



# COMUNE DI PORTO AZZURRO

Banchina IV Novembre n.19  
PROVINCIA DI LIVORNO (LI)

## PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTI ELETTRICI



### COMMITTENTE

Comune di Porto Azzurro  
Banchina IV Novembre, 19  
LIVORNO (LI)

### PROGETTISTA/I RESPONSABILI

*PROGETTO*  
Per. Ind. ANDREA MARZIALI

## LAVORI DI RIQUALIFICAZIONE DI UNA PORZIONE DELL'IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE PUBBLICA DEL COMUNE DI PORTO AZZURRO (LI)

### RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA

<p>Questo elaborato è di proprietà dello "Studio Grifoni srl", pertanto non può essere riprodotto né integralmente, né in parte senza l'autorizzazione scritta della stessa società. Da non utilizzare per scopi diversi da quelli per cui è stato fornito.</p>	<p>REDATTO</p> <p><i>Per. Ind. F. Quattrococchi</i></p>	<p>CODICE ELABORATO</p>						
	<p>Ident. FILE</p> <p>091-2021</p>	<table border="1" style="text-align: center; width: 100%;"> <tr> <td style="font-size: 2em;">I</td> <td style="font-size: 2em;">E</td> <td style="font-size: 2em;">-</td> <td style="font-size: 2em;">R</td> <td style="font-size: 2em;">S</td> </tr> </table>			I	E	-	R
I	E	-	R	S				
<p>Data</p> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px;">08/09/2021</p>	<p>Verificato</p> <p><i>Per. Ind. F. Quattrococchi</i></p>	<p>Controllato</p> <p><i>Per. Ind. A. Marziali</i></p>	<p>Approvato</p> <p><i>Per. Ind. A. Marziali</i></p>	<p>Scala</p> <p style="text-align: center;">-</p>				

Timbro e Firma

Rev. n.	NOTA DI REVISIONE	Data



# COMUNE DI PORTO AZZURRO

Provincia di LIVORNO

LAVORI DI RIQUALIFICAZIONE DI UNA PORZIONE DELL'IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE  
PUBBLICA



## PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO

Elaborato:

Relazione Specialistica



## Sommario

<b>1</b>	<b>NORMATIVE DI RIFERIMENTO</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>PRINCIPI ILLUMINOTECNICI</b>	<b>6</b>
2.1	Flusso luminoso	6
2.2	Efficienza luminosa	6
2.3	Durata di vita media	7
2.4	Decadimento luminoso	7
2.5	Temperatura di colore	8
2.6	Indice di resa cromatica	8
2.7	Intensità luminosa	9
2.8	Illuminamento	10
2.9	Luminanza	10
	FATTIBILITÀ AMBIENTALE DELLA PROPOSTA	11
2.10	Studio di impatto ambientale	11
2.11	Effetti dell'intervento sulle componenti ambientali e sui cittadini	11
<b>3</b>	<b>ZONE DI INTERVENTO</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>LINEE GUIDA PROGETTUALI</b>	<b>12</b>
4.1	Funzionalità	12
4.2	Sicurezza	12
4.3	Estetica	12
4.4	Contesto ambientale	13
4.5	Affidabilità	13
4.6	Le sorgenti a diodi emettitori di luce – Led	14
4.6.1	Colori	14
4.6.2	Ottiche	14
4.6.3	Prestazioni	15
4.6.4	Efficienza luminosa	15
4.6.5	Durata della vita, decadimento luminoso e manutenzione	16
4.6.6	Inquinamento luminoso	17
4.6.7	Assenza di materiali nocivi o tossici	17
<b>5</b>	<b>CRITERI DI QUALITÀ</b>	<b>18</b>
5.1	Illuminazione stradale	18
5.2	Illuminazione aree esterne	19
<b>6</b>	<b>STUDIO ILLUMINOTECNICO</b>	<b>20</b>
<b>7</b>	<b>CLASSIFICAZIONE ILLUMINOTECNICA</b>	<b>21</b>
7.1	Categoria illuminotecnica di riferimento	21
7.2	Analisi dei rischi	22
7.3	Rispetto della Legge Regionale Toscana N° 37/00	23
<b>8</b>	<b>CALCOLO ILLUMINOTECNICO</b>	<b>24</b>



8.1	Regolazione del flusso luminoso .....	24
<b>9</b>	<b>DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO .....</b>	<b>25</b>
<b>10</b>	<b>DESCRIZIONE DEGLI APPARECCHI ILLUMINANTI .....</b>	<b>25</b>
10.1	Armature.....	25
<b>11</b>	<b>CRITERI MINIMI AMBIENTALI PER 'ACQUISTO DI APPARECCHI PER ILLUMINAZIONE PUBBLICA</b>	<b>25</b>
11.1	Apparecchi a LED .....	25
11.1.1	Fattore di mantenimento del flusso luminoso e Tasso di guasto dei moduli LED .....	26
11.1.2	Rendimento degli alimentatori per moduli LED.....	26



## 1 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Gli interventi sugli impianti esistenti saranno realizzati secondo le vigenti leggi, norme e decreti. Si richiamano di seguito le leggi, decreti e norme tecniche di riferimento, da rispettare nella realizzazione degli interventi di adeguamento degli impianti di pubblica illuminazione:

- Legge 01/03/1968 n. 186: "Disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazione di impianti elettrici ed elettronici"
- D.Lgs. 19 maggio 2016 n. 86: Attuazione della direttiva 2014/35/UE concernente l'armonizzazione delle legislazioni degli Stati membri relative alla messa a disposizione sul mercato del materiale elettrico destinato ad essere adoperato entro taluni limiti di tensione.
- DM 27 settembre 2017 Criteri ambientali minimi per l'acquisto di lampade a scarica ad alta intensità e moduli led per illuminazione pubblica, per l'acquisto di apparecchi di illuminazione per illuminazione pubblica e per l'affidamento del servizio di progettazione di impianti di illuminazione pubblica
- D.LGS. 18 aprile 2016, n. 50 "Attuazione delle direttive 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE sull'aggiudicazione dei contratti di concessione, sugli appalti pubblici e sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali, nonché per il riordino della disciplina vigente in materia di contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture"
- D.LGS. 09/04/2008 n. 81 e s.m.i. "In materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro"
- D.M. n. 37 del 22/01/2008: "Regolamento recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici"
- D.LGS. 03/04/1992 n. 285: "Nuovo Codice della Strada" e s.m.i.
- Legge regionale 21/03/2000 n. 37: "Norme per la prevenzione dell'inquinamento luminoso"
- Norma CEI 64-7: "Impianti elettrici di illuminazione pubblica e similari"
- Norma CEI 64-8: "Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua"
- Norma CEI 34-33: "Apparecchi per l'illuminazione stradale"
- Norma CEI 23-29: "Cavidotti in materiale plastico rigido"
- Norma CEI 11-17: "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica. Linee in cavo"
- Norma CEI 11-18: "Dimensionamento degli impianti in relazione alle tensioni"
- Norma CEI 11-8: "Impianti di produzione, trasmissione, distribuzione dell'energia elettrica. Impianti di messa a terra"
- Norma CEI 81-1: "Protezione contro le scariche atmosferiche"
- Norma CEI 11-13/1: "Apparecchiature di serie soggette a prove di tipo (AS) e apparecchiature non di serie parzialmente soggette a prove di tipo (ANS)"
- Norma CEI 17-5: "Apparecchiature bassa tensione (interruttori automatici)"
- Norma CEI 17-13/3: "Prescrizioni particolari per apparecchiature assiemate di protezione e manovra destinate ad essere installate in luoghi dove personale non addestrato ha accesso al loro uso. Quadri di distribuzione (ASD)"
- Norma CEI 20-40: "Guida per uso di cavi a bassa tensione"
- Norma CEI 23-3: "Interruttori automatici per la protezione delle sovracorrenti per impianti domestici e similari"
- Norma CEI 23-9: "Apparecchi di comando non automatici per installazione fissa per uso domestico o similare. Prescrizioni generali"



- Norma CEI 23-18: "Interruttori differenziali per usi domestici e similari e interruttori differenziali con sganciatori di sovracorrente incorporati per usi domestici e similari"
- Norma CEI 23-26: "Tubi per installazioni elettriche"
- Norma CEI 23-29: "Sistemi di tubi e accessori per installazioni elettriche"
- Norma CEI 34-21: "Apparecchi di illuminazione: prescrizioni generali e prove"
- Norma CEI 34-24: "Lampade a vapori di sodio ad alta pressione"
- Norma CEI 34-30: "Proiettori per illuminazione"
- Norma CEI 34-33: "Apparecchi di illuminazione – Parte II: Prescrizioni particolari. Apparecchi di illuminazione stradale"
- Norma CEI 34-46: "Dispositivi di innesco (esclusi gli starter a bagliore) – Prescrizioni generali di sicurezza"
- Norma CEI 34-37: "Dispositivi di innesco (esclusi gli starter a bagliore) – Prescrizioni di prestazione"
- Norma CEI 34-38: "Alimentatori per lampade a scarica (escluse le lampade fluorescenti tubolari) – Prescrizioni generali e di sicurezza"
- Norma CEI 34-39: "Alimentatori per lampade a scarica (escluse le lampade fluorescenti tubolari) – Prescrizioni di prestazione"
- Norma CEI 11-4, 11-43: "Formule di calcolo per le fondazioni di sostegni"
- Norma UNI EN 40: "Pali per l'illuminazione"
- Norma UNI EN 13201-2/2004: "Illuminazione stradale parte 2: requisiti prestazionali"
- Norma UNI EN 13201-3/2004: "Illuminazione stradale parte 3: calcolo delle prestazioni"
- Norma UNI EN 13201-4/2004: "Illuminazione stradale parte 4: metodi di misura delle prestazioni illuminotecniche"
- Norma UNI EN 11248:2016: "Illuminazione stradale. Selezione delle categorie illuminotecniche"
- Norma UNI 10819:1999: "Luce e illuminazione. Impianti di illuminazione esterna. Norma requisiti per la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso"
- Norma UNI 11431:2011: "Luce e illuminazione. Applicazione in ambito stradale dei dispositivi regolatori di flusso luminoso"
- Norma UNI EN 12665:2011: "Luce e illuminazione. Termini fondamentali e criteri per i requisiti illuminotecnici"
- Norma UNI 11356:2010: "Luce e illuminazione. Caratterizzazione fotometrica degli apparecchi di illuminazione a LED"
- norma UNI EN 12464-2:2014: "Illuminazione dei posto di lavoro – Parte 2: Posti di lavoro in esterno"
- Norma UNI CEI/TR 11428:2001: "Gestione dell'energia. Diagnosi energetiche. Requisiti generali del servizio di diagnosi energetica"
- Norme CEI specifiche di apparecchi e materiali

## 2 PRINCIPI ILLUMINOTECNICI

Le sorgenti luminose utilizzate negli impianti di illuminazione per aree esterne devono possedere in maniera imprescindibile alcune caratteristiche quali una buona efficienza luminosa, elevata affidabilità, una lunga durata di funzionamento, compatibilità ambientale, ecc.

Inoltre nel caso di applicazioni legate all'ambiente urbano divengono prioritarie anche altre tematiche relative a resa cromatica, tonalità della luce e temperatura di colore.

### 2.1 Flusso luminoso

Il flusso luminoso esprime la quantità totale di radiazioni visibili, pesate con la visibilità dell'occhio umano in condizioni fotopiche, prodotte da una sorgente primaria o secondaria nell'unità di tempo. L'unità di misura è il lumen (lm).

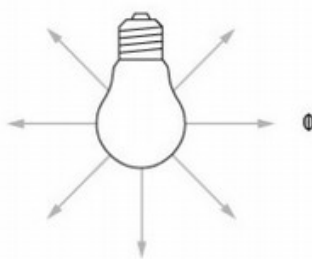


Figura 1: Emissione del flusso luminoso

Ad ogni radiazione di una determinata lunghezza d'onda, corrisponde una sensazione visiva nell'occhio che si manifesta con il colore, si spazia dal violetto partendo dai 380nm (soglia inferiore del visibile), fino al rosso arrivando ai 780nm (soglia superiore del visibile), passando attraverso il blu (435nm÷500nm), il verde (500nm÷565nm), il giallo (565nm÷600nm) e l'arancione (600nm÷630nm), come ben evidenziato nel seguente diagramma.

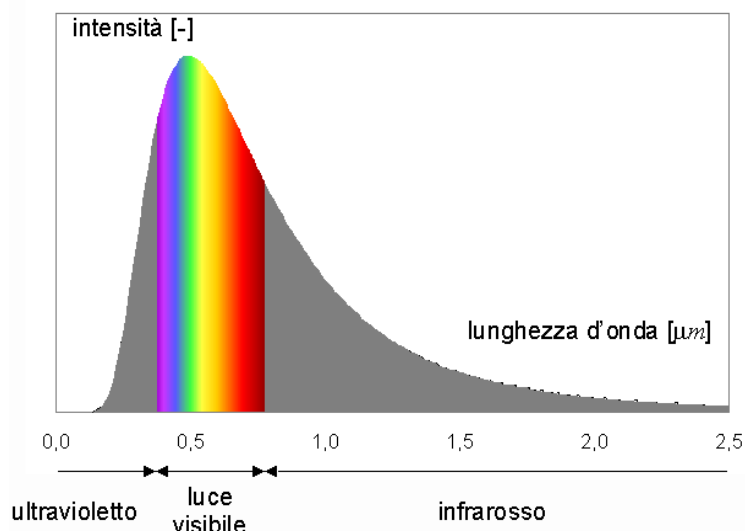


Figura 2: Distribuzione spettrale dell'energia solare

### 2.2 Efficienza luminosa

È definita come il rapporto tra il flusso luminoso emesso da una sorgente primaria e la potenza elettrica da essa assorbita. L'unità di misura è il lumen per watt (lm/W). È uno dei parametri più

importanti per la stima del consumo energetico, in quanto nelle lampade, anche in quelle più efficienti, l'energia elettrica assorbita si trasforma in parte in forme di energia diverse dalla luce visibile, come le radiazioni UV ed il calore.

Si deve inoltre precisare che l'efficienza luminosa varia anche in relazione alla curva di sensibilità spettrale dell'occhio umano, anche all'interno dello spettro nel visibile. Infatti le lampade con maggiore efficienza emettono energia radiante a lunghezze d'onda vicine alla maggior sensibilità dell'occhio ovvero a  $\lambda_m = 555\text{nm}$  nella visione fotopica.

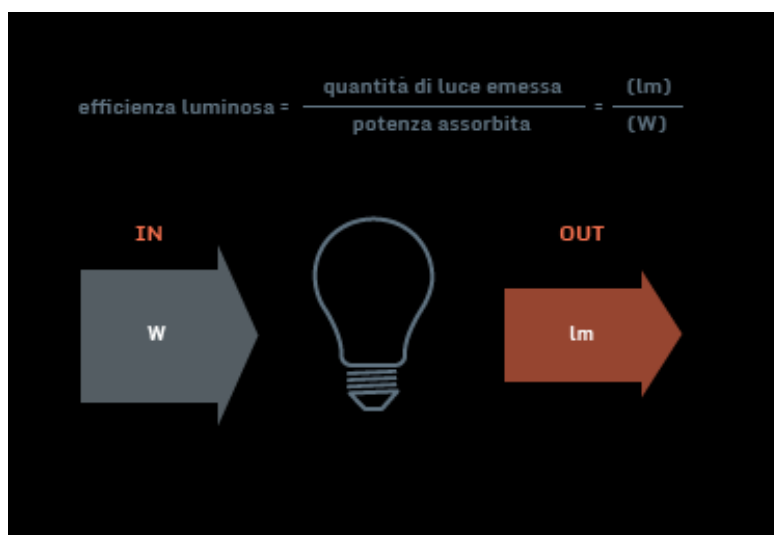


Figura 3: Efficienza luminosa di una sorgente primaria

### 2.3 Durata di vita media

Viene definita come il numero di ore di funzionamento dopo il quale il 50% delle lampade di un lotto, funzionante in condizioni stabilite, si spegne. Il test include sempre un ciclo di accensioni che varia in funzione del tipo di lampada.

La vita media viene comunemente chiamata anche vita utile e solitamente viene misurata in ore [h]. Vi sono molti fattori che influenzano la vita operativa di una lampada e sono legati alle condizioni sfavorevoli di funzionamento, come la temperatura ambiente, lo scostamento dalla tensione nominale, il numero e la frequenza delle accensioni e le sollecitazioni meccaniche.

Questi fattori incidono più o meno a seconda delle caratteristiche della lampada in oggetto.

Si può fare riferimento anche alla vita tecnica individuale che rappresenta semplicemente le ore di accensione dopo le quali il funzionamento cessa, oppure la vita economica che è il tempo dopo il quale il flusso emesso da un lotto lampade è calato del 30% ed è correlata alla manutenzione.

### 2.4 Decadimento luminoso

Il decadimento è un fenomeno che coinvolge tutte le lampade, in ognuna le tipologie e le cause sono diverse, ma per tutte comporta un abbassamento del flusso luminoso con l'andare del tempo di funzionamento e quasi sempre è accompagnato anche da un assorbimento maggiore di potenza e quindi diminuzione dell'efficienza.



Il decadimento nella maggioranza dei casi si manifesta con un annerimento del vetro che ingloba il corpo emettitore di luce oppure con il degrado delle sostanze (polveri fluorescenti, gas di riempimento, ecc.) attraverso le quali si ha l'emissione di luce.

## 2.5 Temperatura di colore

È il parametro che descrive il colore apparente della luce emessa da una sorgente luminosa. La temperatura di colore è definita come la temperatura di un corpo nero che emette luce avente la stessa cromaticità della luce emessa dalla sorgente sotto analisi.

Quando si scalda un metallo, ad una certa temperatura inizia ad emettere una luce di color rosso scuro (tonalità definita calda), con l'aumentare della temperatura il rosso diventa più chiaro, per poi passare all'arancione, al giallo, al bianco, fino al bianco-azzurro (tonalità definita fredda), quindi si associa la tonalità di colore alla temperatura con cui è ottenuta riscaldando un radiatore ideale come un corpo nero.

Questo parametro dà informazioni precise sulla distribuzione spettrale dell'energia luminosa solo per le sorgenti di tipo termico, mentre per le altre sorgenti luminose si parla di temperatura correlata e di colore. La temperatura correlata di colore viene definita come la temperatura del corpo nero il cui colore percepito più si avvicina a quello della sorgente osservata.

La temperatura di colore si esprime in gradi Kelvin [°K].

Convenzionalmente si definisce fredda una sorgente di luce con temperatura di colore superiore ai 5300 °K, mentre la si definisce calda per temperature inferiori ai 3.300 °K; per valori intermedi (cioè compresi tra 3.300 e 5.300) la sorgente di luce sarà definita neutra.

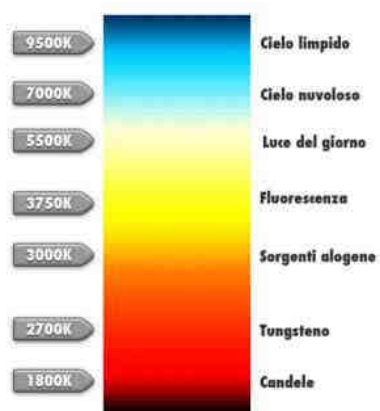


Figura 4: Distribuzione temperatura di colore

## 2.6 Indice di resa cromatica

La resa cromatica quantifica la capacità di una sorgente di fare percepire i colori degli oggetti illuminati, cioè a riprodurre fedelmente i colori stessi.

La quantificazione avviene per confronto con una sorgente di riferimento e valuta l'alterazione, o meno, del colore delle superfici illuminate percepito nelle due condizioni. La sorgente campione per eccellenza è la luce naturale anche se leggermente alterata da condizioni atmosferiche od orari del giorno, mentre quella artificiale convenzionalmente utilizzata è la lampada ad incandescenza funzionante ad una ben precisa temperatura. Diversamente da quanto avviene con lampade ad incandescenza, con le lampade a scarica si possono verificare delle significative distorsioni cromatiche.



L'indice di resa cromatica si indica con Ra ed ha un valore adimensionale. Il valore massimo dell'indice di resa cromatica è 100 e si verifica quando non vi è differenza di percezione del colore sotto la sorgente analizzata e con la sorgente utilizzata come riferimento.

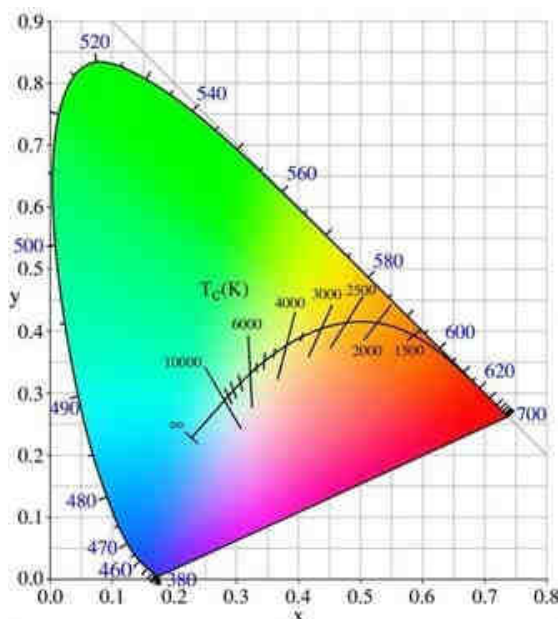


Figura 5: Diagramma cromatico con curva di Plank

Non è sempre detto che una lampada con alto indice di resa cromatica sia migliore di un'altra con indice inferiore ma dipende spesso dall'utilizzo e dalla funzione della lampada stessa, infatti la miglior lampada come resa cromatica è quella ad incandescenza, ma quest'ultima ha una bassa efficienza luminosa e una breve durata, due proprietà molto importanti per una lampada.

Se per esempio devo illuminare un camminamento immerso in un'area verde, sarà preferibile sacrificare l'indice di resa cromatica a favore di una luce con emissione spettrale che si avvicini a quella del verde in modo da mettere in risalto la vegetazione circostante.

## 2.7 Intensità luminosa

L'intensità luminosa esprime la concentrazione di luce in una direzione specifica. Il simbolo con cui viene indicata solitamente è I e l'unità di misura è la candela [cd].

L'intensità luminosa è una grandezza vettoriale, per esprimerla è quindi necessario indicare la direzione ad essa associata, per valutare un apparecchio illuminante è molto utile analizzare nel loro insieme le intensità relative a tutte le direzioni di un piano; a questo scopo si usa rappresentare le intensità luminose in forma grafica tramite le cosiddette curve fotometriche.

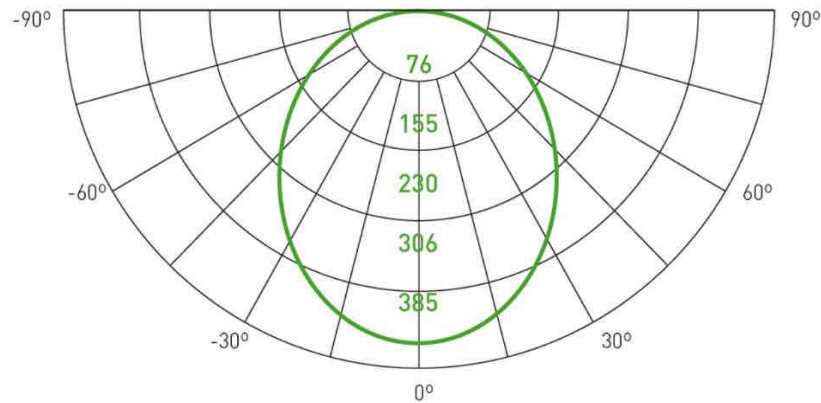


Figura 6: Esempio di curva fotometrica

## 2.8 Illuminamento

L'illuminamento è il rapporto tra il flusso luminoso ricevuto da un elemento di superficie e l'area della superficie stessa. L'unità di misura è il lux [lx], che è l'illuminamento prodotto da un flusso luminoso di 1 lumen distribuito su una superficie di 1 m<sup>2</sup>. Nell'illuminazione stradale è uno fattori fondamentali dove le norme ne specificano i valori minimi richiesti.

Solitamente si indica con la lettera E, e può essere misurato sia su superfici orizzontali che su quelle verticali. L'illuminamento ci indica quanto agevolmente l'occhio può vedere.

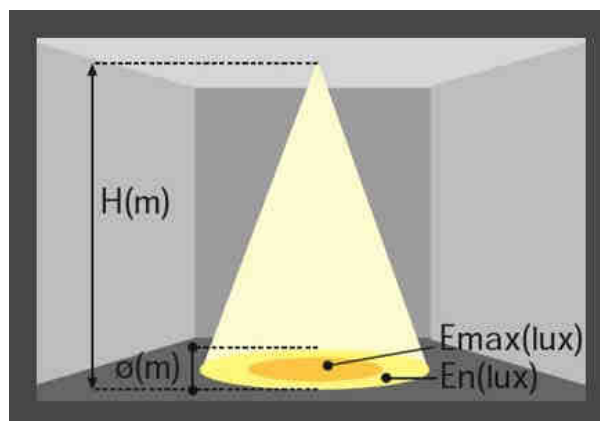


Figura 7: Esempio di illuminamento di un punto luce

## 2.9 Luminanza

La luminanza è il rapporto tra l'intensità luminosa emessa, riflessa o trasmessa da una superficie nella direzione assegnata e la superficie apparente della sorgente che emette la luce. Si indica con il simbolo L e l'unità di misura è [cd/m<sup>2</sup>]. Le sorgenti con luminanza elevata sono indicate per apparecchi da proiezione, per contro però sono più abbaglianti di quelle a bassa luminanza come a tubi fluorescenti.



## FATTIBILITÀ AMBIENTALE DELLA PROPOSTA

### 2.10 Studio di impatto ambientale

L'intervento oggetto della proposta non ricade tra quelli per i quali gli articoli 6 e 12 del D.Lgs. 152/2006 dispongono la sottoposizione a Verifica di Assoggettabilità o a Valutazione di Impatto Ambientale (VIA). Conseguentemente, non è prevista l'attivazione di alcuna procedura di screening o di V.I.A..

### 2.11 Effetti dell'intervento sulle componenti ambientali e sui cittadini

Il progetto prevede interventi che miglioreranno senza dubbio una migliore fruibilità degli spazi illuminati ed un miglioramento percettivo di insieme per quanto concerne gli aspetti paesaggistici, mentre la tecnologia adottata migliorerà il livello qualitativo della percezione visiva, sia in termini di comfort che di dettaglio dell'immagine.

Le modalità di smaltimento di eventuali dismissioni di parte del parco dell'illuminazione pubblica verranno gestite attraverso lo smaltimento e/o conferimento in discarica, nonché, nel caso di rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche, attraverso il circuito del consorzio per lo smaltimento dei RAEE. Garantendo così il massimo rispetto della disciplina normativa vigente attraverso la selezione di centri di conferimento di rifiuti speciali dotati delle più avanzate tecnologie di settore.

## 3 ZONE DI INTERVENTO

Per poter decidere in quali zone del Comune di Porto Azzurro intervenire, si è proceduto al rilievo del territorio Comunale tramite sopralluoghi e rilievi in situ.

È stato possibile pertanto definire con precisione le principali problematiche e criticità che caratterizzano l'illuminazione del centro abitato al fine di individuare gli interventi più idonei da eseguire con l'obiettivo di razionalizzare i e riqualificare il parco di illuminazione pubblica.

L'analisi delle condizioni attuali è stata effettuata distinguendo tutte le realtà presenti: strade a traffico motorizzato, ciclo-pedonale aree pedonali, aree verdi zone di interesse per la cittadinanza.

Successivamente sono state raccolte tutte le informazioni necessarie al fine di redigere un progetto illuminotecnico conforme alle normative vigenti.

Infine è stata redatta una lista delle strade che saranno oggetto dell'efficientamento energetico dell'illuminazione pubblica:

- **Viale Europa**
- **Loc. Bocchetto**
- **Parcheggio De Santis**
- **Diga Foranea**
- **Piazza Giacomo Matteotti**
- **Via Neghelli**



## 4 LINEE GUIDA PROGETTUALI

### 4.1 Funzionalità

L'illuminazione pubblica deve permettere agli utenti della strada di circolare nelle ore notturne con facilità e sicurezza; l'analisi delle esigenze visive che caratterizzano le diverse categorie di utenti costituisce pertanto la premessa per una razionale impostazione del progetto.

Il concetto di funzionalità è piuttosto differente per l'automobilista o per il pedone. Per il primo si tratta di percepire distintamente, localizzandoli con certezza e in tempo utile, i punti singolari del percorso (incroci, curve, ecc.) e gli ostacoli eventuali, per quanto possibile senza l'aiuto dei proiettori di profondità e anabbaglianti. Per il pedone sono essenziali la visibilità distinta dei bordi del marciapiede, dei veicoli e degli ostacoli nonché l'assenza di zone d'ombra troppo marcate.

La presenza e la forma degli oggetti sono percepiti in virtù dei contrasti di luminanza e di colore. Normalmente nella visione diurna i due tipi di contrasto coesistono mentre in quella notturna il contributo del contrasto di colore praticamente si annulla; il problema fondamentale dell'illuminotecnica si riduce pertanto a quello di produrre sulla strada i contrasti di luminanza sufficienti a fornire una chiara immagine della stessa e degli oggetti presenti su di essa.

Per una circolazione sicura è necessario che il tracciato della strada, i suoi bordi, gli eventuali incroci e gli altri punti speciali devono essere resi visibili. L'impianto deve pertanto incrementare la visibilità della strada in rapporto ai fianchi stradali nonché la visibilità dei mezzi destinati a contribuire alla guida, quali la segnaletica orizzontale e le barriere di sicurezza ("guida visiva"), inoltre, tramite l'idonea disposizione degli apparecchi illuminati, il tracciato della strada e l'avvicinamento ad incroci o altri punti speciali, deve essere percepibile ad una distanza sufficiente ("guida ottica"). Un uso ottimale delle possibilità che gli impianti di illuminazione stradale possono offrire ai fini della guida visiva e ottica è altrettanto importante per la sicurezza e il comfort della circolazione quanto il livello di luminanza, l'uniformità o la limitazione dell'abbagliamento.

### 4.2 Sicurezza

Gli impianti di illuminazione sono installati in condizioni di esposizione alle intemperie; inoltre sono accessibili ad un numero elevato di persone; infine richiedono interventi ad altezze notevoli da terra e su strade a traffico: questi fatti rendono particolarmente stringenti i requisiti delle norme per la prevenzione degli infortuni. In particolare tutti i materiali ed apparecchi devono essere costruiti e installati a regola d'arte e l'esecuzione degli impianti deve essere affidata a imprese qualificate.

Tutte le parti in tensione dell'impianto, comunque accessibili, devono essere protette contro i contatti diretti; tutte le parti metalliche, comunque accessibili, che per difetto di isolamento possono andare in tensione, devono essere protette contro i contatti indiretti.

I componenti dei centri luminosi, in particolare le lampade, i rifrattori, le coppe e gli accessori elettrici, devono consentire una facile sostituzione in opera ma soprattutto devono essere rigorosamente sicuri agli effetti delle cadute a seguito di oscillazioni, proprie del sostegno provocate dal vento.

### 4.3 Estetica

L'insieme delle strutture che costituiscono il contesto ambientale esterno è definito "arredo urbano" e si identifica essenzialmente negli oggetti, componenti o elementi che caratterizzano lo spazio urbano. Tra questi innumerevoli elementi l'illuminazione pubblica è di primaria importanza e si distingue dagli altri per il ruolo bivalente che la caratterizza: nelle ore diurne costituisce una componente strutturale inserita nel contesto urbano mentre in quelle notturne rappresenta la componente principale che permette di individuare visivamente tutte le altre e la prosecuzione delle attività umane in condizioni ottimali. Per questo motivo assume particolare rilievo il profilo dei centri



luminosi, il colore delle sorgenti luminose, oltre ovviamente ai valori di illuminamento sia sul piano orizzontale che, più limitatamente, su quello verticale.

#### 4.4 Contesto ambientale

Si tratta a questo punto di esaminare i centri luminosi non più come oggetti isolati bensì in rapporto al contesto ambientale ovvero ad uno spazio dalle caratteristiche più diverse nel quale l'impianto deve diventare parte integrante. Nella visione notturna sarà di interesse prevalente la geometria dell'installazione e un accurato allineamento degli apparecchi di illuminazione. Questi fattori sono comunque richiesti anche dal punto di vista della funzionalità dell'impianto e della guida visiva, soprattutto per strade a grande circolazione ma ciò che di notte sembra valido di giorno può assumere un aspetto deprecabile.

#### 4.5 Affidabilità

Affidabilità significa che, nel corso di un esercizio di lunga durata, le funzioni dell'impianto continuano a svolgersi senza inconvenienti e senza guasti. Data l'importanza psicologica del funzionamento regolare degli impianti di illuminazione e dati i costi elevati degli interventi di riparazione, l'affidabilità rappresenta uno dei requisiti più importanti dell'illuminazione pubblica. Che l'impianto risponda alle norme CEI, cioè che non sia pericoloso, è condizione sufficiente a garantirne la sicurezza ma ciò non è sufficiente ai fini dell'affidabilità per la quale si richiede un funzionamento corretto sul lungo periodo. Un aspetto fondamentale in grado di influire sull'affidabilità riguarda il sistema adottato per la protezione contro i contatti indiretti. A tale riguardo le norme CEI prevedono che gli impianti possano essere realizzati sia con protezione mediante interruzione automatica del circuito. Alcune cause di riduzione della funzionalità dell'impianto sono difficilmente determinabili; esse possono manifestarsi inizialmente e persistere durante tutta la vita dell'impianto, sia perché di effetto così scarso da non avere effetti pratici, sia perché la loro compensazione è troppo onerosa. Si annoverano:

- variazioni di tensione;
- temperatura di esercizio;
- taratura degli alimentatori;
- deterioramento delle superfici ottiche;
- variazioni del contesto fisico;
- mortalità dei componenti elettrici;
- decadimento luminoso delle lampade;
- decadimento luminoso degli apparecchi;
- taratura del fotocomando;
- guasti casuali (incidenti, vandalismi, manutenzioni improprie, difetti congeniti).

La notevole molteplicità di cause che possono pregiudicare il corretto funzionamento dell'impianto e quindi la sua affidabilità, impone un'analisi dettagliata delle stesse. Legata entro certi limiti alla sicurezza, l'affidabilità è in definitiva frutto di diversi provvedimenti tecnici quali la selezione dei materiali, le statistiche di esercizio e l'adozione di buone tecniche impiantistiche. Vi è poi il problema della manutenzione che richiederebbe un'ampia trattazione: è opportuno tenere presente che un'accurata pulizia e un ricambio delle lampade periodici sono indispensabili per mantenere i livelli di illuminamento entro i minimi di esercizio.

Questo aspetto è significativo anche ai fini del contenimento degli sprechi energetici. Questi accorgimenti consentono infatti di ridurre gli interventi sugli impianti in esercizio ad entità accettabili e relativamente onerose nonché di garantire una durata degli impianti per un numero di anni sufficientemente elevato da non rendere antieconomico l'investimento.

#### 4.6 Le sorgenti a diodi emettitori di luce – Led

Sono sorgenti luminose conosciute con l'acronimo di Led derivante dal nome inglese Light-mitting diode che è semplicemente un semiconduttore che emette luce quando è percorso da una corrente elettrica.

Il suo principio di funzionamento è basato sul fatto che certi cristallini di elevata purezza, quando sono drogati con una determinata quantità di un altro materiale, mostrano in alcuni casi un eccesso di elettroni e in altri una deficienza degli stessi, dando origine a polarità tipo N e tipo P. Accostando tra loro due pezzi del medesimo materiale ma drogati in maniera opposta, si determinerà un passaggio di elettroni finché non sarà raggiunto un equilibrio delle cariche elettriche. Alimentando il diodo (l'insieme dei due materiali accostati) con una batteria in modo da rendere continuo il flusso di corrente, cioè lo spostamento di elettroni da N verso P, l'energia liberata nella ricomposizione dell'assetto di ciascun atomo viene emessa sotto forma di radiazioni. Per determinate correnti, questa radiazione risulta nella gamma del visibile.

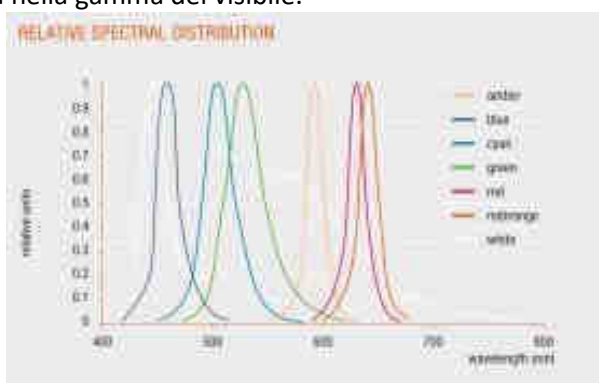


Figura 8: Distribuzione spettrale dei LED

La luce emessa è generalmente monocromatica, di colore dipendente dal materiale e dalle impurità utilizzate; i colori più diffusi sono l'ambra, il rosso, il verde, il giallo.

Mediante miscelazione dei tre colori che si trovano alle estremità (blu e rosso) e al centro (giallo) dello spettro elettromagnetico, si ottiene una luce bianca modulabile intervenendo sul singolo colore. Questo sistema è utilizzato anche per fare giochi di luce in fontane di piazze e giardini pubblici, per rendere più gradevole il transito dei pedoni.

##### 4.6.1 Colori

Caratteristica sicuramente innovativa rispetto alle tradizionali sorgenti luminose è la possibilità praticamente infinita di creare tonalità di colore di qualsiasi tipo. Come anticipato, il colore della luce emessa è data dal tipo di materiale che costituisce il diodo e dal tipo di impurità presente.

I composti chimici utilizzati più frequentemente sono l'Arseniuro di Gallio (colore rosso), il Fosforo di Gallio (rosso, giallo e verde), il Fosforo Arseniuro di Gallio (rosso, arancione, giallo) e il Carburo di Silicio (blu).

##### 4.6.2 Ottiche

Le ottiche sono un'altra caratteristica che si differenzia da tutte quelle usate finora nel campo dell'illuminazione pubblica. I Led nascono già dotati di un'ottica che ingloba il chip vero e proprio in modo da diffondere e rifrangere la luce, che viene sparata in tutte le direzioni. Solitamente un primo intervento che viene attuato nella produzione dei Led è il collocamento sotto il chip di un substrato che ha la funzione di riflettere e rifrangere le radiazioni in modo da avere una distribuzione del flusso che occupi l'emisfero superiore dello spazio che circonda il Led causando i primi fenomeni di assorbimento e dispersione della propagazione della luce.

Ci sono poi le ottiche secondarie, che sono componenti aggregate al Led e che funzionano in simbiosi con le ottiche primarie, infatti sono influenzate nella ricerca della migliore efficienza luminosa e del rendimento. Le tipologie di ottiche secondarie attualmente sono tre:

- ottiche piene che funzionano in riflessione totale interna;
- ottiche vuote funzionanti in riflessione speculare;
- ottiche ibride costituite da un riflettore cavo e da un elemento trasparente integrato con funzioni di lente.

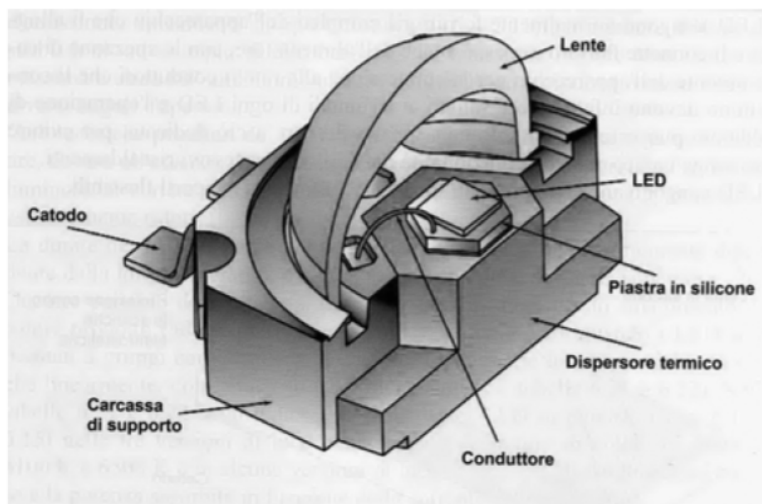


Figura 9: Componenti del LED

#### 4.6.3 Prestazioni

I dati forniti dalle sperimentazioni sugli emettitori di luce dimostrano che la tecnologia LED è la migliore a confronto delle altre sorgenti luminose utilizzate per l'illuminazione pubblica.

#### 4.6.4 Efficienza luminosa

L'efficienza luminosa è uno dei parametri più importanti dal punto di vista del risparmio energetico. Questo parametro mette a confronto due grandezze non omogenee, la luce e l'elettricità, ma che sono le due fondamentali entità in questo campo, si parla contemporaneamente dell'aspetto tecnico e dell'aspetto economico di una sorgente luminosa. L'efficienza è quindi il rapporto tra la quantità di radiazione luminosa e la potenza elettrica assorbita. Ha la caratteristica di un rendimento, cioè confronta l'energia utile a valle (la luce) con energia assorbita a monte (la potenza elettrica), si misura in lumen/watt.

I principali fenomeni dispersivi di questo rendimento luminoso sono il calore e le radiazioni agli estremi del visibile, cioè gli ultravioletti e gli infrarossi. La tecnologia Led a differenza di tutte le altre sorgenti luminose, ha solo emissione dispersiva di calore e quindi può vantare di non avere quelle problematiche legate alle radiazioni ultraviolette ed infrarosse.

Attualmente l'efficienza dei Led ha varcato il valore dei 100 lm/W e quindi ha nettamente prestazioni migliori delle lampade ad incandescenza e di quelle fluorescenti, senza contare che esse hanno percentuali significative di radiazioni infrarosse.



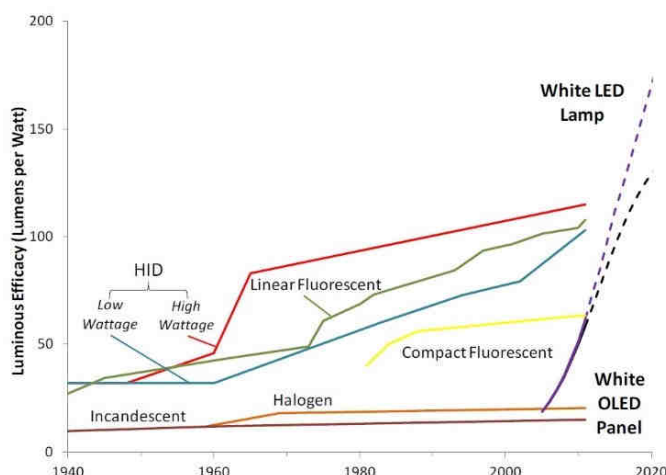


Figura 10: Andamento dell'efficienza dei diversi tipi di lampade negli ultimi anni

Il sodio a bassa pressione, risulta essere una sorgente competitiva sul mercato dal punto di vista dell'efficienza luminosa, arrivando in particolari condizioni ottimali a quasi 200 lm/W; presenta però due grossi handicap come le notevoli dimensioni e soprattutto la sua monocromaticità, priva di un minimo di resa cromatica.

Un dato più significativo sulla situazione del Led nella illuminazione pubblica, ce la può dare il termine dell'efficienza globale che oltre a tener conto dell'efficienza luminosa, la combina con altri parametri come le potenze delle apparecchiature ausiliarie (alimentatori, accenditori, ecc), il flusso emesso, i rendimenti delle ottiche, che portano ad un risultato più significativo e globale dove risulta migliore il Led.

#### 4.6.5 Durata della vita, decadimento luminoso e manutenzione

Possiamo accomunare queste tre caratteristiche per fare una valutazione il più generale possibile. Sono ovviamente strettamente legate fra di loro, la manutenzione e di conseguenze i suoi costi sono legati agli interventi per la sostituzione delle lampade a causa del loro spegnimento, più lunga sarà la durata di vita media della sorgente, e più saranno ridotti i numeri degli interventi per la loro sostituzione. I Led hanno una vita media fino a 100.000 ore e quindi non hanno rivali da questo punto di vista.

Se analizziamo il decadimento del flusso luminoso con il tempo, i dati sperimentali parlano di un 12% per incandescenza e alogene, di ben un 30% per la fluorescenza, sodio ad alta pressione ed induzione, mentre si arriva a ben il 45% per le lampade al vapore di mercurio. La lampada che risulta aver il minor decadimento sono quelle al sodio a bassa pressione con solo il 10% mentre il Led non arriva a questi livelli ma si assenta intorno al 30% come la maggioranza delle sorgenti. Ci sono però delle considerazioni da fare, questi dati sono riferiti al tempo di durata di vita media, (come è naturale che sia) quindi diverso per ogni lampada, considerando invece per tutte le sorgenti un decadimento significativo attorno alle 10.000 ore di funzionamento, il Led questo traguardo lo raggiungerebbe dopo oltre le 70.000 ore.

Senza una adeguata manutenzione, qualsiasi fonte luminosa potrebbe non essere ben sfruttata, in particolar modo ci si riferisce alla sostituzione lampada o pulizia dei vetri non appena il decadimento sia tale da non rispettare la normativa relativa al tipo di installazione oppure portare ad un consumo eccessivo che superi i costi di un intervento di manutenzione.

Per discriminare meglio le sorgenti, si utilizza il fattore di manutenzione Km che si intende come il rapporto tra l'illuminamento medio mantenuto e l'illuminamento medio di progetto, ossia dell'impianto nuovo. Ovviamente assume un valore tra 0 e 1 e tiene quindi conto sia del decadimento luminoso in seguito alle ore di utilizzo che passano, sia del naturale decadimento delle proprietà



ottiche dovute all'accumularsi di pulviscolo o altri depositi in relazione anche alla posizione e al luogo di installazione delle apparecchiature.

Il fattore di manutenzione dipende inoltre da molte variabili, in parte quindi dal tipo e modello di lampada, inoltre dal tipo e modello di corpo illuminante e come anticipato dalle condizioni ambientali di esercizio.

#### 4.6.6 Inquinamento luminoso

L'inquinamento luminoso è quel fascio luminoso diretto o riflesso verso il cielo da fonti di luce artificiale. È diretto quando viene emesso direttamente verso l'alto da apparecchi di illuminazione, mentre il fascio è riflesso quando il fascio luminoso verso l'alto è provocato dal manto stradale, dai marciapiedi o da costruzioni tramite la loro luminanza. L'effetto più immediato del fenomeno è l'oscuramento del cielo alla visione notturna.

D'altronde è inconfutabile che l'uomo moderno non può fare a meno delle fonti luminose soprattutto per motivi di sicurezza, però oggi sempre più è richiesta una politica energetica che regoli l'emissione luminosa verso il cielo e i consumi mondiali di energia elettrica.

L'inquinamento luminoso ha molteplici effetti negativi sull'uomo e sul mondo che lo circonda in vari modi:

- in campo artistico: con deturpazione dei centri storici utilizzando illuminazione non mirata ai monumenti e senza una integrazione con l'ambiente circostante in modo soffuso tale da mettere in risalto le bellezze artistiche;
- in campo scientifico: con la costruzione di telescopi da mandare in orbita per studiare i confini dell'universo, anziché costruirli sul pianeta, dove costerebbero cento volte di meno e sarebbero più accessibili nel caso di guasto, modifiche o manutenzioni;
- in campo ecologico dove flora e fauna hanno visto cambiare il loro ciclo naturale notte-giorno con danno per la fotosintesi clorofilliana che ha subito alterazioni per l'accorciarsi dei tempi del naturale oscuramento;
- in campo del risparmio energetico con flussi luminosi verso l'alto che sono assolutamente dispersivi e inutili, utilizzati solo per scopi estetici ed architettonici.

L'inquinamento luminoso è senza dubbio prerogativa delle armature e degli apparecchi illuminanti, progettati per fasci di luce con ampio raggio d'azione ma che purtroppo vanno anche verso il cielo, ma anche dovuta alla lampada in sé stessa quando è utilizzata senza schermi come nel caso dei lampioni a boccia spesso utilizzati in piazze e giardini dove ben il 70% della luce prodotta viene irradiata verso il cielo.

La sostituzione delle tecnologie attuali con il LED consentirebbe di rivedere radicalmente il parco degli apparecchi illuminotecnici e quindi favorire un ricambio delle armature per limitare il più possibile il problema dell'inquinamento verso il cielo.

#### 4.6.7 Assenza di materiali nocivi o tossici

In tempi in cui l'attenzione al fattore ambientale è forte, di pregio è la caratteristica che nella lampada ad emettitori di luce vi è la mancanza di sostanze tossiche e nocive alla salute dell'uomo, degli animali e alla conservazione dell'ambiente naturale.

Negli ultimi anni si sono fatti notevoli sforzi da parte delle aziende per ridurre i contenuti delle sostanze "pericolose" nelle lampade tradizionali come quelle fluorescenti, al sodio e soprattutto al mercurio, ma pur riducendone il quantitativo anche in maniera considerevole, la loro presenza rimane indispensabile per il corretto funzionamento e quindi sarà da valutare e controllare nella fase di dismissione e di smaltimento.

## 5 CRITERI DI QUALITÀ

### 5.1 Illuminazione stradale

La norma UNI 11248 “Illuminazione stradale - Selezione delle categorie illuminotecniche” indica i requisiti illuminotecnici qualitativi e quantitativi da considerare nel progetto degli impianti d’illuminazione stradale; essa è applicabile a tutte le strade rettilinee o in curva, siano esse urbane o extraurbane, con traffico esclusivamente motorizzato o misto.

Le grandezze fotometriche cui fare riferimento per garantire un corretto compito visivo agli utenti delle strade sono:

- luminanza media mantenuta del manto stradale ( $L_m$  [ $cd/m^2$ ]);
- uniformità generale ( $U_0$ ) e Longitudinale ( $U_l$ ) di detta luminanza;
- indice di abbagliamento debilitante causato dall’installazione ( $TI$  [%]);
- spettro di emissione delle lampade;
- guida ottica.

**Livello di luminanza.** Dal livello di luminanza dipende il potere di rivelazione, inteso come percentuale di un insieme definito di oggetti percepibile dal conducente in ogni punto della strada. Il potere di rivelazione aumenta all’aumentare della luminanza media del manto stradale, con andamento dipendente dall’uniformità e dal grado di abbagliamento debilitante prodotto dall’impianto.

**Uniformità di luminanza.** Generalmente, il parametro utilizzato per descrivere la distribuzione delle luminanze sulla superficie stradale il rapporto  $U_0 = L_{min}/L_m$ , dove  $L_{min}$  è la luminanza puntuale minima e  $L_m$  è quella media sull’intera superficie stradale. Il potere di rivelazione cresce con  $U_0$ , con andamento dipendente anche dal grado di abbagliamento debilitante.

**Abbagliamento debilitante.** L’effetto dell’abbagliamento debilitante è quello di ridurre notevolmente il potere di rivelazione. Il parametro generalmente utilizzato per quantificare l’abbagliamento debilitante è l’indice  $TI$ .

**Spettro di emissione delle lampade.** I tipi di sorgenti luminose ritenuti idonei per l’illuminazione stradale sono numerosi e differiscono considerevolmente tra di loro per la composizione spettrale della luce emessa.

La “distanza di visibilità” dipende sensibilmente dallo spettro di emissione. Dallo spettro di emissione dipendono:

- l’acuità visiva;
- l’impressione di luminosità a parità di luminanza della superficie stradale;
- la velocità di percezione;
- il tempo di recupero visivo dopo essere stati soggetti ad abbagliamento.

**Guida ottica.** Per guida ottica s’intende la capacità di un impianto di illuminazione di dare all’utente un’immagine immediatamente riconoscibile del percorso da seguire fino ad una distanza che dipende dalla massima velocità permessa su quel tronco di strada. La guida ottica contribuisce alla sicurezza e alla facilità della guida. Pertanto essa è particolarmente importante per le intersezioni. Tra i fattori che influiscono sulla guida ottica nelle intersezioni vi sono il colore della luce, l’altezza dei pali, il livello di luminanza, la disposizione dei centri luminosi. I valori di tali grandezze sono riportati in funzione dell’indice della categoria illuminotecnica di appartenenza della strada, a sua volta dipendente dalla classificazione della strada in funzione del tipo di traffico.

La norma raccomanda inoltre che sia evitata ogni discontinuità ad eccezione dei punti singolari intenzionalmente introdotti per attirare l’attenzione dei conducenti. La successione dei centri luminosi, l’intensità ed il colore della luce emessa devono cioè garantire la cosiddetta “guida ottica” (o visiva) cioè dare all’utente un’immagine immediatamente riconoscibile del percorso da seguire.



## 5.2 Illuminazione aree esterne

La classificazione dell'area esterna può essere eseguita mediante la norma tecnica EN13201 che permette di assegnare determinati valori illuminotecnici progettuali a ciascun ambito territoriale con particolare destinazione. La scelta di questi valori progettuali si basa sulla definizione di macro-aree. La definizione di tali macro-aree può essere riassunta in tre classi:

1. Aree in contesto urbano con traffico misto (ad esempio veicolare più ciclo pedonale) che verranno illuminate in base alla percentuale di presenza di persone, presenza di attività commerciali e/o luoghi di aggregazione, contesto urbano, cercando di illuminare tali aree in modo da migliorare la sicurezza percepita, il confort visivo, la resa cromatica dell'illuminazione e l'inserimento formale dello stesso sistema di illuminazione nel contesto urbano interessato.
2. Grandi aree come parchi, piazze, parcheggi, e piazzali che presentano superfici notevoli da illuminare ma allo stesso tempo una limitazione nel posizionamento dei punti luce. Quindi queste aree verranno illuminate con elevata efficienza, e flessibilità delle varie possibilità.
3. Arre da illuminazione da effetto, che devono fungere sia da illuminazione architettonica che da guida visiva all'utente.



## 6 STUDIO ILLUMINOTECNICO

Le norme di riferimento utilizzate per il dimensionamento illuminotecnico degli interventi alla illuminazione pubblica del Comune di Porto Azzurro sono;

- UNI 11248:2016, la quale a sua volta deriva dalla Uni EN 13201:2016;
- UNI 12464

Tali normative impongono al progettista una fase preliminare di analisi sulle caratteristiche e sulla tipologia delle strade, parcheggi ed aree oggetto dello studio illuminotecnico, permettendo l'individuazione della classificazione delle suddette aree oggetto dell'intervento tramite apposite tabelle contenute nella UNI suddette.

Nella classificazione delle zone da illuminare, come prescrive la normativa, si prendono in considerazione anche altri fattori quali la tipologia di utenza, traffico veicolare, condizioni di visibilità e caratteristiche delle aree stesse. Il progettista ha il compito, quindi, di valutare anche i parametri di influenza in modo da garantire agli utenti la massima funzionalità degli impianti di pubblica illuminazione, garantendone quindi non solo il contenimento dei consumi energetici, dei costi gestionali e dell'impatto ambientale, ma anche un adeguato livello di sicurezza agli utenti finali della stessa, siano essi conduttori di veicoli motorizzati o pedoni.

Dal punto di vista illuminotecnico quest'obiettivo si raggiunge stabilendo i valori di luminanza al suolo che dovranno essere rispettati dal progetto illuminotecnico.

La procedura è individuata dalle seguenti Norme UNI:

- UNI 11248 "Illuminazione stradale – Selezione delle categorie illuminotecniche"
- UNI EN 13201-2 "Illuminazione stradale – Parte 2: Requisiti prestazionali"
- UNI EN 13201-3 "Illuminazione stradale – Parte 3: Calcolo delle prestazioni"
- UNI EN 13201-4 "Illuminazione stradale – Parte 4: Metodi di misurazione delle prestazioni fotometriche"
- UNI EN 12464-2 "Illuminazione dei posti di lavoro – Posti di lavoro in esterno"

In generale si può affermare che le norme UNI per l'immunizzazione si soffermino maggiormente sull'individuazione delle caratteristiche peculiari del percorso considerato piuttosto che sulla definizione delle grandezze fondamentali per la qualità dell'illuminazione, quali ad esempio la tonalità della luce e la resa dei colori, così come manca un riferimento alla problematica dell'inquinamento luminoso, argomento trattato viceversa nelle Linee Guida regionali.



## 7 CLASSIFICAZIONE ILLUMINOTECNICA

Al fine di assegnare una categoria illuminotecnica di riferimento ad una determinata strada, è quindi necessario avere a disposizione la classificazione stradale delle stesse, conforme al Decreto Legislativo 30 aprile 1992 n° 285 "Nuovo Codice della Strada" e successive integrazioni e modifiche. Come indicato nella Norma UNI 11248 la classificazione della strada deve essere comunicata al progettista dal committente o dal gestore della stessa strada.

Non avendo in questo caso una classificazione illuminotecnica delle aree oggetto di intervento, durante il sopralluogo sono state censite anche tutte le caratteristiche peculiari in modo da poter procedere direttamente, alla classificazione delle zone secondo la Norma UNI11248 e EN13201 in modo da poter attribuire una categoria illuminotecnica di progetto alle zone interessate.

L'analisi dei rischi consiste nella valutazione dei parametri di influenza per garantire la massima efficacia del contributo degli impianti di illuminazione alla sicurezza degli utenti, minimizzando al contempo i consumi energetici, i costi di installazione e di gestione e l'impatto ambientale.

L'analisi si suddivide in più fasi:

- sopralluogo per valutare i parametri di influenza e la loro importanza;
- individuazione dei parametri e delle procedure richieste da leggi, norme di settore ed esigenze specifiche;
- studio degli eventi potenzialmente pericolosi classificandoli in funzione della frequenza e della gravità;
- identificazione degli interventi a lungo termine per assicurare i livelli di sicurezza richiesti da leggi e norme
- determinazione di un programma di priorità per le azioni più efficaci in termini di sicurezza per gli utenti.

### 7.1 Categoria illuminotecnica di riferimento

La categoria illuminotecnica di riferimento dipende dal tipo di strada della zona di studio ed è sintetizzata nella tabella sotto riportata in funzione del Codice della Strada, del DM 6792 del 5/11/2001 e della norma UNI 11248

*Tabella 1: Classificazione stradale secondo il DM 6792 del 5/11/2001*

<b>Classificazione Strada</b>	<b>Carreggiate indipendenti (min)</b>	<b>Corsie per senso di marcia (min)</b>	<b>Altri requisiti minimi</b>
<b>A-</b> autostrada	2	2+2	
<b>B-</b> extraurbana principale	2	2+2	tipo tangenziali e superstrade
<b>C-</b> extraurbana secondaria	1	1+1	- con banchine laterali transitabili - S.P. oppure S.S
<b>D-</b> urbana a scorrimento veloce	2	2+2	limite velocità >50Km/h
<b>D-</b> urbana a scorrimento	2	2+2	limite velocità <50 Km/h
<b>E-</b> urbana di quartiere	1	1+1 o 2 nello stesso senso di marcia	-solo proseguimento strade C -con corsie di manovra e parcheggi esterni alla carreggiata
<b>F-</b> extraurbana locale	1	1+1 o 1	Se diverse strade C
<b>F-</b> urbana interzonale	1	1+1 o 1	Urbane locali di rilievo che attraversano il centro abitato
<b>F-</b> urbana locale	1	1+1 o 1	Tutte le altre strade del centro abitato

*Tabella 2: Categoria illuminotecnica di ingresso secondo la Norma UNI 11248*



Tipo di strada	Descrizione del tipo di strada	Limite di velocità (km/h)	Categoria illuminotecnica di ingresso per l'analisi dei rischi obbligatoria
A1	Autostrade extraurbane	130-150	M1
	Autostrade urbane	130	
A2	Strade di servizio alle autostrade extraurbane	70-90	M3
	Strade di servizio alle autostrade urbane	50	
B	Strade extraurbane principali	110	M3
	Strade di servizio alle strade extraurbane principali	70-90	M4
C	Strade extraurbane secondarie (tipi C1 e C2) (1)	70-90	M3
	Strade extraurbane secondarie	50	M4
	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	70-90	M3
D	Strade urbane di scorrimento (2)	70	M3
		50	
E	Strade urbane di interquartiere	50	M3
	Strade urbane di quartiere	50	
F(3)	Strade locali extraurbane (tipi F1 e F2) (1)	70-90	M3
	Strade locali extraurbane	50	M4
		30	P3
	Strade locali urbane	50	M4
	Strade locali urbane: centri storici, isole ambientali, zone 30	30	C4
	Strade locali urbane: altre situazioni	30	C5/P3 (3)
	Strade locali urbane: aree pedonali	5	
	Strade locali urbane: centri storici (utenti principali: pedoni, ammessi gli altri utenti)	5	C5/P3 (3)
Strade locali interzonali	50		
	30		
F bis	Itinerari ciclo-pedonali (4)	--	P3
	Strade a destinazione particolare (1)	30	P3

prospetto 5.9 **Arete di parcheggio**

N° riferimento	Tipo di zona, compito o attività	$\bar{E}_m$ lx	$U_o$	$GR_L$	$R_a$	Note
5.9.1	Traffico leggero, per esempio aree di parcheggio di negozi, villette a schiera e condomini; parchi ciclistici	5	0,25	55	20	
5.9.2	Traffico medio, per esempio aree di parcheggio di supermercati, edifici per uffici, impianti industriali, complessi di edifici sportivi e polivalenti	10	0,25	50	20	
5.9.3	Traffico intenso, per esempio aree di parcheggio delle scuole, degli edifici di culto, dei principali centri commerciali, dei principali complessi di edifici sportivi e polivalenti	20	0,25	50	20	

Tabella 3: Categoria illuminotecnica delle aree di parcheggio.

## 7.2 Analisi dei rischi

L'analisi dei rischi consiste nella valutazione dei parametri di influenza al fine di individuare le categorie illuminotecniche che garantiscono la massima efficacia del contributo degli impianti di

illuminazione alla sicurezza degli utenti in condizioni notturne, minimizzando al contempo i consumi energetici, i costi di installazione e di gestione, l'impatto ambientale e l'inquinamento luminoso.

L'analisi dei rischi è stata effettuata prevedendo le seguenti fasi:

- Sopralluogo con l'obiettivo di valutare lo stato esistente e determinare una gerarchia tra i parametri di influenza per le strade esaminate;
- Individuazione dei parametri decisionali e delle procedure gestionali richieste da direttive e norme cogenti, nonché dalla stessa norma UNI 11248;
- Studio preliminare del rischio, determinando gli eventi potenzialmente pericolosi, in base agli incidenti diurni e notturni, e classificandoli in funzione della frequenza e della gravità;
- Creazione di una gerarchia di interventi per assicurare a lungo termine i livelli di sicurezza richiesti, per quanto dipendenti dalle condizioni di illuminazione.

I parametri di influenza costanti nel lungo periodo determinano la categoria illuminotecnica di progetto, i cui parametri più significativi sono elencati nella tabella seguente:

*Tabella 4: Parametri di influenza costanti*

Parametro di influenza	Riduzione massima della categoria illuminotecnica
Complessità del campo visivo normale	1
Assenza o bassa densità di zone di conflitto	1
Segnalatica cospicua nelle zone conflittuali	1
Segnaletica stradale attiva	1
Assenza di pericolo di aggressione	1

I parametri di influenza variabili nel tempo determinano le categorie illuminotecniche di esercizio, derivate da quelle di progetto, i cui parametri più significativi sono elencati nella tabella seguente:

*Tabella 5: Parametri di influenza variabili*

Parametro di influenza	Riduzione massima della categoria illuminotecnica
Flusso orario di traffico <50% rispetto alla portata di esercizio	1
Flusso orario di traffico <25% rispetto alla portata di esercizio	2
Riduzione della complessità della tipologia di traffico	1

È stata condotta quindi un'analisi dei rischi sulle zone interessate dall'intervento valutando i parametri di influenza al fine di individuare le categorie illuminotecniche che garantiscono la massima efficacia del contributo degli impianti di illuminazione alla sicurezza degli utenti della strada in condizioni notturne, minimizzando i consumi energetici, i costi di gestione e l'inquinamento luminoso.

La categoria di progetto delle strade da efficientare pari ad **M3** ed **M4**, a seconda del tipo di sezione stradale e degli altri parametri illuminotecnici in precedenza descritti, è quindi stata associata ad ogni verifica un'armatura con potenza e fotometria idonee a rispettare i requisiti imposti dalla normativa.

### 7.3 Rispetto della Legge Regionale Toscana N° 37/00

Sulla base della direttiva per l'applicazione della legge regionale 21 marzo 2000, n. 37 recante "Norme per la prevenzione dell'inquinamento luminoso", gli impianti in progetto risponderanno ai seguenti requisiti:

- Illuminazione dall'alto verso il basso e non oltre i 60° dalla verticale.
- Riduzione del flusso fino al 50% dopo le ore 22:00.
- Flusso luminoso emesso nell'emisfero superiore < 3% del flusso totale emesso dalla sorgente.



## 8 CALCOLO ILLUMINOTECNICO

Sulla base della classificazione illuminotecnica precedentemente determinate e grazie all’ausilio di opportuni software tecnici (Dialux.evo) è stato successivamente condotto il calcolo illuminotecnico, utilizzando a tal fine le fotometrie proprie dell’apparecchio utilizzato e rese disponibili dalla casa costruttrice del prodotto scelto.

La fase successiva consiste nell’individuare la categoria illuminotecnica di progetto e di esercizio in base alla norma UNI 11248 e la norma UNI 12464 che, in funzione di alcuni parametri fondamentali di influenza, permette di risalire alla classificazione illuminotecnica.

Successivamente sono state effettuate le verifiche illuminotecniche per le zone interessate dall’intervento.

### 8.1 Regolazione del flusso luminoso

La tecnologia Led porta con sé una nuova innovazione, non tanto la facoltà di una regolazione continua del flusso, ma la possibilità di regolare il flusso anche in determinate direzioni e non solo in intensità.

Un apparecchio di illuminazione a tecnologia Led, incorpora oltre un centinaio di diodi emettitori che possono essere direzionati liberamente tra loro mediante le piastre riflettenti che li sostengono, oppure mediante ottiche dedicate. Solitamente saranno i moduli più esterni che saranno leggermente orientati, allargando così la superficie illuminabile a vantaggio dell’altezza dell’apparecchio illuminante che potrà essere inferiore e della interdistanza tra i punti luce che potrebbe quindi aumentare.

È prevista l’installazione di sistema di regolazione del flusso luminoso punto-punto, con la possibilità di programmare la tipologia di regolazione desiderata in funzione della curva di utilizzo più consona alle esigenze dell’amministrazione. Ciò è garantito dall’installazione di un’apposita scheda elettronica (driver) integrata nell’armature che permette, grazie all’elettronica intelligente che controlla l’alimentazione dell’apparecchio, la personalizzazione del flusso luminoso di ogni singolo proiettore, consentendo il dimeraggio e la regolazione del flusso luminoso emesso dal corpo illuminante. Ciò consente di ottenere notevoli vantaggi in termini di risparmio energetico e gestionale degli impianti rispetto ai sistemi centralizzati, più facilmente soggetti a problematiche installative e manutentive che spesso, come nel caso in questione, ne rendono inefficace l’utilizzo.

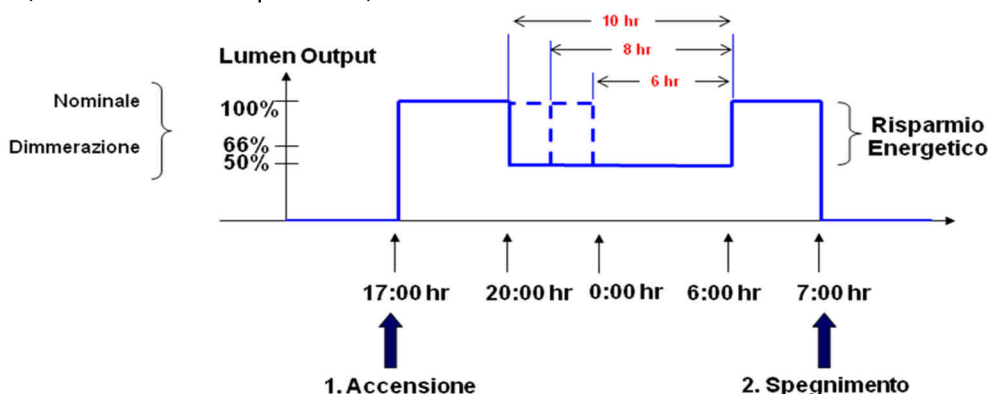


Figura 11: Sistema di dimmerazione

Tale sistema è studiato per risparmiare energia riducendo il flusso luminoso nelle ore centrali della notte. Questo sistema, integrato all’interno del driver, funziona in modo indipendente e non necessita di controllo esterno (sistema “stand-alone”). Il Sistema si basa sul calcolo di una mezzanotte virtuale (punto medio di accensione) che viene preso come riferimento per i possibili intervalli di



regolazione. Il calcolo della mezzanotte virtuale è automatico e continuamente aggiornato nel corso dell'anno. Il sistema di regolazione adottato permette di scegliere sia la durata dell'intervallo di regolazione che il flusso luminoso in fase di regolazione.

## 9 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'intervento prevede la sostituzione delle vecchie lampade presenti nelle vie interessate con altrettanti apparecchi LED, in particolare nella lista successiva si può notare la distribuzione dei nuovi apparecchi nelle strade oggetto dell'intervento:

Via/Zona	N. Armature
Viale Europa	Sostituzione di n.20 armature
Loc. Bocchetto	Sostituzione di n. 40 armature
Parcheggio De Santis	Installazione di n.7 nuovi pali con relativi plinti ed armature
Via Neghelli	Sostituzione di n 9 armature esistenti ed integrazione di n. 4 nuovi punti luce per l'estensione dell'impianto di illuminazione a tutta la via
Diga Foranea	Sostituzione di n. 8 pali e corpi illuminanti esistenti e installazione di un nuovo palo e relativo corpo illuminante per la copertura dell'intera superficie della diga foranea
Piazza Matteotti	Sostituzione di n. 60 faretti ad incasso a terra

Degli interventi di cui sopra quelli relativi alla diga foranea ed a Piazza Matteotti verranno realizzati in economia dall'Amministrazione Comunale, pertanto verrà riportato nel Quadro Economico di Gara l'importo relativo a tali opere.

## 10 DESCRIZIONE DEGLI APPARECCHI ILLUMINANTI

È stata effettuata un'indagine di mercato tra i prodotti maggiormente utilizzati ed è stato scelto un produttore primario di LED: Cree, multinazionale americana leader nell'illuminazione a Led, anche per continuità con gli interventi precedentemente effettuati.

Per avere una uniformità di servizio ed estetica pari al presente progetto gli apparecchi che verranno installati a seguito della procedura di aggiudicazione di gara dovranno avere le stesse caratteristiche minime. Dovranno inoltre essere aggiornate dall'aggiudicatario le verifiche illuminotecniche per tutte le sezioni individuate e consegnato all'Amministrazione Pubblica un nuovo progetto firmato e timbrato da tecnico abilitato.

### 10.1 Armature

Le armature oggetto del presente progetto sono state scelte in virtù della tipologia e delle caratteristiche illuminotecniche delle strade motorizzate da illuminare, dopo averne verificato la compatibilità con le vigenti Norme di riferimento nel settore dell'illuminazione pubblica (vedi Norma UNI EN 11248 e Norma UNI EN 13201 e DM 27/09/2017), e nel rispetto delle prescrizioni contenute nelle Linee Guida Regionali. Le suddette armature sono in Classe II.

## 11 CRITERI MINIMI AMBIENTALI PER L'ACQUISTO DI APPARECCHI PER ILLUMINAZIONE PUBBLICA

Le indicazioni contenute in questo capitolo consistono sia in richiami alla normativa ambientale, sia in specifiche tecniche che apparecchi a LED e progetto illuminotecnico devono rispettare.

### 11.1 Apparecchi a LED



I moduli LED devono raggiungere, alla potenza nominale di alimentazione (ovvero la potenza assorbita dal solo modulo LED) le seguenti caratteristiche:

Efficienza luminosa del modulo LED completo di sistema ottico (il sistema ottico è parte integrante del modulo LED) [lm/W]	Efficienza luminosa del modulo LED senza sistema ottico (il sistema ottico non fa parte del modulo LED) [lm/W]
≥ 95	≥ 110

### 11.1.1 Fattore di mantenimento del flusso luminoso e Tasso di guasto dei moduli LED

Per ottimizzare i costi di manutenzione, i moduli LED debbono presentare, coerentemente con le indicazioni fornite dalla norma EN 62717 e s. m. e i., alla temperatura di funzionamento  $t_p$  e alla corrente di alimentazione più alte (condizioni più gravose), le seguenti caratteristiche:

Fattore di mantenimento del flusso luminoso	Tasso di guasto (%)
$L_{80}$ per 60.000 h di funzionamento	$B_{10}$ per 60.000 h di funzionamento

in cui:

- $L_{80}$ : Flusso luminoso nominale maggiore o uguale all'80% del flusso luminoso nominale iniziale  $B_{10}$ .
- Tasso di guasto inferiore o uguale al 10%

### 11.1.2 Rendimento degli alimentatori per moduli LED

Gli alimentatori per moduli LED devono avere le seguenti caratteristiche:

Potenza nominale del modulo LED $P$ [W]	Rendimento dell'alimentatore (%)
$P \leq 10$	70
$10 < P \leq 25$	75
$25 < P \leq 50$	83
$50 < P \leq 60$	86
$60 < P \leq 100$	88
$100 < P$	90

Informazioni relative a installazione, manutenzione e rimozione delle lampade a scarica ad alta intensità, dei moduli LED e degli alimentatori.