Corso di Laurea in Ingegneria Civile

Programma del corso di Meccanica Computazionale (6 CFU)

ARGOMENTO LEZIONI
INTRODUZIONE AL CORSO Presentazione del corso, riferimenti bibliografici, regole e modalità d'esame.
EQUAZIONI DELL'ELASTICITA' Equazioni di congruenza. Equazioni indefinite di equilibrio. Equazioni costitutive. Sistema fondamentale. Equazioni del moto. Onde elastiche. Equazioni ed operatori di equilibrio, di congruenza e di legame elastico. Equazioni indefinite di equilibrio in termini di spostamenti: notazione estesa, matriciale ed operatoriale, nel caso statico ed in quello dinamico. Schema delle teorie fisiche. Onde tridimensionali longitudinali.
FORMA GENERALE DEL PRINCIPIO DI HAMILTON Equazioni del moto. Principio dei lavori virtuali generalizzato. Corpo elastico lineare. Generalizzazione del principio di Hamilton. Deduzione delle equazioni di Lagrange dal principio di Hamilton. Applicazione del metodo diretto e delle equazioni di Lagrange.
EQUAZIONI, TEOREMI E METODI DI SOLUZIONE DEI SISTEMI DISCRETI Metodo degli spostamenti. Principio dei lavori virtuali. Principio delle forze e degli spostamenti virtuali. Equazioni di legame tra variabili duali. Il metodo delle forze. Lavoro di deformazione ed energia elastica. Principi variazionali. Principi variazionali duali. Equilibrio dinamico.
ANALISI MATRICIALE DELLE STRUTTURE Sistema di tre molle e due nodi liberi: equazioni e schema primale delle teorie fisiche. Dimostrazioni del principio dei lavori virtuali, imposizione dell'equilibrio e della congruenza, relazione tra gli operatori. Principi delle forze e degli spostamenti virtuali, formulazioni alternative della congruenza e dell'equilibrio. Sistema di tre molle e due nodi liberi: equazioni e schema duale delle teorie fisiche. Lavori di deformazione, energia elastica e complementare, formulazione alternativa delle equazioni costitutive, equazioni nello schema delle teorie fisiche. Principio di stazionarietà e di minimo dell'energia potenziale totale e complementare. Formulazioni delle equazioni fondamentali attraverso i principi di stazionarietà, equazioni e schema delle teorie fisiche. Matrice di rigidezza a sforzo assiale: schema delle equazioni e delle variabili, metodo basato sul principio dello spostamento unitario, metodo diretto. Matrice di rigidezza a sforzo assiale: schema delle equazioni e delle variabili, metodi basati sul teorema di Castigliano e sul principio di stazionarietà dell'energia potenziale totale. Matrice di rigidezza di un sistema di aste in serie: metodo diretto, metodo basato sul teorema di Castigliano, matrici di collocazione. Matrice di rigidezza di un sistema di aste in serie: assemblaggio delle matrici di rigidezza, imposizione delle condizioni di vincolo e formulazione generale, illustrazione grafica della procedura di assemblaggio. Matrice di rigidezza dell'asta nel riferimento globale: metodo diretto, procedimento alternativo. Travatura reticolare piana: vettore dei carichi e degli spostamenti nodali, relazioni nella forma espansa, matrice topologica, somma delle matrici di rigidezza, soluzione formale del problema. Matrice di rigidezza a flessione: equazioni nello schema delle teorie fisiche, funzioni di forma, determinazione della matrice di rigidezza attraverso il metodo diretto. Matrice di rigidezza a flessione: equazioni nello schema delle teorie fisiche, funzioni di forma, determinazione della matrice di rigidezza attraverso il teorema di Castigliano. Costruzione della matrice di rigidezza 8x8 di una trave con incastro e appoggio, sollecitata da carichi concentrati. Soluzione formale del sistema di equazioni lineari. Costruzione della matrice di rigidezza 8x8 di una trave con incastro e appoggio, sollecitata da carichi concentrati. Numerazione dei nodi per raggruppare termini noti e incogniti. Elementi finiti: introduzione, discretizzazione della struttura e modello di spostamento. Matrice di rigidezza dell'elemento triangolare. Carichi nodali equivalenti per l'elemento finito triangolare. Elemento rettangolare. Schema delle variabili e delle equazioni di un elemento finito. Deduzione dell'equazione di bilancio. Elemento tridimensionale. Elementi finiti di ordine superiore. Equazioni del moto di un sistema discreto. Considerazioni di Dinamica. Metodo delle equazioni di Lagrange. Matrice di massa consistente per la trave a due gradi di libertà. Matrice di rigidezza a torsione. Trattazione unificata delle matrici di rigidezza a sforzo assiale, flessione e torsione.
DIFFERENTIAL AND INTEGRAL QUADRATURE METHODS. The Differential Quadrature law. Integral Quadrature. Polynomial approximation. Calculation of the coefficients for the derivatives of the first order. A general view on differential quadrature. Basis functions. Grid distributions. Coordinate transformation. Stretching formulation. Generalized integral quadrature. Generalized Taylor-based integral quadrature. Classic integral quadrature methods. Numerical applications: integral quadrature. Numerical applications: Taylor-based integral quadrature. General view: the two-dimensional case.
STRONG AND WEAK FORMULATIONS FOR SIMPLE STRUCTURAL MODELS. One-dimensional structural models. Strong formulation. Discrete form of the governing equations. Weak formulation. Discrete form of the governing equations. Rod problem. Euler-Bernoulli beam problem. Membrane problem. Kirchhoff-Love plate problem. Plane elasticity problem. Reissner-Mindlin plate problem.

Dr.-Ing. Francesco Tornabene
Dip. di Ingegneria dell'Innovazione - Via per Monteroni, Edificio "La Stecca" - 73100 LECCE, Italy
email: francesco.tornabene@unisalento.it

MAIN SHELL STRUCTURES AND ELEMENTS OF DIFFERENTIAL GEOMETRY. Elements of differential geometry. Curves in three-dimensional space. Generic doubly and singly-curved and degenerate shells. Doubly-curved shells of revolution. Singly-curved shells of revolutions. Singly-curved shells of translation. Degenerate shells. Distorted domains.
ELASTICITY EQUATIONS IN PRINCIPAL CURVILINEAR COORDINATES. Equations of the three-dimensional solid. Kinematic equations. Constitutive equations. Generalized Hooke laws. Anisotropic materials. Orthotropic materials. Indefinite equilibrium equations. Three-dimensional equations for a shell. Coordinates of a generic shell. Kinematic equations. Constitutive equations. Equations of motion. Fundamental equations.
HIGHER-ORDER SHEAR DEFORMATION THEORIES: STRONG FORMULATION. A general approach for the higher-order theories. Fundamental hypotheses. Kinematic equations. Kinematic model. Strain characteristics. Constitutive equations. Composite materials. Fibrous composites: unidirectional lamina. Granular composites: functionally graded materials, functionally graded carbon nanotube-reinforced composites, variable angle tow composites. Composite laminates. Lamination schemes. Symmetric laminates. Antisymmetric laminates. Indefinite equilibrium equations. Generalized stress resultants. Generalized vector of external actions. External actions on the bottom and top shell surfaces. Volume forces. Equations of motion via Hamilton principle. General boundary conditions. Fundamental equations. External restraints. Continuity conditions. Governing equations for distorted domains.
HIGHER-ORDER SHEAR DEFORMATION THEORIES: WEAK FORMULATION. Weak formulation of the governing equations. Displacement field. Kinematic equations. Constitutive equations. Equations of motion. External loads. External actions on the bottom and top shell surfaces. Volume forces and seismic excitation. Forces applied directly along the external edges. Hamilton principle. Governing equations for distorted domains. Discrete form of the governing equations. Discrete equations for regular domains. Discrete equations for arbitrarily shaped domains.
NUMERICAL APPLICATIONS: DYNAMIC AND STATIC ANALYSES. Dynamic analysis: free vibrations. Strong formulation. Weak formulation. Solution of the eigenvalue problem. Numerical results. Comparison with the FEM. Free vibrations of laminated shells by means of the FSDT. Free vibrations of laminated shells by means of HSDTs. Arbitrarily shaped domains. Static analysis. Strong formulation. Weak formulation. Solution of the static problem. Stress and strain recovery procedure. Stress recovery. Strain recovery. Numerical applications. Through-the-thickness stress and strain profiles.

Totale Ore di lezione: 54

Riferimenti bibliografici:

Teoria:

(A) E. Viola – Analisi Matriciale delle Strutture, Pitagora Editrice, Bologna.
(B) F. Tornabene, M. Bacciocchi – Anisotropic Doubly-Curved Shells, Società Editrice Esculapio, Bologna.
(C) F. Tornabene, N. Fantuzzi, M. Bacciocchi – DiQuMASPAB User Manual, Società Editrice Esculapio, Bologna.