



## UNIVERSITÀ DI PISA

# METODI COMPUTAZIONALI PER L'ANALISI STRUTTURALE E LA SIMULAZIONE DINAMICA

FRANCESCO FRENDU

Anno accademico 2022/23  
CdS INGEGNERIA DEI VEICOLI  
Codice 11111  
CFU 12

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
METODI COMPUTAZIONALI PER L'ANALISI DINAMICA	ING-IND/14	LEZIONI	60	FRANCESCO FRENDU
METODI COMPUTAZIONALI PER L'ANALISI STRUTTURALE	ING-IND/14	LEZIONI	60	CIRO SANTUS

### Obiettivi di apprendimento

#### Conoscenze

Lo studente che supera con profitto il corso ha le competenze per applicare ed utilizzare il metodo agli Elementi Finiti (EF) per analisi statiche lineari di componenti meccanici, con una sufficiente base teorica per capire i limiti dell'applicazione, la sensibilità agli errori, e la corrispondenza fra i risultati della simulazione e i componenti realmente modellati. Lo studente sarà inoltre in possesso delle conoscenze relative alle tecniche di analisi tipiche della dinamica multibody e sarà in grado di sviluppare modelli per l'analisi cinematica e dinamica di sistemi meccanici costituiti da corpi rigidi.

#### Modalità di verifica delle conoscenze

L'esame mira ad accertare la comprensione e la conoscenza dei contenuti del corso e la capacità di applicare la teoria ai casi pratici. Per il modulo di *metodi computazionali per l'analisi strutturale* la prova scritta consiste in una domanda relativa ad un problema di natura teorica del metodo EF ed inoltre il progetto di modellazione di un componente strutturale meccanico. Lo studente sarà valutato in base alla sua capacità di definire la corretta combinazione fra tipo di elemento utilizzato, ed applicazione di vincoli e carichi su uno specifico problema strutturale. La prova pratica in aula informatica o l'esercitazione assegnata è fondamentalmente dedicata all'utilizzo del software ANSYS su un problema meccanico. Infine la prova orale conclude l'esame ed è basata su domande generali relative all'intero corso. Per il modulo di *metodi computazionali per la simulazione dinamica* vi è una prova orale in cui vengono poste domande relative alla teoria della dinamica dei sistemi multibody. Durante l'orale vengono inoltre discusse delle esercitazioni svolte dallo studente con un codice commerciale. Scopo delle esercitazioni è quello di affrontare un problema dinamico di un sistema reale tramite un modello numerico, mettendo in risalto le ipotesi e le approssimazioni effettuate, la modellazione dei vincoli e dei carichi e l'analisi critica dei risultati delle simulazioni.

#### Capacità

- Concepire un modello EF e quindi implementarlo in ambiente ANSYS in base al tipo di risultato da ottenere
- valutare i limiti della modellazione e le possibilità di sviluppo per migliorarne le potenzialità previsionali.
- Gli studenti sapranno usare MatLab per simulare problemi di cinematica e sapranno utilizzare il codice MSC.Adams per fare delle analisi dinamiche multibody
- Gli studenti saranno in grado di presentare in un rapporto scritto i risultati della loro attività

#### Modalità di verifica delle capacità

- Nel problema da analizzare durante la prova scritta i dati di ingresso sono ridotti allo stretto necessario per valutare la capacità di concepire il modello in modo autonomo.
- Gli studenti dovranno preparare e presentare relazioni scritte che documentano i risultati delle esercitazioni assegnate e svolte con i codici agli elementi finiti e multibody.
- Gli studenti dovranno saper rispondere a domande di teoria e saper impostare metodi risolutivi di problemi numerici basati sulla tecnica agli EF e sulla tecnica multibody.

#### Comportamenti



## UNIVERSITÀ DI PISA

Lo studente acquisirà sensibilità nella scelta del modello più adeguato a rappresentare il componente, struttura o sistema da analizzare, per quanto concerne l'analisi strutturale e l'analisi dinamica.

### Modalità di verifica dei comportamenti

L'attività individuale di analisi strutturale o di analisi cinematica e dinamica di un sistema dimostrerà l'acquisizione della giusta sensibilità nella scelta del tipo di modellazione di componenti, strutture o sistema.

### Prerequisiti (conoscenze iniziali)

- Analisi matematica e algebra lineare
- Progettazione meccanica
- Resistenza dei materiali strutturali
- Meccanica razionale e meccanica applicata alle macchine

### Indicazioni metodologiche

Modalità di insegnamento:

- lezioni frontali, anche con l'ausilio di slides
- lavoro di laboratorio in aula informatica
- ricevimenti individuali o collettivi per chiarimenti
- un lavoro individuale di analisi strutturale e un lavoro individuale di analisi dinamica finalizzato ad un elaborato scritto

### Programma (contenuti dell'insegnamento)

Introduzione teorica di base del metodo agli Elementi Finiti (EF) in ambito statico lineare: funzioni di forma per l'elemento triangolare piano; determinazione delle matrici di rigidità dell'elemento e della struttura; applicazione di vincoli e carichi, e determinazione della soluzione.

Principali tipi di elemento per analisi strutturali e loro impiego: elementi Piani per modellazione plane stress, plane strain e assialsimmetrica; elementi monodimensionali Asta; elementi monodimensionali Trave, trattazioni di Eulero-Bernoulli e di Timoshenko con deformabilità a taglio; elementi monodimensionali Tubo; elementi piani Armonici (di Fourier); elementi di Contatto, Gap (o node-to-node) e Contact-Target; elementi Guscio assialsimmetrico e Guscio-Piastra 3D; elementi Solidi 3D di forma esaedrica e tetraedrica.

Principi di modellazione: tecnica di modellazione per sotto-modello; utilizzo delle simmetrie, in particolare simmetria e antisimmetria planare; vincoli di dipendenza e utilizzo del vincolo di regione rigida; connessioni fra tipi di elementi diversi; valutazione dell'errore e analisi di convergenza.

Attività di laboratorio: utilizzo del Software ANSYS Apdl/ Workbench, con esercitazione guidate, e assegnate da svolgere, sviluppando le varie tematiche presentate nel corso.

Richiami di analisi vettoriale e matriciale. Varie rappresentazioni della matrice di rotazione e analisi cinematica dei sistemi di riferimento; formula di Rodrigues, coseni direttori parametri di Eulero, angoli di Eulero, angoli RPY, rappresentazione esponenziale. Coordinate omogenee e catene cinematiche. Convenzione di Denavit Hartenberg. Velocità angolare e relazioni fondamentali per la cinematica. Equazioni dei vincoli e sistemi a cinematica imposta. Principio dei Lavori virtuali, forze generalizzate e tecniche per l'analisi dinamica di sistemi costituiti da corpi rigidi; embedding technique, moltiplicatori di Lagrange e Augmented formulation.

### Bibliografia e materiale didattico

- Madenci E., Guven I. "The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS", Springer 2015.

- ANSYS Apdl/ Workbench help and related documentation.

- Slide del corso, informazioni varie e testi d'esame sulla homepage del docente.

A.A. Shabana, Dynamic of multibody systems. Cambridge Univ Press.

A.A. Shabana, Computational dynamics, Wiley & Sons

Dispense del docente.

### Modalità d'esame

Per il modulo di *Metodi computazionali per l'analisi strutturale*:

- Prova scritta di 2 ore.
- Prova pratica di 3 ore in aula informatica con il software Ansys, o in alternativa un progetto di simulazione proposto dallo studente e preliminarmente convalidato dal docente
- Prova orale.

Per il modulo di *Metodi computazionali per la simulazione dinamica*

- Esame orale finale di circa un'ora. Nel caso in cui vengano assegnate domande in forma scritta, per tale modulo l'esame sarà composto da due momenti e precisamente, circa 2 ore per rispondere alle domande in forma scritta e circa un'ora per la discussione dell'elaborato dello studente (risposte alle domande) e per la discussione del progetto, assegnato dal docente su proposta dello studente e svolto in autonomia dallo studente.

