



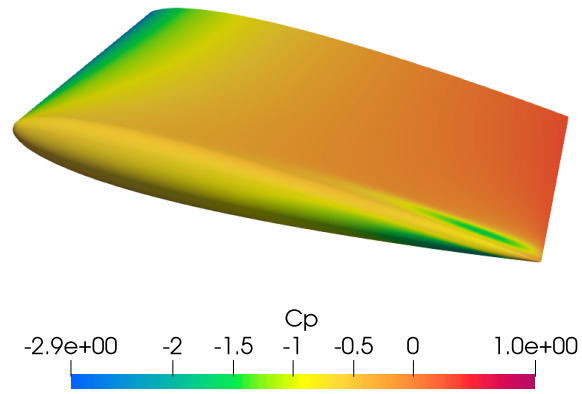
University of Liège - Politecnico di Milano  
Tesi magistrale completata per ottenere il diploma  
magistrale in Ingegneria Aerospaziale  
Anno accademico 2021-2022

## Simulation of a wingtip vortex flow with Linear Eddie Viscosity turbulence models at $Re = 4.6E6$ and $Re = 1.2E6$

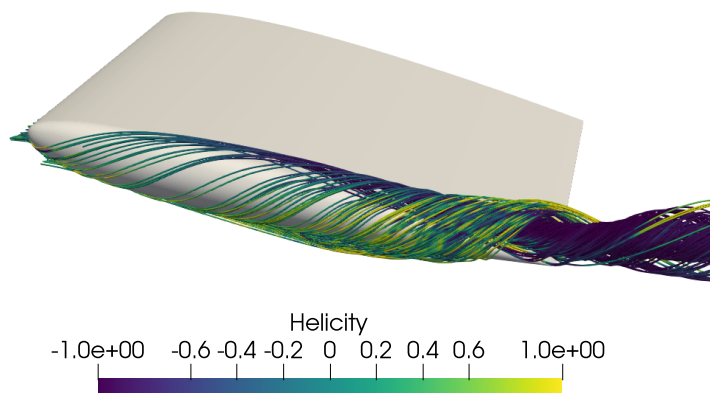
**Autore** Niccolò Tonioni

**Supervisor:** Supervisors: A. Abbà, K. Hillewaert, V. Terrapon

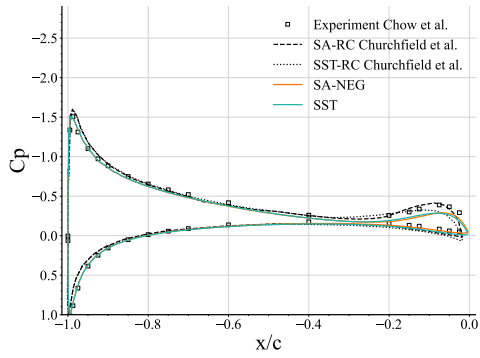
Questo lavoro studia l'accuratezza dei modelli di viscosità lineare di Eddie sulla previsione del flusso vorticoso d'estremità alare. La geometria selezionata per lo studio è una semiala NACA-0012 montata a parete, con estremità e bordo d'uscita arrotondati, inclinata di  $10^\circ$  al suo quarto di corda. I calcoli del flusso sono stati condotti utilizzando il software open source SU2. Due modelli di turbolenza sono stati studiati: il modello Spalart-Allmaras con correzioni per viscosità Eddie negativa e quello di Shear Stress transport di Menter. Il flusso è stato considerato a due numeri di Reynolds e Mach:  $Re = 4.3 \times 10^6$ ,  $M = 0.14$  e  $Re = 1.2 \times 10^6$ ,  $M = 0.1$ . Per studiare la precisione dei modelli, l'obiettivo iniziale del lavoro era produrre dati LES ad alta fedeltà usando il solver Discontinuos Galerkin ARGO fornito da Cenaero. Tuttavia, a causa dell'impostazione delle simulazioni e dei requisiti di tempo di calcolo, non siamo riusciti a ottenere simulazioni LES statisticamente stabili dell'intera ala. Pertanto, il flusso calcolato viene confrontato con i dati sperimentali e numerici presenti in letteratura. I risultati mostrano che i modelli di viscosità lineare di Eddie sono in grado di caratterizzare la topologia delle principali strutture vorticosi e le principali quantità caratterizzanti il flusso superficiale. Tuttavia, non riescono a predire l'evoluzione delle grandezze medie nel nucleo del vortice. Questa divergenza tra le simulazioni numeriche e i risultati sperimentali è stata associata all'elevata viscosità eddie nel nucleo del vortice, che causa una diffusione delle grandezze medie. Inoltre, si è notato che, a causa delle assunzioni dei modelli, i modelli di viscosità lineare di Eddie non possono rappresentare correttamente il disallineamento dei tensori di velocità di deformazione e di Reynolds osservato nei dati sperimentali. Sebbene non sia stato possibile raggiungere l'obiettivo iniziale del progetto, siamo stati in grado di fornire indicazioni su come continuare questo lavoro, confrontando i risultati RANS con i dati sperimentali e numerici di riferimento. In particolare, come le tecniche di Machine Learning possano essere impiegate per costruire modelli di turbolenza più accurati.



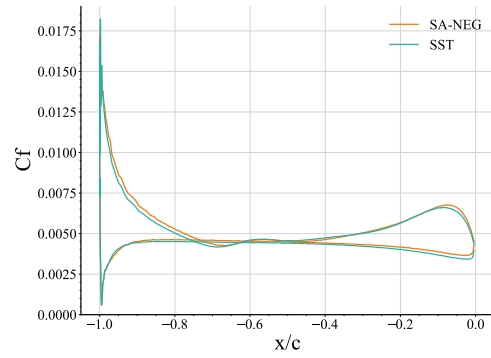
(a) Coefficiente di pressione statica superficiale predetto dal modello SA-NEG.



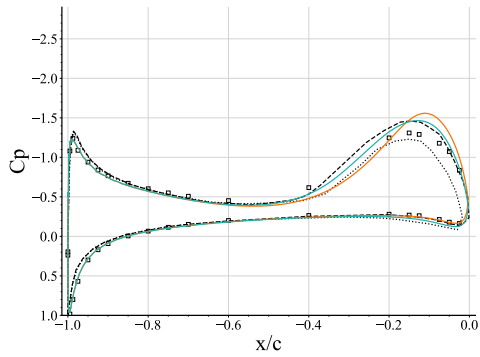
(b) Visualizzazione dei vortici utilizzando linee di flusso tridimensionali estratte dal campo di velocità predetto dal modello SA-NEG. Le linee di flusso sono colorate in base all'elicità normalizzata, definita come prodotto tensoriale dei vettori velocità e vorticità  $H = (\mathbf{U} \cdot \boldsymbol{\omega}) / (|\mathbf{U}| |\boldsymbol{\omega}|)$ .



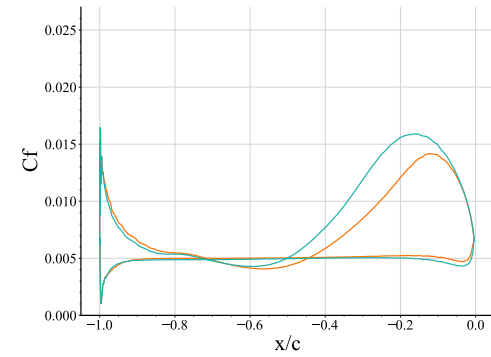
(a)  $z/c = -0.065$



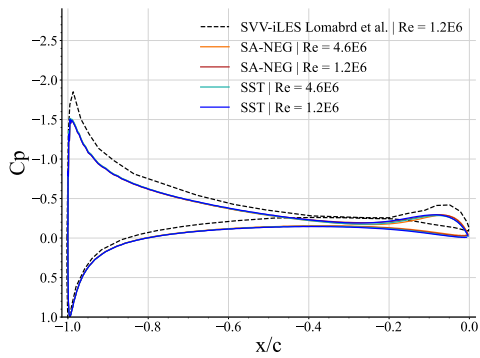
(b)  $z/c = -0.065$



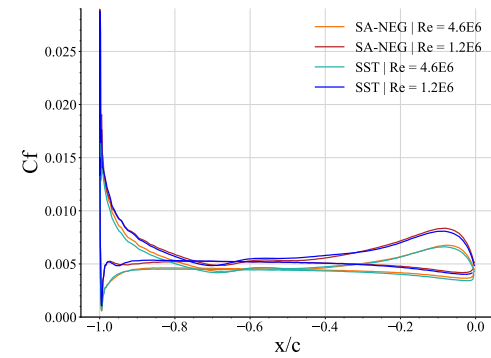
(c)  $z/c = -0.023$



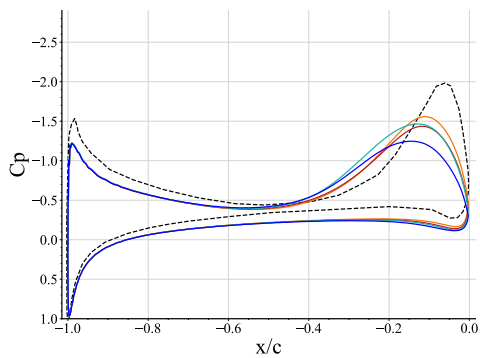
(d)  $z/c = -0.023$



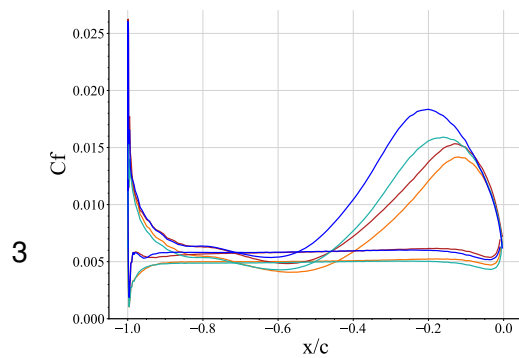
(e)  $z/c = -0.065$



(f)  $z/c = -0.065$



(g)  $x/c = -0.023$



(h)  $z/c = -0.023$

Figura 2: Distribuzioni del coefficiente di attrito  $C_f$  e del coefficiente di pressione statica  $C_p$  in due punti dell'apertura alare.

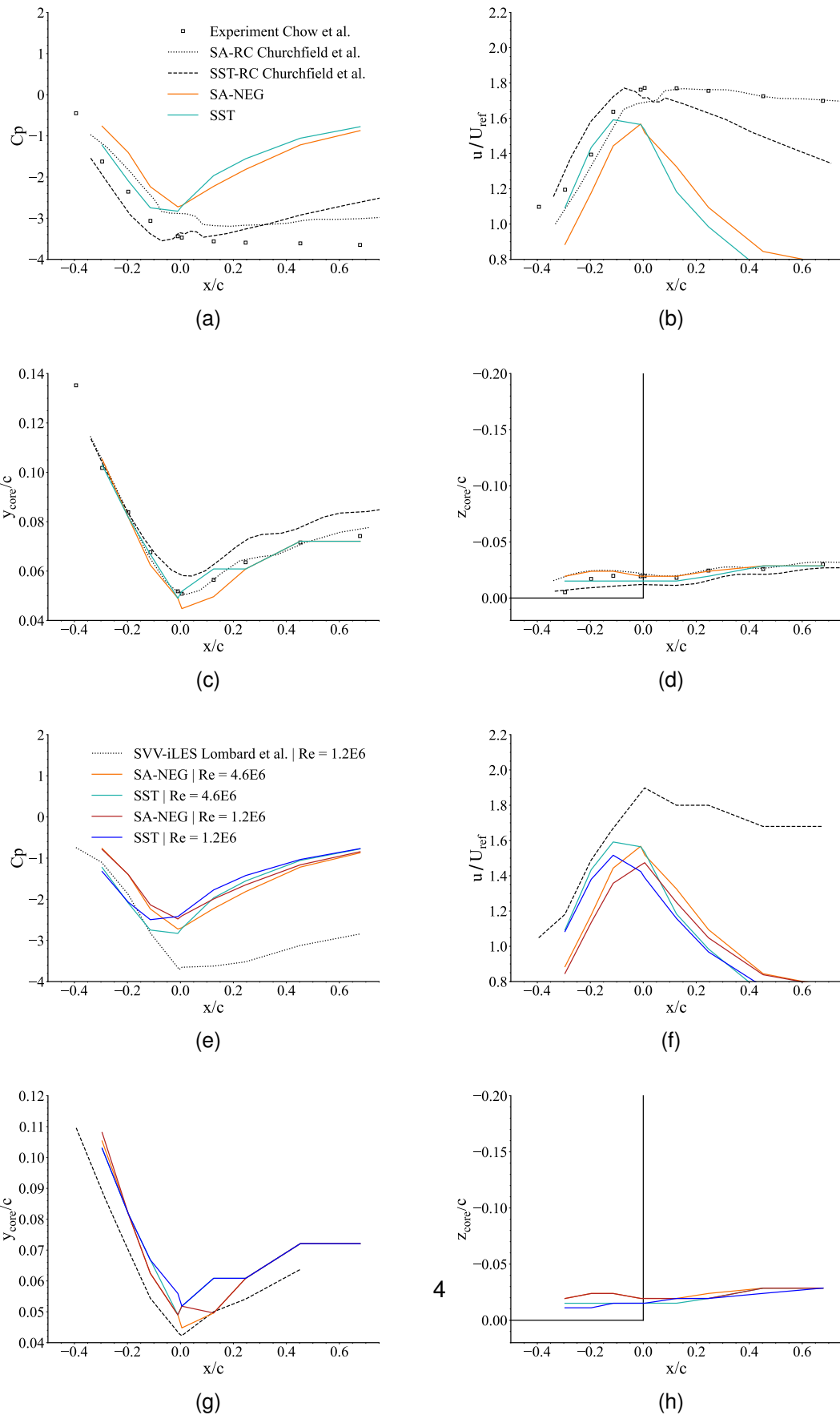


Figura 3: Evoluzione delle quantità medie del flusso lungo la linea centrale del vortice. In (d) e (h), la linea nera è illustrativa della posizione dell'ala.