



# UNIVERSITÀ DI PISA

## AEROSPACE STRUCTURES

---

### LUISA BONI

Anno accademico	2023/24
CdS	INGEGNERIA AEROSPAZIALE
Codice	501II
CFU	12

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
AEROSPACE STRUCTURES I	ING-IND/04	LEZIONI	60	LUISA BONI
AEROSPACE STRUCTURES II	ING-IND/04	LEZIONI	60	LUISA BONI

#### Obiettivi di apprendimento

##### *Conoscenze*

Lo studente, al termine del corso, saprà calcolare le forze interne agenti su tipiche strutture aerospaziali (cassoni alari, fusoliere) adottando sia l'approccio della teoria elementare sia metodi più avanzati per tenere conto della natura iperstatica dei componenti analizzati; sarà in grado di analizzare il fenomeno di instabilità delle strutture compresse; saprà utilizzare metodi energetici per lo studio dei problemi strutturali.

##### *Modalità di verifica delle conoscenze*

La valutazione si basa principalmente sulla verifica delle conoscenze di base necessarie per lo studio delle strutture aerospaziali (equilibrio, calcolo dei flussi di taglio e delle tensioni normali in strutture a pareti sottili). Non è consentita incertezza su questi aspetti. Anche la conoscenza dei fenomeni di buckling e dei metodi per la soluzione dei problemi di instabilità strutturale rappresentano una parte importante della preparazione e della valutazione dello studente. Anche su questi aspetti non è consentita incertezza. L'esame si basa sulla soluzione di esercizi e su una successiva discussione dei risultati e, se necessario, sulla trattazione di alcuni aspetti teorici.

##### *Capacità*

(PARTE I) - **Analisi strutturale di base - Statica** (ottobre-dicembre)

- Anatomia delle strutture aerospaziali.
- Principi di progetto delle strutture aerospaziali.
- Introduzione alla meccanica strutturale.
- Travi a flessione, taglio e torsione.
- Flessione, taglio e torsione di travi in parete sottile.
- Tensioni nelle travi in parete sottile multi-cellulari.
- Modelli discreti di strutture aerospaziali (cassone alare, fusoliera): teoria elementare.
- Approcci del secondo ordine: fenomeni dello shear-lag e dell'impedito ingobbamento nelle strutture aerospaziali.
- Metodo matriciale delle forze per l'analisi strutturale di strutture iperstatiche: formulazione tramite il parametro di ingobbamento.

(PARTE II) - **Analisi delle Strutture Aerospaziali - Statica e Dinamica** (Marzo-Maggio)

- Metodi energetici di analisi strutturale.
- Metodo matriciale degli spostamenti per l'analisi strutturale di strutture iperstatiche: introduzione al Metodo degli Elementi Finiti.
- Teoria delle piastre sottili.
- Teoria dell'instabilità strutturale (instabilità di travi, piastre e pannelli irrigiditi).
- Collasso di strutture compresse (collasso di travi, piastre e pannelli irrigiditi).
- Vibrazioni strutturali: analisi del sistema ad un singolo grado di libertà.
- Vibrazioni strutturali: analisi di sistemi a più gradi di libertà.
- Dinamica dei sistemi continui (vibrazioni flessionali e torsionali degli elementi monodimensionali).
- Analisi modale dei sistemi strutturali.
- Metodi energetici per l'analisi dinamica delle strutture.

##### *Modalità di verifica delle capacità*

L'esame per tutti gli studenti consiste in un **esame finale completo**, su entrambe le parti del corso.



## UNIVERSITÀ DI PISA

Prerequisiti (conoscenze iniziali)

**Gli studenti dovrebbero essere in grado di utilizzare e/o eseguire quanto segue:**

- Notazione vettoriale e tensoriale.
- Concetti di tensione e deformazione.
- Nozioni di base della teoria dell'elasticità.
- Relazioni costitutive isotrope.
- Teoria classica delle travi.

Indicazioni metodologiche

**Metodi di insegnamento**

- Lezioni frontali teoriche e con esempi di applicazioni delle teorie a strutture reali.
- Supporto alla spiegazione orale con proiezione di slides.

**Supporto didattico**

- Versione stampabile delle slides proiettate disponibile su MS Teams.
- Ricevimento personale o di gruppo su richiesta.

**Attività consigliate**

- Frequenza delle lezioni.
- Partecipazione a seminari consigliati.
- Studio individuale.

Programma (contenuti dell'insegnamento)

**PARTE I** (ottobre-dicembre)

**PARTE I-0: Parte introduttiva**

- Motivazione, obiettivi e metodi del corso, panoramica generale dei contenuti del corso.
- Anatomia delle strutture aerospaziali, principali funzioni dei componenti strutturali.
- Processo di progettazione strutturale, fonti e tipologia dei carichi, carichi limite e ultimo, fattori e margini di sicurezza, definizione di rottura.

**PARTE I-1: Fondamenti di elasticità**

- Il problema generale dell'elasticità.
- Equazioni di equilibrio+Equazioni cinematiche+Equazioni Costitutive.
- Equazioni+Condizioni al contorno.
- Equazioni di compatibilità.
- Equazioni di Navier.
- Equazioni di Beltrami.

**PARTE I-2 Analisi delle Strutture degli Aeromobili**

- Soluzione di St. Venant per solidi prismatici sottoposti a carico assiale e flessione pura.
- Flessione di travi in parete sottile.
- Teoria della torsione di St. Venant.
- Torsione di travi in parete sottile e teoria di Bredt per sezioni chiuse.
- Soluzione di St. Venant per travi a flessione a taglio.
- Teoria del taglio approssimato e formula di Jourawsky.
- Flessione e taglio di travi in parete sottile.
- Analisi tensionale di componenti aeronautici mediante la Teoria Elementare delle Travi a Semiguscio.
- Teorie raffinate del secondo ordine per problemi speciali: Teoria dello Shear-Lag e dell'Impedito Ingobbamento.
- Strutture staticamente indeterminate.
- Metodi matriciali: Metodo delle Forze.
- Utilizzo del metodo delle forze per ottenere soluzioni più accurate di problemi strutturali.
- Formulazione del Metodo delle Forze tramite il parametro di ingobbamento.

**PARTE II (Marzo-Maggio)**

**PARTE II-0: Metodi energetici e matriciali**

- Metodi energetici: metodi del valore stazionario dell'energia Potenziale Totale e Complementare.
- Metodi matriciali: il metodo degli spostamenti; introduzione al Metodo degli Elementi Finiti.

**PARTE II-1: Teoria delle piastre e delle membrane**

- Teoria classica delle piastre di Kirchoff, Equazioni di Von Karman, Equazioni di Foppl.
- Metodo energetico per soluzioni esatte e metodo di Rayleigh-Ritz per soluzioni approssimate di problemi strutturali sulle piastre



# UNIVERSITÀ DI PISA

sottili.

---

## PARTE II-2: Instabilità e collasso strutturale

- Instabilità primaria delle colonne.
- Instabilità e collasso delle piastre sottili.
- Instabilità secondaria e collasso delle colonne.
- Instabilità e collasso dei pannelli irrigiditi.

## PARTE II-3: Dinamica strutturale

- Vibrazioni strutturali di sistemi a parametri concentrati: casi di singolo e multipli gradi di libertà.
- Vibrazioni strutturali di sistemi continui: elementi monodimensionali (corda, asta, albero, trave).
- Metodi energetici di Rayleigh e Ritz per calcoli approssimati di frequenze naturali e modi di vibrazione di modelli a parametri concentrati e continui.

## Bibliografia e materiale didattico

### Testi di riferimento:

- *Spacecraft Structures and Mechanisms*, T.P. Sarafin, 1995
- *Aircraft Structures for Engineering Students*, T.H.G. Megson, 1972
- *Theory and Analysis of Flight Structures*, R.M. Rivello, 1969
- *Analysis and design of flight vehicle structures*, E. F. Bruhn, 1965
- *Theory of Elasticity*, S.P. Timoshenko, J.N. Goodier, 1970
- *Mechanics of Materials*, S.P. Timoshenko, J.M. Gere, 1972
- *Introduction to Structural Dynamics and Aeroelasticity*, D.H. Hodges, 2002
- *Fondamenti di Strutture Aerospaziali*, Edoardo Francesconi, Sistemi Editoriali.

### Materiale fornito dal docente:

*Lectures and Exercises of Aerospace Structures*, L. Boni (MS-Teams)

## Modalità d'esame

**Esame orale in presenza** con risoluzione di esercizi e possibile discussione teorica.

## Pagina web del corso

<https://teams.microsoft.com/j/team/19%3aCznoxv1luS9kQ9uRoLcEY2wQ69VWVzI0y1CnaWzpnzY1%40thread.tacy2/conversations?groupId=3b845f35-5b2e-4eb6-9069-097ae9629bae&tenantId=c7456b31-a220-47f5-be52-473828670aa1>

Ultimo aggiornamento 25/10/2023 18:44