

# FISICA GENERALE II

## Per Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni

Docente: Giovanni Batignani

A.A. 2018-9

### CHECKLIST

Versione del 27 novembre 2018

#### 1. Alcuni prerequisiti di matematica

- 1.1. Dare la definizione di operatore gradiente ( $\vec{\nabla}$ ) in coordinate cartesiane
- 1.2. Dare la definizione di divergenza di un vettore ( $\vec{\nabla} \cdot \vec{A}$ ) in coordinate cartesiane
- 1.3. Dare la definizione di rotore di un vettore ( $\vec{\nabla} \wedge \vec{A}$ ) in coordinate cartesiane
- 1.4. Dare la definizione di operatore laplaciano ( $\vec{\nabla}^2$ ) in coordinate cartesiane
- 1.5. Esprimere l'operatore Laplaciano in coordinate polari sferiche nel caso di campi con simmetria sferica
- 1.6. Esprimere l'operatore Laplaciano in coordinate polari cilindriche nel caso di campi con simmetria cilindrica
- 1.7. Enunciare il teorema della divergenza (detto "di Gauss")
- 1.8. Enunciare il teorema del rotore (detto "di Stokes")
- 1.9. Definire un numero complesso, la sua parte reale e la sua parte immaginaria (scrivere la parte reale e la parte immaginaria del numero complesso  $e^{i\alpha}$ )
- 1.10. Trovare la soluzione dell'equazione differenziale  $\ddot{x} + \gamma\dot{x} = C$  con le condizioni iniziali  $x(0) = x_0$  e  $\dot{x}(0) = V_0$ .
- 1.11. Trovare la soluzione dell'equazione differenziale  $\ddot{x} + \omega_0^2 x = C$  con le condizioni iniziali  $x(0) = x_0$  e  $\dot{x}(0) = V_0$ .
- 1.12. Determinare la soluzione stazionaria dell'equazione  $\ddot{x} + \gamma\dot{x} + \omega_0^2 x = C e^{i\omega t}$  nel campo complesso

#### 2. Alcuni prerequisiti di meccanica

- 2.1. Definire il prodotto scalare fra due vettori
- 2.2. Calcolare il prodotto scalare fra due vettori di cui siano note le coordinate cartesiane
- 2.3. Definire il prodotto vettoriale fra due vettori
- 2.4. Calcolare il prodotto vettoriale fra due vettori di cui siano note le coordinate cartesiane (regola del determinante)
- 2.5. Scrivere l'espressione della forza elettrostatica fra due cariche puntiformi ("legge di Coulomb")
- 2.6. Conoscere il valore numerico della costante dielettrica del vuoto
- 2.7. Quale è l'espressione della forza di attrito viscoso?
- 2.8. Quale è l'espressione della forza elastica?
- 2.9. Come è definita la pressione esercitata su una superficie piana?
- 2.10. Dimostrare che un punto materiale soggetto ad una forza elastica compie un moto armonico
- 2.11. Dimostrare che un punto materiale soggetto ad una sola forza di attrito viscoso compie un moto smorzato esponenzialmente
- 2.12. Dimostrare che un punto materiale soggetto ad una forza di attrito viscoso e ad una forza costante raggiunge una velocità limite
- 2.13. Cosa significa dire che "la carica elettrica è quantizzata" e quale è il valore numerico della carica elettrica elementare?

- 2.14. Dire sotto quali condizioni un elettrone nel campo di una carica elettrica positiva (molto pesante, si può considerare tenuta ferma) compie un moto circolare uniforme
- 2.15. Come si scrive il secondo principio della meccanica in un sistema inerziale?
- 2.16. Come si scrive il secondo principio della meccanica in un sistema non inerziale?
- 2.17. Dare la definizione di quantità di moto di un sistema
- 2.18. Enunciare la prima equazione cardinale della meccanica dei sistemi
- 2.19. Definizione di lavoro di una forza
- 2.20. Definizione di potenza sviluppata da una forza
- 2.21. Scrivere la relazione fra una forza, la potenza da essa sviluppata, e la velocità del punto di applicazione
- 2.22. Definizione di energia cinetica per un sistema meccanico
- 2.23. Enunciare il teorema dell'energia cinetica (o delle forze vive)
- 2.24. Dare la definizione di forza conservativa
- 2.25. Dare la definizione di campo di forza, di linee di forza e di superfici equipotenziali
- 2.26. Dare la definizione di differenza di energia potenziale
- 2.27. Come è definito l' $eV$  (elettron-volt) e quanti  $eV$  sono contenuti in un *Joule*?
- 2.28. Come si ricava la forza (conservativa) se è nota la funzione energia potenziale?
- 2.29. Quali sono la direzione ed il verso delle linee di forza rispetto alle superfici equipotenziali?
- 2.30. Come sono disposte le linee di forza e le superfici equipotenziali del campo di una carica puntiforme positiva (per esempio un protone)?
- 2.31. Come sono disposte le linee di forza e le superfici equipotenziali del campo di una carica puntiforme negativa (per esempio un elettrone)?
- 2.32. Che relazione c'è fra punti di equilibrio e massimi/minimi dell'energia potenziale?
- 2.33. Quale è la dipendenza dell'energia potenziale elettrostatica fra due cariche elettriche puntiformi in funzione della loro distanza?
- 2.34. Quale è la dipendenza dell'energia potenziale elastica di una molla in funzione del suo allungamento?
- 2.35. Dare la definizione di energia meccanica
- 2.36. Sotto quali condizioni vale la legge di conservazione dell'energia meccanica di un sistema?
- 2.37. Dare la definizione di momento di una forza
- 2.38. Dare la definizione di momento angolare (o momento della quantità di moto) di un punto materiale
- 2.39. Enunciare la relazione che esiste fra momento angolare di un punto materiale e momento delle forze sul punto stesso
- 2.40. Enunciare la seconda equazione cardinale della meccanica dei sistemi.
- 2.41. In quali condizioni vale la legge della conservazione del momento angolare di un sistema?

### 3. Elettrostatica e dielettrici

- 3.1. Dare la definizione di densità di carica di volume, di superficie, lineare.
- 3.2. Dare la definizione operativa di campo elettrico e la sua unità di misura.
- 3.3. Come si calcola il campo elettrico se è nota la distribuzione (discreta) delle cariche?
- 3.4. Come si calcola il campo elettrico se è nota la distribuzione (continua) delle cariche?
- 3.5. Quali sono le proprietà delle linee di forza del campo elettrico statico?
- 3.6. Come è definito il flusso del campo elettrico attraverso una superficie qualunque?
- 3.7. Enunciare la legge di Gauss per il campo elettrico.
- 3.8. Quanto vale il campo elettrico immediatamente all'esterno di un conduttore (teorema di Coulomb)?
- 3.9. Quanto vale la circuitazione del campo elettrico statico su una qualunque linea chiusa?
- 3.10. Dare la definizione di differenza di potenziale elettrico.
- 3.11. Come si calcola la differenza di potenziale se è noto il campo elettrico?
- 3.12. Come si ricava il campo elettrico se è nota la funzione potenziale elettrico?

- 3.13. Come si ricava il potenziale elettrico se è nota la distribuzione delle cariche elettriche?
- 3.14. Come si chiama e come è definita l'unità di misura del potenziale elettrico?
- 3.15. Che cosa è un condensatore? Dare la definizione di capacità di un condensatore
- 3.16. Come si chiama e come è definita l'unità di misura della capacità di un condensatore?
- 3.17. Quanto vale la capacità di un condensatore piano riempito di un materiale, se è nota la costante dielettrica relativa del mezzo, la superficie e la distanza fra le piastre?
- 3.18. Dimostrare la legge per la divergenza del campo elettrico nel vuoto a partire dalla legge di Gauss per il campo elettrico
- 3.19. Dimostrare l'equazione di Poisson per il potenziale elettrico statico
- 3.20. Quali condizioni al contorno sono necessarie e sufficienti per poter risolvere l'equazione di Poisson in un sistema di conduttori e cariche?
- 3.21. Scrivere l'equazione di Poisson per problemi in simmetria piana, cilindrica e sferica, nell'opportuno sistema di coordinate.
- 3.22. Calcolare il campo elettrico generato da una carica puntiforme posta in prossimità di un piano conduttore posto a massa (applicazione del metodo delle immagini).
- 3.23. Calcolare il campo ed il potenziale elettrico per una distribuzione di carica in simmetria sferica con densità  $kR$  per  $R < a$  e  $0$  per  $R > a$ , utilizzando la forma della divergenza o del laplaciano in coordinate sferiche.
- 3.24. Quale è il significato della costante di Plank? Quale è il suo valore numerico?
- 3.25. Per quali valori della costante di Plank sono valide le leggi della meccanica classica?
- 3.26. Determinare i possibili raggi delle orbite per un elettrone in moto circolare uniforme attorno ad un protone (atomo di Bohr), considerando come quantizzato il momento angolare
- 3.27. Determinare i livelli energetici di un atomo di Bohr.
- 3.28. Dare la definizione di dipolo elettrico e fornire alcuni esempi di dipoli elettrici.
- 3.29. Calcolare il potenziale elettrico generato da un dipolo elettrico a grande distanza.
- 3.30. Calcolare il campo elettrico generato da un dipolo elettrico a grande distanza, e disegnarne le linee di forza.
- 3.31. Calcolare l'energia potenziale di un dipolo elettrico in un campo elettrico esterno.
- 3.32. Calcolare la forza su un dipolo elettrico in un campo elettrico esterno.
- 3.33. Calcolare il momento delle forze su un dipolo elettrico in un campo elettrico esterno.
- 3.34. Spiegare il meccanismo di polarizzazione per orientamento, indicando l'andamento qualitativo del dipolo elettrico indotto in funzione della temperatura.
- 3.35. Spiegare il meccanismo di polarizzazione per deformazione, indicando l'eventuale dipendenza del dipolo elettrico indotto dalla temperatura.
- 3.36. Calcolare il rapporto (valore numerico con le corrette unità di misura) fra dipolo elettrico indotto e campo elettrico nel modello di Thomson dell'atomo di idrogeno (sfera rigida di raggio  $a = 0.53 \times 10^{-10} m$  uniformemente carica con al centro una carica puntiforme di segno opposto, l'atomo è globalmente neutro)
- 3.37. Definire la carica libera e la carica di polarizzazione.
- 3.38. Definire il vettore polarizzazione.
- 3.39. Definire la suscettività elettrica, la costante dielettrica relativa e la costante dielettrica assoluta.
- 3.40. Dire le unità di misura di: polarizzazione, suscettività elettrica, costante dielettrica relativa, costante dielettrica assoluta, costante dielettrica del vuoto.
- 3.41. Enunciare e dimostrare la relazione fra carica di polarizzazione superficiale e vettore di polarizzazione sulla superficie di un dielettrico.
- 3.42. Enunciare e dimostrare la relazione fra carica di polarizzazione nel volume e vettore di polarizzazione all'interno di un dielettrico.
- 3.43. Definire il vettore induzione elettrica ( $\vec{D}$ ) e dare le sue unità di misura.
- 3.44. Dimostrare la legge di Gauss per il vettore  $\vec{D}$ .
- 3.45. Scrivere la relazione fra il vettore  $\vec{D}$ , il campo elettrico ( $\vec{E}$ ) ed il vettore polarizzazione ( $\vec{P}$ ) per un dielettrico non lineare e per un dielettrico lineare.

- 3.46. Dire dove iniziano e terminano le linee di forza di  $\vec{D}$ , di  $\vec{E}$ , e del vettore polarizzazione.
- 3.47. Dimostrare le condizioni al contorno per i campi  $\vec{E}$  e  $\vec{D}$  sulla superficie di separazione (“interfaccia”) fra due dielettrici, in assenza di cariche libere. Cosa cambierebbe se vi fossero sull’interfaccia delle cariche libere?
- 3.48. Calcolare  $\vec{E}$ ,  $\vec{D}$ , potenziale elettrico, cariche libere e di polarizzazione in ogni punto dello spazio se un piano conduttore in  $x=0$  è fissato ad un potenziale  $V$  noto, un piano in  $x=a$  è posto a massa, la regione  $0 < x < a/2$  è riempita con un dielettrico di costante dielettrica nota, la restante parte dello spazio è vuota.
- 3.49. Scrivere e giustificare l’espressione dell’energia potenziale elettrostatica per un sistema di cariche puntiformi.
- 3.50. Scrivere l’espressione dell’energia potenziale elettrostatica per un sistema continuo di cariche, dimostrandola a partire dall’espressione dell’energia potenziale per cariche puntiformi.
- 3.51. Utilizzare l’espressione dell’energia potenziale elettrostatica per un sistema continuo di cariche per calcolare l’energia potenziale totale di: i) una sfera uniformemente carica di raggio  $a$ , ii) un guscio sferico di raggio  $a$  uniformemente caricato, iii) un condensatore piano nel vuoto.
- 3.52. Dimostrare, a partire dall’espressione  $U = \frac{1}{2} \int_{\text{tutte le cariche}} \phi dq$ , che la densità di energia elettrica in presenza di dielettrici vale  $\vec{D} \cdot \vec{E} / 2$ .
- 3.53. Calcolare l’energia potenziale totale di una sfera dielettrica uniformemente carica (raggio  $a$ )
- 3.54. Calcolare la capacità per unità di lunghezza di un cavo coassiale
- 3.55. Calcolare il potenziale elettrico in un sistema in simmetria piana in cui la regione  $-a < x < 0$  è riempita con un dielettrico di costante dielettrica  $\epsilon_r$  e densità di carica fissa  $\rho_o$ , la regione  $0 < x < 4a$  è riempita con un dielettrico di costante dielettrica  $\epsilon_r$  e densità di carica fissa  $-\rho_o/4$ , e la restante parte dello spazio è vuota (si imponga che il potenziale sia nullo in  $x=0$ )

#### 4. Correnti elettriche e magnetostatica

- 4.1. Dare la definizione di corrente elettrica
- 4.2. Definire le densità di corrente elettrica nel volume e superficiale, indicando le loro unità di misura.
- 4.3. Come si ricava la corrente attraverso una superficie se è nota la densità di corrente di volume?
- 4.4. Che moto fanno i portatori di carica in un materiale resistivo?
- 4.5. Come è definita la mobilità di un portatore di carica?
- 4.6. Che relazione sussiste fra densità di corrente e campo elettrico in un materiale resistivo (legge di Ohm microscopica)?
- 4.7. Dare la definizione e l’unità di misura della conducibilità elettrica.
- 4.8. Dare la definizione e l’unità di misura della resistività elettrica.
- 4.9. Enunciare la I e la II legge di Ohm.
- 4.10. Quanto vale la potenza dissipata in un resistore?
- 4.11. Quanto vale la potenza erogata da un generatore di tensione in funzione della d.d.p. e della corrente?
- 4.12. Scrivere e risolvere l’equazione che descrive la carica e la scarica del circuito RC.
- 4.13. Quanto vale l’energia immagazzinata in un condensatore?
- 4.14. Come è definita la resistività superficiale?
- 4.15. Enunciare le due leggi di Kirchoff
- 4.16. Enunciare e dimostrare l’equazione di continuità per la corrente elettrica, sia in forma integrale che in forma locale (differenziale)
- 4.17. Scrivere l’espressione della conducibilità elettrica ( $\sigma_c$ ) per un conduttore resistivo in cui vi siano portatori di carica con diverse concentrazioni e/o mobilità.
- 4.18. Dimostrare che la potenza dissipata in un conduttore resistivo è  $\vec{J} \cdot \vec{E} = \sigma_c \vec{E}^2 = \vec{J}^2 / \sigma_c$

- 4.19. Dimostrare le condizioni al contorno per i vettori  $\vec{J}$ ,  $\vec{E}$  e  $\vec{D}$  sulla superficie di separazione fra due conduttori resistivi e dielettrici, in presenza di cariche libere superficiali ed in regime stazionario.
- 4.20. Determinare i campi, le correnti, le cariche libere e superficiali in un condensatore piano posto ad una d.d.p. nota, riempito per metà di un dielettrico conduttore omogeneo e per l'altra metà di un differente dielettrico conduttore omogeneo.
- 4.21. Calcolare la conducibilità e la resistività di un blocco di Silicio in cui la concentrazione delle lacune sia  $10^{11} \text{ cm}^{-3}$  (ricordare  $n_h \cdot n_e = n_i^2$  con  $n_i = 1.45 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ,  $\mu_e = 1450 \frac{\text{cm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}$ ,  $\mu_h = 450 \frac{\text{cm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}$ )
- 4.22. Come si esprime la forza di Lorentz?
- 4.23. Come si chiama e come è definita l'unità di misura del campo di induzione magnetica?
- 4.24. Come si misura un campo di induzione magnetica statico? Definire lo strumento e le operazioni da fare.
- 4.25. Quanto vale la forza magnetica su un tratto di filo percorso da corrente (I legge di Laplace)?
- 4.26. Quanto vale la forza magnetica su un elemento di volume percorso da una densità di corrente costante?
- 4.27. Quali sono le proprietà delle linee di forza di un campo magnetico statico?
- 4.28. Enunciare la legge di Gauss per il magnetismo
- 4.29. Enunciare la legge che fornisce il campo di induzione magnetica per un filo rettilineo di lunghezza infinita percorso da corrente (legge di Biot-Savart)
- 4.30. Quanto vale la costante di permeabilità magnetica del vuoto  $\mu_0$  ?
- 4.31. Enunciare la legge che fornisce il campo di induzione magnetica generato dalla corrente che scorre in un tratto infinitesimo di filo (II legge di Laplace)
- 4.32. Dare la definizione di corrente concatenata ad una linea chiusa.
- 4.33. Enunciare la legge di Ampère per campi magnetici statici.
- 4.34. Dare la definizione di momento magnetico di una spira piana percorsa da corrente.
- 4.35. Quanto vale il momento delle forze su una spira percorsa da corrente e posta in un campo magnetico uniforme?
- 4.36. Dimostrare la legge per la divergenza del campo magnetico nel vuoto a partire dalla legge di Gauss per il campo magnetico.
- 4.37. Dimostrare la legge di Ampère in forma differenziale effettuando la dimostrazione utilizzando il teorema di Stokes
- 4.38. Ricavare il campo magnetico generato da una carica puntiforme, in moto con velocità  $\vec{v}$  costante non relativistica, in ogni punto dello spazio (partire dalla II legge di Laplace)
- 4.39. Dimostrare che il campo magnetico generato da una carica puntiforme, in moto con velocità  $\vec{v}$  costante non relativistica, in ogni punto dello spazio è pari a  $\frac{\vec{v} \wedge \vec{E}}{c^2}$ , dove  $\vec{E}$  è il campo elettrico generato in quel punto dalla carica.
- 4.40. Descrivere come l'effetto Hall possa determinare se in un conduttore resistivo siano le cariche positive o negative a muoversi; in particolare si discuta la possibilità di misurare la mobilità dei portatori di carica.
- 4.41. Calcolare il campo  $\vec{B}$  generato da un solenoide, con  $N$  spire, di raggio  $a$  e di altezza infinita percorso da una corrente costante  $I$ , utilizzando la legge di Ampère; poi dimostrare che il rotore di  $\vec{B}$  è nullo ovunque tranne che sulla superficie del solenoide; infine calcolare la discontinuità (modulo direzione e verso) di  $\vec{B}$ .
- 4.42. Calcolare il campo  $\vec{B}$  in un cilindro, di raggio  $a$  e di altezza infinita percorso da una densità di corrente assiale uniforme e costante  $\vec{j}$ , utilizzando la legge di Ampère; poi calcolare il rotore di  $\vec{B}$  in ogni punto dello spazio; infine calcolare le eventuali discontinuità (modulo direzione e verso) di  $\vec{B}$ .

- 4.43. Calcolare il campo  $\vec{B}$  generato da un piano in cui scorre una corrente superficiale  $\vec{K}$  costante utilizzando la legge di Ampère; poi dimostrare che il rotore di  $\vec{B}$  è nullo ovunque tranne che sul piano; infine calcolare la discontinuità (modulo direzione e verso) di  $\vec{B}$ .

## 5. Campi elettrici e magnetici variabili nel tempo

- 5.1. Enunciare la legge di Faraday
- 5.2. Descrivere due esperimenti, basati solo su magneti permanenti e senza utilizzare generatori di corrente o di tensione, per dimostrare la legge di Faraday
- 5.3. Quanto vale il campo elettrico impresso all'interno di una sbarra conduttrice che si muove perpendicolarmente ad un campo di induzione magnetica ?
- 5.4. Quanto vale la forza elettromotrice indotta ai capi di una sbarra conduttrice che si muove perpendicolarmente ad un campo di induzione magnetica ?
- 5.5. Quanto vale la forza elettromotrice indotta ai capi di una sbarra conduttrice che viene tenuta in rotazione con velocità costante perpendicolarmente ad un campo di induzione magnetica? La risposta dipende se l'asse di rotazione passa per il centro o per un estremo?
- 5.6. Spiegare il fenomeno delle correnti parassite e descrivere una situazione in cui il loro effetto sia chiaramente osservabile
- 5.7. Quale è il principio di funzionamento del generatore di forza elettromotrice alternata?
- 5.8. Come si chiama e come è definita l'unità di misura della forza elettromotrice?
- 5.9. Come si chiama e come è definita l'unità di misura del flusso del campo di induzione magnetica?
- 5.10. Quanto vale la circuitazione del campo elettrico su un qualunque percorso chiuso?
- 5.11. Dare la definizione di mutua induttanza fra due circuiti ed enunciare il relativo teorema di reciprocità
- 5.12. Come si chiama e come è definita l'unità di misura del coefficiente di mutua induttanza?
- 5.13. Descrivere il maggior numero possibile di situazioni in cui il coefficiente di mutua induttanza fra due spire è: *i*) positivo, *ii*) negativo, *iii*) nullo.
- 5.14. Dare la definizione di autoinduttanza di un circuito
- 5.15. Come si chiama e come è definita l'unità di misura del coefficiente di autoinduttanza di un circuito?
- 5.16. Enunciare la legge di Ampère-Maxwell
- 5.17. Descrivere l'esperimento che dimostra la legge di Ampère-Maxwell
- 5.18. Dare la definizione di corrente di spostamento
- 5.19. Scrivere la legge di Faraday in forma differenziale; effettuare la dimostrazione utilizzando il teorema di Stokes
- 5.20. Scrivere la legge di Ampère-Maxwell in forma differenziale; effettuare la dimostrazione utilizzando il teorema di Stokes
- 5.21. Come sono le linee di forza del campo elettrico indotto da un campo di induzione magnetica variabile nel tempo?
- 5.22. Come sono le linee di forza del campo di induzione magnetica indotto da un campo elettrico variabile nel tempo?
- 5.23. Se in un solenoide viene fatta variare la corrente, come saranno le linee di forza del campo elettrico indotto all'interno ed all'esterno del solenoide stesso?
- 5.24. Scrivere e risolvere l'equazione che descrive la carica e la scarica del circuito LR.
- 5.25. Calcolare la potenza ed il lavoro effettuato da ogni singolo elemento di un circuito LR durante: *i*) la sua scarica, *ii*) la sua carica.
- 5.26. Quanto vale l'energia immagazzinata in una induttanza? Effettuarne la dimostrazione
- 5.27. Scrivere, e dimostrare nel caso particolare di un solenoide, l'espressione della densità di energia magnetica
- 5.28. Scrivere e risolvere l'equazione di un circuito LC.

- 5.29. Calcolare il campo magnetico indotto in un condensatore piano circolare nel vuoto, in cui la ddp fra le armature varia sinusoidalmente, in ogni punto dello spazio interno al condensatore; spiegare perchè il risultato ottenuto non è valido se la frequenza della ddp è paragonabile a  $c$  divisa per il raggio del condensatore.
- 5.30. Calcolare la dipendenza temporale della carica sulle armature di un condensatore piano circolare, riempito di un materiale di resistività e costante dielettrica relativa note, se sulle armature viene depositata al tempo  $t=0$  una carica nota. Calcolare l'eventuale campo magnetico indotto nel condensatore durante la scarica.

## 6. Il magnetismo nella materia

- 6.1. Calcolare, anche numericamente, il momento magnetico dovuto al moto dell'elettrone nel caso dell'atomo di Bohr
- 6.2. Spiegare qualitativamente il fenomeno del dia-magnetismo, indicando se il momento magnetico indotto sia diretto nel verso del campo magnetico applicato o in verso opposto
- 6.3. Effettuare una stima del momento magnetico indotto su un singolo atomo dia-magnetico in funzione del campo magnetico applicato e dire se dipenda dalla temperatura
- 6.4. Spiegare qualitativamente il fenomeno del para-magnetismo, indicando se il momento magnetico indotto sia diretto nel verso del campo magnetico applicato o in verso opposto, e dire come dipende dalla temperatura
- 6.5. Dare la definizione di magnetizzazione di una sostanza
- 6.6. Spiegare qualitativamente le correnti di magnetizzazione di volume e superficiali
- 6.7. Enunciare la relazione fra correnti di magnetizzazione superficiali ed il vettore magnetizzazione
- 6.8. Enunciare la relazione fra correnti di magnetizzazione nel volume ed il vettore magnetizzazione
- 6.9. Definire il campo  $\vec{H}$
- 6.10. Scrivere la legge di Ampère-Maxwell in forma integrale e differenziale nei materiali magnetici utilizzando il campo  $\vec{H}$
- 6.11. Definire la suscettività magnetica di un sostanza
- 6.12. Definire la permeabilità magnetica di un sostanza
- 6.13. Dimostrare le condizioni al contorno per i campi  $\vec{H}$  e  $\vec{B}$  sulla superficie di separazione ("interfaccia") fra due materiali magnetici lineari, in assenza di correnti di conduzione. Cosa cambierebbe se vi fossero sulla interfaccia delle correnti di conduzione?
- 6.14. Spiegare qualitativamente il fenomeno del ferro-magnetismo, indicandone le caratteristiche piu' importanti ed in particolare il ciclo di isteresi
- 6.15. In che cosa consiste il ferro "dolce"?
- 6.16. Descrivere un apparato sperimentale per misurare la dipendenza fra  $\vec{H}$  e  $\vec{B}$  in un materiale magnetico
- 6.17. Descrivere il principio di funzionamento del trasformatore elettrico basato sull'impiego di materiali magnetici
- 6.18. Scrivere l'espressione della densità di energia magnetica in un materiale magnetico

## 7. Energia elettromagnetica, fenomeni ondulatori, onde elettromagnetiche

- 7.1. Scrivere le equazioni di Maxwell complete (includendo materiali dielettrici e magnetici) sia in forma integrale che in forma differenziale
- 7.2. Spiegare le condizioni per cui le EdM possono essere risolte nel caso "quasi stazionario"
- 7.3. Enunciare e dimostrare il teorema di Poynting
- 7.4. Definire il vettore di Poynting e spiegarne il significato fisico

- 7.5. Descrivere una situazione in cui  $\int_{V(S)} \vec{E} \cdot \vec{j}_{cond} dV = 0$ ,  $\int_S \vec{S} \cdot \hat{n} dA < 0$ ,  $\frac{d}{dt} \int_{V(S)} u_{em} dV > 0$

- 7.6. Descrivere una situazione in cui  $\int_{V(S)} \vec{E} \cdot \vec{j}_{cond} dV > 0$ ,  $\int_S \vec{S} \cdot \hat{n} dA = 0$ ,  $\frac{d}{dt} \int_{V(S)} u_{em} dV < 0$
- 7.7. Descrivere una situazione in cui  $\int_{V(S)} \vec{E} \cdot \vec{j}_{cond} dV < 0$ ,  $\int_S \vec{S} \cdot \hat{n} dA = 0$ ,  $\frac{d}{dt} \int_{V(S)} u_{em} dV > 0$
- 7.8. Calcolare tutti i termini del teorema di Poynting per una resistenza cilindrica percorsa da una corrente continua
- 7.9. Calcolare tutti i termini del teorema di Poynting per una condensatore piano circolare (nel vuoto) che si sta scaricando su una resistenza esterna
- 7.10. Definire un fenomeno ondulatorio e definire la "funzione d'onda", fornendo alcuni esempi per fenomeni ondulatori diversi dalle onde elettromagnetiche
- 7.11. Definire un'onda trasversale ed un'onda longitudinale
- 7.12. Definire l'equazione d'onda
- 7.13. Scrivere l'espressione dell'equazione classica delle onde (equazione di D'Alembert)
- 7.14. Dimostrare che le onde su una corda tesa verificano l'equazione classica delle onde
- 7.15. Calcolare la velocità di propagazione delle onde su una corda tesa di densità di massa  $0.1g/cm$  e tensione  $400N$ .
- 7.16. Dimostrare che la soluzione più generale dell'equazione classica per un'onda che si propaga lungo l'asse  $x$ , in un mezzo lineare ed omogeneo, è  $\psi(x,t) = \psi_1(x-Vt) + \psi_2(x+Vt)$ .
- 7.17. Definire, per un'onda e.m. non necessariamente piana, il fronte d'onda e il "raggio"
- 7.18. Enunciare ed illustrare il principio di Huygens
- 7.19. Definire un'onda armonica progressiva e definirne: ampiezza, vettore d'onda, numero di onde, frequenza angolare, frequenza, fase, periodo, lunghezza d'onda.
- 7.20. Per un'onda armonica progressiva scrivere tutte le relazioni fra le seguenti grandezze: numero di onde, frequenza angolare, frequenza, periodo, lunghezza d'onda.
- 7.21. Definire la relazione di dispersione di un'onda
- 7.22. Fornire almeno due esempi di relazioni di dispersione differenti
- 7.23. Definire le velocità di fase e di gruppo e spiegarne il significato fisico
- 7.24. Enunciare il principio di sovrapposizione per fenomeni ondulatori
- 7.25. Definire il fenomeno dell'interferenza fra onde
- 7.26. Definire un'onda stazionaria e definirne i nodi ed i ventri
- 7.27. Dimostrare che un'onda stazionaria può essere generata da due onde armoniche aventi stessa ampiezza e frequenza, ma direzioni di propagazione opposte.
- 7.28. Dimostrare che una corda di lunghezza  $L$ , fissata alle sue estremità, può essere la sede di onde stazionarie, di cui si può calcolare la lunghezza d'onda.
- 7.29. Scrivere le equazioni di Maxwell in forma differenziale in un mezzo lineare ed omogeneo privo di cariche e di correnti
- 7.30. A partire dalle equazioni di Maxwell (in un mezzo lineare ed omogeneo) dimostrare l'equazione delle onde (eq. di D'Alembert) per i campi elettrico e magnetico.
- 7.31. Dimostrare che la velocità della luce, in un mezzo lineare ed omogeneo vale 
$$V = \frac{c}{n} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \epsilon_0 \mu_r \mu_0}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}}$$
 dove  $n$  è l'indice di rifrazione
- 7.32. Spiegare perchè la costante dielettrica relativa (e quindi l'indice di rifrazione) possono dipendere dalla frequenza
- 7.33. Scrivere e ricavare la relazione di dispersione di un'onda e.m. nel vuoto
- 7.34. Dare la definizione di onda e.m. piana
- 7.35. Dimostrare, utilizzando le eq. di Maxwell, che in un'onda e.m. piana il campo elettrico, il campo magnetico e la direzione di propagazione sono perpendicolari fra loro e disposti come una terna levogira (regola mano *destra*)
- 7.36. Dimostrare, utilizzando le eq. di Maxwell, che in un'onda e.m. piana si ha  $|\vec{E}| = V|\vec{B}|$ .
- 7.37. Dare la definizione di polarizzazione lineare per un'onda em.

- 7.38. Dare la definizione di onda e.m. piana, monocromatica e polarizzata linearmente
- 7.39. Dare la definizione, per un'onda e.m. piana e monocromatica, di: *i)* vettore d'onda, *ii)* numero d'onda, *iii)* frequenza, *iv)* lunghezza d'onda, *v)* frequenza angolare, *vi)* fase, *vii)* ampiezza, *viii)* velocità di fase
- 7.40. Calcolare, per un'onda e.m. piana e monocromatica, la densità di energia totale, la densità di energia magnetica e la densità di energia elettrica. Mostrare che l'energia è equipartita fra elettrica e magnetica.
- 7.41. Scrivere il vettore di Poynting e spiegarne il significato fisico nel caso di un'onda piana
- 7.42. Quanto vale, approssimativamente, il modulo del vettore di Poynting per la radiazione solare che incide sulla Terra? Di conseguenza, quanto sarà la potenza radiante emessa dal Sole?
- 7.43. Calcolare la pressione (di radiazione) che un'onda e.m. esercita su una superficie perfettamente assorbente per incidenza perpendicolare.
- 7.44. Calcolare la pressione esercitata su una superficie piana da un'onda e.m. che incida perpendicolarmente su di essa, e che sia parzialmente riflessa, parzialmente trasmessa e, per la parte restante, assorbita
- 7.45. Calcolare la forza della radiazione solare su una sferetta perfettamente assorbente e confrontarla con la forza di attrazione gravitazionale. Ipotizzando che la sfera abbia una densità relativa pari ad 1, determinare il suo raggio in modo che la forza di radiazione equilibri quella gravitazionale
- 7.46. Utilizzare il principio di Huygens per dimostrare la legge della riflessione
- 7.47. Enunciare la legge della rifrazione (legge di Snell) e dimostrarla utilizzando il principio di Huygens
- 7.48. Mostrare che in una fibra ottica, di diametro molto maggiore della lunghezza d'onda della radiazione trasmessa, la radiazione si può trasmettere per riflessione totale
- 7.49. Spiegare qualitativamente il fenomeno della "dispersione cromatica" in una fibra ottica