

Allegato D

Dottorato in
INGEGNERIA DELLE STRUTTURE

XI Ciclo – a.a. '95/'96

Sede amministrativa: Firenze

Sedi consorziate: Bari, Genova, Pisa, Udine

Contenuto dei corsi di insegnamento

Presentazione

Il corso di Dottorato in Ingegneria delle Strutture, in consorzio fra le sedi di Bari, Firenze, Genova, Pisa e Udine, fin dalla sua costituzione, ha impostato il curriculum formativo idealmente in due momenti: uno dedicato alla formazione di base; uno centrato su un tema specialistico.

Il primo periodo del corso, della durata di circa un anno accademico, a carattere prevalentemente didattico, si è perciò basato su cicli di seminari riguardanti argomenti fondamentali di matematica, meccanica, teoria e tecnica delle strutture, accompagnati, specie negli ultimi anni, da corsi monografici su alcuni temi di particolare interesse. Gli obiettivi da raggiungere in questa fase erano quelli di integrare la preparazione di base, di fornire spunti per la scelta dell'argomento della tesi e soprattutto di far convivere allievi di diversa estrazione in un unico ambiente culturale.

La convinzione, almeno del sottoscritto, è che parte del successo che ha avuto il corso vada attribuito anche a questa impostazione.

Un doveroso ringraziamento rivolgo a Stefano Bennati per aver voluto documentare questa attività, curando la raccolta dei programmi svolti per gli allievi dell'XI ciclo.

*Franco Angotti
(Coordinatore)*

Premessa

Nelle pagine seguenti sono descritti in modo sintetico i contenuti dei corsi tenuti nell'anno accademico 95/96 e rivolti ai dottorandi dell'XI ciclo del nostro dottorato in Ingegneria delle Strutture. Anche solo scorrendo l'elenco si ha un'idea non solo dell'estensione dell'impegno didattico, ma anche della ricchezza e della varietà dei contenuti presentati agli allievi. In un momento in cui l'organizzazione, lo scopo e la funzione stessa del dottorato sono oggetto di riflessioni e di considerazioni anche fortemente critiche, mi è sembrato utile che questa ricchezza e questa varietà fossero documentate in modo sufficientemente accurato.

*Stefano Bennati
(Pisa, novembre '97)*

Parte I

CORSI DI BASE

ALGEBRA PER LA MECCANICA

*Docente: Epifanio VIRGA
(sede di Pisa)*

Contenuti del corso (il corso si è articolato in 10 lezioni per complessive 20 ore)

1. Legge di composizione interna. Assiomi di gruppo. Teorema sulle equazioni lineari in un gruppo. Unicità dell'elemento neutro e dell'inverso. Sottogruppi. Tabelle moltiplicative universali di gruppi finiti. Gruppi abeliani. Simmetrie del quadrato.
2. Corpi algebrici. Spazi lineari. Sottospazi. Somma di sottospazi e somma diretta. Applicazioni lineari. Spazio delle applicazioni lineari.
3. Forme lineari e multilineari. Prodotto scalare. Teorema di rappresentazione delle forme lineari. Spazio duale. Proiezioni. Dimensioni dell'immagine e nucleo di una trasformazione lineare.
4. Teorema di rappresentazione delle forme bilineari. Teorema di trasposizione. Tensori simmetrici ed antisimmetrici. Sottospazi invariati. Teorema di riduzione di un tensore simmetrico.
5. Autovalori ed autovettori di un tensore. Teorema spettrale. Spettro di un tensore simmetrico.
6. Prodotto diadico. Proiettore ortogonale. Matrice rappresentativa di un tensore. Matrici diagonali. Forme multilineari di grado massimo. Forme simmetriche ed antisimmetriche.
7. Dimensione dello spazio delle forme multilineari completamente antisimmetriche di grado massimo. Determinante di un tensore e sue proprietà. Determinante della matrice rappresentativa. Polinomio caratteristico di un tensore. Teorema della radice quadrata.
8. Traccia di un tensore. Prodotto scalare tra tensori. Gruppo ortogonale. Gruppo ortogonale speciale. Teorema di scomposizione polare.
9. Teorema di scomposizione additiva di un tensore. Scomposizione di $L(V)$ in somma diretta. Spazi euclidei. Spazio delle traslazioni. Isometrie euclidee. Teorema di rappresentazione delle isometrie euclidee.
10. Orientamento dello spazio. Struttura dei tensori antisimmetrici. Vettore assiale di un tensore antisimmetrico. Prodotto vettoriale. Osservatori. Cambiamento d'osservatore. Tensore di spin e velocità angolare. Formula di Poisson. Aggiunto di un tensore.

EQUAZIONI DIFFERENZIALI ALLE DERIVATE PARZIALI

*Docente: Piero VILLAGGIO
(sede di Pisa)*

Contenuti del corso (*Il corso si è articolato in 10 lezioni per complessive 20 ore*)

1. Problemi fisici e loro modellazione matematica: le equazioni differenziali e il loro sviluppo storico.
2. Il problema della corda vibrante: metodo di soluzione mediante linee caratteristiche; sovrapposizione degli effetti, unicità e stabilità della soluzione.
3. Classificazione delle equazioni differenziali alle derivate parziali del secondo ordine: equazioni differenziali di tipo iperbolico, parabolico ed ellittico.
4. Il problema della membrana. Il problema della membrana circolare. Il principio di massimo. Il problema della propagazione del calore.
5. Metodo di separazione delle variabili e sviluppi in serie di Fourier: condizioni di validità e possibile estensione del metodo.
6. Considerazioni sull'esistenza della soluzione per le equazioni differenziali alle derivate parziali.

Testo di riferimento

- [1] H.F. Weimberger, *A First Course in Partial Differential Equations*, J. Wiley & Sons, New York, 1965.

CALCOLO NUMERICO

Docente: Luca GEMIGNANI
(sede di Pisa)

Contenuti del corso (Il corso si è articolato in 10 lezioni per complessive 20 ore)

1. Motivazioni. Discretizzazione di un problema differenziale unidimensionale con valori al contorno e soluzione di sistemi lineari con matrici fortemente strutturate.
2. Richiami di algebra lineare. Matrici, vettori, prodotto tensoriale, auto-valori, autovettori, norme vettoriali e matriciali. Sistemi lineari.
3. Risoluzione numerica diretta di sistemi lineari. Metodo di Gauss; complessità computazionale. Fattorizzazione LU di matrici mediante il metodo di Gauss. Matrici elementari di Householder e fattorizzazione QR.
4. Risoluzione numerica iterativa di sistemi lineari. Metodi iterativi per la risoluzione di sistemi lineari; convergenza dei metodi iterativi. Metodi iterativi particolari: metodi di Jacobi, di Gauss-Seidel; condizioni di convergenza. Caso delle matrici tridiagonali. Metodo di Jacobi a blocchi.
5. Equazioni alle differenze. Soluzione di una equazione alle differenze per il calcolo degli autovalori ed autovettori di matrici tridiagonali di Toeplitz. Estensione al caso a blocchi. Confronto tra i vari metodi iterativi su matrici test.
6. Metodi di discesa. Metodo del gradiente ottimo. Metodo del gradiente coniugato, convergenza e costo computazionale. Tecniche di preconditionamento. Analisi geometrica della convergenza dei metodi di discesa su un semplice esempio.
7. Equazioni differenziali ellittiche (1). Equazione di Laplace sul rettangolo; discretizzazione del problema mediante differenze finite. Esistenza della soluzione del problema discreto e sua convergenza.
8. Equazioni differenziali ellittiche (2). Soluzione del problema discreto: confronto tra i differenti approcci per la risoluzione dei sistemi lineari nel caso in esame.
9. Equazioni differenziali ellittiche (3). Estensione dei risultati a domini non rettangolari e condizioni al contorno di tipo misto.
10. Discussione di un problema fisico.

Testi di riferimento

- [1] D. Bini, M. Capovani, O. Menchi, *Metodi Numerici per l'Algebra Lineare*, Zanichelli, Bologna, 1988.
- [2] G. Birkhoff, *The Numerical Solution of Elliptic Equations*, Siam, Philadelphia (Pa), 1972.

MECCANICA DEI CONTINUI

*Docente: Tristano MANACORDA
(sede di Pisa)*

Contenuti del corso (*Il corso si è articolato in 11 lezioni per complessive 22 ore*)

1. Introduzione. Definizione di continuo. Configurazioni di riferimento. Gradiente di deformazione F , Tensore di deformazione C o di Cauchy Green.
2. Decomposizione $F = R \bullet U$ e significato geometrico di R . Primi elementi di cinematica.
3. Cinematica, velocità euleriana, accelerazione. Sforzi, lemma di Cauchy, tensore di Cauchy.
4. Equazioni meccaniche di bilancio. Equazioni di continuità in varie forme. Forme locali delle equazioni di bilancio.
5. Primo principio della Termodinamica. Energia interna, bilancio della energia interna.
6. Entropia. Secondo principio della termodinamica. Cenni storici.
7. Disuguaglianza di Clarius-Duhem. Teorema di Coleman.
8. Principio di obbiettività. Materiali isotropi. Gruppi di isotropia. Configurazioni spontanee e naturali. Materiali iperelastici. Stabilità.
9. Criteri di linearizzazione. Linearizzazione vicina alla configurazione naturale stabile. Coefficienti di Lamè. Equazione di Duhamel-Neumann.

Testi di riferimento

- [1] P. Chadwick, *Continuum Mechanics*, G. Allen & Win Ltd., London, 1976
- [2] M. E. Gurtin, *An Introduction to Continuum Mechanics*, Academic Press, 1981.
- [3] C. Truesdell & Noll, *Die Nichtlinearen Feldtheorie der Mechanik*, Hdb der Physic, Bd III/3, Springer V. Berlin, 1965.
- [4] C. Truesdell, *Introdution a la Mécanique Rationnelle des Milieux Continus*, Masson & C., Paris, 1974.

PLASTICITA'

*Docenti: Franco ANGOTTI e S. CHIOSTRINI
(sede di Firenze)*

Contenuti del corso (Il corso si è articolato 13 lezioni per complessive 26 ore)

PLASTICITÀ (F. Angotti)

1. Comportamento dei materiali sotto carico. La prova di trazione: introduzione, tensione effettiva e tensione nominale, i saggi per la prova di trazione, grandezze che si determinano con la prova di trazione; isteresi, effetto Bauschinger, modelli semplificati.
2. Generalizzazione dei risultati al caso bidimensionale e a quello tridimensionale. Modelli di incrudimento.
3. Funzione di plasticità e superficie di plasticizzazione. Criteri di Tresca e Von Mises.
4. Processi di carico, scarico.
5. Convessità e normalità.
6. Superfici limite.
7. Equazioni costitutive: materiali incrudenti e materiali perfettamente plastici.
8. Comportamento elasto-plastico delle strutture: unicità della soluzione.
9. Carichi generalizzati e comportamento nello spazio dei carichi.

ANALISI LIMITE (S. Chiostrini)

1. Introduzione all'Analisi Limite: risultati ed ambito di applicazione del metodo.
2. Ipotesi di base dell'Analisi Limite.
3. Teorema Statico e Teorema Cinematico. Corollari.
4. Determinazione di campi cinematicamente o staticamente ammissibili. Il metodo della limitazione superiore e della limitazione inferiore.
5. Cenni sull'applicazione dei Teoremi al caso dei materiali con flusso non associato.
6. La superficie limite nello spazio dei carichi.
7. Analisi Limite per le strutture intelaiate. Nozione di cerniera plastica.
8. Campi staticamente ammissibili e campi cinematicamente ammissibili per le strutture intelaiate.
9. Metodo della sovrapposizione dei meccanismi. Metodo delle disuguaglianze.
10. Il paradosso dell'Analisi Limite. Teorema del massimo spostamento.
11. Riformulazione dei metodi dell'Analisi Limite come problemi di programmazione lineare.

Testi di riferimento

- [1] J.B. Martin, *Plasticity: fundamentals and general results*, The MIT Press, 1974.
- [2] L. Lubliner, *Plasticity Theory*, Maxwell Macmillan International Editions, 1990.

ANALISI NON LINEARE E PROBLEMI DI STABILITA'

*Docente: Claudio BORRI
(sede di Firenze)*

Contenuti del corso

1. Comportamento non lineare delle strutture: non linearità geometrica e non linearità del materiale (meccanica). Equazioni di equilibrio per i sistemi discreti: formulazione lagrangiana "updated" e totale. Matrice di rigidezza tangente e sua scrittura nelle due formulazioni. Componente elastica lineare, degli spostamenti iniziali e geometrica. Le tecniche iterative ed incrementalì per il tracciamento dei percorsi di equilibrio: gli algoritmi alla Newton-Raphson, Riks-Wempner-Wessels, Ramn e Crisfield.
2. Fenomeni di instabilità: la classificazione di Koiter. Punti limite e di biforcazione. I metodi classici per la determinazione del carico critico: i metodi dell'equilibrio, dell'energia e delle imperfezioni. La trattazione di Pflüger del problema di Eulero. Soluzione non lineare e determinazione delle curve post-critiche.
3. Caratterizzazione della trave di Eulero: sue particolarità. Generalizzazione del problema di biforcazione simmetrica. Il caso dei carichi non conservativi: il metodo dinamico. Il carico tipo "follower". Instabilità in campo plastico.
4. L'instabilità dei sistemi strutturali discreti: il problema agli autovalori lineare e non lineare. Fattori critici e forme critiche associate. Buckling multimodale.
5. Esempi di stati critici per alcune tipologie strutturali: telai, sistemi reticolari, travi in parete sottile (instabilità flesso-torsionale), lastre sottili, gusci cilindrici.
6. Analisi di stabilità non lineare: il problema quadratico agli autovalori e sue possibili soluzioni: la soluzione linearizzata al passo.
7. Analisi in post-buckling: il tracciamento dei rami deviati di equilibrio. Tecniche perturbative secondo la teoria di Koiter-Budianski. Grado di stabilità. Coefficienti di stabilità di Thompson. Trattamento numerico dei percorsi di equilibrio post-critici.
8. Analisi di stabilità per grandi strutture a comportamento non lineare. Tecniche di valutazione del grado di non linearità. Analisi al passo con soluzione di accompagnamento.
9. Alcuni esempi di analisi di torri di raffreddamento (gusci sottili Hy-par), torri TV tralicciate; coperture a guscio in c.a.; grigliati spaziali curvi.

Testi di riferimento

- [1] A. Pflueger, *Stabilitaetsprobleme der Elastostatik*, Springer Verl., 1975.
- [2] J.M.T. Thompson, G.W. Hunt, *A General Theory of Elastic Stability*, J. Wiley & S., New York, 1973.
- [3] W.T. Koiter, *Theory of Elastic stability and Post-Buckling Behaviour*, Techn. Rept. n°80, Div. of Applied Math., Brown Univ., Providence, 1962.
- [4] C. Borri, *Appunti delle lezioni di stabilità lineare e non lineare*, Corso di Dottorato Univ. di Firenze.

MECCANICA DEI MATERIALI E DELLA FRATTURA

*Docenti: Luigi GAMBAROTTA
(sede di Genova)*

Contenuti del corso

1. Evoluzione storica della meccanica dei materiali.
2. Modellazione elastica e post-elastica dei materiali eterogenei: aspetti generali.
3. Comportamento duttile e fragile di materiali ed elementi strutturali.
4. Concentrazione delle tensioni: problema di Kirsch.
5. Concentrazione delle tensioni: problema di Kolosof e Inglis.
6. Discontinuità del contorno: analisi di Williams.
7. Fattori di intensità delle tensioni.
8. Bilancio energetico in processi con variazioni di dominio.
9. Energia rilasciata e fattori di intensità delle tensioni.
10. Integrale di Rice.
11. Criterio energetico di propagazione delle fessure.
12. Effetti dimensionali sulla resistenza a frattura fragile.
13. Propagazione non omotetica di fessure.
14. Propagazione duttile della frattura.
15. Il modello di frattura coesiva.
16. Modello di Dugdale.
17. Equazioni costitutive su base fenomenologica e micromeccanica.
18. Campo microscopico e macroscopico di deformazione e tensione.
19. Omogeneizzazione dell'elemento di volume rappresentativo del materiale.
20. Solidi a matrice elastica contenente vuoti ed inclusioni.
21. Solidi a matrice elastica con concentrazione diluita di microfessure.
22. Metodo di omogeneizzazione *self-consistent*.
23. Introduzione alla meccanica del danneggiamento di materiali e strutture.

Seminari

- [1] Metodi agli elementi di contorno a discontinuità di spostamento per l'analisi della concentrazione degli sforzi in problemi di interazione elastica di fessure (A. Brencich).
- [2] Concentrazione di tensione in laminati compositi e analisi dei processi di delaminazione (R. Sburlati).
- [3] Introduzione alla meccanica dei laminati compositi (E. Sacco).
- [4] Deduzione razionale di modelli 2D dal 3D per lastre laminate (E. Sacco).
- [5] Analisi evolutiva della frattura in lastre multifessurate ed applicazioni alla meccanica dei materiali (I. Monetto).

DINAMICA DELLE STRUTTURE

*Docenti: Dino STURA e Giuseppe PICCARDO
(sede di Genova)*

Contenuti del corso

DINAMICA LINEARE (D. Stura)

1. Sistemi a un grado di libertà. Definizione delle costanti di inerzia, di elasticità e di smorzamento; equazioni del moto. Sistemi lineari: vibrazioni libere e vibrazioni forzate; nozioni di frequenza propria, di amplificazione dinamica, di risonanza; influenza dello smorzamento. Sistemi non lineari: effetti della non linearità fisica e di quella geometrica.
2. Analisi nel dominio della frequenza. Forza armonica semplice. Funzione di risposta complessa in frequenza. Forza periodica e aperiodica. Serie, integrale e trasformata di Fourier della risposta. Analisi qualitativa della risposta.
3. Sistemi a N gradi di libertà. Definizione delle matrici di inerzia e di smorzamento; equazioni del moto; esempi di schematizzazione delle strutture come sistemi a N gradi di libertà. Vibrazioni libere e forzate, frequenze proprie e forme proprie di vibrazione, analisi modale.
4. Sistemi continui. Vibrazioni longitudinali, flessionali, torsionali della trave. Vibrazioni libere e forzate. Frequenze e forme proprie di vibrazione. Analisi modale.

DINAMICA NON LINEARE (G. Piccardo)

1. Metodi perturbativi. Ordinamento dei termini, metodo di Lindstedt-Poincaré, metodo delle scale multiple.
2. Stabilità delle oscillazioni. Punti di equilibrio e moti periodici, biforcazioni statiche e dinamiche di percorsi di equilibrio.
3. Esempio di biforcazione alla Hopf. Oscillazioni auto-eccitate di un sistema a un grado di libertà.

TEORIA DELLA PROBABILITA' E DINAMICA ALEATORIA

*Docenti: Giovanni SOLARI
(sede di Genova)*

Contenuti del corso (Il corso si è articolato in 10 lezioni per complessive 30 ore)

1. Fondamenti di teoria della probabilità. Spazio campionario, eventi, probabilità. Eventi equiprobabili. Regolarità statistica e frequenza relativa. Assiomi. Teorema dell'evento complementare. Teorema dell'evento totale. Probabilità condizionata e probabilità composta. Eventi indipendenti. Teorema della probabilità complessiva.
2. Variabili aleatorie. Definizione di variabile aleatoria. Variabili aleatorie discrete, continue e miste. Funzione di distribuzione. Funzione di probabilità delle variabili aleatorie discrete. Funzione di densità delle variabili aleatorie continue. Funzione generalizzata di densità delle variabili aleatorie miste. Funzione di variabile aleatoria. Indici della distribuzione. Momenti e funzioni caratteristiche. Indici della distribuzione di una funzione di variabile aleatoria.
3. Vettori aleatori. Definizione di vettore aleatorio. Funzione di distribuzione congiunta. Funzione di probabilità congiunta. Funzione di densità congiunta. Variabili aleatorie indipendenti. Funzione di vettore aleatorio. Indici della distribuzione congiunta. Momenti congiunti e funzioni caratteristiche congiunte. Indici della distribuzione congiunta di funzioni di vettore aleatorio.
4. Processi aleatori. Definizione di processo aleatorio mono - e multi-dimensionale. Medie statistiche del primo e del secondo ordine. Funzioni di auto - e cross-correlazione, covarianza, covarianza normalizzata. Processi aleatori fortemente e debolmente stazionari. Medie temporali dei processi stazionari. Processi ergodici. Teorema di Parseval. Densità di potenza spettrale e di potenza spettrale incrociata. Equazioni di Wiener-Khintchine. Processi a banda estesa e a banda stretta. Processi normali e poissoniani. Derivazione dei processi stazionari.
5. Risposta dinamica aleatoria dei sistemi a un grado di libertà (analisi stazionaria). Definizioni e fondamenti. Valore medio della risposta. Funzione di autocorrelazione della risposta. Densità di potenza spettrale della risposta. Distribuzione della risposta.
6. Risposta dinamica aleatoria dei sistemi a N gradi di libertà (analisi stazionaria). Definizioni e fondamenti. Valore medio della risposta. Matrice di autocorrelazione della risposta. Matrice di potenza spettrale della risposta. Il metodo di covarianza. La tecnica dei pre-filtri.
7. Distribuzione del massimo della risposta. Momenti spettrali. Attraversamento di soglia di un processo stazionario. Attraversamento di soglia del processo involuppo. Gruppi di picchi. Distribuzione del massimo: il metodo di Davenport; il metodo di Lin; i metodi di Vanmarcke; la soluzione approssimata di Der Kiureghian.

Testi di riferimento

- [1] A. Papoulis, *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes*, Mc Graw Hill, New York, 1965.
- [2] W.B. Davenport, *Probability and Random Processes: an Introduction for Applied Scientists and Engineers*, Mc Graw Hill, New York, 1970.
- [3] E. Viola, *Esercitazioni di Scienza delle Costruzioni (3); Introduzione all'Analisi Probabilistica delle Strutture*, Pitagora, Bologna, 1986.
- [4] J.R. Benjamin, C.A. Cornell, *Probability, Statistics and Decision for Civil Engineering*, Mc Graw Hill, New York, 1970.

- [5] A.H.S. Ang, W.H. Tang, *Probability Concepts in Engineering Planning and Design. Volume I: Basic Principles*, John Wiley, New York, 1975.
- [6] I. Elishakoff, *Probabilistic Methods in the Theory of Structures*, John Wiley, New York, 1983.
- [7] Y.K. Lin, *Probabilistic Theory of Structural Dynamics*, Mc Graw Hill, New York, 1967.
- [8] A.H.S. Agng, W.H. Tang, *Probability Concepts in Engineering Planning and Design. Volume II: Decision, Risk and Reliability*, John Wiley, New York, 1984.

CALCOLO DELLE VARIAZIONI

Docenti: Elio CABIB e Lorenzo FREDDI
(sede di Udine)

Contenuti del corso (Il corso si è articolato in 10 lezioni per complessive 20 ore)

PARTE I (E. Cabib)

1. Introduzione. Esempi e cenni storici: principi di minimo e problemi di controllo, condizioni al bordo di vario tipo. Il problema generale del calcolo delle variazioni. Ambientazione in spazi di funzioni regolari, uso della disuguaglianza di Poincaré e della disuguaglianza di Jensen in alcuni esempi concreti. Controesempi all'esistenza; superficie di rivoluzione di minima area. Condizioni necessarie di stazionarietà e loro limiti di applicabilità, introduzione ai metodi diretti, ruolo della semicontinuità e della convessità per l'esistenza e l'unicità, esigenza di formulare i problemi del calcolo delle variazioni in spazi di funzioni più generali.
2. L'equazione di Eulero. Problemi variazionali su insiemi di funzioni ammissibili di classe C^1 , variazioni ammissibili, variazione prima e differenziale di Gateaux, norme, estremi locali deboli e forti, lemma di Du Bois-Reymond, lemma fondamentale del calcolo delle variazioni, l'equazione di Eulero, integrali primi. Risoluzione di alcuni problemi, tra cui quello dell'area minima nella classe delle funzioni lipschitziane; controesempio all'esistenza.
3. Problemi variazionali nello spazio BV. Penalizzazione del funzionale dell'area coi dati al bordo. Richiami di teoria della misura, misure positive, con segno e vettoriali, teorema di Radon-Nicodým, distribuzioni e misure, teorema di Riesz, variazione totale di una misura, funzioni con derivate misure, convergenza debole, definizione di perimetro, formula della co-area, traccia sul bordo, teorema di Rellich. Rilassamento del problema dell'area minima. Rilassamento per un problema di transizione di fase.

PARTE II (L. Freddi)

1. Spazi metrici: definizioni, esempi, metrica e convergenza, metriche equivalenti, continuità e semicontinuità.
2. Spazi Normati: definizioni, esempi, metrica indotta da una norma, norme equivalenti, spazi metrici completi.
3. Spazi L^p : misura ed integrale di Lebesgue, definizione di spazio L^p norma, inclusioni tra spazi L^p su insiemi di misura finita, densità in L^p ($p < +\infty$) delle funzioni infinitamente differenziabili a supporto compatto, disuguaglianza di Holder, convergenza debole in L^p ($p < +\infty$), convergenza debole* in L^p .
4. Spazi di Sobolev in dimensione 1: definizioni, esempi, funzioni assolutamente continue e teorema fondamentale del calcolo integrale, norma, spazi di funzioni con traccia nulla al bordo, disuguaglianza di Poincaré, norme equivalenti.
5. Spazi di Sobolev in dimensione n: definizioni, norme, teoremi di immersione, funzioni con traccia nulla al bordo.
6. Convergenza debole negli spazi di Sobolev, proprietà.
7. Compattezza negli spazi L^p e negli spazi di Sobolev: teoremi di compattezza debole e debole* delle sfere chiuse, teorema di Dunford-Pettis.

PARTE III (L. Freddi)

1. Problemi di minimo in \mathbb{R}^n : impostazioni, esempi.
2. Condizioni sufficienti per l'esistenza di soluzioni di problemi di minimo in \mathbb{R}^n .
3. Teorema di Weierstrass e metodo diretto in \mathbb{R}^n .

4. Non esistenza e rilassamento.
5. Costruzione di problemi rilassati.
6. Proprietà dei problemi rilassati.
7. Il metodo diretto nel Calcolo delle Variazioni.
8. Coercitività in alcuni spazi di funzioni.
9. Teoremi di semicontinuità. Funzionali convessi.
10. Teoremi di semicontinuità. Caso vettoriale.

Testi di riferimento

- [1] G. Talenti, *Calcolo delle variazioni*, Quaderno U.M.I. n. 2, Pitagora, Bologna, 1977.
- [2] J. Troutman, *Variational Calculus with Elementary Convexity*, Springer-Verlag, 1980.
- [3] L. Modica, *The Gradient Theory of Phase Transitions and the Minimal Interface Criterion*, A.R.M.A. 98 pp. 123-142, 1987.
- [4] G. Dal Maso, *An introduction to T -convergence*, Birkhauser, Boston, 1993.
- [5] E. Giusti, *Metodi diretti nel calcolo delle variazioni*, Unione Matematica Italiana, Bologna, 1994.
- [6] H. Brezis, *Analyse Fonctionnelle*, Masson, Paris, 1993.

TEORIA DEI GUSCI

*Docente: Cesare DAVINI
(sede di Udine)*

Contenuti del corso (*Il corso si è articolato in 8 lezioni per complessive 16 ore*)

1. Introduzione: preliminari e notazioni. Vettori e tensori sullo spazio euclideo 3-dimensionale, basi non ortogonali, base duale, sistemi obliqui di coordinate, componenti covarianti e controvarianti, il tensore metrico e il suo duale.
2. Elementi di geometria differenziale delle superfici. La prima e la seconda forma fondamentale. Classificazione delle superfici. Calcolo differenziale per campi su superfici: derivata covariante di vettori e tensori. La formula di Eulero per le derivate dell'elemento di area. Il teorema della divergenza.
3. La nozione di guscio sottile. Forze e coppie di contatto. Le equazioni di equilibrio. Il lemma di Cauchy e le equazioni indefinite di equilibrio. Espressione delle equazioni indefinite di equilibrio in alcuni casi notevoli: piatti, cilindri circolari, calotte sferiche, gusci assialsimmetrici.
4. Stati di sforzo membranali: alcuni casi notevoli. Gusci assialsimmetrici sotto carichi assialsimmetrici; duomo sferico sotto il peso proprio; volte di recipienti in pressione; gusci ogivali sotto il peso proprio; gusci umbelicali sotto carico da neve. Limiti delle soluzioni membranali: il problema degli anelli di rinforzo e delle coazioni imposte in prossimità di aperture.
5. Stati di sforzo membranali in gusci iperbolici: il caso dell'iperboloide ad una falda.
6. Interpretazione tridimensionale delle caratteristiche di sollecitazione. Studio della deformazione infinitesima del guscio. Misure di deformazione in cilindri circolari.
7. Equazioni costitutive e loro specializzazione al caso dei cilindri circolari. Il problema di equilibrio negli spostamenti: il caso del cilindro circolare. Alcune applicazioni: il guscio cilindrico con flange in estremità soggetto al peso proprio. Confronto tra soluzione membranale e flessionale.
8. Il cilindro caricato in estremità: soluzioni in forma di serie doppia. Le condizioni al contorno per il bordo libero: gli sforzi di taglio e tangenziali efficaci (o di Kirchhoff). Il caso del cilindro semi-infinito; il problema del cilindro pesante sostenuto da colonne alla base; confronto con la soluzione per la trave parete.

Seminari

- [1] Finite strain microstructures in 1-d elasticity (Truskonovsky).

ARGOMENTI DI ELASTICITA'

*Docente: Salvatore MARZANO
(sede di Bari)*

Contenuti del corso (*Il corso si è articolato in 10 lezioni per complessive 20 ore*)

1. Deformazione. Concetti generali; analisi locale; cinematica omogenea; cinematica rigida; misure di deformazione; cinematica linearizzata; altre cinematiche linearizzate, cinematica delle deformazioni estreme.
2. Sforzo. Sistemi di forze; sforzo di Cauchy; altre misure di sforzo; teoria dell'equilibrio; teoria linearizzata dell'equilibrio
3. Equazioni costitutive. Forme ridotte; simmetrie materiali; problemi di classificazione e di rappresentazione; sforzo residuo; tensori di elasticità; problemi al contorno; deformazioni di un cubo elastico, omogeneo e isotropo; disequaglianze costitutive.
4. Formulazioni variazionali. Principi energetici; teorema di Hadamard; stabilità e unicità.
5. Elasticità lineare. Equazioni costitutive; restrizioni a priori; teoremi di media; equazioni di equilibrio; forme di rappresentazione della soluzione.

Testi di riferimento

- [1] C. Truesdell & R. A. Toupin, *The Classical Field Theories*, Handbuch der Physik III/1, S. Flügge ed., Springer-Verlag 1960.
- [2] C. Truesdell & Noll, *The Non-Linear Field Theories of Mechanics*, Cap. D. Elasticity, Handbuch der Physik III/3, S. Flügge ed., Springer-Verlag 1965.
- [3] C. Truesdell, *A First Course in Rational Continuum Mechanics*, 2° ed., Academic Press, 1991.
- [4] M. E. Gurtin, *Topics in Finite Elasticity*, CBMS-NSF Conf. Ser. In appl. Math., SIAM, 1981.
- [5] M. E. Gurtin, *An Introduction to Continuum Mechanics*, Academic Press, 1981.
- [6] Ph. G. Ciarlet, *Mathematics Elasticity. Volume I: Three-Dimensional Elastidity*, North-Holland, 1988

Seminari

- [1] Problemi strutturali per corpi elastici laminati (D. De Tommasi).

Parte II

CORSI MONOGRAFICI

DINAMICA IMPULSIVA

Docente: Adolfo BACCI
(sede di Pisa)

Contenuti del corso (Il corso si è articolato in 10 lezioni per complessive 20 ore)

1. L'urto fra corpi rigidi. Urto centrale. Processi fisici durante l'urto: limiti dell'ipotesi di rigidità dei corpi. Effetti delle resistenze passive: coefficiente di restituzione. Urti elastici ed anelastici. Le equazioni della dinamica del moto impulsivo. Perdita di energia cinetica. Teorema di Carnot.
Applicazioni: il pendolo balistico, il martello, la sbarra inclinata che cade e la ruota che batte contro un ostacolo.
Teoremi generali. Equazione simbolica del moto impulsivo. Teorema di Robin. Il teorema di Robin ed il principio della minima azione.
Il teorema di Kelvin. Il teorema di Carnot. Il teorema di Volterra. Esempi vari.
2. Sistemi con elasticità concentrata. La caduta di un contenitore rigido con all'interno sistemi elastici a più gradi di libertà. La risposta dinamica della fondazione di una pressa per maglio.
Esempio: l'esplosione subacquea. Un modello semplice per l'esplosione di una carica in acqua. La formazione della bolla di gas combusti. Il problema ecologico della protezione dell'ambiente nel brillamento di residuati bellici in acqua ed in aria.
3. Sistemi elastici. L'urto fra due sfere elastiche: il problema di Hertz. L'urto longitudinale fra due travi elastiche. Il problema dello spalling e l'esperienza di Hopkinson.
L'urto longitudinale di una massa rigida oppure deformabile contro una trave elastica.
L'impatto trasversale di una massa su una trave elastica. Le analisi qualitative di H. Cox. La teoria di Boussinesq.
Sistemi rigido-plastici. Trave rigido-plastica sottoposta a carichi dinamici.
Deformazioni plastiche causate dall'urto di una massa contro una trave a mensola.
L'urto di un natante contro la pila di un ponte. Caso di travi variamente vincolate.

Testi di riferimento

- [1] T. Levi-Licita, U. Amaldi, *Lezioni di Meccanica Razionale*, vol. 2° parte II, Zanichelli, 1974.
- [2] E.T. Whittaker, *A Treatise on the Analytical Dynamics of Particles and rigid Bodies*, Cambridge Press, 1989.
- [3] L.D. Landau, E.M. Lifshits, *Meccanica*, MIR, 1976.
- [4] L.S. Jacobsen, R.S. Ayre, *Engineering Vibrations*, Mc Graw Hill, 1958.
- [5] A.E.H. Love, *A Treatise on the Matematical Theory of Elasticity*, Dover, 1944.
- [6] K.F. Graff, *Wave Motion in Elastic Solids*, Dover, 1975.
- [7] H. Kolsky, *Stress Waves in Solids*, Dover, 1963.
- [8] J.W.S. Rayleigh, *The Theory of Sounds*, vol. 1° e 2°, Dover, 1945.
- [9] W. Johnson, *Impact Strength of Materials*, 1970.
- [10] W. Goldsmith, *Impact*, E. Arnold, 1960.
- [11] E. Backman, W. Goldsmith, *The Mechanics of Penetration of Projectiles Into Target*, Int. J. Engng. Sci., 1978.
- [12] J. Henrych, *The Dynamics of Explosions*, Elsevier, 1975.
- [13] G. Kinney, K.J. Graham, *Explosive Shocks in Air*, Springer-Verlag, 1985.
- [14] H. Cole, *Underwater Explosions*, Princeton Un., 1948.
- [15] H. Lamb, *Hydrodynamics*, Dover, 1945.

COSTRUZIONI IN ACCIAIO

*Docenti: Stefano CARAMELLI
(sede di Pisa)*

Contenuti del corso (Il corso si è articolato in 9 lezioni per complessive 18 ore)

1. Evoluzione dei ponti in acciaio. Il ponte di acciaio nell'800. Evoluzione del materiale. La situazione nella prima metà dell'800.
2. Tipologie strutturali in funzione delle luci. Progettazione integrata. La simmetria.
3. Il materiale acciaio. Richiami. La tenacità, la saldabilità. Acciai ad alta resistenza.
4. Le costruzioni in officina. Tecniche di saldatura.
5. Azioni sui ponti stradali.
6. Carichi ed effetti dinamici.
7. Danneggiamento a fatica e verifiche di ponti stradali.
8. I ponti a travata mista. Campo di impiego. Teoria delle sezioni miste. Lo scorrimento viscoso.
9. Il comportamento elastico equivalente. Le deformazioni da ritiro. Il metodo n. Tecniche di costruzione.
10. I ponti a travata ortotropa. Campo di impiego. Tipologia. Aspetti concessi con la fatica.
11. Criteri di progettazione. Calcolo.
12. I ponti a travata ferroviari. Tipologia. Evoluzione.
13. I ponti ferroviari. Criteri di progettazione e calcolo.
14. Problemi di stabilità nelle strutture da ponte.
15. Dispositivi antisismici per ponti.

Testi di riferimento

- [1] G Albenga, *I Ponti*, UTET, Torino, 1953-58.
- [2] M. Pietrangeli, *Costruzione di Ponti*, Masson, Milano, 1993.
- [3] F. Leonhardt, *Brucken - Bridges*, The Architectural Press, London, 1982.
- [4] J. A. Calgaro, M. Viclogeux, *Project et Construction des Ponts*, Prets et Chaussies, Paris, 1988.
- [5] W. Reni, *Ponts haubanes*, Presses Polytechnique Romandes, Lausanne, 1985
- [6] N. J. Ginising, *Cable supported bridges*, John Wiley & sons, New York.
- [7] P. Matildi, M Mele, *Impalcati a piastra ortotropa ed in sistema misto acciaio calcestruzzo*, ed. Italsider, 1971.
- [8] F. De Miranda, *Ponti a Struttura in Acciaio*, ed. Italsider., 1971.
- [9] Autori vari, *La Progettazione in Acciaio*, Collana CREA.
- [10] EC3, ENV 1993-1-1.

COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA

*Docente: Andrea VIGNOLI
(sede di Firenze)*

Contenuti del corso (*Il corso si è articolato in 5 lezioni per complessive 10 ore*)

1. Spettro di risposta di un terremoto e spettro di progetto; spettri plastici; metodo dell'oscillatore lineare equivalente, metodo del fattore di duttilità, metodo di Newmark-Hall; discussione sull'estensione dei metodi ai sistemi a più gradi di libertà; influenza delle scelte dei parametri di progetto: livello di duttilità richiesta, fattore di smorzamento, modellazione del legame costitutivo.
2. Zonazione e microzonazione sismica: il caso della piana fiorentina; influenza dei metodi di normalizzazione degli accelerogrammi per la scelta del terremoto di riferimento su roccia.
3. Risposta sismica di serbatoi e contenitori: risposta delle dighe (con paramento rigido e liquido incompressibile e comprimibile, interazione tra paramento di monte e di valle); risposta dei serbatoi (modello di Housner per serbatoi rigidi e la sua estensione al caso di quelli a parete flessibile), progetto dei serbatoi pensili.
4. Illustrazione dell'EC8, con specifico riferimento alla parte generale, con qualche riferimento alle prescrizioni sulle strutture in c.a..
5. Metodi sperimentali per la valutazione della risposta sismica di elementi strutturali e strutture; il metodo pseudodinamico per la sperimentazione in campo non lineare di sistemi (con esempi di applicazione e discussione sui metodi di integrazione numerica delle equazioni di moto).

Testi di riferimento

- [1] P. Pozzati (Coord.), *Fondamenti di Ingegneria Sismica*, Atti del Corso svolto a Bologna dal 28 ottobre al 10 dicembre 1983, Associazione Ingegneri della Provincia di Bologna, Collegio Ingegneri e Architetti dell'Emilia-Romagna, dicembre 1984.
- [2] A. Vignoli, *Non-Linear Seismic Analysis of Structures*, Proceedings, Workshop on "Structural Behaviour of Timber Constructions in Seismic Zones", Florence, May 1989, pp.99-122.
- [3] G. Vannucchi (Coord.), *Pericolosità Sismica ed Effetti Locali nell'Area Fiorentina*, Servizi Grafici Editoriali Padova, Firenze, ottobre 1991, pp.61-92.
- [4] A. Vignoli, *Analisi Strutturale di Serbatoi e Contenitori in Zona Sismica*, Note e Pubblicazioni di Ingegneria Strutturale, Università di Firenze, Dipartimento di Ingegneria Civile, Sezione Strutture, n.8/88.
- [5] Progetto di norma EC8, *Indicazioni Progettuali per la Resistenza Sismica delle Strutture*, 1996.
- [6] A. Chiarugi, S. Sorace, A. Vignoli, *Il Metodo Pseudodinamico per lo Studio del Comportamento Sismico delle Strutture Intelaiate*, Atti del 4° Convegno Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia", Milano, ottobre 1989, pp.393-400.

LE COSTRUZIONI IN MURATURA

*Docenti: Sergio LAGOMARSINO
(sede di Genova)*

Contenuti del corso (*Il corso si è articolato in 6 lezioni per complessive 24 ore*)

1. Recupero conservativo e sicurezza strutturale (regole dell'arte, normative di riferimento, codici di pratica). Classificazione degli interventi (manutenzione, consolidamento, adeguamento). La tecnologia delle costruzioni in muratura dell'edilizia storica.
2. Meccanica dei materiali usati nell'edilizia storica: la muratura di pietra, la muratura di mattoni, il legno, l'acciaio. La sperimentazione su materiali ed elementi strutturali (visita nel laboratorio).
3. Comportamento strutturale di edifici in muratura; la risposta alle azioni verticali ed a quelle sismiche. Metodi di verifica degli elementi strutturali (dalle regole dell'arte al metodo degli elementi finiti): archi, volte, cupole, piattabande, muri, solai lignei, coperture lignee, elementi metallici.
4. La diagnosi strutturale. Il sopralluogo, il rilievo e l'analisi storica come strumenti di conoscenza. Le indagini diagnostiche non distruttive. Il degrado. Il monitoraggio. Le opere provvisorie.
5. Analisi dei dissesti ed interpretazione del quadro fessurativo. Lesioni per cedimenti di fondazione o problemi legati al terreno. Lesioni per schiacciamento, eccentricità di carico, carichi concentrati, spinte orizzontali. L'umidità ed il degrado. Dissesti negli archi, nelle volte e nelle cupole. Dissesti dei solai in legno. Dissesti delle coperture lignee. Lesioni provocate da vibrazioni ambientali. Le lesioni prodotte dall'azione sismica.
6. Interventi sul costruito; ripristino con tecniche e materiali antichi o di nuova concezione (il problema della compatibilità). Il consolidamento delle fondazioni (sottofondazioni, pali, interventi sul terreno). Interventi sulle murature (scuci e cucì, catene, iniezioni di malta, cuciture armate, intonaco armato). Consolidamento di archi e volte in muratura. Consolidamento di solai e strutture lignee. Interventi di adeguamento in zona sismica.

Testi di riferimento

- [1] G. Carbonara, *Restauro Architettonico*, UTET, Torino, 1996.
- [2] G. Caterina, *Tecnologia del Recupero Edilizio*, UTET, Torino, 1989.
- [3] L. Gambarotta (a cura di), *La Meccanica delle Murature tra Teoria e Progetto*, Atti del Convegno tenutosi a Messina, 18-20 Settembre 1996, Pitagora, Bologna.
- [4] A. Giuffrè, *La meccanica nell'Architettura: la Statica*, La Nuova Italia Scientifica, Roma, 1986.
- [5] A. Giuffrè, *Sicurezza e Conservazione dei Centri Storici - Il Caso Ortigia*, Edizioni Laterza, Bari, 1993.
- [6] S. Mastrodicasa, *Dissesti Statici delle Strutture Edilizie*, Hoepli, Milano, 1993.

ANALISI MODALE SPERIMENTALE CON APPLICAZIONI DIAGNOSTICHE

*Docente: Antonino MORASSI
(sede di Udine)*

Contenuti del corso (*Il corso si è articolato in 5 lezioni per complessive 10 ore*)

1. Introduzione. Funzione di risposta in frequenza per un sistema meccanico a un grado di libertà. Estensione ai sistemi vibranti non smorzati a N gradi di libertà. Rappresentazioni delle funzioni di risposta in frequenza e loro proprietà qualitative. Estrazione dei parametri modali.
2. Funzione di risposta in frequenza per sistemi vibranti a N gradi di libertà con smorzamento proporzionale. Estensione ai sistemi vibranti continui: la trave in vibrazioni assiali e flessionali.
3. Introduzione all'analisi dei segnali. Illustrazione e discussione degli effetti della digitalizzazione e del troncamento sulla trasformata di Fourier di un segnale. Esempi.
4. Laboratorio. Illustrazione di un sistema di acquisizione ed elaborazione dei segnali per prove dinamiche. Esecuzione di una prova dinamica impulsiva su una trave in acciaio: determinazione di alcuni termini della funzione di risposta in frequenza ed estrazione dei parametri modali.
5. Applicazioni. Introduzione all'uso dei metodi dinamici in diagnostica strutturale. Indeterminazioni e non-unicità del problema diagnostico. Illustrazione dei risultati ottenuti con una tecnica diagnostica di tipo variazionale nella localizzazione di danni concentrati in semplici elementi strutturali.

Testi di riferimento

- [1] D. J. Ewins, *Modal Testing: Theory and Practice*, Research Studies Press, John Wiley & Sons Inc., 1988.
- [2] A Papoulis, *Signal Analysis*, International Student Edition, 1984.

INDICE

Premessa.....	2
Parte I CORSI DI BASE.....	3
ALGEBRA PER LA MECCANICA.....	4
EQUAZIONI DIFFERENZIALI ALLE DERIVATE PARZIALI.....	5
CALCOLO NUMERICO.....	6
MECCANICA DEI CONTINUI.....	7
PLASTICITA'.....	8
ANALISI NON LINEARE E PROBLEMI DI STABILITA'.....	9
MECCANICA DEI MATERIALI E DELLA FRATTURA.....	10
DINAMICA DELLE STRUTTURE.....	11
TEORIA DELLA PROBABILITA' E DINAMICA ALEATORIA.....	12
CALCOLO DELLE VARIAZIONI.....	14
TEORIA DEI GUSCI.....	16
ARGOMENTI DI ELASTICITA'.....	17
Parte II CORSI MONOGRAFICI.....	18
DINAMICA IMPULSIVA.....	19
COSTRUZIONI IN ACCIAIO.....	20
COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA.....	21
LE COSTRUZIONI IN MURATURA.....	22
ANALISI MODALE SPERIMENTALE CON APPLICAZIONI DIAGNOSTICHE.....	23
INDICE.....	24