

**ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

---

SCUOLA DI INGEGNERIA

DIPARTIMENTO di  
INGEGNERIA DELL'ENERGIA ELETTRICA E DELL'INFORMAZIONE  
"Guglielmo Marconi"  
DEI

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN**

---

*Ingegneria dell'Energia Elettrica*

**TESI DI LAUREA**

in

*Tecnologie Elettriche Innovative*

**Efficientamento energetico della pubblica  
illuminazione per il comune di Sant'Omero (TE)**

CANDIDATO

*Govoni Enrico*

RELATORE

*Chiar.mo Prof. Fabiani Davide*

CORRELATORE/I

*Per. Ind. Diacci Daniele  
Dott. Selleri Giacomo*

Anno Accademico  
2022/23

Sessione III



# INDICE

<b>Introduzione</b> .....	<b>9</b>
<b>Capitolo 1</b> .....	<b>11</b>
1. Principi di Illuminotecnica .....	11
1.1 Fisica della luce .....	11
1.1.1 Principali definizioni .....	12
1.2 Principali dispositivi per l'illuminazione pubblica.....	18
1.2.1 Lampade a vapore di sodio a bassa/alta pressione .....	18
1.2.2 Lampade a LED .....	20
1.3 <i>Maintenance Factor</i> .....	23
1.4 <i>Failure Rate</i> .....	27
1.4.1 Decadimento del flusso luminoso del modulo led .....	27
1.4.2 Degrado dei componenti del gruppo ottico .....	30
1.4.3 Guasto all'alimentatore .....	31
1.5 Variatori di flusso luminoso (dimmer) .....	32
1.5.1 Regolazione automatica del flusso (DA) .....	32
1.5.2 Regolazione custom DAC .....	33
1.5.3 Regolazione centralizzata .....	34
1.5.4 Regolazione dinamica.....	35
<b>Capitolo 2</b> .....	<b>39</b>
2. Normativa CEI e UNI.....	39
2.1 Norma UNI EN 13201:2016.....	39
2.1.1 Norma UNI EN 13201 – 2 .....	39
2.1.2 Norma UNI EN 13201 – 4 .....	45

2.1.3	Norma UNI EN 13201 – 5 .....	47
2.2	Norma UNI 11248:2016.....	50
2.3	Decreto Ministeriale 27/09/2017 – CAM per l’acquisizione di sorgenti luminose per illuminazione pubblica e l’affidamento del servizio di progettazione di impianti per illuminazione pubblica.....	54
2.3.1	IPEA e prestazione energetica degli apparecchi.....	55
2.3.2	IPEI e prestazione energetica dell’impianto .....	57
2.4	Criteri di sicurezza .....	59
<b>Capitolo 3</b>	.....	<b>63</b>
3.	Informazioni generali sulle infrastrutture per l’illuminazione pubblica .....	63
3.1	Criteri geometrici .....	63
3.2	Disposizione dei punti luminosi .....	64
3.3	Proiezione dei centri luminosi sulla strada.....	65
3.4	Altezza e distanza dei centri luminosi.....	66
3.5	Posizione dei supporti .....	67
3.6	Apparecchi scelti per il comune di Sant’Omero .....	71
<b>Capitolo 4</b>	.....	<b>77</b>
4.	Scelta dell’apparecchiatura .....	77
4.1	Caratteristiche dei dispositivi di classe II .....	77
4.1.1	Problemi di incompatibilità fra SPD e isolamento di classe II.....	78
4.1.2	Norme di installazione degli SPD.....	79
4.1.3	Conformità normativa dell’impianto.....	80
4.2	Ottimizzazione degli impianti .....	80
4.2.1	Relazione fra illuminamento ed altezza .....	80
<b>Capitolo 5</b>	.....	<b>83</b>

5. Progetto esecutivo per il Comune di Sant’Omero.....	83
5.1 Casi studi rappresentativi del lavoro svolto .....	84
5.1.1 SS259 – Via Metella Nuova .....	84
5.1.2 Tipologia 4, Tipologia 9, Tipologia 13 .....	96
5.1.3 Rotonde .....	103
5.1.3.1 Rotonda Ospedale.....	104
5.1.3.2 Rotonda Garrufo incrocio fra SS259 – Via Gramsci – SP17.....	108
<b>Capitolo 6 .....</b>	<b>113</b>
6. Conclusioni.....	113
Ringraziamenti.....	117
Bibliografia.....	119

# Indice delle figure

Figura 1.1 Spettro di lunghezze d'onda della luce [1] .....	11
Figura 1.2 Sensibilità dell'occhio umano per determinate lunghezze d'onda [2].....	12
Figura 1.3 Schema di riflessione della luce [1] .....	14
Figura 1.4 Schema di rifrazione [1].....	14
Figura 1.5 Differenza fra illuminamento e luminanza [3].....	16
Figura 1.6 Riassunto delle definizioni illuminotecniche [4].....	16
Figura 1.7 Temperatura di colore [1] .....	17
Figura 1.8 Schema di una lampada a vapori di sodio ad alta pressione [5].....	19
Figura 1.9 Principio di un modulo led che genera luce bianca [6].....	20
Figura 1.10 Esempio lampada LED [8].....	21
Figura 1.11 Differenze di distribuzione del flusso luminoso .....	22
Figura 1.12 Ottiche AEC.....	22
Figura 1.13 Andamento del MF in funzione della vita dell'apparecchio .....	24
Figura 1.14 LMF dei diversi materiali in funzione delle ore.....	25
Figura 1.15 MF per il vetro.....	26
Figura 1.16 MF per il PC.....	26
Figura 1.17 Camera di prova termica nei laboratori AEC .....	28
Figura 1.18 Esempio di misura della temperatura [12] .....	28
Figura 1.19 Grafico relativo al decadimento luminoso all'aumentare delle ore operative .....	29
Figura 1.20 Grafico di declassamento dei componenti del gruppo ottico .....	30
Figura 1.21 Durata di vita dell'alimentatore in funzione della temperatura Tc .....	31
Figura 1.22 Sistema di regolazione DA .....	33

Figura 1.23 Programmazione driver di alimentazione .....	34
Figura 1.24 Schema server – concentratori - lampade.....	36
Figura 1.25 Connessione tramite linea ethernet.....	37
Figura 1.26 Connessione wireless tra lampioni e concentratori.....	37
Figura 2.1 Definizione dei criteri cut-off .....	45
Figura 2.2 Allegato 4 della L.R. n.12 del 3/03/2027 [21].....	54
Figura 2.3 Prove di tenuta al getto d'acqua nei laboratori AEC [8] .....	60
Figura 3.1 Caratteristiche geometriche di un sistema di illuminazione stradale .....	64
Figura 3.2 Disposizione dei centri luminosi.....	65
Figura 3.3 Disposizione dei punti luminosi rispetto al bordo della strada .....	66
Figura 3.4 Altezza delle fonti luminose .....	67
Figura 3.5 Lampada fissata direttamente sulla facciata dell'edificio .....	68
Figura 3.6 Altezza della lampada rispetto alle lanterne semaforiche.....	68
Figura 3.7 Foto rappresentativa scattata a Villa Gatti.....	69
Figura 3.8 Distanza tra la lampada e i conduttori isolati a tensione minore/maggiore di 1 kV .....	70
Figura 3.9 Distanza tra la lampada e i conduttori isolati e distanza tra la lampada e i conduttori nudi a tensione maggiore di 1 kV.....	70
Figura 3.10 Distanza fra supporti, fondamenta e placche di terra dalla tubazione del gas.....	71
Figura 3.11 I-TRON Zero [8].....	71
Figura 3.12 COMPASS [8].....	73
Figura 3.13 ARYA [8].....	74
Figura 3.14 iBox [8] .....	75
Figura 4.1 Andamento del potenziale di terra per un dispersore emisferico [1] .....	79

Figura 4.2 Illuminamento su una superficie dA per una sorgente puntiforme .....	81
Figura 5.1 Foglio Excel di esempio per il censimento.....	85
Figura 5.2 Fotografia di Via Metella Nuova .....	85
Figura 5.3 Foto da Google Maps della rotonda per l'ingresso del pronto soccorso di Sant'Omero .....	104
Figura 5.4 Curve di colore dell'illuminamento .....	106
Figura 5.5 Rappresentazione della luminanza in 3D .....	107
Figura 5.6 Foto da Google Maps della rotonda di Garrufo .....	108
Figura 5.7 Risultati del calcolo dell'illuminamento .....	110
Figura 5.8 Rappresentazione della luminanza in 3D .....	111
Figura 6.1 Potenza netta installata .....	113
Figura 6.2 Fabbisogno energetico annuale .....	113



# Introduzione

L'illuminazione pubblica rappresenta un elemento cruciale per la qualità della vita nelle città moderne. Non solo fornisce la necessaria visibilità notturna, ma svolge anche un ruolo fondamentale nella sicurezza urbana e nell'incremento della vivibilità delle aree metropolitane. Tuttavia, essa richiede un considerevole apporto di energia e spesso si traduce in un notevole dispendio economico e ambientale. Le nuove norme adottate dal Parlamento Europeo a luglio 2023 stabiliscono l'obiettivo di ridurre collettivamente il consumo energetico dell'Unione Europea (UE) di almeno l'11,7% entro il 2030<sup>1</sup>. Si nota quindi come l'efficientamento energetico dell'illuminazione pubblica emerge come una priorità imprescindibile. Questo processo non solo mira a ridurre i consumi energetici, ma promuove anche un utilizzo più razionale delle risorse, contribuendo così alla riduzione delle emissioni di gas serra e al contenimento dei costi di gestione. A livello normativo, l'Italia ha assunto un impegno significativo nell'ambito dell'efficienza energetica, recependo le direttive comunitarie e adottando standard quali la Norma UNI EN 13201:2016 e UNI 11248:2016 che definiscono i requisiti minimi per l'illuminazione stradale. Questo quadro normativo fornisce un orientamento cruciale per l'implementazione di sistemi di illuminazione più efficienti e sostenibili. L'esigenza di attuare una riforma di efficientamento risulta di particolare interesse in Italia in quanto, il nostro paese presenta un consumo energetico per l'illuminazione pubblica circa doppio rispetto ai consumi medi evidenziati dal resto dei paesi europei<sup>2</sup>. Questo dimostra la necessità di un impegno rinnovato verso soluzioni innovative e sostenibili che possano contribuire a ridurre il consumo energetico nel settore dell'illuminazione pubblica. La presente tesi si propone di esplorare e analizzare le opportunità e le sfide legate all'efficientamento energetico dell'illuminazione pubblica in Italia ed in particolare sul comune di Sant'Omero (TE). Nel corso di questo studio verrà preso in esame, come caso studio, il comune di Sant'Omero in provincia di

---

<sup>1</sup> [Risparmio energetico: l'azione dell'UE per ridurre il consumo energetico | Attualità | Parlamento europeo \(europa.eu\)](#)

<sup>2</sup> [E' l'Italia il paese dove l'illuminazione costa di più in Europa - la Repubblica](#)

Teramo che ha scelto CPL Concordia (che presenta come partner produttivo AEC Illuminazione) per realizzare un progetto di rifacimento della pubblica illuminazione in linea con i vincoli energetici esposti precedentemente. Attraverso un'indagine approfondita sulle tecnologie emergenti, le politiche pubbliche e le migliori pratiche internazionali, si cercherà di delineare un quadro esaustivo e attuale dell'illuminazione pubblica efficiente nel contesto italiano. Nella trattazione successiva, per non appesantire il testo, le citazioni alle norme e alle leggi vigenti all'atto della pubblicazione della tesi, verranno fatte senza il richiamo all'anno di pubblicazione sottintendendo che siano all'ultima versione pubblicata.

# Capitolo 1

## 1. Principi di Illuminotecnica

Nel presente capitolo vengono descritti i principali comportamenti chimico-fisici della luce e della sua propagazione da parte di apparecchi di illuminazione per esterni. Verranno analizzate le passate tecnologie ancora attualmente installate, come le lampade al sodio e più nel dettaglio l'illuminazione a LED in quanto presenta la principale scelta progettuale per i progetti presenti e futuri sulla pubblica illuminazione.

### 1.1 Fisica della luce

Nella concezione dell'illuminotecnica, la luce corrisponde ad un fascio di energia radiante che si propaga sotto forma di onde elettromagnetiche e che ha la proprietà di eccitare i fotorecettori della retina oculare. La luce presenta come caratteristica quella di rappresentare la parte di spettro elettromagnetico visibile all'occhio umano avente lunghezza d'onda  $\lambda$  compresa tra 380 e 780 nm e quindi una frequenza  $f$  compresa tra 790 e 435 THz. In Figura 1.1 è possibile vedere un esempio di spettro delle lunghezze d'onda della luce:

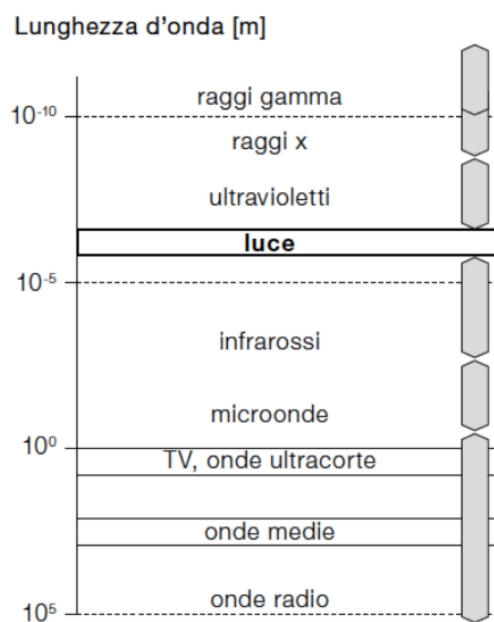


Figura 1.1 Spettro di lunghezze d'onda della luce [1]

### 1.1.1 Principali definizioni

Per poter definire le future opzioni di installazioni e comprendere al meglio le future scelte progettuali è necessario fornire alcune utili definizioni:

- **Flusso luminoso,  $\Phi$**  : il flusso luminoso consiste nella quantità di luce (potenza) emessa da una sorgente luminosa o apparecchio di illuminazione trasdotta dall'occhio umano. Viene misurato in *lumen* [*lm*]:

$$\Phi = K_m \int_{380}^{780} \Phi_\lambda(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

1.1

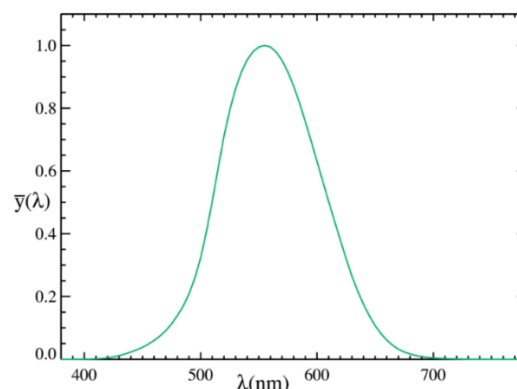
Dove:

$\Phi_\lambda$  è la distribuzione spettrale di potenza della radiazione emessa (potenza per unità di lunghezza d'onda) espressa in *W/m*;

$K_m$  è il coefficiente di visibilità massima che permette di passare da *W* a *lm*, e vale circa 683 *lm/W* e viene espresso in *lm/W*;

$V$  è un numero adimensionale che corrisponde ad un coefficiente di visibilità luminosa;

Il flusso luminoso tiene conto della sensibilità dell'occhio umano considerando la potenza emessa per ogni lunghezza d'onda attraverso la funzione di efficacia luminosa spettrale, che rappresenta la risposta dell'occhio alle diverse lunghezze d'onda. Il flusso luminoso è quindi una somma ponderata della potenza di tutte le varie lunghezze d'onda nella banda della radiazione visibile. In Figura 1.2 si può vedere quali lunghezze d'onda sono maggiormente visibili dall'occhio umano:



**Figura 1.2** Sensibilità dell'occhio umano per determinate lunghezze d'onda [2]

- **Efficienza luminosa:** l'efficienza luminosa viene definita come rapporto tra la potenza luminosa irradiata dalla sorgente di luce e la potenza elettrica assorbita [ $lm/W$ ].
- **Intensità luminosa, I:** l'intensità luminosa viene definita come la quantità di luce emessa in una certa direzione. Viene definita dal rapporto tra il flusso luminoso infinitesimale  $d\Phi$  emesso entro l'angolo solido  $d\Omega$  e lo stesso angolo solido come:

$$I = d\Phi/d\Omega$$

1.2

L'unità di misura nel sistema internazionale (SI) è la candela [ $cd$ ] che costituisce l'unità fotometrica primaria (essa corrisponde all'intensità luminosa di una sorgente che emetta entro l'angolo solido di  $1\text{ sr}$  una radiazione monocromatica di  $555\text{ nm}$  con una potenza  $\Phi_\lambda = 1/683\text{ W}$ , che ha il flusso di  $1\text{ lm}$ ). Nota la distribuzione delle intensità luminose di una sorgente nelle varie direzioni  $I_\alpha$  si può calcolare quindi il flusso luminoso  $\varphi$  emesso per mezzo dell'integrale:

$$\varphi = \int_0^{4\pi} I_\alpha d\omega$$

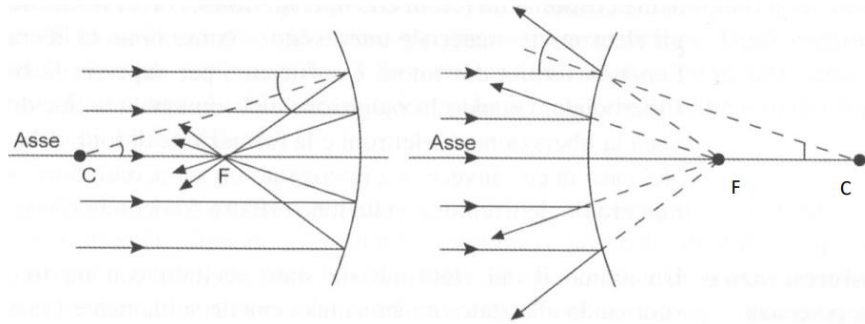
1.3

In particolare, per una sorgente isotropa, con intensità luminosa  $I$  uguale in tutte le direzioni, si ha:

$$\varphi = 4\pi I_\alpha$$

1.4

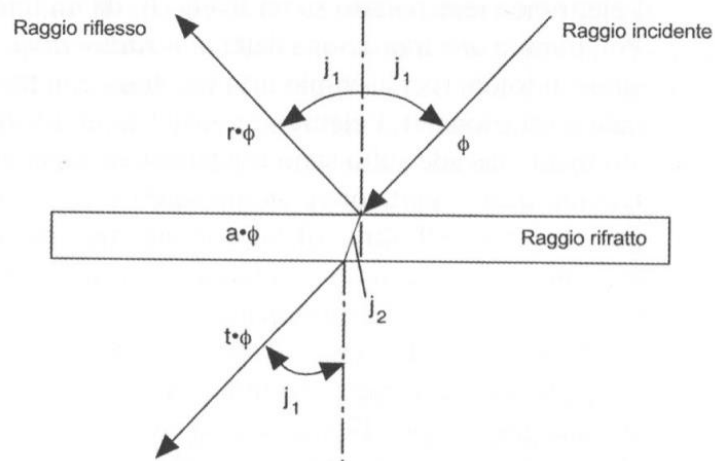
- **Riflessione:** è il fenomeno fisico che avviene quando un raggio luminoso monocromatico incide su una superficie perfettamente levigata o speculare, cioè con rugosità di dimensioni almeno dieci volte inferiori alla lunghezza del raggio incidente, l'angolo di incidenza rispetto alla normale alla superficie nel punto di incidenza, e l'angolo di riflessione, sono complanari e uguali fra loro. Questi effetti possono essere compresi attraverso la Figura 1.3:



**Figura 1.3** Schema di riflessione della luce [1]

Tale proprietà viene utilizzata nei riflettori per poter dirigere in maniera mirata il fascio di luce.

- **Rifrazione:** la rifrazione si presenta quando il raggio luminoso passa da un primo ad un secondo mezzo trasparente di natura differente con superficie di separazione perfettamente liscia, come visibile in Figura 1.4:



**Figura 1.4** Schema di rifrazione [1]

L'angolo di incidenza  $J_1$  e quello di rifrazione  $J_2$  sono allora complanari. Il rapporto tra i seni tra gli angoli è una costante che prende il nome di indice di rifrazione del secondo mezzo rispetto al primo e dipende dalla frequenza di radiazione del raggio. Detto  $\Phi$  il contenuto energetico del raggio incidente, la parte  $r \Phi$  viene riflessa, la parte  $a \Phi$  viene assorbita e trasformata in calore, la parte  $t \Phi$  viene trasmessa. Vale quindi:

$$\Phi = r \Phi + a \Phi + t \Phi$$

1.5

“Riflessione, assorbimento, rifrazione: un raggio di luce che incide su una superficie piana trasparente viene in parte riflesso in parte assorbito e in parte trasmesso”<sup>3</sup>.

- **Illuminamento, E:** è la quantità di flusso luminoso infinitesimo  $d\Phi$  che incide su una superficie  $dS$  normale ad esso  $E = d\Phi/dS$ . Questo viene misurato in *lux* che corrisponde a  $lm/m^2$ ;
- **Luminanza, L:** la luminanza è un parametro che permette di associare la luce prodotta da una certa sorgente luminosa con l'apparenza della stessa sull'occhio umano. La luminanza è l'unica grandezza fotometrica percepita dagli occhi e consente di stimare la quantità di intensità luminosa prodotta o riflessa da una superficie così come appare all'osservatore. Essa è definita come il rapporto tra l'intensità emessa da una sorgente luminosa in una data direzione e l'area apparente di quella superficie.

$$L = \frac{dI}{dA_n} = \frac{dI}{dA \cos\alpha} = \frac{d\varphi}{d\omega dA \cos\alpha} = \frac{M}{d\omega \cos\alpha}$$

1.6

Dove:

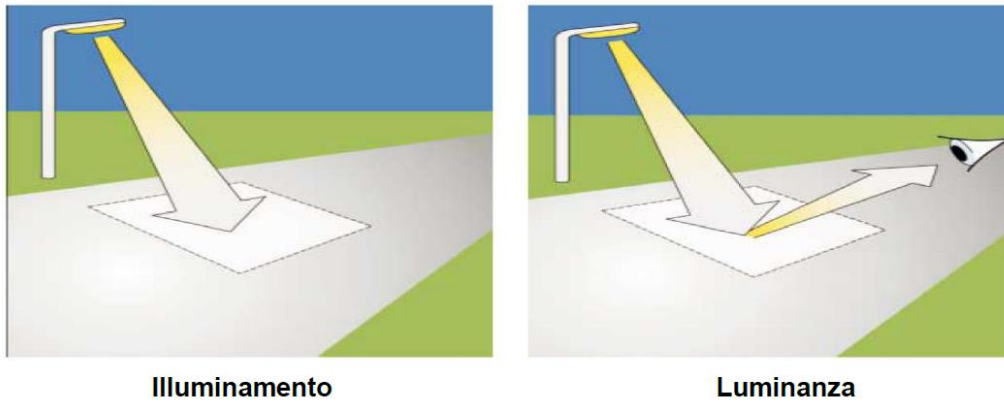
$M$ : è detta radianza ovvero corrisponde al rapporto tra il flusso luminoso emesso da un elemento di superficie contenente il punto e l'area della superficie stessa,  $M = \frac{d\varphi}{dA}$  e viene misurata in  $lm/m^2$ .

L'unità di misura della luminanza invece è il *nit* [nit] che corrisponde a  $1 cd/m^2$ .

La differenza fra illuminamento e luminanza è visibile in Figura 1.5:

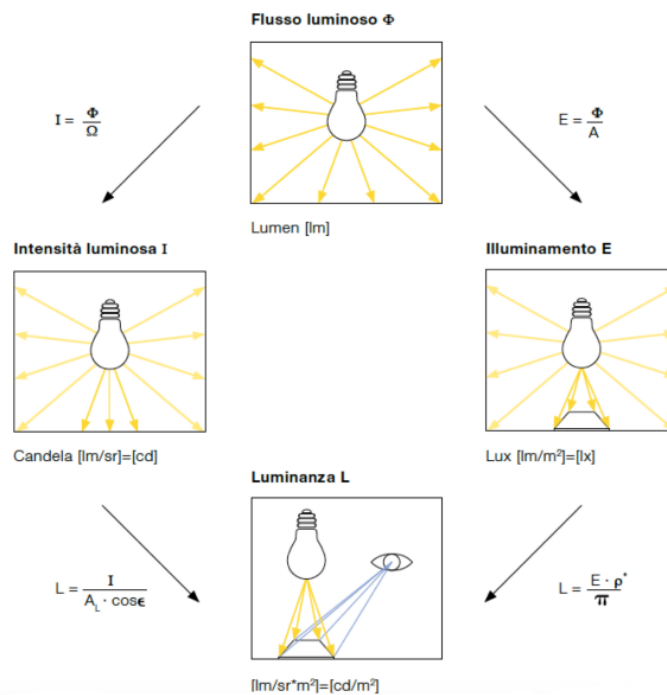
---

<sup>3</sup> da V. Cataliotti, G. Morana, “Impianti elettrici di illuminazione”, Flaccovio, 2010



**Figura 1.5** Differenza fra illuminamento e luminanza [3]

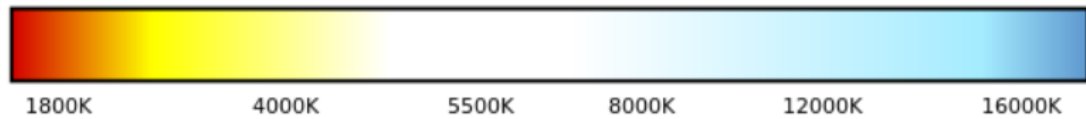
Riassumendo si ha che:



**Figura 1.6** Riassunto delle definizioni illuminotecniche [4]

- **Temperatura di colore:** consiste nella la temperatura espressa in gradi Kelvin alla quale occorre portare un corpo nero affinché emetta una radiazione luminosa cromaticamente uguale alla radiazione (avente una tonalità di colore uguale a quella della sorgente) stessa. La scala dei colori è visibile in Figura 1.7:





**Figura 1.7** Temperatura di colore [1]

Da cui si può definire che:

- 2000 – 4000K si ha luce calda
- 4000 – 6000K si ha luce bianca
- > 6000K si ha luce fredda

Nota la temperatura di colore è possibile definire la resa cromatica del corpo illuminante. Quest'ultima viene definita come il grado di fedeltà con cui la sorgente luminosa riesce a rendere i colori dell'oggetto/i illuminati. Facendo uso di un set di colori campione illuminati dapprima da una sorgente di riferimento, ad esempio la luce del sole, e poi dalla sorgente della quale si vuole stimare la resa cromatica, è possibile elaborare un indice generale di resa cromatica  $R_a$  (o *CRI*, *Color Rendering Index*) che può assumere valori compresi tra 0 e 100. [1] [4]

## 1.2 Principali dispositivi per l'illuminazione pubblica

Le sorgenti luminose sono generalmente classificate in base alla natura della sostanza a cui è da attribuire l'emissione della radiazione luminosa, che può avere origine da materiali solidi o aeriformi. In particolare, verranno esposte in breve le principali soluzioni utilizzate per l'illuminazione esterna. Verranno quindi confrontate le tecnologie di illuminazione passate con tecnologie più all'avanguardia.

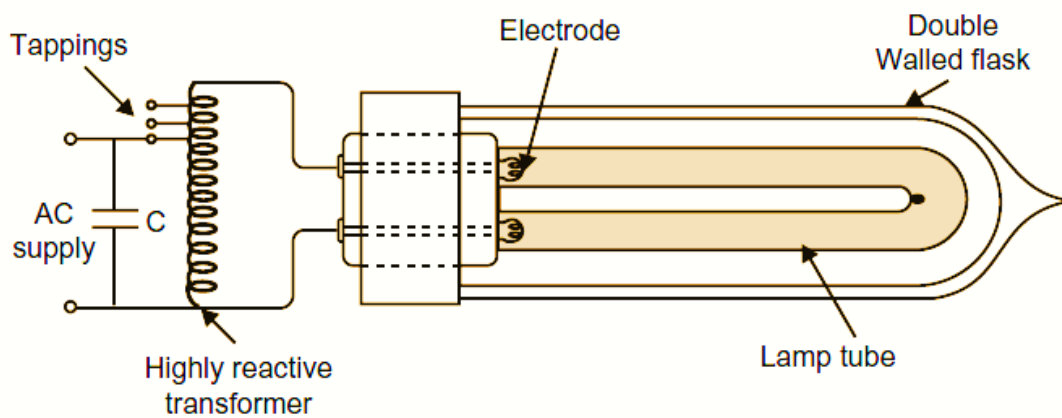
### 1.2.1 Lampade a vapore di sodio a bassa/alta pressione

Le lampade ai vapori di sodio appartengono alla grande famiglia delle lampade a scarica, queste venivano prodotte in due diverse configurazioni:

- Ai vapori di sodio a bassa pressione
- Ai vapori di sodio ad alta pressione (conosciute anche come "SAP")

Queste lampade sono costituite da un'ampolla e/o un tubo di vetro/quarzo contenente un gas inerte miscelato ad un sale. Questo viene posto fra due elettrodi, e una volta applicata una differenza di potenziale fra i due si innesca una scarica nel gas e, per ionizzazione avviene il rilascio di fotoni e quindi di luce. Queste lampade, quindi, operano grazie alla ionizzazione elettrica del sodio e del neon presenti nel bulbo della lampada. Per generare la scarica è necessario un accenditore, ovvero un dispositivo in grado di generare una sovratensione ad impulso all'accensione della lampada per portare il potenziale agli elettrodi a circa  $1000 \div 5000 \text{ V}$  in modo tale da instaurare un arco elettrico ed accendere la lampada. Per questi apparecchi era necessario installare gli accenditori il più vicino possibile alle lampade per contenere al minimo la lunghezza e quindi la capacità dei cavi interessati all'impulso, in quanto se fossero troppo lunghi crescerebbe la capacità del cavo che potrebbe cortocircuitare l'accenditore. L'evoluzione di questi apparecchi si riscontra nelle lampade a vapore di sodio ad alta pressione dove il funzionamento è garantito da una maggiore quantità di sodio nel bulbo e una pressione più elevata per ionizzare il gas. Ciò produce una luce molto più brillante e meno specificamente gialla rispetto alle lampade a bassa pressione ovvero con una temperatura di colore di circa 2000 K. Queste lampade hanno una resa cromatica  $R_a \cong 20 \div 60$  la quale rende questa soluzione la più

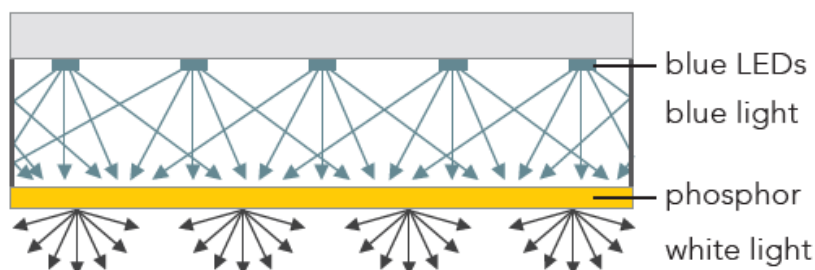
utilizzata negli impianti di illuminazione pubblica attualmente installata in Italia, laddove le operazioni di *relamping* non siano già state effettuate. Queste lampade hanno il vantaggio di avere una lunga durata per l'epoca e sono adatte alla riduzione del flusso luminoso tramite appositi apparati installati nei quadri elettrici o direttamente sui dispositivi. Nel comune di Sant'Omero fu eseguita un'opera di *relamping* agli inizi degli anni duemila sostituendo le lampade a vapori di mercurio con lampade al sodio ad alta pressione diminuendo, all'epoca, drasticamente la potenza complessiva installata. Inoltre, furono installati nei quadri elettrici che alimentano un numero consistente di lampade, dei regolatori di flusso centralizzati addizionati di orologio astronomico che ha permesso fino al 2016 (anno in cui l'azienda fornitrice dei regolatori di flusso non fallì) di regolare il flusso delle lampade per ottenere un'accensione e uno spegnimento a tensione graduale così da prolungare la vita delle lampade regolate. Ai fini progettistici è utile fare notare come all'accensione queste lampade assorbono una corrente pari a circa  $1,5 I_n$  per i primi  $4 \div 5 \text{ min}$  ovvero, tempo dopo il quale la temperatura e la pressione all'interno della lampada si sono stabilizzati. In Figura 1.8 è visibile lo schema semplificato di una lampada a vapori di sodio:



**Figura 1.8** Schema di una lampada a vapori di sodio ad alta pressione [5]

## 1.2.2 Lampade a LED

I LED (*Light Emitting Diode*) sono dispositivi semiconduttori che convertono l'energia elettrica direttamente in luce. Funzionano seguendo un processo elettroluminescente che avviene all'interno del diodo. Un led è costituito sostanzialmente da un diodo, ovvero da due regioni di semiconduttore drogato, uno di tipo  $n$  (drogato con elettroni (negativi)) e uno di tipo  $p$  (drogato con lacune (positive)) affiancate a formare una giunzione  $p-n$ . I materiali semiconduttori comunemente utilizzati includono il silicio (Si) e il germanio (Ge), ma per i led emettitori di luce, viene utilizzato principalmente il nitruro di gallio (GaN). Il processo di emissione della luce avviene nella giunzione quando una corrente elettrica è applicata al dispositivo, gli elettroni in eccesso nella regione  $n$  e le lacune in eccesso nella regione  $p$  iniziano a migrare verso la giunzione  $p-n$ . Quando un elettrone proveniente dalla regione  $n$  raggiunge una lacuna nella regione  $p$ , si verifica un processo noto come ricombinazione. Durante la ricombinazione, l'energia elettrica viene rilasciata sotto forma di fotoni raggiungendo la massima luminosità istantaneamente a differenza delle lampade a scarica. I fotoni emessi durante la ricombinazione hanno una determinata lunghezza d'onda, che determina il colore della luce prodotta. Questo è un aspetto chiave dei led, poiché consente di produrre luce in una vasta gamma di colori, a seconda del materiale semiconduttore utilizzato. La lunghezza d'onda della luce emessa, e perciò il suo colore, dipende dal *band gap* (banda proibita) dei materiali che formano la giunzione  $p-n$ . I materiali usati hanno una band gap diretta, con energie che corrispondono a luce quasi-infrarossa, visibile e quasi-ultravioletta. Per l'illuminazione stradale comunemente si usano led blu, che danno una luce bianca una volta incapsulati in un involucro al fosforo come visibile in Figura 1.9.



**Figura 1.9** Principio di un modulo led che genera luce bianca [6]

La scelta del materiale semiconduttore, quindi, influisce sul colore della luce emessa. A differenza delle lampade tradizionali, i led emettono luce direttamente dal materiale semiconduttore, senza la necessità di un filamento che si riscalda (come nelle lampade a incandescenza) o di gas ionizzato (come nelle lampade a scarica). Questo rende i led molto più efficienti nel trasformare l'energia in luce. È importante notare come il flusso luminoso può essere controllato variando la quantità di corrente elettrica che lo attraversa. Inoltre, questi dispositivi sono estremamente versatili e sono diventati la scelta migliore per molte applicazioni di illuminazione grazie alla loro efficienza energetica, lunga durata, flessibilità di colore e dimensione compatta. Si nota che una lampada a scarica presentava una vita di circa 10.000 ore, mentre i led possono funzionare per più di 100.000 ore. Queste proprietà dei led rendono la loro applicazione vantaggiosa sia dal punto di vista di efficienza energetica sia dal punto di vista funzionale. [7] Un esempio di apparecchio a led è visibile in Figura 1.10:



**Figura 1.10** Esempio lampada LED [8]

Per ottenere il massimo efficientamento energetico e una migliore resa ambientale è necessario, partendo dalla progettazione, realizzare un piano di rifacimento avente come punto centrale le caratteristiche dei corpi illuminanti scelti. Infatti, questi presentano la caratteristica di avere un flusso luminoso altamente modulabile ed indirizzabile cosicché si possa prestare alle più disparate applicazioni, non avendo inutili dispendi di energia e luce laddove non necessari (effetto visibile in Figura 1.11). È importante fare notare che, utilizzando apparecchiature ad-hoc, è possibile ridurre

al minimo quella parte di flusso luminoso che si disperde oltre i 90° rispetto alla perpendicolare al terreno, così da ottenere un minor impatto ambientale anche per tutti quegli animali notturni che ne sarebbero colpiti, oltre ovviamente, a poter illuminare solamente ciò per il quale l'apparecchio è stato installato (carreggiata, marciapiede, pista ciclopedonale, attraversamento pedonale, etc). Questo tema viene poi approfondito nel Paragrafo 2.1.1.



**Figura 1.11** Differenze di distribuzione del flusso luminoso

Per fare ciò gli apparecchi di illuminazione contengono elementi ottici come riflettori, rifrattori e lenti che determinano la distribuzione desiderata della luce generando un fascio luminoso uniforme e ben direzionato. [4] In particolare, AEC Illuminazione è una delle uniche aziende in Europa a realizzare ed utilizzare ottiche in alluminio che garantiscono prestazioni e durabilità elevate. [9]. In Figura 1.12 è possibile osservare degli esempi di ottiche mostratemi in azienda durante il periodo di tirocinio.



**Figura 1.12** Ottiche AEC

### 1.3 Maintenance Factor

Il *maintenance factor (MF)* è un parametro che dipende dall'invecchiamento della sorgente luminosa e dall'insudiciamento dell'apparecchio. Corrisponde quindi a un moltiplicatore che esprime la diminuzione dell'emissione luminosa della sorgente installata. Si nota infatti che, durante il periodo di funzionamento, si verifica una diminuzione del flusso luminoso (in termini di lumen) dovuta all'invecchiamento della stessa sorgente luminosa, all'invecchiamento delle ottiche e all'inquinamento e sporcizia che possono depositarsi sul vetro di protezione. Nel calcolare i livelli di illuminazione, è necessario tenere in considerazione queste problematiche, in particolare, il *maintenance factor* viene calcolato in base al tipo di lampada, all'intervallo di manutenzione, al tempo di funzionamento, e a fattori ambientali. Analiticamente si ha:

$$MF = LMF \times LLMF \times LSF$$

1.7

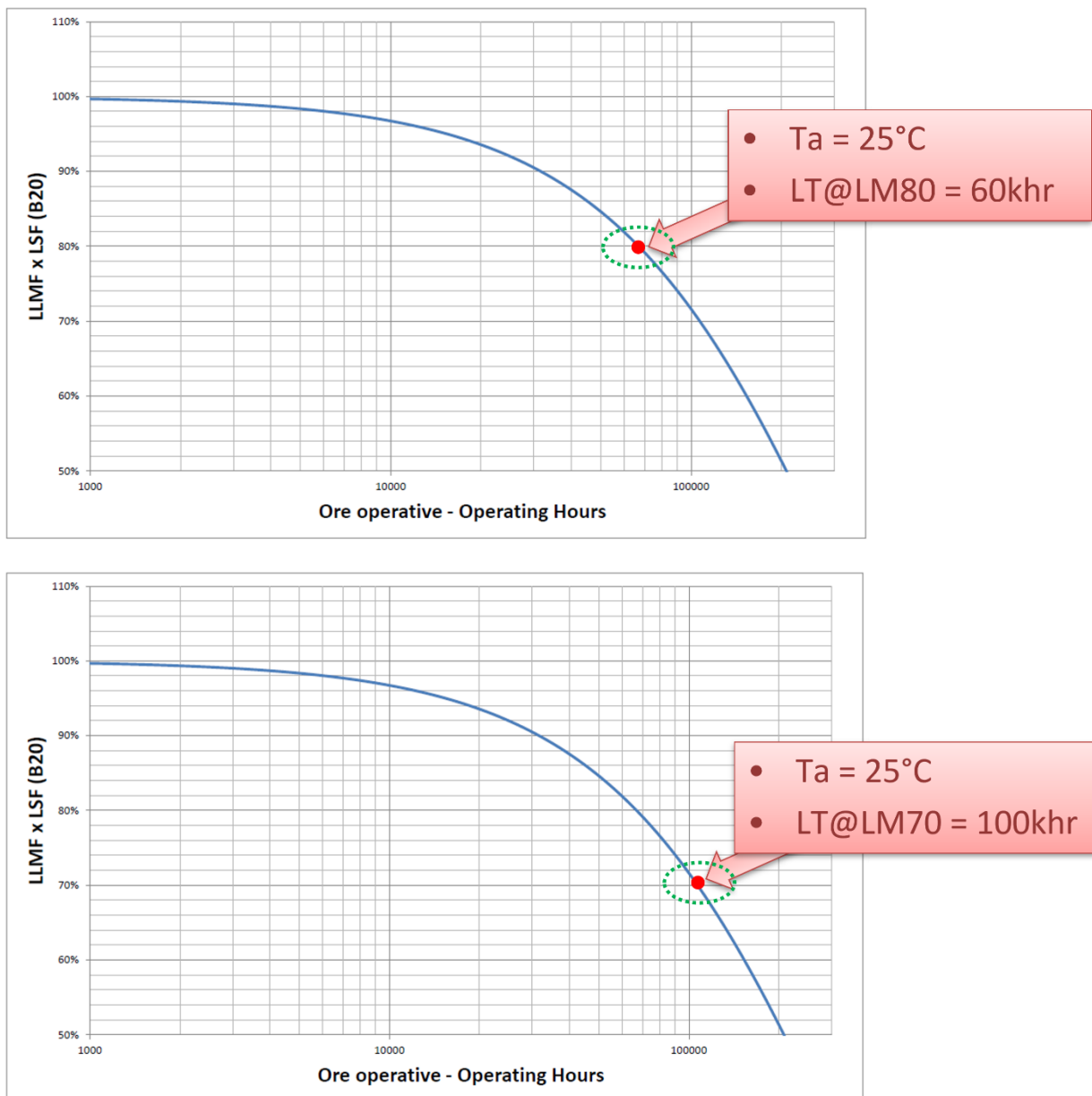
Dove:

*LMF (Luminaires Maintenance Factor)*: corrisponde ad un indicatore per le perdite di luce causate da fattori ambientali;

*LLMF (Lamp Lumen Maintenance Factor)*: indica un decremento in funzione del tempo del flusso luminoso delle lampade stesse;

*LSF (Lamp Survival Factor)*: Indica lo stato di guasto della lampada.

È importante far notare che il *MF* deve essere correlato alla durata di vita, infatti, in base alla vita del prodotto il *MF* decresce velocemente come possibile vedere in Figura 1.13:

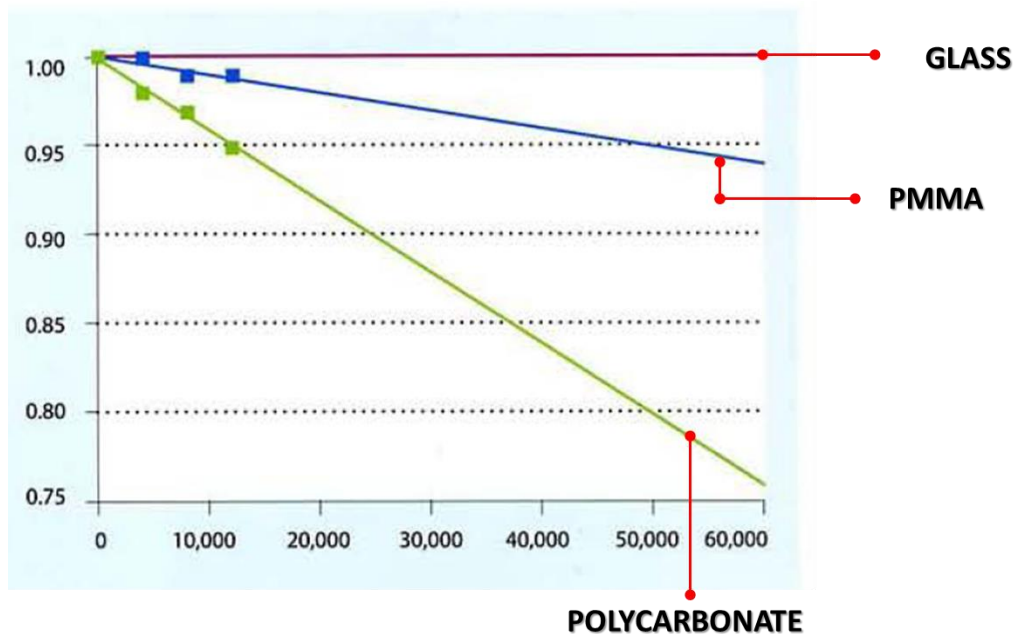


**Figura 1.13** Andamento del MF in funzione della vita dell'apparecchio

Concentrandosi sui parametri che compongono in  $MF$  si ha che il  $LMF$  è un parametro puramente dipendente dalla tecnologia di lente utilizzata dalla lampada. La protezione esterna può essere realizzata in PMMA (polimetilmetacrilato) o PC (*policarbonato*) oppure come per i prodotti AEC in vetro. Per i primi due tipi, il degrado è generalmente causato da sporco, contaminanti atmosferici e dall'invecchiamento del materiale stesso, inoltre questi materiali sono sensibili all'utilizzo di solventi aggressivi che possono generare un rapido degrado quando la struttura plastica viene attaccata. Il policarbonato rispetto al PMMA risulta, ad inizio vita, più robusto e resistente agli urti,

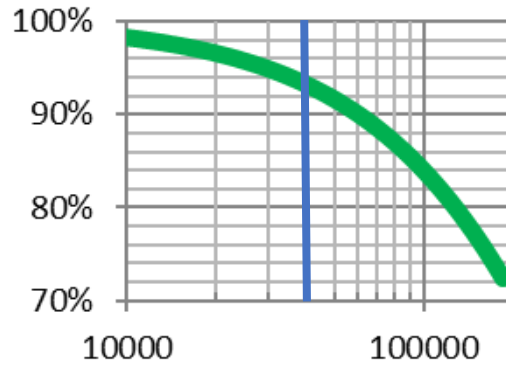


tuttavia, il materiale si degrada velocemente in presenza di radiazioni UV e all'aumentare della temperatura. È importante quindi mantenere la temperatura di servizio del materiale al di sotto di circa  $90^{\circ} - 100^{\circ}\text{C}$  (ad esempio garantendo che la potenza della lampada utilizzata nell'apparecchio di illuminazione sia adeguatamente limitata). I dispositivi a led forniti da AEC sono realizzati con una protezione in vetro che permette di mantenere la stabilità della prestazione durante tutta la vita del dispositivo in quanto molto meno sensibile a tutti gli agenti invecchianti rispetto ai materiali plastici. In Figura 1.14 è possibile verificare la differenza di prestazioni fra vetro e le altre tipologie di schermatura.



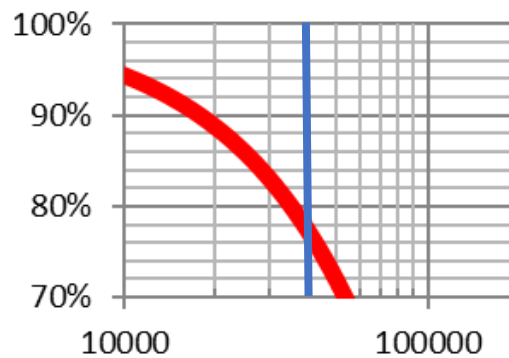
**Figura 1.14** LMF dei diversi materiali in funzione delle ore

Si può quindi ottenere un grafico complessivo per il *maintenance factor* facendo il prodotto punto a punto dei due grafici precedentemente esposti. Per il vetro è possibile ottenere il seguente andamento:



**Figura 1.15** MF per il vetro

Mentre per il policarbonato si ottiene:



**Figura 1.16** MF per il PC

Dalle Figure 1.15 e 1.16 si vede come le prestazioni siano decisamente peggiori all'aumentare della vita dell'installazione. Risulta quindi fondamentale, ai fini energetici, scegliere un'apparecchiatura adeguata con gli standard energetici da ottenere. Il sistema ottico proposto da AEC è l'HIGH PERFORMANCE OPTIC, basato su led e ottica a riflettore di alluminio ad elevata efficienza. Il gruppo ottico AEC è protetto da vetro piano temperato trasparente in modo da fornire le massime prestazioni attese. [10] [11]

## 1.4 Failure Rate

Il *failure rate* corrisponde ad un parametro per definire il fine vita di un apparecchio a led. In particolare, si ha che per un apparecchio di illuminazione a fine vita, si intende quando non permette più di illuminare in modo appropriato l'ambiente per cui è stato impiegato e non necessariamente che l'apparecchio sia spento. La fine vita dell'apparecchio è determinata da:

- Il decadimento del flusso luminoso del modulo led (si intende che con l'apparecchio acceso, questo non fornisce un flusso luminoso uscente adeguato a causa del degrado delle sorgenti);
- Il degrado dei componenti del gruppo ottico (si intende che con l'apparecchio acceso presenta un flusso luminoso uscente non adeguato a causa di deformazione o perdita di trasparenza degli schermi o altri componenti interessati dal passaggio della luce);
- Guasto dell'alimentatore che determina lo spegnimento totale del modulo led.

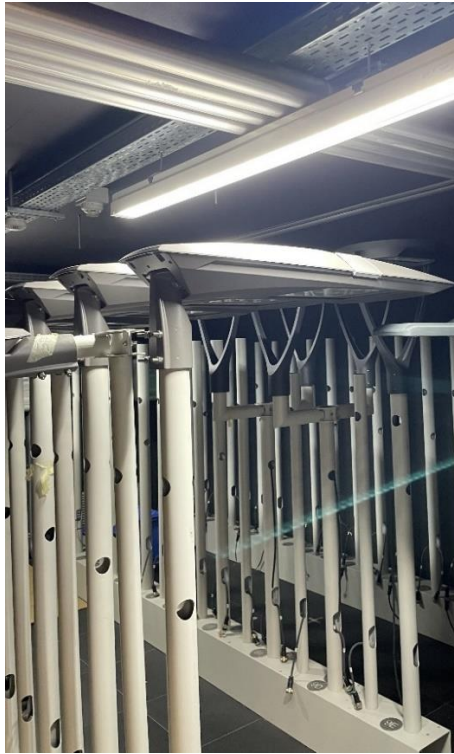
### 1.4.1 Decadimento del flusso luminoso del modulo led

Il flusso luminoso delle apparecchiature a led diminuisce progressivamente durante il funzionamento a causa di un naturale invecchiamento dei componenti interni ad esso. Tale effetto dipende principalmente da due parametri di funzionamento:

- Corrente di pilotaggio:  $I_f$
- Temperatura di lavoro:  $T_{sp}$  (*Solder-Point*)

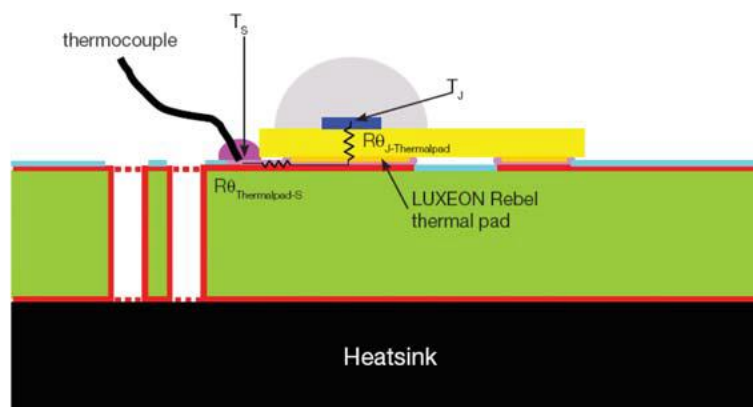
I led sono dispositivi, come i diodi, controllati in corrente e di conseguenza si può facilmente affermare che, più alta è la corrente di pilotaggio, maggiore sarà il flusso luminoso dell'apparecchio, comportando un aumento della potenza impiegata ma una possibile diminuzione dell'efficienza luminosa ( $lm/W$ ). È inoltre noto come, all'aumentare della corrente e della temperatura, l'invecchiamento del modulo led viene accentuato. La temperatura di lavoro viene misurata in laboratorio mediante una prova termica del prodotto. In aziende produttrici come AEC, vengono realizzati test termici interni condotti in una camera termica in conformità alla normativa UNI EN

60598-2-3 e sono effettuati alla temperatura di 30°C e una prova stress a 50°C. In Figura 1.17 viene quindi presentata una fotografia scattata in azienda durante una prova termica:



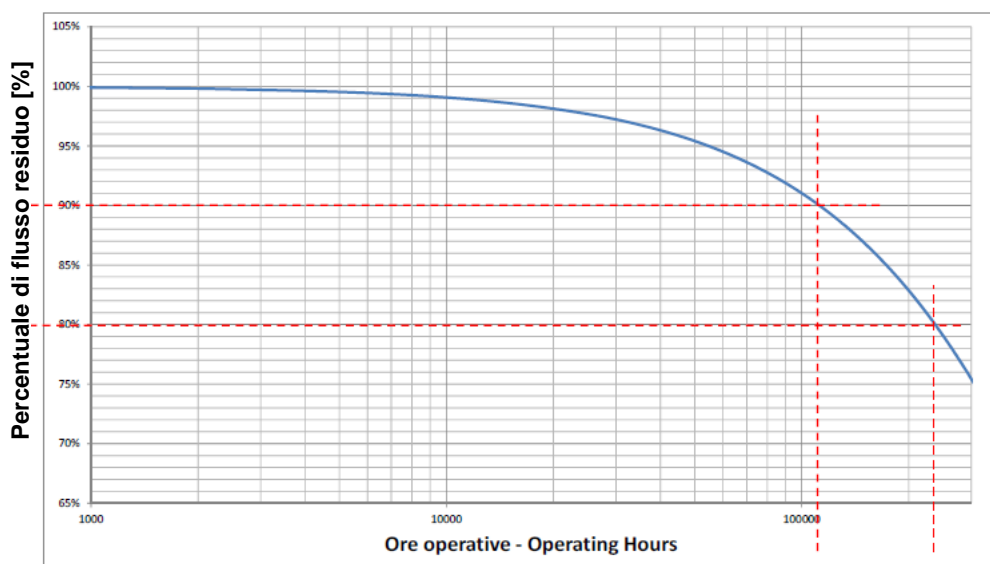
**Figura 1.17** Camera di prova termica nei laboratori AEC

Per ottenere gli opportuni risultati, vengono poste delle sonde termiche in prossimità dei led come visibile in Figura 1.18:



**Figura 1.18** Esempio di misura della temperatura [12]

Al termine della prova termica viene registrato il valore della temperatura di lavoro e vengono considerate solamente le curve di vita che presentano una temperatura uguale o superiore a quella misurata. Da queste curve si ricava il valore di vita stimata del modulo led relativo al deprezzamento luminoso naturale.



**Figura 1.19** Grafico relativo al decadimento luminoso all'aumentare delle ore operative

È importante notare come, in funzione del deprezzamento indicato ( $LLMF$ ) si ottengano valori di vita diversi. Il grafico in Figura 1.19 rappresenta la curva di funzionamento di un modulo led con corrente di  $700\text{ mA}$  e temperatura di lavoro  $T_{sp} = 85^{\circ}\text{C}$ . Secondo l'esempio in Figura 1.19 la vita del modulo led dell'apparecchio è indicata come:

- Vita modulo led ( $700\text{ mA}$ ,  $T_q = 25^{\circ}\text{C}$ ) > 100.000 h quando indicato L90B10 oppure
- Vita modulo led ( $700\text{ mA}$ ,  $T_q = 25^{\circ}\text{C}$ ) > 200.000 h quando indicato L80B10

Da notare che la vita utile può essere data secondo due distinte “metriche”, le quali fanno riferimento a convenzioni e Norme specifiche. L90 indica un flusso residuo del 90% rispetto a quello iniziale dell'intero gruppo ottico. B10 indica invece che tale parametro sarà rispettato da “non meno” del 90% dei moduli ottici. Quanto sopra sta a significare che pur indicando un valore molto restrittivo L90 vi è incertezza sul destino delle prestazioni fotometriche del 10% degli apparecchi. Tuttavia, questo viene

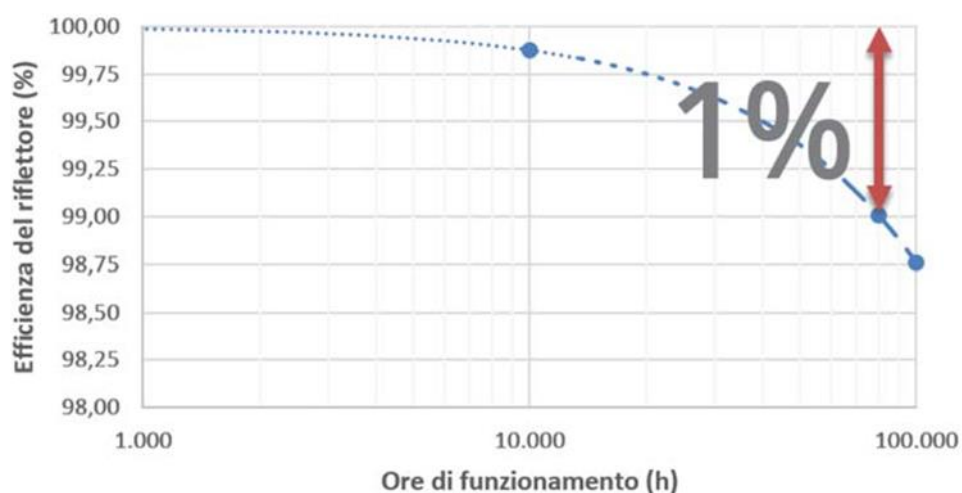
compensato a livello Normativo “sovra-illuminando” la strada come si vedrà nel paragrafo 2.2. È importante anche definire la sigla TM21 che si riferisce alla vita delle sorgenti led così come data dal fornitore e non al modulo ottico. Si prenda ad esempio il codice L90 rilasciato secondo TM21, questo indica che la perdita di flusso luminoso del 90% (L90) sarà rispettato da “non meno” del 50% delle sorgenti. I corpi illuminanti scelti per questo progetto hanno come caratteristiche di vita del gruppo ottico:

- L90B10 per una vita > 100.000 h
- L90, TM-21 per una vita > 100.000 h

[13]

### 1.4.2 Degrado dei componenti del gruppo ottico

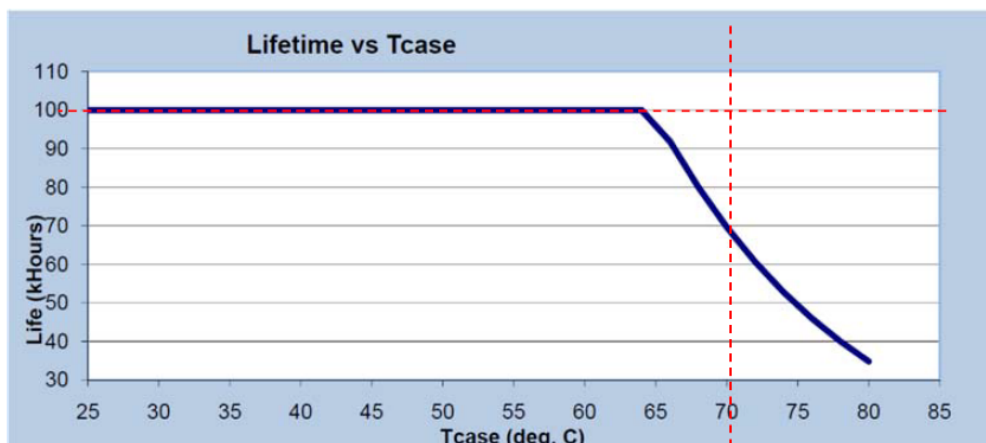
Il sistema ottico ad elevata efficienza proposto all’interno del catalogo AEC consente di mantenere nel tempo le qualità fotometriche della sorgente, senza alterare in maniera significativa il flusso luminoso o le proprietà colorimetriche dell’emissione luminosa. La massima perdita di efficienza del riflettore AEC è inferiore all’1% in 80.000hr di funzionamento nelle condizioni più gravose in quanto vengono utilizzate ottiche in alluminio che non hanno perdite di prestazione durante tutta la durata di vita. Questo è stato verificato seguendo diverse prove di stress per verificare e accertare un mantenimento della performance per la quasi totalità della vita dell’apparecchio come visibile in Figura 1.20:



**Figura 1.20** Grafico di declassamento dei componenti del gruppo ottico

### 1.4.3 Guasto all'alimentatore

L'alimentatore come tutti i sistemi elettronici è caratterizzato da una propria affidabilità. Anche per questo componente si può definire una vita sulla base delle condizioni operative di funzionamento. In particolare, la vita dell'alimentatore può essere stimata in funzione della temperatura di lavoro misurata in uno specifico punto dell'involucro esterno indicato dal costruttore ( $T_c$  point). A differenza del modulo ottico la vita utile dell'alimentatore non fa riferimento al "degrado" dello stesso, infatti, se utilizzato secondo le indicazioni del fornitore questo non ha perdite prestazionali durante il suo ciclo di vita. La prova termica realizzata per misurare la temperatura di lavoro del modulo led è utilizzata anche per registrare i dati di funzionamento dell'alimentatore e la temperatura  $T_c$  misurata viene utilizzata nei grafici del costruttore del led driver per stimare la vita del componente. Si riporta un grafico di esempio da cui si può estrapolare la vita degli alimentatori in funzione della misura della temperatura critica. I dati del costruttore fanno tipicamente riferimento ad un *failure rate* specifico.



**Figura 1.21** Durata di vita dell'alimentatore in funzione della temperatura  $T_c$

Come si vede, la durata di vita massima dichiarata dai costruttori di alimentatori è di 100.000 h. Questa si riduce drasticamente al superamento della temperatura  $T_c$  di 65°C. Dal momento che, allo stato dell'arte odierno, gli alimentatori hanno una durata di vita dichiarata di 100.000 h, anche se i moduli LED possono raggiungere vite superiori, il deprezzamento del modulo ottico viene riferito convenzionalmente a 100.000h. I migliori costruttori di alimentatori dichiarano un "tasso di guasto" (*failure rate*) dell'alimentatore del 10% a 100.000 h. I costruttori, solitamente, non dichiarano

la distribuzione temporale dei guasti; tuttavia, è possibile frazionare tale valore distribuendolo in maniera proporzionale sulle 100.000 h, ipotizzando un “tasso di guasto” del 1% degli alimentatori ogni 10.000 h. [14]

## 1.5 Variatori di flusso luminoso (dimmer)

Un grande vantaggio dei led di ultima generazione è la possibilità di effettuare una dimmerazione del carico, ovvero la possibilità di utilizzare un regolatore elettronico per controllare la potenza elettrica assorbita dalla lampada (limitandola a piacimento). La regolazione del flusso luminoso durante la notte, in modo automatico o da remoto, consente di evitare spreco di energia. Gli apparecchi AEC sono progettati per essere equipaggiati con vari tipi di sistemi di telegestione e illuminazione adattiva, come ad esempio la presenza di porte Zhaga e DALI, per permettere la massima riduzione energetica e allo stesso tempo mantenere la sicurezza della percezione visiva. La soluzione integrata mediante sistemi di telegestione remota permette di centralizzare i dati di funzionamento degli impianti in modo da poter ottimizzare la gestione della manutenzione. Attraverso i sensori e i moduli di interfaccia presenti negli apparecchi di illuminazione è possibile interfacciarsi a sensori di traffico e di condizioni meteo stradali consentendo di pianificare strategie di regolazione della luce volte a garantire la sicurezza massima per l'utente finale fornendo quindi un'illuminazione “on demand”. Diversamente dall'illuminazione tradizionale, l'illuminazione a led non si connette direttamente alla corrente elettrica ma si alimenta attraverso un *driver* che si incarica di trasformare la tensione che riceve dalla rete elettrica per adattarla alle necessità del dispositivo. Il *driver*, quindi, regola il flusso di elettricità per garantire che un led o una serie di led, riceva sempre un livello di tensione e corrente adeguate, indipendentemente dalle variazioni nelle caratteristiche elettriche dei corpi illuminanti. Nei successivi paragrafi verranno enunciati i principali metodi per la regolazione del flusso luminoso.

### 1.5.1 Regolazione automatica del flusso (DA)

Con la regolazione automatica del flusso si intende definire quegli apparecchi di illuminazione pre-programmati (solitamente dal costruttore) con intervalli di tempo



prefissati per il funzionamento. La regolazione avviene impostando un profilo automatico che permette di sfruttare la massima intensità luminosa nelle prime e nelle ultime ore di accensione dell'impianto, riducendo il livello di intensità della luce nelle ore centrali della notte. Questa è la situazione di gran lunga più semplice ed economica, in quanto non richiede ulteriore controllo o sistemi di rete.

## 1.5.2 Regolazione custom DAC

Il sistema di regolazione del flusso DAC segue lo stesso principio dell'opzione DA con l'unica differenza che è personalizzabile, ciò significa che è possibile variare gli orari di gestione massima e minima del flusso luminoso a seconda dell'esigenza dell'impianto e in concomitanza con le leggi regionali. Un esempio di regolazione automatica *custom* può essere visto in Figura 1.22:

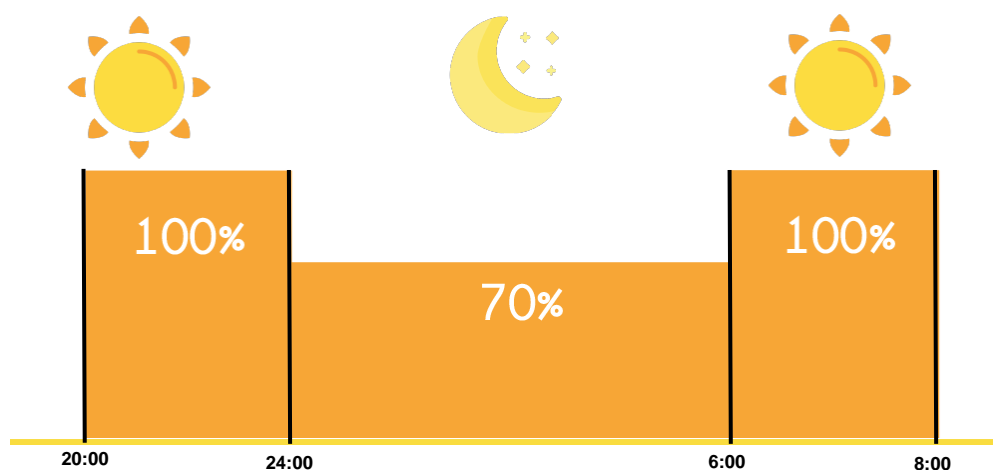
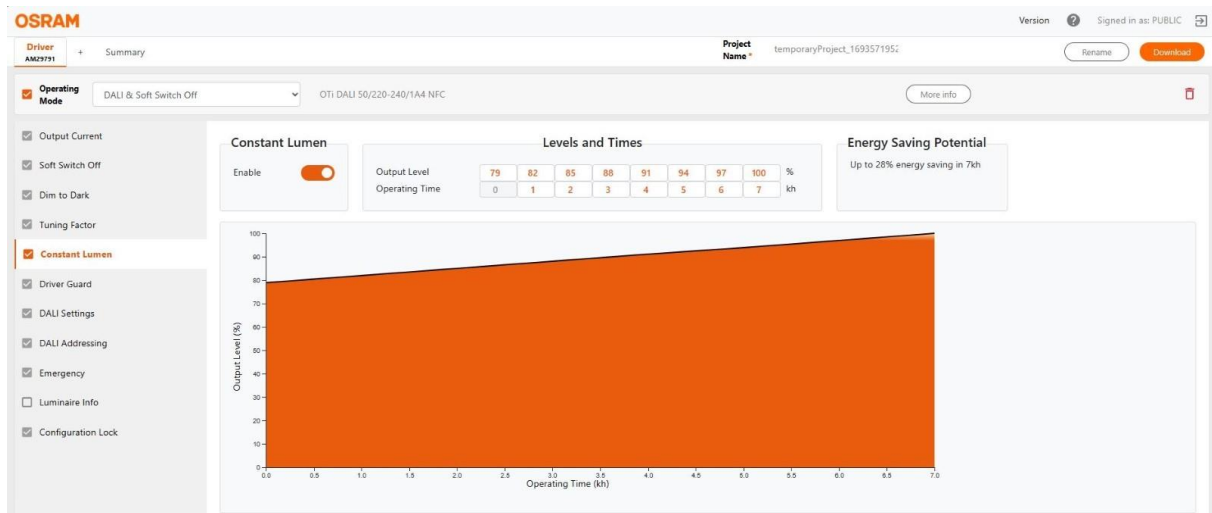


Figura 1.22 Sistema di regolazione DA

Per il comune di Sant’Omero, verrà utilizzata questa tecnica di regolazione che viene chiamata in gergo “Mezzanotte virtuale”. In aggiunta a ciò, i *driver* che si interfacciano ai moduli led attraverso la corrente di pilotaggio, verranno programmati in modo tale che ad inizio vita avvenga una riduzione del 20% della potenza assorbita. Al crescere delle ore di vita e al diminuire delle prestazioni del corpo illuminante, verrà aumentata la corrente di pilotaggio progressivamente fino al 100% poiché le prestazioni del led diminuiranno gradualmente all’aumentare delle ore di vita seguendo la Norma UNI 13201 – 5 sul CLO (*Constant Lumen Output*). In Figura 1.23 si vede un esempio di

programmazione di un *driver* OSRAM e come aumenta la corrente di pilotaggio in funzione delle kilo-ore.



**Figura 1.23** Programmazione driver di alimentazione

Attraverso questa metodologia, si intende mantenere le performance del corpo illuminante invariate per tutta la vita dell'apparecchio garantendo un ulteriore risparmio energetico in quanto la potenza effettivamente consumata è minore.

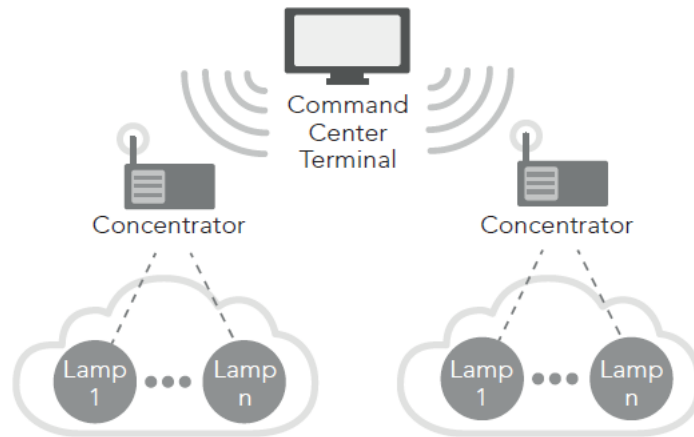
### 1.5.3 Regolazione centralizzata

In un sistema di controllo centralizzato dell'illuminazione stradale, un sistema centrale manda un segnale di controllo a tutti gli apparecchi di un determinato gruppo sotto forma di onde convogliate attraverso la linea elettrica. Questa configurazione permette una certa flessibilità nella regolazione delle luci in caso di mutate necessità, in quanto possono essere utilizzati sensori in grado di inviare segnali a tutto il gruppo connesso. Sensori di questo tipo devono essere puliti regolarmente per garantire un funzionamento corretto, in quanto malfunzionamenti potrebbero creare grossi problemi di sicurezza. Questa regolazione permette inoltre di attenuare la luce in base all'orario, riducendo o spegnendo la luce di alcune lampade in specifici orari o zone, come durante la notte quando il volume di traffico previsto è basso. Con questa regolazione il flusso di informazioni è a senso unico, ovvero si ha che il nodo centrale può determinare lo stato dei gruppi di luci ma esso non riceve informazioni sul loro stato individuale o su qualsiasi altra condizione del luogo. Sia il sistema di controllo

centralizzato sia quello dinamico richiedono la messa in pratica di un sistema ICT (*Information and Communications Technology*) con vari livelli di complessità. Nonostante essi permettano opzioni aggiuntive per il risparmio energetico, richiedono anche maggiori risorse e conoscenze per l'installazione e il mantenimento, in quanto la complessità addizionale aumenta i rischi di guasto del sistema.

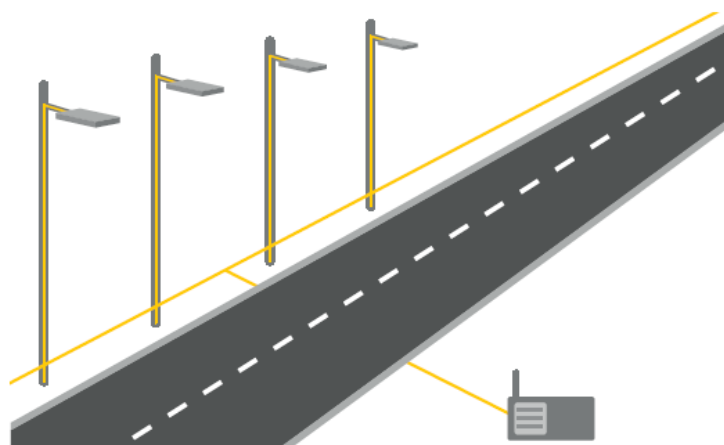
#### 1.5.4 Regolazione dinamica

Il controllo dinamico dell'illuminazione stradale può controllare sia in gruppo che individualmente tutti gli apparecchi installati ed inoltre attraverso un server di controllo centrale può anche raccogliere informazioni sul loro stato dai dati dei sensori (per esempio in caso di difetti o guasti) a seconda dei sensori installati (come quelli di consumo energetico, temperatura di funzionamento o ambientale, luce dell'ambiente, traffico, presenza di pedoni). Con questa regolazione è possibile eseguire dei cambiamenti nella programmazione dell'illuminazione attraverso il server ed inviarli agli apparecchi senza la necessità che questi vengano modificati. Tuttavia, come già riportato, questa flessibilità aggiuntiva porta con sé una considerevole complessità e quindi un costo aggiuntivo. Inoltre, per favorire la sicurezza, le luci devono essere installate con sistemi anti-guasto che assicurino una sicurezza minima di notte, anche quando ricevono comandi erranei o nulli dal sistema di controllo. I sistemi di controllo intelligenti di ultima generazione sono generalmente controllati da un centro di comando centrale, che è spesso un server contenuto negli uffici delle autorità locali. Questo server (visibile in Figura 1.24) monitora un grande numero di lampade e manda comandi che determinano il comportamento delle singole lampade. I comandi non sono però ricevuti direttamente dal sistema di controllo della lampada, ma prima passano attraverso concentratori che poi trasferiscono il messaggio al network locale dell'area, che è composta da un numero limitato di lampade, e agli attuatori che li controllano.



**Figura 1.24** Schema server – concentratori - lampade

Per capire e scegliere un'organizzazione di un sistema di controllo sono necessari due concetti tecnologici – la tecnologia di comunicazione (come l'informazione viene trasmessa) e il protocollo di comunicazione (come l'informazione è codificata). Ci sono due livelli di comunicazione in un sistema di illuminazione stradale, associati alla tecnologia di comunicazione: dal centro di comando ai concentratori, e dai concentratori alle lampade individuali. Entrambi possono trasmettere informazioni o via cavo o con segnali wireless, ed entrambe le opzioni hanno conseguenze sulla scelta dei protocolli di comunicazione disponibili. La comunicazione via cavo tra il centro di comando e i concentratori generalmente usa protocolli standard di comunicazione Ethernet. Invece, i network locali via cavo per l'illuminazione stradale generalmente usano una comunicazione mediante linea di trasmissione (*power-line communications*, PLC) modulando i segnali sulla linea di trasmissione elettrica per scambiare informazioni come visibile in Figura 1.25.



**Figura 1.25** Connessione tramite linea ethernet

La comunicazione wireless tra il centro di comando e i concentratori richiede che la distanza relativamente ampia tra i due possa essere coperta con segnali wireless. I segnali wireless tra i concentratori e le singole lampade possono essere applicati come una rete magliata, il che non permette la caduta di connessione in caso di mancanza di visibilità diretta tra i nodi. Protocolli adatti per questo *layer* di rete includono ad esempio il DALI (*Digital Addressable Lighting Interface*) standard IEC sviluppato per il monitoraggio degli apparecchi di illuminazione che può controllare fino a 64 nodi, esempio visibile in Figura 1.26.



**Figura 1.26** Connessione wireless tra lampioni e concentratori

[15]



# Capitolo 2

In questo capitolo verranno descritte le principali norme CEI e norme UNI utili ai fini della regolamentazione della pubblica illuminazione.

## 2. Normativa CEI e UNI

### 2.1 Norma UNI EN 13201:2016

La norma UNI EN 13201 è suddivisa in 5 parti di cui verranno trattate in questo capitolo solamente la parte 2,4,5.

#### 2.1.1 Norma UNI EN 13201 – 2

In questa sezione della norma vengono definiti i requisiti prestazionali per l'impianto di illuminazione. Vengono quindi inizialmente definite le categorie illuminotecniche che tengono conto della tipologia di strada e della tipologia di traffico che popola la stessa. In particolare, si ha:

- Categoria M: riguarda i conducenti di veicoli motorizzati su vie di traffico che consentono velocità medio/alte. Per questa categoria viene specificato che i principali criteri illuminotecnici sono basati sulla luminanza del manto stradale della carreggiata e comprendono la luminanza media, l'uniformità generale e l'uniformità longitudinale in condizioni di manto stradale asciutto. Vengono inoltre inserite le seguenti definizioni:
  - $\bar{L}$  corrisponde alla luminanza media del manto stradale
  - Uniformità longitudinale  $U_L$ : corrisponde al rapporto fra il valore minimo e il valore massimo della luminanza del manto stradale rilevata lungo la mezziera di una corsia di marcia
  - Incremento di soglia TI  $f_{TI}$ : incremento percentuale di contrasto di un oggetto necessario per farlo rimanere alla visibilità di soglia in presenza di abbagliamento debilitante prodotto dagli apparecchi di illuminazione stradale;

- Rapporto di illuminazione ai bordi  $R_{EI}$ : illuminamento orizzontale medio su una fascia appena al di fuori del bordo di una carreggiata in rapporto all'illuminamento orizzontale medio su una fascia all'interno del bordo. Viene specificato che le fasce hanno la larghezza di una corsia di marcia della carreggiata;
- Illuminamento medio  $\bar{E}$ : valore medio dell'illuminamento orizzontale espresso in *lux*;
- Illuminamento minimo  $E_{min}$ : valore minimo dell'illuminamento su una zona della strada;
- Illuminamento emisferico  $E_{hs}$ : flusso luminoso su un piccolo emisfero con base orizzontale, diviso la superficie dell'emisfero;
- Uniformità generale  $U_0$ : rapporto tra il valore minimo e il valore medio della luminanza e/o dell'illuminamento;
- Illuminamento semicilindrico  $E_{sc}$ : flusso luminoso totale che cade sulla superficie curva di un semicilindro molto piccolo, diviso per l'area della superficie curva del semicilindro;
- Illuminamento del piano verticale  $E_v$ : illuminamento in un punto su un piano verticale;
- Per livello mantenuto si intende il livello di progetto ridotto di un fattore di manutenzione per tenere conto dell'invecchiamento della lampada.



**Tabella 2.1** Categorie illuminotecniche M

Categoria	Luminanza del manto stradale della carreggiata in condizioni di manto stradale asciutto e bagnato			Abbagliamento debilitante	illuminazione di contiguità	
	Asciutto			Bagnato	Asciutto	
	$\bar{L}$ [minima mantenuta] cd × m <sup>2</sup>	$U_0$ [minima]	$U_l^{a)}$ [minima]	$U_{ow}^{b)}$ [minima]	$f_{T1}^{c)}$ [massima] %	$R_{EI}^{d)}$ [minima]
M1	2,00	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M2	1,50	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M3	1,00	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,30
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	20	0,30

a) L'uniformità longitudinale ( $U_l$ ) fornisce una misura della regolarità dello schema ripetuto di zone luminose e zone buie sul manto stradale e, in quanto tale, è pertinente soltanto alle condizioni visive su tratti di strada lunghi e ininterrotti, e pertanto dovrebbe essere applicata soltanto in tali circostanze. I valori indicati nella colonna sono quelli minimi raccomandati per la specifica categoria illuminotecnica, tuttavia possono essere modificati allorché si determinano, mediante analisi, circostanze specifiche relative alla configurazione o all'uso della strada oppure quando sono pertinenti specifici requisiti nazionali.

b) Questo è l'unico criterio in condizioni di strada bagnata. Esso può essere applicato in aggiunta ai criteri in condizioni di manto stradale asciutto in conformità agli specifici requisiti nazionali. I valori indicati nella colonna possono essere modificati laddove siano pertinenti specifici requisiti nazionali.

c) I valori indicati nella colonna  $f_{T1}$  sono quelli massimi raccomandati per la specifica categoria illuminotecnica, tuttavia, possono essere modificati laddove siano pertinenti specifici requisiti nazionali.

d) Questo criterio può essere applicato solo quando non vi sono aree di traffico con requisiti illuminotecnici propri adiacenti alla carreggiata. I valori indicati sono in via provvisoria e possono essere modificati quando sono specificati gli specifici requisiti nazionali o i requisiti dei singoli schemi. Tali valori possono essere maggiori o minori di quelli indicati, tuttavia si dovrebbe aver cura di garantire che venga fornito un illuminamento adeguato delle zone.

- Categoria C: riguarda i conducenti di veicoli motorizzati, ma si riferiscono a zone di conflitto come strade in zone commerciali, incroci stradali di una certa complessità, rotonde e zone con presenza di coda, in cui i calcoli della luminanza del manto stradale non valgono o risultano inapplicabili.

**Tabella 2.2** Categorie illuminotecniche C

Categoria	Illuminamento orizzontale	
	$\bar{E}$ [minimo mantenuto] lx	$U_0$ [minimo]
C0	50	0,40
C1	30	0,40
C2	20,0	0,40
C3	15,0	0,40
C4	10,0	0,40
C5	7,50	0,40

- Categoria P e HS: riguardano pedoni e ciclisti su marciapiedi, piste ciclabili, corsie di emergenza e altre zone della strada separate. La categoria P si basa sull'illuminamento orizzontale sulla zona della strada ed è espressa mediante

illuminamento medio e minimo. La categoria HS si basa invece sull'illuminazione emisferico sulla zona della strada.

**Tabella 2.3** Categoria illuminotecnica P

Categoria	Illuminamento orizzontale		Requisito aggiuntivo se è necessario il riconoscimento facciale	
	$\bar{E}$ <sup>a)</sup> [minimo mantenuto] lx	$E_{min}$ [mantenuto] lx	$E_{v,min}$ [mantenuto] lx	$E_{sc,min}$ [mantenuto] lx
P1	15,0	3,00	5,0	5,0
P2	10,0	2,00	3,0	2,0
P3	7,50	1,50	2,5	1,5
P4	5,00	1,00	1,5	1,0
P5	3,00	0,60	1,0	0,6
P6	2,00	0,40	0,6	0,2
P7	Prestazione non determinata	Prestazione non determinata		

a) Per ottenere l'uniformità, il valore effettivo dell'illuminamento medio mantenuto non deve essere maggiore di 1,5 volte il valore minimo di  $\bar{E}$  indicato per la categoria.

**Tabella 2.4** Categoria illuminotecnica HS

Categoria	Illuminamento emisferico	
	$\bar{E}_{hs}$ [minimo mantenuto] lx	$U_0$ [minimo]
HS1	5,00	0,15
HS2	2,50	0,15
HS3	1,00	0,15
HS4	Prestazione non determinata	Prestazione non determinata

- Categorie SC: riguardano zone in cui è necessaria un'illuminazione speciale utile all'individuazioni di persone e oggetti e in zone della strada con un tasso di criminalità più alto del normale.

**Tabella 2.5** Categoria illuminotecnica SC

Illuminamento semicilindrico	
Categoria	$E_{sc,min}$ [mantenuto] lx
SC1	10,0
SC2	7,50
SC3	5,00
SC4	3,00
SC5	2,00
SC6	1,50
SC7	1,00
SC8	0,75
SC9	0,50

- Categorie EV: riguardano superfici verticali che devono essere viste in zone della strada come stazioni di pedaggio, zone di intersezione, ecc.

**Tabella 2.6** Categorie illuminotecniche EV

Illuminamento del piano verticale	
Categoria	$E_{v,min}$ [mantenuto] lx
EV1	50
EV2	30
EV3	10,0
EV4	7,50
EV5	5,00
EV6	0,50

La norma definisce quindi i requisiti prestazionali specificati sotto forma di categoria illuminotecnica per l'illuminazione stradale volta a soddisfare le esigenze visive degli utenti della strada e considera gli aspetti ambientali dell'illuminazione stradale. Quando zone di studio adiacenti (per esempio marciapiede adiacente alla strada) e/o contigue (per esempio attraversamento pedonale) prevedono categorie

illuminotecniche diverse che a loro volta impongono requisiti prestazionali basati sulla luminanza o sull'illuminamento è necessario individuare le categorie illuminotecniche che presentano un livello luminoso comparabile come specificato in Tabella 2.7. Si deve evitare una differenza maggiore di due categorie illuminotecniche comparabili. La zona il cui livello luminoso raccomandato è il più elevato, costituisce la zona di riferimento.

**Tabella 2.7** Tabella di comparazione fra le categorie illuminotecniche

**Comparazione di categorie illuminotecniche**

Categoria illuminotecnica comparabile						
Condizione	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Se $Q_0 \leq 0,05 \text{ sr}^{-1}$	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Se $0,05 \text{ sr}^{-1} < Q_0 \leq 0,08 \text{ sr}^{-1}$	C1	C2	C3	C4	C5	C5
Se $Q_0 > 0,08 \text{ sr}^{-1}$	C2	C3	C4	C5	C5	C5
			P1	P2	P3	P4

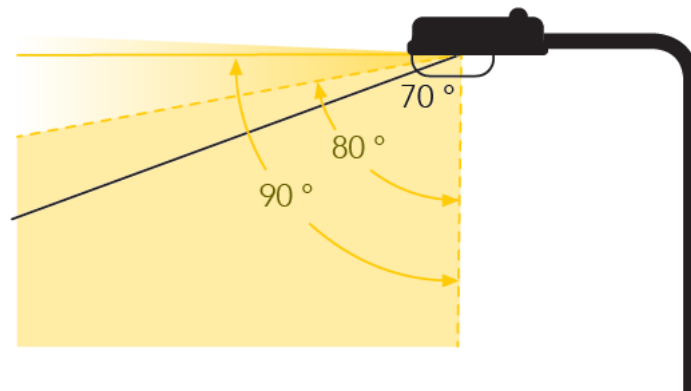
La norma, inoltre, prescrive come l'illuminazione pubblica può nuocere alla salute degli esseri umani e degli animali ed essere un problema per le attività degli osservatori astronomici. Infatti, l'illuminazione del cielo notturno nelle città e nelle vicinanze può portare allo sconvolgimento dei ritmi sonno-veglia in aree residenziali. Gli animali, inoltre, usano le fonti di illuminazione per l'orientamento e perciò possono essere confusi o spaventati dall'illuminazione artificiale. Una strategia per ridurre l'inquinamento luminoso è usare apparecchi che dirigono la luce solo sulle aree che devono essere illuminate. Le fonti luminose direzionali come i led sono particolarmente indicate per ottenere distribuzioni di luce ottimali. Le emissioni luminose al di sopra della fonte luminosa sono particolarmente indesiderate e non sono più accettate a livello normativo. La luce emessa oltre il nadir dalle luminarie è quantificata dalla percentuale di flusso luminoso verso l'alto (abbreviato ULOR o RULO):

$$ULOR = \frac{\text{flusso luminoso verso l'alto della fonte}}{\text{flusso luminoso totale della fonte}}$$

2.1

A seconda della distribuzione verticale della loro luce le fonti luminose sono divise in quattro tipi base:

- **Illuminazioni full cut-off:** viene consentito un massimo del 10% del flusso luminoso totale della lampada emesso a un angolo di  $80^\circ$  al di sopra del nadir, e lo 0% a un angolo di  $90^\circ$  al di sopra del nadir;
- **Illuminazioni cut-off:** viene consentito un massimo del 10% del flusso luminoso totale della lampada emesso a un angolo di  $80^\circ$  al di sopra del nadir, e il 25% a un angolo di  $90^\circ$  al di sopra del nadir;
- **Illuminazioni semi-cut-off:** viene consentito un massimo del 20% del flusso luminoso totale della lampada emesso a un angolo di  $80^\circ$  al di sopra del nadir, e il 5% a un angolo di  $90^\circ$  al di sopra del nadir;
- **Illuminazioni non-cut-off:** si ha l'emissione della luce in tutte le direzioni.



**Figura 2.1** Definizione dei criteri cut-off

[16]

## 2.1.2 Norma UNI EN 13201 – 4

In questa parte, la norma specifica le condizioni e i procedimenti di misurazione dei parametri qualitativi fotometrici degli impianti di illuminazione stradale. Le misure hanno principalmente quattro scopi:

- Misurazioni in fase di prova: sono tutte quelle misurazioni eseguite durante la fase di prova finale/messa in servizio dell'impianto di illuminazione stradale per verificare la conformità ai requisiti di riferimento e/o alle previsioni di progetto;

- Misurazioni durante l'attività di illuminazione stradale: sono misurazioni eseguite a intervalli prestabiliti durante l'attività di illuminazione stradale per quantificare la degradazione delle prestazioni illuminotecniche, per definire la necessità di manutenzione o per verificare la conformità dell'impianto ai requisiti di riferimento o alle previsioni di progetto generalmente basate sui valori mantenuti;
- Misurazioni per illuminazione stradale adattiva: sono misurazioni eseguite continuamente o a intervalli prestabiliti per controllare il flusso luminoso degli apparecchi di illuminazione stradale adattiva in cui la presenza dell'impianto è mantenuta a un dato valore entro una data tolleranza;
- Misurazioni per lo studio delle discrepanze: sono misurazioni eseguite per studiare le discrepanze tra le misure e le previsioni di progetto oppure l'influenza dell'ambiente in queste.

La norma definisce anche la differenza tra misurazioni statiche e misurazioni dinamiche. Le misurazioni possono infatti essere effettuate con sistemi per misurazioni statiche o dinamiche. Per un dato scopo di misurazione la scelta del sistema adottato deve essere fatta considerando l'accuratezza dei risultati richiesta e altri vincoli che possono scaturire da motivi di sicurezza, condizioni locali e temperature. È importante anche valutare la possibile incertezza all'interno delle misurazioni. L'incertezza di misurazione si può considerare costituita da tre gruppi di componenti:

- a. Quelli che riguardano le caratteristiche meteorologiche del sistema di misurazione e l'influenza dei procedimenti di misurazione;
- b. quelli che riguardano l'influenza delle caratteristiche nominali e della disposizione dell'impianto di illuminazione stradale da misurare;
- c. quindi quelli che riguardano l'influenza delle caratteristiche istantanee dell'impianto di illuminazione stradale da misurare e delle condizioni meteorologiche e ambientali come possono essere pioggia, vento, vegetazione etc.

È inoltre necessario notare come gli apparecchi di illuminazione necessitano di un periodo di tempo affinché la loro emissione luminosa si stabilizzi e tutte le misurazioni devono essere effettuate dopo questo periodo di stabilizzazione. [17]

### 2.1.3 Norma UNI EN 13201 – 5

In questa parte delle norme si definiscono gli indicatori della prestazione energetica per gli impianti di illuminazione stradale. La norma introduce due grandezze metriche, l'indicatore di densità di potenza (PDI),  $D_p$ , e l'indicatore del consumo energetico annuale (AECI),  $D_E$ , che dovrebbero essere sempre utilizzate insieme. Questi indicatori vengono solitamente utilizzati per verificare i potenziali risparmi ottenibili dal miglioramento della prestazione energetica e dalla riduzione dell'impatto ambientale. La norma definisce:

- **Potenza di sistema,  $P$**  : corrisponde alla potenza totale dell'impianto di illuminazione stradale necessaria per soddisfare le categorie illuminotecniche richieste. Questa potenza deve essere calcolata come somma della potenza di funzionamento delle sorgenti luminose, delle unità di alimentazione e di ogni altro dispositivo elettrico direttamente associato all' illuminazione dell'area da illuminare e installato per fare funzionare o regolare l'impianto. Si ha quindi che:

$$P = \sum_{k=1}^{n_{lp}} P_k + P_{ad}$$

2.2

Dove:

$P_k$  è la potenza di funzionamento del k-esimo punto di illuminazione [W];

$P_{ad}$  è la potenza di funzionamento totale di tutti i dispositivi non considerati in  $P_k$  ma necessari per il funzionamento dell'impianto stradale [W];

$n_{lp}$  è il numero di punti di illuminazione associati all'impianto di illuminazione o al tratto rappresentativo, a seconda di quale dei due si utilizza nel calcolo.

- **Indicatore della densità di potenza, PDI,  $D_p$** : valore della potenza di sistema diviso per il valore del prodotto dell'area della superficie da illuminare per il

valore dell'illuminamento medio mantenuto calcolato su quest'area secondo la EN 13201 – 3.

$$D_p = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (\bar{E}_i \times A_i)}$$

2.3

Dove:

$D_p$  è l'indicatore della densità di potenza  $[W/lx \times m^2]$ ;

$P$  è la potenza di sistema dell'impianto di illuminazione, utilizzato per illuminare le aree di studio;

$\bar{E}_i$  è l'illuminamento orizzontale medio mantenuto della sotto area i-esima  $[lx]$

$A_i$  è la dimensione della sottoarea i-esima illuminata dall'impianto di illuminazione  $[m^2]$ . La sommatoria delle sotto aree deve essere identica all'area utilizzata nel progetto illuminotecnico per il calcolo dei parametri;

$n$  è il numero di sotto aree da illuminare.

Se la categoria illuminotecnica richiesta dovesse variare durante la notte o nel corso delle stagioni allora la densità di potenza dovrebbe essere calcolata separatamente per ciascuna delle categorie illuminotecniche. A sua volta l'illuminamento orizzontale medio mantenuto  $\bar{E}_i$  deve essere calcolato come la media dei valori di illuminamento calcolati sulla stessa griglia dei punti utilizzati per il calcolo della luminanza.

- **Indicatore del consumo energetico annuale, AECl;  $D_E$ :** corrisponde all'energia elettrica totale consumata giorno e notte da un impianto di illuminazione nel corso di uno specifico anno, in proporzione all'area totale da illuminare. Questo indicatore dipende dal periodo di tempo per il quale è fornita l'illuminazione, la categoria illuminotecnica specificata dalla norma pertinente per ciascun periodo, l'efficienza dell'impianto di illuminazione, il modo in cui il sistema di gestione dell'illuminazione segue le variazioni delle esigenze visive degli utenti della strada e dal consumo di energia parassita dei dispositivi di



illuminazione durante il periodo in cui l'illuminazione non è necessaria. Si può tenere conto dell'indicatore attraverso la formula:

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \times t_j)}{A}$$

2.4

Dove:

$D_E$  è l'indicatore del consumo energetico annuale per un impianto di illuminazione stradale in  $[Wh/m^2]$ ;

$P_j$  è la potenza di funzionamento associata al j-esimo periodo operativo in  $[W]$ ;

$t_j$  è la durata del j-esimo periodo del profilo operativo in cui è consumata la potenza  $P_j$ , entro il periodo di un anno in  $[h]$ ;

$A$  è la dimensione dell'area illuminata dalla stessa disposizione dell'illuminazione in  $[m^2]$ ;

$m$  è il numero di periodi di funzionamento  $P_j$  diversi.  $m$  deve considerare anche il periodo per il quale è consumata la potenza a riposo. Questo periodo generalmente è il periodo in cui l'illuminazione non è operativa, ovvero le ore di luce diurna e ogni periodo di tempo notturno in cui l'illuminazione non è accesa.

- **Efficienza luminosa dell'impianto,  $\eta_{inst}$ :** questa viene calcolata come:

$$\eta_{inst} = C_L \times f_M \times U \times R_{LO} \times \eta_{ls} \times \eta_P$$

Dove:

$C_L$  è il fattore di correzione per la luminanza o l'illuminamento emisferico in base ai progetti illuminotecnici (calcolabile da norme);

$f_M$  è il fattore di manutenzione globale dell'impianto di illuminazione

$U$  è l'utilanza dell'impianto di illuminazione e questa è una misurazione dell'efficienza della distribuzione dell'intensità luminosa di un apparecchio di illuminazione nel diffondere il suo flusso luminoso su una superficie specificata purché siano soddisfatti gli altri requisiti di qualità della UNI EN 13201 [18];

$R_{LO}$  è il rendimento ottico degli apparecchi di illuminazione, utilizzati nell'impianto di illuminazione;

$\eta_{ls}$  è l'efficienza luminosa delle sorgenti luminose utilizzate nell'impianto

$\eta_P$  è il rendimento elettrico degli apparecchi di illuminazione utilizzati nell'impianto di illuminazione ed è definito come il rapporto fra la potenza delle lampade all'interno dell'apparecchio di illuminazione in watt e la potenza di sistema dell'apparecchio di illuminazione in watt ovvero  $\eta_P = P_{ls}/P$ .

[19]

## 2.2 Norma UNI 11248:2016

La normativa prevede di definire le prestazioni illuminotecniche degli impianti di illuminazione fissi, atti a contribuire alla sicurezza degli utenti della strada, alle buone condizioni di visibilità durante i periodi di oscurità, al buon smaltimento del traffico e alla sicurezza pubblica, per quanto queste esigenze possano dipendere dall'illuminazione della strada. La norma definisce i parametri per la determinazione della categoria illuminotecnica. Si definiscono tre categorie:

- **D'ingresso:** dipende esclusivamente dal tipo di strada presente nella zona di studio;
- **Di Progetto:** specifica i requisiti illuminotecnici da considerare nel dimensionamento dell'impianto;
- **Di Esercizio:** Che possono dipendere dalla variabilità nel tempo dei parametri di influenza definiti dal progettista oppure dalle condizioni operative istantanee di funzionamento.

La norma quindi, nota la categoria illuminotecnica di ingresso fornisce la procedura per la selezione delle categorie illuminotecniche di progetto (specifica i requisiti illuminotecnici da considerare nel dimensionamento dell'impianto) e di esercizio che competono alla zona di studio classificata. In Tabella 2.8 vengono definite le tipologie di strade classificate dalla norma mentre in Tabella 2.9 vengono definite le categorie illuminotecniche d'ingresso.

**Tabella 2.8** Definizione delle categorie di strade

Tipo di strada	Descrizione del tipo della strada	N. Minimo Carreggiate indipendenti	N. Minimo di Corsie per senso di marcia	N. di sensi di marcia	Portata max. di servizio per corsia (veicoli/ora)	Ulteriori requisiti minimi, caratteristiche e chiarimenti
A2	Strade di servizio alle autostrade urbane extraurbane	2	1	2	vedi D.M.	Comprese le strade dedicate all'accesso alle autostrade prima delle stazioni
B	Strade extraurbane principali	2	2	2	1000	Tangenziali e superstrade
C	Strade extraurbane secondarie	1	1	2	600	Strade tipo SP, SR, SS. Con banchine laterali transitabili
D	Strade urbane di scorrimento	2	2	2	950	Strade urbane di grandi dimensioni e di connessione alla rete "urbana di quartiere" o "extraurbana secondaria"
E	Strade urbane di quartiere	1	1 2	2 1	800	Proseguimento delle strade di tipo C (SP, SR, SS) "extraurbane secondarie" nella rete urbana. Corsie di manovra e parcheggi esterni alla Carreggiata
F	Strade locali extraurbane (F1-F2)	1	1	1 o 2	450	Strade in ambito extraurbano diverse da strade di tipo B e C quali strade comunali, vicinali, etc..
F	Strade locali extraurbane	1	1	1 o 2	450	
F	Strade locali interzonali	1	1	1 o 2	800	Strade locali di connessione con la "rete secondaria" e di "scorrimento" di maggior rilievo in quanto attraversano il territorio collegando aree urbane confinanti o distanti in area urbane o extraurbane
F	Strade locali urbane	1	1	1 o 2	800	Strade locali diverse da strade di tipo D e E, quali strade residenziali, artigianali, centro cittadino, centro storico, etc.

**Tabella 2.9** Classificazione delle strade e individuazione della categoria illuminotecnica di ingresso per l'analisi dei rischi

Tipo di strada	Descrizione del tipo della strada	Limiti di velocità [km h <sup>-1</sup> ]	Categoria illuminotecnica di ingresso
A <sub>1</sub>	Autostrade extraurbane	Da 130 a 150	M1
	Autostrade urbane	130	
A <sub>2</sub>	Strade di servizio alle autostrade extraurbane	Da 70 a 90	M2
	Strade di servizio alle autostrade urbane	50	
B	Strade extraurbane principali	110	M2
	Strade di servizio alle strade extraurbane principali	Da 70 a 90	M3
C	Strade extraurbane secondarie (tipi C1 e C2) <sup>1)</sup>	Da 70 a 90	M2
	Strade extraurbane secondarie	50	M3
	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	Da 70 a 90	M2
D	Strade urbane di scorrimento <sup>2)</sup>	70	M2
		50	
E	Strade urbane di quartiere	50	M3
F <sup>3)</sup>	Strade locali extraurbane (tipi F1 e F2) <sup>1)</sup>	Da 70 a 90	M2
	Strade locali extraurbane	50	M4
		30	C4/P2
	Strade locali urbane	50	M4
	Strade locali urbane: centri storici, isole ambientali, zone 30	30	C3/P1
	Strade locali urbane: altre situazioni	30	C4/P2
	Strade locali urbane: aree pedonali, centri storici (utenti principali: pedoni, ammessi gli altri utenti)	5	C4/P2
	Strade locali interzonali	50	M3
30		C4/P2	
Fbis	Itinerari ciclo-pedonali <sup>4)</sup>	Non dichiarato	P2
	Strade a destinazione particolare <sup>1)</sup>	30	

Note le categorie di ingresso e progetto la norma permette di identificare gli aspetti che condizionano l'illuminazione stradale e, attraverso la valutazione dei rischi, permette l'ottimizzazione dei consumi energetici. Per valutazione dei rischi si intende individuare la categoria illuminotecnica che garantisce la massima efficacia del contributo degli impianti di illuminazione alla sicurezza degli utenti della strada, 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.

L'analisi permette pertanto di individuare le categorie illuminotecniche stradali e le misure (impianti, attrezzature, procedure) per assicurare la sicurezza degli utenti della strada, ottimizzando costi installativi ed energetici conformemente ai requisiti evidenziati dall'analisi stessa e di fissare i criteri da seguire per garantire, nel tempo, livelli di sicurezza adeguati.

**Tabella 2.10** Riduzione massima della categoria illuminotecnica a seguito dell'analisi dei rischi

**Indicazione sulle variazioni della categoria illuminotecnica di ingresso in relazione ai più comuni parametri di influenza costanti nel lungo periodo**

Parametro di influenza	Riduzione massima della categoria illuminotecnica
Complessità del campo visivo normale	1
Assenza o bassa densità di zone di conflitto <sup>1) 2)</sup>	1
Segnaletica cospicua <sup>3)</sup> nelle zone conflittuali	1
Segnaletica stradale attiva	1
Assenza di pericolo di aggressione	1
1) In modo non esaustivo sono zone di conflitto gli svincoli, le intersezioni a raso, gli attraversamenti pedonali, i flussi di traffico di tipologie diverse. 2) È compito del progettista definire il limite di bassa densità. 3) Riferimenti in CIE 137 <sup>[6]</sup> .	

**Indicazione sulle variazioni della categoria illuminotecnica di progetto in relazione ai più comuni parametri di influenza variabili nel tempo in modo periodico o casuale**

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

La norma fornisce anche le specifiche di sovradimensionamento dell'impianto in modo tale da contenere i consumi energetici, i valori medi di illuminamento e/o luminanza ottenuti dai calcoli di progetto eseguiti secondo la norma UNI EN 13201-3 non devono essere maggiori di quelli previsti dalle categorie illuminotecniche di progetto o di esercizio:

- Del 35% per le categorie illuminotecniche di tipo M;
- Del 25% per le altre categorie illuminotecniche.

Seguendo la norma al progettista è imposto il compito di valutare le possibili variazioni nel tempo dei parametri considerati, notando la lunga vita dell'impianto, e le possibili evoluzioni del traffico associato. Deve inoltre accordarsi con il committente sul peso dei singoli parametri, limitare l'influenza di ogni parametro alla variazione massima di una determinata categoria illuminotecnica e limitare le scelte tra le categorie illuminotecniche definite nella UNI EN 13201-2 evitando la creazione di nuove categorie. [20]

### 2.3 Decreto Ministeriale 27/09/2017 – CAM per l'acquisizione di sorgenti luminose per illuminazione pubblica e l'affidamento del servizio di progettazione di impianti per illuminazione pubblica

Il controllo dell'inquinamento luminoso è finalizzato, oltre che al risparmio energetico, anche alla salvaguardia dell'ambiente notturno, del paesaggio, della biodiversità, degli equilibri ecologici e della salute umana ed a consentire attività culturali-ricreative. Per questo motivo il flusso luminoso non indirizzato verso l'ambito da illuminare o emesso sopra l'orizzonte dagli apparecchi di illuminazione di un impianto pubblico è vietato. Si prende nota, inoltre, delle disposizioni inserite nell'allegato 4 della Legge Regionale n.12 del 3 Marzo 2005, art. 7 in cui si evidenzia come il comune di Sant'Omero, sia inserito in una zona di particolare protezione e tutela per gli osservatori astronomici e Astrofici statali, pubblici e privati come consultabile in Figura 2.2:

N°	Comuni	Area Protezione Osservatori	% superficie	Area Protezione Parchi e Riserve Naturali	% superficie	TOTALE SUPERFICIE soggetta a protezione %
40	Sant'Omero	SI	100	NO	-	100

Figura 2.2 Allegato 4 della L.R. n.12 del 3/03/2005 [21]

Inoltre, in questo paragrafo vengono definiti i criteri ambientali minimi – CAM, che ai sensi del D.lgs 50/2016, le Amministrazioni pubbliche debbono utilizzare nell'ambito delle procedure d'acquisto di sorgenti di illuminazione per illuminazione pubblica e apparecchi d'illuminazione per illuminazione pubblica. In particolare, verranno definiti gli indici prestazionali degli apparecchi e degli impianti realizzati con le rispettive classi di efficienza di riferimento.

### 2.3.1 IPEA e prestazione energetica degli apparecchi

La norma fornisce un allegato in cui sono state definite le modalità di calcolo per gli indici di classe. Sulla base delle indicazioni del Green Public Procurement (GPP), del Piano d'azione per la sostenibilità Ambientale (PAN-GPP) e dei Criteri Ambientali Minimi (CAM) per la pubblica illuminazione sono stati definiti i criteri di efficienza energetica che garantiscano determinate prestazioni minime degli apparecchi di illuminazione. L'indice utilizzato per gli apparecchi è l'IPEA (Indice Parametrizzato di Efficienza dell'Apparecchio) ed è relativo al rapporto tra l'efficienza globale dell'apparecchio e l'efficienza globale di riferimento della migliore tecnologia attualmente utilizzata sul mercato per l'ambito considerato, fornendo così una valutazione oggettiva e "globale" dell'apparecchio, a prescindere dalla progettazione impiantistica o dall'uso dell'apparecchio. La formula dell'IPEA è quindi:

$$IPEA = \frac{\eta_a}{\eta_r}$$

2.5

Dove:

$\eta_a$  è l'efficienza globale dell'apparecchio di illuminazione e viene calcolata come:

$$\eta_a = \frac{\Phi_{app} \cdot Dff}{P_{app}} \quad [lm/W]$$

2.6

Con  $\Phi_{app}$  [lm] flusso luminoso nominale iniziale emesso dall'apparecchio di illuminazione nelle condizioni di utilizzo di progetto e a piena potenza,

$P_{app}$  [W] potenza attiva totale assorbita dall'apparecchio di illuminazione intesa come somma delle potenze assorbite dalle sorgenti e dalle componenti presenti all'interno dello stesso apparecchio di illuminazione (accenditore, alimentatore/reattore, condensatore, ecc.); tale potenza è quella che l'apparecchio di illuminazione assorbe dalla linea elettrica durante il suo normale funzionamento a piena potenza (comprensiva quindi di ogni apparecchiatura in grado di assorbire potenza elettrica dalla rete);

$Dff$  frazione del flusso emesso dall'apparecchio di illuminazione rivolta verso la semisfera inferiore dell'orizzonte (calcolata come rapporto fra flusso luminoso diretto verso la semisfera inferiore e flusso luminoso totale emesso), cioè al di sotto dell'angolo di  $90^\circ$ .

$\eta_r$  è l'efficienza globale di riferimento dove i valori standard sono presenti in Tabella 2.11

**Tabella 2.11** Efficienza globale di riferimento

Illuminazione stradale	
Potenza nominale dell'apparecchio P[W]	Efficienza globale di riferimento $\eta_r$ [lm/W]
$P \leq 65$	73
$65 < P \leq 85$	75
$85 < P \leq 115$	83
$115 < P \leq 175$	90
$175 < P \leq 285$	98
$285 < P \leq 450$	100
$450 < P$	100

Noto questo valore è possibile definire attraverso la Tabella 2.12 la classe energetica dell'apparecchio:



**Tabella 2.12** Classi energetiche

INTERVALLI DI CLASSIFICAZIONE ENERGETICA	
Classe energetica apparecchi illuminanti	<i>IPEA*</i>
An+	$IPEA^* \geq 1,10 + (0,10 \times n)$
A++	$1,30 \leq IPEA^* < 1,40$
A+	$1,20 \leq IPEA^* < 1,30$
A	$1,10 \leq IPEA^* < 1,20$
B	$1,00 \leq IPEA^* < 1,10$
C	$0,85 \leq IPEA^* < 1,00$
D	$0,70 \leq IPEA^* < 0,85$
E	$0,55 \leq IPEA^* < 0,70$
F	$0,40 \leq IPEA^* < 0,55$
G	$IPEA^* < 0,40$

Di norma è il costruttore ad indicare la classe IPEA dell'apparecchio venduto. Per tutti i prodotti AEC che verranno installati la classe IPEA è An+.

### 2.3.2 IPEI e prestazione energetica dell'impianto

L'indice IPEI (Indice Parametrizzato di Efficienza dell'Impianto) è un parametro che consente di verificare le prestazioni energetiche dell'impianto ed è relativo ad un parametro, la densità di potenza che indica il rapporto tra la potenza impiegata per unità di superficie ed il valore illuminotecnico raggiunto. Il risultato che si ottiene è una valutazione della prestazione energetica dell'impianto in riferimento all'apparecchio installato e alle condizioni al contorno (es. la larghezza della strada, l'interasse ecc) e pertanto rappresenta un valido strumento di confronto tra diverse soluzioni progettuali in funzione della corretta illuminazione richiesta dalle norme tecniche di riferimento. L'IPEI vale:

$$IPEI = \frac{D_P}{D_{P,R}}$$

2.7

Dove:

- $D_P = \frac{\sum P_{app}}{\sum_{i=1}^n \left( \bar{E}_i \cdot \frac{MF}{0,80} \cdot A_i \right)}$  [W/lx/m<sup>2</sup>] è la densità di potenza e viene calcolata come il rapporto fra  $P_{app}$  che è la reale potenza assorbita dall'apparecchio, intesa come somma delle potenze assorbite dalle lampade e dalle componenti presenti all'interno dello stesso (accenditore, alimentatore/reattore, condensatore, ecc) e la sommatoria del prodotto fra  $\bar{E}_i$  l'illuminamento orizzontale medio mantenuto di progetto dell'area i-esima, calcolato attraverso un software specifico come Relux secondo le direttive UNI EN 13201, l'area i-esima illuminata  $A_i$  e il rapporto fra il *maintenance factor MF* e 0,8.
- $D_{P,R}$  è la densità di potenza di riferimento specifica per la categoria di strada da illuminare come possibile vedere in Tabella 2.13:

**Tabella 2.13** Densità di potenza di riferimento per le categorie di tipo M

Illuminazione stradale Categoria illuminotecnica M	
Categoria illuminotecnica (secondo UNI 13201-2)	Densità di Potenza di riferimento [W/lux/m <sup>2</sup> ]
M1	0,035
M2	0,037
M3	0,040
M4	0,042
M5	0,043
M6	0,044

Gli intervalli IPEI a cui fare riferimento per definirne la classe di appartenenza sono indicati nella seguente Tabella 2.14:

**Tabella 2.14** Classi ed intervalli IPEI

INTERVALLI DI CLASSIFICAZIONE ENERGETICA	
Classe energetica impianto	IPEI*
An+	$IPEI^* < 0,85 - (0,10 \times n)$
A++	$0,55 \leq IPEI^* < 0,65$
A+	$0,65 \leq IPEI^* < 0,75$
A	$0,75 \leq IPEI^* < 0,85$
B	$0,85 \leq IPEI^* < 1,00$
C	$1,00 \leq IPEI^* < 1,35$
D	$1,35 \leq IPEI^* < 1,75$
E	$1,75 \leq IPEI^* < 2,30$
F	$2,30 \leq IPEI^* < 3,00$
G	$IPEI^* \geq 3,00$

Con riferimento alla Tabella 2.14 , l'impianto di illuminazione pubblica deve avere l'indice IPEI maggiore o uguale di quello corrispondente alla classe B fino all'anno 2020 compreso, a quello della classe A fino all'anno 2025 compreso e a quello della classe A+ a partire dall'anno 2026. I valori specifici di IPEI verranno calcolati nel Paragrafo 5.1. [20] [22]

## 2.4 Criteri di sicurezza

Le fonti di illuminazione stradale devono essere protette da corpi estranei (sia solidi che liquidi), da impatti meccanici e da fluttuazioni di voltaggio in modo da garantire un funzionamento continuo e adeguato. Per questo scopo tipicamente sono specificati requisiti sulla protezione di ingresso (IP), protezione da impatti (IK) e di sovravoltaggio. In Tabella 2.15 vengono definiti i significati delle due cifre presenti nella sigla IP:

**Tabella 2.15** Categorie IP tratto dalla norma IEC 60529

Codice IP	Prima cifra	Seconda cifra
0	Nessuna protezione	Nessuna protezione
1	Protetta da corpi solidi più grandi di 50 mm	Protetta da acqua che gocciola / condensa
2	Protetta da corpi solidi più grandi di 12 mm	Protetta da acqua piovana fino a 15° dalla verticale
3	Protetta da corpi solidi più grandi di 2.5 mm	Protetta da acqua piovana fino a 60° dalla verticale
4	Protetta da corpi solidi più grandi di 1 mm	Protetta da acqua che schizza da tutte le direzioni
5	Protetta dalla polvere (no depositi dannosi)	Protetta da getti d'acqua da tutte le direzioni
6	Completamente protetta dalla polvere	Protetta da ondate d'acqua in tutte le direzioni
7		Protetta dall'immersione
8		Protetta dagli effetti di immersione prolungata

È di particolare attenzione fare notare come apparecchiature marchiate con i gradi IP aventi seconda cifra 7 o 8 (IPx7 e IPx8) non risultano conformi all'utilizzo stradale in quanto non supererebbero i test necessari per quella tipologia di utilizzo. Nei laboratori AEC è stato possibile visualizzare le apparecchiature utilizzate per l'esecuzione delle prove per il grado di protezione IP65 e IP66.



**Figura 2.3** Prove di tenuta al getto d'acqua nei laboratori AEC [8]

Per l'illuminazione stradale devono essere usati apparecchi di illuminazione IP65, per assicurare sufficiente resistenza alla polvere e alle cattive condizioni meteorologiche. Inoltre, l'illuminazione esterna può essere colpita da rami d'albero o da altri detriti portati da forti venti o addirittura essere vittima di vandalismo, è raccomandato quindi

un grado di protezione verso gli impatti pari al valore minimo IK08 (valore consultabile in Tabella 2.16).

**Tabella 2.16** Categorie per la protezione dagli urti tratto dalla norma IEC 62262

Valore IK	Forza dell'impatto in Joule
00	–
01	0,15
02	0,2
03	035
04	0,5
05	0,7
06	1
07	2
08	5
09	10
10	20



# Capitolo 3

In questo capitolo vengono definite le modalità e le norme di installazione dei supporti per i corpi illuminanti.

## 3. Informazioni generali sulle infrastrutture per l'illuminazione pubblica

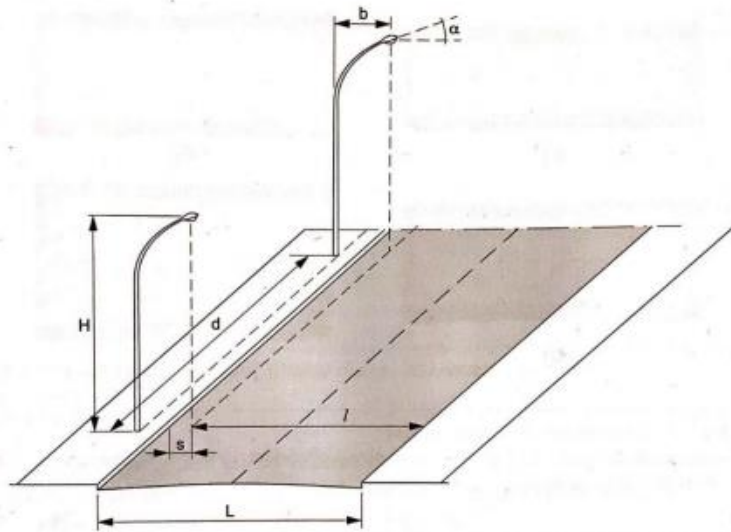
L'impianto di illuminazione pubblica deve essere conforme alle esigenze illuminotecniche e strutturali per il luogo di installazione. Per una progettazione adeguata è necessario tenere in considerazione aspetti ambientali, la configurazione e l'uso della strada e, infine, l'arredo urbano.

### 3.1 Criteri geometrici

Le caratteristiche geometriche di un sistema di illuminazione sono:

- disposizione dei punti luminosi;
- proiezione dei punti luminosi sulla strada;
- altezza dei punti luminosi;
- inclinazione delle lampade sulla strada;
- distanza tra i punti luminosi.

La Figura 3.1 mostra alcune caratteristiche geometriche di un sistema di illuminazione stradale.



**Figura 3.1** Caratteristiche geometriche di un sistema di illuminazione stradale

Dove:

- $H$  = altezza dei punti luminosi;
- $d$  = distanza tra i punti luminosi;
- $L$  = larghezza della strada;
- $b$  = braccio;
- $s$  = proiezione dei punti luminosi sulla strada;
- $l$  = distanza tra l'asse verticale della lampada e il limite opposto della strada;
- $\alpha$  = angolo di inclinazione dell'illuminazione stradale.

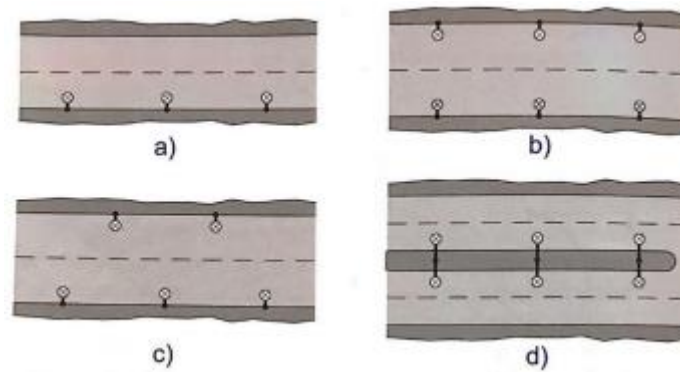
## 3.2 Disposizione dei punti luminosi

La disposizione dei centri luminosi dipende dalla larghezza della carreggiata e dal tipo di strada analizzata. A seconda della larghezza di questa, vengono utilizzate le seguenti regole esposte in Figura 3.2:

- a) Disposizione unilaterale per strade di larghezza non superiore a 10m - 12m;
- b) Disposizione bilaterale affacciata per strade molto larghe;
- c) Disposizione bilaterale a quinconce per strade molto larghe, come alternativa alla disposizione b);



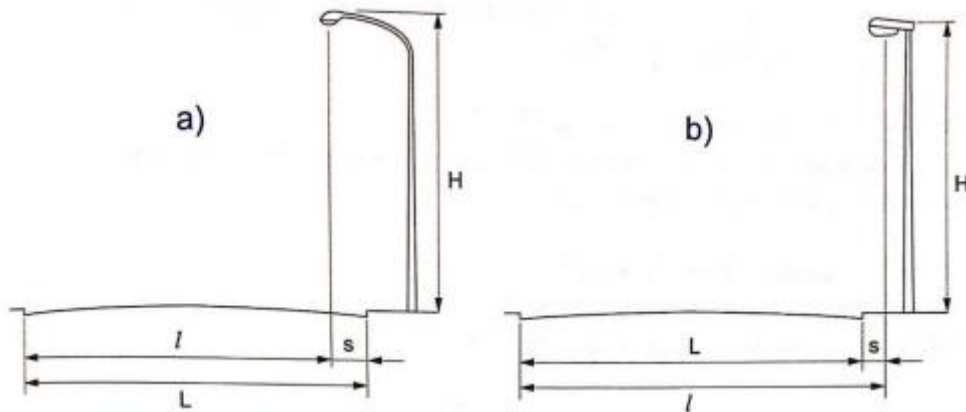
d) Disposizione assiale per strade a due carreggiate con aiuola spartitraffico centrale.



**Figura 3.2** Disposizione dei centri luminosi

### 3.3 Proiezione dei centri luminosi sulla strada

La proiezione dei centri luminosi ( $s$ ) rispetto al bordo della strada da illuminare influisce sull'uniformità dell'illuminazione della strada e sul coefficiente di utilizzazione dell'apparecchio di illuminazione. Il progettista deve fare in modo che il palo sia posizionato il più lontano possibile dal bordo della strada per limitare i possibili pericoli derivanti da una collisione con un'auto. Generalmente, il braccio non supera  $1/5$  della larghezza della strada. Gli apparecchi di illuminazione possono essere suddivisi tra apparecchi con sbraccio detti sporgenti ( $s > 0$ , Figura 3.3.a) o senza sbraccio detti arretrati ( $s < 0$ , Figura 3.3.b). I primi sono tipici di apparecchiature a bulbo fluorescente che sfrutta lo sbraccio del palo per direzionare il flusso verso la mezzeria della carreggiata, mentre i secondi sono tipici di applicazioni a led che grazie ad ottiche dedicate possono dirigere il flusso senza l'utilizzo di sbracci.



**Figura 3.3** Disposizione dei punti luminosi rispetto al bordo della strada

### 3.4 Altezza e distanza dei centri luminosi

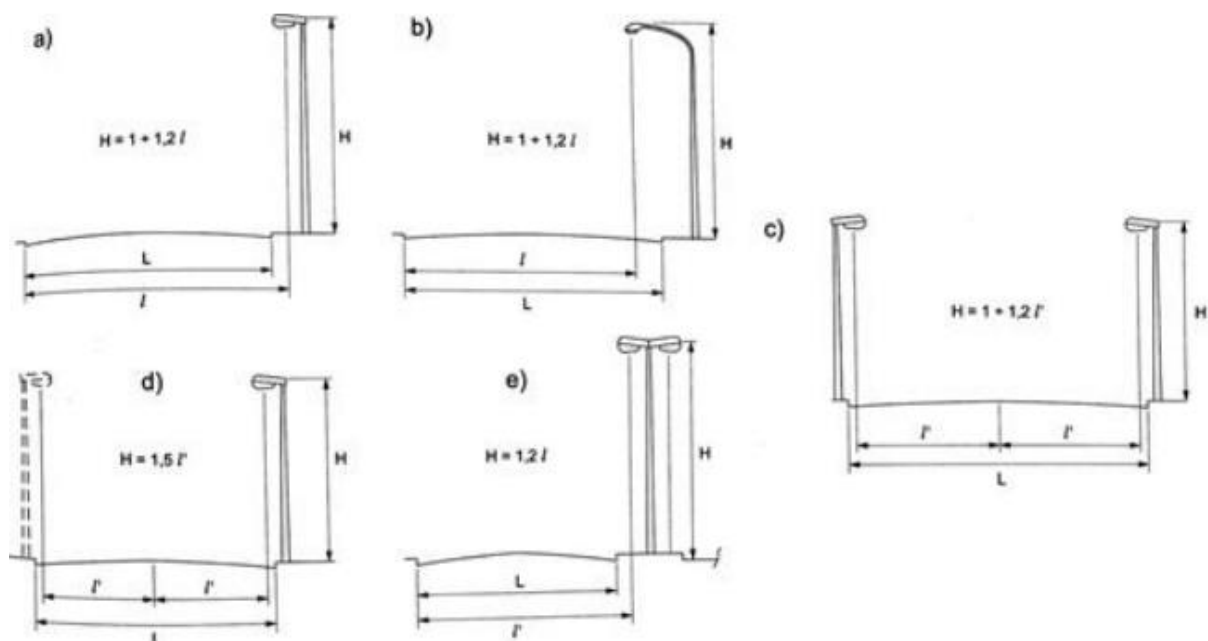
L'altezza dei centri luminosi dipende dalla loro disposizione e proiezione, così come dalla larghezza della carreggiata. In assenza di chiarimenti da parte del produttore, il centro luminoso deve essere posizionato ad un'altezza (H). In particolare:

a) Disposizione unilaterale:  $H = (1 - 1,2) l$  dove  $l$  è la distanza tra l'asse verticale dell'apparecchio e il bordo opposto della strada;

b) Disposizione bilaterale affacciata:  $H = (1 - 1,2) l'$  dove  $l'$  è la distanza tra l'asse verticale dell'apparecchio e la superficie stradale;

c) Disposizione bilaterale a quinconce:  $H = 1,5 l'$  dove  $l'$  è la distanza tra l'asse verticale dell'apparecchio e la superficie stradale;

d) Disposizione assiale:  $H = (1 - 1,2) l$  dove  $l$  è la distanza tra l'asse verticale dell'apparecchio e il bordo opposto della strada. Inoltre, le norme consigliano che l'inclinazione dell'apparecchio rispetto al piano della strada deve essere compresa fra  $5^\circ$  e  $15^\circ$  per le lampade SAP mentre i moderni proiettori led possono essere posizioni senza inclinazione ma in maniera parallela al manto stradale.



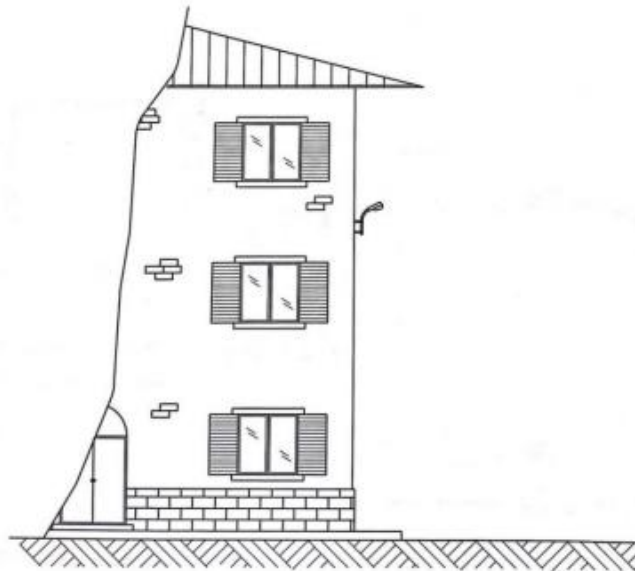
**Figura 3.4** Altezza delle fonti luminose

La distanza tra i centri luminosi deve essere selezionata in base al tipo di apparecchio e in base all'altezza del centro luminoso sulla superficie della strada. La distanza tra i centri luminosi può essere determinata utilizzando le curve isolux, una volta stabilita la relazione tra l'illuminamento minimo e massimo, nella linea centrale della strada ( $E_{min}$ ) e in corrispondenza del centro di luce ( $E_{max}$ ).

### 3.5 Posizione dei supporti

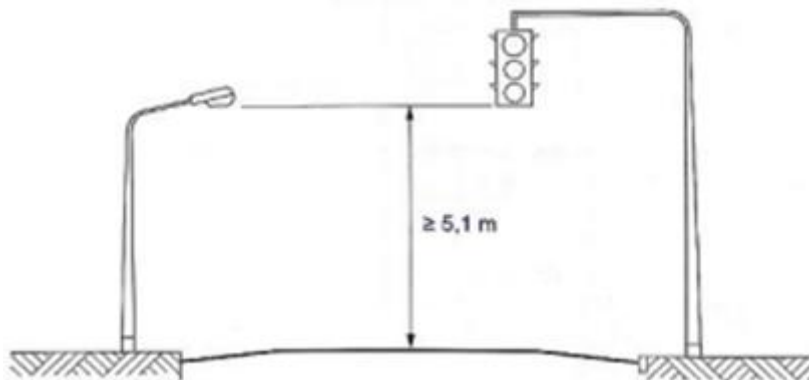
I supporti devono essere posizionati in modo da non risultare degli ostacoli al traffico e da non formare barriere architettoniche. Su strade con traffico motorizzato, i supporti devono essere protetti da barriere di sicurezza o essere a una distanza minima dal limite della carreggiata tale per cui viene garantita la sicurezza. Le barriere di sicurezza e i distanziatori variano nel tempo in quanto devono adattarsi al tipo di circolazione stradale (che nel tempo può variare) e al grado di invecchiamento della stessa. Inoltre, i pali della luce devono essere installati a una distanza dalle barriere di sicurezza stradale tale per cui non riduca l'efficacia di tale protezione. Infatti, le barriere di sicurezza stradali devono, essere in grado di deformarsi elasticamente, per respingere i veicoli stradali che hanno un impatto su di loro. La norma CEI UNI 70030 prevede, su strade urbane, una distanza minima di 0.5 m tra il supporto e il marciapiede. Inoltre,

i supporti devono essere posizionati in modo tale che lo spazio per i pedoni sia largo almeno  $90\text{ cm}$ , in modo da non ostacolare le persone su sedie a rotelle. Sui marciapiedi di larghezza insufficiente, quando possibile, i supporti sono fissati direttamente sulle facciate degli edifici come visibile in Figura 3.5:



**Figura 3.5** Lampada fissata direttamente sulla facciata dell'edificio

In assenza di specifiche disposizioni legislative o normative, per gli apparecchi di illuminazione si può assumere un'altezza minima di  $5.1\text{ m}$  sulla carreggiata stradale, per analogia con quanto previsto dal Codice della Strada per le lanterne semaforiche consultabile in Figura 3.6:



**Figura 3.6** Altezza della lampada rispetto alle lanterne semaforiche

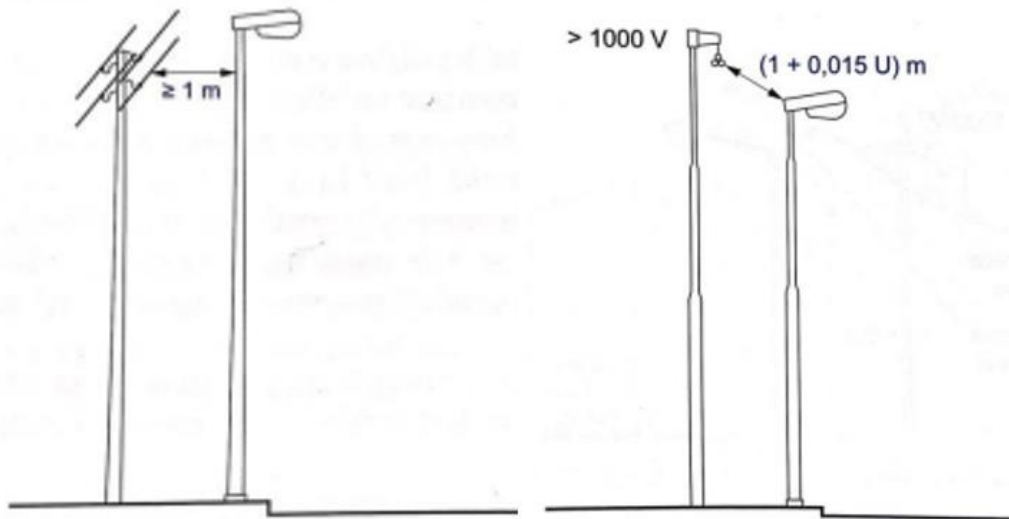
Deve inoltre verificarsi che la distanza tra i centri luminosi e i conduttori nudi delle linee elettriche aeree di bassa tensione deve essere di almeno  $1\text{ m}$ ; questo valore viene

ridotto a  $0.5\text{ m}$ , se i conduttori sono cavi aerei isolati. Nel comune di Sant’Omero, precisamente nella frazione di Villa Gatti si è presentata una situazione di linea elettrica di bassa tensione nuda su cavo aereo a una distanza dal corpo illuminante installato minore di  $0.5\text{ m}$ . La scelta progettuale è stata quella, vista la classificazione della strada M6, avente una larghezza di  $4.5\text{ m}$  di abbassare l’altezza del palo a  $6\text{ m}$  così che non ci siano più problematiche relative alla sicurezza. Lo stato attuale è visibile in Figura 3.7:

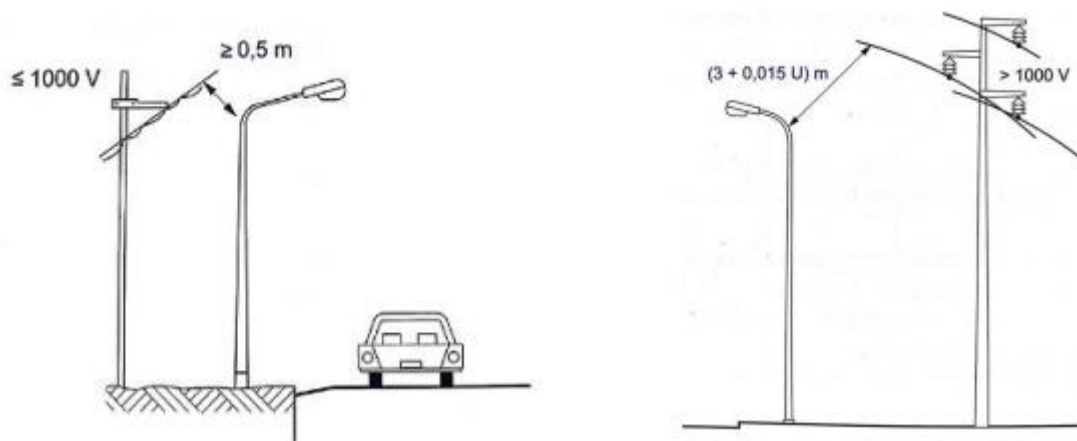


**Figura 3.7** Foto rappresentativa scattata a Villa Gatti

Invece, per tensioni superiori a 1 *kV*, la distanza deve essere almeno uguale a  $(3 + 0.015 U) m$  dove  $U$  è la tensione operativa della linea espressa in *kV*. Questo è possibile verificarlo in Figura 3.8 e Figura 3.9

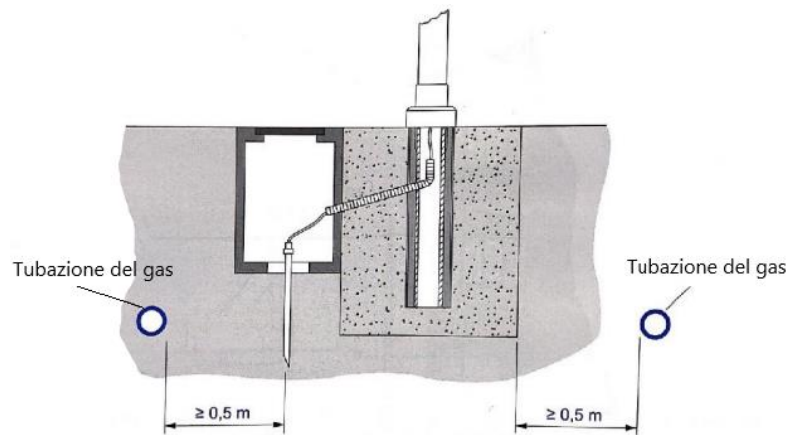


**Figura 3.8** Distanza tra la lampada e i conduttori isolati a tensione minore/maggiore di 1 *kV*



**Figura 3.9** Distanza tra la lampada e i conduttori isolati e distanza tra la lampada e i conduttori nudi a tensione maggiore di 1 *kV*

Le norme poi richiedono che i sostegni, le fondazioni e l'eventuale dispersore di terra devono trovarsi ad almeno 0.5 *m* dalle tubazioni di gas metano funzionanti a una pressione  $\leq 5 \text{ bar}$ .



**Figura 3.10** Distanza fra supporti, fondamenta e placche di terra dalla tubazione del gas

### 3.6 Apparecchi scelti per il comune di Sant’Omero

Per tutte le installazioni di tipo stradale si è scelto, dal catalogo di AEC Illuminazione, il corpo illuminante della linea I-TRON:

- I-TRON ZERO



**Figura 3.11** I-TRON Zero [8]

Tra i quali si sono scelti led con temperatura di colore 4000°K che sono quelli con le migliori efficienze energetiche in quanto scegliere un led con temperatura di colore elevata, fa sì che sia presente una minor concentrazione di fosforo incapsulato nella

lente per trasformare la luce blu prodotta dal diodo led, nella luce bianca prodotta dall'apparecchio. Vengono quindi riportati i dati di catalogo del prodotto:

**Tabella 3.1** Prestazioni I-TRON Zero

APPARECCHIO	OTTICA	CORRENTE LED (mA)	FLUSSO APPARECCHIO* (Tq=25°C, 4000K, lm)	POTENZA APPARECCHIO* (Tq=25°C, Vin=230Vac, F/DA/DAC, W)	EFFICIENZA APPARECCHIO (Tq=25°C, lm/W)	FLUSSO NOMINALE LED* (Tj=85°C, 4000K, lm)	POTENZA NOMINALE LED* (Tj=85°C, W)	
I-TRON ZERO 5P5 7040.060-1M	STE-M STU-M STW SV	60	1760	11.9	147.8	1847	9.4	
I-TRON ZERO 5P5 7040.060-2M			3550	23	154.3	3694	18.8	
I-TRON ZERO 5P5 7040.060-3M			5330	33.8	157.6	5541	28.2	
I-TRON ZERO 5P5 7040.060-4M			7170	43.4	165.2	7387	37.6	
I-TRON ZERO 5P5 7040.100-1M		100	2890	19.1	151.3	3023	16	
I-TRON ZERO 5P5 7040.100-2M			5790	37.4	154.8	6046	31.9	
I-TRON ZERO 5P5 7040.100-3M			8670	54.8	158.2	9069	47.9	
I-TRON ZERO 5P5 7040.100-4M			11550	72	160.4	12092	63.8	
I-TRON ZERO 5P5 7040.140-1M		140	4000	26.8	149.2	4150	22.7	
I-TRON ZERO 5P5 7040.140-2M			7930	52.3	151.6	8299	45.4	
I-TRON ZERO 5P5 7040.140-3M			11860	76.7	154.6	12449	68	
I-TRON ZERO 5P5 7040.140-4M			15610	102	153	16598	90.7	
I-TRON ZERO 5P5 7040.180-1M		180	5000	34.8	143.6	5227	29.6	
I-TRON ZERO 5P5 7040.180-2M			9870	67.7	145.7	10453	59.1	
I-TRON ZERO 5P5 7040.180-3M			14750	100	147.5	15680	88.7	
I-TRON ZERO 5P5 7040.180-4M			19410	132	147	20906	118	
I-TRON ZERO 5P5 7040.060-1M		S05 S07 STA STE-S STU-S	60	1730	11.9	145.3	1847	9.4
I-TRON ZERO 5P5 7040.060-2M				3460	23	150.4	3694	18.8
I-TRON ZERO 5P5 7040.060-3M				5210	33.8	154.1	5541	28.2
I-TRON ZERO 5P5 7040.060-4M				7010	43.4	161.5	7387	37.6
I-TRON ZERO 5P5 7040.100-1M			100	2830	19.1	148.1	3023	16
I-TRON ZERO 5P5 7040.100-2M				5650	37.4	151	6046	31.9
I-TRON ZERO 5P5 7040.100-3M				8480	54.8	154.7	9069	47.9
I-TRON ZERO 5P5 7040.100-4M				11290	72	156.8	12092	63.8
I-TRON ZERO 5P5 7040.140-1M	140		3900	26.8	145.5	4150	22.7	
I-TRON ZERO 5P5 7040.140-2M			7760	52.3	148.3	8299	45.4	
I-TRON ZERO 5P5 7040.140-3M			11600	76.7	151.2	12449	68	
I-TRON ZERO 5P5 7040.140-4M			15260	102	149.6	16598	90.7	
I-TRON ZERO 5P5 7040.180-1M	180		4870	34.8	139.9	5227	29.6	
I-TRON ZERO 5P5 7040.180-2M			9670	67.7	142.8	10453	59.1	
I-TRON ZERO 5P5 7040.180-3M			14420	100	144.2	15680	88.7	
I-TRON ZERO 5P5 7040.180-4M			18980	132	143.7	20906	118	

Per le applicazioni stradali/urbane si è scelto come prodotto COMPASS ovvero sempre un corpo illuminante dall'elevato grado di efficienza ma con anche caratteristiche di design indispensabile per quelle zone urbane in cui anche l'aspetto costruttivo ha un forte impatto.



- COMPASS:



Figura 3.12 COMPASS [8]

Di seguito viene riportato il catalogo con le possibili soluzioni utilizzabili:

Tabella 3.2 Prestazioni COMPASS

APPARECCHIO	OTTICA	CORRENTE LED (mA)	FLUSSO APPARECCHIO* (Tq=25°C, 4000K, lm)	POTENZA APPARECCHIO* (Tq=25°C, Vin=230Vac, F/DA/DAC, W)	EFFICIENZA APPARECCHIO (Tq=25°C, lm/W)	FLUSSO NOMINALE LED* (Tj=85°C, 4000K, lm)	POTENZA NOMINALE LED* (Tj=85°C, W)
COMPASS 1 S 2Z8 4.40-1M	STU-M STU-S STU-W	400	2830	21.5	131	3175	18
COMPASS 1 S 2Z8 4.40-2M			5700	40.5	140	6351	36
COMPASS 1 S 2Z8 4.40-3M			8490	59.5	142	9526	54
COMPASS 1 S 2Z8 4.40-4M			11180	79.5	140	12701	72
COMPASS 1 S 2Z8 4.50-1M	STU-M STU-S STU-W	500	3420	27	126	3896	23
COMPASS 1 S 2Z8 4.50-2M			6950	51.5	134	7792	46
COMPASS 1 S 2Z8 4.50-3M			10250	75.5	135	11688	68
COMPASS 1 S 2Z8 4.50-4M			13370	100	133	15585	91
COMPASS 1 S 2Z8 4.40-1M	S03	400	2780	21.5	129	3175	18
COMPASS 1 S 2Z8 4.40-2M			5590	40.5	138	6351	36
COMPASS 1 S 2Z8 4.40-3M			8320	59.5	139	9526	54
COMPASS 1 S 2Z8 4.40-4M			10950	79.5	137	12701	72
COMPASS 1 S 2Z8 4.50-1M	S03	500	3350	27	124	3896	23
COMPASS 1 S 2Z8 4.50-2M			6820	51.5	132	7792	46
COMPASS 1 S 2Z8 4.50-3M			10050	75.5	133	11688	68
COMPASS 1 S 2Z8 4.50-4M			13100	100	131	15585	91
COMPASS 1 S 2Z8 4.40-2M	S	400	5590	40.5	138	6351	36
COMPASS 1 S 2Z8 4.40-4M			10950	79.5	137	12701	72
COMPASS 1 S 2Z8 4.50-2M	S	500	6820	51.5	132	7792	46
COMPASS 1 S 2Z8 4.50-4M			13100	100	131	15585	91

Nelle zone di parcheggi e parchi urbani, in cui erano presenti lampade a sfera che illuminavano a 360° l'ambiente circostante, si è scelto di utilizzare come prodotto ARYA.

- ARYA



**Figura 3.13 ARYA [8]**

Vengono quindi presentati i dati di catalogo del prodotto:

**Tabella 3.3 Prestazioni ARYA**

APPARECCHIO	OTTICA	CORRENTE LED (mA)	FLUSSO APPARECCHIO* (Tq=25°C, 4000K, lm)	POTENZA APPARECCHIO* (Tq=25°C, Vin=230Vac, FIDA/DAC, W)	EFFICIENZA APPARECCHIO (Tq=25°C, lm/W)	FLUSSO NOMINALE LED* (Tj=85°C, 4000K, lm)	POTENZA NOMINALE LED* (Tj=85°C, W)
ARYA TP 2Z8 4.40-1M	STU-M	400	2490	21.5	115	3184	18
ARYA TP 2Z8 4.40-2M	STU-S STU-W		5010	40.5	123	6368	36
ARYA TP 2Z8 4.50-1M	STU-M		3010	27	111	3899	23
ARYA TP 2Z8 4.50-2M	STU-S STU-W	500	6110	51.5	118	7798	46
ARYA TP 2Z8 4.40-1M	S03	400	2440	21.5	113	3175	18
ARYA TP 2Z8 4.40-2M			4910	40.5	121	6351	36
ARYA TP 2Z8 4.50-1M			2950	27	109	3896	23
ARYA TP 2Z8 4.50-2M	S03	500	5990	51.5	116	7792	46
ARYA TP 2Z8 4.40-2M	S	400	4910	40.5	121	6351	36
ARYA TP 2Z8 4.50-2M	S	500	5990	51.5	116	7792	46
ARYA TP 2Z8 4.25-1M VEX	HC-ST	250	1470	13.5	108	2049	11
ARYA TP 2Z8 4.25-2M VEX			3010	25	120	4097	22
ARYA TP 2Z8 4.35-1M VEX	HC-ST	350	2030	18.5	109	2806	16
ARYA TP 2Z8 4.35-2M VEX			4050	35	115	5612	31
ARYA TP 2Z8 4.25-2M VEX	HC-S	250	3010	25	120	4097	22
ARYA TP 2Z8 4.25-4M VEX			5990	47.5	126	8195	44
ARYA TP 2Z8 4.35-2M VEX			4050	35	115	5612	31
ARYA TP 2Z8 4.35-4M VEX**	HC-S	350	8070	68	118	11224	62

Ed infine, per sostituire le lanterne presenti nei centri storici di Sant’Omero e di Poggio Morello si è scelto di inserire nella struttura metallica già installata il modulo iBox e disinstallare i vetri protettivi delle stesse per evitare l’insudiciamento possibile ed inoltre per evitare che le riflessioni e rifrazioni prodotte dal vetro potessero causare una forma di inquinamento luminoso vietato.

- iBox



**Figura 3.14 iBox [8]**

Viene quindi inserita la scheda tecnica del prodotto, in questo caso si è scelto di usare moduli con temperatura di colore di 3000°K in modo tale da garantire una luce più gialla che comporta un maggior benessere per la popolazione.

**Tabella 3.4** Prestazioni iBox

APPARECCHIO	OTTICA	Corrente LED (mA)	FLUSSO APPARECCHIO* (Tq=25°C, 3000K, lm)	POTENZA APPARECCHIO* (Tq=25°C, Vin=230Vac, F/DA/DAC, W)	EFFICIENZA APPARECCHIO (Tq=25°C, lm/W)	FLUSSO NOMINALE LED* (Tj=85°C, 3000K, lm)	POTENZA NOMINALE LED* (Tj=85°C, W)
iBox 0F2H1 3.5-1M PCG	S05	525	1570	16.5	95	1990	13
iBox 0F2H1 3.5-2M PCG	STU-M		3090	31	99	3981	26
iBox 0F2H1 3.5-3M PCG	STU-S		4630	45	102	5972	39
iBox 0F2H1 3.5-4M PCG	SV SV2 TS		5980	58	103	7963	52
iBox 0F2H1 3.7-1M PCG	S05	700	2030	22	92	2520	17
iBox 0F2H1 3.7-2M PCG	STU-M		3950	41	96	5040	35
iBox 0F2H1 3.7-3M PCG	STU-S		5890	59	99	7560	53
iBox 0F2H1 3.7-4M PCG	SV SV2 TS		7520	77.5	97	10080	71
iBox 0F3 3.5-1M PCG	STE-M STE-S STW	525	2190	22	99	2701	17
iBox 0F3 3.5-2M PCG			4320	40	108	5403	34
iBox 0F3 3.5-3M PCG			6270	58	108	8105	52
iBox 0F3 3.5-4M PCG			8320	77.5	107	10807	69
iBox 0F3 3.7-1M PCG	STE-M STE-S STW	700	2730	28.5	95	3420	23
iBox 0F3 3.7-2M PCG			5470	53	103	6840	47
iBox 0F3 3.7-3M PCG			7890	77.5	101	10260	71
iBox 0F3 3.7-4M PCG			2100	22	95	2701	17
iBox 0F3 3.5-2M PCG	S05	525	4150	40	103	5403	34
iBox 0F3 3.5-3M PCG			6020	58	103	8105	52
iBox 0F3 3.5-4M PCG			8000	77.5	103	10807	69
iBox 0F3 3.7-1M PCG			2630	28.5	92	3420	23
iBox 0F3 3.7-2M PCG	S05	700	5250	53	99	6840	47
iBox 0F3 3.7-3M PCG			7570	77.5	97	10260	71
iBox 0F2H1 3.5-2M PCG	S	525	3090	31	99	3981	26
iBox 0F2H1 3.5-4M PCG			5980	58	103	7963	52
iBox 0F2H1 3.7-2M PCG	S	700	3950	41	96	5040	35
iBox 0F2H1 3.7-4M PCG			7520	77.5	97	10080	71

# Capitolo 4

In questo capitolo vengono descritte le opere di riqualificazione ed efficientamento energetico per il comune di Sant'Omero. In questo lavoro di tesi e per il progetto da realizzare, il punto focale è quello di realizzare un sistema di illuminazione il più efficiente e quindi meno energivoro possibile rispettando le caratteristiche delle categorie illuminotecniche di progetto. Per un progetto ottimizzato è necessario avere una solida base di progettazione in modo da poter definire in maniera corretta categoria di illuminazione, altezza dei pali, tipologia di dispositivo e potenza da installare. Queste informazioni verranno processate attraverso l'utilizzo del software di calcolo Relux. Per la fornitura dei corpi illuminanti e come supporto per la progettazione si è scelto AEC Illuminazione che, come CPL Concordia, sposa gli stessi obiettivi sostenibili ed efficienti. AEC è un'azienda leader nel settore sia a livello nazionale che internazionale con sede a Subbiano (AR) che presterà le proprie conoscenze di progettazione per il lavoro da realizzare.

## 4. Scelta dell'apparecchiatura

### 4.1 Caratteristiche dei dispositivi di classe II

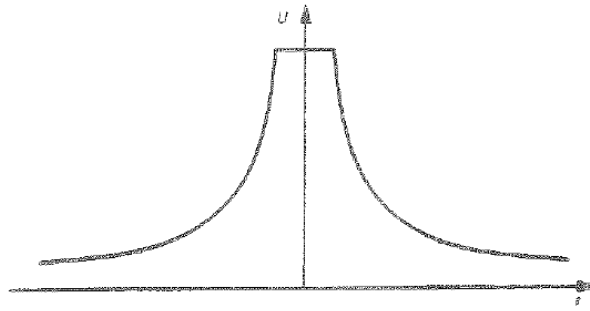
Gli apparecchi di illuminazione che saranno installati sono realizzati in classe II ovvero presentano un doppio strato di materiale isolante (isolamento principale ed isolamento supplementare) o un isolamento singolo rinforzato in modo tale che tutte le parti attive non vadano in tensione a seguito di un guasto. Le norme vietano di collegare a terra questa tipologia di apparecchi in quanto il collegamento a terra del contenitore metallico serve solamente in caso di cedimento dell'isolamento tra le sue parti attive e l'involucro stesso e la probabilità che accada è inferiore alla probabilità che la terra assuma un potenziale pericoloso e quindi il collegamento sarebbe controproducente per la sicurezza. In un apparecchio in classe I invece, il collegamento a terra ed il relativo coordinamento con le protezioni per interrompere l'alimentazione in tempo utile, garantisce la sicurezza in caso di cedimento dell'isolamento principale.

L'impianto di terra potrebbe assumere tensioni pericolose, ad esempio tutte le volte che alla stessa terra sono collegati apparecchi in classe I qualora in presenza di un guasto a terra, non dovesse funzionare l'interruttore differenziale. Se la terra è autonoma (questa può essere il palo di illuminazione metallico che di fatto è a terra perché è infisso nel terreno) e non vi sono collegati apparecchi in classe I o se non può in alcun modo assumere tensioni pericolose per la vicinanza di altri impianti di terra (ad es. di una cabina MT o AT), viene a cadere la ragione del divieto. Da questo è possibile affermare che l'incompatibilità normativa tra classe II e terra si riferisce ad una terra che in condizioni particolari può assumere tensioni pericolose (terra pericolosa) mentre non si applica nel caso di una terra non pericolosa.

#### 4.1.1 Problemi di incompatibilità fra SPD e isolamento di classe

##### II

Gli apparecchi di illuminazione sono provvisti di scaricatori di sovratensione detti SPD (acronimo di *Surge Protection Device*), ovvero dispositivi integrati agli apparecchi di illuminazione per la protezione contro le sovratensioni di modo differenziale e comune. Per quest'ultime hanno bisogno di una terra per intervenire (nonostante il collegamento a terra non sia ammesso per gli apparecchi di illuminazione in classe II) in modo tale da proteggere il dispositivo anche per sovratensioni di modo comune fra fase e terra che sono le più frequenti negli impianti di pubblica illuminazione. Gli apparecchi di illuminazione a led sono collegati al palo metallico e, attraverso questo, a terra. Al sopraggiungere di una sovratensione l'SPD, tramite il palo metallico, scarica a terra la corrente che è stata generata. La scarica dura per un tempo estremamente breve (decine di microsecondi) per cui le tensioni che può assumere il palo non sono pericolose per le persone, visto anche l'andamento del potenziale di terra durante la scarica (Figura 4.1).



**Figura 4.1** Andamento del potenziale di terra per un dispersore emisferico [1]

È però importante fare notare che tutti gli apparecchi di classe II devono sopportare una tensione di prova verso terra di  $4\text{ kV}$  a  $50\text{ Hz}$  applicata per un minuto. Se viene collegato a terra un qualsiasi SPD, questa prova non viene superata in quanto interverrebbe subito lo scaricatore senza che venga certificata la tenuta alla prova da parte dell'isolamento di classe II. Proprio per questo i costruttori degli apparecchi di illuminazione a led in classe II non collegano a terra gli SPD, mentre, il collegamento equipotenziale degli alimentatori elettronici è isolato per costruzione a differenza di quello degli SPD e quindi consente di superare la prova anche se installato.

#### 4.1.2 Norme di installazione degli SPD

Le norme sulla protezione delle apparecchiature contro le sovratensioni richiedono che l'SPD sia installato il più vicino possibile ai dispositivi da proteggere (alimentatore elettronico e led) per aumentare l'efficienza della protezione e ridurre il suo costo. Il costruttore di un apparecchio di illuminazione a led che installa un SPD al suo interno, lo deve dimensionare e poi provare in laboratorio per aumentare il livello di protezione dei led fornito dall'alimentatore elettronico. CPL Concordia nel dicembre 2019 ha condotto questi test presso i laboratori AEC riportando risultati soddisfacenti installando un fusibile da  $16\text{ A}$ , posto sul cavo di fase a monte al fine di proteggerlo da correnti di scarica troppo elevate e garantendo la protezione del dispositivo fino a tensioni di prova di  $10\text{ kV}$ . Il costruttore dell'apparecchio, per marcare *CE* il prodotto, è tenuto ad installare il fusibile a protezione dell'apparecchio di illuminazione o, in alternativa, a chiedere al cliente l'assicurazione che lo installerà nel proprio impianto elettrico.

### 4.1.3 Conformità normativa dell'impianto

CPL Concordia, per tutte le nuove installazioni ha deciso di collegare a terra l'SPD collegandolo direttamente alla carcassa del corpo illuminante e quindi del palo attraverso un conduttore in rame di sezione  $1,5 \text{ mm}^2$ . Si dichiara quindi, che questa procedura favorisce la sicurezza. Inoltre, collegare l'SPD a terra non richiede la denuncia dell'impianto di terra e l'effettuazione delle verifiche periodiche perché lo scopo della denuncia e delle verifiche è la protezione delle persone dai contatti indiretti mentre in questo caso l'impianto di illuminazione pubblica era e rimane un impianto con isolamento di classe II ed il collegamento a terra dell'SPD è aggiuntivo e per questo non occorre alcuna verifica. [23] [24] [25]

## 4.2 Ottimizzazione degli impianti

Il ruolo di progettista per tutte le opere di relamping degli impianti non si basa solamente sulla mera sostituzione dei corpi illuminanti con apparecchi più efficienti e tecnologicamente più avanzati, ma deve far sì di poter adattare l'infrastruttura esistente con l'apparecchio installato in modo che tutto l'insieme di lampada e infrastruttura sia ottimizzata energeticamente. Di particolare attenzione è la relazione fra l'illuminamento del manto stradale associato all'altezza e all'interdistanza dei pali.

### 4.2.1 Relazione fra illuminamento ed altezza

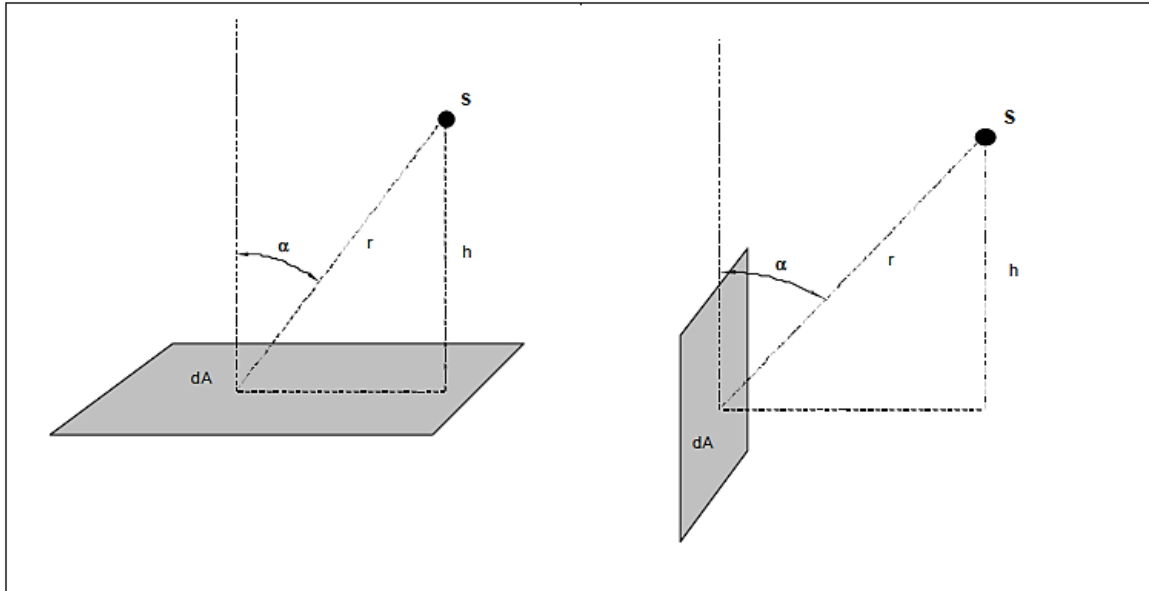
Il led è la tipica sorgente luminosa puntiforme, in quanto la sua dimensione è almeno  $1/5$  della distanza dai punti da illuminare, basti pensare che il led in sé ha dimensioni dell'ordine dei  $nm$  (e la piastra del corpo illuminante dell'ordine delle decine dei centimetri) mentre le distanze da illuminare sono dell'ordine del metro. Nei progetti illuminotecnici un aspetto fondamentale è rappresentato dal calcolo dell'illuminamento prodotto in un punto da una o più sorgenti. Si può quindi prendere in esempio una situazione in cui l'apparecchio di illuminazione sia approssimato come una sola sorgente puntiforme  $S$ , posta a distanza  $r$  da un punto  $P$  di una superficie elementare  $dA$ , detta  $I_a$  l'intensità luminosa della sorgente nella direzione di  $P$  e detto  $d\omega$  l'angolo solido sotto cui la sorgente vede  $dA$ , l'illuminamento su di essa vale:



$$E_{\alpha} = \frac{I_{\alpha}}{r^2} \cos \alpha$$

4.1

Seguendo la Figura 4.2:



**Figura 4.2** Illuminamento su una superficie dA per una sorgente puntiforme

L'espressione 4.1 esprime anche un'altra proprietà dell'illuminamento, si nota infatti che, quando la superficie è normale alla direzione dell'intensità ( $\cos \alpha = 1$ ), si ottiene che:

$$E_{\alpha} = \frac{I_{\alpha}}{r^2}$$

4.2

Questa viene anche definita come legge dell'inverso del quadrato, secondo la quale l'illuminamento prodotto su una superficie per effetto di una sorgente puntiforme diminuisce con il quadrato della distanza. [26]



# Capitolo 5

In questo capitolo verranno presentati i calcoli e le procedure operative per la realizzazione del progetto esecutivo del comune di Sant'Omero.

## 5. Progetto esecutivo per il Comune di Sant'Omero

Il comune di Sant'Omero entrò in gestione a CPL Concordia agli inizi degli anni duemila con un piano di gestione di 20 anni. In quel frangente, si scelse di attuare un progetto di *relamping* completo su tutto il territorio comunale passando da lampade ai vapori di mercurio di potenza molto elevata (dai 150 ai 250 W) a lampade più efficienti ai vapori di sodio ad alta pressione prodotte da AEC Illuminazione del modello AEC DUE e AEC LUNOIDE da 70 e 100 W. Lo stato attuale degli impianti di illuminazione pubblica è quindi caratterizzato da impianti ormai datati e con un livello tecnologico superato, che furono progettati e realizzati secondo i canoni progettuali dell'epoca. Questi impianti, seppur ammodernati negli anni duemila, presentano un livello di illuminamento verificato inadeguato e molto spesso inesistente, ed inoltre i dispositivi di riduzione del flusso luminoso posti nei quadri elettrici ormai non sono più funzionanti da anni. Si è quindi riscontrata una situazione in cui la programmazione e la manutenzione non sono state eseguite in maniera adeguata, motivo per il quale si è riscontrato un notevole aumento dei costi e dei consumi di energia elettrica negli ultimi anni. Lo scopo di una corretta programmazione è quello di ottimizzare e omogeneizzare gli interventi sia immediati che futuri avendo come punto di partenza un'analisi accurata della situazione esistente. Per il progetto esecutivo del comune di Sant'Omero si è eseguito inizialmente un censimento accurato di tutte le vie che compongono le zone in cui è stato stabilito il relamping. L'analisi della situazione esistente rappresenta il punto di partenza, poiché mette in evidenza tutti gli elementi che compongono lo stato di fatto dell'illuminazione esistente sotto ogni aspetto facendo emergere le criticità e le possibili migliorie da applicare al comune. Per fare ciò, si è costruito un file Excel in cui sono stati censiti i seguenti parametri:

- Altezza del palo che sorregge il corpo illuminante;
- Interdistanza fra due pali consecutivi;
- Larghezza della strada;
- Categoria illuminotecnica di progetto;
- Presenza o meno di marciapiedi, ciclabili o parcheggi;
- Distanza del punto luce dal ciglio della carreggiata.

Tenendo conto di quanto riportato nel paragrafo 4.2.1 si sono quindi attentamente analizzate tutte le vie censite e si sono scelte quelle le cui ampiezze delle vie non erano coerenti con l'altezza del palo installato e tutte quelle vie in cui era stato previsto uno sbraccio ormai inutile (a meno che non ci siano situazioni particolari in cui sono presenti ostacoli non rimovibili per i quali lo sbraccio è indispensabile). Inoltre, dalla tecnica, si sono definite delle relazioni di proporzionalità fra larghezza delle strade in relazione con l'altezza dei pali e l'interdistanza fra gli stessi. In particolare, si ha che l'altezza dei pali dovrebbe essere circa uguale alla larghezza della strada mentre l'interdistanza ideale tra i pali corrisponde a 3,5/4 volte l'altezza dei pali installati. Essendo quella sul comune di Sant'Omero un'opera di relamping l'interdistanza dei pali è fissa e non modificabile, ciò su cui però è possibile intervenire è l'altezza dei pali. Per la maggior parte delle vie individuate si è scelto di rimuovere lo sbraccio e rendere il palo a un'altezza più consona (tutte le vie avranno un'altezza dei pali di 7/8 m) mentre per tutte quelle vie con una larghezza della strada ridotta vengono quindi abbassati i pali per rendere il più efficiente possibile l'impianto. Una volta individuate, si sono effettuati i calcoli illuminotecnici per selezionare il giusto apparecchio da installare.

## 5.1 Casi studi rappresentativi del lavoro svolto

### 5.1.1 SS259 – Via Metella Nuova

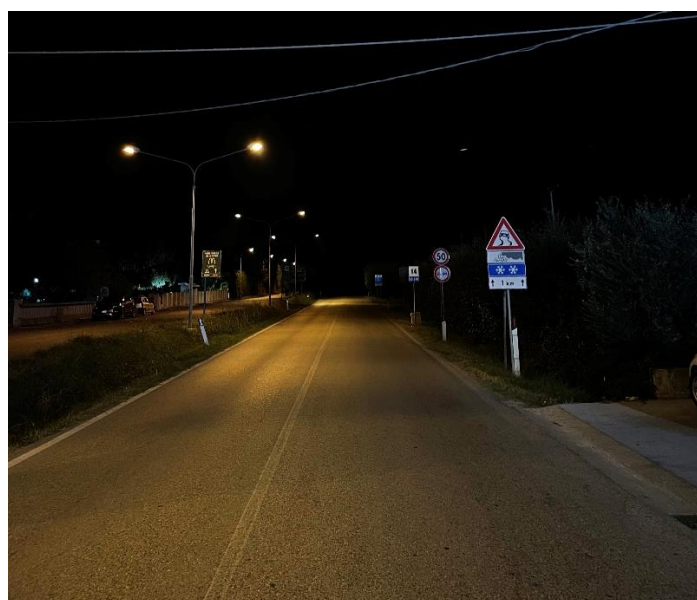
La via scelta per il confronto è Via Metella Nuova, una strada statale che collega direttamente i centri di Garrufo e Sant'Omero. Su tutta la lunghezza della via sono presenti lampade al sodio ad alta pressione da 117W (corrispondenti a 100 W della lampada, 15 W dell'alimentatore e 2 W a causa delle perdite in rete). La strada è stata classificata, come categoria illuminotecnica di ingresso, M4, e dopo un attento

sopraluogo ed una completa analisi dei rischi si è deciso di mantenere la stessa classe anche come categoria illuminotecnica di progetto. In Figura 5.1 è possibile osservare un esempio del file Excel che è stato compilato per tutte le vie presenti a Sant’Omero.

Nome della strada	Altezza del punto luce [m]	Interdistanza	Larghezza della carreggiata	Distanza dal ciglio	Cat. Illuminotecnica di progetto
Via Metella Nuova - SS259	8	28	10		M4
Via C. Chaplin (Dietro le Mura)	8	30	10		M6
Piazzetta e Trav Villa Gatti	8	14	3		C5
Via dello Sport	8	32	8		M5

**Figura 5.1** Foglio Excel di esempio per il censimento

Si è inoltre verificato che, gli attuali corpi illuminanti presenti non riescano a garantire un illuminamento tale da definire la strada di categoria M4 in quanto, lungo tutta la via sono presenti “buchi di luce” che sono facilmente riferibili a una scarsa uniformità generale e longitudinale come possibile vedere in Figura 5.2:



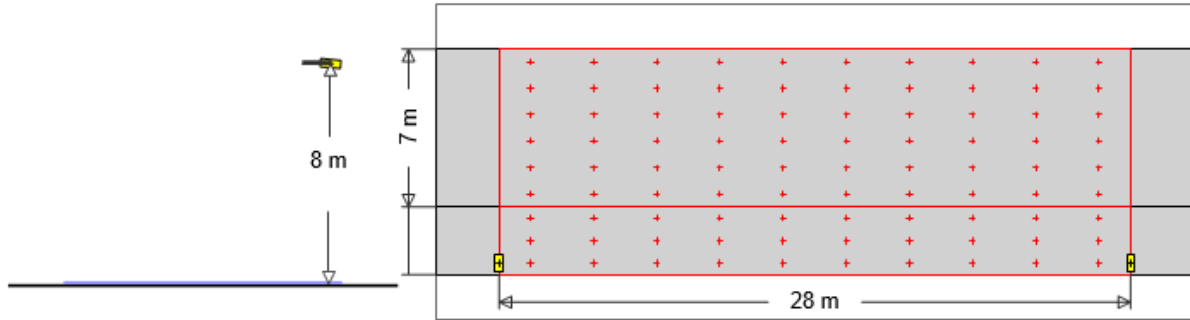
**Figura 5.2** Fotografia di Via Metella Nuova


Per rendere evidente questo, si è cercato di realizzare un paragone, attraverso lo strumento di calcolo Relux, tra le lampade SAP attualmente installate con le lampade a LED che verranno installate al termine del progetto. Attraverso gli archivi di AEC Illuminazione, sono state inserite le fotometrie delle lampade SAP installate nel precedente progetto di riqualifica. Questo calcolo viene quindi eseguito per fornire un confronto d’esempio, fra la lampada SAP da 117 W denominata AEC DUE e il prodotto stradale a led I-TRON Zero.

## 1 Via Metella Nuova SAP

### 1.1 Riepilogo, Via Metella Nuova SAP

#### 1.1.1 Panoramica risultato, Via Metella Nuova SAP



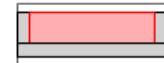
**AEC ILLUMINAZIONE SRL**  
 50  Codice : DUE-033  
 Nome punto luce : AEC DUE 100W SHP-E  
 Sorgenti : 1 x 100W SHP-E 100 W / 9500 lm

**MyLumRow**

Posizionamento	: Fila a destra	Fattore di manut.	: 0.80
Distanza armature	: 28.00 m	Altezza (centro fotom.)	: 8.00 m
Sporgenza	: -2.50 m	Inclinazione	: 5.00 °
Posizione assoluta	: -2.50 m	Classe di abbaglia.	: D4
Potenza/Km	: 3571 W/km	Classe intensità lum.	: G*1
Flusso verso l'alto (ULR)	: 0.03		

**Strada**

Larghezza : 7.00 m Corsie 2  
 Superficie : CIE C2, q0=0.07



**Luminanza** Area di calcolo: 28m x 7m (10 x 6 Punti)

Osservatore

2 : x=-60.00m, y=5.25m, z=1.50m  
 1 : x=-60.00m, y=1.75m, z=1.50m

Lane	$\bar{L}_m$	$U_o$	$U_l$	$f_{\pi}$	$RE_l$
2:(y=5.25)	0.49 cd/m <sup>2</sup>	0.40	0.83	9	0.48
1:(y=1.75)	0.44 cd/m <sup>2</sup>	0.43	0.56	14	1.00
M4	$\geq 0.75$ cd/m <sup>2</sup>	$\geq 0.40$	$\geq 0.60$	$\leq 15$	$\geq 0.30$

C3	$\bar{E}_m$ 11.5 lx $\geq 15.0$ lx	$E_{min}$ 3.88 lx	$U_o$ 0.34 $\geq 0.40$	$U_d$ 0.16
----	--	----------------------	------------------------------	---------------

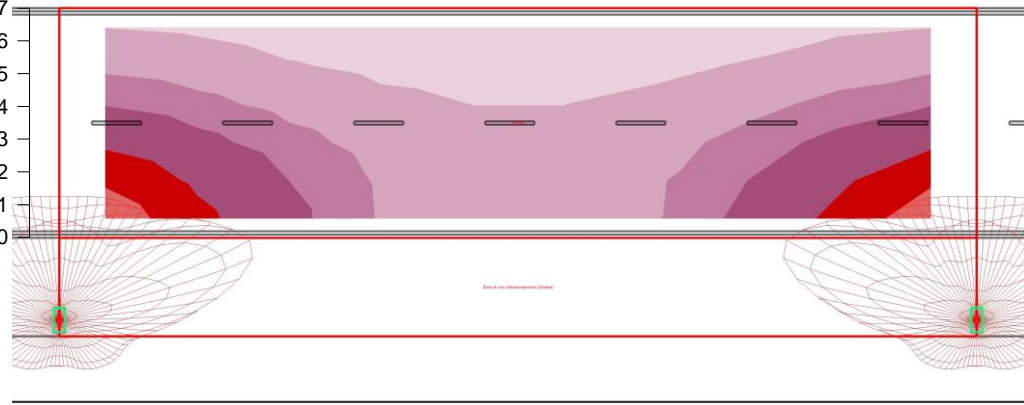
## 1 Via Metella Nuova SAP

### 1.3 Risultati calcolo, Via Metella Nuova SAP

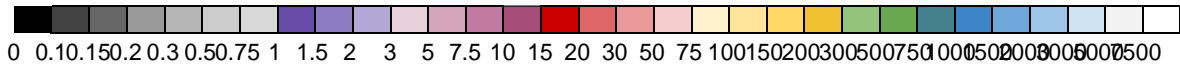
#### 1.3.1 Tabella, Strada (E orizzontale)

[m]	5	4.6	4	3.7	(3.5)	(3.5)	3.7	4	4.6	5
6.42	6.9	6.1	5.2	4.5	4.3	4.3	4.5	5.2	6.1	6.9
5.25	9.8	8.2	6.7	5.5	5	5	5.5	6.7	8.2	9.8
4.08	14	11	8.4	6.5	5.5	5.5	6.5	8.4	11	14
2.92	19.2	14.1	10	7.2	5.8	5.8	7.2	10	14.1	19.2
1.75	[23.6]	16.4	11	7.3	5.6	5.6	7.3	11	16.4	[23.6]
0.58	1.40	4.20	7.00	9.80	12.60	15.40	18.20	21.00	23.80	26.60
	Illuminamento [lx]									

y [m]



0.0 2.5 5.0 7.5 10.0 12.5 15.0 17.5 20.0 22.5 25.0 27.5 x [m]

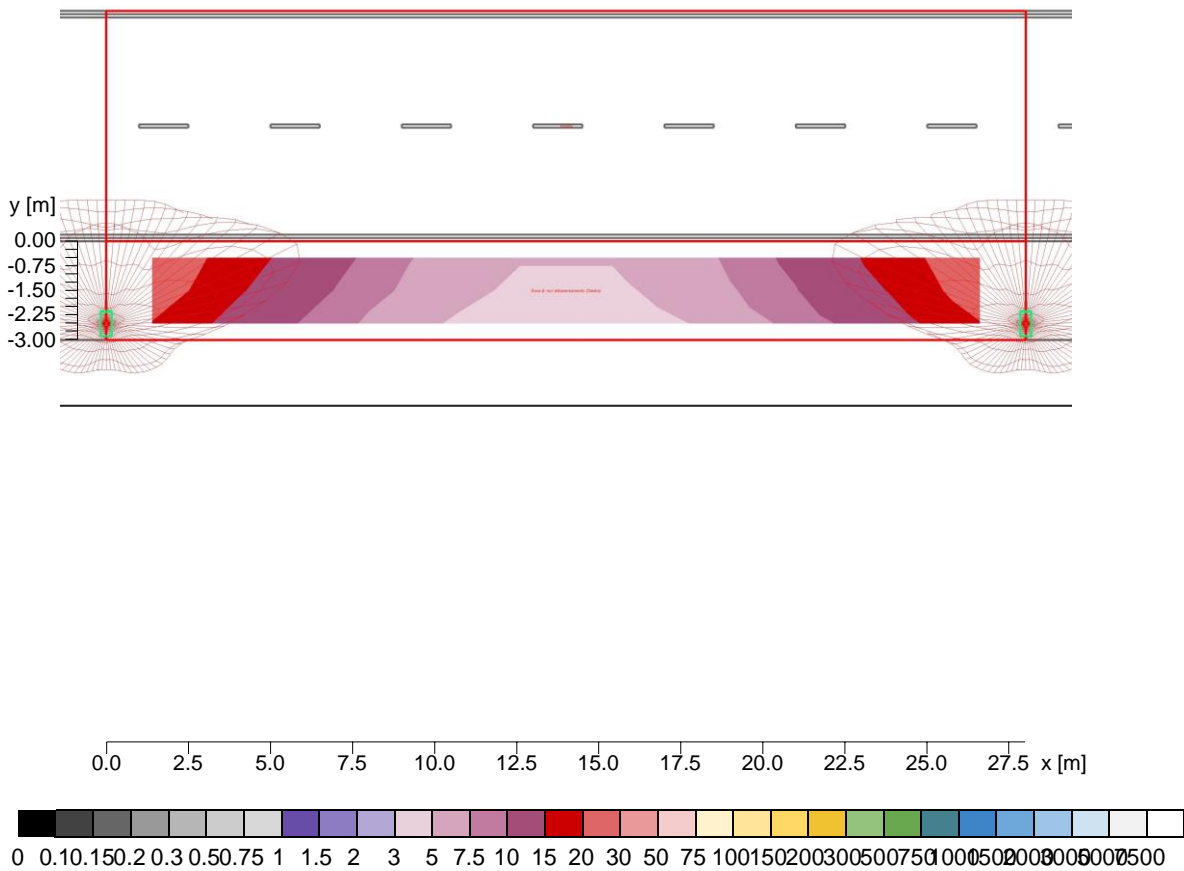


Altezza del piano di riferimento		: 0.00 m
Illuminamento medio	$\bar{E}_m$	: 8.3 lx
Illuminamento minimo	$E_{min}$	: 3.5 lx
Illuminamento massimo	$E_{max}$	: 23.6 lx
Uniformità $U_o$	$E_{min}/\bar{E}_m$	: 1 : 2.33 (0.43)
Uniformità $U_d$	$E_{min}/E_{max}$	: 1 : 6.64 (0.15)

## 1.3 Risultati calcolo, Via Metella Nuova SAP

### 1.3.2 Tabella, Zona di non attraversamento (Destra) (E orizzontale)

[m]	<b>[24.8]</b>	16.8	10.9	6.9	5.1	5.1	6.9	10.9	16.8	<b>[24.8]</b>
2.50	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	23.2	15.1	9.8	6.1	4.6	4.6	6.1	9.8	15.1	23.2
1.50	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	19.7	12.5	8.2	5.2	<b>(3.9)</b>	<b>(3.9)</b>	5.2	8.2	12.5	19.7
0.50	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	1.40	4.20	7.00	9.60	12.60	15.40	18.20	21.00	23.80	26.60
	Illuminamento [lx]									

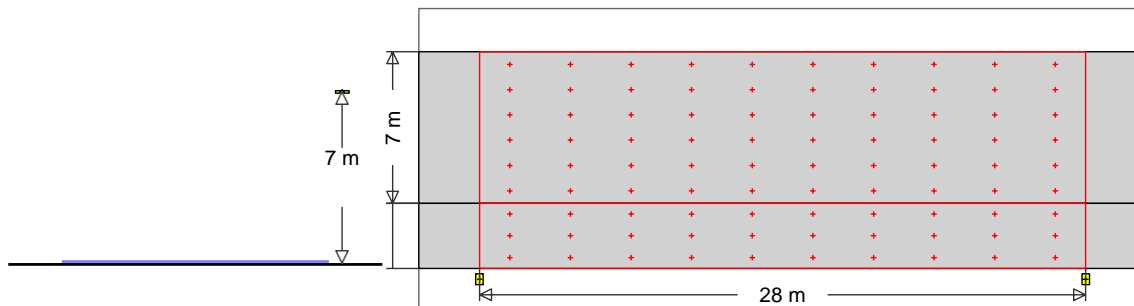




## 2 Via Metella Nuova LED

### 2.1 Riepilogo, Via Metella Nuova LED

#### 2.1.1 Panoramica risultato, Via Metella Nuova LED



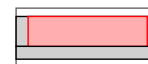
1 **AEC ILLUMINAZIONE SRL**  
 Codice : 22-120-01\_03  
 Nome punto luce : I-TRON ZERO 5P5 S05 7040.100-4M  
 Sorgenti : 1 x L-ITR0-5P5-4000-100-4M-70-25 72 W / 11290 lm

#### MyLumRow

Posizionamento	: Fila a destra	Fattore di manut.	: 0.80
Distanza armature	: 28.00 m	Altezza (centro fotom.)	: 7.00
mSporgenza	: -3.50 m	Inclinazione	: 0.00 °
Posizione assoluta	: -3.50 m	Classe di abbaglia.	: D4
Potenza/Km	: 2571 W/km	Classe intensità lum.	: G*2
Flusso verso l'alto (ULR)	: 0.00		

#### Strada

Larghezza : 7.00 m Corsie 2  
 Superficie : CIE C2, q0=0.07



#### Luminanza

Area di calcolo: 28m x 7m (10 x 6 Punti)

#### Osservatore

2 : x=-60.00m, y=5.25m,  
z=1.50m

1 : x=-60.00m, y=1.75m,  
z=1.50m

#### Lane

2:(y=5.25)

1:(y=1.75)

M4

	$\bar{I}_m$	$U_o$	$U_l$
2:(y=5.25)	0.90 cd/m <sup>2</sup>	0.58	0.75
1:(y=1.75)	0.84 cd/m <sup>2</sup>	0.60	0.69
M4	>= 0.75 cd/m <sup>2</sup>	>= 0.40	>= 0.60

fTl

5

11

<= 15

REI

0.5

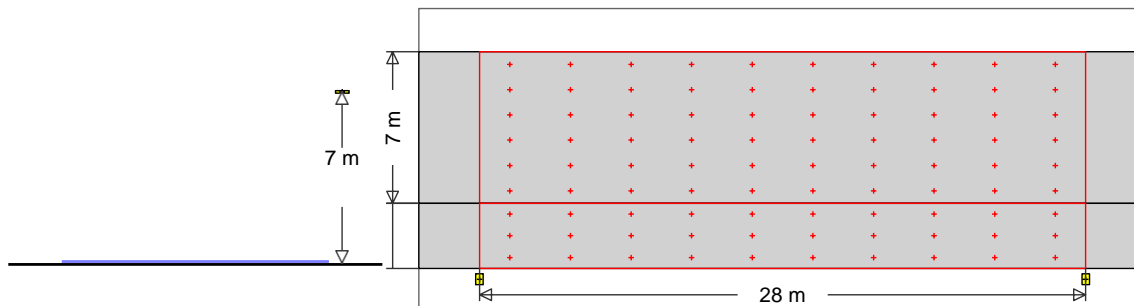
1.1

>= 0.30

## 2 Via Metella Nuova LED

### 2.1 Riepilogo, Via Metella Nuova LED

#### 2.1.1 Panoramica risultato, Via Metella Nuova LED



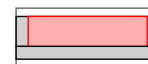
- 1 **AEC ILLUMINAZIONE SRL**  
 Codice : 22-120-01\_03  
 Nome punto luce : I-TRON ZERO 5P5 S05 7040.100-4M  
 Sorgenti : 1 x L-ITR0-5P5-4000-100-4M-70-25 72 W / 11290 lm

#### MyLumRow

Posizionamento	: Fila a destra	Fattore di manut.	: 0.80
Distanza armature	: 28.00 m	Altezza (centro fotom.)	: 7.00
mSporgenza	: -3.50 m	Inclinazione	: 0.00 °
Posizione assoluta	: -3.50 m	Classe di abbaglia.	: D4
Potenza/Km	: 2571 W/km	Classe intensità lum.	: G*2
Flusso verso l'alto (ULR)	: 0.00		

#### Strada

Larghezza	: 7.00 m	Corsie	2
Superficie	: CIE C2, q0=0.07		



#### Luminanza Area di calcolo: 28m x 7m (10 x 6 Punti)

Osservatore

2 : x=-60.00m, y=5.25m,  
z=1.50m

1 : x=-60.00m, y=1.75m,  
z=1.50m

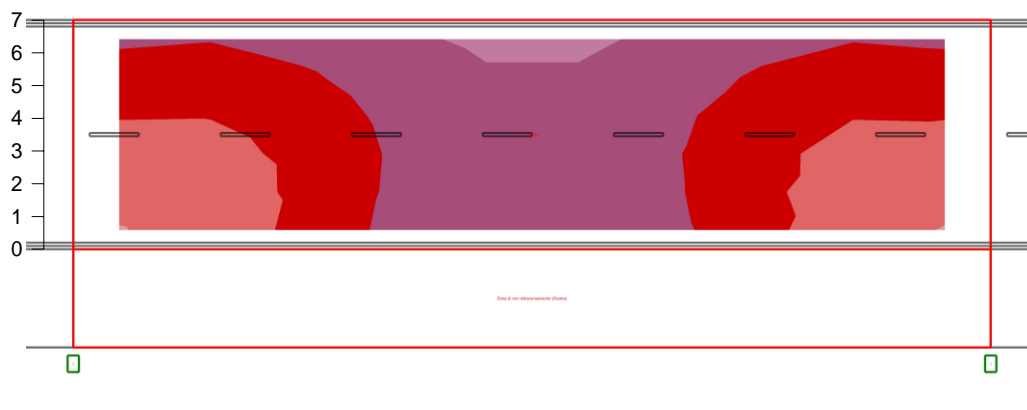
Lane	$\bar{I}_m$	$U_o$	$U_l$	$f_{TI}$	$R_{EI}$
2:(y=5.25)	0.90 cd/m <sup>2</sup>	0.58	0.75	5	0.5
1:(y=1.75)	0.84 cd/m <sup>2</sup>	0.60	0.69	11	1.1
M4	$\geq 0.75$ cd/m <sup>2</sup>	$\geq 0.40$	$\geq 0.60$	$\leq 15$	$\geq 0.30$

## Risultati calcolo, Via Metella Nuova LED

### Tabella, Strada (E orizzontale)

14.3	14.8	13.2	10.8	<b>(9.2)</b>	<b>(9.2)</b>	10.8	13.2	14.8	14.3
17.1	17.4	15.8	12.6	10.5	10.5	12.6	15.8	17.4	17.1
19.7	19.8	17.7	13.8	11.3	11.3	13.8	17.7	19.8	19.7
22.4	21.7	18.7	14.4	11.6	11.6	14.4	18.7	21.7	22.4
25.9	23.3	18.7	14.3	11.4	11.4	14.3	18.7	23.3	25.9
<b>[30.6]</b>	24.5	18	13.9	11	11	13.9	18	24.5	<b>[30.6]</b>
1.40	4.20	7.00	9.80	12.60	15.40	18.20	21.00	23.80	26.60

y [m]



0.0 2.5 5.0 7.5 10.0 12.5 15.0 17.5 20.0 22.5 25.0 27.5 x [m]



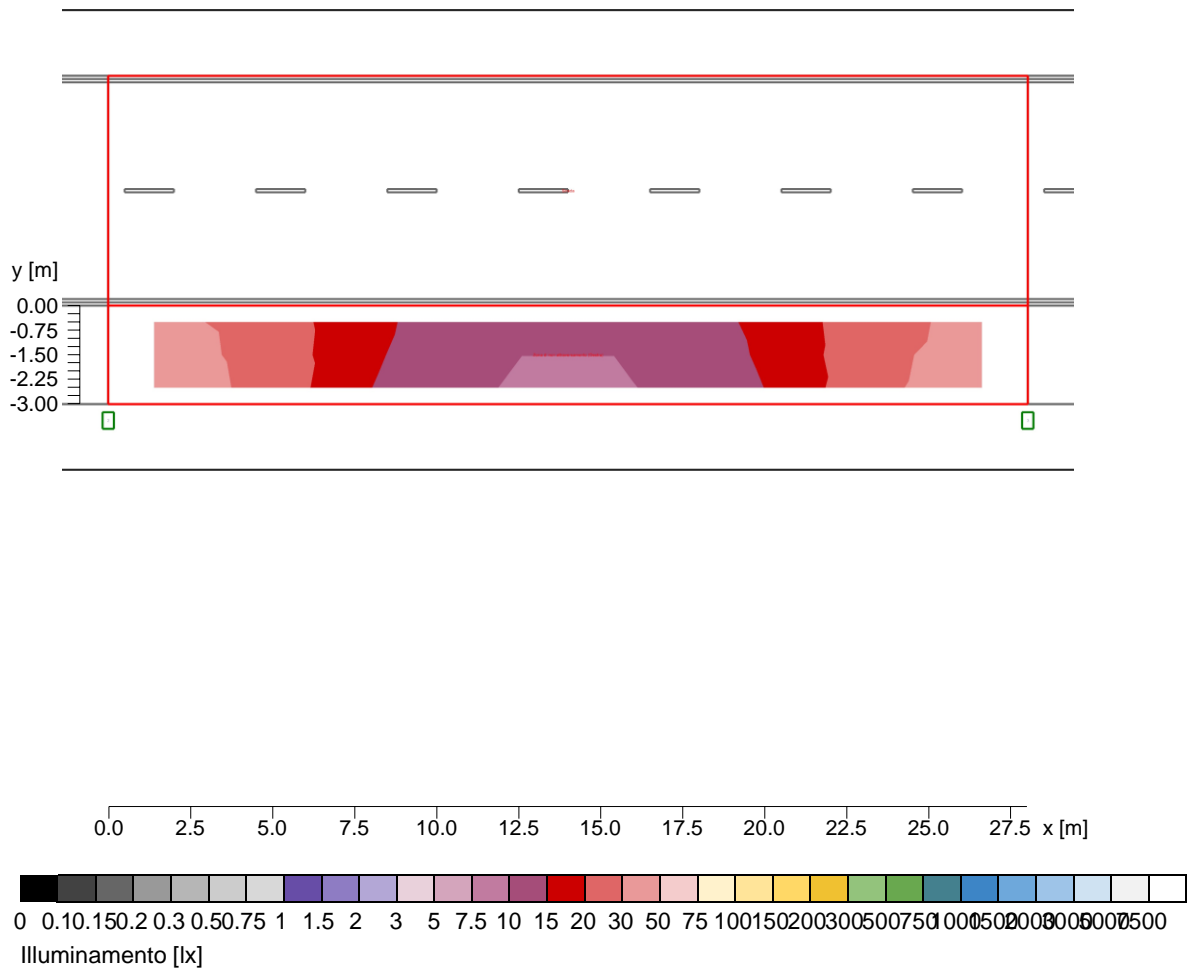
0 0.10.150.20.30.50.75 1 1.5 2 3 5 7.5 10 15 20 30 50 75 10015020030050075010005000800050007500  
Illuminamento [lx]

Altezza del piano di riferimento	:	0.00 m
Illuminamento medio	$\bar{E}_m$	: 16.6 lx
Illuminamento minimo	$E_{min}$	: 9.2 lx
Illuminamento massimo	$E_{max}$	: 30.6 lx
Uniformità $U_0$	$E_{min}/\bar{E}_m$	: 1 : 1.8 (0.56)
Uniformità $U_d$	$E_{min}/E_{max}$	: 1 : 3.32 (0.3)

## Risultati calcolo, Via Metella Nuova LED

Tabella, Zona di non attraversamento (dx) (E orizzontale)

35.1	25.9	17.8	13.5	10.5	10.5	13.5	17.8	25.9	35.1
39.6	26.5	17.5	12.7	10	10	12.7	17.5	26.5	39.6
<b>[43.1]</b>	27.5	16.8	12	<b>(9.3)</b>	<b>(9.3)</b>	12	16.8	27.5	<b>[43.1]</b>
1.40	4.20	7.00	9.80	12.60	15.40	18.20	21.00	23.80	26.60



Altezza del piano di riferimento  
 Illuminamento medio  
 Illuminamento minimo  
 Illuminamento massimo  
 Uniformità  $U_0$   
 Uniformità  $U_d$

: 0.00 m  
 $\bar{E}_m$  : 21.2 lx  
 $E_{min}$  : 9.3 lx  
 $E_{max}$  : 43.1 lx  
 $E_{min}/E_m$  : 1 : 2.28 (0.44)  
 $E_{min}/E_{max}$  : 1 : 4.62 (0.22)

Da questo confronto è facile vedere come, la lampada SAP da 117 W, non riesca a soddisfare i criteri di illuminamento per la categoria M4. Invece con il prodotto I-TRON da 72W si illumina la strada con performance superiori alla categoria illuminotecnica di progetto stabilita. Come visto nel Paragrafo 1.5.2 si andrà a ridurre la potenza del corpo illuminante agendo sulla corrente di pilotaggio e facendo sì che la lampada abbia le prestazioni minimi per la Categoria M4. Si ottiene quindi da una semplice proporzione in Equazione (5.1):

$$\text{Luminanza di Progetto} : \text{Luminanza Ottenuta} = P_{regolata} : P_{Max}$$

$$0,75 \text{ cd/m}^2 : 0,84 \text{ cd/m}^2 = x : 72 \text{ W}$$

5.1

Dalla quale si ottiene che la potenza che effettivamente consumerà il corpo illuminante in questione è di 64,3 W. Inoltre, come illustrato nel Paragrafo 2.3.2 si è calcolato l'indice IPEI che corrisponde ad un parametro di efficienza energetica dell'impianto installato ed i risultati vengono esposti nelle seguenti tabelle:

**Tabella 5.1** Caratteristiche della strada analizzata

Dati della strada		
Via	SS259 - Via Metella Nuova	
Tipo di strada	F	
Descrizione tipo di strada	F - Strade locali extraurbane	
Categoria illuminotecnica di progetto	M4	
Luminanza di riferimento - $L_{m,rif}$	0,75	cd/mq
Larghezza carreggiata	7	m

**Tabella 5.2** Prestazioni corpo illuminante scelto

Per sorgenti SAP				
Tipo di apparecchio	Stradale			
Marca e modello	AEC Illuminazione - AEC DUE SHP-E			
Potenza apparecchio - P	100	W		
Flusso luminoso	9500	lm		
Efficienza sorgente	95	lm/W		
Rendimento alimentatore	0,855			
Interdistanza fra pali consecutivi - i	28	m		
Altezza punto luce - h	8	m		
Luminanza media mantenuta - $L_m$	0,465	cd/mq	Valori ottenuti da calcolo illuminotecnico	
Illuminamento medio - $E_m$	6,64	lx		
Uo	0,415			
UI	0,695			
TI	11,5	%		
SR	0,74			

**Tabella 5.3** Calcolo dell'IPEI

Potenza Apparecchio $P_{app}$	117	W	
Densità di potenza - $D_p$	0,09	W/lx/mq	
Densità di potenza riferimento - $D_{p,R}$	0,042	W/lx/mq	
IPEI ( $D_p/D_{p,R}$ )		2,139	
			E

**Tabella 5.4** Prestazioni corpo illuminante scelto

Per sorgenti LED				
Tipo di apparecchio	Stradale			
Marca e modello	AEC Illuminazione - I-TRON Zero			
Potenza sorgente - $P_{app}$	64,3	W		
Efficienza sorgente	156,8	lm/W		
Interdistanza fra pali consecutivi - $i$	28	m		
Altezza punto luce - $h$	7	m		
Luminanza media mantenuta - $L_m$	0,87	cd/mq		
Illuminamento medio - $E_m$	12,43	lx		
U <sub>o</sub>	0,59			
U <sub>I</sub>	0,72			
TI	8	%		
SR	0,54			
			Valori ottenuti da calcolo illuminotecnico	

**Tabella 5.5** Calcolo dell'IPEI

Densità di potenza - $D_p$	0,0264	W/lx/mq	
Densità di potenza riferimento - $D_{p,R}$	0,042	W/lx/mq	
IPEI ( $D_p/D_{p,R}$ )	0,628		A++

Dall'analisi di Tabella 5.3 e Tabella 5.5, si può notare come l'impianto preesistente abbia un indice di efficienza energetica molto basso per i livelli attuali della tecnologia disponibile, mentre quanto realizzato si attesta a livelli di eccellenza. Tuttavia, il mero risparmio energetico per questa tipologia di vie non è tale da generare un cospicuo guadagno economico ed una elevata diminuzione della potenza installata, ma ciò che si è voluto efficientare corrisponde ad un maggiore confort visivo e una conseguente migliore fruibilità della strada a dispetto di quanto non fosse allo stato attuale.

## 5.1.2 Tipologia 4, Tipologia 9, Tipologia 13

In queste tipologie sono racchiuse la maggior parte delle vie presenti nei comuni e sono quindi quelle vie secondarie in cui ottimizzare la potenza installata ha un elevato impatto economico ed energetico. Vengono quindi definite le seguenti tipologie:

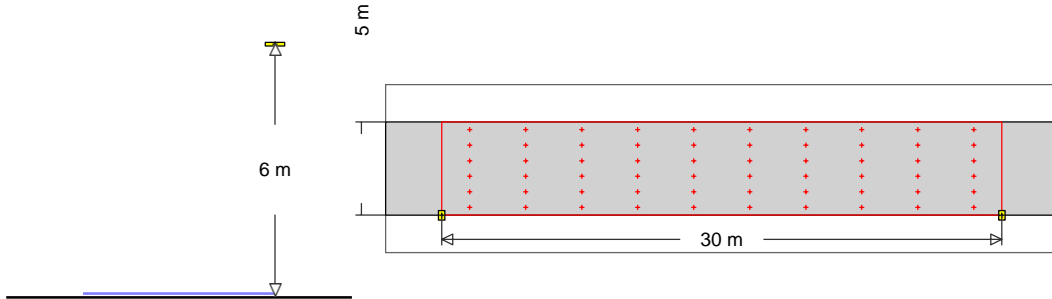
- Tipologia 4: corrisponde a una via di larghezza 5 metri, pali alti 6 metri, un interdistanza tra i pali di 30 metri e una categoria illuminotecnica M6;
- Tipologia 9: corrisponde a una via di larghezza 7 metri, pali alti 8 metri, un interdistanza tra i pali di 30 metri e una categoria illuminotecnica M5;
- Tipologia 13: corrisponde a una via di larghezza 8 metri, pali alti 8 metri, un interdistanza tra i pali di 30 metri e una categoria illuminotecnica M4;

Per tutte queste vie sono installate lampade SAP da 70 e 100 W all'altezza di 8 e 10 metri con sbracci che variano da 1 a 2 metri. Nell'opera da realizzare verranno tolti gli sbracci, i pali verranno abbassati e regolati ad altezze di 6 ed 8 metri. Vengono quindi riportati i risultati ottenuti attraverso Relux:



### 3.1 Riepilogo, Tipologia 4

#### 3.1.1 Panoramica risultato, Tipologia 4



**4** **AEC ILLUMINAZIONE SRL**  
 Codice : 22-028-13\_03  
 Nome punto luce : I-TRON ZERO 5P5 STU-S 7040.060-1M  
 Sorgenti : 1 x L-ITR0-5P5-4000-060-1M-70-25 11.9 W / 1730 lm

#### MyLumRow

Posizionamento : Fila a destra Fattore di manut. : 0.80  
 Distanza armature : 30.00 m Altezza (centro fotom.) : 6.00  
 m Sporgenza : 0.00 m Inclinazione : 0.00 ° Posizione assoluta : 0.00  
 m Classe di abbaglia. : D5 Potenza/Km : 397  
 W/km Classe intensità lum. : G\*2  
 Flusso verso l'alto (ULR) : 0.00

#### Strada

Larghezza : 5.00 m Corsie : 2  
 Superficie : CIE C2, q0=0.07



#### Luminanza

Area di calcolo: 30m x 5m (10 x 6 Punti)

##### Osservatore

2 : x=-60.00m, y=3.75m, z=1.50m  
 1 : x=-60.00m, y=1.25m, z=1.50m

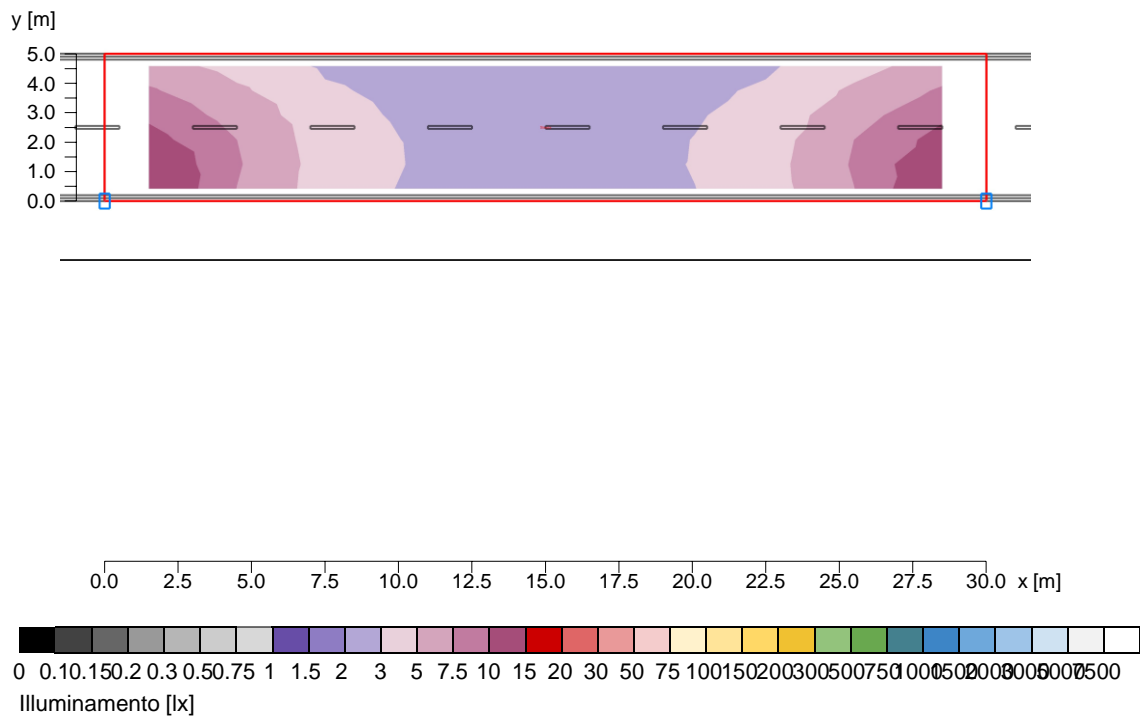
Lane	$\bar{L}_m$	$U_o$	$U_l$	$f_{TI}$	$REI$
2:(y=3.75)	0.37 cd/m <sup>2</sup>	0.38	0.54	8	0.49
1:(y=1.25)	0.35 cd/m <sup>2</sup>	0.39	0.48	14	0.70
M6	>= 0.30 cd/m <sup>2</sup>	>= 0.35	>= 0.40	<= 20	>= 0.30

#### Illuminamento

Area di calcolo: 30m x 5m (10 x 6 Punti)

$\bar{E}_m$	$E_{min}$	$U_o$	$U_d$
4.98 lx	2.00 lx	0.40	0.15

[m]4.58	6	4.2	2.8	2.3	(2)	(2)	2.3	2.8	4.2	6
3.75	7.8	5.4	3.2	2.6	2.2	2.2	2.6	3.2	5.4	7.8
2.92	9.5	6.5	3.5	2.7	2.3	2.3	2.7	3.5	6.5	9.5
2.08	11	7.5	3.7	2.9	2.3	2.3	2.9	3.7	7.5	11
1.25	12.6	7.8	3.9	2.9	2.3	2.3	2.9	3.9	7.8	12.6
0.42	[13.2]	7.5	3.9	2.8	2.2	2.2	2.8	3.9	7.5	[13.2]
	1.50	4.50	7.50	10.50	13.50	16.50	19.50	22.50	25.50	28.50

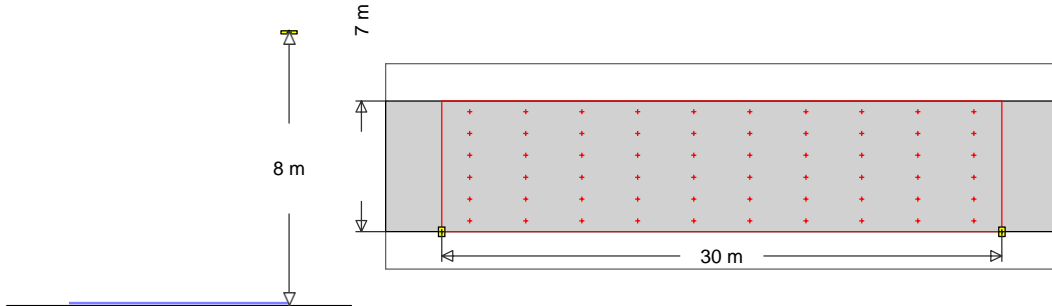


Altezza del piano di riferimento		: 0.00 m
Illuminamento medio	$E_m$	: 5 lx
Illuminamento minimo	$E_{min}$	: 2 lx
Illuminamento massimo	$E_{max}$	: 13.2 lx
Uniformità $U_o$	$E_{min}/E_m$	: 1 : 2.49 (0.4)
Uniformità $U_d$	$E_{min}/E_{max}$	: 1 : 6.6 (0.15)

Per questa tipologia, si è ottenuto un illuminamento a norma utilizzando lampade da 11,9 W abbassando il palo a 6 m diversamente da prima in cui si avevano lampade da 70 W ad un'altezza di 8 m.

### 3.1 Riepilogo, Tipologia 9

#### 3.1.1 Panoramica risultato, Tipologia 9



17 **AEC ILLUMINAZIONE SRL**  
 Codice : 22-028-13\_03  
 Nome punto luce : I-TRON ZERO 5P5 STU-S 7040.060-2M  
 Sorgenti : 1 x L-ITR0-5P5-4000-060-2M-70-25 23 W / 3460 lm

**MyLumRow**  
 Posizionamento : Fila a destra Fattore di manut. : 0.80  
 Distanza armature : 30.00 m Altezza (centro fotom.) : 8.00  
 m Sporgenza : 0.00 m Inclinazione : 0.00 ° Posizione assoluta : 0.00  
 m Classe di abbaglia. : D4 Potenza/Km : 767  
 W/km Classe intensità lum. : G\*2  
 Flusso verso l'alto (ULR) : 0.00

**Strada**  
 Larghezza : 7.00 m Corsie : 2  
 Superficie : CIE C2, q0=0.07



**Luminanza** Area di calcolo: 30m x 7m (10 x 6 Punti)

Osservatore

2 : x=-60.00m, y=5.25m, z=1.50m

1 : x=-60.00m, y=1.75m, z=1.50m

Lane	$\bar{L}_m$	$U_o$	$U_i$	$f_{T1}$	$REI$
2:(y=5.25)	0.54 cd/m <sup>2</sup>	0.42	0.77	7	0.45
1:(y=1.75)	0.50 cd/m <sup>2</sup>	0.42	0.86	11	0.69
M5	>= 0.50 cd/m <sup>2</sup>	>= 0.35	>= 0.40	<= 15	>= 0.30

**Illuminamento** Area di calcolo: 30m x 7m (10 x 6 Punti)

$\bar{E}_m$	$E_{min}$	$U_o$	$U_d$
7.29 lx	3.75 lx	0.51	0.23

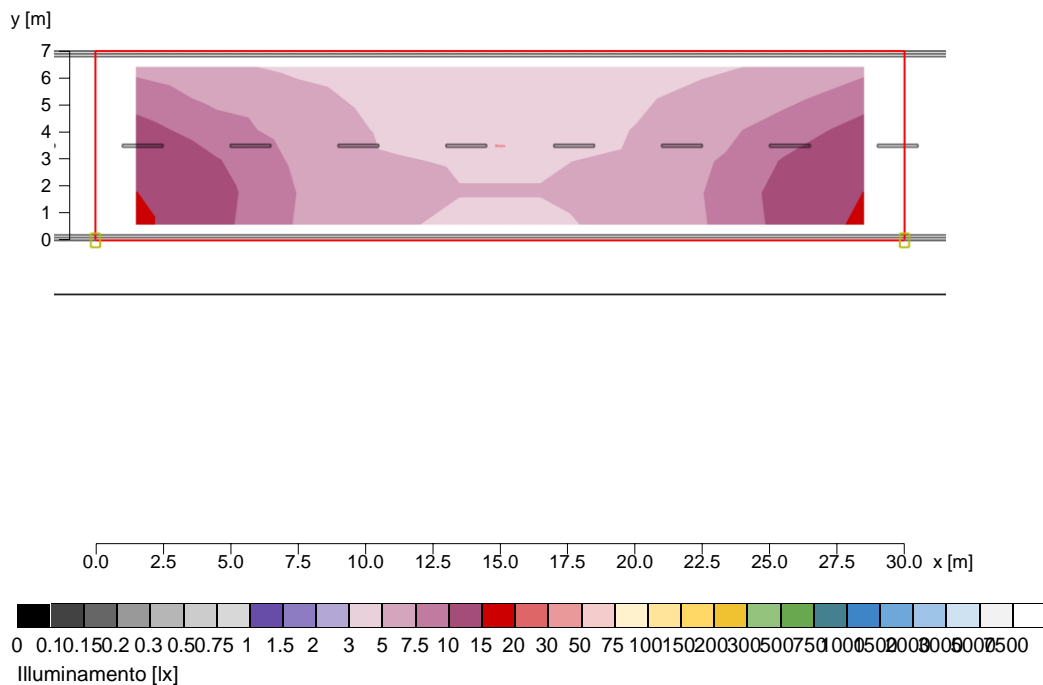
## 2 Tipologia 9

### 2.3 Risultati calcolo, Tipologia 9

#### 2.3.1 Tabella, Strada (E orizzontale)

[m]	6.8	5.4	4.5	(3.8)	(3.8)	(3.8)	(3.8)	4.5	5.4	6.8
6.42	9	6.9	5.7	4.4	4.3	4.3	4.4	5.7	6.9	9
5.25	11	8.6	6.4	4.8	4.7	4.7	4.8	6.4	8.6	11
4.08	13	10.2	7	5.1	4.9	4.9	5.1	7	10.2	13
2.92	15.1	10.9	7.4	5.3	5	5	5.3	7.4	10.9	15.1
1.75	[16.3]	10.8	7.3	5.2	4.8	4.8	5.2	7.3	10.8	[16.3]
0.58										
	1.50	4.50	7.50	10.50	13.50	16.50	19.50	22.50	25.50	28.50

illuminamento [lx]



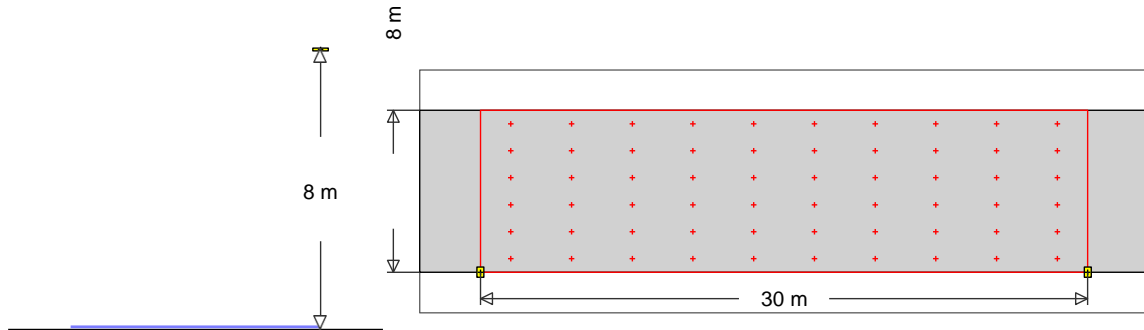
Altezza del piano di riferimento  
 Illuminamento medio  
 Illuminamento minimo  
 Illuminamento massimo  
 Uniformità  $U_0$   
 Uniformità  $U_d$

: 0.00 m  
 $\bar{E}_m$  : 7.3 lx  
 $E_{min}$  : 3.8 lx  
 $E_{max}$  : 16.3 lx  
 $E_{min}/\bar{E}_m$  : 1 : 1.94 (0.51)  
 $E_{min}/E_{max}$  : 1 : 4.34 (0.23)

Per questa tipologia si è ottenuto un illuminamento a norma utilizzando lampade da 23W a differenza delle precedenti da 117 W mantenendo l'altezza del corpo illuminante pari a 8 m.

## 5.1 Riepilogo, Tipologia 13

### 5.1.1 Panoramica risultato, Tipologia 13



9 **AEC ILLUMINAZIONE SRL**  
 Codice : 22-120-04\_03  
 Nome punto luce : I-TRON ZERO 5P5 STW 7040.060-4M  
 Sorgenti : 1 x L-ITR0-5P5-4000-060-4M-70-25 43.4 W / 7170 lm

#### MyLumRow

Posizionamento	: Fila a destra	Fattore di manut.	: 0.80
Distanza armature	: 30.00 m	Altezza (centro fotom.)	: 8.00
m Sporgenza	: 0.00 m	Inclinazione	: 0.00 °
Posizione assoluta	: 0.00 m	Classe di abbaglia.	: D5
Potenza/Km	: 1447 W/km	Classe intensità lum.	: G*4
Flusso verso l'alto (ULR)	: 0.00		

#### Strada

Larghezza : 8.00 m Corsie 2  
 Superficie : CIE C2, q0=0.07



#### Luminanza

Area di calcolo: 30m x 8m (10 x 6 Punti)

##### Osservatore

: x=-60.00m, y=6.00m, z=1.50m

: x=-60.00m, v=2.00m, z=1.50m

Lane	$\bar{L}_m$	$U_o$	$U_l$	$f_{\pi}$	$REI$
2:(y=6.00)	0.89 cd/m <sup>2</sup>	0.52	0.78	6	0.46
1:(y=2.00)	0.83 cd/m <sup>2</sup>	0.53	0.70	9	0.67
M4	$\geq 0.75$ cd/m <sup>2</sup>	$\geq 0.40$	$\geq 0.60$	$\leq 15$	$\geq 0.30$

#### Illuminamento

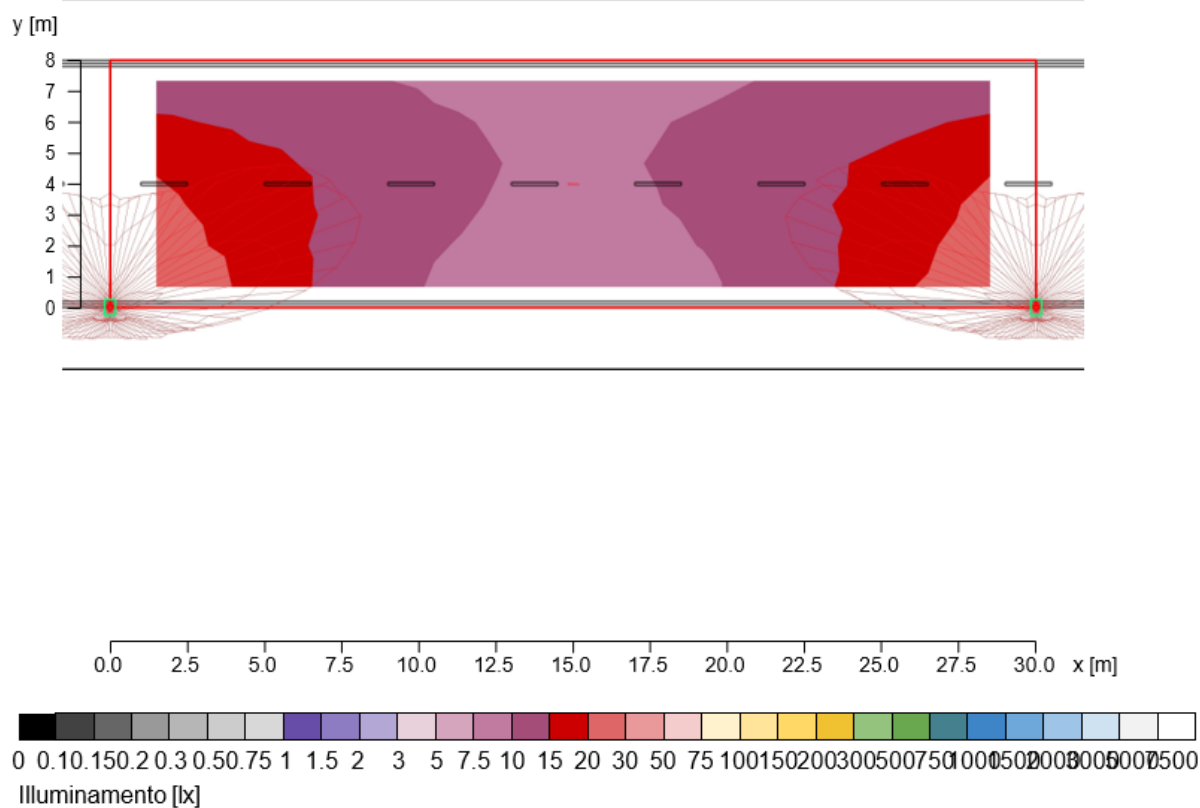
Area di calcolo: 30m x 8m (10 x 6 Punti)

$\bar{E}_m$	$E_{min}$	$U_o$	$U_d$
13.5 lx	7.61 lx	0.56	0.29

## 5.2 Risultati calcolo, Tipologia 13

### 5.2.1 Tabella, Strada (E orizzontale)

[m]	11.7	11.1	10.8	9.4	8.4	8.4	9.4	10.8	11.1	11.7
7.33										
6.00	15.8	14	12.8	10.5	9.3	9.3	10.5	12.8	14	15.8
4.67	19.4	16.2	13.9	10.9	9.7	9.7	10.9	13.9	16.2	19.4
3.33	21.2	17.3	14	10.7	9.4	9.4	10.7	14	17.3	21.2
2.00	22.7	17.8	13.4	10.3	8.7	8.7	10.3	13.4	17.8	22.7
0.67	<b>[26.1]</b>	18.6	13.3	9.6	<b>(7.6)</b>	<b>(7.6)</b>	9.6	13.3	18.6	<b>[26.1]</b>
	1.50	4.50	7.50	10.50	13.50	16.50	19.50	22.50	25.50	28.50
	Illuminamento [lx]									



Altezza del piano di riferimento		: 0.00 m
Illuminamento medio	$\bar{E}_m$	: 13.5 lx
Illuminamento minimo	$E_{min}$	: 7.6 lx
Illuminamento massimo	$E_{max}$	: 26.1 lx
Uniformità $U_0$	$E_{min}/\bar{E}_m$	: 1 : 1.77 (0.56)
Uniformità $U_d$	$E_{min}/E_{max}$	: 1 : 3.42 (0.29)

Per questa tipologia si è ottenuto un illuminamento a norma utilizzando lampade da 43,4 W a differenza delle precedenti da 117 W mantenendo l'altezza del corpo illuminante pari a 8 m ed utilizzando ottiche apposite.

### 5.1.3 Rotonde

Per realizzare il *relamping* delle rotonde, Relux permette di importare i disegni in formato *.dwg* oppure attraverso l'individuazione dell'area utilizzando Google Maps. In questo modo, è possibile realizzare uno studio puntuale dell'area da illuminare. In particolare, nel progetto esecutivo del comune sono state identificate 2 rotonde da efficientare:

- Rotonda alla Salara (ingresso ospedale)
- Rotonda Garrufo incrocio fra SS259 – Via Gramsci – SP17

Entrambe avranno come categoria illuminotecnica C3 in quanto sono posizionate in luoghi ad alto traffico motorizzato e che comprende possibili difficoltà visive.

### 5.1.3.1 Rotonda Ospedale

Da Google Maps è possibile ottenere una visione di insieme dell'area da analizzare:



**Figura 5.3** Foto da Google Maps della rotonda per l'ingresso del pronto soccorso di Sant'Omero  
Da cui, attraverso l'aerofotogrammetria fornitaci dal comune, è stato possibile eseguire i calcoli attraverso il software Relux:



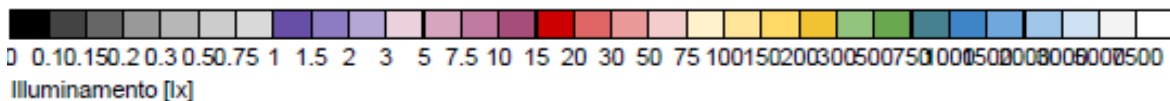
## 2 Impianto esterno 1

### 2.2 Riepilogo, Impianto esterno 1

#### 2.2.1 Panoramica risultato, Superficie di misurazione 2



-36 -16 4 24 44 64 84 x [m]



#### Generale

Algoritmo di calcolo utilizzato:	Percentuale indiretta media
Altezza area di valutazione	0.00 m
Altezza (centro fotom.) [m]:	7.95 m
Fattore di manut.	0.80

Flusso Totale	16950 lm
Potenza totale	112.2 W
Potenza totale per superficie (18156.62 m <sup>2</sup> )	0.01 W/m <sup>2</sup>

#### Illuminamento

Illuminamento medio	$\bar{E}_m$	17.3 lx
Illuminamento minimo	$E_{min}$	7.3 lx
Illuminamento massimo	$E_{max}$	34.2 lx
Uniformità $U_0$	$E_{min}/\bar{E}_m$	1:2.38 (0.42)
Uniformità $U_d$	$E_{min}/E_{max}$	1:4.7 (0.21)

#### Tipo Num. Marca

	1	3 x	AEC ILLUMINAZIONE SRL
			Codice : 22-120-01_03
			Nome punto luce : I-TRON ZÉRO 5P5 S05 7040.100-2M
			Sorgenti : 1 x L-ITR0-5P5-4000-100-2M-70-25 37.4 W / 5650 lm

### 2.3 Risultati calcolo, Impianto esterno 1

#### 2.3.4 Falsi Colori, Superficie di misurazione 2 (E)

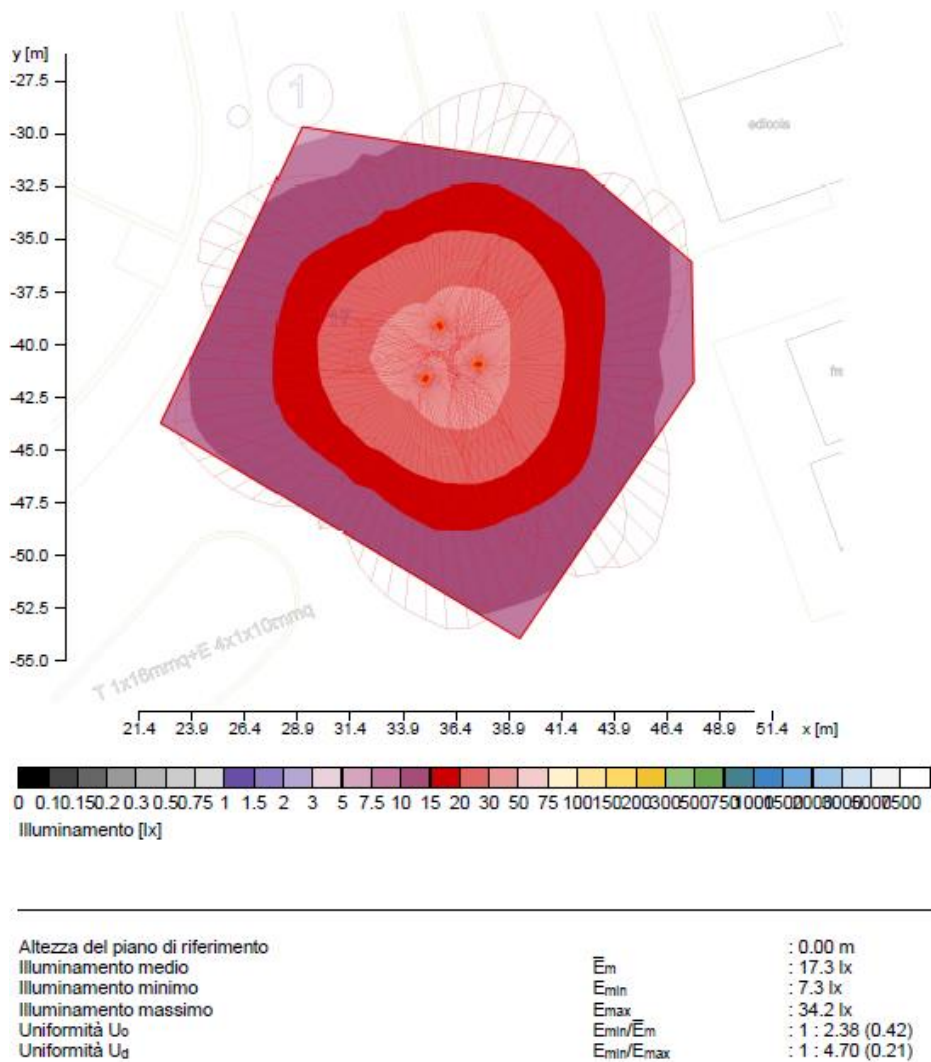
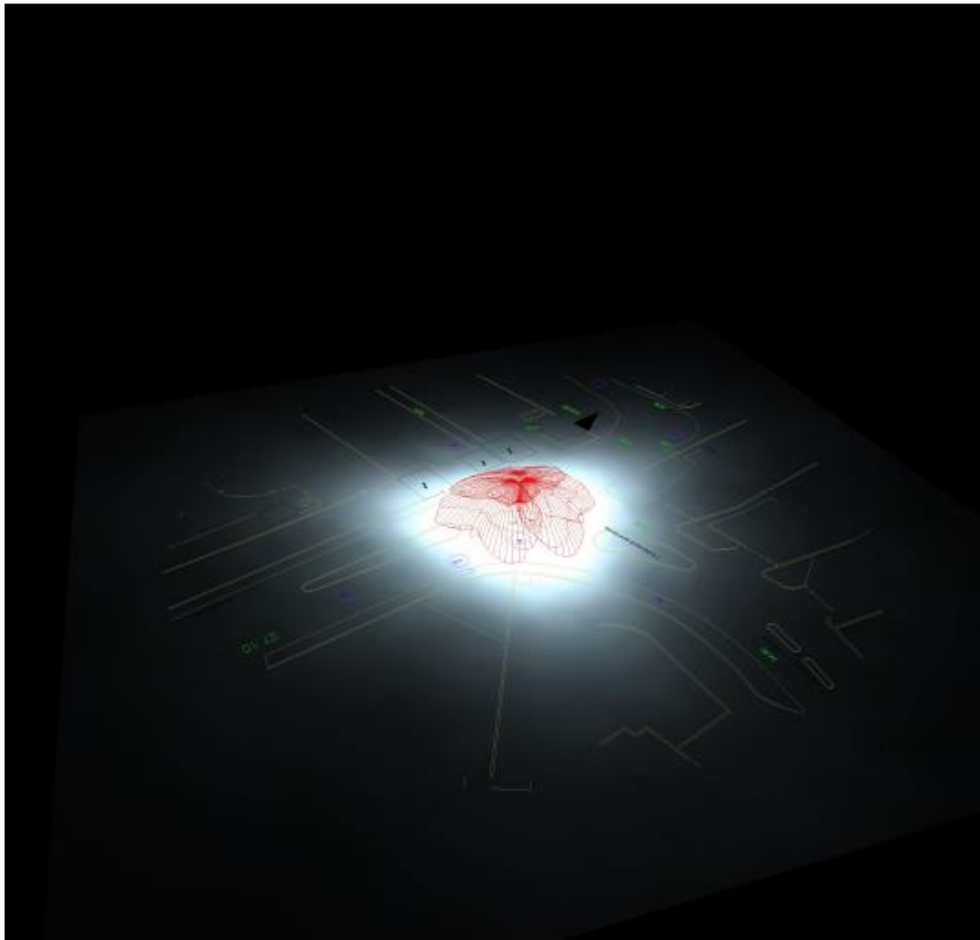


Figura 5.4 Curve di colore dell'illuminamento

## 2.3 Risultati calcolo, Impianto esterno 1

### 2.3.5 Luminanza 3D Vista 1

---



**Figura 5.5** Rappresentazione della luminanza in 3D

I risultati ottenuti sostituendo i 3 corpi illuminati posti al centro dell'aiuola spartitraffico, possono ritenersi soddisfacenti sia per il livello di luminanza ottenuto sia come potenza installata.

### 5.1.3.2 Rotonda Garrufo incrocio fra SS259 – Via Gramsci – SP17

In Figura 5.6 viene inserita una ripresa della rotonda su cui eseguire l'intervento



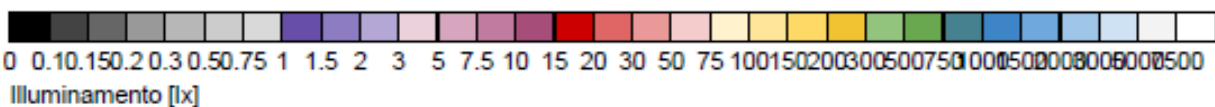
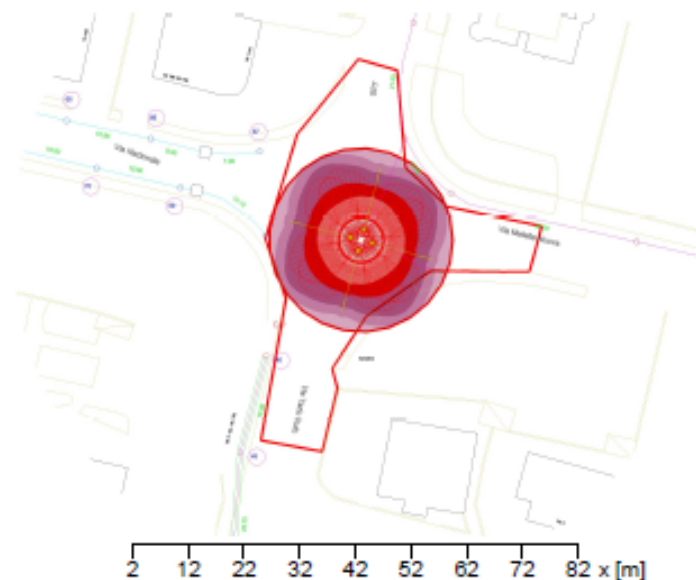
**Figura 5.6** Foto da Google Maps della rotonda di Garrufo

Attraverso il software Relux si è ottenuto:

## 2 Impianto esterno 1

### 2.2 Riepilogo, Impianto esterno 1

#### 2.2.1 Panoramica risultato, Superficie di misurazione 1



#### Generale


Algoritmo di calcolo utilizzato:	Percentuale indiretta media
Altezza area di valutazione	0.00 m
Altezza (centro fotom.) [m]:	7.95 m
Fattore di manut.	0.80

Flusso Totale	22600 lm
Potenza totale	149.6 W
Potenza totale per superficie (1448.82 m <sup>2</sup> )	0.10 W/m <sup>2</sup>

#### Illuminamento

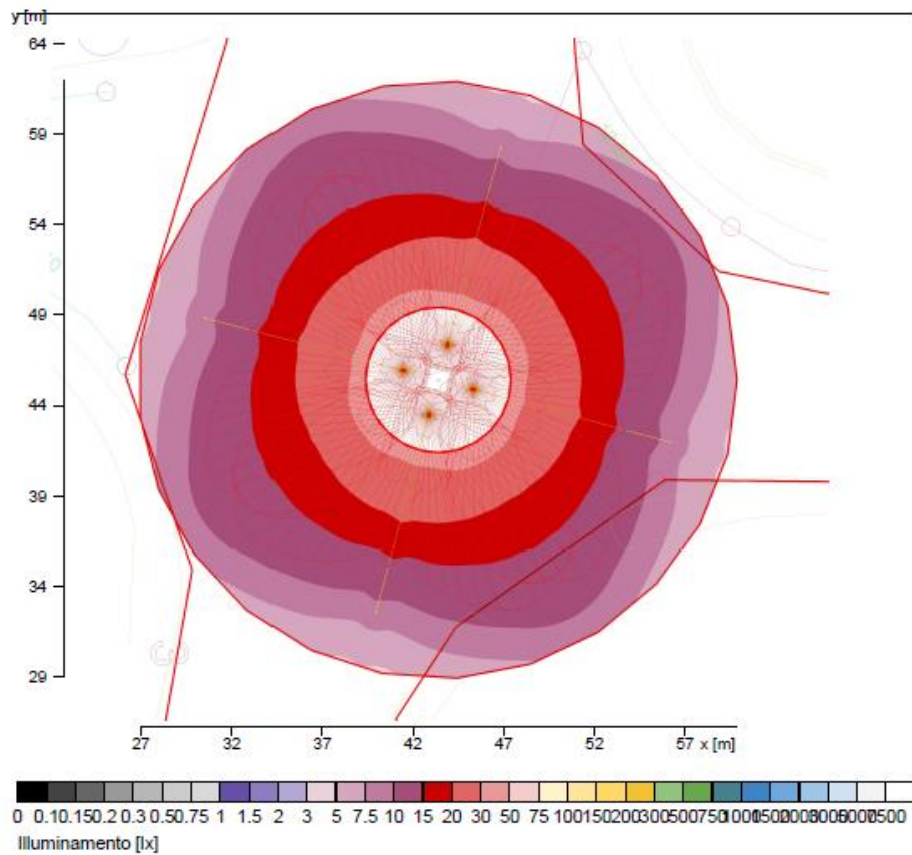
Illuminamento medio	$\bar{E}_m$	15.8 lx
Illuminamento minimo	$E_{min}$	4.9 lx
Illuminamento massimo	$E_{max}$	32.4 lx
Uniformità $U_0$	$E_{min}/\bar{E}_m$	1:3.24 (0.31)
Uniformità $U_d$	$E_{min}/E_{max}$	1:6.63 (0.15)

#### Tipo Num. Marca

	<b>AEC ILLUMINAZIONE SRL</b>
1	Codice : 22-120-01_03
4 x	Nome punto luce : I-TRON ZERO 5P5 S05 7040.100-2M
	Sorgenti : 1 x L-ITR0-5P5-4000-100-2M-70-25 37.4 W / 5650 lm

## 2.3 Risultati calcolo, Impianto esterno 1

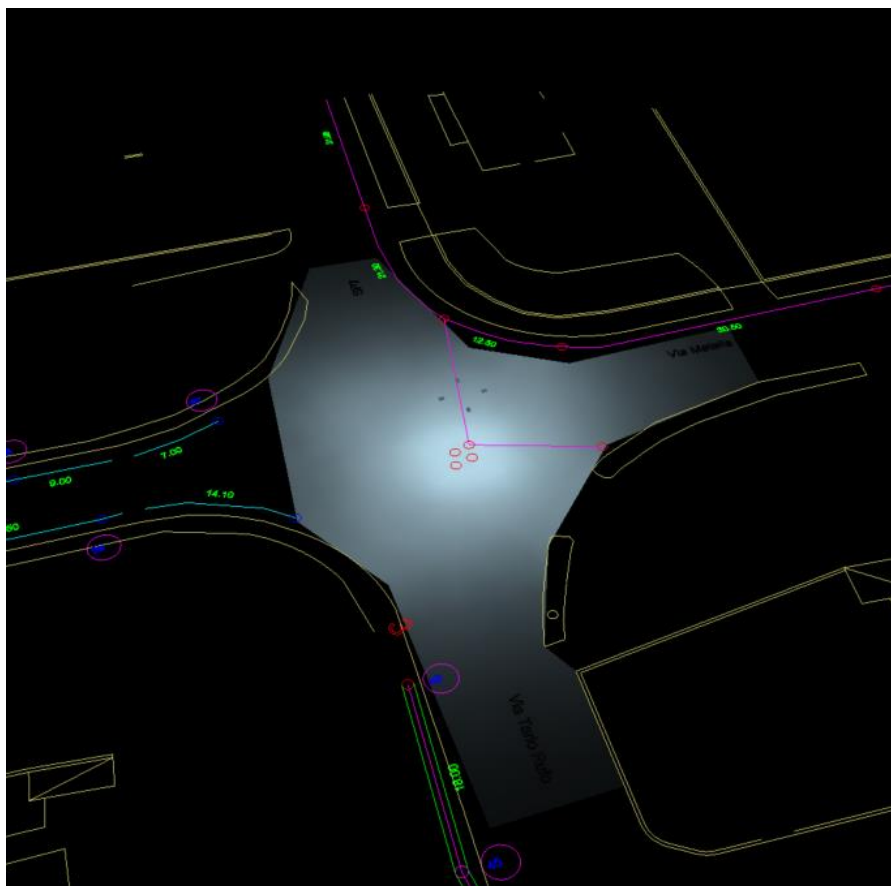
### 2.3.6 Falsi Colori, Superficie di misurazione 1 (E)



Altezza del piano di riferimento  
Illuminamento medio  
Illuminamento minimo  
Illuminamento massimo  
Uniformità  $U_0$   
Uniformità  $U_d$

$\bar{E}_m$  : 0.00 m  
 $E_m$  : 15.8 lx  
 $E_{min}$  : 4.9 lx  
 $E_{max}$  : 32.4 lx  
 $E_{min}/\bar{E}_m$  : 1 : 3.24 (0.31)  
 $E_{min}/E_{max}$  : 1 : 6.63 (0.15)

**Figura 5.7** Risultati del calcolo dell'illuminamento



**Figura 5.8** Rappresentazione della luminanza in 3D

Anche in questo caso, avendo sostituito i 4 corpi illuminanti presenti al centro della rotonda ed utilizzando ottiche dedicate, si è ottenuto un livello di luminanza consono per la regione da illuminare.





# Capitolo 6

## 6. Conclusioni

L'opera di *relamping* nel comune di Sant'Omero ha portato una riduzione della potenza installata del 61% come possibile vedere in Figura 6.1:

POTENZA NETTA INSTALLATA	
	Potenza [kW]
Situazione attuale	118,87
Situazione futura	46,95
<i>Riduzione potenza impegnata</i>	71,92

**Figura 6.1** Potenza netta installata

È previsto un funzionamento complessivo degli impianti per un monte ore pari a 4.180. Di queste ore se ne prevede 1442,5 a piena potenza e 2737,5 ore con impianto regolato al 70% della capacità (mezzanotte virtuale). Questo comporta un risparmio energetico annuale del 73% come possibile vedere in Figura 6.2:

FABBISOGNO ENERGETICO ATTUALE E FUTURO STIMATO	
	Potenza [kWh]
Situazione attuale (rif. Base di gara)	590.979
Situazione futura	157.693
<i>Riduzione fabbisogno di energia</i>	433.286

**Figura 6.2** Fabbisogno energetico annuale

Ultimato il progetto esecutivo, è stata eseguita un'analisi semplificata del *payback time* dell'investimento proposto. Si ha quindi che:

$$S_{PB} = \frac{J}{(P_{pre} - P_{post}) \cdot H} \quad [anni]$$

6.1

Dalla Tabella 6.1 e Tabella 6.2 si può notare come l'investimento iniziale di 642.083€ viene ripagato, con una riduzione del flusso luminoso notturno, in circa 9 anni che considerando il tempo di gestione di 15 anni si è ritenuto un risultato soddisfacente per procedere con l'opera.

**Tabella 6.1** Dati dell'investimento

DATI			
J	Investimento iniziale	642.083 €	
P <sub>pre</sub>	Potenza installata ante-opera	118,87 kW	
P <sub>post</sub>	Potenza installata post-opera	46,95 kW	
E <sub>pre</sub>	Energia installata ante-opera	590979 kWh/anno	
E <sub>post</sub>	Energia installata post-opera	157693 kWh/anno	
H	Costo energia elettrica al 27/10	0,16 €/kWh	

**Tabella 6.2** PayBack Time dell'investimento con e senza riduzione del flusso

S <sub>PB</sub>	PayBack Time	9,3	anni
S <sub>PB_No,reg</sub>	PayBack Time senza regolazione del flusso	13,3	anni

Vengono quindi calcolate, secondo le indicazioni di ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) le tonnellate equivalenti di petrolio e carbone risparmiate ogni anno grazie al risparmio energetico attuato come possibili visualizzare in Tabella 6.3.

**Tabella 6.3** Risparmi energetici ottenuti

RISPARMIO ENERGETICO ANNUALE	433286 kWh
TONNELLATE EQUIVALENTI DI PETROLIO RISPARMIATE OGNI ANNO	37,25 TEP/anno
TONNELLATE DI CARBONE RISPARMIATE OGNI ANNO	53,21 TEC/anno
TONNELLATE DI CO <sub>2</sub> RISPARMIATE OGNI ANNO	229,64 tCO <sub>2</sub> /anno

Avendo utilizzato come fattori di conversione:

- Fattore di conversione  $TEP = Energia \times 0,859 \cdot 10^{-5} TEP/kWh$
- Fattore di conversione  $TEC = Energia \times 1,228 \cdot 10^{-4} TEC/kWh$
- Fattore di conversione  $tCO_2 = Energia \times 0,53 \cdot 10^{-3} tCO_2/kWh$

[27]



# Ringraziamenti

Giunti al termine di questo lungo percorso è doveroso e necessario ringraziare tutte quelle persone che sono state fondamentali per me per raggiungere questo importante traguardo. Devo innanzitutto ringraziare il mio relatore, il professor Davide Fabiani, che con la sua serietà e disponibilità mi ha aiutato a raggiungere questo obiettivo. Ringrazio inoltre il mio tutor aziendale Daniele Diacci per il tempo e la passione dedicatami durante tutta la mia permanenza presso *CPL Concordia*. Un grazie sentito, inoltre a tutto il personale dell'azienda per l'ospitalità e per le conoscenze acquisite sul campo. Voglio inoltre ringraziare il mio correlatore, Giacomo Selleri, per gli aiuti e consigli che mi ha dato in questo percorso.

Fin da piccolo non sono mai stato bravo a scrivere le lunghe lettere mettendo per iscritto ciò che realmente provavo. In questa circostanza farò lo stesso, rimango sempre io, sarò breve ma le persone che voglio citare le ringrazio per davvero. Inizio quindi dal ringraziare coloro che sono stati al mio fianco dal giorno zero: mia mamma Onelia, mio papà Gianfranco, mia sorella Erica e mio cognato Denis. Ognuno di loro ha saputo dimostrare, in modo unico e speciale, il proprio sostegno e amore facendomi diventare ciò che sono oggi (nel caso quindi prendetevela con loro). Durante tutti questi anni affianco a me ho sempre avuto anche la mia fidanzata Giulia, che nonostante non sia stato facile, è riuscita a darmi quella tranquillità e spensieratezza nei momenti no, gioendo con me nei momenti più belli.

Desidero anche ringraziare i miei amici che sono con me da ormai tutta la vita: Gek, Bebbo, Ghedo, Ronco, Ghido, Brown e Flev ognuno di voi, nel vostro piccolo, ha contribuito a rendere questi anni bellissimi e pieni di gioia e divertimento. Grazie per i campetti con 45°C all'ombra, grazie per le serate in disco, grazie per le piscine a casa di Ronco, grazie per i caffè del sabato con Jimmy, grazie per tutti gli scazzi in campo, grazie per tutte le vacanze assieme. Insomma, grazie di tutto.

In ultimo ringrazio i miei compagni di viaggio, Ianna, Matte, Reddy, Vallet, Lucone e Bolz perché chi meglio di voi può capire cosa abbiamo superato per essere qui dove siamo oggi. In questi anni duri è nata un'amicizia vera che spero possa continuare negli anni aspettando sempre con ansia che Ianna ci inviti al mare di Arezzo. Nel mentre comunque una grigliata all'anno non ce la toglie nessuno (almeno una cosa positiva ingegneria l'avrà lasciata 😄).

E bene, siamo giunti in fondo, e quindi vorrei ringraziare in ultimo me stesso perché nonostante gli aiuti di tutti questo è un lavoro individuale, nel quale si cresce, si sbaglia ma si diventa grandi e a prescindere dal risultato mi sento di avere dato tutto me stesso e questo mi hanno insegnato di reputarlo già come una vittoria. Ho cercato di essere la versione migliore di me, con i miei pregi e difetti ma pur sempre io. Ora questo percorso è finito e si inizia con lo stesso spirito con cui è finita questa, una nuova avventura per la mia vita.

# Bibliografia

- [1] A. Nucci, «Appunti di Impianti Elettrici T,» Bologna, 2020.
- [2] Wikipedia, «Flusso luminoso,» [Online]. Available: [https://it.wikipedia.org/wiki/Flusso\\_luminoso](https://it.wikipedia.org/wiki/Flusso_luminoso).
- [3] ARW Misure, «L'importanza dell'illuminazione nei luoghi di lavoro,» 21 Settembre 2016. [Online]. Available: <https://arwmisure.it/corporate/limportanza-dellilluminazione-nei-luoghi-lavoro/>.
- [4] Zumtobel, Manuale Illuminotecnico pratico, Dornbirn, Austria, 2017.
- [5] «What is Sodium Vapour Lamp? Working, Diagram, Construction & Uses,» 2 Marzo 2022. [Online]. Available: <https://howelectrical.com/sodium-vapour-lamp/>.
- [6] Wout van Bommel, «Lamps, Gear and Drivers,» in *Interior Lighting*, 2019.
- [7] TNE srl - TuttoNormel, Le Guide Bu -Impianti a Norme CEI - 6 - Illuminazione esterna, Torino, 2009.
- [8] AEC Illuminazione. [Online]. Available: <https://www.aecilluminazione.it/family/stradale/>.
- [9] Comitato Europeo di Normalizzazione Elettrotecnica, «CEI EN 62504 - General lighting - Light emitting diode (LED) products and related,» 2015.
- [10] AEC Illuminazione, «Maintenance, life Maintenance survival as a factor of Energy Saving,» 2014.
- [11] ISO/CIE 2019, «ISO/CIE TS 22012 - Light and lighting - Maintenance factor determination - Way of working,» 2019.

- [12] Progettazione Ottica Roncati, «Determinare la Temperatura di Giunzione di un LED,» 16 Dicembre 2013. [Online]. Available: <https://www.progettazioneottica.it/determinare-la-temperatura-di-giunzione-di-un-led/1103>.
- [13] Comitato Elettrotecnico Italiano, «CEI EN IEC 60598-1 - Apparecchi di illuminazione, Parte 1: Prescrizioni generali e prove,» 2022.
- [14] AEC Illuminazione, «Failure Rate,» Arezzo, 2018.
- [15] PremiumLight-Pro, «Illuminazione stradale a LED - Guida per la progettazione e l'acquisto,» 2018.
- [16] UNI - Ente Italiano di Normazione, UNI EN 13201-2-2016 - Illuminazione stradale - Parte 2 - Requisiti prestazionali,, 2016.
- [17] UNI - Ente Italiano di Normazione, UNI EN 13201-4-2016 - Illuminazione stradale - Parte 4 - Metodi di misura prestazioni fotometriche,, 2016.
- [18] Uni, «Luce e illuminazione,» 3 Luglio 2020. [Online]. Available: <https://www.uni.com/illuminazione-stradale/>.
- [19] UNI - Ente Italiano di Normazione,, UNI EN 13201-5-2016 - Illuminazione stradale - Parte 5 - Indicatori prestazioni energetiche, 2016.
- [20] C. E. I. CEI, «CEI 11248:2016 - Guida all'efficienza energetica degli impianti di illuminazione pubblica: aspetti generali,» 2012.
- [21] R. Abruzzo, «Misure urgenti per il contenimento dell'inquinamento luminoso e per il risparmio energetico,» Marzo 2005.
- [22] MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE, «DM 27/09/2017 - Criteri Ambientali Minimi per l'acquisizione di sorgenti



luminose per illuminazione pubblica, l'affidamento del servizio di progettazione di impianti per illuminazione pubblica.,» 2017.

[23] D. Diacci, «COLLEGAMENTO A TERRA SCARICATORI IN APPARECCHI DI ILLUMINAZIONE A LED IN CLASSE II,» Rovereto, 2020.

[24] TuttoNormel, «Messa a terra e classe II a volte possono convergere,» 2017.

[25] COMITATO ELETTROTECNICO ITALIANO, «Limitatori di sovratensioni di bassa tensione Parte 11: Limitatori di sovratensioni connessi a sistemi di bassa tensione - Prescrizioni e prove,» 2014.

[26] M. P. Antonino Nucara, «Elementi di illuminotecnica,» *UNIVERSITA' DEGLI STUDI "MEDITERRANEA" DI REGGIO CALABRIA FACOLTA' DI INGEGNERIA Dipartimento di Informatica Matematica Elettronica e Trasporti*, p. 92.

[27] ENEA, «Dipartimento Unità per l'Efficienza Energetica,» 31 Luglio 2023. [Online]. Available: <https://www.energiaenergetica.enea.it/glossario-efficienza-energetica/lettera-c/conversione-fattori-di.html>.