

BIBLIOTECA DELLA LUCE REGGIANI

e LUCE U

*Bruno Piccoli
Silvano Orsini*

Luce e UV

BIBLIOTECA DELLA LUCE REGGIANI

Luce e UV

Copyright © 1998 IMDCR

Copyright © 1998 Reggiani Spa Illuminazione

v.le Monza 16 - 20050 Sovico MI
tel 039 20711 fax 039 2071999
reggiani@xquasar.it reggiani.net

Prima edizione 1998

ISBN 88-85209-10-6
Stampato in Italia

Luce e UV

Bruno Piccoli e Silvano Orsini

Dipartimento di Medicina del Lavoro
Università degli Studi - Istituti Clinici di Perfezionamento, Milano

Ringraziamenti *Acknowledgements*

Gli Autori ringraziano la Dr.ssa Simona Genchi ed il Sig. Pier Luigi Zambelli per l'apprezzabile contributo fornito nella stesura, predisposizione dell'iconografia e revisione di questo volume.

The authors thank Simona Genchi and Pier Luigi Zambelli for their invaluable aid with the drafting and editing of this volume and preparation of the illustrations.

Indice

p. 6	Presentazione
10	I. Le radiazioni ultraviolette
10	I.1 Definizione
14	I.2 La radiazione solare
16	I.3 Bibliografia essenziale
18	II. L'illuminazione artificiale
18	II.1 Sorgenti luminose artificiali
	Lampade a incandescenza
	Lampade a scarica
40	II.2 Gli apparecchi illuminanti
44	II.3 Bibliografia essenziale
46	III. Effetti dell'UV sull'uomo e sull'ambiente
46	III.1 Effetti biologici delle radiazioni
	Lesione termica
	Lesione fotochimica
50	III.2 L'occhio
	Cenni di anatomia
	Effetti biologici dell'UV sull'occhio
62	III.3 La pelle
	Cenni di anatomia
	Effetti biologici dell'UV sulla pelle
72	III.4 Bibliografia essenziale
74	IV. Normative di prevenzione e orientamento per la progettazione
74	IV.1 Normative di prevenzione: TLV
76	IV.2 Radiazioni ultraviolette
78	IV.3 Normative di prevenzione: CEI
80	IV.4 Rischio da esposizione a UV
86	IV.5 Bibliografia essenziale
88	Appendice: Curricula degli Autori

Contents

p. 7	Foreword
11	I. Ultraviolet radiations
11	I.1 Definition
15	I.2 Solar radiation
17	I.3 Brief bibliography
19	II. Artificial Lighting
19	II.1 Artificial light sources
	Incandescent lamps
	Discharge lamps
41	II.2 Lighting apparatus
45	II.3 Brief bibliography
47	III. Effects of UV radiation on man and environment
47	III.1 Biological effects of radiation
	Heat lesions
	Photochemical lesions
51	III.2 The eye
	Ocular anatomy
	Biological effects of UV radiation on the eye
63	III.3 The skin
	Skin anatomy
	Biological effects of UV radiation on the skin
71	III.4 Brief bibliography
73	IV. Prevention Standards and Design Features
73	IV.1 Prevention standards: TLV
73	IV.2 Ultraviolet radiation
77	IV.3 Prevention standards: IEC
79	IV.4 Risks of exposure to UV radiation
85	IV.5 Brief bibliography
89	Appendix: Authors' Profile

Presentazione

Negli ultimi quindici anni notevole è stata la produzione del Parlamento Europeo di nuova normativa rivolta al conseguimento di una migliore e più diffusa tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di vita e di lavoro. Parallelamente, è divenuta maggiore la sensibilità dei cittadini, e dei lavoratori in particolare, verso questo tema, con un'attenzione ed un interesse che, contrariamente al passato, non si sono limitati alla mera prevenzione della malattia o dell'infortunio, ma si sono aperti al conseguimento del benessere "psichico, fisico e sociale", recuperando appieno quanto proposto nella definizione di "salute" formulata dall'Organizzazione Mondiale della Sanità sin dal 1949. Ed è in questo contesto che oggi debbono essere analizzate e risolte le nuove problematiche riguardanti i rapporti uomo-lavoro-ambiente-salute.

Il progressivo inurbamento e la sempre più marcata diffusione di luoghi di lavoro *indoor* con tecnologie avanzate, hanno reso le problematiche relative all'illuminazione artificiale straordinariamente attuali e progettualmente assai complesse. Ne è derivata una intensa, e per molti versi apprezzabile, ricerca di nuovi e più adeguati apparecchi ed elementi illuminanti, tesa a soddisfare anche le più sofisticate esigenze poste dal mercato. Meritevoli di approfondimento, tuttavia, sono rimasti gli aspetti relativi alla effettiva congruità ergonomica ed ai possibili effetti a medio e lungo termine soprattutto a carico dell'apparato visivo, connessi con queste innovative proposte progettuali.

In questo ambito è pertanto assai opportuno, oltre che utile, la predisposizione di questo quaderno che affronta in modo semplice, ma scientificamente rigoroso, il tema "UV e luce artificiale", sia sotto il profilo strettamente

Foreword

In the past 15 years the European Parliament has produced a considerable number of new regulations designed to achieve better and more widespread protection of health and safety in the home and the workplace. At the same time, awareness of this issue by citizens in general and workers in particular has increased; interest and attention is no longer limited to mere prevention of illness and accidents, but includes the attainment of “mental, physical and social” well-being in accordance with the definition of “health” formulated by the World Health Organisation as long ago as 1949. New problems relating to relationships between people, work, environment and health need to be analysed and solved in this context.

Progressive urbanisation and the widespread introduction of indoor workplaces using advanced technologies have made the subject of artificial lighting extremely topical, and highly complex in terms of design. The result is intensive - and in many respects laudable - research into new and better lighting fixtures and components, designed to meet even the most sophisticated requirements of the market. However, the real ergonomic suitability of these innovatory designs and their possible medium- and long-term effects, especially on the visual apparatus, still require detailed investigation.

The publication of this booklet, which discusses the subject of “UV and Artificial Lighting” in a simple but scientifically rigorous way, in pathophysiological and preventive terms as well as strictly technical terms, is therefore very appropriate as well as useful.

This subject, to which little debate and even less study has been devoted, is definitely deserving of investigation and

illuminotecnico che sotto quello fisiopatologico e preventivo. Questo tema, infatti, tuttora poco dibattuto e ancor meno studiato, appare senz'altro meritevole di indagini e ricerche soprattutto per quanto concerne metodi di valutazione e la messa a punto di nuovi limiti di esposizione occupazionale in rapporto con le caratteristiche fisiopatologiche dei soggetti (ipersuscettibili).

L'approccio proposto, frutto di un felice incontro interdisciplinare tra medici del lavoro e fisici sanitari, reso possibile dall'efficace supporto tecnico-scientifico della Reggiani Spa Illuminazione – con la cui collaborazione sono peraltro in corso di svolgimento presso questo Dipartimento anche ricerche sperimentali di laboratorio sui possibili effetti della luce blu e sulla compatibilità tra luce d'ufficio ed operatore – credo sia il più adeguato allo scopo, e sono convinto sarà apprezzato non solo dagli esperti, ma anche dai cultori della materia cui questo volume è prevalentemente rivolto. Gli autori, che annovero tra i miei collaboratori più attenti e dotati, hanno reso conseguibile un obiettivo assai ambizioso.

Prof. A. Grieco

*Direttore del Dipartimento di Medicina del Lavoro "Luigi Devoto",
Università degli Studi - Istituti Clinici di Perfezionamento, Milano*

research into evaluation methods and the design of new occupational exposure limits based on the pathophysiological characteristics of workers (hypersensitivity).

This booklet, which is based on an interdisciplinary study involving occupational health doctors and physicists, was made possible by the effective technical and scientific support provided by Reggiani Spa Illuminazione, with whose assistance experimental laboratory research is currently being conducted in this Department on the possible effects of blue light and on the compatibility between office lighting and operators.

In my opinion the booklet takes the most appropriate approach, and I am certain that it will be appreciated not only by experts but also by those interested in the subject to which the volume mainly relates. The authors, who are among my most diligent and gifted assistants, have achieved a very ambitious objective.

Prof. A. Grieco

Director of the “Luigi Devoto” Department of Occupational and Environmental Health, Istituti Clinici di Perfezionamento, Milan State University

I. Le radiazioni ultraviolette

La radiazione solare è sicuramente per l'uomo la principale fonte di esposizione ad ultravioletti: sono note sia l'importanza di questa radiazione per la vita biologica sia la potenziale dannosità. Meno conosciuti sono gli effetti delle emissioni di sorgenti sempre più diffuse quali le lampade alogene o le lampade a scarica. Di esse si conoscono le grandi potenzialità di illuminazione e l'indubbio risparmio energetico, ma molto meno i danni che le radiazioni ultraviolette da queste emesse potrebbero provocare in caso di uso scorretto in impianti non adeguatamente progettati.

Questo quaderno si propone quindi di definire questi problemi e di delineare quali possano esserne le soluzioni al fine di consentire un uso corretto e soprattutto non rischioso di quanto l'odierna tecnologia ci offre nel campo dell'illuminazione.

I.1 Definizione

Gli ultravioletti sono radiazioni elettromagnetiche, vale a dire sono costituiti da campi elettrici e campi magnetici oscillanti che trasportano energia nello spazio. L'insieme delle radiazioni elettromagnetiche è molto vasto e comprende onde radio, microonde, infrarossi, luce, ultravioletti raggi x e raggi gamma. Queste diverse bande si differenziano per la lunghezza d'onda λ della radiazione e di conseguenza per l'energia trasportata che è ad essa legata dalla relazione:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$h=6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \quad c=2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

dove h è la costante quantistica di Planck e c è la velocità

Ultraviolet radiations

I.

Solar radiation is undoubtedly the main source of exposure to ultraviolet rays for human beings, and the importance of this radiation to biological life, as well as its potential risks, is well known. However, the effects of emissions from increasingly common sources such as fluorescent and discharge lamps are less well known. Their great lighting potential and the energy savings they offer are common knowledge, but few laymen are aware of the damage that can be caused by the ultraviolet radiation they emit in the event of incorrect use in inexpertly designed installations.

This booklet sets out the problems and illustrates the possible solutions, with a view to ensuring correct and above all risk-free use of current lighting technologies.

Definition

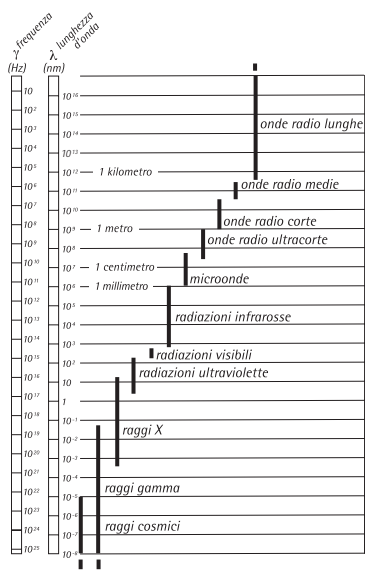
I.1

Ultraviolet rays are a type of electromagnetic radiation, constituted by oscillating magnetic fields and electrical fields which transport energy in space. Electromagnetic radiation comprises radio waves, microwaves, infrared rays, light, ultraviolet rays, x-rays and gamma rays. These different bands are differentiated by the wavelength (λ) of the radiation, and consequently by the energy transported, which is associated with it by the relation:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$h=6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \quad c=2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

where h is Planck's constant and c is the speed of light in a vacuum. The lower the wavelength, the greater the energy transported. The order of magnitude of λ ranges



della luce nel vuoto. Minore è dunque la lunghezza d'onda, maggiore è l'energia trasportata. L'ordine di grandezza di λ va da 1 centinaio di m o più per le onde radio, le meno energetiche, a valori inferiori al millesimo di nanometro per le radiazioni gamma, le più energetiche (fig. 1.1).

Tutte le onde elettromagnetiche presentano aspetti tipici sia dei fenomeni ondulatori, sia delle interazioni corpuscolari (quanti). I quanti di radiazione elettromagnetica vengono chiamati fotoni e l'interazione di essi con la materia è regolata dalle leggi della meccanica quantistica.

L'intervallo di lunghezze d'onda dello spettro elettromagnetico relativo alle radiazioni ultraviolette (100-400 nm) è stato suddiviso in ulteriori tre bande sulla base degli effetti biologici riscontrati.

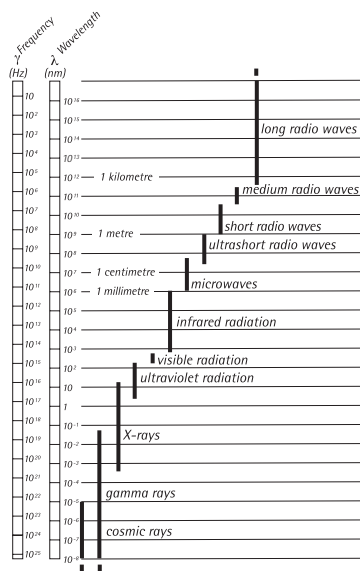
	effetto	lunghezza d'onda
UVC, UV lontano	germicida, irritante per cute e mucose	100 - 280 nm
UVB	come UVC + azione eritematogena	280 - 315 nm
UVA, UV vicino	come UVB + iperpigmentazione, potenziale cancerogenicità	315 - 400 nm

Figura 1.1
Spettro delle onde
elettromagnetiche

between 100 m or more in the case of radio waves, which present the lowest energy level, and values of under a thousandth of a nanometre in the case of gamma rays, which have the highest energy level (fig. 1.1).

All electromagnetic waves present aspects typical of both wave phenomena and corpuscular interactions (quanta). Electromagnetic radiation quanta are called photons, and their interaction with matter is governed by the laws of quantum mechanics.

The wavelength interval of the electromagnetic spectrum as regards ultraviolet radiation (100-400 nm) has been divided into three more bands on the basis of the biological effects found.



	effect	wavelength
UVC, far-UV radiation	germicial, irritating to skin and mucous membranes	100 - 280 nm
UVB	as for UVC + erythemogenic action	280 - 315 nm
UVA, near-UV radiation	as for UVB + hyperpigmentation, potentially carcinogenic	315 - 400 nm

Figure 1.1
Electromagnetic
wave spectrum

I.2 La radiazione solare

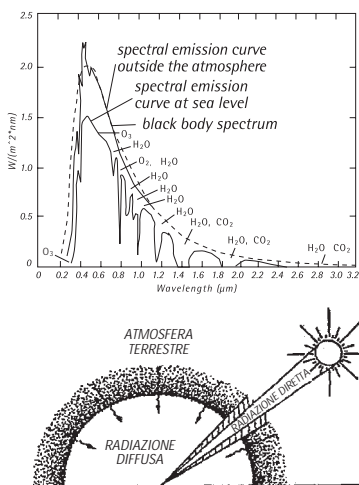


Figura 1.2
Confronto fra spettro solare a livello del mare e spettro solare al di fuori dell'atmosfera; risultano evidenti i picchi di assorbimento delle sostanze che compongono quest'ultima nella banda dell'infrarosso, e l'attenuazione dovuta alla diffusione da parte dell'ozono nella banda dell'ultravioletto.

Figura 1.3
Radiazione solare diretta e diffusa.

Il sole ha approssimativamente una emittenza radiante (energia emessa per unità di superficie nell'unità di tempo) di approssimativamente 1351 W/m^2 dei quali solo 900 W/m^2 raggiungono la superficie terrestre a causa dell'assorbimento dell'atmosfera sovrastante. L'azione dell'atmosfera, in particolare dell'ozono contenuto nella stratosfera, è determinante in quanto assorbe drasticamente la componente ultravioletta (in particolare UVC e UVB) della radiazione solare. La massima componente UVA misurata è di 70 W/m^2 , la componente massima UVB è di $2,5 \text{ W/m}^2$, mentre l'ultravioletto C viene totalmente assorbito e non raggiunge la superficie terrestre. La radiazione solare che raggiunge la superficie terrestre ha uno spettro "quasi continuo" e mostra qualche picco di assorbimento dovuto alle sostanze presenti in atmosfera (fig. 1.2).

Il confronto fra uno spettro raccolto in periodo estivo e in periodo invernale mostra come non vi siano differenze qualitative ma, per ovvi motivi, la radiazione estiva è molto più intensa. La radiazione solare che raggiunge la superficie terrestre è definita come la radiazione globale che incide su una superficie piana orizzontale comprendente la radiazione diretta e quella diffusa dall'atmosfera (fig. 1.3)

Anche nell'arco della giornata l'energia radiante che raggiunge la superficie terrestre varia, mostrando un andamento "a campana", con valori massimi nelle ore centrali della giornata.

Solar radiation 1.2

The sun has a radiant emittance (energy emitted per unit area in a time unit) of approx. 1351 W/m^2 , only 900 W/m^2 of which reaches the earth's surface because of absorption by the atmosphere. The action of the atmosphere, especially the ozone contained in the stratosphere, is crucial, as it drastically absorbs the ultraviolet component of solar radiation (in particular UVC and UVB). The maximum UVA component measured is 70 W/m^2 , while the maximum UVB component is 2.5 W/m^2 ; ultraviolet C is totally absorbed and does not reach the earth's surface. The solar radiation that reaches the earth's surface has a "quasi-continuous" spectrum and presents some absorption peaks due to substances present in the atmosphere (fig. 1.2).

A comparison between spectra obtained in summer and winter shows that there are no qualitative differences, but for obvious reasons, summer radiation is far more intense. The solar radiation which reaches the earth's surface is defined as the global radiation that strikes a flat horizontal surface, comprising direct radiation and radiation diffused by the atmosphere (fig. 1.3)

The radiation that reaches the earth's surface varies during the day in accordance with a bell curve, with the highest values during the central hours of the day.

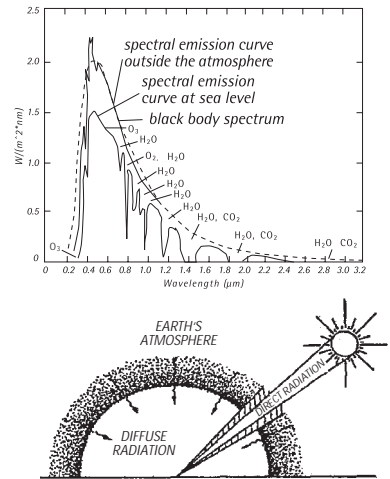


Figure 1.2
Comparison between the solar spectrum outside the atmosphere; the absorption peaks of the substances composing the latter in the infrared band and the attenuation due to diffusion by the ozone layer in the ultraviolet band can be clearly seen.

Figure 1.3
Direct and diffuse solar radiation.

I.3

Bibliografia essenziale

Sliney DH and Wolbarsht ML, "Projection Systems in Safety with Lasers and Other Optical Sources: A Comprehensive Handbook". New York and London: Plenum Press, 1980.

Colin R Roy, "Ultraviolet Radiation: Sources, Biological Interaction and Personal Protection" in "Non-Ionizing Radiation: Physical Characteristics, Biological Effects and Health Hazard Assessment", Editor: Michael H Tepacholi. IRPA, 1988.



Brief bibliography I.3

Sliney DH and Wolbarsht ML, “Projection Systems in Safety with Lasers and Other Optical Sources: A Comprehensive Handbook”. New York and London: Plenum Press, 1980.

Colin R Roy, “Ultraviolet Radiation: Sources, Biological Interaction and Personal Protection” in “Non-Ionizing Radiation: Physical Characteristics, Biological Effects and Health Hazard Assessment”, Editor: Michael H Tepacholi. IRPA, 1988.



II. L'illuminazione artificiale

II.1 Sorgenti luminose artificiali

La principale distinzione fra le differenti tipologie di sorgenti luminose artificiali si basa essenzialmente sulla natura del materiale emittente, solido o aeriforme, che individua due grandi famiglie: le sorgenti ad incandescenza e le sorgenti a scarica. Le due famiglie poi si suddividono ulteriormente in funzione delle sostanze contenute nel bulbo, della tensione di alimentazione o di particolari proprietà ottiche del bulbo che influiscono su forma e intensità dell'emissione luminosa (fig. 2.1).

Lampade a incandescenza L'invenzione di quella che risulta ancora oggi il tipo di lampada più diffusa nel mondo è dovuta a Thomas Edison che nel 1879 presentò il prototipo della prima lampadina nel New Jersey (USA). Questo era costituito da un filamento di cotone carbonizzato collocato dentro una ampolla di vetro trasparente in cui era stato ottenuto, per quanto consentito dalla tecnologia dell'epoca, il vuoto. L'efficienza di tale sorgente risultò di 1,4 lm/W e la durata fu di circa 45 ore.

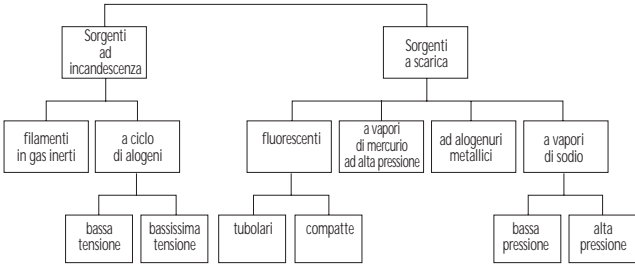


Figura 2.1
Sorgenti luminose artificiali.

Artificial lighting .II

Artificial light sources II.1

The main difference between the various types of artificial light source is based on the nature of the emitting material (solid or aeriform), which identifies two major classes: incandescent and discharge sources. The two classes are then sub-divided on the basis of the substances contained in the bulb, the input voltage, or particular optical properties of the bulb which influence the form and intensity of the light emission (fig. 2.1).

What is still the most common type of lamp in the world **Incandescent lamps** was invented by Thomas Edison, who presented the prototype of the first light bulb in New Jersey (USA) in 1879. It consisted of a carbonised cotton filament in a transparent glass bulb in which a vacuum was applied (insofar as the technology of the day allowed). The efficiency of the source was 1.4 lm/W, and its duration was approx. 45 hours.

The present incandescent models are based on that first prototype, with an operating principle that has

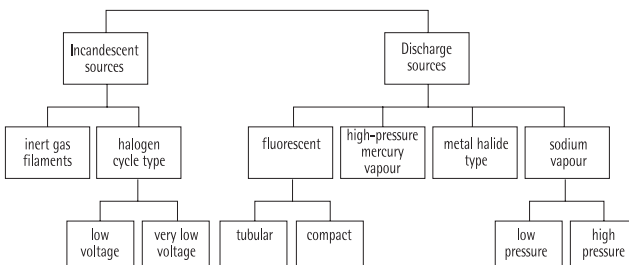


Figure 2.1
Artificial light sources.

Da questo primo prototipo, con un principio di funzionamento sostanzialmente rimasto immutato, sono stati sviluppati gli attuali modelli ad incandescenza: un sottilissimo filamento di metallo, inserito in un bulbo di vetro in cui si è praticato prima il vuoto spinto e di cui si è provveduto al riempimento con gas inerti, è attraversato da corrente elettrica e per “effetto Joule” surriscaldato fino all'incandescenza. Ne deriva una emissione di radiazioni prevalentemente nell'ambito dell'infrarosso (riscaldamento), in parte nella banda del visibile e con una limitata quantità di UV. In questo tipo di lampade, proprio a causa del tipo di processo che porta all'emissione di luce, gran parte dell'energia viene dissipata in calore.

All'aumentare della temperatura del filamento metallico sempre maggior rilevanza assume il fenomeno della sublimazione: i vapori di metallo, provenienti dal filamento, venendo a contatto con le pareti del bulbo, a temperatura nettamente inferiore, tendono a condensarsi e le minuscole particelle di metallo che si liberano, depositandosi sulle pareti del bulbo ne determinano un certo annerimento, con conseguente perdita di efficienza luminosa. La sublimazione inoltre, riducendo la massa del filamento lo rende progressivamente più fragile svolgendo pertanto un ruolo determinante verso il tempo di durata della lampadina. Fra i vari metalli sperimentati, il tungsteno si è rivelato quello più adatto: ha una temperatura di fusione (3640 °K) molto elevata, una bassa velocità di condensazione ed un contenuto coefficiente di emissione nella regione degli infrarossi.

Per ovviare, invece, ai problemi causati dalla sublimazione la tecnologia ha trovato differenti soluzioni. Per le lampade di potenza inferiore ai 25 W in genere si mantie-

remained basically unchanged: a very thin metal filament is inserted in a glass bulb evacuated to a high vacuum and filled with inert gas; an electric current is then passed through the filament which is superheated until white-hot by the “Joule effect”. The result is an emission of radiation, mainly in the infrared area (heating), in part of the visible band and with a limited quantity of UV rays. In this type of lamp, much of the energy emitted is dissipated in the form of heat because of the type of process that produces the emission of light.

As the temperature of the metal filament rises, sublimation increases; metal vapours from the filament come into contact with the bulb walls, which have a much lower temperature, and tend to condense; the tiny metal particles released are then deposited on the bulb walls, causing a degree of “age coating” and a consequent loss of luminous efficiency. In addition, sublimation reduces the mass of the filament which gradually becomes more fragile, thus seriously affecting the life of the bulb.

Tungsten has proved the most suitable of the various metals tested; it has a very high melting point (3640°K), a low condensation speed and a low coefficient of emission in the infrared region.

A number of different technical solutions have been adopted to eliminate the problems caused by sublimation. In the case of lamps under 25 W a high vacuum is usually maintained in the bulb, and chlorate or phosphate compounds are deposited on the filament; they combine with the compounds present, helping to maintain the vacuum. These substances also bond with sublimated tungsten particles to form substances transparent to light, which do not affect the efficiency of the bulb.

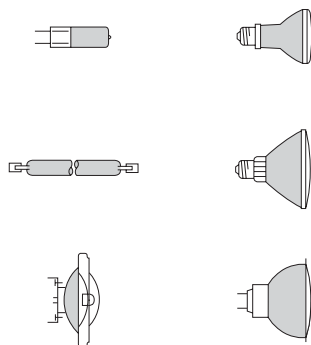


Figura 2.2
Tipi di lampade a ciclo di
alogeni

ne un vuoto spinto nel bulbo e si depositano sul filamento composti clorati o fosfati che combinandosi con i presenti favoriscono il mantenimento del vuoto. Queste sostanze, inoltre, legandosi anche con le particelle sublimato di tungsteno formano sostanze trasparenti alla luce che non vanno ad influire sull'efficienza della lampada.

Per le sorgenti di potenza superiore a 25 W, dopo aver ottenuto il vuoto spinto, si riempie il bulbo con gas inerti, quali azoto, argon o cripton in quanto è stato sperimentalmente dimostrato che la velocità dei processi di sublimazione del tungsteno dipende dal peso molecolare del gas di riempimento; per questo motivo all'azoto si è in seguito preferito l'argon e il cripton (pesi atomici: azoto 14,006 - argon 39,948 - cripton 83,80).

I risultati ottenuti dagli studi sui gas di riempimento hanno condotto ad una vera rivoluzione tecnologica in questi settori. Essi hanno infatti consentito l'introduzione di "lampade a ciclo di alogeni" (fig. 2.2), con le quali è stato possibile conseguire notevoli miglioramenti dell'efficienza luminosa, della qualità dell'emissione e della durata. Introducendo insieme ai già citati gas inerti sostanze alogene quali iodio e bromo, il filamento può essere portato a temperature ancor più elevate rispetto a quelle delle normali lampade ad incandescenza. I bulbi di quest'ultimo tipo di sorgenti sono infatti di dimensioni notevolmente ridotte al fine di rendere stazionario un determinato regime termico interno. All'interno del bulbo, in cui il filamento raggiunge circa i 3000°K, le temperature variano tra i 1700°K e i 500°K. In prossimità della parete del bulbo, le sostanze alogene si combinano con i vapori di tungsteno formando alogenuri di tungsteno, ovvero gas trasparenti che non fissandosi sulle pareti del

In the case of sources with a power exceeding 25 W after a high vacuum has been obtained, the bulb is filled with inert gases such as nitrogen, argon or krypton, as it has been experimentally demonstrated that the speed of tungsten sublimation processes depends on the molecular weight of the filling gas; for this reason argon and krypton were later preferred to nitrogen (atomic weights: nitrogen 14.006, argon 39.948 and krypton 83.80).

The results of studies on filling gases have brought about a technological revolution in this sector, with the introduction of “halogen cycle lamps” (fig. 2.2), which offer great improvements in luminous efficacy, quality of emission and duration. When inert halogen substances such as iodine and bromine are introduced together with the inert gases mentioned above, the filament can be heated to even higher temperatures than normal incandescent lamps. The bulbs used for the latter type of source are extremely compact in order to maintain a given internal heat regime in a steady state. Inside the bulb, in which the filament is heated to approx. 3000°K, the temperature ranges between 1700°K and 500°K. Near the bulb wall, the halogen substances combine with tungsten vapours to form tungsten halides, ie. transparent gases which are not deposited on the glass walls; this eliminates the age coating problem. The halides are then transported to the region near the filament by convection currents; as the average temperature in that area exceeds 1700°K, the halide is dissociated, releasing the tungsten, which is deposited on the filament and restores it to its original condition, thus increasing the average life of the lamp. The halogen, also free, is then available to recombine with the tungsten, thus perpetuating the cycle. Another

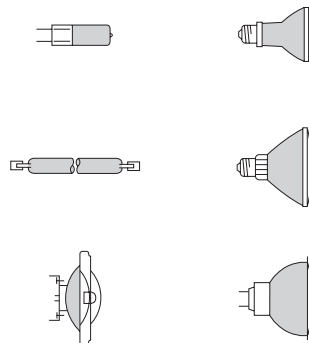


Figure 2.2
Types of halogen-cycle
lamps.

vetro eliminano il fenomeno dell'annerimento del bulbo. Mediante moti convettivi gli alogenuri vengono poi trasportati nella regione prossima al filamento dove essendo la temperatura mediamente superiore a 1700°K l'alogeno si dissocia liberando il tungsteno che depositandosi sul filamento lo reintegra aumentandone la vita media. L'alogeno, anch'esso libero, è a sua volta disponibile per ricomporsi con il tungsteno perpetuando il ciclo. Un altro risultato importante del ciclo è che la tensione parziale del vapore di tungsteno, vale a dire la pressione che i vapori del metallo esercitano, si mantiene prossimo a valori vicini alla saturazione dell'ambiente intorno al filamento. Questo fenomeno inibisce ovviamente in modo determinante il passaggio allo stato di vapore degli atomi del filamento.

Tra le varie sorgenti a ciclo di alogeni è importante ricordare quelle alimentate a bassissima tensione (12 V). A parità di flusso luminoso emesso, la bassissima tensione permette la realizzazione di lampade con filamenti più grossi e più corti. Ciò fornisce notevoli vantaggi dal punto di vista della robustezza, della sicurezza di utilizzo, della durata media oltre che degli ingombri delle lampade che si riducono ulteriormente.

important result of the cycle is that the partial pressure of the tungsten vapour, ie. the pressure exercised by the metal vapours, is maintained at values close to saturation of the environment around the filament. This obviously makes a crucial contribution to preventing the filament atoms from changing to the vapour state. Of the various halogen-cycle sources, those with a very low input voltage (12 V) are of particular importance. Very low voltage allows the manufacture of lamps with thicker, shorter filaments, which still emit the same luminous flux. This system offers great advantages in terms of strength, safety, average life and compactness of the lamps.

Lampade a scarica Il principio di funzionamento delle sorgenti a scarica è fondamentalmente diverso da quelli delle lampade ad incandescenza: le radiazioni emesse vengono generate da urti tra particelle cariche, regolati dai principi della meccanica quantistica. Questo processo richiede una tecnologia più raffinata ma ha un rendimento maggiore in quanto molta meno energia viene dissipata in calore essendo limitata l'emissione nella regione degli infrarossi.

La lampada a scarica è costituita da un tubo di materiale capace di resistere alle sollecitazioni meccaniche e termiche e trasparente alle radiazioni (generalmente vetro o quarzo); alle sue estremità sono collocati due elettrodi, l'anodo (+) e il catodo (-). Il tubo, nel quale è stato precedentemente fatto il vuoto, è riempito poi con uno o più gas rari insieme ad una piccola quantità di un determinato composto metallico. Quando alle estremità del tubo viene applicata una differenza di potenziale, gli ioni presenti nel gas vengono accelerati dal campo elettrico generatosi e vanno ad urtare le altre molecole di gas trasferendo nell'urto, tutta o in parte, l'energia cinetica accumulata nella "rincorsa". L'entità dell'energia accumulata dallo ione dipende in primo luogo dall'intensità del campo elettrico che lo ha accelerato, il quale a sua volta è direttamente proporzionale alla tensione applicata. In secondo luogo, l'energia cinetica dello ione dipende dalla densità del gas di riempimento (grandezza legata alla pressione interna). Una densità relativamente bassa infatti permette agli ioni un percorso più lungo prima di ciascun urto e quindi un guadagno di energia cinetica maggiore; d'altra parte una densità troppo bassa rende gli urti eventi molto rari e di conseguenza risultano "rari" anche i fotoni emessi (bassa intensità luminosa).

Discharge lamps

The operating principle of discharge sources is quite different from that of incandescent lamps; the radiation emitted is generated by collisions between charged particles which are governed by the principles of quantum mechanics. This process requires a more sophisticated technology but offers greater efficiency as far less energy is dissipated in the form of heat, because emission in the infrared region is limited.

Discharge lamps consist of a tube of material able to withstand mechanical and heat stresses and transparent to radiation (usually glass or quartz); two electrodes, the anode (+) and the cathode (-), are fitted at either end. A vacuum is applied in the tube, which is then filled with one or more rare gases together with a small amount of a given metal compound. When a potential difference (PD) is applied to the ends of the tube, the ions present in the gas are accelerated by the electrical field generated and collide with other gas molecules; when the collision takes place, all or part of the kinetic energy accumulated in the “run-up” is transferred. The amount of energy accumulated by the ion depends primarily on the intensity of the electrical field that accelerated it, which in turn is directly proportional to the voltage applied. Secondly, the kinetic energy of the ion depends on the density of the filling gas (its value being associated with internal pressure). A relatively low density allows the ions a longer run-up before each collision and therefore produces a higher gain in kinetic energy; however, if the density is excessively low, collisions will seldom occur, with the result that the photons emitted are also “rare” (low luminous intensity).

A collision between an ion and another atom can

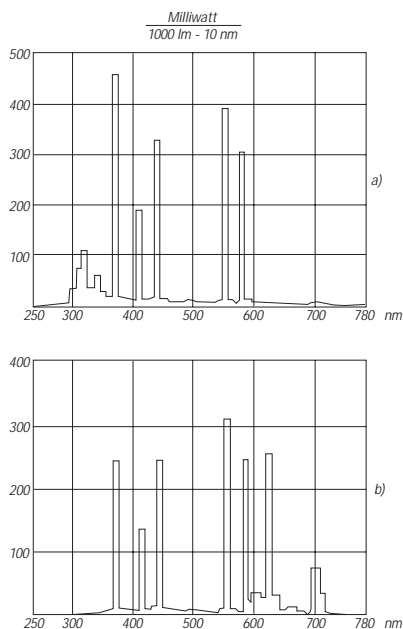


Figura 2.3
Righe spettrali di emissione
per due lampade a vapori di
mercurio ad alta pressione:
a) tipo con bulbo in vetro
chiaro; b) tipo con bulbo
trattato con polveri
fluorescenti
(documentazione Osram).

L'urto di uno ione con un altro atomo può portare a due risultati principali. Quando l'energia trasferita assume determinati valori essa viene assorbita interamente dagli elettroni più esterni dell'atomo i quali si portano a livelli energetici superiori: in questo caso si dice che l'atomo non si trova più allo stato fondamentale ma in uno stato eccitato. Perché avvenga questo salto di orbitale l'energia assorbita deve essere esattamente pari alla differenza di energia tra i due livelli energetici coinvolti, quello di partenza e quello d'arrivo.

Se l'energia trasferita è maggiore di un determinato valore (energia di estrazione), l'elettrone viene strappato all'atomo e l'atomo forma uno ione positivo; quest'ultimo, insieme all'elettrone espulso, vanno ad incrementare l'insieme degli ioni che vengono accelerati dalla differenza di potenziale (ddp) applicata. L'energia di estrazione degli elettroni e i livelli energetici degli orbitali atomici sono caratteristici di ciascun elemento e quindi permettono di individuare la sostanza che ha assorbito energia ma ai fini della produzione di energia luminosa è fondamentale che una volta che l'atomo eccitato sia ritornato allo stato fondamentale (livello energetico di partenza) l'energia prima assorbita venga rilasciata sotto forma di onde elettromagnetiche di energia pari alla differenza di energia dei livelli coinvolti nel "salto". Ed è proprio questo il meccanismo di produzione di energia radiante sul quale si fondano le lampade a scarica: un atomo assorbe energia meccanica durante un urto con una particella accelerata e poi la rimette sotto forma di energia elettromagnetica nelle bande dell'ultravioletto, del visibile e dell'infrarosso. Lo spettro luminoso risultante è uno spettro a "righe", i cui picchi sono tipici delle sostanze di riempimento del tubo di sca-

produce two main results. When the energy transferred reaches given values, it is wholly absorbed by the outermost electrons of the atom, which move to higher energy levels; in this case the atom is said to be no longer in the ground state, but in an excited state. For this quantum jump to take place, the absorbed energy must be exactly equal to the difference in energy between the two energy levels involved: the starting and finishing levels.

If the energy transferred exceeds a given value (extraction energy), the electron is detached from the atom and the atom forms a positive ion; the latter, together with the detached electron, increases the set of ions that are accelerated by the applied PD. The extraction energy of the electrons and the energy levels of the atomic orbitals are characteristic of each element, thus allowing identification of the substance that absorbed energy; however, for the purpose of luminous energy production, it is essential that when the excited atom has returned to the ground state (the starting energy level), the energy previously absorbed is released in the form of electromagnetic waves with an energy equal to the difference in energy of the levels involved in the jump. This is the radiation production mechanism on which discharge lamps are based: an atom absorbs mechanical energy during a collision with an accelerated particle and then re-emits it in the form of electromagnetic energy in the ultraviolet, visible and infrared bands. The resulting light spectrum is a “line” spectrum, the peaks of which are typical of the filling substances of the discharge tube (fig. 2.3). The process is initiated by preheating the electrodes, which are constituted by tungsten filaments covered with alkaline earths that facilitate the emission of

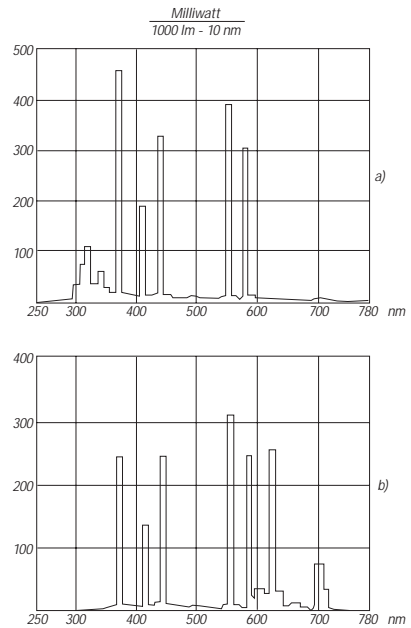


Figure 2.3
Spectral emission lines for two high-pressure mercury vapour lamps: a) type with clear glass bulb; b) type with bulb treated with fluorescent powders (Osram documentation).

rica (fig. 2.3). Il processo viene avviato preriscaldando gli elettrodi che sono costituiti da filamenti di tungsteno ricoperti di ossidi di metalli alcalino-terrosi che facilitano l'emissione di elettroni da parte del filamento. Gli elettroni emessi costituiscono dunque le prime particelle accelerate dalla ddp e i primi fenomeni di eccitazione atomica avvengono a carico del gas di riempimento—in genere neon, elio, cripton, argon, xenon—che ha proprio la funzione di innescare il processo. Quando la lampada è fredda è necessaria una tensione di innesco, in quanto per la pressione interna del gas molto bassa si hanno un numero di collisioni insufficienti. Quando la scarica è innescata e la pressione interna aumenta, diviene necessario, al fine di limitare la scarica, regolare il valore della tensione mediante resistenze in serie al circuito che fungano da stabilizzatrici della scarica. Le lampade a scarica devono essere quindi corredate da elementi accessori inseriti nel circuito di funzionamento, sia per l'innesco che per il loro mantenimento in funzione.

Fra le lampade a scarica vengono annoverate le lampade a fluorescenza, a vapori di mercurio ad alta pressione, ad alogenuri metallici e al sodio (a bassa e alta pressione). Le prime ovviamente sfruttano il fenomeno della fluorescenza. Con questo termine si intende la proprietà da parte di alcune sostanze di assorbire fotoni nella regione dell'UV e rimettere energie nella regione del visibile. Questo fenomeno, a differenza della fosforescenza, cessa al termine dell'eccitazione da parte dell'UV. Le lampade a fluorescenza sono dunque costituite da un tubo di scarica riempito con il gas di innesco, generalmente argon, e con vapore di mercurio a bassa pressione. Dopo le scariche di innesco si instaura una scarica ad arco attraverso i vapori

electrons by the filament. The electrons emitted therefore constitute the first particles to be accelerated by the PD, and the first atomic excitation phenomena involve the filling gas—usually neon, helium, krypton, argon or xenon—the function of which is to initiate the process. When the lamp is cold, a striking potential is required because the number of collisions is insufficient due to the very low internal gas pressure. When the discharge is struck and the inner pressure increases, in order to limit the discharge, the voltage value must be regulated by means of resistors in series on the circuit which act as discharge stabilisers. Discharge lamps must therefore be equipped with accessory elements included in the operating circuit to strike the discharge and keep them operating.

Discharge lamps include fluorescent lamps, high-pressure mercury vapour lamps, metal halide lamps and sodium lamps (high- and low-pressure types).

The former obviously exploit the phenomenon of fluorescence. “Fluorescence” means the property of part of some substances to absorb photons in the UV region and re-emit energies into the visible region. This phenomenon, unlike phosphorescence, ceases at the end of excitation by UV radiation. Fluorescent lamps therefore consist of a discharge tube filled with a striking gas, usually argon, and with low-pressure mercury vapour. After the striking discharges, an arc discharge is formed through the mercury vapour. The mercury vapour has an emission spectrum characterised by peaks in the UV-C band (85% have the wavelength $\lambda=253.7$ nm, while in the case of the remaining 15%, $\lambda=185$ nm). The interior of the tube is coated with fluorescent powders

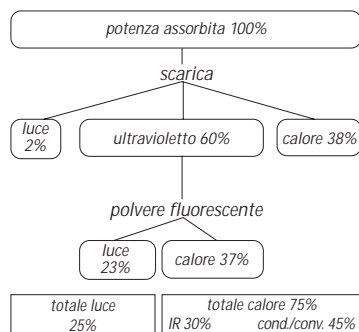


Figura 2.4
Ripartizione dell'energia
assorbita in una lampada
fluorescente.

Figura 2.5
Modelli di lampade
fluorescenti compatte.

di mercurio. Il vapore di mercurio ha uno spettro di emissione caratterizzato da picchi nella banda dell'UV-C (lunghezza d'onda $\lambda=253,7$ nm per 85% e con $\lambda=185$ nm per il restante 15%). La parete interna del tubo è rivestita di polveri fluorescenti (ossiacidi drogati) che convertono gli UV in visibile. Attraverso questo meccanismo la potenza assorbita all'origine viene convertita per il 25% in radiazione visibile, per il 30% in radiazione infrarossa e per il restante 45% in calore poi dissipato attraverso conduzione e convezione (fig. 2.4).

La più recente generazione di lampade a fluorescenza è costituita da lampade fluorescenti “compatte” (fig. 2.5), ove ai bassi consumi si aggiungono le ridotte dimensioni che ne hanno favorito un più largo uso. Queste sorgenti infatti, oltre ad adottare tubi di scarica che potendo essere non lineari permettono geometrie di poco ingombro, sono dotate di attacchi a vite identici a quelli delle sorgenti ad incandescenza, permettendone l'immediata sostituzione con notevoli risparmi di energia.

Nelle lampade a vapori di mercurio ad alta pressione il tubo di scarica è di dimensioni molto piccole ed è costituito da quarzo per poter resistere alle alte temperature e a valori di pressione molto elevati; per questo tipo di sorgente infatti la pressione interna a freddo è circa 5.000-10.000 Pa mentre a caldo raggiunge 3-4 10^5 Pa. Le prestazioni di queste sorgenti sono molto differenti essendo l'efficienza luminosa nettamente inferiore rispetto alle classiche fluorescenti. Le piccole dimensioni del bulbo tuttavia le rendono adatte ad ambienti dove sia prioritaria la necessità di un flusso concentrato rispetto a particolari esigenze illuminotecniche come autorimesse e magazzini. Il gas utilizzato per l'innesco è l'argon ed insieme ad

(doped hydroxy acids) which convert the UV radiation into visible light. By means of this mechanism, 25% of the power absorbed at source is converted into visible radiation, 30% into infrared radiation and the remaining 45% into heat, which is dissipated through conduction and convection (fig. 2.4).

The latest generation of fluorescent lamps are “compact” lamps (fig. 2.5); their small size in addition to low consumption has led to widespread use. These sources use discharge tubes that are not necessarily linear, thus allowing compact design, and are fitted with screw caps identical to those of incandescent sources, which allows immediate replacement and considerable energy savings.

In high-pressure mercury vapour lamps, the discharge tube is very small and made of quartz so that it can withstand high temperatures and very high pressure values; for this type of source, the internal pressure when cold is approx. 5,000-10,000 Pa, but the value reaches $3\text{--}4 \cdot 10^5$ Pa when the lamp is hot. The performance of these sources varies widely, because their luminous efficacy is much lower than that of classic fluorescent lamps. However, the small size of the bulb makes them suitable for areas such as garages and warehouses in which a concentrated flux takes high priority in view of specific technical lighting needs. The striking gas used is argon, and a quantity of mercury is introduced with it which totally evaporates due to superheating when the lamp is activated. The radiation emitted by high-pressure mercury vapours contains few UV rays, and 15% of the absorbed power is directly emitted into the visible band, with a definite predominance of the cold shades violet and

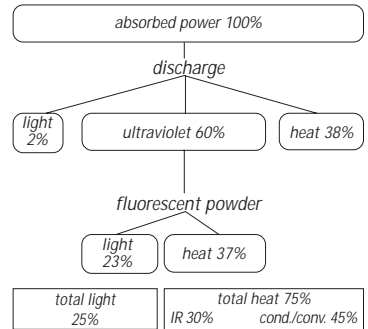


Figure 2.4
Distribution of absorbed energy in a fluorescent lamp.

Figure 2.5
Models of compact fluorescent lamps.

esso viene introdotta una quantità di mercurio tale che, a lampada attivata, evapori completamente per surriscaldamento. La radiazione emessa dai vapori di mercurio ad alta pressione contiene poco UV ed il 15% della potenza assorbita viene emessa direttamente nella banda del visibile, con una netta predominanza delle tonalità fredde, violetto e azzurro. Al fine di correggere il contenuto spettrale e di utilizzare anche le emissioni UV il tubo a scarica viene inserito in una ampolla di vetro ove le pareti interne sono rivestite di polveri fluorescenti che ne aumentano la resa cromatica.

Da questo tipo di lampade sono state derivate le lampade a vapori di alogenuri metallici che offrono prestazioni ancora superiori (fig. 2.6). Principio di funzionamento e struttura sono sostanzialmente invariati ma insieme all'argon, utilizzato come gas di innesco, ed ai vapori di mercurio vengono inserite nel tubo di scarica sostanze come sodio, tallio, indio e, nelle ultime generazioni di lampade, anche terre rare quali olmio, tulio, cesio e disprosio. Queste sostanze, partecipando nella scarica all'emissione di energia radiante, apportano allo spettro elettromagnetico nuovi picchi andando a completarlo con un sensibile miglioramento della resa cromatica e dell'efficienza luminosa (fig. 2.7). Le terre rare, una volta ionizzate sono chimicamente molto attive ed esercitando una azione devetrificante nei confronti del quarzo del tubo di scarica ne accorciano notevolmente il tempo di resistenza. Al fine di mantenere l'integrità della lampada le terre rare vengono introdotte legate ad un elemento alogeno (alogenuri): le alte temperature vicino alla zona di scarica dissociano l'alogenuro permettendo agli ioni di terre rare di partecipare alla stessa mentre nelle zone relativa-

blue. In order to correct the spectrum content and use UV emissions too, the discharge tube is fitted onto a glass bulb which has the inner walls coated with fluorescent powders to increase the colour rendering index.

Metal halide vapour lamps which offer even better performance derive from this type of lamp (fig. 2.6). The operating principle and structure are basically unchanged, but substances such as sodium, thallium, indium and, in the latest generations of lamps, rare earths such as holmium, thulium, caesium and dysprosium, are inserted into the discharge tube together with argon, used as striking gas, and mercury vapour. These substances, which participate in the emission of radiant energy during the discharge, add new peaks to the electromagnetic spectrum, thus completing it with a considerable improvement in colour rendering index and luminous efficacy (fig. 2.7). Rare earths, once ionised, are highly chemically active and exert a devitrifying effect on the quartz of the discharge tube, considerably shortening its resistance time. In order to maintain the integrity of the lamp, the rare earths are introduced bonded to a halogen element (halides); the high temperatures in the vicinity of the discharge zone dissociate the halide, allowing the rare earth ions to participate in the discharge, while in the relatively colder zones near the inner wall of the tube the rare earths and halogens recombine, thus preventing the rare earths from interacting with the quartz. A cycle similar to that of halogen-cycle incandescent lamps is thus initiated (fig. 2.8).

The discharge tube is protected by a glass bulb. The spectral content is already sufficiently rich and well distributed in the visible bands, so it is not really

Figura 2.6

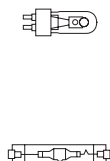


Figura 2.7

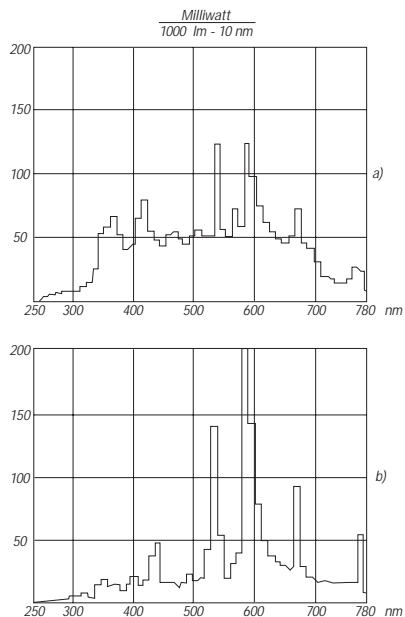
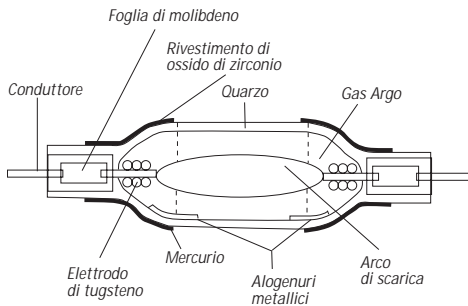


Figura 2.6 *Figure 2.6*
Modelli di lampade ad *Models of metal halide*
alogenuri metallici. *lamps.*

Figura 2.7 *Figure 2.7*
Spettro di emissione di due *Emission spectrum of two*
modelli di lampade ad *models of metal halide*
alogenuri metallici: a) *lamp: a) lamp with a power*
lampada di potenza 150 o *of 150 or 250 W, colour*
250 W, temperatura di colore *temperature 4000°K;*
4.000 °K; b) lampada di *b) lamp with a power of 70*
potenza 70 W, temperatura *W, colour temperature*
di colore 3.000 °K *3000°K (Osram*
(documentazione Osram). *documentation).*

Figura 2.8



Hg = Mercurio Me = Metallo Hal = Alogeno

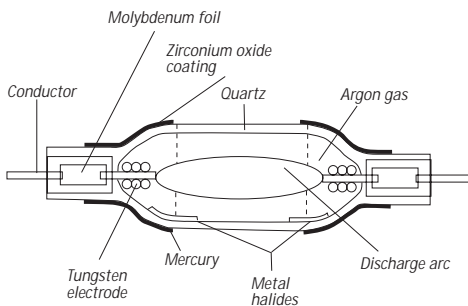


Figura 2.9

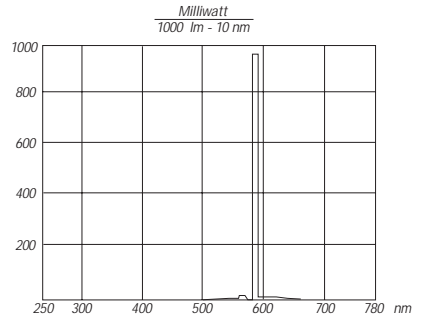


Figura 2.8 *Figure 2.8*
Spaccato e schema delle reazioni chimiche interne della lampada ad alogenuri metallici. *Cross-section and diagram of internal chemical reactions in a metal halide lamp.*

Figura 2.9 *Figure 2.9*
Spettro di emissione di una lampada a vapori di sodio a bassa pressione (documentazione Osram). *Emission spectrum of a low-pressure sodium vapour lamp (Osram, documentation).*

mente più fredde, prossime alla parete interna del tubo, terre rare e alogeni si ricombinano impedendo alle prime di interagire con il quarzo. Viene così ad instaurarsi un ciclo simile a quello delle lampade ad incandescenza a ciclo di alogeni (fig. 2.8).

Il tubo di scarica viene protetto da un bulbo di vetro. Il contenuto spettrale è già sufficientemente ricco e ben distribuito nelle bande del visibile, non è così necessaria l'aggiunta di polveri fluorescenti correttive come invece accade per le lampade fluorescenti classiche. Le lampade al sodio, ad alta e bassa pressione, hanno il tubo di scarica riempito di vapori di sodio ed in entrambe le configurazioni emettono radiazioni unicamente in una ristretta zona dello spettro intorno al giallo (fig. 2.9). La resa dei colori è di conseguenza di bassa qualità ma sono comunque lampade dotate di una elevata efficienza luminosa che pertanto trovano un vasto impiego nell'illuminazione di esterni come piazze, strade, luoghi pubblici in genere di grande estensione.

Fra le varie tipologie di lampade quelle a vapori di alogeni hanno una emissione potenzialmente dannosa di UV A e B, e in alcune si riscontrano anche deboli emissioni di UV-C. Necessitano quindi di schermi protettivi. A tale proposito un fattore importante per tutte le lampade a scarica risulta essere la tonalità della luce in quanto le sorgenti a tonalità più fredda sono più ricche di UV rispetto a quelle a tonalità più calda, avendo un contenuto spettrale spostato globalmente verso la banda del violetto.

necessary to add corrective fluorescent powders as in the case of the classic fluorescent lamps. High- and low-pressure sodium lamps have the discharge tube filled with sodium vapour; in both configurations they only emit radiation in a narrow zone of the spectrum around yellow (fig. 2.9). The colour rendering index is consequently of low quality, but these lamps offer high luminous efficacy, and are therefore widely used for external lighting of roads, squares and large public areas in general. Halide vapour lamps produce potentially harmful emissions of UV A and B radiation, and some also produce weak emissions of UV-C. They consequently require protective screens. In this respect an important factor for all discharge lamps is the shade of the light, because sources with colder shades contain more UV radiation than those with warmer shades, as the spectral content is globally shifted towards the violet band.

II.2 Gli apparecchi illuminanti

Si intende per apparecchio illuminante la struttura che contiene e riveste la sorgente luminosa cui a volte si aggiungono gli annessi circuitali. La struttura standard può essere schematicamente descritta come costituita da due componenti principali: il paraboloide riflettente e il vetro di protezione.

Le sorgenti luminose vengono solitamente inserite in apparecchi illuminanti che ricoprono molteplici funzioni. La più evidente, per l'acquirente, è sicuramente la funzione estetica ma non bisogna dimenticare altre più importanti funzioni come quelle di protezione ed isolamento della lampade e degli eventuali circuiti elettrici annessi, quelle di intercettazione, rinvio e modulazione spaziale della luce prodotta, quelle relative alla sicurezza e non nocività per le persone esposte. Queste ultime, se inopportunamente sottostimate nel corso della progettazione, possono divenire causa di emissioni di UV nell'ambiente i cui possibili effetti a livello oculare meritano qualche attenzione.

Le sorgenti luminose emettono generalmente radiazioni in ogni direzione con intensità praticamente costante, escludendo i punti dove sono posti gli attacchi. Pertanto al fine di convogliare le emissioni in una specifica direzione, le sorgenti sono poste in paraboloidi riflettenti che intercettano la luce e la rinviando nella direzione desiderata modulandone e controllandone la distribuzione. Una caratteristica importante del materiale costituente i paraboloidi è ovviamente rappresentata dall'alto coefficiente di riflessione, anche se accanto a ciò devono essere presenti altre proprietà quali la resistenza meccanica, la resistenza alle corrosioni, la stabilità delle dimensioni in rapporto alle temperature di esercizio, il basso peso speci-

Lighting apparatus II.2

“Lighting apparatus” means the structure that contains and surrounds the light source, and sometimes includes the circuitry. Briefly, the standard structure consists of two main components: a parabolic reflector and protective glass. Light sources are usually fitted in lighting units that fulfil a number of functions. The most obvious for the purchaser is the aesthetic function, but there are also more important functions such as protection and insulation of the lamps and any annexed electrical circuits, interception, transmission and spatial modulation of the light produced, safety, and harmlessness to the persons exposed to the light. If the last two factors are underestimated at the design stage, the lamps may emit UV radiation into the environment, with possible effects on the eyes which deserve some attention.

Light sources usually emit radiation in every direction with a practically constant intensity, apart from the points where the connectors are located. In order to divert the emissions in a specific direction, the sources are placed in parabolic reflectors which intercept the light and send it in the required direction, modulating and controlling its distribution. An important characteristic of the material constituting parabolic reflectors is obviously a high reflection coefficient, although other properties must also be present, such as mechanical strength, corrosion resistance, stability of dimensions in relation to operating temperatures, low specific gravity and, last but not least, ease of processing and reasonable cost. The highest reflection coefficient is obtained with silver-coated crystal glass; however, as it is very fragile, it is often replaced with aluminium, which possesses good

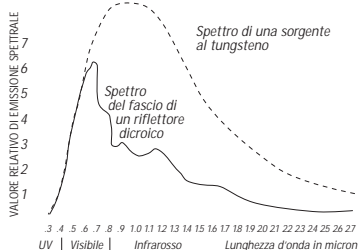


Figura 2.10
Confronto spettro di una
sorgente al tungsteno con e
senza riflettore dicroico.

fico e, non ultime, la facilità di lavorazione ed i costi contenuti. Il coefficiente di riflessione più elevato è ottenuto con cristallo argentato che essendo molto fragile è spesso sostituito dall'alluminio che possiede buoni valori per tutte le caratteristiche sopra citate. Fra i nuovi reperibili sul mercato sempre più in uso sono le plastiche metallizzate da cui sono stati derivati i parabolidi plastici trattati con diversi film sovrapposti di materiale dicroico (pellicole vetrose di 0,1 micron) ed aventi differenti indici di rifrazione. Queste strutture sono in grado di riflettere le radiazioni visibili mentre invece assorbono il 70% delle radiazioni infrarosse (fig. 2.10).

La geometria dei parabolidi riflettenti e il punto di collocazione della sorgente al loro interno, sono parametri importanti che determinano il grado di concentrazione del flusso luminoso e la forma delle curve fotometriche. Per quanto riguarda le radiazioni ultraviolette, venendo quasi completamente riflesse dai metalli mostrano un comportamento molto simile a quello della radiazione visibile. Ne possono derivare situazioni di rischio, soprattutto nei casi in cui lo spettro delle sorgenti sia ricco di UV, e i flussi vengano concentrati sugli utilizzatori: in queste situazioni i vetri di protezione con adeguate caratteristiche di filtraggio dell'UV, divengono essenziali per garantire la protezione delle persone esposte. In commercio tali vetri possono essere assai diversificati ma non tutti adeguati allo scopo. Quelli usualmente utilizzati, in pirex o vetro sabbiato, trasmettono ampie porzioni dell'UV-A e possono pertanto comportare il superamento dei livelli massimi di esposizione consigliati (cfr. IV.4). Una protezione efficace può essere invece ottenuta tramite specifici vetri anti-UV che bloccano più nettamente le

values for all the characteristics mentioned above. New materials which are increasingly widely used include metallised plastics; they have led to the development of plastic reflectors treated with superimposed layers of film made of dichroic material (vitreous films 0.1 microns), which have different refraction indexes. These structures can reflect visible radiation, while absorbing 70% of infrared radiation (fig. 2.10).

The geometry of the parabolic reflectors and the location of the source inside them are important parameters which determine the degree of concentration of the luminous flux and the form of the polar curves.

As ultraviolet radiation is almost wholly reflected by metals, it behaves in a very similar way to visible radiation. Risk situations may result, especially in cases in which the spectrum of the sources is rich in UV radiation and the fluxes are concentrated on users; in such situations, protective glass with suitable UV filtration characteristics is essential to guarantee the safety of the persons exposed. A wide variety of protective glass is available on the market, but not all types are suitable. The types generally used, made of pyrex or sanded glass, transmit large portions of UV-A and may therefore exceed the maximum recommended exposure levels (see § IV.4).

Better protection is offered by specific types of anti-UV glass which block ultraviolet radiation more effectively. The problem of using suitable filters for given sources has been considered by the International Electrotechnical Commission (IEC), which has established the criteria that must be used to evaluate the transmission level of a screen (see § IV.3).

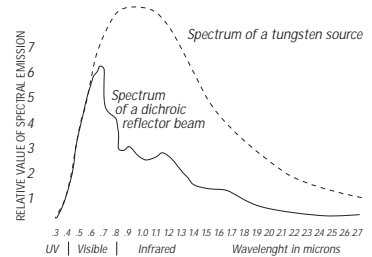


Figure 2.10
Comparison between
spectra of a tungsten source
with and without dichroic
reflector.

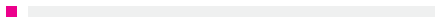
radiazioni ultraviolette. Il problema dell'utilizzo di filtri idonei per determinate sorgenti è stato recepito dal Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) che ha stabilito con quali criteri debba essere valutato il grado di trasmissione di uno schermo (cfr. IV.3).

II.3

Bibliografia essenziale

Sliney DH and Wolbarsht ML, "Projection Systems in Safety with Lasers and Other Optical Sources. A Comprehensive Handbook". New York and London: Plenum Press, 1980.

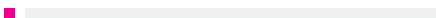
Forcolini G., "Illuminazione d'interni". Milano: Hoepli, 1990.



Brief bibliography II.3

Sliney DH and Wolbarsht ML, "Projection Systems in Safety with Lasers and other Optical Sources. A Comprehensive Handbook". New York and London: Plenum Press, 1980.

Forcolini G, "Illuminazione d'interni". Milan: Hoepli, 1990.



III. Effetti dell'UV sull'uomo e sull'ambiente

III.1 Effetti biologici delle radiazioni

Per la vita sulla terra la quotidiana esposizione alla radiazione solare ha una fondamentale importanza. L'ultravioletto rappresenta solo il 5% della luce solare che raggiunge la superficie terrestre ma gioca un significativo ruolo biologico perché l'energia trasportata dai singoli quanti della radiazione UV è elevata. La loro energia è sufficiente all'innescare di effetti biologici che possono rivelarsi dannosi in particolar modo a carico dell'occhio e della pelle. La radiazione ottica può interagire in differenti modi con i tessuti biologici ma unicamente l'assorbimento di energia risulta condurre a quei cambiamenti di tipo chimico o fisico necessari per produrre "effetti biologici". L'assorbimento di energia da parte dei tessuti si traduce in modificazioni del moto molecolare, rotazionale e vibrazionale, in eccitazioni elettroniche e in combinazioni di queste ultime. A questo proposito bisogna sottolineare che le soglie per gli effetti biologici osservati variano significativamente con la lunghezza d'onda. Di conseguenza sono stati elaborati vari "spettri d'azione" per stabilire le relazioni dose-risposta. In fotobiologia il termine "spettro d'azione" si riferisce all'efficacia spettrale relativa delle differenti lunghezze d'onda nel provocare un effetto biologico. I meccanismi eziopatogenetici sono principalmente due, termico e fotochimico.

Lesione termica Tutti i meccanismi che producono una lesione termica richiedono che una sufficiente quantità di energia radiante (dose) sia assorbita dal tessuto tanto velocemente da creare un sensibile innalzamento della temperatura del tessuto stesso, (generalmente 10-25° al di sopra della temperatura normale, per periodi dell'ordine del minuto). Le lesioni termiche sono direttamente proporzionali

Effects of UV radiation **III.** on man and the environment

Biological **III.1** effects of radiation

Daily exposure to the sun's radiation is of fundamental importance to life on earth. Ultraviolet rays constitute only 5% of the sunlight that reaches the earth's surface, but play a significant biological role because a large amount of energy is transported by the individual UV-quanta. Their energy is sufficient to trigger biological effects that can be harmful, especially to the eyes and the skin. Optical radiation can interact with biological tissues in different ways, but it is only energy absorption that leads to the chemical or physical changes required to produce "biological effects". Energy absorption by the tissues leads to modifications of rotatory and vibratory molecular motion, electron excitations, and combinations of the latter. The thresholds for the biological effects observed vary significantly according to wavelength. As a result, various "action spectra" have been devised to establish dose-response relationships. In photobiology the term "action spectrum" refers to the relative spectral efficacy of the different wavelengths in causing a biological effect. The two main aetiopathogenetic mechanisms are thermal and photochemical.

All the mechanisms that produce heat lesions require a **Heat lesions** sufficient quantity of radiant energy (dose) to be absorbed by the tissue so quickly that a significant increase in tissue temperature is created (usually 10-25° above the normal temperature for periods of around a minute).

Heat lesions are directly proportional to the total quantity of energy deposited and the rate at which the phenomenon takes place (dose intensity). In addition, the extent of the lesion is directly proportional to the ability of the tissue to dissipate heat; the moisturisation and

alla quantità totale di energia depositata e alla velocità con cui tale fenomeno è avvenuto (intensità di dose). L'entità dell'eventuale lesione è inoltre direttamente proporzionale alle capacità del tessuto di dissipare calore, risultano quindi di fondamentale importanza l'idratazione e l'irrorazione dei tessuti. Esposizioni molto brevi possono causare cambiamenti di stato così rapidi da portare a lesioni di tipo termomeccanico o a micro esplosioni.

Lesione fotochimica Il meccanismo fotochimico è strettamente legato alla banda spettrale da cui proviene la radiazione. Una reazione fotochimica ha luogo infatti quando il singolo fotone ha energia sufficiente da mutare la singola molecola colpita in una o più molecole chimicamente differenti. Caratteristica del danno fotochimico è la reciprocità tra l'irradianza, intesa come quantità di energia ceduta all'ambiente, e il tempo di esposizione. Dal momento che l'interazione avviene tra singolo fotone e singola molecola una differenza nell'intensità di dose condurrà alla stessa lesione in tempi diversi: la generazione dei prodotti di una reazione fotochimica è infatti proporzionale al flusso di fotoni che hanno una energia adeguata all'innescare di tale reazione. Tuttavia è stato anche riscontrato che alcune molecole reagiscono con meccanismi di riparazione della lesione; in questi casi un'alta densità di flusso di fotoni può sopraffare questi meccanismi e produrre comunque una lesione.

La lesione fotochimica risulta essere caratteristica di esposizioni a lunghezze d'onda corte (più energetiche) come ultravioletti e luce blu. In particolare le lesioni indotte da radiazioni ultraviolette sono legate alla modificazione dello stato di energia atomica delle molecole, con

vascularisation of the tissue are therefore of fundamental importance.

Very brief periods of exposure can cause such rapid changes of state as to produce thermomechanical lesions or micro-explosions.

The photochemical mechanism is closely associated with the spectral band from which the radiation originates. A photochemical reaction takes place when the individual photon has enough energy to transform the individual molecule with which it collides into one or more chemically different molecules. A characteristic feature of photochemical damage is reciprocity between irradiance (the quantity of energy released into the environment) and exposure time. Since the interaction takes place between individual photon and individual molecule, a difference in dose intensity will produce the same lesion in different times; in fact, generation of products of a photochemical reaction is proportional to the flow of photons which have sufficient energy to trigger the reaction. Some molecules have been found to react by triggering lesion repair mechanisms; in these cases a high-density photon flow can override these mechanisms and still produce a lesion.

Photochemical lesions

Photochemical lesions are characteristic of exposure to short wavelengths (which are more energetic) like ultraviolet radiation and blue light. In particular, the lesions caused by ultraviolet radiation are associated with modifications in the state of atomic energy of the molecules, with photochemical lesions that represent the result of molecular excitation which makes the exposed structures particularly reactive; the lesions are confined

lesioni fotochimiche che rappresentano il risultato dell'eccitazione molecolare che rende le strutture colpite particolarmente reattive; esse rimangono confinate alla zona irradiata senza diffondersi alle zone vicine come le lesioni termiche proprie ad esempio delle radiazioni infrarosse. A livello cellulare le radiazioni UV provocano denaturazione e coagulazione delle proteine cellulari, frammentazione del nucleo e perdita delle adesioni degli epitelii.

Le radiazioni UV con lunghezze d'onda minore di 180 nm sono di scarso significato biologico pratico in quanto assorbite dall'aria.

III.2 L'occhio Anatomia oculare

L'apparato visivo è costituito da due organi, simmetrici, situati nelle orbite ai due lati della faccia, dai nervi ottici da questi emergenti e dalle aree encefaliche di integrazione deputate alla recezione e rielaborazione degli stimoli visivi.

Il bulbo oculare - L'occhio propriamente detto è il bulbo oculare, una struttura approssimativamente sferica, il cui diametro antero-posteriore misura circa 24 mm. La cavità del bulbo è divisa in tre spazi distinti. Davanti, limitata anteriormente dalla cornea e posteriormente dalla superficie anteriore dell'iride, si ha la camera anteriore contenente l'umor acqueo, un fluido trasparente e incolore. La camera anteriore attraverso il foro pupillare comunica con la camera posteriore, anche la camera posteriore contiene umor acqueo. Il grande spazio situato dietro al cristallino e limitato dalla retina, è denominato camera vitrea, ed è occupata appunto dall'umor vitreo: un tessuto

to the irradiated zone, and do not spread to neighbouring zones like the thermal lesions typical of infrared radiation, for example. In the cells, UV radiation causes denaturing and coagulation of cell proteins, fragmentation of the nucleus and loss of epithelial adherence.

UV radiation with a wavelength of under 180 nm is of little biological significance in practice, because it is absorbed by the air.

The eye III.2

Ocular anatomy

The visual apparatus consists of two symmetrical organs located in the orbits on either side of the face, the optic nerves emerging from them, and the areas of the brain responsible for receiving and processing visual stimuli.

The eyeball - The body of the eye is the eyeball, a roughly spherical structure whose antero-posterior diameter measures approx. 24 mm. The bulb cavity is divided into three separate spaces. The anterior part, bounded at the front by the cornea and at the rear by the anterior surface of the iris, is constituted by the anterior chamber containing aqueous humour; a transparent colourless fluid. The anterior chamber communicates with the posterior chamber through the pupil hole; the posterior chamber also contains aqueous humour. The large area behind the lens, bounded by the retina, is called the vitreous chamber; it contains a transparent, gelatinous tissue called vitreous humour.

In the human eye, light has to pass through various ocular structures before striking the retina. Here it triggers photochemical processes which stimulate the

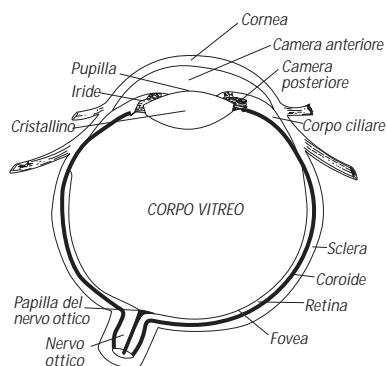


Figura 3.1
Sezione del bulbo oculare.

trasparente e gelatinoso.

Nell'occhio umano la luce deve quindi attraversare differenti strutture oculari per arrivare a colpire la retina. Qui innescano processi fotochimici i quali evocano gli impulsi neurali che conducono alla visione. Dapprima la luce passa attraverso la porzione anteriore dell'occhio, cornea, umor acqueo, camera anteriore, pupilla, cristallino, e poi attraversa le strutture della parte posteriore, umor vitreo e i diversi strati componenti la retina.

Di queste strutture solo tre sono criticamente coinvolte dall'interazione con radiazioni ottiche: la cornea, il cristallino e la retina (fig. 3.1).

La *cornea* ha funzioni protettive nei confronti delle strutture più profonde e funzioni diottriche. Essa risulta completamente priva di vasi ma molto ricca di terminazioni nervose sensibili al fine di indurre meccanismi di protezione riflessivi contro agenti meccanici o termici.

Il *cristallino* o lente cristallina è una struttura di origine epiteliale, trasparente, priva di vasi e nervi, a forma di lente biconvessa, situata dietro all'iride e davanti al corpo vitreo. Esso è racchiuso nella sua capsula (cristalloide), membrana anisotropa e semipermeabile che lo circonda interamente e assicura gli scambi metabolici. La funzione del cristallino è unicamente refrattiva (refrazione statica e accomodazione) ed è attuata per mezzo di filamenti che contraendosi sollecitano il cristallino e ne aumentano la convessità. Data la sua struttura avascolare e priva di nervi la sua unica patologia è costituita da lussazioni e da opacizzazioni (cataratta).

La *retina*, che è la membrana più interna del bulbo oculare, è di natura nervosa. Schematicamente la retina è formata da due foglietti giustapposti ma non saldamente

neural impulses that produce vision. The light first passes through the anterior portion of the eye (cornea, aqueous humour, anterior chamber, pupil and lens), and then through the structures of the posterior part (vitreous humour and the various layers composing the retina). Only three of these structures (the cornea, lens and retina) are critically involved in the interaction with optical radiation (fig. 3.1).

The cornea possesses protective functions towards the deeper structures and dioptric functions. It is completely devoid of blood vessels, but rich in sensitive nerve endings in order to induce reflex protection mechanisms against mechanical and thermal agents.

The lens (or crystalline lens) is a transparent, avascular, aneuronal structure of epithelial origin in the form of a biconvex lens, situated behind the iris and in front of the vitreous body. It is enclosed in a capsule (crystalloid), an anhistic, semi-permeable membrane which entirely surrounds it and guarantees metabolic turnover. The function of the lens is solely refractive (static refraction and accommodation); it is performed by means of filaments which contract, thus pulling on the lens and increasing its convexity.

In view of its avascular, aneuronal structure, the only disorder from which it suffers is displacement and opacification (cataract).

The retina is the innermost membrane of the eyeball, and has a neuronal nature. Briefly, the retina is formed by two juxtaposed laminas which are not firmly bonded together. The outermost lamina is the pigmented epithelium, which consists of a single layer of melanin-rich cells. The other layer (the neural lamina) can be

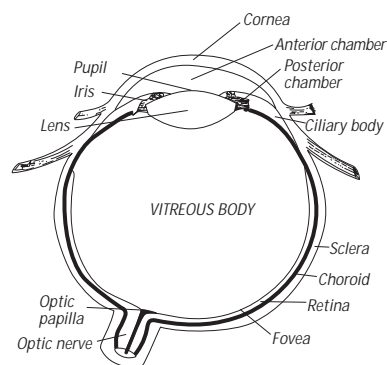


Figure 3.1
Cross-section of eyeball.

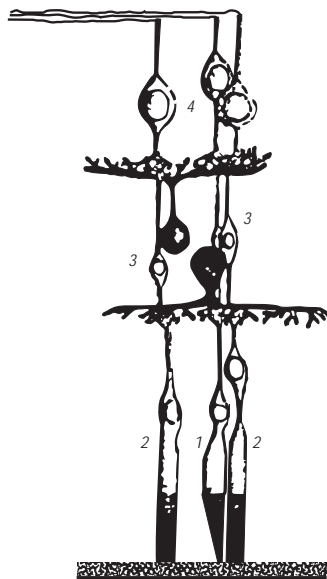


Figura 3.2
Schema del tessuto retinico:
1) coni; 2) bastoncelli;
3) cellule bipolari;
4) cellule gangliari.

uniti tra loro. Il più esterno è l'epitelio pigmentato costituito da un unico strato di cellule ricche di melanina. L'altro strato nominato foglietto neurale può essere descritto sinteticamente suddividendolo in tre strati di cellule: fotorecettori, cellule bipolari, cellule gangliari. Situati più esternamente vi sono fotorecettori di due tipi, coni e bastoncelli. I bastoncelli sono più numerosi dei coni e sono responsabili della visione in condizioni di scarsa illuminazione (fig. 3.2). I coni, che non rispondono alle basse intensità luminose, sono responsabili della capacità di distinguere i dettagli fini e della visione a colori. La distribuzione di coni e bastoncelli nelle differenti zone retiniche non è omogenea. Al centro della retina, dove avviene la focalizzazione dell'immagine e dove si ha la miglior capacità risolutiva, vi è un'area chiamata fovea dove non vi sono bastoncelli ma solo coni; quest'area approssimativamente circolare ha un diametro di circa 0,5 mm. I coni sono presenti su tutta la retina ma sono maggiormente addensati a livello della fovea.

La congiuntiva - L'apparato visivo consta anche di alcuni organi di protezione esterni al bulbo oculare quali le sopracciglia, le ciglia, le palpebre e la congiuntiva. Di questi la congiuntiva è la mucosa che connette il bulbo oculare alle palpebre e viene più di frequente coinvolta nelle patologie a carico dell'apparato visivo, in particolar modo a causa di esposizioni a radiazioni ottiche (UV, visibile e infrarosso). Questo organo risulta molto ricco di vasi, ma povero di terminazioni nervose dolorifiche, ragion per cui risponde agli stimoli irritativi con notevole iperemia e facile formazione di edema, mentre la risposta dolorifica è molto scarsa e si limita prevalentemente a sensazione di bruciore.

briefly described by dividing it into three layers of cells: photoreceptors, bipolar cells and ganglionic cells. Two types of photoreceptor (cones and rods) are situated further towards the outside. Rods are more numerous than cones, and are responsible for vision in poor light conditions (fig. 3.2). Cones, which do not respond to low luminous intensities, are responsible for the ability to distinguish fine details and for colour vision. Cones and rods are unevenly distributed in the various areas of the retina. In the centre of the retina, where the image is focused and the best resolution capacity is located, there is an area called the “fovea” in which there are no rods, only cones; this roughly circular area has a diameter of approx. 0.5 mm. Cones are present all over the retina, but are most densely packed in the fovea.

The conjunctiva - The visual apparatus also comprises a number of protective organs outside the eye bulb such as the eyebrows, eyelashes, eyelids and conjunctiva. The conjunctiva (the mucous membrane that connects the eyeball to the eyelids) is the organ most frequently involved in disorders of the visual apparatus, especially those caused by exposure to optical radiation (UV, visible and infrared). This organ is richly vascularised but contains few pain-sensitive nerve endings, which is why it responds to irritative stimuli with marked hyperaemia and oedema formation, while pain response is very low, mainly limited to a stinging sensation.

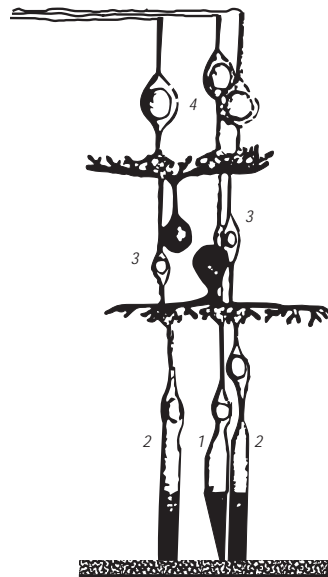


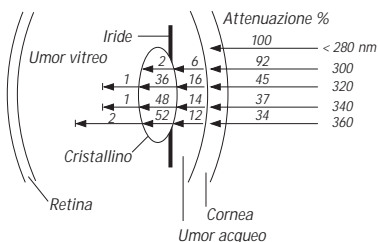
Figure 3.2

Diagram of retina tissue:

1) cones; 2) rods;

3) bipolar cells; 4) ganglionic cells.

Effetti biologici dell'UV sull'occhio



Al fine di comprendere meglio le interazioni di carattere biologico, viene qui innanzitutto illustrata per cenni l'interazione della radiazione con le differenti strutture oculari. Si ricorda in particolare che il comportamento della radiazione dipende strettamente dalla lunghezza d'onda. Nello schema seguente (fig. 3.3) sono riportati i differenti coefficienti di assorbimento percentuale da parte delle diverse strutture dell'occhio per la radiazione ultravioletta.

Possiamo osservare che la radiazione ultravioletta ad alta energia (minore di 300 nm) viene totalmente assorbita dalla cornea mentre per quanto riguarda le lunghezze d'onda comprese fra 300 e 360 nm possiamo dire che vengono equamente assorbite dalla cornea e dal cristallino; oltre quest'ultimo la percentuale di radiazione non precedentemente assorbita (inferiore al 2 %) viene completamente arrestata dall'umor vitreo e non giunge alla retina. La capacità di trasmissione della luce da parte delle strutture oculari risulta essere piuttosto buona (coefficiente di trasmissione appena al di sotto del 100%). La percentuale di assorbimento da parte della retina risulta essere massima nell'intervallo 450 - 550 nm. Un'altra osservazione, relativa all'interazione con la struttura oculare della radiazione UV e visibile, riguarda l'angolo con cui questa colpisce la superficie oculare. I raggi obliqui infatti vengono variamente riflessi dalla superficie oculare, da questo ne consegue che solo una contenuta percentuale di queste radiazioni verrà trasmessa o assorbita dalla struttura oculare.

Fotocheratocongintivite - La radiazione ultravioletta attinica è fortemente assorbita dalla cornea e dalla congiuntiva. Una eccessiva esposizione di questi tessuti può

Figura 3.3
Schema dell'assorbimento
percentuale dell'UV.

To aid understanding of biological reactions, the interaction of radiation with the various eye structures is briefly described below. As already mentioned, the behaviour of radiation is closely associated with its wavelength. The diagram in fig. 3.3 shows the different coefficients of absorption of ultraviolet radiation by various eye structures.

As will be seen, high-energy ultraviolet radiation (under 300 nm) is totally absorbed by the cornea, whereas wavelengths between 300 and 360 nm are absorbed to an equal extent by the cornea and the lens; after passing through the lens, the percentage of radiation not previously absorbed (under 2%) is totally arrested by the vitreous humour, and does not reach the retina.

The light transmission capacity by the eye structures is quite good (transmissivity just under 100%). The percentage absorption by the retina is greatest in the 450-550 nm interval.

Another observation regarding the interaction of UV and visible radiation with the eye structure relates to the angle at which it strikes the eye surface. Oblique rays are variously reflected by the eye surface; as a result, only a small percentage of this radiation is transmitted or absorbed by the eye structure.

Photokeratoconjunctivitis - Actinic ultraviolet radiation is strongly absorbed by the cornea and the conjunctiva. Excessive exposure of these tissues can cause keratoconjunctivitis (inflammation of the corneal epithelium and conjunctiva), which may be followed by complications. The latency period is inversely proportional to the intensity of the exposure, and ranges between 30 minutes and 24 hours, although the effect

Biological effects of UV radiation on the eye

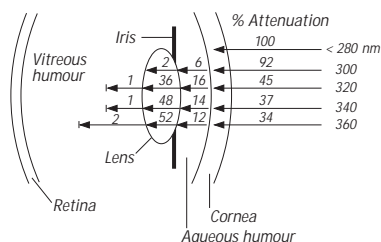


Figure 3.3
Percentage absorption of
UV radiation.

causare cheratocongiuntiviti (infiammazione dell'epitelio corneale e della congiuntiva) seguite o meno da complicanze. Il periodo di latenza varia inversamente rispetto all'intensità dell'esposizione e va da 30 minuti a 24 ore, anche se solitamente l'effetto si presenta entro le 6-12 ore. Il fatto che di norma la sintomatologia si presenti con alcune ore di ritardo dall'esposizione può indurre il soggetto a non collegare quest'ultima con i suoi disturbi. L'individuo ha la sensazione di avere un corpo estraneo, o sabbia, negli occhi e può presentare fotofobia, lacrimazione e spasmi delle palpebre. I sintomi acuti durano da 6 a 24 ore ed il fastidio di solito scompare entro 48 ore.

Sebbene raramente l'esposizione porti ad un danno oculare permanente, l'individuo può subire una marcata riduzione della sua capacità visiva durante questo periodo di 48 ore. I dati di soglia per la fotocheratite nell'uomo sono stati stabiliti per bande di 10 nm tra 220 e 310 nm. I limiti di esposizione attualmente adottati risultano da 1 a 4 volte minori della soglia definita per il minimo effetto rilevabile. La massima sensibilità dell'occhio umano è presente a 270 nm ove la soglia di esposizione limite, riferita ad un periodo di 8 ore, è $3,0 \text{ mJ/cm}^2$. Livelli dell'ordine di 10 J/cm^2 (UV-A) sono normalmente in grado di causare danni corneali.

Cataratta - Il termine cataratta indica una diminuzione di trasparenza del cristallino per lo più di natura degenerativa. Il grado di opacamento può essere diverso da caso a caso; le opacità possono essere totali o parziali e assumere diversa morfologia e localizzazione determinando così conseguenze funzionali differenti ma comunque sempre una notevole riduzione del visus. Le lunghezze d'onda superiori a 295 nm si trasmettono attraverso la cornea e vengono

usually appears within 6-12 hrs. The fact that the symptoms usually appear some hours after exposure may mean that the person concerned does not associate the disorder with the exposure. The sufferer has the sensation of having a foreign body or grit in the eyes, and may present photophobia, lacrimation and eyelid spasm. The acute symptoms last from 6 to 24 hours, and the irritation usually disappears within 48 hrs.

Although exposure rarely causes permanent eye damage, the person may suffer marked reduction of visual capacity during this 48-hour period. The threshold data for photokeratitis in man have been established for 10 nm bands between 220 and 310 nm. The exposure limits currently adopted are 1 to 4 times lower than the threshold defined for the minimum detectable effect. The maximum sensitivity of the human eye is present at 270 nm, where the limit exposure threshold for an 8-hour period is 3.0 mJ/cm^2 . Levels of around 10 J/cm^2 (UV-A) are usually capable of causing cornea damage.

Cataract - The term "cataract" indicates a reduction in lens transparency, usually of a degenerative nature. The degree of opacity differs from case to case. It may be total or partial, and present different morphologies and locations; the functional consequences therefore differ, but there is always a considerable reduction in visual acuity. Wavelengths exceeding 295 nm are transmitted through the cornea and absorbed by the lens.

It has been demonstrated that a transient or permanent state of lens opacity can be induced in rabbits and monkeys by exposure to wavelengths in the 295-320 nm band. The threshold for inducing transient opacity varies widely with wavelength.

assorbite dal cristallino.

È stato dimostrato che è possibile produrre in conigli e in scimmie uno stato di opacità del cristallino, sia transitorio che permanente, mediante l'esposizione a lunghezze d'onda della banda 295-320 nm. Le soglie per indurre opacità transitorie variano moltissimo con la lunghezza d'onda. Nell'uomo l'esposizione a radiazione ultravioletta naturale (ambiente esterno) per lunghi periodi, può dare origine ad una riduzione della capacità di trasmissione del cristallino per le lunghezze d'onda corte del visibile oltre che alla comparsa di cataratta in età senile.

Effetti sulla retina - La cornea ed il cristallino di solito schermano sufficientemente la retina dagli effetti acuti dell'esposizione alla radiazione ultravioletta. Normalmente, meno dell'1% dell'UV-A raggiunge la retina, mentre le lunghezze d'onda più corte sono totalmente assorbite dagli strati più esterni. Alcuni esperimenti effettuati su primati, dopo la rimozione del cristallino, hanno evidenziato l'insorgenza di un danno retinico acuto per valori di esposizione retinica dell'ordine di 5 J/cm^2 .

In man, exposure to natural ultraviolet radiation (outdoor environment) for long periods can produce a reduction in lens transmission capacity for the short wavelengths of visible radiation, as well as the appearance of cataract in the elderly.

Effects on the retina - The cornea and lens usually screen the retina sufficiently against the acute effects of exposure to ultraviolet radiation. Normally, less than 1% of UV-A reaches the retina, while the shorter wavelengths are totally absorbed by the outermost layers.

Experiments conducted on primates after lens removal have demonstrated the onset of acute retina damage at retina exposure values of around 5 J/cm².

III.3 La pelle

Cenni di anatomia

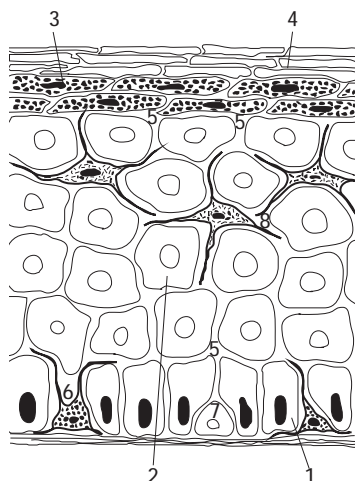


Figura 3.4
Struttura anatomica
della pelle

1. strato basale
 2. strato spinoso
 3. strato granuloso
 4. strato corneo
 5. cheratinociti
 6. melanociti
 7. cellula di Merkel
 8. cellula di Langerhans
- (tratto da E. Alessi-R. Caputo, Compendio di Dermatologia, Cortina Editore).

L'epidermide è costituita da quattro strati cellulari: i cheratinociti, i melanociti, le cellule di Langerhans, le cellule di Merkel. I cheratinociti costituiscono il tipo di cellule grandemente preponderante. Essi sono suddivisi in 5 strati, di seguito elencati a partire dallo strato più profondo. Lo strato basale, costituito da cellule cilindriche in attività mitotica. Lo strato spinoso, costituito da cellule poligonali connesse le une con le altre da ponti intercellulari definiti desmosomi. Lo strato granuloso, costituito da cellule contenenti granulazioni particolari contenenti cheratoialina, sostanza necessaria per il processo di cheratinizzazione. Lo strato lucido, presente esclusivamente a livello palmo-plantare con cellule ripiene di sostanza amorfa e fibre cheratiniche, tra loro embricate ma non collegate da ponti intercellulari e pertanto in condizioni di sfaldarsi negli strati più superficiali costituendo il fenomeno della desquamazione.

La cute ha diverse funzioni collegate al differente grado di complessità dell'individuo, le principali sono le seguenti:

Funzione meccanica - La cute resiste alle sollecitazioni esterne soprattutto grazie allo strato superficiale corneificato; in alcuni casi, come reazione allo sfregamento si ha un ispessimento locale della corneificazione con la formazione di calli.

Funzioni secretiva ed escretiva - Le ghiandole sudoripare si trovano su tutta la superficie cutanea in massima concentrazione nelle palme delle mani, nelle piante dei piedi, nelle ascelle, nelle regioni inguinali. Sono costituite da tubicini aggrovigliati, con un canalino escretore a decorso ondulato. Queste ghiandole per azione del calore o di stimoli nervosi particolari, quali stati apprensivi e

The skin Skin anatomy

III.3

The epidermis consists of four cell types: keratinocytes, melanocytes, Langerhans cells and Merkel cells. The keratinocytes are by far the most numerous type of cell. They are divided into 5 layers, listed below, starting with the deepest layer: The basal layer consists of cylindrical cells in mitotic activity. The prickly-cell layer consists of polygonal cells connected to one another by intercellular bridges called desmosomes. The granular layer consists of cells containing special granulations which in turn contain keratohyalin, a substance required for the keratinisation process. The clear layer, only found in the palm/sole area, consists of cells full of an amorphous substance and keratin fibres, imbricated to one another but not connected by intercellular bridges, and therefore able to be shed in the outermost layers, giving rise to the phenomenon of exfoliation.

The skin has various functions associated with the different degrees of complexity of the individual, the main ones being:

Mechanical function - The skin is mainly enabled to withstand external stresses by the outer stratum corneum; in some cases, local thickening of this horny layer takes place as a reaction to rubbing, with the formation of calluses.

Secretory and excretory function - Sweat glands are located all over the skin surface, but are mainly concentrated on the palms of the hands, the soles of the feet, the underarms and the groin area. They consist of a tangle of tubes with an undulating excretory channel. As a result of the action of heat or particular nervous stimuli, such as states of apprehension and fear, these glands produce sweat, a liquid consisting of 99% water,

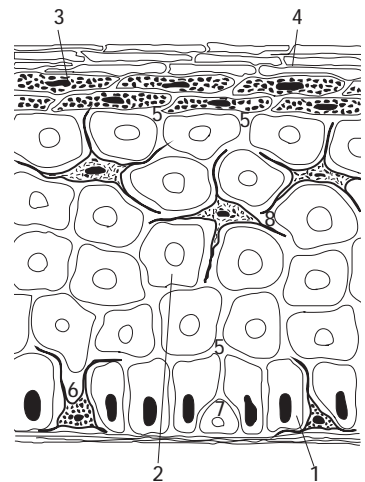


Figure 3.4
Anatomical structure of the skin

1. Basal layer
2. Prickle-cell layer
3. Granular layer
4. Corneal layer
5. Keratinocytes
6. Melanocyte
7. Merkel cell
8. Langerhans cell

(from E. Alessi-R. Caputo,
Compendio di Dermatologia,
Cortina Editore).

paure, producono il sudore che è un liquido costituito per il 99% di acqua, da sali minerali (specie cloruri di sodio e di potassio), da acidi grassi, glicidi, enzimi, sostanze di rifiuto del metabolismo cellulare quali urea, acido urico, acido lattico. Tali ghiandole collaborano dunque con i reni alla depurazione dell'organismo. La secrezione del sudore avviene con due modalità: la *perspiratio insensibilis*, che è continua ed impercettibile, e la *perspiratio sensibilis*, che consiste in una produzione cospicua conseguente a particolari stimolazioni come emozioni, calore, umidità, azione di cibi e bevande ingerite. Le ghiandole sebacee, a forma di grappoli, possono aprirsi nei follicoli piliferi o aprirsi direttamente sulla superficie cutanea, senza rapporto con i peli e secernono il sebo, una sostanza grassa mista a cellule epiteliali desquamate. Queste ghiandole sono abbondanti in alcuni punti della faccia e dei genitali esterni; mancano nelle palme delle mani e nelle piante dei piedi. Il sebo rende la cute impermeabile all'acqua e ne impedisce la secchezza ed insieme al sudore conferisce acidità alla pelle.

Funzione termoregolatrice - Quando l'ambiente esterno è più freddo il calore corporeo tende ad essere ceduto, ciò viene evitato mediante una vasocostrizione e quindi con un minor apporto di sangue alla pelle. Viene inoltre prodotto poco sudore al fine di evitare che esso evaporando sottragga calore alla superficie dell'epidermide. In caso di temperatura esterna elevata invece, essendo necessario eliminare il calore in eccesso, la cute reagisce con una abbondante produzione di sudore e vasodilatazione.

Funzione sensoriale - Gli stimoli provenienti dall'ambiente esterno vengono raccolti dai recettori situati sotto la cute e inviati al cervello mediante la rete neuronale del

mineral salts (especially sodium and potassium chloride), fatty acids, carbohydrates, enzymes, and waste substances produced by cell metabolism such as urea, uric acid and lactic acid. The sweat glands thus collaborate with the kidneys in the clearance of toxic substances from the body. Sweat is secreted in two ways: *perspiratio insensibilis*, which is continuous and imperceptible, and *perspiratio sensibilis*, which involves abundant production of sweat as a result of particular stimuli such as emotions, heat, humidity, and the action of foods and drinks ingested. The sebaceous glands, which form clusters, open into the hair follicles or directly onto the skin surface with no connection with the hairs; they secrete sebum, a fatty substance mixed with shed epithelial cells. Sebaceous glands abound in some parts of the face and the external genitals, but are lacking on the palms of the hands and the soles of the feet. Sebum makes the skin waterproof and prevents dryness, and together with sweat, confers acidity on the skin.

Heat-regulating function - When the external environment is cold, body heat tends to be yielded; this is prevented by vasoconstriction, which involves a lower flow of blood to the skin. Only a small amount of sweat is produced, to prevent it from evaporating and drawing off heat from the surface of the epidermis. If the external temperature is high, the excess heat needs to be eliminated, and the skin reacts with abundant sweat production and vasodilatation.

Sensory function - Stimuli from the external environment are detected by receptors located under the skin, and transmitted to the brain via the neurone network of the nervous system.

sistema nervoso.

Funzione germicida - Il pH della pelle lievemente acido (5,5-6,5) costituisce una barriera contro i germi patogeni. Tale acidità è dovuta all'acido lattico al sudore e al sebo.

Funzione di pigmentazione - Nello strato profondo dell'epidermide si trovano i melanociti, produttori della melanina; essi sono sensibili alla luce in presenza della quale si moltiplicano e si differenziano determinando un invecchiamento della pelle. Il meccanismo con il quale ciò avviene prevede che le radiazioni ultraviolette, colpendo la pelle, determinino l'unione di amminoacidi solforati tramite ponti di disolfuro: contemporaneamente vengono liberati elettroni e H^+ che riducono il rame il quale a sua volta attiva l'enzima tirosinasi, catalizzatore della trasformazione della tirosina in melanina. La melanina protegge dai raggi ultravioletti solari in quanto li assorbe.

Effetti biologici dell'UV sulla pelle

La cute subisce un invecchiamento che è più rapido per esposizione ai raggi solari, al caldo e al freddo. Le modificazioni provocate dall'invecchiamento sono rappresentate dall'insorgenza di rughe, alterazione della pigmentazione, rinsecchimento e indurimento, sintomi a cui corrisponde una variazione della struttura microscopica. Le alterazioni maggiori sono a carico del derma, dove si frammentano le fibre elastiche. I vasi sanguigni modificano il loro percorso e si restringono; si generano zone nelle quali la ridotta irradiazione provoca un deficit della depurazione e un conseguente accumulo dei prodotti di rifiuto.

L'eritema - L'eritema, che è un arrossamento temporaneo della cute dovuto ad un aumento della irradiazione

Germicidal function - The slightly acid pH of the skin (5.5-6.5) constitutes a barrier against pathogenic germs. This acidity is caused by lactic acid, sweat and sebum.

Pigmentation function - The deep layer of the epidermis contains melanocytes, which produce melanin; they are sensitive to light, in the presence of which they multiply and differentiate, causing the skin to darken. The mechanisms involved are as follows: when ultraviolet radiation strikes the skin, sulphated aminoacids are bonded by disulphide bridges; at the same time electrons and H^+ are released and these reduce copper, which in turn activates the enzyme tyrosinase, the catalyst of the transformation of tyrosine into melanin. Melanin protects against ultraviolet solar rays by absorbing them.

The skin ages more rapidly when exposed to sunlight, cold and heat. The modifications caused by aging are represented by the appearance of wrinkles, altered pigmentation, drying and hardening; these symptoms correspond to a variation in microscopic structure. The major alterations affect the dermis, where the elastic fibres are fragmented. The blood vessels change their route and narrow, and zones are generated in which the lower blood supply causes a purification deficit and consequent accumulation of waste products.

Biological effects of UV radiation on the skin

Erythema - Erythema, which is a temporary reddening of the skin caused by an increase in blood supply, appears after exposure to UV radiation. This is a threshold effect, which depends to a great extent on the part of the anatomy affected, the wavelength of the incident radiation and the exposure time. Erythema is a

sanguigna, si riscontra tra l'altro in seguito a esposizione a UV. Questo è un effetto a soglia e dipende in modo sensibile dalla parte anatomica colpita, dalla lunghezza d'onda della radiazione incidente e dal tempo di esposizione. L'eritema è una risposta di tipo fotochimico della pelle in seguito ad eccessiva esposizione a radiazioni della banda UV-C e UV-B, che ricordiamo essere componenti normali dello spettro solare. Di norma la sola esposizione a UV-A non ha come conseguenza l'eritema a meno di valori di esposizione molto elevati ($>10 \text{ J/cm}^2$). Una esposizione all'UV-A prima di quella all'UV-B può rendere la cute più sensibile. Tale sinergia di due bande spettrali è nota come fotoaccrescimento ma si può anche osservare l'effetto opposto, dove una prima esposizione desensibilizza la pelle. Le lunghezze d'onda minori dell'UV-B provocano un eritema di maggiore intensità e persistenza, probabilmente causate da una maggiore capacità di penetrazione nell'epidermide, e comunemente si ritiene che l'assorbimento di radiazioni ultraviolette liberi un certo numero di mediatori che trasferiscono l'infiammazione agli strati più profondi della pelle.

Per pelli non abbronzate e poco pigmentate le dosi eritemali minime vanno da 6 a 30 mJ/cm^2 ; la pigmentazione della pelle e il suo condizionamento (aumento dello strato corneo e abbronzatura) portano però ad un aumento delle dosi eritemali minime di almeno un ordine di grandezza.

Effetti ritardati - L'esposizione cronica alla radiazione ultravioletta (luce solare), specialmente alla componente B, accelera i processi di invecchiamento e aumenta il rischio di cancro alla pelle. Relativamente all'origine naturale delle radiazioni UV possiamo dire che lo spettro sola-

photochemical response of the skin following excessive exposure to radiation in the UV-C and UV-B bands, which are normal components of the solar spectrum. Exposure to UV-A radiation alone does not normally produce erythema, unless the exposure values are very high ($>10\text{J}/\text{cm}^2$). Exposure to UV-A radiation before UV-B can make the skin more sensitive. This synergy between two spectral bands is known as photo-accretion. However, the opposite effect can also be observed, in which a first exposure desensitises the skin. The lower wavelengths of UV-B radiation cause a more intense, persistent rash, probably due to their greater ability to penetrate the epidermis, and it is commonly believed that the absorption of ultraviolet radiation releases a number of mediators that transfer the inflammation to the deeper layers of the skin. In the case of untanned skin with little pigment, the minimal erythema dose ranges between 6 and $30\text{ mJ}/\text{cm}^2$; however, skin pigmentation and conditioning (increase in corneal layer and tanning) increase the minimal erythema dose by at least one order of magnitude.

Delayed effects - Chronic exposure to ultraviolet radiation (sunlight), especially component B, accelerates aging processes and increases the risk of skin cancer. As regards the natural origin of UV radiation, the solar spectrum is strongly attenuated by the ozone layer around the earth which filters UV radiation, eliminating the components with a wavelength of less than 290 nm. Various epidemiological studies have demonstrated that the incidence of skin cancer is closely associated with latitude, altitude and cloud cover.

re è fortemente attenuato dallo strato di ozono presente intorno alla terra che filtra gli UV eliminando le componenti con lunghezza d'onda inferiori a 290 nm. Diversi studi di carattere epidemiologico hanno messo in evidenza come l'incidenza del cancro alla pelle sia fortemente legata alla latitudine, all'altitudine ed alla presenza di nuvole.

III.4

Bibliografia essenziale

Slaney DH and Wolbarsht ML, "Projection Systems in Safety with Lasers and Other Optical Sources. A Comprehensive Handbook". New York and London: Plenum Press, 1980.

"Linee guida relative ai limiti di esposizione a radiazione ultravioletta di lunghezza d'onda compresa tra 180 e 400 nm (radiazione ottica non coerente)". Health Physics, 1985; 49: 331-340.

Brancato R, Lombroso B, Pierro L. (a cura di), "L'occhio e la luce - Atti del congresso". Roma: 1989.



Brief bibliography III.4

Sliney DH and Wolbarsht ML, "Projection Systems in Safety with Lasers and other Optical Sources. A Comprehensive Handbook". New York and London: Plenum Press, 1980.

"Linee guida relative ai limiti di esposizione a radiazione ultravioletta di lunghezza d'onda compresa tra 180 e 400nm (radiazione ottica non coerente). Health Physics 1985; 49: 331-340

Brancato R., Lumbroso B., Pierro L. (eds), "L'occhio e la luce - Congress Proceedings". Rome: 1989.



IV. Normative di prevenzione per la progettazione

IV.1 Normative di prevenzione: i TLV

Per la valutazione dei fattori di rischio relativi all'esposizione a radiazione UV è opportuno prendere come riferimento le indicazioni dell'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). Questo ente procede ogni anno alla pubblicazione aggiornata di valori limite di soglia (TLV - threshold limit values) riguardanti tutte le sostanze chimiche e gli agenti fisici ai quali un lavoratore può essere esposto durante le sue mansioni.

Secondo l'Associazione Italiana degli Igienisti Industriali (AIDII), i TLV sono il frutto di conoscenze acquisite e sviluppate in diversi anni da più organi di ricerca appartenenti a differenti stati e sono universalmente accettati come punto di riferimento da diversi sistemi normativi. Questi limiti rappresentano le condizioni alle quali si ritiene che la maggior parte dei lavoratori possa rimanere esposta ripetutamente giorno dopo giorno senza effetti negativi per la salute. Tuttavia, a causa della differente suscettibilità individuale ad agenti fisici o chimici dovuta a cause diverse quali età, fattori genetici, fumo, assunzione di droghe o medicinali, alcool, precedenti esposizioni etc., un'esposizione a valori pari o al di sotto dei TLV può in alcuni casi procurare degli effetti nocivi. Per questo motivo tali limiti devono essere usati come guida per la valutazione e il controllo delle esposizioni ma non devono essere visti come una linea netta di demarcazione tra livello di sicurezza e livello di pericolo.

IV.2 Radiazioni ultraviolette

Questi valori per l'esposizione dell'occhio e della pelle si riferiscono alla radiazione UV nella regione spettrale compresa fra 180 e 400 nm e si applicano ad archi, scari-

Prevention standards and design features **IV**

Prevention standards: TLV

IV.1

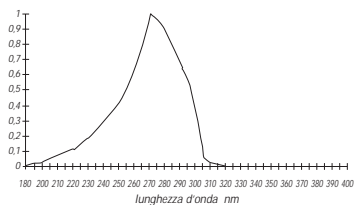
In order to evaluate the risk factors relating to exposure to UV radiation, it is appropriate to refer to the recommendations of the ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). This agency publishes updated Threshold Limit Values (TLV) every year for all chemical substances and physical agents to which workers may be exposed in the course of their jobs.

According to the Italian Association of Industrial Hygienists, the TLVs are based on knowledge acquired and developed over a number of years by research organisations in different countries, and are universally accepted as the benchmark by various standards systems. The limits represent the conditions to which it is believed that most workers can be repeatedly exposed day after day without adverse effects on the health. However, in view of differing individual susceptibilities to physical and chemical agents, due to various causes such as age, genetic factors, smoking, taking drugs or medicines, alcohol, prior exposure, etc., exposure to values equal to or below the TLV may in some causes cause harmful effects. For this reason the limits should only be used as a guideline to evaluate and monitor exposure, but not considered to represent a clear line of demarcation between the safety level and the danger level.

Ultraviolet radiation

IV.2

The values for the exposure of the eyes and skin relate to UV radiation in the spectral region between 180 and 400 nm, and apply to arcs, discharges in gases and vapours, incandescent fluorescent sources and sunlight for exposure times of not less than 0.1 secs. These values are



che in gas e vapori, a sorgenti fluorescenti incandescenti e alla luce solare per tempi di esposizione non inferiori a 0,1 sec. Questi valori non sono utilizzabili per individui fotosensibili, afachici o per soggetti contemporaneamente esposti ad agenti fotosensibilizzanti.

La valutazione del rischio, per quanto riguarda l'occhio, si riferisce alla radiazione incidente sulla cornea in quanto questa è la componente oculare che assorbe la percentuale maggiore di radiazione ultravioletta. L'irradianza deve essere ponderata rispetto al picco (270 nm) di una curva di efficacia spettrale, mediante la seguente formula che porta a quella che viene definita Irradianza Efficace:

$$E_{\text{eff}} = \sum E_{\lambda} S_{\lambda} \Delta_{\lambda}$$

in cui:

E_{eff} = irradianza efficace relativa ad una sorgente monocromatica di 270 nm in W/cm²

E_{λ} = irradianza spettrale in W/(cm²nm)

S_{λ} = efficacia spettrale relativa

Δ_{λ} = ampiezza di banda in nm

Per una esposizione giornaliera della durata di 8 ore l'Irradianza Efficace non deve superare il valore di 0,1 mW/cm²; il tempo di esposizione in secondi può essere calcolato mediante la seguente relazione:

$$t(s) = \frac{0,003 \text{ J/cm}^2}{E_{\text{eff}} \text{ (W/cm}^2\text{)}}$$

in cui 0,003 J/cm² (30 J/m²) rappresenta il massimo valore di esposizione giornaliera permesso a radiazione UV monocromatica alla lunghezza d'onda di 270 nm, incidente sulla pelle o sull'occhio non protetti. Il grafico nel-

Figura 4.1
Funzione di ponderazione
spettrale.

not applicable to photosensitive or aphakic persons or those simultaneously exposed to photosensitising agents.

Evaluation of the risk to the eyes is based on the radiation incident on the cornea, because that is the ocular component which absorbs the highest percentage of ultraviolet radiation. Irradiance must be weighted in relation to the peak (270 nm) of a spectral efficacy curve using the following formula, which gives what is defined as *Effective Irradiance*:

$$E_{\text{eff}} = \sum E_{\lambda} S_{\lambda} \Delta_{\lambda}$$

where:

E_{eff} = effective irradiance in relation to a monochrome source of 270 nm in W/cm²

E_{λ} = spectral irradiance in W/(cm²nm)

S_{λ} = relative spectral irradiance

Δ_{λ} = bandwidth in nm

The Effective Irradiance must not exceed the value of 0.1 mW/cm² for 8 hours' daily exposure. The exposure time in seconds can be calculated with the following relation:

$$t(s) = \frac{0.003 \text{ J/cm}^2}{E_{\text{eff}} \text{ (W/cm}^2\text{)}}$$

in which 0.003 J/cm² (30 J/m²) represents the maximum permitted daily exposure to monochrome UV radiation at the wavelength of 270 nm incident on the unprotected skin or eye.

The graph in Figure 4.1 shows the curve of the ultraviolet radiation weighting function S_{λ} .

The ACGIH recommendations for UV radiation are used as the benchmark in the IEC standards relating to

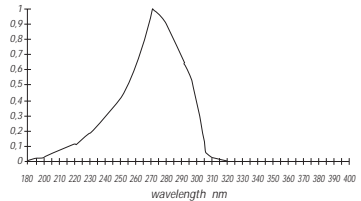


Figure 4.1
Spectral weighting function.

la figura 4.1 mostra l'andamento della funzione di ponderazione per radiazione ultravioletta S_λ . Queste indicazioni dell'ACGIH riguardo alla radiazione UV vengono prese come riferimento dalle normative IEC relative al calcolo della trasmittanza di vetri di protezione per lampade a ioduri metallici.

IV.3 Normative di prevenzione: CEI

L'esposizione a radiazioni ultraviolette è stata da tempo recepita dalla International Electrotechnical Commission (IEC), in particolar modo per gli apparecchi illuminanti dotati di lampade ad alogenuri metallici (CEI EN 60598-1:1997-01) tramite un documento che raccomanda l'uso di vetri di protezione che filtrino adeguatamente l'eccesso di UV e stabilisce una procedura standard per poter calcolare il coefficiente di trasmissione massimo ammissibile a partire da dati forniti dai costruttori delle lampade.

Tale procedura richiede il calcolo della potenza efficace specifica P_{eff} della sorgente che si ottiene pesando la distribuzione di potenza della lampada con la funzione di ponderazione per radiazione ultravioletta S_λ . Per le differenti tipologie di lampade le case costruttrici forniscono la distribuzione di potenza spettrale in mW/klm è quindi necessario valutare il massimo valore di illuminamento della superficie atteso in lux, E_a .

Per offrire una adeguata protezione dalle radiazioni ultraviolette il coefficiente di trasmissione del vetro protettivo, T , dovrà essere:

$$T \leq \frac{1000 \cdot 30 \text{ J/m}^2}{P_{\text{eff}} \cdot E_a \cdot t_{\text{exposure}} \cdot 3,6}$$

calculation of the transmittance of protective glass for metal iodide lamps.

Prevention standards: IEC

IV.3

The issue of exposure to ultraviolet radiation was addressed some time ago by the International Electrotechnical Commission, especially as regards lighting apparatus fitted with metal halide lamps (IEC EN 60598-1: 1997-01), in a document which (i) recommends the use of protective glass that adequately filters excess UV radiation and (ii) establishes a standard procedure for calculating the maximum permitted transmissivity on the basis of the data supplied by the lamp manufacturer.

This procedure requires calculation of the specific effective power of the source P_{eff} , which is obtained by weighting the power distribution of the lamp with the ultraviolet radiation weighting function S_{λ} . Manufacturers supply the spectral power distribution in mW/nm for the various types of lamp, so it is necessary to evaluate the maximum estimated illuminance value of the surface in lux, E_a .

In order to offer adequate protection against ultraviolet radiation, the transmissivity T of the protective glass must be:

$$T \leq \frac{1000 \cdot 30 \text{ J/m}^2}{P_{\text{eff}} \cdot E_a \cdot t_{\text{exposure}} \cdot 3.6}$$

where 30 J/m^2 is the reference limit for daily UV exposure and t_{exposure} is the expected time in hours.

dove 30 J/m^2 è il limite di esposizione giornaliera di riferimento per l'UV e t_{exposure} è il tempo di esposizione atteso in ore.

IV.4 Rischi da esposizione a UV

Studi relativi alle emissioni di UV da parte di lampade ad alogenuri metallici hanno indicato quanto siano importanti, ai fini protezionistici, una adeguata progettazione ed una idonea installazione per un uso dell'apparecchio illuminante privo di rischi per l'apparato visivo umano.

Riteniamo pertanto utile sottolineare alcuni aspetti relativi alle caratteristiche comunemente riscontrabili, pur nel rispetto delle norme, in termini di struttura e di lay-out degli apparecchi illuminanti, in rapporto alla possibile insorgenza di disagi e/o disturbi visivi in laboratori, sia a medio che a lungo termine.

Poiché il rischio da esposizione a UV è valutato in termini di irradianza risulta evidente l'importanza della distanza degli occhi e della cute dalla sorgente emittente.

La prima considerazione riguarda l'importanza dei vetri di protezione montati sugli apparecchi illuminanti. L'assenza, anche occasionale, del vetro di protezione o l'utilizzo di un vetro danneggiato, possono comportare la presenza di situazioni di rischio che divengono rilevanti quando vi è da parte dell'operatore la concreta e magari ripetuta possibilità di trovarsi vicino alla sorgente, a distanze inferiori al metro. A tali distanze i tempi di esposizione ammessi diminuiscono drasticamente, per alcune lampade ad alogenuri metallici di potenza superiore ai 100W fino a tempi dell'ordine di alcune decine di secondi, essendo, come noto, l'irradianza una grandezza che

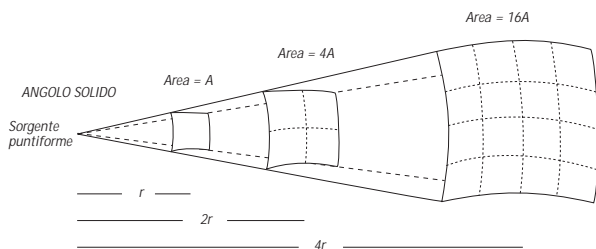
Risks of exposure to UV radiation IV.4

Studies relating to the emission of UV radiation by metal halide lamps indicate how important adequate design and suitable installation are for protection purposes, in order to ensure that the use of lighting apparatus presents no risk to the human visual apparatus.

We therefore consider it useful to describe some aspects relating to characteristics commonly encountered, even when the standards are complied with, in terms of structure and layout of lighting apparatus, which can cause visual discomfort and/or disorders to workers in the medium or long term.

As the risk of exposure to UV radiation is evaluated in terms of irradiance, the importance of the distance between the eyes and skin and the emitting source is obvious. The first consideration relates to the importance of the protective glass fitted to lighting apparatus. The absence (even temporary) of the protective glass or the use of damaged glass can lead to risk situations, which become significant if there is a practical possibility that the operator will come within 1 metre of the source, perhaps repeatedly. At these distances, the allowed exposure times are drastically reduced (in the case of some metal halide lamps with a power exceeding 100W, the permitted time is only a few tenths of a second) because irradiance is a quantity that diminishes in proportion to the square of the distance, as the energy emitted by the source is distributed over larger and larger areas as the distance increases (fig. 4.2). Protective glass thus plays a vital role, and it must remain intact if it is to maintain its protective effect.

Some comments need to be made about the quality of protective glass, which must be guaranteed by the



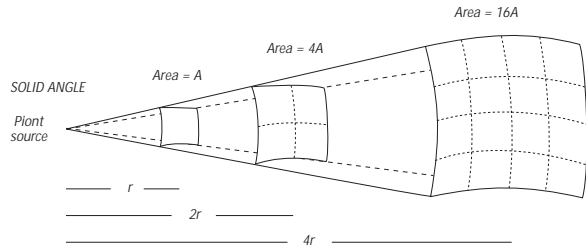
diminuisce con il quadrato della distanza in quanto l'energia emessa dalla sorgente, all'aumentare della distanza si distribuisce su superfici sempre più grandi (fig. 4.2). Il vetro di protezione riveste dunque una funzione fondamentale ed è indispensabile che rimanga intatto per mantenere il suo effetto protettivo.

Alcune considerazioni devono essere fatte anche in merito alla qualità del vetro di protezione che deve essere garantita dalla casa produttrice dell'apparecchio. Nella figura 4.3 sono mostrate curve di trasmissione percentuale relative ad alcuni vetri montati sui più comuni apparecchi illuminanti, pirex, sabbato, anti UV. Da queste curve risulta che il vetro sabbato trasmette ancora una percentuale non trascurabile della banda dell'UV-B (280-315 nm), mentre sia il pirex che il vetro anti UV assorbono completamente l'UV-B e buona parte dell'UV-A: le distanze minime permesse si mantengono infatti molto brevi e di conseguenza l'area inaccessibile risulta limitata.

Al fine di escludere possibili situazioni di rischio, soprattutto a medio e a lungo termine è quindi importante attenersi ad alcune norme di sicurezza:

- escludere l'impiego di lampade nude, soprattutto per tempi protratti;
- informare i lavoratori del rischio da UV e delle corrette modalità di impiego delle sorgenti (esclusione o limitazione di una situazione di lavoro in cui sia necessario o possibile una visione diretta e protratta delle lampade);
- provvedere ad una periodica manutenzione degli apparecchi illuminanti soprattutto per quanto riguarda l'integrità dei vetri protettivi;
- evitare, per quanto possibile, superfici altamente riflettenti attorno ai posti di lavoro eventualmente dopo ade-

Figura 4.2
La legge dell'inverso del quadrato della distanza può essere visualizzata immaginando un raggio "quadrato" uscente da una sorgente puntiforme.



manufacturer of the lighting apparatus. Figure 4.3 shows percentage transmission curves for various types of glass (pyrex, sanded glass and anti-UV glass) fitted to the most common types of lighting apparatus. These curves demonstrate that sanded glass still transmits a significant percentage of radiation in the UV-B band (280-315 nm), whereas both pyrex and anti-UV glass totally absorb UV-B radiation and much of the UV-A radiation; the minimum permitted distances in these cases are very short, and the inaccessible area is therefore small. In order to eliminate risk situations, especially over the medium and long term, it is important to follow a number of safety rules:

- a) do not use naked lamps, especially for long periods;
- b) inform workers of the risks of UV radiation and the correct methods of using sources (working situations in which direct, lengthy vision of lamps is necessary or possible must be prevented or limited);
- c) schedule periodic maintenance of lighting apparatus, especially as regards the intactness of the protective glass;
- d) avoid highly reflecting surfaces around workstations as far as possible, and arrange suitable environmental monitoring of situations considered potentially hazardous (high power and/or reflections);
- e) arrange specific medical check-ups (health monitoring) for operators exposed to conditions which are considered potentially hazardous because of the duration and/or intensity of the emission.

Figure 4.2
The inverse square law can be visualised by imagining a "square" ray issuing from a point source.

guate rilevazioni ambientali che rivelino situazioni ritenute potenzialmente rischiose (presenza di elevate potenze);

- e) effettuare mirati controlli medici (sorveglianza sanitaria) per operatori esposti a condizioni che per la durata e/o l'intensità di emissione sono ritenute potenzialmente a rischio.

IV.5

Bibliografia essenziale

Sliney DH and Wolbarsht ML, "Projection Systems in Safety with Lasers and Other Optical Sources. A Comprehensive Handbook". New York and London: Plenum Press, 1980.

American Conference of Government Industrial Hygienists - TLV, Threshold Limit values and Biological Exposure Indices for 1996-1997. ACGIH, 1997.

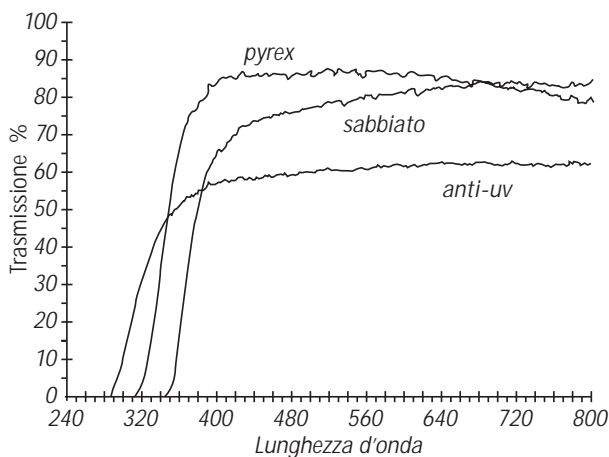


Figura 4.3
Curve di trasmissione
percentuale per vetri pyrex,
sabbaiato e anti-UV.

Sliney DH and Wolbarsht ML, "Projection Systems in Safety with Lasers and other Optical Sources. A Comprehensive Handbook". New York and London: Plenum Press, 1980. **Brief bibliography IV.5**

American Conference of Government Industrial Hygienists - TLV, Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices for 1996-1997. ACGIH, 1997

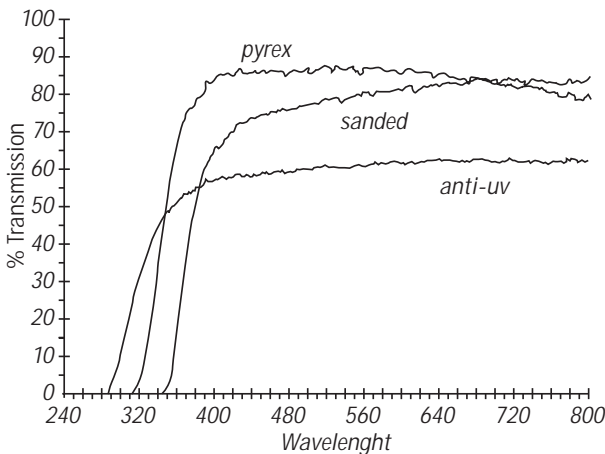


Figure 4.3
Percentage transmission
curves for pyrex, sanded
and anti-UV glass.

Curricula degli Autori

Bruno Piccoli Nato a Milano nel 1948.
1976, Laureato con il massimo dei voti in Medicina e Chirurgia all'Università di Milano.
1978, Specializzato con il massimo dei voti in Medicina del lavoro alla Facoltà di Medicina e Chirurgia dell'Università di Milano.
Dal 1982 ad oggi, Responsabile della Sezione di Ergofthalmologia presso il Dipartimento di Medicina del Lavoro "L. Devoto" dell'Università di Milano.
Dal 1985, Docente di Fisiologia del Lavoro ed Ergonomia presso la Scuola di Specializzazione in Medicina del Lavoro dell'Università di Milano.
Docente per la Società Italiana di Ergonomia (SIE) e per il Politecnico di Milano, nell'ambito di corsi per studenti e di perfezionamento.
Dal 1996, Chairman del Scientific Committee on Work and Vision afferente alla International Commission on Occupational Health (ICOH).

Le attività scientifiche e di ricerca includono studi sulle relazioni tra lavoro e visione con specifici interessi per gli aspetti di sorveglianza sanitaria e di fotometria ai posti di lavoro.

Autore di 98 articoli scientifici su vari argomenti di medicina del lavoro ed igiene industriale, comprendenti: valutazione dello stress termico, patologia da strumenti vibranti, studi trasversali e longitudinali su operatori addetti a lavori a intenso impegno visivo, valutazione della sintomatologia e funzionalità visiva in rapporto alle condizioni illuminotecniche e di inquinamento chimico e microbiologico presso uffici.

Authors' Profile

Born in Milan in 1948.

Bruno Piccoli

1976, Graduated with Honours in Medicine and Surgery at Milan University;

1978, Specialized in Occupational Medicine at the Faculty of Medicine, Milan University;

1982 to the present, Head of the Ergophthalmology Unit at the "L. Devoto" Dept. of Occupational Health, Milan University;

since 1985, Professor of Work Physiology and Ergonomics at the Postgraduate School of Occupational Health, Milan University;

Taught several courses for the Italian Society of Ergonomics (SIE) and at Milan Polytechnic for university and postgraduate students;

from 1996, Chairman of the Scientific Committee on Work and Vision of the International Commission on Occupational Health (ICOH).

Scientific interests include studies on the relationship between work and vision with specific reference to sanitation surveillance aspects and photometry at the work places.

Author of 98 scientific articles on various topics in industrial medicine including: thermal stress evaluation, disorders from vibrating tools, cross-sectional and longitudinal studies on operators employed in close work, subjectivity and lighting conditions, chemical and microbiological pollutants in offices.

Silvano Orsini Nato a Casalmaggiore (CR) nel 1950.
1976, Laureato in Fisica all'Università degli Studi di Milano;
1979, Specializzato in Fisica Sanitaria ed Ospedaliera all'Università degli Studi di Milano – Esperto qualificato (II grado, III grado dal 1994)
1981-1989, Fisico sanitario presso l'Istituto di Medicina del Lavoro “L. Devoto” dell'Università degli Studi di Milano;
dal 1981, si occupa dei problemi di misura, valutazione del rischio e bonifica ambientale per esposizione dei lavoratori e della popolazione a radiazioni ionizzanti, radiazione ottica e campi elettromagnetici;
dal 1986, Professore presso la Scuola di Specializzazione in Medicina del Lavoro dell'Università degli Studi di Milano;
dal 1990, Responsabile del Servizio di Fisica Sanitaria degli Istituti Clinici di Perfezionamento di Milano.

Born in Casalmaggiore (Cremona) in 1950.

Silvano Orsini

1976, Graduated in Physics at the University of Milan;

1979, Specialised in Health Physics at the University of Milan – Qualified Expert in ionising radiation protection (II degree, III degree since 1994);

1981-1989, Health physicist at the “L. Devoto” Institute of Occupational Health, Milan University;

since 1981, has been dealing with measurement, risk assessment and improvement of workers and the general population following exposure to ionising radiation, optical radiation and electromagnetic fields;

since 1986, Professor at the Postgraduate School of Occupational Health, Milan University;

since 1990, Head of the Health Physics Department of the Istituti Clinici di Perfezionamento, Milan.

BIBLIOTECA DELLA LUCE REGGIANI

Luce e UV/Light and UV

Copyright © 1998 IMDCR

Copyright © 1998 Reggiani Editore

Reggiani Spa Illuminazione
v.le Monza 16 - 20050 Sovico MI
tel 039 207111 fax 039 2071999
reggiani@xquasar.it
reggiani.net

Riproduzione vietata, tutti
i diritti riservati dalla legge
sui diritti d'autore.

ART DIRECTION
Pino Usicco

REALIZZAZIONE GRAFICA
IMDCR SRL

FOTOLITO
SCANNER SERVICE SRL

STAMPA
NUOVA EUROGRAFICHE SRL

VOLUMI GIÀ PUBBLICATI:

IL MARCHIO REGGIANI.
ICONOLOGIA

REGGIANI. INIZIO DI UN
AUTORITRATTO

ESPERIENZA. PINO USICCO

LUIGI VERONESI
CRONACA DI UN'ESPERIENZA
AMERICANA. 1989
NEW YORK

A DIALOGUE WITH LIGHT
TONI ZUCCHERI

I QUADERNI SCIENTIFICI

LA LUCE. PROGETTO SCIENZA
FILOSOFIA
LUIGI MANZONI

DA BELLINI A TINTORETTO.
L'ARTE DELLA LUCE.
EREMITANI PADOVA

REGGIANI LIGHT GALLERY,
800 FIFTH AVENUE,
NEW YORK

OMBRE DI PIETRA.
PROLEGOMENI A
UNA POLITICA PER I BENI
CULTURALI
PAOLO PORTOGHESI

TADAO ANDO. LA LUCE.
BASILICA PALLADIANA
VICENZA

GABETTI & ISOLA.
OPERE DI ARCHITETTURA.
BASILICA PALLADIANA
VICENZA

PHANTASIA. PINO USICCO

GIOTTO. PADUA FELIX

LUCE E CHIESE

LINGOTTA. PALAZZINA FIAT.
PROGETTO
ARCHITETTONICO DI
GABETTI & ISOLA.



LUCE UV

BIBLIOTECA DELLA LUCE REGGIANI

Bruno Piccoli, nato a Milano nel 1948. Laureato con il massimo dei voti in Medicina e Chirurgia all'Università di Milano nel 1976. Docente di Fisiologia del Lavoro ed Ergonomia presso l'Università di Milano.

Bruno Piccoli, 1948 born in Milan. 1976. Graduated with Honors in Medicine and Surgery at the University of Milan. Lecturer in Occupational Physiology and Ergonomics at Milan State University.

Silvano Orsini, nato a Casalmaggiore (CR) nel 1950. Laureato in fisica all' Università degli Studi di Milano nel 1976. Responsabile del Servizio di Fisica Sanitaria, Istituti Clinici di Perfezionamento, Milano.

Silvano Orsini, 1950 born in Casalmaggiore (CR). 1976. Graduated in Physics at the University of Milan. Director of Health Physics Department, Istituti Clinici di Perfezionamento, Milan.