

Indice

Prefazione	XV
Capitolo 1	
Natura della luce e interazione con la materia	
1.1 Natura della luce	1
1.2 Propagazione della luce	6
1.2.1 Interazioni luce-materia	8
1.2.2 Materiali	9
1.3 Modelli fisici della luce	11
1.3.1 Modello a onde	11
1.3.2 Modello elettromagnetico	26
1.3.3 Modello a raggi	37
1.3.4 Modello a quanti	43
<i>Approfondimento 1</i>	
Caratteristiche e proprietà della radiazione luminosa	47
<i>Approfondimento 2</i>	
Visualizzazioni fotorealistiche: rendering	50
Capitolo 2	
Sistema visivo	
2.1 Sistema ottico	59
2.1.1 Retina	61
2.2 Funzioni visive	68
2.2.1 Accomodamento	68
2.2.2 Convergenza	77
2.2.3 Adattamento	79
2.3 Prestazione visiva	80
2.3.1 Acuità visiva	81
2.3.2 Contrasto	85
2.3.3 Velocità di percezione	93
2.3.4 Luminanza	94

2.4 Luminanza, chiarezza e brillantezza	96
2.4.1 Costanza di chiarezza	96
2.4.2 Ancoraggio	99
2.4.3 Contrasto simultaneo di chiarezza	100
2.5 Visione dei colori	102
2.5.1 Teoria tricromatica della visione dei colori	103
2.5.2 Teoria dei processi opposti di Edwald Hering	107
2.5.3 Contrasto simultaneo di colore	110
2.5.4 Adattamento cromatico	113
2.5.5 Contrasto consecutivo	113
2.5.6 Assimilazione cromatica	114
2.5.7 Costanza del colore	115
2.5.8 Teoria retinex	117
2.5.9 Scena visiva	120
<i>Approfondimento 1</i>	
Elementi di psicofisica	122
<i>Approfondimento 2</i>	
Grandezze fotometriche fisiche e grandezze percepite	130
<i>Approfondimento 3</i>	
Colore reale degli oggetti	135
<i>Approfondimento 4</i>	
Distribuzione spaziale della luce	138

Capitolo 3

Grandezze e unità di misura

3.1 Spettro elettromagnetico	143
3.2 Grandezze radiometriche	145
3.2.1 Emettenza radiante (M)	146
3.2.2 Radianza (L)	149
3.2.3 Irraggiamento (E)	149
3.3 Grandezze fotometriche	150
3.3.1 Intensità luminosa e candela internazionale	151
3.3.2 Flusso luminoso (Φ)	152
3.3.3 Efficienza luminosa	158
3.3.4 Illuminamento (E)	163
3.3.5 Emettenza (M) e luminanza (L)	166
3.3.6 Illuminamento (E) e luminanza (L)	172
3.4 Unità di misura nel sistema anglosassone	173
3.5 Relazioni tra le grandezze fotometriche	174

3.6 Tecniche di misurazione	175
3.3.7 Quantità di luce (Q)	173
3.6.1 Misurazione dell'illuminamento	176
3.6.2 Misurazione dell'intensità luminosa	179
3.6.3 Misurazione del flusso luminoso	183
3.6.4 Misurazione della luminanza	184
<i>Approfondimento 1</i>	
La luce come energia radiante	186
<i>Approfondimento 2</i>	
Curva di sensibilità spettrale $V(\lambda)$	218
<i>Approfondimento 3</i>	
Campione dell'intensità luminosa	225
<i>Approfondimento 4</i>	
Relazione tra lumen e watt	234
<i>Approfondimento 5</i>	
Legge dell'inverso del quadrato della distanza	237
<i>Approfondimento 6</i>	
Approssimazioni della legge dell'inverso del quadrato della distanza	241
<i>Approfondimento 7</i>	
Rapporto tra intensità e area apparente	247
<i>Approfondimento 8</i>	
Rapporto tra luminanza ed emetenza	249
<i>Approfondimento 9</i>	
Rapporto tra luminanza e illuminamento	252
<i>Approfondimento 10</i>	
Metodo di calcolo del flusso emesso con la sfera di Ulbricht	258

Capitolo 4

Calcolo, principi e leggi

4.1 Calcolo dell'illuminamento sulle superfici piane	265
4.1.1 Illuminamento orizzontale	266
4.1.2 Illuminamento verticale	269
4.1.3 Illuminamento medio (E_m o \bar{E})	274
4.2 Calcolo dell'illuminamento sulle superfici curve	276
4.2.1 Illuminamento sferico da sorgente puntiforme (illuminamento scalare)	277
4.2.2 Illuminamento semisferico da sorgente puntiforme	279

4.2.3 Illuminamento cilindrico (illuminamento medio verticale da sorgente puntiforme)	283
4.2.4 Illuminamento semicilindrico da sorgente puntiforme	285
4.3 Illuminamento generato da sorgenti estese	290
4.3.1 Sorgenti lineari	291
4.3.2 Sorgenti tubolari	296
4.3.3 Sorgenti rettangolari	299
4.4 Illuminamento indiretto negli ambienti interni: superfici lambertiane . .	302
4.5 Contributo della luce diurna negli ambienti interni	307
<i>Approfondimento 1</i>	
Confronto tra i principali software per il calcolo illuminotecnico	311
<i>Approfondimento 2</i>	
Formule per il calcolo dell'illuminamento da sorgenti estese	314
<i>Approfondimento 3</i>	
Proprietà di riflessione e trasmissione delle superfici	324

Capitolo 5

Fisiologia della visione a colori

5.1 Visione dei colori	335
5.2 Colore	336
5.3 Percezione del colore	336
5.3.1 Teoria tricromatica della visione a colori	338
5.3.2 Teoria dei processi opponenti della visione a colori	339
5.4 Colore e luce	341
5.4.1 Tinta	342
5.4.2 Brillanza	342
5.4.3 Saturazione	343
5.5 Introduzione alla colorimetria	345
5.5.1 Uguaglianza dei colori (colour matching)	348
5.5.2 Sviluppi della colorimetria	352

Capitolo 6

Teoria e metrica del colore

6.1 Sintesi additiva e sottrattiva	355
6.2 Le leggi di Grassmann	357
6.3 I tre stadi della colorimetria	357
6.3.1 Fase 1: descrizione matematica del colore	357
6.3.2 Fase 2: valutazione della differenza cromatica	388
6.3.3 Fase 3: modelli di apparenza del colore	411

6.4 IES TM-30-15: metodo IES per la valutazione della resa del colore delle sorgenti di illuminazione	422
6.4.1 Sviluppo del modello	423
6.4.2 Formula per il calcolo della differenza di colore	426
6.4.3 Indice di fedeltà (R_f)	426
6.4.4 Indice di gamut (R_g)	427
6.4.5 Conclusioni	430
6.5 Strumenti di misurazione	430
6.5.1 Spettroradiometri e spettrofotometri	430
6.5.2 Colorimetri	432
6.5.3 Cabina luce	433
<i>Approfondimento 1</i>	
Radiatori selettivi e temperatura di colore	435
<i>Approfondimento 2</i>	
Illuminanti standard CIE (CIE 15:2004)	441
<i>Approfondimento 3</i>	
Sistema Munsell dei colori	445
<i>Approfondimento 4</i>	
Sviluppo del modello CIECAM02	450

Capitolo 7

Sorgenti luminose

7.1 Parametri di valutazione delle sorgenti e classificazione generale	457
7.1.1 Efficienza luminosa, decadimento del flusso luminoso e vita media	458
7.1.2 Temperatura di colore e resa del colore	460
7.1.3 Luminanza della sorgente	461
7.1.4 Attacchi	461
7.2 Lampade a incandescenza	462
7.2.1 Principio di funzionamento e costruzione	462
7.2.2 Caratteristiche e prestazioni delle lampade a incandescenza	465
7.3 Lampade a incandescenza ad alogeni	469
7.3.1 Principio di funzionamento e costruzione	469
7.3.2 Caratteristiche e prestazioni delle lampade ad alogeni	471
7.4 Lampade fluorescenti	473
7.4.1 Principio di funzionamento	473
7.4.2 Prestazioni delle lampade fluorescenti	476
7.4.3 Tipologia delle lampade fluorescenti	480

7.5 Lampade a scarica ad alta intensità	482
7.5.1 Generalità delle lampade a scarica in gas	483
7.5.2 Lampade a ioduri metallici	486

Approfondimento 1

La luce e l'atomo	489
------------------------------------	-----

Capitolo 8

Sorgenti led

8.1 Generalità	511
8.2 Diodi e semiconduttori	511
8.3 Il dispositivo	515
8.4 Caratteristiche costruttive	516
8.5 Emissione luminosa	518
8.6 Angolo di uscita ed estrazione della luce	522
8.7 Fosfori	523
8.8 Tipologia dei led	527
8.8.1 Power led	527
8.8.2 Led SMD	528
8.8.3 Led COB	529
8.8.4 Chip arrays (matrici) in contenitore SMD (CAS)	530
8.8.5 Chip-Scale Packaging (CSP)	531
8.8.6 Moduli led	533
8.9 Ottiche secondarie	533
8.10 Aspetti termici	535
8.10.1 Temperatura di giunzione	535
8.11 Sistemi di alimentazione	544
8.11.1 Alimentatori lineari	544
8.11.2 Alimentatori switching (SMPS)	545
8.11.3 Il principio PWM (Pulse Width Modulation)	546
8.11.4 Filtri EMI	549
8.11.5 Architettura del sistema di alimentazione dei led	550
8.12 Parametri caratteristici dei led	551
8.12.1 Flusso luminoso	551
8.12.2 Intensità luminosa	552
8.12.3 Ripartizione fotometrica	554
8.12.4 Efficienza luminosa	554
8.12.5 Corrente di pilotaggio	555
8.13 Prestazioni dei led	556
8.13.1 Durata dei led	557
8.13.2 Influenza della temperatura di giunzione sulle prestazioni	558

8.14	Qualità dei led: il binning	559
8.15	Prestazioni colorimetriche dei led	563
8.15.1	Colore apparente	563
8.15.2	Resa cromatica	568
8.16	Prestazioni fotometriche dei led	570
8.16.1	IESNA LM-79	570
8.16.2	IESNA LM-80	570
8.16.3	IESNA TM-21	572
	<i>Approfondimento 1</i>	
	Principi di funzionamento del led	575
	<i>Approfondimento 2</i>	
	Calcolo del decadimento del flusso emesso da un led secondo la TM-21	629

Capitolo 9

Apparecchi di illuminazione

9.1	Componenti elettrici	646
9.1.1	Lampade	646
9.1.2	Portalampe	646
9.1.3	Gruppi di alimentazione	648
9.2	Componenti ottici	649
9.2.1	Riflettori	650
9.2.2	Rifrattori	652
9.2.3	Diffusori	654
9.2.4	Schermi e griglie	655
9.2.5	Filtri e vetri di protezione	656
9.3	Componenti meccanici	657
9.3.1	Regime termico	658
9.3.2	Corpo dell'apparecchio	659
9.3.3	Componenti e accessori di montaggio	659
9.3.4	Snodo	660
9.3.5	Scatola portacomponenti	661
9.4	Rappresentazione delle caratteristiche fotometriche degli apparecchi di illuminazione	662
9.4.1	Curve fotometriche in coordinate polari	662
9.4.2	Curve fotometriche in coordinate cartesiane	666
9.4.3	Tabelle delle intensità luminose	666
9.4.4	Angolo di apertura del fascio luminoso	667
9.4.5	Coni di illuminamento	669
9.4.6	Diagrammi di luminanza	670

9.4.7	Classificazione CIE.....	671
9.4.8	Codici di flusso CIE.....	672
9.5	Caratteristiche dell'emissione luminosa.....	675
9.5.1	Ripartizione diretta o indiretta.....	675
9.5.2	Apparecchi a fascio stretto o a fascio largo.....	676
9.5.3	Distribuzione simmetrica o asimmetrica.....	677
9.6	Grado di protezione.....	679
9.6.1	Protezione contro gli agenti solidi e liquidi (IP).....	680
9.6.2	Protezione contro gli urti.....	684
9.6.3	Protezione contro la scossa elettrica.....	685
9.6.4	Protezione contro il rischio di incendi.....	686
9.7	Principali tipologie degli apparecchi di illuminazione.....	688
9.7.1	Classificazione in base alle caratteristiche fotometriche.....	688
9.7.2	Classificazione degli apparecchi per applicazione.....	697
9.7.3	Classificazione degli apparecchi per tipologia di installazione.....	707

Approfondimento 1

Controllo della luce: riflettori e rifrattori.....	711
---	------------

Approfondimento 2

Controllo della luce: schermi antiabbagliamento.....	751
---	------------

Capitolo 10

Abbagliamento

10.1	Introduzione.....	753
10.2	Che cos'è l'abbagliamento.....	754
10.3	Metodi e metriche.....	756
10.4	Abbagliamento da sorgenti led.....	756
10.5	Controllo dell'abbagliamento e consumo energetico.....	757
10.6	Adattamento.....	758
10.7	Indice di posizione.....	758
10.8	Abbagliamento molesto.....	759
10.9	Abbagliamento disabilitante.....	760
10.9.1	CIE Glare Index (CGI).....	762
10.9.2	Glare Rating (GR).....	762
10.9.3	Unified Glare Rating (UGR).....	763
10.9.4	Contrast Rendering Factor (CRF).....	768
10.10	Angolo di schermatura.....	777

Capitolo 11

Tecniche di design dell'illuminazione

11.1 Il fruitore	781
11.1.1 Bisogni biologici	782
11.2 Analisi preliminare	785
11.2.1 Definizione dei compiti visivi	785
11.2.2 Connotazione dello spazio: spazi pubblici e privati	786
11.3 Scelta delle sorgenti	790
11.3.1 T_k : temperatura di colore	791
11.3.2 R_a : indice di resa cromatica	792
11.3.3 Flusso luminoso	792
11.3.4 Efficienza luminosa	793
11.3.5 Durata	794
11.4 Scelta degli apparecchi	795
11.5 Sviluppo del concept	796
11.6 Tecniche di illuminazione	797
11.6.1 Illuminazione generale e d'accento	797
11.6.2 Illuminazione orizzontale e verticale	803
11.6.3 Illuminazione di orientamento	806
11.6.4 Illuminazione tridimensionale	807
11.7 Set lighting: creazione di una specifica scena luminosa	814
<i>Approfondimento 1</i>	
Ritmi circadiani	816
<i>Approfondimento 2</i>	
Illuminazione solida	830

Capitolo 12

Applicazioni ricorrenti

12.1 Uffici	846
12.1.1 Generalità	846
12.1.2 Analisi preliminare	848
12.1.3 Scelta delle lampade e degli apparecchi di illuminazione	849
12.1.4 Tecniche di illuminazione	850
12.1.5 Verifiche illuminotecniche	852
12.1.6 Esempio di progetto	858
12.2 Industrie	864
12.2.1 Generalità	864
12.2.2 Compiti visivi	866
12.2.3 Classificazione dei locali	866
12.2.4 Prescrizioni	868
12.2.5 Tecniche di progettazione	870

12.3	Edifici scolastici	873
12.3.1	Generalità	873
12.3.2	Prescrizioni	873
12.3.3	Tecniche di progettazione	874
12.4	Ospedali	877
12.4.1	Generalità	877
12.4.2	Aree comuni	878
12.4.3	Reparti	878
12.5	Esercizi commerciali	883
12.5.1	Generalità	883
12.5.2	Tecniche di progettazione	883
12.5.3	Gestione dell'impianto	885
12.5.4	Esempi	886
12.6	Musei	891
12.6.1	Generalità	891
12.6.2	Principali tipologie di opere esposte	895
12.6.3	Scelta delle sorgenti	899
12.6.4	Scelta degli apparecchi di illuminazione	899
12.6.5	Tecniche di illuminazione e set lighting	901
12.6.6	Disposizione degli apparecchi	902
12.6.7	Allestimenti temporanei	905
12.6.8	Esempi di progetto	905
12.7	Chiese	907
12.7.1	Finalità	907
12.7.2	Analisi preliminare	908
12.7.3	Scelta delle lampade e degli apparecchi di illuminazione	909
12.7.4	Tecniche di illuminazione e set lighting	910
12.8	Illuminazione pubblica	913
12.8.1	Compiti visivi	913
12.8.2	Normative e prescrizioni	914
12.8.3	Tecniche di progettazione	926
12.9	Illuminazione sportiva	941
12.9.1	Generalità	941
12.9.2	Illuminazione degli impianti sportivi al coperto	944
12.9.3	Illuminazione degli impianti sportivi all'aperto	946
12.9.4	Criticità	954
12.10	Illuminazione di emergenza	957
12.11	Manutenzione degli impianti di illuminazione	961
12.12	Tecnologie per la gestione della luce artificiale	964
12.12.1	Controllo con regolatori a taglio di fase	965
12.12.2	Controllo analogico 1/10 V	966

12.12.3 Controllo digitale DALI	966
12.12.4 Controllo digitale DMX	974
12.12.5 Tecnologie per l'automazione	978
<i>Approfondimento 1</i>	
La conservazione	983
<i>Approfondimento 2</i>	
La norma EN 15193 e l'indicatore LENI	997
Appendice	
Elementi di elettrotecnica	
A1 Introduzione	999
A2 Normativa tecnica di riferimento	999
A3 Fondamenti di elettrotecnica	1000
A3.1 Generatore elettrico	1001
A3.2 Corrente elettrica	1001
A3.3 Tensione elettrica	1003
A3.4 Resistenza elettrica	1003
A3.5 Utilizzatori	1004
A3.6 Potenza elettrica	1004
A4 Leggi di Ohm	1005
A4.1 Resistenza elettrica	1005
A4.2 Resistività	1006
A4.3 Resistenza e temperatura	1007
A5 Combinazione di resistenze	1007
A5.1 Collegamento in serie	1007
A5.2 Collegamento in parallelo	1008
A6 Legge di Joule	1009
A7 Circuiti elettrici in regime sinusoidale	1010
A7.1 Tensione alternata	1011
A7.2 Sistema trifase	1012
A8 Sfasamento tensione-corrente	1014
A9 Potenza	1016
A10 Rifasamento	1017
A11 Progettazione dell'impianto elettrico	1017
A11.1 Tipologie di impianti	1018
A11.2 Protezione contro i rischi di elettrocuzione	1022
A11.3 Protezione dell'impianto	1023
A12 Sistemi bus	1029
A12.1 Sistema i-bus Konnex (KNX)	1030
Bibliografia	1035