

Spin Off dell'Università degli Studi
di Roma "La Sapienza"

Sipro - Srl

Sicurezza e Produttività nel Lavoro

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA
TorVergata
Università

PREVENTION & RESEARCH
www.preventionandresearch.com

GIORNATE ROMANE DI MEDICINA DEL LAVORO "Antonello Spinazzola"

SIPRO srl Sicurezza e Produttività nel Lavoro
Spin-Off della "Sapienza" Università di Roma -
www.spinoff-sipro.it -

UNIVERSITÀ TOR VERGATA - ROMA

PREVENTION AND RESEARCH
www.preventionandresearch.com

PROVIDER
ASSOCIAZIONE ROMANA DI PREVENZIONE E SOLIDARIETÀ (A.R.P.S.)

MICROCLIMA, ILLUMINAZIONE E CAMPI ELETTROMAGNETICI

08 Aprile 2017 ore 08.00-14.00

La Casa dell'aviatore
Viale dell'università 20, Roma

“Illuminazione e lavoro”

F. CASSANO

Professore Associato di Igiene Industriale presso il Dipartimento Interdisciplinare di Medicina, Università degli Studi di Bari



APOLLO SAETTANTE
Bronzo del V sec. a. C.
del magnogreco Pitagora



L'illuminazione dei luoghi di lavoro rappresenta uno dei principali fattori ambientali atti ad assicurare il benessere dei lavoratori.

Una corretta illuminazione contribuisce all'incremento della produttività, riveste grande importanza nella prevenzione dei disturbi derivanti dall'esposizione al rischio e degli infortuni sul lavoro.

Tuttavia, tale argomento risulta essere molto spesso ostico sia in fase di progettazione che in fase di controllo.

La luce è l'insieme delle radiazioni elettromagnetiche che l'occhio umano è in grado di percepire, più precisamente quelle dotate di una lunghezza d'onda nel vuoto (λ) compresa tra 380 e 780 nanometri (nm).

La luce è, quindi, la sensazione soggettiva prodotta dall'interazione di queste radiazioni con l'apparato della visione.

La percezione è diversa a seconda della lunghezza d'onda che caratterizza la radiazione e che determina le varie sensazioni cromatiche che vanno dal **violetto (400 nm)** al **rosso (700 nm)** passando per il **blu verde (500 nm)** ed il **giallo arancio (600 nm)**.

Le principali grandezze fotometriche sono:

Il **flusso luminoso (Φ)**, che è la potenza emessa da una sorgente o ricevuta da una superficie; l'unità di misura è il **lumen**.



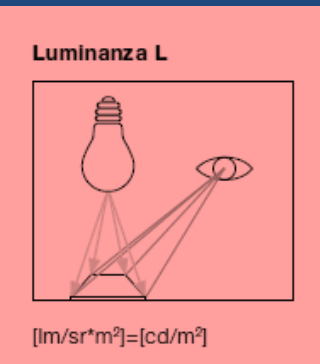
L'**intensità luminosa (I)**, che è il flusso luminoso di una sorgente in una specifica direzione; si esprime in **candele**.



L'**illuminamento (E)**, che è il flusso luminoso che raggiunge una unità di superficie; si esprime in **lux** (lumen/m²).



La **luminanza (L)**, che è il rapporto tra l'intensità luminosa prodotta da una superficie riflettente in una determinata direzione e l'area della proiezione di questa superficie nella stessa direzione; si esprime in **candele/m²**.



luminanza L: esprime l'intensità luminosa prodotta o riflessa da una superficie in rapporto all'area di tale superficie così com'è vista dall'osservatore; si esprime in candele/mq.

La luminanza delle superfici contenute nel campo visivo è direttamente collegata sia ai fenomeni di abbagliamento che alla possibilità di percepire distintamente gli oggetti osservati. Si definisce:

- rapporto di luminanza: $L2/L1$ rapporto tra la luminanza $L2$ di un oggetto e la luminanza del suo fondo $L1$; esso è correlato agli effetti di abbagliamento.

- fattore di contrasto: $(L2 - L1) / L1$ (rapporto della differenza di luminanza di un oggetto e del suo fondo e la luminanza del fondo stesso); esso risulta correlabile al grado di visibilità degli oggetti.

È utile considerare anche la

Distribuzione delle luminanze: è necessario evitare contrasti di luminanze troppo elevati o troppo bassi al fine di aumentare il comfort visivo.

Fattori di riflessione consigliati per il calcolo delle luminanze:

soffitto: da 0.7 a 0.9;

pareti: da 0.5 a 0.8;

piano: da 0.2 a 0.4.

La riflettenza, che è il rapporto tra un flusso incidente su una superficie e il flusso luminoso riflesso. Dipende dalla superficie, dall'angolo di incidenza e dalla composizione spettrale della luce.

La temperatura di colore, che è la temperatura del radiatore di Planck, cioè la temperatura che dovrebbe avere un corpo nero affinché la radiazione luminosa emessa da quest'ultimo appaia cromaticamente più vicina possibile alla radiazione della sorgente in esame. Si esprime in °K.

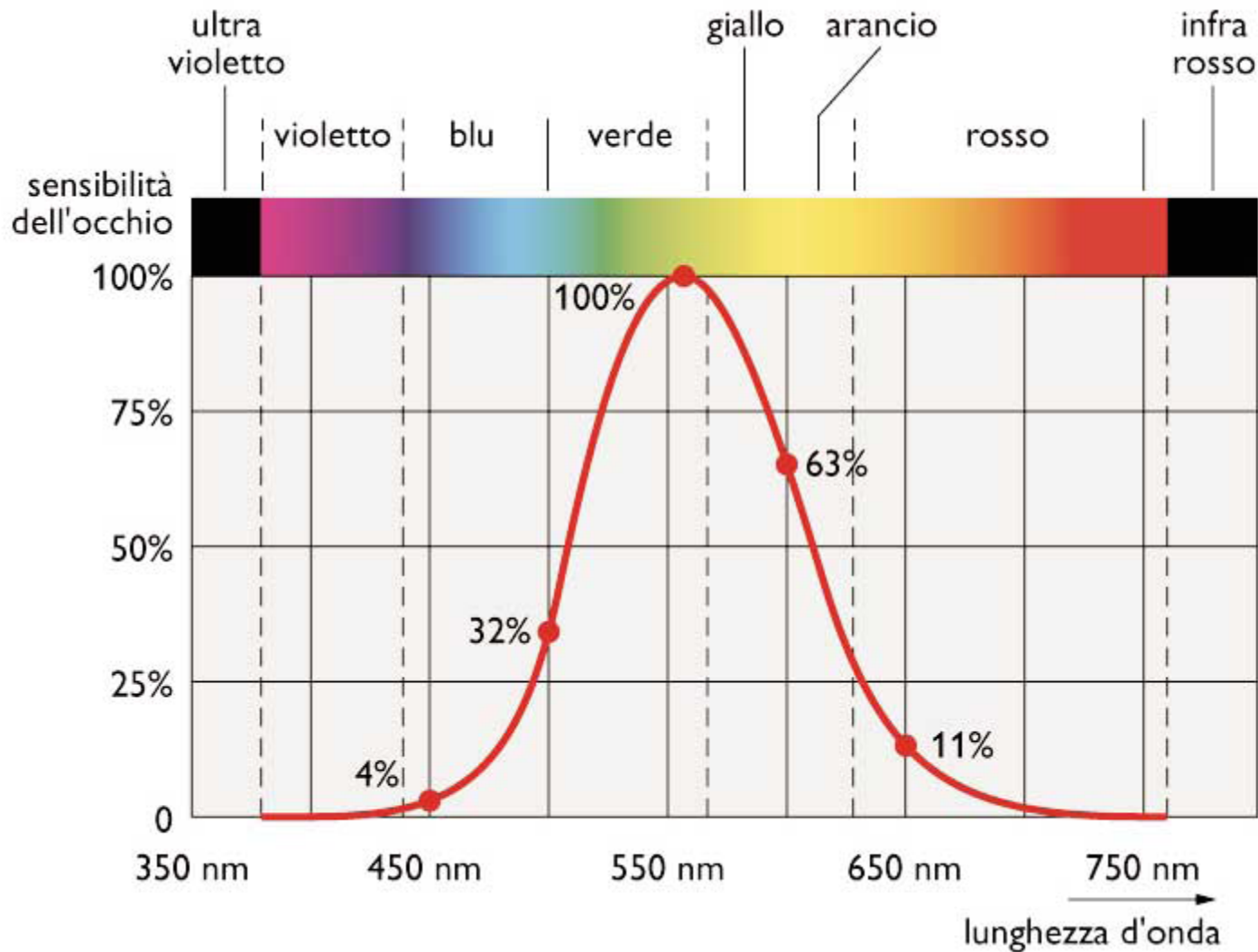
Temperatura di colore di alcune sorgenti naturali:

- luna: 4.100K;
- sole a mezzogiorno (estate): 5.300K - 5.800K;
- cielo coperto: 6.400K - 6.900K;
- cielo sereno: 10.000K - 25.000K.

La sensibilità dell'occhio umano

l'occhio umano valuta in misura diversa l'intensità corrispondente alle varie lunghezze d'onda ed è per questo che uguali quantità di energia raggiante di differenti lunghezze d'onda non provocano un'impressione luminosa di uguale intensità. Se, ad esempio, si considerano uguali quantità di energia per tutte le varie lunghezze d'onda e si paragona l'intensità dell'impressione luminosa ricevuta, si constata che alla radiazione **giallo verde** (lunghezza d'onda pari a 555nm), corrisponde l'impressione luminosa più intensa mentre le radiazioni **rosse** e **violette** determinano un'impressione molto più debole.

A seguito di esperimenti effettuati su un gran numero di persone è stato possibile rappresentare graficamente la sensibilità spettrale relativa dell'occhio umano. La sensibilità dell'occhio alla radiazione **giallo verde** è stata considerata come pari al **100%** ed a tale lunghezza d'onda corrisponde un fattore di sensibilità visiva uguale ad **1**. La sensibilità a tutte le altre lunghezze d'onda può essere espressa in rapporto a questa sensibilità massima. Così, ad esempio, il fattore di sensibilità dell'occhio per la radiazione di colore **arancio** (corrispondente ad una lunghezza d'onda di **600 nm**) è di **0,63**.



Pertanto, all'interno di un'area di cantiere, affinché oggetti che possono costituire un pericolo per i lavoratori siano facilmente visibili, **devono** avere colori vicini il più possibile a quelli per cui si ha la **sensibilità massima**.

Rispetto al livello di illuminazione ci sono tre tipologie di visione:

la visione **fotopica**, diurna, tra 10 e 100.000 lux;

la visione **mesopica**, di transizione, tra 10 e 0,005 lux;

la visione **scotopica**, notturna, tra 0,005 e 5×10^{-6} lux.

La visione fotopica si caratterizza per la nitida percezione dei colori ed un rapido adattamento alle variazioni di intensità; la visione scotopica per una mancanza di discernimento dei colori, la scarsa definizione delle immagini e la lentezza di adattamento passando dalla luce alla semi oscurità.

La massima sensibilità dell'occhio umano si colloca intorno a **555 nm** in visione **fotopica** e **510 nm** in visione **scotopica**.

L'illuminazione degli ambienti di lavoro deve assicurare che lo svolgimento del lavoro all'interno del *compito visivo* (insieme degli elementi visivi del lavoro effettuato) avvenga per prima cosa in sicurezza, preservando l'integrità del processo di visione, e garantendo la miglior condizione di benessere psico-fisico possibile. Sono considerati tutti i compiti visivi abituali, inclusi quelli che comportano l'utilizzo di attrezzatura munita di videoterminale.

I requisiti illuminotecnici vengono determinati dalla necessità di soddisfare tre esigenze fondamentali:

-il comfort visivo: la sensazione di benessere percepita dai lavoratori contribuisce indirettamente anche a ottenere alti i livelli di produttività;

-la prestazione visiva: i lavoratori sono in grado di svolgere i loro compiti visivi anche in circostanze difficili e protratti nel tempo;

-la sicurezza.

La norma di riferimento è la **UNI EN 12464-1 del 2011** che specifica i requisiti relativi agli impianti di illuminazione in termini di quantità e qualità per la maggior parte dei posti di lavoro in interni e delle zone connesse.

Per garantire una corretta illuminazione, dove per corretta **non** significa solamente “livelli di illuminamento”, o “lux”, è necessario considerare una serie di fattori:

- distribuzione delle luminanze;
- abbagliamento;
- direzione della luce;
- resa dei colori e colore apparente della luce;
- sfarfallamento;
- controllo della luce diurna.

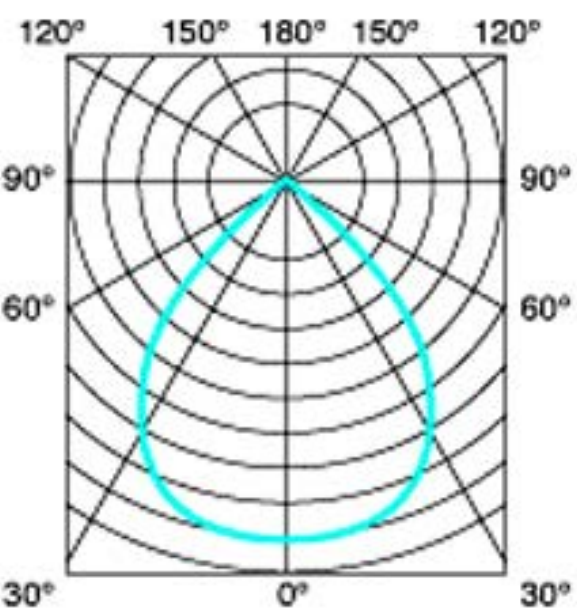
Nella progettazione di un ambiente di lavoro bisogna tener conto dell'abbagliamento, ovvero controllare questo fenomeno al fine di ridurre gli effetti indesiderati. Tale fenomeno si manifesta quando livelli eccessivi di luminanza sono presenti all'interno del campo visivo provocando di conseguenza sensazione di disagio, riduzione della visibilità e della prestazione visiva. Si possono distinguere due grandi famiglie di abbagliamento: diretto o riflesso, il primo generato direttamente dalle sorgenti presenti nel campo visivo, il secondo, appunto, per riflessione di queste sul piano di lavoro o sul monitor.

A seconda della natura degli ambienti da illuminare, l'apparecchio illuminante può avere una emissione della luce **diretta, indiretta e diffusa**.

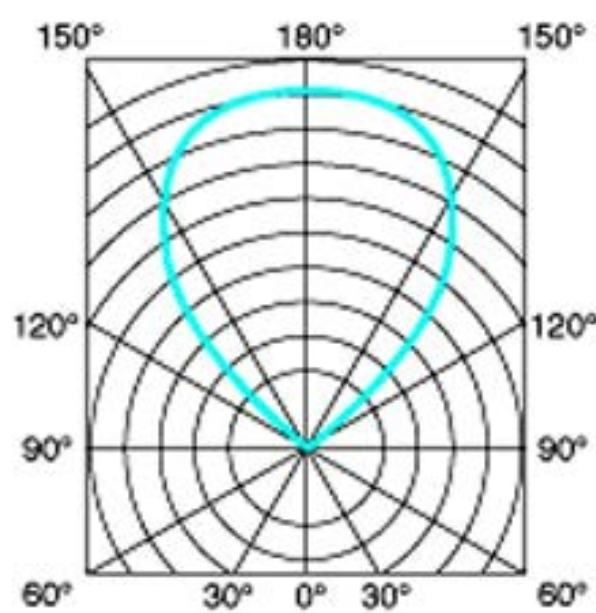
L'emissione **diretta** si ha quando l'apparecchio emette tutto il suo flusso direttamente verso la superficie da illuminare. La curva fotometrica è in questo caso interamente contenuta nel semipiano polare **inferiore**.

L'emissione **indiretta** si ha quando il flusso luminoso viene indirizzato verso il soffitto, e da questo riflesso verso la superficie da illuminare. Gli apparecchi illuminanti a luce indiretta vengono spesso detti "uplighter". La curva fotometrica è in questo caso interamente contenuta nella metà **superiore** del piano polare.

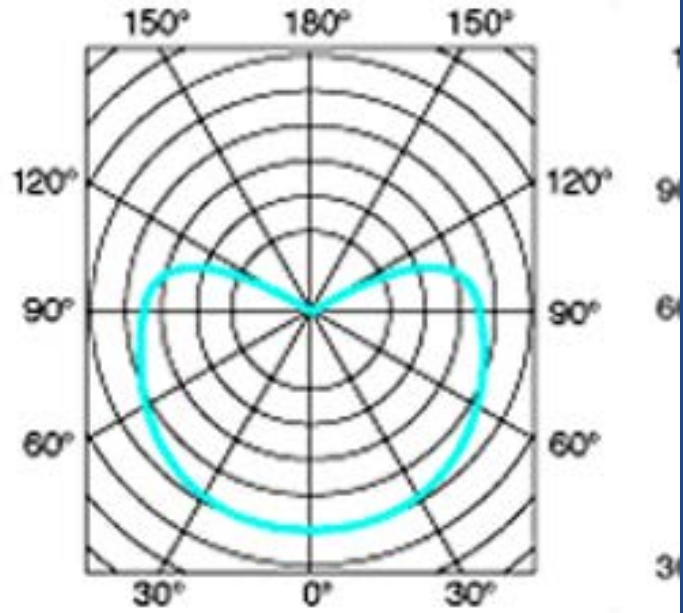
Le emissioni **semi-diretta, diretta-indiretta e semi indiretta** si hanno quando sono presenti (con diversa rilevanza) sia la componente diretta che quella indiretta.



Emissione diretta



Emissione indiretta



Emissione diffusa

Illuminamento medio (E_m): minimo valore di illuminamento medio consentito in una zona dove deve essere svolto un determinato compito visivo, necessario a garantire il comfort visivo, e riguarda le superfici di riferimento nella zona del compito visivo.

In ogni caso per zone occupate continuamente l'illuminamento mantenuto non deve essere minore di **200 lx (10)**.

Illuminamento delle zone circostanti al compito: può essere più basso di quello del compito ma non deve essere minore dei valori indicati nella tabella.

Illuminamento del compito $E_{\text{task}} \text{ lx}$	Illuminamento delle zone immediatamente circostanti lx
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
150	E_{task}
100	E_{task}
≤ 50	E_{task}

Per valutare l'abbagliamento (fisiologico) le normative fanno ricorso al sistema unificato UGR (**unified glare rating**).

Il sistema UGR si basa su una formula applicata a tutti gli apparecchi di un impianto che possono contribuire all'effetto di abbagliamento.

I valori UGR degli apparecchi illuminanti vengono calcolati seguendo una tabella fissata dalla norma CIE 117.

Valori limite UGR (UGRL) che non possono essere superati

≤ 16 disegni tecnici

≤ 19 lettura, scrittura, scuole, riunioni, lavoro al computer

≤ 22 industria e artigianato

≤ 25 lavori industriali grezzi

≤ 28 binari ferroviari, capannoni

Abbagliamento molesto: impedisce una visione corretta del compito visivo. Deve essere valutato utilizzando il metodo CIE dell'indice unificato di abbagliamento UGR (Unified Glare Rating), i cui valori massimi per ogni singolo ambiente sono riportati nelle successive tabelle.

Apparenza del colore: si riferisce al colore apparente della luce emessa ed è definita dalla temperatura di colore correlata:

W (warm) luce bianco calda, minore di 3000 K

N (intermediate) luce bianco neutra, da 3300 a 5300 K

D (daylight) luce bianchissima maggiore di 5300 K

Resa del colore (Ra): è un indice che definisce la capacità di una lampada di restituire in modo adeguato i colori. Il valore massimo è **100** e diminuisce al diminuire della qualità della resa del colore. Il valore minimo di tale indice è indicato nelle successive tabelle per ogni compito visivo.

Uniformità dell'illuminamento (U_0): garantire una sufficiente uniformità dell'illuminazione delle zone dove vengono svolti i compiti visivi;

Fattore di manutenzione: deve essere stabilito dal progettista in base alle caratteristiche di impianto (apparecchi, ambiente, programma di manutenzione).

\bar{E}_m : Livelli di illuminamento medio

UGR: indice unificato di abbagliamento;

U_o : Uniformità d'illuminamento

R_a : Resa del colore.

Tipo di interno, compito o attività	\bar{E}_m lx	UGR _L	U_o	R_a
Zone di circolazione				
Zone di circolazione e corridoi	100	28	0,40	40
Scale, ascensori, tappeti mobili	100	25	0,40	40
Rampe e binari di carico	150	25	0,40	40
Sale di riposo, infermeria e pronto soccorso				
Mense	200	22	0,40	80
Locali di riposo	100	22	0,40	80
Guardaroba, gabinetti, bagni, toilette	200	25	0,40	80
Infermeria	500	19	0,60	80
Locali per visita medica	500	16	0,60	90

Livelli di illuminamento necessari per diverse prestazioni visive in alcuni ambienti di lavoro e di vita.

Uffici				
Archiviazione, copiatura, ecc.	300	19	0,40	80
Scrittura, dattilografia, lettura, elaborazione dati	500	19	0,60	80
Disegno tecnico	750	16	0,70	80
Sala conferenze e riunioni	500	19	0,60	80
Ricezione (reception)	300	22	0,60	80
Scuole				
Aule scolastiche	300	19	0,60	80
Sala lettura, Lavagna	500	19	0,60	80
Ospedali				
Corsie: Illuminazione generale	100	19	0,40	80
Locali diagnostici; Illuminazione generale	500	19	0,60	90
Sala operatoria	1000	19	0,60	90

Livelli di illuminamento necessari per diverse prestazioni visive in alcuni ambienti di lavoro e di vita.

Attività industriali ed artigianali				
Cementifici: preparazione dei materiali, lavori al forno e ai miscelatori	200	28	0,40	40
Produzione vetro e ceramica: smaltatura, laminatura, stampaggio, formatura	300	25	0,60	80
Produzione vetro e ceramica: molatura decorativa, pittura a mano	1000	16	0,70	90
Industria chimica: impianti di processo con intervento manuale limitato	150	28	0,40	40
Industria chimica: ambienti per misurazioni di precisione, laboratori	500	19	0,60	80
Lavorazione e manifattura legno: segatrici	300	25	0,60	60
Lavorazione e manifattura legno: controllo qualità, ispezione	1000	19	0,70	90

Livelli di illuminamento necessari per diverse prestazioni visive in alcuni ambienti di lavoro e di vita.

Illuminazione delle postazioni di lavoro munite di videotermini:
necessitano di limitazioni della
luminanza sugli schermi come da
tabella seguente

Limiti luminanza media degli apparecchi che producono riflessi sullo schermo.

Schermo ad alto stato di luminanza	Schermo ad alta luminanza	Schermo a media luminanza
	$L > 200 \text{ cd}\cdot\text{m}^2$	$L \leq 200 \text{ cd}\cdot\text{m}^2$
Caso A (polarità positiva e normali esigenze relative a colore e dettagli delle informazioni mostrate)	$\leq 3000 \text{ cd}\cdot\text{m}^2$	$\leq 1500 \text{ cd}\cdot\text{m}^2$
Caso B (polarità negativa e/o alte esigenze relative a colore e dettagli delle informazioni mostrate)	$\leq 1500 \text{ cd}\cdot\text{m}^2$	$\leq 1000 \text{ cd}\cdot\text{m}^2$
NOTA Schermo ad alto stato di luminanza (vedi EN ISO 9241-302) descrive la luminanza massima della parte bianca dello schermo e questo valore è disponibile presso il produttore dello schermo		

Un'illuminazione scorretta dei luoghi di lavoro è un fattore di notevole disagio fisico e psicologico in grado di determinare disturbi nell'accettazione e nella qualità del lavoro, **ma non di indurre alterazioni della vista**. In condizioni di prolungato impegno visivo svolto in condizioni di illuminazione inappropriate può insorgere una sindrome clinica detta fatica visiva o **astenopia** che si manifesta con un insieme di sintomi visivi (fotofobia, riduzione dell'acuità visiva, visione sfocata o instabile, visione sdoppiata, difficoltà di accomodazione, sintomi di abbagliamento, etc.) e segni oculari (lacrimazione, ammiccamento frequente, bruciore, prurito, irritazione, secchezza, sensazione di corpo estraneo, gonfiore, etc.). Tale sintomatologia coincide con i disturbi connessi al lavoro mediante utilizzo di videoterminale.

Anche le condizioni di scarsa illuminazione sono causa di **astenopia** per lo sforzo fisico e mentale impiegato per osservare e seguire il lavoro; i lavoratori con difetti visivi, particolarmente i presbiteri, sono costretti ad un maggiore sforzo accomodativo.

Una illuminazione inadeguata costringe spesso ad assumere posizioni viziate per migliorare la visione, e come conseguenza è possibile la comparsa di disturbi muscolo-scheletrici notevolmente fastidiosi.

Da tenere in considerazione anche il **rischio infortunistico** poiché l'illuminazione non ottimale può essere causa di urti, cadute, inciampi e traumi.

Illuminazione sussidiaria (di emergenza)

devono esserci sempre mezzi di illuminazione sussidiaria da impiegare in caso di emergenza. Tali mezzi devono essere tenuti in posti noti al personale e devono essere sempre funzionanti.

L'illuminazione sussidiaria deve essere fornita con mezzi di sicurezza che entrino in funzione in caso di necessità e garantiscano un'illuminazione sufficiente

- nei luoghi di lavoro con più di 100 dipendenti dove la loro uscita all'aperto in condizioni di oscurità non sia né agevole né sicura;
- se l'abbandono imprevedibile di macchine e apparecchi sia pregiudizievole per la sicurezza di persone e impianti;
- se nel luogo di lavoro ci sono materie esplodenti o infiammabili.

Se questi mezzi non sono costruiti in modo da entrare automaticamente in funzione, i dispositivi di accensione devono essere a portata di mano e le istruzioni sul loro utilizzo devono essere rese note al personale attraverso appositi avvisi.

In caso di necessità di abbandono del luogo di lavoro, l'uscita del personale all'aperto, deve avvenire, in caso sia fondamentale per ragioni di sicurezza, prima che si esauriscano le fonti di illuminazione sussidiaria.

Nei casi in cui sia necessario non interrompere l'attività lavorativa anche in caso di mancanza di illuminazione artificiale, l'illuminazione sussidiaria deve essere fornita da un impianto fisso che consenta di proseguire il lavoro in condizioni di sufficiente visibilità.

Da non sottovalutare il rischio di natura professionale per tutti i lavoratori che lavorano all'aperto (lavoratori outdoor), per i quali le più autorevoli organizzazioni internazionali (ICNIRP, ILO, WHO) e nazionali (Istituto Superiore di Sanità), preposte alla tutela della salute e della sicurezza, nonché gli studi epidemiologici condotti in ambito internazionale, concordano nel considerare il principale rischio di natura professionale la radiazione ultravioletta solare.

Ministero della Salute e pericolosità Led

Le lampade a LED presentano alcune caratteristiche particolari dal punto di vista dei possibili rischi per la salute. Esse sono infatti caratterizzate:

- 1) da **un'elevata luminanza** dovuta alle dimensioni molto ridotte della superficie emissiva;
- 2) da uno **spettro di lunghezze d'onda** fortemente spostato verso la regione blu dell'intervallo spettrale del visibile.

L'elevata luminanza aumenta la probabilità di abbagliamento, consistente in una riduzione della funzionalità visiva, che può essere di due tipi: "debilitante" o "fastidioso". Nel caso dell'abbagliamento debilitante, principalmente connesso ad una eccessiva luminanza della sorgente, può essere resa istantaneamente difficoltosa la visione degli oggetti. Tale condizione è transitoria per via del riflesso naturale di avversione all'esposizione ad una luce intensa che comporta la chiusura delle palpebre e il movimento della testa volto ad allontanare l'occhio dal fascio di luce incidente. Trattandosi di una condizione reversibile, questo tipo di abbagliamento non rappresenta di per sé un danno per la salute, ma può implicare rischi indiretti per la sicurezza per via della possibilità di incidenti.

L'abbagliamento fastidioso, connesso all'eccessivo contrasto tra sorgenti e superfici riflettenti di differente luminosità, produce una sensazione sgradevole pur non disturbando la visione degli oggetti. Tale condizione, se protratta per lunghi periodi, può essere causa di *stress*, difficoltà di concentrazione, affaticamento visivo.

L'elevata luminanza, inoltre, associata alle intense componenti nella regione blu dello spettro di emissione (non solo per quanto riguarda i LED che emettono esclusivamente luce blu, ma anche nel caso delle lampade LED "a luce fredda"), può rendere non trascurabile il rischio di danni alla retina di natura fotochimica.

La Commissione internazionale per la protezione dalle radiazioni non ionizzanti (ICNIRP) ha emanato delle linee guida in cui sono stati fissati dei limiti di esposizione per la prevenzione dei rischi per la salute connessi alle esposizioni alle radiazioni ottiche, ivi compresi i danni da luce blu. I limiti fissati dall'ICNIRP sono stati recepiti nella direttiva 2006/25/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 5 aprile 2006 sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (radiazioni ottiche artificiali), e sono stati di conseguenza recepiti a livello nazionale nel D. Lgs. ⁸¹/2008

Le linee guida dell'ICNIRP sono inoltre alla base della norma tecnica nazionale CEI EN 62471:2010 (identica alla norma europea EN 62471:2008) "Sicurezza fotobiologica delle lampade e dei sistemi di lampada" che prevede metodi di misura e di classificazione in 4 classi di rischio e, anche se non definisce vincoli specifici per la marcatura, rappresenta attualmente lo stato dell'arte in termini di informazioni sulla sicurezza fotobiologica delle lampade e dei sistemi di lampade (comprese le lampade a LED).

Alcuni membri del gruppo di lavoro hanno effettuato misure sperimentali di un certo numero di dispositivi a LED, comunemente disponibili sul mercato, al fine di classificarli secondo la già citata norma europea EN 62471:2008 che prevede: gruppo 0 (esente da rischi), gruppo 1 (rischio basso), gruppo 2 (rischio moderato), gruppo 3 (rischio elevato). È risultato che alcuni dispositivi LED utilizzati molto comunemente appartengono al **gruppo 2** a causa degli elevati valori di radianza ponderata secondo lo spettro d'azione del danno da luce blu (grandezza che tiene conto della diversa efficacia nell'indurre il danno da parte delle varie componenti spettrali della luce). Il gruppo di lavoro conclude: **“l'arrivo su mercato dei LED per l'illuminazione rappresenta una svolta senza precedenti: è la prima volta che delle sorgenti classificate nel gruppo di rischio 2 sono accessibili al grande pubblico, in vista di applicazioni domestiche e per di più senza indicazioni dei rischi”**.

Individui della popolazione particolarmente a rischio.

I bambini (il cui cristallino, soprattutto prima degli 8 anni di età, filtra poco la luce blu), le persone prive del cristallino naturale, quelle affette da alcune patologie retiniche e chi assume farmaci foto sensibilizzanti.

I lavoratori addetti in particolari settori di attività, quali (senza pretesa di esaustività) gli installatori di impianti per l'illuminazione, i lavoratori dell'industria dello spettacolo, gli addetti ai controlli di qualità in particolari industrie, il personale di sala operatoria, gli addetti alla fototerapia, gli addetti a particolari trattamenti estetici.

L. ALESSIO ■ G. FRANCO ■ F. TOMEI

**Trattato di
MEDICINA
DEL LAVORO**

VOLUME PRIMO

PICCIN

99. Agenti fisici – *Illuminazione*
(F. Cassano) 1071

La sorveglianza sanitaria per il rischio illuminazione **non** è prevista dal D.Lgs 81/08. Il medico competente, però, dovrebbe tener presente l'aspetto relativo al comfort ed alla sicurezza del lavoro, determinato dalla corretta illuminazione, nell'ambito della anamnesi lavorativa svolta nel corso della periodica sorveglianza sanitaria per i rischi previsti dalla legge.