

Indice

| | | |
|----------|------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Definizioni e relazioni fondamentali | 9 |
| 1.1 | Definizioni di \mathbf{E} e \mathbf{B} | 9 |
| 1.2 | Equazioni di Maxwell | 10 |
| 1.3 | Cariche e dielettrici | 11 |
| 1.4 | Corrente di conduzione | 12 |
| 1.5 | Corrente di spostamento | 13 |
| 1.6 | Parametri del mezzo | 14 |
| 1.7 | Grandezze impresse | 15 |
| 1.8 | Dualità | 17 |
| 1.9 | Condizioni al contorno | 17 |
| 1.9.1 | Vincoli per le componenti normali dei campi | 17 |
| 1.9.2 | Vincoli per le componenti tangenziali dei campi | 18 |
| 1.9.3 | Riepilogo delle condizioni al contorno | 20 |
| 2 | Bilancio energetico e unicità | 23 |
| 2.1 | Il teorema di Poynting | 23 |
| 2.1.1 | Applicazioni a sorgenti armoniche | 25 |
| 2.2 | Teorema di unicità | 32 |
| 3 | Campi | |
| | nel dominio della frequenza | 35 |
| 3.1 | Notazioni complesse | 35 |
| 3.1.1 | Polarizzazione di un vettore | 36 |
| 3.1.2 | Vettori analitici | 39 |
| 3.2 | La costante dielettrica nel dominio della frequenza | 40 |
| 3.2.1 | Mezzi non polari con cariche vincolate | 41 |
| 3.2.2 | Mezzi polari | 46 |
| 3.2.3 | Mezzi conduttori | 49 |
| 3.3 | La conducibilità nel dominio della frequenza | 51 |
| 3.3.1 | Conducibilità e costante dielettrica | 51 |
| 3.3.2 | Dielettrici acquosi | 52 |

| | | |
|----------|--------------------------------------------------------------------|------------|
| 4 | Relazioni nel dominio della frequenza | 57 |
| 4.1 | Equazioni di Maxwell | 57 |
| 4.2 | Bilancio energetico | 58 |
| 4.3 | Unicità | 62 |
| 5 | Propagazione | 65 |
| 5.1 | Campo elettromagnetico e approssimazione ottica | 65 |
| 5.2 | Potenziali elettrodinamici | 67 |
| 5.2.1 | Equazioni delle onde per disomogeneità deboli | 69 |
| 5.3 | Campi in mezzi debolmente disomogenei non dissipativi | 71 |
| 5.3.1 | Propagazione | 74 |
| 5.3.2 | Relazioni tra campi e direzione di propagazione | 75 |
| 5.4 | Raggi elettromagnetici | 78 |
| 5.4.1 | Legge di Snell generalizzata | 81 |
| 5.4.2 | Principio di Fermat e lunghezza di percorso | 82 |
| 5.4.3 | Raggi in mezzi stratificati | 83 |
| 5.5 | Raggi nella troposfera | 85 |
| 5.5.1 | Rifrattività dell'aria | 85 |
| 5.5.2 | Visibilità elettromagnetica | 88 |
| 5.6 | Trasporto lungo i raggi | 90 |
| 5.7 | Campi in mezzi dissipativi debolmente disomogenei | 93 |
| 5.7.1 | Mezzi debolmente dissipativi | 94 |
| 5.8 | Onde non omogenee | 95 |
| 6 | Dispersione | 97 |
| 6.1 | Velocità di fase e di gruppo | 97 |
| 6.2 | Dispersione di un pacchetto d'onde | 99 |
| 6.2.1 | Propagazione di un campo non monocromatico | 99 |
| 7 | Propagazione guidata da mezzi debolmente disomogenei | 107 |
| 7.1 | Condotti atmosferici e lamine dielettriche | 107 |
| 7.1.1 | Modi di propagazione guidata da una struttura planare | 108 |
| 7.1.2 | Cut-off | 111 |
| 7.2 | Fibra ottica a variazione continua di indice | 113 |
| 7.2.1 | Modi di propagazione guidata da una fibra ottica | 113 |
| 7.2.2 | Costante di propagazione e cut-off | 116 |
| 7.2.3 | Impedenza d'onda | 118 |
| 7.2.4 | Velocità di fase e di gruppo in una fibra ottica | 119 |
| 7.2.5 | Dispersione nelle fibre ottiche multimodali | 120 |

| | | |
|-----------|----------------------------------------------------------------|------------|
| 8 | Onde piane | 125 |
| 8.1 | Onde in mezzo uniforme | 125 |
| 8.2 | Onde piane in mezzi uniformi | 126 |
| 8.2.1 | Relazioni tra campi e vettore di propagazione | 128 |
| 8.2.2 | I parametri secondari | 130 |
| 8.3 | Parametri di Stokes | 133 |
| 9 | Riflessione e rifrazione | 137 |
| 9.1 | Incidenza normale | 137 |
| 9.1.1 | Materiale dielettrico | 137 |
| 9.1.2 | Materiale conduttore | 140 |
| 9.2 | Incidenza obliqua | 142 |
| 9.2.1 | Materiale dielettrico | 142 |
| 9.2.2 | Materiale dissipativo | 148 |
| 9.3 | Riflessione totale | 155 |
| 9.3.1 | Trasporto di potenza | 157 |
| 10 | Propagazione guidata da mezzi discontinui | 159 |
| 10.1 | Il potenziale vettore in strutture cilindriche | 159 |
| 10.2 | Modi guidati da lamina dielettrica | 162 |
| 10.2.1 | Fibra monomodale con indice a gradino | 168 |
| 10.3 | Trasporto guidato dell'energia elettromagnetica | 168 |
| 10.3.1 | Trasporto dell'involuppo | 169 |
| 10.4 | Propagazione guidata in un mezzo non lineare | 170 |
| 11 | L'irradiazione elettromagnetica | 173 |
| 11.1 | Campo di una sorgente puntiforme: modello ottico | 173 |
| 11.2 | Risposta impulsiva dello spazio libero | 174 |
| 11.2.1 | La funzione scalare di Green | 176 |
| 11.2.2 | Il campo elettromagnetico di una sorgente puntiforme | 178 |
| 11.3 | Irradiazione da sorgenti di dimensioni finite | 180 |
| 11.3.1 | Campo irradiato a grande distanza | 182 |
| 11.4 | Reciprocità elettromagnetica | 184 |
| 11.4.1 | Forma generale | 184 |
| 11.4.2 | Integrali di reazione e loro uguaglianza | 185 |
| 11.5 | Equivalenza | 187 |
| 12 | Proprietà generali delle antenne | 191 |
| 12.1 | Parametri di irradiazione | 191 |
| 12.1.1 | Diagramma di radiazione | 191 |
| 12.1.2 | Direttività e guadagno | 192 |
| 12.2 | Antenne in ricezione | 194 |
| 12.2.1 | Potenza ricevuta in funzione della reazione | 194 |

| | | |
|-----------|-------------------------------------------------------------------|------------|
| 12.2.2 | Effetto della polarizzazione | 197 |
| 12.2.3 | Area equivalente | 200 |
| 12.3 | Legame tra area equivalente e direttività | 201 |
| 12.4 | Trasmissione tra antenne | 203 |
| 13 | Antenne lineari e ad apertura | 207 |
| 13.1 | Antenne lineari | 208 |
| 13.1.1 | Antenna corta | 209 |
| 13.1.2 | Campo di un'antenna sottile | 212 |
| 13.1.3 | Antenna a mezz'onda | 212 |
| 13.1.4 | Antenna a onda intera | 214 |
| 13.1.5 | Realizzazione pratica di antenne a dipolo | 214 |
| 13.2 | Antenne ad apertura | 216 |
| 13.2.1 | Antenna a bocca rettangolare | 218 |
| 13.2.2 | Antenna a bocca circolare | 223 |
| 13.2.3 | Antenna a bocca ellittica | 228 |
| 14 | Scattering elettromagnetico e radar | 231 |
| 14.1 | Funzione di reirradiazione | 232 |
| 14.2 | Sezioni trasverse | 233 |
| 14.3 | Equazione del radar | 235 |
| 14.4 | L'osservazione della Terra da radar satellitari | 237 |
| 15 | Rischio elettromagnetico e normativa di sicurezza | 241 |
| 15.1 | Il campo elettromagnetico ambientale | 241 |
| 15.1.1 | Il campo elettromagnetico naturale | 241 |
| 15.1.2 | Campi elettromagnetici prodotti dall'uomo | 242 |
| 15.2 | Esposizione al campo elettromagnetico | 243 |
| 15.2.1 | Esposizione ambientale | 243 |
| 15.2.2 | Esposizione sul posto di lavoro | 244 |
| 15.2.3 | Campi in luoghi residenziali | 245 |
| 15.3 | Effetti del campo elettromagnetico su esseri viventi | 245 |
| 15.3.1 | Difficoltà del problema | 245 |
| 15.3.2 | Effetti sulle cellule | 247 |
| 15.3.3 | Effetti macroscopici | 248 |
| 15.4 | Normativa di sicurezza | 250 |
| 15.4.1 | Normativa italiana | 251 |
| A | Richiami sui vettori | 253 |
| A.1 | Prodotti tra vettori | 253 |
| A.1.1 | Doppi prodotti | 254 |
| A.2 | Vettori in sistemi di coordinate non cartesiane | 254 |
| A.2.1 | Coordinate sferiche | 254 |

| | | |
|----------|---------------------------------------------------------|------------|
| A.2.2 | Coordinate cilindriche | 255 |
| A.3 | Trasformazione di componenti | 256 |
| A.4 | Circuitazione e flusso | 256 |
| B | Richiami sugli operatori | 259 |
| B.1 | Gradiente | 259 |
| B.2 | Divergenza | 259 |
| B.3 | Rotore | 260 |
| C | Richiami sulle coordinate curvilinee | 263 |
| C.1 | Coordinate curvilinee ortogonali | 263 |
| C.1.1 | Coordinate cartesiane ortogonali | 264 |
| C.1.2 | Coordinate sferiche | 264 |
| C.1.3 | Coordinate cilindriche | 265 |
| C.2 | Operatori in coordinate curvilinee ortogonali | 265 |
| C.2.1 | Derivate spaziali | 265 |
| C.2.2 | Gradiente | 265 |
| C.2.3 | Divergenza | 266 |
| C.2.4 | Rotore | 267 |
| D | Richiami sull'uso di ∇ | 271 |
| D.1 | Gli operatori espressi tramite ∇ | 271 |
| D.1.1 | Gradiente | 271 |
| D.1.2 | Divergenza | 271 |
| D.1.3 | Rotore | 272 |
| D.2 | Uso dell'operatore vettoriale ∇ | 272 |
| D.3 | Il laplaciano | 273 |
| D.3.1 | Il laplaciano in alcune identità vettoriali | 273 |