

**SPERIMENTAZIONE DEI MATERIALI, DEI MODELLI E DELLE STRUTTURE  
PER ALLIEVI DI INGEGNERIA CIVILE E INGEGNERIA EDILE – A. A. 2003/2004**

**Ing. Elena Ferretti**

**PROGRAMMA DEL CORSO E MODALITÀ D'ESAME**

**ESTENSIMETRI ELETTRICI A VARIAZIONE DI RESISTENZA** 1) Caratteristiche tecniche. 2) Fattore di taratura. 3) La resistenza equivalente del circuito a ponte di Wheatstone. 4) Condizione di equilibrio del circuito a ponte. 5) Sensibilità del circuito a ponte: definizione e applicazione ai circuiti in parallelo. 6) Sensibilità del circuito a ponte con un solo estensimetro attivo. 7) Sensibilità del circuito a ponte con due estensimetri attivi su rami in serie. 8) Sensibilità del circuito a ponte con due estensimetri attivi su rami opposti in parallelo. 9) Sensibilità del circuito a ponte con più estensimetri attivi su un unico ramo. 10) Configurazioni estensimetriche a ponte per la correzione dell'eccentricità del carico nelle prove monoassiali. 11) Configurazioni estensimetriche a ponte per la correzione dell'effetto Joule (compensazione termica). 12) Configurazioni estensimetriche autocompensate per aumentare la sensibilità del ponte sfruttando l'effetto Poisson. 13) Configurazioni estensimetriche autocompensate per aumentare la sensibilità del ponte nelle prove di flessione e loro efficienza nelle prove monoassiali.

**MODELLO REOLOGICO DEL MATERIALE** 1) Definizione di modello reologico e azione di riferimento. 2) Elasticità lineare. 3) Elasticità non lineare. 4) Elasto-plasticità. 5) Effetto Baushinger. 6) Modelli di comportamento. 7) Viscosità. 8) Rilassamento. 9) Fatica.

**CRITERI DI RESISTENZA** 1) Funzione dominio elastico, funzione dominio di rottura e funzione dominio di ammissibilità. 2) Forma della superficie dominio elastico per materiale generico. 3) Funzioni isotrope del tensore degli sforzi: definizione e esempio sul cubetto elementare. 4) Teorema di rappresentazione. 5) Superficie dominio elastico per materiali isotropi. 6) Componenti del vettore tensione in direzione parallela e normale all'asse idrostatico dello spazio di Haig-Westergaard. 7) Rappresentazione parametrica della funzione dominio elastico per mezzo di  $\xi$ ,  $\rho$  e  $\varrho$ . 8) Versori degli assi dello spazio di Haig-Westergaard proiettati sul piano deviatorico. 9) Operatore per la proiezione degli assi di Haig-Westergaard su  $\pi$ . 10) Componenti di tensione lungo gli assi  $\zeta$  e  $\eta$ . 11) Simmetria primaria della superficie dominio elastico. 12) Forma della superficie dominio elastico per materiali metallici. 13) Criterio di Tresca. 14) Superficie dominio elastico associata al criterio di Tresca. 15) Condizione limite e funzione dominio elastico di Tresca per stato tensionale piano. 16) Criterio di Hill e luogo dei domini elastici per materiali metallici. 17) Le tre formulazioni del criterio di Huber-Hencky-Von Mises. 18) Confronto tra i criteri di Tresca, Huber-Hencky-Von Mises e Hill per stato tensionale piano. 19) Criterio di Beltrami e sua dipendenza dal modulo di Poisson. 20) Criterio di Mohr-Coulomb nel piano di Mohr, nello spazio delle tensioni principali e nel piano  $\rho/\xi$ . 21) Luogo dei domini elastici per materiali non metallici, dipendenza della forma della sezione deviatorica di Mohr-Coulomb dall'angolo di attrito interno, tension cutoff. 22) Criterio di Drucker-Prager. 23) Confronto tra criteri di crisi e comportamento reale per i materiali non metallici.

**PLASTICITÀ NELL'INTORNO MATERIALE** 1) Condizione di snervamento e di primo snervamento per materiale generico e materiale perfettamente plastico. 2) Legami costitutivi dei materiali elastici-perfettamente plastici. 3) Equazioni di Levy-Mises. 4) Equazioni di Prandtl-Reuss. 5) Legge di deformazione rigido-plastica associata alla condizione di Tresca e caso generico di superficie di snervamento a più falde. 6) Legami costitutivi per materiali incrudenti e incrudimento isotropo. 7) Incrudimento cinematico. 8) Incrudimento di un materiale con superficie di snervamento a più falde secondo Koiter e secondo Mandel. 9) Materiale elasto-plastico stabile secondo Druker. 10) Inversione della legge di deformazione elasto-plastica. 11) Il problema elasto-plasto incrementale: definizione e teoremi generali. 12) Il collasso plastico: definizione e teoremi.

**IL SOLIDO DI DE SAINT VENANT IN REGIME ELASTO-PLASTICO** 1) La flessione simmetrica nella sezione con due assi di simmetria e il concetto di cerniera plastica. 2) Tensioni residue allo scarico nelle sezioni con uno e due assi di simmetria. 3) La torsione nella sezione circolare e relative tensioni residue allo scarico. 4) La torsione nella sezione di forma generica. 5) Analogia del cumulo di sabbia e annessa tecnica sperimentale per la determinazione della frontiera tra zona elastica e zona plastica. 6) Tensioni e deformazioni unitarie generalizzate e condizione di snervamento per sollecitazioni composte. 7) Forza normale e flessione. 8) Flessione e taglio. 9) Flessione deviata. 10) Flessione e torsione, forza normale e torsione.

**ANALISI LIMITE** 1) Campo staticamente ammissibile e campo cinematicamente ammissibile, moltiplicatore staticamente ammissibile e moltiplicatore cinematicamente ammissibile, teorema statico, teorema cinematico e teorema di unicità. 2) Esercizio sui sistemi reticolari: impostazione con il metodo statico, soluzione con il metodo cinematico, discussione parametrica. 3) Travi e telai semplici: confronto tra analisi limite e analisi incrementale con applicazione alla trave doppiamente incastrata. 4) Moltiplicatore di collasso per la trave incastro-appoggio con carico trasversale concentrato. 5) Moltiplicatore di collasso per trave incastro-appoggio con carico distribuito. 6) Discussione parametrica per la trave incastro-appoggio con due carichi trasversali concentrati. 7) Discussione parametrica per il portale a falde inclinate. 8) Metodo di Horne. 9) Metodo di Neal e Symonds. 10) Il calcolo a collasso quale problema di programmazione matematica: programmazione lineare e non lineare, metodo del simplesso, proprietà di dualità. 11) L'influenza delle variazioni di geometria sul comportamento al di là del collasso. 12) Meccanismo al di là del collasso per il portale piano con forze

concentrate in campata e sulla testa dei piedritti. 13) Dominio di adattamento plastico: generalità sul moltiplicatore limite di adattamento e esempio applicativo su trave continua con due carichi trasversali concentrati.

**MECCANICA SPERIMENTALE** 1) Concetto di misura, grandezze fisiche e unità di misura, principi fisici degli strumenti di misura. 2) Meccanismi di crisi per trazione nelle barre metalliche: crisi fragile, crisi duttile a bande, crisi duttile tronco-conica, crisi a coppa-cono. 3) Diagramma carico-spostamento degli acciai dolci in controllo di spostamento, tensione vera e deformazione vera. 4) Diagrammi tensione/deformazione con valutazione della tensione sull'area nominale, sull'area ridotta per effetto Poisson e sull'area ridotta per effetto strizione. 5) Modello semplificato di Prandtl: diagramma tensione/deformazione in monoassiale e campo di realtà per i punti tensione nello spazio delle tensioni principali. 6) Monitoraggio strutturale con sensori in fibra ottica. 7) Metodi non distruttivi per la stima della resistenza a compressione del calcestruzzo nelle strutture esistenti. 8) Identificazione del decremento di area resistente sotto carico, tensione efficace, deformazione efficace. 9) Prova di compressione monoassiale su provini in calcestruzzo a snellezza variabile: legame costitutivo tradizionale e legge efficace. 10) Identificazione del modulo di Poisson del calcestruzzo, secondo la tecnica tradizionale e secondo la procedura della legge efficace. 11) Identificazione della curva volumetrica del calcestruzzo, secondo la tecnica tradizionale e secondo la procedura della legge efficace. 12) Viscosità nel calcestruzzo: curva limite superiore, curva limite inferiore, proprietà viscoso attese in base alla natura microscopica del calcestruzzo. 13) Viscosità del calcestruzzo valutata secondo la procedura della legge efficace. 14) La legge efficace nei problemi di dinamica.

**MATERIALI COMPOSITI** 1) Proprietà meccaniche degli elementi costituenti. 2) Processi di fabbricazione, prodotti, tecnologie di messa in opera. 3) Fattori di conversione tra frazioni in peso e frazioni in volume nei compositi monodirezionali. 4) Rigidezza longitudinale dei compositi monodirezionali. 5) Rigidezza trasversale dei compositi monodirezionali. 6) Legge di Hooke per materiali ortotropi con specializzazione al caso bi-dimensionale. 7) Legame tensione/deformazione per lamine con orientazione generica rispetto alla terna estrinseca. 8) Variazione di tensione e deformazione sullo spessore di un laminato. 9) Matrice di rigidezza del laminato e sue proprietà. 10) Applicazione dei compositi per il rinforzo strutturale: rinforzi a flessione e taglio, confinamento.

I contenuti del presente programma sono integrati da esercitazioni pratiche e lezioni teoriche, tenute presso il LaRM, Laboratorio Resistenza Materiali del DISTART – Scienza delle Costruzioni, sui seguenti argomenti:

- catene di misura, strumentazione per le prove meccaniche (trasduttori di spostamento, deformometri, fibre ottiche, celle di carico), macchine di prova, normativa di riferimento per le prove di caratterizzazione meccanica;
- trave a sbalzo in acciaio con configurazioni estensimetriche per la correzione dell'eccentricità del carico, l'amplificazione del segnale e la compensazione termica, criteri di valutazione per la scelta della strumentazione da utilizzare dell'acquisizione degli spostamenti;
- trafilati, ferri e provette in acciaio a "osso di cane", normativa di riferimento nelle prove su acciaio, rapporto tra deformazioni plastiche e deformazioni elastiche, prova di trazione su barre ad aderenza migliorata per c.a. e c.a.p., tracciatura dei ferri e valutazione della deformazione longitudinale, termografia;
- prove non distruttive: presentazione della strumentazione, esercitazioni pratiche e simulazioni numeriche della prova di pullout per mezzo di un codice al Metodo delle Celle;
- prove dinamiche strumentate e relativa elaborazione dei risultati sperimentali;
- prova di compressione su calcestruzzo con valutazione del danno indotto dal processo di carico, osservazioni sull'identificazione del campo di deformazione a partire dal campo di spostamento, procedura sperimentale di identificazione della legge efficace, confronto tra termine di danno e coefficiente correttivo di Sandler, modellazione del comportamento strutturale per mezzo di un codice di calcolo al Metodo delle Celle che utilizza la legge efficace.

Bibliografia consigliata:

- Materiale fornito dal docente in forma di dispensa didattica.
- Manuale dell'Ingegnere – Scienza delle Costruzioni, Ed. Zanichelli.
- Baldacci R., Ceradini G., Giangreco E., *Plasticità*, parte II A, CISIA.
- Ferretti E., *A Discussion of Strain-Softening in Concrete*, Int. J. Frac., 126(1), pp. L3-L10, 2004.
- Ferretti E., *Experimental Procedure for Verifying Strain-Softening in Concrete*, Int. J. Frac., 126(2), pp. L27-L34, 2004.
- Ferretti E., *On Poisson's Ratio and Volumetric Strain in Concrete*, Int. J. Frac., 126(3), pp. L49-L55, 2004.
- Ferretti E., *On Strain-Softening in Dynamics*, Int. J. Frac., 126(4), pp. L75-L82, 2004.
- Agarwal B.D., Broutman L.J., *Analysis and performance of fiber Composites*, John Wiley & Sons.

**La modalità d'esame è per discussione orale individuale. Viene lasciata allo studente la facoltà di scegliere se essere esaminato sul programma del corso o su un lavoro a carattere monografico, inerente uno degli argomenti trattati in laboratorio, curato dallo studente stesso.**

**Sono disponibili Tesi di Laurea sugli argomenti trattati in laboratorio, anche se non sviluppati in forma monografica ai fini del superamento dell'esame. Parte del programma sperimentale di Tesi di Laurea può essere svolto presso il laboratorio dell'Università di San Diego, sotto la supervisione del Prof. Francesco Lanza di Scalea.**