

Teoria delle Strutture

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile e delle Costruzioni Civili

docente: Prof. Riccardo Barsotti

(marzo 2016)

Prerequisiti

Superamento dell'esame di Scienza delle Costruzioni.

Obiettivi

Affrontare e risolvere problemi di equilibrio di strutture e solidi elastici, con particolare riferimento ai sistemi di travi e ai problemi piani in elasticità lineare.

Fornire elementi di conoscenza utili per scegliere e utilizzare in modo consapevole gli strumenti e le tecniche disponibili per il calcolo strutturale.

Contenuti

Introduzione

La progettazione delle strutture. Le operazioni di schematizzazione, modellazione e calcolo di una struttura: fasi di analisi e di sintesi. Il carattere convenzionale dei risultati del calcolo delle strutture.

Strutture a telaio

Caratteristiche principali degli edifici con struttura portante in c.a. o in acciaio. Cenni sulle azioni e le loro combinazioni. Linee d'influenza degli spostamenti e delle sollecitazioni. Le strutture di controventamento: criteri di verifica e di progetto. L'analisi semplificata dei telai spaziali (analisi pseudo-spaziale degli edifici).

Metodi di soluzione delle travature

Richiami di teoria tecnica delle travi. Il metodo degli spostamenti: rigidezza di un elemento strutturale. I carichi nodali equivalenti. Casi nei quali si prescinde dalla deformabilità estensionale: telai a nodi fissi e a nodi mobili. L'equazione delle cinque rotazioni e le equazioni di Gehler. Cenni sui metodi iterativi di calcolo dei telai piani.

Il calcolo in forma matriciale dei telai piani. La matrice di rigidezza di una singola trave ad asse rettilineo. I sistemi di riferimento locale e globale: la legge di trasformazione delle coordinate. L'assemblaggio della matrice di rigidezza della struttura: inserimento delle condizioni di vincolo esterne ed interne. Deduzione del sistema delle equazioni di equilibrio nodale attraverso il teorema dei lavori virtuali. Applicazione del teorema di Betti per il calcolo dei carichi nodali equivalenti. Proprietà di minimo energetico della configurazione d'equilibrio di

una travatura. Applicazione del calcolo in forma matriciale alle travature reticolari, alle travature piane deformabili a taglio e a flessione, ai grigliati piani e ai telai spaziali. Travi equivalenti a un telaio o a una travatura reticolare.

Proprietà della matrice di rigidità di una struttura: confronto tra il metodo delle forze e quello degli spostamenti. I limiti del modello lineare legati all'insorgenza di fenomeni di non linearità geometrica: il carico critico di pilastri pressoinflessi, l'influenza della deformabilità a taglio sul carico critico di travi flessibili. Un esempio di analisi non lineare: i cavi e le reti di funi. Il metodo delle densità di sforzo.

Teoria dell'elasticità lineare

Le equazioni dell'elasticità lineare: le equazioni di Navier e quelle di Beltrami-Michell. Cenni sull'esistenza e sull'unicità della soluzione del problema elastico. Relazioni costitutive. Proprietà di minimo della soluzione. Principi variazionali: minimo dell'energia potenziale totale e minimo dell'energia complementare totale; funzionali di Hu-Washizu e di Hellinger-Reissner. Metodi di distribuzione dell'errore. La tecnica di minimizzazione di Rayleigh-Ritz.

Problemi bidimensionali: stati piani di deformazione e stati piani generalizzati di tensione. La funzione degli sforzi di Airy. Esame critico delle condizioni al contorno. Problemi piani in coordinate polari. Applicazione delle serie di Fourier alla soluzione di problemi piani. Carattere approssimato dello stato piano generalizzato di tensione.

Metodi approssimati di soluzione

Il metodo di soluzione alle differenze finite. Differenze finite centrali, destre e sinistre: stima dell'errore che si commette nei diversi casi. Soluzioni approssimate di problemi di equilibrio di travi e di corpi elastici bidimensionali.

Il metodo di soluzione agli elementi finiti. Cenni introduttivi. Un primo esempio: elementi piani triangolari a deformazione costante. L'approssimazione del campo di spostamenti: le funzioni di forma. La matrice di rigidità del singolo elemento. La costruzione del sistema delle equazioni di equilibrio mediante il teorema dei lavori virtuali. I carichi nodali equivalenti. Interpretazione del metodo di soluzione agli elementi finiti come tecnica di minimizzazione di Ritz. I criteri di convergenza: completezza e compatibilità delle funzioni di forma. Elementi piani triangolari di ordine superiore al primo. Cenni sull'integrazione per via numerica: le formule di quadratura di Newton-Cotes e di Gauss. Elementi finiti rettangolari bilineari e quadratici. Elementi finiti piramidali per analisi 3d. Elementi isoparametrici. Elementi non conformi. Elementi monodimensionali per travi deformabili a taglio e a flessione.

Piastre sottili inflesse

Le ipotesi cinematiche e le misure di deformazione. Caratteristiche della sollecitazione e equazioni di equilibrio. L'equazione di Sophie Germain - Lagrange. Esame critico delle condizioni al contorno e loro espressioni secondo

Kirchhoff. Equazioni della piastra sottile inflessa dedotte per via variazionale. Metodi classici di soluzione: il caso delle piastre rettangolari. La soluzione in forma chiusa di problemi assial-simmetrici. Metodi approssimati di soluzione: differenze finite ed elementi finiti.

Testi di riferimento

- Baldacci R., Scienza delle costruzioni, vol. 2°, UTET, Torino, 1976.
(Il capitolo 1, sulle linee d'influenza; il capitolo 5, sul metodo degli spostamenti per travi elastiche; il capitolo 9, sull'influenza della deformabilità a taglio sul carico critico di travi elastiche e sulla stima del carico critico di travi composte.)
- Barsotti R., Elementi di Teoria delle Strutture, TEP Pisa, 2011.
- Belluzzi O., Scienza delle costruzioni, vol. II, Zanichelli, Bologna, 1956.
(Il capitolo 18, sulle linee d'influenza; il capitolo 20, su travi a nodi fissi e a nodi mobili.)
- Capurso M., Introduzione al calcolo automatico delle strutture, Ed. Scientifiche Cremonese, Roma, 1977.
(Il capitolo 4, sui telai a maglie ortogonali; il capitolo 6, sui telai a maglie di forma qualsiasi.)
- Cook R.D., Finite element modeling for stress analysis, John Wiley & Sons Inc., 1995
(I capitoli da 1 a 4, sul calcolo automatico dei telai e sul metodo di soluzione agli elementi finiti.)
- Pozzati P., Teoria e tecnica delle strutture, voll. 2* e 2**, UTET, Torino, 1972-77.
(Vol. 2, prima parte: i capitoli 12, 13 e 15 sul metodo degli spostamenti per sistemi di travi. Vol. 2, seconda parte: i capitoli 5 e 6, sugli edifici multipiano in c.a. e in acciaio; il capitolo 7, sull'organizzazione delle strutture di controvento.)
- Timoshenko S.P., Goodier J.N., Theory of Elasticity, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, 1951.
(I capitoli 2, 3 e 4, sui problemi elastici piani; il capitolo 8, che illustra i teoremi principali della teoria dell'elasticità lineare.)
- Timoshenko S.P., Woinowsky-Krieger S., Theory of Plates and Shells, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, 1959.
(Il capitolo 4, sulle piastre sottili inflesse; i capitoli 2 e 3, che trattano i casi particolari di flessione uniforme e simmetria polare; i capitoli 5 e 6, che illustrano alcuni problemi relativi a piastre rettangolari soggette a diverse condizioni di vincolo; il capitolo 10, che tratta i metodi approssimati di soluzione.)
- Timoshenko S.P., Gere G.M., Theory of Elastic Stability, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, 1961.
(Il capitolo 2, sul carico critico di pilastri presso-inflessi e sull'influenza della deformabilità a taglio sul carico critico euleriano.)
- Zienkiewicz O.C., The Finite Element Method, McGraw-Hill Book Company (UK) Ltd, 1977.
(In particolare i capitoli 1, 2 e 4.)

Testi per ulteriori approfondimenti

- Atanackovic T.M., Guran A., Theory of elasticity, Birkäuser, 2000.
- Przemieniecki J.S., Theory of Matrix Structural Analysis, McGraw-Hill, 1968.
- Sokolnikoff I.S., Mathematical Theory of Elasticity, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, 1956.
(In particolare il capitolo 3, sulle equazioni dell'elasticità lineare; il capitolo 5, sui problemi elastici piani.)
- Strang G., Fix G.J., An Analysis of the Finite Element Method, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1973.
(In particolare, per quanto riguarda le questioni legate alla definizione dei criteri di convergenza del metodo di soluzione agli elementi finiti.)
- Washizu K., Variational methods in elasticity and plasticity, Pergamon Press, Oxford, 1968.

Modalità di svolgimento dell'esame

Esame orale sugli argomenti del corso.