



UNIVERSITÀ DI PISA

SCIENZA DELLE COSTRUZIONI

RICCARDO BARSOTTI

Anno accademico	2023/24
CdS	INGEGNERIA CIVILE AMBIENTALE E EDILE
Codice	247HH
CFU	12

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
SCIENZA DELLE COSTRUZIONI	ICAR/08	LEZIONI	120	FRANCESCO BARSÌ RICCARDO BARSOTTI

Obiettivi di apprendimento

Conoscenze

Il corso ha come obiettivi:

l'acquisizione delle conoscenze utili alla comprensione degli strumenti e dei metodi per il calcolo delle strutture, sia quando sono immaginate composte da elementi rigidi, sia quando sono schematizzate come sistemi deformabili elasticamente;

l'acquisizione delle conoscenze riguardanti gli elementi fondamentali della teoria dell'elasticità dei corpi continui (tensioni, deformazioni, relazioni costitutive) e delle condizioni che ne determinano il campo di applicazione (verifiche di resistenza dei materiali, verifiche di stabilità dei componenti)

Modalità di verifica delle conoscenze

La verifica puntuale delle conoscenze si svolge di regola, ma non esclusivamente, a partire da un esercizio applicativo. L'obiettivo primario non è quello di verificare l'apprendimento nozionistico delle conoscenze, quanto piuttosto l'uso consapevole degli strumenti conosciuti.

Capacità

Il corso si pone come obiettivo l'acquisizione delle capacità occorrenti per affrontare e risolvere problemi di equilibrio di strutture e corpi deformabili nell'ambito della teoria classica dell'elasticità.

Modalità di verifica delle capacità

Le esercitazioni svolte durante tutta la durata del corso, durante le quali problemi ed esercizi sono proposti e discussi con gli studenti, rappresentano un momento importante per la verifica (anche autonoma) delle capacità che progressivamente vengono acquisite. La prova in itinere collocata fra la prima e la seconda parte del corso e l'esame di profitto al termine del corso rappresentano i due momenti di verifica formale delle capacità. La verifica è condotta proponendo uno o più problemi di equilibrio riguardanti strutture e corpi deformabili.

Comportamenti

Il corso intende contribuire allo sviluppo e al consolidamento del ragionamento logico-deduttivo e alla pratica dell'utilizzo di schemi e modelli per analisi strutturali.

Modalità di verifica dei comportamenti

Le esercitazioni in aula, le prove in itinere e quelle finali sono rivolte anche alla verifica dei comportamenti. A questo proposito, nelle prove di profitto si richiede agli studenti di motivare opportunamente i risultati contenuti nei loro elaborati.

Prerequisiti (conoscenze iniziali)

Meccanica Razionale, Analisi Matematica I, Analisi Matematica II, Geometria e Algebra Lineare

Indicazioni metodologiche

Lezioni frontali in aula. Esercitazioni in aula durante le quali gli studenti sono invitati a riunirsi in gruppi per lo svolgimento dei problemi proposti. Ricevimenti settimanali a cura dei docenti e dei loro collaboratori.



UNIVERSITÀ DI PISA

Programma (contenuti dell'insegnamento)

I sistemi di travi: equilibrio di travi rigide

La trave come solido caratterizzato da una dimensione prevalente sulle altre. Nozione di linea d'asse e di sezione trasversale.

Vincoli agenti sui sistemi di travi: carichi attivi e reazioni vincolari. Prestazioni dei vincoli sul piano statico: molteplicità statica di un vincolo.

Sconnessioni e loro molteplicità. Equazioni globali di equilibrio ed equazioni ausiliarie o di scissione. Strutture chiuse e strutture aperte.

Prestazioni dei vincoli sul piano cinematico: le equazioni di vincolo. Molteplicità cinematica di un vincolo. Classificazione cinematica e statica delle travature. Matrice statica e matrice cinematica. Grado di indeterminazione statica di un sistema di travi. Relazioni tra il problema statico e il corrispondente problema cinematico.

Le azioni interne nelle travi: le caratteristiche della sollecitazione. Equazioni differenziali di equilibrio delle travi piane ad asse rettilineo e delle travi piane ad asse curvilineo. Discontinuità delle caratteristiche della sollecitazione in presenza di carichi concentrati. Distribuzioni staticamente ammissibili delle caratteristiche della sollecitazione.

Travature piane e travature spaziali: esempi ed applicazioni. Travature reticolari: il metodo "dei nodi" e quello "delle sezioni".

I sistemi di travi: le travi deformabili elasticamente

Le travi piane ad asse rettilineo: campo di spostamento e misure locali di deformazione (estensione, curvatura, scorrimento angolare). Relazioni cinematiche nel caso di piccoli spostamenti e piccole deformazioni. Campi di spostamento cinematicamente ammissibili e campi di spostamento virtuali.

Travi formate da un materiale elastico lineare: le relazioni costitutive fra le misure di deformazione e le caratteristiche della sollecitazione.

Le equazioni differenziali della linea elastica: il metodo della linea elastica. Unicità e linearità della soluzione; il principio di sovrapposizione degli effetti. Le travi deformabili solo a flessione; travi deformabili a flessione e taglio. Le condizioni al bordo che completano le equazioni differenziali per le travi: vincoli cedevoli anelasticamente e vincoli reagenti elasticamente. Effetti delle variazioni termiche; effetti dei difetti geometrici.

Sistemi elastici dotati di simmetrie geometriche e di carico. L'energia di deformazione per le travi elastiche. Il teorema dei lavori virtuali per le travi deformabili.

I metodi di soluzione per i sistemi di travi staticamente non determinati: il metodo delle forze e quello degli spostamenti. Le equazioni di Müller-Breslau.

Equilibrio di corpi solidi

Considerazioni introduttive: solidi come corpi continui; classificazione delle forze agenti su un corpo. Le sollecitazioni interne: definizione del vettore tensione. Tensione normale e tensione tangenziale. Continui di Cauchy e continui micropolari. Teorema del tetraedro di Cauchy-Poisson. Componenti speciali di tensione e matrice delle componenti speciali di tensione. Equazioni indefinite di equilibrio di Cauchy. Equazioni di reciprocità e simmetria della matrice delle componenti di tensione. Equazioni ai limiti. Campi di sforzo staticamente ammissibili. Il tensore degli sforzi. Tensioni e direzioni principali. Linee isostatiche. La rappresentazione di Mohr dello stato di tensione: cerchi di Mohr e arbelo di Mohr. Valori estremi della tensione tangenziale.

Solidi deformabili: analisi della deformazione

Concetto di deformazione di un corpo continuo. Gradienti della deformazione e dello spostamento. Misure locali di deformazione: dilatazioni lineari, scorrimenti angolari, dilatazioni superficiali e dilatazione cubica.

Deformazioni piccole. Matrice di deformazione infinitesima: significato geometrico delle sue componenti. Espressioni delle dilatazioni lineari, degli scorrimenti angolari, della dilatazione superficiale e di quella cubica nel caso infinitesimo. Direzioni principali della deformazione e deformazioni principali. Valori estremi della dilatazione lineare e dello scorrimento angolare. Campi di spostamento cinematicamente ammissibili. Equazioni di compatibilità di Saint-Venant.

Solidi deformabili elasticamente: le relazioni costitutive

Materiali elastici e anelastici. Le equazioni costitutive: cenni ai principi di determinismo, azione locale e indifferenza materiale.

Materiali elastici lineari. Matrice dei moduli elastici: prima e seconda simmetria minore; simmetria maggiore. I materiali iperelastici lineari. Lavoro di deformazione in un processo di carico e densità di energia di deformazione elastica. Materiali isotropi: equazioni e costanti elastiche di Lamé. Le costanti elastiche tecniche: modulo di elasticità normale o di Young, modulo di elasticità tangenziale e coefficiente di contrazione trasversale di Poisson; loro significato meccanico e loro limitazioni. Modulo di compressibilità cubica.

Equilibrio di solidi elastici

Campo di spostamento virtuale e teorema dei lavori virtuali. Il problema di equilibrio per un solido iperelastico lineare. Cenni all'esistenza della soluzione. Teorema di unicità di Kirchhoff. Linearità della soluzione e principio di sovrapposizione degli stati elastici. Teorema di reciprocità di Betti-Maxwell. Teorema di Lamé-Clapeyron. Teoremi della minima energia potenziale totale e della minima energia potenziale complementare. Problemi piani nella tensione e nella deformazione.

Il Problema di De Saint-Venant

Le ipotesi del problema.

La torsione pura. Il caso della sezione circolare. Il metodo semi-inverso di Saint-Venant. Angolo unitario di torsione e rigidezza torsionale. Il caso della sezione non circolare. Funzione di ingobbamento e formulazione del relativo problema di Neumann. Funzione degli sforzi di Prandtl e formulazione del corrispondente problema di Dirichlet. Analogia di Prandtl. Soluzioni approssimate per le sezioni sottili aperte. L'analogia idrocinetica e le formule di Bredt per le sezioni tubolari sottili. Il caso delle sezioni sottili chiuse pluriconnesse.

Lo sforzo normale semplice. La flessione retta: asse della sollecitazione, asse neutro e asse di flessione. Rigidezza estensionale e flessionale.

La flessione deviata e lo sforzo normale eccentrico. Nozione di nocciolo centrale di inerzia. La flessione composta (flessione e taglio).

Espressioni approssimate delle tensioni tangenziali: la formula di Jourawski. Il fattore di taglio. Nozione di centro di taglio.

Il postulato di De Saint-Venant e il significato universale delle soluzioni speciali. Le soluzioni speciali e le relazioni costitutive della teoria tecnica delle travi elastiche.

Limiti del comportamento elastico: i criteri di crisi

Il dominio elastico e la superficie limite. Materiali duttili. Aspetti fenomenologici della prova di rottura a trazione. Criterio di Guest-Tresca o criterio della massima tensione tangenziale. Criterio di Von Mises. Interpretazione di Huber-Henky e criterio della massima energia distortrice; interpretazione di Nadai e criterio della massima tensione tangenziale ottaedrale; interpretazione di Novozhilov e criterio di massima tensione tangenziale media. Materiali fragili. Criterio di Galileo. Criterio di Coulomb. Le verifiche di resistenza con il metodo delle tensioni ammissibili. Tensione ideale, coefficiente di sicurezza e tensione ammissibile: applicazioni alla verifica delle travature.

L'instabilità elastica

Introduzione: non linearità geometriche, configurazioni di equilibrio instabile, punti di biforcazione del diagramma di equilibrio. Diramazione stabile e diramazione instabile. Metodo di Eulero o degli equilibri adiacenti. Nozione di carico critico euleriano: esempi di applicazione ai sistemi



UNIVERSITÀ DI PISA

di aste rigide vincolate elasticamente. L'equazione differenziale di Eulero per l'asta semplicemente compressa. Determinazione del carico critico euleriano. Nozioni di lunghezza libera di inflessione e di snellezza. Instabilità per divergenza della soluzione di equilibrio e sensibilità alle imperfezioni. Iperbole di Eulero.

Bibliografia e materiale didattico

- Dispense a cura del docente del corso
- L. Gambarotta, L. Nunziante, A. Tralli, *Scienza delle Costruzioni*, McGraw-Hill, 2011.
- O. Belluzzi, *Scienza delle Costruzioni*, Vol. 1, Zanichelli, 1996.

TESTI PER APPROFONDIMENTI

- J.N. Goodier, S.P. Timoshenko, *Theory of Elasticity*, Mc Graw-Hill, 1970.
- I.S. Sokolnikoff, *Mathematical Theory of Elasticity*, Mc Graw-Hill, 1956.
- S.P. Timoshenko, *History of Strength of Materials*, Dover (Reprint of the McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1953 edition)

Modalità d'esame

Prova scritta e orale sugli argomenti del corso.

Ultimo aggiornamento 02/01/2024 22:15