

# PROGRAMMA DEL CORSO DI MECCANICA COMPUTAZIONALE E OTTIMIZZAZIONE STRUTTURALE

## SETTORE SCIENTIFICO

ICAR/08 (CEAR-06/A)

## CFU

9

## OBIETTIVI

*\*\*/*

Il corso si propone di fornire agli studenti le competenze teoriche e operative necessarie per analizzare e risolvere problemi strutturali attraverso approcci computazionali e metodi numerici di ottimizzazione. Nello specifico, gli obiettivi formativi del corso sono:

1. Comprendere la formulazione matematica di problemi strutturali come problemi di minimo, con o senza vincoli.
2. Conoscere ed applicare metodi numerici per l'ottimizzazione e la risoluzione di problemi variazionali, sia in ambito finito che infinito dimensionale.
3. Analizzare il comportamento dinamico e statico di strutture mediante formulazioni lagrangiane, metodi variazionali e il metodo degli elementi finiti.
4. Valutare la robustezza strutturale e affrontare casi avanzati di design ottimale, anche in presenza di vincoli geometrici e fisici non lineari.

## RISORSE

*\*\*/*

Gli studenti che intendono approfondire le tematiche del corso, integrando le dispense e i materiali forniti dal docente, possono consultare i seguenti volumi:

Corradi Dell'Acqua L., Meccanica delle strutture. Vol. 1: Il comportamento dei corpi continui. McGraw-Hill Education.

Corradi Dell'Acqua L., Meccanica delle strutture. Vol. 2: Le teorie strutturali e il metodo degli elementi finiti. McGraw-Hill Education.

Corradi Dell'Acqua L., Meccanica delle strutture. Vol. 3: La valutazione della capacità portante. McGraw-Hill Education.

Kirsch, Uri. Structural optimization: fundamentals and applications. Springer Science & Business Media, 2012.

dell'Isola, F., Barchiesi, E., & Placidi, L. (2020). Finite Dimensional Lagrangian Systems. In Encyclopedia of Continuum Mechanics (pp. 880-890). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

## DESCRIZIONE

### Modulo 1: Ottimizzazione strutturale

Il modulo introduce i concetti fondamentali dell'ottimizzazione applicata alle strutture: variabili di progetto, vincoli, funzioni obiettivo e metodi per la formulazione e risoluzione di problemi di minimo strutturale.

### Modulo 2: Metodi computazionali

Si approfondiscono gli algoritmi numerici per la ricerca del minimo: metodi iterativi, approcci per funzioni ad una o più variabili e programmazione lineare e non lineare.

### Modulo 3: Meccanica lagrangiana

Il modulo affronta la formulazione lagrangiana dei modelli meccanici, sia a gradi di libertà finiti che infiniti, includendo l'analisi delle frequenze proprie e dei modi di vibrazione in sistemi continui.

### Modulo 4: Meccanica computazionale

Il modulo tratta i metodi di discretizzazione di sistemi continui, tramite approcci variazionali e sviluppi in serie.

Presenta inoltre applicazioni numeriche dei metodi appresi per la risoluzione di strutture reali con diversi approcci numerici, in ambito monodimensionale e bidimensionale.

### Modulo 5: Ottimizzazione di forma per strutture unilaterali

Il modulo propone applicazioni avanzate dei metodi di ottimizzazione e minimo: robustezza strutturale, identificazione sperimentale tramite DIC e design strutturale di archi e volte.

## VERIFICA

L'esame può essere sostenuto sia in forma scritta che in forma orale.

Gli appelli orali sono previsti nella sola sede centrale. L'esame orale consiste in un colloquio con la Commissione sui contenuti del corso.

L'esame scritto consiste nello svolgimento di un test con 30 domande. Per ogni domanda lo studente deve scegliere una di 4 possibili risposte. Solo una risposta è corretta.

Sia le domande orali che le domande scritte sono formulate per valutare il grado di comprensione delle nozioni teoriche e la capacità di ragionare utilizzando tali nozioni. Le domande sulle nozioni teoriche consentiranno di valutare il livello di comprensione. Le domande che richiedono l'elaborazione di un ragionamento consentiranno di valutare il livello di competenza e l'autonomia di giudizio maturati dallo studente.

Le abilità di comunicazione e la capacità di apprendimento saranno valutate anche attraverso le interazioni dirette tra docente e studente che avranno luogo durante la fruizione del corso (videoconferenze ed elaborati proposti dal docente).

## AGENDA

## Modulo 1: Ottimizzazione strutturale

- 1 Introduzione e variabili di progetto
- 2 Vincoli e loro formulazione
- 3 La funzione obiettivo e formulazione matematica del problema di ottimizzazione
- 4 Esempio di una struttura con tre elementi di trave reticolare e soluzione dello stato tensionale
- 5 Esempio di una struttura con tre elementi di trave reticolare e formulazione matematica del problema di ottimizzazione
- 6 Metodi di ottimizzazione e calcolo del minimo senza vincoli
- 7 Metodi di ottimizzazione e calcolo del minimo con vincoli bilateri
- 8 Metodi di ottimizzazione e calcolo del minimo con vincoli monolateri
- 9 Ulteriori esempi sul calcolo di minimi vincolati

## Modulo 2: Metodi computazionali

- 10 Rivisitazione della programmazione non lineare: condizioni KKT
- 11 Rivisitazione della programmazione non lineare: esempi
- 12 Rivisitazione della programmazione non lineare: Metodo del gradiente e di Newton
- 13 Metodo di Newton-Raphson
- 14 Metodo di Newton-Raphson: Esercitazione

## Modulo 3: Meccanica lagrangiana

- 15 Meccanica lagrangiana per modelli meccanici finito dimensionali come problema di minimo
- 16 Meccanica lagrangiana per modelli meccanici finito dimensionali: esercitazione
- 17 Meccanica lagrangiana per modelli meccanici finito dimensionali. Calcolo delle frequenze proprie
- 18 Meccanica lagrangiana per modelli meccanici infinito dimensionali. La linea elastica
- 19 Meccanica lagrangiana per modelli meccanici infinito dimensionali. La linea elastica con vincoli
- 20 Meccanica lagrangiana per modelli meccanici infinito dimensionali. La trave di Timoshenko
- 21 Meccanica lagrangiana per modelli meccanici infinito dimensionali. La trave di Timoshenko con vincoli
- 22 Meccanica lagrangiana per modelli meccanici infinito dimensionali. Esempi di strutture composte da più travi.
- 23 Calcolo dei modi di strutture infinito dimensionali

- 24 Meccanica lagrangiana per modelli meccanici infinito dimensionali. Il caso 2D
- 25 Meccanica lagrangiana per modelli meccanici infinito dimensionali. Il caso 2D con esempi
- 26 Meccanica lagrangiana per modelli meccanici infinito dimensionali. Il caso 3D con esempi

#### Modulo 4: Meccanica computazionale

- 27 Discretizzazione di modelli infinito dimensionali. Aspetti generali
- 28 Discretizzazione di modelli infinito dimensionali. Il metodo di Rayleigh Ritz
- 29 Discretizzazione di modelli infinito dimensionali. Sviluppo in serie di Fourier
- 30 Discretizzazione di modelli infinito dimensionali. Cenni sui criteri di convergenza
- 31 Discretizzazione di modelli infinito dimensionali. Il caso della trave appoggiata mediante serie trigonometriche
- 32 Meccanica lagrangiana per modelli meccanici finito dimensionali come problema di minimo vincolato
- 33 I metodi di approssimazione numerica
- 34 I metodi di approssimazione numerica: I metodi variazionali di Rayleigh-Ritz e Galerkin (caso assiale)
- 35 I metodi di approssimazione numerica: I metodi variazionali di Rayleigh-Ritz e Galerkin (caso flesso-tagliante)
- 36 Il metodo degli elementi finiti per analisi di strutture reticolari
- 37 Il metodo degli elementi finiti per l'analisi di elementi inflessi
- 38 Il metodo degli elementi finiti per l'analisi di strutture intelaiate
- 39 Il metodo degli elementi finiti: elementi bidimensionali
- 40 Il metodo degli elementi finiti: formulazione isoparametrica

#### Modulo 5: Ottimizzazione di forma per strutture unilaterali

- 41 Design di strutture ad arco: il poligono funicolare
- 42 Design di strutture ad arco: la catenaria
- 43 Design di strutture voltate: la membrana sotto carichi puramente verticali
- 44 Design di strutture voltate: la membrana sotto carichi verticali ed orizzontali
- 45 Cenni di meccanica delle strutture a blocchi unilaterali