



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## SPACECRAFT STRUCTURES AND MECHANISMS

**MARIO ROSARIO CHIARELLI**

Anno accademico 2023/24  
CdS INGEGNERIA AEROSPAZIALE  
Codice 666II  
CFU 12

|  |                         |                 |            |   |
|--|-------------------------|-----------------|------------|---|
| Moduli<br>SPACECRAFT<br>STRUCTURES AND<br>MECHANISMS | Settore/i<br>ING-IND/04 | Tipo<br>LEZIONI | Ore<br>120 | Docente/i<br>MARIO ROSARIO<br>CHIARELLI |
|--|-------------------------|-----------------|------------|---|

### Obiettivi di apprendimento

#### *Conoscenze*

Lo studente che completa con successo il corso sarà in grado di dimostrare una buona conoscenza sia degli aspetti meccanici che tecnologici che si riferiscono alle strutture spaziali e ai meccanismi; acquisirà conoscenze sulla fatica e la meccanica della frattura dei materiali metallici; sarà in grado di risolvere problemi di meccanica e sarà in grado di redigere una relazione tecnica al termine della esecuzione di un'esercitazione progettuale. La valutazione si basa per il 50% sulla verifica effettuata durante l'esame (orale). Il restante 50% si basa sulla valutazione della relazione di progetto che un singolo studente o un gruppo di studenti produrrà al termine del corso prima della fase di esame.

#### *Modalità di verifica delle conoscenze*

La valutazione si basa principalmente sulla verifica delle conoscenze di base necessarie per la progettazione di strutture e meccanismi aerospaziali (progettazione strutturale preliminare dei lanciatori, analisi di resistenza, fatica, meccanica della frattura, giunti, cuscinetti, ingranaggi). L'incertezza di queste competenze non è consentita. Lo studente dovrà dimostrare di saper mettere in pratica ed eseguire, con consapevolezza critica, i metodi di progettazione e le procedure di verifica illustrati durante il corso. Per questo motivo la discussione della relazione di progetto occuperà una parte importante della fase di esame.

L'esame si basa sulla soluzione di esercizi scritti e su una successiva discussione dei risultati.

#### *Capacità*

competenze di base per la formulazione matematica (modellazione di) di problemi fisici e/o tecnici  
competenze di base nella pianificazione del processo di progettazione di un veicolo spaziale  
competenze di base per la risoluzione di problemi nel campo dell'ingegneria aerospaziale

#### *Modalità di verifica delle capacità*

durante lo svolgimento delle lezioni il docente propone agli studenti la risoluzione di alcuni semplici problemi di dinamica strutturale e di meccanica della fatica e/o della frattura dei materiali metallici  
gli incontri periodici, che si svolgono durante lo sviluppo di ciascun progetto, forniscono buone occasioni per incrementare la preparazione tecnica degli studenti e per definire obiettivi formativi concreti  
allo stesso tempo, lo sviluppo e la preparazione della relazione di progetto consente al docente di evidenziare la preparazione personale e/o le lacune personali di ciascun studente

#### *Comportamenti*

si suggerisce agli studenti di seguire con assiduità le lezioni sia nel primo che nel secondo periodo

#### *Modalità di verifica dei comportamenti*

l'esperienza del docente permette di individuare gli studenti che hanno dimostrato poco impegno durante le lezioni e di definire un quadro preliminare per la valutazione della preparazione di ciascun studente

#### *Prerequisiti (conoscenze iniziali)*

statica dei sistemi meccanici  
teoria delle travi - conoscenze di base sulla teoria delle placche e dei gusci  
calcolo delle caratteristiche (forze e momenti)  
conoscenze di base sull'analisi delle tensioni



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

conoscenze di base sui fenomeni di buckling  
conoscenze di base sulla cinematica e dinamica dei sistemi discreti  
conoscenze di base sulla dinamica dei sistemi meccanici  
conoscenze di base sull'analisi termica  
conoscenze di base sulla tecnologia dei materiali

### Corequisiti

Conoscenze di base per l'uso di software di programmazione (es. MATLAB) e software di disegno assistito (CAD)

### Prerequisiti per studi successivi

Conoscenze sulla analisi dei carichi, sulle tecniche di progettazione e sulle tecniche di verifica di strutture e meccanismi di impiego spaziale

### Indicazioni metodologiche

Lezioni teoriche e, nel secondo periodo, utilizzo del personal computer per la preparazione di modelli agli Elementi Finiti in ambiente Ansys Workbench.

incontri periodici durante lo sviluppo del project work (in generale ogni progetto sarà prodotto da un team di due-tre studenti)

### Programma (contenuti dell'insegnamento)

Contenuti del corso

#### (I) ottobre-dicembre

Note sul processo di progettazione di un lanciatore e di un veicolo spaziale.

La fase di lancio: esame preliminare delle condizioni di carico acustico e vibrazionale

Analisi delle vibrazioni non deterministiche. Analisi della risposta vibro-acustica.

Introduzione alla progettazione strutturale dei razzi.

Affidabilità di componenti e strutture: definizioni fondamentali e applicazioni.

Analisi della resistenza: definizione della condizione di carico limite e della condizione di carico ultimo (snervamento e collasso delle strutture).

#### (II) Febbraio-aprile

Laboratorio informatico (software ANSYS)

Giunti saldati.

Giunti fissati.

Fatica.

Curve S-N.

Il diagramma di Goodman per i materiali duttili.

Effetto della concentrazione dello stress.

Crescita delle cricche da fatica: cenni di base sulla meccanica della frattura.

#### (III) Maggio

Laboratorio informatico (software ANSYS)

Introduzione alla teoria dei materiali compositi.

Tensioni da contatto: discussione dei risultati della teoria di Hertz.

Molle (nozioni di base)

Cuscinetti.

Ingranaggi cilindrici.

Treni di ingranaggi – rotismi epicicloidali (cenni fondamentali)

Dinamica degli alberi rotanti: calcolo preliminare delle velocità critiche.

### Bibliografia e materiale didattico

La lettura consigliata include i seguenti libri e/o documentazione tecnica:

T.P. Sarafin "**Spacecraft Structures and Mechanisms - From Concept to Launch**"

RC Juvinall e K.M. Marshek "**Fundamentals of Machine Component Design**"

**ESA Spacecraft mechanical loads analysis handbook** - ECSS-E-HB-32-26A, 19 febbraio 2013

**ESA Buckling** - ECSS-HB-32-24A, 24 marzo 2010

NASA TM-X-73305 - **Astronautic Structures Manual** - Vol I - Vol II - Vol III, 1975

NASA-HDBK-7008 - **SPACECRAFT DYNAMIC ENVIRONMENTS TESTING**, 2014

Jacob Job Wijker - **Spacecraft Structures**, Springer, 2008



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

Lezioni di Strutture e Meccanismi di Impiego Spaziale (appunti e lucidi) - M. Chiarelli (e-learning)

Si invitano gli studenti a visitare il sito [www.ecss.ni](http://www.ecss.ni) per consultare tutta la documentazione tecnica prodotta dall'ESA

### Indicazioni per non frequentanti

la mancata frequenza delle lezioni può causare notevoli difficoltà nello sviluppo della preparazione stessa, nella comprensione e sviluppo dei semplici esercizi meccanici proposti durante l'anno ed infine nella preparazione e sviluppo della esercitazione di progetto il docente, comunque, registra le lezioni su piattaforma TEAMS anche se spesso la stessa piattaforma presenta problemi tecnici sulla stabilità della connessione e sulla regolarità e completezza delle registrazioni

### Modalità d'esame

Esame (orale):

1. a) durante l'esame il docente effettua la revisione della relazione di progetto e un'adeguata discussione di metodi, risultati, soluzioni tecniche fornite nella relazione può far parte dell'esame stesso (50%-60% del punteggio totale)
1. b) gli studenti dovranno risolvere almeno due esercizi tecnici (possibili argomenti: ambienti spaziali, dinamica deterministica o casuale di sistemi discreti e/o continui, approccio statistico per la definizione dei carichi e dei requisiti di resistenza, semplici applicazioni di analisi tensionale e criteri di verifica per problemi meccanici sistemi, giunti bullonati, giunti saldati, fatica dei materiali metallici, meccanica della frattura dei materiali metallici, teoria delle sollecitazioni da contatto, cenni di base sull'analisi degli ingranaggi, velocità critiche degli alberi rotanti (40%-50% del punteggio totale)

in genere l'esame ha una durata di due o tre ore

### Stage e tirocini

Per gli studenti del corso non sono previsti a programma stage o tirocini formativi ma il docente del corso più volte è stato tutor di tirocini aziendali associati allo svolgimento della tesi di laurea magistrale

Quando a conoscenza del docente, avvisi a riguardo per gli studenti (ad esempio di ARIANE GROUP) vengono inseriti sul portale e-learning

*Ultimo aggiornamento 06/11/2023 09:41*