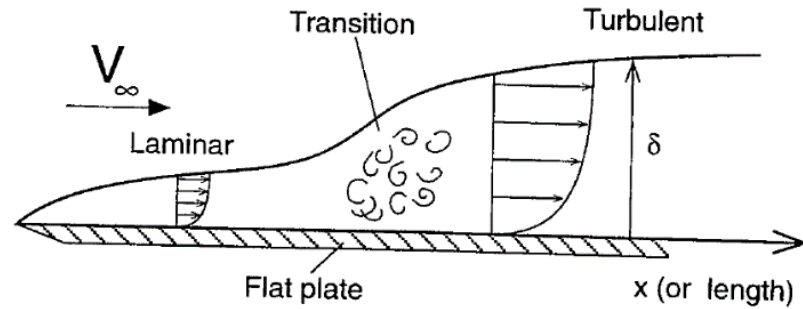
- quali forze agiscono
- come generare le forze
- come misurare le forze

Seconda parte

Evoluzione tecnica in F1:

- riduzione della resistenza
- introduzione delle ali
- nascita dell'effetto suolo
- obbligo di fondo piatto

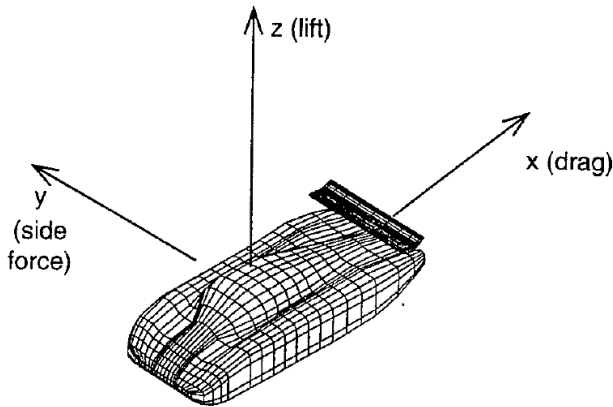
AERODINAMICA DI BASE DELLE AUTO DA CORSA



- Velocità nulla sulla superficie a causa della viscosità e resistenza di strato limite
- Condizione laminare e turbolenta dello strato limite
- Strato limite turbolento ritarda separazione del flusso

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} = \text{cost.}$$

- Coefficiente di pressione $C_p = 1 - v/v_\infty^2$
- Separazione del flusso sul lato posteriore e resistenza di forma
- Gradiente di pressione favorevole e gradiente di pressione sfavorevole



Componenti che contribuiscono alla resistenza:

- Resistenza da strato limite, $\Delta C_D = 0.04-0.05$
- Resistenza di forma, $\Delta C_D = 0.00-0.30$
- Resistenza indotta, $\Delta C_D = 0.00-0.60$

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho v_{\infty}^2 A}$$

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho v_{\infty}^2 A}$$

$$C_Y = \frac{Y}{\frac{1}{2}\rho v_{\infty}^2 A}$$

Componenti che contribuiscono alla portanza:

- Corpo vettura, $\Delta C_L = 0.35-(-0.10)$
- Alettoni, $\Delta C_L = 0.00-(-2.00)$
- Interazione ala-corpo vettura, $\Delta C_L = 0.35-(-2.00)$

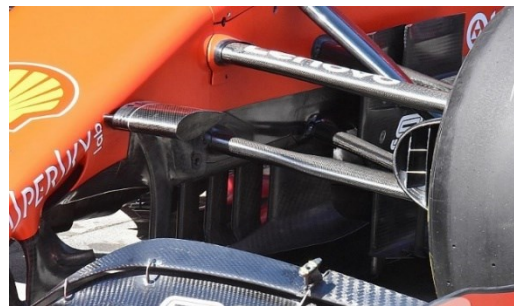
$$\dot{m} = \rho v A = \text{cost.}$$

Tubo di Venturi

L'aria in un condotto assume un certo valore di pressione interna, che rimane costante lungo il percorso.

Dall'equazione di continuità, ad un restringimento del tubo corrisponde un'accelerazione del flusso a cui segue un aumento di pressione dinamica e una diminuzione della pressione statica.

Tale fenomeno viene sfruttato nel fondo dell'auto, nel funzionamento dei deviatori e delle pance rastremate.



$$p_{tot} = p_s + p_d = p^{atm} + \frac{1}{2} \rho v^2$$

Effetto Coanda

Fenomeno che spiega la capacità di un flusso in movimento di aderire alle superfici vicine.

Dovuto all'effetto combinato di attrito e adesione, permette di guidare la corrente lungo le superfici dell'auto.

Tale fenomeno rende possibile l'utilizzo di elementi come le pance rastremate e gli alettoni; senza l'effetto Coanda, l'aria non riuscirebbe ad aderire alle pareti, rendendo inutili appendici del genere

Test su strada

Più complicati e costosi da eseguire rispetto ad un test in galleria del vento, sono possibili solo quando esiste il modello reale. Poco affidabili a causa dei valori ottenuti indirettamente, diventano utili per valutare gli incrementi nelle misurazioni.

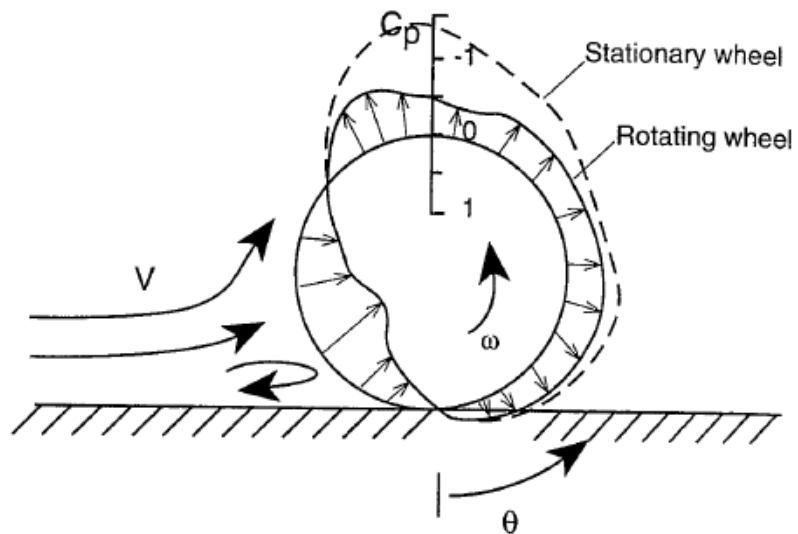
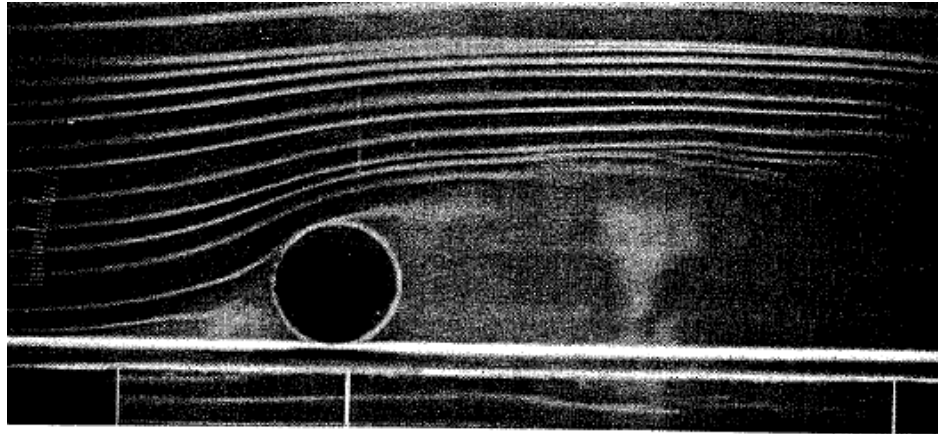
Metodi computazionali

Basati su equazioni complesse, risultano dispendiosi in termini di tempo e costo per geometrie estremamente complicate. Permettono di conoscere da subito il comportamento del flusso in tutti i suoi punti e modificare di conseguenza il progetto del veicolo.

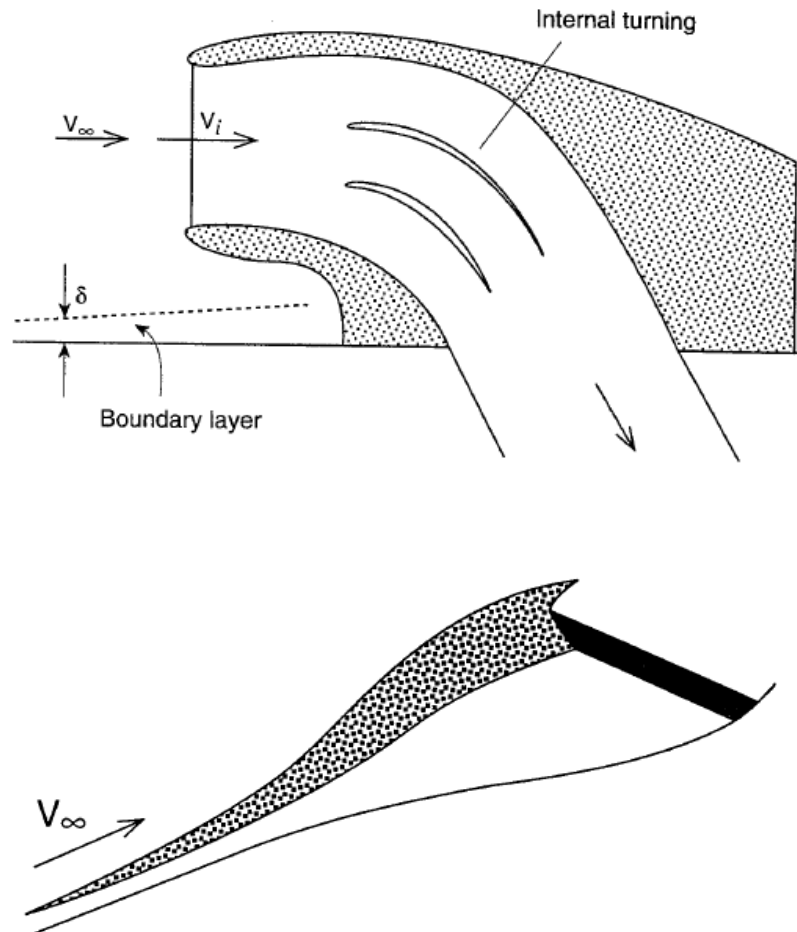
Galleria del vento

Rappresenta la soluzione più diffusa ed utilizzata. I dati forniti non sono estremamente accurati, ma permettono di avere un'idea qualitativa completa del problema che si sta affrontando.

I principali problemi riguardano la scelta della dimensione del modello e la presenza del suolo stazionario.

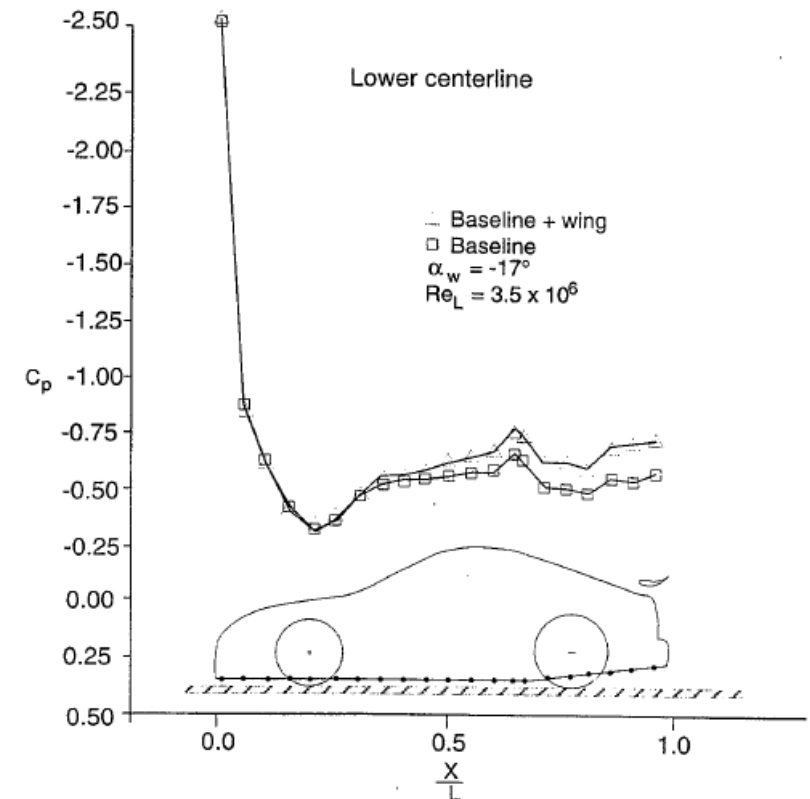
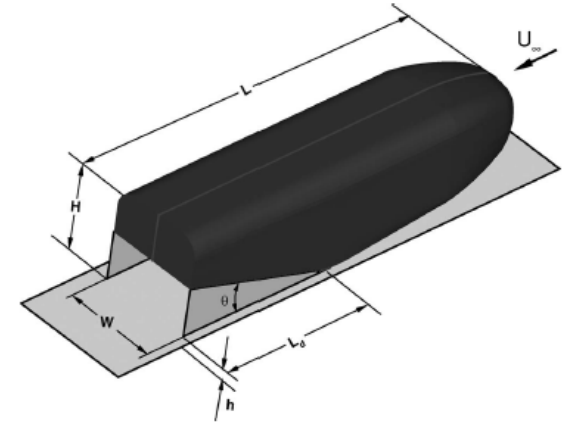


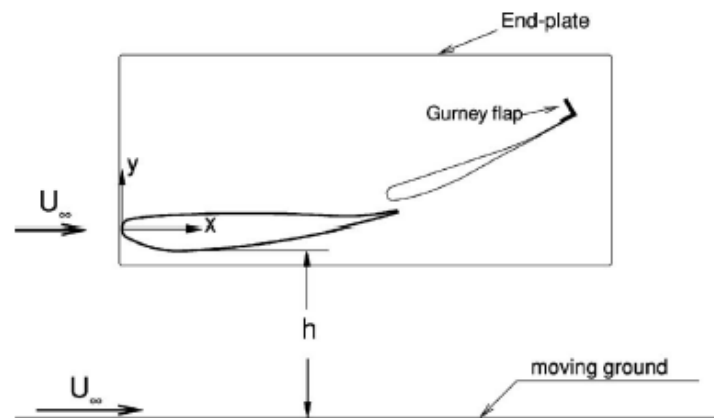
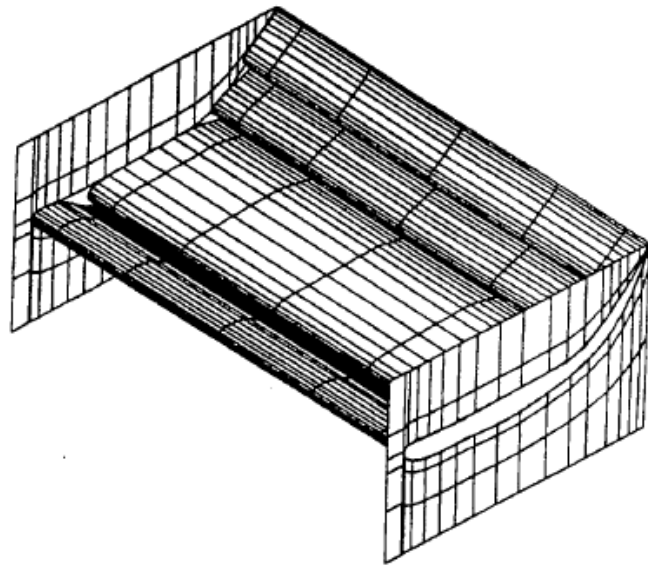
- Contribuiscono fino al 40% della resistenza totale, disturbano il flusso sulle altre componenti e producono portanza verso l'alto
- Somiglianza con cilindro stazionario vicino al suolo, ma punto di separazione in posizione più avanzata nel caso reale
- Nella parte anteriore, campo di pressioni relativamente positivo: possibilità di montare una piastra orizzontale per generare ulteriore deportanza
- Possibilità di ridurre la resistenza in vari modi: parafrangente sagomato e copricerchio liscio, deflettori, bandella laterale estesa dell'ala anteriore



- Aperture poste all'esterno per convogliare parte del flusso all'interno della vettura
- Rallentamento del flusso che imbecca i condotti causa aumento di pressione e quindi di resistenza
- Flusso che continua a scorrere esternamente potrebbe separare quando deviazioni troppo intense
- Spesso utilizzate per funzioni di raffreddamento: l'aria espulsa da questi sistemi aumenta lo spessore locale dello strato limite ed è più probabile la separazione

- Flusso sul fondo accelera nella parte anteriore e in corrispondenza del diffusore si espande e ritorna a velocità normale, producendo deportanza in maniera più efficiente e riducendo la resistenza rispetto ad un alettone.
- Genera forza verso il basso deviando verso l'alto il flusso sul fondo
- Stretta relazione con zona inferiore dell'ala posteriore per attirare più aria dal fondo
- Distanza dal suolo ridotta garantisce miglior effetto suolo, ma rischia di portare a «stallo» del diffusore





- Rispetto a profili aeronautici: subiscono vicinanza di carrozzeria e ruote, generano vortici di estremità intensi a causa del rapporto d'aspetto ridotto, risentono della prossimità del suolo
- Ala posteriore: risente del flusso disturbato dalla carrozzeria, genera carico sul retrotreno e gestisce il flusso sul fondo insieme al diffusore, incremento in portanza massima, al crescere dei profili utilizzati aumentano deportanza massima e angoli d'attacco utilizzabili
- Ala anteriore: investita da flusso indisturbato, lavora in prossimità del suolo, carica l'asse anteriore e serve per minimizzare i disturbi sulle altre parti della vettura
- Corretto funzionamento grazie alla presenza di nolder, paratie laterali e soffiaggi

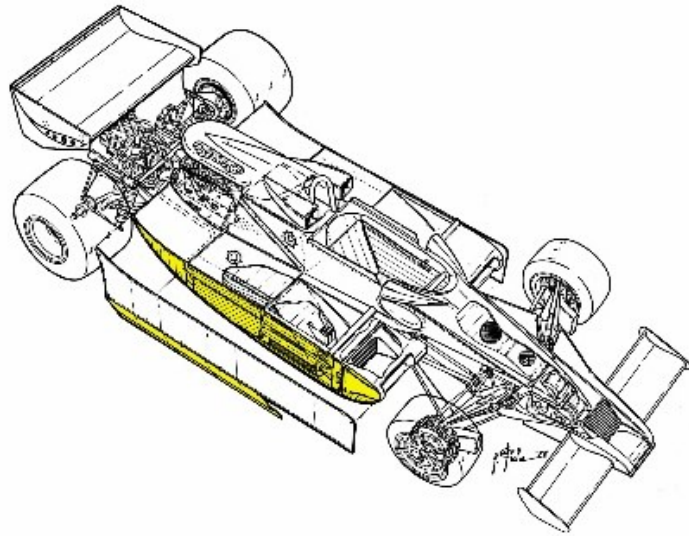
EVOLUZIONE TECNICA IN FORMULA UNO



- 1961: la cilindrata viene ridotta a 1500cc, così meno potenza a disposizione
- Riduzione maniacale della resistenza: carrozzerie più esili, motore spostato nella zona posteriore, restringimento della sezione frontale
- Vetture «a sigaro»: forme affusolate per ridurre al minimo la resistenza, ma corpo vettura neutro e generazione di portanza ad alte velocità



- 1966: aumento della cilindrata a 3000cc porta a seri problemi di tenuta di strada
- Ferrari 312, 1968: prima monoposto di F1 dotata di alettone completo, montato sopra al motore
- Inizialmente profili di derivazione aeronautica, simmetrici, montati con angolo di incidenza negativo. Successivamente, profili disegnati appositamente per il caso automobilistico
- Ali producono deportanza ma generano anche vortici di disturbo alle estremità, ulteriori disturbi provenienti da ruote di grandi dimensioni



- «Effetto suolo»: attirare grandi portate d'aria nella zona inferiore, aumentandone la velocità per generare zona di bassa pressione che attiri auto verso terra.
- Lotus T79, 1978: carrozzeria larga, fondo a forma di ala rovesciata e minigonne per sigillare la zona inferiore
- Il carico passa da poche centinaia di chilogrammi ad oltre due tonnellate
- Ferrari 312 T4, 1979: sviluppo in galleria del vento permette di scoprire interazione diffusore-ala posteriore
- Problema quando la vettura tocca il suolo («effetto delfino»)



- 1983: viene imposto un fondo piatto nella zona compresa tra i due assi
- Vetture «a freccia»: si limita estensione in pianta per paura che aria nella zona inferiore generi portanza che sollevi l'auto
- Successivamente, si sfruttano zone non vincolate dal regolamento: introduzione del diffusore e pance rastremate verso il retrotreno, si crea una sorta di «ala» dal fondo
- 1991, Lambo 291: fondo piatto, diffusore integrato con ala posteriore, gruppo “muso-ala anteriore” più elaborato, paratie di estremità dell'ala anteriore integrate con flusso attorno alla ruota, pance laterali spioventi verso la zona posteriore

Prima parte

Gli obiettivi principali da raggiungere sono due: la riduzione della resistenza aerodinamica e la generazione di deportanza.

I parametri che gestiscono queste forze sono pressione e velocità, legate dall'equazione di Bernoulli: bisogna creare un flusso accelerato nella parte inferiore, in modo da avere una bassa pressione che tenga l'auto ancorata a terra.

A partire dall'equazione di Bernoulli si comprende il significato di pressione totale, tubo di Venturi ed effetto Coanda, fondamentali per gestire il flusso attorno alla vettura.

L'importanza di questi fenomeni viene evidenziata nel funzionamento dei vari elementi presenti sull'auto.

Seconda parte

Si evidenzia un progressivo cambio di prospettiva: l'iniziale volontà di ridurre la resistenza diventa sempre di più bisogno di creare deportanza.

Per ottenere livelli di carico sempre maggiori, si iniziano ad elaborare soluzioni estremamente innovative e rivoluzionarie: la generazione di deportanza attraverso l'utilizzo di alettoni e lo sviluppo dell'effetto suolo.

Sviluppi successivi nel corso degli anni rappresentano soluzioni diverse, imposte dalle modifiche regolamentari, per sfruttare questi due principi.

- [1] Katz J., *Race Car Aerodynamics*, Bentley Publishers, 2005
- [2] Katz J., *Race Car Aerodynamics*, Bentley Publishers, 1995
- [3] Zhang X., Toet W., Zerihan J., *Ground effect Aerodynamics race cars*, 2006
- [4] Toet W., *Aerodynamic testing of open wheeled racing cars*, 2004
- [5] Toet W., *Aerodynamics and aerodynamic research in Formula One*, 2013
- [6] Mc Cabe G., *Explanation and discovery in aerodynamics*, 2008
- [7] Forghieri M., *Capire la Formula 1*, edizioni Minerva, 2021
- [8] <http://www.formula1-dictionary.net/>
- [9] <http://forum.motorionline.com>
- [10] <https://it.wikipedia.org/>
- [11] <https://www.motorsport.com/>
- [12] <https://www.fltechnical.net/>
- [13] <https://www.autosport.com/>
- [14] <https://www.newsfl.it/>