2013

L'aerodinamicità e le auto

Pietro Ciccone

14/06/13

Presentazione

Questo testo si rivolge a tutti quei lettori che sono interessati alla ricerca scientifica applicata nella definizione delle caratteristiche aerodinamiche delle automobili.

Ho cercato di trattare gli argomenti in modo sintetico e non particolarmente complesso al fine di stimolare un eventuale approfondimento successivo.

Il testo è corredato di alcune immagini, tabelle, dati ed esempi che hanno colpito il mio interesse in tanti anni di lettura di articoli tecnici riguardanti prove su strada e analisi comparative. Ho cercato libri e pubblicazioni nel corso della mia vita che hanno contribuito alla formazione delle mie competenze. Ho anche capito che più si studia un argomento e più ci si accorge che c’è tanto da imparare. Senza pretese esprimo i miei concetti che, grazie alla lettura, ho arricchito nel tempo.

Ho sentito che è arrivato il momento di farne una sintesi e di offrirla a tutti quelli che ne fossero interessati.

Particolarmente mi rivolgo ai giovani affinché possano sviluppare le loro grandi potenzialità e contribuire, un domani, a cercare soluzioni sempre nuove alle varie situazioni che si troveranno ad affrontare sia in ambito lavorativo sia sociale.

La curiosità intellettuale è uno dei motori dello sviluppo umano e, trovare le risposte, è il giusto completamento della ricerca.

Pietro Ciccone

Temi trattati

- Lo spettacolo della natura e il sogno di volare
- L’horror vacui
- La resistenza dell’aria
- Il coefficiente di penetrazione aerodinamico
- La riduzione della resistenza d’attrito
- Il controllo della resistenza indotta
- L’importanza della forma
- La sezione frontale
- Il Cx S
- La climatizzazione
- La deportanza
- La portanza
- L’effetto suolo
- Il bilancio energetico

Lo spettacolo della natura e il sogno di volare

L’osservazione dei fenomeni naturali ha affascinato noi esseri umani fin dalle origini e ha generato lo sviluppo delle nostre conoscenze facendo, della specie vivente alla quale apparteniamo, quel che oggi siamo.

Quando si alza lo sguardo al cielo e si resta ammirati dal volo degli uccelli, nasce il desiderio di comprendere e di emulare ciò che la natura ha realizzato.

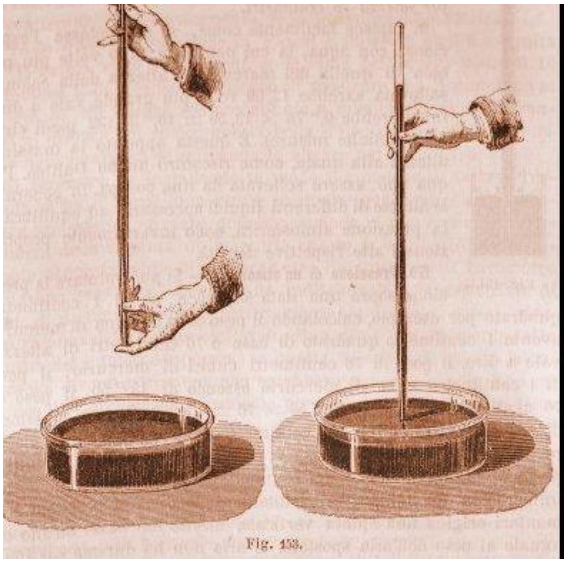
Fuoco, terra, acqua e aria sono gli elementi fondamentali e l’aria, tra questi, riempie tutto lo spazio che può occupare. Nell’aria siamo immersi e di aria ci nutriamo.

La sua densità varia in funzione del calore. Le variazioni naturali di densità generano sia lievi brezze sia spaventosi tornado e, proprio guardando di cosa è capace la forza del vento, si resta stupiti della loro potenza.

E' nella relazione tra la densità dell’aria, la sua particolare viscosità e la velocità di un oggetto che si sposta in essa che la forma di quest’ultimo assume la sua rilevanza.

L’horror vacui

Fin dall’antica Grecia il grande filosofo Aristotele (383-322 a.C.) sostenne che i gas (e quindi l’aria, che di gas è composta) occupassero tutto lo spazio messo a loro disposizione. La sua teoria era in antitesi con quanto affermò Archimede (287-212 a.C.) che riteneva lo spazio vuoto come il luogo necessario alla sussistenza delle strutture atomiche in movimento (spazio interatomico). Tanti grandi filosofi hanno teorizzato su questi fondamentali concetti scientifici e hanno tracciato le basi delle attuali conoscenze. Tra queste illustri personalità, Evangelista Torricelli, nel 1644, dimostrò che il livello di mercurio contenuto in un sottile cilindro di vetro, non restava costante al variare di alcune condizioni. Eseguì il seguente esperimento: chiuse l’estremità di un tubo di vetro, lo riempì con il mercurio e lo rovesciò affinché il lato aperto fosse immerso in una vaschetta contenente anch’essa mercurio e notò che il mercurio si posizionava ad un certo livello del tubo (76 cm) senza svuotarlo, nonostante il suo peso specifico



fosse molto elevato. Il mercurio si spostava verso il basso e lasciava uno spazio vuoto nella sommità del tubo. Inizialmente pensò che fosse la depressione provocata dal "vuoto", venutosi a creare nel tubo di vetro, a trattenere il mercurio a una certa altezza, ma, ripetendo l'esperimento a quote d'altezza diverse rispetto al livello del mare, ottenne risultati differenti. Torricelli capì che a mantenere la colonnina di mercurio ad un'altezza determinata è lo stesso mercurio situato nella vaschetta perché, su di esso, grava l'atmosfera con una pressione che dipende dalla sua densità e dalla forza di gravità terrestre. Affermò che la pressione atmosferica è in stretta relazione con la forza gravitazionale e che gli spazi vuoti non attirano materia nel loro interno, ma la materia, spinta dalla forza di gravità, riempie gli spazi vuoti.

La pressione atmosferica è una forza di cui tenere conto

Da queste riflessioni è evidente che un corpo in movimento sposta continuamente una quantità d'aria pari al suo volume che, a causa dell'horror vacui, tende a riempire gli spazi vuoti creati dal corpo in movimento. Più la massa d'aria spostata è importante, più gli spazi vuoti lasciati sono grandi e più lo sforzo che si deve compiere per avanzare è intenso.

La resistenza dell'aria

E' la forza che si oppone al movimento di un corpo in un fluido. Essa dipende fondamentalmente dai seguenti fattori:

- l'attrito del fluido nel quale avanza il corpo;
- il tipo di superficie e la viscosità del fluido;
- gli effetti indotti dalla generazione di comportamenti "portanti" o "deportanti" che tendono rispettivamente a sollevare l'oggetto in movimento o ad abbassarlo;
- la particolare forma dell'oggetto e il suo ingombro;
- la velocità di avanzamento del corpo in movimento.

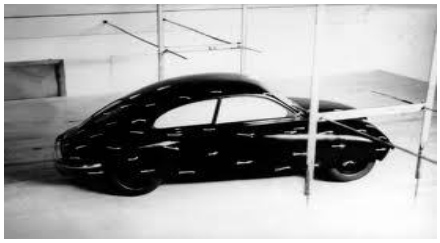
Il coefficiente di penetrazione in aerodinamica

Da queste considerazioni si possono comprendere quali siano le grandezze capaci di aumentare la resistenza all'avanzamento e si possono intravedere i parametri su cui agire per ridurre gli effetti negativi e la conseguente diminuzione del rendimento

energetico. Un coefficiente chiamato Cx rappresenta la sintesi della relazione esistente tra la resistenza d'attrito, la resistenza indotta e la forma.

Esempi di forma e relativo comportamento aerodinamico

Mercedes CLA 2013 122Cv 210Km/h



Saab 92 '60 25Cv 105Km/h

Volkswagen XL1 2013 48Cv 160Km/h

Alfa Romeo 24HP Castagna 1914 73Cv 139Km/h

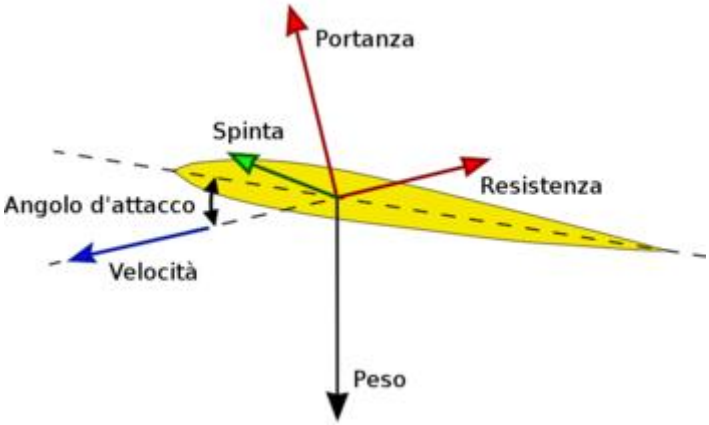
La riduzione della resistenza d'attrito

La superficie del corpo che si muove in un fluido è a diretto contatto con le molecole del fluido nel quale avanza e quindi tende a frenarle mentre le molecole appena più distanti hanno una velocità piena e quindi maggiore. Si crea un attrito tra queste differenti condizioni che porta allo scollamento del flusso viscoso dalla superficie in movimento. L'effetto è proporzionale alla velocità del mezzo e aumenta con la viscosità del fluido. Le perdite dovute a questo fenomeno prodotto nello *strato limite*, situato in prossimità della superficie del corpo in movimento, possono pesare negativamente anche per il 10% nel computo della resistenza all'avanzamento.

Il controllo della resistenza indotta

La forma dell'oggetto in movimento può generare forze che tendono a sollevarlo oppure ad abbassarlo. Basti riflettere sulla particolare forma del profilo alare la cui lunghezza della superficie superiore è maggiore di quella inferiore. È il profilo a goccia che permette l'avanzamento con il coefficiente di penetrazione tra i più bassi ottenibili, ma è anche l'elemento che consente a un mezzo pesante e ingombrante come l'aereo, di volare a condizione che ci sia un'adeguata velocità d'avanzamento.

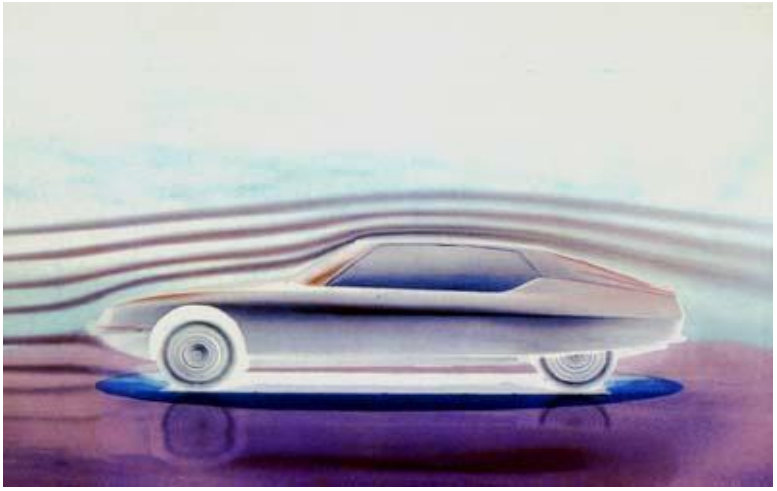
La resistenza indotta dal flusso d’aria che si divide in superiore e inferiore nel momento in cui l’ala lo fende, genera un effetto “portante” che è proporzionale alla velocità e alla particolare forma dell’ala. E’ opinione comune che il flusso superiore, dovendo percorrere un tragitto più lungo di quello inferiore, sia costretto ad accelerare per poi congiungersi al flusso inferiore in uscita alla fine del profilo alare, determinando così la differenza di pressione sulle due superfici alari che è capace di produrre una forza portante che riesca a sorreggere la massa dell’aereo e a contrastare la forza di gravità. In realtà ciò non è sufficiente. E’ importante che ci sia un “angolo d’attacco” variabile in funzione della portanza che si richiede.



Una conseguenza inevitabile consiste nella formazione di vortici nelle zone limite di distacco dei flussi e la creazione di una scia. Entrambi gli effetti accrescono la resistenza aerodinamica e richiedono molta attenzione nella determinazione del profilo alare.

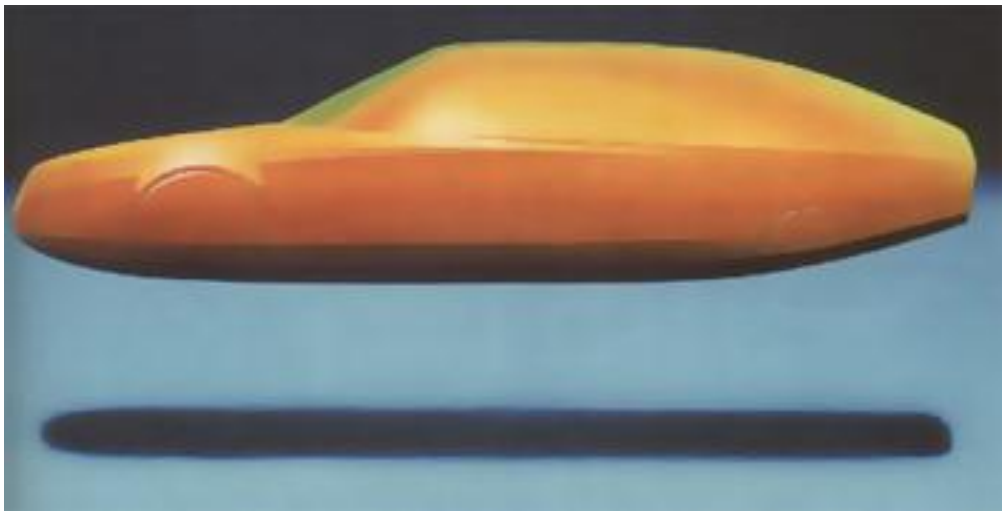
In ambito automobilistico le velocità in gioco sono molto inferiori di quelle alle quali viaggiano gli aerei. Lo sfruttamento degli spazi interni genera una forma differente e, soprattutto, un’auto non è fatta per volare, anzi, deve mantenere un buon contatto con il suolo anche alle alte velocità. La resistenza indotta, in questo caso dovrà creare un effetto “deportante” proporzionale alla velocità del veicolo, ma

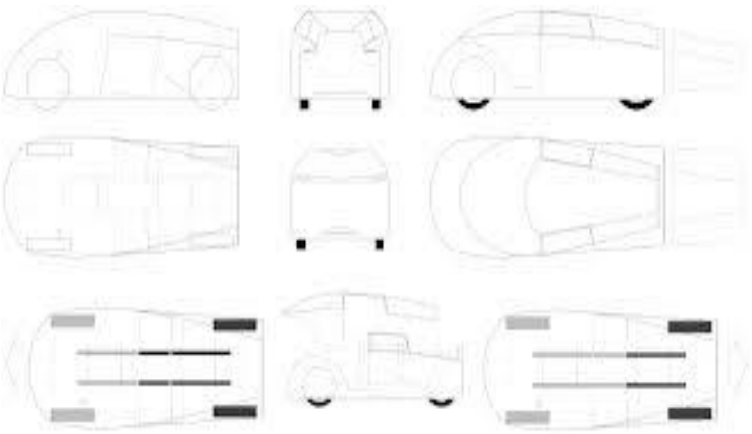
senza essere eccessivo altrimenti la resistenza aerodinamica farebbe diminuire il rendimento energetico.



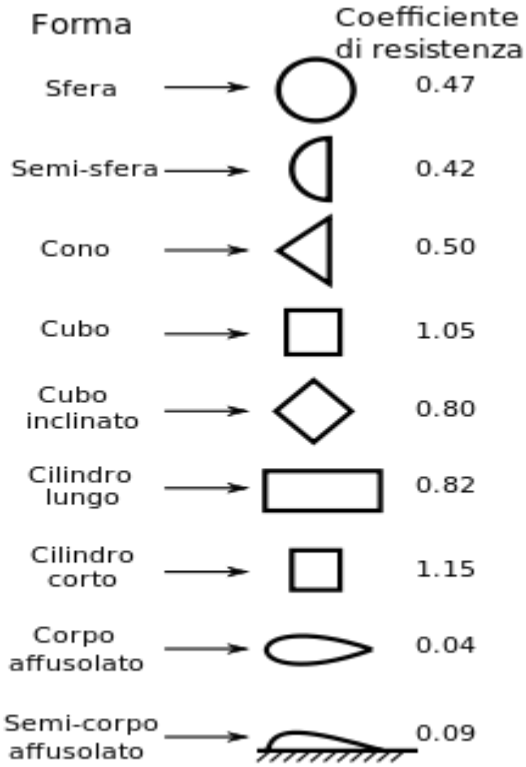
L’importanza della “forma”

L’obiettivo della riduzione del valore della resistenza aerodinamica si persegue mediante lo studio della forma dell’oggetto in movimento. La ricerca della forma è molto rilevante perché, a prescindere dalla viscosità del fluido attraversato, porta al controllo della produzione dei vortici e alla riduzione della scia.





L’assenza di continuità della superficie, provocata da elementi sporgenti come gocciolatoi, maniglie, tergicristalli, cerchi ruota, specchietti retrovisori, passaggi d’aria tra gli elementi della carrozzeria ecc., è un altro elemento fondamentale che contribuisce alla riduzione dei vortici. Poi c’è il problema di garantire una sufficiente ventilazione degli organi meccanici al fine di evitare il loro surriscaldamento e, a tal proposito, è bene tener presente che la resistenza d’attrito provocata dalla ventilazione del vano motore può raggiungere circa il 30% dell’intero valore della resistenza totale.



Misure di coefficienti di resistenza

La sezione frontale

Una ridotta sezione frontale dell’autoveicolo implica lo spostamento di una minore massa d’aria durante l’avanzamento, ma è inevitabilmente condizionata dal volume abitabile che si vuole realizzare. Arrivare a un equilibrio non è per niente facile e spesso bisogna accettare dei compromessi in fase di progettazione.

Cx S

Il prodotto ottenuto moltiplicando il coefficiente di penetrazione aerodinamico per la sezione frontale è un importantissimo indice dell’efficacia degli studi applicati alla carrozzeria. Più il suo valore è basso, minore sarà la resistenza di forma dell’auto che influirà negativamente al crescere della velocità. Anche la scelta di pneumatici troppo larghi rispetto alle effettive necessità di tenuta di strada fa crescere il valore del Cx S. Negli ultimi anni la diffusione di modelli di auto, definiti “sport utility vehicle” o, addirittura, l’impiego di veicoli “fuoristrada” nell’uso quotidiano, rappresenta, in modo esplicito, l’influenza dettata da modelli di vita spesso poco razionali che condizionano i comportamenti e di come le leggi del mercato possano andare controcorrente rispetto all’applicazione dei risultati ottenuti dall’evoluzione della ricerca scientifica.

Il Cx di un S.U.V. si attesta mediamente intorno ad un valore di 0.38 mentre la sua sezione frontale è circa 2,8 m^2 per cui il prodotto Cx S è circa 1,00. Se confrontiamo il risultato ottenuto da un’auto cosiddetta “aerodinamica” (il cui Cx sia 0,25 e la cui sezione frontale sia 2,424m^2, da cui il Cx S è 0,606) e il precedente, è evidente che, a parità di prestazioni, un S.U.V. necessiti di una potenza ben superiore per avanzare velocemente. Tutto ciò si traduce nel bisogno di motori con cilindrata maggiore, nell’utilizzo di una sovralimentazione e, conseguentemente, nell’emissione di una quantità proporzionalmente superiore di gas nocivi dallo scarico.

Esempio:

(Elaborazione personale)

Modello dell’auto (anno)	Sezione frontale S e dimensioni della carrozzeria largh. x alt.	Coefficiente di penetrazione aerodinamica Cx	Prodotto tra il valore del Cx per la misura della sezione frontale S	Cilindrata	Potenza	Massa	Velocità massima
Dacia Duster (2013)	2,42 m² 1,63 m x 1,69 m	0,42	1,016	1598 cc	77 kW 105 CV	1200 kg	165 km/h
Audi 100 (1982)	2,25 m² 1,81 m x 1,42 m	0,30	0,675	1781 cc	55 kW 75 CV	1130 kg	163 km/h
Citroen GS (1970)	1,894 m² 1,60 m x 1,35 m	0,31	0,587	1015 cc	44,7 kW 61 CV	900 kg	151 km/h
Lexus LS (2013)	2,424 m² 1,88 m x 1,47 m	0,25	0,606	4609 cc	280 kW 380 CV	2000 kg	250 km/h
Fiat Panda (2013)	2,23 m² 1,64 m x 1,55 m	0,38	0,847	1200 cc	51 kW 69 CV	940 kg	164 km/h
Volkswagen Tuareg 3,2 v6 (2002)	2,929 m² 1,93 m x 1,73 m	0,38	1,113	3189 cc	162 kW 220 CV	2214 kg	197 km/h
Citroen SM (1970)	2,095 m² 1,81 m x 1,32 m	0,33	0,691	2670 cc	125 kW 170 CV	1420 kg	220 km/h

Nello schema precedente si può notare la relazione tra il valore Cx per S e la quantità di kW necessari per sostenere la velocità massima. Bisogna tener conto dell’evoluzione tecnologica avvenuta nel corso dei decenni sia in termini di continuità delle superfici, sia nella riduzione delle resistenze meccaniche e di rotolamento degli pneumatici.

L’elenco che segue riporta il Cx di molte vetture prodotte nel tempo

(Fonte: Ideesse forum).

Cx	Automobile	Year
0.7 to 1.1	typical values for a Formula One car (downforce settings change for each circuit)	

Da 0,7 a 0,48

0.7 Caterham Seven
0.6 + a typical truck
0.57 Hummer H2 2003
0.54 Mercedes Benz G-Class
0.51 Citroën 2CV 1948
0.48 Volkswagen Beetle (original design)[1][2] 1938
0.48 Rover Mini 1998
0.48 Volkswagen Cabriolet (Rabbit Convertible)[3] 1979–1993
0.47 Lancia Aprilia 1937
0.46 Ford Mustang (coupe) 1979
0.45 Range Rover Classic 1990
0.45 Dodge Viper RT/10 1996
0.44 Ford Mustang (fastback) 1979
0.44 Peugeot 305 1978
0.44 Peugeot 504 1968
0.44 Toyota Truck 1990
0.43 TVR 3000S 1978-79
0.425 Duple 425 coach (named for its low Cd by coach standards) 1985
0.42 Lamborghini Countach 1974
0.42 Triumph Spitfire Mk IV 1971
0.42 Plymouth Duster 1994
0.41 Smart Roadster 2003
0.41 Volvo 740 (sedan) 1982
0.405 Subaru Forester 1997-2002[4]
0.40 Ford Escape Hybrid 2005
0.40 Nissan Skyline GT-R R32 1989
0.40 Chevrolet Astro 1995-2005[5]
0.39 Ford Aerostar 1995[6]
0.39 Honda Odyssey 1994-98
0.39 Chevrolet Tahoe 2006
0.39 Dodge Durango 2004
0.39 Ford Escort 5 Door 1981-1984[7]
0.39 Triumph Spitfire 1964
0.385 Nissan 280ZX 1978
0.38 Smart Roadster Coupé 2003
0.38 Smart ForTwo 1998
0.38 Lexus GX 2003
0.38 Mazda Miata 1989
0.38 Subaru Forester 2009 [8]
0.38 VW NewBeetle[9] without wing or spoiler 0.39[10] 2003
0.374 Ford Capri Mk III 1978
0.372 Ferrari F50 1996
0.37 BMW Z3 M coupe 1999
0.37 Jaguar XJ (X300/X308)
0.37 Renault Twingo
0.37 Volkswagen Tiguan 2008
0.36 Alfa Romeo 33 1983[11]
0.36 Cadillac Escalade hybrid 2008
0.36 Cadillac Fleetwood 1996
0.36 Volkswagen Jetta 1985-1992[12]
0.36 Citroën CX (named after the term for Cd) 1974
0.36 Citroën DS 1955
0.36 Chrysler Sebring 1996
0.36 Ferrari Testarossa 1986
0.36 Ford Escort 1997-2002[13]
0.36 Ford Mustang 1999
0.36 Honda Civic 2001–2005
0.36 Opel GT 1969
0.36 Subaru Impreza WRX [14] 2010
0.36 Saturn SW 1996-2001[13]
0.36 Toyota Celica Convertible 1994-1999[15]
0.355 NSU Ro 80 1967
0.35 Aston Martin Vanquish 2004
0.35 BMW Z4 M coupe 2006

Da 0,35 a 0,32

0.35 BMW M3 Convertible 2005
0.35 Dodge Viper GTS 1996
0.35 Honda Del Sol 1992–1997[13]
0.35 Jaguar XKR 2005
0.35 Lexus GX 2010
0.35 Lexus RX 2003–2009
0.35 MINI Cooper 2008
0.35 Nissan Cube 2009
0.35 Renault Clio (Mk 2) 2002 [16]
0.35 SSC Ultimate Aero 2007–present
0.35 Tesla Roadster[17] 2008
0.35 Toyota MR-2 1998
0.35 Toyota Sequoia 2007
0.35 Toyota Previa 1991-1997[18][19]
0.35 Volvo 940 (sedan) 1990
0.348 Toyota Celica Supra (Mk 2) 1982 [20]
0.342 Toyota Celica (Liftback Model) 1982
0.34 Subaru Impreza WRX (4 Door) 2009 [21]
0.34 Aston Martin DB9 2004
0.34 Chevrolet Caprice 1994
0.34 Chevrolet Tahoe hybrid 2008
0.34 Chevrolet C6 Corvette Z06 2005–present
0.34 Ferrari F40 1987
0.34 Ferrari 360 Modena 1999
0.34 Ferrari F430 F1 2004
0.34 Ford Sierra 1982
0.34 Ford Puma 1997
0.34 Geo Metro (Hatchback) 1995-1997[13]
0.34 Honda Prelude 1988
0.34 Mercedes-Benz SL (Roof Down) 2001
0.34 Nissan Altima 1993-1997[22]
0.34 Peugeot 106 1991
0.34 Saturn SL2 1991-1995[23]
0.34 Subaru Legacy Wagon 1993-1999[24]
0.34 Toyota Supra (with factory 3 piece turbo wing) 1989–1990
0.34 Toyota Corolla (Wagon) 1993-1997[25]
0.338 Chevrolet Camaro 1995
0.33 Audi A3 2006
0.33 Acura Integra 1993-2001[26]
0.33 Citroën SM 1970
0.33 Honda Civic Hatchback 1988-1991[13]
0.33 Dodge Charger 2006
0.33 Ford Crown Victoria 1992
0.33 Ford Fusion 2010 [27]
0.33 Ford Escort ZX2 1998-2003[28]
0.33 Honda Accord Sedan 2002
0.33 Lamborghini Murcielago 2001
0.33 Lexus RX 2010
0.33 Mazda RX-7 FC3C 1987
0.33 Nissan 200SX Coupe 1995-1998[29]
0.33 Peugeot 206 1998
0.33 Peugeot 309 1986
0.33 Renault Modus 2004
0.33 Subaru Impreza WRX STi 2004
0.33 Saturn SL2 1999[30]
0.33 Toyota Corolla 1993-1997[13]
0.33 Toyota Supra (without wing) 1989–1990
0.329 Chevrolet Corsica 1989-2006[31]
0.324 Cobalt SS Supercharged 2005
0.321 Toyota Matrix 2003-2008[32]
0.32 Volkswagen Golf MK3 1991
0.32 AMC Pacer 1975–1980
0.32 Ferrari California 2008
0.32 Buick Riviera 1995
0.32 BMW M3 Coupe 2005
0.32 Dodge Avenger 1995
0.32 Ford Taurus 1992-1995[33]
0.32 Geo Metro (Sedan) 1995-1997[13]

Da 0,32 a 0,31

0.32 Honda Accord (Coupe) 2002
0.32 Honda NSX 1990
0.32 Honda Civic (Coupe) 1992-1995[13]
0.32 Honda Civic (Hatchback DX) 1996-2000[34]
0.32 Honda Civic (Sedan EX) 1996-2000[35]
0.32 Mazdaspeed3 2007
0.32 McLaren F1 1992
0.32 Mercedes-Benz 190E 2.5-16/2.3-16
0.32 Nissan Altima 1998-2001[36]
0.32 Nissan 240SX Coupe 1995-1998[37]
0.32 Nissan 300ZX 1989
0.32 Nissan Maxima 1997
0.32 Porsche 997 GT2 2008–present
0.32 Peugeot 406 1995
0.32 Peugeot 806 1994
0.32 Scion xB 2008
0.32 Suzuki Swift 1991
0.32 Toyota Celica 1994
0.32 Toyota Celica 2000-2005[38]
0.32 Toyota Supra (N/A with wing and turbo models) 1993
0.32 Toyota Supra (with factory turbo wing) 1987–1988
0.32 Toyota Tercel Sedan 1995-2000[39]
0.32 Volkswagen GTI Mk V 2006
Production cars (continued)
Cd Automobile Year
0.315 Saturn SL1 1996-1999[40]
0.31 Audi A4 B5 1995
0.31 BMW 7-series 2009
0.31 Buick Park Avenue 1996
0.31 Cadillac CTS-V 2005
0.31 Citroën AX 1986
0.31 Citroën GS 1970
0.31 Eagle Vision 1995
0.31 FIAT Coupé 1995[41]
0.31 Ford Falcon 1995
0.31 Ford Thunderbird 1989-1997[42]
0.304 Ford Probe 1988-1992[43]
0.31 Holden Commodore 1998
0.31 Honda Civic (Sedan) 2006
0.31 Honda Civic (Hatchback) 1992-1995[13]
0.31 Infiniti G37 (Coupe) 2008-2011[44]
0.31 Kia Rio (Sedan) 2001[45]
0.310 Lamborghini Diablo 1990
0.31 Lexus LFA
(wing retracted) 2010
0.31 Mazda RX-7 FC3S 1986
0.31 Mazda RX-7 FD R1(R2) 1993
0.31 Mazda RX-8 2004
0.31 Mazda MX-6 1992–1997
0.31 Nissan Tiida / Versa 2004
0.31 Peugeot 307 2001
0.31 Porsche 997 Turbo/GT3 2006
0.31 Renault 25 1984

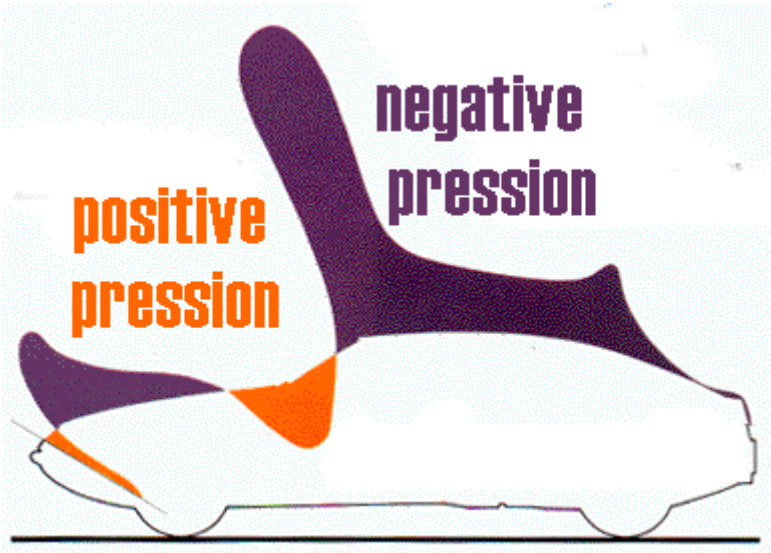
Da 0,31 a 0,195

0.31 Saab Sonett III 1970
0.31 Saturn SC2 2001
0.31 Scion xA 2004
0.31 Toyota Avalon 1995–2000
0.31 Toyota Corolla 1998-2002[46]
0.32 Toyota Paseo 1995-1999[47]
0.31 Toyota RAV4 2006
0.31 Toyota Supra (N/A; without factory wing) 1993
0.31 Volkswagen GTI Mk IV 1997
0.30 Audi 100 1983
0.30 Alfa Romeo 164 Sedan 1988
0.30 Ford Taurus 1996-1999[48][49]
0.30 Honda Accord Sedan 2003, 2005–2007
0.30 Honda NSX 2002
0.30 Honda CRX DX/Si [50] 1988
0.30 Honda Odyssey 2005
0.30 Hyundai Sonata 2006
0.30 Koenigsegg CCX 2006
0.30 Mitsubishi Eclipse 2000
0.30 Nissan 180SX 1989
0.30 Nissan 300ZX 1983
0.30 Nissan 350Z Coupe Base and Enthusiast models 2003–2008
0.30 Nissan 370Z Coupe
(0.29 with sport package) 2009 [51]
0.30 Renault 19 16V 1991
0.27 Mazda6 (sedan and hatchback) [57] 2008
0.27 Mercedes-Benz W203 C-Class Sedan 2001
0.27 Nissan GT-R 2008
0.27 Toyota Camry Hybrid 2007
0.27 Tucker Torpedo 1948
0.27 Volkswagen Passat B5 (sedan) 1997
0.27 Mercedes-Benz S Class
(0.268 with Sport Package) 2000–2005
0.27 Opel Insignia 2008–present
0.26 Opel Insignia - EcoFlex 2009–present
0.26 BMW E90 (0.26-0.30) 2009 [58]
0.26 Chevrolet Volt 2010
0.26 Hotchkiss Gregoire[citation needed] 1951
0.26 Lexus LS 430
(0.25 with air suspension) 2001–2006
0.26 Lexus LS 460 2006
0.26 Mercedes-Benz W221 S-Class 2006
0.26 Mercedes-Benz W211 E-Class 2002-09
0.26 Opel Calibra (8 valve version) 1989
0.26 Toyota Prius 2004–2009
0.25 Audi A2 1.2 TDI 2001
0.25 Honda Insight 1999, 2003, 2005
0.25 Toyota Prius 2010
0.24 Mercedes E 220 CDI Blue Efficiency European version only, other E-Class Coupe 0.28 (0.25 sedan)(2009)
0.212 Tatra T77A 1935 [59][60] [61] [62]

0.195 General Motors EV1 1996

La climatizzazione

Uno studio è dedicato alla progettazione del sistema di climatizzazione le cui prese d’aria richiedono un dimensionamento e una collocazione in punti della carrozzeria dove il valore della pressione del flusso d’aria, dipendente dalla velocità, possa garantire una portata d’aria sufficiente alle esigenze di climatizzazione dell’abitacolo senza creare vortici dannosi. Anche la fuoriuscita d’aria dall’abitacolo deve essere garantita per un corretto ricambio e lo studio della posizione delle bocchette d’uscita non deve consentire l’ingresso dei gas di scarico.

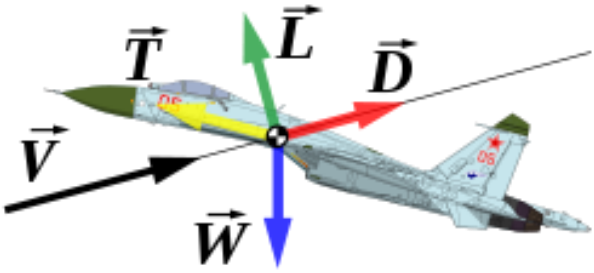


La deportanza

L’effetto deportante ha un ruolo estremamente importante nella determinazione della linea di un’autovettura che debba raggiungere alte velocità perché assicura un adeguato contatto con il suolo. La pressione che il flusso d’aria imprime sulla superficie aumenta il carico gravante sugli assali e garantisce un’elevata stabilità, ma il suo valore non deve essere eccessivo altrimenti ne risentirebbe negativamente il bilancio energetico. L’ottenimento del valore previsto in fase di progetto è strettamente legato sia al profilo della carrozzeria sia alla posizione assunta dall’auto in funzione del carico che comprime le sospensioni, infatti, la situazione è differente tra l’avere solo il guidatore a bordo o l’essere a pieno carico. Per questa ragione munire l’auto di sospensioni con la correzione automatica dell’assetto e con un’oscillazione controllata e gestita in funzione della velocità, può contribuire in modo sostanziale all’ottenimento dei migliori risultati.

Apposite appendici aerodinamiche, come gli spoiler e gli alettoni regolabili, sono molto efficaci specialmente se la loro funzione è gestita automaticamente al variare della velocità.

Un'altra condizione si presenta nell'avanzamento di un autoveicolo veloce quando supera avvallamenti o dossi; è quella definita di "cabraggio" (sollevamento della parte anteriore e contemporaneo abbassamento di quella posteriore). Essa altera la sua posizione rispetto al suolo e genera una riduzione della deportanza con il rischio di creare un valore di portanza e di alleggerimento del contatto tra gli pneumatici e il suolo con conseguente perdita di stabilità. Anche in tali condizioni, delle sospensioni che controllino le eccessive oscillazioni della scocca mediante una correzione rapida dei movimenti, può essere molto efficace.



La portanza

La portanza è una forza che spinge verso l'alto l'ala di un aereo in corsa e, nello stesso tempo, tende a sollevare la carrozzeria di un'auto diminuendo la pressione di contatto delle ruote con il suolo. Aumentando la portanza si potrebbe ottenere una riduzione dei consumi, ma, di fatto, si inciderebbe negativamente sulla stabilità, sia in frenata sia nei cambi di direzione. Per meglio comprendere l'origine di questo fenomeno può essere utile riesaminare il teorema della fluidodinamica enunciato da Daniele Bernoulli (1700-1782):

$$\frac{1}{2}\rho V^2 + P = \text{costante}$$

dove si evince che *a un aumento della velocità di un profilo alare in movimento immerso in un fluido di densità ρ nota, deve necessariamente corrispondere una diminuzione della pressione affinché la loro somma dia un risultato costante.* La spiegazione di questo comportamento deriva, in parte, dal fatto che il flusso d'aria che percorre la superficie superiore di un'ala, essendo il tratto di quest'ultimo di

lunghezza maggiore rispetto a quello che scorre lungo la superficie inferiore, deve necessariamente accelerare per potersi congiungere nello stesso tempo, alla fine del percorso alare (legge di continuità dei flussi). Ma, se è vero che la velocità aumenta, di conseguenza, dovrà determinarsi una diminuzione della pressione sulla superficie superiore dell'ala rispetto a quella che si genera inferiormente a essa. La risultante ottenuta dalla differenza di pressione, diretta verso l'alto, tende a sollevare l'ala nel suo movimento. Questo enunciato è riferito a un fluido perfetto cioè privo di viscosità. In realtà l'aria ha una sua viscosità che può generare un inizio di scollamento del *flusso laminare* (ordinato e non caotico) nella zona limite di contatto. Pertanto, minore sarà la superficie di contatto dove si possono creare scollamenti e maggiore sarà il valore della portanza che potrebbe generarsi (equazione di Bernoulli). Da questi studi è possibile cercare il profilo migliore in funzione della velocità di avanzamento. Le più avanzate applicazioni dei concetti di aerodinamica nel settore automobilistico trovano la massima espressione nelle auto di Formula 1, dove le velocità in gioco sono molto elevate e dove la stabilità e il contenimento dei consumi sono decisivi per aggiudicarsi il podio, ma gli effetti sono rilevanti anche nelle vetture cosiddette "stradali" quando si spostano a velocità notevoli. I primi effetti si notano esponenzialmente con velocità crescente e sono quantificabili già da 60 km/h in su.

L'effetto "suolo"

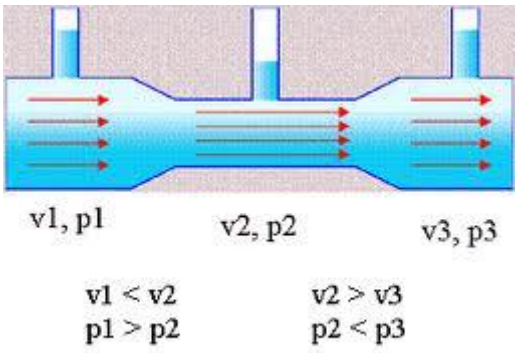
Il comportamento di un velivolo in fase di atterraggio, dal punto di vista della resistenza indotta, è molto diverso rispetto al volo in quota. In particolare, quando l'aereo si trova a pochi metri dal suolo, l'efficienza energetica è molto favorevole.

In queste condizioni la creazione di vortici nella parte sottostante del suo profilo diminuisce in modo considerevole e la traiettoria di atterraggio si allunga anche senza l'apporto di una particolare spinta dei motori. Lo studio del fenomeno, chiamato "effetto suolo", è maggiormente comprensibile se si rapporta agli esperimenti che il fisico Giovan Battista Venturi (1746-1822) realizzò applicando il teorema di Bernoulli a un fluido incomprimibile che attraversa un condotto di sezione variabile.

L'ipotesi è che al volume entrante nel condotto corrisponda un identico volume in uscita. La relazione seguente è detta "equazione di continuità":

$$A_1 V_1 \Delta t = A_2 V_2 \Delta t$$

In essa si sostiene che la portata di un flusso incomprimibile nell'unità di tempo è costante a parità di sezione del condotto, ma, se la sezione in uscita è maggiore, la sua velocità in uscita deve essere minore mentre sarà maggiore se la sezione in uscita è minore.



Ragionando in termini di pressione esistente nelle varie sezioni del condotto, dall'interazione tra:

l'equazione di continuità ($A_1 V_1 \Delta t = A_2 V_2 \Delta t$)

e

l'equazione di Bernoulli ($\frac{1}{2} \rho V^2 + P = \text{costante}$)

si arriva alla seguente conclusione.

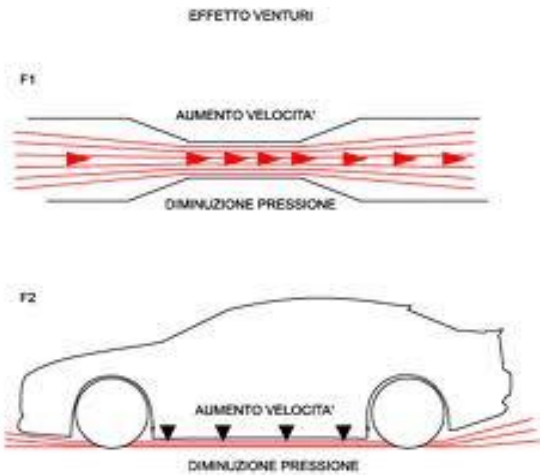
Dato il prodotto A V costante, nel tratto di sezione minore, si otterranno un aumento della velocità del flusso e una riduzione del valore di pressione. Nel tratto successivo, in cui la sezione aumenta, la velocità del flusso diminuirà mentre aumenterà la pressione.

La differenza di pressione esistente nei due tratti percorsi dal flusso genererà un'accelerazione della massa d'aria che contribuirà positivamente nel computo del bilancio energetico.

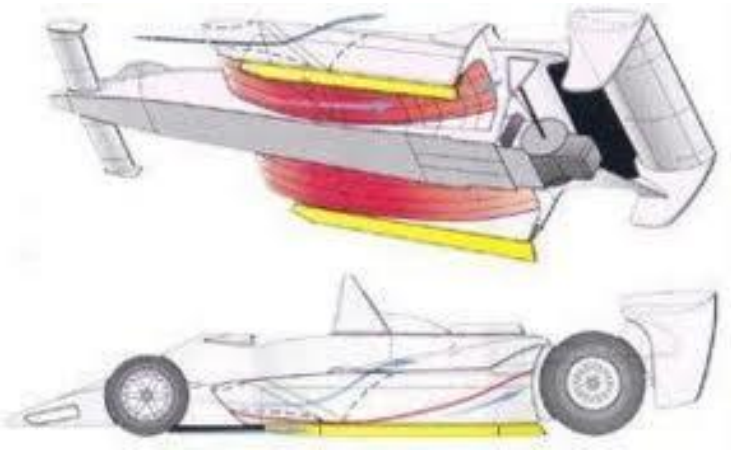
L’applicazione di questi teoremi nello studio di forma della carrozzeria di un’auto, in particolare nella definizione del profilo del fondo scocca rispetto al suolo, può creare le condizioni esistenti nel tubo di Venturi. Infatti, il flusso laminare che passa tra il fondo-scocca e il suolo, attraversa, nella zona anteriore, un’esigua sezione di passaggio che può aumentare verso la parte posteriore se la coda resta leggermente rialzata e se i fianchi laterali sono molto bassi. L’applicazione di “minigonne” riduce l’ingresso di flussi d’aria dai fianchi del veicolo che possono abbassare l’effetto suolo.

I risultati ottenibili sono molto importanti. Si possono sintetizzare in:

1. un incremento dell’effetto deportante tanto maggiore quanto più elevata è la velocità dell’auto e quanto minore è la sua distanza dal suolo;
2. una chiusura più favorevole della scia di coda;
3. una riduzione dei vortici nella ricomposizione del flusso d’aria uscente.



La scelta di utilizzare un “fondo piatto” contribuisce ad accentuare l’effetto Venturi con notevoli risultati a patto che la distanza dal suolo sia contenuta in pochi centimetri, che il suolo sia molto regolare e che le sospensioni siano ad assetto costante con tempi di reazione tempestivi. Il venir meno anche di una sola di queste condizioni porta, infatti, a un annullamento, anche se momentaneo, dell’effetto suolo con il peggioramento istantaneo del valore di deportanza e, di conseguenza, della stabilità.



Un ulteriore miglioramento della ricomposizione del flusso d’aria uscente dalla coda della carrozzeria si ottiene impiegando un “estrattore” che, con la sua forma, allunga il profilo alare inferiore, favorisce il ricongiungimento dei flussi (superiore e inferiore) ed evita la formazione di vortici dannosi che porterebbero a un aumento della resistenza aerodinamica.

I vantaggi apportati nelle applicazioni dei concetti di aerodinamica alle vetture da strada

Il bilancio energetico

In una trasformazione di energia il bilancio energetico si valuta prendendo in considerazione il *rendimento* che è dato dal rapporto tra l’energia iniziale spesa per la trasformazione e quella ottenuta alla fine del processo, meno le inevitabili perdite.

Fissando i seguenti punti:

- il rendimento ottimale di un motore si ottiene bruciando il combustibile con la quantità d’aria nel corretto rapporto stechiometrico;
- il migliore trasferimento della coppia motrice raggiunge le ruote attraverso organi di trasmissione efficienti;
- l’ottimizzazione degli organi moto propulsivi riduce le perdite meccaniche;
- la riduzione della dispersione del calore verso l’ambiente esterno garantisce un migliore sfruttamento della potenza ottenuta;
- il contenimento della massa dell’autoveicolo favorisce il raggiungimento della massima velocità e le variazioni che avvengono in accelerazione o in ripresa,

si arriva alla conclusione che, con una riduzione delle resistenze aerodinamiche, si ottengono numerosi vantaggi.

Essi sono:

- raggiungimento di velocità massime superiori a parità di potenza disponibile;
- regime di rotazione dell’albero motore (più basso a parità di velocità di avanzamento);
- minore usura delle parti in movimento del motore, a parità di ore di funzionamento;
- maggiore riserva di potenza disponibile ai regimi intermedi (utile per eseguire un sorpasso in sicurezza);
- maggiore stabilità;
- maggiore insensibilità al vento laterale;
- minore rumorosità provocata dai fruscii d’aria;
- minore rumorosità meccanica;
- maggiore efficacia della climatizzazione interna con possibilità di marcia a vetri chiusi e conseguente ottimizzazione del Cx;
- sostanziale riduzione del consumo di carburante e dell’olio lubrificante;
- riduzione conseguente dell’emissione di gas nocivi allo scarico.

Gli <u>svantaggi</u> possono riscontrarsi nei seguenti punti:

- ricerca in fase di progetto che implicherebbe maggiori costi e complesse strumentazioni di rilevazione;
- applicazione di principi di fisica che richiederebbero adeguate specifiche competenze;
- eventuale compromesso tra ingombro esterno e abitabilità interna,
- ricerca del design che riuscirebbe a conciliare le esigenze di efficienza aerodinamica con quelle di tipo commerciale,
- divulgazione delle ragioni che potrebbero indurre a produrre auto aerodinamiche e dei vantaggi che l’utente finale potrebbe ottenere;
- possibilità di usufruire dei massimi vantaggi derivanti dall’applicazione dei principi di aerodinamica alle auto su tratti autostradali percorribili a velocità elevata.

Fonti:

Il manuale dell’autoriparatore – F. Biolchini

Le dernier vaisseau française – Thibaut Amant

Style auto (n°27 – n°31)

SM Citroen – Jan P. Norbye

Quattroruote (dal 1956 fino al completamento di questa ricerca)

Citroen SM – Olivier de Serres

Autotecnica (numeri vari)

L’assetto (Motor boock Tech)

Deesse forum e *Riasc forum*

Tante altre pubblicazioni inerenti all’argomento

Un ringraziamento particolare a tutti gli autori.