UNIVERSITÀ DI PISA

SCIENZA DELLE COSTRUZIONI II

STEFANO BENNATI

Anno accademico	2017/18
CdS	INGEGNERIA CIVILE AMBIENTALE E EDILE
Codice	132HH
CFU	6

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
SCIENZA DELLE COSTRUZIONI II	ICAR/08	LEZIONI	60	RICCARDO BARSOTTI STEFANO BENNATI

Obiettivi di apprendimento

Conoscenze

Finalità, obiettivi formativi e organizzazione didattica del corso.

La seconda parte del corso di Scienza delle Costruzioni (corrispondente all'insegnamento di SdCII) ha come primo scopo l'apprendimento, da parte dello studente, delle nozioni fondamentali della *teoria classica dell'elasticità lineare*, e, conseguentemente, della capacità di analizzare il comportamento meccanico di corpi solidi modellati come corpi continui che si deformano elasticamente. Il secondo scopo consiste nella presentazione critica di due *modalità di crisi del comportamento elastico delle strutture*: la prima dovuta all'insorgere, al crescere dei carichi esterni, di *deformazioni anelastiche*, la seconda dovuta, invece, all'insorgere di *fenomeni di instabilità dell'equilibrio*.
L'insegnamento in aula prevede lezioni, destinate alla presentazione e alla discussione dei contenuti e dei metodi di maggior rilievo, ed esercitazioni, nelle quali gli stessi contenuti e metodi vengono sviluppati legandoli a particolari applicazioni.

Programma (contenuti dell'insegnamento)

A) Meccanica dei solidi deformabili elasticamente

Cap. 1. Deformazioni. – *Configurazione di riferimento* e *configurazione corrente* o *attuale* di un corpo continuo. Cambiamento di configurazione e *deformazione* di un corpo continuo come cambiamento di configurazione dotato di sufficiente regolarità. Gradienti della deformazione e gradienti dello spostamento. Misure locali di deformazione: *dilatazioni lineari*, *scorrimenti angolari*, *dilatazioni superficiali* e *dilatazione cubica*. Tensore destro di Cauchy-Green e matrice C = FTF che lo rappresenta.
Deformazioni *piccole* o cosidedtte *infinitesime*. Matrice di deformazione infinitesima e sue componenti: loro significato geometrico. Espressioni delle dilatazioni lineari, degli scorrimenti angolari, della dilatazione superficiale e di quella cubica nel caso infinitesimo. *Direzioni principali* della deformazione e *deformazioni principali*. Riferimento principale per la deformazione. Valori estremi della dilatazione lineare e dello scorrimento angolare. [Variazione delle componenti di deformazione per effetto di cambiamenti del sistema di riferimento. Il tensore di deformazione infinitesima (vedi [1])]. Le componenti di deformazione nei riferimenti polare e cilindrico.
Campi di spostamento *cinematicamente ammissibili*. Equazioni di compatibilità di Saint-Venant.
Cap. 2. Tensioni. – Classificazione delle forze agenti su un corpo e le sue parti. Le forze di contatto interne e il principio delle sezioni di Eulero. Il principio delle tensioni di Cauchy e la 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 *equilibrati* o *staticamente ammissibili*.
Legge di trasformazione delle componenti di tensione per effetto di cambiamenti del sistema di riferimento. *Il tensore degli sforzi*. Le componenti di tensione nei riferimenti polare e cilindrico. Tensioni e direzioni principali. Valori estremi della tensione normale. Linee isostatiche.
La rappresentazione di Mohr dello stato di tensione: piano delle tensioni, circoli di Mohr e arbelo di Mohr. Valori estremi della tensione tangenziale.
Cap. 3. Equazioni costitutive dei materiali elastici. – Aspetti fenomenologici della risposta meccanica dei materiali ai carichi esterni: comportamento elastico lineare e non lineare; comportamento anelastico. [Cenni alla teoria assiomatica delle equazioni costitutive: principio di determinismo, principio dell'azione locale e principio di indifferenza materiale; per approfondimenti, vedi [2], pag. 83-84].
Materiali elastici e materiali elastici lineari. Matrice dei moduli elastici: prima e seconda simmetria minore. Nozione di omogeneità. Simmetria maggiore della matrice dei moduli elastici e materiali iper-elastici lineari. Lavoro di deformazione relativo ad un processo di carico e nozione di densità di energia di deformazione elastica. [Simmetria elastica rispetto ad un piano e rispetto ad un asse. Equazioni costitutive dei materiali ortotropi; per approfondimenti vedi [2], pagg. 113-115]. Materiali isotropi: equazioni di Lamé e costanti elastiche di Lamé. Inversione delle equazioni di Lamé e 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.
Cap. 4. Il Problema dell'equilibrio elastico. – Nozioni di *campo di spostamento virtuale* e di corrispondente *lavoro virtuale* delle forze esterne agenti su un corpo continuo in equilibrio. Teorema dei lavori virtuali. Campi di sforzo equilibrati o staticamente ammissibili come campi di sforzo che soddisfano l'equazione dei lavori virtuali per ogni scelta dello spostamento virtuale.
Formulazione del problema dell'equilibrio per un corpo costituito da un materiale iperelastico lineare ed equazioni di campo e condizioni al

bordo che lo definiscono. Questioni legate 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. Formulazioni variazionali: teorema della minima energia potenziale totale e teorema della minima energia potenziale complementare.
Il problema *elastico piano nella tensione* e il problema *elastico piano nella deformazione*. Esempi di soluzione di problemi piani in coordinate rettangolari e in coordinate polari per materiali isotropi.
Cap. 5. Il Problema di De Saint-Venant. – Ipotesi geometriche, costitutive e meccaniche che lo definiscono.
La torsione pura. Il caso della sezione circolare. Il *metodo semi-inverso* di Saint-Venant. Campi di spostamento e di sforzo. Angolo unitario di torsione e rigidezza torsionale. Il caso della sezione non circolare. Funzione di ingobbamento e formulazione del relativo problema di Neumann. Nozione di rigidezza torsionale. Funzione degli sforzi di Prandtl e formulazione del corrispondente problema di Dirichlet in termini della funzione di tensione intrinseca. Soluzione esplicita per il caso della sezione ellittica.
Analogia di Prandtl. Soluzioni approssimate per le sezioni rettangolari sottili e le sezioni sottili aperte in genere. L'analogia idrocinetica e le formule di Bredt per le sezioni tubolari sottili. Il caso delle sezioni sottili chiuse pluriconnesse.
Lo sforzo normale semplice. Campi di spostamento e di sforzo. Rigidezza estensionale.
La flessione retta. Campi di spostamento e di sforzo. Asse della sollecitazione, asse neutro e asse di flessione. Rigidezza flessionale.
La *flessione composta (flessione e taglio)*. Espressioni approssimate delle tensioni tangenziali: la formula di Jourawski. [Il fattore di taglio; per approfondimenti, vedi [1]]. Applicazioni alle sezioni simmetriche e no: esempi della sezione a doppio T e della sezione a C. Nozione di *centro di taglio*.
Altre condizioni di carico: la *flessione deviata* e lo *sforzo normale eccentrico*. I teoremi della flessione deviata. Nozione di *nocciolo centrale di inerzia*.
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.
Cap. 6. Crisi del comportamento elastico. – Il *comportamento duttile*. Aspetti fenomenologici della prova di trazione dei materiali metallici. Tensioni di proporzionalità, di snervamento e di rottura; allungamento percentuale a rottura; scarico elastico, deformazioni permanenti o plastiche. Nozioni di dominio elastico e di superficie limite. Criterio di Guest-Tresca o *criterio della massima tensione tangenziale*.
Considerazioni sperimentali e superficie limite come superficie cilindrica con le generatrici perpendicolari al piano deviatorico. [Criterio di Von Mises come utile modifica del criterio di Tresca. Interpretazione di Huber-Henky e criterio della massima energia distorcente; interpretazione di Nadai e criterio della massima tensione tangenziale ottaedrale; interpretazione di Novozhilov e criterio di massima tensione tangenziale media: per approfondimenti vedi [1,2]].
Il *comportamento fragile*: la prova di compressione nei materiali lapidei. Criterio di Galileo per i materiali fragili. Criterio di Coulomb per i materiali incoerenti.
Rappresentazione dei criteri di Tresca, di Galileo e di Coulomb nel piano della tensione

B) Crisi delle strutture elastiche
Cap. 1. La crisi conseguente all'insorgere di deformazioni permanenti. - Nozioni di *tensione ideale,* di *coefficiente di sicurezza* e di *tensione ammissibile*. Le verifiche di resistenza basate sul metodo cosiddetto delle tensioni ammissibili. Applicazioni alla verifica delle travature: forma assunta dai criteri di crisi di Tresca e di Von Mises nel caso delle travature.
Cap. 2. La crisi conseguente all'insorgere di fenomeni di instabilità. – Applicazioni del metodo euleriano e della nozione di *carico critico euleriano* ai sistemi di aste rigide vincolate elasticamente. [Il caso dell'instabilità flessionale: l'equazione differenziale di Eulero per l'asta semplicemente compressa e sua integrazione. Determinazione del carico critico euleriano e sua dipendenza dalle condizioni di vincolo. Nozioni di lunghezza libera di inflessione e di snellezza. [Instabilità per divergenza della soluzione di equilibrio e sensibilità alle imperfezioni. Iperbole di Eulero; per approfondimenti, vedi [1]].
Nota. Gli argomenti indicati racchiusi fra parentesi quadre non sono stati svolti a lezione con il dovuto approfondimento e solamente accennati. Fare in questi casi riferimento ai riferimenti bibliografici indicati.

Bibliografia e materiale didattico

Riferimenti bibliografici essenziali

[1] L. GAMBAROTTA, L. NUNZIANTE, A. TRALLI, *Scienza delle Costruzioni*, McGraw-Hill, 2011 [fare riferimento a questo testo in generale, e, in particolare, per i paragrafi 9-14 del capitolo 7 relativi all'analisi dei fenomeni di instabilità dell'equilibrio].
[2] A. SOLLAZZO & S. MARZANO, *Scienza delle Costruzioni, Vol. 2,* UTET, 1988 [fare riferimento a questo testo, in particolare, per i capitoli dal primo al quinto relativi a: deformazioni, tensioni, equazioni costitutive, presentazione del problema dell'equilibrio elastico].
[3] M. CAPURSO, *Lezioni di Scienza delle Costruzioni,* Pitagora Ed., 1971 [fare riferimento a questo testo, in particolare, per i capitoli 6 e 7 relativi, rispettivamente, ai criteri di crisi dei materiali elastici e al problema di Saint-Venant].

Altri (utili) riferimenti bibliografici

[4] A.E.H. LOVE, *A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity,* Dover, 1944.
[5] I.S. SOKOLNIKOFF, *Mathematical Theory of Elasticity*, Mc Graw-Hill, 1956.
[6] I.S. TIMOSHENKO and GERE, *Theory of Elastic Stability*, McGraw-Hill, 1961.
[7] I.S. TIMOSHENKO, *History o strength of materials*, McGraw-Hill, 1961.

Modalità d'esame

La prova d'esame comprende una prova scritta ed una prova orale.
Lo studente è tenuto, di regola, ad iscriversi *on-line* sul portale di Ateneo sia alla prova scritta che alla prova orale . Le date delle prove orali e di quelle scritte, così come le modalità di iscrizione alle singole prove, sono anche pubblicate, di regola, sulla *pagina web* del docente.

1. *Prova scritta.*

Nella prova scritta, della durata di circa 3 ore, lo studente deve risolvere uno o più problemi riconducibili alla *meccanica dei solidi*, oltre che alla *crisi delle strutture elastiche*. Le scelte e i passaggi cruciali della soluzione vanno *sempre adeguatamente motivati*. I calcoli vanno svolti su fogli

separati da unire agli altri al momento della consegna. Durante la prima parte della prova è consentito consultare esclusivamente i libri di testo consigliati nella "Guida ai contenuti del corso di SdCII", pubblicata sulla pagina web del docente.
Lo studente può decidere di rinunciare alla consegna fino al termine della prova; può anche farlo in seguito, al momento della pubblicazione della soluzione sulla *pagina web* del docente, seguendo le modalità indicate in quest'ultima.
La prova scritta viene valutata ricorrendo ai giudizi sintetici indicati nel seguito con la corrispondente valutazione (orientativa) in trentesimi:
A: eccellente (? 28/30); B: buono (24-27/30);
C: più che sufficiente (21-23/30); D: appena sufficiente (18-20/30);
E/D: sufficienza dubbia (16-17/30); E: insufficiente (12-15/30);
F: gravemente insufficiente (6-11/30); G: del tutto insufficiente (< 6/30).
Per essere ammesso alla successiva prova orale, lo studente deve riportare, di regola, una valutazione di almeno E/D (sufficienza dubbia).

2. *Eventuale ripetizione della prova scritta.*

Se la prova scritta è risultata non soddisfacente, ovvero se è stata valutata insufficiente, gravemente insufficiente o del tutto insufficiente, deve essere ripetuta.

In accordo con quanto deliberato dal Corso di Laurea, lo studente ha a disposizione 4 possibili consegne in ognuno dei periodi di 12 mesi successivi al termine delle lezioni.

3. *Prova orale.*

La prova orale deve essere sostenuta nello stesso appello della prova scritta oppure in quello immediatamente successivo. Nel caso la prova orale non venga sostenuta (ad esempio perché la prova scritta non è risultata sufficiente), la prova d'esame, in accordo con il Regolamento Didattico di Ateneo, viene ugualmente verbalizzata a soli fini statistici utilizzando la dicitura 'abbandono'.

Ultimo aggiornamento 30/04/2018 18:30