

Misura in galleria del vento della distribuzione di pressione attorno al profilo alare NACA 0015 al variare dell'incidenza e del numero di Reynolds

OBIETTIVI: Valutare la distribuzione di pressione in termini di coefficiente di pressione e il coefficiente di portanza per quella assegnata incidenza

Descrizione fenomenologica

FLUSSO ATTORNO AD UN PROFILO ALARE NACA 0015:

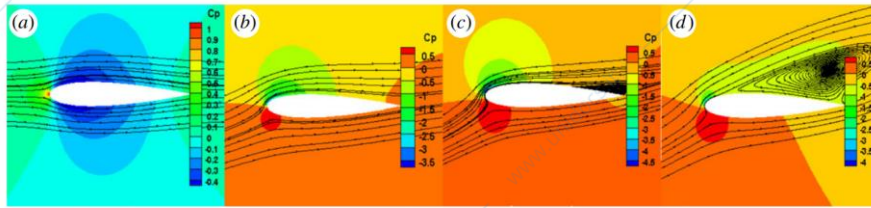
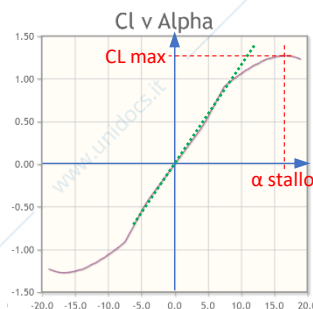


Figure 10. Flow streamlines and pressure contours of NACA0015 aerofoil. (a) 0°, (b) 10°, (c) 15° and (d) 20°. $Re = 3 \times 10^5$; $Ma = 0.03$

Profilo NACA 0015: profilo a 4 cifre, simmetrico, 15% spessore percentuale massimo rispetto alla corda. corda=0.4m

(Figure 10): Streamline al variare dell'angolo d'attacco: $0^\circ < \alpha < 20^\circ$

(a): inizialmente le linee di corrente sono attaccate al corpo poi lasciano il profilo in corrispondenza del bordo di fuga, all'aumentare dell'angolo d'attacco (b) la posizione del punto di ristagno si sposta verso il ventre del profilo. In corrispondenza del bordo di fuga sulla parte dorsale del profilo si ha una regione del campo che risulta essere leggermente staccata: se α cresce in corrispondenza del bordo di fuga le linee di corrente si iniziano a separare (c), se si continua ad aumentare il valore di α si arriverà allo stallo (d).



CL nella regione lineare aumenta in maniera lineare (per $\alpha = 0$, $CL = 0$ cioè non ci è portanza), successivamente si presentano fenomeni non lineari (distacco delle streamlines) che sul grafico CL- α comportano l'allontanarsi dall'andamento lineare.

Pendenza tratto lineare (profili 2D) = 2π 1/rad.

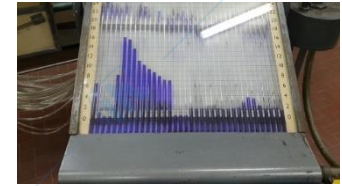
Dopo il tratto lineare si raggiunge un valore massimo del CL ottenuto per il valore di α di stallo, aumentando ancora l'angolo d'attacco non si avrà più aumento del coefficiente di portanza ma una riduzione.

Set-up sperimentale

- Galleria del vento aspirata a circuito aperto, prende aria dall'ambiente e la reinietta in ambiente; composta da una sezione convergente seguita da una struttura a nido d'ape che raddrizza il flusso in entrata la tratto successivo a sezione costante, termina con una sezione divergente in cui è presente l'elica a velocità regolabile che crea la corrente V_∞ nel condotto (elica a valle della galleria stessa: aspirata). A seconda della differenza di sezioni all'ingresso e uscita del tratto convergente si ottiene il valore della velocità in entrata al condotto a sezione costante.



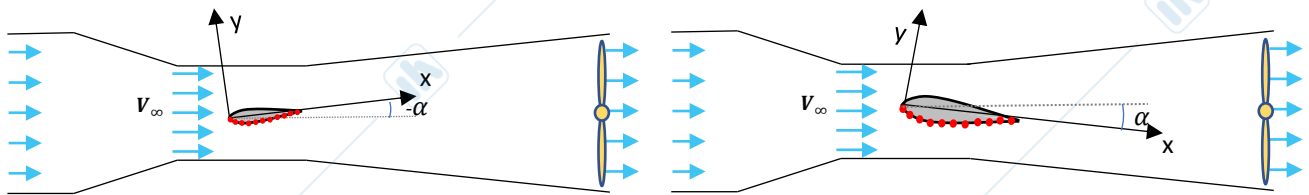
- Profilo alare bidimensionale (generica sezione di un'ala infinitamente lunga) immerso in un flusso d'aria, si utilizza una sezione costante del profilo che si estende da parete a parete (per simulare l'allungamento infinito).
- Sulla sezione alare sono presenti 11 prese d'aria che rilevano il valore della pressione nei diversi punti del profilo, sono infatti collegate pneumaticamente ad un manometro, la pressione che agisce sul fluido nel serbatoio trasforma la distribuzione della pressione in una distribuzione di altezze h .
Si utilizza un multi-manometro inclinato di 30° gradi poiché in questo modo l'errore relativo sui dati misurati è minore, le misure sono più accurate.



Le prese d'aria sono presenti su una sola superficie del profilo, quindi le misurazioni su dorso e ventre si effettuano in due momenti diversi girando in profilo lungo il suo asse orizzontale e cambiando il segno dell'incidenza α .

Dati e misure

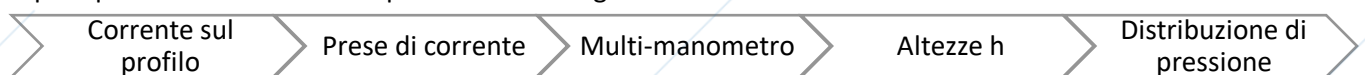
Operazioni preliminari: si inserisce il profilo alare della camera di prova, una volta chiusa la galleria è comunque possibile vedere ciò che accade poiché il condotto a sezione costante è di materiale trasparente. Le misurazioni su ventre e dorso vanno effettuate in due momenti poiché le prese di pressione sono presenti solo su uno dei due lati: per i rilievi di pressione sul dorso si inclina il profilo di $+\alpha$, mentre per il ventre di $-\alpha$:



Una volta che l'elica è in funzione si genera corrente nella galleria, a seconda dell'inclinazione e della velocità del flusso si ottengono differenti valori di pressione.

Per le misurazioni della pressione si usa un multi-manometro inclinato collegato pneumaticamente alle prese di pressione del profilo, durante il funzionamento l'altezza del fluido dello strumento varia, dalle differenti altezze si estraggono i valori di pressione.

Si può quindi schematizzare l'esperienza come segue:



Altezze manometro:

La prima colonna rileva il valore legato alla p_{infinito} ,

la seconda indica il valore di p_{totale} ,

la terza e la quarta colonna sono libere,

le restanti dalla quinta all'ultima (11) sono posizionate sul profilo

DATI:

- $T_{\text{amb}} = 22.9^\circ\text{C} = 296.05\text{ K}$
- $p_{\text{amb}} = 1000\text{ mbar} = 0.986\text{ atm}$
- Densità fluido manometrico = $\rho_{\text{fm}} = 825\text{ kg/m}^3$
- Inclinazione manometro = 30°

- Posizione prese di pressione:
- Altezze manometro:
 $l_{\infty}^{-} = 6.6 \text{ cm}$
 $l_0^{-} = 3.1 \text{ cm}$
 $l_{\infty}^{+} = 6.8 \text{ cm}$
 $l_0^{+} = 3.1 \text{ cm}$
- Inclinazione profilo $\alpha = 2^{\circ} = \pi/90 \text{ rad}$

x/c [%]	0	2.5	5	10	20	30	40	50	60	70	80
$l_{\text{ventre}} [\text{cm}]$	3.7	9.4	10	9.5	9.3	9	8.6	8.4	8	7.7	7.4
$l_{\text{dorso}} [\text{cm}]$	3.1	4	7.5	7.7	7.9	7.9	7.8	7.6	7.3	7	7

Analisi dei dati

- Dal manometro di misurano i valori delle altezze, tramite la legge di Stevino si calcolano le diverse pressioni:

$$p_i = p_0 - p_{\infty} = \rho_{fm} g h_i \quad (\text{tutte le pressioni vanno valutate rispetto al valore di } p_{\text{inf}}),$$

con: $h = L \sin 30^{\circ}$ (il manometro è inclinato di 30°)

$$p_i = p_0 - p_{\infty} = \frac{1}{2} \rho_{\infty} V_{\infty}^2$$

- Sfruttando questa relazione si può quindi ricavare la velocità asintotica, per il calcolo dei C_p però si utilizzerà una media tra i valori di V_{∞} di ventre e dorso, leggermente differenti.

$$V_{\infty} = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_{\infty}}} = \sqrt{2 \cdot \rho_{fm} \cdot g \cdot \Delta l \cdot \frac{\sin 30^{\circ}}{\rho_{\infty}}}$$

Per Δl prendo in considerazione le prime due colonnine dei multimanometro:

$$\Delta l_{\text{dorso}} = l_{\infty}^{+} - l_0 = 66 - 31 = 35 \text{ mm}$$

$$\Delta l_{\text{ventre}} = l_{\infty}^{-} - l_0 = 68 - 31 = 37 \text{ mm}$$

Conoscendo la temperatura e la pressione dell'aria è possibile calcolare la densità dell'aria:

$$\rho_{\infty} = \rho_{\text{aria}} = \frac{M_{\text{aria}} \cdot p_{\text{aria}}}{T_{\text{amb}} \cdot R} = \frac{29 \cdot 1000 \cdot 10^3}{296,05 \cdot 8314} = 1,178 \text{ kg/m}^3$$

dove M_{aria} è la massa molare dell'aria e R è la costante universale dei gas

Possiamo quindi calcolare le velocità asintotiche di dorso e ventre e la rispettiva media tra le due:

$$V_{\infty}^{+} = 15,51 \text{ m/s}$$

$$V_{\infty}^{\text{media}} = 15,72 \text{ m/s}$$

$$V_{\infty}^{-} = 15,94 \text{ m/s}$$

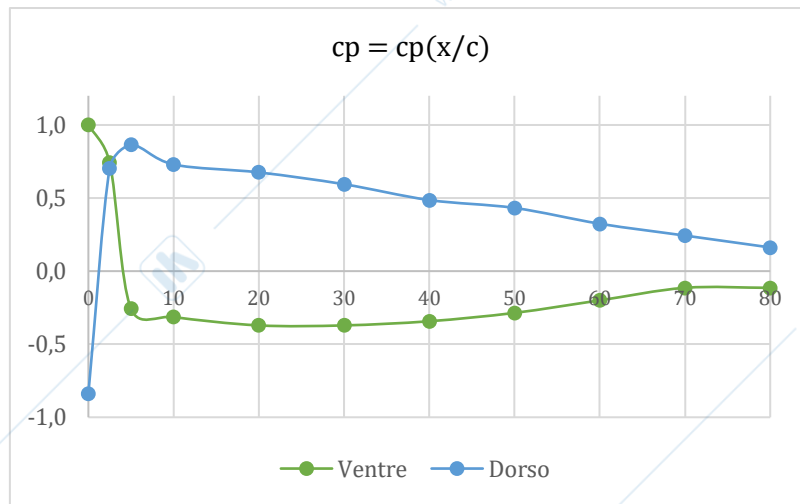
- Calcolo dei coefficienti di pressione: $C_p = \frac{p - p_{\infty}}{\frac{1}{2} \rho_{\infty} V_{\infty}^2} = \frac{\rho_{fm} g (h_i - h_{\infty})}{\frac{1}{2} \rho_{\infty} V_{\infty}^2} = \frac{\rho_{fm} g (l_i - l_{\infty}) \sin(30^{\circ})}{\frac{1}{2} \rho_{\infty} V_{\infty}^2} =$

$$C_p = \frac{p - p_{\infty}}{\frac{1}{2} \rho_{\infty} V_{\infty}^2} = \frac{p - p_{\infty}}{p_0 - p_{\infty}} = \frac{\rho_{fm} g (l_{\infty} - l) \sin \beta}{\rho_{fm} g (l_{\infty} - l_0) \sin \beta} = \frac{l_{\infty} - l}{l_{\infty} - l_0}$$

C_p	0% c	2.5% c	5% c	10% c	20% c	30% c	40% c	50% c	60% c	70% c	80% c
Dorso	-0,838	0,703	0,865	0,730	0,676	0,595	0,486	0,432	0,324	0,243	0,162
Ventre	1,000	0,743	-0,257	-0,314	-0,371	-0,371	-0,343	-0,286	-0,200	-0,114	-0,114

Da cui è possibile calcolare la variazione del c_p (Δc_p) per poi ottenere il valore del coefficiente di portanza C_L e la portanza L stessa.

Δc_p	0,162	1,446	0,608	0,415	0,304	0,223	0,144	0,147	0,124	0,129	0,048
--------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------



- Coefficiente di portanza: $C_L = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho V_\infty^2 c}$

Con L portanza aerodinamica: $L = F_a \cdot \cos\alpha$

con F_a forza aerodinamica $F_a = \int_S p \, dS \approx \int_0^c (p_v - p_d) \, dx$

F_a calcolata con il metodo dei trapezi:

$$F_a \approx \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{10} (x_{i+1} - x_i) \{ [p_{v_{i+1}} + p_{v_i}] - [p_{d_{i+1}} + p_{d_i}] \} = 55,4 \, N$$

Da cui otteniamo L :

$$L = 55,3 \, N$$

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho_\infty V_\infty^2 c} = 0,95$$

Osservazioni - commenti

- In alternativa al procedimento seguito sarebbe stato possibile calcolare prima il valore del C_L , sfruttando la relazione con il C_p (tale integrale sarebbe stato possibile risolverlo direttamente con *Matlab* oppure secondo il metodo dei trapezi come utilizzato sopra):

$$C_L = \int_0^1 \Delta c_p \frac{x}{c} \, d\left(\frac{x}{c}\right)$$

in conclusione sarebbe poi stato possibile ottenere la portanza utilizzando la formula:

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho_\infty V_\infty^2 c} \rightarrow L = C_L \frac{1}{2}\rho_\infty V_\infty^2 c$$

- Dati degli errori della strumentazione e poiché si sta considerando solo l'80% della corda tutti i valori ottenuti sono da considerarsi approssimazioni.
- Nel caso si volesse ottenere il C_p per tutta la corda bisognerebbe imporre la condizione di Kutta-Joukowski per cui al bordo di fuga il C_p di ventre e dorso deve essere lo stesso.
- Il profilo NACA0015 è un profilo simmetrico, ad incidenza nulla non sviluppa portanza poiché i C_p di dorso e ventre assumono in ogni punto valori uguali e contrari, nel caso esaminato il profilo ha incidenza $\alpha=2^\circ$, si osserva infatti che la distribuzione del coefficiente di pressione è diversa tra dorso e ventre, pertanto questo profilo sviluppa portanza.