

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

***Relazione per la prova finale
«Analisi della dinamica di volo di un
drone convertiplano »***

Tutor universitario: Prof. Giacomo Colombatti

Laureando: *Luigi Tonon*

Padova, 27/09/2024



- ✓ Decollo e atterraggio verticale
- ✓ Hovering
- X Bassa autonomia
- X Payload limitato



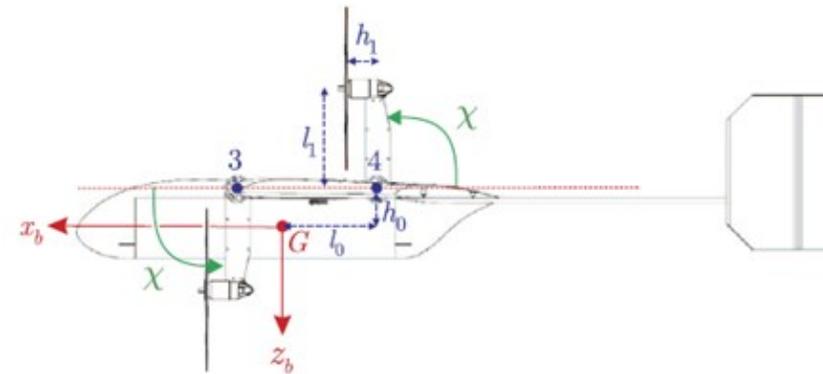
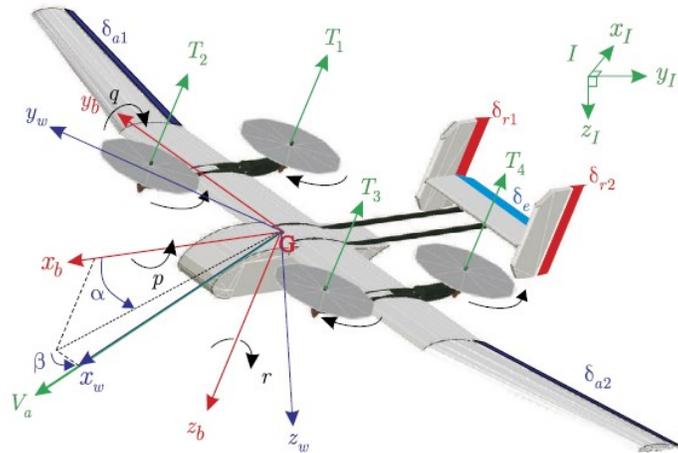
- ✓ Operazioni a lungo raggio
- ✓ Payload elevato
- ✓ Velocità elevate
- X Necessità di una pista per decollo e atterraggio

Definizione: “un velivolo con capacità di decollo e atterraggio verticale e velocità di crociera pari a quelle dei comuni aerei ad ala fissa che effettuano missioni di volo su distanze maggiori”

Tiltrotor



- Asse orizzontale quasi stabile
- Ala fissa
- Tilting dei soli rotori



Forze propulsive

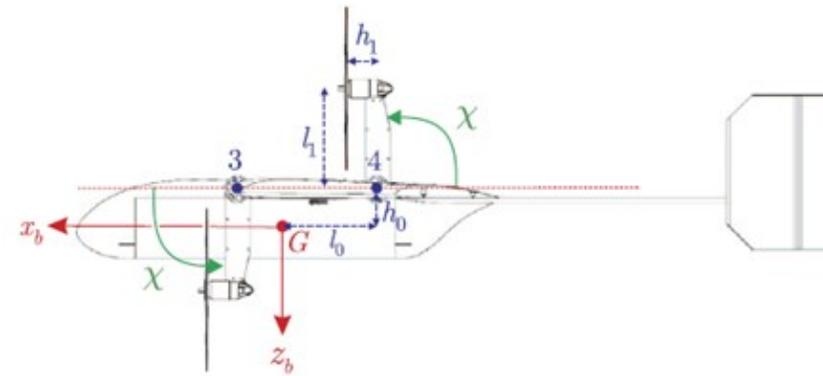
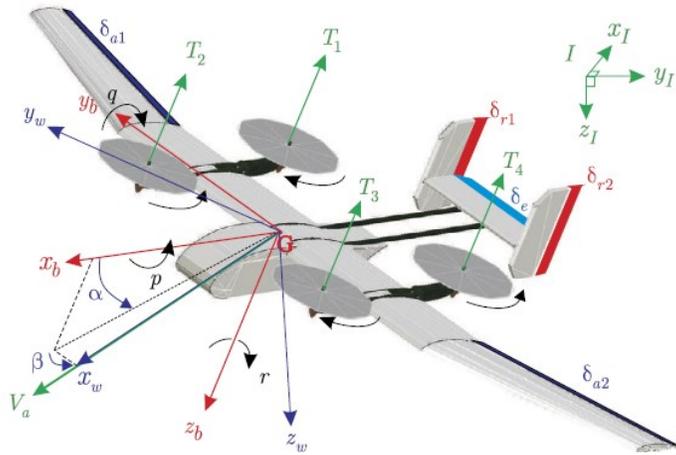
$$\mathbf{F}_p = - \sum_i \begin{pmatrix} \cos(\chi_i) & 0 & -\sin(\chi_i) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\chi_i) & 0 & \cos(\chi_i) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ c_t \omega_i^2 \end{pmatrix}$$

- Strettamente dipendenti dall'inclinazione dei motori

Forze aerodinamiche

$$\mathbf{F}_a = \frac{1}{2} \rho V^2 S (c_l \hat{V}_\perp - c_d \hat{V})$$

- Classiche forze generate da un velivolo FW



Coppie propulsive

$$\mathbf{M}_p = \begin{pmatrix} \cos(\chi) & 0 & -\sin(\chi) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\chi) & 0 & \cos(\chi) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -c_{Tl} & -c_{Tl} & c_{Tl} & c_{Tl} \\ -c_{Tl} & c_{Tl} & c_{Tl} & -c_{Tl} \\ -c_Q & c_Q & -c_Q & c_Q \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_1^2 \\ \omega_2^2 \\ \omega_3^2 \\ \omega_4^2 \end{pmatrix}$$

- Strettamente dipendenti dall'inclinazione dei motori
- Permettono un'elevata manovrabilità in modalità RW

Coppie aerodinamiche

$$\mathbf{M}_a = \begin{pmatrix} C_f & 0 & 0 \\ 0 & C_f & 0 \\ 0 & 0 & C_f \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta_a \\ \delta_e \\ \delta_r \end{pmatrix}$$

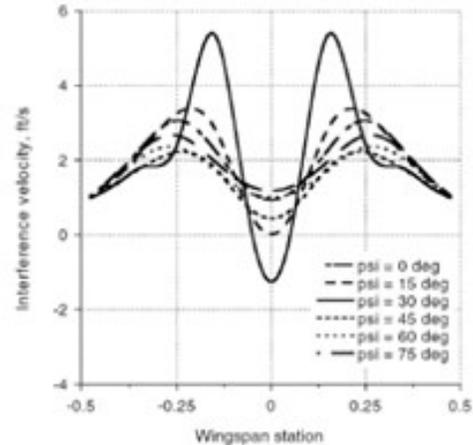
- Generate dalle superfici di controllo
- Non risentono dell'inclinazione dei motori



- Quadrirotore bi-ala
- Rotori anteriori e posteriori non allineati

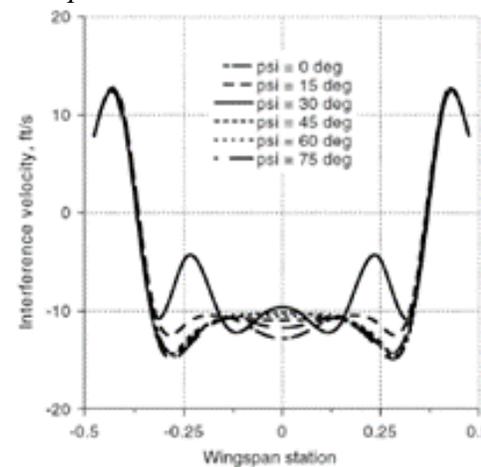
Velocità di interferenza

Ala anteriore



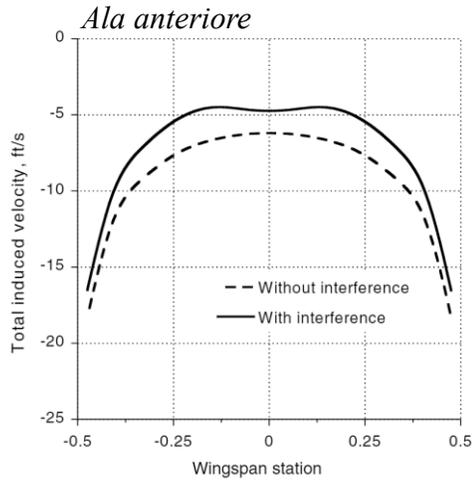
- Effetto positivo
- Velocità di interferenza che si oppone a quella indotta

Ala posteriore

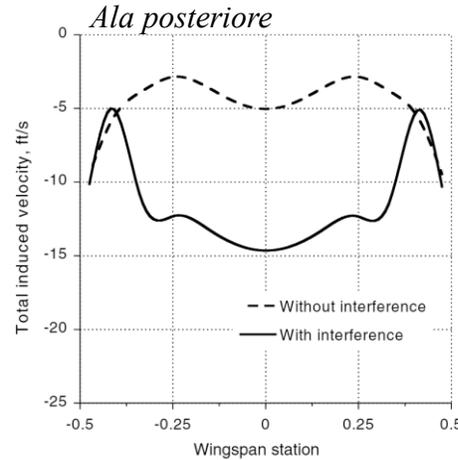


- Effetto negativo
- Velocità di interferenza che esalta quella indotta
- Effetti negativi dovuti ad un insieme di fattori

Velocità indotta

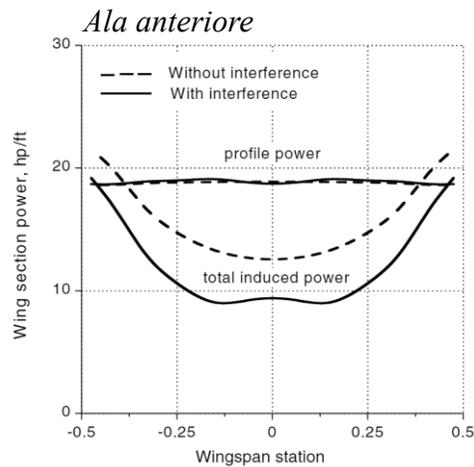


- Lungo tutta l'apertura alare la velocità indotta è minore in presenza dell'interferenza
- A parità di AoA l'ala genererà un lift maggiore

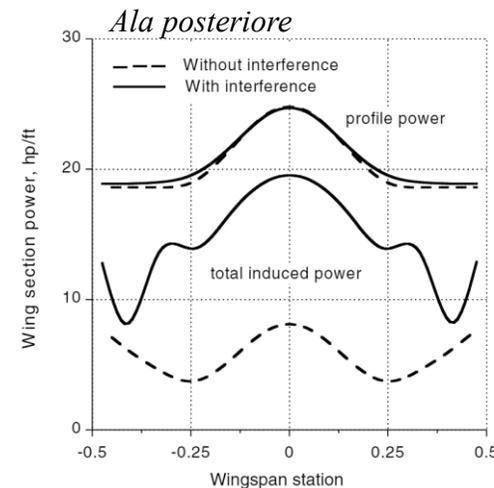


- Interferenza non favorevole → Velocità indotta maggiore
- AoA effettivo ridotto → portanza prodotta dalle ali inferiore

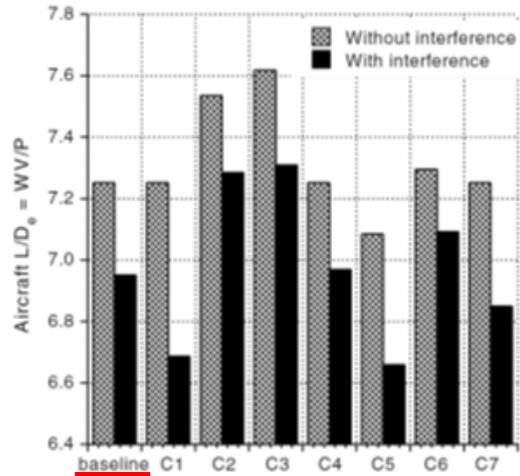
Potenza indotta



- Riduzione della potenza necessaria per vincere il drag dell'ala
- Rapporto L/D maggiore in presenza dell'interferenza



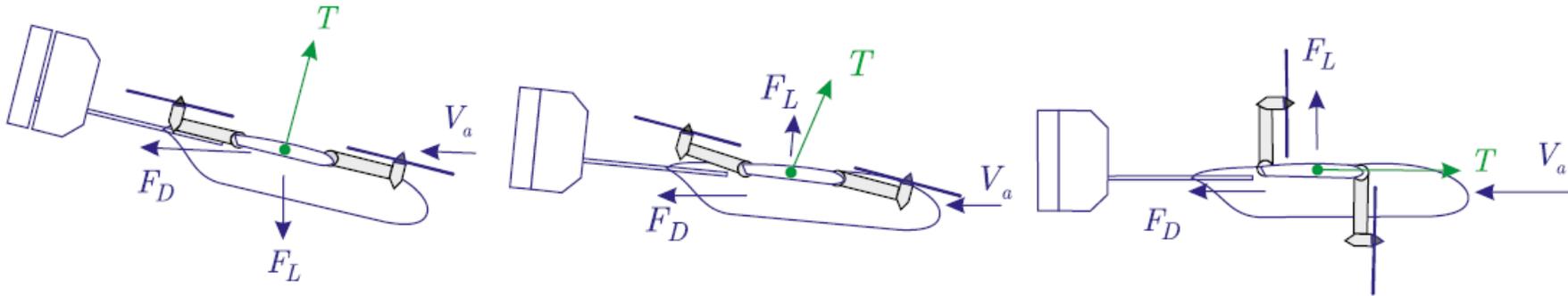
- Notevole aumento della potenza indotta
- L'efficienza dell'ala cala drasticamente



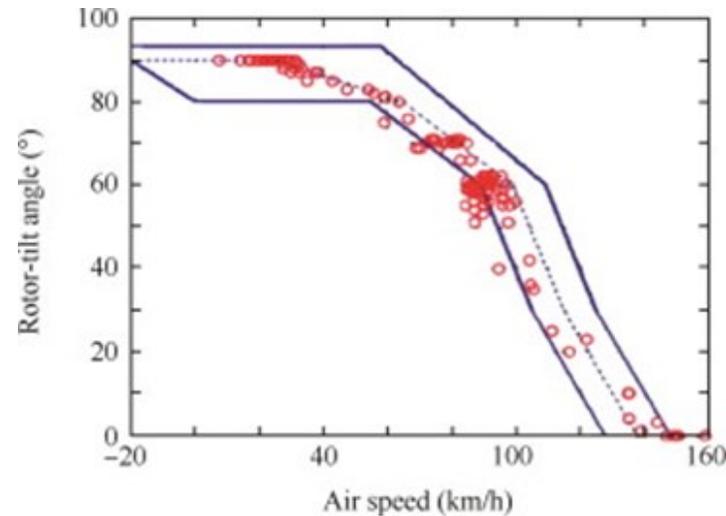
- In generale le interferenze dovute alla configurazione a 4 rotori portano il velivolo ad essere molto meno efficiente (osservando il rapporto L/D)

Come possono valere questi risultati sul modello iniziale?

- L'unica ala probabilmente sperimenterebbe un'interferenza positiva simile a quella della front wing del modello usato nelle simulazioni
- L'insieme di coda invece avrebbe effetti simili alla rear wing → minore efficienza delle superfici di controllo → minor manovrabilità durante la fase di volo



- Per accelerare il velivolo necessita di un angolo di pitch negativo → AoA tale da avere lift negativo
- Manovra di transizione che prevede di mantenere sempre un assetto tale da avere un lift che, unito al thrust, permetta il sostentamento dell'aeromobile
- Risulta necessario creare una 'traiettoria di transizione' per essere certi di avere sempre stabilità



- Attraverso lo studio del trim point (punto d'assetto) si arriva a costruire la traiettoria
- Utilizzando delle simulazioni si ottiene quello che viene definito 'corridoio operativo'
- Alle simulazioni si affiancano dei test in galleria del vento, soprattutto per le configurazioni più vicine ai bordi del corridoio
- La traiettoria viene costruita unendo una serie finita di punti di assetto

- X Bassa efficienza aerodinamica
- X Complessa manovra di transizione
- X Elevato crash rate dei prototipi → Difficoltà a ricevere il fit to flight
- ✓ Alta manovrabilità ed elevata cruise speed → Velivolo perfetto per operazioni in ambiente ostili senza la necessità di un pilota

[Review of designs and flight control techniques of hybrid and convertible VTOL UAVs](#)

[An evaluative review of the VTOL technologies for unmanned and manned aerial vehicles](#)

[Longitudinal modeling and control for the convertible unmanned aerial vehicle: Theory and experiments](#)

[Performance and Design Investigation of Heavy Lift Tilt-Rotor with Aerodynamic Interference Effects](#)

[Control techniques of tilt rotor unmanned aerial vehicle systems: A review](#)