

PROGRAMMA consuntivo DEL CORSO DI  
**MECCANICA delle VIBRAZIONI**  
Anno Accademico 2016-17

Prof. Emiliano **MUCCHI** - Tel. 0532 974913 – [emiliano.mucchi@unife.it](mailto:emiliano.mucchi@unife.it)

**Introduzione alle vibrazioni e alla modellazione dei meccanismi** (cap. 3,7, dispense web).

Modellazione di sistemi meccanici mediante il metodo a parametri concentrati, elementi finiti, sistemi continui. Elementi elastici: molle in serie e parallelo, esercizio del sistema di sospensione ferroviario, propeller shaft e gru. Elementi smorzanti: smorzamento viscoso, attrito coulombiano, smorzamento isteretico. Moto armonico semplice.

**Vibrazioni di sistemi ad un grado di libertà** (cap. 3, dispense web).

Generalità. Vibrazioni libere. Effetto del campo gravitazionale. Decremento logaritmico. Sistemi torsionali. Esercizi. Vibrazioni forzate con eccitazione armonica semplice. Funzione di risposta in frequenza. Condizione di risonanza di fase e ampiezza. Interpretazione fisica di forza di inerzia, viscosa, elastica. Risposta ad un'eccitazione generica periodica e aperiodica (serie e trasformata di Fourier). Eccitazione proporzionale al quadrato della frequenza. Vibrazioni libere con attrito coulombiano. Vibrazioni libere con smorzamento strutturale. FRF di un sistema ad 1 GDL (con Matlab).

**Vibrazioni di sistemi a due ed a molti gradi di libertà** (cap. 4,5, dispense web).

Vibrazioni libere di sistemi a due ed a molti gradi di libertà non smorzati. Matrici massa, rigidità, smorzamento. Sistemi con modi rigidi. Esempi. Metodo dei coefficienti di influenza. Metodo delle cedevolezze. Ortogonalità degli autovettori; matrice modale e disaccoppiamento delle equazioni. Normalizzazione degli autovettori. Vibrazioni libere di sistemi a due ed a molti gradi di libertà con smorzamento viscoso proporzionale. Significato fisico dello smorzamento viscoso proporzionale. Vibrazioni forzate di sistemi a due ed a molti gradi di libertà (metodo modale). Funzioni di risposta in frequenza. Esempio di sistema forzato a 2GDL. Esempio di sistema libero e forzato a 3GDL. Esercizio del motore marino.

**Vibrazioni nei sistemi continui** (6,7).

Vibrazioni libere longitudinali (assiali) di travi: modi e frequenze naturali. Vibrazioni flessionali di travi: teoria di Timoshenko e di Eulero; modi e frequenze naturali nel caso di trave appoggio-appoggio; ortogonalità degli modi; cenno alle vibrazioni forzate ed alle FRF.

**Metodi numerici per l'analisi delle vibrazioni in sistemi meccanici** (cap 8, dispense web).

**-Formulazione dell'equazione del moto mediante il principio di Hamilton.**

**-Il metodo di Rayleigh-Ritz:** energia potenziale e cinetica, caratteristiche della funzione di soluzione; accuratezza della soluzione. Esercizio: vibrazioni flessionali di una trave a mensola (prime due frequenze naturali).

**-Vibrazioni flessionali libere della trave mediante il metodo ad elementi finiti:** metodologia di valutazione delle matrici massa e rigidità, funzione di forma, assemblaggio. Applicazione del metodo per la valutazione delle frequenze naturali di una trave incastrata. Fattori che influenzano l'accuratezza del FEM, tecniche di riduzione del numero di gradi di libertà, matrice massa "lumped" e "consistent".

**-Software per il calcolo ad elementi finiti:** MSC. Nastran e MSC. Patran. Lettura del file BDF mediante i comandi GRID, MAT1, EIGRL, SOL, CTETRA, SPC1, tipologie di analisi dinamiche. Esercitazioni in laboratorio.

**Classificazione dei segnali ed analisi in frequenza** (cap. 9).

Classificazione dei segnali. Segnali analogici. Segnali digitali. Campionamento (aliasing) e quantizzazione. Serie di Fourier. Trasformata di Fourier. Autospettro e PSD. Leakage, finestre e medie, Trasformata di Hilbert (segnale analitico).

**Diagnostica dei sistemi meccanici** (Dispense web)

Campionamento in base angolo, diagnostica delle ruote dentate (analisi in frequenza, media sincrona, segnale residuo, involuppo) e dei cuscinetti (metodo dell'involuppo).

### **Misure di vibrazione** (cap. 9,10).

Trasduttori di vibrazioni. L'accelerometro piezoelettrico. Catena di misura e suoi componenti. Analisi modale sperimentale: metodologia, stima di smorzamento modale, frequenza naturale e deformate modali a partire dalle FRF sperimentali; rilievo della FRF. Dimostrazione sperimentale: Analisi modale di una staffa di supporto per la pompa dell'acqua di un motore diesel marino; Analisi modale del BIW di un veicolo.

### **Dinamica dei rotori** (cap. 15 del Vol.1, cap 13 del Vol. 3).

Introduzione alla dinamica dei rotori. Squilibrio statico e dinamico. Equilibratura su singolo e doppio piano. Grado di equilibratura. Equilibratura in situ. Dimostrazione sperimentale (Equilibratura in situ).

NOTA:

*I capitoli indicati si riferiscono al testo di riferimento di U. Meneghetti, A. Maggiore, E. Funaioli, Vol. III. Dinamica e vibrazioni delle macchine.*

*A complemento, sono disponibili dispense al sito web*

<http://www.unife.it/ing/lm.meccanica/insegnamenti/meccanica-delle-vibrazioni>

### **ESERCITAZIONI NUMERICHE**

TUTTE LE ESERCITAZIONI SVOLTE SONO PARTE INTEGRANTE DEL PROGRAMMA D'ESAME; i testi e le tracce di soluzione si trovano nei fascicoli disponibili sul web. Alcune di queste, qui sotto indicate, devono essere svolte in forma scritta (con le modalità indicate di volta in volta) e presentate all'esame come prerequisito per sostenere l'esame. Esercitazioni da svolgere in forma scritta:

- Vibrazioni torsionali di una trasmissione nautica
- Equilibratura in situ
- Diagnostica di ruote dentate e cuscinetti
- Esercitazioni relative ai metodi numerici
  - ESERCIZIO 1 - Vibrazioni flessionali di una trave a mensola (prime due frequenze naturali) mediante il metodo di Rayleigh-Ritz.
  - ESERCIZIO 2 – Modello ad elementi finiti di una Trave con Matlab
  - ESERCIZIO 3 - Trave incastrata in Nastran-Patran
  - ESERCIZIO 4 – Porta di automobile

### **TESTI CONSIGLIATI**

*Testo di riferimento:*

- Meneghetti, Maggiore, Funaioli, *Lezioni di meccanica applicata alle macchine. Vol. 3: Dinamica e vibrazioni delle macchine*, Pàtron, 2010.

*In alternativa,*

- Funaioli, Maggiore, Meneghetti, *Meccanica applicata alle macchine, Vol. II (vecchia edizione)*, Ed. Patron, Bologna.

*Altri testi consigliati per la consultazione:*

- E. Funaioli, A. Maggiore, U. Meneghetti, *Lezioni di meccanica applicata alle macchine. Vol. 1: Fondamenti di Meccanica delle Macchine*, Pàtron, 2005.
- Rao, *Mechanical Vibrations*, 3<sup>rd</sup> ed., New York, Addison-Wesley, 1995.
- Thomson W., *Theory of Vibration with Applications*, 4th edition, New York, Chapman & Hall, 1993.

### **ESAME**

Esame orale sugli argomenti del corso e delle esercitazioni (compresa la parte numerica).