



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## TEORIA DELLE STRUTTURE

**RICCARDO BARSOTTI**

Anno accademico 2023/24  
CdS INGEGNERIA STRUTTURALE E EDILE  
Codice 053HH  
CFU 9

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
TEORIA DELLE STRUTTURE I	ICAR/08	LEZIONI	90	ROBERTO ALESSI RICCARDO BARSOTTI

### Obiettivi di apprendimento

#### *Conoscenze*

Acquisire elementi di conoscenza utili per la risoluzione di problemi di equilibrio di strutture, in regime statico e dinamico, con particolare riferimento ai sistemi di travi, alle piastre e ai gusci sottili, sia in regime elastico che in prossimità del collasso. Fornire elementi di conoscenza utili per scegliere e utilizzare in modo consapevole gli strumenti e le tecniche disponibili per il calcolo strutturale.

#### *Modalità di verifica delle conoscenze*

La verifica delle conoscenze sarà effettuata in occasione della prova orale finale.

#### *Capacità*

Affrontare e risolvere problemi di equilibrio di strutture, in regime statico e dinamico, con particolare riferimento ai sistemi di travi, alle piastre e ai gusci sottili, sia in regime elastico che in prossimità del collasso.

#### *Modalità di verifica delle capacità*

La verifica delle capacità sarà effettuata in occasione della prova orale finale mediante la soluzione di esercizi sugli argomenti del corso.

#### *Comportamenti*

Organizzare e condurre il calcolo strutturale necessario per il dimensionamento e la verifica dei principali elementi strutturali, specialmente in fase di dimensionamento preliminare.

#### *Modalità di verifica dei comportamenti*

La verifica dei comportamenti sarà effettuata in occasione della prova orale finale mediante la soluzione di esercizi sugli argomenti del corso.

#### *Prerequisiti (conoscenze iniziali)*

Si richiede la conoscenza degli argomenti oggetto dei corsi di Scienza delle Costruzioni, tra cui, in particolare, la teoria tecnica delle travi e la teoria dell'elasticità lineare.

#### *Indicazioni metodologiche*

Il corso si svolge prevalentemente mediante lezioni frontali e esercitazioni in aula.

## Programma (contenuti dell'insegnamento)

### A. MECCANICA DELLE STRUTTURE

#### *I sistemi di travi in regime elastico lineare*

Richiami di teoria tecnica delle travi. Il metodo degli spostamenti: rigidità di un elemento strutturale e carichi nodali equivalenti. Cenni alla matrice di rigidità di una trave ad asse rettilineo. Schemi semplificati per la descrizione della risposta meccanica di sistemi di travi. Travi equivalenti a un telaio o a una travatura reticolare. Le strutture di controventamento: criteri di verifica e di progetto. Il carico critico di pilastri presso-inflessi. Linee di influenza delle caratteristiche della sollecitazione: il teorema di Land- Colonnetti.

#### *Elementi di analisi limite delle strutture*

Il materiale elastico – perfettamente plastico. Esempi introduttivi sulla crisi delle strutture. La trave soggetta a flessione uniforme: descrizione della sua risposta oltre il limite elastico. Carico di collasso, meccanismo di collasso, cerniera plastica, campo di sollecitazioni staticamente ammissibile. Teorema statico e teorema cinematico. Cenni al caso in cui agiscano più carichi fra loro indipendenti e all'interazione fra sforzo normale e momento flettente.

#### *Archi, cavi e reti di funi*

Le travi ad asse curvilineo: equazioni di equilibrio e misure della deformazione. La risposta meccanica degli archi in muratura: la curva delle pressioni. Ricerca di campi di sollecitazione staticamente ammissibili e compatibili con le capacità resistenti del materiale. Un esempio di analisi non lineare: i cavi e le reti di funi. Il metodo delle densità di sforzo.

#### *Piastre e gusci sottili*

Le ipotesi cinematiche e le misure di deformazione. Caratteristiche della sollecitazione e equazioni di equilibrio. L'equazione di Sophie Germain - Lagrange. Esame critico delle condizioni al contorno e loro espressioni secondo Kirchhoff. Equazioni della piastra sottile inflessa dedotte per via variazionale. Metodi classici di soluzione: il caso delle piastre rettangolari. La soluzione in forma chiusa di problemi assial-simmetrici. Carico critico di lastre compresse. Metodi approssimati di soluzione: differenze finite ed elementi finiti.

Le ipotesi cinematiche e le misure di deformazione per un guscio sottile. Caratteristiche della sollecitazione e equazioni di equilibrio. Gusci inestensibili soggetti a stati membranali di sollecitazione. Gusci di forma cilindrica. Gusci di rivoluzione, soggetti a carichi assial-simmetrici. Metodi approssimati di soluzione: differenze finite ed elementi finiti. Volte e cupole in muratura: ricerca di campi di sollecitazione staticamente ammissibili e compatibili con le capacità resistenti del materiale.

### B. DINAMICA DELLE STRUTTURE

#### *Introduzione*

Considerazioni introduttive. L'esempio del pendolo piano: soluzione esatta ed approssimata.

#### *I sistemi dinamici: concetti principali*

Diagramma delle configurazioni, diagramma di fase, linee d'universo, traiettorie ed orbite; bacino di attrazione, stabilità dinamica e asintotica. Richiami sui sistemi di equazioni differenziali ordinarie.

#### *Metodi numerici per la soluzione dei problemi dinamici*

Le differenze finite del primo e secondo ordine. Misure di errore e di convergenza. Metodi ad un passo: Eulero, Crank-Nicolson, Heun. Teorema di convergenza. Il metodo di Eulero esplicito: 0-stabilità, consistenza e convergenza; stime dell'errore a posteriori. Cenni ai metodi "multi-step" ed ai metodi "predictor-corrector".

Introduzione al linguaggio di programmazione python. Soluzione numerica di alcuni problemi e confronto tra diversi metodi di integrazione numerica: la libreria "scipy.integrate.odeint".

#### *I sistemi dinamici a un grado di libertà*

Oscillazioni libere. L'oscillatore armonico non smorzato. Legge oraria del moto; analisi nello spazio delle fasi ed analisi energetica. L'oscillatore armonico linearmente smorzato: oscillatore sovra-smorzato, criticamente smorzato e sotto-smorzato; rapporto di decremento dell'ampiezza delle oscillazioni. Oscillazioni forzate. L'oscillatore armonico non smorzato con forzante armonica. Influenza della frequenza della forzante. Il fenomeno dei battimenti e della risonanza. L'oscillatore armonico linearmente smorzato con forzante armonica. Risonanza e fattore di amplificazione dinamica.

#### *I sistemi dinamici a più gradi di libertà*

Le equazioni del moto. Analisi modale: forme modali e loro normalizzazione, le condizioni di ortogonalità della matrice delle masse e di quella delle rigidità. Coordinate normali e modali; disaccoppiamento delle equazioni del moto.

## Bibliografia e materiale didattico

### Testi di riferimento:

- Barsotti R., Elementi di Teoria delle Strutture, TEP Pisa, 2011.
- Pozzati P., Teoria e tecnica delle strutture, voll. 2\* e 2\*\*, UTET, Torino, 1972-77. (Vol. 2, prima parte: i capitoli 12, 13 e 15 sul metodo degli spostamenti per sistemi di travi. Vol. 2, seconda parte: i capitoli 5 e 6, sugli edifici multipiano in c.a. e in acciaio; il capitolo 7, sull'organizzazione delle strutture di controvento.)
- Timoshenko S.P., Woinowsky-Krieger S., Theory of Plates and Shells, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, 1959. (Il capitolo 4, sulle piastre sottili inflesse; i capitoli 2 e 3, che trattano i casi particolari di flessione uniforme e simmetria polare; i capitoli 5 e 6, che illustrano alcuni problemi relativi a piastre rettangolari soggette a diverse condizioni di vincolo; il capitolo 10, che tratta i metodi approssimati di soluzione; i capitoli 14, 15 e 16 sui gusci sottili.)
- Timoshenko S.P., Gere G.M., Theory of Elastic Stability, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, 1961. (Il capitolo 2, sul carico critico di pilastri presso-inflessi e sull'influenza della deformabilità a taglio sul carico critico euleriano.)
- Massonet C., Save M., Calcolo plastico a rottura delle costruzioni, Maggioli.
- Clough R. W., Penzien J., Dynamics of Structures, McGraw-Hill Education.



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

- Viola E., Fondamenti di dinamica e vibrazioni delle strutture, Vol. 1, Pitagora, 2001.
- Quarteroni A., Sacco R., Saleri F., Gervasio P., Matematica numerica, Springer-Verlag Mailand, 2008. (capitoli 1, 2, 9 e 10)

### Testi di consultazione:

- Baldacci R., Scienza delle costruzioni, vol. 2?, UTET, Torino, 1976. (Il capitolo 1, sulle linee d'influenza; il capitolo 5, sul metodo degli spostamenti per travi elastiche; il capitolo 9, sull'influenza della deformabilità a taglio sul carico critico di travi elastiche e sulla stima del carico critico di travi composte.)
- Belluzzi O., Scienza delle costruzioni, vol. II, Zanichelli, Bologna, 1956. (Il capitolo 18, sulle linee d'influenza; il capitolo 20, su travi a nodi fissi e a nodi mobili.)
- Chopra A.K., Dynamics of Structures, Pearson - 4th edition, 1997.
- Wiggins S., Introduction to Applied Nonlinear Dynamical Systems and Chaos, Springer-Verlag, 2000.

### Modalità d'esame

Prova orale

*Ultimo aggiornamento 25/09/2023 13:06*