



POLITECNICO MILANO 1863

A.A.2023-2024

Corso di Aerodinamica

Docente Auteri Franco

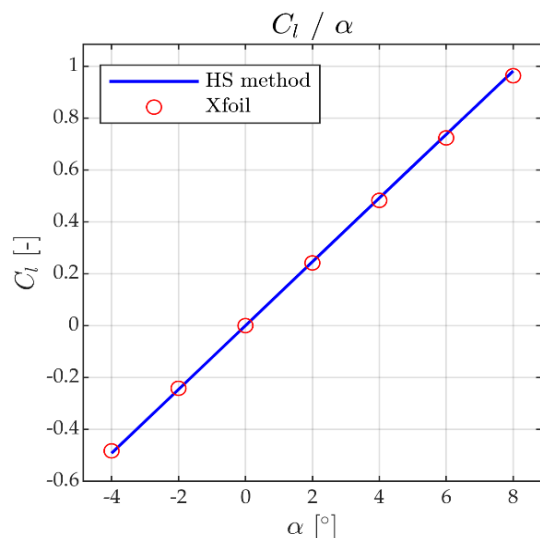
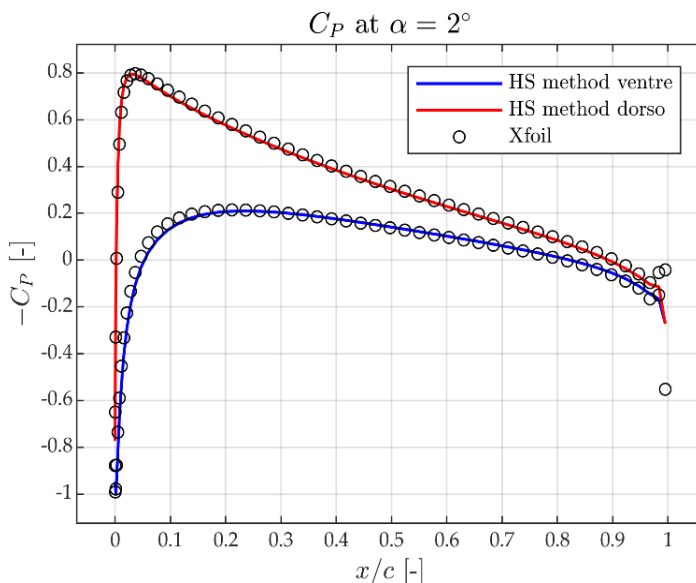
Baio	Matteo	10667431
Donnarumma	Angeloantonio	10497840
Febbraro	Giuseppe	10833975
Giannotte	Federica	10614056
La Frazia	Andrea	10992043
Lo Sardo	Francesco	10664753
Taranushenko	Oleksiy	10503532

Validazione di Hess-Smith tramite l'utilizzo di XFOIL

Il seguente capitolo si propone di validare il metodo di Hess-Smith tramite un confronto dei risultati ottenuti con gli algoritmi Matlab con quelli ricavati dal software XFOIL. Il profilo analizzato è il NACA 0012, adottato nel Boeing 737 e nell'A320. I casi studiati sono i seguenti:

1. distribuzione del coefficiente di pressione (C_P) in funzione della posizione lungo la corda (x/c) per angolo di incidenza α pari a 2° ;
2. coefficiente di portanza (C_L) per profilo semplice ad angoli di incidenza compresi tra -2° e 6° .

Sono stati usati valori modesti di incidenza in quanto il modello utilizzato è inviscido. Infatti, per valori elevati di α si ha separazione dello strato limite, ma tale fenomeno non è trattabile con il modello impiegato.



Studio dell'effetto suolo con il metodo di Hess-Smith

Questo capitolo si pone l'obiettivo di studiare l'effetto suolo con il metodo di Hess-Smith, tramite l'implementazione su Matlab di un profilo alare a distanza variabile dal suolo, misurata a partire dal bordo di attacco, ed espressa in percentuale della corda (h/c), che in questa trattazione è stata considerata unitaria.

Si è posta l'attenzione sulla curva caratteristica per distanze comprese tra il 20% e il 100% della corda, valore oltre il quale l'andamento si avvicina a quella in condizione di assenza di suolo.

Dalla Figura 2. 1 è possibile osservare che la pendenza della curva caratteristica cresce con l'avvicinarsi al suolo, come aspettato, ma è altrettanto osservabile come il guadagno di portanza sia presente solo a partire da incidenze pari a circa $3-4^\circ$. Al di sotto di tali valori si hanno dei C_L inferiori a parità di incidenza rispetto al caso di assenza di suolo, diventando talvolta negativi (profilo deportante) anche per valori positivi di incidenza. Questa tendenza diventa sempre più evidente a mano a mano che ci si avvicina al suolo.

Per indagare ulteriormente questo fenomeno, è stato preso in considerazione l'andamento del C_L in funzione della distanza dal terreno per valori fissati di incidenza (Figura 2. 2).

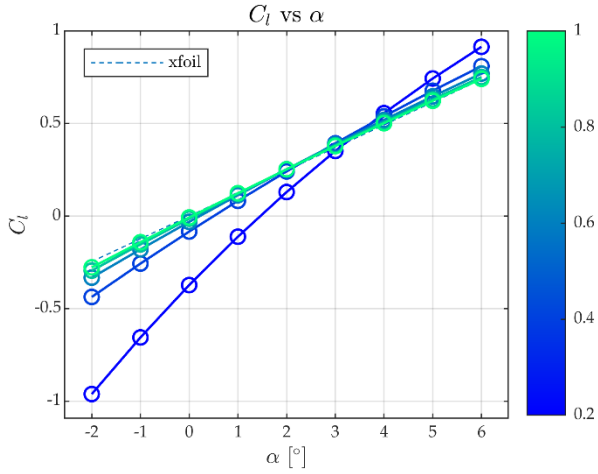


Figura 2. 1: Andamento $C_l - \alpha$ per diverse distanze dal suolo

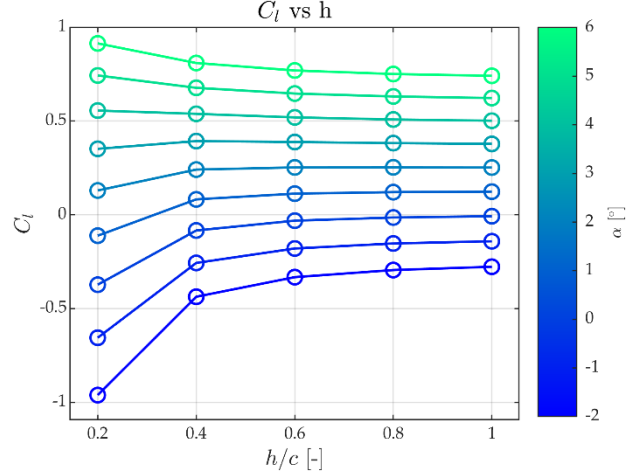


Figura 2. 2: Andamento C_l - distanza dal suolo, per diversi angoli di attacco

È possibile notare che a partire da circa 4° di incidenza la presenza del suolo ha un effetto positivo sulla portanza del profilo. Un profilo modellato con una distribuzione di sorgenti e vortici sul dorso e sul ventre in presenza di una superficie solida subisce una forza diretta verso il basso, dovuta a una maggiore velocità nel tubo di flusso compreso tra il ventre e la superficie solida, rispetto a quello tra dorso e l'infinito.

Questo fenomeno è indipendente dal segno delle sorgenti e dei vortici e, a piccole incidenze, prevale sui fenomeni portanti dovuti alla distribuzione di pressione sul profilo e della sua interazione con il suolo. Si osserva, inoltre, che ad alte incidenze il lobo di sovrappressione si estende su tutto il ventre e, in prossimità del suolo, interagisce con quest'ultimo formando un cuscinio che contribuisce al sostentamento del profilo. Allontanandosi dal terreno questo effetto svanisce: sono quindi spiegati gli andamenti del C_L per i valori di incidenza a partire dai 4° . A incidenze inferiori, questo effetto di compressione viene sovrastato dall'effetto deportante descritto prima. Questi fenomeni trovano conferma osservando i coefficienti di pressione per diverse incidenze nel grafico in Figura 2. 3.

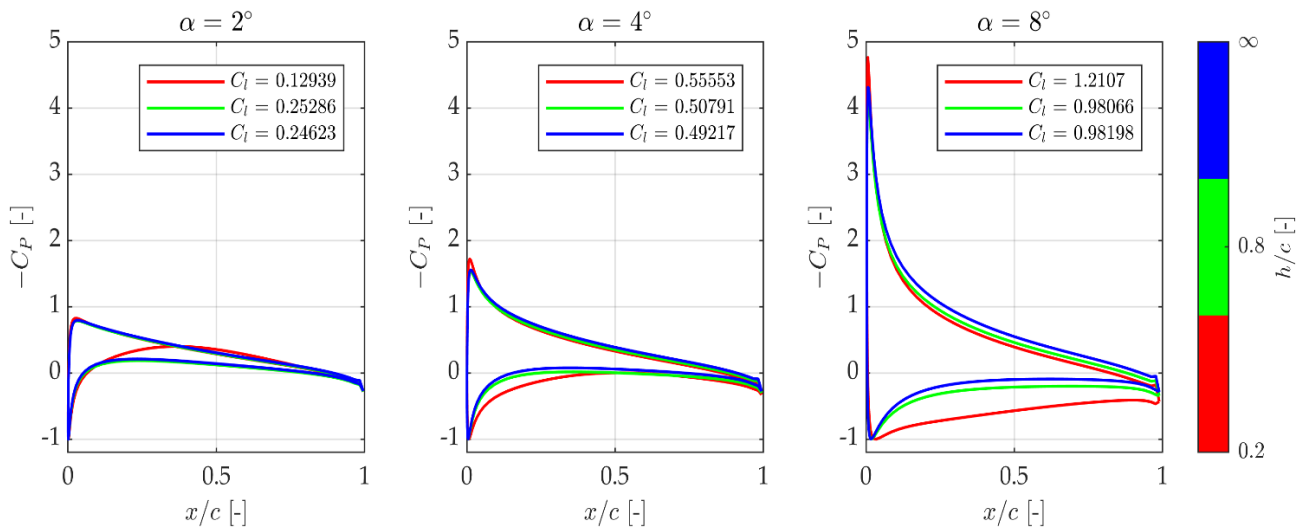


Figura 2. 3: andamenti del coefficiente di pressione in corda al variare della distanza dal suolo, per diversi angoli di attacco.

Si nota come per 2° di incidenza e una distanza di $0.2c$ dal suolo, un lobo con C_p negativo (di dimensioni simili a quello sul dorso) si estende lungo gran parte del ventre (linea rossa), dando un contributo negativo alla portanza; dall'altra parte, notiamo come per 8° di incidenza questo effetto viene sovrastato dalla presenza di una zona con C_p positivo sul ventre che interagisce con il suolo generando una maggiore portanza. Si nota infatti come la linea rossa che rappresenta il lobo di sovrappressione sia più estesa nel caso di piccola distanza dal suolo rispetto al caso di assenza di suolo (linea blu).

La linea blu, indicata come altezza dal suolo infinita, rappresenta i dati ottenuti nel caso di una condizione di assenza di suolo (implementazione Hess-Smith senza metodo dell'immagine).

Studio dell'effetto suolo con il metodo di Weissinger nel caso di ala finita

Abbiamo considerato un'ala tipica dell'A320 con 5° di diedro, 25° di freccia, 68 m di apertura.

Nel caso di ala finita, l'effetto caratteristico della presenza del suolo è quello di contrastare la formazione dei vortici di estremità, responsabili di un'incidenza indotta che riduce quella effettiva vista dalla corda e, di conseguenza, ruota il vettore portanza dando origine a una componente di resistenza indotta. Trattandosi di pochi gradi, la perdita di portanza è trascurabile, ma l'aumento di resistenza risulta significativo. L'effetto di interazione tra il lobo di sovrappressione e il terreno continua ad essere presente ad alte incidenze, mentre gli effetti deportanti visti nel caso 2D sono trascurabili in virtù della diversa natura del problema.

Una possibile spiegazione potrebbe essere che nel caso 3D il vortice portante e la sua immagine hanno una lunghezza finita e pari all'apertura alare, mentre nel caso 2D del modello di Hess-Smith i vortici hanno lunghezza infinita, come lo è l'apertura alare. Considerando i vortici immagine come causa di un rallentamento del flusso incidente che il profilo sente, un vortice immagine infinito ha un maggiore effetto rispetto a uno finito. Per tanto l'annullamento di tali effetti deportanti risulta comparire nel momento in cui il problema è analizzato attraverso un modello che considera l'ala di lunghezza finita. Il ragionamento è illustrato nella figura che segue.

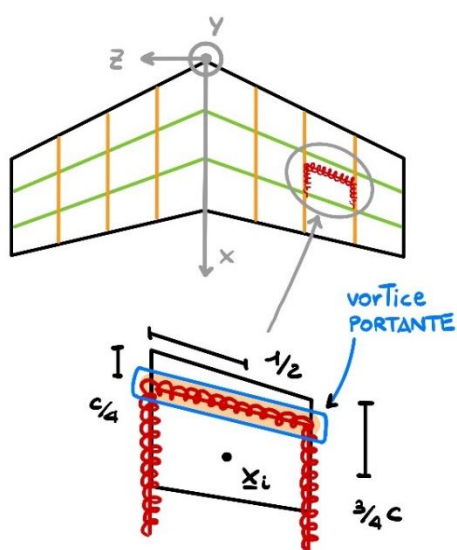


Figura 3. 1: Metodo di Weissinger

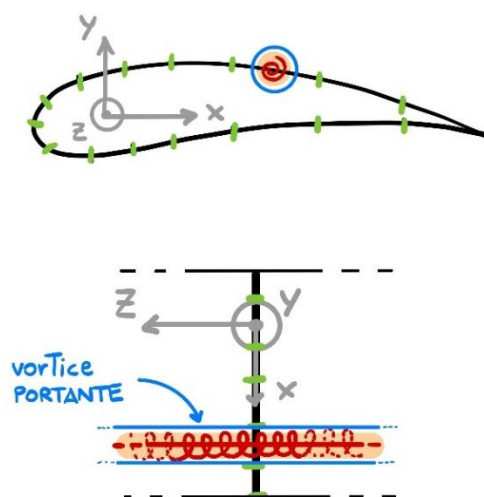


Figura 3. 2: Metodo di Hess-Smith

Seppur gli effetti della vicinanza al terreno inizino a distanze pari all'apertura alare, anche nel caso di ala finita ci siamo limitati a considerare una corda unitaria come distanza massima. Per una questione di compatibilità con le ipotesi del metodo abbiamo considerato un range di incidenze limitato ($-1^\circ/1^\circ$).

Nelle figure seguenti si nota come il suolo abbia un effetto benefico sul sostentamento e sulla resistenza indotta. In particolare, la curva $C_L - h$ in Figura 3. 5 mostra un significativo incremento di C_L a piccole distanze dal suolo per incidenze positive. Il grafico della polare in Figura 3. 3 mostra come per incidenze positive, a parità di C_L si abbiano dei valori di resistenza indotta via via decrescenti avvicinandosi al suolo.

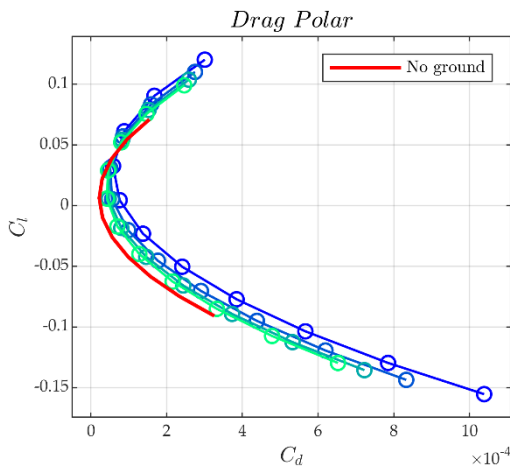


Figura 3. 3: Polare della resistenza per varie distanze dal suolo

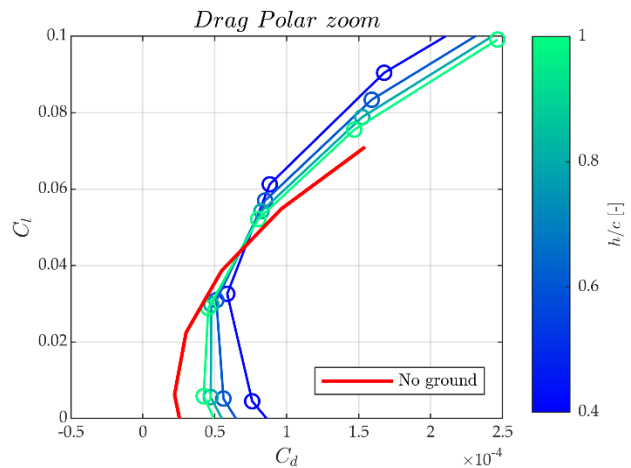


Figura 3. 4: Ingrandimento della Polare di resistenza, beneficio dell'effetto suolo

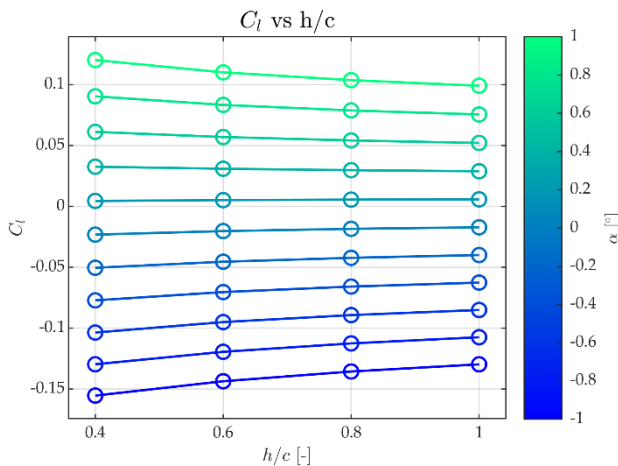


Figura 3. 5: andamento del C_l al variare della distanza dal suolo, per diversi α

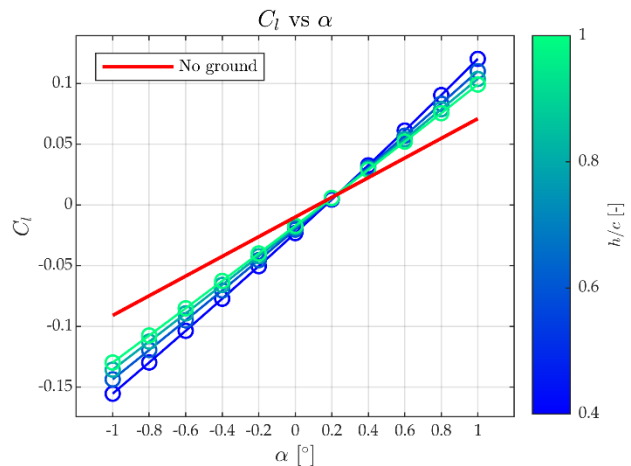


Figura 3. 6: andamento del C_l al variare di α , per diverse distanze dal suolo

Conclusioni

1. Il metodo di Hess-Smith è stato correttamente validato. Le piccole deviazioni dai dati di XFOIL sono attribuibili a eventuali differenze nella pannellizzazione e una diversa sintassi dei codici di calcolo.
2. Gli effetti della vicinanza al suolo riguardano per lo più il ventre del profilo e sono evidenti entro un'altezza pari alla corda del profilo.
3. Nel caso 2D gli effetti dipendono dall'incidenza di volo. Sono benefici a partire da circa 4° .
4. Gli effetti del suolo nel caso 3D dominano su quelli del caso 2D, incrementando l'efficienza dell'ala. Questo riduce la corsa di decollo e aumenta la distanza di atterraggio.
5. Gli effetti del suolo sono invertiti e più pronunciati a incidenze negative.