



**Metodologia di analisi unificata
dello stato di fatto dell'illuminazione
nell'ambito del progetto
LIGHTINGSOLUTIONS**

Progetto standard finanziato nell'ambito del Programma V-A Italia-Slovenia, dal Fondo europeo di sviluppo regionale.

PARTNER DI PROGETTO:



INDICE

1. Sintesi	1
2. Introduzione	2
3. Standard e requisiti per l'illuminazione	5
3.1 Standard e regolamenti internazionali	5
3.2 Norme e regolamenti nella Repubblica di Slovenia	7
4. Grandezze e unità illuminotecniche	9
4.1 Il flusso luminoso – Φ [lm]	10
4.2 Intensità luminosa– I [cd]	10
4.3 Luminanza– L [cd/m ²]	11
4.4 Illuminamento– E [lx = lm/m ²]	12
5. Requisiti per un'illuminazione di alta qualità	13
5.1 Distribuzione della luminanza	13
5.2 Illuminamento	15
5.3 Uniformità di illuminamento	16
5.4 Limitazione dell'abbagliamento	16
5.5 Orientamento della luce	19
5.6 Clima cromatico	21
5.7 Riproduzione del colore	23
5.8 Limitazione dell'effetto stroboscopico e flicker	24
5.9 Fattore di utilizzo dell'ambiente e fattore di manutenzione	25
5.10 L'effetto della luce sulle persone	25
6. Illuminazione	27
6.1 Panoramica di tutte le fonti elettriche di luce	27
6.2 Caratteristiche di vari tipi di lampade	35
6.3 Efficienza luminosa, efficienza dell'illuminazione e della lampada	39
6.4 Alimentatori	41
6.5 Illuminazione negli ambienti utilizzati	49
7. Manutenzione del sistema di illuminazione	53
8. Calcolo del consumo energetico e requisiti di potenza installata	55
8.1 Calcolo del consumo di energia - di base	55
8.2 Indice LENI	56
8.3 Calcolo dell'indice LENI - metodo 1 (esteso)	56
8.4 Calcolo dell'indice LENI - metodo 2 (rapido)	60
9. Misure per ottenere un'illuminazione efficiente dal punto di vista energetico	61
9.1 Illuminazione a risparmio energetico rispetto alla strategia di gestione	61
9.2 Sostituire delle vecchie sorgenti luminose con altre più efficienti	62
9.3 Controllo dell'illuminazione con timer o con un sensore di presenza	63
9.4 Controllo dell'illuminazione in base alla presenza di luce diurna	65
9.5 Integrazione del controllo dell'illuminazione con controllo persiane e collegamento al sistema CNS	67
9.6 Riadattamento dell'ambiente	69
9.7 Progettazione	70

10. Metodi per la raccolta di dati.....	72
10.1 Misure della illuminamento, descrizione dello stato di fatto dell'ambiente.....	72
10.2 Determinazione dell'indice di abbagliamento.....	77
10.3 Calcoli illuminotecnici.....	77
10.4 Censimento dello stato esistente di illuminazione pubblica esterna.....	81
11. Allegato 1: Moduli per la raccolta dei dati sull'illuminazione interna.....	83
12. Allegato 2: Moduli per la raccolta dei dati sull'illuminazione pubblica esterna.....	89
13. Allegato 3: Catalogo degli apparecchi illuminanti per illuminazione interna.....	90
14. Allegato 4: Catalogo degli apparecchi illuminanti per l'illuminazione pubblica esterna.....	92
15. Allegato 5: Decreto sui valori limite dell'inquinamento luminoso dell'ambiente.....	97
16. Riferimenti bibliografici.....	99

1. Sintesi

La metodologia definisce le modalità per la raccolta dei dati, l'analisi dello stato di illuminazione esistente e la definizione del potenziale di risparmio e delle misure da promuovere nel settore dell'illuminazione. Di seguito sono descritti i metodi sia per l'esecuzione di alcune attività progettuali, il censimento e la creazione dei catasti di illuminazione, che per la predisposizione di uno studio comparativo dello stato di fatto assieme al potenziale risparmio nei sistemi di illuminazione nei Comuni nell'ambito del progetto LightingSolutions. Fanno parte della metodologia anche i moduli per la raccolta dei dati.

Sono state preparate ipotesi di partenza unificate per la raccolta dei dati sull'illuminazione nell'area trans frontaliere. Questa attività è fondamentale per l'ulteriore condivisione di esperienze e il completamento con successo di altre attività in questo *work package* del progetto LightingSolutions, in quanto verranno utilizzati i dati sullo stato di fatto corpi illuminanti, sul consumo energetico, sui costi, ecc. che sarà possibile confrontarli tra i singoli Comuni solo se saranno raccolti in un formato uniforme.

L'illuminazione degli interni sarà discussa in modo più dettagliato. Se l'illuminamento sul luogo di lavoro è appropriato, ciò non significa che anche il luogo di lavoro in cui viene eseguito il lavoro, possa considerarsi appropriato. Per questo motivo, il metodo descritto include criteri che definiscono le caratteristiche di una buona illuminazione e che sono il prerequisito per un luogo di lavoro adeguato dal punto di vista della percezione visiva. Oltre all'illuminamento, il metodo affronta e valuta fattori quali l'uniformità dell'illuminamento, l'abbagliamento, il contrasto e l'indice di resa cromatica.

2. Introduzione

Nei giorni nostri non è facile seguire l'avanzamento dell'innovazione tecnologica, dato che le novità ci arrivano quasi ogni giorno. Con lo sviluppo della tecnologia sono cambiate con il passare degli anni anche le componenti dei sistemi di illuminazione (lampade a incandescenza, lampade compatte, interruttori, sensori....) La ragione principale dello sviluppo delle diverse aree dell'illuminazione è stata la tendenza a un uso efficiente ed economico dell'elettricità, dato che sull'intero pianeta circa il 19% di tutta l'elettricità prodotta è consumata per l'illuminazione. Ciò equivale approssimativamente all'energia elettrica prodotta da tutte le centrali nucleari dell'intero pianeta. La quota dell'energia consumata per illuminazione varia, ovviamente, da paese a paese e da regione a regione ed inoltre rispetto ai diversi tipi di strutture (industriali, educative, residenziali, pubbliche...). In generale, aumentando il numero di strutture e modernizzando le infrastrutture, la tendenza del consumo di energia per illuminazione tende ad aumentare, per questo motivo il problema di una maggiore efficienza energetica diventa ancora più importante.

Solo con il passaggio a fonti di luce più moderne si realizza una grande differenza nel consumo di elettricità per l'illuminazione, che è anche una pratica costante negli ultimi anni (le fonti di luce obsolete stanno sparando dal mercato). Naturalmente, il potenziale per risparmiare energia elettrica non sta solo nell'uso di sorgenti luminose efficienti. Va inoltre detto che all'efficienza energetica dell'illuminazione contribuisce una corretta gestione. Nonostante il progresso della tecnologia di gestione dell'illuminazione, oggi, nella maggior parte dei casi, utilizziamo metodi tradizionali come semplici interruttori, sensori di movimento, contattori, ecc. Le nuove tecnologie di gestione (DALI, DSI, DMX, 1-10 V) sono ancora relativamente impopolari, nonostante i vantaggi che offrono. Le ragioni di tutto ciò sono il maggior costo iniziale dell'investimento nel caso di un nuovo sistema di gestione nonché il timore generale degli investitori a investire nelle tecnologie avanzate, e quindi la preferenza data ai metodi vecchi e ben collaudati. Nonostante il maggiore investimento iniziale, il passaggio al sistema di gestione avanzato presenta ritorni sicuri, soprattutto nel lungo periodo.

Nel caso della pianificazione moderna, oltre ai requisiti standard, devono essere presi in considerazione criteri sempre più diversificati. Oltre ai limiti di carattere energetico, vanno considerati anche i valori di tipo ergonomico, che garantiscono la necessaria qualità dell'illuminazione per le persone. Per questo motivo si introducono due nuovi indici LENI (consumo energetico per illuminazione) e ELI (giudizio complessivo della qualità dell'illuminazione).

Nei materiali che seguono vengono descritte le dimensioni illuminotecniche, le fonti, i vari metodi di gestione, inoltre vengono presentati i due indici, LENI e ENI. In questa sede vengono inoltre descritti i metodi per la raccolta e l'elaborazione dei dati relativi all'illuminazione degli interni e degli esterni.

LEGENDA

- Φ - Flusso luminoso
- Ω - Angolo di incidenza
- I - Intensità luminosa
- L - Luminanza
- E - Illuminamento
- U_0 - Uniformità di illuminamento
- UGR - Indice di abbagliamento unificato
- Ra - Indice di resa cromatica (acronimo inglese CRI)

ACRONIMI UTILIZZATI

RS	-	Repubblica di Slovenia
UL	-	Gazzetta Ufficiale
LED	-	Diodo a emissione di luce (Light Emitting Diode)
ECG	-	Alimentatore elettronico
CIE	-	Commissione internazionale per l'illuminazione (Commission Internationale de l'Eclairage)
CEN	-	Comitato europeo per la standardizzazione (Comité Européen de Normalisation)
IP	-	Sigla internazionale per il grado di protezione agli agenti atmosferici
IK	-	Sigla internazionale per il grado di protezione contro gli impatti meccanici esterni
UE	-	Unione europea (European Union)
LER	-	efficienza luminosa della radiazione (luminous efficacy of radiation)
LES	-	efficienza luminosa della sorgente (luminous efficacy of a source)
LENI	-	indice per la valutazione energetica dell'illuminazione (Lighting Energy Numeric Indicator)
ELI	-	indicatore ergonomico della qualità dell'illuminazione (Ergonomic Lighting Indicator)
DSI	-	protocollo di gestione (Digital Serial interface), predecessore del protocollo DALI
DALI	-	Interfaccia digitale Indirizzabile per Illuminazione (Digital Addressable Lighting Interface)
DMX	-	Metodo e tecnologia per il monitoraggio dell'illuminazione e degli strumenti di gestione (Digital Multiplex)
CNS	-	Sistema centrale di controllo

3. Standard e requisiti per l'illuminazione

3.1 *Standard e regolamenti internazionali*

Con l'adozione del protocollo di Kyoto, la Slovenia si è impegnata a ridurre sensibilmente le emissioni di CO₂. Una delle misure per raggiungere questi obiettivi negli Stati membri dell'UE è anche la direttiva del Parlamento europeo sulle prestazioni energetiche degli edifici EPBD 2002/91 / CE (ingl. EPBD - Energy performance of Building Directive) approvata nel 2002, e la nuova direttiva EPBD (2010/31 / UE) ha introdotto ulteriori limiti al consumo di energia negli edifici. Ambedue le direttive introducono forti limitazioni al consumo energetico in tutto l'edificio. Queste norme riguardano, oltre all'isolamento dell'edificio (capotto, facciata, finestre), i singoli sistemi presenti negli edifici, quali: impianti di riscaldamento e climatizzazione, areazione, acqua calda e illuminazione. Per sostenere l'attuazione di questa direttiva il Comitato europeo per la standardizzazione CEN (European Committee for Standardization) ha emesso assieme alla sua affigliata CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) una serie di "Standard CEN" che si compone di più di trenta parti e raccoglie più di quaranta proposte e standard.

Il settore dell'illuminazione è regolato dallo standard europeo EN 15193 -"La performance energetica degli edifici - I requisiti energetici per l'illuminazione" (ingl. "Energy performance of buildings – Energy requirement for lighting"). Lo standard introduce un approccio generale, che deve essere utilizzato per determinare il consumo di energia elettrica per l'illuminazione. Una delle caratteristiche chiave dello standard è che nel metodo di calcolo del consumo di energia el. per illuminazione non si limita solo alla luce artificiale, ma include anche altri fattori come l'influenza della luce diurna, la gestione dell'illuminazione e l'illuminazione di emergenza. L'obiettivo della direttiva EPBD non è solo quello di fornire un livello adeguato di illuminazione, come descritto, ad esempio, nella norma "EN-12464-1 Luce e illuminazione - L Illuminazione nei luoghi di lavoro, Parte 1: Ambienti di lavoro interni ", ma in connessione con i metodi e gli standard quale quello contenuto in EN 15193, promuovere anche l'uso di sistemi di illuminazione artificiale efficienti dal punto di vista energetico e l'uso efficace della luce naturale.

L'indice di efficienza energetica - LENI secondo la norma EN 15193

Valutare il fabbisogno energetico dell'illuminazione negli edifici è diventato molto importante, quindi le stime ottenute possono essere utilizzate per analizzare l'illuminazione esistente e anche per confrontarla nella scelta di nuovi sistemi.

A questo fine il Comitato europeo per la standardizzazione (CEN) ha voluto presentare nello standard EN 15183 la proposta dell'indice numerico per la valutazione dell'energia necessaria all'illuminazione (ingl. Lighting energy numeric indicator - LENI) che si esprime in kWh/m² all'anno e viene utilizzato:

- per stimare la quantità di energia consumata all'anno per illuminare un m²,
- per poter mettere a confronto i sistemi alternativi di efficienza energetica di illuminazione,
- Per il controllo del risparmio energetico che si può avere in seguito a vari sistemi di gestione dell'illuminazione.
- Per il controllo di conformità con i parametri energetici dei singoli sistemi di illuminazione utilizzati,
- Per l'analisi dell'illuminazione esistente.

Nello standard si precisa in che modo deve essere calcolato l'indice LENI. Per il calcolo sono illustrati due metodi, quello rapido e quello completo. Il metodo rapido prevede molti passaggi e ipotesi semplificate. Nello standard troviamo una tabella che include dati tipici a livello annuale per specifiche tipologie di edifici, pertanto con questo metodo otteniamo quasi sempre valori più elevati di consumo energetico rispetto al metodo completo. Di conseguenza questo metodo permette di eseguire calcoli unicamente per il livello annuale. Il metodo per il calcolo completo è invece più preciso, in quanto si basa sui valori effettivi di ogni spazio o area, determinando così un valore inferiore e più preciso del consumo energetico rispetto al metodo rapido. Il metodo completo ci consente di eseguire i calcoli anche per periodi diversi.

Illuminazione dei posti di lavoro negli spazi interni secondo lo standard EN 12464-1

La commissione internazionale per l'illuminazione CIE ha dato applicazione allo standard europeo aggiornato EN 12464-1: 2012, che regola i requisiti per un'illuminazione di alta qualità nei luoghi di lavoro e nelle immediate vicinanze. Come per la maggior parte degli standard, anche qui sono definiti i requisiti minimi. Lo standard contiene tabelle con requisiti per l'illuminazione che vengono forniti in base al tipo di lavoro e alle esigenze di visibilità. Sono prescritti criteri minimi, che devono essere rispettati nei casi di illuminazione di posti di lavoro all'interno degli edifici. Il rispetto dello standard non garantisce sempre un adeguato illuminamento. Al fine di adattare l'illuminazione in base allo scopo e alla complessità delle esigenze di visibilità, è necessario essere a conoscenza, e quindi comprendere la situazione e le esigenze dell'utente. La definizione dello scopo dell'uso dell'illuminazione deve essere determinata all'inizio del progetto, poiché, ad esempio, le esigenze nelle scuole non sono le stesse delle esigenze degli uffici o dei capannoni industriali. L'allegato allo standard include un ampio elenco di requisiti per diversi tipi di attività, locali o lavori a vista per i quali sono specificati quattro criteri:

- Illuminamento minimo delle superfici di riferimento,
- Il valore limite che si applica all'abbagliamento diretto dei corpi illuminanti (UGR), Indice di abbagliamento unificato
- Requisiti minimi per un illuminamento uniforme nei luoghi di lavoro (U_0),
- Requisiti minimi dell'indice di resa cromatica (CRI).

L'aspetto principale dello standard si concentra quindi sul benessere visivo che deve essere assicurato, in quanto ciò può avere un effetto positivo sulla sensazione di benessere generale e una maggiore produttività. È necessario prestare attenzione a tutte le superfici nell'ambiente, perché la luminanza delle pareti e del soffitto influisce sul riflesso della luce nell'ambiente. È necessaria un'adeguata distribuzione della luminanza, poiché le differenze di luce luminosa eccessiva o insufficiente sono sgradevoli. Lo standard non prescrive come ottenere un adeguato comfort visivo. Per il comfort visivo è responsabile il progettista, poiché non bisogna sottovalutare i bisogni degli utenti. Per offrire un piacevole comfort visivo, è possibile utilizzare l'illuminazione diretta o indiretta, riflettori, le luci soffuse e l'illuminazione per esigenze speciali.

Esistono altri regolamenti e leggi come ad esempio:

- Regolamento per illuminazione pubblica e privata, N. 39, 9.6.2003

3.2 Norme e regolamenti nella Repubblica di Slovenia

Norme sull'uso efficiente dell'energia negli edifici, linee guida tecniche-uso efficiente dell'energia TSG-1-004: 2010

Per le esigenze di una costruzione adeguata ed efficiente dal punto di vista energetico, nel 2002 l'Assemblea nazionale della Repubblica di Slovenia ha emanato la "Legge sull'edilizia (ZGO), che è stata aggiornata nel corso degli anni rispetto alle novità e alle nuove leggi. L'ultima legge approvata che modifica la ZGO è ZGO-1C, è stata adottata nel 2009. Il regolamento edilizio, che definisce i requisiti per un uso efficiente dell'energia e la conservazione del calore per gli edifici, porta il titolo "Regolamento per l'uso efficace dell'energia negli edifici" (PURES).

Questo regolamento stabilisce inoltre i requisiti per la fornitura di proprie fonti energetiche rinnovabili per il funzionamento degli impianti e la metodologia per il calcolo del rendimento energetico di un edificio in conformità alla direttiva 31/2010 / UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 maggio 2010, sul rendimento energetico degli edifici.

Sulla base di questi requisiti il Ministero dell'Ambiente e della Pianificazione territoriale ha emesso nel 2010 le Linee guida tecniche "TSG-1-004 - Uso efficiente dell'energia", dove si specificano le norme edilizie o anche le soluzioni atte a soddisfare i requisiti del Regolamento PUREs.

Norme sui requisiti per garantire la sicurezza e la salute dei lavoratori nei luoghi di lavoro (Gazz. Uff. della Repubblica di Slovenia, n. 89/99 e 39/05)

Questo regolamento stabilisce che, in linea generale, gli ambienti di lavoro (tranne nel caso delle deroghe di cui all'articolo 30) devono essere illuminati da:

- luce naturale, che si ottiene con un'adeguata dimensione delle finestre (dimensioni della superficie da illuminare almeno 1/8 della superficie del pavimento, e la superficie di ogni finestra trasparente di almeno 1 m² con una profondità dell'ambiente fino a 4 m, o 1,5 m² con una profondità superiore a 4 m, l'altezza e la larghezza della finestra di almeno 1 m, l'altezza del bordo inferiore della finestra inferiore a 1,5 m),
- luce artificiale, che garantisca l'illuminamento dei posti di lavoro conforme agli standard sloveni attualmente in vigore, ossia non meno di 200 lx; in caso di bisogni maggiori, il luogo di lavoro deve essere dotato anche di illuminazione aggiuntiva,
- illuminazione di emergenza, se la sicurezza e la salute dei lavoratori in tali ambienti risultassero compromesse a causa di un blackout, detta illuminamento non dovrà essere inferiore all'1% del valore prescritto o almeno di 1 lx,
- illuminazione sostitutiva, che garantisca la continuazione dell'attività ordinaria. Illuminazione di almeno 5 lx sul pavimento,
- nel caso di illuminazione mista, la stessa dovrà essere coordinata con la luce naturale (direzione e colore della luce).

Regolamento sulla sicurezza e salute sul luogo di lavoro con schermi elettronici (Gazz. Uff. RS, no. 30/00 e 73/05)

Prescrive che:

- L'illuminamento naturale o artificiale dell'ambiente deve essere di 400 ±100 lx,
- se possibile, il rapporto di luminanza tra lo schermo e l'ambiente circostante nel campo visivo del soggetto non deve superare 1: 3, nel campo visivo ristretto 1:10 e nel campo visivo allargato 1:20,
- l'ambiente di lavoro deve essere progettato in modo tale che le sorgenti luminose non provochino riflessi fastidiosi sullo schermo. Direttive per la costruzione delle scuole primarie nella Repubblica di Slovenia (2007),
- Per tutti gli altri ambienti della scuola, è importante avere l'illuminamento corretto per l'intera giornata,

- Tutti gli spazi devono essere posizionati, dimensionati, disposti e attrezzati in conformità con le normative settoriali in vigore.
- Le vie di comunicazione devono essere ben illuminate e ventilate.

Il regolamento sulle norme e condizioni tecniche minime per gli spazi e le attrezzature delle scuole materne (Gazz. Uff. RS, nn. 73/00, 33/08, 126/08, 47/10, 47/13, 74/16 in 20/17)

Prescrive in merito all'illuminamento:

- La scuola materna deve essere progettata e costruita in modo tale da garantire un'illuminazione ottimale osservando le condizioni micro climatiche del sito (articolo 13),
- deve consentire l'ombreggiamento del terrazzo, riducendo di poco l'illuminamento naturale dell'aula giochi (articolo 23),
- L'aula per il lavoro individuale con i bambini, che necessitano di un aiuto personalizzato, deve esser situata vicino alle aule gioco e avere non meno di 8 m² di superficie netta. Deve godere di luce e ventilazione naturali dirette (art. 26)
- tutte le aperture per l'illuminazione naturale devono avere incorporati elementi per prevenire l'eccessiva influenza dei raggi del sole e per favorirne l'oscuramento (articolo 47),
- nei bagni e nei corridoi, è consigliabile installare sensori per l'accensione e lo spegnimento dei corpi illuminanti (articolo 54).

Art. 49 (illuminazione)

- tutti i locali destinati alle attività educative dei bambini e ai locali in cui svolgono il loro lavoro i dipendenti della scuola materna devono essere illuminati da luce naturale,
- l'illuminazione naturale diretta viene raggiunta se l'area totale delle aperture in muratura esterne... destinate all'illuminazione raggiunge almeno il 20 % della superficie netta della planimetria del locale,
- l'illuminazione artificiale delle aule gioco deve essere uniforme e diffusa. Il seguente illuminamento dovrebbe essere presente nei singoli ambienti:
 - nelle aule gioco– 300 lx,
 - negli spazi di servizio – 500 lx,
 - negli ambienti di lavoro – 350 lx,
 - in altri ambienti secondo quanto stabilito dallo standard in vigore (SIST EN 12464).

L'illuminazione è inoltre regolata da altre norme, standard, raccomandazioni e decreti:

- Raccomandazioni della Associazione slovena per l'illuminazione: "Illuminazione stradale - Illuminazione e segnaletica per il traffico" PR 5/2 2000,
- Legge sulla circolazione stradale (ZCes - Gazz. Uff. n. 109/2010) e Legge di modifica della legge sulla circolazione stradale (ZCes-1A - Gazz. Uff. RS: n. 48/2012),
- Legge sulla sicurezza del traffico stradale (testo coordinato) (ZVCP-1-UPB5 - Gazz. Uff. n. 56/2008),
- Regolamento sulla progettazione delle strade (Gazz. Uff. RS n. 91/05) e Legge di modifica della Legge sulla sicurezza del traffico stradale (Gazz. Uff. RS n. 26/06)
- Decreto sui limiti dell'inquinamento luminoso dell'ambiente (Gazz. uff. RS, n. 81/07, n. 109/07 – integrazione in n. 62/10),

- Norme tecniche TSG-N-002:2013 (illuminazione di emergenza),
- Seguenti Standard SIST EN 1838, EN 50172, HD 60364-5-559, HD 60364-7-715, IEC 60050-845.

4. Grandezze e unità illuminotecniche

Grazie alla luce riusciamo a vedere il mondo che ci circonda. La luce che viene riflessa dagli oggetti nel nostro ambiente e colpisce la retina del nostro occhio ci permette di percepire l'ambiente. La vista è il senso della percezione della luce e della sua interpretazione (visione). L'organo della vista è l'occhio, che insieme alle cellule sensoriali - i fotosensori esegue il rilevamento fisico della luce. I fotosensori trasformano la luce in entrata in impulsi nervosi che passano attraverso i nervi della vista nel cervello. Il cervello interpreta la luce percepita trasformandola nell'immagine del nostro ambiente.

La luce è un'onda o una radiazione elettromagnetica, le cui lunghezze d'onda sono nell'intervallo visibile dello spettro dell'onda elettromagnetica e vanno da circa 380 nm a 780 nm. Questa parte dello spettro è chiamata spettro del visibile, dal momento che l'occhio umano è in grado di rilevare la luce solo in questa fascia (*vedi figura 1*).

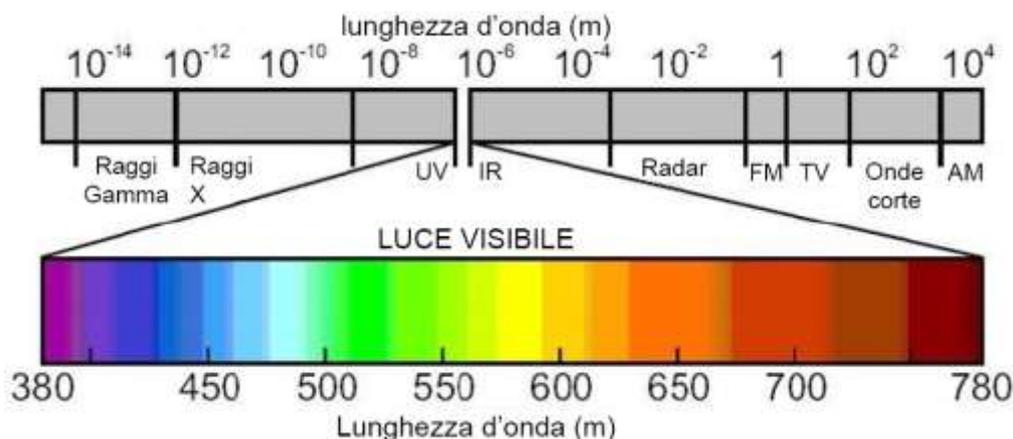
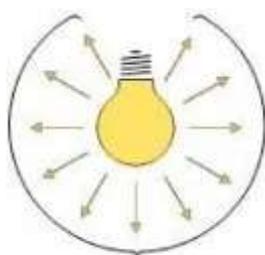


Figura 1: Lo spettro visibile della luce delle onde elettromagnetiche

Per le misurazioni della luce e per confrontare gli effetti delle singole sorgenti luminose nell'ingegneria illuminotecnica vengono utilizzate variabili sia illuminotecniche che fisiche. La fotometria è una scienza che si occupa delle misurazioni della luce percepita dall'occhio umano. Di conseguenza questa scienza si concentra unicamente sullo spettro del visibile. Quindi le grandezze che vengono definite in questo caso si riferiscono all'efficienza spettrale dell'occhio umano. Con le grandezze illuminotecniche si valuta quindi la luce in base alla percezione visiva dell'uomo. Tra le grandezze fisiche vengono considerate tutte quelle variabili che ci consentono di valutare la luce in base a valori energetici.

4.1 Il flusso luminoso – Φ [lm]

Il flusso luminoso esprime la quantità di luce emessa nell'unità di tempo, che l'occhio umano percepisce come luce. A causa della diversa sensibilità spettrale dell'occhio alla luce di diverse lunghezze d'onda, il flusso luminoso rilevato dai nostri occhi differisce dal flusso di energia della luce, che viene emessa dalla sorgente luminosa. Il flusso luminoso è misurato in lumen (lm) Esso è la misura della quantità di energia, in questo caso la luce che una sorgente luminosa irradia nello spazio (vedi figura 2).



Flusso luminoso

Figura 2: Flusso luminoso

4.2 Intensità luminosa– I [cd]

L'intensità luminosa dipende dalla direzione del flusso luminoso. Tuttavia, se la luce viene irradiata uniformemente in tutte le direzioni, allora l'intensità luminosa è costante e indipendente rispetto alla direzione. L'intensità luminosa è espressa come rapporto tra il flusso luminoso (Φ), che la sorgente luminosa irradia nella direzione dell'angolo unitario (Ω) in una determinata direzione (vedi figura 3). L'unità di misura dell'intensità luminosa è detta candela (cd) e definisce l'intensità luminosa, che viene irradiato in una data direzione da una sorgente monocromatica di frequenza pari a 540×10^{12} Hz con una potenza di $1/683$ W su steradiante. La caratteristica della distribuzione spaziale dell'intensità luminosa di un corpo illuminante o di un riflettore è di solito data da un diagramma polare, che è generalmente fornito dal costruttore stesso (vedi figura 4).

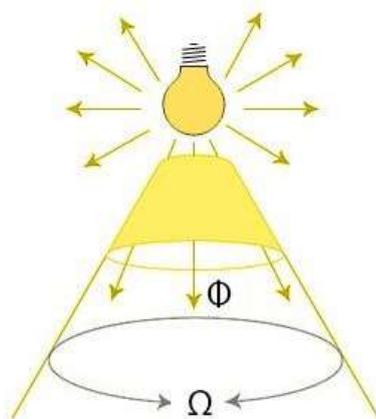


Figura 3: Intensità luminosa

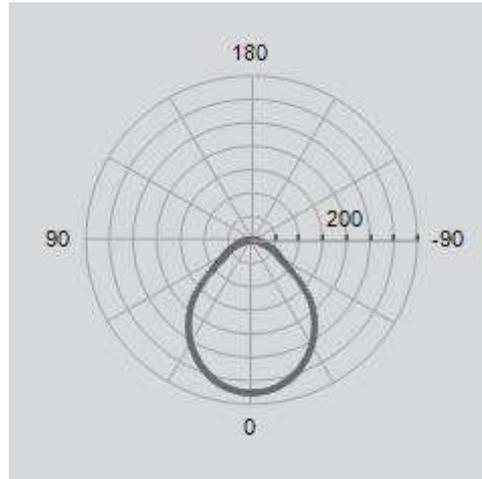


Figura 4: Diagramma polare

4.3 Luminanza– L [cd/m^2]

La luminanza è definita come rapporto tra l'intensità luminosa (I) della sorgente luminosa, che irradia in una determinata direzione, e l'unità della superficie illuminata (A). L'unità di misura è la candela per unità di superficie (cd/m^2). La luminanza è l'unica grandezza fotometrica che l'occhio umano percepisce direttamente per cui riflette quanta parte del flusso luminoso viene percepita dai nostri occhi su una superficie osservata da una certa angolazione (vedi figura 5). La luminanza è un indicatore di quanto luminosa o buia sarà la superficie per i nostri occhi.

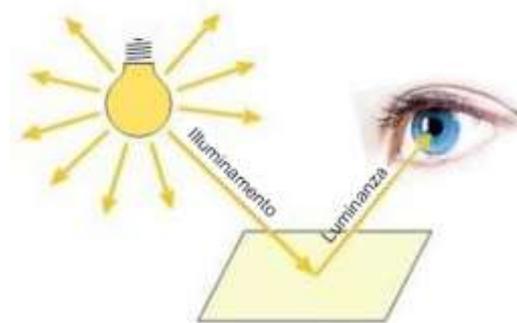


Figura 5: Luminanza

4.4 Illuminamento– E [$lx = lm/m^2$]

L'illuminamento è una misura dell'intensità del flusso luminoso per unità di area ed è definita come il rapporto tra il flusso totale di luce (Φ) che cade perpendicolare su una certa superficie e la dimensione di quella superficie (A) (vedi figura 6). Per piccole sorgenti luminose, l'illuminamento diminuisce in modo inversamente proporzionale al quadrato della distanza. L'unità di illuminamento è il lux (lx) e il dispositivo per le misurazioni è denominato lux meter. L'idoneità dell'illuminazione di un ambiente è determinata dall'illuminamento (lux) (vedi Figura 7). Gli standard per i singoli ambienti (luoghi di lavoro) determinano i diversi bisogni di illuminamento.

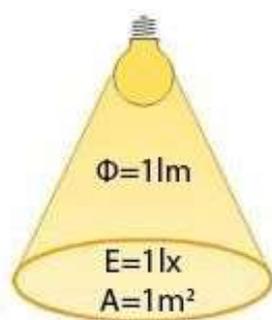


Figura 6: Illuminamento

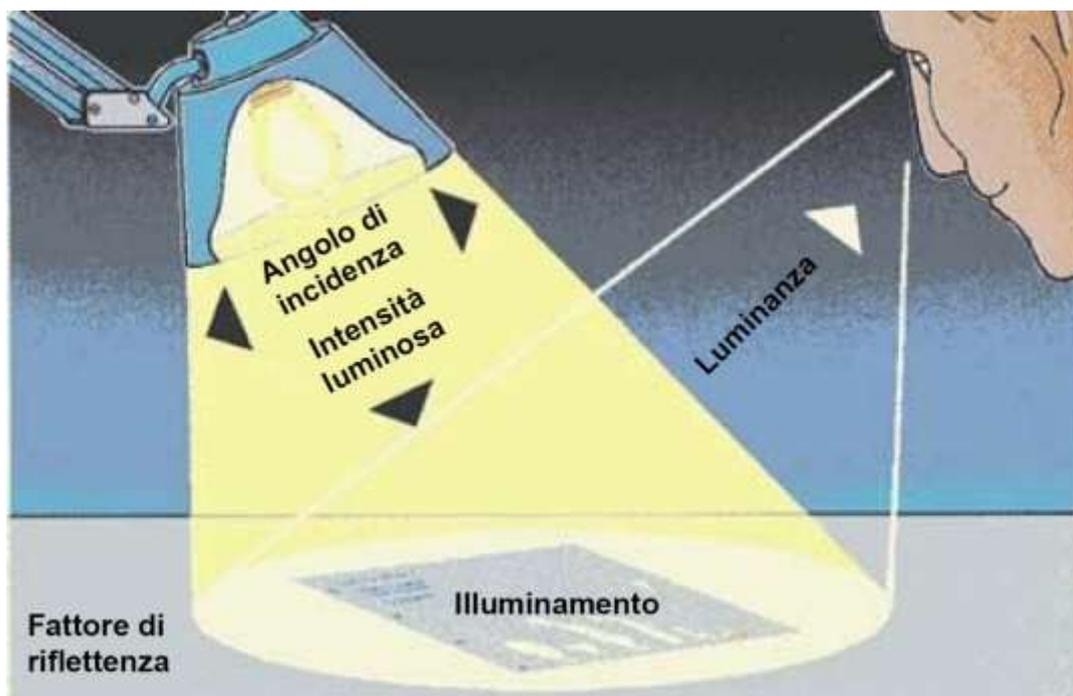


Figura 7: Le grandezze fotometriche di base nei casi di interdipendenza

5. Requisiti per un'illuminazione di alta qualità

Tutti gli spazi interni, che vengono illuminati con fonti di luce artificiale, devono essere illuminati in modo tale, che la quantità di luce erogata consenta di eseguire con il massimo successo tutti i compiti che implicano visibilità, senza stancare gli occhi, essendo inoltre gradevole per gli occhi (*vedi figura 8*). È necessario adeguare l'illuminazione alle esigenze del lavoro assicurando anche in questo modo un alto livello di sicurezza. Nel progettare illuminazione artificiale per interni, si deve tener conto del fatto che, da un lato è necessario che questa soddisfi i requisiti ergonomici e energetici, e che d'altro lato con essa si possa influire, attraverso una progettazione architettonica complessa, in modo armonico sull'intero ambiente. Requisiti per l'illuminazione di alta qualità:

- distribuzione della luminanza,
- illuminamento
- uniformità nell'illuminamento
- limitazione dell'abbagliamento,
- orientamento delle luce,
- clima cromatico,
- Limitazione dell'effetto stroboscopico.

5.1 Distribuzione della luminanza

La distribuzione della luminanza nel campo visivo controlla il grado di adattamento dell'occhio umano e quindi influenza la visibilità delle mansioni svolte e l'area (*vedi figure 9 e 10*). È necessaria una distribuzione della luminanza equilibrata per migliorare:

- visione chiara (acutezza visiva),
- sensibilità al contrasto (che distingue le piccole differenze di illuminamento),
- efficacia delle funzioni oculari quali accomodamento, adattamento, restringimento delle pupille, movimento degli occhi.

La distribuzione della luminanza influisce anche sul comfort visivo. Pertanto, dobbiamo prestare attenzione a quanto segue:

- Luminanza eccessiva può causare l'abbagliamento,
- Contrasti di luminanza eccessivi possono provocare stanchezza dovuta al continuo adattamento degli occhi.
- Luminanza e contrasti insufficienti possono condurre ad un senso di noia e mancanza di interesse.



Figura 8: Esempio di illuminazione del luogo di lavoro

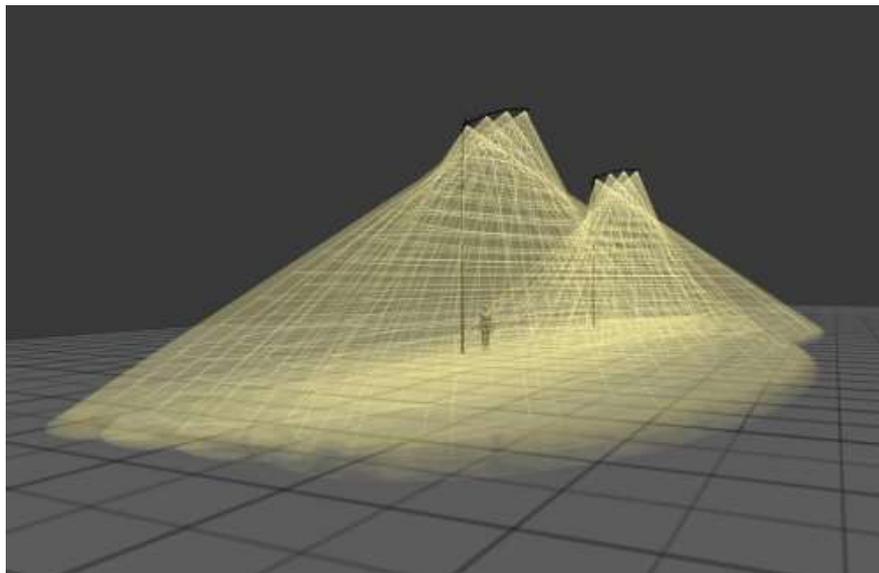


Figura 9: Esempio di distribuzione della luminanza - illuminazione pubblica

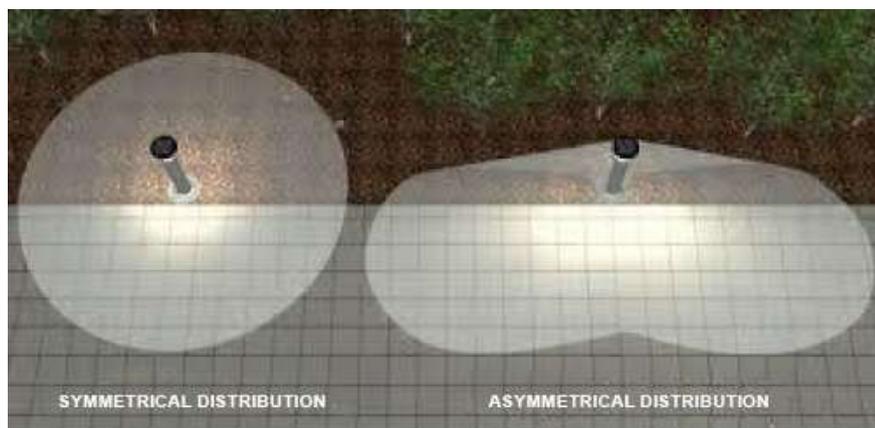


Figura 10: Vari esempi di distribuzione della luminanza

5.2 Illuminamento

L'illuminamento e la sua distribuzione sulla superficie di lavoro e nell'ambiente circostante hanno un grande impatto sulla rapidità, la sicurezza e il comfort di una persona in grado di percepire e svolgere un compito visivo (*vedi figura 11*). Lo standard europeo EN 12464 specifica i valori minimi di mantenimento per l'illuminamento, per vari oggetti e scopi, che garantiscono prestazioni adeguate e comfort visivo.



Figura 11: Visualizzazione dell'illuminazione del posto di lavoro e del processo di lavorazione

5.3 Uniformità di illuminamento

Distinguiamo tra uniformità nel tempo e nello spazio dell'illuminamento. Di solito non possiamo esercitare alcuna influenza sull'uniformità temporale a meno che ciò non si verifichi a causa dell'effetto stroboscopico. Con il corretto dimensionamento dei circuiti, possiamo solo influenzare parzialmente la fluttuazione di tensione nella rete. L'uniformità spaziale dipende dalla relazione tra lo spazio meno illuminato nell'ambiente e l'illuminamento medio del medesimo (vedi figura 12).



Figura 12: Esempio di illuminamento uniforme

5.4 Limitazione dell'abbagliamento

L'abbagliamento è presente sia nel caso delle fonti naturali di luce, come la luce diurna, e sia nel caso dell'illuminazione artificiale interna. Quanto l'abbagliamento riesca ad infastidire l'occhio dell'utente dipende da più fattori (vedi figure 13 e 14).

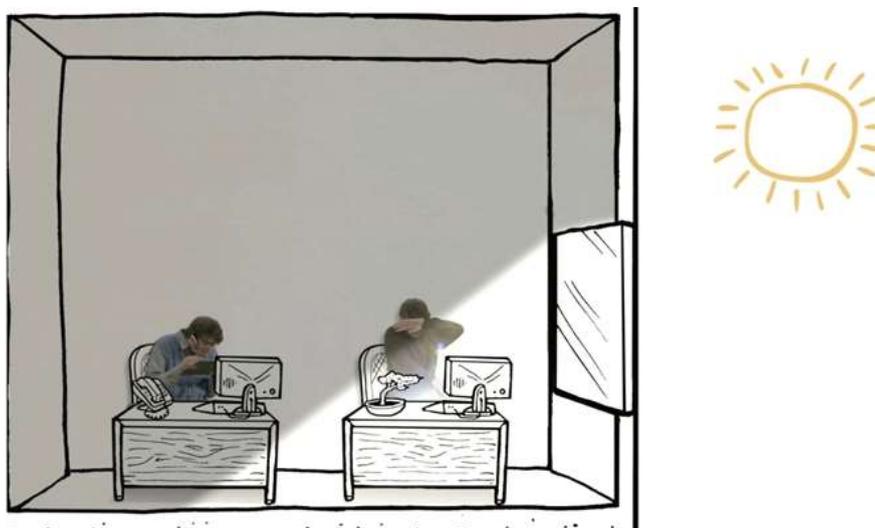


Figura 13: Esempio di abbagliamento con la luce del giorno



Figura 14: Esempio di abbagliamento con la luce del giorno - riflesso di una facciata in vetro

L'abbagliamento si forma in piccole aree tra le zone molto illuminate e le zone poco illuminate (vedi figura 16). L'abbagliamento fa sentire le persone a disagio. Osserviamo ad esempio l'utilizzo di una normale lampada per illuminare la superficie della scrivania. La sola lampada da tavolo fornisce una luce più che sufficiente per illuminare in modo adeguato la superficie dell'area di lavoro. Il problema nasce con l'abbagliamento della lampada direttamente negli occhi dell'utente, il che è estremamente fastidioso (vedi figura 15). Con un tale abbagliamento è estremamente difficile scrivere o leggere. Se copriamo la lampada con un paralume, eliminiamo l'abbagliamento nell'ambiente, anche se la medesima continua ad illuminare bene la superficie dell'area di lavoro (vedi figura 15).

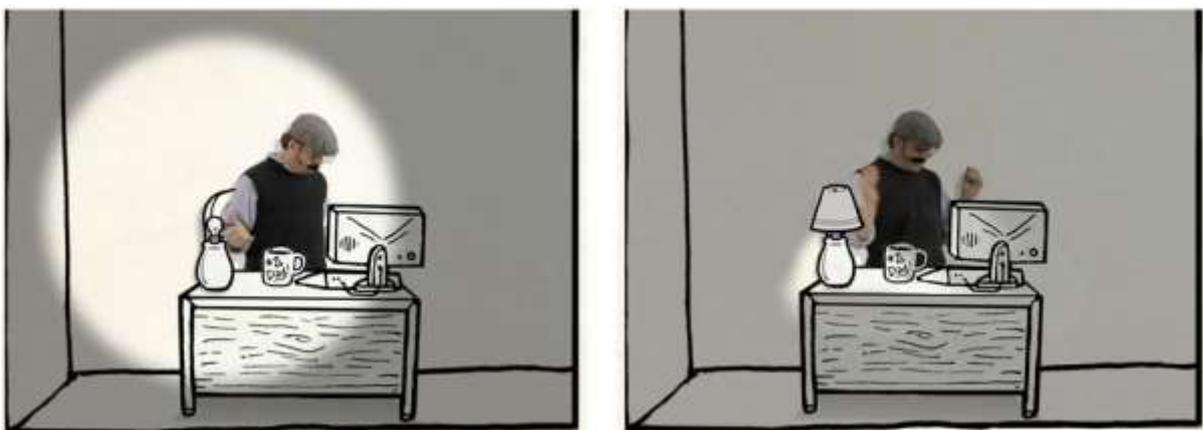


Figura 15: Esempio di abbagliamento con luce artificiale - lampada senza paralume e con paralume



Figura 16: Esempio di abbagliamento con luce artificiale - illuminazione corretta e scorretta

Per misurare l'abbagliamento si usa la grandezza denominata costante di disagio a causa dell'abbagliamento (vedi tabella 1).

Indici di abbagliamento	Reazione
0-10	impercettibile
10-16	percettibile
16-22	accettabile
22-28	sgradevole
>28	insopportabile

Tabella 1: Valori dell'indice di abbagliamento

Le mansioni lavorative più impegnative sotto il profilo visivo, dove è necessario assicurare un alto livello di intensità luminosa, necessitano di un basso livello di abbagliamento (vedi tabella 2). Tra queste mansioni ricadono il disegno e le visite oculistiche molto accurate. Anche nel caso del lavoro al computer l'abbagliamento risulta essere molto fastidioso. È scomodo perché gli schermi del computer presentano superfici lucenti in cui il bagliore è molto pronunciato.

Valori limite	Tipo di luogo di lavoro
16	Studio di disegno, visite oculistiche molto accurate
19	Uffici, biblioteche, lavoro al computer (riflessi dallo schermo)
22	Cucine, reception, lavori di montaggio estremamente accurati
25	Magazzini, lavori semplici di montaggio
28	Parcheggi al coperto, lavori industriali pesanti

Tabella 2: Valori limite dell'abbagliamento in relazione a settori di attività

L'abbagliamento può essere ridotto con metodi alquanto semplici. Più alte sono le fonti di luce minore sarà l'abbagliamento. Durante il montaggio delle lampade bisogna prestare attenzione che vengano poste al di fuori dell'angolo visuale al fine di ridurre l'abbagliamento (*vedi figura 17*). L'abbagliamento può essere ridotto anche diminuendo la potenza delle singole fonti luminose. Ciò non vuol dire che l'ambiente debba essere oscurato, ma semplicemente che è necessario installare più lampade che possono essere oscurate o di minor potenza. Così possiamo comunque ottenere il livello desiderato di illuminamento riducendo il livello dell'abbagliamento. Per ridurre l'abbagliamento è meglio disporre di un numero maggiore di fonti oscurabili, rispetto ad un'unica fonte. Un effetto rilevante sull'abbagliamento può derivare dall'illuminazione di sottofondo. Maggiore è l'illuminazione di sottofondo, tanto minore sarà l'abbagliamento.

La valutazione unificata dell'abbagliamento ossia il metodo UGR (unified glare rating) si misura attraverso un indice internazionale che è stato introdotto dalla Commissione internazionale per l'illuminazione CIE (International Commission on Illumination) e viene utilizzato per la valutazione e la limitazione dell'abbagliamento psicologico diretto delle fonti luminose. A differenza del vecchio indice di abbagliamento in cui l'intensità del fenomeno era riferito ad un'unica fonte di luce, il metodo UGR consente di calcolare l'abbagliamento complessivo a partire dal punto di vista dell'osservatore in un determinato ambiente. Il calcolo preciso del valore UGR con un punto di osservazione ben definito nell'ambiente può essere prodotto attraverso gli strumenti di simulazione moderni di progettazione dell'illuminazione. Minore è il valore dell'UGR più basso sarà l'abbagliamento nell'ambiente.

In sintesi possiamo concludere che l'abbagliamento non è altro che uno spiacevole effetto collaterale che può essere mitigato con i metodi sopra indicati. Quando si scelgono le luci è importante sapere dove installarle e quanta illuminazione è necessaria nell'ambiente e sulle superfici di lavoro.



Figura 17: Un esempio di illuminazione corretta e di sistemazione dei posti di lavoro

5.5 Orientamento della luce

Dalla luce orientata in una determinata direzione si creano le ombre che influenzano in modo significativo il riconoscimento della forma e dell'aspetto degli oggetti nell'ambiente (*vedi figura 18*). In pratica, sembra che per una buona percezione

visiva degli oggetti è necessaria un illuminamento verticale di almeno il 50% di quello orizzontale. Usiamo l'illuminazione direzionale per illuminare gli oggetti, rivelare tessiture e rendere le persone più consapevoli dell'ambiente, e creare effetti di luce nello stesso ambiente e nelle sue vicinanze (vedi figura 19).



Figura 18: Orientamento puntuale dell'corpo illuminante – illuminazione di un oggetto esposto

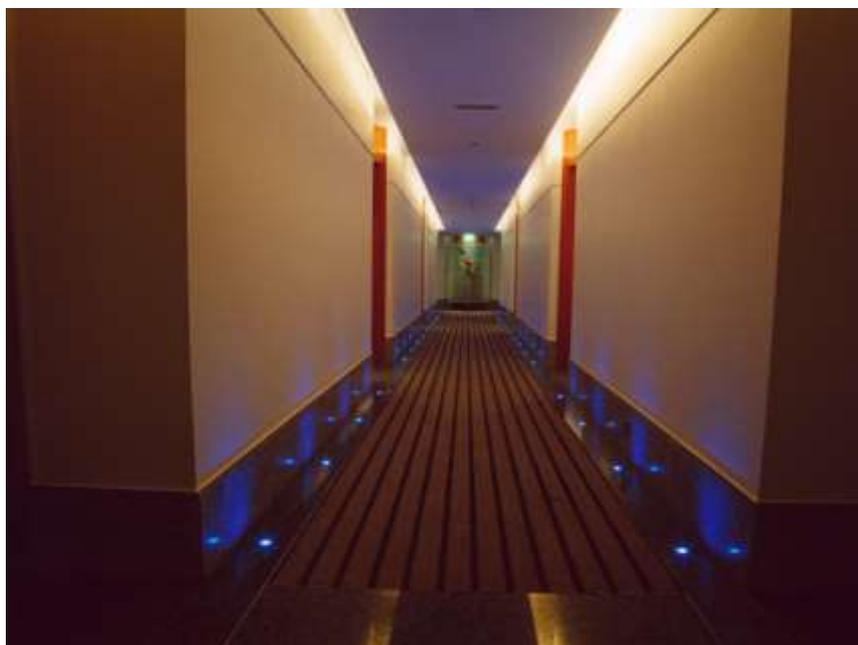


Figura 19: Illuminazione indiretta di un corridoio, spot luminosi nel pavimento

5.6 *Clima cromatico*

A causa dell'influenza della luce e dei colori, si verificano effetti psicofisici, chiamati il clima cromatico (*vedi figura 21*). Un piacevole clima cromatico ha un effetto positivo sull'umore delle persone e sul riconoscimento degli oggetti, ma fornisce anche all'ambiente un senso di comfort e armonia. I fattori più importanti per ottenere un clima cromatico favorevole sono:

- colore della luce,
- riproduzione del colore.

Il colore della luce è una caratteristica della luce visibile (*vedi figura 20*), che è irradiata da una fonte di luce e svolge un ruolo importante per l'umore, perciò è necessario selezionare il giusto colore della luce in base all'uso di questa nell'ambiente. I colori caldi della luce sono utilizzati nelle stanze destinate al relax e i colori freddi nelle stanze come aule scolastiche, uffici, ecc., dove è richiesta una maggiore concentrazione. La temperatura colore della luce diurna varia durante il giorno. All'alba e al tramonto la temperatura della luce è di 3000 K, mentre la temperatura della luce è massima intorno a mezzogiorno e supera i 5500 K (*vedi figura 22*)

Il colore della luce è più spesso determinato dalla temperatura colore in unità Kelvin (K) come mostrato nella tabella 3.

Colore della luce	Temperatura colore corrispondente
colore caldo	fino 3300 K
colore neutrale ossia bianco	da 3300 K a 5300 K
colore freddo ossia colore della luce del giorno	sopra i 5300 K

Tabella 3: Valori delle temperature colore

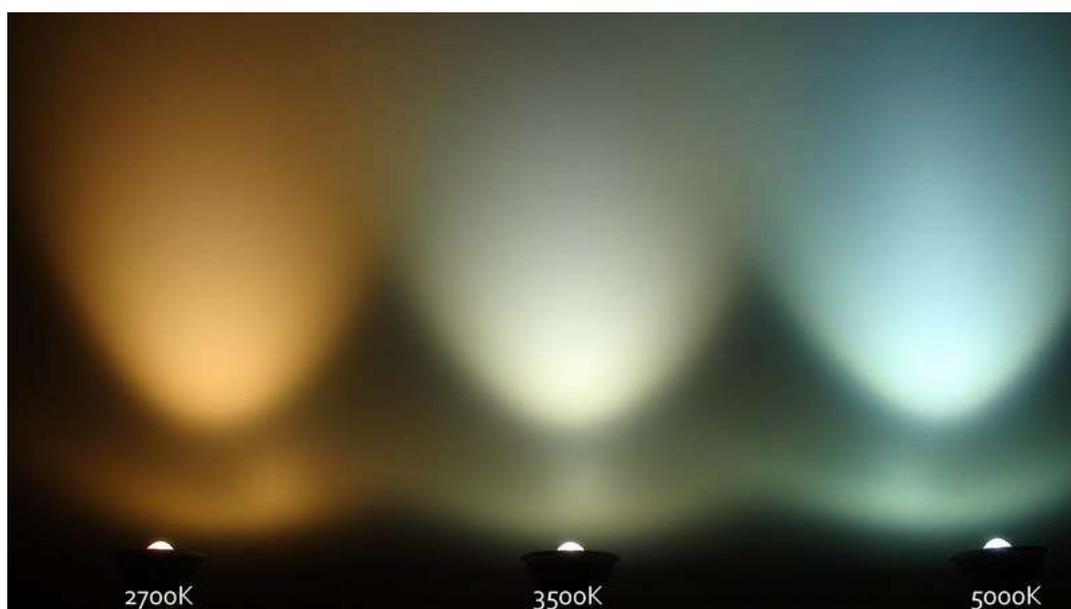


Figura 20: Esempio della temperatura colore

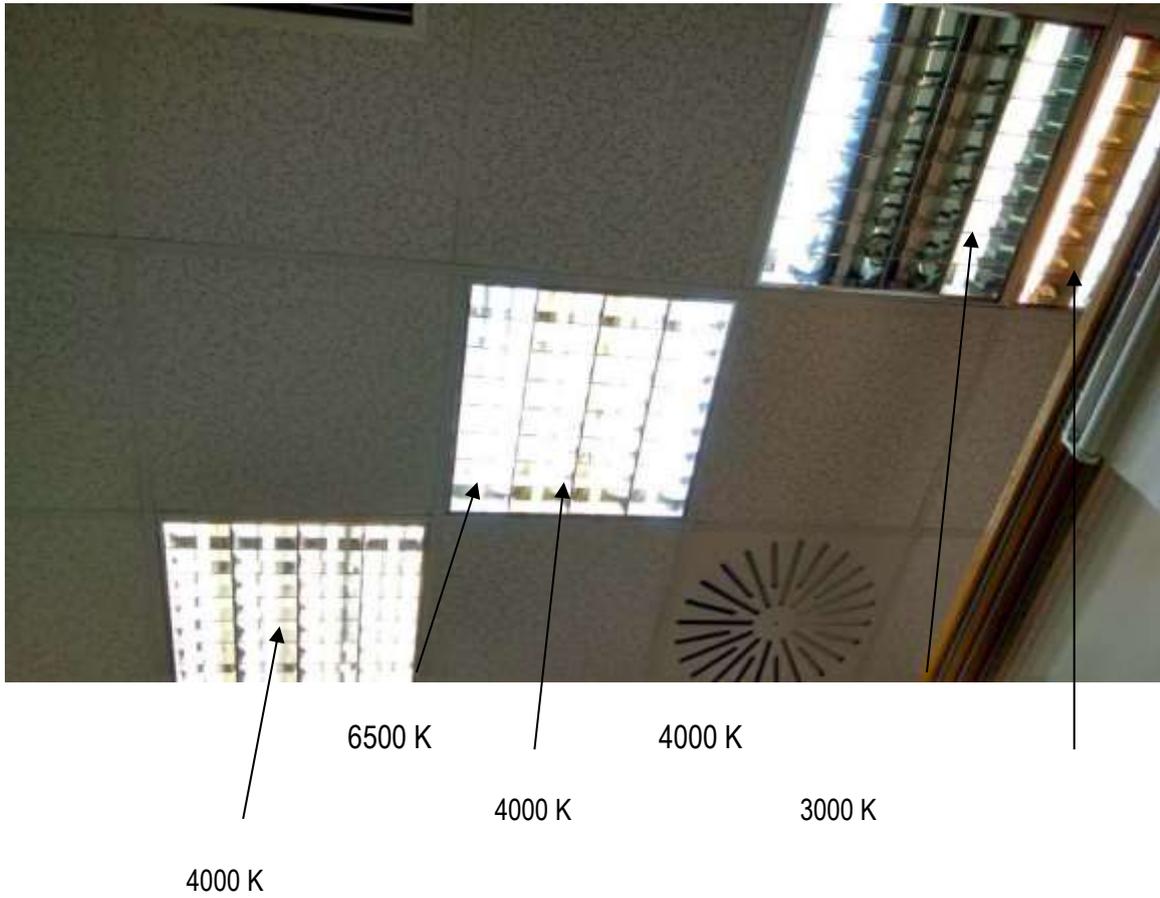


Figura 21: Esempio di vari tipi di lampade di colori diversi integrate negli apparecchi illuminanti

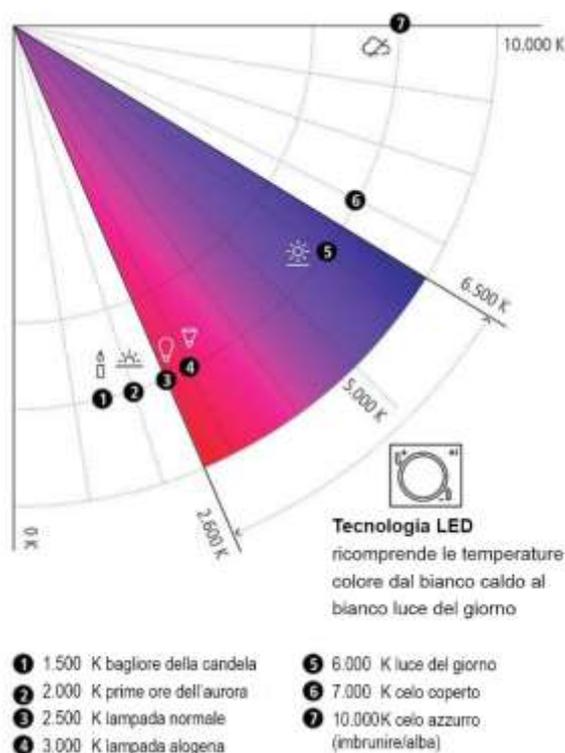


Figura 22: Esempio di temperature colore delle lampade

5.7 Riproduzione del colore

La riproduzione del colore, che influenza la resa cromatica degli oggetti o delle persone, dipende fondamentalmente dalla distribuzione spettrale della radiazione della sorgente luminosa, che è anche motivo della diversa resa cromatica degli stessi oggetti o edifici (vedi figura 24). La migliore riproduzione del colore è fornita da una sorgente di luce che ha uno spettro cromatico uniforme. Per determinare la riproduzione del colore delle sorgenti luminose, utilizziamo l'indice di riproduzione del colore (Ra, in inglese CRI) che viene determinato utilizzando il metodo comparativo. L'indice Ra è determinato dallo spettro della luce emessa. Maggiore è l'indice di riproduzione del colore, migliore è la riproduzione del colore (vedi tabella 4).



Figura 23: Visualizzazione della luce emessa da una lampada a filamento incandescente - lampada fluo

L'indice Ra indica la capacità di una sorgente luminosa di riprodurre i colori degli oggetti, che siano più coerenti con i colori riprodotti con una fonte di luce naturale. Per la sorgente luminosa di riferimento si sceglie la luce naturale che presenta un indice di riproduzione del colore pari a 100. L'indice migliore è rappresentato da un valore di 100 e il peggiore con i valori Ra inferiori a 0. Confrontando le diverse sorgenti luminose, una lampada a fluorescenza con luce calda e con triplo rivestimento al fosforo raggiunge il valore Ra pari a 73. Una lampadina a filamento incandescente raggiunge Ra 100 (vedi Figura 23). Una lampadina a LED con il Ra migliore può raggiungere il valore e di 95. L'indice di riproduzione del colore è stato utilizzato per il confronto tra lampade fluorescenti e HID per molti anni, ma l'International Lighting Commission (CIE) non raccomanda l'uso dell'indice Ra per valutare la riproduzione dei colori delle lampade a LED. Si è scoperto che alcune lampade a LED, basate sulla tecnologia LED RGB, non raggiungono nemmeno il valore 20 di Ra, anche se in pratica riproducono molto bene i colori. Per misurare la riproduzione dei colori delle lampade a LED, sono già stati sviluppati nuovi metodi per confrontare la riproduzione dei colori delle lampade a LED con altre sorgenti luminose di tipo tradizionale.



Figura 24: Esempio di resa cromatica della frutta per diversi Ra (CRI per gli inglesi)

Livello della riproduzione del colore	Indice di resa cromatica	Luogo di applicazione
1A	90 - 100	Es. studio grafico
1B	80 - 85	Es. lavori che richiedono un'ottima visibilità
2A	70 - 80	Es. ufficio
2B	60 - 70	Es. negozio
3	40 - 60	Es. industria pesante
4	20 - 40	Es. lavori all'aperto

Tabella 4: valori dell'indice di resa cromatica

5.8 Limitazione dell'effetto stroboscopico e flicker

Nel caso di sorgenti luminose, che funzionano secondo il principio della scarica elettrica, si verificano nel tempo fluttuazioni nel flusso luminoso, che sono conseguentemente dovute alla tensione alternata. L'oscillazione del flusso luminoso è fastidiosa, poiché provoca disturbi, mal di testa o persino errori nell'interpretazione del visibile. L'effetto stroboscopico può essere eliminato nei modi seguenti:

- nel caso delle lampade fluorescenti, utilizzando alimentatori o un composto a due,
- le lampade si collegano in trifase in modo che le lampade adiacenti siano collegate a diverse fasi,

- per le luci a LED viene utilizzato per controllare il flusso dei LED il diodo PWM (modulazione della larghezza di impulso)

5.9 Fattore di utilizzo dell'ambiente e fattore di manutenzione

Il fattore di utilizzo dell'ambiente esprime quanta luce dalle aree circostanti si riflette sulla superficie del luogo di lavoro. Questo dipende da due fattori:

- dal riflesso delle superfici circostanti (soffitto, pareti, pavimenti), più sono scuri i colori delle superfici, minore è la quantità di luce riflessa,
- dimensioni dello spazio (indice dello spazio), l'indice dello spazio del cubo è maggiore di un rettangolo con lati lunghi.

Il fattore di manutenzione deve essere preso in considerazione per la durata di vita degli apparecchi illuminanti. L'apparecchio illuminante è progettato di solito in modo da aumentare l'illuminamento all'inizio di circa il 25% rispetto al necessario ($ESR = 1,25 * E_n$). Quando il valore medio dell'illuminamento scende al di sotto del valore minimo (definito nello standard, nelle raccomandazioni), il dispositivo di illuminazione deve essere ripristinato.

5.10 L'effetto della luce sulle persone

È noto da tempo che il nostro senso di benessere è condizionato dall'influenza esercitata dalla luce. In presenza di luce naturale, ci sentiamo a nostro agio ossia bene, quindi vogliamo fornire condizioni simili anche nell'ambiente interno, ottenute con una appropriata luminanza. I risultati delle ricerche ci dicono che la luce ha un impatto molto più profondo sulla vita delle persone di quanto non si fosse pensato.

La luce influenza il nostro ritmo circadiano (il più noto è il ritmo del sonno e della veglia) e controlla i processi biologici nel nostro corpo (vedi figura 25). Il ritmo biologico nell'uomo è controllato da un "orologio biologico" sul quale la luce esercita un'influenza decisiva. La luce sostiene il ciclo del sonno e della veglia comunicando al nostro corpo quando il giorno si trasforma in notte. Senza luce sufficiente potrebbe esserci un disturbo nel nostro orologio biologico, che a sua volta porta alla stanchezza. Sul ritmo circadiano agiscono anche le stagioni. Spesso capita che è più difficile concentrarsi in inverno quando si reagisce più lentamente agli stimoli. Pertanto, d'estate siamo di umore migliore e più inclini alla concentrazione. Il ritmo circadiano dipende anche dall'età. La persona si adatta al ritmo giornaliero appena all'età di cinque anni. Negli anni dell'adolescenza, il ritmo circadiano cambia, gli adolescenti vanno a letto più tardi e dormono più a lungo. All'età di 30 anni iniziano i problemi di sonno. Con l'invecchiamento il corpo ha bisogno di meno sonno. Il corpo è anche meno pronto a distinguere il giorno dalla notte. La luce è importante per il corretto ritmo circadiano. Tuttavia, poiché l'uomo si sta allontanando sempre di più dal suo ritmo circadiano, soprattutto a causa dei turni di lavoro e degli spazi senza finestre, è tanto più importante la corretta progettazione dell'illuminazione per cercare di mantenere al massimo questo ritmo.

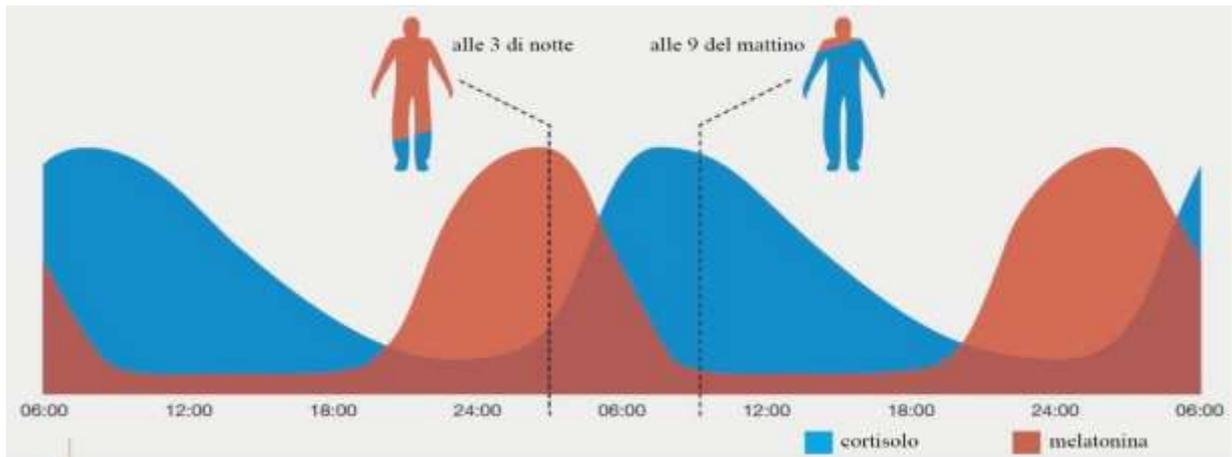


Figura 25: La variazione del rapporto tra cortisolo e melatonina nelle 24 ore

Per la sincronizzazione del sistema circadiano e del giorno solare, è richiesto di solito un forte modello di luce e oscurità. Molti adulti più anziani in generale presentano problemi di sonno, perché questo modello può essere alterato a causa dello stile di vita "sedentario" (perché si sta seduti per molto tempo) e l'uso di illuminazione artificiale.

6. Illuminazione

6.1 Panoramica di tutte le fonti elettriche di luce



Figura 26: L'evoluzione delle lampade a incandescenza e delle fonti di luce alternative attraverso la storia

6.1.1 Lampade a incandescenza

Le lampadine funzionano secondo il principio della radiazione termica. La maggior parte dell'energia va al calore, solo il 5-15% alla luce. Esistono due tipi principali: lampade a incandescenza: e lampade a incandescenza alogene. Il filamento della lampada è fatto di tungsteno (vedi figura 27) A causa del raffreddamento più basso, il filamento viene attorcigliato in una spirale doppia o tripla.

Lo spettro dei colori contiene tutte le lunghezze d'onda, i colori del blu sono sottorappresentati, mentre il rosso è accentuato, lo spettro ha un picco nel campo dell'IR. Circa il 5% dell'elettricità viene convertito in luce. Fattore comparativo del colore: eccellente (95-100). Rispetto a quella solare questa luce è leggermente giallastra, quindi i colori giallo-rosso sono più pronunciati. Nei prossimi anni la vendita di lampade tradizionali a incandescenza verrà gradualmente eliminata, il che porterà ad illuminare tutti gli ambienti, comprese le abitazioni, con lampade alogene e, in futuro, anche con lampade a LED.

Caratteristiche della lampade:

- Potenza da 20 a 150 W,
- una durata di circa 1000 ore,
- temperatura colore 2700 K,
- efficienza da 3 a 20 lm / W,
- un indice di resa cromatica tra 95 e 100.



Figura 27: Aspetto della lampada a filamento incandescente

6.1.2 Lampada fluorescente

La lampada fluorescente è di forma tubolare allungata. È riempita con una miscela di gas inerte a bassa pressione, con l'aggiunta di mercurio, solitamente sotto forma di amalgama che evapora durante il funzionamento.

Inizialmente, questo tipo di lampada non presentava il potenziale che presenta oggi, ma nel corso degli anni, è cambiata sia la tecnologia di produzione e sia la qualità delle componenti, così oggi stiamo parlando di lampade a qualità molto alta con ottima efficienza luminosa e durata. Con lo sviluppo, anche il diametro del tubo stesso è stato modificato (vedi Figura 28) Una volta la lampada era conosciuta sotto l'etichetta T12, poi si è diffuso l'uso delle lampade T8 (che sono ancora presenti oggi), mentre al giorno d'oggi è in uso l'ultima lampada T5.



Figura 28: Esempio dei cambiamenti nei diametri delle lampade fluorescenti T12, T8 e T5

Oltre alle lampade stesse, sono stati fatti enormi progressi anche nello sviluppo degli alimentatori necessari per l'accensione e il funzionamento delle lampade (vedi figura 29). Il vecchi reattori con nucleo magnetico e starter sono state sostituite da nuovi alimentatori elettronici.

Caratteristiche delle lampade fluorescenti T5:

- Potenza da 14 a 80 W,
- durata di 24.000 ore,
- temperatura del colore tra 2700 e 6500 K,
- efficienza fino a 90 lm / W,
- un indice di resa cromatica tra 80 e 95.

Caratteristiche delle lampade fluorescenti T8:

- Potenza da 14 a 70 W,
- durata di 20.000 ore,
- temperatura del colore tra 2700 e 6500 K,
- efficienza fino a 90 lm / W,
- un indice di resa cromatica tra 60 e 93.

Alimentatore

- elettromagnetico: reattore e starter,

- elettronico (ad alta frequenza),
- controllo elettronico (basato sul cambio di frequenza).

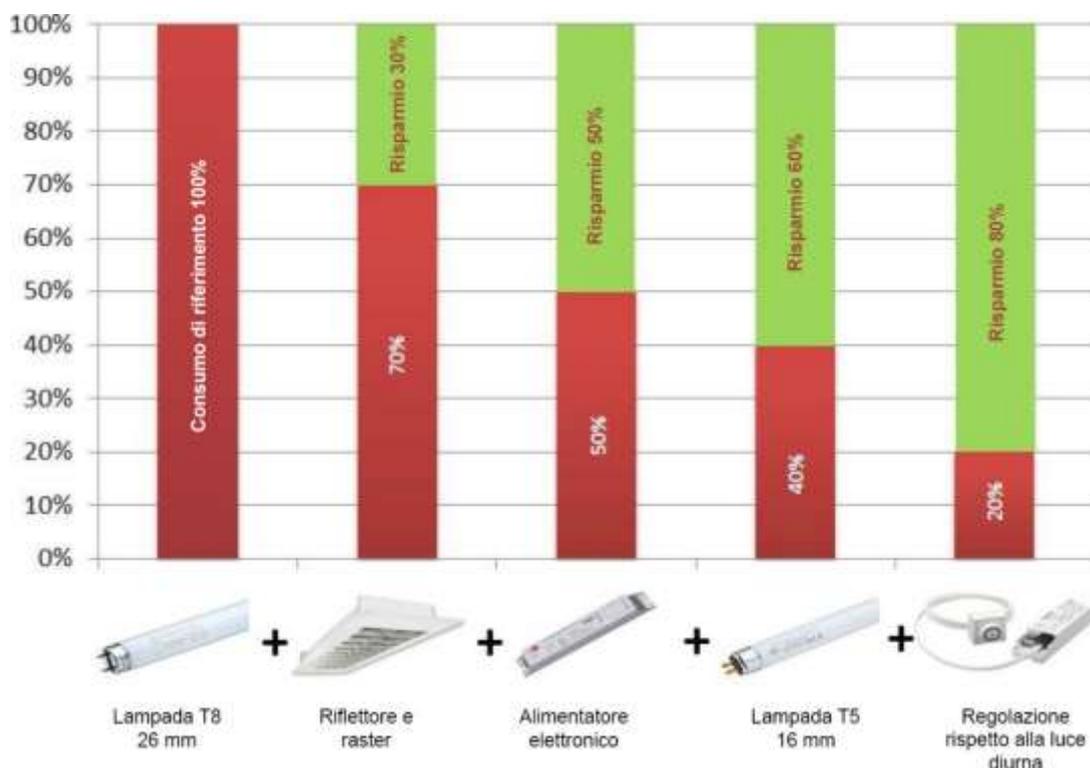


Figura 29: Illustrazione dello sviluppo dei corpi illuminanti con lampade fluorescenti lineari e risparmio energetico

6.1.3 Lampada fluorescente compatta

Le lampade fluorescenti compatte sono progettate secondo il principio di funzionamento delle lampade fluorescenti tubolari, ma presentano un design più compatto. Sono apparse sul mercato come sostituti convenienti delle normali lampade a incandescenza. I primi prototipi sono nati negli anni settanta e sono apparsi sul mercato all'inizio degli anni ottanta. Nella maggior parte dei casi sono dotati di un alimentatore e un attacco E27 o E14 (vedi figura 30). Li conosciamo principalmente come "lampade a risparmio energetico". Negli ultimi anni lo sviluppo è andato nella direzione di ridurre le dimensioni per raggiungere le dimensioni delle normali lampade. Il problema sta principalmente nel fatto che la lunghezza del tubo della lampada fluorescente è condizionata dalla sua energia elettrica o dal flusso luminoso. Ecco perché le lampade di maggiore potenza sono ancora più grandi delle normali lampade, dove la differenza di dimensioni per la diversa potenza elettrica è inferiore.

Caratteristiche della lampada fluorescente compatta:

- Potenza da 5 a 80 W,
- durata della vita fino a 20.000 ore,
- temperatura del colore tra 2500 e 6000 K,
- efficienza tra 60 e 75 lm / W,
- un indice di resa cromatica tra 80 e 90.



Figura 30: lampada fluorescente compatta E27



lampada fluorescente compatta G24d-1

6.1.4 Lampada alogena

Nel caso di un bulbo alogeno (vedi figura 31), il bulbo di vetro, oltre a contenere il gas inerte, viene anche riempito con un elemento alogeno (iodio, bromo, ...). Nel bulbo viene creato un processo circolare che prolunga la vita e consente al filamento di funzionare a temperature più elevate. Un processo circolare richiede una temperatura di almeno 180°C, perciò il bulbo è più piccolo e realizzato in vetro al quarzo. A causa della porosità del vetro al quarzo, i bulbi non devono essere afferrati con le mani. Lo spettro dei colori contiene tutte le lunghezze d'onda. Rispetto allo spettro di una lampada a incandescenza convenzionale, il picco è spostato verso lunghezze d'onda più basse, ma sempre nella regione IR. Le lampade possono essere collegate direttamente alla sorgente della tensione e sono realizzate per varie tensioni: normali (230 V, 110 V), basse (6 V, 12 V, 24 V). Le piccole lampadine a tensione sono solitamente collegate alla rete tramite trasformatori (classici, toroidali, elettronici).

Caratteristiche della lampadina alogena:

- Potenza da 20 a 2000 W,
- durata tra le 2000 le 4000 ore
- temperatura del colore 3000 K,
- efficienza fino a 25 lm / W,
- un indice di resa cromatica tra 95 e 100.



Figura 31: diversi tipi di lampade alogene, 12V, 230V

6.1.5 Lampada a scarica vapori sodio a bassa pressione

Gas luminoso: sodio (Na) a bassa pressione. Per l'accensione i gas nobili vengono aggiunti al bruciatore. Temperatura di esercizio: 290°C (è richiesto un buon isolamento termico). Luce monocromatica: giallo 589 nm e 589,6 nm. Queste lampade rappresentano la fonte di luce migliore, soprattutto perché l'effetto della luce sulla lunghezza d'onda si trova vicino al punto massimo di sensibilità dell'occhio umano. Ne discende che vengono spesso utilizzati per l'illuminazione degli esterni, quali le strade e illuminazione di sicurezza. Queste lampadine sono disponibili con una potenza nominale che va da 10 W a 180 W, ma le lampadine di maggior lunghezza causano problemi tecnici e problemi ai progettisti (vedi la figura 32).

Caratteristiche della lampada a scarica vapori sodio a bassa pressione:

- potenza elettrica fino a 180 W,
- durata fino a 16.000 ore,
- temperatura del colore 1800 K,
- efficienza fino a 180 lm / W,
- indice di resa cromatica fino a 20



Figura 32: lampada a scarica vapori sodio a bassa pressione: colore della luce, aspetto della lampada

6.1.6 Lampada a scarica vapori sodio ad alta pressione

Le lampade a scarica vapori sodio ad alta pressione (HPS) sono più piccole e contengono elementi aggiuntivi (ad es. mercurio). Subito dopo l'accensione, producono una luce rosa scuro, mentre si scaldano invece una luce rosa arancione. Alcune lampade possono produrre brevemente una luce da bianca a bluastra. Ciò è probabilmente dovuto al fatto che il mercurio brucia prima che il sodio si sia completamente riscaldato. Vengono utilizzate in aree in cui una buona riproduzione dei colori è importante o auspicabile. Le lampade a scarica a vapori sodio ad alta pressione sono piuttosto efficaci, fino a 150 lm / W. Sono spesso usate all'esterno, per l'illuminazione delle strade e per l'illuminazione di sicurezza.

Caratteristiche della lampada a scarica vapori sodio a bassa pressione:

- potenza da 20 a 1.000 W,
- durata fino a 24.000 ore,
- temperatura del colore 2000 K,

- efficienza fino a 130 lm / W,
- un indice di resa cromatica tra 20 e 65.

6.1.7 Lampade scarica di vapori di mercurio (HQL)

Le lampade di mercurio (HQL) (vedi figura 33) sono spesso utilizzate come fonte di luce per l'illuminazione stradale e ambienti industriali a causa dei loro bassi costi di investimento. Hanno bisogno di un alimentatore, non di uno starter di accensione. A causa della bassa efficienza, le lampade di mercurio consumano molta più energia delle lampade a ioduri metallici o al sodio ad alta pressione per ottenere una certa quantità di luce.

Caratteristiche delle lampade di mercurio:

- potenza elettrica fino a 400 W,
- durata fino a 15.000 ore,
- temperatura del colore tra 2000 e 4000 K,
- efficienza fino a 60 lm / W,
- un indice di resa cromatica tra 23 e 55.



Figura 33: Lampada di mercurio

6.1.8 Lampade a ioduri metallici

Queste lampade contengono tecnologia al quarzo e funzionano sulla base della scarica (tubo ad arco). Sono realizzate in vetro di quarzo trasparente, resistente alle variazioni di temperatura. Le lampade a ioduri metallici sono disponibili in vari modelli e valori (vedi la figura 34). Una serie di vantaggi, le lampade ad ioduri metallici aprono una vasta gamma di opzioni in settori professionali con diverse esigenze come fiere, architetture, industria, illuminazione stradale e illuminazione di campi da gioco per lo sport.

Caratteristiche delle lampade a ioduri metallici

- Potenza da 20 a 2000 W,
- durata 12.000 fino a 24.000 ore,
- temperatura del colore tra 2700 e 4200 K,

- efficienza 67 fino a 95 lm / W,
- indice di ioduri fino a 95



Figura 34: Lampada a ioduri metallici

6.1.9 Lampade a LED

I diodi LED (vedi figura 35) hanno una durata dichiarata molto lunga di 100.000 ore, il che significa più di 11 anni di luce continua. Buono a sapersi che la durata di 100.000 ore comporta almeno il 50% di intensità luminosa, che è dichiarata per il nuovo diodo, inoltre il diodo stesso potrebbe dar luce molto più a lungo. Se i LED vengono confrontati a questo punto con le tradizionali lampade a filamento con una durata di circa 1000 ore, il LED si manterrà in vita almeno 100 volte più a lungo. Il consumo energetico dei LED è estremamente basso rispetto alle lampade a incandescenza. I LED standard consumano circa 0,1 W, mentre i valori dei nuovi chip LED ultra luminosi sono compresi tra 0,8 e 4W. Inoltre i diodi LED sono resistenti alle vibrazioni e agli urti e sono praticamente indistruttibili. Sono fatti di un chip che è in materiale semiconduttore, riempito con leghe di elementi chimici. Rispetto alla potenza del flusso luminoso i LED emettono molta più luce rispetto ad altri tipi di lampade presenti sul mercato. Si possono vedere alcuni confronti nella Tabella 5 e 6 e nella figura 36. Le luci a LED sono più luminose: due volte di più delle lampade fluorescenti compatte (CFL) e sei volte di più delle lampade a filamento. I diodi LED più recenti possono raggiungere anche 231 lm / W.

Quando si confrontano le lampade a LED ad altri tipi di lampade dalla durata di 50.000 ore di funzionamento, si può concludere che le lampade a LED consumano il 57% in meno di energia rispetto alle CFL e il 90% in meno rispetto alle lampade ad incandescenza.

Le lampade a LED presentano inoltre altre caratteristiche positive:

- sono insensibili alle basse temperature,
- sono insensibili all'umidità,
- presentano un fattore CRI molto alto che indica la qualità della luce, la capacità di riprodurre i colori del corpo luminoso,

- L'accensione e lo spegnimento frequenti della lampada a LED non ne riducono la vita utile,
- Quando i LED si accendono, si illuminano con piena intensità luminosa e non hanno bisogno di riscaldarsi alla temperatura di funzionamento,
- I LED emettono meno calore di altre fonti di luce. Anche 9 volte in meno delle lampade CFL Non ci si può ustionare toccando la lampada,
- I LED sono di diversi colori e temperature colore. Le luci a LED RGB possono illuminare l'ambiente in qualsiasi tonalità di colore,
- sono molto più resistenti delle altre lampade, perché non hanno parti in vetro,
- sono compatibili con i sistemi intelligenti per l'automazione di abitazioni e grandi edifici. Con l'automazione è possibile inoltre risparmiare ancora più energia



Figura 35: Varii tipi di lampade a LED

6.2 Caratteristiche di vari tipi di lampade

Confronto tra lampadine	 Lampade a LED	 Lampada fluorescente	 Lampada di sicurezza
Durata (media)	30.000 ore	1.200 ore	8.000 ore
Consumo di energia elettrica rispetto ad una lampadina tradizionale a 60 Watt	6-8 Wat	60 Wat	13-15 Wat
Contenuto di mercurio	NO	NO	SI -tossico per le persone e animali
RoHS -certificato	SI	SI	NO - contiene 1 mg di mercurio
Emissioni CO2 (nucleo familiare medio)	180 kg/anno	1950 kg/anno	405 kg/anno
Sensibilità alle temperature base	NO	NO	SI - funzionano male sotto i -10 °C
Sensibilità all'umidità	NO	In alcuni casi	SI
Accensione e spegnimento Effetti sulla durata del prodotto	NO	In alcuni casi	SI - abbassa di molto la durata
Può essere tenuta accesa sempre	SI	SI	NO - dopo un tempo determinato si riscalda
Resilienza, resistenza	Resistente alle vibrazioni o agli urti	Il vetro è fragile	Il vetro è fragile
Calore emesso	3.4 unità	85 unità	30 unità
Prodotto difettoso	Molto di rado	di rado	SI - si può incendiare, inizia a fumare ed emette un odore fastidioso

Tabella 5: Confronto tra lampade

LUMNI (lm)	LAMPADINE -TRADIZIONALI	LAMPADE A LED
2600 lm	150 W	20 - 25 W
1600 lm	100 W	13 -19 W
1100 lm	75 W	10 - 12 W
800 lm	60 W	7 - 9 W
450 lm	40 W	4 - 6 W

Tabella 6: Confronto tra i LED e le lampade convenzionali



Figura 36: Caratteristiche delle lampade alogene, fluo, e LED

Consumo energetico di vari tipi di lampade(W)

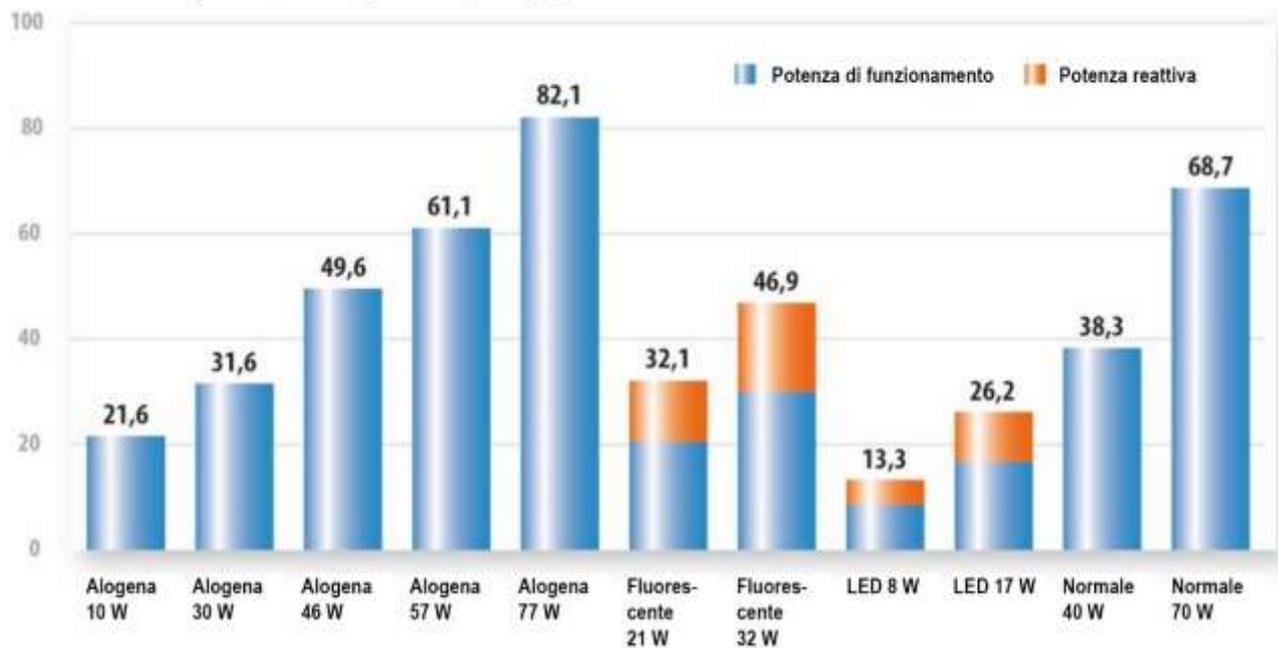


Figura 37: Illustrazione dei diversi livelli di consumo energetico di vari tipi di lampade

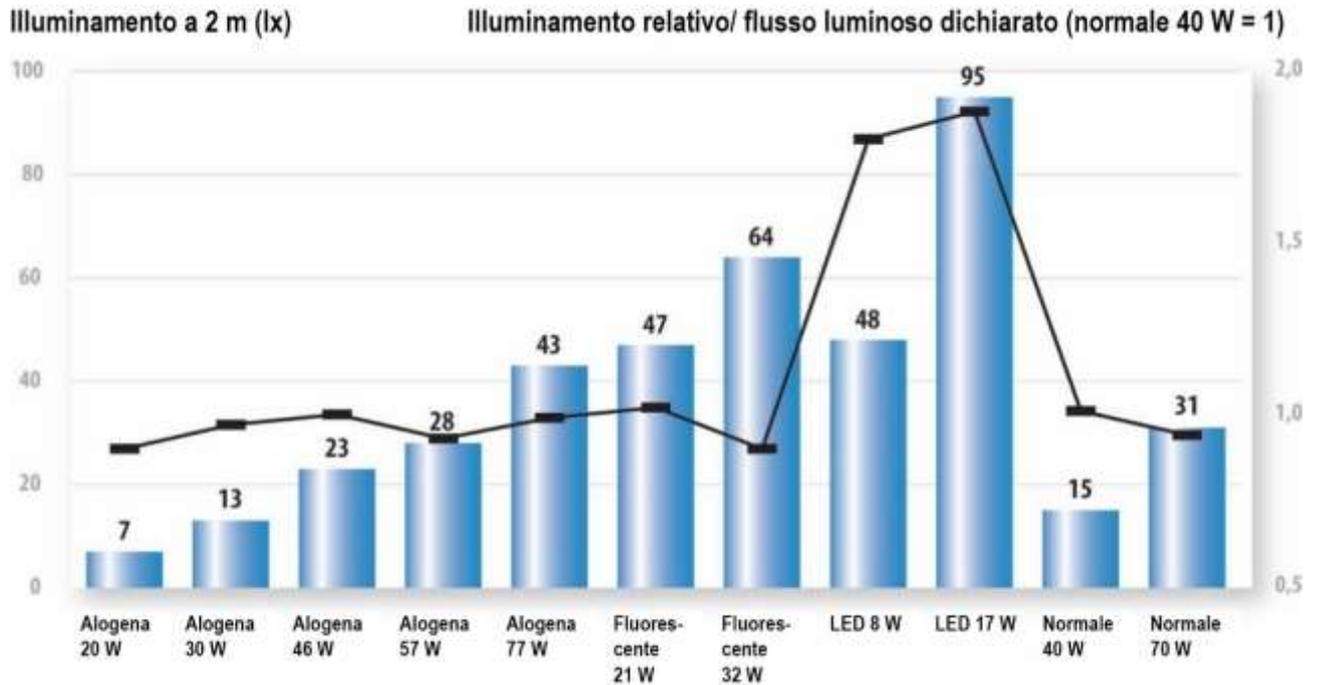


Figura 38: Esempi di illuminamento all'altezza di 2 m dal suolo con fonti luminose diverse

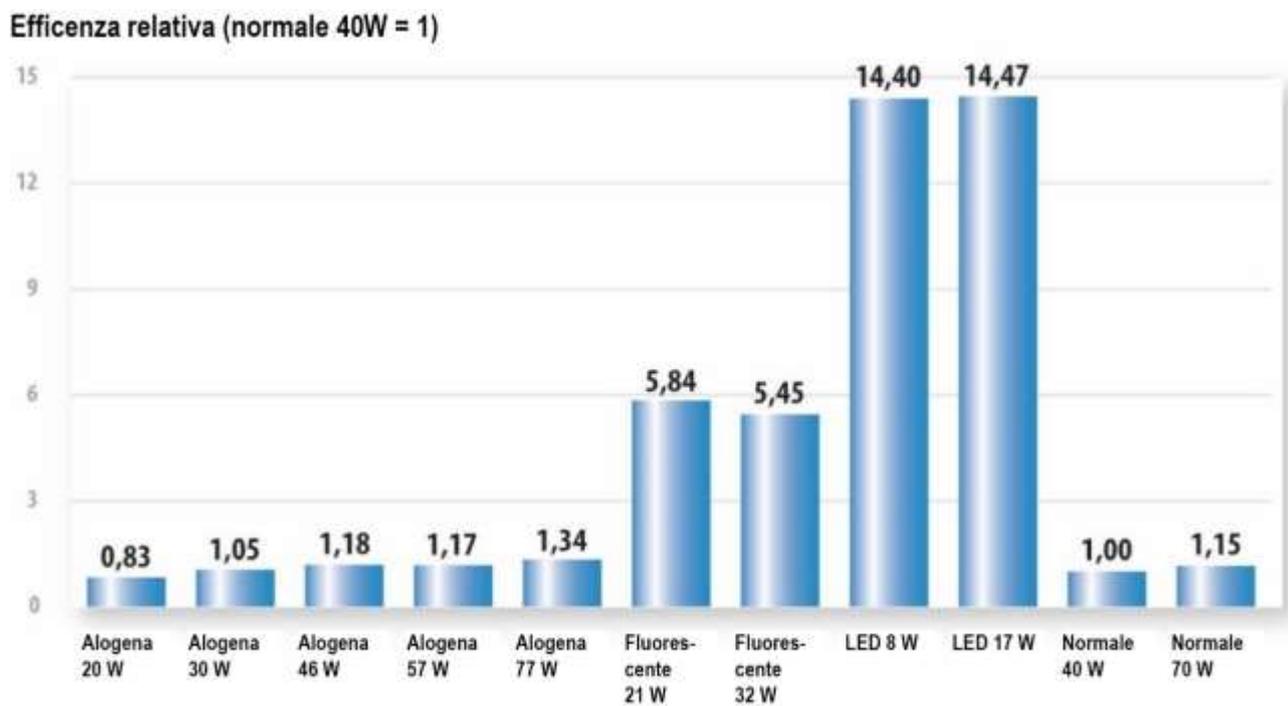


Figura 39: Esempi di efficacia relativa con fonti luminose diverse

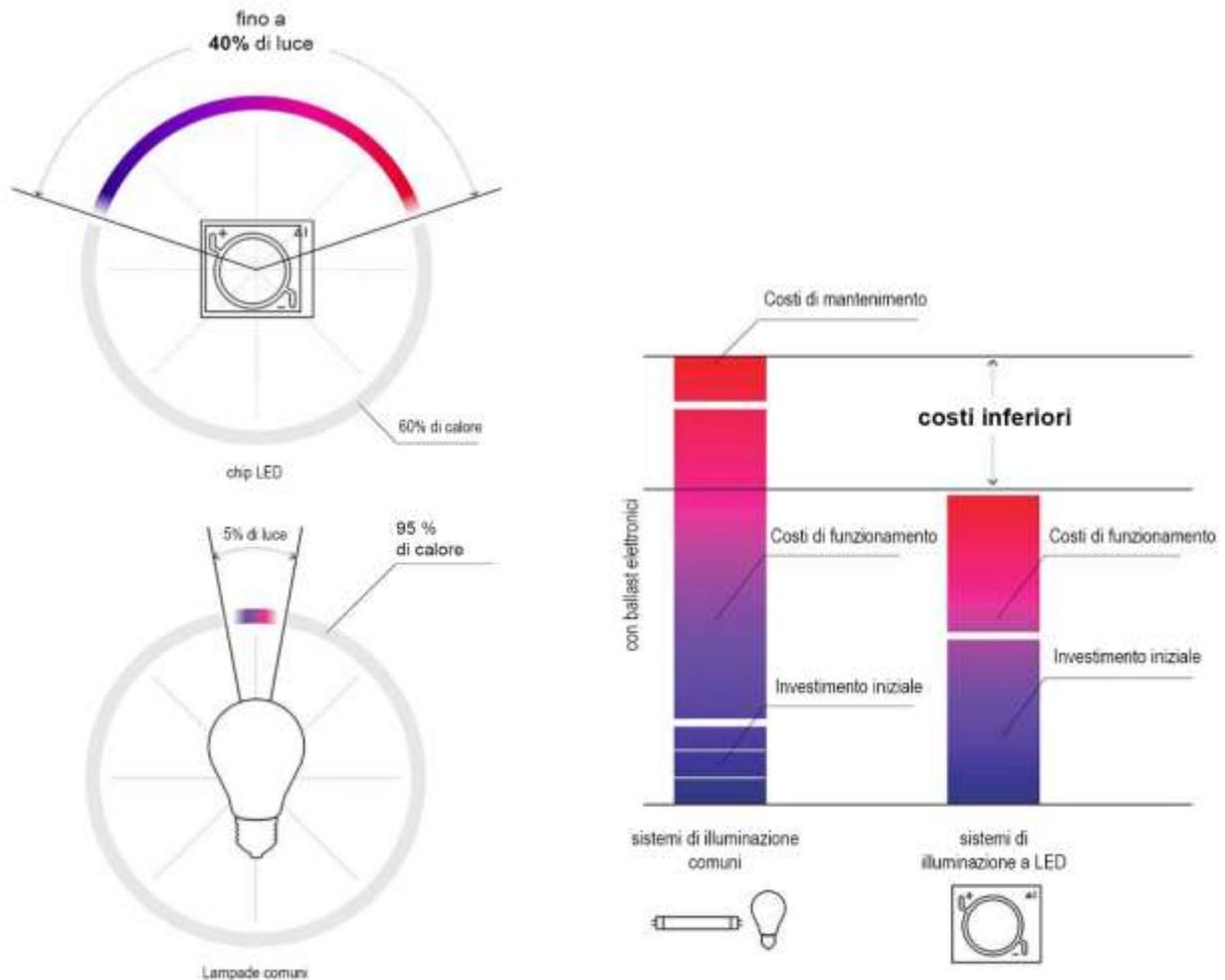


Figura 40: LED ad alta efficienza energetica, LED ad alta efficienza di funzionamento

Rispetto alle altre sorgenti luminose, la tecnologia a LED è già estremamente efficiente, inoltre si presenta con un elevato potenziale di miglioramento dell'illuminazione (lm/W). Se si confronta la conversione di energia delle lampade convenzionali con le lampade a LED, la differenza diventa ancora più evidente (vedi figure 37, 38 e 39). Mentre le lampade convenzionali convertono solo il 5% dell'energia in luce, in quelle a LED questo rapporto sale al 40% (vedere la prima parte della figura 40).

L'alta efficienza dei prodotti di illuminazione a LED è il risultato di un'elevata efficienza del sistema (lm/W), una lunga durata con bassi costi di installazione e manutenzione. I sistemi di controllo dell'illuminazione e l'integrazione intelligente della tecnologia di illuminazione degli ambienti offrono ulteriori opportunità di risparmio (vedi la seconda parte della figura 40).

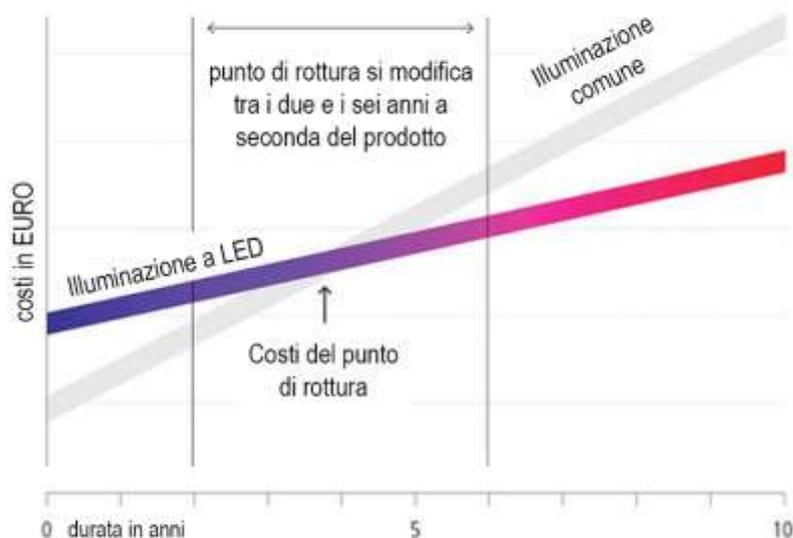


Figura 41: Periodo di ammortamento

Il costo relativamente alto degli investimenti nei prodotti a LED viene generalmente ammortizzato durante la durata di servizio (vedi figura 41). Un quinto di tutta l'energia prodotta in tutto il mondo viene utilizzato per la luce artificiale. Sostituendo i tradizionali prodotti a LED e utilizzando la gestione intelligente dell'illuminazione, è possibile ridurre il consumo energetico dei sistemi di illuminazione del 70%.

6.3 Efficienza luminosa, efficienza dell'illuminazione e della lampada

6.3.1 Efficienza luminosa

L'efficienza luminosa (simboli η e ρ) è la misura per stabilire l'efficacia dell'irradiazione delle fonti luminose. L'efficienza luminosa è data dal rapporto tra le radiazioni del flusso luminoso (misurato in lumen) e la potenza (in vat) della fonte luminosa. Per la potenza si può utilizzare il flusso luminoso totale (potenza di irraggiamento espressa in vat) della fonte oppure la potenza elettrica totale (anch'essa in vat), che è consumata dalla fonte. Entrambi i metodi sono usati per scopi parzialmente diversi e non presentano un uso e un significato determinato in modo univoco. Secondo il primo metodo viene calcolata l'efficienza luminosa (luminous efficacy of radiation ali LER), mentre il secondo ci dà efficacia della sorgente (luminous efficacy of a source ali LES) (vedi figura 42).

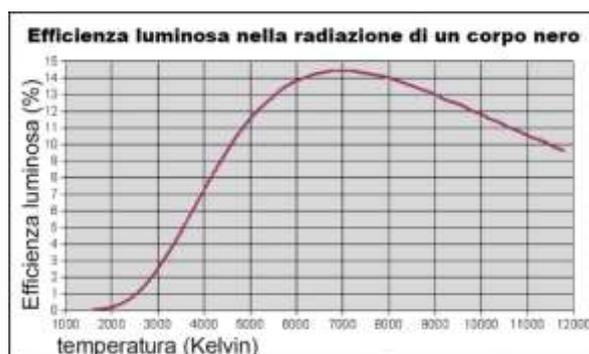


Figura 42: Grafico dell'efficienza luminosa nella radiazione di un corpo nero

6.3.2 Efficienza dell'illuminazione

Il rendimento dell'illuminazione dipende dal modo in cui questa è implementata. Quanto migliori sono le superfici riflettenti e minori i disturbi nella propagazione della luce emessa dal corpo illuminante, tanto maggiore è l'efficienza dell'illuminazione. Un ruolo importante è assunto dalla dissipazione del calore che si genera vicino al sistema di illuminazione, poiché nell'illuminazione degli ambienti la maggior parte delle sorgenti luminose utilizzate funzionano in modo ottimale a 25 ° C. Con temperature più alte il loro rendimento diminuisce. La distribuzione della luce emessa influisce comunque notevolmente sull'efficienza complessiva dell'illuminazione. Di conseguenza accanto alle finestre possono essere utilizzati con successo i corpi illuminanti ad ottica asimmetrica, in quanto impediscono la perdita di luce proveniente dalla finestra.

6.3.3 Efficienza del corpo illuminante

L'efficienza del corpo illuminante ci dice quanta parte del flusso luminoso emesso dalle sorgenti luminose presenti nel corpo illuminante emette il corpo stesso. A causa delle caratteristiche costruttive e del design del corpo illuminante, una parte del flusso luminoso può rimanere nel corpo stesso e non contribuisce all'illuminamento dell'ambiente (o alla luminanza della strada). Distinguiamo due tipi di efficienza luminosa del corpo illuminante:

- rendimento ottico del corpo illuminante (*vedi tabella 7*), definisce il rapporto tra il flusso luminoso derivante dalle fonti nelle condizioni di esercizio date (metodo di installazione, temperatura ambiente, tensione nominale ...) e il flusso luminoso nominale di tutte le sorgenti luminose nel corpo illuminante
- efficienza operativa del corpo illuminante è definito allo stesso modo, solo che prende in considerazione le condizioni di esercizio effettive (modalità di installazione, posizione delle sorgenti luminose, temperatura ambiente, tensione effettiva ...).

Nel caso in cui le condizioni di esercizio influenzino il flusso luminoso delle sorgenti presenti nel corpo illuminante, i due tipi di efficienza saranno diversi. Spesso l'efficienza operativa del corpo illuminante è inferiore al rendimento ottico, poiché il flusso luminoso, ad esempio quello delle lampade fluorescenti, si riduce a causa della temperatura ambiente troppo alta o troppo bassa o, ad esempio a causa del montaggio verticale. Il design e i materiali utilizzati per la costruzione del corpo illuminante sono i fattori più rilevanti che influenzano l'efficienza del corpo illuminante stesso. La tabella 7 mostra esempi di diversi corpi illuminanti che sono molto simili nel design, ma differiscono nel materiale usato come scudo anti abbagliamento. Di conseguenza, il rendimento ottico è molto differente tra diversi apparecchi illuminanti.

Realizzazione del corpo illuminante	Rendimento ottico
Corpo illuminante fluorescente su supporto	92 %
Corpo illuminante con riflettore bianco	70 % - 75 %
Corpo illuminante con riflettore a specchio	71 % - 76 %
Corpo illuminante con raster a specchio	70 % - 75 %
Corpo illuminante con raster a specchio	55 %
Corpo illuminante con coppa in opale	50 % - 65 %
Corpo illuminante con coppa microprismatica	60 % - 70 %
Corpo illuminante da incasso con coppa microprismatica	60 % - 70 %
Corpo illuminante diretto-indiretto a sospensione con raster a specchio	80 %

Tabella 7: Esempi del rendimento ottico di varie versioni di lampade fluorescenti

6.4 Alimentatori

Per il loro funzionamento, le lampade a LED e a scarica nei gas necessitano di dispositivi di alimentazione. In passato gli alimentatori erano strumenti che funzionavano secondo il principio dei circuiti magnetici, mentre oggi vengono sempre più utilizzati gli alimentatori elettronici moderni. Nel caso di sorgenti luminose, che funzionano secondo il principio della scarica elettrica, si rende necessario per alcuni tipi di lampade generare una tensione di accensione ad impulso, che è superiore alla tensione di rete (lampade fluorescenti, fluorescenti compatte, a scarica vapori sodio ad alta pressione e lampade ad alogenuri metallici). Inoltre, gli alimentatori devono comunque provvedere a limitare la corrente che attraversano le lampade, poiché le stesse sono spesso caratterizzate da resistenza negativa. I vantaggi degli alimentatori elettronici sono: minor consumo di energia, minor peso, eliminazione dell'effetto stroboscopico e possibilità di regolare il flusso luminoso.

Alimentatori classici per lampade fluorescenti e starter: Per il loro funzionamento le lampade fluorescenti hanno bisogno di un alimentatore che assicuri l'accensione della lampada e limiti la corrente che attraversa la lampada durante il suo funzionamento. In passato venivano utilizzati alimentatori elettromagnetici. Erano composti da un reattore elettromagnetico, che regolava la corrente e da uno starter che forniva una tensione di accensione sufficientemente elevata. Oggigiorno vengono utilizzati prevalentemente gli alimentatori elettronici, perché presentano molti vantaggi: minor consumo energetico, meno peso, nessun effetto stroboscopico e offrono la possibilità di regolare il flusso luminoso (vedi figura 43). Il reattore è un elemento elettronico con due terminali, la cui caratteristica principale è l'induttanza. Distinguiamo i reattori con nucleo ad aria o magnetico. Viene generata una tensione elettrica, che ha una direzione tale da opporsi alla sua causa. Il reattore si oppone quindi al rapido cambiamento di corrente, per cui l'arco elettrico appare negli interruttori al momento dello spegnimento. L'induttanza del reattore è determinata dal numero di spire e dalla permeabilità del nucleo. Esistono starter a bagliore ed elettronici (vedi figura 44). I più diffusi sono quelli a scarica. Sono costituiti da un bulbo di vetro riempito di gas nobile, per lo più neon.

In primo luogo, una piccola corrente elettrica attraversa lo starter, che provoca un arco elettrico. L'arco elettrico riscalda la lamina bimetallica che crea il contatto. L'arco elettrico nello starter si spegne mentre la corrente fluisce lungo i contatti che sono stati creati. La corrente elettrica scorre attraverso gli elettrodi della lampada, che si riscaldano e emettono elettroni liberi all'interno della fonte luminosa. In questo modo si riduce la resistenza del gas. L'interruttore a lamina bimetallica, quando è chiuso, si raffredda, poiché nel bulbo di vetro non c'è più l'arco elettrico che lo riscalda. Quando l'interruttore bimetallico è raffreddato, si apre e, in questo momento, si crea negli elettrodi della lampada e a causa della tensione accumulata nel reattore, alta tensione (500 V e 1200 V) che provoca l'accensione del gas nella lampada. Tuttavia, poiché il gas nella lampada non è sufficientemente riscaldato, questo processo viene ripetuto più volte, che è il motivo del suo lampeggiare che si verifica prima che inizi a risplendere con continuità. Appena la lampada smette di lampeggiare, significa che è attraversata da tutta la corrente.



Figura 43: Diverse realizzazioni di alimentatori-reattori

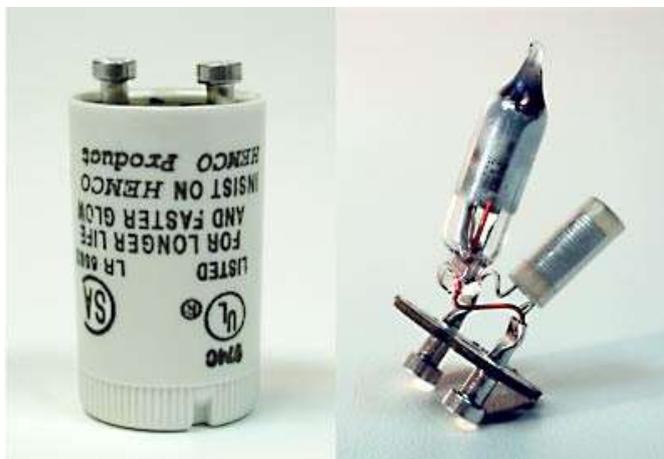


Figura 44: Aspetto dello starter

Alimentatori elettronici per lampade fluorescenti

Gli alimentatori elettronici sostituiscono definitivamente quelli elettromagnetici classici a causa dei molti vantaggi come: minor consumo di energia elettrica per il funzionamento dell'alimentatore (80% in meno) (vedi figura 45), maggiore flusso luminoso delle lampade (fino al 12% superiore), l'efficienza complessiva di queste lampade fluorescenti aumenta del 30%, aumenta la vita utile delle lampade (accensione istantanea), scompare il ronzio del reattore, attivazione dell'auto spegnimento della lampade quando sono difettose (si riduce la probabilità d'incendio), un campo magnetico più piccolo, non necessita di starter, peso ridotto, l'eliminazione dell'effetto stroboscopico, possibilità di regolare il flusso luminoso.

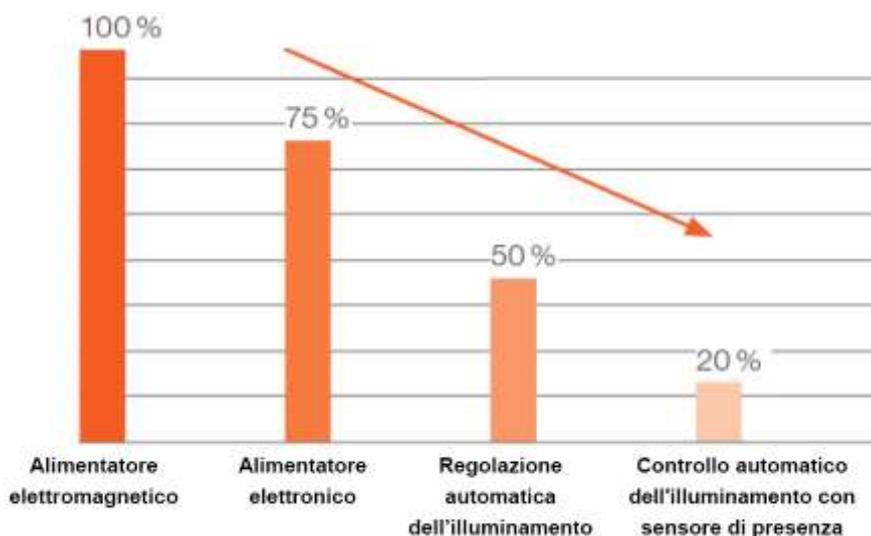


Figura 45: Risparmio di energia elettrica attraverso l'uso di alimentatori elettronici

Gli alimentatori elettronici sono differenti dai dispositivi elettromagnetici principalmente per il fatto che funzionano con una corrente elettrica di frequenza molto superiore di quella necessaria all'elettromagnetico che funziona con la tensione di rete a 50 Hz. Gli alimentatori elettronici funzionano nella gamma di frequenza tra i 20 kHz e i 100 kHz. Alle frequenze più alte nel tubo fluorescente si formano diversi elettroni liberi che moltiplicano i fotoni con la loro energia cinetica come nella frequenza di rete. Questo produce una maggiore efficienza luminosa delle lampade fluorescenti. Il funzionamento alle frequenze più alte elimina anche il lampeggiare indesiderato delle lampade, chiamato effetto stroboscopico. Gli alimentatori elettronici (alcuni tipi) consentono anche la gestione dell'illuminazione, ad esempio: controllo analogico con tensione continua da 0 V a 10 V. La gestione può anche essere effettuata attraverso un'interfaccia digitale chiamata DALI.

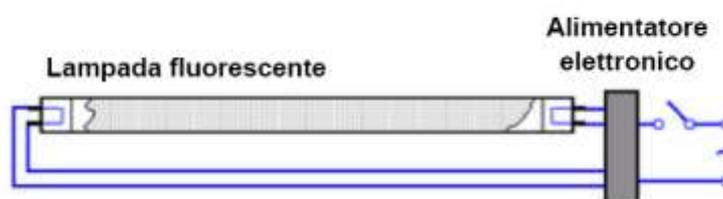


Figura 46: Collegamento della lampada con l'alimentatore elettronico

Alimentatori elettronici per lampade fluorescenti compatte

Le lampade fluorescenti compatte si differenziano dalle fluorescenti normali (tubulari) solo per un tubo fluorescente che è più sottile e ritorto in varie forme. La potenza della lampada è condizionata dalla lunghezza del tubo fluorescente. Gli alimentatori elettronici per lampade fluorescenti compatte funzionano secondo lo stesso principio degli alimentatori elettronici per lampade fluorescenti tubulari. Le lampade compatte hanno un alimentatore nella maggior parte dei casi nella base filettata della lampada che può sostituire e rappresentano una sostituzione diretta per le convenzionali lampade a incandescenza (vedi la figura 47).

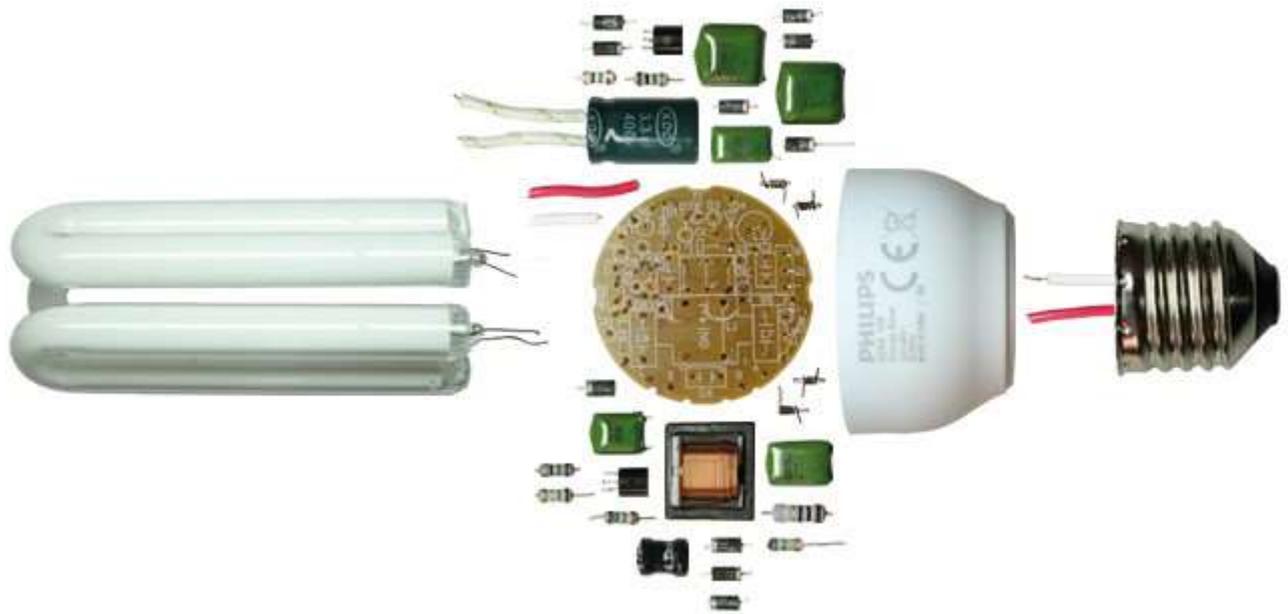


Figura 47: Costruzione della lampadina fluorescente compatta

Esistono anche lampade con piede a baionetta o a "pin". Esistono lampade "a due pin" e "a quattro pin". Le lampade "a due pin" hanno uno starter incorporato nel tubo e il reattore è incorporato nel-corpo illuminante stesso. Quando si brucia o si esaurisce, di solito viene sostituito solo il tubo con starter incorporato. Il reattore non si cambia.

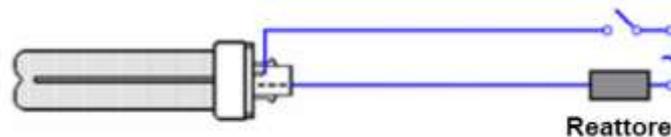


Figura 48: Nelle lampade a due pin lo starter è incorporato nella lampadina

Le lampade fluorescenti compatte "a quattro pin" possono essere azionate con alimentatori elettromagnetici o elettronici e, una volta esaurite, vengono sostituite (vedi figure 49 e 50) Lo starter e il reattore o l'alimentatore elettronico sono incorporati nella lampada.

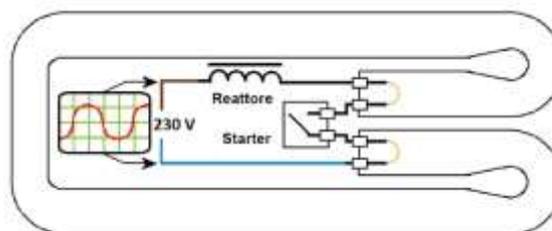


Figura 49: La lampada a quattro pin con l'alimentatore elettromagnetico

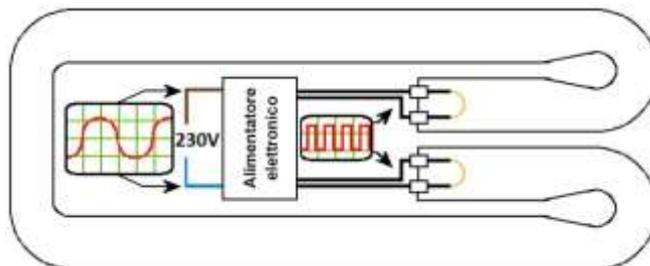


Figura 50: Una lampada a quattro pin con alimentatore elettronico ha una migliore efficienza luminosa e una maggiore affidabilità operativa

Alimentatori elettromagnetici per lampade a scarica di vapori sodio a bassa pressione

Le lampade al sodio a bassa pressione sono simili alle lampade fluorescenti, ma al posto dei vapori di mercurio usano il vapore di sodio come gas radiante. La loro tensione di accensione è leggermente superiore a 230 V, quindi richiedono un alimentatore per il loro funzionamento. Il più delle volte si utilizza come alimentatore un auto-trasformatore automatico con un campo tale da consentire l'accensione della lampada. L'auto-trasformatore si occupa anche di limitare la corrente che attraversa la lampada, in quanto ha una caratteristica di resistenza negativa. A causa della compensazione di energia reattiva, l'alimentatore deve contenere un condensatore di compensazione (vedi figura 51).

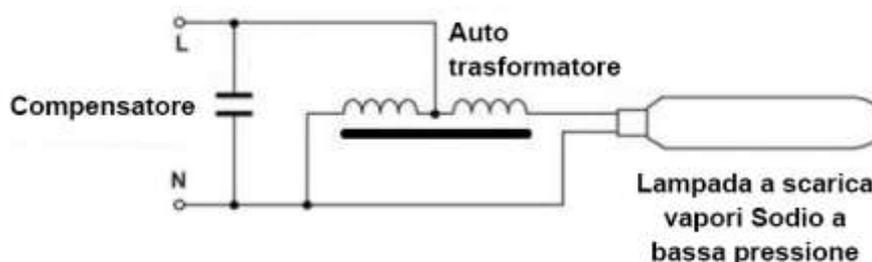


Figura 51: Alimentatore elettromagnetico per lampada al sodio a bassa pressione

Alimentatori elettronici per lampade di sodio a bassa pressione

Gli alimentatori elettronici sono utilizzati per una più alta efficienza delle lampade al sodio a bassa pressione. L'autotrasformatore sostituisce il reattore. Il circuito elettronico che produce un impulso di tensione superiore a 750 V provvede all'accensione della lampada. Il ramo di stabilizzazione dell'alimentatore elettronico viene mantenuto nella lampada da una corrente elettronica stabile. Con il condensatore di compensazione, compensiamo il fattore di laboriosità (vedi figura 52).

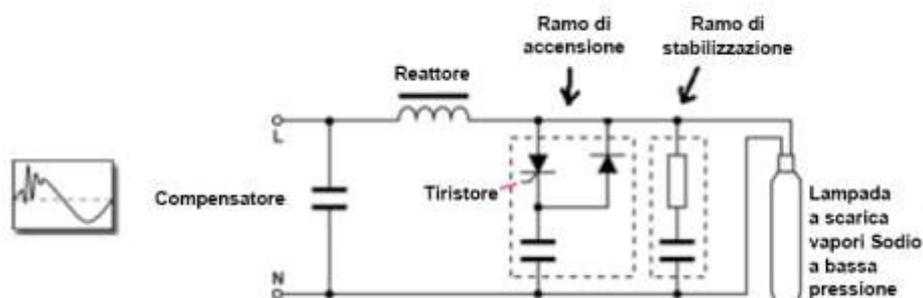


Figura 52: Alimentatore elettronico per lampade di sodio a bassa pressione

Alimentatori elettronici per lampade di mercurio ad alta pressione

La lampada di mercurio ad alta pressione ha due elettrodi funzionanti nel bruciatore. L'elettrodo di lavoro inferiore viene aggiunto tramite la resistenza ohmica all'elettrodo di riscaldamento o di accensione. Questo elettrodo si trova molto vicino all'elettrodo di lavoro inferiore. Quando la lampada è collegata alla corrente elettrica, gli elettrodi di lavoro e di riscaldamento raggiungono l'arco, che brucia il gas nel bruciatore e fa evaporare il mercurio. Nel bruciatore aumenta la pressione e anche il numero di portatori di carica, dopodiché si infiamma l'arco tra gli elettrodi principali (la temperatura del bruciatore raggiunge i 600°C). Il tempo di avvio fino al flusso luminoso nominale dura fino a 5 minuti. Quando la lampada è riscaldata, non è possibile la riaccensione immediata. La tensione di accensione supera i 230 V. Deve essere raffreddata prima di riaccendere la lampada (fino a 5 min). Per il corretto funzionamento si ha bisogno di un reattore, dal momento che la tensione di questo tipo di lampada è di circa 120 V. Non esiste un alimentatore elettronico per il funzionamento di questo tipo di lampade.

Alimentatori elettronici per lampade a scarica vapori al sodio e agli alogenuri metallici ad alta pressione

Le lampade al sodio e agli alogenuri metallici possono funzionare con gli stessi alimentatori. Le lampade al sodio ad alta pressione e alogenuri metallici usano gli alimentatori elettromagnetici (vedi figura 53) e elettronici. Per l'accensione di queste lampade è necessaria una tensione di accensione piuttosto elevata, poiché non hanno elettrodi di accensione. La tensione di accensione appropriata viene raggiunta dai circuiti elettronici speciali che svuotano i condensatori nel momento in cui la tensione di rete raggiunge il valore massimo. L'impulso generato nel reattore induce un'alta tensione, che viene aggiunta alla tensione di rete, ed è sufficiente perché la lampada si accenda. L'impulso di tensione di accensione è compreso tra 3 kV e 5 kV. Con l'aumento della temperatura del gas nel bruciatore, aumenta anche la resistenza del gas nello stesso bruciatore. Per l'accensione delle lampade calde sono necessari impulsi di tensione tra 25 kV e 70 kV. Questo può essere ottenuto con un alimentatore speciale, che contiene anche uno spinterometro in aggiunta al reattore e al trasformatore. Con una tensione così elevata è possibile accendere solo le lampade che hanno contatti alle due estremità, poiché esiste la possibilità nella lampade con attacco filettato che si rompa l'isolamento sul attacco filettato.



Figura 53: Alimentatori elettronici classici per lampade al sodio e agli alogenuri metallici ad alta pressione

Alimentatori elettronici per lampade al sodio e agli alogenuri metallici ad alta pressione

La stragrande maggioranza delle lampade ad alta pressione funziona ancora con alimentatori elettronici (vedi la figura 54). A causa di alcuni svantaggi gli alimentatori elettronici non hanno subito un tale sviluppo come è capitato alle lampade fluorescenti. Durante il funzionamento delle lampade si è scoperto che l'arco nel bruciatore ad alte frequenze nella zona kHz è estremamente caldo. Il risultato è stato il tremolio e il lampeggio, e talvolta la lampada si è spenta. Inoltre, elementi dell'alimentatore elettronico emettevano suoni indesiderati che erano molto fastidiosi. Nel corso del tempo, i problemi iniziali sono stati eliminati dal funzionamento delle lampade a bassa frequenza. Rispetto agli alimentatori classici, questi presentano alcuni vantaggi, ma non hanno raggiunto un uso così diffuso come gli alimentatori elettronici per lampade fluorescenti.

Gli alimentatori elettronici aiutano ad eliminare il lampeggio della luce (ossia effetto stroboscopico), la durata delle lampade si allunga, contribuendo ad una temperatura di colore più stabile, inoltre essi riducono leggermente il consumo energetico. È anche possibile regolare il flusso luminoso, che può essere graduale o continuo. Si raccomanda di non diminuire la luce emessa al di sotto del 50% del flusso luminoso, in quanto ciò ridurrebbe notevolmente la loro durata. Quando si oscura diminuisce la luce emessa al di sotto del 50%, l'elettrodo emette più tungsteno che a pieno flusso luminoso, portando a un sovraccarico l'elettrodo stesso. Il materiale evaporato viene caricato sulle pareti del bruciatore delle lampade, che, a causa di ciò, anneriranno, riducendo così l'efficienza luminosa.

Gli alimentatori moderni elettronici per lampade ad alta pressione contengono già vari sistemi elettronici che forniscono l'accensione della lampada, il suo corretto funzionamento e il suo controllo. L'alimentatore elettronico trasforma il segnale sinusoidale della tensione e della frequenza di rete in un segnale di frequenza modulato a ampiezza di impulsi tra 100 Hz e 240 Hz. Per un'accensione ottimale della lampada, è necessario un impulso ad alta tensione superiore a 4,5 kV. Per accendere le lampade calde, si ha bisogno di reattori elettronici speciali che consentono la generazione di un impulso di tensione pari a 70 kV.



Figura 54: Alimentatori elettronici per lampade ad alta pressione

Alimentatori per i diodi a emissione luminosa - LED

I diodi emettitori di luce richiedono una fonte di corrente costante per il loro funzionamento (vedi figura 55). Il segnale dei diodi emettitori di luce si alimentano con corrente di 30 mA, il LED luminoso progettato per l'illuminazione viene alimentato da 1 A. Ciascun diodo emettitore di luce ha una relativamente piccola caduta di tensione tra 1 V e 4 V. Nel collegamento in serie di diodi è necessario sempre prestare attenzione che il loro calo complessivo di tensione non superi la tensione di uscita massima di alimentazione, che è solitamente tra 12 V e 30 V. La potenza nominale degli alimentatori è di circa 100 W. Uno dei maggiori vantaggi dei LED è la facilità con cui si cambia il flusso luminoso. Il flusso luminoso può variare dallo 0% fino al 100% del valore nominale, il che è possibile solo con le lampade a incandescenza.



Figura 55: Vari tipi di alimentatori per i LED

6.5 Illuminazione negli ambienti utilizzati

Superfici generiche negli edifici	Evz (lx)	UGR	Ra (CRI)	Note
Entrate e disimpegni	100	22	60	
Corridoi e collegamenti	100	28	80	
Scale, scale mobili, tapis roulant	150	25	40	
Cantine	200	22	80	
Sale da riposo	100	22	80	
Sale per l'esercizio fisico	300	22	80	
Guardaroba, bagni, servizi igienici	200	25	80	
Spazi di lavoro	200	25	60	
Sale controllo e gestione	500	19	80	
Magazzini e frigoriferi	100	25	60	200 lx con presenza costante
Stazioni di controllo	150	22	60	200 lx con presenza costante
Spazi per servizi medici	500	16	90	

Tabella 8: Esigenze di illuminazione per le superfici generiche negli edifici

Aula studio	Evz (lx)	UGR	Ra (CRI)	Note
Aule scolastiche da gioco	300	19	80	
Aule per l'istruzione pre primaria	300	19	80	
Spazi per attività pre scolari	300	19	80	
Classi scuole primarie e secondarie	300	19	80	L'illuminazione deve essere regolata
Aule per le scuole serali e la formazione permanente	500	19	80	
Aule	500	19	80	L'illuminazione deve essere regolata
Lavagna	500	19	80	E' necessario eliminare i riflessi
Tavolo per dimostrazioni	500	19	60	nelle aule scolastiche 750 lx
Aule per l'educazione artistica e il lavoro manuale	500	19	80	
Aule di lavoro nelle scuole d'arte	750	19	90	T 5000 K
Aule per il disegno tecnico	750	16	80	
Aule per il lavoro pratico e laboratori	500	19	80	
Laboratori	500	19	80	
Aule di educazione musicale	300	19	80	
Aule informatiche	500	19	80	considerare anche i requisiti per i siti con unità video
Laboratori linguistici	300	19	80	
Spazi di socializzazione per alunni	200	22	80	
Sale riunioni per docenti	300	22	80	
Palestre, piscine	300	22	80	

Tabella 9: Esigenze di illuminazione per attività formative

Panifici	Evz (lx)	UGR	Ra (CRI)	Note
Spazi per la preparazione e la cottura	300	22	80	
Lavorazione finale, decorazione, smaltatura	500	22	80	

Tabella 10: Esigenze di illuminazione per panifici

Industria alimentare	Evz (lx)	UGR	Ra (CRI)	Note
Luoghi di lavoro e aree in birrerie, macelli, lavanderie, riempimento di fusti, pulizia, semina, incollaggio, preparazione di prodotti alimentari conservati o al cioccolato, luoghi di lavoro e zone in zuccherifici, essiccatoi e fermentazione, cantine	200	25	80	
Smistamento e lavaggio dei prodotti, macinazione, miscelazione, confezionamento	300	25	80	
Luoghi di lavoro e aree nei macelli, macellerie, caseifici, mulini, su pavimenti di depurazione, zuccherifici	500	25	40	
Taglio e smistamento di frutta e verdura	300	25	80	
Produzione articoli da gastronomia, cucine	500	22	80	
Lavoro di produzione di sigari e sigarette	500	22	80	
Controllo di bottiglie e bicchieri, controllo dei prodotti, guarnizione, smistamento, decorazione	500	22	80	
Laboratori	500	19	80	

Tabella 11: Esigenze di illuminazione per l'industria alimentare

Industria del legno e dell'arredamento	Evz (lx)	UGR	Ra (CRI)	Note
Lavorazione automatica ad es. asciugatura, produzione compensati	50	25	40	
Bagni di vapore	150	28	40	
Segherie	300	25	60	eliminare l'effetto stroboscopico
Falegnameria, incollaggio, montaggi	300	25	80	
Levigatura, verniciatura, falegnameria moderna	750	22	80	
Lavori su macchine per la lavorazione del legno, es. tornitura, stuccatura, finitura, livellamento, piegatura, taglio, segatura, fresatura	500	19	80	eliminare l'effetto stroboscopico
Selezione del legno per rivestimento, intarsi,	750	22	90	T ≥ 4000 K

Tabella 12: Esigenze di illuminazione per l'industria del legno e arredamento

Spazi di allestimento	Evz (lx)	UGR	Ra (CRI)	Note
Sale dei teatri e per concerti	200	22	80	
Sale multiuso	300	22	80	
Spazi per prove, spogliatoi (guardaroba)	300	22	80	L'illuminazione dello specchio per il trucco non deve abbagliare
Musei (generale)	300	19	80	L'illuminazione deve essere adattata alle esigenze degli oggetti esposti e è necessario proteggerli dagli effetti dell'abbagliamento.

Tabella 13: Esigenze di illuminazione per attività legate allo spettacolo

Uffici	Evz (lx)	UGR	Ra (CRI)	Note
gestione dei documenti, copiatura, aree di traffico, ecc.	300	19	80	
Scrivere, battere a computer, lettura, trattamento dei dati	500	19	80	considerare anche i requisiti per i siti con unità video
Disegno tecnico	750	16	80	
Posti di lavoro per l'uso del CAD	500	19	80	considerare anche i requisiti per i siti con unità video
Spazi per conferenze e riunioni	500	19	80	L'illuminazione deve essere regolata
Bancone di accoglienza	300	22	80	
Archivio	200	25	80	

Tabella 14: Esigenze di illuminazione per uffici

Librerie	Evz (lx)	UGR	Ra (CRI)	Note
Scaffalature	200	19	80	
Sale lettura	500	19	80	
Prestito libri	500	19	90	

Tabella 15: Esigenze di illuminazione per librerie

7. Manutenzione del sistema di illuminazione

Sebbene la durata della sorgente di luce non sia una dimensione fotometrica, è comunque necessario affrontare questo problema in questa sede a causa della completezza delle informazioni. Esistono diversi modi per definire la durata di una sorgente luminosa. Nel caso della lampada a incandescenza, che è stata una delle prime fonti di luce elettrica, la cosa è relativamente semplice. La durata è data dal momento in cui la lampada si brucia. Tuttavia, poiché tutte le lampade non bruciano allo stesso tempo, la durata in vita deve essere definita sulla base della media. Pertanto, per le lampadine normali, la durata coincide con il tempo in cui si estingue il 50% delle lampade o il rimanente 50% funziona. Allo stesso modo, la durata è definita anche per diversi tipi di lampade che, dopo un certo periodo di tempo, possono smettere di funzionare senza aver ridotto significativamente il flusso luminoso. Oltre alla durata definita sulla base del 50% della sopravvivenza, si conosce anche una durata che viene definita sulla base del 75% della sopravvivenza. Se la durata della fonte è indicata solo con numero di ore, di solito ciò si riferisce alla sopravvivenza del 50% (o mancato funzionamento). Tale definizione di durata della vita, tuttavia, incontra problemi con sorgenti luminose che non conoscono un completo esaurimento dopo un certo periodo di tempo, ma diventano inutili a causa di altri problemi. Ad esempio, i diodi emettitori di luce (LED) possono funzionare (teoricamente) per un tempo infinito. Tuttavia, il flusso luminoso diminuisce con il tempo e, dopo un certo periodo, non sono più adatti per l'uso, in quanto non forniscono un adeguato illuminamento dell'ambiente. In questo caso la durata in vita viene definita sulla base della riduzione del flusso luminoso. Di solito, viene indicato il momento in cui il flusso della sorgente scende al di sotto del 70% del valore iniziale. Tale durata viene solitamente indicata dal codice L70 e dal numero di ore (ad esempio L70 50.000 h).

Naturalmente, è possibile precisare anche altri tempi di durata, ad esempio, quando il flusso luminoso si riduce all'80% o al 50% e simili.

Quando si progettano gli strumenti di illuminazione, è anche necessario soddisfare i requisiti per una manutenzione facile e conveniente dei dispositivi illuminotecnici. Perciò dobbiamo tener presente sia la sostituzione delle sorgenti luminose, sia la manutenzione e la pulizia di apparecchi illuminanti. Ciò è particolarmente importante nei grandi edifici, dove questi costi non sono trascurabili, in quanto è necessario per la sostituzione delle sorgenti luminose, ad esempio, noleggiare attrezzature specifiche (piattaforme di sollevamento) e una forza lavoro adeguatamente qualificata (con il permesso di lavorare in altezza).

Il progetto di manutenzione dell'illuminazione è parte integrante del progetto di illuminazione, quindi il progettista dovrebbe considerare anche la possibilità della loro manutenzione quando si scelgono sorgenti luminose o di apparecchi illuminanti. La durata delle sorgenti luminose prescelte e il tipo di apparecchi illuminanti influiscono sulla frequenza di manutenzione richiesta. Inoltre, è da precisare che anche l'attività svolta nell'ambiente può incidere sulla durata. In ambienti più polverosi, gli apparecchi illuminanti devono essere puliti più spesso che negli ambienti puliti. D'altra parte, tuttavia, vi sono costi associati ai singoli lavori di manutenzione. Se vi trovate in spazi più piccoli (e soprattutto bassi) (edifici residenziali, uffici singoli, impianti sanitari, ...) potete permettervi di sostituire la lampada ogniqualvolta questa smette di funzionare, ma questa operazione diventa troppo costosa nel caso di ambienti grandi e alti. In alcuni casi è addirittura impossibile (ad esempio piscine o spazi molto frequentati come le sale nelle stazioni ferroviarie e negli aeroporti). In fase di progettazione

la frequenza della manutenzione è determinata indirettamente dal fattore di manutenzione (compreso il fattore di progettazione), che viene preso in considerazione nel calcolo del numero di apparecchi illuminanti necessari per un determinato livello di illuminamento. Un fattore di manutenzione più alto significa che l'illuminamento iniziale nell'ambiente sarà corrispondentemente più alta di quella prevista dal piano di manutenzione richiesto dallo standard. Ciò significa che sarà allungato il tempo in cui, a causa dell'invecchiamento delle sorgenti luminose, si riducono le prestazioni o gli apparecchi illuminanti smettono di funzionare (per accumulo di polvere) e l'illuminamento scende al di sotto dello standard di manutenzione (vedi figura 56). Di solito il valore del fattore di manutenzione è di 0.8 (o 1.25 - reciproco), il che significa che il valore di illuminamento iniziale supera del 25% rispetto allo standard richiesto. In ambienti molto puliti e in quelli dove la manutenzione dell'illuminazione non è un problema, possiamo scegliere un valore corrispondentemente più elevato (0,85 - spazi molto puliti, sostituzione tempestiva di sorgenti luminose, pulizia annuale regolare). Al contrario, in aree dove la polvere accumulata è maggiore o il problema di manutenzione è più complicato, dobbiamo scegliere un valore corrispondente inferiore (0,67 - spazi puliti, ciclo di manutenzione di tre anni, 0,57 - illuminazione interna ed esterna, ambienti bianchi normali, ciclo di manutenzione triennale)

Conoscendo le date di manutenzione previste, possiamo ottimizzare il processo di manutenzione (ad esempio, prevediamo la manutenzione simultanea in più ambienti), riducendo così i costi, ad esempio noleggio di attrezzature e forze di lavoro.

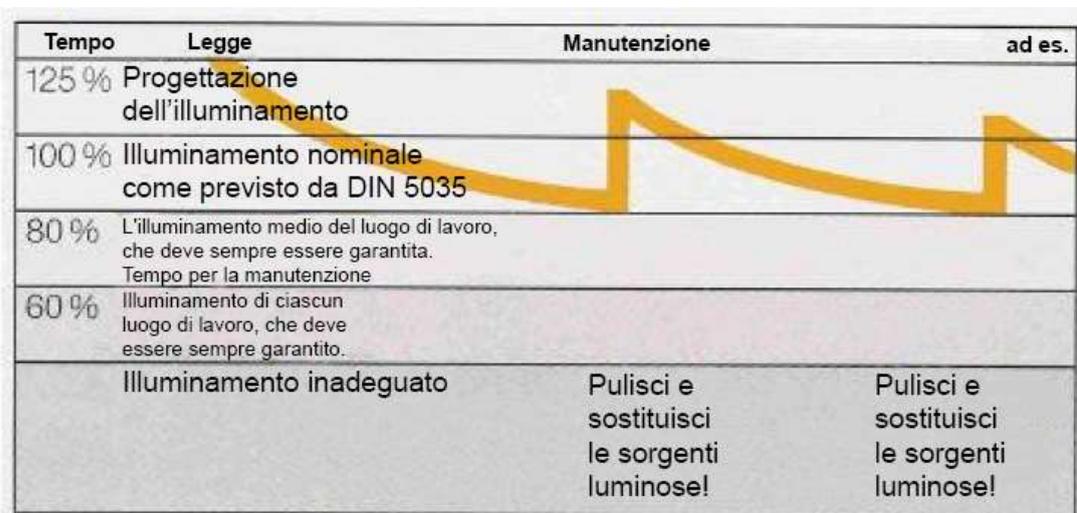


Figura 56: Grafico - l'illustrazione della manutenzione in riferimento all'illuminamento

8. Calcolo del consumo energetico e requisiti di potenza installata

Oltre ai metodi di calcolo descritti è possibile utilizzare anche altri metodi, che non sono elencati di seguito.

8.1 Calcolo del consumo di energia - di base

I requisiti di potenza installata $P_{el, spazio} = n \cdot P_{corpi\ illuminanti}$

dove: $P_{corpi\ illuminanti} = P_{fonti} + P_{(ALIMENTATORI)}$

1. Calcolo della potenza:

12 corpi illuminanti $2 \times 58\text{ W} + P_{(ALIMENTATORI)}$:

$$12 \times (2 \times 58 + 2 \times 13) = 12 \times 142\text{ W} = 1.704\text{ Watt}$$

2. Calcolo del consumo:

Consumo energetico kWh/anno = $P_{el, spazio} \times \text{tempo di funzionamento/anno} \times \text{fattore di sfruttamento } f_v$

Tempo di funzionamento 3.000 ore, fattore di sfruttamento 0,6

$$1.704 \times 3.000\text{ h} \times 0,6 = 3.067,2\text{ kWh/anno}$$

3. Densità della potenza media:

Densità della potenza media $W/m^2 = P_{el, spazio} / \text{superficie dello spazio } A$

Potenza corpi illuminanti = 1.704 Watt, superficie 100 m^2

$$1.740\text{ W} / 100\text{ m}^2 = 17,4\text{ W/m}^2$$

8.2 Indice LENI

Dalle descrizioni delle strategie di gestione dell'illuminazione, è evidente che esistono diverse misure per migliorare l'uso efficiente dell'energia per l'illuminazione, ma queste misure riguardano l'energia utilizzata e non la potenza installata. Ciò significa che, se usiamo uno dei metodi sopra indicati per controllare l'illuminazione dell'ambiente, la potenza installata dei corpi illuminanti in un determinato periodo di tempo non coincide con il consumo effettivo, in quanto è necessario considerare anche alcuni fattori che dipendono dai risparmi dovuti alla gestione. A tale scopo, il CIE ha proposto un modello di calcolo generale per la valutazione energetica del consumo di energia elettrica per l'illuminazione: L'indice LENI (Lighting Energy Numeric Indicator) viene utilizzato anche negli standard europei.

In generale, l'indice LENI serve a documentare la quantità di elettricità che utilizziamo ogni anno per illuminare 1 m² di spazio, nell'ipotesi che l'illuminazione rispetti il valore di illuminamento prescritto per quell'ambiente. I calcoli basati su questo modello possono essere utilizzati:

- come stima del consumo di elettricità per l'illuminazione,
- per controllare il risparmio energetico con il controllo dell'illuminazione,
- per controllare l'illuminazione esistente in un edificio,
- per verificare che l'illuminazione prevista sia conforme ai criteri energetici.

Questo indice viene anche utilizzato per misurare l'efficienza energetica durante la progettazione di un nuovo sistema di illuminazione o il risanamento di uno già esistente. Il metodo di calcolo dell'indice è dettagliato in EN 15193-1-2014.

L'indice LENI può essere determinato attraverso tre diversi metodi, che vengono semplicemente chiamati metodo 1, metodo 2 e metodo 3. I metodi 1 e 2 sono computazionali, il risultato finale si ottiene calcolando i dati di illuminazione, mentre il metodo 3 prevede l'acquisizione dei risultati attraverso misurazioni. Per il metodo 1 e 2 usiamo pure le versioni del metodo esteso o del metodo rapido. Con il metodo 1, ossia metodo esteso, i diversi fattori nell'equazione sono trattati e determinati in modo più dettagliato rispetto al metodo 2, o metodo rapido, in cui la maggior parte delle variabili dell'equazione è determinata sulla base dei dati medi proposti dalle tabelle allegate allo standard. Le procedure di calcolo per entrambi i metodi sono descritte di seguito.

8.3 Calcolo dell'indice LENI - metodo 1 (esteso)

Come accennato in precedenza, il metodo 1 presenta analisi e descrizioni dettagliate dell'illuminazione nell'ambiente, ossia nell'edificio. Le equazioni contengono diverse variabili, attraverso le quali, oltre alla potenza dei corpi illuminanti, si considera anche l'influenza della gestione, la presenza di luce diurna e il fattore di manutenzione dell'illuminazione rispetto all'efficienza della medesima.

Il risultato finale consiste nell'indice di LENI dell'edificio, che ci dice quanti kWh di elettricità usiamo per illuminare un m² di spazio in un (1) anno. Per il risultato finale, tuttavia, abbiamo bisogno di dati diversi attraverso i quali determiniamo tutti i parametri nell'equazione.

La procedura per calcolare l'indice di LENI utilizzando il metodo esteso è la seguente:

$$P_{em} = \sum_i P_{el}$$

Dove:

P_{em} – potenza totale installata per tutte le luci per l'illuminazione di emergenza in un determinato ambiente o edificio (W)

P_{el} – la potenza necessaria per la singola luce di emergenza (W)

$$P_{pc} = \sum_i P_{ci}$$

Dove:

P_{pc} – è la potenza parassita totale di tutti i sistemi di gestione per l'illuminazione di un ambiente o di un edificio, quando i corpi illuminanti non sono in funzione (W) o (W)

P_{ci} –Potere parassitario di un singolo sistema di gestione per l'illuminazione quando i corpi illuminanti non sono in funzione (W)

$$P_n = \sum_i P_i$$

Dove:

P_n – è la potenza totale installata di tutti corpi illuminanti nell'ambiente o nell'area (W)

P_i – potenza installata del singolo corpo illuminante (W)

$$t_o = t_D + t_N$$

Dove:

t_o – numero di ore all'anno in cui l'illuminazione funziona (h)

t_D – numero di ore all'anno in cui l'illuminazione funziona di giorno (h)

t_N – numero di ore all'anno in cui l'illuminazione funziona di notte(h)

$$W_L = \frac{\sum (P_n \cdot F_C) \cdot [(t_D \cdot F_O \cdot F_D) + (t_N \cdot F_O)]}{1000} (kWh)$$

Dove:

W_L – consumo energetico per illuminazione a livello annuale, che include il consumo di tutte le lampade e alimentatori (kWh)

P_n – potenza totale installata di tutti i corpi illuminanti nell'ambiente o nell'edificio (W)

F_C – fattore di illuminamento costante

T_D – numero di ore all'anno in cui l'illuminazione funziona di giorno (h)

F_O – variabile dipendente in relazione al livello di occupazione dell'ambiente

F_D – variabile dipendente rispetto alla luce diurna

T_N – numero di ore all'anno in cui l'illuminazione funziona di notte (h)

$$W_P = \frac{\sum ((P_{PC} \cdot [t_Y - (t_D + t_N)]) + (P_{em} \cdot t_e))}{1000} (kWh)$$

Dove:

W_P – consumo annuale di energia parassita, che include l'alimentazione dell'illuminazione di emergenza e del sistema di gestione

illuminazione di riserva (kWh)

P_{PC} – potenza parassita totale di alimentazione di tutti i sistemi di gestione per illuminare un ambiente o un edificio quando i corpi illuminanti non sono in funzione (W) o (W)

t_Y – numero di ore all'anno (8760h)

t_D – numero di ore all'anno quando l'illuminazione funziona di giorno (h)

t_N – numero di ore all'anno in cui l'illuminazione funziona di notte (h)

P_{em} – potenza totale installata per tutte le luci per l'illuminazione di emergenza in un determinato ambiente o edificio (W)

t_e – numero di ore all'anno per caricare le batterie per l'illuminazione di emergenza (h)

$$W = W_L + W_P$$

Dove:

W – consumo energetico totale annuo richiesto per l'illuminazione nello spazio o nell'area (kWh / anno)

W_L – consumo energetico per illuminazione a livello annuale, che include il consumo di tutte le lampade e alimentatori (kWh/anno)

W_P – consumo annuale di energia parassita, che include l'alimentazione dell'illuminazione di emergenza e del di gestione illuminazione di riserva (kWh /)

$$LENI = \frac{W}{A} (\text{kWh} / \text{m}^2 \cdot \text{leto})$$

Dove:

LENI - indice di valutazione energetica per l'illuminazione (kWh / m² anno)

W - consumo energetico totale annuo richiesto per l'illuminazione nell'ambiente o nell'area (kWh / anno)

A - area totale dell'ambiente o dell'edificio in esame (m²)

L'analisi delle equazioni mostra che cambiando le variabili nelle equazioni si agisce sulla riduzione del consumo di energia:

- La potenza installata totale può essere ridotta utilizzando sorgenti luminose a basso consumo energetico, in combinazione con dispositivi di controllo efficienti,
- attenuando la luce al livello della luce del giorno, possiamo contribuire in modo significativo al risparmio energetico, quindi è necessario un adattamento intelligente della flusso luminoso alla luce del giorno. E' possibile farlo con il parametro FD ,
- le ore di funzionamento possono essere ridotte tramite il parametro FO , tramite l'uso del sensore di presenza, che regola l'illuminazione in base alla presenza o all'occupazione della stanza.

8.4 Calcolo dell'indice LENI - metodo 2 (rapido)

Questo metodo di calcolo dell'indice LENI è previsto per il calcolo rapido. Anche in questo metodo, basato su determinati parametri, vengono presi in considerazione la gestione dell'illuminazione, la presenza di luce naturale e il fattore di manutenzione, ma a differenza del metodo esteso, questi sono molto più generici, poiché la maggior parte dei parametri è determinata dalle tabelle e dalle specifiche generali che si trovano nello standard EN 15193-1-2014.

Il risultato finale consiste nell'indice di LENI dell'edificio, che ci dice quanti kWh di elettricità consumiamo per illuminare un m² di spazio in un (1) anno. Per calcolare l'indice di LENI utilizzando il metodo rapido, è necessario definire tutte le variabili e i parametri che si trovano nell'equazione e la procedura di calcolo è la seguente:

$$LENI = \left\{ F_C \cdot \left(\frac{P_j}{1000} \right) \cdot F_O \cdot [(t_D \cdot F_D) + t_N] \right\} + 1 + \left\{ \frac{1,5}{t_Y} \cdot [t_Y - (t_D + t_N)] \right\}$$

Dove:

F_C – fattore di illuminamento costante (fattore che determina la quantità del “sovradimensionamento” iniziale che con il tempo in cui l'illuminazione sta perdendo potenza a causa dell'invecchiamento, rimane comunque entro i limiti prescritti di illuminamento)

P_j – potenza installata per m² di superficie (W/m²)

F_O – Fattore di occupazione degli ambienti (fattore che tiene conto dell'occupazione e dell'uso dei locali in base al loro scopo)

t_D - periodo di funzionamento dell'illuminazione nelle ore diurne (h)

F_D – è il fattore dell'influenza della luce diurna (fattore attraverso cui viene definita la percentuale di illuminazione nell'edificio in combinazione con il controllo della luce diurna incidente e la presenza effettiva di luce diurna nell'ambiente)

t_N – Tempo di funzionamento dell'illuminazione nelle ore notturne (h)

t_Y – numero di ore all'anno (8760 h)

In entrambi i casi, possiamo vedere che i vari effetti sull'efficienza luminosa, come la strategia di gestione e la presenza di luce diurna, vengono presi in considerazione attraverso i fattori F_O , F_D e F_C . I valori corrispondenti di questi fattori vengono raggiunti in modi diversi, che dipendono anche dal metodo prescelto (rapido o esteso).

9. Misure per ottenere un'illuminazione efficiente dal punto di vista energetico

La prima fase dell'efficienza energetica dell'illuminazione è la sostituzione delle lampade a incandescenza classiche con quelle a risparmio energetico, che sono oggi di grande attualità negli edifici residenziali. Il grande merito per uso di sorgenti luminose più efficienti va al regolamento dell'Unione Europea, che oggi proibisce la vendita di lampade tradizionali e di altre lampade inefficienti.

I seguenti passaggi per fornire un'illuminazione efficiente dal punto di vista energetico sono principalmente rivolti all'utilizzo del minor numero possibile di corpi illuminanti installati per garantire un adeguato illuminamento degli ambienti e che funzionino solo in quei momenti e solo con la potenza che in un determinato luogo e in un dato momento è ritenuta necessaria. Soprattutto oggi ci si dedica allo sfruttamento della luce del giorno, o meglio ad una combinazione di luce diurna e artificiale. A questo fine la prima condizione è la presenza di luce diurna nell'ambiente, che affrontiamo ponendo diverse finestre sugli edifici e con tubi luminosi (ing. Light tubes, ad esempio Solatube). La seconda condizione è, ovviamente, un'adeguata strategia di gestione dell'illuminazione, della quale si conoscono vari tipi. I metodi più usati oggi sono: la gestione in base alla presenza di persone nell'ambiente, gestione secondo un orario programmato, gestione della luce diurna e l'integrazione con il sistema CNS (vedi figura 57).

9.1 Illuminazione a risparmio energetico rispetto alla strategia di gestione

Il livello base nel risparmio tramite la gestione è il controllo dell'illuminazione con un timer sulla base di un programma predeterminato o il controllo in base alla presenza di persone nella stanza con l'aiuto di sensori di movimento a IR. Il prossimo passo nel risparmio energetico è il controllo degli apparecchi illuminanti con sensori di illuminazione ambientale (controllo dell'illuminazione rispetto alla presenza di luce diurna). L'ultimo e più avanzato livello di gestione è l'integrazione della controllo degli apparecchi illuminanti con il controllo delle persiane e il collegamento al sistema di controllo centrale (CNS) dell'edificio.



Figura 57: I metodi di risparmio energetico attraverso diversi metodi

9.2 Sostituire delle vecchie sorgenti luminose con altre più efficienti

Il primo livello di base ossia strategia di un'illuminazione efficiente dal punto di vista energetico è la sostituzione di lampade obsolete e ad alto consumo con nuove lampade a risparmio energetico, anche senza una specifica gestione dell'illuminazione (on/off manuale) (vedi figura 58). Questa categoria comprende anche la sostituzione dei corpi illuminanti con lampade fluorescenti e di alimentatori elettromagnetici obsoleti con moderne lampade fluorescenti con alimentatore elettronico. In questo modo, possiamo ridurre notevolmente la potenza installata dei corpi illuminanti, e quindi il consumo di corrente elettrica.

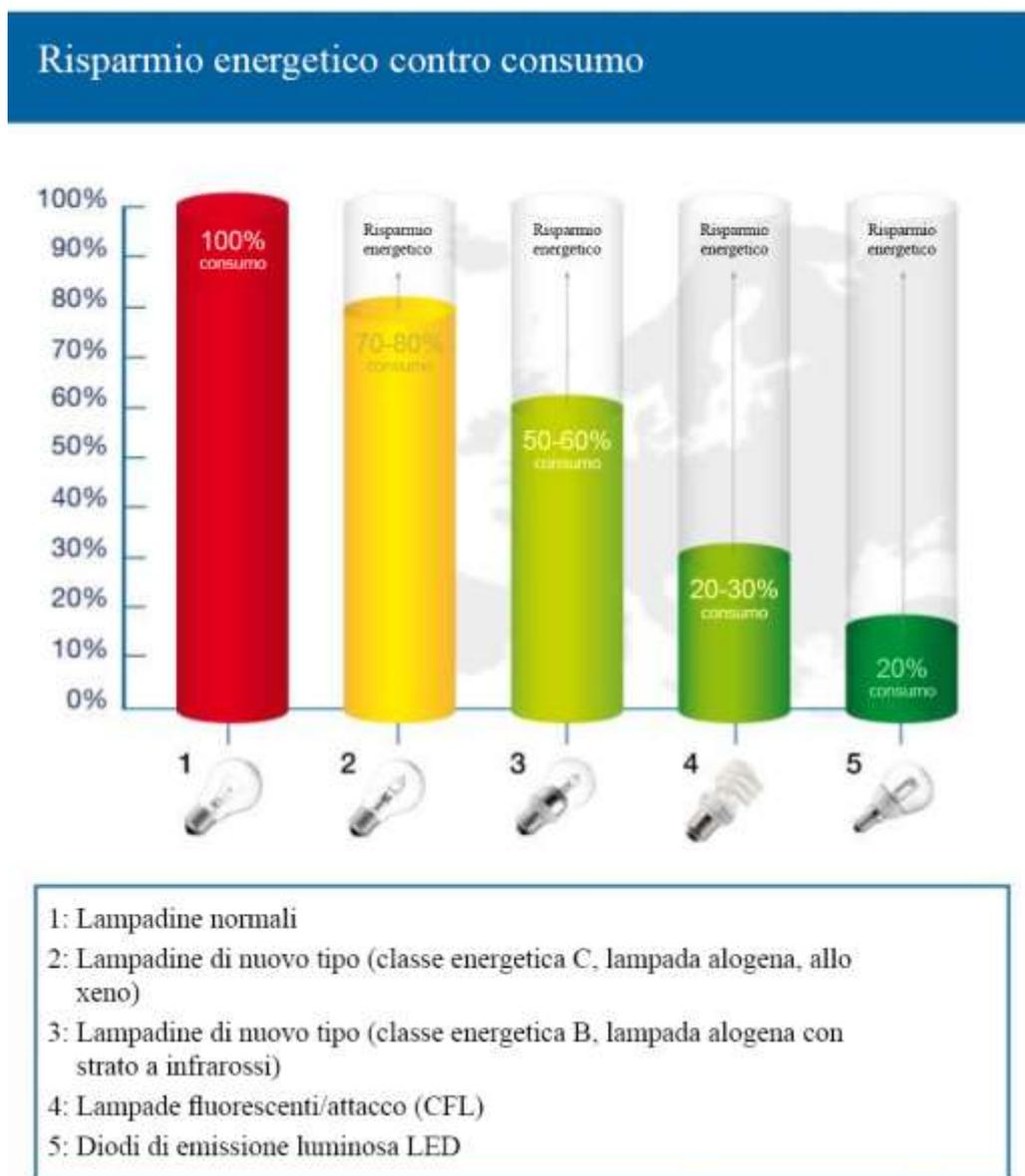


Figura 58: Risparmio energetico con sostituzione di sorgenti luminosi

9.3 Controllo dell'illuminazione con timer o con un sensore di presenza

La strategia seguente di gestione per ottenere l'efficienza energetica è il controllo dell'illuminazione con il tempo di funzionamento predeterminato o la presenza di persone nella stanza (vedi figura 59). Questo metodo, il controllo con un tempo di illuminazione predefinito, può essere utilizzato in ambienti in cui sappiamo esattamente quando dovrebbe funzionare l'illuminazione (ad esempio l'illuminazione di una sala conferenze). Questo metodo può essere eseguito per mezzo di un timer, attraverso il quale possiamo controllare l'illuminazione impostando il programma di funzionamento. In pratica, questo metodo è piuttosto raro negli ambienti interni. Più spesso, questo metodo viene utilizzato per controllare l'illuminazione esterna dell'edificio.

Un altro metodo consiste nel controllo dell'illuminazione in base alla presenza di persone nella stanza, è viene molto utilizzato (vedi figura 60). Per il funzionamento di un tale sistema si ha bisogno di un sensore di movimento a IR, che può essere personalizzato per regolare la sensibilità del rilevamento del movimento e l'arresto ritardato del sistema. Con questi sistemi realizziamo principalmente il fatto che l'illuminazione funziona davvero solo quando è necessario. Questo metodo può ridurre il tempo di funzionamento dei corpi illuminanti.

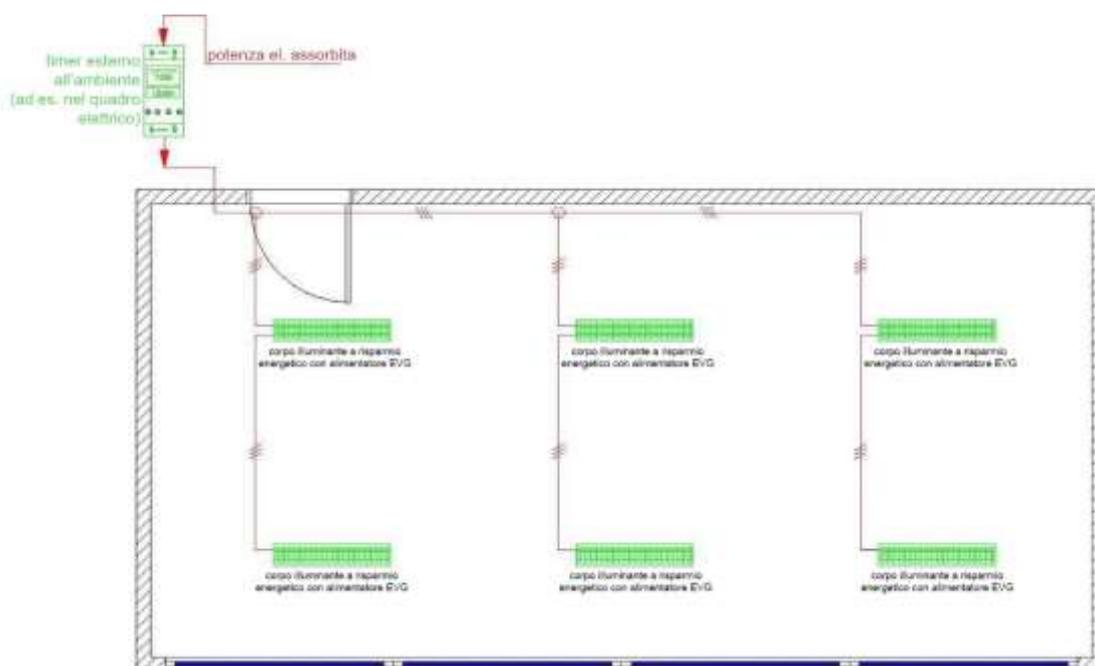


Figura 59: Controllo dell'illuminazione con un timer

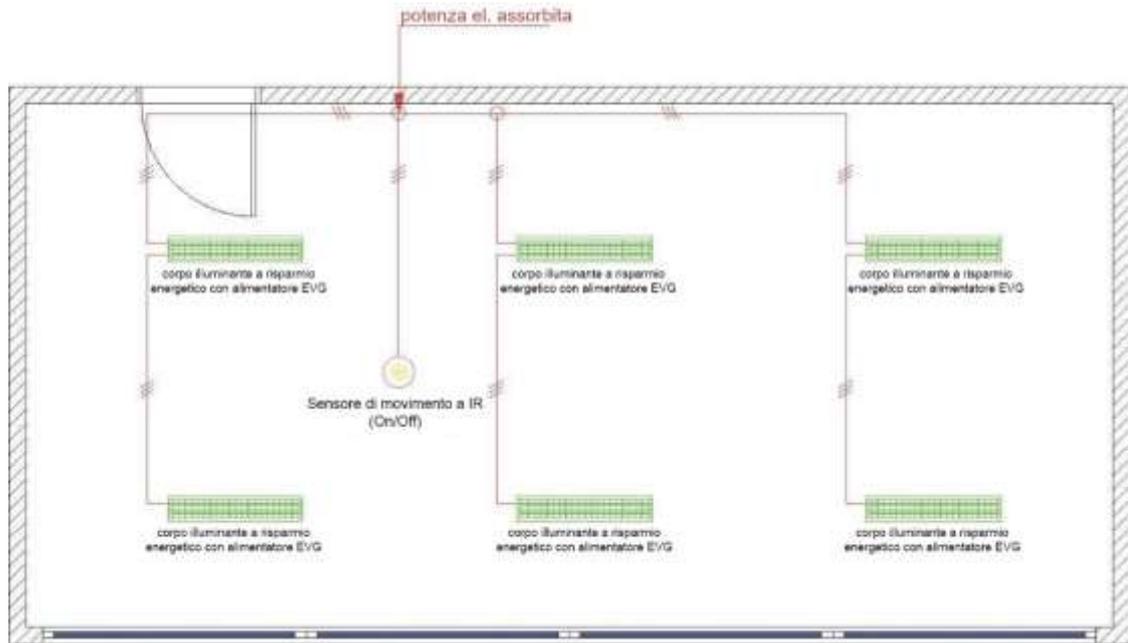


Figura 60: Controllo dell'illuminazione con sensore di presenza

9.4 Controllo dell'illuminazione in base alla presenza di luce diurna

Il controllo dell'illuminazione basato sulla presenza della luce diurna utilizza un sensore di luce che misura il valore di illuminamento attuale dell'ambiente (vedi figure 61 e 62). È necessario impostare sull'unità di controllo il valore di illuminamento desiderato. Sulla base di questo valore il dispositivo di controllo regola la potenza richiesta dei corpi illuminanti nella stanza utilizzando il sensore di illuminamento. Se la luce del giorno è sufficiente, il sistema spegne tutte le luci, ma quando il valore di illuminamento scende al di sotto del valore di riferimento, il sistema aggiunge solo la quantità di luce artificiale necessaria per raggiungere i valori di illuminamento impostati.

Tale sistema viene utilizzato ed è anche più comune negli ambienti in cui vi è un gran numero di finestre (scuole, uffici, ospedali, ...), poiché in assenza di luce diurna, tale sistema non è utile. Esistono diverse soluzioni per il funzionamento di un tale sistema. I più comuni sistemi di gestione sono DALI o DSI. I sistemi sopra menzionati sono al momento i più diffusi, ma anche la gestione analogica 0-10 V è alquanto diffusa, anche se sempre meno frequente. Con questo tipo di gestione otteniamo sia una riduzione del consumo di energia sia una riduzione delle ore di funzionamento dei corpi illuminanti. Sul mercato si possono anche trovare i sistemi KNX, o ZigBee Light, ...

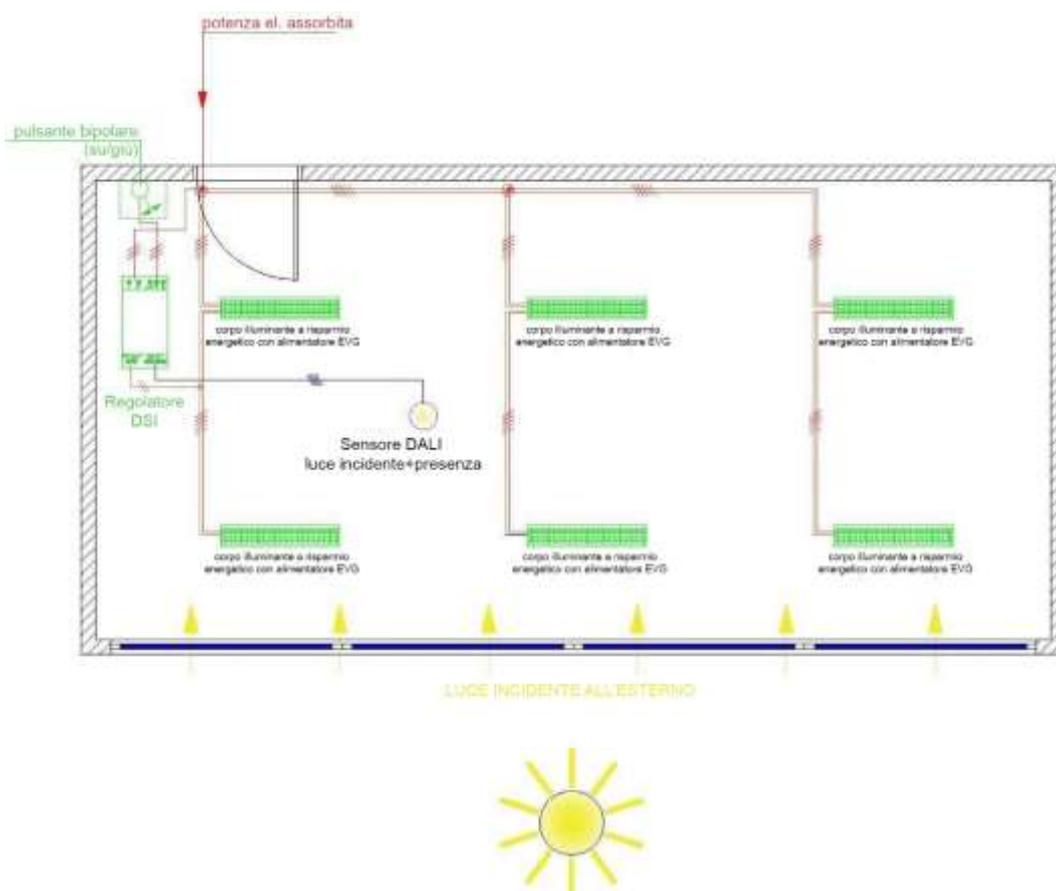


Figura 61: Gestione dell'illuminazione con sistemi DSI

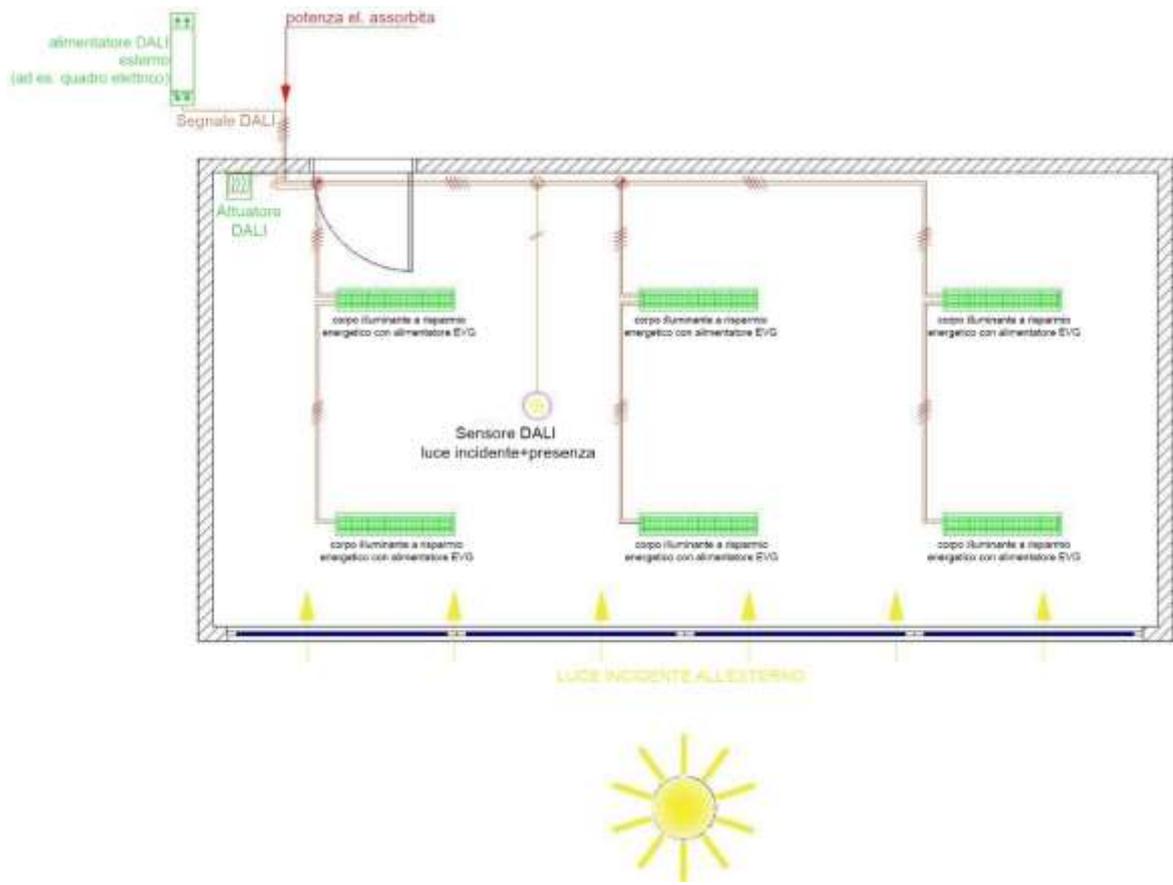


Figura 62: Gestione dell'illuminazione con sistemi DALI

9.5 Integrazione del controllo dell'illuminazione con controllo persiane e collegamento al sistema CNS

La combinazione del controllo dell'illuminazione con il controllo delle persiane ha senso quando non viene eseguito alcun controllo dell'illuminazione rispetto alla luce incidente esterna (vedi la figura 63). Con una tale combinazione di controlli, cerchiamo di ottenere che, nel caso di persiane rialzate, l'illuminazione non funzioni o funzioni con meno energia. Tale controllo può essere effettuato mediante un circuito di controllo o un controller posto in un quadro elettrico. Alcuni sistemi di persiane presentano anche un'uscita relè integrata che "comunica" la posizione delle persiane e può essere utilizzata come segnale di ingresso per il controllo dell'illuminazione.

Nel caso in cui l'illuminazione controllata nella stanza sia già in funzione rispetto alla luce incidente, il sistema stesso, nel caso di persiane aperte o chiuse, rileva la presenza o l'assenza di luce diurna e regola di conseguenza l'intensità della luce artificiale nell'ambiente. Il livello più flessibile di controllo dell'illuminazione è la connessione al sistema CNS dell'edificio, se presente. Il sistema CNS viene utilizzato prevalentemente per la gestione del riscaldamento e della areazione degli ambienti, solo negli ultimi anni il collegamento del controllo dell'illuminazione con il CNS è diventato attuale. La base per collegare il controllo dell'illuminazione al sistema CNS è il sistema di comunicazione appropriato (ad es. il sistema DALI con un controller che consente la connessione alla rete). Il vantaggio principale di tale sistema è la possibilità di controllare i parametri dell'intero edificio in un unico luogo, monitorando il consumo di elettricità per l'illuminazione, la segnalazione automatica dei guasti nel sistema (ad es. guasto della lampada) e la possibilità di eseguire un controllo remoto. Negli ultimi anni, si è affermato in questo campo il sistema KNX che, oltre a gestire l'illuminazione, il riscaldamento e l'areazione, si collega agli allarmi antincendio, controllo degli accessi, telecamere di sicurezza, controllo persiane, ecc. Questo sistema è ancora molto raro, ma un numero sempre maggiore di soggetti economici sceglie un sistema così completo.

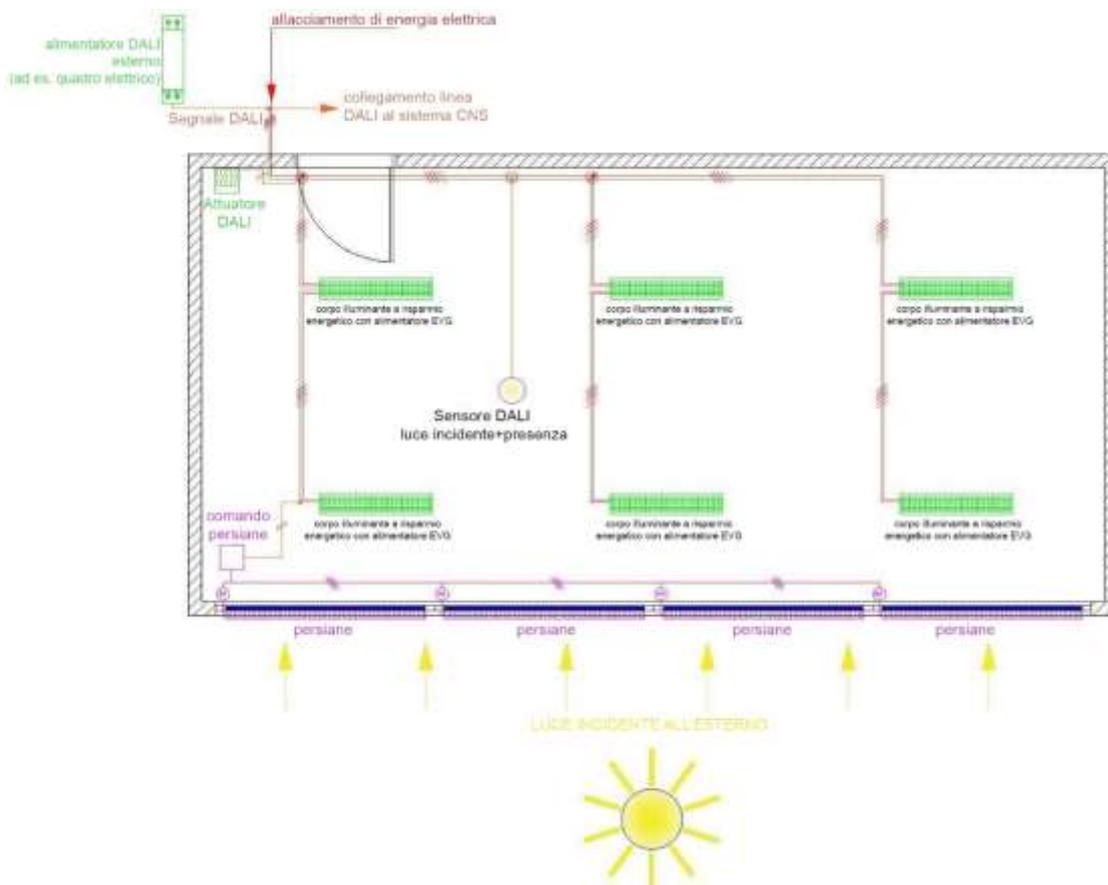


Figura 63: Illuminazione con sistema DALI e collegamento al sistema CNS

La figura 64 mostra il sistema di illuminazione ZeegBee LightLink. Le luci sono controllate in modalità wireless con un telecomando o con un'applicazione di illuminazione installata, ad esempio, su un telefono cellulare. A causa della loro interoperabilità tutte queste componenti devono sopportare il protocollo ZigBee.

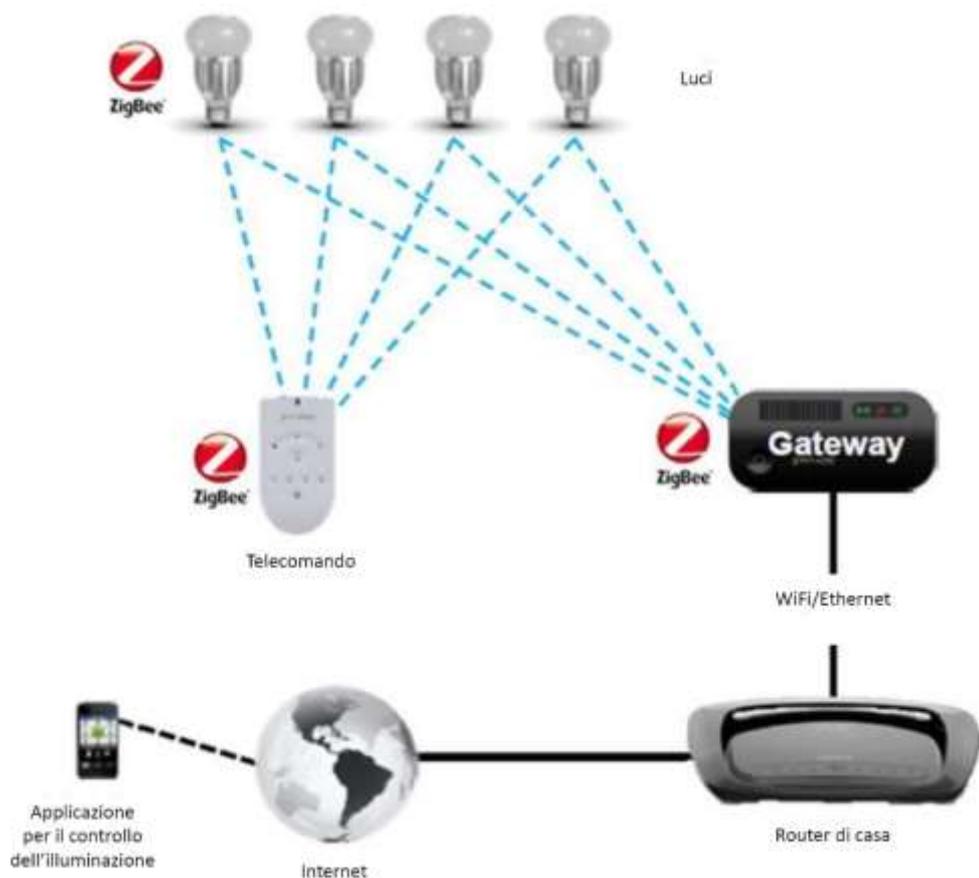


Figura 64: Controllo dell'illuminazione con il sistema ZigBee LightLink

Il compito della luce artificiale è di sostituirsi a quella naturale, quando questa è limitata o non disponibile. L'illuminazione nell'ambiente è influenzata dalla stagione, dall'ora del giorno e dal tempo. Con l'aiuto di un sensore di luce, si possono combinare la luce artificiale e quella naturale per un'illuminazione ottimale. Quando è disponibile una luce diurna sufficiente, le luci si abbassano al minimo o si spengono. I sensori sono posizionati in base a una particolare situazione nell'ambiente interno o all'esterno.

9.6 Riadattamento dell'ambiente

Un'illuminazione migliore e più appropriata di una stanza può essere ottenuta anche dal riadattamento della stanza stessa. Anche con la redistribuzione delle superfici di lavoro (uffici, banchi di scuola, ecc.), possiamo ottenere risultati da offrire all'utente abbastanza luce diurna in combinazione con la luce artificiale. Se la stanza non ha aperture adeguate per la luce naturale (finestre, ..), è possibile illuminare la stanza con luce naturale usando l'aiuto dei lucernai - "solar tube" (vedi figura 65). Queste sono aperture che convogliano la maggior quantità di luce esterna verso gli spazi interni. I lucernai hanno una eccellente caratteristica di conducibilità termica, perché non trasmettono la temperatura esterna all'interno o vice versa. L'installazione è rapida e semplice e non richiede il rifacimento della struttura del tetto, e non produce disordine o altri inconvenienti (vedi figura 66).



Figura 65: Esempi di spazi interni con e senza lucernari



Figura 66: Un esempio di lucernario (la riflettanza spettrale è del 99,7%)

9.7 Progettazione

Negli spazi destinati al lavoro, i luoghi di lavoro sono generalmente posizionati in modo che la direzione della luce del giorno sia appropriata (proviene da sinistra e da sopra). In questi casi si rende necessario disporre l'illuminazione artificiale secondo questa disposizione. Con una progettazione adeguata e corretta, con i calcoli illuminotecnici, disponiamo gli apparecchi illuminanti parallelamente alle finestre, che consentono di schiarire le ombre causate della luce del giorno. Durante la progettazione, utilizziamo programmi illuminotecnici (ad esempio: Relux, Dialux, ...), e in base all'uso e alla posizione dello spazio, applichiamo anche regolamenti, standard e raccomandazioni appropriate.

Con la modellazione simuliamo anche il rapporto tra l'illuminamento cilindrica (vedi figura 67) e quella orizzontale(vedi figura 68):

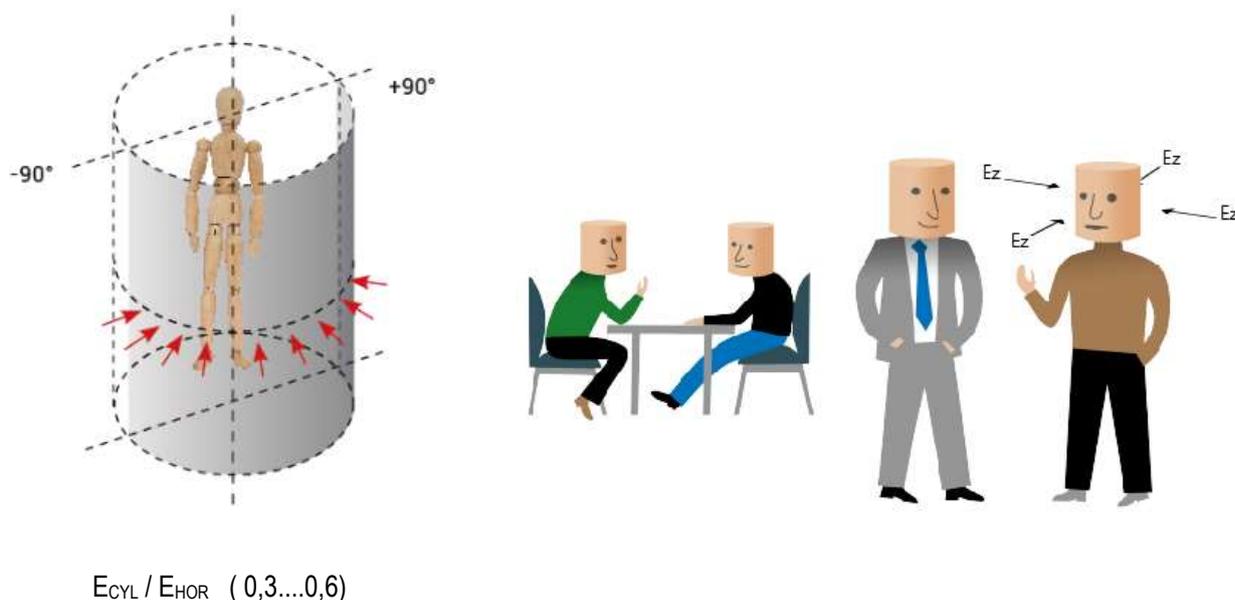


Figura 67: Esempio di illuminamento cilindrico

Una valutazione è necessaria a tutte le altezze



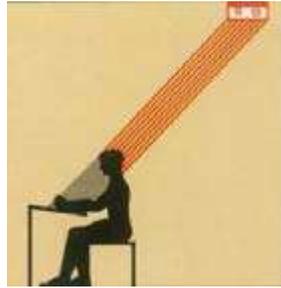
Figura 68: Esempio di illuminamento orizzontale

Verifichiamo e definiamo anche l'angolo di incidenza della luce



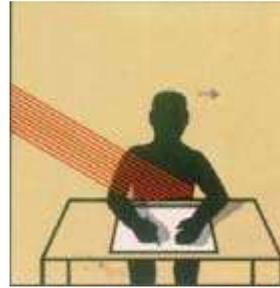
Errato:

Luce frontale si riflette della superficie di lavoro direttamente sugli occhi e brilla.



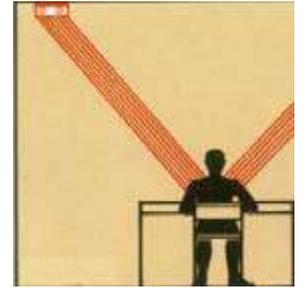
Errato:

Luce da dietro il corpo getta ombra sulla superficie di lavoro così diminuisce illuminamento.



Errato:

Con la luce da destra il corpo getta ombra quando scriviamo che ci dà fastidio.



Giusto:

La luce da sinistra si riflette dalla superficie di lavoro oltre gli occhi tuttavia l'ombra sparisce.

10. Metodi per la raccolta di dati

La base per la raccolta di dati sull'illuminazione esistente dell'ambiente e nell'area circostante, sono le misurazioni dell'illuminazione e il rilievo dello stato di fatto dello spazio:

- censimento del numero dei corpi illuminanti
- tipo dei corpi illuminanti (*vedi allegato 3: Catalogo dell'illuminazione degli interni*)
- dimensione dell'ambiente
- altezza dell'ambiente
- colore delle pareti e del soffitto
- ostacoli e altre specificità dell'ambiente

Lo scopo delle misurazioni è determinare, se l'illuminazione corrisponde ai requisiti di un'attività che viene svolta in un determinato luogo (in un determinato spazio, in un circondario) (*vedi figura 69*). La tabella riassuntiva per la descrizione dell'illuminazione per interni è illustrata nell'appendice n. 1.

Le misure devono riguardare:

- il valore medio di illuminamento rispetto compiti visibili (lx)
- uniformità,
- il valore medio di illuminamento dell'ambito dei singoli lavori (lx),
- il valore medio di illuminamento rispetto all'ambiente circostante (lx)
- il valore medio di illuminamento rispetto all'area di movimento (lx)
- il valore medio di illuminamento della parete e del soffitto (lx),
- Ra (CCT).

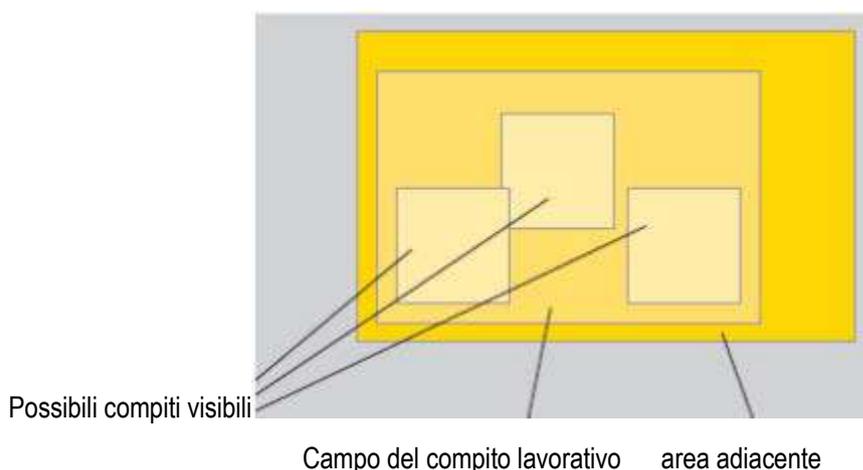


Figura 69: Visualizzazione delle aree nello spazio

10.1 Misure della illuminamento, descrizione dello stato di fatto dell'ambiente

Le misurazioni possono essere eseguite in condizioni di illuminazione diurna, illuminazione artificiale o in combinazione di entrambi. Se misuriamo solo l'illuminazione artificiale, le misure vanno eseguite meglio nelle ore notturne. Tuttavia, se è

presente luce riflessa (ad es. dall'illuminazione stradale, dagli spazi adiacenti, dagli edifici, ecc.), vengono eseguite e sottratte due misure (artificiale + riflessa, solo riflessa) e il risultato viene sottratto.

È importante che le misurazioni siano eseguite in modo che il lavoratore sia presente sul posto di lavoro nella normale posizione di lavoro (vedi la figura 70). In questo modo, possiamo anche valutare l'idoneità del posizionamento degli apparecchi illuminanti in base alla posizione del lavoratore e di eventuali ombre fastidiose. Ma attenzione che il misuratore non produca ombre.



Figura 70: Misure di illuminamento del posto di lavoro

Le misurazioni vengono effettuate con un esposimetro (lux-metro) (vedi la prima parte della figura 71). Ciò facendo dovremmo essere particolarmente attenti all'adattabilità del misuratore, alla sensibilità spettrale dell'occhio (vedi la seconda parte della figura 71) e alla calibrazione appropriata.



Spectral Sensitivity Characteristic

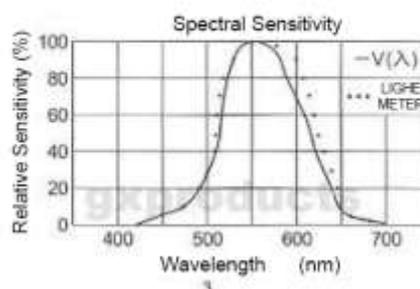


Figura 71: Esempi di misuratore, grafico della sensibilità spettrale

Le misurazioni devono seguire gli standard, quindi misuriamo le aree di lavoro effettive (vedi figura 72). Valutiamo la dimensione dell'area di lavoro sul posto di lavoro (lavoro d'ufficio - min. formato A3) È importante che le misurazioni siano eseguite in modo che il lavoratore sia presente sul posto di lavoro nella normale posizione di lavoro (vedi la figura 70).



Figura 72: Esempio di misurazione dell'illuminamento della scrivania da ufficio

La misurazione su ciascun posto di lavoro viene effettuata in più punti (vedi figura 72), al fine di determinare la media, l'uniformità, ecc. Il numero di punti dipende dalla dimensione della superficie su cui viene misurata l'illuminamento (vedi lo standard SIST EN 12464-1). Prima di effettuare le misurazioni dell'illuminazione interna, dobbiamo identificare (misurare anche) e registrare tutti i dati che influenzano i risultati delle misurazioni. Tra questi devono essere presi in considerazione:

- il tipo e l'età degli apparecchi illuminanti
- il tipo delle fonti luminose e degli alimentatori,
- l'altezza di montaggio degli apparecchi illuminanti (pendenti, da terra...)
- tensione di alimentazione
- la temperatura ambiente
- il riflesso delle superfici interne (o almeno il loro colore e caratteristiche riflettenti),
- lo stato di illuminazione, data dell'ultima pulizia,
- i numeri di serie o di inventario degli strumenti di misura utilizzati nell'ispezione.

Se l'illuminazione viene effettuata con lampade fluorescenti, è necessario attendere almeno 20 minuti prima della misurazione per stabilizzare le fonti di luce. Tuttavia, se le fonti luminose si trovano all'interno degli apparecchi illuminanti completamente chiuse, potrebbe essere necessario più tempo per raggiungere la temperatura finale. Nel caso di nuove installazioni le misurazioni si eseguono solo dopo almeno 100 ore di funzionamento dell'illuminazione, quando le sorgenti luminose sono già invecchiate in modo appropriato per ottenere un funzionamento stabile.

10.1.1 Misurazioni in spazi non ammobiliati

In alcuni locali, come nei casi di ambienti destinati ad ufficio, a volte non è sempre possibile individuare la disposizione delle attività lavorative, ad esempio quando il locale non è stato ancora occupato. In questi casi, le misurazioni vengono eseguite in uno spazio vuoto non arredato, in tutta l'area dello spazio medesimo. Se scopriamo che la situazione è appropriata in tutto lo spazio, allora sarà appropriata in tutte le postazioni di lavoro, indipendentemente da come sono distribuiti nello spazio. Normalmente, si potrà ignorare una fascia di mezzo metro dall'area di misurazione lungo le pareti, in quanto non vi sono postazioni di lavoro. Tuttavia, i risultati di tali misurazioni possono essere utilizzati solo se la stanza verrà dotata di mobili bassi e chiari di colore, e i mobili alti (sempre chiari) saranno posti solo lungo le pareti della stanza. In questo caso, i mobili non influenzano in modo significativo l'illuminamento delle superfici di lavoro. Altrimenti, le misurazioni dovrebbero essere effettuate nello spazio già arredato con le postazioni di lavoro reali.

La misurazione negli spazi vuoti inizia in modo da individuare i punti di misurazione appropriati nella stanza. Di solito, lo spazio è diviso in quadrati con lati di uno o due metri. Quindi, nel mezzo di ogni quadrato, determiniamo il punto in cui misuriamo l'illuminamento. La misurazione viene eseguita all'altezza del piano di lavoro. Se questo non è a nostra conoscenza, le misure vengono eseguite ad un'altezza di 85 cm, ma se tutte le postazioni di lavoro sono in posizione seduta, allora si passa ad un'altezza di 75 cm. Si consiglia di utilizzare il supporto appropriato (treppiedi) per lo strumento di misura.

Il numero minimo richiesto di punti di misurazione nella stanza può essere determinato secondo la Tabella 16:

Indice dello spazio	Numero dei punti
Meno di 1	4
da 1-a 2	9
da 2-a 3	16
più di 3	25

Tabella 16: Numero minimo di punti di misurazione nello spazio in base all'indice spaziale

In questo caso, l'indice dello spazio viene calcolato utilizzando la seguente espressione:

$$k = \frac{x \cdot y}{h \cdot (x + y)}$$

Dove:

k - indice dello spazio

x,y – lati dello spazio

h - l'altezza dei corpi illuminanti sopra il tavolo di lavoro

10.1.2 Misurazioni in spazi ammobiliati

Nei casi in cui la disposizione delle postazioni di lavoro e, di conseguenza, le aree di lavoro sono già note durante la progettazione dell'illuminazione, le misurazioni vengono eseguite in stanze completamente arredate. È anche sensato misurare o ripetere le misurazioni negli spazi attrezzati quando nella stanza sono già presenti le parti più ingombranti di mobili, quali scaffalature, armadi alti e simili. In questi

casi le misurazioni dell'illuminamento medio in uno spazio vuoto non hanno senso, poiché la situazione può cambiare in modo significativo dopo l'installazione dei mobili. Le misurazioni dell'illuminamento nelle stanze ammobiliate vengono eseguite solo nelle effettive aree di lavoro e nei loro immediati dintorni (o in una fascia larga 0,5 m attorno a una postazione di lavoro). Facendo ciò dobbiamo prevedere, sulla postazione di lavoro nonché nelle immediate vicinanze, un numero sufficiente di punti in cui misurare l'illuminamento in modo da poter calcolare il valore medio e l'uniformità dell'illuminamento. Il valore medio è definito nello standard come il rapporto tra il valore minimo misurato e il valore medio. Poiché lo standard per l'illuminamento del posto di lavoro (SIST EN 12464) definisce i valori richiesti per l'illuminamento, che viene mantenuto, quest'ultimo viene sempre misurato nei luoghi di lavoro. La misurazione viene eseguita in un numero appropriato di punti, con la luce accesa come se fosse utilizzata dal lavoratore (anche per esempio con le lampade da tavolo o altre luci accese) e con il lavoratore (o il misuratore) nella sua posizione normale sul posto di lavoro. La misurazione viene eseguita anche se l'ombra del lavoratore cade sul sensore dello strumento, poiché dal punto di vista della qualità della luce, l'illuminamento effettivo durante l'attività del lavoratore è l'unica informazione rilevante. Alla conclusione delle misurazioni dell'illuminazione, il misuratore deve predisporre una relazione sulle misurazioni effettuate (vedi la figura 73).

II. UN ESEMPIO DI RELAZIONE SULLE MISURAZIONI DELL'ILLUMINAZIONE

Sono state effettuate misure di controllo dell'illuminamento, come concordato con l'ente appaltante - istituzione. Se necessario e ordinato, verranno eseguite altre misurazioni e stime del grado di sovraccarico dell'illuminazione e una valutazione appropriata.

ISTITUZIONE: SCUOLA PRIMARIA VIŽMARJE BROAD

Valore rilevato (in lux)

n. prog.	piano	ambiente	Lampadina	diurna		diurna + artificiale		conformità
				EdM.d	lx	EdM.a	lx	
1.	P	aula 6*	F	5	lx	380	lx	SI
2.	P	aula 5	F	20	lx	1020	lx	SI
3.	P	aula 33*	F	30	lx	840	lx	SI
4.	P	aula 1	F	15	lx	530	lx	SI
5.	P	aula 25	F	25	lx	770	lx	SI
6.	P	aula 21	F	20	lx	750	lx	SI
7.	P	Libreria	F	0	lx	850	lx	SI
8.	P	aula 16*	F	10	lx	260	lx	NO
9.	P	aula 12*	F	20	lx	900	lx	SI
10.	P	aula 27	F	40	lx	780	lx	SI
11.	P	Cucina	F	0	lx	705	lx	SI
12.	I	aula 32	F	5	lx	1230	lx	SI
13.	I	segreteria	F	50	lx	1005	lx	SI
14.	I	contabilità	F	35	lx	630	lx	SI

Tabella dei codici:

EdM.d	illuminamento diurno sul posto di lavoro
EdM.a	illuminamento artificiale sul posto di lavoro
EdM.kom	illuminamento combinato sul posto di lavoro
ŽN	illuminamento con lampada a filamento incandescente
F	illuminamento con tubo fluorescente
ŽN+F	illuminamento con lampada a filamento incandescente e tubo fluorescente
L	Lampada a LED

Figura 73: Un esempio di relazione sulle misurazioni effettuate

10.2 Determinazione dell'indice di abbagliamento

L'indice di abbagliamento UGR non viene misurato, ma viene determinato in base allo standard EN 12464-1 sui dati del progetto (UGR stimato) o sui dati tabulari forniti dal produttore dei corpi illuminanti (vedi la figura 74).



Figura 74: Un esempio di determinazione dell'indice di abbagliamento - aula/sala conferenze/ misurazioni esatte

10.3 Calcoli illuminotecnici

Dopo aver esaminato lo stato attuale nell'ambiente (descrizione dei corpi illuminanti, del loro tipo, caratteristiche dell'ambiente), il passo successivo è la risistemazione delle luci esistenti. Sulla base dei dati raccolti sul campo, iniziamo con la selezione dei corpi illuminanti appropriati, la loro distribuzione, che verrà utilizzata per la simulazione e per il calcolo illuminotecnico del singolo ambiente. Esistono diversi tipi di software, i più noti sono DIALux (vedi Figura 75) e Relux.

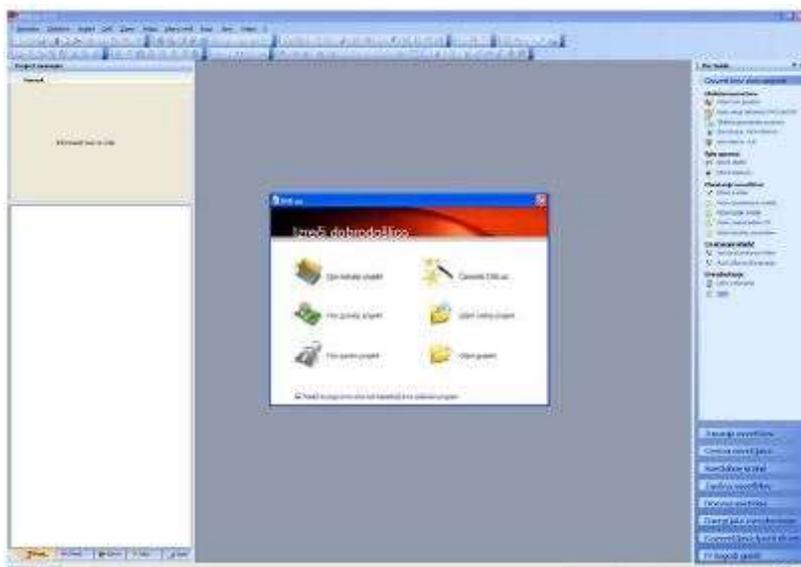


Figura 75: Schermata di benvenuto del programma DIALux

Nella schermata di benvenuto di DIALux, possiamo decidere, se elaboreremo un nuovo progetto o apriremo uno dei progetti di illuminazione esistenti. Nella finestra di dialogo, possiamo vedere le principali informazioni sul progetto, come l'anteprima 3D del primo spazio o scena esterna, le informazioni sul progettista, i contenuti del progetto. Con questo programma si può modificare arbitrariamente la geometria dello spazio (vedi Figura 76).

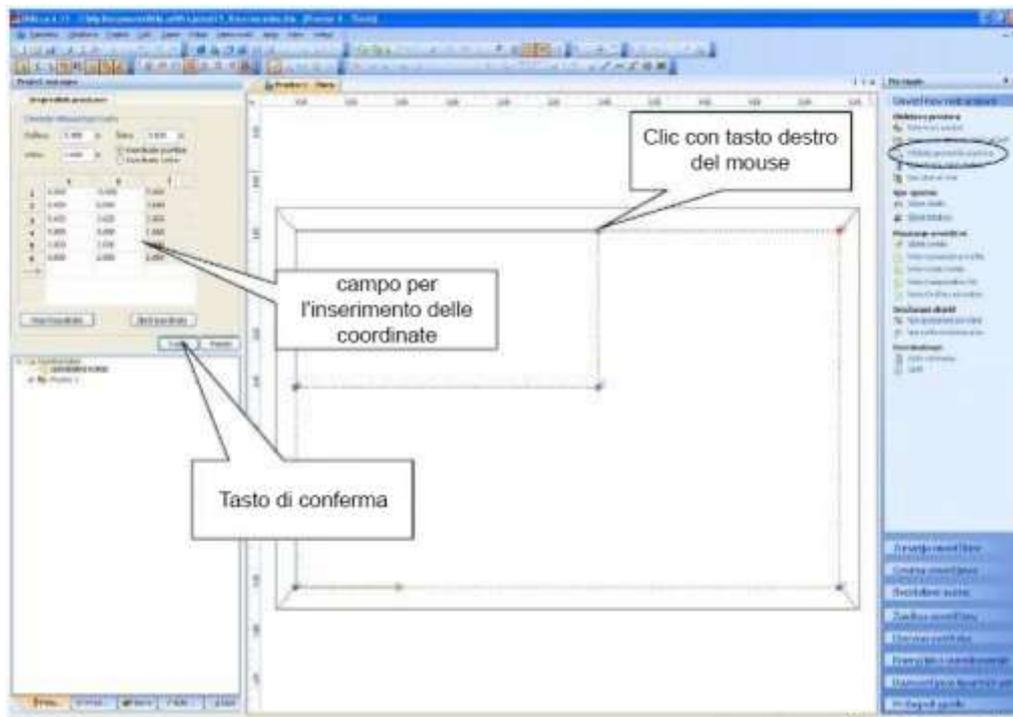


Figura 76: L'aspetto della finestra di dialogo del programma quando si modifica la geometria dello spazio

Nella vista 3D per prima cosa selezioniamo la parete (vedi figura 77) alla quale vogliamo modificare le caratteristiche (fare clic sull'icona e quindi fare clic sulla parete). La parete selezionata può essere colorata in qualsiasi colore e le sue caratteristiche vengono visualizzate sullo schermo. Sotto ogni tab, possiamo cambiare il nome della parete, il materiale e la trama da visualizzare. La riflettività della parete cambia assieme alla variazione del materiale.

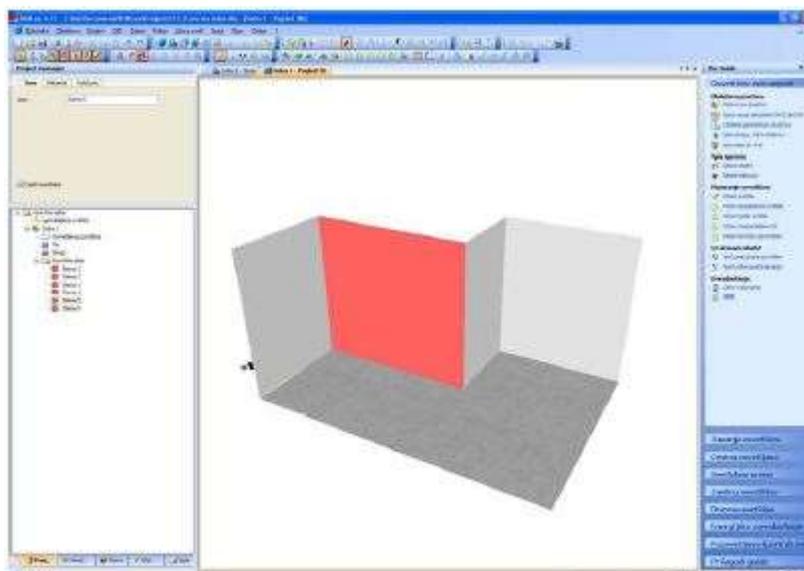


Figura 77: Visualizzazione della singola parete alla quale vogliamo modificare le caratteristiche

Cliccando sulla scelta delle dei corpi illuminanti apriamo la struttura ad albero per selezionare i corpi illuminanti (vedi figura 78). Nella struttura ad albero possiamo vedere un elenco di cataloghi già installati di corpi illuminanti e un elenco di cataloghi online. Un catalogo si apre con un doppio clic sul nome del catalogo Le lampade possono anche essere inserite direttamente dalla nostra cartella lampade, dove si trovano i dati fotometrici delle singole lampade.



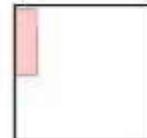
Figura 78: Visualizzazione della struttura ad albero dei produttori di corpi illuminanti, elenco di corpi illuminanti

Dopo aver effettuato le regolazioni della stanza e selezionati i corpi illuminanti, l'impostazione dell'altezza di montaggio e altri parametri che ci sono familiari dalla visualizzazione dello stato di fatto, viene selezionata la funzione per il calcolo di illuminamento dello spazio. Un tipico esempio di visualizzazione dei risultati di illuminamento di un singolo spazio è mostrato nella figura 79.

2.2 Risultati del calcolo, ambiente 1

2.2.1 Tabella, superficie di misurazione 2 (E)

	435	498	560	592	581	529	451	377	
	548	630	707	746	731	665	568	470	
	640	737	827	871	854	777	660	548	
14	702	809	910	980	941	856	728	605	
	740	853	963	1020	1000	909	775	648	
	762	882	997	1060	1040	946	807	673	
12	775	899	1020	1080	1060	969	828	689	
	780	908	1030	[1090]	1070	979	833	694	
	780	910	1030	[1090]	1070	977	830	690	
10	777	908	1030	[1090]	1060	969	822	682	
	774	905	1020	1080	1060	960	814	675	
	768	898	1010	1070	1050	952	807	669	
8	760	888	1000	1060	1040	944	801	664	
	750	877	993	1050	1030	937	796	660	
	740	868	984	1040	1020	931	792	658	
6	731	858	975	1030	1010	926	788	655	
	723	849	966	1020	1010	922	786	653	
	713	838	954	1010	999	914	780	649	
4	700	823	938	998	982	899	767	637	
	682	802	913	968	954	874	745	618	
	652	767	871	922	908	832	707	585	
2	601	707	802	847	833	763	648	534	
	525	616	688	736	723	661	560	461	
	425	497	562	593	581	530	449	371	
0	315	367	414	436	428	388	329	274	
	216	249	281	297	291	263	224	(188)	
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
									[m]



Altezza del piano di riferimento

0.75 m

Illuminamento medio	Esr	: #773
Illuminamento minimo	Emin	: #188
Illuminamento massimo	EMax	: #1090
Uniformità U _o	Emin/Esr	: 1.4.11(0.24)
Uniformità U _d	Emin/EMax	: 1.5.80(0.17)

Figura 79: Esempio di visualizzazione del calcolo - display tabulare - programma Relux

10.4 Censimento dello stato esistente di illuminazione pubblica esterna

I dati esistenti vengono raccolti con l'aiuto di manutentori professionisti dell'illuminazione pubblica nel comune e fornitori di elettricità e progettisti. Con l'aiuto dei manutentori dell'illuminazione pubblica, vengono individuati i punti di alimentazione e viene determinata la posizione a cui è collegata la singola lampada. Il punto di alimentazione è il luogo in cui l'illuminazione pubblica si collega alla rete elettrica, dal quale tutte le lampade ad esso collegate sono alimentate elettricamente. I singoli punti di alimentazione vengono ispezionati e registrato il numero di cavi per l'alimentazione dell'illuminazione pubblica, la potenza dei fusibili e il numero di fasi del sistema di alimentazione del punto di alimentazione.

Con il censimento si evidenzia ciascun apparecchio illuminante separatamente. L'addetto al censimento si trova sul suolo al di sotto dell'apparecchio illuminante e inserisce nel programma del computer destinato al censimento delle luci nel palmare/portatile le seguenti caratteristiche:

- *oggetto dell'illuminazione* (alternative: strada/via, spazio pubblico, altro)
- *tipo di lampada* (opzioni: sodio ad alta pressione, mercurio ad alta pressione, ioduri metallici, fluorescenza, LED, altro)
- *Tipo di apparecchio illuminante* (opzioni: Elektrovina CSS (su palo), Elektrovina CD, Siteco CX 100 (coppa sporgente), Elektrovina UD, Elektrovina SVS, Elektrovina UO, Elektrovina CG, Elektrovina UI 23, Elektrovina UKH*, Fealuce_Roma, Siteco ST 100 (coppa sporgente), Talna, Siteco CX 200 (cuffia), TEP_modello sconosciuto GuzziniPlatea 35W, Siteco ST 100 (vetro piano), Siteco CX 100 (vetro piano), Modus LVN, Siteco ST 50 (vetro piano), Elektrovina CSS (su cavo), Schreder_Z1, decorativa, Modus LVS, Elektrovina CJ, Siteco ST 50 (coppa sporgente), Siteco CX 200 (vetro piano), Faiber Kapa, Gewiss_Reflektor, Siteco CX 200 (vetro convesso), Siteco CX 100 (vetro convesso), *vedi allegato 4: Catalogo apparecchi illuminanti per l'illuminazione esterna*),
- *modo di fissaggio dell'apparecchio* (opzioni: palo di legno, palo in cemento, palo in metallo, direttamente sull'edificio, posa a sospensione, altro)
- *potenza del corpo illuminante (W)*,
- *altezza (m)*,
- *regolazione* (opzioni: si, no),
- *inclinazione* (opzioni: conforme, non conforme alla norma)
- *collegamento* (opzioni: cavo elettrico, conduttura, linea aerea)
- *Sporgente* opzioni: si, no) e
- *note* (per casi particolari)

Dopo aver evidenziato le caratteristiche di ciascun corpo illuminante, con l'aiuto di un ricevitore GPS l'addetto al censimento si localizza il punto e memorizza le informazioni evidenziate nella memoria del palmare/portatile. Dopo il censimento i dati vengono elaborati e visualizzati sulla mappa. I singoli apparecchi illuminanti sono criptati (ad esempio il codice 001-003 indica il terzo apparecchio nel primo punto di alimentazione). La tabella riassuntiva per la descrizione dell'illuminazione per gli esterni è illustrata nell'appendice n. 2.

2.2 Risultati del calcolo, TRG SPODNJA IDRJA

2.2.4 Colori sostitutivi, Suolo (E)

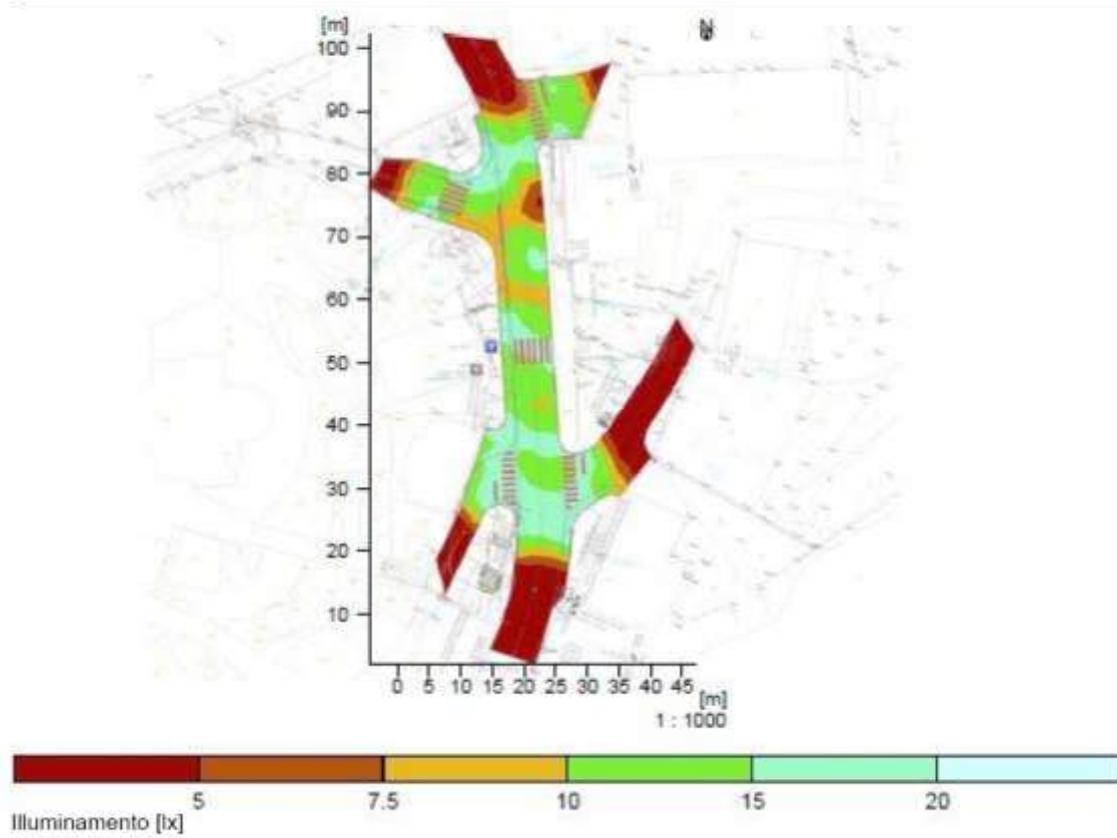


Figura 80: Visualizzazione dell'illuminamento delle superfici esterne con colori supplementari - Programma Relux

11. Allegato 1: Moduli per la raccolta dei dati sull'illuminazione interna

Descrizione dell'ambiente	Superficie dell'ambiente (m ²)	STATO DI FATTO							
		Potenza della lampada (W)	Numero di lampade per apparecchio illuminante	Numero di apparecchi nell'ambiente	Fattore di potenza	Tipo di alimentatore	Potenza totale (W)	Altezza di montaggio degli apparecchi illuminanti (m)	Illuminamento medio misurato (lx)
SALA GIOCHI 1		32	1	9	1,2	MB	345,6	3,5	0
SALA GIOCHI 2									
SALA GIOCHI 3									
SALA GIOCHI 4									
SALA GIOCHI 5									
SALA GIOCHI 6									
bagno, corridoio, guardaroba - parte destra dell'edificio		18	2	17	1,2	MB	734,4	3	0,00

LEGENDA:

MB - alimentatore magnetico
(perdita di potenza per il fattore 1,2)

EB - alimentatore elettronico

NI - alimentatore assente

Tabella 17: Tabella per la descrizione dell'illuminazione esterna esistente

FOGLIO DEI RILEVAMENTI n.1	ILLUMINAZIONE (lx) NEI SINGOLI PUNTI						Illuminamento medio (lx)
	1	2	3	4	5	6	
Numero dei punti di rilevamento							250,4
SALA GIOCHI 1	260	255	245	222	270		
SALA GIOCHI 2							
SALA GIOCHI 3							
SALA GIOCHI 4							
SALA GIOCHI 5							
SALA GIOCHI 6							
bagno, corridoio, guardaroba -parte destra dell'edificio	110	85					97,50
corridoio accanto alla cucina e allo studio							
bagno, corridoio, guardaroba -parte sinistra dell'edificio							
studio 1							
studio 2							

Tabella 20: Tabella per inserire i valori di illuminamento rilevati dei singoli ambienti

NUMERO MEDIO DI ORE DI FUNZIONAMENTO

Tipo di ambiente	Illuminamento necessario En in lux	Numero standard di ore di funzionamento
Spazio espositiva	100	
Sala riunioni	300	
Camera d'ospedale	200	8760
Librerie	300	
Ufficio (con postazione di lavoro accanto alla finestra)	300	2750
Uffici	500	2750
CAD	500	
Trattamento di dati	500	
Bagno (spazio per doccia)	100	
Atrii	100	
Sale d'attesa	200	
Spazi per telefono e posta	500	
Corridoi	100	
Uffici open space	1000	2750
Uffici open space (buon sfruttamento di spazio)	750	2750
Mense, sale da pranzo	200	
Spazi di banche	300	
Cucine	750	
Magazzini, soprattutto per il deposito merci	50	2750
Magazzino dove deve esser garantita la lettura	200	2750
Operazioni a vista in obitorio	300	
Lettura e scrittura	500	
Spazi multi uso	100	
Spazi laterali e magazzini	100	

Tabella 21: Tabella dei valori medi delle ore di funzionamento

NUMERO MEDIO DI ORE DI FUNZIONAMENTO

Tipo di ambiente	Illuminamento necessario En in lux	Numero standard di ore di funzionamento
Operazioni normali a vista	500	
Spazio per il riposo	100	
Spazi di produzione, capannoni con apparecchiature automatiche	100	2750
Spazi di produzione, capannoni	300	2750
Spazi di produzione, capannoni con esigenze particolari per la visibilità	500	2750
Spazi di produzione, capannoni per attività di controllo	750	2750
Spazi di produzione, capannoni per attività di dettaglio	1000-1500	2750
Spazi pubblici	200	
Spazi ospedalieri (pronto soccorso)	500	
Sala riunioni	300	
Palestra (training)	200	
Palestra (gare)	400	
Disegno tecnico	750	
Spazio per rispondere alle chiamate telefoniche	300	
Scale	100	2750
Guardaroba	100	
Aula studio	300	2000
Spazi in cui eseguire programmi di formazione per fini sperimentali	500	2000
Spazi vendita	300	3600
Attraversamenti in edifici per il traffico	100	2750
Spazi equipaggiati	200	
Bagni e gabinetti	100	
Laboratorio	300	2750
Laboratori con esigenze particolari di visibilità	500	2750

Tabella 22: Tabella dei valori medi delle ore di funzionamento

FATTORE DI UTILIZZO

Utilizzo ore/giorno	Illuminamento necessario En lux	Illuminazione, componente maggiore della luce del giorno	Mediamente
5	300	0,2	0,4
5	500	0,25	0,7
5	750	0,5	0,9
5	1000	0,7	1
8	300	0,1	0,4
8	500	0,2	0,6
8	750	0,4	0,9
8	1000	0,6	1
11	300	0,25	0,5
11	500	0,35	0,75
11	750	0,6	1
11	1000	0,7	1
15	300	0,5	0,75
15	500	0,6	0,85
15	750	0,7	1
15	1000	0,8	1

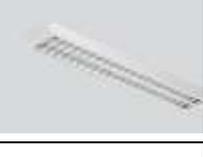
Tabella 23: Tabella del fattore di utilizzo

12. Allegato 2: Moduli per la raccolta dei dati sull'illuminazione pubblica esterna

Contrassegno	001	001		
Numero	333461909001	333461909001		
Punto di alimentazione	ILLUMINAZIONE PUBBLICA DEL VALICO INTERNAZIONALE	ILLUMINAZIONE PUBBLICA DEL VALICO INTERNAZIONALE		
Numero della lampada	001-001	001-002		
Annotazione numeri	1	1		
Latitudine	45,919327248	45,919281765		
Longitudine	13,6236719	13,623339748		
Oggetto illuminato	Strada/via	altro		
Tipo di lampada	AL SODIO AD ALTA PRESSIONE	DI MERCURIO AD ALTA PRESSIONE		
Tipo di apparecchio illuminante	SITECO CX 200 (VETRO CONVESSO)	ELEKTROKOVINA UD		
Sistema di fissaggio	LAMPIONE IN METALLO	LAMPIONE IN METALLO		
Potenza della lampada	250	125		
Altezza	12,0	4,0		
Data	25.01.2013 08:45:24	25.01.2013 08:49:58		
Impostazione	si spegne	si spegne		
Inclinazione	non corrisponde	non corrisponde		
Collegamento	DIRETTAMENTE A TERRA	DIRETTAMENTE A TERRA		
Sporgente	NO	NO		
Descrizione				

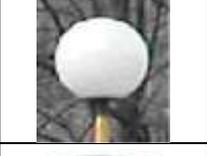
Tabella 24: Tabella per la descrizione dell'illuminazione pubblica esterna

13. Allegato 3: Catalogo degli apparecchi illuminanti per illuminazione interna

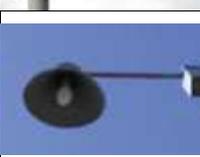
	DISANO 154 CONO		INTRA 201AS		INTRA MINUS
	DISANO 154 CONO		INTRA 201DP		INTRA MIVA GL
	DISANO 154 CONO		INTRA 201 DP		INTRA MIVA HDP
	DISANO 757 OBLO		INTRA 201 DP		INTRA MIVA HMP
	DISANO 1540 COSMO		INTRA 201 MP		INTRA TARO
	DISANO 1544 GLOBO		INTRA 216 OP		INTRA ARAGO
	DISANO COMPACT 782		INTRA 216 PR		INTRA VIRGO
	DISANO COMPACT 784OP		INTRA 246		INTRA XENO DP
	DISANO COMPACT 784 PR		INTRA 5700		PHILIPS
	INTRA 106 OP		INTRA HUNTER		PHILIPS
	INTRA 106 PR		INTRA KALIS		ELEKTROKOVINA



14. Allegato 4: Catalogo degli apparecchi illuminanti per l'illuminazione pubblica esterna

	AXIAL 36		DISANO CILINDRO		ELEKTROKOVINA CG
	AXIAL 55		DISANO CLIMA		ELEKTROKOVINA CJ
	BEGA 2382		DISANO CROMO 1129		ELEKTROKOVINA CM
	BIČ		DISANO GHISALLO		ELEKTROKOVINA CSS
	CARIBONI REFLEKTOR		DISANO INDIO		ELEKTROKOVINA SVS
	CIVIC JED.54M		DISANO MUSA		ELEKTROKOVINA UD
	CORPO ILLUMINANTE DECORATIVO 01		DISANO POLAR		ELEKTROKOVINA UI
	CORPO ILLUMINANTE DECORATIVO 02		DISANO REFLEKTOR		ELEKTROKOVINA UKH *
	CORPO ILLUMINANTE DECORATIVO 03		DISANO RODIO		ELEKTROKOVINA UKH **
	CORPO ILLUMINANTE DECORATIVO 04		DISANO TORPEDO		ELEKTROKOVINA UO
	DECORATIVA STRADALE		ELEKTROKOVINA UD		FAEBER DELTA

	FAEL LUCE MIRA		IGUZZINI PLATEA		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 04
	FAEL LUCE ROMA		INTRA LIGHTING 7401		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 05 (ILLUMINAZIONE DELLE CHIESE, CAMPI DA GIOCO, MONUMENTI)
	FAIBER KAPPA		LANZINI OLYMPIA 1		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 06
	FLUX & DECIBEL 01		LANZINI RAGGIO		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 07
	GE EUROSTREET (VETRO PIATTO)		LEG ILLUMINATION MIG		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 08
	GE EUROSTREET (CALOTTA)		LENA RUBYCON		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 09
	GEWISS HORUS		LENA-LIGHTING 371011		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 10
	GEWISS TITANO		MODUS LVN		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 11
	GHISAMESTIERI DIAMANTE 4480		MODUS LVN		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 12
	HOFFMEISTER KUBUS		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 01		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 13
	IGUZZINI DELPHI		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 02		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 14

	IGUZZINI EMILIA		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 03		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 15
	PRODUTTORE SCONOSCIUTO 16		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 28		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 40
	PRODUTTORE SCONOSCIUTO 17		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 29		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 41
	PRODUTTORE SCONOSCIUTO 18		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 30		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 42
	PRODUTTORE SCONOSCIUTO 19		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 31		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 43
	PRODUTTORE SCONOSCIUTO 20		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 32		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 44
	PRODUTTORE SCONOSCIUTO 21		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 33		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 45
	PRODUTTORE SCONOSCIUTO 22		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 34		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 46
	PRODUTTORE SCONOSCIUTO 23		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 35		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 47
	PRODUTTORE SCONOSCIUTO 24		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 36		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 48
	PRODUTTORE SCONOSCIUTO 25		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 37		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 49

	PRODUTTORE SCONOSCIUTO 26		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 38		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 50
	PRODUTTORE SCONOSCIUTO 27		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 39		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 51
	PRODUTTORE SCONOSCIUTO 52		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 64		SCHREDER Z1
	PRODUTTORE SCONOSCIUTO 53		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 65		SIMES S.4559
	PRODUTTORE SCONOSCIUTO 54		PRODUTTORE SCONOSCIUTO 66		SCHREDER S.8856
	PRODUTTORE SCONOSCIUTO 55		RIFLETTORE SCONOSCIUTO (tutti i riflettori sconosciuti)		SIMES SLOT 3956.14
	PRODUTTORE SCONOSCIUTO 56		OSRAM HALODIUM		SITECO 2X36W
	PRODUTTORE SCONOSCIUTO 57		PHILIPS DECOFLOOD		SITECO A2 MINI
	NEZNAN PROIZVAJALEC 58		PHILIPS FGS 104		SITECO CX 100 (PICCOLA) SIETCO CX 200 (GRANDE) (CALOTTA)
	PRODUTTORE SCONOSCIUTO 59		PHILIPS MALAGA		SITECO CX 100 (PICCOLA) SIETCO CX 200 (GRANDE) (VETRO PIATTO)
	PRODUTTORE SCONOSCIUTO 60		PHILIPS SELENIUM		SITECO FANTASIE

	PRODUTTORE SCONOSCIUTO 61		SBP MYRA		SITECO SISTELLAR MAXI
	PRODUTTORE SCONOSCIUTO 62		SBP REFLEKTOR (YPSILON)		SITECO CX 50 (PICCOLA) SITECO CX 100 (PICCOLA) (VETRO PIATTO)
	PRODUTTORE SCONOSCIUTO 63		SCHREDER 01		CORPO ILLUMINANTE BIČ
	A PAVIMENTO				
	MODELLO SCONOSCIUTO DI TEP				
	TEP OVOIDI				
	LAMPEGGIATORE BIČ				
	SEGNALE BIČ				
	SEGNALE STEBRICEK				

15. Allegato 5: Decreto sui valori limite dell'inquinamento luminoso dell'ambiente

Decreto sui valori limite dell'inquinamento luminoso dell'ambiente

Decreto sui valori limite dell'inquinamento luminoso dell'ambiente con integrazioni (Gazz. Uff. RS, n. 81/07, 109/07, 62/10 e 46/13) al fine di proteggere l'ambiente, le aree abitate, le persone, le osservazioni astronomiche e la sicurezza del traffico con l'intenzione di ridurre il consumo di energia elettrica delle sorgenti luminose e l'inquinamento luminoso, la legge definisce i valori annuali limite e obiettivo delle sorgenti luminose, dell'energia che alimenta i corpi illuminanti, nonché i provvedimenti per ridurre le emissioni e garantire il monitoraggio di esercizio.

Decreto sui valori limite dell'inquinamento luminoso dell'ambiente

Il Decreto **prescrive l'illuminazione con corpi illuminanti a basso impatto ambientale** come segue:

- Per l'illuminazione si devono utilizzare corpi illuminanti, la cui quota del flusso luminoso irradiato verso l'alto è uguale allo 0% (primo paragrafo dell'art. 4 di Gazz. Uff. RS, n. 81/07). Come previsto dal primo comma dell'art. 4 i sistemi di illuminazione esistenti devono essere adattati entro il 31 dicembre 2008 (comma 1 dell'art. 28 della Gazz. Uff. RS n. 81/07).
- Fatte salve le disposizioni di cui all'art. 4 comma 1, l'illuminazione degli spazi pubblici nelle zone in cui si trovano monumenti culturali, può utilizzare corpi illuminanti, la cui quota del flusso luminoso irradiata verso l'alto, non superi il 5%, qualora:
 - la potenza elettrica di ogni corpo illuminante sia inferiore a 20 W,
 - l'illuminamento medio delle aree pubbliche illuminate da tali corpi illuminanti, non superi i 2 lx, e
 - l'area pubblica, che è illuminata da queste fonti, sia destinata a pedoni, ciclisti e al traffico veicolare rallentato che non può superare i 30km/h (comma 2 dell'art. 4 della Gazz. Uff. RS, n. 81/07)
- A prescindere dalle disposizioni dell'art. 4 non vi sono restrizioni sulla quota del flusso luminoso che si irradia verso l'alto, per corpi illuminanti che sono parte integrante di un monumento culturale, se la potenza elettrica di ogni corpo illuminante è inferiore a 20 W (art. 2, Gazz. Uff. n. 109/07).
- Il Decreto vieta l'uso di fasci di luce di qualsiasi tipo o forma, fisse o in movimento, siano essi orientati verso il cielo o su superfici che potrebbero rifletterli verso il cielo (comma 3 dell'articolo 16 della Gazz. Uff. RS, n. 81/07).

Secondo il Decreto sono prescritte metodiche di illuminazione con le seguenti sorgenti di luci:

- **L'illuminazione di strade e aree pubbliche**, dove il consumo annuo di energia elettrica di tutti i corpi illuminanti, che sono sul territorio di un comune e quindi incorporate nei sistemi di illuminazione delle strade comunali e degli spazi pubblici gestiti dal comune, calcolato per abitante con residenza permanente o temporanea nel comune, non deve superare il valore di 44,5 kWh (comma 1. Art. Gazz. Uff. RS, n. 81/07). I corpi illuminanti devono essere adattati alla disposizione di legge entro il 31 dicembre 2016 (comma 7, art. 28 della Gazz. Uff. della RS, n. 81/07), in modo che l'adeguamento debba essere effettuato gradualmente per garantire che almeno il 25% dei corpi illuminanti esistenti sia adattati alle prescrizioni del presente Decreto in 5 anni e almeno il 50% dei corpi illuminanti esistenti 4 anni prima del termine per il completo adeguamento (comma 11, art. 28 della Gazz. Uff. n. 81/07).
- **L'illuminazione nelle sedi degli enti** (ad esempio illuminazione di parcheggi allo scoperto e altre aree parcheggio presso gli edifici amministrativi, edifici di interesse pubblico generale, e di altri edifici non residenziali, come ad

esempio edifici di culto e cimiteri, compresa l'illuminazione delle pareti esterne dei questi edifici), dove la potenza media elettrica di tutti corpi illuminanti utilizzati dall'ente, compresa l'illuminazione per la sicurezza, calcolata sulla somma delle superfici edificate dell'ente medesimo e delle superfici in muratura delle strutture ingegneristiche associate agli edifici dell'istituzione che sono state progettate per il traffico di merci e persone, o all'attuazione delle attività proprie dell'ente, non deve superare i seguenti valori limite:

–0,060 W / m² nelle ore di apertura degli uffici dell'ente 30 minuti prima dell'inizio e dopo la fine degli orari di apertura e

–0,015 W / m² al di fuori delle ore di apertura dell'ente (comma 1 dell'art. 9 della Gazz. Uff. RS, n. 81/07).

Indipendentemente dal calcolo di cui al comma 1 dell'art. 9 del decreto (Gazz.Uff. RS, n. 81/07), l'ente è autorizzato a consumare per l'illuminazione dei propri spazi una o più corpi illuminanti di cui la potenza elettrica totale non deve superare i 180 W. I corpi illuminanti dovrebbero essere adattate alle disposizioni di legge entro e non oltre il 31 dicembre 2012 (comma 4 dell'art. 28 della Gazz. Uff. RS, n. 81/07).

- **Illuminazione delle facciate**, dove l'operatore responsabile dell'illuminazione della facciata deve garantire che la luminanza della porzione illuminata della facciata, calcolata come valore medio di tutta la superficie della porzione illuminata della facciata, non superi 1 cd / m² (primo comma dell'art. 10 della Gazz. Uff. RS, n. 81/07). Mentre la facciata dell'edificio può essere illuminata in questo modo solo se l'edificio è in una zona dell'insediamento dotato di illuminazione pubblica, la parete illuminata dell'edificio non può trovarsi più lontano dai margini esterni della più vicina area pubblica illuminata di più di 240 m misurati in senso orizzontale, dove per area pubblica si intende una zona pubblica con illuminamento media di almeno 3 lux (comma 3 dell'art. 10 della Gazz. Uff. RS, n. 81/07). I corpi illuminanti dovevano essere rese conformi alle disposizioni entro il 31 dicembre 2010 (comma 3 dell'art. 28 della Gazz. Uff. RS, n. 81/07).
- **Illuminazione dei monumenti culturali**, dove l'operatore responsabile dell'illuminamento della facciata è tenuto a garantire che la luminanza della porzione illuminata del monumento, calcolata come valore medio di tutta la superficie della porzione illuminata della facciata non superi 1 cd / m² (primo comma dell'art. 11 della Gazz. Uff. RS, n. 81/07). Inoltre, se un monumento culturale non può essere illuminato tecnicamente con i corpi illuminanti che soddisfino le prescrizioni del summenzionato art. 4 del Decreto, i fasci di luce dei corpi illuminanti devono essere diretti in modo che il bordo esterno della superficie illuminata di un monumento culturale sia almeno di 1 m sotto il cornicione del tetto, se il monumento è un edificio, o 1 m sotto il più alto bordo del monumento, quando questo è scoperto. Al di fuori della facciata di un monumento culturale è autorizzato il flusso luminoso non superiore al 10% (terzo comma dell'art. 11 della Gazz. Uff. RS n. 81/07). Le lampade dovevano essere rese conformi alle disposizioni entro il 31 dicembre 2013 (comma 6 dell'art. 28 della Gazz. Uff. RS, n. 81/07).
- **Illuminazione di campi sportivi**, in cui le superfici devono essere illuminate da corpi illuminanti quali riflettori asimmetrici in modo da soddisfare i requisiti di cui all'art. 4 del Decreto. Ai sensi dell'art. 4 dell'ultimo aggiornamento del Decreto (Gazz. Uff. RS, n. 62/2010), i corpi illuminanti con un flusso luminoso verso l'alto non superiore al 5% possono essere utilizzati nell'area dell'insediamento. Inoltre, l'illuminazione dei campi sportivi deve essere disattivata entro e non oltre le 22:00 o al più tardi un'ora dopo la fine dell'evento sportivo o di altro tipo (comma 1 e 2 dell'art. 14 della Gazz. Uff. RS, n. 81/07). I corpi illuminanti dovevano essere rese conformi alle disposizioni entro il 31 dicembre 2012 (comma 4 dell'art. 28 della Gazz. Uff. RS, n. 81/07).

Il piano di illuminazione deve essere pubblicato dall'operatore in modo tale che sia pubblicamente accessibile (art. 21 del Decreto Gazz. Uff. RS, n. 62/2010).

16. Riferimenti bibliografici

Riferimenti bibliografici del settore dell'illuminazione

- [1] Peter Podlipnik, Svetlobnotehnični priročnik, (Manuale di illuminotecnica), Elektrovina: Maribor, 1978
- [2] Ogrinc, E. et. al. Svetlobnotehnični slovar – Seznam slovenskih izrazov (Dizionario di termini illuminotecnici), Slovensko društvo za razsvetljavo: Lubiana, 1998
- [3] Ogrinc, E. Delovno okolje Razsvetljava (Illuminazione degli ambienti di lavoro), Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Oddelek za tehniško varnost: Lubiana, 2000
- [4] Gspan, P. Žebovec, S. Zahteve za razsvetljavo pri delu in standard 12464 (Esigenze per l'illuminazione dei posti di lavoro e standard 12464), ZVD: Lubiana, 2016
- [5] Gspan, P. Metode ocenjevanja delovnega okolja (metodi di valutazione dell'ambiente di lavoro), Ministrstvo za delo, družino in socialne zadeve, Urad za varnost in zdravje pri delu (Ministero del lavoro e dell'assistenza sociale, Dipartimento sicurezza) : Lubiana, 2002
- [6] Klemen Drev, Pametna razsvetljava v hiši (Illuminazione intelligente della casa), Tesi di secondo livello: Maribor, 2013
- [7] Sašo Žuman, Analiza energetske učinkovite prenove razsvetljave na primeru tehniških fakultet (Analisi dell'illuminazione efficiente sotto il profilo energetico, il caso delle università tecniche), Tesi di secondo livello: Maribor, 2014
- [8] Peter Podlipnik, Svetlobnotehnični priročnik, (Manuale illuminotecnico), Elektrovina: Maribor, 1978
- [9] Nataša Camlek, Svetloba v delovnem okolju in njen vpliv na vrednotenje obremenitve vide (L'illuminazione nell'ambiente di lavoro e valutazione del carico sulla vista), Tesi di terzo livello: Maribor, 2011
- [10] Danijel Kure, Načrtovanje učinkovite in kakovostne sodobne razsvetljave v stavbah (Progettazione di sistemi di illuminazione efficienti negli edifici), Tesi di secondo livello: Maribor, 2011
- [12] Luka Avberšek, Analiza energetske učinkovitosti dinamične razsvetljave v izobraževalnih ustanovah (Analisi dell'efficienza energetica dell'illuminazione dinamica nelle strutture educative), Tesi di secondo livello: Maribor 2015
- [13] Aleš Kolbl, Posebne zahteve pri razsvetljavi za starejše (Esigenze particolari per l'illuminazione per persone anziane), Tesi di secondo livello: Maribor, 2010
- [14] Branko Cegner, Energetske učinkovite razsvetljave delovnih mest na prostem (Illuminazione efficiente sotto il profilo energetico degli spazi di lavoro), Tesi di secondo livello: Maribor, 2012
- [15] Jana Čukajne, Svetlobno onesnaževanje (Inquinamento luminoso), Tesi di secondo livello: Lubiana, 2016
- [16] Boštjan Vogrinc, Avtomatizacija razsvetljave (Automazione dell'illuminazione), Tesi di secondo livello: Maribor, 2016

Riferimenti sul www e siti web

Tutti i riferimenti dei siti web sono stati utilizzati nel periodo che va da aprile a maggio 2018

- [1] <http://lrf.fe.uni-lj.si/razsvetljava.pdf>
- [2] <https://www.sharp.si/cps/rde/xchg/si/hs.xsl/-/html/led-osvetljevanje.htm>

- [3] <http://www.monitor.si/clanek/vat-ni-enak-vatu/168895/>
- [4] <http://www.fosilum.si/si/zakaj-led-svetila/blescanje-in-ugr/>
- [5] <http://ledstar.blog.siol.net/2014/01/27/led-zarnice-%E2%80%93-kaj-je-dobro-vedeti-pred-nakupom/>
- [6] <https://www.svetila.com/si/68-zarnice-in-sijalke>
- [7] <https://www.wikipedia.org/>
- [8] <http://www.siteco.com/en/home.html>
- [9] <https://www.osram.com/cb/index.jsp>
- [10] <https://www.superstrela.com/kratice-pojmi.html>
- [11] https://www.inled.si/led_zarnice/kako_izbrati_led_zarnico_ki_bo_ustrezala_nasim_zahtevam
- [12] <http://www.internetnatrgovina.com/zivljenjska-doba-zarnic-sijalk-n-80.html?newsPath=12>
- [13] <http://www.trendset.si/ogromen-prihranek-z-zamenjavo-zarnic-za-led-sijalke.html>