IL COEFFICIENTE DI RESISTENZA

La parola resistenza è diventata di uso comune in questi ultimi tempi. C'è chi la fa armata e di solito finisce male, esiste quella elettrica, esempio classico sono le lampadine, c'è chi la fa al pubblico ufficiale e finisce dentro. Ma c'è anche quella che interessa a noi, quella che si incontra muovendosi all'interno di una massa d'aria e che regola tutte le leggi fisiche del nostro pianeta.

Provate ad immaginare se non esistesse la resistenza! Forse i primi a protestare potrebbero essere gli sceicchi arabi. Basterebbe avviare un auto e questa andrebbe all'infinito; il casino sarebbe fermarsi visto che i freni funzionano proprio per attrito, che non è altro che una forma di resistenza.

C'è chi è diventato matto cercando di scoprire il moto perpetuo. Ma torniamo alla nostra resistenza stenza ed al suo coefficiente di resistenza "Cr". Se ricordate come abbiamo scomposto la forza aerodinamica totale, risultavano due vettori, uno diretto perpendicolarmente alla direzione del moto e detto portanza, l'altro parallelo al moto ma diretto al contrario dell'avanzamento e chiamato resistenza.

Qualsiasi cosa si muova in una massa d'aria incontra una resistenza al suo avanzamento.

L'entità di questa resistenza dipende logicamente dalla forma che ha il corpo in movimento. Visto che la resistenza ha la proprietà di ostacolare il persistere di qualsiasi tipo di moto, è chiaro che noi dobbiamo spendere energia perchè il nostro corpo continui il suo moto nell'aria. E visto che l'energia che si deve fornire è direttamente proporzionale alla resistenza che il nostro corpo fa, si capisce perchè tutti stiano studiando in diverse maniere di ridurre sempre di più questo vettore resistenza. Guardate solo come viene pubblicizzato il fattore di resistenza delle comuni autovetture di nuova produzione. Se tutti poi sapessero che in un auto che viaggia ad una velocità inferiore ai ai 150 Km/h la differenza

Classico Coefficiente di resistenza (Cr) di un paese centroamericano "caldo".

di Cx, come chiamano gli automobilari la resistenza delle loro creature, influisce quasi niente sul consumo, sembra assurdo che stiano dei mesi in galleria del vento con la loro nuova carrozzeria per cercare di ridurre al minimo il Cx. Pensate poi che la maggior parte delle medie cilindrate non arriva neanche ai 140 Km/h e che i consumi tanto propagandati valgono per velocità di 90 Km/h.
Ma vediamo come influisce la resistenza su di una cosa che vola e non che rotola in terra.
Tanto per cominciare la resistenza R è una funzione delle stesse entità che definiscono la portanza, eccetto un coefficiente che in questo caso non sarà di portanza ma di resistenza: $R=Cr\ SV^2$ dove sarà sempre la densità dell'aria, S la superficie della nostra ala, V la velocità relativa e Cr un coefficiente adimensionale detto coefficiente di resistenza. Anche nel caso della resistenza, la sua unità di misura è espressa in Kg.
Lo studio del coefficiente di resistenza è abbastanza complesso in quanto questo valore oltre a dipendere direttamente dal profilo dell'ala (Cr di profilo), dipende anche dalle differenze di pressione che abbiamo visto si creano tra la superficie superiore ed inferiore di un'ala portante (Cr indotta). Da prove pratiche in galleria del vento, si nota che una serie varia di corpi avente la stessa sezione frontale, ma diversa forma e natura della loro superficie, danno tutti risultati di Cr diversi. Intervengono cioè per quello che riguarda il coefficiente di profilo, altri due valori importanti: il coefficiente di attrito "Cra", un valore numerico che dipende dallo stato e dalla levigatura della superficie dell'ala; ed il coefficiente di forma "Crf", altro valore adimensionale dipendente esclusivamente dalla forma dell'ala. Il "Crf" viene detto anche coefficiente di scia, dipendendo esclusivamente dalla scia lasciata dall'ala in volo.
La somma del coefficiente di forma "Crf" e del coefficiente di attrito "Cra" equivale al coefficiente di resitenza del profilo "Crp". Dipende cioè dai parametri costruttivi del profilo alare. Di conseguenza ne deriverà che i vari valori delle resistenze R saranno legati ognuno al proprio coefficiente con la formula classica vista fino ad ora e che anche Rp=Ra+Rf.
Poniamo ora una superficie piana in una vena di flusso ed osserviamo, ingrandendo una sezione, cosa succede al fluido che scorre nella nostra superficie. Per cause di adesione e di una, anche se minima, irregolarità della superficie, intesa come non perfettamente liscia, lo strato a contatto diretto con questa superficie è praticamente fermo, la sua velocità è quindi zero. Stiamo parlando ovviamente di frazioni di millimetro. Il filetto fluido, successivo a quello fermo, è invece animato da una certa velocità, conseguentemente maggiore della prima, essendo questa come abbiamo detto ferma.
Il terzo filetto avrà a sua volta una velocità superiore al secondo su cui scorre, e così via fino ad arrivare ad un filetto che finalmente possiede la stessa velocità della vena fluida in cui avevamo posto il nostro profilo. Si forma cioè uno strato, detto strato limite, (fig. 1) in cui si formano delle forze notevoli, in quanto nello spazio di frazioni di millimetro, la velocità

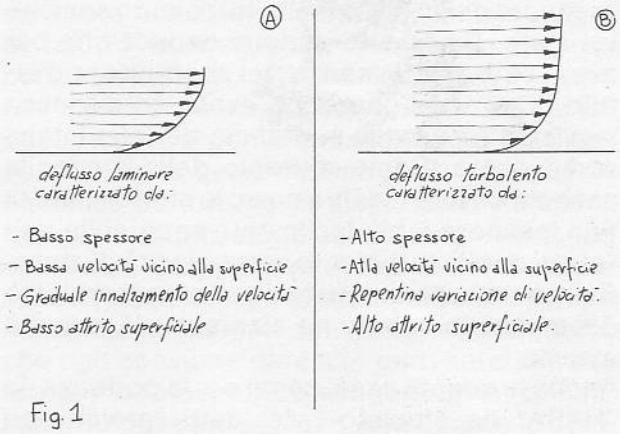


Fig. 1

passa da zero a quella di volo.
La formazione di questo strato trae oigine dal velo di fluido aderente alla parete, che esercita, proprio perchè fermo, una resistenza sullo strato direttamente superiore, rallentandolo. Lo strato rallentato a sua volta inizia ad esercita un'azione frenante su quello direttamente superiore rallentandolo a sua volta sempre meno fino a trovarne uno che invece non subisce alcun effetto frenante causato dalla viscosità del fluido.
Questo fenomeno spiega perchè sulle superfici della ali di aerei, ma anche sui cofani e sulle parti esterne di automobili vi sia sempre posata della polvere residua.
Possiamo dire, quindi, che lo strato limite è composto da un certo numero di filetti fluidi che hanno una velocità inferiore a quella della vena fluida in cui è immerso il nostro profilo.
Altra cosa importante è che all'interno dello strato limite, i vari filetti defluenti a varie velocità possono avere un andamento definito laminare o turbolento.
Si definisce deflusso laminare (fig. 1A) quando l'andamento dei filetti rimane praticamente parallelo alla superficie, al contrario il deflusso turbolento (fig. 1B) presenta un movimento di traiettorie molto intricato e vario. Sui profili alari usati normalmente in campo aeronautico l'andamento dello strato limite è carateriżzato da un deflusso laminare sul bordo d'entrata dell'ala e turbolento sul dorso (fig. 2).

Andamento dello strato limite su di una lastra piana.
Fig. 2

È evidente che la resistenza di attrito di un profilo sarà direttamente proporzionale allo spessore dello strato limite turbolento anzichè laminare. Da quanto detto si deduce che per aver la minore resitenza del coefficiente d'attrito "Cra", bisognerebbe avere un deflusso laminare su tutta la superficie dell'ala; intesa come dorso. Come rovescio della medaglia però c'è da dire un'altra cosa: lo strato limite di tipo laminare è più facilmente separabile dall'ala di quello turbolento, alla velocità di stallo. E ciò è un fattore negativo sulla manovrabilità del mezzo in quanto ne alzerebbe la velocità minima.
Anche in questo caso, come per la portanza, la "NASA" ha studiato i cosidetti "profili alari laminari" che vengono impiegati per la costruzione dei moderni aerei commerciali. In questi tipi di profili si riesce a mantenere un flusso laminare per almeno il 50% della corda.
al contrario di quelli usuali che lo mantengono per solo il 15%-20% (fig. 3). Ciò si è potuto ottenere spostando all'indietro il punto di inarcamento massimo del profilo. Per sopperire poi al discorso di distaccamento dello strato laminare alle basse velocità, si riesce a trasformarlo meccanicamente in deflusso turbolento.

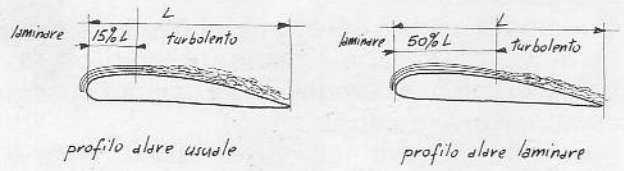


Fig. 3

Ad esempio nel Concorde, famosissimo supersonico di linea, lo strato limite laminare ad alti angoli d'attacco viene trasformato in turbolento con dei getti di aria compressa che fungono appunto da "turbolatori". Nel campo che interessa noi, fino ad ora mi sembra di ricordare che solo il Cyclone della Chargus aveva dei fori sulla vela in prossimità del bordo di attacco nelle estremità vicino ai tips. Fra l'altro venne copiato anche da Guggenmons, campione mondiale del 1979, sul suo Wings. Visto più o meno cosa è la resistenza di attrito, esaminiamo quella di forma, altro aspetto della resistenza all'avanzamento.
Ogni qualvolta un corpo di qualsiasi forma si muove nell'aria, supposta questa in uno stato di quiete, a livello di particelle succede un casino. Comunica cioè una serie di spinte dirette in tutte le direzioni ed imprime loro delle accelerazioni.
Provate a muovere una mano, immersa in una vasca di acqua dove prima avrete messo delle particelle in sospensione (tipo una polvere colorata) e guardate il casino che succede al passaggio della vostra mano. Più o meno la stessa cosa succede quando qualcosa si muove nell'aria. Per il terzo principio della meccanica, quello di azione e di reazione, le particelle agiranno sul corpo con una forza pari a quella che il corpo ha esercitato su di loro.
Prendiamo una lastra piana ed investiamola perpendicolarmente con una vena di fluido (fig. 5). I filetti fluidi che colpiscono la superficie della lastra formano sulla sua superficie centrale una zona di forte sovrapressione. Il

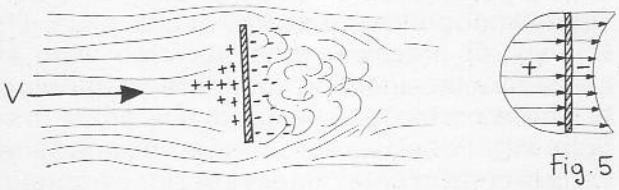
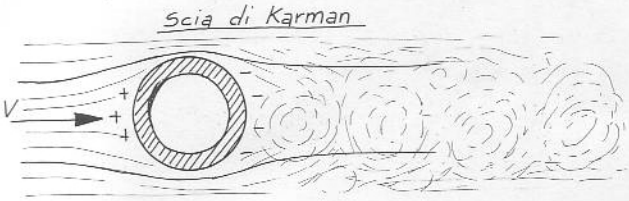


Fig. 5

fluido, che tra l'altro è continuamente rimpiazzato, separa i filetti, ed una parte di essi aggira la lastra tendendo a rinchiudersi immediatamente dietro la lastra. Causa la viscosità dell'aria però vi è un contrasto nella ricomposizione dei filetti e causa ciò avremo una notevole scia turbolenta a valle della superficie. Questo fattore causa una forte diminuzione della sezione della vena dietro la lastra, con conseguente aumento della sua velocità e formazione di una depressione. Così avremo che la parte anteriore della lastra sarà sottoposta a forte pressione, mentre la parte posteriore sarà soggetta a depressione. Avremo cioè una forte resistenza all'avanzamento ed una grande dissipazione di energia per fare avanzare la lastra.
Si deduce che minore è la scia turbolenta creatasi a valle del corpo in movimento, minore sarà il coefficiente di resistenza di forma del corpo, detto anche giustamente "coefficiente di scia". Possiamo senza ombra di dubbio dire che una superficie piana è decisamente poco aerodinamica se investita perpendicolarmente da un fluido ed offre molta resistenza al suo avanzamento. Non crediate che una sezione come quella di un comune tubo sia decisamente migliore sotto il punto di vista di resistenza di scia. La scia generata da un tubo investito da un fluido in senso ortogonale al suo asse, è sì minore di quella generata da una lastra piana di uguale sezione, ma la caratteristica non è la

stessa. La scia generata da un cilindro o tubo nel nostro caso (esempio i montanti del trapezio, la base; o l'antenna del nostro delta) è caratteristica per come essa abbandona il corpo. La sua direzione è serpeggiante costituita da una serie di vortici alterni.
Il tutto prende il nome di "scia di Karman", fisico tedesco che studiò il fenomeno (fig. 6).

Fig. 6



La conseguenza più importante di questa scia è la vibrazione che essa produce per reazione sul corpo cilindrico. Per questa causa, nelle costruzioni aeronautiche, si cerca di evitare l'esposizione di corpi aventi forma cilindrica, trasversalmente al senso di moto. Nel caso questo fosse inevitabile, si sopperisce al fatto, carenando con forme affusolate i pezzi esposti.
Al momento, tutti i delta di certe prestazioni hanno il cross bar interno, e qui non sussiste il fatto della scia di Karman; ma fino a poco tempo fa il traverso era esterno e di una sezione non tanto trascurabile. Qualcuno montava dei profili sul crossbar, ma la moda non prese piede da noi. Al momento l'Azur di nuovo tipo monta l'antenna costruita con un tubolare di alluminio preformato per offrire minor resistenza. Qualcuno ha anche sorriso quando ha visto le foto dei Comet ufficiali che volarono ad Owens Valley nel 1981. Avevano i montanti del trapezio, la base e l'antenna carenati da un profilato di forma affusolata.
Ma quello che in verità colpì tutti erano i famosi "pod" usati dai piloti "ufficiali" della UP (fig. 7). Quelle buffe capsule che fungevano da carenatura per i piloti, totalmente trasparenti erano, a dire il vero, molto anti estetiche, ma molto molto funzionali.
Qualcuno non riusciva ad usarle per motivi di carattere claustrofobico! La necessità quindi di ridurre la resistenza all'avanzamento ha portato allo studio di forme particolari denominati "solidi di buona penetrazione". La forma di questi solidi è derivata dallo studio di alcuni pesci e dalla osservazione del campo aerodinamico perturbato da alcuni corpi semplici. Il migliore di tutti, aerodinamicamente parlando è risultato essere il "fuso"; il solido che offre la minor resistenza all'avanzamento. Da prove effettuate in galleria del vento, si è scoperto che non conviene dare alle parti anteriori una forma molto acuta, nè esagerare nell'affusolamento delle parti terminali in quanto la diminuzione della sezione di scia diventa sempre meno sensibile, mentre cresce la resistenza all'attrito.

Testo e disegni di
ERIO ATTI

Fig. 7

il "pod" (guscio) usato dai piloti ufficiali UP al Owens Valley nel 1981