AERODINAMICA SPERIMENTALE

Appunti delle Lezioni

A cura di Sara e Selene

Prof. A. Mariotti

master COPY

master COPY COPISTERIA

master COPY
master COPY COPISTERIA
master COPY

ANALISI DIMENSIONALE

GRANDEZZE FISICHE → Sono proprietà di oggetti o di eventi fisici (tipo lunghezza, massa, velocità) e sono quelle che ci interessa misurare

da queste derivano le

GRANDEZZE BASE → Sono definite mediante le operazioni di:

- COMPARAZIONE: se A=B e B=C allora A=C
- ADDIZIONE: deve essere commutativa e associativa

→ Vengono espresse come multiplo di un campione standard dello stesso tipo detto **UNITA' DI MISURA**

Tutte le unità di misura fanno capo alle 7 UNITA' FONDAMENTALI del Sistema Internazionale (SI)

GRANDEZZE DERIVATE → Sono grandezze ottenute dal prodotto delle potenze dei valori numerici delle grandezze base (ad esempio la velocità è data dalla lunghezza diviso il tempo)

Sia le grandezze di base che quelle derivate hanno una loro **DIMENSIONE**. In particolare la dimensione di una grandezza derivata si esprime in termini delle dimensioni delle grandezze di base da cui questa dipende.

In aerodinamica sperimentale si fa uso di COEFFICIENTI ADIMENSIONALI che racchiudono informazioni sul problema che stiamo studiando. Per ricavare questi coefficienti si utilizza il **TEOREMA DI BUCKINGHAM**

sia dato un problema qualsiasi governato da n grandezze fisiche riconducibili a q grandezze di base, allora in numero di coefficienti adimensionali πi a cui si può ricondurre il problema è pari a: $i = n - q$

Nel caso di PROBLEMA FLUIDODINAMICO in cui si vuole calcolare la forza aerodinamica F agente su un corpo avente dimensione caratteristica l e che viene immerso in un flusso a velocità V, si ha:

- GRANDEZZE FISICHE: V, l, F, ρ, μ --> n = 5
- GRANDEZZE DI BASE: m, l, t --> q = 3
- COEFFICIENTI ADIMENSIONALI: i = n - q = 5 - 3 = 2

Per calcolare tali coefficienti andiamo a scegliere due sottoinsiemi delle grandezze fisiche in gioco:

1) Sottoinsieme in cui ***escludiamo la viscosità***

$\pi_1 = F^a \rho^b V^c l^d$ → Sostituiamo ad ogni grandezza la rispettiva unità di misura →

→ $\pi_1 = \left[m \cdot \frac{l}{t^2}\right]^a \cdot \left[\frac{m}{l^3}\right]^b \cdot \left[\frac{l}{t}\right]^c \cdot [l]^d$ →

→ Imponiamo che l'esponente di ogni unità di misura sia nullo perché il coefficiente deve essere adimensionale →

→ $\pi_1 = m^a \cdot l^a t^{-2a} \cdot m^b \cdot l^{-3b} \cdot l^c \cdot t^{-c} \cdot l^d$ →

→ $\begin{cases} a + b = 0 \\ a - 3b + c + d = 0 \\ -2a - c = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{array}{l} a = 1 \\ b = -1 \\ c = -2 \\ d = -2 \end{array}$ →

→ $\pi_1 = \frac{F}{\rho V^2 l^2} = \frac{1}{2} C_F$ con C_F = coeff. di Forza

2) Sottoinsieme in cui ***escludiamo la forza***

$\pi_2 = \mu^a \rho^b V^c l^d$ → Stesso procedimento → $\pi_2 = \frac{\rho V l}{\mu} = Re$

In conclusione, un problema tipico di fluidodinamica è riconducibile ai soli coefficiente di forza e numero di Reynolds il che significa che per avere una simulazione soddisfacente basta riprodurre in galleria del vento gli stessi coefficienti adimensionali Cf e Re del caso reale. In particolare, una volta scelta la scala del modello, per avere LO STESSO NUMERO DI Re dobbiamo aumentare la velocità del flusso tanto più quanto più piccola è la scala. Di conseguenza dobbiamo prestare molta attenzione alla scala utilizzata in modo da evitare velocità troppo elevate che potrebbero modificare la tipologia di flusso rispetto alla realtà. Riprodurre LO STESSO Cf è invece importante per avere sul corpo la stessa forza che agisce nel caso reale.

A questo punto il nostro SCOPO è quello di descrivere il problema fluidodinamico con una funzione di questi coefficienti adimensionali. Se siamo interessati a conoscere una particolare grandezza fisica, come ad esempio la forza F, possiamo fare in modo che nella sua espressione il coefficiente di forza Cf, che rappresenta il parametro adimensionale principale, cioè quello da cui F dipende maggiormente e quello che ci fornisce direttamente F, compaia con esponente pari a 1. In questo modo si ottiene che:

$\pi_1 = C_f = F / (\rho V^2 l^2) \Rightarrow F = \rho V^2 l^2 C_f(Re)$

Da cui si possono distinguere due casi:

master COPY COPISTERIA

1) *Caso in cui siamo **ad alti Re***, in cui F dipende essenzialmente dalle pressioni ($\rho V^2 S$) e quindi il Cf dipende debolemente dal Re e il parametro principale risulta ben scelto

1) *Caso in cui siamo **a bassi Re***, in cui F dipende essenzialmente dalle tensioni viscose e e quindi di Cf dipende molto dal Re e il parametro principale più opportuno sarebbe:

$$c_{F_\mu} = c_F \,\mathrm{Re} = \frac{F}{\mu V l} \quad \Longrightarrow \quad F = \mu V l c_{F_\mu}(\mathrm{Re})$$

master COPY COPISTERIA

in quanto l'espressione della forza in questa forma comporterebbe un valore di Cfμ pressoché costante al variare del numero di Reynolds. Si ha così una dipendenza lineare dalla velocità.

master COPY

Quindi in base alle velocità a cui siamo è possibile scegliere quale adottare più opportunamente.

La forza aerodinamica nel caso più generale possibile dipende da 11 grandezze

$$F, \rho, V, l, p, \mu, t, g, k, C_p, C_v$$

Le quali hanno 4 grandezze di base: M, L, T, Q

Quindi tramite il teorema di possono definire 7 parametri adimensionali indipendenti tra loro e di seguito si riportano i più utilizzati in fluidodinamica:

$$\pi_0 = \frac{c_p}{c_v} = \gamma$$

$$\pi_1 = \frac{F}{\rho V^2 l^2} = c_F$$

$$\pi_2 = \frac{\rho V L}{\mu} = \mathrm{Re}$$

$$\pi_3 == \frac{\rho V^2}{\gamma p} = \frac{V^2}{a^2} = M^2$$

$$\pi_4 = \frac{c_p \mu}{k} = \mathrm{Pr}$$

$$\pi_5 = \frac{V}{\sqrt{lg}} = \mathrm{Fr}$$

$$\pi_6 = \frac{Vt}{l} = \mathrm{Th}$$

In cui compaiono:

- Numero di Mach
- Numero di Reynolds
- Numero di Prandtl: rapporto tra dissipazione viscosa e diffusività termica
- Numero di Froude: rapporto tra forze inerziali e peso
- Numero di Thomson che può essere sostituito con il numero di Strouhal

$$\pi_6 = \frac{fl}{V} = \mathrm{St}$$

lo utilizziamo più di Th

master COPY