

## Appendice A

# Costanti fondamentali e prefissi delle unità di misura

**Tabella A.1** Costanti fondamentali

Velocità della luce nel vuoto	$c$	$2.9979 \times 10^8$	m/s
Costante dielettrica del vuoto	$\epsilon_0$	$8.8542 \times 10^{-12}$	F/m
Permeabilità magnetica del vuoto	$\mu_0$	$1.2566 \times 10^{-6}$	H/m
Carica dell'elettrone	$e$	$1.6022 \times 10^{-19}$	C
Massa dell'elettrone	$m_e$	$9.1094 \times 10^{-31}$	kg
Costante di Boltzmann	$k_B$	$1.3807 \times 10^{-23}$	J/K
Costante di Planck	$h$	$6.6261 \times 10^{-34}$	J · s

**Tabella A.2** Prefissi delle unità di misura

<i>Prefisso</i>	<i>potenza di 10</i>	<i>Simbolo</i>
zepto	$10^{-21}$	z
atto	$10^{-18}$	a
femto	$10^{-15}$	f
pico	$10^{-12}$	p
nano	$10^{-9}$	n
micro	$10^{-6}$	$\mu$
milli	$10^{-3}$	m
kilo	$10^3$	k
mega	$10^6$	M
giga	$10^9$	G
tera	$10^{12}$	T
peta	$10^{15}$	P
exa	$10^{18}$	E
zetta	$10^{21}$	Z

In ingegneria viene fatto un uso frequente di unità logaritmiche espresse in decibel (dB). Un qualunque rapporto  $R$  può essere convertito in decibel seguendo la definizione:

$$R_o(\text{in } dB) = 10 \log_{10} R. \quad (\text{A.1})$$

Ad esempio, il guadagno  $G = 10^4$  di un amplificatore corrisponde a  $G_o = 40 \text{ dB}$ . Poiché  $R = 1$  corrisponde a  $0 \text{ dB}$ , i rapporti di valore inferiore a 1 sono negativi nella scala dei decibel. Ad esempio, il rapporto  $R = 0.8$ , che corrisponde ad una perdita del 20%, corrisponde a  $R_o = -1 \text{ dB}$ .

---

## Letture consigliate

La letteratura scientifica internazionale è ricca di testi che contengano, in forma più o meno estesa, gli argomenti descritti in questo volume. Si tratta in quasi tutti i casi di opere di notevole dimensione, che hanno un obiettivo diverso da quello di questo volume e sono quindi difficilmente utilizzabili per un corso introduttivo, mentre possono essere molto utili come testi di consultazione. Si segnala in particolare:

Bahaa E.A. Saleh, Melvin C. Teich, *Fundamentals of Photonics*, Wiley Interscience, 2007.

Per l'approfondimento di argomenti specifici, ci sono i seguenti suggerimenti:

O. Svelto, *Principles of lasers*, Springer Verlag, 5th ed. 2010. Descrive tutte le sorgenti laser, da utilizzare in connessione con il Capitolo 1 di questo testo.

W. Koechner and M. Bass, *Solid-State Lasers: A Graduate Text*, Springer Verlag, 2003. Tratta di sorgenti laser a stato solido, da utilizzare in connessione con il Capitolo 1 di questo testo.

Robert Guenther, *Modern Optics*, Wiley, 1990. È un testo di ottica classica, da utilizzare in connessione con i Capitoli 2 e 3 di questo testo.

Amnon Yariv, *Quantum Electronics*, Wiley, 1989. Segnaliamo, in particolare, la trattazione dei modulatori, da utilizzare in connessione con il Capitolo 4.

Jia-Ming Liu, *Photonic Devices*, Cambridge University Press, 2005. Segnaliamo, in particolare, la trattazione dei dispositivi a semiconduttore e dei modulatori, da utilizzare in connessione con i Capitoli 4 e 5.

Larry A. Coldren, Scott W. Corzine, Milan L. Mashanovitch, *Diode Lasers and Photonic Integrated Circuits*, Wiley, 2012. Tratta dei dispositivi a semiconduttore, da utilizzare in connessione con il Capitolo 5.

Silvano Donati, *Photodetectors*, Prentice-Hall, 2000. Tratta i fotorivelatori, discussi nel Capitolo 5.

Jeff Hecht, *Understanding Fiber Optics*, Pearson/Prentice Hall, 2006. Tratta di fibre ottiche, da utilizzare in connessione con il Capitolo 6.

Govind P. Agrawal, *Fiber-Optic Communication Systems*, Wiley Interscience, 2010. Tratta di comunicazioni ottiche, da utilizzare in connessione con il Capitolo 7.

Silvano Donati, *Electro-optical Instrumentation*, Prentice-Hall, 2004. Segnaliamo, in particolare, la trattazione della sensoristica ottica, da utilizzare in connessione con il Capitolo 7.

William M. Steen, Jyotirmoy Mazumder, *Laser Material Processing*, Springer, 2010. Tratta delle applicazioni industriali del laser, da utilizzare in connessione con il Capitolo 7.

Markolf H. Niemz, *Laser-Tissue Interactions*, Springer, 2011. Tratta delle applicazioni chirurgiche del laser, da utilizzare in connessione con il Capitolo 7.

---

# Indice analitico

- ADP, 121  
amplificatore ottico  
  a semiconduttore, 157, 195  
  in fibra, 155, 185, 195  
  schema a quattro livelli, 17  
  schema a tre livelli, 15, 186  
angolo di Brewster, 67, 68  
angolo di deflessione, 90  
angolo di divergenza, 34, 49, 142, 200  
angolo di walk-off, 102  
angolo limite, 68, 77, 159  
antimoniuro di indio, 164  
apertura numerica  
  fibra, 171  
  lente, 83, 197  
approssimazione parassiale, 43, 45  
arseniuro di gallio, 146, 149  
attività ottica, 108
- biofotonica, 207  
birifrangenza, 102  
birifrangenza residua, 181  
bisturi laser, 28  
bit error rate, 196  
bolometro, 161
- calcite, 102  
cavità ottica  
  a Fabry-Perot, 19  
  ad anello, 19, 203  
  fattore di merito, 29  
CCD, 166  
cella fotoelettrica, 162  
cella fotovoltaica, 213  
chirurgia refrattiva corneale, 208  
coefficiente di assorbimento, 14  
coefficiente di attenuazione, 64  
  in fibra, 174  
coefficiente di emissione stimolata, 15  
coefficiente di riflessione, 66, 74  
  da metalli, 70  
  di campo, 20, 66  
coefficiente di trasmissione, 66  
  di campo, 66  
coefficienti elettro-ottici, 120  
comunicazioni ottiche, 154, 174, 194  
conversione fotovoltaica, 212  
corner cube, 78, 199  
corpo nero, 4, 15  
costante di Verdet, 110, 111, 205  
costante dielettrica del vuoto, 37  
cristalli liquidi, 133, 210  
cristallo birifrangente, 102  
cristallo fotonico, 76  
cristallo uniassico, 100
- deflessione acusto-ottica, 142  
delta di Dirac, 14, 40  
diffrazione di Fraunhofer, 53, 93  
diffrazione di Fresnel, 51  
diffusione di luce, 174  
dispersione della velocità di gruppo, 179  
dispersione di guida, 176, 181  
dispersione ottica, 63, 176  
distacco di retina, 208  
divisore di fascio, 76, 125
- EDFA, 186  
effetto acusto-ottico, 135  
effetto Doppler, 137, 202  
effetto Faraday, 110, 204, 205  
effetto fotoconduttivo, 164  
effetto fotoelettrico, 161  
effetto fotovoltaico, 6, 164, 212

- effetto Franz-Keldish, 167
- effetto Kerr, 119, 132
- effetto Kerr ottico, 33, 133, 180, 182
- effetto magneto-ottico, 197
- effetto piezoelettrico, 98, 120
- effetto Pockels, 119, 122, 125, 204
- effetto Sagnac, 203
- effetto Seebeck, 161
- efficienza del laser, 23, 25, 28, 156
- efficienza di LED, 159
- efficienza interna, 155
- efficienza quantica, 162
- ellissoide degli indici, 100, 121
- emissione spontanea, 11, 15, 18, 23
- emissione stimolata, 5, 12, 14
- equazione delle onde, 38, 62
- equazione di Helmholtz, 43, 113
- equazione parassiale, 44, 46, 53
- equazioni di Maxwell, 37, 61
  
- fibra ottica, 194
  - a mantenimento di polarizzazione, 181
  - apertura numerica, 171
  - cladding pumped, 188, 189
  - coefficiente di attenuazione, 174
  - DIS-CO, 181, 196
  - DS, 181, 195
  - frequenza normalizzata, 172
  - graded-index, 171
  - indice di rifrazione effettivo, 173
  - microstrutturata, 182
  - modi di propagazione, 172
  - modo fondamentale, 172
  - monomodale, 173, 179, 180, 189
  - multimodale, 180
  - Panda, 181
  - POF, 182
  - preforma, 170
  - SMR, 181, 195
  - step-index, 171, 173
  - ZBLAN, 175, 188
  - zero di dispersione, 179, 182
- filtro acusto-ottico, 142
- filtro spaziale, 89
- fluorescenza, 207, 209
- fluoruro di magnesio, 73, 75
- fonone, 137
- fotoablazione, 207
- fotoiodo, 164
  - p-i-n*, 166, 196
  - a valanga, 166, 196
- foliotografia per microelettronica, 28
- fonone, 3, 10, 21, 137, 207, 212
- foto tubo moltiplicatore, 162, 163
  
- frequenza di plasma, 69
- frequenza spaziale, 54, 89
- funzione lorentziana, 11
  
- germanio, 146, 164
- giroscopio laser, 203
- guadagno di anello, 7, 20
- guida ottica, 113, 129, 151, 168
  - a canale, 115
  - costante di propagazione, 113
  - modi, 115
  - monomodale, 115
  - planare, 113
  - SOI, 115
  
- illuminazione di ambienti, 160
- impulso di luce, 40, 179
- in-plane switching, 211
- indice di rifrazione, 63
  - ordinario, 100
  - straordinario, 100
  - crystalli birifrangenti, 102
  - materiali dielettrici, 73
  - metalli, 69, 70
- interferometro di Fabry-Perot, 95
- interferometro di Mach-Zehnder, 125, 200, 204
- interferometro di Michelson, 200, 204
- interruttore elettro-ottico, 126, 133
- inversione di popolazione, 12, 15, 20
- iridescenza, 75
- isolatore ottico, 111, 187
- itterbio, 187
  
- KDP, 121, 123, 124
  
- lamina a mezz'onda, 104
- lamina a quarto d'onda, 104, 131
- lampada a incandescenza, 3, 211
- laser
  - ad anidride carbonica, 27
  - a Fabry-Perot, 20, 189
  - a gas, 27
  - a neodimio, 25, 30, 33, 154, 206, 208
  - a quattro livelli, 26
  - a rubino, 5, 15, 24
  - a semiconduttore, 6, 145
    - a singolo modo, 153
    - a GaAlAs, 157
    - a GaInAs, 186
    - DFB, 153
    - doppia eterogiunzione, 151
    - GaInAs, 155
    - GaInAsP, 154

- InGaN, 155
- omogiunzione, 150
- quantum cascade, 155
- quantum well, 154
- stripe geometry, 152
- VCSEL, 154
- a stato solido, 24, 30
- a titanio-zaffiro, 33
- a tre livelli, 24
- ad anello, 19, 189
- ad anidride carbonica, 30, 206
- ad eccimeri, 184, 206, 208
- ad itterbio, 189, 206
- condizione di soglia, 19
- eccimeri, 28
- elio-neon, 27
- guadagno di anello, 20, 23
- in fibra ottica, 189, 206
- modi longitudinali, 20, 156
- ultravioletto, 28
- LED, 6, 158, 211
  - a AlGaInP, 159
  - a GaAsP, 159
  - a GaInN, 159
  - a luce bianca, 160
  - AlGaIn, 211
  - megaschermi televisivi, 211
  - per illuminazione, 211
- legge di Snell, 65, 90, 171
- lente
  - apertura numerica, 83, 197
  - convergente, 82
  - divergente, 82
  - sottile, 81, 88
- lunghezza
  - di dispersione, 178
  - di Rayleigh, 48, 85, 197
  - focale della lente, 82
- marcatura laser, 207
- maser, 5
- materiali anisotropi, 99
- materiali chirali, 108
- matrice di rotazione, 107
- matrici ABCD, 86
- matrici di Jones, 105, 130
- mode-locking, 31, 141, 157
- modulatore a KDP, 124
- modulatori a cristalli liquidi, 133
- modulatori a niobato di litio, 129
- modulatori ad elettro-assorbimento, 167
- modulazione acusto-ottica, 33, 135
- modulazione di ampiezza, 126, 129, 195
  - acusto-ottica, 140
- modulazione di fase, 122
- modulazione elettro-ottica, 33
- niobato
  - di litio, 121, 122, 125, 195
  - di potassio, 121
- occhio di gatto, 78
- OLED, 158, 160, 211
- onda piana, 38
- onda sferica, 44, 45
- onda sferica gaussiana, 45, 52, 200
- oscillatore, 7
- ossido di silicio, 174, 184
- permeabilità magnetica del vuoto, 37
- pixel, 166, 196, 210
- polarizzatore
  - Glan-Thompson, 103
  - Rochon, 104
- polarizzazione circolare, 42, 106, 109
- polarizzazione ellittica, 42, 106
- polarizzazione lineare, 41
- Polaroid, 103
- potere risolvente, 90–92, 97
- potere rotatorio, 108, 110, 135
- prisma a riflessione totale, 77
- prisma dispersivo, 90
- Q-switching, 29
  - attivo, 30, 141
  - passivo, 30
- quantum well, 168
- quarzo, 102, 108, 110
- radar ottico, 157, 199
- raggio di curvatura complesso, 46, 84
- raggio di curvatura del fronte d'onda, 45, 48, 83
- reticolo di Bragg in fibra, 28, 75, 184, 189, 204
- reticolo di diffrazione, 58, 91
- reticolo di fase, 93, 135
- reticolo di riflessione, 93
  - configurazione di Littrow, 95
- retina artificiale, 208
- RGB, 160, 194, 211
- riflessione totale interna, 77, 171
- saldatura laser, 207
- seleniuro di cadmio, 164
- semiconduttori
  - tipo *p*, 147
  - tipo-*n*, 146
- semiconduttori II-VI, 155

sensore di campo magnetico, 205  
 sensore di corrente, 205  
 sensori ottici in fibra, 204  
 sezione d'urto di assorbimento, 11  
 sezione d'urto di emissione stimolata, 12  
 silicio, 146, 164, 165, 212, 213  
 SOA, 157  
 solfuro di cadmio, 164  
 solfuro di zinco, 75  
 specchio a strati dielettrici, 74, 154, 183  
 specchio sferico, 82  
 spettro di potenza, 89  
 strato antiriflettente, 71, 157

taglio laser, 206  
 tantalato di litio, 121  
 tensore elettro-ottico, 120  
 tensore fotoelastico, 139  
 terapia fotodinamica, 207  
 TGG, 110  
 tomografia ottica coerente, 210  
  
 velocimetria laser, 202  
 velocità di gruppo, 178  
 vettore di Poynting, 38, 102  
  
 WDM, 196  
 WOLED, 161