

**Esercitazioni del corso di:
Meccanica del volo dell'elicottero**

Professore: Garito

**Esercitazione n°03:
Diagramma ad otto per un rotore**

Studente: Petrosino Francesco
Matricola: 347/680

1. Scopi dell'esercitazione

Si è diagrammato il ciclo ad otto per un rotore in volo traslato. Il diagramma ad otto è il diagramma che lega angolo d'attacco e numero di Mach che una data posizione scelta lungo il raggio di una pala del rotore, incontra durante la rotazione stessa.

2. Dati e riferimenti

Si è scelto un elicottero di peso $W = 30000$ N. Assegniamo un coefficiente di portanza medio per i vari profili delle pale $c_l = 0.5$, da cui ricaviamo il coefficiente di trazione c_T , ed uguagliando spinta e peso, la solidità:

$$c_T = c_l/6 = 0.083 \quad T = W = c_{Tp} A \sigma V_t^2 \quad \Rightarrow \quad \sigma = W / c_{Tp} A V_t^2 = 0.0578$$

Dalla formula che lega area del rotore e peso, si ricava il raggio del rotore:

$$A = 0.6 * W^{2/3} = 127 \text{ m}^2 \quad \Rightarrow \quad R = 6.35 \text{ m}$$

Assegniamo il rapporto c/R , supponendo la forma in pianta rettangolare, si ricava la corda delle pale e il numero di pale dalla solidità:

$$c/R = 1/18 \quad \Rightarrow \quad c = 0.35 \text{ m}$$

$$\sigma = N_p c / \pi R \quad \Rightarrow \quad N_p = 3$$

Si è considerata una pala con profilo costante e gradiente della retta di portanza pari ad $a = 5.7 \text{ rad}^{-1}$. La densità dell'aria è pari a 1.23 kg/m^3 , la viscosità dinamica vale $1.8 * 10^{-5} \text{ kg/ms}$.

Noti questi dati, assegniamo una velocità all'estremità della pala $V_t = 200 \text{ m/s}$

Quello che bisogna calcolare sono:

$$\text{numero di Mach: } M = \frac{u_t V_t}{a_L} \quad \text{angolo d'attacco: } \alpha = \theta - \frac{u_n}{u_t}$$

dove a_L è la velocità del suono presa uguale a 340 m/s , u_t è la componente adimensionale della velocità in direzione tangente alla rotazione, u_n la componente adimensionale della velocità in direzione normale alla pala, θ è l'angolo di calettamento del profilo.

Definiamo il coefficiente d'avanzamento μ e il coefficiente d'induzione verticale λ :

$$\mu = \frac{V}{V_t} \cos(i) \quad \lambda = \frac{V \sin(i) + v}{V_t}$$

dove i è l'angolo d'incidenza del rotore, v è la velocità indotta verticale.

Il coefficiente μ è quello che ci dice a quale velocità sta traslando il rotore, ed è un dato che assegniamo: $\mu = 0.4$.

Il coefficiente λ è un'incognita del problema.

Ci riferiamo al piano del disco del rotore, rispetto al quale possiamo calcolare la velocità V e l'induzione v conoscendo l'angolo i :

$$i_D = \theta_T = \frac{\frac{1}{2} \mu^2 c_f + c_{hD}}{c_t} \quad \text{con} \quad c_{hD} = \frac{1}{4} \mu c_{dm}$$

dove c_f è il coefficiente di resistenza della fusoliera pari a 0.2 , c_{dm} è il coefficiente di resistenza medio della pala pari a 0.014 ; mentre il coefficiente λ_D vale:

$$\lambda_D = \mu * i + \lambda_i \quad \text{con} \quad \lambda_i = \sqrt{-\frac{\mu^2}{2} + \sqrt{\left(\frac{\mu^2}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma c_t}{2}\right)^2}}$$

dove σ è la solidità della pala.

Per calcolare le velocità ci riferiamo al piano di controllo, nel quale il passo è costante, ma dove vale: $\lambda = \mu * a_{1c} + \lambda_D$.

Le relazioni che ci permettono di trovare i parametri presenti nelle espressioni di M ed α , riferendoci al piano di controllo del rotore e tralasciando l'eccentricità della pala, sono:

$$u_t = \eta + \mu * \sin(\psi) \quad u_n = \lambda + \eta * \frac{d\beta}{d\psi} + \mu\beta * \cos(\psi)$$

$$\theta = A_0 = \frac{4\frac{c_t}{3} + \lambda}{\frac{2}{3} + \mu^2} \quad \beta = a_{0c} - a_{1c} \cos(\psi) - b_{1c} \sin(\psi)$$

dove η è la coordinata adimensionale che indica la posizione lungo la pala, ed è un dato $\eta = 0.8$, ψ è l'angolo in radianti che precorre una pala durante la rotazione, e vari tra 0 e 2π , β è l'angolo di flappeggio della pala.

I coefficienti dell'espressione dell'angolo di flappeggio sono:

$$a_{0c} = \frac{\gamma}{8} \left(A_0 (1 + \mu^2) - \frac{4}{3} \lambda \right) \quad a_{1c} = 2\mu \frac{\frac{4}{3} A_0 - \lambda}{1 - \frac{1}{2} \mu^2} \quad b_{1c} = \frac{4}{3} \mu \frac{a_{0c}}{1 + \frac{1}{2} \mu^2}$$

3. Risultati

Il diagramma ad otto del rotore scelto, calcolato per $\mu = 0.4$ nella posizione $\eta = 0.8$ è riportato nella figura seguente:

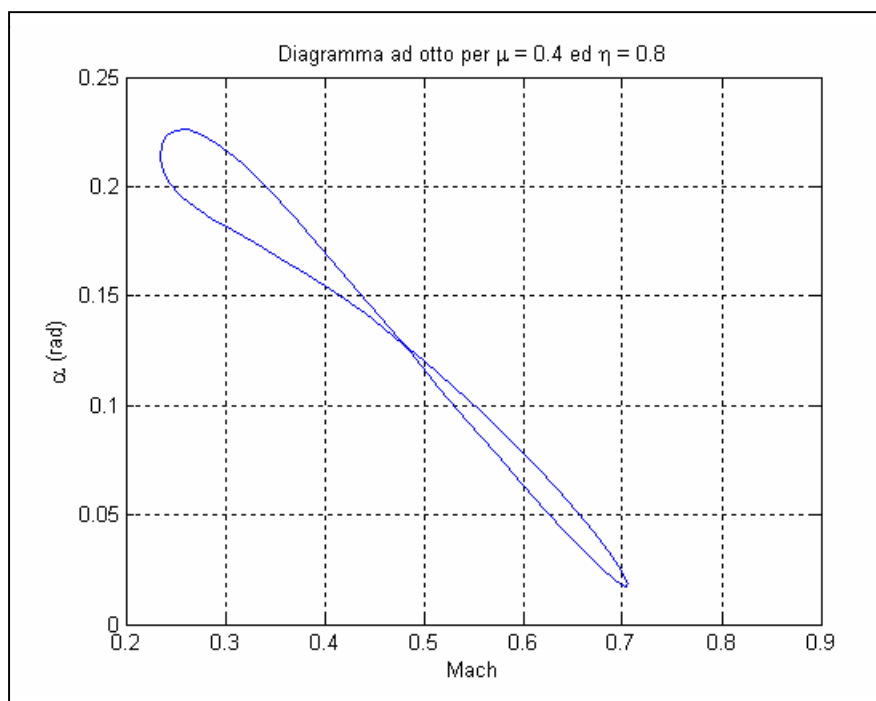


Figura 1:
diagramma ad otto,
il profilo incontra
bassi α ad alti
Mach, e viceversa.

Nella figura 2 è riportata la variazione del ciclo ad otto connessa alla variazione del coefficiente μ : il diagramma si sposta verso destra e verso l'alto, e si allunga.

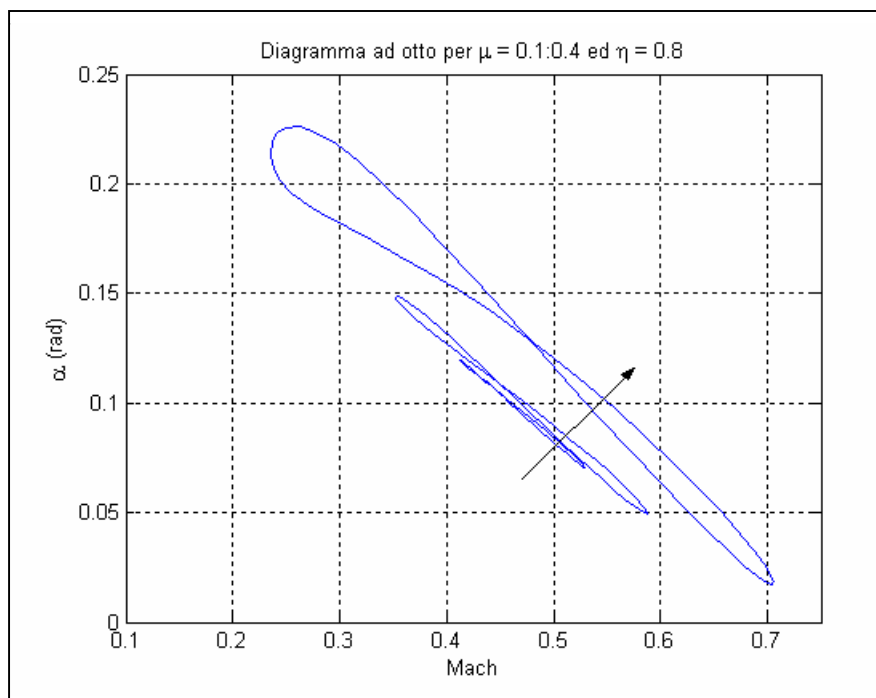


Figura 2:
variazione del
diagramma ad
otto con il
parametro μ