

Università degli Studi di Pisa  
Facoltà di Ingegneria



TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA AERONAUTICA

# Analisi numerica del procedimento di *Base Bleed* applicato ad un autoveicolo.

Candidato:  
Picchi Senio

Relatori:  
Prof. Giovanni Lombardi  
Prof. Guido Buresti  
Ing. Luca Caldirola

Anno Accademico 2003-2004

# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione al <i>Base Bleed</i></b>	<b>1</b>
1.1	Fisica del fenomeno . . . . .	1
1.1.1	Effetti del <i>base bleed</i> sul flusso separato stazionario a valle di un corpo bidimensionale per numeri di Reynolds compresi tra 50 e 250 . . . . .	2
1.1.2	Effetto del <i>base bleed</i> su una scia con rilascio alternato di vortici	4
1.1.3	Effetto del <i>base bleed</i> sulla scia subsonica di un corpo tozzo . .	6
1.1.4	Aspetti particolari . . . . .	8
1.2	Analisi . . . . .	10
1.3	Conclusioni . . . . .	11
<b>2</b>	<b>Flusso sul modello</b>	<b>13</b>
2.1	Griglia iniziale . . . . .	15
2.1.1	Soluzione numerica . . . . .	17
2.2	Visualizzazione e analisi del flusso . . . . .	19
<b>3</b>	<b>Base bleed, analisi del procedimento</b>	<b>26</b>
3.1	Strategia di lavoro . . . . .	26
3.2	Parametri importanti . . . . .	27
3.3	Problematiche legate alla simulazione . . . . .	28
3.4	Dipendenza dal numero di <i>Reynolds</i> . . . . .	30
<b>4</b>	<b>Soffiaggio centrale</b>	<b>33</b>
4.1	Procedura . . . . .	33

---

4.2	Risultati . . . . .	35
4.3	Analisi . . . . .	43
<b>5</b>	<b>Soffiaggio intermedio</b>	<b>45</b>
5.1	Procedura . . . . .	45
5.2	Risultati . . . . .	47
5.3	Analisi . . . . .	53
<b>6</b>	<b>Soffiaggio perimetrale</b>	<b>54</b>
6.1	Procedura . . . . .	54
6.1.1	Uscite perimetrali continue . . . . .	55
6.1.2	Uscite perimetrali discontinue . . . . .	56
6.2	Risultati . . . . .	57
6.2.1	Sbocchi continui . . . . .	57
6.2.2	Configurazioni perimetrali multiple . . . . .	67
6.3	Analisi . . . . .	75
<b>7</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>77</b>
7.1	Confronto tipologie di soffiaggio . . . . .	78
7.2	Prospettive di ricerca . . . . .	84
7.3	Possibili applicazioni . . . . .	85
<b>A</b>	<b>Allegati alla Tesi</b>	<b>89</b>
<b>B</b>	<b>Consigli utili</b>	<b>90</b>

# Elenco delle figure

1.1	Modello sperimentale usato da Leal . . . . .	2
1.2	Andamento qualitativo delle linee di corrente . . . . .	3
1.3	Attrezzatura sperimentale di Wood . . . . .	4
1.4	Separazione dietro ad un corpo tozzo . . . . .	6
1.5	Andamento del $C_{p,b}$ per un corpo cilindrico con naso ad ogiva. . . . .	9
2.1	Modello usato per l'analisi numerica . . . . .	13
2.2	Modello usato per l'analisi numerica . . . . .	14
2.3	Volumi di suddivisione della griglia. . . . .	16
2.4	Volumi di suddivisione della griglia. Dettaglio. . . . .	16
2.5	Mappatura degli spigoli del modello zona baule. . . . .	16
2.6	Andamento del coefficiente di pressione sul modello. . . . .	20
2.7	Linee di corrente esterne nella zona della base. . . . .	21
2.8	Linee di corrente nel <i>near wake</i> . Orientamento 1 . . . . .	22
2.9	Linee di corrente nel <i>near wake</i> . Orientamento 2. . . . .	22
2.10	Andamento del coefficiente di pressione sulla base. . . . .	23
2.11	Andamento del coefficiente di pressione nel <i>near wake</i> . . . . .	23
2.12	Vettori velocità nella zona della base sul piano di simmetria. . . . .	24
2.13	Vettori velocità su di un piano orizzontale passante per la mezzeria della base. . . . .	25
3.1	Andamento del $C_D$ con il numero di <i>Reynolds</i> . . . . .	31
3.2	Andamento del $C_L$ con il numero di <i>Reynolds</i> . . . . .	32

4.1	Posizione delle uscite sulla base. . . . .	34
4.2	Sbocco centrale. Coefficienti di resistenza. . . . .	36
4.3	Sbocco centrale. Coefficienti di portanza. . . . .	37
4.4	Linee di corrente e $C_p$ sulla base nel soffiaggio centrale. . . . .	38
4.5	$C_p$ sulla base nel soffiaggio centrale. . . . .	38
4.6	Componente $z$ della vorticità su un piano a $0.1m$ dal piano di simmetria. . . . .	39
4.7	Modulo della velocità su un piano a $0.1m$ dal piano di simmetria. . . . .	40
4.8	Soffiaggio centrale. Linee di corrente. . . . .	40
4.9	Vettori velocità sul piano di simmetria per l'uscita <i>centrale superiore</i> . . . . .	42
4.10	Vettori velocità su un piano orizzontale a metà base per l'uscita <i>centrale superiore</i> . . . . .	42
5.1	Posizione delle uscite intermedie sulla base. . . . .	46
5.2	Sbocchi intermedi. Coefficienti di resistenza. . . . .	48
5.3	Sbocchi intermedi. Coefficienti di portanza. . . . .	49
5.4	Sbocchi intermedi. Andamento del $C_P$ sulla base. . . . .	51
5.5	Sbocchi intermedi. Linee di corrente. . . . .	52
5.6	Sbocchi intermedi. Vettori velocità sul piano di simmetria. . . . .	52
6.1	Posizione delle uscite perimetrali continue. . . . .	55
6.2	Posizione delle uscite perimetrali discontinue. . . . .	56
6.3	Sbocco perimetrale. Coefficienti di resistenza. . . . .	58
6.4	Sbocco perimetrale. Coefficienti di portanza. . . . .	59
6.5	Sbocchi perimetrali continui $A_R = 0.2$ . Andamento del $C_P$ . . . . .	60
6.6	Sbocchi perimetrali continui $A_R = 0.1$ . Andamento del $C_P$ . . . . .	62
6.7	Componente $z$ della vorticità al passaggio tra dorso e base. $A_R = 0.2$ . . . . .	63
6.8	Componente $z$ della vorticità al passaggio tra dorso e base. $A_R = 0.1$ . . . . .	64
6.9	Velocità su un piano a $0.1m$ dal piano di simmetria. $A_R = 0.1$ . . . . .	65
6.10	Vettori velocità su un piano orizzontale a metà base. . . . .	66
6.11	Vettori velocità sul piano di simmetria. . . . .	67
6.12	Sbocchi perimetrali discontinui. Coefficienti di resistenza. . . . .	68

6.13 Sbocchi perimetrali discontinui. Coefficienti di portanza. . . . .	69
6.14 Sbocchi perimetrali discontinui. Coefficiente di pressione. . . . .	71
6.15 Sbocchi perimetrali discontinui. Confronto <i>inferiore-inferiore centrale</i>	72
6.16 Sbocchi perimetrali discontinui singoli. Coefficiente di pressione. . . .	72
6.17 Sbocchi perimetrali discontinui. Confronto vettori velocità. . . . .	73
6.18 Uscita <i>inferiore</i> . Linee di corrente. . . . .	74
7.1 Tipologie di soffiaggio. . . . .	80
7.2 Confronto dei $C_D$ ottenuti con differenti posizioni di soffiaggio. . . .	82
7.3 Confronto dei $C_L$ ottenuti con differenti posizioni di soffiaggio. . . .	83
7.4 Velocità ottima di soffiaggio secondo Mair [16]. . . . .	84

# Elenco delle tabelle

2.1	Grandezze geometriche del modello. . . . .	14
2.2	Configurazione della soluzione numerica . . . . .	18
2.3	Risultati dell'analisi di sensibilità . . . . .	19
2.4	Contributo al $C_D$ delle singole parti del modello . . . . .	20
3.1	Variazione del $C_D$ con <i>Reynolds</i> . . . . .	32
4.1	Soffiaggio centrale. Contributo al $C_D$ senza soffiaggio ed aree di sbocco. . . . .	34
5.1	Soffiaggio intermedio. Contributo al $C_D$ senza soffiaggio ed aree di sbocco. . . . .	46
6.1	Soffiaggio perimetrale continuo. Contributi al $C_D$ ed aree di sbocco. . . . .	55
6.2	Soffiaggio perimetrale discontinuo. Contributo al $C_D$ ed aree di base. . . . .	56

# Lista dei simboli

$$A_R = \frac{S}{S_b}$$

$C_D$  = Coefficiente adimensionale di resistenza

$C_{D,b}$  = Coefficiente di resistenza riconducibile alla base del modello

$C_{D,e}$  = Coefficiente di resistenza del modello senza *base bleed* epurato dai contributi delle superfici corrispondenti agli sbocchi

$C_{D,f}$  = Coefficiente di resistenza riconducibile alla parte *forebody* del modello

$C_L$  = Coefficiente di portanza adimensionale

$C_p$  = Coefficiente di pressione

$C_{p,b} = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2}\rho U_\infty^2}$  = Coefficiente di pressione sulla base

$C_q = \frac{Q}{U_\infty S_b}$  = Coefficiente di portata di *base bleed*

$\mathbf{k}$  = Rapporto tra perdita di pressione alla uscita sulla base e la pressione dinamica di *base bleed*

$Re = \frac{U_\infty l}{\nu}$  = Numero di Reynolds

$Q = U_0 S$  = Portata di *base bleed*

$Q_V$  = Quantità di moto

$S$  = Superficie di efflusso di *base bleed*

$S_b$  = Superficie di base



$St = \frac{f_v l}{U_\infty}$  = Numero di Strouhal (frequenza adimensionale di rilascio dei vortici)

$u = \frac{U_0}{U_\infty}$  = Velocità adimensionale

$U_\infty$  = Velocità del flusso indisturbato

$U_0$  = Velocità media di *base bleed*

# Sommario

Viene studiato numericamente il soffiaggio dalla base di un modello semplificato di veicolo. Il software utilizzato è costituito dal pacchetto *Fluent*, mentre il modello riproduce una vettura coupè semplificata con la zona posteriore di tipo *fastback*.

Vengono analizzate le problematiche legate alla simulazione numerica e si integrano più informazioni per verificare l'attendibilità della soluzione in uscita dal programma.

Si cerca di individuare quali siano le strategie più efficaci e quali siano gli effetti dei principali parametri a disposizione.

Si individuano due metodologie di azione per il soffiaggio. Nella prima si cerca di "spingere" i vortici principali della scia più a valle, nella seconda invece si agisce sulla loro intensità, diffondendoli con della vorticità di segno contrario opportunamente introdotta.

Si realizzano le due tecniche implementando tre differenti tipologie di sbocchi sulla base.

Per limitare il numero di variabili si soffia solo perpendicolarmente alla superficie del modello da uscite rettangolari, imponendo un profilo di velocità in uscita costante.

La posizione delle uscite come anche la loro estensione sulla base viene variata.

Non si prende volutamente in considerazione il problema della implementazione tecnica del soffiaggio sull'autoveicolo.