

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

***Relazione per la prova finale  
«Aerodinamica di Ingenuity per il  
volo in atmosfera marziana»***

Tutor universitario: Prof. Francesco Picano

Laureando: *Elia Nascinguerra*

Padova, 09/09/2022

- Dimostrazione tecnologica volta a testare il primo volo a motore controllato su un altro pianeta

- Elicottero coassiale → massa: 1.8 kg  
→ diametro: 1.21 m

- Precursore dei futuri MSH



- Comprendere la fisica dello strato limite in condizioni atmosferiche marziane
- Delineare le caratteristiche di massima dei profili adatti al volo su Marte mediante l'analisi dei coefficienti aerodinamici
- Presentare la scelta del profilo CLF5605 per la realizzazione delle pale rotoriche
- Analizzare il comportamento dello strato limite di Ingenuity in condizioni operative

❖ Tratti distintivi:

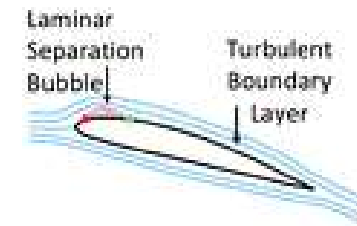
- Costituita prevalentemente di anidride carbonica
- Densità atmosferica estremamente bassa



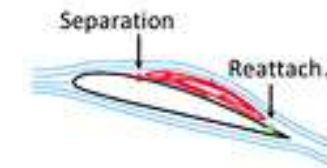
		Terra ( $N_2 + O_2$ )	Marte ( $CO_2$ )
Densità, $\rho$	$kg/m^3$	1.225	0.017
Temperatura, $T$	$C$	15	-50
Viscosità, $\mu$	$Ns/m^2$	0.0000175	0.0000113
Velocità del suono, $a$	$m/s$	340.3	233.1

Interazione con flussi a numeri di Reynolds molto bassi

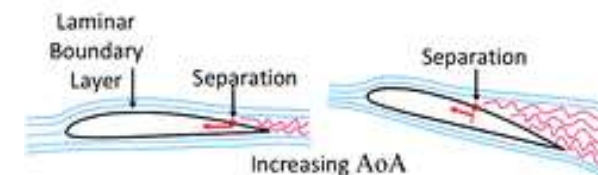
- ❖  $Re > 500000$ 
  - Ampio gradiente di pressione avverso
  - Separazione del flusso come strato di taglio
  - Ricollegamento come strato limite turbolento
  - Formazione bolla di separazione laminare (LSB)
  
- ❖  $50000 < Re < 100000$ 
  - Aumento dimensioni LSB e strato limite turbolento
  - Punto di riattacco si sposta verso il bordo d'uscita
  
- ❖  $10000 < Re < 50000$ 
  - Ulteriore crescita dimensione dello strato limite
  - Assenza di transizione a turbolenza
  - Crescita della resistenza aerodinamica
  - Lastra piana più efficiente di un profilo aerodinamico



c)  $Re > 500,000$



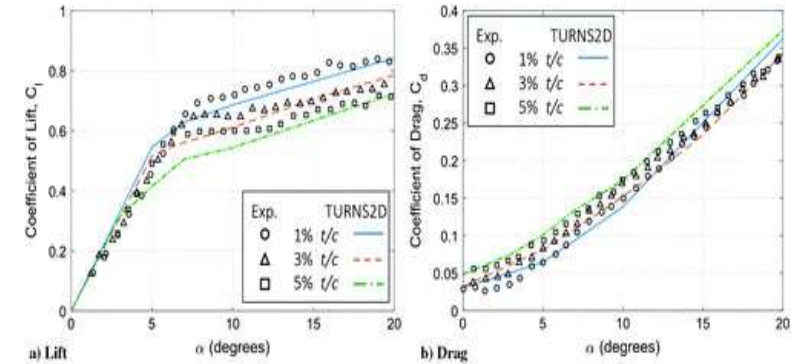
b)  $50,000 < Re < 100,000$



a)  $10,000 < Re < 50,000$

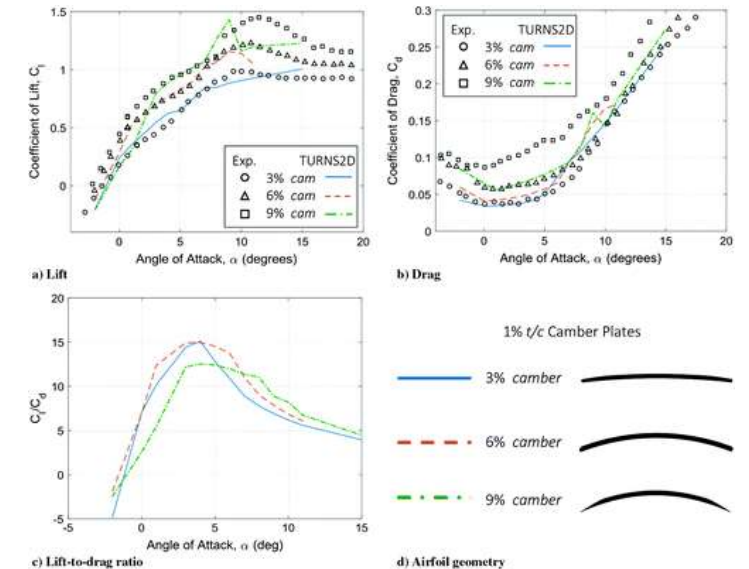
## ❖ Effetto dello spessore

- Le prestazioni aerodinamiche migliorano al diminuire di  $t/c$
- Spessori maggiori implicano gradienti avversi di pressione più intensi
- La maggiore separazione riduce la forza di portanza



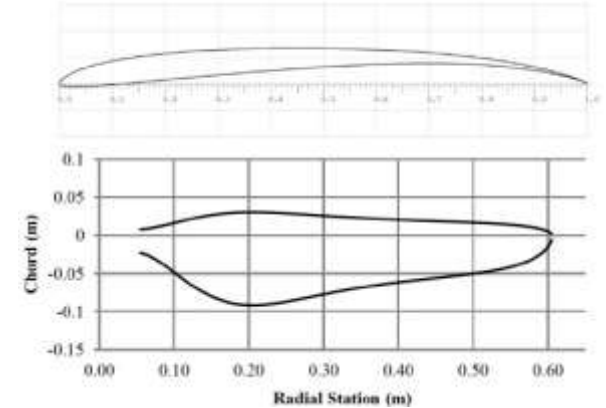
## ❖ Effetto del camber

- Un camber pronunciato comporta la crescita della curva di portanza e del suo picco
- Parallelamente aumenta la resistenza
- Un camber intermedio produce i migliori valori di L/D



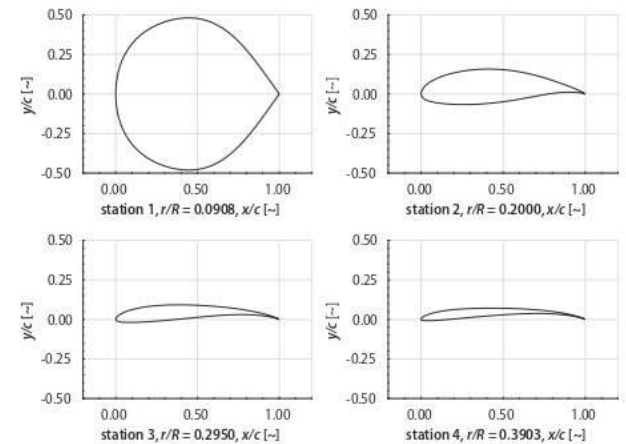
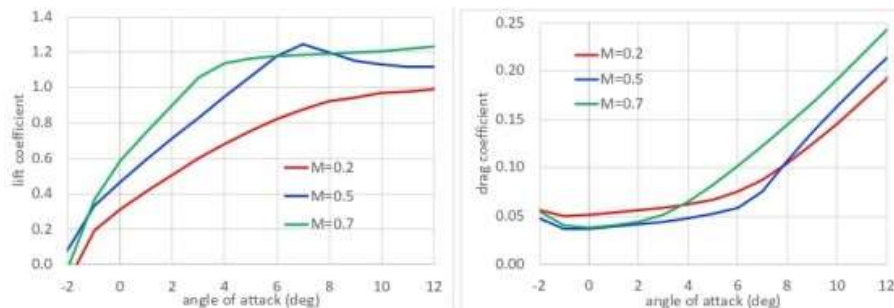
## ❖ Caratteristiche principali

- Adottato per la metà esterna del profilo
- Compromesso tra  $\longrightarrow$  spessore per basse resistenze  
 $\longrightarrow$  spessore per natura strutturale
- Camber progettato al fine di ritardare la separazione laminare



## ❖ Sezione interna

- Rapporti di torsione e spessori crescenti
- Si fonde in una sezione circolare al mozzo

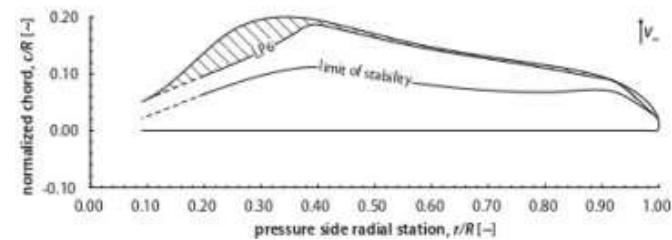
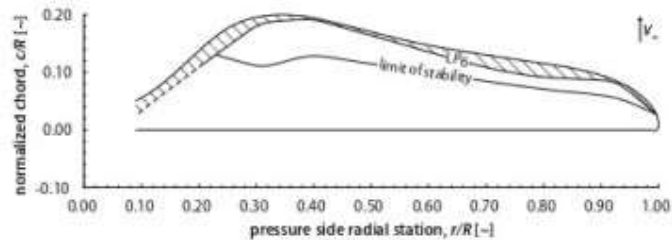
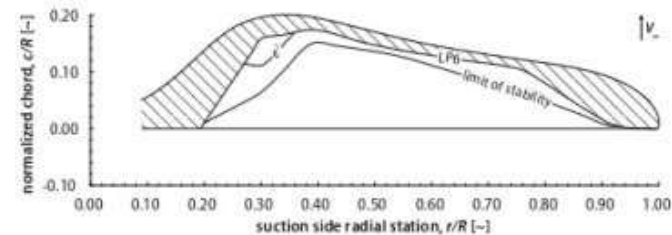
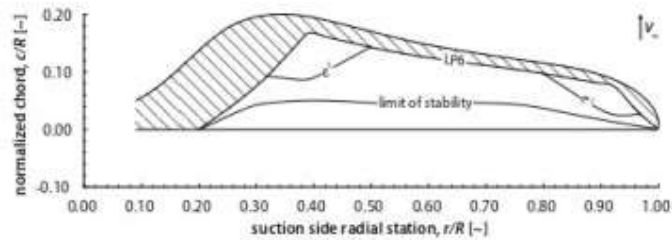


## ❖ Rotore superiore (Sx)

- Il punto di instabilità del lato in aspirazione raggiunto relativamente presto
- Transizione improbabile

## ❖ Rotore inferiore (Dx)

- Tip con ampie zone di separazione laminare





- Volo realizzato con successo il 19 aprile 2021
- Passaggio da dimostrazione tecnologica a dimostrazione operativa
- Importante per la realizzazione dei futuri MSH



