

Programma di **SCIENZA DELLE COSTRUZIONI T** per l'Anno Accademico 2009/2010  
**Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio**  
**Prof. Elena Ferretti**

**ALGEBRA VETTORIALE** 1) Vettore. 2) Vettori equipollenti. 3) Vettore applicato. 4) Cursore. 5) Prodotto scalare. 6) Prodotto vettoriale. 7) Momento polare di un vettore e di un sistema di vettori. 8) Coppia. 9) Vettore somma. 10) Vettore differenza. 11) Vettore risultante. 12) Sistemi equivalenti di vettori. 13) Sistemi in equilibrio di vettori. 14) Equazioni cardinali della Statica. 15) Equilibrante di un sistema di vettori. 16) Operazioni invariantive. 17) Forza. 18) Risultante di un sistema piano di forze. 19) Sistemi equivalenti di forze. 20) Sistemi in equilibrio di forze. 21) Condizioni di equivalenza a zero. 22) Composizione delle forze nel piano.

**GEOMETRIA DELLE MASSE** 1) Baricentro di un sistema discreto di masse. 2) Momento statico di un sistema discreto e di un sistema continuo di masse. 3) Momenti d'inerzia assiali di un sistema discreto e di un sistema continuo di masse. 4) Proprietà distributiva dei momenti statici e d'inerzia. 5) Momento d'inerzia polare di un sistema discreto e di un sistema continuo di masse. 6) Calcolo dei momenti statici d'inerzia e centrifughi delle figure elementari (rettangolo, cerchio, triangolo rettangolo, semicorona circolare, semicerchio). 7) Utilizzo del momento d'inerzia polare per il calcolo del momento d'inerzia di un cerchio rispetto ad un suo diametro. 8) Primo e terzo teorema del trasporto con applicazioni. 9) Leggi di trasformazione per rotazione del sistema di riferimento; momenti d'inerzia nel sistema di riferimento ruotato; equazioni parametriche in  $2\alpha$  dei momenti d'inerzia assiali e relativa rappresentazione grafica. 10) Circoli di Mohr: costruzione, momenti principali d'inerzia, polo di Mohr e sua proprietà, assi principali d'inerzia. 11) Procedimento analitico per il calcolo degli assi principali d'inerzia: angoli  $\alpha_0$  per i quali si ha un estremante di  $I_x$  e valori assunti in loro corrispondenza da  $I_{xy}$  e  $I_{yx}$ , relazione intercorrente tra le derivate seconde di  $I_x$  e  $I_y$ . 12) Espressioni dei momenti principali d'inerzia per  $I_{x_0} > I_{y_0}$  e  $I_{x_0} < I_{y_0}$  e loro rappresentazione grafica. 13) Confronto tra le circonferenze descritte dalle eq. 30 e dalle eq. 38. 14) Raggi di inerzia; ellisse centrale d'inerzia; polare di un punto rispetto all'ellisse centrale d'inerzia; polarità. 15) Poli coniugati in una polarità; rette coniugate in una polarità; teorema di reciprocità per centri propri e impropri. 16) Diametro coniugato alla direzione di una retta e sua costruzione grafica. 17) Antipolo, antipolare, antipolarità, antipoli coniugati nell'antipolarità e loro relazione analitica. 18) Costruzione grafica dell'antipolo e dell'antipolare di un polo assegnato; casi particolari per polo coincidente col baricentro e polo improprio. 19) Nocciolo centrale d'inerzia e sue proprietà.

**ANALISI DELLA DEFORMAZIONE** 1) Campo di spostamento e sue proprietà. Dilatazione lineare specifica e scorrimento angolare. 2) Linearizzazione del campo di spostamento; affinità; decomposizione del campo di spostamento e suo significato nell'ipotesi di piccoli gradienti di spostamento. 3) Significato fisico della dilatazione lineare specifica e sua rappresentazione grafica. 4) Significato fisico dello scorrimento angolare e sua rappresentazione grafica. 5) Componenti della deformazione pura al ruotare della terna di riferimento; tensore di deformazione infinitesima; vettore algebrico di deformazione; operatore di congruenza; sistema di spostamenti-deformazioni cinematicamente ammissibile. 6) Invarianza delle forme bilineari e quadratiche per roto-traslazione della terna di riferimento; componenti di spostamento per i punti dell'intorno infinitesimo di raggio unitario. 7) Proprietà di reciprocità degli spostamenti. 8) Componenti principali ed invarianti di deformazione; direzioni principali di deformazione. 9) Ortogonalità delle direzioni principali di deformazione; tensore di deformazione e invarianti di deformazione nel riferimento principale; deformazione di un parallelepipedo retto con le facce ortogonali alle direzioni principali. 10) Coefficiente di dilatazione cubica; tensore volumetrico; deviatore di deformazione. 11) Stati monoassiali e biassiali di deformazione con dimostrazione della condizione necessaria e sufficiente per lo stato piano.

**TEORIA DELLA TENSIONE** 1) Forze in solido; equilibrio del corpo libero deformato e indeformato. 2) Vettore tensione; componenti cartesiane e componenti speciali di tensione. 3) Matrice di trasformazione tra componenti speciali e cartesiane di tensione; riferimenti locali sulle facce del cubetto con spigoli paralleli agli assi. 4) Equazioni di Cauchy; simmetria della matrice delle componenti speciali di tensione delle giaciture dei piani coordinati. 5) Teorema di reciprocità delle componenti di tensione e suo corollario. 6) Componenti speciali di tensione al ruotare della terna di riferimento; tensore degli sforzi; vettore algebrico di tensione. 7) Invarianza delle forme bilineari e quadratiche per roto-traslazione della terna di riferimento; intorno sferico di raggio unitario. 8) Componenti principali ed invarianti di tensione; giaciture e direzioni principali di tensione. 9) Ortogonalità delle direzioni principali di tensione; tensore degli sforzi e invarianti di tensione nel riferimento principale. 10) Circoli di Mohr per lo stato triassiale di tensione; arbelo di Mohr. 11) Tensione media e suo legame con il primo invariante di tensione; tensore idrostatico e deviatore degli sforzi: definizioni, invarianti, circoli di Mohr, tensioni e direzioni principali. 12) Stati monoassiali e biassiali di tensione con dimostrazione della condizione necessaria e sufficiente per lo stato piano. 13) Stati piani di tensione: corrispondenza tra tracce delle giaciture a massima tensione tangenziale e direzioni principali di tensione (dimostrazione nel piano di Mohr). 14) Equazioni indefinite di equilibrio e equazioni al contorno per il solido tridimensionale (notazione scalare, notazione matriciale estesa e compatta); operatore di equilibrio; campo di tensioni staticamente ammissibile.

**MECCANICA DEI MATERIALI** 1) Legame costitutivo per materiali in stato elastico lineare omogeneo trasversalmente isotropo e senza autotensioni (roccia sedimentaria). 2) Prove di resistenza meccanica: prove in controllo di carico e prove in controllo di spostamento. 3) Prove monoassiali di compressione e trazione su materiali fragili (calcestruzzo, muratura e rocce): legami  $\sigma/\varepsilon$ , tensore degli sforzi, circoli di Mohr, stress path, piani di scorrimento. 4) Prove triassiali di compressione su materiali fragili: legami  $\sigma/\varepsilon$  e dipendenza dalla pressione di confinamento, tensore degli sforzi, circoli di Mohr, curva inviluppo nel piano di Mohr, piani di scorrimento all'atto della crisi. 5) Transizione fragile-duttile. 6) Dominio di crisi nel piano di Mohr per materiali fragili; criterio di crisi di Mohr/Coulomb. 7) Effetto dell'acqua sui circoli di Mohr dei materiali granulari, tensione efficace. 8) Dipendenza della curva  $\sigma/\varepsilon$  dalla velocità di deformazione: curva limite inferiore e curva limite superiore. 9) Viscosità. 10) Legame  $\sigma/\varepsilon$  dell'acciaio in trazione e compressione monoassiale; comportamento allo scarico; legame di Prandtl; tensione ammissibile; coefficiente di sicurezza. 11) Dominio di crisi nel piano di Mohr per materiali duttili; criterio di crisi di Tresca.

**IDENTITÀ FONDAMENTALE E PRINCIPI NELLA MECCANICA DEI SOLIDI** 1) Identità integrale fondamentale nella meccanica dei solidi: teorema e principio dei lavori virtuali per corpi deformabili; principio dei lavori virtuali per corpi rigidi. 2) Lavoro di deformazione esterno e interno e sue variazioni; processo di carico quasi statico; lavoro totale.

**SISTEMI ELASTICI** 1) Spazio delle configurazioni; corpo allo stato elastico; densità di energia elastica; energia elastica; densità del potenziale elastico; densità di energia complementare elastica; energia complementare elastica. 2) Stato elastico: sviluppo in serie della densità di energia elastica e delle componenti di tensione, materiali omogenei e non omogenei, ipotesi di piccola deformazione, ipotesi di stato naturale indeformato e autotensioni nulle, costanti elastiche. 3) Materiali isotropi e anisotropi; stato elastico lineare per materiali isotropi; leggi generalizzate di Hooke; stato di deformazione. 4) Significato fisico di  $E$ ,  $\nu$  e  $G$ . 5) Problema dell'equilibrio elastico lineare; problema dell'equilibrio elastico lineare omogeneo; problema dell'equilibrio elastico lineare omogeneo isotropo; principi di sovrapposizione degli effetti e di Kirchhoff.

**PROBLEMA DI DE SAINT-VENANT** 1) Solido di De Saint-Venant: modello geometrico, modello delle azioni esterne e modello reologico, problema di De Saint-Venant e sue equazioni. 2) Postulato di Boussinesq; postulato di De Saint Venant e sue conseguenze. 3) Conseguenza del principio di Kirchhoff; ipotesi di De Saint-Venant e sue conseguenze. 4) Relazioni di equivalenza statica tra tensioni e sollecitazioni; quattro casi fondamentali; vettore tensione tangenziale totale per i punti della superficie laterale. 5) Sforzo normale centrato: condizioni ai limiti integrali, ipotesi di lavoro, soluzione del problema, tensore degli sforzi, verifica dell'ipotesi di lavoro. 6) Sforzo normale centrato: campo di spostamento, deformata della sezione retta. 7) Sforzo normale centrato: cerchi di Mohr, giaciture a massima tensione tangenziale, relazione tra direzioni principali di tensione e di deformazione, variazione specifica di volume, casi in cui la soluzione risulta esatta anche all'interno della zona di estinzione, diagramma delle tensioni normali. 8) Flessione retta: condizioni ai limiti integrali, ipotesi di lavoro, soluzione del problema, tensore degli sforzi, verifica dell'ipotesi di lavoro. 9) Flessione retta: campo di spostamento, deformata dell'asse, deformata della sezione retta, significato associato all'annullamento degli scorrimenti angolari, rotazione relativa tra le facce del concio infinitesimo. 10) Flessione retta: dilatazioni lineari specifiche sul piano di sezione, piano e asse neutro, diagramma delle tensioni normali, relazione tra asse neutro e asse vettore momento. 11) Flessione deviata: soluzione per sovrapposizione degli effetti, rotazione dell'asse neutro rispetto all'asse vettore momento per via analitica e per via geometrica (tramite l'asse di sollecitazione): caso generale e casi particolari di asse vettore momento parallelo a una direzione principale d'inerzia e ellisse centrale d'inerzia di forma circolare, diagramma delle tensioni normali. 12) Sforzo normale eccentrico: centro di pressione, tenso-flessione e presso-flessione, soluzione per sovrapposizione degli effetti, formula trinomia in termini di raggi d'inerzia, equazione dell'asse neutro in forma segmentaria, relazione geometrica tra asse neutro e centro di pressione. 13) Sforzo normale eccentrico: diagrammi delle tensioni normali per tenso- o presso-flessione retta con centro di pressione esterno e interno al nocciolo centrale d'inerzia, rotazione dell'asse neutro rispetto all'asse vettore momento, costruzioni grafiche dell'asse neutro per il caso generale. 14) Torsione: solidi a sezione sottile chiusa e aperta (andamento delle tensioni, fattore di rigidità torsionale, angolo unitario di torsione), analogia idrodinamica, concentrazione degli sforzi, cerchi di Mohr, isostatiche di trazione e compressione. 15) Taglio retto e flessione: centro di taglio, trattazione approssimata di Jourawski. 16) Taglio retto e flessione: taglio secondo un asse di simmetria ( $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{zx}$  e  $\tau_z$ ).

**VERIFICHE DI RESISTENZA** 1) Tensione ideale secondo i criteri di Von Mises e Tresca per stati tensionali alla De Saint-Venant. 2) Verifica a sforzo normale centrato. 3) Verifica a flessione retta e a flessione deviata. 4) Verifica a sforzo normale eccentrico. 5) Verifica a taglio e flessione. 6) Verifica a taglio e torsione.

**TEORIA DELLE STRUTTURE** 1) Coordinate lagrangiane. 2) Vincoli, molteplicità di vincolo, molteplicità di svincolamento interno, strutture labili, isostatiche e iperstatiche. 3) Vincoli ben posti e mal posti; dualità statica-cinematica; reazioni vincolari del corpo isostatico per via analitica e per via grafica; curva delle pressioni. 4) Equazioni cardinali della statica per il corpo rigido vincolato; equazioni ausiliarie. 5) Equazioni indefinite di equilibrio per il solido trave. 6) Diagrammi delle caratteristiche della sollecitazione interna, convenzioni del concio e della punteggiata. 7) Convenzioni sul tracciamento dei diagrammi di  $N$ ,  $M$  e  $T$ . 8) Nodo triplo. 9) Calcolo del grado di vincolo esterno e interno e delle componenti di reazione esterna e interna nelle strutture isostatiche chiuse. 10) Strutture reticolari piane; metodo dei nodi; metodo delle sezioni di Ritter. 11) Metodo delle catene cinematiche. 12) Equazione differenziale della linea elastica. 13) Calcolo delle componenti di spostamento per deformabilità flessionale mediante integrazione dell'equazione differenziale della linea elastica. 14) Composizione cinematica delle rotazioni e degli spostamenti. 15) Calcolo delle componenti di spostamento nelle strutture isostatiche attraverso il principio dei lavori virtuali. 16) Simmetria ed emisimmetria strutturale e di carico. 17) Metodo delle forze. 18) Telai a nodi fissi e a nodi spostabili; metodo dei telai a nodi spostabili. 19) Metodo delle rigidità. 20) Distorsioni termiche; deformata termica. 21) Cedimenti vincolari elastici e anelastici, rigidità e cedibilità alla traslazione e alla rotazione. 22) Espressione generale del principio dei lavori virtuali per i sistemi monodimensionali piani in stato elastico lineare; lavoro virtuale interno nelle strutture reticolari piane. 23) Studio della qualità dell'equilibrio per le strutture a elasticità diffusa: equilibrio stabile, instabile e indifferente, integrale generale, determinazione delle costanti d'integrazione, carico critico euleriano, lunghezza libera di inflessione, controventatura. 24) Snellezza, iperbole di Eulero e suoi limiti di validità, meccanismi di crisi per le travi tozze e per le travi snelle.

**N.B. Il programma deve essere esibito alla prova orale, che verterà sui seguenti argomenti: analisi della deformazione, teoria della tensione, meccanica dei materiali, identità fondamentale e principi nella meccanica dei solidi, sistemi elastici, problema di De Saint-Venant e, solo per le parti sottolineate, geometria delle masse e teoria delle strutture.**

Studente:

\_\_\_\_\_

(nome e cognome)