

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



FACOLTÀ DI INGEGNERIA

**CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA IN
INGEGNERIA AEROSPAZIALE E ASTRONAUTICA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA AEROSPAZIALE**

TESI DI LAUREA

**PROVE DI VOLO DI UN VELIVOLO BIMOTORE:
DETERMINAZIONE DELLE PRESTAZIONI E
IDENTIFICAZIONE PARAMETRICA**

RELATORE

CH.MO PROF.

FABRIZIO NICOLOSI

CANDIDATI

PIERLUIGI DELLA VECCHIA 335/144

CLAUDIO DI MASO 335/145

CORRELATORI

DOTT. AGOSTINO DE MARCO

ING. MICHELE GUIDA

ANNO ACCADEMICO 2007/2008

Indice

SOMMARIO.....	7
CAPITOLO 1.....	9
INTRODUZIONE ALLE PROVE DI VOLO	9
1.1 GENERALITÀ.....	9
1.2 PIANIFICAZIONE DELLE PROVE DI VOLO.....	11
1.3 STRUMENTAZIONE PER PROVE DI VOLO	12
CAPITOLO 2.....	15
LE CARATTERISTICHE DEL VELIVOLO P2006T	15
2.1 INTRODUZIONE.....	15
2.2 CARATTERISTICHE TECNICHE.....	17
CAPITOLO 3.....	23
LA STRUMENTAZIONE PER LE PROVE DI VOLO	23
3.1 INTRODUZIONE.....	23
3.2 BOX MEGARIS(PC)	25
3.3 BOX MULTICANALE.....	28

3.4 MINI AIR DATA BOOM E SENSORI DI PRESSIONE.....	30
3.4.1 <i>Mini Air data Boom</i>	30
3.4.2 <i>Box Air data Boom</i>	33
3.4.2.1 Il sensore barometrico	33
3.4.2.2 Il sensore di pressione differenziale.....	34
3.5 PIATTAFORMA INERZIALE.....	34
3.5.1 <i>Caratteristiche tecniche</i>	35
3.5.2 <i>Interfaccia</i>	37
3.6 VERTICAL GYRO	38
3.7 GPS	39
3.8 UNITÀ POTENZIOMETRICHE	41
3.9 CELLE DI CARICO	43
3.10 UNITÀ PALMARE.....	43
CAPITOLO 4.....	44
I SOFTWARE PER LE PROVE DI VOLO	44
4.1 INTRODUZIONE.....	44
4.2 SOFTWARE DI ACQUISIZIONE DATI LOGGER GUI.....	44
4.3 PROGRAMMA DI VISUALIZZAZIONE DATI FLIGHT DATA ACQUISITION (FDA)	52
4.4 CODICE CONVERSION 1.0	57
4.4.1 <i>File Conversion 1 Hz</i>	61
4.4.2 <i>File Conversion 10 Hz</i>	62
4.4.3 <i>Cut File</i>	62
4.4.4 <i>Flight Log Separation</i>	63
4.4.5 <i>Manual Extraction</i>	64
4.5 OSSERVAZIONI	65
CAPITOLO 5.....	66
LE PRESTAZIONI E LA STABILITÀ DEL VELIVOLO P2006T	66
GENERALITÀ	66
5.1 IL DECOLLO.....	68
5.1.1 <i>Richieste della normativa per il decollo</i>	70
5.1.2 <i>Preparazione dei test di decollo</i>	72
5.1.3 <i>Risultati dei test di decollo</i>	75
5.1.4 <i>Espansione dati decollo - Manuale di volo</i>	86

5.2 L'ATTERRAGGIO	89
5.2.1 <i>Richieste della normativa per l'atterraggio</i>	90
5.2.2 <i>Preparazione dei test di atterraggio</i>	91
5.2.3 <i>Risultati dei test di atterraggio</i>	94
5.2.4 <i>Espansione dati atterraggio – Manuale di volo</i>	101
5.3 ATTERRAGGIO MANCATO(BALKED LANDING)	103
5.3.1 <i>Richieste della normative per l'atterraggio mancato</i>	103
5.3.2 <i>Preparazione del test per l'atterraggio mancato</i>	103
5.3.3 <i>Risultati per l'atterraggio mancato</i>	104
5.4 LA SALITA	105
5.4.1 <i>Teoria – Salita: Approccio Vettoriale</i>	105
5.4.2 <i>Richieste della normativa per la salita(AEO)</i>	109
5.4.3 <i>Procedura per i test di salita – Metodo di riduzione dei dati</i>	109
5.4.4 <i>Risultati dei test di salita</i>	113
5.5 STABILITÀ E CONTROLLO	123
5.5.1 <i>Stabilità Statica Longitudinale</i>	125
5.5.1.1 <i>Richieste della normativa per la stabilità statica longitudinale</i>	125
5.5.1.2 <i>Preparazione dei Tests</i>	127
5.5.1.3 <i>Risultati dei Test</i>	130
5.5.2 <i>Stabilità Statica Direzionale e Laterale</i>	131
5.5.2.1 <i>Richieste della normativa per la stabilità statica laterale e direzionale</i>	132
5.5.2.2 <i>Preparazione dei Test</i>	132
5.5.2.3 <i>Risultati dei Test</i>	135
5.5.3 <i>Stabilità Dinamica Longitudinale</i>	139
5.5.3.1 <i>Richieste della normativa per la stabilità dinamica longitudinale</i>	143
5.5.3.2 <i>Preparazione dei Tests</i>	144
5.5.3.3 <i>Risultati dei Test</i>	145
5.5.4 <i>Stabilità Dinamica Direzionale e Laterale</i>	154
5.5.4.1 <i>Richieste della normativa per la stabilità dinamica latero-direzionale</i>	157
5.5.4.2 <i>Preparazione dei Test</i>	157
5.5.4.3 <i>Risultati dei Test</i>	158
5.6 FORZA DI CONTROLLO SUL COMANDO LONGITUDINALE IN MANOVRA	161
5.6.1 <i>Richieste della normativa</i>	161
5.6.2 <i>Risultati dei Test</i>	162
 CAPITOLO 6	 166
L'IDENTIFICAZIONE PARAMETRICA	166
6.1 INTRODUZIONE	166

6.2 DATI RACCOLTI (DATA GATHERING)	167
6.2.1 <i>Prove di volo per l'Identificazione Parametrica</i>	168
6.2.2 <i>Definizione della Manovra Ottima</i>	170
6.2.3 <i>Flight Log per la stima parametrica e la stabilità dinamica</i>	177
6.3 MODELLO POSTULATO (POSTULATED MODEL)	180
6.3.1 <i>Modelli Matematici</i>	181
6.3.2 <i>Il metodo della Massima Verosimiglianza</i>	182
6.3.3 <i>Output Error Method</i>	186
6.3.4 <i>Algoritmo di Gauss-Newton</i>	188
6.3.5 <i>Algoritmo di Levenberg-Marquardt</i>	190
6.4 ALGORITMO DI ANALISI	191
6.4.1 <i>Struttura e utilizzo del Main Program - ml_oem.m</i>	192
6.4.2 <i>Descrizione del test_case n°4</i>	200
6.4.3 <i>Descrizione del test_case n°1</i>	211
CAPITOLO 7	221
IDENTIFICAZIONE PARAMETRICA DEL VELIVOLO P2006T	221
7.1 IDENTIFICAZIONE PARAMETRICA DELLE CARATTERISTICHE LONGITUDINALI	221
7.1.1 <i>I Modello delle Equazioni utilizzato</i>	223
7.1.2 <i>Scelta della manovra</i>	225
7.1.3 <i>Scelta delle condizioni iniziali, dei parametri iniziali e degli input iniziali</i>	226
7.1.4 <i>Analisi del primo modello</i>	232
7.1.5 <i>Considerazioni I modello</i>	237
7.1.6 <i>Prova di verifica del I modello</i>	237
7.1.7 <i>II Modello delle Equazioni utilizzato</i>	241
7.1.8 <i>Prova di verifica del II modello</i>	242
7.1.9 <i>II Modello - Manovra modificata</i>	244
7.1.10 <i>Prova di verifica del II modello - Manovra modificata</i>	248
7.1.11 <i>Considerazioni II Modello - Manovra Modificata</i>	251
7.2 ANALISI DEI DATI STIMATI – CARATTERISTICHE LONGITUDINALI	251
7.2.1 <i>Confronto risultati parametri di galleria-semiempirici e stimati. Valutazione di alcune curve e grandezze.</i>	256
7.2.1.2 <i>Margine statico di stabilità e punto neutro</i>	258
7.2.1.3 <i>Confronto retta di portanza e C_{L0}</i>	259
7.3 IDENTIFICAZIONE PARAMETRICA DELLE CARATTERISTICHE LATERO-DIREZIONALI	260
7.3.1 <i>Modello delle Equazioni utilizzato</i>	261

7.3.2 <i>Scelta della manovra</i>	264
7.3.3 <i>Scelta delle condizioni iniziali e dei parametri iniziali</i>	265
7.3.4 <i>Risultati Stima effettuata</i>	272
BIBLIOGRAFIA	283

Sommaro

Il presente lavoro di tesi ha due obbiettivi fondamentali. Il primo è quello di analizzare le prestazioni e le caratteristiche di stabilità del velivolo dalle *prove di volo*; il secondo è quello di estrarre, da alcune particolari manovre effettuate in volo, parametri utili per la cosiddetta "*System Identification*" (identificazione parametrica). Il velivolo in questione, oggetto delle prove, è il bimotore *P2006T* della *Tecnam Costruzioni Aeronautiche*. Tale velivolo, bimotore propulso ad elica, è attualmente in fase di certificazioni *CS 23 e FAR 23*.

Il lavoro è stato preceduto da una fase iniziale di installazione e calibrazione della strumentazione atta a rilevare in volo tutte le grandezze utili per l'elaborazione successiva dei dati. In fase preliminare è stato messo a punto un sistema di gestione e visualizzazione delle prove dinamiche effettuate in volo, che permette da una parte di inserire ulteriori canali di dati, derivanti da quelli acquisiti in volo, e dall'altra di estrarre gli intervalli temporali più significativi per l'analisi dell'una o dell'altra prova.

A valle di tali fasi preliminari sono state analizzate una serie di prove di volo. Inizialmente sono state analizzate le prestazioni del velivolo, quali ad esempio il decollo, l'atterraggio, la salita; quindi è stata fatta un'analisi riguardo la stabilità statica e dinamica del velivolo, con cenni anche sulla controllabilità. Infine sono stati valutati i coefficienti aerodinamici del velivolo attraverso l'indagine di stima parametrica. Questa indagine è stata svolta attraverso un software messo a punto dal Prof. Ravindra V. Jategaonkar; per renderlo