

1) Sistemi di coordinate,campi_operatori

- 1) Sistemi di coordinate.
- 2) Campi scalari e vettoriali. Proprietà dei campi.
- 3) Operatori Divergenza, Rotore, Gradiente.
- 4) Flusso e circuitazione di un campo vettoriale.
- 5) Teorema della divergenza e teorema di Stokes.
- 6) Connessione lineare e connessione superficiale.
- 7) Identità vettoriali fondamentali relative al gradiente, alla divergenza e al rotore .
- 8) Teorema di Helmholtz.
- 9) Rappresentazione grafica dei campi.
- 10) Superficie di flusso e tubo di flusso.
- 11) Tabella riepilogativa degli operatori vettoriali nei sistemi di coordinate cartesiano, cilindrico, sferico

2) Elettrostatica nello spazio libero

- 1) Interazioni elettriche: la carica elettrica e la legge di Coulomb
- 2) Il campo elettrostatico
- 3) Distribuzioni di carica
- 4) Proprietà di irrotazionalità del campo elettrostatico e teorema di Gauss
- 5) Continuità della componente tangenziale del campo elettrostatico
- 6) Potenziale elettrostatico
- 7) Equazione di Poisson e equazione di Laplace nello spazio libero.
- 8) Espansione in multipoli del potenziale elettrostatico: il dipolo elettrico

3) Elettrostatica in presenza di mezzi materiali

- 1) Il campo elettrostatico in presenza di conduttori
- 2) Schermi elettrostatici
- 3) Il condensatore e la capacità elettrica: definizione.
- 4) Calcolo della capacità del condensatore piano, cilindrico, sferico
- 5) Condensatori in serie e parallelo
- 6) L'energia elettrostatica
- 7) Comportamento del campo elettrostatico in presenza di materiali dielettrici
- 8) Generalizzazione del teorema di Gauss
- 9) Condizioni di interfaccia tra mezzi materiali differenti
- 10) Soluzione di un problema di elettrostatica attraverso il metodo di separazione delle variabili

4) Elettrocinematica stazionaria

- 1) Corrente elettrica e conservazione della carica
- 2) Il campo di corrente
- 3) Il principio di conservazione della carica
- 4) Correnti di conduzione, convezione, spostamento
- 5) La legge di Ohm
- 6) Il modello dell'elettro-cinematica stazionaria
- 7) Resistenza del conduttore cilindrico attraversato da corrente longitudinale
- 8) Resistenza del conduttore cilindrico attraversato da corrente radiale

5) Magnetostatica

6) Formulazioni Elettromagnetiche classiche

- 1) Modelli E.M classici per formulazioni basate sui metodi F.E.M.
- 2) Elettro-cinematica stazionaria (ECS)
- 3) Elettrostatica (ES)

4) Magnetostatica (MS)

- a) Formulazione φ (Potenziale scalare ridotto)
- b) Formulazione $\varphi - \psi$ (Potenziale scalare ridotto-totale)
- c) Formulazioni basate sui potenziali vettori
 - c1) Formulazione \mathbf{A} (Potenziale vettore magnetico)
 - c2) Formulazione $\mathbf{A} - \varphi$ (Potenziale vettore magnetico-potenziale scalare ridotto)
 - c3) Formulazione $\mathbf{A} - \psi$ (Potenziale vettore magnetico-potenziale scalare totale)
 - c4) Formulazione $\mathbf{T} - \Omega - \psi$ (Potenziale vettore elettrico-potenziale scalare totale)

5) Elettro-quasi-statica (EQS)

6) Magneto-quasi-statica (MQS)

- a) Formulazione magnetica in termini di campo \mathbf{H} (Campo magnetico)
- b) Formulazione magnetica in termini di campo $\mathbf{H} - \varphi$ (magnetica mista)
- c) Formulazione magnetica in termini di potenziale $\mathbf{T} - \Omega$ (mista basata sul pot. vettore elettrico)
- d) Formulazione elettrica in termini di campo \mathbf{A}^* (Potenziale vettore modificato)
- e) Formulazione elettrica in termini di campo $\mathbf{A}^* - \Omega$ (elettrica mista)
- f) Formulazione elettrica in termini di potenziale $\mathbf{A} - V - \psi$ (mista basata sul pot. vettore magnetico)
 - Gauge di Coulomb
 - Gauge di Lorenz

7) Propagazione

- Determinazione degli autovalori delle cavità risonanti
- Problemi in guide d'onda
- Modi spuri

7) Formulazioni Elettromagnetiche basate sulla minimizzazione dell'errore costitutivo

- 1) Magnetostatica
- 2) Elettrocinematica stazionaria
- 3) Definizione di bounds locali e globali sulle quantità elettromagnetiche
 - a) Splitting
 - b) Bounds su quantità EM globali
 - c) Esempio: resistenza di lastra 2D con matrice periodica di fori circolari
 - d) Bounds su quantità EM locali
- 4) Modello di Maxwell completo
 - a) Introduzione
 - b) Definizione del funzionale di errore, energia, co-energia
 - c) Esempio applicativo
- 5) Principali caratteristiche delle formulazioni basate sull'errore costitutivo

8) Metodi computazionali per la soluzione dei problemi EM

- 1) Tabella riepilogativa delle formulazioni forti in forma locale
- 2) Metodi computazionali per la soluzione dei problemi EM
- 3) Formulazioni deboli
- 4) Generalizzazione della formulazione ai residui pesati
- 5) Formulazioni variazionali
 - a) Un esempio: l'Elettrostatica
 - b) Il punto di vista dell'analisi funzionale
 - c) Applicazioni all'equazione di Poisson
- 6) Formulazioni integrali
 - a) Elettrostatica
 - b) Magnetostatica

9) Riepilogo dei principali metodi analitici e numerici impiegati per la soluzione dei problemi elettromagnetici.

- 1) Metodi analitici
 - a) Funzione di Green
 - b) Metodo di separazione delle variabili
 - c) *Metodo* delle trasformazioni conformi
- 2) Introduzione ai metodi numerici
- 3) Classificazione delle equazioni alle derivate parziali
- 4) Metodi delle differenze finite (FDM)
 - a) Equazioni ellittiche
 - b) Equazioni paraboliche
 - c) Metodo esplicito
 - d) Convergenza, consistenza, stabilità
 - e) Metodo θ e metodo di Crank-Nicholson
 - f) Condizioni di Neumann, domini infiniti, e geometrie complesse
 - g) Algoritmo di Yee per il problema della propagazione
- 5) Metodo degli elementi di frontiera (BEM)

10) Metodo degli elementi finiti (FEM)

- 1) Origine storiche
- 2) Problemi di valori al contorno
- 3) Discretizzazione e interpolazione
 - a) Discretizzazione
 - b) Interpolazione
 - c) Calcolo della funzione di forma nodale
 - d) L'interpolazione globale e funzione nodale
- 4) Il metodo di Ritz
 - a) Formulazione variazionale per condizioni al contorno non omogenee
 - b) Costruzione del modello numerico per condizioni di Neumann omogenee
 - i. Il funzionale discreto
 - ii. Calcolo delle derivate parziali
 - iii. Il sistema di equazioni algebriche
 - iv. Inserimento delle condizioni di Dirichlet
 - c) Condizioni di Neumann generalizzate non omogenee
 - i. Calcolo delle derivate parziali
 - ii. Il sistema di equazioni algebriche complessivo
 - d) Convergenza
 - e) Domini illimitati
 - i. Troncamento del dominio
 - ii. Condizioni al contorno generalizzate
- 5) Il metodo di Galerkin
 - i. Le equazioni di elemento
 - ii. Il sistema di equazioni algebriche complessivo
- 6) Riepilogo del metodo degli elementi finiti
- 7) Soluzione numerica dei problemi a valore iniziale o di Cauchy
 - i. Metodo implicito
 - ii. Metodo di Crank-Nicolson
 - iii. Metodo di Eulero
 - iv. Metodo θ .

11) Metodi numerici- Prima Parte

- 1) **Approssimazioni ed errori.** Cifre significative, Accuratezza e precisione. Definizione degli errori: errore vero, errore relativo, errore relativo percentuale. Errori di arrotondamento: regole per l'arrotondamento. Errori di troncamento: serie di Taylor; resto dell'espansione in serie di Taylor; uso della serie di Taylor per la stima degli errori di troncamento: equazioni alle differenze finite divise; derivazione numerica: approssimazione delle derivate tramite differenze finite in avanti, all'indietro e centrali. Errore numerico globale. Errori banali: sviste, errori di formulazione, incertezze nei dati
- 2) **Ricerca di radici di equazioni algebriche scalari.** Soluzione di equazioni algebriche attraverso metodi iterativi. Metodi grafici. Metodi chiusi: metodo di bisezione; metodo della falsa posizione. Metodi aperti: metodo del punto fisso o metodo di Picard; metodo di Newton-Raphson. metodo delle secanti. Convergenza, velocità di convergenza, stima dell'errore. Il problema delle radici multiple. Applicazioni a semplici circuiti statici non lineari.
- 3) **Sistemi di equazioni algebriche lineari e non lineari.** Metodi diretti. Metodo di Cramer, costo computazionale. Metodo di eliminazione Gaussiana: pivoting, (parziale e completo), compensazione degli errori. Metodo di Gauss- Jordan. Inversione di matrici. Fattorizzazione LU. Costo computazionale. Esistenza ed unicità della fattorizzazione LU. Matrice di permutazione. Il problema del condizionamento di una matrice. Proprietà spettrali di una matrice. Numero di condizionamento di una matrice. Metodi iterativi: metodo di Jacobi, metodo di Gauss-Seidel, metodo del gradiente coniugato. Criteri di convergenza dei metodi iterativi. Applicazioni. Sistemi di equazioni non lineari: metodo di Picard; metodo di Newton-Raphson.

12) Metodi numerici- Seconda Parte

- 1) **Regressione**
 - a) concetti fondamentali di statistica: media, deviazione standard, varianza, coefficiente di variazione.
 - b) regressione ai minimi quadrati
 - c) regressione lineare ai minimi quadrata
 - d) criteri per la valutazione dell'approssimazione ottima
 - e) determinazione dei parametri della retta ai minimi quadrati
 - f) quantificazione dell'errore nella regressione lineare
 - g) linearizzazione di relazioni non lineari
 - h) regressione polinomiale
- 2) **Interpolazione.**
 - a) Formule di interpolazione di Newton alle differenze finite divise.
 - i. Interpolazione lineare
 - ii. interpolazione quadratica
 - iii. forma generale della formula di Newton
 - iv. analisi dell'errore per la formula di Newton.
 - v. Formula di Lagrange.
 - b) Interpolazione mediante funzioni splines.
 - i. splines lineari;
 - ii. splines quadratiche;
 - iii. splines cubiche;
 - iv. algoritmo per l'interpolazione mediante splines cubiche

Interpolazione. Formule di interpolazione di Newton alle differenze finite divise: Interpolazione lineare; interpolazione quadratica, forma generale della formula di Newton, analisi dell'errore per la formula di Newton. Formula di Lagrange. Interpolazione mediante funzioni splines: splines lineari; splines quadratiche; splines cubiche; algoritmo per l'interpolazione mediante splines cubiche

13) Formulazioni dei problemi circuitali.

Leggi di Kirchhoff in forma matriciale. Richiami di elementi di topologia dei circuiti: albero, coalbero, maglie fondamentali, insiemi di taglio. Matrice Q di insieme di taglio fondamentale. Matrice B di maglia fondamentale. LKT sulla base delle tensioni di albero. Relazione tra Q e B. LKC sulla base delle correnti di albero. Equazioni di tableau per i circuiti resistivi: generalizzazione dell'analisi di Tableau. Equazioni di nodo per i circuiti resistivi. Circuiti dinamici generali. Analisi di nodo modificata. Analisi mediante le variabili di stato.