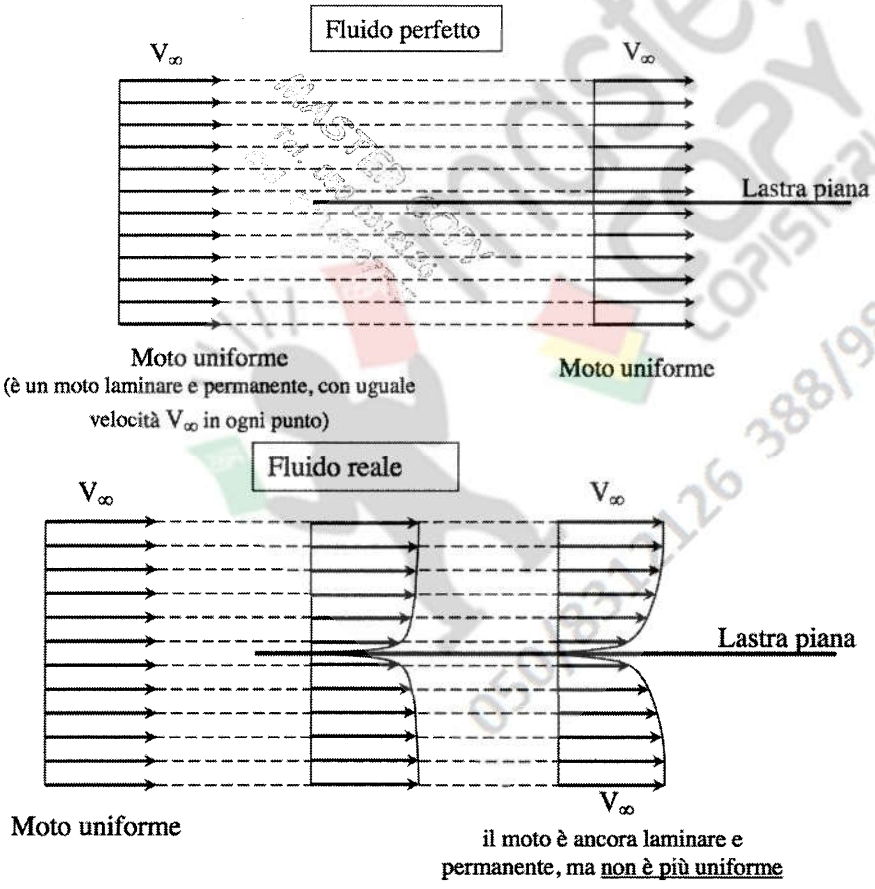
Impianti aeronautici riassunti

Definizioni

- **Fluido perfetto (non viscoso)**: non esistono azioni tangenziali ma solo azioni normali.
- **Fludio reale**: esistono sia azioni tangenziali che azioni normali
- **Linea di corrente:** la tangente in ogni suo punto coincide con la direzione della velocità del fluido in quel punto.
- **Moto permanente (stazionario)**: non dipende dal tempo (può dipendere dalla posizione).
- **Moto laminare:** le particelle di fluido si muovono per falde parallele. Bassa resistenza aerodinamica
- **Moto turbolento:** non permanente con velocità e pressione che in ogni punto fluttuano irregolarmente in modo random. Alte azioni di resistenza aerodinamica.
- **Filetto fluido:** materializzazione della linea di corrente.
- **Tubo di flusso:** insieme delle linee di corrente che passano per una linea chiusa.
- **Vena fluida:** insieme di filetti fluidi che passano all'interno di un tubo di flusso.
- **Moto unidimensionale:** il valore delle grandezze caratteristiche del fluido (velocità pressione densità) è costante all'interno della generica sezione di un tubo di flusso.



La velocità è la stessa in ogni punto.

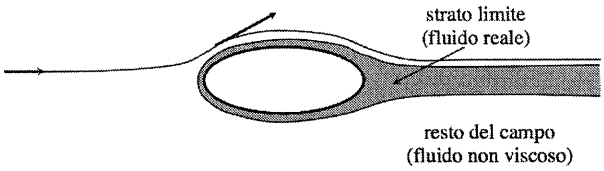
Allontanandosi dalla lastra la velocità resta circa costante, andando più avanti lungo la piastra aumenta il gradiente di velocità.

La velocità del fluido varia da punto a punto.

Lo scopo principale del problema aerodinamico è quello di determinare le azioni esercitate dal fluido sul corpo immerso in esso e in moto relativo. Queste azioni possono essere normali (pressioni) oppure tangenziali (attrito viscoso). Bisogna conoscere le equazioni necessarie per determinare queste azioni: (bilancio di massa, bilancio energetico e bilancio della quantità di moto). Le equazioni di Navier-Stokes sono in grado di descrivere il moto del fluido. Non è possibile trovare delle soluzioni in forma chiusa (del problema aerodinamico) quindi ci sono due metodi:
indagine sperimentale e analisi teorica semplificata.

Analisi teorica semplificata:

Quando una corrente di fluido reale in moto uniforme interseca un corpo, a causa della viscosità del fluido si hanno delle azioni esercitate sul corpo che diventano rilevanti, avvicinandosi al corpo. Per questo motivo la velocità tra strati di fluido varia anche notevolmente. Queste variazioni sono concentrate principalmente in una regione adiacente al corpo, detta **strato limite**.



Con l'ipotesi di fluido non viscoso, fuori dallo strato limite, si muovono solo in base alle pressioni e alla cinetica tra loro.
Per semplificare le cose possiamo ipotizzare *densità costanti, parliamo dunque* ***di fluidi incomprimibili***. Per l'aria questa ipotesi è valida solo se la velocità è 1/3 di quella del suono (a=$\sqrt{KRT}$)

Un ulteriore semplificazione è fatta sullo spessore dello strato limite, che dipende dalla forma del corpo. Meno questo è affusolato in direzione del fluido e lo strato limite avrà uno spessore maggiore. Se lo strato limite è sottile, le variazioni di velocità lungo la normale al corpo sono praticamente nulle, con pressioni circa uguali in prossimità del corpo e al di fuori dello strato limite.

Numero di Reynolds:

Corrisponde al rapporto tra le forze inerziali agenti sul fluido e quelle viscose.

$$Re = \frac{\rho v l}{\mu};\quad v = velocità.\ Altrimenti\ Re = \frac{vl}{\nu}\ dove\ \nu = viscosità\ cinematica$$

Il numero di reynolds dipende anche dallo spessore dello strato limite. Questo numero è importante perché da esso dipende se il moto è laminare o turbolento. La transizione tra un moto e l'altro avviene ad un particolare valore del numero di Re detto critico. Poiché nel flusso turbolento prevalgono le forze d'inerzia e in quello laminare le forze viscose, grandi valori di Re possono essere associati alla turbolenza, mentre valori più bassi al flusso laminare.

Equazione di conservazione della massa (flusso stazionario)

$$\rho_1 S_1 V_1 dt = \rho_2 S_2 V_2 dt$$



MASTER COPY
Tel. 050 831126
Cell. 388 9837745

Equazione di bilancio dell'energia

Singoli contributi:

- Energia cinetica
- Energia potenziale (di posizione)
- Energia potenziale (di pressione, piezometrica)
- Energia interna

$$\frac{1}{2}V_1^2 + gh_1 + \frac{p_1}{\rho_1} + U_1 = \frac{1}{2}V_2^2 + gh_2 + \frac{p_2}{\rho_2} + U_2 + L_\tau + Q$$

L'equazione si semplifica sotto le seguenti ipotesi:

- Fluido perfetto e incomprimibile
- Variazioni di energia potenziale di posizione trascurabili
- Variazioni di temperatura trascurabili

diventando:

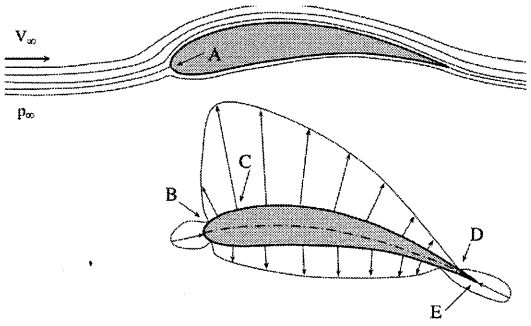
$$\frac{1}{2}\rho V_1^2 + p_1 = \frac{1}{2}\rho V_2^2 + p_2$$ Equazione di Bernoulli

pressione dinamica P_d — pressione statica P_s

pressione totale:
$P_t = P_s + P_d$

Meccanismi di generazione della portanza e della resistenza aerodinamica

L'ipotesi di strato limite sottile è valida se il corpo ha una forma particolare: si parla in questo caso di profili aerodinamici (caso bidimensionale), caratterizzati da uno spigolo nella parte posteriore (bordo d'uscita).



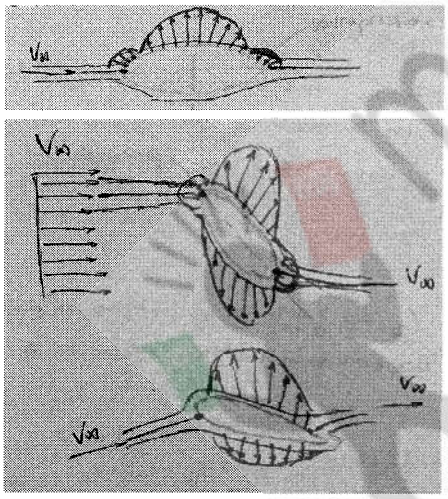
Il campo di velocità del fluido che lambisce il profilo porta, in accordo con l'equazione di Bernoulli, ad un campo di pressioni che agiscono sul corpo:

- A: punto di arresto ($V_A = 0$, $p_A = p_\infty + 1/2\rho V_\infty^2$);
- A-B: zona in sovrapressione ($V < V_\infty$, $p > p_\infty$);
- B: $V_B = V_\infty$, $p_B = p_\infty$;
- B-D: zona in depressione ($V > V_\infty$, $p < p_\infty$);
- C: massima depressione ($V_C = V_{max}$, $p_C = p_{min}$);
- D: $V_D = V_\infty$, $p_D = p_\infty$;
- D-E: zona in sovrapressione ($V < V_\infty$, $p > p_\infty$);
- E: punto di arresto ($V_E = 0$, $p_E = p_\infty + 1/2\rho V_\infty^2$);

La risultante delle azioni può essere scomposta in due:

- Diretta ortogonalmente al moto relativo, **portanza (LIFT)**
- Diretta parallelamente al moto relativo, **resistenza di forma (DRAG)**

Nel fluido reale inoltre si ha anche una **resistenza d'attrito** che si oppone al moto relativo



Se il fluido fosse perfetto, depressione e sovrappressione sarebbero simmetrici e allora la risultante delle pressioni sarebbe nulla.

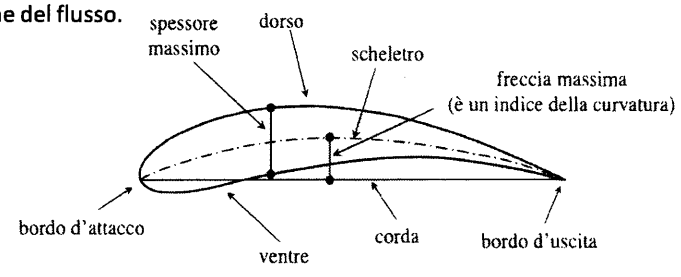
Non simmetrico ma se ci fosse l'attrito la risultante delle pressioni sarebbe ancora nulla (Paradosso di D'Alambert).

MASTER COPY
Tel. 050 831 21 26
Cell. 333 9837745

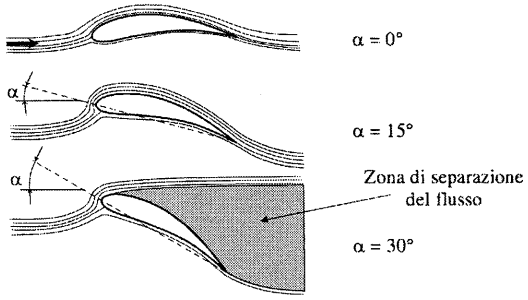
Se il fluido fosse reale la velocità in uscita sul ventre non risalirebbe. Il punto spigoloso è indispensabile per ridurre il distacco della vena fluida.

In un fluido perfetto ho sempre la stessa energia cinetica a disposizione non importa lo spigolo.
In un fluido reale si ha un fenomeno di separazione dello strato limite, che impedisce di "toccarsi" alle linee di fluido che passano sopra e sotto al corpo. Questa separazione avviene quando i filetti fluidi non hanno più l'energia sufficiente per completare il percorso (questa perdita di energia è dovuta a fenomeni dissipativi, come la viscosità del fluido reale). La separazione avviene nelle zone di depressione.
(aria si muove dalla zona di alta pressione a quella di bassa pressione) In questo caso si va da bassa ad alta, grazie all'energia cinetica che hanno. Si distingue tra due corpi in base alla differenza di separazione dello strato limite
Corpi aerodinamici: lo strato limite sta aderente al corpo quasi per esteso (strato limite sottile).
Corpi tozzi: si hanno vaste zone di separazione del flusso.

Nomenclatura dei profili aerodinamici →



Non sempre un profilo si comporta come un corpo aerodinamico, dipende dall'**incidenza**, ovvero *l'angolo formato tra la corda e la direzione della corrente asintotica.*



Quando l'incidenza aumenta, sale il picco di depressione che porta al raggiungimento di velocità elevate. Il gradiente di pressione avverso è maggiore quindi più è difficile riscendere seguendo la forma del profilo. Se alpha è troppo elevato si ha la separazione dello strato limite. Bisogna dunque limitare questo angolo.
Se si distacca dal bordo di attacco ho il crollo della portanza e l'aumento della resistenza e giungo allo **stallo**.

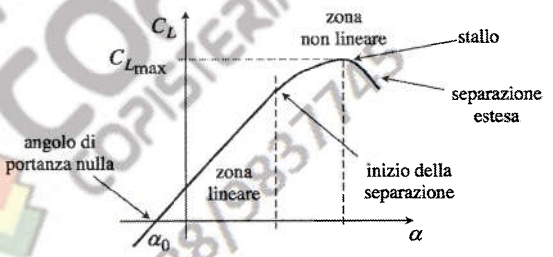
Si preferisce adimensionalizzare portanza e resistenza dividendole per una forza data dal prodotto di una pressione per una superficie:

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho V_\infty^2 S}$$ Coefficiente di portanza

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho V_\infty^2 S}$$ Coefficiente di resistenza

Per un dato profilo, il coefficiente di portanza varia linearmente con l'incidenza α fino a che lo strato limite è aderente al profilo; mano a mano che la zona di separazione si estende, la crescita di CL con α è sempre più bassa (zona non lineare), fino a che interviene lo stallo.

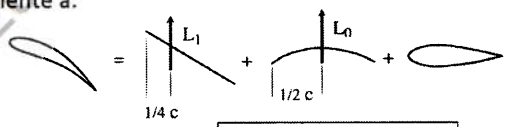
L'effetto della curvatura fa variare l'angolo di portanza alpha 0.
Mentre variare il raggio di curvatura del bordo di attacco, fa variare il valore di CLmax verso l'alto.



La retta di applicazione della portanza, passa per un punto detto centro di pressione.
Per piccoli valori dell'incidenza può considerarsi valida la teoria approssimata dei profili, per la quale la portanza è data dalla somma di tre contributi dovuti rispettivamente a:

- Incidenza
- Curvatura
- Spessore

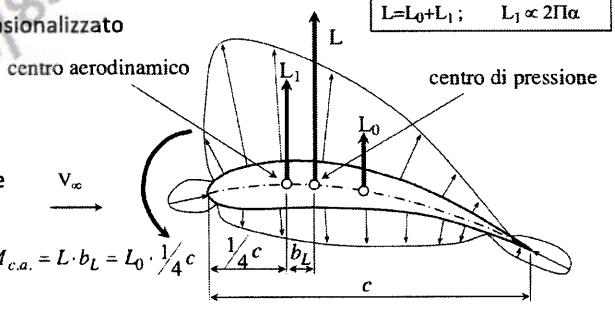
MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745



$L=L_0+L_1$; $L_1 \propto 2\Pi\alpha$

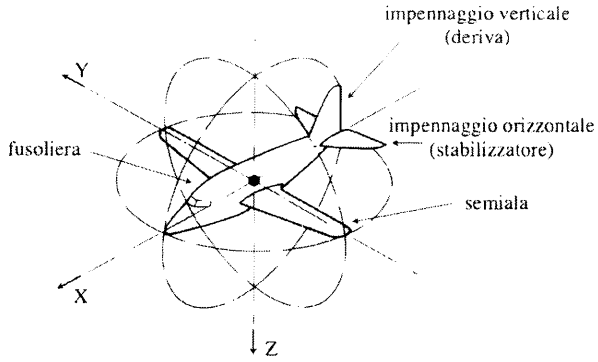
Anche il momento meccanico può essere adimensionalizzato

$$C_M = \frac{M}{\frac{1}{2}\rho V_\infty^2 S c}$$ Coefficiente di momento



Il vantaggio di usare il centro aerodinamico come polo per il calcolo del momento aerodinamico è che il momento non varia al variare dell'incidenza, almeno fino a che il flusso non è separato.

Per la precisione, nel calcolo del momento aerodinamico dovrebbe essere considerata anche la resistenza; tuttavia, se il profilo si comporta come un corpo aerodinamico, il contributo della resistenza (col relativo braccio), può essere trascurato rispetto quello della portanza.



- X: asse longitudinale o di rollio;
- Y: asse laterale o di beccheggio;
- Z: asse verticale o di imbardata;
- X-Z: piano longitudinale;
- Y-Z: piano laterale;
- X-Y: piano orizzontale;
- Fusoliera: ospita il carico pagante;
- Superfici portanti: semiali ed impennaggi di coda;

Moto di beccheggio serve per andare in cabrata o picchiata.

VOLO LIVELLATO STAZIONARIO

Mi muovo di moto rettilineo (livellato) uniforme. Per questo tipo di volo è necessario che:

- Il velivolo sia in quilibrio;
- Tale equilibrio deve essere stabile.

Queste condizioni impongono che la risultante delle forze agenti sul veicolo sia nulla ed anche il momento della risultante sia nullo. Una condizione di equilibrio è stabile quando, perturbata da una causa esterna (disturbo), ritorna naturalmente nella condizione iniziale al cessare del disturbo.

CONDIZIONI DI EQUILIBRIO IN BECCHEGGIO

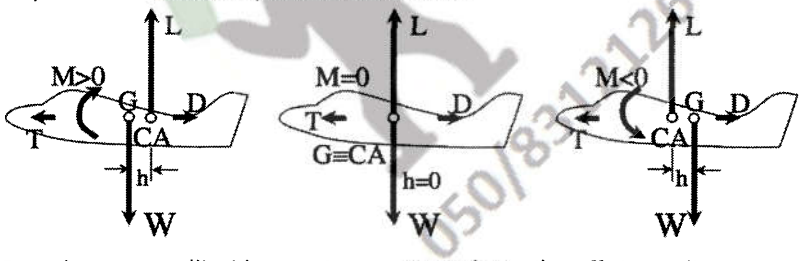
Per il piano longitudinale (x-z) la condizione di equilibrio delle forze è espressa da due equazioni scalari:

L=W equilibrio alla traslazione secondo l'asse verticale (L=lift, portanza; W=weight peso)
D=T equilibrio alla traslazione secondo l'asse orizzontale (D=drag, resistenza; T=traction trazione dei motori)

La condizione di equilibrio dei momenti, con polo G (baricentro) è un'equazione scalare del tipo: L•h=M

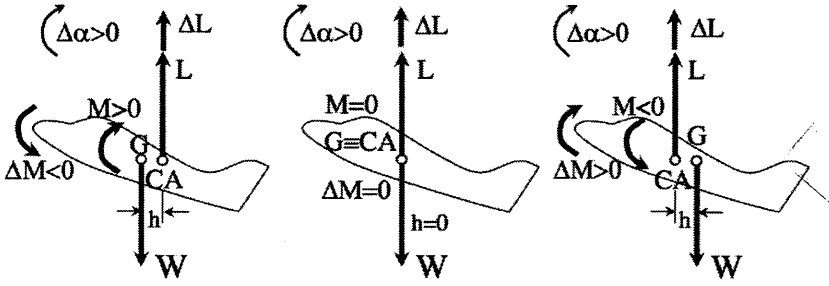
CONDIZIONI DI STABILITA' IN BECCHEGGIO

Quando un equilibrio è perturbato da una forza esterna e dopo la perturbazione si torna all'equilibrio, allora l'equilibrio si dice stabile, altrimenti instabile.



Supponiamo che l'equilibrio sia perturbato e che il disturbo aumenti l'incidenza di $\Delta\alpha$; la condizione di stabilità si impone facendo si che il momento ΔM attorno al baricentro sia tale da diminuire l'incidenza.

Quando aumento l'incidenza mi aumenta anche CL il coefficiente di portanza, vedi grafico.



Equilibrio stabile | Equilibrio indifferente | Equilibrio instabile

L'unico caso di equilibrio stabile è quello in cui il punto di applicazione di L è posteriore rispetto a G.

MASTER COPY
Tel. 050 831126
Cell. 328 9881745