

Indice

Presentazione	XIII
Prefazione	XV
Simboli e notazioni convenzionali	XIX
1 Elementi di ottica per la colorimetria	1
<i>(Giuseppe Varalda)</i>	
1.1 Introduzione	1
1.2 Radiazione elettromagnetica: onda e fotone	2
1.2.1 Le onde elettromagnetiche	2
1.2.2 Velocità della luce e indice di rifrazione	6
1.2.3 I fotoni	7
1.2.4 La polarizzazione di un'onda elettromagnetica	8
1.2.5 Riflessione e rifrazione	9
1.3 Radiometria: grandezze, leggi e sfera integratrice	13
1.3.1 Energia del campo elettromagnetico e radiometria	13
1.3.2 Emissione di luce e grandezze spettrali	16
1.3.3 Legge dell'inverso del quadrato e legge del coseno di Lambert	18
1.3.4 Sfera integratrice di Ulbricht	20
1.4 Analisi spettrale della luce	23
1.4.1 La dispersione	23
1.4.2 Diffrazione e interferenza	25
1.5 Strumentazione per le misurazioni spettrali	30
Bibliografia	36
2 Fisica del colore nei corpi non autoluminosi e misurazioni fisiche ...	37
<i>(Claudio Oleari)</i>	
2.1 Proprietà ottiche dei corpi e loro aspetto	37
2.1.1 Introduzione	37
2.1.2 La luce e la superficie di separazione tra due mezzi ..	39

2.1.3	La luce all'interno di un mezzo.....	40
2.1.4	Fluorescenza.....	41
2.1.5	Diffusione della luce	42
2.2	Mezzi trasparenti	43
2.2.1	Trasmittanza interna.....	43
2.2.2	Trasmittanza e riflettanza totali.....	46
2.3	Mezzi torbidi	48
2.3.1	Modello a due flussi di Kubelka-Munk	48
2.3.2	Equazione di Saunderson	51
2.3.3	Introduzione alla teoria a molti flussi.....	52
2.4	Grandezze fisiche e geometrie standard per la specificazione del colore dei corpi non autoluminosi	53
2.4.1	Modulazione della luce in riflessione e trasmissione	53
2.4.2	Misurazioni fisiche nel caso di colore gonio-apparente	60
	Bibliografia.....	62
	Bibliografia generale	63
3	Fisiologia della visione a colori	64
	<i>(Adriana Fiorentini)</i>	
3.1	Struttura e funzione dell'occhio umano.....	64
3.1.1	Il sistema ottico dell'occhio e la formazione delle immagini.....	64
3.1.2	Le aberrazioni cromatiche	66
3.1.3	Densità dei mezzi ottici dell'occhio	67
3.2	Struttura della retina	68
3.3	Fotorecettori, caratteristiche dei pigmenti, principio dell'univarianza di Rushton	71
3.3.1	Visione diurna e visione notturna	71
3.3.2	I pigmenti dei fotorecettori.....	73
3.4	La gamma dei colori delle "luci": i colori spettrali, il magenta, il bianco	76
3.4.1	I colori spettrali.....	76
3.4.2	Il magenta o porpora	77
3.4.3	Il bianco.....	77
3.5	Eguaglianza dei colori {colour matching}, metamerismo, colori complementari	78
3.5.1	"Colour matching"	78
3.5.2	Colori complementari.....	78
3.5.3	Colore risultante dalla somma di due o più radiazioni monocromatiche: caso generale	79
3.6	Trivarianza della visione cromatica. Teoria di Young-Helmholtz	81
3.7	Contrasto di luminanza, sensibilità al contrasto, adattamento alla luminanza	82
3.7.1	Sensibilità alle differenze di luminanza: legge di Weber-Fechner.....	82

3.7.2	Sensibilità al contrasto per variazioni spaziali di luminanza	83
3.7.3	Sensibilità alle variazioni temporali di luminanza.....	85
3.7.4	Adattamento alla luminanza	88
3.8	Colore degli oggetti illuminati (bianco, grigio, nero, marrone, ecc).....	89
3.8.1	I colori neutri	89
3.8.2	Scale di chiarezza	89
3.8.3	Bande di Mach.....	90
3.8.4	Gli oggetti colorati.....	91
3.8.5	L'albero dei colori.....	92
3.9	Teoria di Hering dei colori opponentisi	92
3.10	Difetti della visione dei colori: tricromati anomali e dicromati	94
3.11	Adattamento cromatico, contrasto cromatico simultaneo e successivo, stimoli equiluminanti e sensibilità al contrasto cromatico.....	98
3.11.1	Adattamento cromatico e contrasto cromatico.....	98
3.11.2	Stimoli equiluminanti	99
3.11.3	Sensibilità al contrasto cromatico	101
3.12	Funzioni retiniche postrecettoriali, vie neurali e aree cerebrali specializzate per la percezione cromatica	105
3.12.1	Dai fotorecettori alle cellule gangliari: analisi e codificazione dell'informazione visiva nella retina.....	105
3.12.2	Vie neurali e aree cerebrali specializzate per la percezione cromatica	107
	Bibliografia	110
4	Percezione del colore	112
	(Walter Gerbino)	
4.1	Introduzione.....	112
4.2	Il colore: ecologia e fenomenologia	113
4.3	Colori e categorie	115
4.4	Oltre la composizione spettrale	117
4.5	Colore e organizzazione della scena.....	121
4.6	Conclusioni	128
	Bibliografia	128
5.	Fotometria	131
	(Claudio Oleari)	
5.1	Introduzione	131
5.2	Unità fotometrica: dalla candela storica al Sistema Internazionale	131
5.3	Efficienza spettrale fotopica luminosa relativa CIE 1924	132
5.4	Osservatore fotometrico fotopico standard CIE 1924 e CIE 1988	134
5.5	Grandezze fotometriche nel Sistema Internazionale.....	136
5.6	Osservatore scotopico fotometrico standard CIE 1951.....	137

5.7	Osservatore fotopico fotometrico con campo visivo di 10° CIE 2005	138
	Bibliografia	138
6	Colorimetria	139
	<i>(Claudio Oleari)</i>	
6.1	Introduzione.....	139
6.1.1	Fasi storiche e sistemi della colorimetria	139
6.1.2.	Modi di presentare il colore e relativa nomenclatura	139
6.2	Spazio psicofisico del colore e standard CIE	142
6.2.1	Introduzione.....	142
6.2.2	Fisica prerecettoriale	142
6.2.3	Principio dell'univarianza e spazio delle attivazioni dei coni.....	145
6.2.4	Cromaticità e diagrammi di cromaticità	149
6.2.5	Metamerismo.....	153
6.2.6	Fotometria e spazio del tristimolo.....	153
6.2.7	Osservatore standard CIE 1931 per campo visivo di 2°	154
6.2.8	Osservatore per campo visivo di 2° modificato	172
6.2.9	Osservatore standard supplementare CIE 1964.....	176
6.2.10	Limiti dello spazio del tristimolo	179
6.3	Dati spettrali, illuminazione e calcoli colorimetrici.....	179
6.3.1	Introduzione.....	179
6.3.2	Sorgenti di luce e illuminanti standard CIE	180
6.3.3	Specificazione CIE del colore di una sorgente di luce	187
6.3.4	Specificazione CIE del colore superficiale e colori ottimali	188
6.3.5	Specificazione del colore fluorescente	194
6.3.6	Indice di bianco e indice di tinta	196
6.3.7	Calcoli colorimetrici	197
6.4	Scale psicometriche e sistemi standard CIE 1976	203
6.4.1	Introduzione.....	203
6.4.2	Adattamento cromatico	204
6.4.3	Discriminazione cromatica e metrica nello spazio del colore	206
6.4.4	Sistemi CIE 1976: CIELUV e CIELAB.....	208
6.4.5	Specificazione della differenza di colore.....	218
6.4.6	Indici di metamerismo.....	224
6.4.7	Conclusione.....	225
6.5	Atlanti e sistemi di ordinamento dei colori	226
6.5.1	Introduzione	226
6.5.2	Sistemi a miscela di sostanze coloranti	227
6.5.3	Sistemi di colori a stampa mediante retinatura	228
6.5.4	Sistemi a miscela di colori	228
6.5.5	Sistema dei colori di Munsell.....	230

6.5.6	Sistema svedese dei colori naturali (NCS)	234
6.5.7	Sistema della Società di ottica americana (OSA-ucs)	236
6.5.8	Sistema dei colori DIN 6264	239
	Bibliografia	240
	Bibliografia generale	243
	Riferimenti CIE	244
7	Strumentazione radiometrica, fotometrica e colorimetrica di base	246
	<i>(Sabina Battaglino)</i>	
7.1	Introduzione	246
7.2	Cabina di luce	248
7.3	Strumenti a comparazione visiva	249
7.4	Strumenti di misurazione a pesatura spettrale	253
7.4.1	Strumenti fotometrici	254
7.4.2	Strumenti colorimetrici	256
7.5	Strumenti di misurazione ad analisi spettrale	260
7.6	Lucentimetro {glossmeter}	265
	Bibliografia	267
	Bibliografia generale	268
8	Strumentazione fotometrica e spettrofotometrica	269
	<i>(Pietro Polato†)</i>	
8.1	Generalità	269
8.1.1	Introduzione	269
8.1.2	Metodi a pesatura spettrale e ad analisi spettrale	271
8.1.3	Sistemi di irradiazione e di osservazione	271
8.1.4	Condizioni geometriche CIE di irradiazione e di osservazione	273
8.1.5	Principio di reciprocità di Helmholtz	276
8.1.6	Precauzioni nelle misurazioni fotometriche e spettrofotometriche	276
8.2	Sfera integrante e misurazioni	277
8.2.1	Sfera integrante	277
8.2.2	Misurazioni di trasmittanza $\tau_{0/di}(\lambda)$	280
8.2.3	Misurazioni di riflettanza $\rho_{0/di}(\lambda)$	280
8.2.4	Misurazioni di trasmittanza e riflettanza (0/d) SPEX	281
8.2.5	Misurazioni dei fattori di radianza $\beta_{di/0}(\lambda)$ e $\beta_{de/0}(\lambda)$ in trasmissione	282
8.2.6	Misurazioni dei fattori di radianza $\beta_{di/0}(\lambda)$ e $\beta_{de/0}(\lambda)$ in riflessione	283
8.2.7	Sfere integranti con porte di grande diametro	284
8.2.8	Misurazioni di assorbimento col metodo 4π	288
8.3	Spettrofotometro e misurazioni	289
8.3.1	Spettrofotometro	289
8.3.2	Misurazioni di trasmittanza	292

8.3.3	Misurazioni di riflettanza.....	293
8.3.4	Misurazioni di trasmittanza e riflettanza (0/d) SPEX	296
8.3.5	Misurazioni con angoli di incidenza superiori a 10°..	296
8.3.6	Calcolo dell'assorbimento.....	299
8.4	Spettrofotometro multicanale {abridged}	299
8.5	Goniofotometro e spettrogonioradiometro	300
8.6	Misurazioni dei fattori di luminanza $\beta_{45/0}$ e $\beta_{0/45}$	303
	Bibliografia	303
9	Incertezza di misura in colorimetria	306
	(<i>Maria Luisa Rastello</i>)	
9.1	Introduzione	306
9.1.1	Equazione della misurazione.....	306
9.1.2	Classificazione delle componenti dell'incertezza	307
9.1.3	Combinazione delle componenti dell'incertezza	308
9.2	Calcolo dell'incertezza in colorimetria.....	309
9.2.1	Metodi di misura ad analisi spettrale.....	310
9.2.2	Metodi di misura a pesatura spettrale.....	313
9.3	Procedura di misurazione	315
9.4	Altri esempi di calcolo dell'incertezza	318
9.4.1	Taratura in luce monocromatica di un rivelatore per confronto con un rivelatore campione.....	318
9.4.2	Taratura di un colorimetro tristimolo mediante illuminante CIE-A.....	321
	Bibliografia	325
10	Colore e illuminazione	326
	(<i>Alessandro Farini</i>)	
10.1	Introduzione	326
10.2	La temperatura di colore	326
10.2.1	Scelta della corretta temperatura di colore.....	328
10.3	Indice di resa del colore.....	329
10.3.1	Limiti dell'indice di resa del colore.....	330
10.4	Altri parametri per la resa del colore.....	331
10.4.1	Indici basati sulla preferenza cromatica	331
10.4.2	Indici basati sulla discriminazione del colore.....	332
10.5	Influenza della cromaticità delle sorgenti sulla percezione visiva	333
10.5.1	Correlazione tra indice di resa del colore e temperatura del colore.....	333
10.5.2	Cromaticità della luce e percezione visiva	333
10.5.3	Cromaticità delle sorgenti e ciclo circadiano.....	335
	Bibliografia	335

11	Applicazioni classiche della colorimetria	337
	<i>(Claudio Oleari)</i>	
11.1	Introduzione	337
11.2	Monitor, camera e segnale video	338
	11.2.1 Monitor e segnale video	338
	11.2.2 Camera.....	349
	11.2.3 Sistema sRGB	354
	11.2.4 Sistemi di ordinamento dei colori in computer grafica	356
11.3	Caratterizzazione dei pigmenti e formulazione dei coloranti.....	357
11.4	Stampa mediante retinatura {screen-plate printing}	361
11.5	Verso la colorimetria dell'apparenza	365
11.6	Conclusioni sulla riproduzione dei colori	367
	Bibliografia	367
	Bibliografia generale	368
Appendice 1	- Strumenti matematici della colorimetria	369
	<i>(Sabina Battaglino e Claudio Oleari)</i>	
A1.1	Introduzione	369
A1.2	Spazio lineare reale a una dimensione	370
A1.3	Spazio lineare reale a due dimensioni.....	371
A1.4	Equazioni della retta, del cerchio e dell'ellisse sul piano	379
A1.5	Spazio lineare reale a tre dimensioni	382
A1.6	Coordinate baricentriche	385
A1.7	Angoli solidi.....	387
A1.8	Formule interpolanti raccomandate dalla CIE	387
Appendice 2	- Software per fenomeni della visione a colori e per il calcolo e l'analisi colorimetrica	389
	<i>(Gabriele Simone)</i>	
A2.1	Introduzione	389
A2.2	Installazione del programma.....	390
A2.3	Descrizione del programma	390
	A2.3.1 Impostazione del monitor	391
	A2.3.2 Test per la visione a colori	392
	A2.3.3 Fenomeni dell'apparenza	396
	A2.3.4 Atlanti dei colori.....	398
	A2.3.5 Tristimolo e attivazione dei coni.....	400
	A2.3.6 Colorimetria.....	401
	A2.3.7 Spettri degli illuminanti di riferimento {reference il- luminant spectra}	404
	A2.3.8 Sintesi dei colori.....	404
	A2.3.9 Strumenti {tools}	406

Appendice 3 - Illuminanti	408
A3.1 Specificazione colorimetrica degli illuminanti standard CIE e delle lampade tipiche.....	408
A3.2 Metodo per calcolare le distribuzioni spettrali relative degli illuminanti D.....	410
Bibliografia	412
Appendice 4 - Glossario colorimetrico	413
Indice analitico	426
Tavole	435