
INDICE

PARTE I ALCUNI ARGOMENTI DI CARATTERE INTRODUTTIVO

1	INTRODUZIONE.....	3
2	DEFINIZIONE DI ATMOSFERA STANDARD	11
3	FATTORE DI CARICO	17
4	INVILUPPO DI VOLO	23
4.1	Diagramma di manovra.....	23
4.2	Diagramma di raffica	25
4.3	Inviluppo di volo.....	27
5	LA MISURA DELLA VELOCITA' A BORDO DEI VELIVOLI.....	29

PARTE II LE EQUAZIONI DEL MOTO DEI VELIVOLI

1	LE EQUAZIONI CARDINALI DELLA MECCANICA DEI CORPI RIGIDI.....	35
2	TRASFORMAZIONI DI COORDINATE	39
2.1	Definizione degli angoli di Eulero.....	39
2.2	Algoritmi di trasformazione.....	40
3	SISTEMI DI RIFERIMENTO	49
3.1	Sistema di riferimento "Assi Terrestri".....	49
3.2	Sistema di riferimento "Assi Verticali Locali"	51
3.3	Sistema di riferimento "Assi Vento".....	55
3.4	Sistema di riferimento "Assi Corpo"	56
3.4.1	Sistema di riferimento "Assi Corpo Generici"	57
3.4.2	Sistema di riferimento "Assi Stabilità"	63

4	LE EQUAZIONI DELLE FORZE NEL SISTEMA ASSI TERRESTRI.....	67
5	LE EQUAZIONI DELLE FORZE NEL SISTEMA ASSI VERTICALI LOCALI	71
6	POSSIBILI SEMPLIFICAZIONI DELLE EQUAZIONI DELLE FORZE.....	75
7	LE EQUAZIONI DELLE FORZE NEI RESTANTI SISTEMI DI RIFERIMENTO.....	79
	7.1 Le equazioni delle forze nel sistema Assi Vento.....	80
	7.2 Le equazioni delle forze nel sistema Assi Corpo.....	81
8	LE EQUAZIONI DEI MOMENTI.....	83
9	MODELLI MATEMATICI COMPLETI DELLA DINAMICA DEL VELIVOLO.....	87
	9.1 Modello matematico nel sistema di riferimento Assi Terrestri	88
	9.2 Modello matematico nel sistema di riferimento Assi Verticali Locali	90
	9.3 Modello matematico nel sistema di riferimento Assi Vento	91
	9.4 Modello matematico nel sistema di riferimento Assi Corpo	93
	9.5 Modello matematico nel sistema di riferimento Assi Stabilità.....	95
10	DISCUSSIONE DEI MODELLI MATEMATICI RICAVALI	97

P A R T E I I I

SPECIALIZZAZIONE DELLE EQUAZIONI DEL MOTO ALLO STUDIO DELLE PRESTAZIONI DEI VELIVOLI

1	INTRODUZIONE ALLO STUDIO DELLE PRESTAZIONI DEI VELIVOLI.....	103
2	SPECIALIZZAZIONE DELLE EQUAZIONI DEL MOTO ALLO STUDIO DELLE PRESTAZIONI	107
	2.1 Modello matematico per la valutazione delle prestazioni su traiettorie appartenenti al piano verticale	108
	2.2 Modello matematico per la valutazione delle prestazioni su traiettorie appartenenti al piano orizzontale	112

P A R T E I V

LE FORZE AERODINAMICHE E PROPULSIVE CHE AGISCONO SUI VELIVOLI

1	FORZE AERODINAMICHE: LA POLARE DEL VELIVOLO	119
	1.1 La polare dell'ala isolata	119
	1.2 Influenza della fusoliera sulla polare dell'ala isolata	126
	1.3 Influenza degli impennaggi sulla polare del sistema ala-corpo.....	127
	1.4 La polare del velivolo completo	130
	1.5 La polare del velivolo equilibrato.....	131
	1.6 L'efficienza aerodinamica del velivolo.....	132

1.7	Influenza dell'allungamento alare sulla forma della polare	136
1.8	La velocità di efficienza massima ed i parametri che la influenzano	137
1.9	La polare in regime transonico e supersonico	138
2	LA CURVA DELLA TRAZIONE NECESSARIA AL VOLO	141
2.1	Variazione della curva $T_n=f(V)$ con la quota di volo ed il n° di Mach	144
2.2	Variazione della curva $T_n=f(V)$ con il carico alare	146
2.3	Variazione della curva $T_n=f(V)$ con l'allungamento alare	148
2.4	Costruzione della curva $T_n=f(V)$ o $T_n=f(M)$ per $n_z=1$	149
2.5	Costruzione della curva $T_n=f(V)$ o $T_n=f(M)$ per n_z diverso da 1	149
3	LA CURVA DELLA POTENZA NECESSARIA AL VOLO	151
3.1	Variazione della curva $P_n=f(V)$ con la quota di volo	153
3.2	Variazione della curva $P_n=f(V)$ con il n° di Mach, con il carico alare e con l'allungamento alare	155
3.3	Costruzione della curva $P_n=f(V)$ per $n_z=1$ e n_z diverso da 1	155
4	LE FORZE PROPULSIVE	157
4.1	Schema di funzionamento e rendimenti	157
4.2	Schemi di sistemi propulsivi	160
4.3	Caratteristiche di funzionamento	161

P A R T E V

LE PRESTAZIONI DEI VELIVOLI

1	INTRODUZIONE	165
2	LE PRESTAZIONI DEI VELIVOLI PROPULSI A GETTO IN CONDIZIONI DI VOLO LIVELLATO	167
2.1	Velocità e quota di volo per assegnati valori di spinta	167
2.2	La distanza percorribile	172
2.2.1	Distanza percorribile con programma di volo ad assetto costante	173
2.2.2	Distanza percorribile con programma di volo a velocità costante	181
2.2.3	Distanza percorribile con programma di volo a spinta costante	184
2.2.4	Influenza della quota sulla distanza percorribile	185
2.2.5	Massima distanza percorribile in presenza di vincoli sulla spinta disponibile e sul n° di Mach	187
2.3	L'autonomia oraria	191
2.3.1	Autonomia oraria ad assetto costante	192
2.3.2	Autonomia oraria a velocità costante	194
2.3.3	Autonomia oraria a spinta costante	196
2.3.4	Influenza della quota sull'autonomia oraria	197
3	LE PRESTAZIONI DEI VELIVOLI PROPULSI A GETTO IN CONDIZIONI DI VOLO QUASI LIVELLATO	199

4	LE PRESTAZIONI DEI VELIVOLI PROPULSI A GETTO SU	
	TRAIETTORIE DI SALITA	207
4.1	Salita a velocità indicata costante od a n° di Mach costante	213
4.2	Salita a velocità variabile.....	215
5	LE PRESTAZIONI DEI VELIVOLI PROPULSI AD ELICA IN	
	CONDIZIONI DI VOLO LIVELLATO	223
5.1	Velocità e quota di volo per assegnati valori di potenza	224
5.2	La distanza percorribile	225
5.2.1	Distanza percorribile ad assetto costante	226
5.2.2	Distanza percorribile a velocità costante	227
5.2.3	Distanza percorribile a potenza costante	227
5.3	Influenza della quota sulla distanza percorribile	228
5.4	L'autonomia oraria	228
5.4.1	Autonomia oraria ad assetto costante	228
5.4.2	Autonomia oraria a velocità costante	230
5.4.3	Autonomia oraria a potenza costante.....	230
5.5	Influenza della quota sull'autonomia oraria	231
6	LE PRESTAZIONI DEI VELIVOLI PROPULSI AD ELICA IN	
	CONDIZIONI DI VOLO QUASI LIVELLATO	233
7	LE PRESTAZIONI DEI VELIVOLI PROPULSI AD ELICA SU	
	TRAIETTORIE DI SALITA	235
8	LE PRESTAZIONI DEI VELIVOLI SU TRAIETTORIE DI DISCESA.....	239
8.1	Pendenza della traiettoria.....	240
8.2	Velocità di discesa	242
8.3	Velocità limite in affondata	243
9	LE PRESTAZIONI DEI VELIVOLI SU TRAIETTORIE SVOLGENTESI NEL	
	PIANO ORIZZONTALE.....	245
9.1	La virata standard.....	247
9.2	Raggi minimi di virata	248
10	LA MANOVRA DI DECOLLO.....	253
10.1	Schematizzazione e modello matematico della manovra di decollo	253
10.2	Principali parametri che influenzano lo spazio necessario al decollo	261
10.3	Prescrizioni regolamentari per la manovra di decollo	263
10.4	La fase di salita immediatamente seguente il decollo.....	269
11	LA MANOVRA DI ATTERRAGGIO	271
11.1	Valutazione dello spazio necessario all'atterraggio e principali parametri che la influenzano	272
11.2	Prescrizioni regolamentari per la manovra di atterraggio.....	276

P A R T E VI
SPECIALIZZAZIONE DELLE EQUAZIONI DEL MOTO ALLO STUDIO DELLA
DINAMICA DEI VELIVOLI

1	INTRODUZIONE.....	279
2	LINEARIZZAZIONE DELLE EQUAZIONI DEL MOTO.....	281
2.1	Linearizzazione del modello matematico della dinamica del velivolo riferito ad un sistema di assi corpo generico.....	282
2.2	Linearizzazione del modello matematico della dinamica del velivolo riferito al sistema assi stabilità.....	285
2.3	Linerizzazione del modello matematico della dinamica del velivolo riferito al sistema assi vento.....	286
2.4	Osservazioni sui sistemi di equazioni linearizzati – Scelta del sistema di riferimento per lo studio della dinamica dei velivoli.....	287
3	ESPLICITAZIONE DELLE FORZE E DEI MOMENTI AERODINAMICI	289
3.1	Le derivate aerodinamiche dei velivoli.....	293
4	ESPLICITAZIONE DELLE DERIVATE AERODINAMICHE RELATIVE AL PIANO LONGITUDINALE	297
4.1	Derivate rispetto a u	298
4.2	Derivate rispetto a w	303
4.3	Derivate rispetto a \dot{w}	308
4.4	Derivate rispetto a q	311
4.5	Derivate rispetto alle azioni di controllo	312
4.6	Tabella riassuntiva	314
5	ESPLICITAZIONE DELLE DERIVATE AERODINAMICHE RELATIVE AL PIANO LATERO-DIREZIONALE	317
5.1	Derivate rispetto a v	318
5.2	Derivate rispetto a p	321
5.3	Derivate rispetto a r	323
5.4	Derivate rispetto alle azioni di controllo	324
5.5	Tabella riassuntiva	325
6	FORMA ALTERNATIVA DELLE EQUAZIONI DEL MOTO – DERIVATE AERODINAMICHE CON APICE.....	327
7	FORMA NON DIMENSIONALE DELLE EQUAZIONI DEL MOTO	335
8	TRASFORMAZIONE DELLE DERIVATE AERODINAMICHE DAL SISTEMA ASSI STABILITA' AD UN SISTEMA ASSI CORPO	347

PARTE VII
CARATTERISTICHE AEROMECCANICHE LONGITUDINALI

1	INTRODUZIONE.....	353
2	FORZE E MOMENTI AGENTI NEL PIANO LONGITUDINALE.....	355
3	EQUILIBRIO IN BECCHEGGIO.....	357
3.1	Effetti del propulsore sull'equilibrio del velivolo	360
4	PORTANZA TOTALE ED ANGOLO DI INCIDENZA RISPETTO ALLA DIREZIONE DI PORTANZA NULLA	363
5	RIGIDEZZA IN BECCHEGGIO	369
6	VALUTAZIONE DELLA POSIZIONE DEL PN, DELLA DERIVATA $C_{m\alpha}$ E DEL COEFFICIENTE C_{m0}	379
7	RIGIDEZZA IN BECCHEGGIO DEL VELIVOLO COMPLETO.....	385
7.1	Contributi dei corpi alla rigidezza in beccheggio	387
7.2	Contributo del sistema propulsivo alla rigidezza in beccheggio	388
8	CONTROLLABILITA' LONGITUDINALE DEL VELIVOLO	391
8.1	Dispositivi di controllo longitudinale del velivolo	391
8.2	Esplicitazione delle funzioni $\Delta C_L = f(\delta_e)$ e $\Delta C_m = f(\delta_e)$	395
8.3	Controllabilità longitudinale del velivolo.....	399
8.4	Influenza del margine di stabilità sulle possibilità di controllo del velivolo	400
8.5	Controllo longitudinale dei velivoli non convenzionali	403
8.6	Pendenza della curva $C_L = f(\alpha)$ in condizioni equilibrate e resistenza di trim.....	405
8.7	Effetto degli ipersostentatori sulle condizioni di trim	408
9	IL MOMENTO DI CERNIERA DELLE SUPERFICI MOBILI.....	411
9.1	Valutazione del momento di cerniera	416
10	RIGIDEZZA IN BECCHEGGIO A COMANDI LIBERI	421
11	INFLUENZA DEL MARGINE DI STABILITA' A COMANDI LIBERI SULLE CARATTERISTICHE DI CONTROLLO DEL VELIVOLO	427
11.1	Valutazione di $\delta_{t(trim)}$	427
11.2	Valutazione dello sforzo di barra in condizioni di equilibrio	429
11.3	Bilanciamento delle superfici di comando.....	435
12	LA MANOVRABILITA' DEL VELIVOLO	437
12.1	Variazioni di forze e momenti aerodinamici indotte dalla velocità angolare Q	439
12.2	Esplicitazione della funzione $\Delta\delta_e = f(n_z)$	442
12.3	Punto di manovra a comandi fissi.....	445
12.4	Variazione del momento di cerniera con n_z	447
12.5	Punto di manovra a comandi liberi	450
12.6	Variazione dello sforzo di barra per "g"	451
13	LIMITI DI ESCURSIONE DEL BARICENTRO.....	453
13.1	Effetti di molle e pesi montati sulla catena di comando	454

14 LE DERIVATE IN $\dot{\alpha}$, IN u E LA DERIVATA $C_{D\alpha}$	457
14.1 Le derivate in $\dot{\alpha}$	457
14.2 Le derivate in u	460
14.3 La derivata $C_{D\alpha}$	461

P A R T E V I I I

D I N A M I C A L O N G I T U D I N A L E

1 INTRODUZIONE.....	465
2 EQUAZIONE CARATTERISTICA DEL PIANO LONGITUDINALE ED AUTOVALORI DEL SISTEMA	467
3 STABILITA' LONGITUDINALE.....	473
4 MODI PROPRI LONGITUDINALI	477
4.1 Analisi approssimata del modo fugoide.....	483
4.2 Analisi approssimata del modo di corto periodo	489
4.3 Osservazioni sul calcolo delle caratteristiche dei modi propri.....	495
4.4 Influenza della posizione del baricentro sulle caratteristiche dei modi propri	496
5 RISPOSTA AI COMANDI	499
5.1 Risposta ad un comando di equilibratore.....	499
5.2 Risposta ad una variazione di spinta del motore.....	504

P A R T E I X

C A R A T T E R I S T I C H E A E R O M E C C A N I C H E L A T E R O - D I R E Z I O N A L I

1 INTRODUZIONE.....	509
2 FORZE E MOMENTI AGENTI NEL PIANO LATERO-DIREZIONALE.....	511
3 RIGIDEZZA IN IMBARDATA.....	515
4 CONTROLLO IN IMBARDATA	523
4.1 Sforzi sulla pedaliera e rigidezza in imbardata a comandi liberi.....	525
5 EFFETTO DIEDRO	529
5.1 Contributo dell'angolo diedro dell'ala alla derivata $C_{\ell\beta}$	530
5.2 Contributo dell'angolo di freccia dell'ala alla derivata $C_{\ell\beta}$	534
5.3 Contributo della posizione dell'ala rispetto alla fusoliera alla derivata $C_{\ell\beta}$	536
5.4 Contributo della deriva alla derivata $C_{\ell\beta}$	537
6 CONTROLLO IN ROLLIO	539
6.1 Sforzo di barra sugli alettoni.....	541

7	ACCOPPIAMENTI DERIVANTI DALLE AZIONI DI CONTROLLO	543
7.1	Accoppiamenti determinati dall'azionamento del timone di direzione	543
7.2	Accoppiamenti determinati dall'azionamento degli alettoni	545
7.3	Influenza degli accoppiamenti sull'efficacia del comando di alettone.....	546
8	FORZE E MOMENTI DERIVANTI DALLA VELOCITA' ANGOLARE R	
	INTORNO ALL'ASSE Z	549
8.1	Forze Y indotte dalla velocità angolare R	549
8.2	Momento di imbardata N indotto dalla velocità angolare R.....	551
8.3	Momento di rollio L indotto dalla velocità angolare R	552
9	FORZE E MOMENTI DERIVANTI DALLA VELOCITA' ANGOLARE P	
	INTORNO ALL'ASSE Y	555
9.1	Forze Y indotte dalla velocità angolare P	555
9.2	Momento di rollio L indotto dalla velocità angolare P	556
9.3	Momento di imbardata N indotto dalla velocità angolare P	560

P A R T E X

DINAMICA LATERO-DIREZIONALE

1	INTRODUZIONE.....	565
2	EQUAZIONE CARATTERISTICA DEL PIANO LATERO-DIREZIONALE ED AUTOVALORI DEL SISTEMA	567
3	MODI PROPRI LATERO-DIREZIONALI	571
3.1	Analisi approssimata del modo spirale	574
3.2	Analisi approssimata del modo di rollio	578
3.3	Analisi approssimata del modo di dutch-roll	579
4	RISPOSTA AI COMANDI	583
4.1	Risposta ad un comando di alettone	583
4.2	Velocità critiche di rollio	586
4.3	Risposta ad un comando di timone di direzione	597
	BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE.....	601