

# Programma del Corso di **SCIENZA DELLE COSTRUZIONI**

Corsi di laurea in **Ingegneria Civile ed Ambientale**  
**Ingegneria Industriale**  
**Ingegneria Navale**

Anno Accademico **2018/19**

Crediti **9**

Prof. **Daniele Zaccaria**

## MECCANICA DEI SOLIDI

### **Algebra tensoriale**

*Quello che si richiede è di sapere utilizzare i concetti dell'algebra tensoriale ovunque ciò sia necessario e quindi se il concetto di tensore risulta sconosciuto sarà utile studiarne le proprietà:*

Tensori doppi - Operazioni tra tensori - Tensori simmetrici ed emisimmetrici - Prodotto tensoriale di due vettori - Gradiente di un campo vettoriale - Componenti di un tensore doppio - Operazioni tensoriali in componenti - Prodotto vettoriale - Assiale di un tensore emisimmetrico - Doppio prodotto vettoriale

*Dato che un tensore doppio viene rappresentato in componenti da una matrice lo studio dei tensori ortogonali, dei tensori rotazione e delle direzioni principali di un tensore doppio dovrebbe essere sostanzialmente noto:*

Tensori ortogonali e tensori rotazione - Vettori rotazione - Trasformazione delle componenti di un tensore doppio - Formule di rotazione nel piano - Autovalori e autovettori di un tensore doppio - Diagonalizzazione della matrice delle componenti di un tensore doppio - Caso piano - Caso spaziale - Invarianti - Traccia e determinante - Tensori sferici e deviatorici - Prodotto scalare di due tensori doppi

*La rappresentazione di un tensore doppio nel piano di Mohr è invece un argomento completamente nuovo e che fa quindi parte del corso:*

Rappresentazione di Mohr - Circonferenza di Mohr - Arbelo di Mohr - Intervalli di variabilità delle componenti locali di un tensore doppio - Tensori non invertibili - Tensori monoassiali - Tensori piani - Tensori deviatorici piani

### **Modelli meccanici delle strutture**

Corpo continuo - Solidi - Modelli monodimensionali - Geometria delle curve spaziali - Tangente, normale principale e binormale - Piano osculatore - Curvatura e raggio di curvatura - Curvatura di torsione - Fili - Travi - Linea d'asse e sezioni rette - Travi di sezione sottile - Linea media e corda ortogonale

### **Fondamenti di meccanica dei solidi**

Cinematica dei solidi - Funzione di deformazione - Spostamento - Gradienti della deformazione e degli spostamenti - Misure di deformazione - Dilatazione lineare - Dilatazione quadratica - Dilatazione cubica - Scorrimento tra due linee orientate - Scorrimento tra una linea ed una superficie - Moto - Velocità - Equazioni di bilancio - Massa - Quantità di moto - Momento della quantità di moto - Equazioni cardinali della statica - Forze di volume e di superficie - Forze per unità di volume e per unità di superficie - Tensione interna - Momenti di volume e per unità di volume - Momenti di superficie e per unità di superficie - Equazioni di bilancio in forma integrale - Principio di azione e reazione - Ipotesi di Cauchy - Componenti normale e tangenziale di tensione - Ipotesi di piccoli spostamenti e piccole deformazioni - Cinematica linearizzata - Piccole rotazioni

### **Comportamento dei materiali**

Omogeneità - Isotropia - Principio di Saint-Venant - Prova di trazione monoassiale - Stato di trazione semplice - Dilatazione laterale - Diagramma tensione-dilatazione per un acciaio dolce - Tensione di snervamento - Deformazioni plastiche - Plasticità perfetta - Incrudimento - Isteresi elastica - Tensione di rottura e strizione - Prova di torsione - Stato di taglio semplice - Modelli ideali di comportamento - Elasticità lineare - Modulo di Young - Modulo di Poisson - Modulo di elasticità tangenziale

### **Analisi della tensione e della deformazione**

Tensore degli sforzi di Cauchy - Significato fisico delle componenti del tensore degli sforzi - Divergenza del tensore degli sforzi e sue componenti - Equazione del moto - Equazione indefinita di equilibrio - Equilibrio al contorno - Simmetria del tensore degli sforzi - Teorema di reciprocità delle tensioni tangenziali - Significato fisico delle coordinate nel piano di Mohr - Stati di trazione e di taglio semplice - Indeterminatezza statica delle tensioni - Autotensioni - Configurazione naturale - Tensori di deformazione e di rotazione infinitesime - Calcolo della dilatazione lineare - Calcolo dello scorrimento - Significato fisico delle componenti del tensore di deformazione - Calcolo dello scorrimento tra una direzione e il piano ortogonale - Significato fisico delle coordinate nel piano di Mohr - Stato di dilatazione e di scorrimento semplice - Coefficiente di dilatazione cubica - Compatibilità della deformazione - Lavoro virtuale esterno e lavoro virtuale interno - Principio dei lavori virtuali - Equivalenza tra principio dei lavori virtuali e equilibrio delle forze

### **Elasticità lineare isotropa**

Legame costitutivo - Legame costitutivo elastico - Legame costitutivo elastico lineare - Tensore di elasticità e sue simmetrie minori - Vettori algebrici di sforzo e di deformazione - Rappresentazione algebrica del tensore di elasticità - Ruolo della configurazione naturale - Sovrapposizione degli effetti - Lavoro di deformazione - Energia elastica di deformazione - Energia elastica di deformazione per unità di volume - Simmetria maggiore e definitezza positiva del tensore di elasticità - Teorema di Clapeyron - Lavoro mutuo e teorema di Betti - Tensore di elasticità inverso - Energia complementare elastica - Elasticità isotropa - Legge di Hooke e legge di Hooke inversa - Legge di Hooke per gli stati sferici e deviatorici - Direzioni principali di elasticità - Legge di Hooke per gli stati di scorrimento e di taglio semplice - Relazione tra i tre moduli tecnici - Costanti di Lamé e loro relazioni con i moduli tecnici - Matrici di elasticità isotropa - Limiti delle costanti elastiche - Energia elastica di deformazione ed energia complementare nel caso isotropo

## **MECCANICA DELLE TRAVI**

### **Fondamenti di meccanica delle travi**

Modellizzazione geometrica - Travi snelle e tozze, a grande e piccola curvatura, a lenta, veloce e brusca variazione di sezione - Riferimento locale - Modello cinematico di sezione indeformata - Variabili cinematiche - Vettori spostamento e rotazione - Componenti locali degli spostamenti e delle rotazioni - Forze e coppie per unità di linea e loro relazioni con le forze distribuite nel solido - Forze e coppie concentrate - Caratteristiche della sollecitazione e loro relazioni con le tensioni interne distribuite sulle sezioni rette - Componenti locali delle forze e delle caratteristiche della sollecitazione - Relazione tra le componenti delle caratteristiche della sollecitazione e le componenti di tensione - Vincoli e reazioni vincolari - Equazioni indefinite di equilibrio - Equazioni di discontinuità - Equazioni di equilibrio al contorno - Polo di calcolo del momento - Vettore algebrico di sollecitazione - Determinatezza statica delle caratteristiche della sollecitazione - Spostamento e rotazione relativi per unità di linea - Componenti di deformazione locale - Dilatazione della linea d'asse e scorrimento tra linea d'asse e sezione retta - Curvatura flessionale e angolo unitario di torsione - Integrazione delle equazioni di congruenza - Calcolo di spostamenti e rotazioni col metodo cinematico - Trascurabilità del contributo della dilatazione e dello scorrimento della linea d'asse sul calcolo di spostamenti e rotazioni - Travi inflesse - Polo della trasformazione rigida relativa - Vettore algebrico di deformazione - Travi piane - Trave staticamente piana - Trave cinematicamente piana - Statica e cinematica della trave piana e della trave piana ad asse rettili-

neo - Lavoro virtuale esterno e lavoro virtuale interno - Principio dei lavori virtuali - Equivalenza tra principio dei lavori virtuali e equilibrio delle forze

### **Travi elastiche lineari**

Teoria tecnica delle travi - Lavoro di deformazione - Energia elastica di deformazione - Teorema di Clapeyron - Lavoro mutuo e teorema di Betti - Centro di flessione - Centro di taglio - Matrice di elasticità - Simmetria e definitezza positiva della matrice di elasticità - Matrice di elasticità inversa - Energia complementare elastica - Modello di Eulero-Bernoulli - Legame costitutivo assiale - Vettore dei momenti statici - Baricentro - Legame costitutivo flessionale - Tensori di inerzia e di Eulero e momento di inerzia polare - Travi omogenee - Travi piane - Modello di Saint-Venant - Problema di Saint-Venant - Principio di Saint-Venant - Ipotesi di Saint-Venant - Soluzione del problema della torsione con la funzione di ingobbamento: equilibrio indefinito (equazione di Laplace), equilibrio sul contorno laterale (problema di Neumann), equivalenza statica sulle basi ed energia complementare (fattore torsionale di rigidezza) - Soluzione del problema della torsione con la funzione delle tensioni: congruenza (equazione di Poisson), equilibrio sul contorno laterale (problema di Dirichlet), equivalenza statica sulle basi (fattore torsionale di rigidezza) - Legame costitutivo torsionale - Problema di flessione, taglio e torsione e calcolo del centro di taglio - Influenza dell'assialsimmetria e della polarsimmetria di una sezione sulla posizione del centro di taglio

### **Geometria delle masse**

Masse distribuite su un'area piana - Momenti statici - Rappresentazione algebrica del vettore dei momenti statici - Coordinate del baricentro - Teorema di Varignon - Influenza dell'assialsimmetria (in generale obliqua) e della polarsimmetria di un'area piana sulla posizione del baricentro - Relazione tra posizione del baricentro ed involuppo delle rette radenti - Momento di inerzia rispetto ad un asse - Momento centrifugo - Rappresentazione algebrica dei tensori di inerzia e di Eulero e del momento di inerzia polare - Influenza dell'assialsimmetria (in generale obliqua) di un'area piana nel calcolo dei momenti centrifughi - Direzioni e momenti principali di inerzia - Formule di trasposizione o del trasporto (teorema di Huyghens-Steiner) - Formule di rotazione - Aree piane omogenee - Rettangolo - Rettangolo sottile - Triangolo rettangolo - Arco circolare sottile - Settore circolare - Calcolo delle proprietà inerziali di un'area piana composta di più parti semplici

### **Distribuzione delle tensioni normali**

Calcolo delle tensioni normali - Formula di Navier - Forza normale centrata - Flessione retta - Flessione deviata - Assi momento, di sollecitazione, neutro e di flessione - Significato statico e cinematico dell'asse neutro - Relazione tra asse neutro e asse di sollecitazione - Assi coniugati - Assi coniugati nel riferimento principale - Sistema di riferimento coniugato - Formule monomie della flessione deviata - Raggio di inerzia - Ellisse centrale di inerzia - Proprietà delle tangenti e dei diametri dell'ellisse centrale di inerzia - Forza normale eccentrica - Centro di sollecitazione - Intersezione dell'asse neutro della forza normale eccentrica con l'asse di sollecitazione e con gli assi principali di inerzia - Formula monomia della forza normale eccentrica

### **Distribuzione delle tensioni tangenziali**

La torsione nella sezione circolare piena e cava - Formula di Bredt e fattore torsionale di rigidezza per le sezioni sottili chiuse biconnesse - Funzione delle tensioni e fattore torsionale di rigidezza per le travi di sezione sottile aperta - Taglio - Flessione associata al taglio - Tensioni tangenziali medie ortogonali ad una corda - Formula di Jourawski binomia - Formula di Jourawski monomia - Il taglio nelle travi di sezione sottile aperta - Scomposizione nella somma di due problemi - Determinazione del centro di taglio - Diagrammi delle tensioni tangenziali e analisi qualitativa nel caso di tratti rettilinei a spessore costante - Equilibrio alla Jourawski nei nodi doppi e tripli - Centro di taglio nelle sezioni composte di due tratti rettilinei - Sezioni a C, a doppio T, a L e a Z - Il taglio nelle sezioni compatte simmetriche (sezioni rettangolare e triangolare)

## TRAVI E SISTEMI DI TRAVI

### **Analisi statica e cinematica**

Vincoli piani semplici, doppi e tripli - Sistemi di travi e vincoli interni - Grado di libertà del sistema svincolato e numero di vincoli semplici interni ed esterni - Grado di labilità - Vincoli efficaci e inefficaci o iperstatici - Grado di iperstaticità - Sistemi isostatici - Condizione necessaria di isostaticità - Sistemi di travi equilibrati e non equilibrati - Sistemi di travi equilibrati staticamente determinati e staticamente indeterminati - Variabili statiche - Equazioni di equilibrio - Matrice statica - Condizione di equilibrio - Dualità statico cinematica - Sistemi labili non equilibrati - Analisi cinematica dei sistemi rigidi piani - Centri assoluti di rotazione - Centri relativi di rotazione - Allineamento dei centri di due corpi - Allineamento dei centri relativi di tre corpi - Vincoli e centri di rotazione - Catene cinematiche

### **Statica dei sistemi isostatici piani**

Diagrammi delle caratteristiche della sollecitazione - Convenzioni di segno - Analisi qualitativa su tratti rettilinei non caricati - Analisi qualitativa su tratti rettilinei caricati da una forza distribuita costante flessionale: scomposizione in due casi semplici e costruzione della parabola tramite tre punti e tre tangenti - Curva delle pressioni - Tratto scarico - Arco circolare a tre cerniere soggetto a carico radiale - Trave appoggiata soggetta a carico ripartito - Trave appoggiata soggetta a carico ripartito e a spinta laterale - Curva delle pressioni dovuta a un carico ripartito costante per unità di proiezione nella direzione ortogonale al carico - Arco parabolico soggetto a carico ripartito costante per unità di proiezione ortogonale al carico - Sistemi chiusi isostatici - Calcolo delle reazioni vincolari col principio dei lavori virtuali, valutando gli spostamenti virtuali con le catene cinematiche - Travature reticolari isostatiche - Travature reticolari triangolate - Soluzione delle travature reticolari triangolate isostatiche col metodo dei nodi - Soluzione delle travature reticolari isostatiche col metodo delle sezioni di Ritter

### **Aste snelle compresse**

Biforcazione dell'equilibrio - Calcolo dei carichi critici col metodo statico - Asta di Eulero - Carico critico di Eulero

### **Spostamenti e rotazioni in sistemi piani isostatici**

Deformata della linea d'asse sotto l'ipotesi di trave inflessa - Calcolo di spostamenti e rotazioni col metodo cinematico - Trascurabilità dei contributi del taglio e della della forza normale sul calcolo di spostamenti e rotazioni - Calcolo di spostamenti col principio dei lavori virtuali - Deformate e coefficienti elastici di mensola - Arco circolare soggetto ad un carico ripartito - Strutture che hanno la stessa deformazione - Deformate e coefficienti elastici di travi appoggiate - Vincoli cedevoli elasticamente e anelasticamente - Distorsioni concentrate - Distorsioni termiche

### **Sistemi piani iperstatici**

Soluzione dei sistemi iperstatici con il metodo delle forze - Travi appoggiate - Travi Continue - Travi continue soggette a carichi di tipo flessionale - Iperstaticità assiali e flessionali di sistemi di travi ad asse rettilineo - Trave appoggiata soggetta ad una distorsione termica uniforme - Travi incastro-appoggio - Travi incastro-incastro - Trave incastro-incastro soggetta a una distorsione termica a farfalla - Sistemi simmetrici - Azioni su sistemi simmetrici - Sistemi assialsimmetrici e polarsimmetrici - Sistemi di pendoli - Sistema di pendoli labile e iperstatico non equilibrato - Telai piani - Telai a nodi fissi e a nodi spostabili - Travature reticolari iperstatiche a nodi cerniera - Travature reticolari iperstatiche a nodi rigidi