

Esercizio 7.3 — Similitudine a bassa velocità: sottomarino. La velocità di pattugliamento di un sottomarino vale $V_v = 2.5 \text{ m/s}$. Considerando che il sottomarino si muova in acqua in condizioni standard, a quale velocità deve essere provato un modello in scala $\lambda = 1/10$, avendo a disposizione rispettivamente:

- una galleria ad acqua in condizioni standard,
- una galleria ad aria a pressione di 10 bar e temperatura di 30°C ?

Se la resistenza al vero vale $D_v = 6000 \text{ N}$, quanto vale la resistenza sui modelli in scala nei due casi?

(Galleria ad aria: $V_m = 35.17 \text{ m/s}$, $D_m = 136.1 \text{ N}$. Galleria ad acqua: $V_m = 25 \text{ m/s}$, $D_m = 6000 \text{ N}$.)

Soluzione

Concetti. Similitudine fluidodinamica. Numero di Reynolds. Formula di Sutherland.

$$Re = \frac{\rho U L}{\mu} \quad (7.11)$$

$$\mu(T) = \mu_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^{1.5} \frac{C + T_0}{C + T} \quad (7.12)$$

Svolgimento. La velocità sul modello si trova tramite l'uguaglianza dei numeri di Reynolds. Per trovare la viscosità dell'aria viene utilizzata la formula di Sutherland (per l'aria i coefficienti sono $T_0 = 288\text{K}$, $C = 110.4\text{K}$, $\mu_0 = 18.27\mu\text{Pas}$).

$$\frac{\rho_v V_v L_v}{\mu_v} = \frac{\rho_m V_m L_m}{\mu_m} \Rightarrow V_m = V_v \frac{\rho_v L_v}{\rho_m L_m} \frac{\mu_m}{\mu_v} \quad (7.13)$$

La forza agente sul corpo è:

$$\begin{aligned} \oint_S -p \hat{n} + \mu [\nabla \mathbf{u} + \nabla^T \mathbf{u}] \cdot \hat{n} &= \oint_S -P p^* \hat{n} + \frac{\mu U}{L} [\nabla^* \mathbf{u}^* + \nabla^{*T} \mathbf{u}^*] \hat{n} = \quad (P = \rho U^2, dS = L^2 dS^*) \\ &= \rho U^2 L^2 \oint_{S^*} -p^* \hat{n} + \frac{1}{Re} [\nabla^* \mathbf{u}^* + \nabla^{*T} \mathbf{u}^*] \hat{n} \end{aligned} \quad (7.14)$$

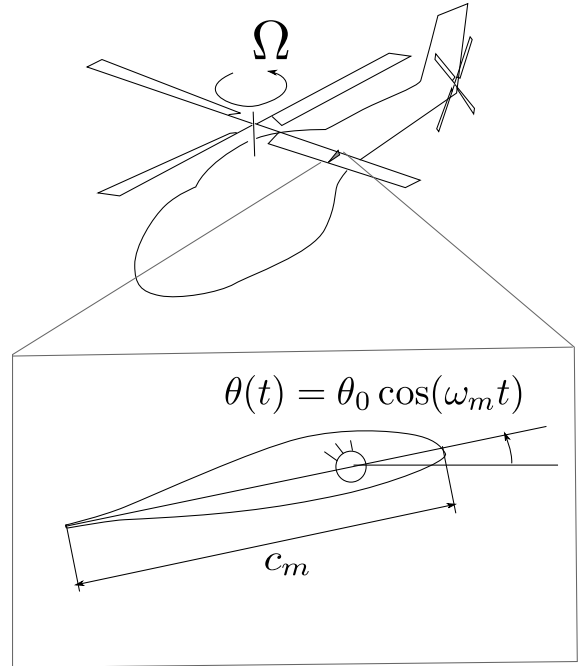
Nel caso della galleria ad acqua, le densità e le viscosità sono uguali; avendo imposto l'uguaglianza del numero di Reynolds, $U_m L_m = U_v L_v$, quindi la forza agente sul modello è uguale a quella agente sul corpo vero.

Nel caso della galleria ad aria, la forza agente sul modello si ricava come:

$$\begin{cases} \mathbf{F}_a = \rho_a U_m^2 L_m^2 \oint_{S^*} \dots \\ \mathbf{F}_v = \rho U^2 L^2 \oint_{S^*} \dots \end{cases} \Rightarrow \mathbf{F}_a = \mathbf{F}_v \frac{\rho_a U_m^2}{\rho U^2} \lambda^2 \quad (7.15)$$

Esercizio 7.6 — Profilo oscillante. L'obiettivo di una prova in galleria è lo studio del campo di moto attorno a una pala di elicottero, in particolare attorno alla sezione che si trova a metà della lunghezza della pala, $R_v = 6.85 \text{ m}$. Il rotore dell'elicottero ruota con una velocità angolare Ω_v , tale da avere una velocità $U_{tip} = 200 \text{ m/s}$ (per evitare il regime supersonico). La corda della pala nella sezione analizzata è $c_v = 0.30 \text{ m}$. Il modello di galleria a circuito aperto è costituito da una superficie alare, incernierata su un asse perpendicolare alla direzione del vento di galleria, in corrispondenza dell'asse "di comando del passo". Sapendo che la massima velocità raggiungibile nell'impianto utilizzato è $U_m = 50 \text{ m/s}$, si chiede di determinare:

- la corda del modello c_m , per ottenere la similitudine in Re e di commentare gli effetti di comprimibilità;
- la frequenza di oscillazione ω_m da imporre al profilo per simulare il cambio di incidenza dovuti ai comandi di passo collettivo e ciclico;
- una stima della potenza dell'impianto necessaria a svolgere la prova, conoscendo le dimensioni della camera di prova rettangolare, $b = 1.5 \text{ m}$, $h = 1.0 \text{ m}$.



Soluzione

Concetti. Similitudine fluidodinamica. Comando elicottero. Stima potenza galleria del vento.

Svolgimento.

- Per ottenere la similitudine in Re , è necessario uguagliare i numeri di Reynolds ottenuti con le grandezze dimensionali caratteristiche del problema. La lunghezza di riferimento è la corda. La velocità di riferimento è la velocità che investe il profilo della pala considerato; nella prova di galleria è la velocità di galleria U_m , nella realtà è la velocità relativa dovuta alla rotazione della pala (alla quale deve essere sovrapposto il moto dell'elicottero, in caso di avanzamento, qui ipotizzato nullo): $U_v = \Omega R_v/2 = U_{tip}/2$. Il fluido è sempre aria.

$$\frac{U_v c_v}{\nu} = \frac{U_m c_m}{\nu} \Rightarrow c_m = c_v \frac{U_{tip}}{2 U_m} = 0.60 \text{ m} \quad (7.33)$$

In questo esempio, per avere similitudine in Re serve un modello con una corda maggiore della corda reale.

Gli effetti di comprimibilità possono essere valutati calcolando il numero di Mach. Il numero di Mach per la sezione di pala considerata nella realtà è $M_v \approx 100/340 \approx 0.3$, limite convenzionale per potere trascurare gli effetti di comprimibilità. Per la prova in galleria $M_m \approx 0.15$.

- Il comando di passo ciclico è periodico e armonico con frequenza $\Omega_v = U_{tip}/R_v = 29.19 \text{ s}^{-1}$. Per essere in similitudine con la realtà è necessario avere uguaglianza dei numeri di Strouhal (o *frequenze ridotte*, indicate da strutturisti e aeroelastici con k).

$$\frac{\Omega c_v}{U_v} = \frac{\omega_m c_m}{U_m} \Rightarrow \omega_m = \Omega \frac{c_v}{c_m} \frac{U_m}{U_v} = \Omega \left(\frac{U_m}{U_v} \right)^2 \quad (7.34)$$

- In un impianto a galleria aperta si può ricavare la formula per la stima della potenza necessaria da un bilancio integrale di energia cinetica

$$P \approx \frac{1}{2} \rho U^3 A \quad (7.35)$$