

# PRINCIPI DI AERODINAMICA

La fluidodinamica studia i fenomeni che si hanno quando un fluido ed un corpo immerso in tale fluido sono dotati di velocità relativa.

Per velocità relativa si intende una delle seguenti situazioni:

- a) il fluido è fermo ed il corpo è in movimento.
- b) il fluido è in moto ed investe il corpo fermo come accade ad esempio nelle gallerie del vento.
- c) Sia il fluido che il corpo sono in movimento come accade nel volo reale degli aeroplani, tenendo conto che nell'atmosfera terrestre l'aria non è mai ferma.

Quando il fluido è l'aria si parla di **aerodinamica**. Se il fluido fosse acqua si parlerebbe di idrodinamica.

Lo scopo degli studi di aerodinamica ha un doppio aspetto:

- Data la forma geometrica del corpo, calcolare le forze che agiscono su esso, ciò che si chiama “analisi aerodinamica di un corpo”.
- Individuare e calcolare la forma di un corpo in grado di fornire la portanza richiesta con la minima resistenza aerodinamica, ciò che si chiama “progetto aerodinamico di un corpo”.

Con riferimento alla successiva figura, quando un fluido ed un corpo, di qualunque forma, in esso immerso sono dotati di velocità relativa, si genera una distribuzione di forze sulla superficie del corpo stesso.

La componente delle forze distribuite perpendicolare (normale) alla superficie del corpo,  $f_p$ , è dovuta alla pressione aerodinamica ed in generale è diversa da punto a punto e non va confusa con la pressione statica del fluido.

La componente delle forze distribuite tangente alla superficie del corpo,  $f_a$ , è dovuta all'attrito fra fluido e la superficie su cui scorre.

Le forze distribuite sulla superficie del corpo potranno essere ridotte ad una forza risultante (cioè la somma vettoriale di tutte le forze) chiamata **forza aerodinamica**,  $F_a$ .

Raramente si ragiona in termini di forza aerodinamica, si opera invece con le sue componenti normale e parallela alla velocità indisturbata del fluido.

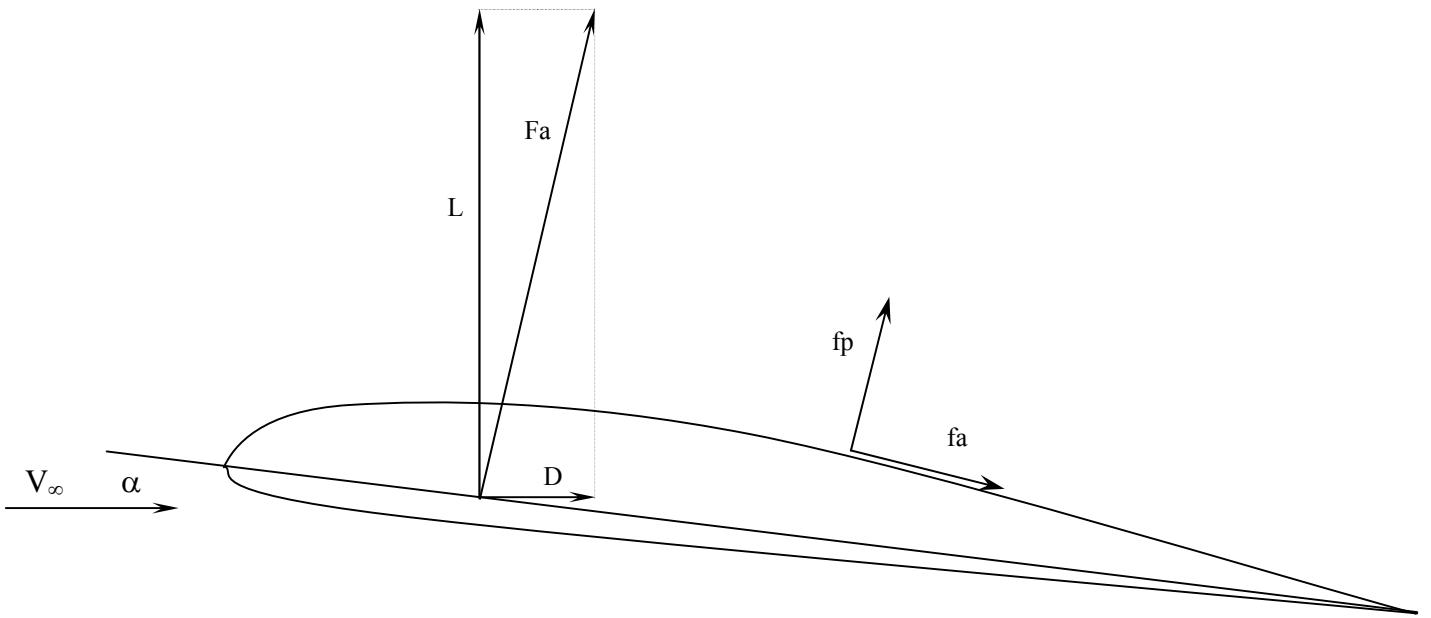
Si chiama **portanza** (la indichiamo con  $P$ , secondo la simbologia italiana, oppure con  $L$ , lift, secondo la simbologia anglosassone) la componente della forza aerodinamica normale (perpendicolare) alla velocità indisturbata dell'aria.

Si chiama **resistenza** (la indichiamo con  $R$ , secondo la simbologia italiana, oppure con  $D$ , drag, secondo la simbologia anglosassone) la componente della forza aerodinamica parallela alla velocità indisturbata dell'aria.

Si chiama **momento aerodinamico**, rispetto ad un punto che va specificato a seconda dei casi, il momento risultante di tutte le forze aerodinamiche distribuite sulla superficie del corpo.

Si chiama **incidenza geometrica** (la indichiamo con  $\alpha$  alfa) l'angolo fra la velocità indisturbata ed un asse geometrico solidale al corpo aerodinamico.

Si definiscono **velocità, pressione, densità “indisturbate” oppure “all'infinito”** i valori che assumono queste grandezze in un punto posto a distanza infinita dal corpo aerodinamico. In realtà, non è necessario andare all'infinito, è sufficiente una distanza dal corpo pari ad almeno una lunghezza del corpo stesso. In tutti i punti a distanze superiori a questa, i valori delle grandezze sono considerati costanti.



Se consideriamo una “macchina volante” in volo rettilineo orizzontale con velocità costante, si comprende facilmente che la portanza va ed equilibrare il peso delle macchine mentre la sua resistenza deve essere equilibrata da una spinta fornita da un apparato propulsore.

Tutti i corpi, purché la loro velocità e la loro dimensione siano sufficienti, sono in grado di produrre la portanza desiderata, ma è ovvio che le forme adatte alla costruzione di una macchina volante sono quelle che, alla portanza desiderata, danno la minor resistenza.

## Le equazioni dell'aerodinamica

Le incognite principali di un problema aerodinamico di analisi sono 5:

la pressione  $p$ , le tre componenti di velocità  $u, v, w$ , rispettivamente lungo gli assi  $x, y, z$  e la temperatura  $T$ .

Per poterle determinare occorrono 5 equazioni, queste sono:

- 1) Conservazione della massa: la massa entrante in un volume elementare è uguale alla massa uscente
- 2) Equazione di quantità di moto lungo l'asse  $x$
- 3) Equazione di quantità di moto lungo l'asse  $y$
- 4) Equazione di quantità di moto lungo l'asse  $z$
- 5) Equazione dell'energia

Le equazioni dell'aerodinamica furono ricavate dai fisici e dai matematici molto prima del primo volo di un aeroplano, ma nessuno è mai stato in grado di risolverle per poter eseguire il calcolo delle grandezze di interesse (pressione, velocità). Solamente negli ultimi anni, con l'avvento dell'informatica ed il conseguente sviluppo dei metodi numerici per la soluzione delle equazioni si è giunti a qualche risultato.

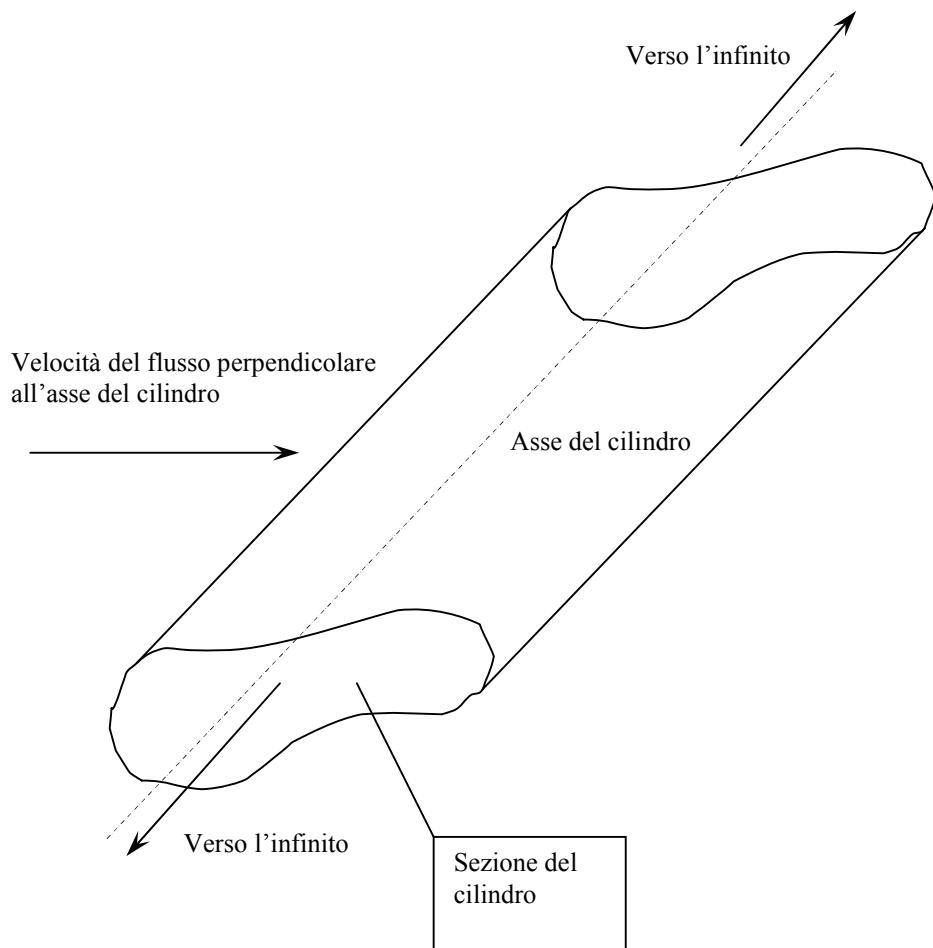
Se si fosse in grado di risolvere le equazioni dell'aerodinamica, si ricaverebbero delle espressioni matematiche nelle quali si introducono le coordinate  $x, y, z$  di un punto ed il tempo e si calcola la pressione, la velocità e la temperatura in quel punto dello spazio ed in quel istante di tempo. Quindi i valori delle grandezze aerodinamiche dipendono dalla posizione del punto e dal tempo.

Constatata la non capacità di risolvere le equazioni dell'aerodinamica così come presentate, come avvenuto per altri problemi della tecnica, una categoria di persone, chiamate ricercatori ingegneri, a partire dall'inizio del 1900, si impegnarono per individuare delle semplificazioni, delle ipotesi e delle tecniche per semplificare le equazioni dell'aerodinamica e poterle risolvere.

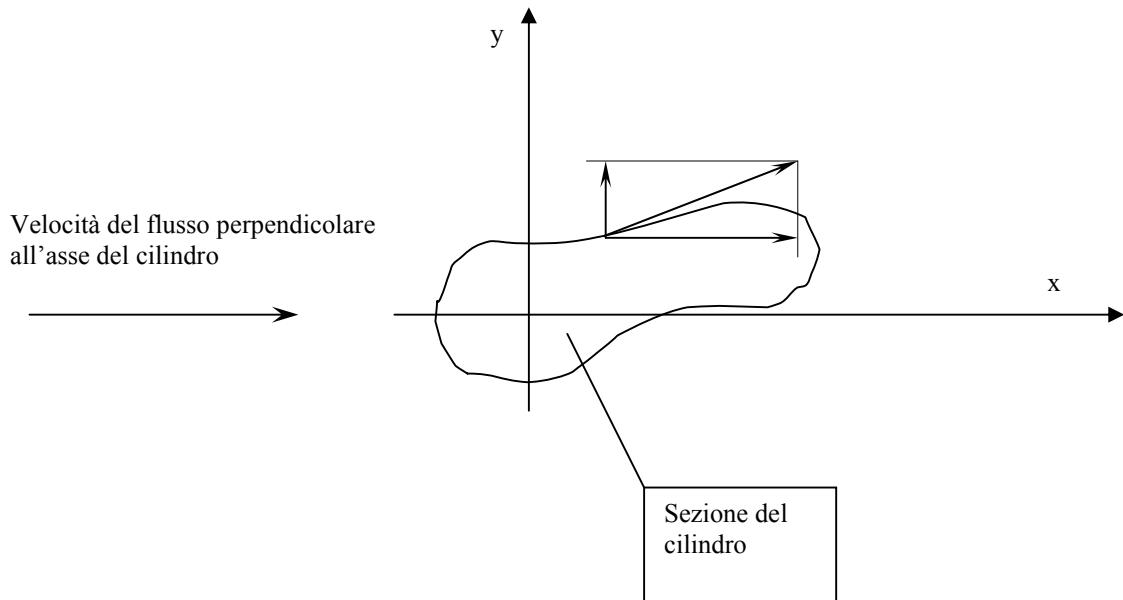
Consideriamo il problema di calcolare le forze agenti sulla superficie di un corpo che viaggia in un fluido a velocità quasi costante e bassa, cioè fino a 600-700 km/h. Per poter ricavare dei risultati dalle equazioni dell'aerodinamica, le semplificazioni fatte sono le seguenti:

- 1) **Fluido adiabatico**, cioè non trasmette calore. Questo vuol dire che la temperatura dell'aria è costante in ogni punto dello spazio. E' la temperatura ambiente il cui valore può essere misurato e quindi non rappresenta più una incognita. Conseguenza di ciò è che l'equazione dell'energia, che conteneva la temperatura nella espressione dell'energia termica, non è più necessaria. Con questa semplificazione, le restanti equazioni dell'aerodinamica, non permettono più di rappresentare dei problemi di altissima velocità (maggiori di 2500, 3000 km/h) in cui l'energia cinetica dell'aria si trasforma, a contatto col corpo, in calore, il quale eleva la temperatura.
- 2) **Moto permanente** (o stazionario) cioè le grandezze fisiche non dipendono dal tempo. Questa semplificazione non permette di risolvere i problemi di rapide variazioni della velocità nel tempo. In pratica queste rapide variazioni si verificano nei fenomeni di vibrazioni delle superfici aerodinamiche (flutter).
- 3) **Fluido incompressibile**, cioè le variazioni di pressione sono piccole quindi le variazioni di volume sono trascurabili. In sostanza, nei calcoli, la **densità dell'aria viene assunta costante**. Ciò è sempre vero se il fluido è un liquido anziché un gas, mentre lo accettiamo come approssimazione per velocità fino a 600-700 km/h.

- 4) **Moto unidimensionale**, cioè si assume che le grandezze fisiche del fluido, velocità, pressione ecc., subiscano delle variazioni solamente lungo una direzione, fra le tre x,y,z. Ad esempio, se consideriamo un fluido che si muove all'interno di un tubo che ha il diametro piccolo rispetto alla lunghezza, si può assumere che le grandezze del fluido variano solamente spostandosi lungo l'asse del tubo, mentre rimangono costanti sulla sezione trasversale. Riteniamo accettabile questa approssimazione quando la lunghezza del tubo è almeno 10 volte più grande del diametro.
- 5) **Moto bidimensionale**, cioè si assume che le grandezze fisiche del fluido, velocità, pressione ecc., subiscano delle variazioni solamente lungo due direzioni, fra le tre x,y,z. Ad esempio, consideriamo un cilindro (di sezione qualsiasi, anche a forma di profilo alare) di lunghezza infinita da entrambe le parti destra e sinistra e dotato di velocità relativa rispetto ad un fluido in direzione perpendicolare all'asse del cilindro stesso:



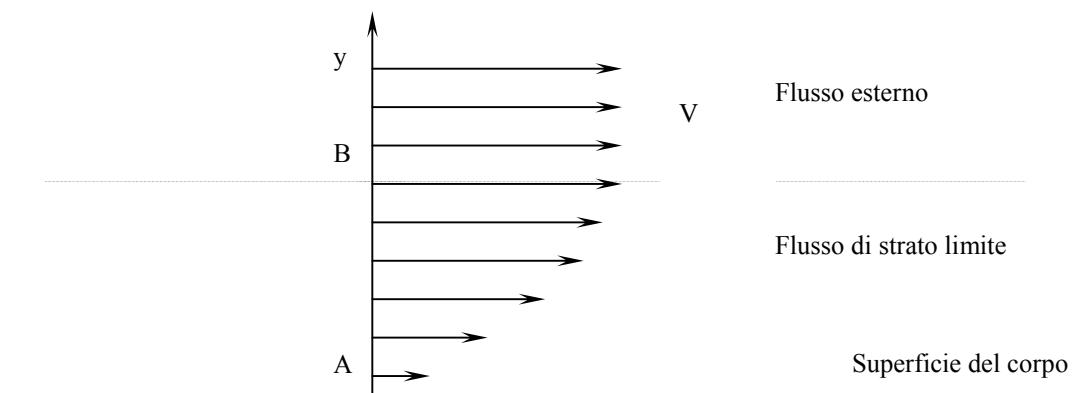
Consideriamo una sezione trasversale qualsiasi



La velocità in un punto della superficie del cilindro ha solo due componenti, una lungo l'asse x, l'altra lungo l'asse y, la terza componente sarebbe lungo la direzione dell'asse del cilindro, ma siccome le sezioni del cilindro sono tutte uguali, non c'è motivo per cui le particelle di fluido debbano dirigersi verso destra o verso sinistra. Se la velocità no varia lungo l'asse del cilindro, non varia nemmeno la pressione e così per tutte le grandezze collegate. Le grandezze del fluido cambiano solo lungo i due assi x ed y quindi questo è un moto bidimensionale.

Vediamo altre caratteristiche del moto del fluido che consentono di introdurre una ulteriore semplificazione.

Immaginiamo il fluido come un insieme di palline, le cosiddette “particelle fluide”, alcuni esperimenti e misurazioni hanno evidenziato che avvicinandosi alla superficie del corpo in direzione perpendicolare ad esso, la velocità delle particelle di fluido varia di poco. Giunti abbastanza vicini alla superficie del corpo, la velocità comincia a diminuire fino a diventare zero in corrispondenza della superficie stessa.

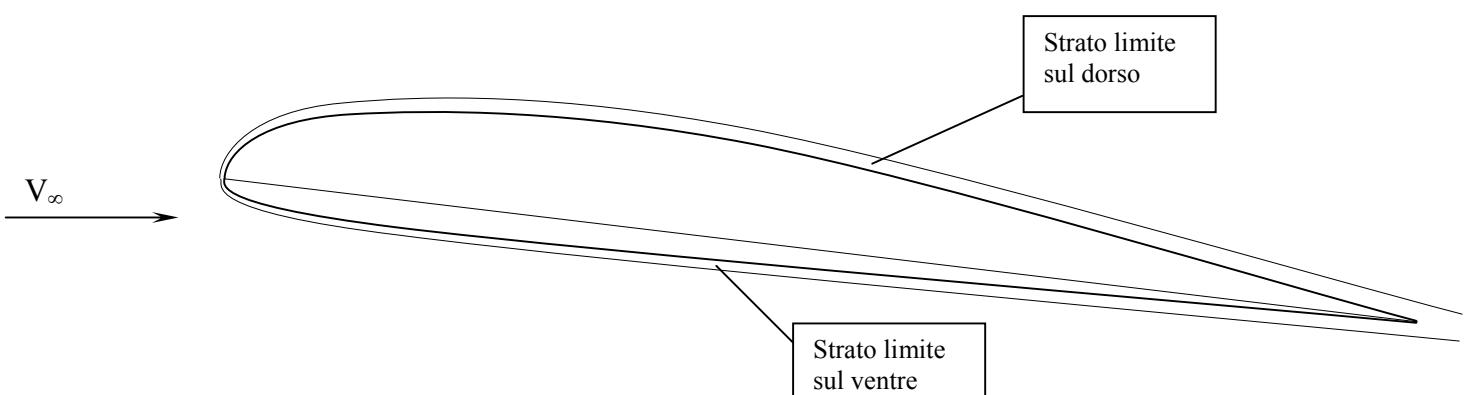


Ciò può essere spiegato dicendo che le particelle di fluido a contatto con superficie devono essere ferme rispetto alla superficie stessa. Le particelle via via più lontane sono sottoposte alla forza di attrito quindi la loro velocità non può avere direttamente il valore che ha nel flusso esterno ma deve aumentare gradualmente man mano che ci si allontana dalla superficie.

Per quanto detto, si definisce “**strato limite**” quella distanza piccola rispetto alle dimensioni del corpo al di sotto della quale la velocità delle particelle di fluido scende rapidamente fino ad annullarsi a contatto con la superficie stessa.

La linea che unisce le punte di tutti i vettori velocità dello strato limite prende il nome di “profilo di velocità”, quindi la figura disegna sopra rappresenta il profilo di velocità dello strato limite in un certo punto della superficie del corpo aerodinamico.

Poiché il fenomeno appena descritto della riduzione della velocità nelle vicinanze della superficie del corpo avviene in tutti i punti della superficie stessa, lo strato limite è un vero e proprio strato di fluido che avvolge il corpo come nella figura sottostante.



Quindi, lo “**strato limite**” si può anche definire come lo strato sottile di fluido adiacente alla superficie del corpo all’interno del quale la velocità delle particelle di fluido scende rapidamente fino ad annullarsi a contatto con la superficie stessa.

Si definisce **flusso esterno** la parte di flusso adiacente lo strato limite e sufficientemente lontano dalla superficie del corpo

Capito cos’è lo strato limite, vediamo ora le considerazioni che consentono di apportare delle semplificazioni alle equazioni dell’ aerodinamica

Prima considerazione:

Quando le particelle di fluido scorrono fra di loro, cioè hanno velocità diversa fra loro, esse sono sottoposte ad una forza di attrito dovuta ad una proprietà che si chiama **viscosità** del fluido.

Semplicisticamente, possiamo dire che maggiore è la differenza di velocità fra le particelle, maggiore è l’attrito. Pertanto:

nel flusso esterno, dove le particelle hanno quasi la stessa velocità, l’attrito può essere trascurato rispetto a forze di altro tipo. Trascurare l’attrito vuol dire trascurare la viscosità del fluido.

Nello strato limite, dove le particelle viaggiano a velocità molto diverse fra loro, l’attrito e quindi la viscosità non possono essere trascurati.

Seconda considerazione:

Con riferimento alla figura che rappresenta il profilo di velocità dello strato limite, si può dimostrare matematicamente che la pressione nel punto B di separazione fra strato limite e flusso esterno è uguale a quella nel punto di contatto A con la superficie del corpo. Questo significa che se si effettua il calcolo della pressione sulla superficie del corpo trascurando la presenza dello strato limite, questo calcolo è corretto. L’unica approssimazione consiste nel fatto che, trascurando lo strato limite, stiamo considerando un flusso esterno che scorre sulla superficie del corpo anziché sul confine con lo strato limite. Questa approssimazione è accettabile poiché lo strato limite è sottile rispetto alle dimensioni del corpo.

Queste considerazioni, portano a distinguere anche le equazioni ed i metodi di calcolo:

1) Equazioni del **flusso esterno**, dove non compare la viscosità del fluido, quindi non compare lo strato limite.

La risoluzione delle equazioni di flusso esterno conduce alla determinazione della pressione sulla superficie del corpo. Con la distribuzione di pressione sulla superficie del corpo potranno essere calcolate le forze legate alle grandezze: portanza, momento e resistenza indotta. Quest’ultima sarà definita e studiata successivamente.

2) Equazioni del **flusso di strato limite** dove compare la viscosità del fluido.

La risoluzione delle equazioni del flusso di strato limite conduce al calcolo della resistenza del corpo.