



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## MECCANICA DEL VOLO

**ALESSANDRO ANTONIO QUARTA**

Anno accademico 2021/22  
CdS INGEGNERIA AEROSPAZIALE  
Codice 235II  
CFU 12

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
MECCANICA DEL VOLO	ING-IND/03	LEZIONI	120	ALESSANDRO ANTONIO QUARTA

### Obiettivi di apprendimento

#### *Conoscenze*

Al termine del Corso lo studente avrà acquisito le conoscenze necessarie:

- all'analisi preliminare di una classica missione di trasferimento di un velivolo commerciale da trasporto (propulso a getto oppure ad elica) dal punto di vista delle prestazioni classiche;
- allo studio del problema della controllabilità e manovrabilità di un velivolo convenzionale propulso a getto (o ad elica) in volo livellato e stazionario.

#### *Modalità di verifica delle conoscenze*

L'accertamento delle conoscenze acquisite durante il Corso verrà principalmente effettuato risolvendo alcuni tipici problemi applicativi ed analizzando criticamente i risultati (anche numerici) ottenuti. Ci sarà anche una fase di analisi qualitativa dei modelli teorici discussi durante le lezioni prendendo spunto da alcune configurazioni di velivoli realmente esistenti.

#### *Capacità*

Al termine del corso lo studente dovrà essere in grado di determinare, una volta assegnate le caratteristiche di un velivolo convenzionale, le sue prestazioni classiche di missione (come ad esempio il tempo di volo, l'autonomia chilometrica o le distanze di decollo/atterraggio). Inoltre lo studente dovrà essere in grado di verificare la rigidità di una configurazione e di valutare la sua controllabilità e manovrabilità secondo le convenzioni classiche della Meccanica del Volo.

#### *Modalità di verifica delle capacità*

Lo studente sarà chiamato a risolvere alcuni classici problemi della Meccanica del Volo atmosferico, come ad esempio il calcolo delle prestazioni ed il bilanciamento della macchina. In particolare, lo studente sarà invitato a confrontare i risultati ottenuti tramite i modelli analitici semplificati con i parametri (noti in letteratura) di alcuni velivoli di riferimento.

#### *Comportamenti*

Al termine del corso lo studente dovrà essere in grado di identificare i più importanti parametri che influenzano le prestazioni di un aeromobile ad ala fissa ed il suo bilanciamento. Inoltre lo studente sarà a conoscenza dei principali requisiti regolamentari che vincolano la pianificazione di una missione commerciale di trasferimento.

#### *Modalità di verifica dei comportamenti*

Durante le esercitazioni saranno determinati numericamente (ed ampiamente commentati) alcuni parametri caratteristici della macchina. Inoltre lo studente sarà chiamato a commentare, tenendo conto dei modelli analitici determinati a lezione, i motivi per i quali è stata effettuata una scelta progettuale in un aeromobile realmente esistente.

#### *Prerequisiti (conoscenze iniziali)*

Lo studente deve essere in grado di padroneggiare tutti gli strumenti forniti nei corsi di base di Fisica e Meccanica Razionale. Inoltre deve avere chiari alcuni concetti fondamentali (richiamati nella prima parte del corso) forniti negli insegnamenti di "Fluidodinamica" e "Motori per Aeromobili".

#### *Corequisiti*



## UNIVERSITÀ DI PISA

Al fine di affinare alcuni strumenti di calcolo e modelli matematici impiegati durante il corso di Meccanica del Volo, si consiglia di seguire i seguenti insegnamenti (paralleli) del primo anno della Laurea Magistrale in Ingegneria Aerospaziale:

- 1) Aerodinamica degli Aeromobili (Cod. 229II)
- 2) Dinamica e Controllo di Veicoli Aerospaziali (Cod. 749II)

### Prerequisiti per studi successivi

La struttura del corso di Meccanica del Volo consente di acquisire alcuni strumenti (analitici e numerici) necessari alla corretta fruizione dei seguenti insegnamenti del secondo anno della Laurea Magistrale in Ingegneria Aerospaziale:

- 1) Dinamica del Volo (Cod. 232II)
- 2) Costruzioni Aeronautiche (Cod. 230II)

### Indicazioni metodologiche

Le lezioni e le esercitazioni si svolgono nella maniera classica, ovvero attraverso l'uso della lavagna. Durante le lezioni verranno commentate alcune fotografie e grafici presenti in una serie di dispense (formato esclusivamente cartaceo) messe a disposizione degli studenti all'inizio del Corso. Inoltre, al fine di agevolare la spiegazione degli schemi disegnati a lavagna, verranno commentati in alcune lezioni dei filmati.

Gli esercizi risolti durante le ore di esercitazione sono riportati, insieme alle tabelle di conversione e alle caratteristiche dell'Atmosfera Standard, in una serie di dispense (formato esclusivamente cartaceo) messe a disposizione degli studenti all'inizio del Corso.

Durante il Corso sono previste due prove in itinere che sostituiscono la parte scritta dell'esame. La prima prova è tipicamente effettuata al termine del primo semestre, la seconda prova è invece effettuata poco prima del termine del secondo semestre. Alla seconda prova sono ammessi gli studenti che superano (sufficienza) la prima prova in itinere. Gli studenti che superano con successo la seconda prova, devono completare l'esame superando la prova orale nei tre appelli della sessione estiva.

### Programma (contenuti dell'insegnamento)

Gli argomenti trattati nel Corso sono idealmente suddivisi in quattro parti. Le lezioni che prevedono anche un'esercitazione sono indicate con il simbolo "\*\*".

#### 1) Argomenti di Carattere Introduttivo

Introduzione al Corso di Meccanica del Volo  
Classificazione e Nomenclatura  
\* Corda Media Aerodinamica  
\* Modello di Atmosfera Standard  
\* Misura della Velocità a Bordo del Velivolo  
\* Forze Aerodinamiche: la Polare Del Velivolo  
\* Forze Propulsive  
\* Fattore di Carico  
\* Trasformazioni di Coordinate  
\* Sistemi di Riferimento  
Le Equazioni Cardinali della Meccanica dei Corpi Rigidi  
Le Equazioni delle Forze nel Sistema Assi Terrestri  
Le Equazioni delle Forze nel Sistema Assi Verticali Locali  
Possibili Semplificazioni delle Equazioni delle Forze  
Le Equazioni delle Forze nei Restanti Sistemi di Riferimento  
Le Equazioni dei Momenti  
Modelli Matematici Completi della Dinamica del Velivolo  
Discussione dei Modelli Matematici Ricavati

#### 2) Prestazioni dei Velivoli

Specializzazione delle Equazioni Del Moto  
\* Analisi di Missione  
\* La Curva della Trazione Necessaria al Volo  
\* La Curva della Potenza Necessaria al Volo  
\* Analisi del Volo Livellato  
\* Autonomia Chilometrica: Velivoli a Getto  
\* Autonomia Oraria: Velivoli a Getto  
\* Autonomia Chilometrica: Velivoli ad Elica  
\* Autonomia Oraria: Velivoli ad Elica  
\* Analisi della Salita: Velivoli a Getto  
\* Analisi della Salita: Velivoli ad Elica  
\* Analisi della Discesa: Velivoli a Getto  
\* Volo Planato: Prestazioni degli Alianti  
\* Decollo ed Atterraggio



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

- \* Inviluppo di Volo
- \* Virata dei Velivoli a Getto
- \* Virata dei Velivoli ad Elica
- \* Analisi Qualitativa del Volo Asimmetrico

### 3) Controllabilità, Rigidezza e Manovrabilità dei Velivoli

Analisi della Condizione d'Equilibrio  
Forze e Momenti Agenti nel Piano Longitudinale

- \* Equilibrio in Beccheggio: Carico in Coda
- \* Portanza Totale ed Angolo d'Incidenza Complessivo
- \* Punto Neutro (a Comandi Fissi) del Velivolo
- \* Rigidezza in Beccheggio: Calcolo di  $C_{m\alpha}$  e di  $C_{m0}$
- \* Analisi della Posizione del Punto Neutro dell'Ala-Fusoliera

Effetti del Sistema Propulsivo sulla Rigidezza in Beccheggio

- \* Controllabilità Longitudinale del Velivolo
- \* Calcolo dello Sforzo di Barra
- \* Il Momento di Cerniera delle Superfici Mobili
- \* Punto Neutro a Comandi Liberi

Influenza della Posizione del Baricentro sul Controllo del Velivolo  
Forze e Momenti Agenti nel Piano Latero-Direzionale  
Rigidezza in Imbardata  
Effetto Diedro  
Controllo in Imbardata  
Accoppiamenti Derivanti dall'Azionamento del Timone  
Controllo in Rollio  
Accoppiamenti Derivanti dall'Azionamento degli Alettoni

- \* Forze e Momenti Derivanti dalla Velocità Angolare  $R, P, Q$
- \* Angolo d'Incidenza e di Equilibratore in Richiamata Perfetta
- \* Punto di Manovra a Comandi Fissi ed a Comandi Liberi

Limiti di Escursione del Baricentro

### 4) Introduzione alla Dinamica del Velivolo

Linearizzazione delle Equazioni del Moto  
Esplicitazione delle Forze e dei Momenti Aerodinamici

- \* Derivate Aerodinamiche Relative al Piano Longitudinale
- \* Derivate Relative al Piano Latero-Direzionale

Derivate Aerodinamiche con Apice  
Forma non Dimensionale delle Equazioni del Moto  
Equazione Caratteristica del Piano Longitudinale ed Autovalori del Sistema  
Stabilità Longitudinale  
Modi Propri Longitudinali  
Risposta ai Comandi (cenni)  
Equazione Caratteristica del Piano Latero-Direzionale ed Autovalori del Sistema

- \* Modi Propri Latero-Direzionali

Risposta ai Comandi (cenni)

### Bibliografia e materiale didattico

#### Testi Consigliati

1. Casarosa C., "Meccanica del Volo", ristampa 2010, Pisa University Press.
2. Quarta A., "Esercizi di Meccanica del Volo", seconda edizione 2010, ETS editore.

Il testo "Meccanica del Volo" copre (quasi) interamente gli argomenti affrontati durante le lezioni; il testo "Esercizi di Meccanica del Volo" raccoglie i problemi d'esame (con relativa soluzione e commento dettagliato) assegnati nel periodo 2001 -> 2009

#### Materiale didattico aggiuntivo

1. Dispensa contenente le figure che saranno commentate in classe ed i testi degli esempi svolti durante le ore d'esercitazione;
2. Raccolta delle tracce dei testi d'esame assegnati nel periodo 2010 -> 2019

Materiale disponibile presso la portineria dell'ex Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale (DIA, Via G. Caruso n.8) e presso la copisteria One Cent (Via Bonanno Pisano n.75).

#### Materiale da portare in aula



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

- la dispensa contenente le figure ed i testi degli esempi da svolgere;
- calcolatrice scientifica;
- righello ed alcune matite di colorate (3) per le costruzioni geometriche.

### Indicazioni per non frequentanti

Si **consiglia** vivamente di seguire le lezioni e di studiare la materia **durante** l'anno accademico. Per chi fosse impossibilitato a seguire (e studiare) attivamente il Corso, si consiglia di reperire il materiale (appunti, fotocopie aggiuntive) fornito in aula, in maniera tale da preparare correttamente l'esame. In ogni caso, i testi consigliati costituiscono un'indispensabile guida nella preparazione dell'esame finale. esame finale.

### Modalità d'esame

L'esame di Meccanica del Volo prevede:

1. una **prova scritta** della durata di **60 minuti** in cui viene chiesto di risolvere (anche numericamente) un esercizio la cui tipologia è simile agli esempi affrontati, in classe, nelle ore d'esercitazione. Durante la prova scritta è permesso (**esclusivamente**) l'utilizzo della calcolatrice scientifica, delle tabelle dell'Atmosfera Standard e delle tabelle di conversione, una cui copia è liberamente scaricabile dalla bacheca del corso su e-learn. **Non** sono ammessi appunti, libri e dispositivi elettronici diversi dalla classica calcolatrice scientifica. Ogni elaborato verrà valutato attraverso un voto in trentesimi. Lo studente il cui elaborato ottiene un voto inferiore a 18/30 (giudizio "insufficiente"), non potrà accedere alla prova orale successiva e dovrà ripetere la prova scritta.
2. una **prova orale** riguardante gli argomenti inseriti nel programma ufficiale del corso e riportato al relativo indirizzo di Unimap.

Nel caso di prova orale sufficiente, lo studente riceverà una valutazione complessiva che tiene anche conto dell'esito della prova scritta. Nel caso di prova orale insufficiente, lo studente dovrà ripetere nuovamente l'esame, **inclusa** la prova scritta.

### Stage e tirocini

Non sono previste forme di stage, tirocini o collaborazioni con terzi durante lo svolgimento del corso di Meccanica del Volo.

### Altri riferimenti web

Il registro delle lezioni ed altre informazioni sul Docente possono essere trovate sul sito di ateneo Unimap, andando al seguente indirizzo:

[http://unimap.unipi.it/cercapersone/dettaglio.php?ri=5078&template=dett\\_didattica.tpl](http://unimap.unipi.it/cercapersone/dettaglio.php?ri=5078&template=dett_didattica.tpl)

### Note

Durante i periodi di lezione l'orario di ricevimento è fissato il giovedì pomeriggio, dalle 16:00 alle 17:00, presso l'ufficio del Docente nella sede Aerospaziale del Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale, Via G. Caruso n.8 (primo piano). In base alla disponibilità del Docente è possibile concordare un orario differente, previo appuntamento da fissare tramite e-mail.

Fuori dai periodi di lezione il ricevimento si effettua previo appuntamento da fissare tramite e-mail.

Ultimo aggiornamento 16/07/2021 11:56