

# Dinamica, Instabilità e Anelasticità delle Strutture (ICAR/08) - 6 CFU

## Ingegneria delle Costruzioni Edili - I Anno Laurea Magistrale - II Sem. - a.a. 2023/2024 Università degli studi di Bergamo, Scuola di Ingegneria (Dalmine)

prof. Egidio RIZZI

### Obiettivi formativi

Il corso mira a fornire le nozioni introduttive fondamentali inerenti la dinamica, l'instabilità e l'anelasticità delle strutture. Tali tematiche ingegneristiche si rivelano necessarie ad intraprendere l'analisi di risposte strutturali sia in condizioni di normale esercizio della struttura, di natura statica o dinamica (azioni verticali, del vento, sollecitazioni tali da indurre vibrazioni), sia in condizioni di azioni di elevata intensità (ad es. sismiche, esplosioni, carichi eccezionali) e tali da condurre anche, in situazioni ultime, al collasso strutturale.

I contenuti del corso si articolano in tre parti, al tempo stesso distinte ed interagenti (I – Dinamica; II – Instabilità; III – Anelasticità), con principale riferimento all'analisi dei sistemi discreti e continui di travi. Il corso aspira a porre in luce gli aspetti concettuali fondamentali, presentando trattazioni di carattere analitico-numerico il più possibile dotate di generalità ma ottenute a partire da semplici esempi esplicativi. Il corso ha carattere propedeutico e quindi non si addentra eccessivamente nelle applicazioni e nei contenuti specialistici, che potranno eventualmente essere approfonditi all'interno di altri corsi strutturali del curriculum di studi. La valutazione comprende la redazione di elaborati a casa svolti mediante implementazioni proprie. Tali elaborati vengono presentati all'esame, il quale consiste in una prova orale in cui l'allievo deve dimostrare di aver assimilato i concetti fondamentali introdotti e di aver acquisito una buona autonomia di ragionamento sulle problematiche considerate ed una buona padronanza degli strumenti d'analisi impiegati.

### Programma sintetico del corso

#### PARTE I – DINAMICA

1. DINAMICA DEI SISTEMI AD UN GRADO DI LIBERTÀ: scrittura delle equazioni del moto; sistemi lineari conservativi e smorzati; oscillazioni libere e forzate; risposta a forzanti armoniche e periodiche; integrale di Duhamel; integrazione numerica delle equazioni del moto; risposta al moto del sistema di riferimento, azione sismica, spettri di risposta; risposta nel dominio delle frequenze.
2. DINAMICA DEI SISTEMI AD UN NUMERO FINITO DI GRADI DI LIBERTÀ: strutture con masse concentrate; matrice delle masse e matrice di rigidezza; oscillazioni libere, pulsazioni naturali e modi principali di vibrazione; soluzione del problema agli autovalori; matrice di smorzamento; disaccoppiamento delle equazioni del moto; analisi sismica di telai multipiano.

#### PARTE II – INSTABILITÀ

1. INSTABILITÀ DI SISTEMI DISCRETI: l'equilibrio riferito alla configurazione deformata; effetti del II ordine; analisi per spostamenti geometricamente piccoli; carico critico euleriano; biforcazione dei percorsi di equilibrio; ruolo delle imperfezioni nei sistemi reali; metodo statico e metodo energetico; matrice di rigidezza elastica e geometrica; rapporto di Rayleigh.
2. INSTABILITÀ FLESSIONALE DI ASTE COMPRESSE: asta di Eulero; equazione della linea elastica con effetti del secondo ordine; carico critico di aste compresse; casi fondamentali; lunghezza di libera inflessione; formula di Newmark; snellezza; verifica di stabilità; comportamento di aste presso-inflesse; effetto P-Δ.

#### PARTE III – ANELASTICITÀ

1. COMPORTAMENTO ANELASTICO DI MATERIALI E STRUTTURE: risposta sforzo-deformazione monoassiale; deformazioni plastiche; dipendenza dalla storia; legame anelastico incrementale; univocità per incrudimento positivo, nullo e negativo; incrudimento lineare; materiale perfettamente elastoplastico, incrudimento isotropo, incrudimento cinematico; flessione elastoplastica, legame non-lineare momento/curvatura, momento a limite elastico, momento limite, modulo di resistenza elastico, modulo plastico, fattore di forma.
2. ELEMENTI DI ANALISI LIMITE: ipotesi di cerniera plastica; analisi evolutiva elastoplastica; carico di collasso; meccanismo di collasso (completo/parziale); teoremi fondamentali dell'analisi limite, teorema statico, teorema cinematico, teorema misto; calcolo del moltiplicatore di collasso tramite metodi "manuali"; cenno alla soluzione sistematica tramite metodi di Programmazione Lineare.

### Testi Consigliati

#### Parte I – Dinamica

- A. Castiglioni. *Introduzione alla Dinamica delle Strutture*. Masson, Milano, 1978.  
R. Ramasco. *Dinamica delle Strutture*. CUEN, Napoli, 1993.  
E. Viola. *Fondamenti di Dinamica e Vibrazione delle Strutture*. Volumi 1 e 2, Pitagora Editrice, Bologna, 2001.  
A.K. Chopra. *Dynamics of Structures – Theory and Applications to Earthquake Engineering*. Prentice Hall, 2001.  
R.W. Clough, J. Penzien. *Dynamics of Structures*. McGraw-Hill, New York, 1993.

#### Parte II – Instabilità

- L. Corradi dell'Acqua. *Meccanica delle Strutture–La Valutazione della Capacità Portante*. Vol. 3, McGraw-Hill, Milano, 1994.  
A. Luongo, M. Ferretti, S. Di Nino, *Stabilità e Biforcazione delle Strutture – Sistemi Statici e Dinamici*, Esculapio, Bologna, 2022.  
M. Pignataro, N. Rizzi, A. Luongo. *Stabilità, Biforcazione e Comportamento Post-Critico di Strutture Elastiche*. ESA, Roma, 1983.  
S.P. Timoshenko, J.M. Gere. *Theory of Elastic Stability*. McGraw-Hill, 1961.

#### Parte III – Anelasticità

- L. Corradi dell'Acqua. *Meccanica delle Strutture*. Volumi 1-3, McGraw-Hill, Milano, 1992-1994.  
C. Massonet, M. Save. *Calcolo Plastico a Rottura delle Costruzioni*. (2a ed.), CittaStudi, Milano, 1993.  
W.F. Chen, D.J. Han. *Plasticity for Structural Engineers*. Springer-Verlag, New York, 1988.  
M. Jirasek, Z.P. Bazant. *Inelastic Analysis of Structures*. John Wiley & Sons, Chichester, 2001.