

Programma del Corso di  
**SCIENZA DELLE COSTRUZIONI**

Corsi di laurea:

**Ingegneria Civile ed Ambientale**  
**Ingegneria Industriale**  
**Ingegneria Navale**

Anno Accademico 2012/13

Crediti: 9

Prof. Daniele Zaccaria

**STRUMENTI E CONCETTI**

**Grandezze fisiche, vettori e tensori**

Grandezze fisiche - Sistema internazionale di unità - Tensori doppi - Operazioni tra tensori - Componenti di un tensore doppio - Operazioni tensoriali in componenti - Tensori simmetrici ed emisimmetrici e scomposizione di un tensore generico - Assiale di un tensore emisimmetrico - Doppio prodotto vettoriale - Gradiente di un campo vettoriale - Componenti del gradiente di un campo vettoriale - Trasformazioni rigide - Traslazione - Rotazione attorno ad un asse - Tensore rotazione - Componenti di un tensore rotazione - Piccole rotazioni e loro rappresentazione tramite una trasformazione emisimmetrica - Trasformazione delle componenti di un tensore doppio - Diagonalizzazione della matrice delle componenti di un tensore doppio - Autovalori e autovettori di un tensore doppio - Equazione caratteristica - Autovalori e autovettori nel caso piano - Formule di rotazione - Circonferenza di Mohr - Autovalori e autovettori nel caso spaziale - Invarianti - Traccia e determinante - Tensori sferici e deviatorici e scomposizione di un tensore generico - Prodotto scalare di due tensori doppi - Tensori definiti positivi - Circonferenze di Mohr associate alle direzioni principali - 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 e fluidi - Solidi 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 - Problema di Saint-Venant - Modelli bidimensionali - Membrane - Lastre - Superficie media e segmento ortogonale

**Fondamenti di meccanica dei solidi**

Cinematica dei solidi - Deformazione e spostamento - Invertibilità e continuità della funzione di deformazione - Gradienti della deformazione e degli spostamenti - Esistenza e invertibilità del gradiente della deformazione - Jacobiano della deformazione e sua positività - 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 - Bilancio della quantità di moto in forma integrale - Momenti di volume e di superficie - Momenti per unità di volume e per unità di superficie - Bilancio del momento della quantità di moto in forma integrale - Principio di azione e reazione - Ipotesi di Cauchy - Componenti normale e tangenziale di tensione

### **Comportamento dei materiali**

Omogeneità - Isotropia - Prova di trazione monoassiale - Stati di trazione e di dilatazione semplici - Dilatazione laterale - Prova di torsione - Stati di taglio e di scorrimento semplici - Modelli ideali di comportamento - Elasticità lineare - Moduli tecnici - Modulo di Young - Modulo di Poisson - Modulo di elasticità tangenziale - Elasticità non lineare - Limite di proporzionalità - Moduli secante e tangente - Tensione di snervamento - Criteri di snervamento - Elastoplasticità - Incrudimento - Isteresi elastica - Viscoelasticità - Elasticità ritardata - Rilassamento

### **Fondamenti di meccanica della trave**

Geometria della trave - 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 - Travi piane - Trave cinematicamente piana - Trave staticamente piana - Vincoli e reazioni vincolari - Vincoli piani semplici - Vincoli piani doppi e tripli - Sistemi di travi e vincoli interni

## **SOLLECITAZIONE E DEFORMAZIONE**

### **Tensione e deformazione nei solidi**

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 - Coordinate nel piano di Mohr - Stati di trazione e di taglio semplice - Indeterminatezza statica delle tensioni - Autotensioni - Configurazione naturale - Piccoli spostamenti e piccole deformazioni - Modello di corpo rigido - Teoria del primo ordine - Teoria del secondo ordine - Cinematica linearizzata - 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 - Coordinate nel piano di Mohr - Stato di dilatazione e di scorrimento semplice - Coefficiente di dilatazione cubica - Compatibilità della deformazione

### **Sollecitazione e deformazione nelle travi**

Equazioni indefinite di equilibrio - Equazioni di discontinuità - Equazioni di equilibrio al contorno - Componenti scalari delle equazioni indefinite di equilibrio e di discontinuità - Momenti flettente e torcente rispetto ad un punto generico - Determinatezza statica delle caratteristiche della sollecitazione - Statica della trave piana - Diagrammi delle caratteristiche della sollecitazione - Convenzioni di segno - Statica della trave piana ad asse rettilineo - Analisi qualitativa su tratti non caricati - Analisi qualitativa su tratti caricati da una forza distribuita costante flessionale: scomposizione in due casi semplici e costruzione della parabola - 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 - Deformazioni nel caso di trave piana e di trave piana ad asse rettilineo - Dilatazione e scorrimento della generica fibra longitudinale - 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 - Trave inflessa - Vincolo di trave inflessa nel caso piano ad asse rettilineo

### **Principio dei lavori virtuali**

Principio dei lavori virtuali in meccanica dei solidi - Principio dei lavori virtuali in meccanica della trave - Vettori algebrici di sforzo e di deformazione

### **Sistemi di travi rigide**

Sistemi di travi equilibrati e non equilibrati - Sistemi di travi equilibrati staticamente determinati

e staticamente indeterminati - Numero di vincoli semplici interni ed esterni - Sistema svincolato - Variabili statiche - Equazioni di equilibrio - Matrice statica - Condizione di equilibrio - Grado di libertà del sistema svincolato - Variabili cinematiche - Equazioni dei vincoli - Matrice cinematica - Grado di labilità - Vincoli efficaci e inefficaci o iperstatici - Grado di iperstaticità - Sistemi isostatici - Condizione necessaria di isostaticità - Lavoro delle forze esterne e delle reazioni vincolari - 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**

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 isostatiche col metodo dei nodi - Strutture reticolari a nodi canonici - Soluzione delle travature reticolari isostatiche col metodo delle sezioni di Ritter

## **ELASTICITÀ LINEARE**

#### **Elasticità lineare in meccanica dei solidi**

Legame costitutivo - Elasticità lineare - Tensore di elasticità e sue simmetrie minori - Rappresentazione algebrica del tensore di elasticità - Problema elastico lineare - Autotensioni - 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 - Teorema di Betti - Tensore di elasticità inverso - Energia complementare elastica - Unicità della soluzione - Elasticità isotropa - Costanti di Lamé - Legge di Hooke - Relazioni tra costanti di Lamé e moduli tecnici - Direzioni principali di elasticità - Legge di Hooke inversa - Limiti delle costanti elastiche - Energia elastica di deformazione ed energia complementare nel caso isotropo

#### **Elasticità lineare in meccanica delle travi**

Legame costitutivo - Elasticità lineare - Matrice di elasticità - Lavoro di deformazione - Energia elastica di deformazione - Energia elastica di deformazione per unità di linea - Simmetria e definitezza positiva della matrice di elasticità - Teorema di Clapeyron - Lavoro mutuo - Teorema di Betti - Matrice di elasticità inversa - Energia complementare elastica - Indipendenza dei problemi assiale-flessionale e torsionale-tagliante - Centri di flessione e di taglio - Legami costitutivi, principio dei lavori virtuali ed energia elastica scritti rispetto ai centri di flessione e di taglio

#### **Problema assiale-flessionale**

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

#### **Geometria delle masse**

Masse distribuite su un'area piana - Momenti statici - Rappresentazione algebrica del vettore dei momenti statici - Calcolo 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 - Raggio di inerzia - Ellisse centrale di inerzia - 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

#### **Problema torsionale-tagliante**

Problema di Saint-Venant - Principio di Saint-Venant - Ipotesi di Saint-Venant - Estensione del problema 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) - 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 - 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)

#### **Cinematica dei sistemi isostatici piani**

Deformata della linea d'asse sotto l'ipotesi di trave inflessa - Trascurabilità del contributo dello sforzo normale sul calcolo di spostamenti e rotazioni - Calcolo di spostamenti e rotazioni col metodo cinematico - Deformate e coefficienti elastici di mensole e travi appoggiate - Calcolo di spostamenti col principio dei lavori virtuali

### **SOLLECITAZIONI SEMPLICI**

#### **Tensioni normali**

Calcolo delle tensioni normali - 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 - 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 - Formula di Navier

#### **Tensioni tangenziali**

La torsione nella sezione circolare piena e cava - La torsione nelle sezioni sottili chiuse biconnesse: formula di Bredt e fattore torsionale di rigidezza - La torsione nelle travi di sezione sottile aperta - Flessione associata al taglio - Equilibrio alla Jourawski di un concio di trave per la determinazione delle tensioni tangenziali medie ortogonali ad una corda - Formula di Jourawski binomia - Formula di Jourawski monomia - Il taglio nelle sezioni compatte simmetriche (sezioni rettangolare e triangolare) - Il taglio nelle travi di sezione sottile aperta: 1) determinazione del centro di taglio; 2) scomposizione nella somma di due problemi; 3) diagrammi delle tensioni tangenziali e analisi qualitativa nel caso di tratti rettilinei a spessore costante; 4) equilibrio alla Jourawski nei nodi doppi e tripli; 5) centro di taglio nelle sezioni composte di due tratti rettilinei - Sezioni a C, a doppio T, a L e a Z - Il taglio nelle travi di sezione sottile chiusa simmetrica

### **SISTEMI DI TRAVI IPERSTATICI**

Soluzione dei sistemi iperstatici con il metodo delle forze - Iperstaticità assiali e flessionali - Strutture inflesse e strutture prevalentemente soggette a forza normale - Travi continue soggette a forze di tipo flessionale - Travature reticolari a nodi rigidi caricate solo nei nodi - Telai a nodi fissi e a nodi spostabili - Travi appoggio-incastro - Travi incastro-incastro - Vincoli cedevoli elasticamente e anelasticamente - Distorsioni concentrate - Distorsioni termiche - Sistemi assialsimmetrici e polarsimmetrici caricati simmetricamente ed emisimmetricamente - Scomposizione di un carico generico