

Maurizio Zani

Raccolta di lezioni per  
**Elettromagnetismo**

Elettricità. Corrente. Magnetismo

II edizione



*“Who wants to live  
forever...”*

*Queen*



# Prefazione

Questo testo è una raccolta delle lezioni svolte in aula dal sottoscritto in questi anni durante i corsi di Fisica Sperimentale a Ingegneria presso il Politecnico di Milano. Il testo è organizzato con una sequenza che bene o male segue quella tenuta in aula.

Lungi da me pensare che il testo sia esaustivo, e che consenta di evitare di frequentare le lezioni in aula; è invece uno strumento complementare, che può aiutare a seguire più agevolmente le tematiche proposte, con il supporto di avere sott'occhio i procedimenti seguiti in aula.

**Consigli:** nel testo sono contenuti degli esercizi d'esempio per le diverse tematiche, evidenziati con un segno a lato come il seguente

## | Esercizio d'esempio

E' comunque importante che di ogni tematica trattata si capisca l'ambito di validità, così da poterla applicare ai vari casi che si presentano e non fermandosi ai soli esempi presentati.

Ogni termine o definizione importante compare in **grassetto** nel testo, e viene poi riportato per comodità nell'indice degli argomenti a fondo libro; è presente anche un indice degli autori richiamati nel testo, un indice delle costanti e un indice delle unità di misura.

**Errori:** ne è piena la Terra, figurarsi qui dentro!! Che dire, vi sarei grato, e con me gli studenti futuri, se voleste segnalarmeli, così che questo strumento possa essere continuamente migliorato nelle successive edizioni (maurizio.zani@polimi.it)

**Ringraziamenti:** mi fa piacere cominciare a ringraziare proprio gli studenti, dai quali molte volte ho preso ispirazione per cercare nuovi esempi che chiarissero la tematica, per continuare con i colleghi con i quali ho condiviso il compito di docente e dai quali ho appreso utili consigli per il compito dell'insegnamento.

Ora basta essere così seri (chi ha seguito le mie lezioni sa a cosa mi riferisco): 😊 prendete carta, penna e calamaio e... buon lavoro!

Maurizio Zani

*Ottobre, 2015*



# Sommario

<b>Elettrostatica .....</b>	<b>11</b>
Elettrizzazione .....	11
<i>Strofinio</i> .....	12
<i>Contatto</i> .....	13
<i>Induzione elettrostatica</i> .....	14
<i>Polarizzazione</i> .....	15
Forza elettrica .....	16
<i>Carica elettrica</i> .....	16
<i>Struttura della materia</i> .....	19
<i>Forza di Coulomb</i> .....	23
<i>Carica esploratrice</i> .....	27
Campo elettrico .....	28
<i>Campo elettrico</i> .....	28
<i>Linee di flusso</i> .....	34
<i>Tubo di flusso</i> .....	35
<i>Moto di cariche</i> .....	36
Teorema di Gauss .....	37
<i>Flusso</i> .....	37
<i>Superficie sferica</i> .....	39
<i>Superficie generica</i> .....	41
Campo conservativo.....	46
<i>Energia potenziale elettrica</i> .....	46
<i>Potenziale elettrico</i> .....	49
<i>Energia elettrica</i> .....	51
Dipolo elettrico .....	57
<i>Interazioni create</i> .....	57
<i>Interazioni subite</i> .....	59
<i>Sviluppo in multipoli</i> .....	61
Formulazione differenziale .....	66
<i>Condizioni al contorno</i> .....	66
<i>Leggi di Maxwell</i> .....	69
<i>Energia elettrica</i> .....	73
<i>Equazione di Poisson</i> .....	75
<b>Materiali conduttori .....</b>	<b>77</b>
Conduttore pieno.....	77
<i>Conduttore carico</i> .....	77
<i>Teorema di Coulomb</i> .....	79
<i>Pressione elettrostatica</i> .....	80
<i>Conduttore in campo esterno</i> .....	82
<i>Conduttori a contatto</i> .....	83
Conduttore cavo .....	85
<i>Conduttore carico</i> .....	85
<i>Carica nella cavità</i> .....	86
<i>Conduttore in campo esterno</i> .....	87
Capacità elettrica.....	88
Energia elettrica .....	89
<b>Condensatori .....</b>	<b>91</b>
Capacità .....	91
<i>Condensatore piano</i> .....	92
<i>Condensatore cilindrico</i> .....	95

<i>Condensatore sferico</i> .....	97
Energia elettrica.....	98
Serie e parallelo.....	100
<i>Condensatori in serie</i> .....	100
<i>Condensatori in parallelo</i> .....	100
Mutua capacità.....	101
<b>Materiali dielettrici.....</b>	<b>103</b>
Materiali dielettrici.....	103
<i>Condensatore piano</i> .....	103
<i>Lastra conduttrice</i> .....	104
<i>Lastra dielettrica</i> .....	105
Polarizzazione.....	108
<i>Polarizzazione (fenomeno)</i> .....	108
<i>Polarizzazione (vettore)</i> .....	111
<i>Induzione elettrica</i> .....	112
Formulazione differenziale.....	114
<i>Polarizzazione</i> .....	114
<i>Induzione elettrica</i> .....	115
<i>Equazioni di Maxwell</i> .....	117
Condensatori.....	118
<i>Condensatori in serie</i> .....	118
<i>Condensatori in parallelo</i> .....	120
<i>Richiamo del dielettrico</i> .....	122
<b>Corrente elettrica.....</b>	<b>125</b>
Corrente.....	125
Densità di corrente.....	127
Conservazione della carica.....	130
<i>Equazione di continuità</i> .....	130
<i>Fenomeni stazionari</i> .....	131
<i>Fenomeni non stazionari</i> .....	132
<b>Resistori.....</b>	<b>133</b>
Resistenza elettrica.....	133
<i>Prima legge di Ohm</i> .....	133
<i>Seconda legge di Ohm</i> .....	134
<i>Legge di Ohm infinitesima</i> .....	136
<i>Codice colori</i> .....	137
Modello di Drude.....	138
<i>Modello di Drude</i> .....	138
<i>Velocità termica</i> .....	139
<i>Velocità di deriva</i> .....	140
Legge di Joule.....	142
Serie e parallelo.....	144
<i>Resistori in serie</i> .....	144
<i>Resistori in parallelo</i> .....	144
Superconduttori.....	145
<i>Classificazione</i> .....	145
<b>Circuiti elettrici continui.....</b>	<b>147</b>
Generatori.....	147
<i>Generatore ideale</i> .....	147
<i>Generatore reale</i> .....	150
<i>Tipi di generatore</i> .....	152



Leggi di Kirchhoff .....	153
<i>Prima legge di Kirchhoff</i> .....	153
<i>Seconda legge di Kirchhoff</i> .....	154
Strumenti di misura .....	155
<i>Amperometro</i> .....	155
<i>Voltmetro</i> .....	155
<i>Multimetro</i> .....	155
<b>Magnetostatica .....</b>	<b>157</b>
Magnetizzazione .....	157
<i>Magnetizzazione</i> .....	157
<i>Forza magnetica</i> .....	158
<i>Linee di flusso</i> .....	160
<i>Campo magnetico</i> .....	161
Forza magnetica .....	162
<i>Forza di Lorentz</i> .....	162
<i>Moto di cariche</i> .....	164
<i>Effetto Hall</i> .....	168
<i>Seconda legge elementare di Laplace</i> .....	169
Campo magnetico .....	171
<i>Campo magnetico</i> .....	171
<i>Prima legge elementare di Laplace</i> .....	173
<i>Forza tra correnti</i> .....	175
Teorema di Gauss .....	176
Teorema di Ampère .....	177
<i>Linea circolare</i> .....	177
<i>Linea generica</i> .....	178
Dipolo magnetico .....	185
<i>Dipolo magnetico</i> .....	185
<i>Spira circolare</i> .....	187
<i>Spira rettangolare</i> .....	189
<i>Teorema di equivalenza di Ampère</i> .....	191
<i>Magnetone di Bohr</i> .....	192
Formulazione differenziale .....	193
<i>Condizioni al contorno</i> .....	193
<i>Leggi di Maxwell</i> .....	196
<b>Induzione elettromagnetica.....</b>	<b>199</b>
Legge di Faraday-Henry .....	199
Legge di Lenz .....	201
<i>Induzione di movimento</i> .....	202
<i>Induzione di trasformazione</i> .....	203
Correnti di Foucault .....	204
<b>Induttori .....</b>	<b>205</b>
Induttanza.....	205
<i>Solenoid</i> .....	206
Energia magnetica.....	210
Serie e parallelo.....	212
<i>Induttori in serie</i> .....	212
<i>Induttori in parallelo</i> .....	212
Mutua induttanza .....	213
<b>Materiali magnetici.....</b>	<b>215</b>
Materiali magnetici .....	215

<i>Solenoido</i> .....	215
<i>Cilindro magnetico</i> .....	216
<b>Magnetizzazione</b> .....	<b>217</b>
<i>Magnetizzazione (fenomeno)</i> .....	217
<i>Magnetizzazione (vettore)</i> .....	220
<i>Induzione magnetica</i> .....	221
<b>Formulazione differenziale</b> .....	<b>222</b>
<i>Magnetizzazione</i> .....	222
<i>Induzione magnetica</i> .....	223
<i>Equazioni di Maxwell</i> .....	225
<b>Circuiti elettrici variabili</b> .....	<b>227</b>
Circuiti in transitorio.....	227
<i>Carica e scarica del condensatore</i> .....	227
<i>Carica e scarica dell'induttore</i> .....	233
Circuiti oscillanti.....	237
<i>Oscillatore ideale</i> .....	237
<i>Oscillatore reale smorzato</i> .....	238
<i>Oscillatore reale forzato</i> .....	239
<b>Elettromagnetismo</b> .....	<b>243</b>
Relatività.....	243
<i>Fisica classica</i> .....	244
<i>Fisica relativistica</i> .....	245
Equazioni di Maxwell.....	247
<i>Induzione magnetoelettrica</i> .....	248
<i>Equazioni di Maxwell</i> .....	250
<i>Condizioni al contorno</i> .....	251
<i>Formulazione differenziale</i> .....	252
Onde elettromagnetiche.....	254
<b>Bibliografia</b> .....	<b>257</b>
<b>Indice</b> .....	<b>259</b>
Indice degli autori.....	259
Indice delle costanti.....	260
Indice delle unità di misura.....	261
Indice degli argomenti.....	262