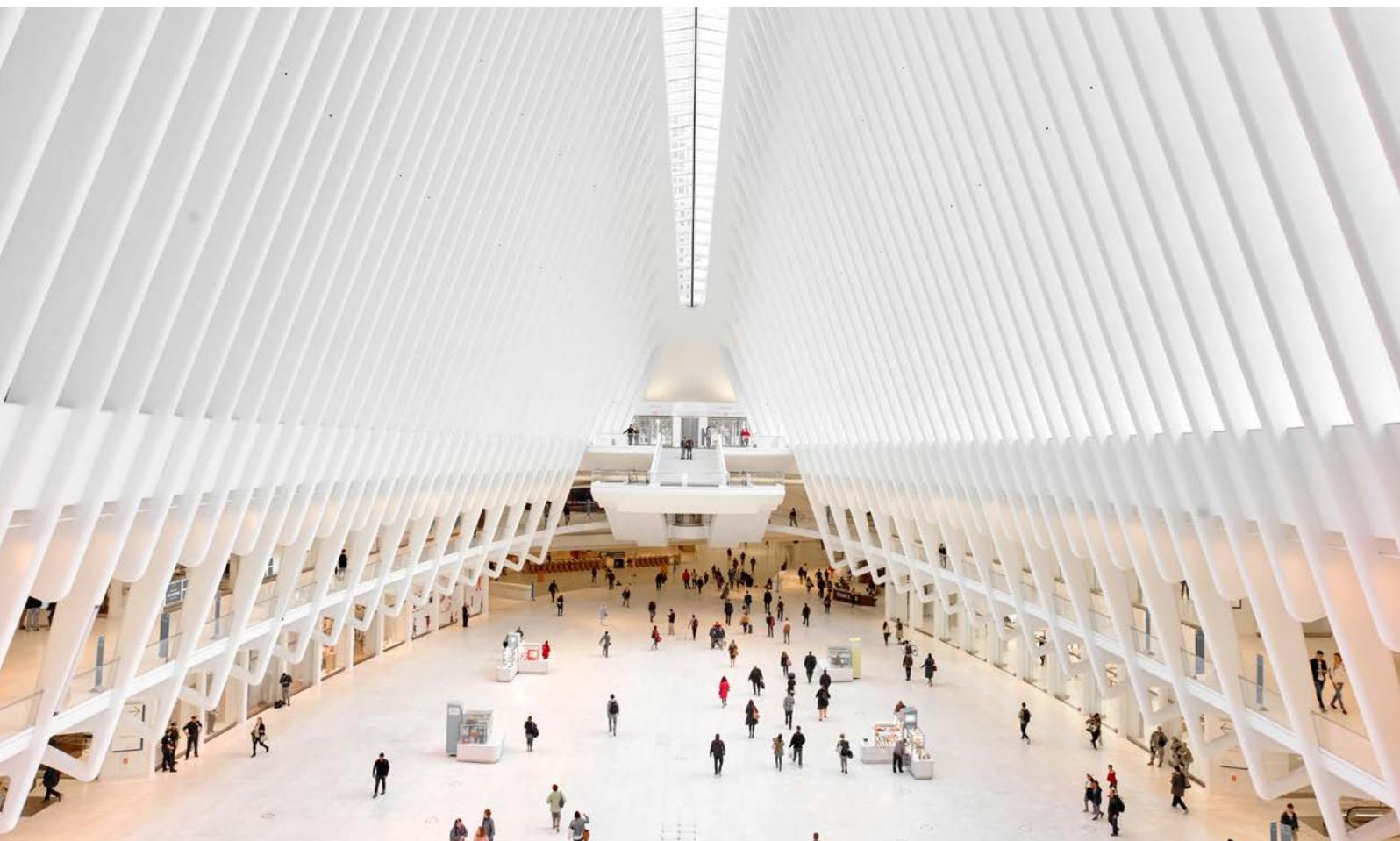


illuminazione d'interni a LED

nel settore dei servizi pubblici e privati

Linee Guida



A proposito di PremiumLight-Pro

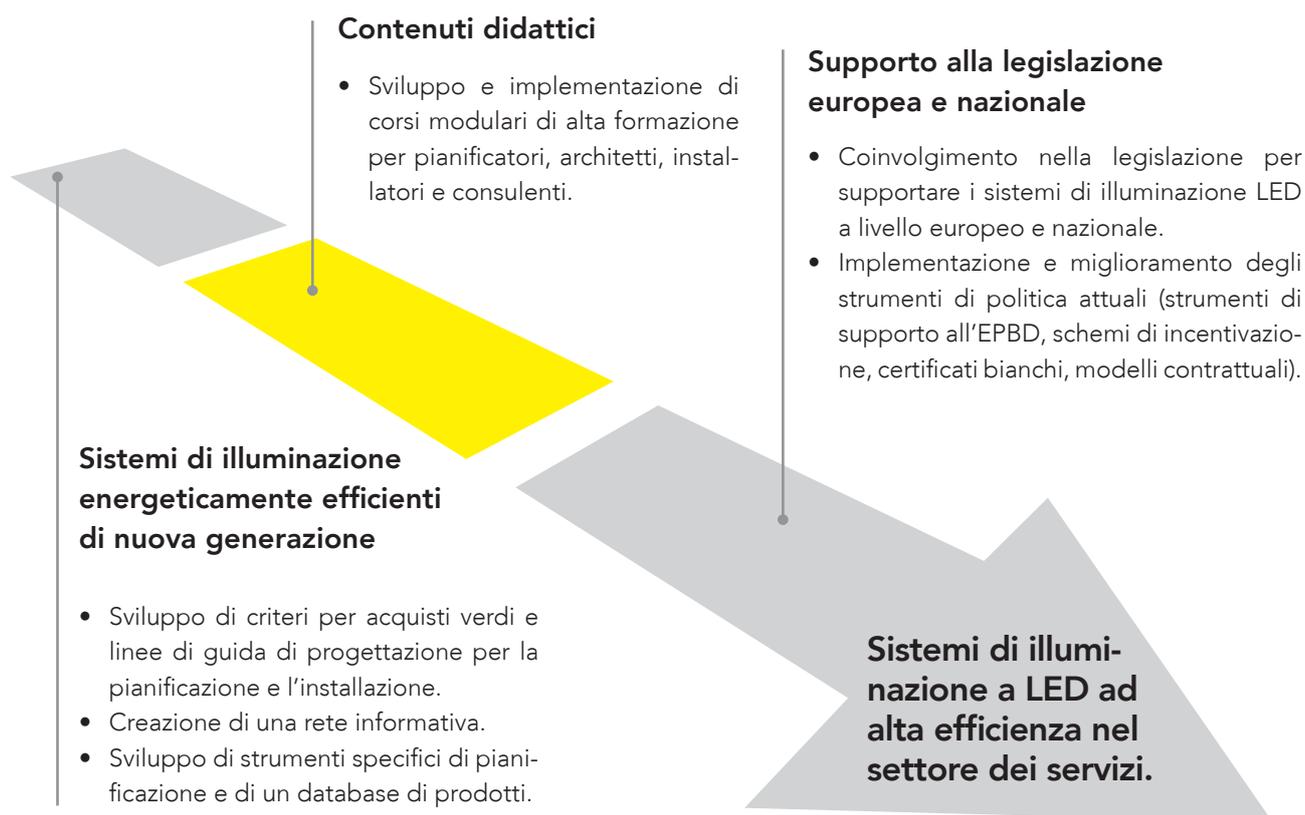
PremiumLight-Pro è un progetto europeo H2020 (2016-19) che supporta l'implementazione di sistemi di illuminazione a LED ad elevata efficienza energetica nei settori dei servizi pubblici e privati, tramite lo sviluppo di strumenti di policy progettati in cooperazione con gli operatori del mercato. Gli strumenti di supporto includono:

- Criteri per gli acquisti (procurement)
- Linee guida per l'illuminazione d'interni e da esterni
- Raccolta di Buone Pratiche
- Realizzazione di una piattaforma informativa
- Sviluppo di specifici strumenti di pianificazione e di un database di prodotti
- Svolgimento di corsi di formazione con struttura modulare per architetti, installatori, consulenti, ecc.

PremiumLight-Pro supporta in modo continuo lo sviluppo della legislazione, sia a livello europeo (ecodesign, etichettatura e EPBD) sia a livello di legislazione nazionale, con strumenti di supporto all'EPBD, schemi di incentivi, certificati bianchi e modelli contrattuali. Per maggiori informazioni visitare il sito www.premiumlight.it.

Le presenti linee guida verranno aggiornate periodicamente. La versione più recente è reperibile all'indirizzo www.premiumlight.it/illuminazione-di-interni/linee-guida-download.

Servizi forniti da PremiumLight-Pro



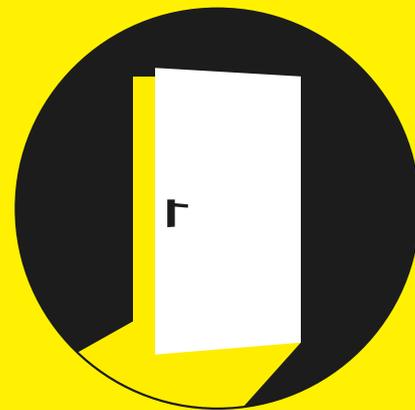
Complessivamente, esiste un alto potenziale per ottenere sostanziali risparmi energetici tramite l'implementazione di politiche adeguate che facilitino l'introduzione di sistemi di illuminazione a LED ad alta efficienza nel mercato.

La responsabilità per il contenuto di questo documento è da attribuire unicamente agli autori. Il documento non rispecchia necessariamente la posizione dell'Unione Europea. Né l'EASME né la Commissione Europea sono responsabili per qualsiasi uso delle informazioni qui contenute.

A proposito di PremiumLight-Pro	2	4.10 Illuminazione antropocentrica	25
Indice	3		
Acronimi e abbreviazioni	4	5. Criteri di acquisto	26
1. Introduzione	5	5.1 Potenza e consumo energetico per i sistemi di illuminazione nuovi	26
1.1 I vantaggi dell'illuminazione a LED	5	5.2 Sorgenti luminose	27
1.2 La necessità di linee guida	5	5.3 Consumi degli standby	27
1.3 Come usare le linee guida	6	5.4 Controlli di illuminazione	27
2. Lighting design	7	5.5 Temperatura di colore, tolleranza e manutenzione	28
2.1 Introduzione	7	5.6 Resa cromatica	28
2.2 Performance visiva dell'occhio	7	5.7 Vita utile nominale	28
2.3 Luce naturale	8	5.8 Temperatura ambiente e tipo di driver	29
2.4 Tipologie di illuminazione	9	5.9 Fattore di potenza e distorsione armonica	29
2.5 Illuminamento di ambienti lavorativi indoor	9	5.10 Sfarfallio	29
2.6 Uniformità dell'illuminazione	10	5.11 Abbagliamento e sicurezza fotobiologica	30
2.7 Contrasto di luminanza	11	5.12 Compatibilità e funzionamento del dimmer	30
2.8 Abbagliamento e sicurezza foto-biologica	11	5.13 Manutenzione	30
2.9 Temperatura di colore e tolleranza	12	5.14 Life Cycle Cost	30
2.10 Resa di colore	12	5.15 Esperienza e obblighi dell'appaltatore	31
2.11 Vita utile	13	5.16 Prequalifica	31
2.12 Temperatura ambiente	13	5.17 Valutazione delle gare d'appalto	32
2.13 Manutenzione	13	6. Buone pratiche	33
2.14 Sicurezza	14	6.1 Edifici per uffici	34
3. Efficienza energetica e Life Cycle Costs	15	6.2 Scuole	36
3.1 Sistema di illuminazione totale	15	6.3 Musei ed esposizioni	38
3.2 Riqualificazione degli apparecchi di illuminazione a tubi fluorescenti	16	6.4 Vendita al dettaglio	40
3.3 Selezione di apparecchi di illuminazione a LED	17	6.5 Assistenza sanitaria	43
3.4 Life Cycle Cost e periodo di recupero dell'investimento	17	Terminologia usata nelle linee guida	47
4. Controllo dell'illuminazione	19	Bibliografia	50
4.1 Scelta di una strategia di controllo	19		
4.2 Uso della luce naturale	20		
4.3 Controlli manuali	21		
4.4 Controlli automatici	21		
4.5 Controlli ad interruttori temporizzati	22		
4.6 Controlli basati sui sensori di presenza	22		
4.7 Controlli a luce naturale	23		
4.8 Compatibilità con i controlli	24		
4.9 Smart lighting	24		

Acronimi e abbreviazioni

AFV	Valore di guasto improvviso (<i>Abrupt Failure Value</i>)
ANSI	Istituto nazionale americano per gli standard (<i>American National Standards Institute</i>)
CCT	Temperatura di colore correlata (<i>Correlated Colour Temperature</i>)
CIE	Commissione internazionale per l'illuminazione (<i>Commission Internationale de l'Éclairage</i>)
Cd	Candela, unità di misura dell'intensità luminosa nel Sistema Internazionale
CFL	Lampade fluorescenti compatte (<i>Compact Fluorescent Lamps</i>)
CRI	Indice di resa cromatica (<i>Colour Rendering Index</i>)
DALI	Interfaccia di illuminazione indirizzabile digitalmente, protocollo di controllo (<i>Digital Addressable Lighting Interface</i>)
DSE	Videoterminale (<i>Display Screen Equipment</i>)
Duv	Distanza cromatica dal locus planckiano (<i>Chromatic distance to Planckian locus</i>)
EC	Commissione europea (<i>European Commission</i>)
ECEEE	Consiglio europeo per un'economia energeticamente efficiente (<i>European Council for an Energy Efficient Economy</i>)
EPA	Agenzia per la salvaguardia dell'ambiente (<i>Environmental Protection Agency, in Denmark</i>)
EPBD	Direttiva sulle prestazioni energetiche negli edifici (<i>Energy Performance of Buildings Directive</i>)
ESCO	Azienda di servizi energetici (<i>Energy Service Company</i>)
GLS	Servizio di illuminazione generale, General Lighting Service (nondirectional incandescent lamp)
HCL	Illuminazione antropocentrica (<i>Human Centric Lighting</i>)
IEA SSL	Annex dell'Agenzia Internazionale per l'Energia sull'illuminazione a stato solido (<i>International Energy Agency 4E Solid State Lighting Annex</i>)
IEC	Commissione internazionale per l'elettrotecnica (<i>International Electrotechnical Commission</i>)
K	Kelvin, unità di misura della temperatura di colore correlata
LCC	Costo valutato sul ciclo di vita (<i>Life Cycle Cost</i>)
LED	Diodo ad emissione luminosa (<i>Light Emitting Diode</i>)
LEF	Fattore di efficienza dell'apparecchio di illuminazione (<i>Luminaire Efficiency Factor</i>)
LFL	Lampade fluorescenti lineari (<i>Linear Fluorescent Lamps</i>)
LiFi	Corrispondente ottico del WiFi, basato su modulazione ad alta frequenza di luce LED (<i>High-speed wireless communication based on high-frequency LED light modulation</i>)
LLMF	Fattore di mantenimento del flusso luminoso della lampada (<i>Lamp Lumen maintenance Factor</i>)
LMF	Fattore di manutenzione dell'apparecchio di illuminazione (<i>Luminaire maintenance Factor</i>)
LOR	Light Output Ratio
LSF	Fattore di sopravvivenza lampadina (<i>Lumen Survival Factor</i>)
lm	Lumen, unità di misura del flusso luminoso nel Sistema Internazionale
lx	Lux, unità di misura dell'illuminamento nel Sistema Internazionale (1 lx = 1 lm/m ²)
PIR	Infrarosso passivo (<i>Passive InfraRed</i>)
Ra	Unità di misura dell'indice di resa cromatica (<i>Colour rendering index</i>)
RGB	Rosso verde blu (Red Green Blue), riferito alla miscela di colori delle lampade a LED
SDCM	Deviazione standard della corrispondenza di colore (<i>Standard Deviation Colour Matching</i>)
ta	Temperatura ambiente = massima temperatura ambiente sopportata in funzionamento normale (<i>Rated ambient temperature = highest sustained temperature for normal luminaire operation</i>)
tq	Temperatura ambiente dell'apparecchio di illuminazione. Temperatura dell'ambiente che circonda l'apparecchio di illuminazione legato ad una specifica prestazione (<i>Rated quality ambient temperature = highest sustained temperature for a defined level of performance</i>)
TCO	Costo totale di possesso (<i>Total Cost of Ownership</i>)
W	Watt = 1 Joule/secondo, Unità di misura della potenza



1. Introduzione

1.1 I vantaggi dell'illuminazione a LED

La tecnologia di illuminazione a LED rappresenta una grande opportunità per l'efficienza energetica e l'illuminazione di alta qualità nel settore dei servizi, pubblici e privati. La tecnologia a LED è molto diversa dalle precedenti e offre notevoli opportunità: migliori condizioni di lavoro e maggiore benessere, ad esempio attraverso apparecchi di illuminazione ottimizzati, illuminazione integrata, controlli di illuminazione flessibili, lampade con cui l'utente può variare la distribuzione spettrale e la temperatura di colore seguendo la variazione dell'illuminazione esterna durante il giorno, illuminazione intelligente e migliore utilizzo della luce naturale.

L'efficacia luminosa dei sistemi LED attuali è superiore a 100 lm/W e progredisce di anno in anno. I Regolamenti Europei di Eco-design ed etichettatura 244/2009, 245/2009 e 1194/2012 includono la tecnologia LED ma di fatto sono stati pubblicati prima che la tecnologia LED fosse matura e che raggiungesse i livelli tecnici odierni. Per il settore terziario non è al momento disponibile uno schema di etichettatura per gli apparecchi e i sistemi di illuminazione, e l'adozione a livello nazionale della Direttiva Europea sull'Efficienza Energetica degli Edifici (EPBD) fornisce un supporto limitato alla progettazione di sistemi di illuminazione energeticamente efficienti e di qualità negli edifici.

Gran parte dei sistemi di illuminazione d'interni usati nel settore dei servizi pubblici e privati è ancora basata su una tecnologia non efficiente, utilizzando tubi fluorescenti T8 con ballast elettromagnetici oppure lampade alogene. È positivo che queste tecnologie vengano rimpiazzate dai sistemi di illuminazione a LED con possibilità di controllo efficaci. Aumentano i casi in cui è anche vantaggioso sostituire i tubi fluorescenti T5. In generale, si raccomanda di cambiare sia gli apparecchi di illuminazione, sia i copri illuminanti (lampadine), invece di riqualificare gli apparecchi di illuminazione

esistenti, che spesso porta a difficoltà data la diversa modalità di distribuzione dell'emissione luminosa.

1.2 La necessità di linee guida

Lo sviluppo dell'illuminazione a LED procede ad alta velocità, tanto che nuovi e migliori prodotti arrivano sul mercato con frequenza mensile. Gli standard internazionali sono ancora in via di sviluppo e molti soggetti hanno constatato di aver scelto un sistema non ottimale di illuminazione a LED a causa della mancanza di informazioni e di criteri adeguati per una scelta corretta dei prodotti.

Gli operatori nel settore terziario richiedono linee guida che supportino soluzioni innovative, criteri di approvvigionamento per la selezione di sistemi a illuminazione LED di alta qualità e buone pratiche replicabili. Dato l'odierno sviluppo, molto dinamico, i criteri devono essere aggiornati regolarmente, mentre le raccomandazioni generali per la buona progettazione dei sistemi di illuminazione restano valide più a lungo.

Le linee guida si concentrano sulle attività principali di applicazione all'interno del settore dei servizi, che includono:

- Uffici
- Scuole
- Musei ed esposizioni
- Negozi
- Sanità

1.3 Come usare le linee guida

Le linee guida sono strutturate come illustrato in figura:

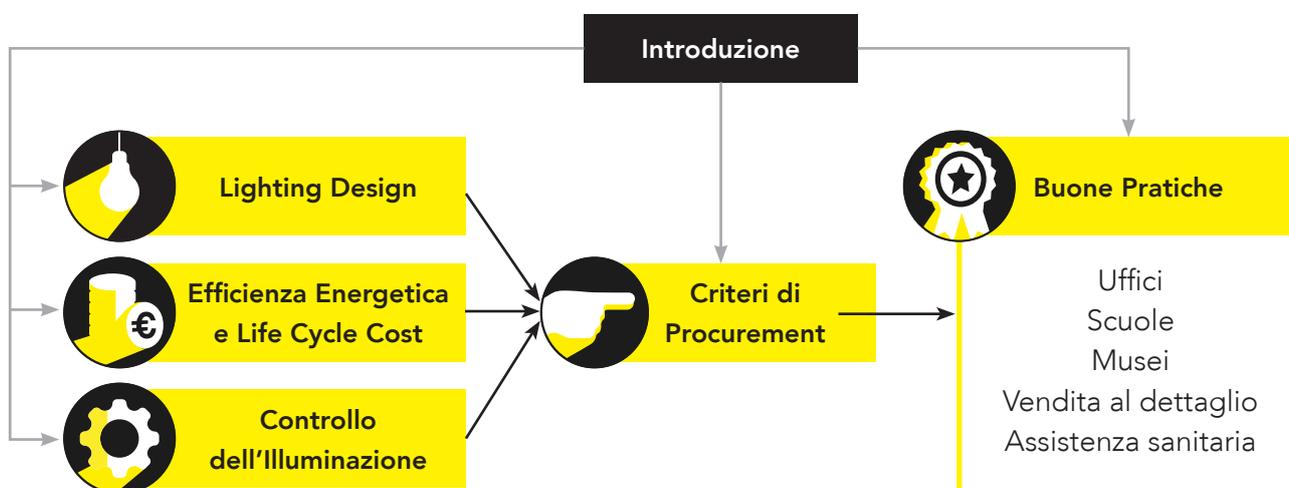


Figura 1 I criteri di procurement sono il cuore delle linee guida

Dopo un'introduzione sui vantaggi generali dell'uso dell'illuminazione a LED, i vari operatori possono applicare le linee guida in modi diversi:

1 Il personale addetto al Procurement e i decision makers possono andare direttamente ai Criteri di procurement. Inoltre possono cercare informazioni di base nei capitoli:

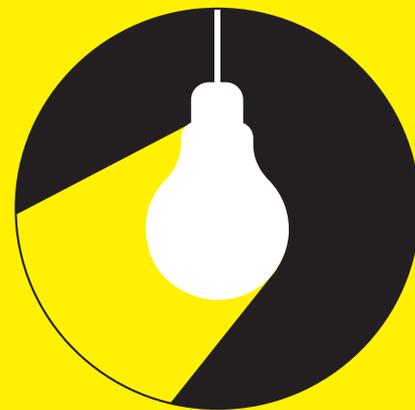
- a Progettazione illuminotecnica (qualità dell'illuminazione).
- b Efficienza energetica e Life Cycle Cost (risparmi, costi e confronti di soluzioni).
- c Controlli di illuminazione (controlli, illuminazione intelligente e antropocentrica).
- d Buone pratiche (per il tipo di edificio e di locale, nel procurement).

2 Gli installatori possono cercare nel capitolo Buone Pratiche i consigli e nel capitolo Procurement i criteri di qualità.

3 Gli Energy advisors e i progettisti illuminotecnici delle ESCO dovrebbero consultare i capitoli Efficienza energetica, LCC e Buone Pratiche.

4 I pianificatori, gli architetti, i progettisti d'interni e i consulenti possono cercare informazioni in varie parti delle linee guida a seconda dell'ambito in cui operano.

Le linee guida sono state aggiornate nel marzo 2019. Le parti di testo aggiornate sono evidenziate in rosso.



2. Lighting Design

2.1 Introduzione

La progettazione illuminotecnica serve in primo luogo a offrire condizioni visive adeguate per gli occupanti dell'edificio. L'obiettivo è fornire "la luce giusta nel momento giusto nel posto giusto", per ottenere:

- Buone prestazioni visive, per effettuare i compiti visivi anche in circostanze difficili e per lunghi periodi.
- Elevato comfort visivo, che fornisca un senso di benessere e contribuisca al raggiungimento di migliori prestazioni.

I fattori che determinano la visione corretta di un oggetto in un locale sono principalmente:

- L'**illuminamento**, che è la misura della quantità di luce incidente su una superficie/piano. L'unità di misura è il lux (lx).
- La **luminanza**, che è la misura della quantità di luce in una data direzione. L'unità di misura è la candela per metro quadrato (cd/m²).
- Se l'oggetto è tridimensionale e/o colorato.

Ci sono molti altri fattori determinanti per una buona visibilità e una corretta progettazione illuminotecnica. Questi sono affrontati nelle sezioni successive, e includono:

- Il facilitare le prestazioni visive dell'occhio
- L'ingresso della luce diurna
- La natura del compito e proprietà delle superfici dello spazio e degli oggetti
- Gli standard che supportano una performance visiva soddisfacente
- Il bisogno di un'illuminazione generale e uniforme
- La luminosità relativa dell'oggetto del compito paragonato all'ambiente circostante (contrasto)
- La direzione della luce
- La presenza di sistemi di illuminazione a guida ottica possono migliorare la visibilità e l'orientamento

- La variabilità dell'illuminazione (livelli e colore)
- La resa di colore e aspetto di colore della luce
- L'abbagliamento e lo sfarfallio
- La sicurezza

2.2 Performance visiva dell'occhio

La distribuzione di luminanza nel campo visivo influisce sull'adattamento dell'occhio e sulla visione del compito. Una luminanza adattiva ben bilanciata è necessaria per aumentare:

- 1 **Acuità visiva** (nitidezza della vista)
- 2 **Sensibilità al contrasto** (discernimento di differenze di luminanza relativamente piccole)
- 3 **Efficienza delle funzioni oculari** (come accommodation, convergenza, contrazione della pupilla, movimenti dell'occhio, etc.)

Si deve evitare di avere una distribuzione con:

- Luminanza troppo elevata, che può dare abbagliamento
- Contrasti troppo alti di luminanza che causano affaticamento a causa del continuo riadattamento dell'occhio
- Luminanza troppo bassa e/o contrasti troppo bassi di luminanza che generano un ambiente di lavoro piatto e non stimolante

Una distribuzione di luminanza ben bilanciata richiede una valutazione delle luminanze di tutte le superfici (determinate dalla riflettanza e dall'illuminamento). Il comfort visivo umano è ottenuto da superfici interne luminose, in particolari muri e soffitto, con una selezione

dei valori appropriati di riflettanza e illuminamento per le superfici interne.

L'illuminamento e la sua distribuzione nell'area di lavoro e nell'area circostante hanno un grande impatto su come una persona percepisce e porta a termine il compito visivo in modo veloce, sicuro e confortevole. Lo standard europeo EN 12464-1 fornisce valori di illuminamento mantenuto che soddisfano il comfort visivo e i requisiti prestazionali (vedi punto 2.5).

Un buon lighting design deve anche considerare l'età degli occupanti dell'edificio. Invecchiando, il cristallino perde la sua flessibilità, riducendo la capacità di adattamento dell'occhio, e ciò porta al bisogno degli occhiali da vista. Durante la vita, il corpo vitreo dell'occhio viene inquinato da proteine ed altre sostanze, aumentando la radiazione di luce che colpisce l'occhio e portando a una maggiore sensibilità all'abbagliamento. Invecchiando, i muscoli che controllano la dimensione della pupilla e la reazione alla luce perdono un po' di forza, il che fa diventare la pupilla più piccola e meno reattiva ai cambiamenti nella luce dell'ambiente. A causa della ridotta trasmissione di luce nella lente dell'occhio, nella cornea e nel corpo vitreo, a 60 anni c'è bisogno circa del triplo di luce ambientale per leggere rispetto a quando ne abbiamo 20 [17].

La percezione del colore è altrettanto importante per la prestazione visiva. Per l'occhio umano alcuni colori sono più visibili di altri. La sensibilità visiva dell'occhio umano è al suo massimo nella regione giallo-verde dello spettro. Anche il contrasto tra colori è importante ed è fornito da buone proprietà di resa di colore nel sistema di illuminazione.

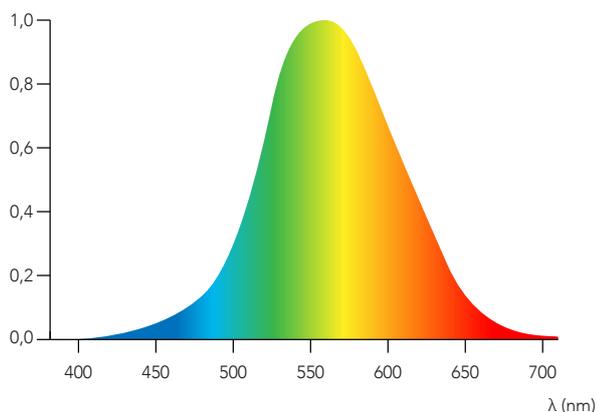


Figura 2 Sensibilità spettrale relativa dell'occhio umano in condizioni fotopiche, la cosiddetta curva $V(\lambda)$

2.3 Luce naturale

Nel corso di migliaia di anni la nostra vista si è sviluppata con la luce naturale (o diurna) come sorgente primaria di luce. Nel corso del giorno e dell'anno il movimento terrestre in relazione al Sole fornisce una grande variazione della luce naturale in termini di luminosità, direzione, distribuzione spettrale e colore. La nostra vista ha un'eccezionale capacità di adattarsi alle variazioni di luminosità, da pochi lux a più di 100'000 lux.

La luce naturale dovrebbe essere usata il più a lungo possibile. Un'efficiente illuminazione elettrica deve dunque essere pianificata e controllata in funzione dell'ingresso di luce. I requisiti minimi per l'illuminazione interna artificiale devono considerare sia il giorno sia la notte. La quantità di luce naturale che entra nei locali dipende dalla luce proveniente dal cielo, dalla luce che si riflette sugli edifici circostanti, dalle schermature solari esterne e dalla trasmissione di luce solare dei vetri della finestra.

In un locale, il fattore di luce diurna D definito per un giorno nuvoloso esprime quanta luce naturale raggiunge una superficie o un punto nella stanza. L'esempio in figura 3 mostra come, con un fattore di luce diurna del 5%, si ottenga l'illuminamento raccomandato per scrivere e leggere sul tavolo (per i valori raccomandati di illuminamento si prega di vedere il paragrafo 2.5).

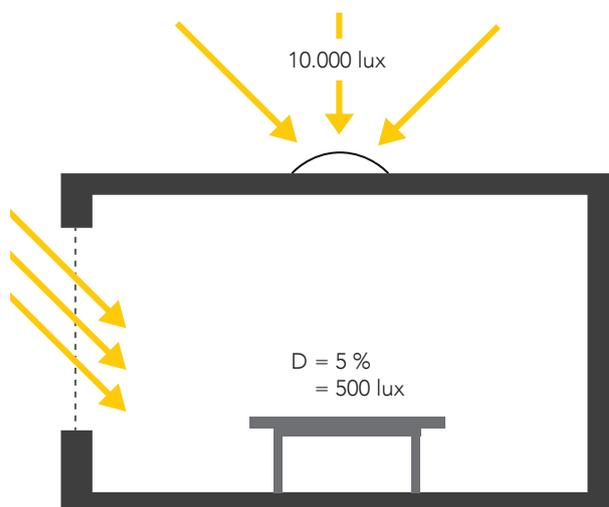


Figura 3 Esempio di illuminamento da luce naturale espresso dal fattore di luce diurna

2.4 Tipologie di illuminazione

L'illuminazione è generalmente divisa in tre tipologie [22]:

1 Illuminazione generale, che di solito consiste in **apparecchi di illuminazione a soffitto**, posti equidistanti tra loro e dalle pareti. L'illuminazione generale fornisce l'illuminamento richiesto ovunque e una completa flessibilità in termini di arredamento. L'aspetto generale può non essere gradevole e il consumo energetico è più elevato rispetto alle altre due tipologie di illuminazione di seguito riportate, perché il sistema non è progettato per le necessità specifiche dei locali.

2 Illuminazione localizzata, costituita da **apparecchi di illuminazione fissi, posti in prossimità di ogni postazione di lavoro**, che forniscono il necessario illuminamento del compito visivo più una distribuzione di luce sufficientemente ampia per le aree di passaggio. Paragonato all'illuminazione generale, il consumo energetico di questa tipologia è inferiore, ma c'è una minor flessibilità per il posizionamento delle postazioni di lavoro. L'illuminazione localizzata comprende anche luci decorative per l'esposizione di opere d'arte e dettagli architettonici.

3 Illuminazione locale, che include sia l'illuminazione che può essere **spostata insieme alle postazioni di lavoro** sia l'illuminazione generale per le aree di passaggio. I benefici sono: 1) posizionamento molto flessibile delle postazioni di lavoro, 2) miglior efficienza energetica rispetto alla sola illuminazione generale, e 3) possibilità di controllo da parte degli occupanti (alcune delle illuminazioni localizzate potrebbero essere condivise da più soggetti). L'illuminazione locale può ad esempio essere realizzata con lampade da tavolo, up-lighters e illuminazione incorporata nell'arredo, dove l'illuminazione a LED è facilmente integrabile perché di dimensioni ridotte.

La gran parte dei sistemi sono di illuminazione generale, il che permette flessibilità nel posizionamento delle postazioni di lavoro, ma comporta maggiori consumi energetici rispetto all'illuminazione localizzata o locale.

Diversi studi hanno mostrato [26] che in termini di prestazioni dell'utente e di preferenza, l'illuminazione con un certo grado di disomogeneità è più efficace. Apparecchi di illuminazione sospesi, con un flusso luminoso regolabile e solitamente inferiore, permettono maggiori risparmi energetici, riducendo la necessità di illuminazione generale. [27].

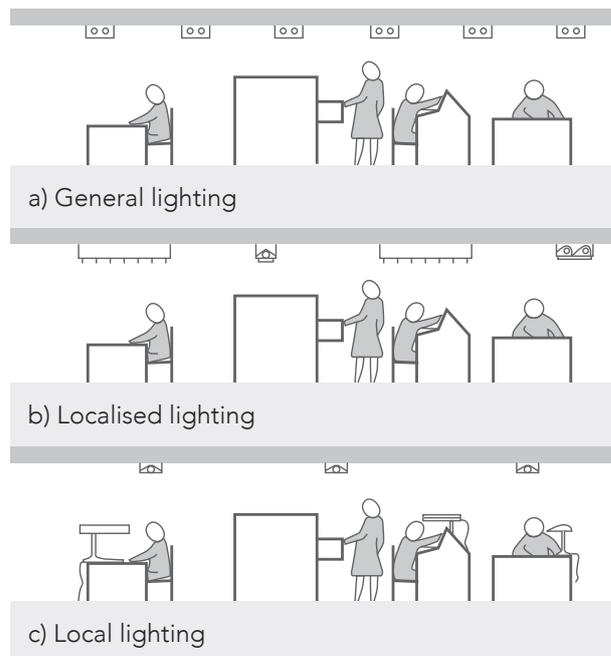


Figura 4 Tipologie di illuminazione interna [22]:

a) Generale, b) Localizzata e c) Locale.

2.5 Illuminamento di Ambienti Lavorativi Indoor

Lo standard "EN12464-1:2011, Luce e illuminazione – Illuminazione dei luoghi di lavoro – Parte 1: Ambienti lavorativi indoor", fornisce raccomandazioni per le soluzioni di illuminazione per la maggior parte degli ambienti lavorativi indoor, in termini di quantità e qualità dell'illuminazione e per le persone con una capacità visiva normale. Tutti i paesi europei sono membri del CEN e dovrebbero dunque seguire queste raccomandazioni.

Gli standard riportano i requisiti di illuminazione per differenti attività lavorative, caratteristiche del compito visivo - incluso l'uso del videoterminale, e la durata dell'attività. Vengono anche fornite raccomandazioni per una buona pratica di illuminazione legata alla sicurezza e alla salute.

Gli illuminamenti medi specifici per un compito specifico influenzano notevolmente il lighting design.

Gli standard distinguono tra area di lavoro/ del compito, area immediatamente circostante (almeno un'ampiezza di 0,5 m intorno all'area del compito) e area sullo sfondo (almeno 3 m di ampiezza adiacenti all'area circostante).

Tabella 1 Estratto dei requisiti raccomandati per l'illuminazione interna

Tipo di zona e attività	Illuminamento medio specifico (lux)	Abbagliamento massimo (UGR _L)	Uniformità di illuminamento minima (U _O)	CRI (Ra)
Ufficio: Scrittura, lettura, computer	500	19	0,40	80
Ufficio: Reception	300	22	0,60	80
Spazi commerciali: Aree di vendita	300	22	0,40	80
Edifici pubblici: Ingresso, hall	100	22	0,40	80
Edifici pubblici: Corridoi	100	25	0,40	80
Edifici pubblici: Sale conferenze	500	19	0,60	80
Scuole: Aule	300	19	0,60	80
Scuole: Corsi per adulti	500	19	0,60	80
Scuole: Disegno tecnico	750	16	0,70	80
Sanità: Illuminazione generale	100	19	0,40	80
Sanità: Esami e trattamenti	1000	19	0,70	90

UGR_L, U_O e CRI sono descritti nelle sezioni successive.

Si raccomanda che le proporzioni tra illuminamento dell'area di lavoro, delle immediate vicinanze e dello sfondo siano di 5 : 3 : 1.

L'illuminamento definisce la quantità di luce che cade su una superficie ed è misurato in lux (lx). Lo standard EN12464-1 include tabelle con i requisiti dettagliati per l'illuminamento di molte tipologie di aree indoor, di compiti e di attività. Alcuni esempi sono mostrati nella tabella 1.

Nel caso in cui l'area di lavoro non sia ancora definita o il proprietario dell'edificio voglia flessibilità, il progettista può scegliere tra 1) il migliore illuminamento nell'intera area di lavoro o 2) fornire postazioni di lavoro con illuminazione localizzata sul compito e avere un'illuminazione di base nel resto dell'area.

2.6 Uniformità dell'illuminazione

L'uniformità si riferisce alla regolarità dell'illuminazione che si diffonde sull'area di lavoro, sul pavimento e sui muri rispettivamente. L'illuminazione uniforme è particolarmente importante per le aree di lavoro. Se l'illuminazione è troppo irregolare, gli occhi degli occupanti continuano a compiere aggiustamenti involontari per i diversi livelli di illuminazione per cercare di mettere a fuoco gli oggetti. Ciò crea eccessivo stress e affaticamento visivo. Lo standard EN12464-1 specifica un criterio di progettazione aggiuntivo per evitare l'eccessiva irregolarità. In termini puramente matematici l'uniformità di illuminazione è il rapporto tra la minima e massima illuminazione in una data area. L'uniformità minima di illuminazione è

chiamata UO. Nel caso in cui il requisito di uniformità UO sia 0,6 e il requisito di illuminamento per l'area di lavoro sia 300 lx, l'illuminamento in ogni punto dell'area di lavoro dovrà essere almeno 180 lx.

La distribuzione di luce naturale in una stanza dotata di finestre sarà solitamente piuttosto irregolare. Ciò viene percepito come stimolante e positivo finché non riduce il comfort e la lettura su lavagne, schermi o videotermini. In caso di distribuzione troppo irregolare, tende e schermature solari agevolano il controllo dell'uniformità dell'illuminazione.

La direzione principale della luce determina la capacità di vedere la profondità, la forma e la consistenza di un oggetto o di una persona e dunque influenza la nostra capacità di stimare le distanze. La totale direzionalità della luce incidente è molto importante quando gli oggetti tridimensionali devono essere riconosciuti come tali.

L'illuminazione uniforme che proviene da "tutte" le direzioni, come l'illuminazione indiretta, non produce ombre e, come risultato, gli oggetti visibili sembrano piatti. Questo tipo di illuminazione si chiama illuminazione diffusa. L'illuminazione diretta crea ombre e i dettagli possono sparire. In generale, **la migliore illuminazione è composta da illuminazione diffusa e diretta.**

I progettisti possono scegliere varie tipologie di riflettori per illuminazione a LED, con diverse forme, colori e posizioni del corpo illuminante, che influiscono sull'uniformità della luce. Inoltre è possibile usare lenti per ottenere una diversa qualità della luce, ad esempio le lenti frosted creano un'illuminazione più uniforme ma diminuiscono la luminosità. È importante valutare tutte le opzioni prima di compiere una scelta.

2.7 Contrasto di Luminanza

Il contrasto di luminanza è il termine fotometrico che descrive ciò che vediamo ed è determinato dalla differenza nel colore e nella luminosità dell'oggetto in relazione allo sfondo, nello stesso campo visivo. Una progettazione illuminotecnica che prevede l'illuminazione di alcuni oggetti soltanto, mentre altri stanno in ombra, può fornire una nuova visibilità che è più facile da percepire.

Molti professionisti dell'illuminazione raccomandano che tra l'illuminazione generale e diretta ci sia una proporzione massima di 5:1 o inferiore, e che ci sia una proporzione massima di 10:1 tra i corridoi e le altre aree di circolazione.

La distribuzione di luminanza in una stanza è determinata dalle finestre, dalla posizione degli apparecchi di illuminazione, dalla distribuzione della luce e dalle superfici riflettenti nella stanza. Una distribuzione ben bilanciata di luminanza aumenta l'acuità visiva e la sensibilità al contrasto.

Generalmente, **un buon contrasto e una buona selezione del colore sono meglio di un illuminamento molto elevato**, perché il sistema visivo umano è più sensibile al contrasto che all'illuminamento elevato. Gli apparecchi di illuminazione possono essere diretti verso l'ambiente di lavoro, il docente, il cartello o altri importanti soggetti, ma senza aumentare l'illuminazione generale. **I benefici di un buon contrasto sono: impressione visiva maggiore (ammesso che non ci sia abbagliamento) e un basso consumo energetico.**

L'illuminazione può anche causare dei riflessi di interferenza sugli schermi dei computer. Lo standard EN 12464-1 specifica dei limiti di luminanza media per gli apparecchi di illuminazione, per evitare riflessi sugli schermi piatti. I limiti sono specificati per angoli di elevazione di 65° e oltre, e sono solitamente 1000 cd/m^2 o 1500 cd/m^2. Per attività critiche sullo schermo del computer il limite è posto a partire da 55° all-around.

2.8 Abbagliamento e Sicurezza foto-biologica

Si ha abbagliamento in caso di luminanza molto elevata o con contrasto di luminanza elevato. Spesso ciò è dovuto alla mancanza di schermatura di una finestra, a un riflesso o alla vista diretta delle sorgenti luminose LED negli apparecchi di illuminazione. Solitamente l'occhio si adatta a ogni tipo di condizione luminosa, ma se l'illuminazione dell'oggetto o dello sfondo è troppo elevata o il contrasto è troppo alto, la vista soffre di abbagliamento.

Vi sono due tipi di abbagliamento:

- **Abbagliamento debilitante** (*disability glare*), che incide sulla capacità di vedere ed è prodotto da alte luminanze in un ambiente a bassa luminanza, solitamente proveniente da sorgenti di luce puntiformi come fari luminosi puntati all'occhio dell'osservatore, o da sorgenti su ampie aree come un pannello LED luminoso.
- **Abbagliamento di tipo molesto** (*discomfort glare*), che si manifesta nella forma di discomfort visivo senza influenzare la capacità visiva. L'abbagliamento molesto è quantificato dai valori limite del tasso di abbagliamento unificato (*Unified Glaring Rate Limit*, UGRL), e vanno da UGRL 10 (non evidente) a UGRL 16 (fastidioso) fino a UGRL 28 (terribile). Lo standard EN 12464-1 raccomanda valori UGR limite per specifiche tipologie di locali e applicazioni (Vedi Tabella 1). L'abbagliamento molesto può causare una posizione di seduta ergonomicamente scorretta (per evitare l'abbagliamento), fatica e mal di testa.

Lo standard EN 12464-1 specifica inoltre un angolo minimo di schermatura in tutte le direzioni a seconda della luminanza della lampada. Per le installazioni d'interni l'abbagliamento disabilitante è raro mentre quello di discomfort può manifestarsi spesso.

Date le ridotte dimensioni delle luci LED e la loro corrispondente brillantezza, si raccomanda di essere consapevoli che l'abbagliamento può verificarsi o, peggio, causare danni agli occhi nel caso in cui l'utente guardi direttamente la sorgente di luce LED per lunghi periodi.

L'abbagliamento può essere evitato tramite:

- Progettazione illuminotecnica senza transizioni nette/contrastati
- Controllo della luce proveniente dalle finestre (ad esempio con sistemi oscuranti o tende leggere)
- Fornire all'edificio uno schermo fisso per il sole alto
- Controllo manuale degli schermi delle finestre (ad es. molte persone vogliono vedere la luce solare nei giorni invernali)
- Installazione di vetri riflettenti o assorbenti sulle finestre. I vetri colorati dovrebbero essere evitati perché riducono la luce e i colori chiari nelle giornate nuvolose
- Soffitti, pannelli e muri luminosi, (e.g. provvisti di uplighting con buona distribuzione della luce)
- Uso di luci soffuse nelle stanze con schermi
- Illuminazione diretta verso ciò a cui si sta lavorando
- Utilizzo di sorgenti luminose più ampie con una minore concentrazione di luce
- Utilizzo moderato di luci rivolte verso l'alto

- Utilizzo di diffusori e louveres negli apparecchi di illuminazione
- Schermatura delle lampade ad angoli visivi normali, con distribuzione uniforme della luce
- In caso di sospetto abbagliamento da una lampada, è possibile posizionare un piccolo specchio sul piano di lavoro: la lampada può essere spostata finché non è più visibile nello specchio.

In merito alla **sicurezza fotobiologica**, i raggi di luce blu penetrano nella cornea dell'occhio e sono diretti sulla retina dalle lenti. Questo fenomeno è noto come pericolo da luce blu (*blue-light hazard*). Secondo l'esperienza corrente, nessuna sorgente luminosa che emette luce bianca, utilizzata nelle applicazioni illuminotecniche generali, è considerata pericolosa per la retina in un adulto sano, ma le lampade speciali come ad esempio le lampade con alta intensità luminosa nello spettro del blu, devono essere considerate caso per caso. Le sorgenti luminose utilizzate dalle persone particolarmente sensibili, come ad esempio i bambini o gli adulti con alcune malattie oculari, richiedono ulteriori valutazioni approfondite.

Gli standard IEC 62471/CIE S009 e IEC/TR 62778:2014: Application of IEC 62471 specificano quattro gruppi di rischio (RGs o Risk Groups) [13]. Per garantire la sicurezza ottica fotobiologica, si raccomanda che le lampade LED e gli apparecchi di illuminazione ricadano nelle categorie RG0 o RG1 [1].

2.9 Temperatura di Colore e Tolleranza

I sistemi di illuminazione a LED forniscono diverse Temperature di Colore Correlate (*Correlated Colour Temperature, CCT*)

- **Bianco caldo vicino al giallo** (2700 – 3000 K) che crea un'atmosfera intima adatta per ambiente domestico, ristoranti e simili.
- **Bianco neutro** (intorno ai 4000 K) che è adatto agli ambienti di lavoro, che incrementa la produttività
- **Bianco freddo bluastr** (intorno ai 6500 K e oltre). I valori intorno ai 6500 K potrebbero essere usati quando c'è un mix di luce artificiale e naturale.

La scelta di un colore appropriato per una sorgente luminosa è largamente determinato dalla funzione della stanza da illuminare. Alcune ricerche hanno indicato che un'alta CCT è preferita per alti valori di illuminamento. Un'alta CCT è anche preferita nei climi caldi, mentre in quelli più freddi e in assenza di luce naturale la preferenza va a bassi valori di CCT (aspetto caldo).

Quando i chip LED vengono realizzati, alcune tolleranze di fabbricazione possono portare a differenze nei colori della luce. Dovrebbe essere posta particolare attenzione nel garantire piccole differenze di colore – specialmente per applicazioni di illuminazione in cui singole sorgenti luminose sono disposte vicine e possono essere viste contemporaneamente.

Dopo essere stati prodotti, i LED vengono testati e messi in classi di tolleranza. Questo processo è chiamato "classificazione di colore" (*colour binning*). Una classe di colore (ellisse di MacAdam) corrisponde ad una particolare area del diagramma cromatico CIE. La maggior parte delle persone non percepisce alcuna differenza di colore all'interno di una determinata ellisse di MacAdam. Alcune differenze di colore iniziano ad essere percepite per un'ellisse di MacAdam in 2 step, che è attualmente considerata come una buona pratica nell'illuminazione a LED [9].

Lo standard ANSI C78.377: 2015 "Specifications for the Chromaticity of Solid State Lighting Products" ("Specifiche cromatiche di prodotti di illuminazione allo stato solido") raccomanda di selezionare i CCT nominali specificati dai quadrati cromatici e dalle tolleranze Duv (vedi tabella 2 nel capitolo 5). Tecnicamente, la tolleranza cromatica è la distanza cromatica dal luogo Planckiano (corpo nero) e il CCT obiettivo. Questo metodo è raccomandato anche dalla IEA 4E SSL [1] perché il metodo alternativo che prevede l'utilizzo degli step di MacAdam (ellissi riferite alle regioni sul diagramma cromatico CIE) è più complicato da misurare in laboratorio ed è una misura meno dettagliata.

L'illuminazione a LED dotata di controllo è in grado di fornire variazioni di luminanza e regolazione delle temperature di colore correlate. I sistemi migliori sono in grado di fornire la stessa variazione del ciclo luminoso giornaliero. Consigli su questo tipo di controllo sono forniti nel capitolo 4.

2.10 Resa di colore

La resa di colore definisce la capacità di una luce bianca di restituire fedelmente il colore degli oggetti. Essa è espressa dall'indice di resa cromatica generale (*Colour Rendering Index, CRI*) con valori da 0 a 100, dove 100 è il migliore (100 è fornito dalla luce naturale).

Una resa di colore eccellente è fornita dalle lampade con un CRI maggiore di 90, necessario ad esempio nelle aree cliniche negli ospedali, nelle case di cura, nei musei, nei teatri, nei luoghi di ispezione/controllo/

selezione cromatica e in alcuni tipi di negozi. In generale, un CRI sopra 80 è considerato sufficiente per una valutazione cromatica accurata nella maggior parte degli ambienti interni.

Lo standard EN 12464-1 specifica i requisiti di resa per praticamente tutti i tipi di compiti visivi per CRI (Ra). La tabella 1 mostra informazioni concrete in merito ai livelli di CRI raccomandati con un minimo di 80 per quasi tutti i tipi di stanze e applicazioni eccetto CRI 90 per i "Servizi sanitari: Esami e trattamenti".

Il CRI è definito dal CIE come la media degli indici di resa di colore per otto colori test con bassa saturazione cromatica. Tuttavia esistono 15 indici di colore. Le ricerche sui LED hanno stabilito che l'indice R9 (per il colore rosso) è molto importante per la resa di colore delle lampade LED. Si raccomanda di usare il requisito IEA 4E SSL [1] per $R9 > 0$.

Generalmente, nella progettazione illuminotecnica, è importante tenere presente che la resa di colore fornita da una sorgente luminosa può essere ridotta dalle ottiche, dai vetri e dalle superfici colorate.

2.11 Vita utile

I LED ad alta qualità possono mantenere le loro emissioni luminose per decine di migliaia di ore. Il driver elettronico integrato, tuttavia, può mostrare un guasto improvviso, pregiudicando il funzionamento del sistema di illuminazione. Nel calcolo della vita utile va quindi considerato l'intero sistema.

La vita utile della lampada è definita come il periodo durante il quale una certa frazione del numero totale di lampade (By) fornisce più di una predefinita percentuale del flusso luminoso nominale (Ix), sotto condizioni di test standard, ad esempio L70B50 > 25.000 ore significa che non più del 50% delle lampade dà meno del 70% del flusso luminoso nominale dopo essere state usate per 25.000 ore.

La vita utile nominale dovrebbe essere pesata con il prezzo, tenendo presente che per le sorgenti luminose a LED con una vita utile nominale molto alta, potrebbe essere utile prima della fine della loro vita sostituirle con nuovi prodotti LED con efficacia luminosa sostanzialmente più alta – al momento, ogni 6 mesi circa compaiono sul mercato prodotti LED con una migliore efficienza energetica.

2.12 Temperatura ambiente

Le prestazioni degli apparecchi di illuminazione a LED sono influenzate dalla temperatura dell'ambiente in cui si trovano. La temperatura ambiente nominale (t_a) è la massima temperatura sostenuta alla quale l'apparecchio di illuminazione è in grado di funzionare, in condizioni di funzionamento normali.

La temperatura t_q (qualità) indica la massima temperatura ambiente nominale ammessa per un determinato livello di prestazione (inclusa la vita utile nominale e le caratteristiche di illuminazione). Più di un valore di t_q può essere dichiarato, a seconda delle diverse caratteristiche prestazionali.

Quando $t_a = 25\text{ °C}$, non è richiesta nessuna dichiarazione per l'apparecchio di illuminazione; ogni altra temperatura ambiente nominale va dichiarata (lo stesso vale per t_q) [14]. A causa del calore estivo e dell'aria ferma nei pressi del soffitto, la temperatura ambiente può aggirarsi intorno ai 30 °C in alcuni periodi, per alcune applicazioni. Per questa ragione, ad esempio, alcuni comuni danesi in generale forniscono 30 °C come temperatura ambiente.

2.13 Manutenzione

Nelle nuove installazioni tutte le superfici degli apparecchi di illuminazione sono pulite, le lampade emettono appieno il flusso luminoso e la superficie dell'apparecchio di illuminazione e della stanza hanno ottime proprietà di riflessione.

Col passare del tempo, lo sporco si raccoglie sugli apparecchi di illuminazione e sulle superfici della stanza. Con l'età, l'efficacia luminosa della lampada si deteriora e i diffusori in plastica, i controllori prismatici e i riflettori si scoloriscono. Il deprezzamento luminoso degli apparecchi di illuminazione dipende dal grado di sporcizia dell'ambiente e dal design dell'apparecchio di illuminazione, ad esempio gli uplighters sono più sensibili al deprezzamento da sporco rispetto ai down-lighters.

Particolare importanza riveste il grado di protezione contro l'ingresso di sporco nell'apparecchio di illuminazione. Dopo 3 anni, il deprezzamento da sporcizia di un apparecchio di illuminazione può variare dal 10% di riduzione di emissione luminosa in impianti chiusi posizionati in ambienti puliti, a più di 60% in impianti aperti che si trovano in aree sporche [28].

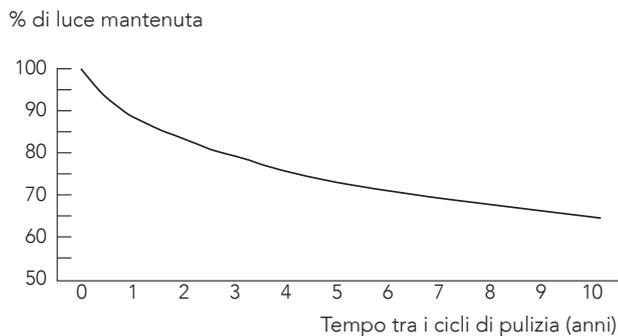


Figura 5 Esempio di perdita di luce prevista derivante da costruzione sporca, per pannelli troffer in un ambiente per uffici pulito [23]

La EN 12464-1 prescrive che nello sviluppo di una soluzione di illuminazione sia necessario utilizzare un fattore di manutenzione per tenere conto della riduzione dell'emissione luminosa. Il fattore di manutenzione ha un grande impatto sull'efficienza energetica e dipende dalle caratteristiche di manutenzione della lampada e del sistema di controllo, dall'apparecchio di illuminazione, dall'ambiente e dal programma di manutenzione.

L'emissione luminosa di un apparecchio di illuminazione dopo un certo periodo di tempo, indicata come frazione rispetto all'emissione in condizioni di pulizia, è noto come **fattore di manutenzione dell'apparecchio di illuminazione** (*Luminaire Maintenance Factor, LMF*).

L'emissione relativa di un apparecchio di illuminazione dopo uno specifico numero di ore è noto come **fattore di manutenzione del flusso luminoso della lampada** (*Lumen Lamp Maintenance Factor, LLMF*).

Le installazioni luminose sono progettate sulla base del livello di illuminamento richiesto per la specifica applicazione definita negli standard e nelle raccomandazioni. Un valore adeguato di illuminamento viene scelto per assicurare che una minima illuminazione sia fornita durante l'intera vita utile delle lampade. La manutenzione di molte installazioni luminose è spesso scarsa, per cui i progettisti adottano solitamente un deprezzamento stimato del flusso luminoso della lampada pari a circa il 20-30%.

All'inizio del ciclo di manutenzione, quando l'emissione luminosa è sopra i requisiti, la luce in eccesso potrebbe essere tuttavia limitata mediante l'utilizzo di dimmer, consentendo di risparmiare energia.

Un'ulteriore soluzione è la selezione di lampade a LED o di apparecchi di illuminazione in grado di erogare un flusso luminoso costante durante l'intera vita utile tramite regolazione della corrente del driver.

La pulizia degli apparecchi di illuminazione a LED dovrebbe essere effettuata ad intervalli regolari predefiniti, in concordanza con i requisiti del produttore, le condizioni ambientali circostanti e la valutazione IP dell'apparecchio di illuminazione. Misurazioni di illuminazione dovrebbero essere condotte in connessione con la pulizia.

2.14 Sicurezza

I prodotti di illuminazione a LED devono essere sicuri sia al momento dell'installazione sia in uso, fino al termine delle loro vita utile.

Un criterio chiave per definire e selezionare i prodotti e i sistemi di illuminazione a LED è assicurarsi che siano marcati CE, come richiesto per il commercio nel mercato interno europeo.

Gli standard di sicurezza IEC sono diventati requisiti di sicurezza obbligatori in Europa nelle norme EN, incluse EN 60061, EN 60598, EN 61347, EN 62031, EN 62471, EN 62560 e EN 62663-1. Questi sono indicati in varie direttive europee incluse quelle relative ai requisiti di Bassa tensione, compatibilità elettromagnetica (EMC) e Ecodesign, dove la conformità è indicata sui prodotti di sistemi a LED tramite la marcatura CE.

Per aiutare ad assicurare compatibilità, disponibilità e supporto futuri, IET UK [9] raccomanda che i progettisti e gli installatori verifichino la loro catena di fornitura e considerino affidabili i marchi che siano in grado di dimostrare un approccio responsabile alla qualità, alla disponibilità del prodotto, al continuo supporto e garanzia.

Andrebbe verificato che vengano fornite le Dichiarazioni di Conformità CE e i fogli di verifica, relativi al corretto prodotto e tipo di prodotto. Si raccomanda di richiedere le copie ufficiali dei documenti di certificazione CE per tutti i prodotti LED, a fronte di diversi prodotti contraffatti marcati CE attualmente in circolazione.

Una sicurezza aggiuntiva potrebbe essere inoltre garantita richiedendo che il produttore fornisca risultati di test indipendenti svolti da terze parti sui propri prodotti.

3. Efficienza energetica e Life Cycle Costs



Oltre a progettare un sistema di illuminazione con la giusta qualità di illuminazione è anche importante selezionare il sistema più efficiente dal punto di vista energetico.

Questo capitolo include sezioni riguardanti:

- L'efficacia luminosa per l'intero sistema di illuminazione
- La riqualificazione degli apparecchi di illuminazione
- Il passaggio a nuovi apparecchi di illuminazione a LED
- Life cycle cost e tempo di ritorno dell'investimento

3.1 Sistema di illuminazione complessivo

In questo documento, il "Sistema di illuminazione complessivo" è definito come la somma dell'apparecchio di illuminazione, delle sorgenti luminose e dei driver/ballast (chiamato anche meccanismo di controllo), dove diversi tipi di controlli di illuminazione potrebbero essere aggiunti. Tuttavia in altri contesti, come nello studio preparatorio EU DG ENER Lot 37 [25], il "sistema di illuminazione" include anche la disposizione geometrica e la stanza con la riflettanza delle pareti, del soffitto ecc.

Un apparecchio di illuminazione tradizionale comprende i seguenti componenti:

- 1 **Corpo**, detto anche **troffer**, che contiene tutte le parti e il **ballast/driver** (alimentatore), se non è direttamente integrato nelle lampade (tipicamente il caso delle lampade LED nel settore terziario).
- 2 **Riflettori** per indirizzare la luce nella direzione desiderata.
- 3 **Lampade** (chiamate anche sorgenti luminose) e il loro rispettivo supporto socket.
- 4 **Schermi** (lenti, lamelle, o similari) per ridurre il discomfort da abbagliamento e spesso per controllare la distribuzione dell'output luminoso.

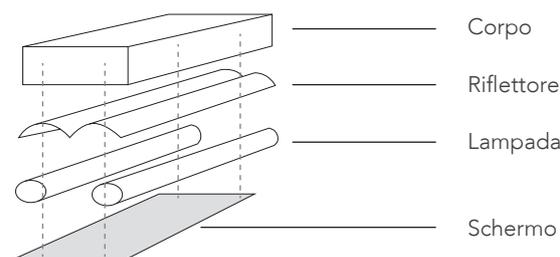


Figura 6 Componenti di un apparecchio di illuminazione

L'efficienza di un apparecchio di illuminazione dipende dal LOR (*Lumen Output Ratio*):

LOR = Lumen totali emessi dall'apparecchio di illuminazione / Lumen totali emessi dalla lampada

Esso dovrebbe essere dettagliato dall'ULOR (*Upper light Output Ratio*, rapporto di emissione luminosa superiore) e dal DLOR (*Downward Light Output Ratio*, rapporto di emissione luminosa inferiore).

L'efficacia luminosa totale del sistema di illuminazione è definita dal LEF (*Luminaire Efficiency Factor*, fattore di efficienza dell'apparecchio di illuminazione), espresso in lm/W:

LEF = Efficacia della sorgente luminosa * LOR * Efficienza del driver.

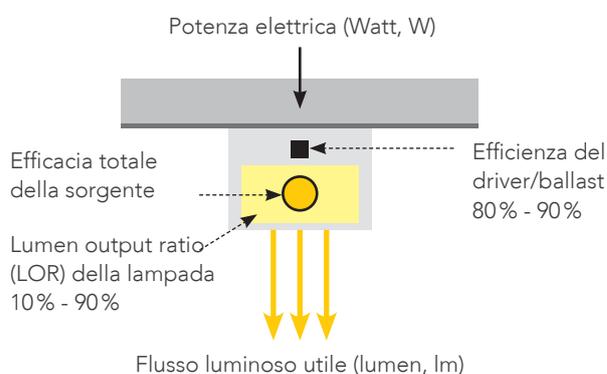


Figura 7 Efficacia totale del sistema di illuminazione e flusso luminoso utile

In alcuni contesti il LEF è chiamato efficacia (luminosa) dell'apparecchio di illuminazione [lm/W], con simbolo η_L .

Per l'illuminazione da lavoro, non è sufficiente considerare il LEF, ma è necessario considerare anche la distribuzione dell'intensità luminosa prodotta dall'apparecchio di illuminazione. Ad esempio, una lampada o modulo LED naked omnidirezionale con LOR 100% potrebbe fornire molto meno illuminamento su una superficie specifica rispetto ad un apparecchio di illuminazione ben studiato con LOR 80%.

Per le nuove costruzioni o per le installazioni di un nuovo sistema di illuminazione sono specificati diversi requisiti di efficienza. I requisiti più comuni sono:

- **Massimo valore di W/m^2** per la progettazione di nuove installazioni incluse lampade, ballast/drivers e meccanismi di controllo (sempre in conformità ai livelli di illuminamento della EN 12464-1:2011) [3,6].
- **Massimo valore di $\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ anno})$** utilizzando la metodologia e i criteri di consumo energetico dello standard "EN 15193 Energy performance for buildings – Energy requirements for lighting" comprensivo dell'indicatore numerico di energia per illuminazione (*Lighting Energy Numeric Indicator, LENI*) espresso in $\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ anno})$. Alcuni Paesi hanno legislazioni nazionali che mettono in relazione i requisiti con i tempi di funzionamento (ad esempio la Polonia). Nel caso in cui le ore di funzionamento annuali non siano note, l'Appendice G della EN 15193 fornisce valori standard per le diverse tipologie di edificio.

3.2 Riqualficazione degli apparecchi di illuminazione a tubi fluorescenti

I tubi fluorescenti con un ballast elettromagnetico possono essere ammodernati con lampadine a LED a due estremità se il produttore delle lampadine a LED da ammodernare fornisce delle istruzioni e una dichiarazione di responsabilità per la specifica combinazione di apparecchio di illuminazione e lampadina ammodernata. Seguendo queste istruzioni potrebbe essere necessario rimuovere o sostituire lo starter esistente. A seconda delle istruzioni e dei requisiti nazionali di sicurezza, potrebbe non essere necessario che il lavoro venga svolto da un elettricista.

Nel caso in cui anche un apparecchio di illuminazione che includa dei tubi fluorescenti con ballast elettromagnetici abbia bisogno di essere sottoposto a una modifica tecnica (conversione), ad esempio nella forma di

sostituzioni o modifiche del meccanismo di controllo e/o del cablaggio interno, queste alterazioni devono essere svolte da un elettricista, assicurandosi che si attengano agli appropriati standard operativi e di sicurezza e che soddisfino i requisiti necessari di compatibilità elettromagnetica. In questo caso il marchio originale CE deve essere rimosso e sostituito con un nuovo marchio CE.

Per questo tipo di riqualficazione, la distribuzione di illuminazione cambia. Paragonato al flusso proveniente dal tubo fluorescente, il tubo ammodernato LED solitamente emette solo il 50-60% con una radiazione in un beam angle più piccolo come 135-160°, dove il tubo fluorescente irradia a 360°. A seconda dell'apparecchio di illuminazione, dalla geometria dell'installazione e dall'applicazione, il beam angle più piccolo del tubo a LED di solito compensa il flusso diretto minore sotto l'apparecchio di illuminazione fornendo la quantità richiesta di illuminazione. Ad ogni modo, potrebbero sorgere altri problemi in una riqualficazione a LED, ad esempio per via del calore nell'apparecchio di illuminazione e/o perché i calcoli illuminotecnici originali non sono più applicabili, in quanto la geometria dell'apparecchio di illuminazione e il riflettore forniscono valori ottimali di distribuzione della luce e di riflettanza nella stanza soltanto in caso di impiego di tubo fluorescente.

Nel caso in cui la distribuzione esterna dell'illuminazione dall'apparecchio di illuminazione sia importante, la soluzione di riqualficazione a LED spesso non è accettabile, in quanto il cliente potrebbe rilevare nella stanza delle zone scure, con troppa poca illuminazione. Ciò potrebbe essere compensato spostando gli apparecchi di illuminazione, oltre ad installare ulteriori apparecchi di illuminazione; tuttavia, molto probabilmente questo tipo di riqualficazione non sarebbe più economicamente competitivo.

In generale, si raccomanda di riqualficare l'intero apparecchio di illuminazione, invece di limitarsi alla sola sorgente luminosa, seguendo i consigli della prossima sottosezione. Questa soluzione garantirà i massimi risparmi energetici, grazie all'uso di un apparecchio di illuminazione a LED dedicato che fornisce una distribuzione della luce e una riflettanza nella stanza ottimali per la sorgente di luce LED. Questa soluzione apre la via anche a molte opzioni di controllo per l'illuminazione a LED.

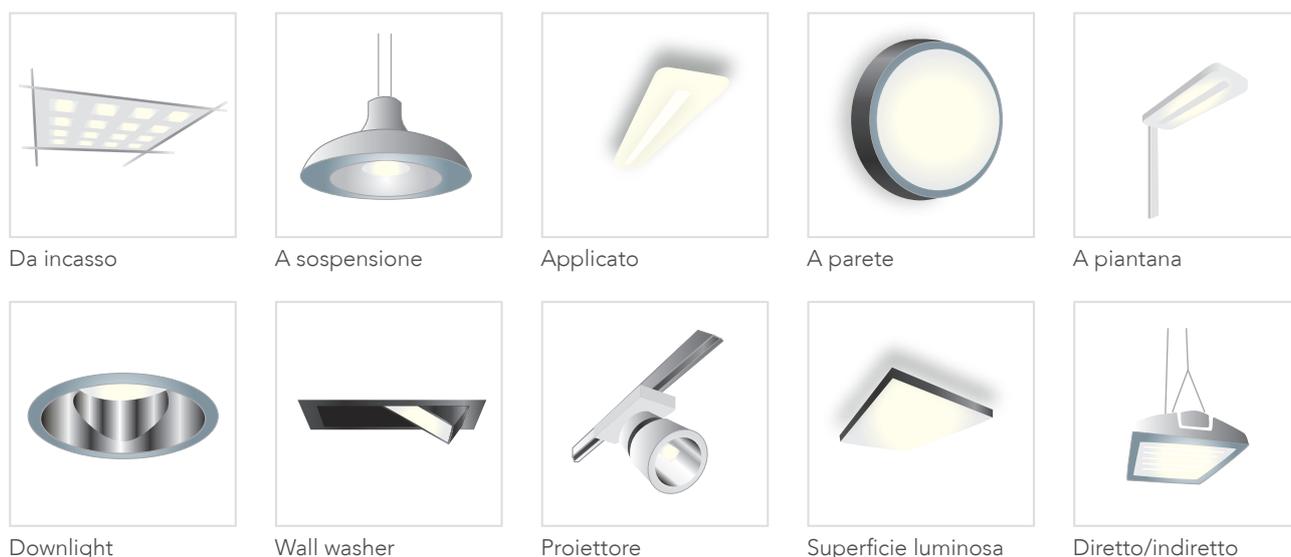


Figura 8 Diversi tipi di apparecchi di illuminazione da interni

3.3 Selezione di apparecchi di illuminazione a LED

Avendo come obiettivo la selezione di apparecchi di illuminazione dotati sia di una buona qualità di illuminazione sia di un'alta efficienza energetica, l'installatore deve considerare e soppesare una certa quantità di parametri:

- Aspetto
- Distribuzione di luce necessaria
- Necessità di combinazione di luce diretta e indiretta?
- Necessità di direzionare la luce con dei riflettori?
- Selezione di un tipo appropriato di apparecchio di illuminazione che garantisca il controllo del bagliore, la necessaria distribuzione dell'illuminamento (lux) e l'essere il più efficiente possibile a livello energetico.
- Necessità di un controllo dell'illuminazione e quale tipi di controlli siano necessari?
- Facilità di manutenzione che includa resistenza allo sporco, pulizia, sostituzione di componenti, design modulare e riparazioni.

3.4 Life Cycle Cost e tempo di ritorno dell'investimento

L'investimento spesso elevato per i sistemi di illuminazione a LED dovrebbe, quando possibile, essere giustificato da un calcolo dei costi sull'intero ciclo di vita (*Life Cycle Cost*, LCC).

LCC = Investimento economico (progettazione illuminotecnica, sistema di illuminazione, controlli, installazione)
 + costi di funzionamento (consumi elettrici)
 + costi di manutenzione (pulizia e sostituzione delle sorgenti luminose e/o dei driver)
 – eventuale contributo economico legato al risparmio energetico conseguito

LCC =

$$n \times (C_L + C_I) + \frac{(n \times L_p \times P_L \times C_E)}{1000} + a \times n \times \frac{L_p}{L_L} \times C_{m1} + C_{m2} - W \times C_T$$

- n Numero di apparecchi di illuminazione
- C_L Prezzo per apparecchio, incluse le sorgenti luminose
- C_I Prezzo di installazione per ciascun apparecchio
- P_L Potenza per ciascun apparecchio, incluse le sorgenti luminose e i driver/ballast
- C_E Prezzo dell'energia elettrica
- C_T Contributo economico legato al risparmio energetico
- W Risparmio di energia elettrica annuale rispetto al precedente sistema di illuminazione
- a Costante con valore "1" se $L_L < L_p$ oppure con valore "0"
- L_L Vita utile della sorgente luminosa
- L_p Vita utile di progetto (tipicamente la vita utile della nuova sorgente luminosa a LED)
- C_{m1} Costo per sostituire le sorgenti luminose nell'apparecchio di illuminazione
- C_{m2} Altri costi di illuminazione nella vita utile di progetto

I costi di acquisto sono solitamente più elevati per i sistemi di illuminazione a LED rispetto ai sistemi di illuminazione tradizionale, mentre i costi operativi e di manutenzione sono inferiori. La stima del LCC può

giustificare l'investimento iniziale, quando si considerano i costi e i risparmi durante il ciclo di vita del sistema d'illuminazione. I calcoli LCC dovrebbero includere parametri come il costo della manodopera, i costi energetici, il prezzo d'acquisto, il ciclo di vita stimato degli apparecchi di illuminazione, i costi di manutenzione (lavoro per pulire un apparecchio di illuminazione nell'ambito di una pulizia complessiva, lavoro per riparare un apparecchio di illuminazione, la frequenza di pulizia dell'apparecchio di illuminazione, ecc.).

Per un progetto di riqualificazione a LED, un calcolo del tempo di ritorno semplice dell'investimento (*simple payback period*) è spesso una misura sufficiente dei costi del ciclo di vita:

$$\text{Tempo di ritorno semplice (anni)} = \frac{\Delta IC}{\Delta OC + \frac{\Delta MC}{L_p/h}}$$

- ΔIC Differenza nei costi di investimento
 ΔOC Differenza nei costi di funzionamento annuali
 ΔMC Differenza nei costi di manutenzione nella vita utile di progetto
 L_p Vita utile di progetto
 h Ore di funzionamento annuali
 (L_p/h) Vita utile di progetto in anni

Il tempo di ritorno semplice non include il tasso d'interesse annuale, il che rende meno affidabile la valutazione se il tasso d'interesse è alto e/o la vita utile di progetto è maggiore di 5 anni. Il tempo di ritorno attualizzato può essere calcolato cumulando i risparmi attualizzati. L'anno per il quale i risparmi attualizzati cumulati sono uguali a ΔIC definisce il periodo di ritorno dell'investimento.

$$\text{Risparmio attualizzato all'anno } n = \text{risparmio annuale} / (1 + i)^n$$

- i Tasso di sconto
 n anno nella vita utile di progetto

In alternativa, il costo sul ciclo di vita può essere calcolato usando per esempio uno dei seguenti approcci:

1 Il metodo del valore attuale netto, come descritto dal CIE 115:2010 Technical Report, p. 24. [CIE] che include l'utilizzo del valore attualizzato dei risparmi annuali.

2 Il metodo dei costi annuali medi, come descritto dal CIE 115:2010 Technical Report, p. 24. [CIE].

3 Il metodo descritto dal Requisito ID:10677:1 dell'Agenzia Nazionale Svedese per gli appalti pubblici (Uphandlings myndigheten) [UM].

4. Controllo dell'illuminazione



L'illuminazione copre una larga parte dei consumi elettrici nel settore dei servizi. Il tempo di funzionamento dell'illuminazione è spesso elevato e costante. L'implementazione di diverse modalità di controllo della luce è benefica e può portare a notevoli risparmi energetici. In questo capitolo sono riportate informazioni e linee guida su strategie di controlli, uso della luce naturale, diversi tipi di controlli e sensori, LED capability, smart lighting e illuminazione antropocentrica.

4.1 Scelta di una strategia di controllo

Il controllo luminoso può essere fornito da:

- Controllo manuale utilizzando interruttori e dimmer locali
- Controllo automatico utilizzando timer, sensori di occupazione e rilevatori fotoelettrici di luce naturale
- Una combinazione di controlli manuali e automatici

La figura 9 fornisce un metodo per selezionare una strategia di controllo in 4 passaggi, controllando i seguenti aspetti della situazione iniziale e la tipologia d'uso dell'edificio e della stanza [21]:

- 1 Disponibilità della luce naturale
- 2 Profilo di occupazione
- 3 Numero di occupanti
- 4 Tipologia di occupazione:
 - Occupazione variabile, in cui gli occupanti passano parte del loro tempo nell'ambiente
 - Periodi di permanenza relativamente brevi, intermittenti e programmati (ad esempio aula scolastica)
 - Occupazione a tempo pieno, in cui gli occupanti sono nell'ambiente per l'intera durata della giornata lavorativa
 - Occupazione intermittente per un'area visitata solo occasionalmente, per brevi periodi di tempo.

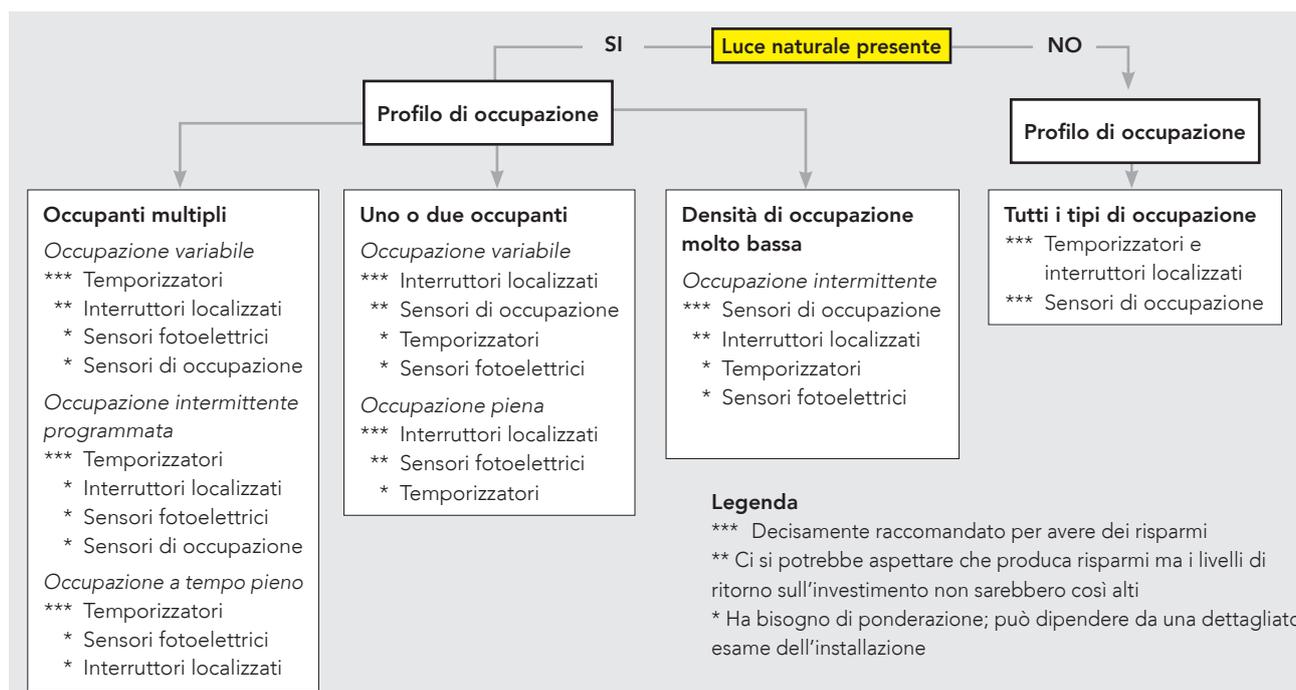


Figura 9 Scelta di una strategia di controllo

4.2 Uso della luce naturale

La luce naturale è considerata riposante, in quanto fornisce un'illuminazione migliore rispetto alla luce artificiale e colori più confortevoli a causa del continuo mutare del livello di luminanza, direzione e composizione spettrale della luce naturale [32]. La luce naturale crea ambienti interni più salubri [si veda la sezione 4.4 sull'illuminazione antropocentrica] e più confortevoli per gli occupanti, migliorando la prestazione lavorativa e la produttività [31].

Il potenziale di risparmio energetico che si ottiene utilizzando la luce naturale per l'illuminazione degli edifici dipende dall'architettura dell'edificio (ad esempio le dimensioni delle finestre e la trasmissione luminosa attraverso il tipo di vetro), dagli edifici e dalla vegetazione circostanti, dalla latitudine geografica e dalle condizioni meteorologiche.

In alcuni edifici sembra ci si sia dimenticati che le finestre sono fortemente gradite per via della luce naturale e del contatto visivo verso l'esterno che sono in grado di fornire. Tuttavia, è importante assicurarsi che le finestre non causino discomfort visivo (abbagliamento) o discomfort termico [30], o una perdita di privacy. Per superare queste insidie, le diverse opzioni di illuminazione naturale devono essere valutate nelle fasi iniziali della progettazione di un edificio.

Un approccio integrato che consideri l'involucro dell'edificio e il sistema di illuminazione fornirà maggiori risparmi energetici e maggiore comfort rispetto alla pratica convenzionale non integrata, in cui gli architetti responsabili dell'involucro sembrano esplorare raramente con i propri consulenti illuminotecnici le possibilità di piena integrazione dei sistemi finestrati che ammettono la luce naturale [15 e 16].

Negli edifici nuovi, l'utilizzo ottimale della luce naturale che porta a risparmi energetici e ad alti livelli di comfort richiede che l'involucro dell'edificio e il sistema di illuminazione siano progettati insieme.

La realizzazione dell'intero potenziale di risparmio energetico ottenibile tramite luce naturale richiede un buon controllo dell'illuminazione artificiale. Spesso i sistemi semplici sono piuttosto efficaci. Alcuni studi hanno dimostrato [35] che un occupante sarebbe più propenso ad accendere le luci se proviene da uno spazio più luminoso rispetto a quando proviene da un ambiente buio. Dato che l'accensione manuale è il sistema di controllo dell'illuminazione più comune,

un modo semplice per risparmiare energia potrebbe essere verificare che la luminosità nei corridoi sia sostanzialmente minore delle stanze nelle quali si lavora. Alcuni Paesi hanno regolamenti nazionali che richiedono controllo della luce naturale, ad esempio la Danish Building Regulation [24] richiede che in caso ci sia luce naturale sufficiente, le aree di lavoro (uffici, etc.) e le aree di accesso (ad esempio i corridoi) devono essere fornite di **controlli automatici di luce naturale**.

Per convenzione, le finestre verticali sono la fonte più comune di luce naturale. Per la maggior parte dei compiti visivi negli edifici commerciali, una finestra di superficie di circa il 20% dell'area del piano fornisce un'adeguata luce naturale a una profondità di circa 1,5 volte l'altezza della stanza [21].

La pratica di massimizzare le aree delle finestre spesso prevale come soluzione per aumentare la quantità di luce naturale. Ad ogni modo, questa pratica può contrastare le capacità di risparmio energetico nell'area, richiedendo di conseguenza più luce artificiale per bilanciare l'illuminazione dell'ambiente [21] o sistemi complessi per ridirezionare la luce come *light shelves*, oscuranti riflettenti, soffitti riflettenti e/o strutturati [38]. In conclusione, **una superficie di finestra troppo ampia può condurre alla necessità di oscuranti che reindirizzino la luce e soffitti strutturati.**

In spazi con finestre laterali, l'illuminazione deve essere controllata a file parallele alle finestre, così che le file possano essere spente o accese individualmente.

I sistemi di luce naturale semplici (ad esempio gli operatori di tetto e facciata) sono spesso più efficaci dei sistemi di facciata avanzati, che cercano di dirigere la luce naturale diffusa in profondità all'interno dell'edificio attraverso l'aggiunta di superfici riflettenti [30].

Le prestazioni dei sistemi di luce naturale variano a seconda della manutenzione e della durabilità dei componenti. La polvere, la condensa o il deterioramento della superficie riducono velocemente l'efficienza ottica, a volte di più del 50% [30].

L'uso di lucernari orizzontali offre approssimativamente tre volte la quantità di luce naturale di quella delle finestre verticali della stessa dimensione [21]. I lucernari possono essere posizionati più vicino al centro di un'area e dunque offrono una maggiore distribuzione di luce uniforme per tutto lo spazio. Ad ogni modo, i lucernari orizzontali accumulano più luce e calore in estate che in inverno, cosa che generalmente contrasta

con le condizioni desiderate. Di conseguenza, lucernari verticali o sub-verticali, come sopra-luce e lucernari verticali, sono utilizzati più spesso.

Lucernari verticali o quasi verticali progettati secondo l'angolo zenitale del sole possono regolare la quantità di luce naturale ostruendo la luce naturale diretta in estate, e facendo entrare e riflettendo la luce solare nell'area in inverno.

I condotti luminosi forniscono illuminazione degli ambienti interni tramite eliostati, che concentrano la luce tramite specchi e lenti, e la ridirezionano virtualmente verso qualsiasi spazio all'interno dell'edificio tramite condotti o cavi a fibra ottica. In aggiunta, i condotti di illuminazione sono molto vantaggiosi, considerando che trasmettono luce senza trasmettere calore [21] [31].

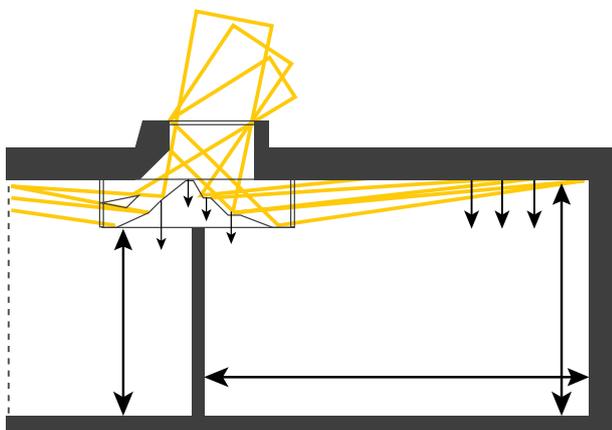


Figura 10 Esempio di lucernario che separa e ridireziona la luce naturale in ingresso sul piano del soffitto in due uffici ciechi separati [33]

4.3 Controlli manuali

In zone ad alta occupazione, gli interruttori localizzati con livelli di illuminazione variabili sono preferibili. Alcune ricerche in uffici open space hanno mostrato

notevoli variazioni nelle preferenze degli utenti in termini di illuminazione, con alcuni occupanti che accendono la luce in quasi qualsiasi condizione e altri che lo fanno solo quando è realmente necessario.

I controlli individuali producono tipicamente risparmi energetici sensibilmente maggiori rispetto ai controlli centralizzati per l'intero spazio, con un solo interruttore.

Il comando localizzato può essere implementato in diversi modi, con diversi gradi di complessità e tecnicità:

- Controlli manuali
- Controlli remoti infrarossi hand held
- Controlli tramite una rete interna collegata ad un sistema di controllo centralizzato [18].

La facilità d'uso e la velocità di operatività influiscono sul modo in cui gli occupanti utilizzano i controlli, ad esempio dove i controlli sono difficili da usare, gli occupanti sceglieranno condizioni di illuminazione che minimizzano la necessità di controlli di illuminazione, cioè, solitamente, alti livelli di illuminamento.

Riguardo i controlli di gruppi di lampade, una regola del pollice è che il numero di interruttori in uno spazio non sia minore della radice quadrata del numero di lampade. Quindi 16 lampade richiedono almeno 4 interruttori.

4.4 Controlli automatici

I controlli di illuminazione automatici - con dispositivi di esclusione manuali - offrono maggiori opportunità per migliorare le prestazioni, la soddisfazione degli occupanti e l'efficienza energetica.

Tuttavia, i sistemi a volte si comportano in modo errato a causa di un'attenzione insufficiente posta nel prevedere come le persone reagiranno e useranno le opzioni di controllo [32] [37]. I problemi sorgono frequentemente perché la tecnologia stessa è considerata la soluzione, senza sufficiente comprensione o analisi di come il personale gestionale, gli occupanti, i visitatori e altri utenti (come il personale delle pulizie) reagiranno ad esso e di come lo useranno.

Uno studio BRE [34] ha indicato che alti livelli di soddisfazione da parte degli utenti sono di solito associati con l'installazione di alti livelli di controllo locale, alta consapevolezza dei controlli e facilità di utilizzo.

Ci sono tre modi principali di implementare i controlli automatici:

1 Sistemi di controllo centralizzati (sistemi di controllo di illuminazione Bus-Based) che mirano alla regolazione dell'illuminazione in diverse stanze, un piano o l'intero edificio. Apparecchi di illuminazione, sensori e computer sono collegati ad una rete. Un computer dedicato o un building management system controlla gli apparecchi di illuminazione. L'accensione e/o il dimmeraggio possono essere regolati in base all'ora, alla luce naturale e all'occupazione. Gli apparecchi di illuminazione possono essere collegati in gruppi o controllati in sequenze particolari. Il periodo di tempo in cui una lampada è accesa può essere monitorato, il che fornisce importanti informazioni di gestione in merito ai consumi energetici e alla manutenzione. Per ragioni di sicurezza, l'illuminazione di emergenza non deve essere inclusa nel sistema di controllo centralizzato dell'edificio [29].

2 I sistemi di controllo in stand-alone sono simili ai sistemi centralizzati, ma sono dedicati al controllo dell'illuminazione solo in una stanza o addirittura solo in parti di una stanza.

3 Gli apparecchi di illuminazione intelligenti hanno i propri sensori di controllo che possono segnalare un'accensione, una regolazione o altro. Il controllo può essere scavalcato con un controllore hand-held a infrarossi. Gli apparecchi di illuminazione possono essere programmati per fornire un illuminamento costante lungo tutto il ciclo di manutenzione dell'installazione. Il livello di illuminamento e il tempo di ritardo, che interviene quando il sensore di occupazione smette di registrare movimenti, può essere aggiustato manualmente utilizzando controlli negli apparecchi di illuminazione o in remoto.

4.5 Controlli ad interruttori temporizzati

Esistono due tipologie di controlli ad interruttori temporizzati:

1 Interruttori temporizzati in cui le luci sono programmate per spegnersi dopo essere rimaste **accese per un determinato periodo di tempo**. Questo approccio è particolarmente efficace per spazi in cui le luci inutilizzate sono lasciate accese frequentemente, come servizi igienici, guardaroba e corridoi.

2 Interruttori temporizzati in cui il sistema di illuminazione è programmato per fornire luce per **periodi definiti**, spegnendo le luci durante le pause pranzo e alla fine dell'orario di lavoro. Le luci disattivate possono essere riaccese manualmente.

Il controllo ad interruttori temporizzati è vantaggioso soprattutto per spegnere l'illuminazione ad orari definiti quando lo spazio non è più occupato (per esempio in un museo o in un altro edificio con orari di apertura predefiniti), di notte o nel fine settimana.

Gli interruttori ad azione ritardata sono **utili quando l'illuminazione è richiesta solo per un determinato periodo di tempo**, ad esempio quando si sta guardando un display.

4.6 Controlli basati sui sensori di presenza

Se impiegati in maniera appropriata, i sensori di occupazione possono consentire risparmi rilevanti, facendo sì che le luci siano spente nelle zone non occupate.

Gli ambiti di applicazione più appropriati dei sensori di occupazione sono gli spazi in cui i profili di occupazione sono:

- **Intermittenti**: servizi igienici, vani scala, corridoi, depositi e cantine.
- **Imprevedibili** (in caso contrario andrebbero utilizzati i controlli temporizzati): uffici, sale riunioni e sale conferenze, aule scolastiche, laboratori.

I sensori di occupazione sono dispositivi sensibili al movimento che svolgono tre funzioni primarie:

- Accendere le luci quando qualcuno entra in una stanza
- Tenere accese le luci mentre una stanza è occupata
- Spegnere le luci quando una stanza non è occupata. Questo tipo di controllo spesso ha molti benefici dato che assicura che l'illuminazione sia spenta di notte e nei fine settimana.

Ci sono tre tipi di sensori di occupazione:

1 Sensori di occupazione PIR (Passive InfraRed) che funzionano reagendo al movimento di energia infrarossa (o calore) prodotto dai corpi umani.

2 Sensori di occupazione ultrasonici che funzionano reagendo alla variazione di onde sonore riflesse in uno spazio causata da un corpo in movimento. Non richiedono una linea visiva diretta per rilevare i movimenti. I sensori ultrasonici funzionano a frequenza sopra la sensibilità umana (20 kHz); di solito le frequenze d'esercizio sono 25, 30, and 40 kHz [11].

3 Sensori di occupazione a doppia tecnologia (ibridi)

che combinano la tecnologia PIR e ultrasonica. Tengono accese le luci se una delle due tecnologie rileva movimenti, e spengono le luci solo se nessuna delle due tecnologie rileva movimenti (o il contrario). Questi prodotti sono più user-friendly dato che riducono la possibilità che le luci si spengano mentre la stanza è occupata.

I sensori di occupazione sono disponibili con una varietà di opzioni di controllo manuali e/o automatici:

- I **sensori che accedono/spengono automaticamente** sono usati comunemente. Essi accendono la luce quando viene rilevato del movimento e la spengono quando non viene rilevato alcun movimento. Lo spegnimento di solito avviene con un ritardo rispetto all'ultima rilevazione di occupazione. Il ritardo dovrebbe essere regolato in base all'uso della stanza, ad esempio corto per i corridoi, medio per le toilette e più lungo per gli uffici. Questi prodotti sono appropriati quando si desidera un controllo automatico senza nessun dispositivo manuale di annullamento.
- I **sensori manual-on/manual-off/automatic-off** vengono accesi manualmente. I sensori spengono automaticamente gli apparecchi di illuminazione quando non viene più rilevato movimento, se l'occupante non li spegne manualmente. Questi prodotti sono appropriati quando l'occupante a volte sceglie di lasciar spenti gli apparecchi di illuminazione quando la luce naturale è adeguata o quando l'occupante desidera mantenere il controllo.
- I **sensori two-level-on/automatic-off** offrono un controllo simile a un interruttore a due livelli con spegnimenti separati di lampade all'interno dello stesso apparecchio di illuminazione o con interruttori separati di apparecchi di illuminazione individuali. L'utente ha la possibilità di selezionare manualmente l'opzione del sensore "half-on" o "full-on".
- I **dimmer manual-on/automatic-off**, che funzionano in maniera simile ai sensori manual-on/automatic-off, tranne per il fatto che essi hanno incorporato uno slide dimmer.

Per quanto riguarda il montaggio, ci sono due categorie di sensori di occupazione disponibili con sensori PIR o ultrasonici:

- **Sensori montati sul soffitto** utilizzano un controller e/o una fonte di energia indipendenti. Possono essere montati sul muro o in un angolo ma anche sul soffitto. Essi sono stati il primo tipo di rilevatore di movimento ad essere applicato nel campo dell'illuminazione e rimangono tuttora il tipo più popolare di sensori in uso. [11]. L'installazione di queste unità richiede un'apertura

nel soffitto o nel muro, dato che devono essere cablati fisicamente al sistema di distribuzione elettrica. Il risultato è un costo di installazione relativamente alto per applicazioni nelle riqualificazioni.

- I **sensori montati sul muro** sono progettati principalmente per le riqualificazioni di comuni interruttori da muro negli uffici più piccoli [11]. Queste unità hanno tutti i componenti in un singolo alloggiamento e possono dunque essere cablati facilmente negli interruttori esistenti nella stanza. Tuttavia, c'è poca flessibilità di progettazione dato che gli alloggiamenti per gli interruttori solitamente sono fissati a 110 cm sopra il pavimento. Un altro svantaggio è che la disposizione della stanza e il mobilio possono limitarne l'impiego. Nei piccoli uffici e nelle sale conferenze aperte con interruttori a muro, i sensori montati a muro sono molto efficaci a livello di costi dato che i dispositivi sono piuttosto a buon mercato e il costo di installazione è quasi trascurabile.

Un evento "falso negativo" avviene quando il sensore spegne la luce mentre la stanza è occupata. Questo è il motivo primario per cui alcuni occupanti non sono soddisfatti dei sensori di occupazione. Gli eventi falso negativo possono essere evitati con l'uso di sensori di occupazione a doppia tecnologia e/o con un'impostazione adeguata dei sensori.

Gli eventi falso positivo (ad esempio la luce si accende quando la stanza non è occupata) possono essere evitati con l'uso dei sensori manual-on/manual-off/auto-off.

I risparmi energetici per ogni specifica applicazione dei sensori di occupazione variano considerevolmente a seconda delle dimensioni dell'area interessata e dei pattern di occupazione, ma i risparmi sono solitamente del 35 - 45% [11].

4.7 Controlli a luce naturale

In un sistema di controllo a luce naturale, i sensori fotoelettrici misurano la quantità di luce naturale presente nell'ambiente e in base a questa aggiustano la quantità di luce artificiale emessa dagli apparecchi. I sensori fotoelettrici possono essere posti in posizione centrale per controllare diversi apparecchi di illuminazione, oppure montati su ciascun apparecchio per attuare un controllo individuale. Il controllo individuale di ciascun apparecchio è più costoso da installare, ma garantisce una regolazione precisa del livello di illuminazione in ogni parte dell'area da illuminare.

I sistemi di controllo a luce naturale operano in due diverse forme:

1 Controlli fotoelettrici a funzionamento on/off, in cui è importante incorporare dei ritardi temporali nel sistema di controllo, per evitare continui spegnimenti/accensioni dovuti ad esempio al rapido movimento delle nuvole.

2 Dimmeraggio fotoelettrico, che assicura che la somma della luce naturale e artificiale raggiunga sempre il livello di illuminazione previsto, rilevando la luce totale nell'area da controllare e aggiustando l'illuminazione elettrica.

Il dimmeraggio fotoelettrico fornisce maggiori risparmi energetici rispetto alla regolazione on/off ed è più apprezzato dagli occupanti [29].

I sistemi automatici a luce naturale sono adatti a stanze con piena occupazione durante tutto il giorno, quali ad esempio reception e zone di passaggio.

4.8 Compatibilità con i controlli

Per gli apparecchi di illuminazione esistenti con lampade a filamento riqualficati con lampade a LED e alimentati tramite un dimmer a 2 fili nell'installazione, la mancanza di compatibilità costituisce una potenziale barriera all'impiego dell'illuminazione efficiente a LED. Ciò riguarda la compatibilità sia con i dimmer *leading edge* sia con quelli *trailing edge* nei sistemi di installazione esistenti.

Per gli appalti di questa tipologia di riqualficazioni si raccomanda di richiedere che:

- La riqualficazione con l'illuminazione a LED deve essere compatibile con i dimmer esistenti.

Nell'approvvigionamento di sistemi di controllo a LED nuovi, si raccomanda di richiedere che essi siano intercompatibili per evitare di trovarsi con sistemi di controllo a LED proprietari che non sono compatibili con altri prodotti a LED similari.

4.9 Illuminazione smart

Le lampade e gli apparecchi di illuminazione smart combinano le innovazioni tecnologiche nella comunicazione wireless e i LED.

Alcune delle caratteristiche smart sono:

- Accordo dei colori, dimmeraggio, accensione/spegnimento e il cambio/aggiustamento graduale di illuminazione nel tempo.

- Connettività per l'attivazione di servizi, monitoraggio della sicurezza e consegna dei dati.
- Monitoraggio del consumo energetico o delle visite/movimenti dei clienti e consegna dei dati.
- Monitoraggio del consumo energetico o delle visite/movimenti dei clienti e archiviazione dei dati.
- Aumento/estensione del segnale.
- Rilevatore incorporato di presenza che è collegato al sistema di automazione dell'edificio per controllare l'illuminazione e la ventilazione.
- Termocoppie incorporate che sono collegate al sistema di automazione dell'edificio per controllare il sistema HVAC (nessun impatto sull'illuminazione).
- Mantenimento di un flusso luminoso costante e operazioni che garantiscano che la vita utile nominale venga mantenuta.

Le caratteristiche wireless implicano che le lampade e gli apparecchi di illuminazione smart consumino energia ogni volta che l'alimentazione di rete è accesa, anche quando non stanno fornendo illuminazione ma stanno aspettando istruzioni da un dispositivo di controllo. Molti sistemi richiedono inoltre un dispositivo gateway separato, che consuma energia, per tradurre il segnale di comunicazione tra il dispositivo di controllo e le lampade/apparecchi di illuminazione.

È molto importante richiedere informazioni riguardanti:

1 Il consumo in standby per il controllo wireless e anche per il controllo cablato. Le prime misurazioni indicative per i prodotti domestici controllati via wireless [10] hanno mostrato una variazione molto ampia nei valori di standby per differenti prodotti e ciò può avvenire molto facilmente per prodotti di illuminazione intelligente e sistemi per il settore terziario.

2 La presenza di alimentazione elettrica per tutti i componenti del driver nella modalità standby. Nel caso l'intero driver sia sempre acceso ciò ha una grande influenza sulla vita utile, ad esempio con 30.000 ore di vita utile, un driver sempre acceso deve essere sostituito prima di 3,5 anni.

3 Per gli edifici commerciali, molti dei sistemi attuali si affidano ad hardware e software proprietari e protocolli differenti sono tipicamente utilizzati nei sistemi di automazione degli edifici. È quindi importante sapere se è utilizzato un **protocollo aperto** nelle comunicazioni del sistema di illuminazione intelligente incluse lampade smart, gateway, apparecchi di illuminazione, controlli, misuratori e sistemi di gestione (software) e **se è il**

sistema è interoperabile con altri prodotti/sistemi.

L'assenza di interoperabilità tra prodotti di illuminazione smart di diversi produttori è un problema e una grande sfida.

Sono stati avviati sforzi per portare una maggiore standardizzazione e interoperabilità sul mercato. Sono state formate alleanze di produttori per molti protocolli, ma ognuna di esse si relaziona soltanto con l'uso del proprio protocollo.

Il potenziale del mercato dell'illuminazione smart è esteso, una volta che verrà stabilita una piattaforma che agevolerà la funzionalità. I prodotti di illuminazione smart possono essere usati in musei, sale da esposizione, centri commerciali e supermarket, dove le lampade possono essere utilizzate come nodi WiFi o LiFi per aiutare i consumatori con smartphone a orientarsi nell'edificio o a trovare prodotti in un negozio [20, 19]. Con queste premesse, le ore giornaliere di operazione sono solitamente alte e l'efficacia totale è dunque relativamente alta, ma possono essere utilizzate delle opzioni di controllo per ottenere risparmi energetici spegnendo le luci che normalmente resterebbero accese. L'interazione tra luci smart e smartphone potrebbe attivare informazioni visive e auditive per tour di musei autoguidati o informazioni sui prodotti nei negozi.

4.10 Illuminazione antropocentrica

Fino a 200 anni fa, il 90% del nostro tempo da svegli era speso all'aria aperta. L'uomo si è evoluto in armonia con il ciclo luminoso naturale più comune sulla Terra:

- Bassi livelli di luminosità e bassi CCT (temperatura di colore correlata) al mattino presto
- Alti livelli di luminosità e alti CCT (fino a 10.000 K) a mezzogiorno
- Bassi livelli di luminosità e bassi CCT alla sera
- Livelli di luminosità estremamente bassi e medi CCT fino al sorgere della luna.



Figura 11 Luce solare in estate durante una giornata sopra al circolo polare

Questi livelli di luminosità variabili sono alla base dell'orologio interno umano basato sul ciclo delle 24 ore (ritmo circadiano). Oggi una larga parte della popolazione spende circa il 90% del proprio tempo in ambienti confinati con illuminazione artificiale. Quando siamo al lavoro, la nostra illuminazione è solitamente impostata ad un certo livello luminoso con CCT costante. Questo non è coerente con il ritmo circadiano, che può essere disturbato in assenza di un'esposizione regolare e diretta all'illuminazione dinamica. Ciò può portare a problemi di salute, dato che la luce e l'oscurità controllano la produzione di ormoni specifici.

Con un ritmo circadiano naturale, i seguenti ormoni sono prodotti durante il giorno [12]:

- Dopamina per il piacere, la veglia e la coordinazione muscolare
- Serotonina per il controllo degli impulsi e la richiesta di carboidrati
- Cortisolo per la risposta allo stress
- Melatonina per il sonno.

La recente scoperta delle cellule della retina a ganglio intrinsecamente fotosensibili (ipRGC) nel nostro corpo mostrano che questi ormoni sono molto importanti nell'impostazione dell'orologio interno. La luce che è ricca di contenuto blu stimola i fotorecettori delle ipRGC, rendendo le pupille più piccole, stimolando la produzione di dopamina, serotonina e cortisolo, ma inibendo la melatonina. Un'esposizione di lungo termine alla luce ricca di componente blu durante il giorno può portare le persone ad essere più attive e produttive al lavoro. Il lavoro alla sera può fornire troppa luce blu proveniente dal videoterminale, portando a carenza di melatonina e problemi di sonno.

L'illuminazione a LED controllata è in grado di fornire variazioni di luminanza e temperatura di colore correlata, per esempio da 1800 a 6500 K. L'illuminazione a LED può quindi fornire il ciclo di illuminazione naturale per le persone. Questa è chiamata illuminazione antropocentrica (*Human Centric Lighting*, HCL).

Molti ospedali hanno installato l'HCL e hanno osservato che i pazienti guariscono più in fretta in presenza di HCL e lo staff percepisce condizioni più confortevoli. L'HCL può essere anche introdotta negli uffici e in altre tipologie di stanze.



5. Criteri di acquisto

Il presente capitolo è il cuore delle linee guida, come spiegato al punto 1.3 e illustrato in figura 1. Il personale addetto agli acquisti e i decisori dovrebbero partire da qui. Il lettore può cercare ulteriori informazioni di supporto nei capitoli dedicati al Lighting design (qualità dell'illuminazione), all'efficienza energetica & LCC e ai controlli di illuminazione. Il capitolo seguente, e l'ultimo, forniscono informazioni su Buone Pratiche per ciascuna delle principali categorie di cliente nel settore dei servizi: uffici, scuole, musei ed esposizioni, negozi al dettaglio e ospedali.

L'obiettivo dei criteri è supportare i progetti di acquisto che includono sia l'installazione dell'illuminazione nei nuovi edifici sia la riqualificazione dell'illuminazione degli edifici esistenti. I criteri includono sia requisiti a livello del sistema di illuminazione sia a livello dei componenti.

Nell'attuale transizione verso l'uso della tecnologia di illuminazione a LED, è importante focalizzarsi sia sulle grandi opportunità di efficienza energetica sia sull'alta qualità dell'illuminazione. La tecnologia a LED è molto diversa dalle tecnologie precedenti e possiede diverse possibilità di innovazione, ad esempio attraverso apparecchi di illuminazione ottimizzati, illuminazione integrata, controlli di illuminazione flessibili, temperatura di colore, simulazione delle variazioni di illuminazione esterne durante il giorno, illuminazione intelligente e migliore sfruttamento della luce naturale.

I parametri principali sono inclusi nei criteri di acquisto, mentre l'innovazione è trattata nel capitolo relativo alle specifiche e all'analisi del lighting design. I criteri includono parametri come il consumo di potenza, l'efficacia delle sorgenti luminose, lo standby, la temperatura di colore, la resa di colore, la durata della vita utile, la compatibilità, lo sfarfallio, il controllo dell'illuminazione, il life cycle cost e la manutenzione.

I principali modelli di business per il settore terziario sono le ESCO, i contratti fatti da soli e i contratti quadro. [32, 33 e 34]. A seconda del contesto nazionale, i progetti potrebbero essere condotti con un mix di differenti opzioni di finanziamento: autofinanziamento, finanziamento da terze parti, leasing, finanziamento da ESCO, rebates, incentivi e altro. Maggiori informazioni su questo argomento possono essere trovate alla pagina <http://www.premiumlightpro.eu/indoor-lighting/funding-concepts/>.

5.1 Potenza e consumo energetico per i sistemi di illuminazione nuovi

Nel 2012, l'Unione Europea ha definito i criteri volontari di Green Public Procurement (GPP) per l'illuminazione d'interni [6]. Tuttavia, questi criteri sono ormai superati a causa dello sviluppo tecnologico nel settore dei LED.

In Svizzera, un nuovo standard [3] è stato da poco pubblicato e prevede un valore massimo di W/m^2 installati, per la progettazione di nuove installazioni incluse lampade, ballast/drivers e meccanismi di controllo (in accordo con i livelli di illuminamento della EN 12464-1:2011).

Lo standard svizzero opera con un valore massimo di W/m^2 e un valore obiettivo molto ridotto. Dopo aver valutato questi 2 gruppi di valori, si è deciso di calcolare il valore medio dei due gruppi per ogni destinazione d'uso e adottarlo come raccomandazione, mantenendo la stessa suddivisione riportata nello standard svizzero [3]. Questo valore medio tra i cosiddetti livelli di soglia e i livelli obiettivo è raccomandato anche dal programma Minergie [3].

PremiumLight-Pro raccomanda di usare i requisiti riportati in Tabella 2.

Tabella 2 Massimo valore in W/m² installati per sistemi di illuminazione nuovi

Illuminamento richiesto secondo EN 12464-1-1 (lx)	W/m ²
20	0,5
50	1
100	2
200	4
300	6
500	10
1000	20
1500	30
2000	40

5.2 Sorgenti luminose

In Novembre 2016, la IEA 4E SSL [1] ha pubblicato i requisiti aggiornati relativi all'efficacia delle sorgenti luminose. In questo testo, il livello 2 copre il 20-30% dei prodotti presenti sul mercato nel 2015. Seguendo questi criteri con semplificazioni per 5 tipologie di sorgenti luminose, la **raccomandazione di PremiumLight-Pro** è di richiedere un'efficacia luminosa pari a:

- ≥ 120 lm/W per sorgenti luminose a LED non direzionali con emissione ≥ 100 lm.
- ≥ 100 lm/W per sorgenti luminose a LED direzionali con emissione ≥ 100 lm.
- ≥ 150 lm/W per sorgenti luminose a LED lineari di lunghezza nominale compresa tra 550 mm e 1500 mm.
- ≥ 120 lm/W per piccoli sistemi di illuminazione a LED integrati (compreso il driver esterno) con emissione compresa tra 100 lm e 2500 lm.
- ≥ 135 lm/W per grandi sistemi di illuminazione a LED integrati (compreso il driver esterno) che emettono tra 2500 lm e 50.000 lm.

5.3 Consumi in standby

Le innovazioni tecnologiche nel campo delle comunicazioni wireless e dei sistemi a LED hanno portato alla rapida espansione del mercato delle lampade e dei sistemi di illuminazione intelligenti dotati di numerose funzioni: regolazione del colore, dimmeraggio, connettività per l'attivazione dei servizi, monitoraggio per fini di sicurezza e distribuzione dei dati, monitoraggio dei

consumi energetici o delle visite/movimenti del cliente più archiviazione dei dati, amplificazione/estensione del segnale, rilevatori di presenza integrati collegati al sistema di automazione dell'edificio per controllare l'illuminazione e la ventilazione ecc.

L'uso di comunicazioni wireless implica che le lampade e i sistemi di illuminazione intelligenti consumino sempre energia quando il sistema di alimentazione è attivato, anche se non stanno illuminando ma sono in attesa di istruzioni da parte di un apparecchio di controllo.

Per i prodotti di illuminazione e i sistemi di illuminazione con modalità standby la **raccomandazione di PremiumLight-Pro** è di richiedere:

- Informazioni sull'entità dei consumi di tutti i tipi di standby presenti (W).
- Valore massimo di potenza per standby pari a 0,5 W, con un valore raccomandato di 0,3 W.
- Informazioni sulla presenza di alimentazione elettrica per tutti i componenti del driver in modalità standby e come questa influenzi la durata della vita utile del driver.
- Informazioni sull'interoperabilità (utilizzo di protocolli di comunicazione aperti).

5.4 Controllo dell'illuminazione

Le ore di funzionamento dell'illuminazione nel settore dei servizi sono spesso elevate, con gli apparecchi accesi costantemente durante tutto il giorno. L'implementazione di diverse tipologie di controlli di illuminazione può consentire ampi margini di risparmio energetico.

Il fornitore deve specificare la tipologia di controllo, di livello di illuminamento e varie altre caratteristiche. Per questo motivo non è possibile indicare criteri generali.

Nel caso in cui l'appalto includa controlli di illuminazione, la **raccomandazione di PremiumLight-Pro** è di richiedere che:

- L'autorità appaltante informi l'installatore in merito alle modalità di occupazione e utilizzo degli spazi in oggetto, oltre a particolari requisiti relativi ai controlli di illuminazione, compresi i problemi legati alla sicurezza.
- Nel contratto siano incluse clausole prestazionali che specifichino che tutti i controlli di illuminazione devono funzionare correttamente.
- Siano fornite linee guida agli occupanti, per assicurarsi che gli stessi utilizzino in maniera appropriata i sistemi di controllo dell'illuminazione.
- Il personale addetto alla manutenzione sia formato anche in merito all'adeguamento del sistema di illuminazione in caso di variazioni d'uso degli spazi.

5.5 Temperatura di colore, tolleranza e manutenzione

I sistemi di illuminazione a LED possono essere forniti con diverse temperature di colore correlate (Correlated Colour Temperatures, CCT). E' quindi importante selezionare il valore di CCT più adatto per ogni tipologia di stanza e di compito visivo.

La **raccomandazione di PremiumLight-Pro** è di selezionare uno dei CCT nominali presentati in tabella 3, coerentemente con il quadrato cromatico e le tolleranze di Duv (in accordo ad ANSI C78.377: 2015 *Specifications for the Chromaticity of Solid State Lighting Products*) [1, livello 3]:

Tabella 3 CCT nominali e quadrati e tolleranze di Duv

Nominale CCT (K)	Punto centrale del cerchio		Raggio del cerchio
	CCT (K)	Duv	
2200	2238	0,0000	0,0044 nel diagramma (u', v')
2500	2460	0,0000	
2700	2725	0,0000	
3000	3045	0,0001	
3500	3465	0,0005	
4000	3985	0,0010	
4500	4503	0,0015	
5000	5029	0,0020	
5700	5667	0,0025	
6500	6532	0,0031	

La raccomandazione [1] riguardante la **manutenzione del colore** è di richiedere che lo scostamento nelle coordinate cromatiche dopo 6000 ore di funzionamento si mantenga al di sotto di un valore massimo:

- $\Delta u', v' (6000 \text{ ore}) \leq 0,004$

Rispetto al metodo per passi successivi di MacAdam, i requisiti ANSI di cui sopra sono preferibili, dato che i requisiti sono specificati per tutti i CCT nominali e i punti centrali sono specificati.

Se si volesse applicare comunque il metodo di MacAdam, le raccomandazioni sono le seguenti:

Requisiti relativi alla tolleranza di colore dei LED:
 ≤ 5 SDCM come criterio minimo generale.
 ≤ 3 SDCM per attività che comportano compito visivo.

Requisiti relativi al mantenimento del colore dei LED dopo 6000 ore:
 ≤ 7 SDCM come criterio minimo in generale.
 ≤ 5 SDCM per attività che comportano compito visivo.

5.6 Resa cromatica

La resa cromatica definisce la capacità di una sorgente di luce bianca di restituire accuratamente i colori degli oggetti da essa illuminati. Lo standard EN 12464-1 specifica i requisiti minimi di resa cromatica per quasi tutte le tipologie di compito visivo tramite il CRI (Ra). In generale, un CRI sopra all'80 è considerato sufficiente per una valutazione cromatica accurata nella maggior parte degli ambienti interni. Comunque, è dimostrato [1] che per le sorgenti luminose a LED la misurazione dei colori rossi deve essere positiva per raggiungere una buona resa dei colori rossi $R_9 > 0$.

La **raccomandazione di PremiumLight-Pro** è di richiedere:

- **CRI ≥ 80 e $R_9 > 0$** come criterio minimo generale
- **CRI ≥ 90 e $R_9 > 0$** per lavori che comportano un'alta priorità del compito visivo, come ad esempio le aree cliniche negli ospedali e negli altri tipi di assistenza sanitaria, i musei, i teatri, i lavori con attività di ispezione/controllo/selezione dei colori e alcuni tipi di negozi come ad esempio quelli di abbigliamento.

5.7 Vita utile nominale

I LED di alta qualità sono in grado di mantenere l'emissione luminosa per decine di migliaia di ore. I driver integrati, tuttavia, possono presentare guasti improvvisi, perciò è importante considerare la vita utile dell'intero sistema di illuminazione.

I **requisiti di PremiumLight-Pro** relativi ai valori minimi di vita utile nominale sono riferiti a F80B50, che è un po' più alto del livello 2 in [1], e ad un fattore di manutenzione del flusso luminoso della lampada a 6000 ore [1]:

Tabella 4 Valori minimi di vita utile nominale e fattore di mantenimento del flusso luminoso della lampada a 6000 ore

Lampada/apparecchio di illuminazione	Vita utile nominale minima L_{80B50}	Mantenimento del flusso luminoso, 6000 ore
Lampade a LED direzionali e non direzionali	20.000	$\geq 93,5\%$ del flusso iniziale
Tubi lineari a LED	35.000	$\geq 96,2\%$ del flusso iniziale
Piccoli apparecchi di illuminazione a LED integrati (< 2500 lm)	40.000	$\geq 96,7\%$ del flusso iniziale
Grandi apparecchi di illuminazione a LED integrati (2500 – 50.000 lm)	50.000	$\geq 97,4\%$ del flusso iniziale

La raccomandazione [1] riguardante un tasso di guasto prematuro prevede di richiedere un massimo di 5% di guasti prematuri a 6000 ore.

Si raccomanda inoltre di richiedere la documentazione riguardante i rapporti delle prove effettuate dal produttore (incluse le estrapolazioni per raggiungere la vita utile nominale).

5.8 Temperatura ambiente e tipo di driver

Le prestazioni degli apparecchi di illuminazione a LED sono influenzate dalla temperatura ambiente. La temperatura ambiente nominale (t_a) è la massima temperatura che può essere sostenuta dall'apparecchio di illuminazione mantenendo la possibilità di essere controllato, in condizioni normali di funzionamento.

A seconda dell'applicazione, la **raccomandazione di PremiumLight-Pro** è di garantire che gli apparecchi abbiano un valore di **temperatura ambiente $t_a = 30\text{ °C}$** , dato che questa può essere la temperatura dell'ambiente in estate, con aria ferma intorno al soffitto.

In merito alla longevità dei sistemi di illuminazione a LED, si raccomanda di richiedere l'inclusione di controlli che assicurino che la temperatura di funzionamento rimanga al di sotto del valore limite t_a .

Se il driver è sostituibile, per la manutenzione si raccomanda di verificare se il driver è di tipo SELV (Safety Extra Low Voltage) o NON-SELV.

5.9 Fattore di potenza e distorsione armonica

Per gli alimentatori elettrici, il fattore di potenza (PF) riveste un'importanza fondamentale. Molti utenti nel settore dei servizi sono soggetti a sanzioni se il fattore di potenza nei propri impianti scende al di sotto di 0,9. L'importanza di un alto fattore di potenza può variare a seconda della combinazione dei carichi nella rete di distribuzione elettrica.

La **raccomandazione di PremiumLight-Pro** è di richiedere [1]:

Per lampade non direzionali e direzionali:

< 25W: PF > 0,50
 ≥ 25W: PF > 0,90

Per tubi lineari a LED (lampade con self-ballast):
 PF > 0,90

Per piccoli e grandi apparecchi di illuminazione a LED integrati: PF > 0,90

Per quanto riguarda la distorsione armonica, per prodotti con potenza > 25 W si raccomanda di applicare i requisiti validi per gli apparecchi di classe C nello standard IEC 61000-3-2 [1], mostrati in tabella 5.

Tabella 5 Requisiti di distorsione armonica

Ordine di armonica (n)	Massima corrente armonica possibile espressa in percentuale sulla corrente di ingresso alla frequenza fondamentale (%)
2	2
3	30 – CPF (CPF è il fattore di potenza del circuito)
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$ (solo armoniche dispari)	3

5.10 Sfarfallio

Gli alimentatori che utilizzano la modulazione degli impulsi in ampiezza causano sfarfallio (*flicker*) dei LED con una certa frequenza, tipicamente tra 100 e 150 Hz. La frequenza di sfarfallio non è direttamente visibile e può causare disturbi visivi come:

- Effetti stroboscopici su oggetti rotanti (si ha l'impressione che l'oggetto non si stia muovendo o che stia ruotando ad una diversa velocità o in un'altra direzione).
- "Cascade" di puntini luminosi nel campo visivo quando si spostano rapidamente gli occhi in un'altra direzione, ad esempio girando la testa.

La IEEE 1789:2015 include requisiti relativi allo sfarfallio, dando priorità alla restrizione della modulazione visibile della luce (incluso sfarfallio) a frequenze ≤ 90 Hz, dato che per frequenze maggiori di 90 Hz (cioè sugli effetti non visibili) sono necessari ulteriori studi. Attualmente non è disponibile nessuno standard per la misurazione fotometrica della luce modulata.

Sulla base delle indicazioni del nuovo imminente regolamento UE, la **raccomandazione di PremiumLight-Pro** è di richiedere:

- Misurazione dello sfarfallio a breve termine per lo sfarfallio visibile $PstLM \leq 1,0$.
- Misura di visibilità stroboscopica $SVM < 0,4$.

In merito al dimmeraggio, si raccomanda di richiedere che non avvenga nessuno sfarfallio in tutti i livelli importanti di dimmeraggio (ad esempio 50% e 25%) [41].

5.11 Abbagliamento e sicurezza fotobiologica

L'abbagliamento compare in caso di valori molto alti di luminanza o di contrasto di luminanza, spesso dovuti alla mancanza di schermatura delle finestre, a riflessi o a contatto visivo diretto con le sorgenti luminose a LED presenti nell'apparecchio di illuminazione.

La **raccomandazione di PremiumLight-Pro** è di richiedere:

- 1 In merito all'abbagliamento diretto [EN 12464-1]:
 - Indicazione dell'angolo di schermatura minimo in tutte le direzioni, a seconda della luminanza della lampada.
 - Indicazione del valore di abbagliamento di discomfort secondo l'UGRL.
- 2 In merito all'abbagliamento da luminanza ad alto angolo [1, 42]:
 - Quando l'angolo gamma (γ) è maggiore di 60° , la luminanza della sorgente luminosa non deve superare il valore di 10.000 cd/m^2 .
- 3 In merito alla sicurezza fotobiologica, per evitare danni alla vista provocati da un'intensa esposizione alla radiazione luminosa di colore blu (rischio da luce blu) [1]:
 - Le lampade e gli apparecchi di illuminazione a LED siano di classe RG0 o RG1 [cfr. standard IEC 62471/CIE S009].

5.12 Compatibilità e funzionamento del dimmer

La compatibilità del dimmer è un aspetto di estrema importanza, dato che molti prodotti a LED sono spesso non completamente compatibili con i dimmer

precedentemente installati. I produttori stanno ancora cercando di definire e adottare un nuovo standard per i dimmer, per cui la loro compatibilità nei prodotti a LED continuerà probabilmente a rimanere un problema.

Riguardo alla **compatibilità dei dimmer**, si raccomanda di richiedere che il fornitore:

- Fornisca il riferimento di una pagina web che riporti l'elenco dei dimmer compatibili.
- Per ogni dimmer compatibile, elenchi l'intervallo di livelli di flusso luminoso che un determinato accoppiamento dimmer-apparecchio di illuminazione può raggiungere.

In merito al **funzionamento del dimmer** si raccomanda di richiedere che:

- Si garantisca un dimmeraggio graduale in affievolimento fino al 30% del flusso luminoso totale, senza che si creino sfarfallii visibili e ronzii udibili.
- Quando il dimmer è impostato al 100%, il valore di emissione luminosa dovrebbe essere pari al 90% di quello in assenza di dimmer.

5.13 Manutenzione

PremiumLight-Pro raccomanda di richiedere:

- Fattore di mantenimento del flusso luminoso della lampada (*Lamp Lumen Maintenance Factor*, LLMF).
- Fattore di manutenzione dell'apparecchio di illuminazione (*Luminaire Maintenance Factor*, LMF).
- Fattore di manutenzione (*Maintenance Factor*, MF).
- Il piano di manutenzione dovrebbe essere fornito con l'indicazione di specifici intervalli per la manutenzione e la pulizia.

Si raccomanda inoltre di considerare i seguenti requisiti:

- Apparecchi di illuminazione con controllo di flusso luminoso costante per alcuni impieghi.
- Apparecchi di illuminazione a LED con chiusura stagna per impieghi in ambienti particolarmente sporchi.

5.14 Life Cycle Cost

I costi di acquisto dei sistemi di illuminazione a LED sono tipicamente più alti rispetto ai sistemi tradizionali, mentre i costi di funzionamento e manutenzione sono inferiori. Il calcolo del *life cycle cost* o LCC (costo valutato sull'intero ciclo di vita) può giustificare l'investimento

iniziale, tenendo conto dei costi e dei risparmi relativi all'intera vita utile del sistema di illuminazione in esame.

PremiumLight-Pro raccomanda di richiedere che:

- Le diverse alternative dei sistemi tra sistemi di illuminazione siano confrontate mediante calcoli di LCC, secondo il metodo LCC specificato dal fornitore.

5.15 Esperienza e obblighi dell'appaltatore

Sia per il progettista che per l'installatore, la gara d'appalto dovrebbe dimostrare che il personale abbia esperienza derivante da almeno 5 progetti rilevanti e qualificazioni professionali adatte in servizi di ingegneria edile o elettrica. L'esperienza in 15 progetti rilevanti sarebbe ottima.

L'appaltatore deve **assicurarsi dei seguenti aspetti**:

Installazione

- Il sistema di illuminazione sia installato esattamente come specificato/richiesto.
- Consegna del calendario dell'installazione del sistema di illuminazione con allegate le fatture dei produttori o le bolle di consegna.
- Fornitura di informazioni in modo tale che gli occupanti sappiano come controllare l'illuminazione e gli addetti alla manutenzione possano fare aggiustamenti se necessario (ad esempio se la distribuzione interna delle stanze dovesse cambiare).

Funzionalità

- I sistemi di illuminazione nuovi o riqualificati stiano lavorando correttamente e non stiano consumando più energia di quanto specificato.
- I controlli legati alla luce naturale dovrebbero essere calibrati, per assicurarsi che spengano la luce quando la luce naturale è sufficiente.
- I sensori di occupazione dovrebbero essere verificati per assicurarsi che rilevino gli oggetti in movimento.
- I controlli temporizzati (fisici e/o software) dovrebbero essere settati su impostazioni di spegnimento appropriate.
- Se, in seguito al processo di commissioning, parti del sistema di illuminazione sembrano non soddisfare tutte le specifiche e i requisiti, l'appaltatore è tenuto ad aggiustare/ricalibrare il sistema.

Formazione

- Il contratto dovrebbe preferibilmente prevedere la formazione degli utenti, con particolare attenzione su funzionamento, controlli di illuminazione e manutenzione.

Valutazione delle prestazioni

- Il contratto dovrebbe preferibilmente prevedere l'installazione di un sistema di monitoraggio per l'identificazione dei guasti e per assicurarsi che i consumi energetici siano conformi a quanto specificato.

Disponibilità dei prodotti

- Si raccomanda di richiedere che i produttori di tutti i sistemi LED acquistati garantiscano la disponibilità per un determinato periodo di tempo.

Sostanze potenzialmente pericolose

- Si raccomanda di richiedere che i produttori non utilizzino sostanze potenzialmente pericolose nei propri prodotti. L'Agenzia Chimica Europea lavora di concerto con la Commissione Europea e con gli stati membri della UE per garantire la sicurezza della salute umana e dell'ambiente, identificando le necessità per la gestione regolatoria del rischio a livello europeo [39], comprendendo le norme REACH. A questo proposito, ad esempio, l'Agenzia danese per la Salvaguardia dell'Ambiente (EPA) [40] ha prodotto una "Lista di sostanze indesiderate" (LOUS) che include 40 sostanze. La lista LOUS è rivolta al mercato danese e funge da segnale e linea guida in merito alle sostanze che il mercato dovrebbe impiegare in misura minore o dismettere completamente nel lungo periodo. Alcuni Comuni danesi, ad esempio, richiedono nei propri criteri d'appalto che nessuna sostanza presente nella lista LOUS sia impiegata nei prodotti inclusi nella gara d'appalto.

Gestione dei rifiuti

- Durante l'installazione di sistemi di illuminazione nuovi o riqualificati, i rifiuti vanno ridotti al minimo e tutte le parti vanno separate e raccolte in conformità alla Direttiva WEEE. Ad esempio, alcuni Comuni danesi richiedono che tutte le parti in plastica e in metallo dei prodotti siano etichettate, in modo da poter essere riciclate.

5.16 Prequalifica

La prequalifica delle aziende potrebbe includere:

- La presentazione di documentazione che attesti la realizzazione di sistemi di illuminazione simili in progetti simili (delle stesse dimensioni e tipologia) e i tempi di consegna ecc.
- Misurazioni da parte di un ente terzo per documentare i risparmi energetici.

- Presentazione di documentazione in merito alla loro capacità di integrare gli apparecchi di illuminazione negli edifici esistenti.
- Presentazione di documentazione riguardante la loro capacità di fare manutenzione del sistema di illuminazione.

5.17 Valutazione delle gare d'appalto

I criteri e i requisiti minimi specificati nelle sezioni precedenti di questo capitolo dovrebbero essere soddisfatti in ogni gara d'appalto. Livelli di qualità ed efficienza più alti del minimo richiesto possono essere premiati e valutati tramite uno schema di punteggio. Ovviamente la selezione dei criteri di aggiudicazione e i relativi fattori di peso dipendono dalla tipologia di progetto, dalla tipologia di edifici e dal tipo di stanze. Di seguito si riportano esempi di selezione dei criteri di aggiudicazione (tabella 6) e di valutazione di gare d'appalto tramite schemi a punteggio (tabella 7).

Tabella 6 Esempio di selezione dei criteri di aggiudicazione

criterio	Criterio minimo	Criterio premiale
Costi		
Costi di investimento	✓	
Life Cycle Cost	✓	✓
Efficienza energetica		
Potenza e consumo di energia	✓	✓
Efficacia della fonte luminosa	✓	
Potenza in standby	✓	
Controllo dell'illuminazione	✓	✓
Qualità e progettazione dell'illuminazione		
Livello di illuminamento	✓	
Uso della luce naturale, distribuzione dell'illuminazione, uniformità, contrasto	✓	
Temperatura di colore, tolleranza e manutenzione	✓	
Resa cromatica	✓	✓
Vita utile	✓	✓
Temperatura ambiente e tipo di driver	✓	
Fattore di potenza e distorsione armonica	✓	
Sfarfallio	✓	
Abbagliamento e sicurezza fotobiologica	✓	
Compatibilità del dimmer e del trasformatore	✓	
Manutenzione, installazione, funzionamento, riparazione, riciclo		
Manutenzione	✓	
Esperienza e obblighi dell'appaltatore	✓	
Formazione dell'appaltatore	✓	✓
Garanzia e disponibilità di pezzi singoli	✓	✓

Nella Tabella 7 è mostrato un esempio di valutazione delle gare d'appalto secondo uno schema a punteggio.

Tabella 7 Esempio di valutazione di gare d'appalto utilizzando criteri di aggiudicazione e fattori di peso

Criterio di aggiudicazione	Fattore di peso [%]
Costi	
Life Cycle Cost	30
Efficienza energetica	
Potenza e consumi energetici	20
Controlli dell'illuminazione (a seconda della quantità di caratteristiche di controllo aggiuntive incluse)	5
Qualità e progettazione dell'illuminazione	
Resa cromatica	10
Vita utile	15
Manutenzione, installazione, funzionamento, riparazione, riciclo	
Formazione dell'appaltatore (inclusa o non inclusa)	10
Garanzia e disponibilità di pezzi singoli	10
Totale	100

6. Buone pratiche



Questo capitolo fornisce consigli sulle buone pratiche riguardanti il lighting design e le opzioni per migliorare la qualità dell'illuminazione e ottenere una maggiore efficienza energetica con l'uso di sistemi di illuminazione a LED.

Il capitolo include sezioni riguardanti gli uffici, le scuole, i musei e le mostre, il commercio al dettaglio e l'assistenza sanitaria. Ogni sezione - con sottosezioni sui tipi di stanze - è scritta come un documento a sé stante, che può essere usato direttamente come checklist all'inizio di un progetto riguardante il rispettivo ambito. Per questa ragione le sezioni possono apparire ridondanti, se lette una in seguito all'altra.

Le buone pratiche sono in larga parte basate sull'ampia esperienza del Danish Centre for Lighting (DCL) [7] su come conciliare un corretto lighting design e un'illuminazione a LED efficiente.

Un approccio comune riscontrabile nelle buone pratiche dotate di un'alta qualità di illuminazione ed efficienza energetica è il seguente:

- 1 L'illuminazione deve essere considerata fin dall'inizio della progettazione di un nuovo edificio o riqualificazione.
- 2 Sia per la progettazione che per l'installazione, impiegare personale che abbia esperienza da progetti simili e qualifiche professionali adeguate.
- 3 Differenziare i tipi principali di stanze, attività, orari di esercizio, fasce di età dello staff primario e compiti visivi lavorativi.
- 4 Quando si riqualifica, quale tipo di illuminazione è usato al momento (lampadine, W, apparecchi di illuminazione, illuminazione diretta/indiretta, etc.), e qual è il consumo annuale per le applicazioni?
- 5 Quando si riqualifica, quali sono le opinioni dello staff e dei clienti sull'illuminazione attuale? Hanno bisogno di

miglioramenti: dove, che tipo di illuminazione, posizione, apparecchi di illuminazione, lampade, controlli, illuminamento, sono disturbati dall'abbagliamento e hanno bisogno di un maggiore controllo dell'illuminazione? La giusta illuminazione contribuisce a creare l'atmosfera appropriata all'attività svolta.

- 6 Scorrere i criteri d'appalto PremiumLight-Pro e selezionare i criteri di aggiudicazione e il peso assegnato.
- 7 Indagare sull'uso di controlli adeguati (manuali e automatici). I LED funzionano incredibilmente bene coi controlli, e i risparmi legati all'uso di timer, sensori di luce naturale o di presenza sono generalmente sottovalutati. Considerare l'uso di soluzioni più avanzate/smart/intelligenti, per esempio illuminazione antropocentrica con l'armonizzazione dei colori, gli scenari di illuminazione specifica per un dato compito e le funzioni di connettività di trasmissione delle informazioni, ad esempio usando il LiFi.
- 8 Eseguire valutazioni e calcoli economici.
- 9 Assicurarsi che le soluzioni di illuminazioni selezionate soddisfino le richieste del cliente, siano ben funzionanti, facili da usare e che sia possibile farne la manutenzione e regolarle anche sul lungo periodo.

In generale, i valori raccomandati per i livelli di illuminamento, uniformità, abbagliamento e resa cromatica possono essere reperiti nello standard europeo EN 12464-1:2011, *Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places*, pertanto questi valori non vengono menzionati in ogni sezione. La sezione 2.5 fornisce informazioni su questo importante standard.

Il capitolo include casi di buona pratica raccolti nel progetto PremiumLight-Pro. Per maggiori informazioni sui casi studio, inclusi i relativi contatti, consultare il sito: www.premiumlight.it.

6.1 Edifici per uffici

Una buona illuminazione negli uffici permette agli occupanti di compiere il loro lavoro in modo efficiente senza sforzo o fatica.

Comuni a tutti i tipi di stanze

- Un livello di luce soffuso sui piani può essere compensato dalla percezione della luminosità illuminando i muri ad esempio da wall-washer - ciò definisce l'intero spazio e aiuta lo staff ad essere vigile.
- Con l'entrata della luce diurna, il controllo automatico dell'illuminazione può fornire grandi risparmi. Frangisole o tende devono essere usate solo quando necessario.
- Nel caso in cui vengano utilizzati dei downlighter come illuminazione da soffitto, usare allora apparecchi di illuminazione con basso abbagliamento.



Reception

- L'area della reception forma la prima impressione nei visitatori, e deve supportare l'immagine dell'organizzazione a livello architettonico, oltre ad apparire luminosa e amichevole.
- Combinare un'illuminazione generale e localizzata con apparecchi di illuminazione dedicati nelle postazioni di lavoro e una minore ma sufficiente distribuzione ampia di luce per la circolazione.
- L'illuminazione a LED integrata può essere usata sotto il piano di lavoro.
- Lampade a sospensione sopra il piano di lavoro e lungo le sedie della sala d'attesa creano piccoli coni di luce e aggiungono ospitalità.
- È molto importante che lo staff della reception possa veder arrivare gli ospiti all'entrata in modo chiaro e non come silhouette stagliate sulla luce diurna o artificiale. È altrettanto importante che gli ospiti possano vedere facilmente lo staff della reception.
- Un livello di luce soffuso sui piani può essere compensato dalla percezione della luminosità illuminando i muri ad esempio da wall-washer - ciò definisce l'intero spazio.

- Le entrate sono zone di transizione nell'illuminazione - dunque può essere necessario un cambio graduale di illuminazione che inizia fuori dall'edificio (dalla luce diurna o più tardi dalla completa oscurità): i sistemi di illuminazione a LED possono fornire questi controlli automatici.



Foto: Casper Kofod

Locali ufficio

- Fare un progetto delle parti d'arredo e selezionare le soluzioni ottimali di illuminazione a seconda delle dimensioni della stanza, del numero delle postazioni di lavoro, del tipo di lavoro e della quantità di luce naturale.
- Specialmente per uffici molto grandi, è importante creare all'interno dell'area piccole "isole ricreative" con illuminazione accogliente per favorire ispirazione, relax e piccole discussioni.
- La superficie di lavoro può essere illuminata da luce generale o da apparecchi di illuminazione dedicati. Un'illuminazione più alta del piano di lavoro è consigliata per due motivi principali: gli occhi e l'attenzione dell'occupante sono automaticamente attratti dalle aree con più luce, e ridurre la luce nelle aree circostanti diminuisce il consumo di energia in modo effettivo se paragonato a un'illuminazione diretta più alta da apparecchi di illuminazione montati sul soffitto.
- L'illuminazione diretta dovrebbe provenire dalla parte opposta rispetto alla mano dominante dell'occupante.
- Un lavoro allo schermo intensivo dovrebbe essere svolto a 2-3 metri dalle finestre.
- Per i lavori allo schermo l'illuminazione asimmetrica dalle lampade da lavoro è un beneficio.
- Piani di lavoro e schermo devono essere posizionati con le superfici degli schermi perpendicolari alle finestre per evitare riflessi delle finestre negli schermi e un contrasto alto dovuto alla visione degli esterni.
- In uffici con spazi profondi, il controllo a zone e l'automazione dei sensori di luce diurna possono essere usati per spegnere le file di illuminazione generale vicino alle finestre.

- Per l'illuminazione generale, è spesso un vantaggio installare controlli dei sensori di presenza, specialmente in spazi che non sono usati continuamente.
- Per l'illuminazione generale, l'accensione manuale (e lo spegnimento automatico) a livello di dimmerazione è un'opzione efficiente di risparmio energetico. L'accensione manuale forza gli occupanti a scegliere un livello di illuminazione appropriato e ciò offre una sensazione di controllo personale.
- Dei controlli di aggiustamento semplici e intuitivi (on/off, dimmeraggio, cambio di posizione) sono un grande vantaggio, per esempio forniscono un flusso luminoso maggiore per le persone più anziane.



Foto: http://www.osram.com.au/osram_au/applications/office-buildings/conference-room/index.jsp

Sale Conferenze e Riunioni

- L'illuminazione generale dovrebbe essere controllata da dimmer per facilitare l'uso di diverse luminosità durante presentazioni audio-visive, tavole rotonde e pause.
- L'uso di tende non trasparenti o di un oscuramento quasi completo durante le presentazioni non è vantaggioso perché il pubblico si stanca e si distrae.
- Per stanze più ampie, l'illuminazione a LED incorporata nei tavoli può essere usata per creare piccole macchie di luce che non disturbano durante le presentazioni, utili per leggere e prendere appunti.
- Una bassa illuminazione sul muro dietro lo schermo/DSE crea un pattern di luminanza più uniforme nel campo visivo dello spettatore e dunque un'esperienza più rilassante.
- Evitare apparecchi di illuminazione rivolti verso il podio/lavagna che accecano chi sta tenendo la conferenza.

Mensa

- Usare un'illuminazione aggiustabile da soffitto che può fornire diversi livelli di illuminazione per pause caffè e pause pranzo, riunioni interne, apprendimento, festività e pulizie.

- È vantaggioso se le lampade a sospensione possono essere alzate o rimosse per svolgere altre attività.
- L'uso di illuminamento basso e orizzontale insieme all'illuminazione verticale (muri, arredamento e porte) più luci a sospensione o da tavolo rende la mensa confortevole e accogliente. L'arte sulle pareti dovrebbe essere illuminata da faretti dedicati.
- Nelle aree buffet, si raccomanda un illuminamento diretto e alto per assistere il riconoscimento del cibo e la velocità di scelta. Una resa dei colori elevata assicura la valutazione dei colori nel cibo e il benessere.



Corridoi e Scale

- Usare soglie d'ingresso e gradini luminosi e di colori contrastanti. Inoltre, un misto di illuminazione diffusa e luce diretta verso il basso creano una buona percezione dello spazio, riconoscimento dei visi e delle caratteristiche delle forme geometriche (ad esempio, vedere bene i gradini). L'uniformità dell'illuminazione deve essere sufficiente per dei movimenti sicuri senza aree buie.
- Apparecchi di illuminazione che irradiano luce in parte contro un soffitto luminoso e/o muri luminosi normalmente creano un'atmosfera gradevole.
- Al di fuori degli orari di lavoro, il controllo dei sensori di presenza (magari con livelli di illuminazione graduali) può essere vantaggioso.



Foto: <http://glamox.com/uk/solutions/stairwells>

6.2 Scuole

Sia l'apprendimento che l'insegnamento non possono prescindere da una buona illuminazione. La nostra vista è così resistente che siamo a malapena consapevoli dell'handicap inflitto da una scarsa illuminazione, ma ciò può risultare in una lettura più lenta, una scarsa comprensione di ciò che leggiamo e una concentrazione diminuita.

Generalmente, se vengono svolte in maniera regolare manutenzione, pulizia e sostituzione dei sistemi di illuminazione durante le vacanze scolastiche, allora l'illuminazione inizialmente sovradimensionata può essere ridotta con conseguenti risparmi energetici.

Comune a tutti i tipi di stanze

- Un'iniziale decisione ed esecuzione di regolare manutenzione, pulizia e sostituzione dei sistemi di illuminazione durante le vacanze scolastiche può ridurre il sovradimensionamento dell'illuminazione, con conseguenti risparmi energetici.
- Un livello di illuminazione tenue ai piani può essere compensato da una percezione di luminosità illuminando i muri ad esempio con wall-washer - ciò definisce l'intero spazio. Con l'accesso della luce naturale, il controllo dell'illuminazione automatico può fornire grandi risparmi. Frangisole e tende devono essere usate solo quando necessario.
- Nel caso in vengano utilizzate luci a incasso come illuminazione da soffitto, allora usare apparecchi di illuminazione con poco abbagliamento.

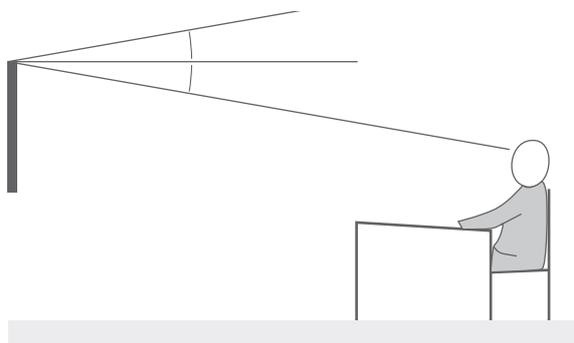


Aule scolastiche

- Tradizionalmente, le aule hanno grandi finestre che sono ideali per il benessere, ma per l'uso di proiettori, schermi e lavagne smart devono essere disponibili, e facili da regolare, dei sistemi efficaci di schermatura della luce solare diretta.
- Nelle aule ampie, i risparmi energetici possono essere ottenuti con controlli a zona dell'illuminazione

generale. Dunque se la luce naturale è sufficiente vicino alle finestre, file di illuminazione generale possono essere spente, preferibilmente tramite un'automazione dei sensori di luce diurna.

- Per quanto riguarda l'illuminazione generale, deve essere trovato un equilibrio tra il bisogno di uno spazio luminoso per tenere gli alunni vigili e il fatto che proiezioni a schermo con basso contrasto siano difficili da vedere in un ambiente molto luminoso.
- L'illuminazione generale può essere ottimizzata per la lettura, la scrittura e la comunicazione da un'illuminazione piuttosto diffusa fornita da un numero sufficiente di apparecchi di illuminazione (molti apparecchi di illuminazione sono preferibili a pochi ma più grandi) o da apparecchi di illuminazione che illuminano muri chiari e/o il soffitto.
- Le lampade vicino alla linea di visibilità e luci che creano riflessi brillanti dovrebbero essere evitate. Schermi e proiettori devono essere posizionati con la superficie degli schermi perpendicolare ai vetri delle finestre e sarebbe ideale che le finestre fossero dalla parte della mano sinistra.
- Per quanto riguarda l'illuminazione delle lavagne, la scelta di apparecchi di illuminazione e la loro posizione, oltre all'uso di lavagne opache, è cruciale per la visibilità delle lavagne e per evitare abbagliamenti. Potrebbe anche essere necessario il controllo dell'oscuramento dell'illuminazione generale.
- Un apparecchio di illuminazione convenzionale per le lavagne dovrebbe essere installato a una certa distanza dalla lavagna per assicurare un'illuminazione appropriata della parte inferiore. Ad ogni modo, se fissato troppo lontano con un piccolo fascio di luce orizzontale, i riflessi brillanti potrebbero infastidire la prima fila di banchi (vedere l'illustrazione sottostante).



- Una luce che permetta una buona distinzione dei colori per esempio per chimica, biologia o design/tecnologia può essere ottenuta con una grande finestra che guardi a nord e/o apparecchi di illuminazione con uno spettro vicino alla luce diurna e con un alto indice di resa dei colori, ad esempio Ra 90.



Foto: DCL, Denmark

Corridoi e scale

- L'uniformità dell'illuminazione deve essere sufficiente per garantire movimenti sicuri senza aree buie.
- Linee guida, contrasti, luce dalle finestre e colori diversi (il pavimento più scuro dei muri e il sotto magari più chiaro dei muri) possono supportare l'orientamento. L'immagine sopra mostra un esempio eccellente di buona illuminazione e orientamento.
- L'illuminazione delle scale assicura che la pedata sia luminosa e l'alzata sia scura. Ciò implica un'illuminazione dal piano di sopra invece che dal piano di sotto. Inoltre, è provato che un misto tra illuminazione diffusa e luce diretta verso il basso creino una buona percezione dello spazio, del riconoscimento dei visi e delle caratteristiche delle forme geometriche (vedere bene i gradini).
- I corridoi e le scale sono principalmente usati durante le pause, e dunque la presenza di un controllo con sensori di presenza può far risparmiare molta energia. Si raccomanda di affievolire al 10-20% del flusso luminoso totale, dato che a molte persone non piacerebbe entrare in un corridoio buio e vuoto.



Foyer e sale assemblee

- Deve essere fornita un'illuminazione adatta a molte diverse attività che possono svolgersi, ad esempio presentazioni, esami e teatro amatoriale. Potrebbe persino essere appropriato installare due o più sistemi di illuminazione indipendenti, come ad esempio luce per le presentazioni, per le attività di pulizia, e luce d'accento / luce da palco.

- In un foyer con scale o una hall con un soffitto alto, potrebbero essere installate luci zenitali a LED a lunga durata. In alternativa, possono essere utilizzati apparecchi di illuminazione a LED a lunga durata e diretti dal basso verso l'alto.
- Per le scale nel foyer, i gradini devono essere segnati con l'uso di colori contrastanti e può essere installate un'illuminazione dei gradini a LED, regolabile e incorporata. Per ragioni di sicurezza, è importante che i gradini siano chiaramente visibili anche quando la luce è affievolita di molto.
- Un'illuminazione regolata e diffusa senza contrasti deve essere evitata dato che diminuirebbe la concentrazione del pubblico.
- In una sala assembleare o un auditorium può essere una buona idea posizionare lo schermo in una nicchia che lo ripari dalla luce diretta e che permetta l'illuminazione del podio e di chi sta tenendo la conferenza.

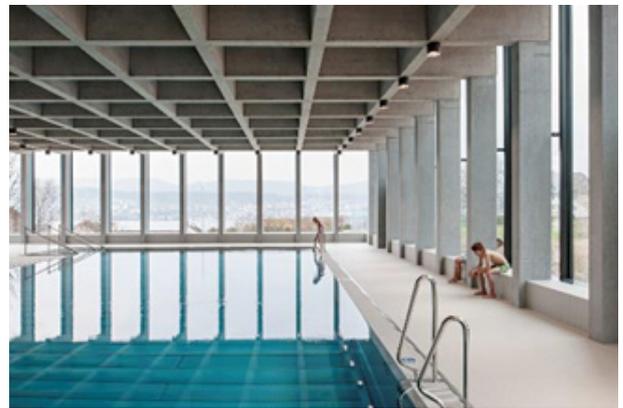


Foto: <http://www.archello.com/en/project/swimming-pool-de-vrolijkheid/2042222>

Palestre e piscine

- La luce naturale è molto ben accetta ma la sicurezza influenzerà la scelta e la posizione degli apparecchi di illuminazione dato che essi hanno bisogno di una robusta protezione.
- La regolazione dell'illuminazione generale è necessaria se la palestra è usata anche per esami, feste, concerti musicali e altro.
- Nelle sale della piscina, la progettazione dell'illuminazione deve minimizzare i riflessi luminosi sulla superficie dell'acqua. Apparecchi di illuminazione a LED possono essere resi estremamente resistenti all'acqua e ai gas (gas di cloro) e sono ideali per la maggior parte degli scopi eccetto la sauna.
- Il controllo dell'interruttore orario è raccomandabile per spegnere l'illuminazione in orari prestabiliti dal piano di occupazione per l'uso della palestra o la piscina.
- Altre raccomandazioni possono essere trovate nello standard EN 12193:2007 Light and lighting. Sports lighting.

6.3 Musei e spazi espositivi

I LED possono essere combinati in ogni forma per produrre illuminazione ad alta efficienza. I LED individuali possono essere dimmerati, ottenendo un controllo dinamico dell'illuminazione, del colore e della distribuzione. Sistemi di illuminazione a LED ben progettati possono raggiungere fantastici effetti di illuminazione per l'occhio, per l'umore e per la mente. L'illuminazione a LED fornisce quindi molteplici opportunità per i musei e per le esposizioni.



Arete artistiche

- L'illuminazione a LED produce poca radiazione nel campo dell'infrarosso, quasi nessuna emissione nell'ultravioletto e una piccola emissione di calore radiante. I LED sono quindi compatibili con la conservazione di oggetti sensibili come dipinti, gallerie d'arte, siti archeologici ecc. Nel caso in cui il raffrescamento sia utilizzato nel precedente sistema di illuminazione, potrebbero esserci anche risparmi energetici legati al raffrescamento non più necessario.
- Scegliere la giusta sorgente luminosa bianca a LED in termini di qualità spettrali (temperatura di colore), resa di colore, apparecchio di illuminazione e tipologia (che simuli la luce naturale diffusa oppure qualche tipo di luce diretta) può avere un enorme impatto sulla percezione. Idealmente dovrebbe essere curato in parallelo allo specifico oggetto artistico.
- La versatilità di colore delle lampade LED RGB consente di fornire qualsiasi colore.
- L'illuminazione a LED dei musei potrebbe essere usata per creare diverse percezioni delle opere d'arte di notte. Questo approccio è usato nel museo Glyptoteket di Copenhagen (vedi la figura sotto con il lucernario durante il giorno).

Corridoi e Scale

- Le lampade che irradiano parte della luce verso un soffitto chiaro e/o verso pareti chiare creano solitamente un'atmosfera piacevole.
- L'uniformità di illuminazione deve essere sufficiente da consentire di muoversi in sicurezza, senza avere zone buie.



- L'illuminazione delle scale dovrebbe assicurare che le pedate appaiano chiare e le alzate scure. Questo implica che l'illuminazione avvenga dal piano superiore invece che da quello inferiore. Un giusto mix tra illuminazione diffusa e luce diretta verso il basso crea una buona percezione dello spazio, riconoscimento dei volti e delle caratteristiche delle forme geometriche (ad esempio gradini).
- In caso di presenza di luce naturale, un controllo automatizzato dell'illuminazione può generare risparmi energetici rilevanti.



Foto: Casper Kofod

Sale riunioni

- La luce naturale e il contatto visivo con l'ambiente esterno sono aspetti importanti per il benessere e consentono di risparmiare energia, ma vanno accompagnati a strategie di controllo solare.
- È necessario fornire la luce adatta per diverse attività: presentazioni, discussioni, teatro e pulizia. Potrebbe persino essere il caso di installare più di un sistema di illuminazione.
- Se il soffitto è alto, dovrebbero essere utilizzate luci LED overhead a lunga durata o lampade uplight.
- Per le scale, i gradini dovrebbero essere messi in evidenza con un colore che crei contrasto e si può anche utilizzare illuminazione LED dimmerabile integrata nei gradini. Comunque i gradini devono essere sempre chiaramente visibili. La luce attenuata e diffusa senza contrasto deve essere evitata in quanto può diminuire la concentrazione della platea.



Esempio di buona pratica: Riqualficazione LED per lo storico municipio a Brema

Lo storico municipio di Brema costruito nel 1405-1408 è nella lista dei Patrimoni dell'Umanità. La vecchia illuminazione era realizzata con lampade a incandescenza.

Nel 2014, un gruppo di esperti fu incaricato di ricercare opzioni per passare alle lampade a LED. La qualità

(temperatura dei colori, resa dei colori, design e peso) e i requisiti estetici per l'illuminazione storica sono molto alti.

Un sistema di illuminazione a LED soddisfacente è stato identificato e installato nel 2016. Il tempo di ritorno dell'investimento è stato meno di 2 anni.

Il nuovo sistema d'illuminazione



Esempi di utilizzo di illuminazione a LED efficiente come elemento artistico

Il Museo Lenbachhaus a Monaco di Baviera esplora l'uso dell'illuminazione a LED efficiente a livello energetico come un elemento artistico, ad esempio la scalinata nord (vedi sotto) ha un'illuminazione scultorea rossa-bianca-rossa. Più di 170.000 LED e controlli di illuminazione intelligente rendono possibili almeno 100 differenti toni

di colore e livelli di attenuazione regolabili. I curatori sono così in grado di mostrare ogni opera d'arte con l'illuminazione ideale. Molti altri musei sono molto interessati a questo concetto innovativo di illuminazione.



6.4 Vendita al dettaglio

La competizione in un'area di shopping è dura. Un sistema di illuminazione ben pensato può essere uno strumento efficace per attrarre l'attenzione dei clienti. La giusta illuminazione crea la giusta atmosfera e sollecita la voglia di comprare. Di solito, le catene di negozi devono aderire a un lighting design riconoscibile e molto restrittivo a livello aziendale.

L'illuminazione a LED fornisce molte opportunità per ottenere fantastici effetti di luce, non solo per l'occhio ma anche per l'atmosfera/mente.

È importante che lo staff abbia buone condizioni visive senza abbagliamento. Sfortunatamente, troppi negozi equiparano la qualità dell'illuminazione alla quantità dell'illuminazione, e ciò risulta in una sovrailluminazione, lontana dalle condizioni ottimali di illuminazione. L'illuminazione dei negozi dovrebbe essere differenziata e dovrebbe guidare i clienti attraverso il negozio con punti che incoraggino i clienti a fermarsi a guardare.



- Molti negozi hanno precedentemente avuto problemi di riscaldamento generati da illuminazione a incandescenza o alogena. Passare all'illuminazione a LED risolve questo problema e si può risparmiare sul consumo di energia di raffreddamento.
- L'illuminazione sulle vetrine attrae i clienti e supporta il profilo e l'immagine del negozio. La regolazione dei colori delle lampade a LED RGB rende possibile creare un'atmosfera personalizzata per i capi in mostra. Cambi di colore programmati nel tempo possono essere una parte dell'esposizione.



- L'illuminazione nell'area di entrata deve attrarre l'attenzione e fornire una transizione fluida tra la luce diurna forte e l'illuminazione degli interni.
- Si raccomanda la suddivisione in zone con diversi bisogni di illuminazione: casse, entrata, espositori, podi bassi, scaffali alti, circolazione, camerini, etc.
- Dato che l'occhio è attratto e aggiusta la propria sensibilità alle zone più luminose del campo visivo, è necessario posizionare la maggior parte della luce sui capi importanti da vendere, luce di intensità media sui "capi ordinari" e poca luce nelle zone di circolazione.
- La luce d'accento data da faretti ben posizionati completa la scenografia evidenziando le forme, i colori e le consistenze. Ciò crea vita nel negozio.
- Cambiamenti molto evidenti nell'illuminamento e nella luminanza dovrebbero essere evitati dato che ciò può essere scomodo e stancante per lo staff.
- Un'illuminazione a LED incorporata in vetrine e sistemi di raffreddamento può creare percezione in modo accogliente.
- In generale, è necessario evitare l'abbagliamento da fonti di luce e anche specchiamento e riflettanze da superfici chiare.
- L'illuminazione locale e funzionale sopra i banchi di vendita devono creare concentrazione, un'atmosfera amichevole e abbastanza illuminazione da vedere denaro, carte di credito, etc.
- L'illuminazione nei retrobottega e nei magazzini deve essere sufficiente per il lavoro ed è spesso vantaggioso installare sensori di presenza per il controllo dell'illuminazione.



Esempio di buona pratica: Miglior qualità di illuminazione, nessuna "sovrailuminazione" ed enormi risparmi

La libreria La Capell a Barcellona è stata riqualificata nel 2015 - 2016 con illuminazione a LED.

Prima: 1170 CFL, 70 faretto alogeni e 10 LFL dentro gli scaffali. Gran parte dei CFL erano posizionati in modo non adeguato dentro gli scaffali e la luminosità era troppo alta.

Dopo: solo 54 faretto a LED e 18 apparecchi di illuminazione a LED sottili si sono dimostrati una sufficiente e miglior soluzione di illuminazione che forniva una miglior presentazione dei libri. Il nuovo flusso luminoso è il 20% del vecchio.

Risultato: il costo del consumo energetico annuale si è ridotto del 10% rispetto al vecchio e la tariffa legata alla potenza massima richiesta (W) si è altrettanto ridotta in modo considerevole. I costi di manutenzione sono diminuiti e il periodo di ritorno dell'investimento è di meno di un anno. Dopo l'installazione della nuova illuminazione le vendite sono aumentate.

L'appaltatore ha dimostrato al proprietario della libreria i benefici di una riqualificazione installando un campione di prodotti a LED. A contribuire al successo è stato anche il fatto che l'installazione sia stata eseguita da un installatore qualificato, che ha implementato la tecnologia senza problemi.

La vecchia illuminazione



La nuova illuminazione



Esempio di buona pratica: Riqualificazione di lampadine a incandescenza “a gabbia di scoiattolo” in una caffetteria a Leeds



Prima: la lampadina a incandescenza “a gabbia di scoiattolo” si è diffusa alcuni anni fa nei bar, nelle caffetterie, nei ristoranti e nei negozi. Queste lampadine sono rimaste sul mercato dopo il divieto di vendita delle lampadine a incandescenza nel 2012 a causa di una scappatoia nella regolamentazione europea sull’illuminazione. Queste lampadine forniscono una luce bianca molto calda (intorno ai 2200 K) con un design vintage.

Dopo: la scappatoia normativa è stata risolta nel 2016. In quel momento, sul mercato sono giunti ammodernamenti a LED di qualità. Le lampade a LED hanno la

stessa raffinatezza nell’aspetto, nell’atmosfera e nella temperatura di colore, e un’alta resa di colori a 90 Ra.

Risultato: le lampade a LED usano un decimo della potenza delle lampade a incandescenza e hanno una durata di 15.000 ore. Il periodo di ritorno dell’investimento è di meno di metà anno.

Il proprietario della caffetteria, i clienti e i social media hanno fornito un riscontro molto positivo a livello estetico.

La nuova illuminazione



6.5 Assistenza sanitaria

La qualità e la quantità dell'illuminazione sono importanti nella sanità per la velocità di guarigione e il benessere. La maggior parte delle attività dell'assistenza sanitaria sono eseguite in ambienti chiusi con uso di illuminazione elettrica.

Di solito, l'illuminazione dell'assistenza sanitaria è regolata a un solo livello con un CCT costante. Ciò non è però coerente con i ritmi circadiani umani per cui durante la giornata sono secrete quantità appropriate di dopamina per il piacere, la lucidità e il coordinamento dei muscoli; la serotonina per il controllo degli impulsi e la voglia di carboidrati; il cortisolo per la risposta allo stress e, durante la notte, la melatonina per il sonno e il riposo del corpo. Senza esposizione regolare e diretta alla luce naturale, il ritmo circadiano può essere sconvolto, e ciò può portare a problemi di salute come problemi di insonnia, dato che la luce e l'oscurità controllano la produzione di ormoni.

Alcune illuminazioni a LED offrono la possibilità di affievolire e regolare la temperatura dei colori correlata, cosa che può migliorare le condizioni fisiche per i pazienti. Un'illuminazione progettata attentamente può supportare i ritmi circadiani negli esseri umani. L'illuminazione può essere offerta da apparecchi a LED dimmerabili, ad esempio con un range di variazione di kelvin da 1800 a 6500 K.

L'illuminazione antropocentrica è installata sempre più spesso, specialmente negli ospedali dove i pazienti passano quasi il 100% del loro tempo in ambienti chiusi, e si è constatato che l'illuminazione artificiale che imita gli effetti non visibili e fisiologici della luce naturale sia benefica.

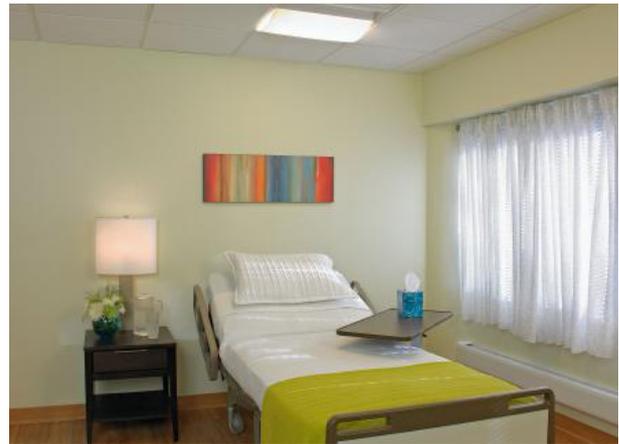


Foto: <http://www.visalighting.com/unity-patient-room-lighting-now-led>

Camere di degenza

- L'accesso e la vista della natura e della luce naturale aiutano la guarigione.
- Aggiungere luce ai muri e al soffitto crea una sensazione di luminosità anche se l'illuminamento è basso.
- Deve essere usata un'illuminazione a LED incorporata nei tavoli per disturbare il meno possibile gli altri pazienti nella stanza.
- Di mattina, una luce brillante è utile per il ritmo circadiano del paziente ed è anche un trattamento contro la depressione. Il controllo del dimmeraggio per l'illuminazione generale offre flessibilità che permette un alto illuminamento di mattina e durante le attività di pulizia.
- Di notte, l'illuminazione a luce rossa evita di disturbare il ritmo circadiano del paziente.
- L'illuminazione a LED può fornire un'illuminazione antropocentrica che imiti gli effetti non visibili e fisiologici della luce naturale, incluse le attrezzature menzionate sopra.
- Il controllo individuale, ad esempio con luci da tavolo mobili e lampade da lettura, è molto apprezzato dai pazienti.





Corridoi e Scale

- L'uniformità dell'illuminazione deve essere sufficiente per un ambiente sicuro senza aree buie. L'illuminazione delle scale deve assicurare che le pedate siano luminose e le alzate siano scure. Ciò implica un'illuminazione dall'alto piuttosto che dal basso. Inoltre, è provato che un mix tra illuminazione diffusa e un'illuminazione diretta verso il basso aiutino a creare una buona percezione dello spazio, riconoscimento dei volti e delle caratteristiche delle forme geometriche (vedere bene i gradini).
- L'illuminazione dei corridoi e delle scale è solitamente sempre accesa. Risparmi possono essere ottenuti dimmerando l'illuminazione notturna nei corridoi, e se viene utilizzato un colore rossiccio o ambra, ciò previene il disturbo del ritmo circadiano e dei cicli di sonno del paziente.



Sale operatorie

- L'illuminazione in sala operatoria è altamente avanzata e fornita da specialisti. La guida qui si limita dunque a menzionare due vantaggi generali nell'uso di sistemi di illuminazione a LED.
- Lo spettro dell'illuminazione a LED può essere agjustato a seconda di ciò che è importante vedere durante l'operazione.
- Molte operazioni sono chirurgia di precisione, ciò significa che il chirurgo ha bisogno di un'illuminazione eccellente sia quando guarda il paziente sia quando guarda i DSE (Ecocardiografia da Stress con Dobutamina). Al DSE il chirurgo ha bisogno di distinguere tra molte variazioni di rosso e altri colori per molte ore. I sistemi di illuminazione a LED sono in grado di fornire attrezzature molto versatili.



Esempio di buona pratica: Riqualificazione con l'uso di illuminazione antropocentrica a LED senza abbagliamento

Nel 2016, l'ospedale danese di Slagelse ha completato una riqualificazione del proprio sistema di illuminazione, in cui era stato richiesto di mantenere il soffitto acustico e di poter riutilizzare le vecchie nicchie occupate dagli apparecchi di illuminazione.

Prima: 1640 apparecchi di illuminazione LFL con problemi di abbagliamento, di pulizia e di illuminamento troppo basso.

Dopo: apparecchi di illuminazione a LED chiusi e protetti dalla polvere, con un miglior spettro di illuminazione e che offrono un'illuminazione antropocentrica con controllo DALI.

Risultato: il 28% in più di flusso luminoso, apprezzato da tutti gli utenti, il 33% di risparmio energetico e 5 anni di periodo di ritorno dell'investimento.

Opzionale: potrebbe essere aggiunto un maggiore controllo dell'illuminazione includendo sensori di luce diurna e PIR. I risparmi stimati ammontano ad un ulteriore 40%.

La nuova illuminazione a LED ha aumentato la funzionalità e la qualità della luce e ha generato risparmi, ha risolto il problema dell'abbagliamento, facilitato le pulizie e fornito un benessere maggiore per i pazienti, i visitatori e i dipendenti. La nuova illuminazione a LED dell'ospedale di Slagelse sta fungendo da ispirazione per altri ospedali.

Installazione della nuova illuminazione a LED



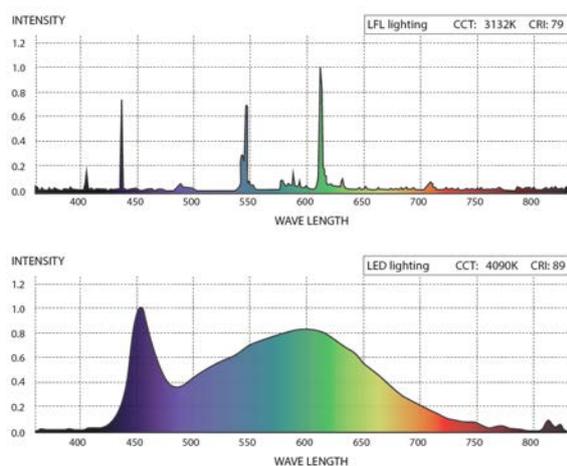
La nuova illuminazione a LED



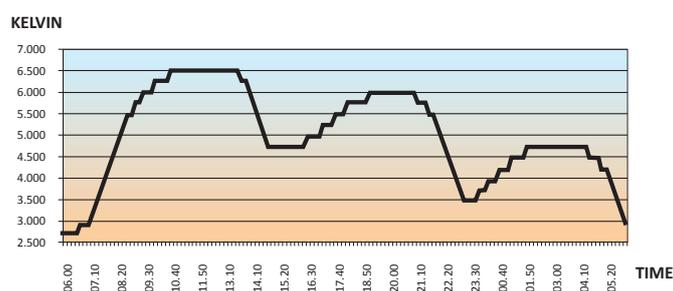
La vecchia illuminazione a LFL



Uno spettro molto migliore con l'illuminazione a LED



Variazione giornaliera di illuminazione antropocentrica





Esempio di buona pratica: Una migliore qualità dell'illuminazione con i LED negli ospedali Nisa in Spagna

Essendo consapevole dell'importanza dell'illuminazione ai fini del benessere, il gruppo ospedaliero Nisa ha deciso di eseguire una completa riqualificazione nelle proprie strutture per impiegare l'illuminazione a LED e conseguire un'alta qualità di illuminazione, includendo uniformità, livelli di illuminazione, efficacia e comfort visivo.

La riqualificazione per i sette ospedali ha dato come risultati risparmi energetici intorno al 64% e 2169 tonnellate di riduzione delle emissioni di CO₂. Sono riportati i risultati del 2015 per l'ospedale di Valencia. Qui 8500

punti di luce (luci Downlight PLC, LFL e faretto alogeni) sono stati sostituiti con prodotti a LED, e ciò si è tradotto in prestazioni superiori in termini di efficienza, qualità, uniformità, livelli di illuminazione e controllo DALI, con un periodo di ritorno dell'investimento di soli 0,6 anni.

Dall'esperienza nell'ospedale si evince che la miglior qualità di illuminazione ottenuta è importante per lo staff e per i pazienti e specialmente per la guarigione dei pazienti.

La nuova illuminazione a LED



Terminologia usata nelle linee guida

Termine	Definizione
Abbagliamento	Il disagio o interferenza con la percezione visiva nell'osservare un oggetto estremamente luminoso contro uno sfondo scuro.
Adattamento	L'abilità dell'occhio ad adeguarsi a differenti condizioni di luce.
Apparecchio di illuminazione	Un apparato che distribuisce, filtra o trasforma la luce trasmessa da una o più lampade e comprende tutte le parti necessarie per supportare, fissare e proteggere le lampade e, se del caso, circuiti ausiliari e mezzi di collegamento all'alimentazione elettrica. Un "apparecchio illuminante" può ospitare una o più "lampade"/"sorgenti luminose".
Ballast	Dispositivo utilizzato con una lampada a scarica elettrica per ottenere le condizioni circuitali necessarie (tensione, corrente e forma d'onda) per l'avviamento e l'azionamento, ad esempio limitando la quantità di corrente per le lampade fluorescenti e HID.
Contrasto	La differenza tra la luminosità di un oggetto rispetto a quella del suo sfondo.
Contrasto di luminanza	Quando un oggetto o una superficie hanno una luminanza diversa dallo sfondo è presente un contrasto di luminanza.
Controllo dell'illuminazione	Il sistema di controllo dell'illuminazione è un sistema di dispositivi intelligenti in rete che può includere relè, sensori di occupazione, fotocellule, interruttori di controllo della luce o touchscreen e segnali provenienti da altri sistemi di edifici (come l'allarme antincendio o altri impianti). La regolazione del sistema avviene sia presso i dispositivi, sia presso le posizioni del computer centrale tramite un'unità wireless.
Diffusore	Dispositivo per reindirizzare o diffondere la luce da una sorgente, principalmente tramite trasmissione diffusa.
Distribuzione della luce	La distribuzione della luce descrive come la luce si distribuisce nello spazio quando si irradia dall'apparecchio o dalla sorgente luminosa.
Distribuzione fotometrica	La distribuzione fotometrica è la misura delle intensità luminose a vari angoli in unità assolute, misurate in candele (cd) e gradi, comunemente illustrate mediante "curve di distribuzione della luce" nei cosiddetti "diagrammi polari".
Distribuzione spettrale	Una curva di distribuzione della potenza spettrale (<i>spectral power distribution</i> , SPD) mostra l'esatta emissione cromatica di una determinata sorgente luminosa, rappresentando il livello di energia presente per ogni lunghezza d'onda nello spettro del visibile.
Downlighter	Piccolo elemento per illuminazione diretta che dirige la luce verso il basso e può essere incassato, montato su superfici o sospeso.
Driver	Unità tra l'alimentatore e il modulo LED, per fornire ai moduli LED una tensione e una corrente appropriati. Il driver è anche chiamato circuito elettronico di controllo.
Efficacia globale	L'output luminoso per unità di potenza, tenendo conto sia dell'energia consumata in ON sia in STANDBY. Il tempo complessivo di misura deve essere almeno di un giorno, ma l'accuratezza è migliore con intervalli più lunghi, ad esempio una settimana o un anno intero.
Efficacia luminosa	Rapporto tra flusso luminoso totale (lm) e potenza assorbita (W), in lm/W.
Efficienza dell'apparecchio di illuminazione	Rapporto tra il flusso luminoso emesso da un apparecchio di illuminazione e il flusso luminoso emesso dalla lampada o dalle lampade utilizzate in esso. Equivale al LOR.
Ellissi di MacAdam	Regione, su uno schema di cromatismo, che contiene tutti i colori indistinguibili dal colore al centro dell'ellisse dall'occhio umano medio. Il profilo dell'ellisse rappresenta pertanto le giuste differenze di cromaticità (un'ellisse di MacAdam a 1 passo). Le ellissi di MacAdam sono spesso scalate fino ad essere ad esempio 3, 5 o 7 volte l'originale e sono chiamate ellissi di MacAdam a 3 passi, 5 passi o 7 passi. In un'ellisse a 7 passi, gli estremi sono a 14 passi l'uno dall'altro.
Fattore di manutenzione	Fattore di correzione utilizzato nel progetto dell'illuminazione per compensare il tasso di riduzione dei lumen, causato dall'invecchiamento della lampada (riduzione dei lumen e guasti della lampada) e dell'accumulo di sporcizia (apparecchio di illuminazione e ambiente). Determina il ciclo di manutenzione necessario per garantire che l'illuminazione non scenda al di sotto del valore di manutenzione.
Fattore di luce diurna	Il rapporto tra l'illuminamento ricevuto, in un punto dell'ambiente interno, da un cielo con una nota distribuzione di luminanza (di solito un cielo coperto) e l'illuminamento orizzontale all'aperto sotto un cielo emisferico senza ostacoli. Il rapporto è espresso in percentuale. La luce solare diretta è esclusa da entrambi i valori di illuminamento.

Termine	Definizione
Flusso luminoso	Il flusso luminoso (in lumen, o lm) è una misura della quantità totale di radiazione visibile emessa. Radiometricamente, è determinato dalla potenza radiante. In fotometria, un lumen è definito come il flusso luminoso emesso all'interno di uno steradiano da una sorgente di punti avente un'intensità luminosa uniforme di una candela.
Focalizzare	Regolazione della lunghezza focale della lente dell'occhio allo scopo di mettere a fuoco l'immagine di un oggetto - a una data distanza - sulla retina.
Gateway	Un dispositivo per interfacciare due reti che utilizzano diversi protocolli, che possono utilizzare differenti velocità, tensione e linguaggio dei dati.
Gestione termica	La capacità di controllare la temperatura delle giunzioni del dispositivo nei pacchetti LED, spesso utilizzando dissipatori di calore. Il calore di giunzione può influire negativamente sulle prestazioni dell'illuminazione LED, inclusi flusso, colore e vita utile.
Illuminamento	Misura in lux della quantità di luce incidente su una superficie o piano.
Illuminamento cilindrico	Flusso totale che cade sulla superficie curva di un cilindro molto piccolo in rapporto all'area della superficie curva del cilindro. L'asse del cilindro viene portato ad essere verticale, salvo diversa indicazione. È una misura di quanta luce cade sui volti delle persone.
Illuminamento medio	L'illuminamento medio in lux di un'area.
Illuminamento orizzontale	Illuminamento incidente sulla superficie orizzontale misurata in lux.
Illuminazione d'accento	Sistema che evidenzia la merce visualizzata o le caratteristiche di un negozio o di un edificio.
Illuminazione d'ambiente	La luce che circonda un ambiente o un soggetto.
Illuminazione diffusa	Illuminazione che non proviene prevalentemente da una certa direzione. L'illuminazione non direzionale è normalmente descritta come illuminazione diffusa.
Illuminazione indiretta	Illuminazione con apparecchi che distribuiscono verso l'alto il 90-100% della luce emessa.
Indice di resa cromatica (CRI)	Misura quantitativa fino a 100 Ra (dove 100 è il valore migliore) della capacità di una sorgente luminosa di riprodurre fedelmente i colori di vari oggetti rispetto a una sorgente luminosa di riferimento. Le sorgenti luminose con un alto CRI sono desiderabili poiché i colori risultano meno distorti.
Intensità luminosa	Il flusso luminoso per unità di angolo solido in una determinata direzione. È una misura della quantità di luce emessa in una data direzione. Si misura in candele (cd).
Lampada	Dispositivo di emissione luminosa la cui prestazione può essere valutata in modo indipendente e che consiste in una o più sorgenti luminose. Può includere componenti aggiuntivi necessari per l'avviamento, l'alimentazione o il funzionamento stabile dell'unità o per la distribuzione, il filtraggio o la trasformazione della radiazione visibile, nel caso in cui tali parti non possano essere rimosse senza danneggiare definitivamente l'apparecchio. Una "lampada" può essere costituita da una o più "sorgenti luminose".
LED light engine	Combinazione di un driver e di uno o più moduli LED.
Lente	Elemento in vetro o plastica utilizzato negli apparecchi di illuminazione per cambiare la direzione e controllare la distribuzione dei raggi luminosi.
Louvre	Serie di deflettori utilizzati per proteggere la vista diretta di una sorgente da alcuni angoli o per assorbire la luce indesiderata. I deflettori di solito sono disposti in uno schema geometrico definito.
Luce	Energia radiante che è in grado di eccitare la retina e produrre una sensazione visiva. La parte visibile dello spettro elettromagnetico si estende da circa 380 a 780 nm.
Luminanza	Misura fotometrica dell'intensità luminosa in una direzione specificata. L'unità SI per la luminanza è la candela per metro quadrato (cd/m ²).
Mantenimento del flusso luminoso	Percentuale di riduzione del flusso in uscita da una sorgente luminosa nel tempo. Ogni lampada ha una propria curva di riduzione di luminosità. Esprime il rapporto tra la quantità di luce prodotta da una sorgente luminosa quando è nuova alla quantità di luce prodotta in un dato momento futuro.
Modalità standby	Modalità in cui la lampada o l'apparecchio di illuminazione sono collegati alla fonte di alimentazione, e almeno una funzione di connessione intelligente alla rete è attivata. Per l'illuminazione, la modalità STANDBY si verifica quando la lampada/apparecchio viene disattivato dall'interfaccia utente o la luce visibile è regolata a zero, ma la lampada/apparecchio continua ad utilizzare energia per essere pronto a ricevere una successiva comunicazione wireless dall'interfaccia utente. I test hanno dimostrato che per le lampade in cui la luce può essere disattivata con un pulsante OFF oppure regolata a zero, la potenza in STANDBY è la stessa.

Termine	Definizione
Modulo LED	Unità fornita come sorgente luminosa. Oltre ad uno o più LED, può contenere componenti ottici, meccanici, elettrici ed elettronici, ma non il driver.
Pacchetto LED	Un pacchetto LED ha una lente ottica, una connessione (per legare il pacchetto alla scheda a circuito stampato), elettrodi e resina per incapsulare il chip LED per proteggerlo.
Piano di lavoro	Il piano su cui viene generalmente eseguito un compito visivo e su cui viene specificato e misurato l'illuminamento. Salvo diversa indicazione, in Europa si considera un piano orizzontale di 0,85 metri sopra il pavimento.
Postazione di lavoro	Combinazione e disposizione spaziale delle attrezzature di lavoro, circondate dall'ambiente di lavoro alle condizioni imposte dai compiti di lavoro.
Probabilità di comfort visivo, VCP	Valutazione di un sistema di illuminazione espressa come percentuale di persone che, guardando da una determinata posizione e in una direzione specifica, troveranno accettabile il discomfort da abbagliamento. La probabilità di comfort visivo è correlata alla valutazione dell'abbagliamento discomfortevole (<i>discomfort glare rating</i> , DGR).
Qualità della luce	Si riferisce alle qualità spettrali delle sorgenti luminose e alla distribuzione della luminanza in un ambiente visivo. Il termine viene utilizzato in senso positivo e implica che tutte le luminanze contribuiscano in modo favorevole alle prestazioni visive, al comfort visivo, alla facilità di visione, alla sicurezza e all'estetica per i compiti visivi specifici.
Rapporto di diffusione	Il rapporto tra flusso uscente da una superficie o un mezzo per riflessione diffusa rispetto al flusso incidente.
Riflessione	Caratteristica di una superficie di restituire luce o energia. Diverse superfici riflettono la luce in modi differenti, ad esempio: superfici speculari o diffuse.
Riflessione diffusa	Processo tramite il quale il flusso incidente viene riflesso in varie direzioni.
Riflettanza	Rapporto tra intensità del flusso radiante riflesso e intensità del flusso radiante incidente, è una grandezza adimensionale.
Riflettore	Dispositivo usato per reindirizzare il flusso luminoso da una sorgente grazie al processo di riflessione.
Sfarfallio/Flickering	Impressione di variazione, rapida e ripetuta nel tempo, della luminosità o (meno frequentemente) del colore della lampada.
Smart lamp	Lampada che può essere controllata tramite un segnale wireless utilizzando uno smartphone, un telecomando o un altro dispositivo. Alcune smart lamp fanno parte di un sistema domotico dedicato, che include molti apparecchi e un sistema integrato di gestione dell'energia.
Sorgente luminosa	Superficie o oggetto progettato per emettere radiazione ottica prevalentemente visibile prodotta da una trasformazione di energia. Il termine "visibile" si riferisce ad una lunghezza d'onda di 380-780 nm.
Spettro	Lo spettro visibile è la parte dello spettro elettromagnetico che è visibile all'occhio umano. La radiazione elettromagnetica in questa gamma di lunghezze d'onda è chiamata luce visibile o semplicemente luce. L'occhio umano tipico risponde a lunghezze d'onda da circa 380 a 780 nm. Lo spettro non contiene tutti i colori che l'occhio umano e il cervello riescono a distinguere. I colori insaturi, come variazioni di rosa o viola come il magenta, sono assenti perché possono essere realizzati solo da un mix di lunghezze d'onda multiple. I colori contenenti una sola lunghezza d'onda sono chiamati anche colori puri o colori spettrali.
Task Lighting	Illuminazione diretta su una superficie o area specifica che fornisce illuminazione per determinati compiti visivi.
Temperatura di colore Correlata (CCT)	Misura in Kelvin (K) che descrive la qualità di una sorgente luminosa esprimendo l'aspetto di colore correlato con lo spettro caratteristico del corpo nero. Le temperature di colore superiori a 4000 K appaiono fredde, mentre le temperature di colore inferiori a 3200 K appaiono calde.
Troffer	Un apparecchio per l'illuminazione rettangolare, che si inserisce in un soffitto modulare (in Europa da 60 x 60 cm, negli Stati Uniti 2'x 2' o 2'x 4'). Tipicamente, gli apparecchi troffer sono progettati per ospitare lampade fluorescenti standard (T12, T8 o T5), ma sono anche realizzate con sorgenti LED integrate. Il termine deriva da "trough" e "coffer".
Vita utile	Misurata tramite la combinazione di mantenimento o perdita della luminosità e percentuale di guasto. La perdita di luminosità è la riduzione della luce erogata dal dispositivo durante la sua vita. La percentuale di guasto è la percentuale di malfunzionamenti durante la vita utile.
Zoccolo	Componente che connette meccanicamente e elettricamente la lampada all'apparecchio.

Bibliografia

- 1 IEA 4E SSL Performance Tiers, <http://ssl.iea-4e.org/product-performance/performance-tiers>, 2016.
- 2 Minergie Efficacy criteria, <http://www.minergie.ch/>
- 3 Minergie Produktreglement zu den Gebäudestandards, v. 2017.2, part 11.1, Switzerland.
- 4 Lys-Emitterende Dioder (in Danish), LED, Rune Søggaard Larsen, 2011.
- 5 Light! On light in life and life in light, Tor Nørretranders & Olafur Eliasson, 2012.
- 6 EU GPP Criteria for Indoor Lighting, EU JRC, http://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/-criteria/indoor_lighting.pdf, 2012.
- 7 How to complement efficient lighting with good lighting design to obtain best practice, Advice and comments provided by Danish Centre for Lighting (DCL), Anne Bay, 2017.
- 8 Lys i Læringsmiljø (Norwegian language), Lyskultur, 2015.
- 9 Code of Practice for the Application of LED Lighting Systems, IET, UK, 2014.
- 10 Smart Lighting impacting Energy Consumption, Casper Kofod, IEA 4E SSL Annex, Sep. 2016, <http://ssl.iea-4e.org/product-performance/new-product-features/standby-of-smart-lamps-first-report>.
- 11 Occupant Sensors, <http://www.qualitylight.com/techniques/sensors/sensors.html>
- 12 Human Centric Lighting, Stan Walerczyk, <http://humancentriclighting.com/wp-content/uploads/2012/07/Stan-Article-SSL1.pdf>, 2012.
- 13 https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/opticalsafety_fact-sheet.pdf
- 14 http://en.licht.de/fileadmin/shop-downloads/1606_Reliable-Planning-with-LED-Lighting-2nd-Ed.pdf
- 15 <http://ieslightlogic.org/lighting-language/>
- 16 Light's Labour's Lost, Policies for Energy-efficient Lighting, IEA, 2006.
- 17 <http://www.allaboutvision.com/over60/vision-changes.htm>
- 18 The Use of the Internal Telephone Network for Control of Lighting in Large Office Buildings, <http://www.caddet-ee.org/register/data-ee/cce02091.htm>
- 19 <http://luxreview.com/article/2016/03/dubai-supermarket-is-first-in-middle-east-with-connected-lighting>
- 20 <http://luxreview.com/article/2015/04/exclusive-us-retail-giant-target-leads-the-way-in-lighting-based-in-store-navigation-systems>
- 21 Saving Energy with Efficient Lighting in Commercial Buildings, (only used information about lighting control), CADDET maxi Brochure 01, 1995.
- 22 Lamps and Lighting, (general lighting design), JR Coaton, AM marsden, Arnold, 1997.
- 23 Energy Efficient Lighting in Commercial Buildings, Stefan Aronsson, Per-Erik Nilsson, CADDET Analyses Series No. 6.
- 24 http://byggningsreglementet.dk/br15_02_id103/0/42, part 6.5.3 paragraph 2 (in Danish)
- 25 <http://ecodesign-lightingsystems.eu/documents>, 2016
- 26 Task and Building Lighting: the Link Between Lighting Quality and Energy Efficiency, David Loe, Right Light 4 p.11.
- 27 Strategies for Technologies Procurement in Creating Energy Efficient Lighting Installations, Arnold Buddenberg, Rienk Visser, Right Light 4.
- 28 Lighting Technology and maintenance, <http://www.facilitiesnet.com/NS/NS3mg6f.html>
- 29 Electric Lighting Controls – A Guide for Designers, Installers and Users, BRECSU, Good Practice Guide 160.
- 30 Daylight Performance of Buildings: 60 European Case Studies, m Fontoynt, Right Light 4 Vol.2 p.61.
- 31 A Study Performance of Light Pipes Under Cloudy and Sunny Conditions in UK, L Shao, SB Riffat, W Hicks, Right Light 4 Vol.1 p.155.
- 32 Advanced Lighting Control Technologies for User Satisfaction and Energy Efficiency, T Viljanen, L Halonen, J Lehtovaara, Right Light 4.
- 33 Envelope and Lighting Technologies to Reduce Electric Demand in Commercial Buildings, <http://eande.lbl.gov/CBS/NEWSLETTER/NL5/Envelope.html>
- 34 Give People Control of Lighting Controls, IAEEEL Newsletter 3/96.
- 35 Preadaptation and manual Switching, JA Lynes, PJ Littlefair, AI Slater, Right Light 4.
- 36 Results from the Integrated Performance Appraisal of Daylight-Europe Case Study Building, JA Clarke, JW Hand, M Janak, Right Light 4 Vol.1 p.117.
- 37 Increased Energy Savings by Individual Light Control, Rob Embrechts, Chris Van Belleghem, Right Light 4.
- 38 Assessing the Energy Saving Potential of Daylight Technologies for Non-Residential Buildings in Germany, A Kovach-Hebling, m Goller, S Herkel, J Wienold, Right Light 4 Vol.2 p.115.
- 39 <https://echa.europa.eu/addressing-chemicals-of-concern>
- 40 <http://eng.mst.dk/topics/chemicals/assessment-of-chemicals/list-of-undesirable-substances/>
- 41 https://e3p.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/files/documents/Lighting/eu_led_quality_charter.pdf
- 42 <http://www.ransen.com/Photometric/understanding-photometric-polar-diagrams.htm>

Consorzio di PremiumLight-Pro:



AUSTRIAN ENERGY AGENCY

Austria

Austrian Energy Agency
www.energyagency.at



Czech Republic

SEVEn, The Energy Efficiency Center
www.svn.cz



Energy piano

Denmark

Energy piano



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Portugal

Institute for Systems and Robotics,
University of Coimbra



United Kingdom

Energy Saving Trust
www.energysavingtrust.org.uk

co2online

Germany

co2online gGmbH
www.co2online.de

POLITECNICO MILANO
DIPARTIMENTO DI ENERGIA



Italy

Politecnico Milano
www.energia.polimi.it



Spain

Ecoserveis
www.ecoserveis.net



Poland

FEWE, Polish Foundation for Energy
Efficiency, www.fewe.pl

Autore:

Energy piano

Casper Kofod
ck@energypiano.dk
L.F.Cortzens Vej 3, 2830 Virum - Danimarca

Traduzione e adattamento:

Politecnico di Milano - Dip. Energia

gruppo eERG
info@eerg.it
Via Lambruschini 4, 20156 Milano - Italia

Le linee guida sono state completate nel settembre 2017 e aggiornate nel settembre 2018 e nel marzo 2019.