

# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BERGAMO

## SCUOLA DI INGEGNERIA (DALMINE)

ANNO ACCADEMICO 2015/2016

INSEGNAMENTO: SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (6 CFU)

CORSO DI LAUREA: INGEGNERIA EDILE / GESTIONALE

DOCENTE: PROF. EGIDIO RIZZI

### INDICE DELLE LEZIONI

DATA	N. ORE	ARGOMENTO	N. ORE PROGR.
22/09/15 Lez. 01	1	Introduzione al corso. La Scienza delle Costruzioni. Meccanica dei Solidi e delle Strutture. Programma indicativo del corso. Il solido tipo "trave" (piana).	01
"	1	Analisi cinematica (piana). Gradi di libertà. Vincoli assoluti e gradi di vincolo (o di svincolo). Vincoli triplo (incastro), doppi (cerniera, pattino, manicotto), semplici (carrello, bipattino). Ipotesi sui vincoli.	02
23/09/15 Lez. 02	1	Computo dei $g_{dv}$ di vincoli assoluti e relativi. Gradi di libertà residui e labilità strutturale. Spostamenti finiti e infinitesimi (atti di moto). CIR dell'asta, per effetto dei vincoli introdotti. Cerniera propria (cerniera) e cerniera impropria (pattino, manicotto). Luogo di CIR (asse del carrello e del bipattino).	03
"	1	CN di non-labilità. Esempi di vincoli mal posti o inefficaci (schemi labili). Classificazione delle strutture (ipo, iso e iperstatiche). Analisi Cinematica e suoi approcci. Casi elementari ottenuti per sequenza di montaggio di schemi fondamentali.	04
30/09/15 Lez. 03	1	Schemi isostatici fondamentali del corpo rigido: asta incastrata, asta cerniera-carrello (avente asse del carrello non passante per la cerniera), asta tre-carrelli (avente assi non convergenti in un unico punto). Schemi isostatici fondamentali dei sistemi articolati. Asta tre-bielle. Biella (assoluta o relativa). Asse della biella. Ruolo cinematico della biella (equivalenza cinematica a carrello).	05
"	1	Arco a tre cerniere. Deduzione cinematica. Esempi labili (cerniere allineate) e non (cerniere non allineate), con cerniere proprie ed improprie. Meccanismo di trave. Quadrilatero articolato riconducibile ad arco a tre cerniere non allineate. Esempio labile: meccanismo di collasso di parete. Anello chiuso isostatico. Esempi di anello chiuso con diverse deduzioni di sequenza di montaggio.	06
02/10/15 Lez. 04	1	Calcolo delle reazioni vincolari (RV). Connotazione statica dei vincoli. Esempio di asta incastrata con carichi tipici. Carico distribuito: determinazione del risultante. Casi notevoli: $q=cost$ e $q=lin$ . Equazioni cardinali della statica (piana). RV dei vincoli visti.	07

"	1	Esempi di calcolo delle RV del corpo rigido: trave appoggio-appoggio con forza o con coppia concentrata; trave appoggio-appoggio e asta incastrata con $q=cost$ o $q=lin$ .	08
07/10/15 Lez. 05	1	Calcolo delle RV dei sistemi articolati. Esempio di anello chiuso isostatico con due possibili sequenze di montaggio. Conseguenti analisi statiche, secondo sequenza inversa a quella di montaggio. Apertura degli anelli chiusi. Scrittura delle equazioni di equilibrio relativo.	09
"	1	Calcolo delle RV di arco a tre cerniere non allineate. Ruolo statico della biella. Esempio simile con variazione del vincolo relativo e conseguente modifica delle RV. Esempio di quadrilatero articolato soggetto a sistema di forze autoequilibrato.	10
09/10/15 Lez. 06	1	Azioni Interne: azione assiale o normale (N), azione tagliante o taglio (T), azione flettente o momento flettente (M). Convenzioni. Esempi di trave a mensola con carichi concentrati d'estremità e carico uniformemente distribuito. Calcolo delle AI mediante scrittura delle equazioni di equilibrio. Riscontro dell'andamento funzionale di N,T,M per $q=0$ e $q=cost$ . Diagrammi di azione interna: rappresentazione grafica delle AI nei diagrammi N,T,M. Convenzioni di tracciamento.	11
"	1	Andamenti tipici di T e M nelle travi: trave appoggio-appoggio con carico concentrato (discontinuità "salto" di T) o con coppia concentrata (discontinuità "salto" di M); trave appoggio-appoggio o trave a mensola con carico uniformemente ripartito (T lineare e M parabolico).	12
14/10/15 Lez. 07	1	Equazioni indefinite di equilibrio del concio di trave rettilinea. Legame differenziale tra momento e taglio e tra momento e carico $q$ agente. Concavità di M nel verso di $q$ .	13
"	1	Dipendenze funzionali tipiche per i casi di interesse. Prova di flessione su 4 punti (tratto con $T=0$ e $M=cost$ ). Determinazione del momento massimo in tratto con carico uniformemente distribuito. Discontinuità "salto" delle AI. Commenti sui valori delle AI nei sistemi articolati.	14
16/10/15 Lez. 08	1	Introduzione alla meccanica dei continui: concetto di sforzo, di deformazione, di legame costitutivo (comportamento meccanico del materiale). Prova di trazione. Sforzo normale e sforzo di taglio. Deformazione longitudinale. Deformazione trasversale e coefficiente di contrazione trasversale o di Poisson. Classi di comportamento del materiale. Legge di Hooke generalizzata. Modulo di elasticità longitudinale o modulo di Young.	15
"	1	Effetto di contrazione trasversale e variazione/range del coefficiente di contrazione trasversale di Poisson (con caso limite per risposta con deformazione volumetrica nulla). Risposta a taglio. Prova di torsione. Sforzo di taglio e scorrimento angolare. Modulo di elasticità tangenziale. Cenno a materiali con comportamento non simmetrico a trazione/compressione (es. lapidei, calcestruzzo, muratura) e con risposta fragile/duttile.	16
21/10/15 Lez. 09	1	Statica dei continui. Continuo (non polare) di Cauchy. Forze di superficie e forze di volume. Definizioni ed ipotesi. Vettore sforzo di Cauchy. Proprietà. Componenti normale e tangenziale. Tetraedro di Cauchy. Equilibrio alla traslazione del tetraedro. Relazione di Cauchy.	17
"	1	Scrittura esplicita in termini di componenti. Tensore sforzo di Cauchy. Significato fisico delle componenti di sforzo. Simmetria del tensore sforzo da equilibrio alla rotazione del tetraedro (tensore del 2° ordine simmetrico).	18
23/10/15 Lez. 10	1	Equazioni indefinite di equilibrio dei continui (derivazione tramite scrittura diretta dell'equilibrio alla traslazione del parallelepipedo infinitesimo). Tensioni principali. Problema agli autovalori per il tensore sforzo di Cauchy.	19

"	1	Polinomio caratteristico. Invarianti di sforzo. Radici (reali) dell'equazione caratteristica. Ortogonalità mutua di autovettori corrispondenti ad autovalori distinti. Terna principale. Casistica delle radici. Classificazione dello stato di sforzo: triassiale, biassiale, monoassiale.	20
28/10/15 Lez. 11	1	Deformazioni elastiche elementari del concio di trave soggetto alle azioni interne N,T,M. Rigidezza assiale, rigidezza tagliante, rigidezza flessionale. Curvatura della linea d'asse inflessa. Legge di Eulero-Bernoulli-Navier.	21
"	1	Equazione differenziale della linea elastica. Mensola con carico concentrato ad un estremo. Condizioni al contorno e loro imposizione. Spostamenti caratteristici (coefficienti di influenza).	22
30/10/15 Lez. 12	1	Mensola con carico uniformemente ripartito. Risoluzione di strutture iperstatiche col metodo delle forze. Esempio incastro-appoggio. Condizione di congruenza. Soluzione con i coefficienti di influenza precedentemente calcolati.	23
"	1	Soluzione completa dell'esempio incastro-appoggio tramite il metodo della Linea Elastica. Possibilità di scelta dell'incognita iperstatica. Procedimento risolutivo. Quadro generale del metodo della Linea Elastica. Campi di integrazione e sistemi di riferimento. Scelta dell'eventuale incognita iperstatica. Scrittura e imposizione delle condizioni al contorno. Esempio.	24
11/11/15 Lez. 13	1	Principio dei Lavori Virtuali (PLV). Sistemi staticamente e cinematicamente ammissibili. Enunciato del PLV quale CN di equilibrio e congruenza. Calcolo di componenti di spostamento tramite il PLV (esempio di trave a mensola con q uniforme). Struttura fittizia. Scrittura del PLV.	25
"	1	Soluzione di strutture iperstatiche tramite il PLV. Esempio incastro-appoggio con q uniforme. Struttura fittizia e struttura principale isostatica. Sovrapposizione degli effetti. Soluzione dell'incognita iperstatica. Calcolo successivo di componenti di spostamento tramite il PLV.	26
13/11/15 Lez. 14	1	Cerchio di Mohr. Derivazione delle equazioni parametriche della circonferenza (da equilibrio diretto in sede indefinita). Costruzione del cerchio nel piano di Mohr ( $\sigma, \tau$ ). Centro e raggio del CM.	27
"	1	Proprietà del cerchio di Mohr. Polo del CM. Tensioni principali e direzioni principali di tensione. Sforzo tangenziale massimo e direzioni secondo cui agisce la $\tau^{\max}$ , a $45^\circ$ rispetto alle direzioni principali.	28
18/11/15 Lez. 15	1	Esempi rilevanti: CM per stati di sforzo piano alla DSV (con una componente di sforzo normale nulla). CM per stato di trazione (o compressione) monoassiale. CM per stato di sforzo di taglio puro. Implicazioni del CM nella verifica di resistenza di materiali e strutture.	29
"	1	Cerchi e arbelo di Mohr. Caso piano: $\tau^{\max}$ fuori piano per tensioni principali nel piano aventi lo stesso segno ( $\sigma_I \cdot \sigma_{II} > 0$ ).	30
20/11/15 Lez. 16	1	Deformazione. Vettore spostamento e tensore gradiente di spostamento. Decomposizione additiva del gradiente di spostamento: parte simmetrica $\epsilon$ (tensore delle piccole deformazioni) e parte emisimmetrica $\theta$ (tensore delle piccole rotazioni). Significato fisico delle componenti di $\epsilon$ .	31
"	1	Significato fisico delle componenti di $\theta$ . Deformazioni principali e direzioni principali di deformazione. Problema agli autovalori per $\epsilon$ . Equazione caratteristica e invarianti di deformazione. Rappresentazione di $\epsilon$ nella terna principale. Deformazione volumetrica e significato fisico dell'invariante primo di deformazione.	32
25/11/15 Lez. 17	1	Legame costitutivo. Problema elastico: bilancio equazioni / incognite. Legame elastico, lineare, isotropo. Legge di Hooke generalizzata (per sovrapposizione degli effetti visti nel caso monoassiale). Legge costitutiva in notazione matriciale. Matrice di cedevolezza.	33

"	1	Energia di deformazione elastica. Definizione positiva dell'energia di deformazione e della matrice di cedevolezza. Delimitazioni sui parametri elastici. Scrittura tensoriale compatta del legame costitutivo. Relazioni tra i parametri elastici E, G, $\nu$ . Risposta elastica volumetrica. Modulo di volume K.	34
27/11/15 Lez. 18	1	Parti volumetrica e deviatorica di $\epsilon$ e di $\sigma$ . Significato fisico. Rappresentazione nello spazio delle deformazioni principali e nello spazio degli sforzi principali. Asse idrostatico, piano deviatorico. Ortogonalità mutua delle parti volumetrica e deviatorica. Invarianti dei deviatori. Risposte elastiche volumetrica e deviatorica disaccoppiate. Energie di deformazione volumetrica e deviatorica.	35
"	1	Verifica di resistenza (elastica). Grandezza Indice del Pericolo. Verifica nel dominio degli sforzi in termini di tensione equivalente. Criterio di Galileo-Rankine-Navier: concetto base; derivazione analitica; rappresentazione nel caso piano; dominio di resistenza. Ruolo degli stati di sforzo piano con $\sigma_I = \sigma_{II}$ (equitensione biassiale) vs. $\sigma_I = -\sigma_{II}$ (taglio puro).	36
02/12/15 Lez. 19	1	Criterio di de Saint Venant-Grashof. Formulazione concettuale (duale a G-R-N) in termini di deformazione normale. Scrittura analitica nello spazio degli sforzi. Caso piano e sua rappresentazione (intersezione di due triangoli isosceli). Condizioni per forma rombica. Rappresentazione del criterio di DSV-G per materiali a comportamento simmetrico. Validità del criterio per stati di sforzo piano alla DSV con $\sigma_I \cdot \sigma_{II} \leq 0$ . Criterio di Beltrami. Enunciato in termini energetici. Tensione equivalente di Beltrami. Rappresentazione nel caso piano: ellisse di Beltrami e cf. con DSV-G.	37
"	1	Criterio di Hüber-Hencky-von Mises: significato fisico; derivazione in termini dell'energia deviatorica; tensione equivalente di $\sqrt{3}M$ ; caso limite di Beltrami per $\nu \rightarrow 1/2$ ; rappresentazione nel caso piano; ellisse di von Mises; resistenza a taglio secondo $\sqrt{3}M$ , $\tau_0 = \sigma_0 / \sqrt{3}$ . Criterio di Guest-Tresca: significato fisico in termini di $\tau^{\max}$ ; resistenza a taglio parametrizzata su prova di trazione, $\tau_0 = \sigma_0 / 2$ ; rappresentazione nel caso piano, esagono di Tresca. Ordine di conservatività dei diversi criteri. Formule di verifica per stati di sforzo piano alla DSV.	38
04/12/15 Lez. 20	1	Problema di de Saint Venant. Ipotesi e definizioni. Postulato di DSV. Riferimento principale d'inerzia.	39
"	1	Richiami sulla geometria delle aree: area, momenti statici, momenti d'inerzia, baricentro. Teorema di trasposizione. Assi principali ed ellisse principale d'inerzia. Considerazioni per sezioni simmetriche. Es. della sezione rettangolare. Sezioni composte da aree elementari.	40
09/12/15 Lez. 21	1	Casi di DSV: 1) Azione assiale. Approccio seminverso agli sforzi. Soluzione completa in termini di sforzo e deformazione. Allungamento e contrazione omotetica.	41
"	1	Casi di DSV: 2) Flessione (retta). Soluzione completa in termini di sforzo e deformazione. Formula di Navier per la flessione. Modulo di resistenza a flessione. Asse neutro. Rotazione flessionale e legame curvatura-momento. Deformazione nel piano della sezione (curvatura anticlastica).	42
11/12/15 Lez. 22	1	Sollecitazioni composte: flessione deviata. Campo di sforzo lineare per sovrapposizione degli effetti di due flessioni rette. Asse neutro, coniugato dell'asse di sollecitazione. Involuzione dei diametri coniugati (polarità d'inerzia rispetto all'ellisse centrale d'inerzia). Asse di inflessione.	43
	1	Tensoflessione (retta). Eccentricità $e=M/N$ . Campo di sforzo per sovrapposizione degli effetti. Asse neutro. Antipolarità d'inerzia (relazione tra centro di sollecitazione C ed asse neutro n-n; sistema polo/antipolare). Costruzioni grafiche dell'asse n-n.	44

16/12/15 Lez. 23	1	Casi di DSV: 3) Taglio (o flessione composta). Caso della sezione simmetrica e simmetricamente caricata. Trattazione approssimata alla Jourawsky. Formula di Jourawsky. Derivazione e significato fisico.	45
"	1	Tensioni tangenziali $\tau_{zx}$ nel caso di contorno inclinato rispetto all'asse di simmetria (y). Andamento antisimmetrico delle $\tau_{zx}$ , lineari lungo la corda (da equazione indefinita di equilibrio). Espressione analitica delle $\tau_{zx}$ . Vettore $\tau_z$ risultante.	46
18/12/15 Lez. 24	1	Deformazione a taglio. Scorrimento angolare medio e sua valutazione tramite PLV. Fattore di taglio. Caso della sezione rettangolare: andamento parabolico delle $\tau_{zy}$ con valore massimo in corrispondenza del baricentro. Sezioni composte da rettangoli elementari; discontinuità "salto" delle $\tau_z$ in corrispondenza di discontinuità della larghezza della corda.	47
"	1	Casi di DSV: 4) Torsione (circolare). Derivazione del campo di sforzo con approccio seminverso agli sforzi. Andamento lineare a farfalla delle $\tau_{zt}$ . Formula per la $\tau^{\max}$ ; modulo di resistenza a torsione. Deformazione torsionale del concio. Rigidezza torsionale. Fattore di torsione. Analogie con la flessione retta.	48