AERODINAMICA DEGLI AEROMOBILI

REQUISITI AERODINAMICI

Caratteristiche di portanza: la portanza (L) deve eguagliare il peso (W) del velivolo moltiplicato per il fattore di carico (n_z, scelto da normativa: ≈ 2,5 ÷ 3 per aerei civili; ≈ 8 per velivoli militari)

Caratteristiche di pitching moment: deve essere garantito che questo valore della portanza venga fornito in maniera stabile

Caratteristiche di portanza delle superfici di controllo: il velivolo deve presentare una serie di superfici mobili tali da garantire la manovrabilità dell'aereo

REQUISITI AERODINAMICI

PORTANZA = n_z W	⟹	Caratteristiche di PORTANZA
STABILITA'	⟹	Caratteristiche di PITCHING MOMENT
MANOVRABILITA'	⟹	Caratteristiche di PORTANZA delle superfici di controllo
PRESTAZIONI	⟹	Caratteristiche di RESISTENZA

Il flusso aerodinamico deve essere:

- EFFICACE
- STABILE
- CONTROLLABILE
- EFFICIENTE

Caratteristiche di resistenza l'obbiettivo del progetto è quello di ricercare il modello che garantisca la minore resistenza nel rispetto delle tre condizioni sopra citate

Il flusso aerodinamico deve inoltre essere:

- efficace (così da garantire il valore di portanza richiesto)
- stabile (così da garantire sempre lo stesso valore di portanza, ad esempio, in presenza di una raffica di vento, la portanza generata non deve divergere dal valore nel caso di flusso "calmo")
- controllabile (se si muove una superficie di controllo, la risposta del sistema deve essere quella prevista da progetto)

ELEMENTI DI BASE

Variabili termodinamiche

VARIABILI TERMODINAMICHE

Lo stato di una massa di fluido in equilibrio e' definito univocamente dai valori delle variabili di stato:

- Densità, ρ
- Pressione, p
- Temperatura, T

Le tre variabili non sono però indipendenti, ma legate da una precisa relazione, dipendendente dal fluido:

$f(p, \rho, T) = 0$ EQUAZIONE DI STATO

Tutte le grandezze che descrivono lo stato del fluido sono funzioni di due qualsiasi delle variabili di stato

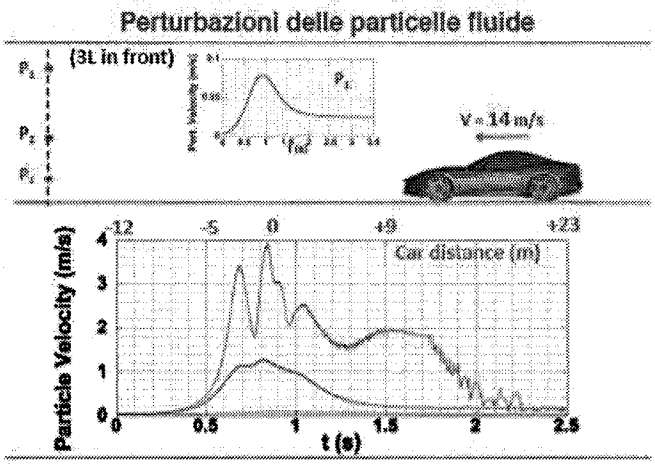
Perturbazioni delle particelle fluide

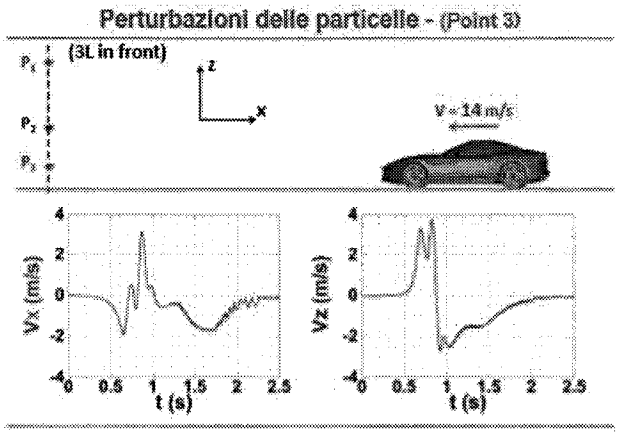
La particella fluida lontano dal suolo (P1) risente poco della presenza dell'automobile (la sua velocità si discosta poco dal valore nullo, valore di velocità antecedente la perturbazione), più ci si avvicina al suolo più la perturbazione è accentuata (P3).

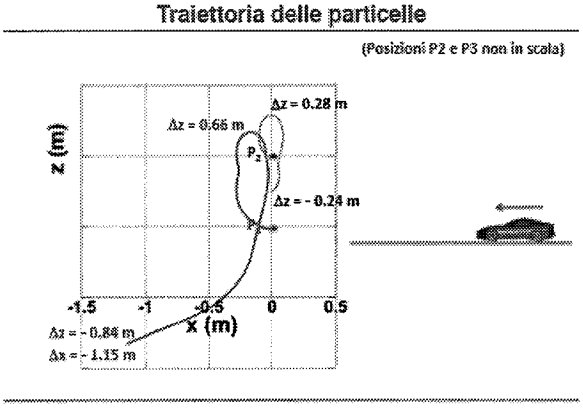
Soffermandoci sul punto P3, inizialmente la sua velocità assiale (v_X) è negativa (cioè la velocità si muove concordemente con l'automobile), per quanto riguarda la velocità verticale (v_Z), inizialmente la particella, spinta dall'auto, si allontana dal suolo ($v_Z>0$), per poi scendere, risucchiata dall'auto al suo passaggio ($v_Z<0$).

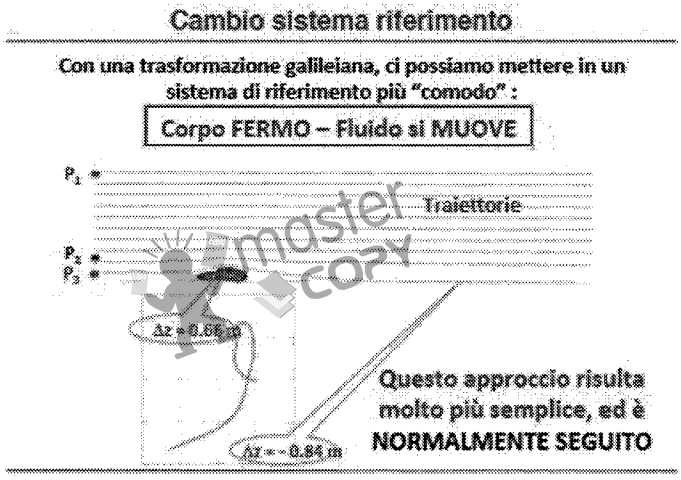
La particella, dopo la perturbazione, può trovarsi anche molto distante rispetto alla posizione inizialmente assunta dalla stessa prima del passaggio del veicolo, in un sistema di riferimento solidale al suolo.

Per un'analisi più semplice, circa le traiettorie delle particelle fluide, è conveniente spostarsi in un sistema di riferimento solidale al veicolo.









Il campo di velocità

IL CAMPO DI VELOCITA'

In ogni punto del campo si puo' definire il vettore velocita':

$$\vec{V} = u\,\vec{i} + v\,\vec{j} + w\,\vec{k}$$

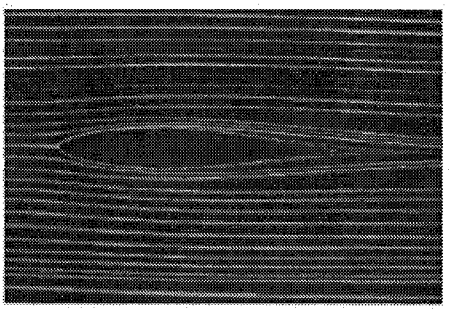
Traiettoria : Traiettoria di un elemento fluido

Linea di corrente: Linee di campo (ovunque la velocita' è tangente alla linea)

Streak line (linea di fumo): Luogo dei punti in cui si trovano particelle che in un qualsiasi istante precedente sono passate da uno stesso punto dello spazio

ESSE COINCIDONO PER FLUSSO STAZIONARIO

STREAKLINES : ESEMPIO



Per avere un flusso stazionario non è sufficiente che il moto del corpo sia stazionario, poiché possono generarsi ugualmente turbolenze (basti pensare al flusso intorno ad un cilindro).

EFFETTO DEL MOTO DEL FLUIDO

Le variabili termodinamiche vengono modificate quando il fluido non é fermo

Sono quindi una funzione del campo di velocità

⬇

Esse sono differenti in ciascun punto P

INCOGNITE del PROBLEMA

$\vec{V} = u\,\vec{i} + v\,\vec{j} + w\,\vec{k}$ $\quad (U = |\vec{V}|)$

velocita' nel punto P (x,y,z)

Variabili Termodinamiche

p	pressione
T	temperatura
ρ	densità

Altre grandezze che influenzano le azioni aerodinamiche, **ma non sono incognite del problema**, in quanto, per un dato fluido, esse dipendono univocamente dal valore delle variabili di stato, ad es. :

μ	viscosità
$\nu = \mu / \rho$	viscosità cinematica

Pedice $_\infty$: Condizioni imperturbate

Velocity of Sound : a (Point) $= \sqrt{\left.\frac{\partial p}{\partial \rho}\right|_{S = cost}}$

Perfect gas: isentropic: $p = C\,\rho^{\gamma}$ ⬇ $\left.\frac{\partial p}{\partial \rho}\right|_s = \gamma\, C\, \rho^{\gamma-1} = \gamma\, p/\rho = \gamma\, R\, T$ ⬇ $p = \rho\, R\, T$

$$a = \sqrt{\gamma\, R\, T}$$

Aria: $a = 20.047 \sqrt{T\ (^\circ K)}$

IL CAMPO DI VORTICITA'

Il campo vettoriale definito dal vettore della velocità è detto campo di VORTICITA'

$$\vec{\omega} = \mathrm{rot}\,\vec{V}$$

$$\omega_x = \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z}$$

$$\omega_y = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x}$$

$$\omega_z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$$

Il campo di vorticità gioca un ruolo FONDAMENTALE nella fluidodinamica

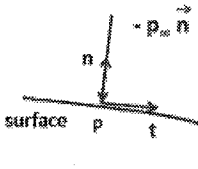
Forze di superficie

FORZE LOCALI (Fluido fermo)

In ciascun Punto agisce una Forza di Superficie

che è NORMALE alla superficie (forza di pressione)

La pressione è uguale alla pressione ambiente, p_∞



La Forza elementare è:

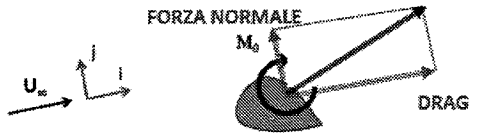
$$\vec{dF} = -p_\infty \vec{n}\, dS$$

L'integrale di una costante estesa ad una superficie chiusa è nulla e quindi è possibile portare all'interno dell'integrale delle forze locali il termine p_∞ (in genere l'ordine di grandezza del termine $p-p_\infty$ è delle decine/centinaia e aumenta all'aumentare della velocità del fluido).

Un corpo aerodinamico è progettato tale da generare un grande valore di forza normale alla velocità asintotica (portanza) e un piccolo valore di resistenza. Per un profilo aerodinamico vale in genere: $L/D \approx 100 \div 200$.

Nel 3D la portanza si sceglie agente sul piano contenente l'accelerazione di gravità e normale alla velocità asintotica.

COMPONENTI DELLA FORZA – Def. (2D)



DRAG — Nella direzione del flusso

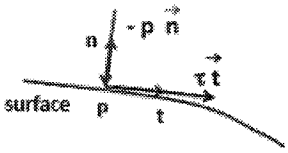
FORZA NORMALE — Normale al flusso

MOMENT

FORZE LOCALI (Fluido in moto)

Moto relativo tra corpo e fluido

- Variazione della pressione a un certo valore, p (P)
- Una "nuova" componente TANGENZIALE (forza tangenziale, τ (P))



La forza elementare è:

$$\vec{dF}(P) = -p(P)\,\vec{n}(P)\,dS + \tau(P)\,\vec{t}(P)\,dS$$

FORZE COMPLESSIVE

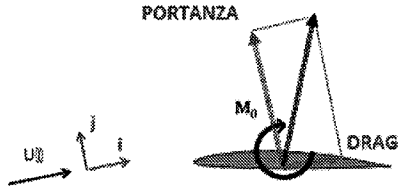
Integrando le forze locali sulla superficie del corpo, si ottengono le FORZE GLOBALI agenti sul corpo.

$$\vec{F} = \int_S -p(P)\,\vec{n}(P)\,dS + \int_S \tau(P)\,\vec{t}(P)\,dS$$

L'integrale delle pressioni non cambia se ci riferiamo alla pressione statica, p_∞

$$\vec{F} = \underbrace{\int_S -(p - p_\infty)(P)\,\vec{n}(P)\,dS}_{\text{PRESSURE FORCE}} + \underbrace{\int_S \tau(P)\,\vec{t}(P)\,dS}_{\text{TANGENTIAL FORCE}}$$

Corpi aerodinamici – def. forze



DRAG — Nella direzione del flusso

PORTANZA — Normale al flusso

MOMENT

Componenti della Forza – Def. (3D)

The DRAG definition remains unique

NORMAL FORCE is in a plane normal to the velocity

There is a third component, LATERAL FORCE

It is necessary to set a plane in which is defined the NORMAL FORCE

Examples: the symmetry plane / The "gravity" plane

There are three components of the moment:

- PITCHING
- ROLLING
- YAWING

EQUAZIONI DEL MOTO DEI FLUIDI (EQ. DI NAVIER-STOKES)

THE EQUATIONS

The equations of the Fluid Dynamics are the mathematical representation of the principles of the classical Mechanics, applied to fluids.

- CONSERVATION OF THE MASS
- $\vec{F} = m\ \vec{a}$ (Newton's Second Law)
- CONSERVATION OF THE ENERGY

They are usually referred as

"Navier-Stokes" Equations

BASIC HYPOTHESES

The fluid can be considered a continuum

Newtonian fluid

Fourier fluid

The fluid can be considered in thermodynamic equilibrium

CONTINUUM HYPOTHESIS

The molecules of a fluid are separated by vacuous regions with dimensions much larger than those of the molecules themselves.

Fluid Mechanics is normally concerned with the behavior on a macroscopic scale, large compared with the distance between molecules

↓

IT WILL NOT OFTEN HAPPEN THAT THE MOLECULAR STRUCTURE OF A FLUID NEED TO BE EXPLICITLY TAKEN INTO ACCOUNT

L'ipotesi di mezzo continuo è valida poiché si studia il moto dello stesso secondo ordini di grandezza molto maggiori delle distanze intermolecolari, da ciò si suppone che il fluido sia un mezzo uniforme. Tuttavia, la definizione di mezzo continuo decade se il gas è particolarmente rarefatto, ad esempio ad alta quota, dato che la distanza tra una molecola e le altre inizia a diventare significativa.



CONTINUUM HYPOTHESIS (2)

Basic concept:

The macroscopic behavior of a fluid is the same as if it was perfectly continuous in structure.

↓

Physical quantities will be regarded as being spread uniformly over the "control" volume, instead of being concentrated in a small fraction of it.

Basic Element: FLUID PARTICLE

BASIC ELEMENT ⟹ FLUID PARTICLE

A volume of fluid that is, at the same time:

SMALL enough
with respect to the fluid dynamics problem scale

LARGE enough
to contains an enormous number of molecules, to ensure that the fluctuations arising from their different properties have no effect on average.

Fluid particle is a concept,

it is not necessary to define it !

