

# illuminazione stradale a LED

## Guida per la progettazione e l'acquisto

---



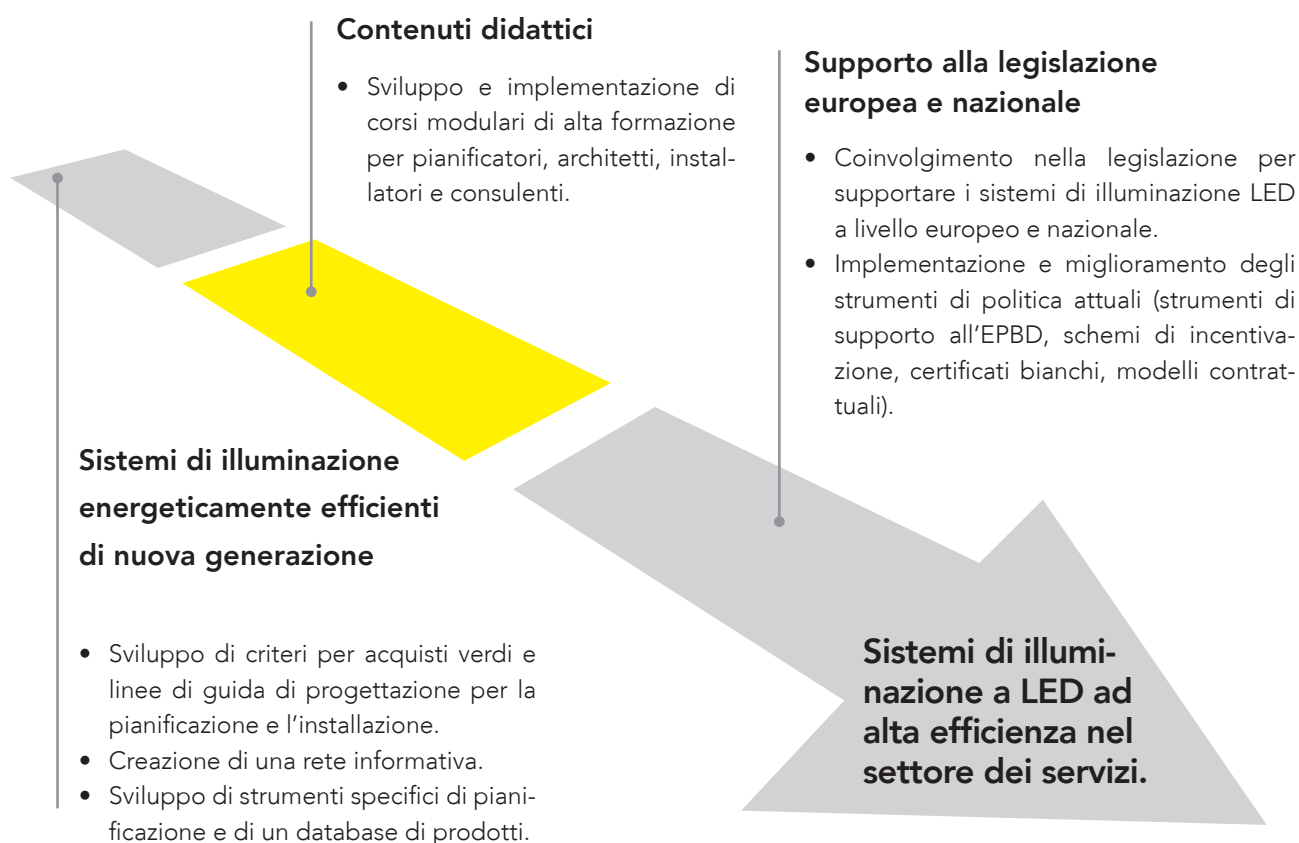
# A proposito di PremiumLight-Pro

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

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

PremiumLight-Pro supporta in modo continuo lo sviluppo della legislazione, sia a livello europeo (ecodesign, etichettatura e EPBD) sia a livello di legislazione nazionale, con strumenti di supporto all'EPBD, schemi di incentivi, certificati bianchi e modelli contrattuali. Per maggiori informazioni visitare il sito [www.premiumlight.it](http://www.premiumlight.it). Le presenti linee guida verranno aggiornate periodicamente. La versione più recente è reperibile all'indirizzo [www.premiumlight.it/illuminazione-di-interni/linee-guida-download](http://www.premiumlight.it/illuminazione-di-interni/linee-guida-download).

## Servizi forniti da PremiumLight-Pro



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

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

## Indice

---

A proposito di PremiumLight-Pro	2	3.3.1 Timer astronomici	28
Indice	3	3.3.2 Sfruttamento della luce naturale	28
1. Introduzione	5	3.3.3 Rilevamento del traffico	28
2. Elementi di qualità, sicurezza ed efficienza nell'illuminazione stradale	7	3.3.4 Attenuazione	29
2.1 Introduzione	7	3.3.5 Considerazioni	20
2.1.1 Criteri di qualità	7	4. Acquisto di sistemi di illuminazione stradale	30
2.1.2 Criteri di sicurezza	11	4.1 Introduzione	30
2.1.3 Criteri di efficienza	12	4.2 Specifiche generali	32
2.1.4 Durata	12	4.2.1 Specifica del sistema di illuminazione	32
2.2 Standard Europeo EN 13201	13	4.2.2 Aspetti di controllo dell'illuminazione e dei sistemi di comunicazione	32
2.2.1 Selezione di classi di illuminazione	13	4.2.3 Misura del consumo energetico	33
2.2.2 Requisiti di performance, misurazioni e metodi di calcolo	14	4.3 Criteri di selezione	33
2.2.3 Indicatori di performance energetica	15	4.3.1 Know-how e esperienza del team progettuale e del team di installazione	33
2.2.4 Esempio – strade in aree urbane	17	4.3.2 Capacità dell'offerente	34
2.2.5 Esempio – strade in aree rurali	18	4.3.3 Conformità con gli standard EN e ISO	34
3. Componenti di illuminazione e progetto di illuminazione	20	4.4 Requisiti tecnici (criteri obbligatori e premiali)	34
3.1 Componenti del sistema di illuminazione	20	4.4.1 Criteri legati all'energia	34
3.1.1 Sistemi ottici	20	4.4.2 Criteri di qualità e design	37
3.1.2 Sistemi di supporto	24	4.4.3 Marchio di conformità	39
3.1.3 Sistemi elettrici	25	4.4.4 Costo nel ciclo di vita/TCO	40
3.2 Sistemi di controllo dell'illuminazione stradale	26	4.4.5 Aspetti contrattuali	40
3.2.1 Controllo autonomo	26	4.4.6 Riduzione dei rifiuti e recupero dei materiali	41
3.2.2 Controllo centralizzato	26	4.5 Criteri premiali PremiumLightPro: ponderazione e valutazione	41
3.2.3 Controllo dinamico	26	4.5.1 Introduzione	41
3.3 Strategie di controllo dell'illuminazione stradale	28	<b>Bibliografia</b>	<b>43</b>





# 1. Introduzione

Le soluzioni attuali per l'illuminazione a LED evolvono rapidamente e assicurano un significativo potenziale di risparmio di energia. L'aumento dell'efficacia, il design migliore degli apparecchi di illuminazione e le maggiori possibilità di controllo permettono un migliore adattamento dei sistemi di illuminazione alle condizioni di traffico. Nonostante l'adozione dei sistemi di illuminazione a LED sia in costante aumento, è necessario sfruttare il grande potenziale per migliorare gli strumenti di policy locali e nazionali.

L'iniziativa Premiumlight Pro supporta lo sviluppo di tali policy grazie a:

- lo sviluppo di linee guida per l'acquisto di sistemi di illuminazione a LED nel settore pubblico e privato, per l'illuminazione stradale e indoor
- l'offerta di strumenti di formazione e informazione per progettisti, architetti, installatori e consulenti
- la diffusione di buone pratiche implementate grazie a politiche innovative

Il presente documento approfondisce la progettazione e il processo di acquisto di sistemi per l'illuminazione stradale sostenibili ed è rivolto principalmente a esperti di procurement e agli enti pubblici ad ogni livello (nazionale, regionale, comunale e locale), responsabili del processo di acquisto o sostituzione di sistemi per l'illuminazione stradale. Le linee guida qui presenti sono inoltre rivolte a progettisti di illuminazione stradale, gestori di servizi energetici, specialisti e consulenti in campo energetico.

L'uso corretto delle presenti linee guida è legato principalmente alle conoscenze di partenza e alle finalità del lettore. Gli esperti che già hanno familiarità con i fondamentali della progettazione di sistemi di illuminazione stradale a LED possono ad esempio verificare le raccomandazioni dettagliate di PremiumLightPro in merito all'acquisto, presentate nel capitolo 4. Gli esperti con meno familiarità con i fondamentali possono dapprima integrare le proprie conoscenze di base presentate nei capitoli 2 e 3, utili alla comprensione dei contenuti dei seguenti capitoli, come ad esempio gli aspetti di qualità ed efficienza per l'illuminazione stradale e lo standard EN 13201. Il capitolo 5 infine offre una breve selezione di buone pratiche di sistemi di illuminazione stradale presenti a livello europeo.



# 2. Elementi di qualità, sicurezza ed efficienza nell'illuminazione stradale



## 2.1 Introduzione

Le soluzioni impiantistiche efficienti per l'illuminazione stradale basate sulla tecnologia LED devono basarsi su criteri di qualità, efficienza e sicurezza. Il seguente capitolo offre una panoramica dei criteri principali e approfondisce aspetti specifici dell'illuminazione con tecnologia LED.

### 2.1.1 Criteri di qualità

I criteri di qualità definiscono elementi fondamentali quali la luminanza, il colore della luce, la resa cromatica, la distribuzione dell'illuminazione, lo sfarfallamento, l'abbagliamento ecc.

#### 2.1.1.1 Luminanza

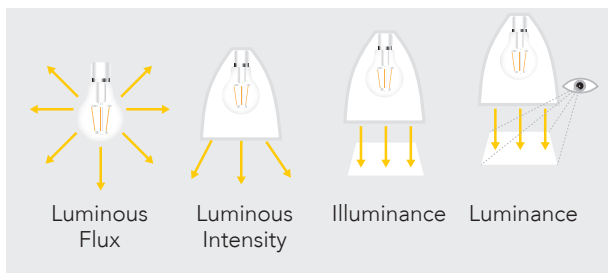
È possibile utilizzare differenti metriche per quantificare l'apporto di luce derivante da una sorgente luminosa e percepito dall'occhio umano. Poiché la sensibilità dell'occhio umano varia in funzione delle differenti lunghezze d'onda (ad es. maggiore sensibilità per le tonalità verde chiaro rispetto alla luce rossa o blu), il flusso luminoso è corretto di conseguenza.

Il **flusso luminoso** (misurato in lumen, o lm) è la quantità complessiva di radiazione visibile all'occhio umano, emessa da una specifica sorgente

L'**intensità luminosa** (misurata in candele, o cd, con  $1 \text{ cd} = 1 \text{ lm/steradiante}$ ), rappresenta la distribuzione spaziale del flusso luminoso all'interno di un angolo solido che ha vertice nella fonte luminosa. Per l'illuminazione stradale la distribuzione spaziale deve garantire l'adeguata illuminazione della strada, dell'arredo stradale, degli utilizzatori. L'illuminazione verso l'alto è spesso non desiderata (vedere in seguito la parte sull'inquinamento luminoso).

L'**illuminamento** (espresso in lux, o lx, con  $1 \text{ lux} = 1 \text{ lm/m}^2$ ), rappresenta la quantità complessiva di luce che raggiunge una determinata superficie illuminata. Per differenti classi stradali, tranne che per le autostrade, sono specificati livelli di illuminamento minimo (vedere sezione 2.2.1). I requisiti tipici di illuminamento per le strade nelle aree con situazioni di traffico complesso (come ad esempio quelle con visuale inferiore ai 60 m o dove sono presenti differenti utilizzatori della strada come ciclisti e pedoni) variano dai 7,5 ai 50 lux (vedere sezione 3.1.1 per dettagli). I valori raccomandati di illuminamento standard sono specificati nello standard EN 13201 (presentato di seguito, nel capitolo 2.2).

Infine, la **luminanza** (misurata in  $\text{cd/m}^2$ ), rappresenta la luminosità delle superfici o degli oggetti illuminati e percepiti dall'occhio umano. I valori minimi di luminanza richiesti per strade con velocità medie o elevate variano tra 0,3 e  $2 \text{ cd/m}^2$  [EN 13201-2]. Tali valori di luminanza ricadono quindi nello spettro di visione mesopica della percezione visiva umana (tra  $0,001$  e  $3 \text{ cd/m}^2$ ) che combina sia la visione dei colori (fotopica) sia la visione scotopica [HUT]. In questo intervallo il tempo di reazione umano a nuovi stimoli è determinato dalla combinazione di contrasto di luminosità e contrasto di colore. Quindi sia la luminanza della zona illuminata, sia la resa cromatica della fonte luminosa (vedere 2.1.1.3) sono importanti per la percezione umana e quindi per la sicurezza stradale. I valori minimi di luminanza sono definiti per le classi stradali per le medie e le elevate velocità (vedere sezione 2.2.1).

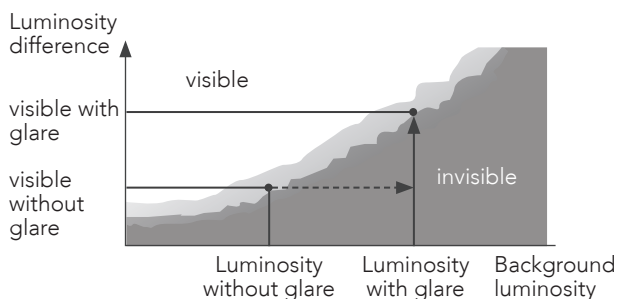


**Figura 1** *Differenti definizioni delle grandezze caratteristiche dell'illuminotecnica*

### 2.1.1.2 Abbagliamento

L'abbagliamento è un effetto visivo disturbante causato da una distribuzione non uniforme o da elevato contrasto, che obbliga l'occhio a adattarsi rapidamente [vedere anche EN 12665-1]. È possibile definire due tipologie di abbagliamento: l'abbagliamento debilitante (disability glare), causato dalla diffusione della luce a livello della retina che riduce la sensibilità al contrasto, e l'abbagliamento di tipo molesto (discomfort glare) che induce una sensazione di disagio.

Nonostante la sensibilità all'abbagliamento debilitante possa variare a seconda dell'individuo (in particolare, l'effetto si acuisce con l'età), può comunque essere valutato oggettivamente. In un ambiente particolarmente luminoso l'occhio umano è in grado di riconoscere differenze nel grado di luminanza solo fino ad una determinata soglia limite. Tale soglia (tra visibilità e invisibilità) varia: è possibile determinare la soglia ai vari livelli di luminosità valutando due ambienti con differenti luminosità e abbagliamento inconfortevole.



**Figura 2** *Determinazione dell'incremento della soglia*

Dato che l'abbagliamento debilitante riduce la capacità di percepire deboli contrasti, può disturbare attività importanti nel traffico, come ad esempio l'individuazione di elementi critici, controllare le luci di posizione dei veicoli, valutare i pericoli. L'abbagliamento è quindi un pericolo anche per gli altri utenti della strada. Gli aspetti che influenzano l'abbagliamento nell'illuminazione stradale a LED sono i seguenti:

- Il rapporto tra luminanza della fonte di abbagliamento, misurata all'osservatore, e luminanza dello sfondo
- L'angolo tra la fonte di abbagliamento e la linea di visuale dell'osservatore

Le fonti a LED possono fornire elevati livelli di luminanza e causare abbagliamento. Le lampade a LED sono quindi dotate di diffusori che riducono il livello di luminanza. I sistemi per l'illuminazione stradale dovrebbero essere progettati in modo da evitare livelli di luminanza elevati, della fonte luminosa e delle zone illuminate. Inoltre una variazione continua dei livelli di illuminazione causa stanchezza e deve essere evitata, in particolare sui percorsi stradali lunghi. Livelli elevati di luminanza facilitano l'adattamento degli occhi alle luci di posizione degli altri veicoli. Per approfondimenti sulla progettazione dei sistemi di illuminazione stradale, si rimanda al Cap. 3.

Sono state introdotte varie classificazioni del grado di schermatura per la valutazione dell'abbagliamento debilitante e di tipo molesto. Le classi per l'abbagliamento debilitante includono i livelli da G1 a G6 e sono specificate in dettaglio nella norma EN13201-2. Le classi per il discomfort glare sono specificate da D1 a D6 (vedere tabella sotto).

**Tabella 1** *Classi di abbagliamento per abbagliamento debilitante (EN13201-2 e Vejregler2015)*

Classe	Intensità luminosa massima in cd/klm			Schermatura totale
	a 70°	a 80°	a 90°	
G1		200	50	Nessun requisito
G2		150	30	Nessun requisito
G3		100	20	Nessun requisito
G4	500	100	10	sopra 95° sia zero
G5	350	100	10	sopra 95° sia zero
G6	350	100	0	sopra 90° sia zero

**Tabella 2** *Classificazione per abbagliamento di tipo molesto (Vejregler2015)*

Classe	
D0	non specificato
D1	7000
D2	5500
D3	4000
D4	2000
D5	1000
D6	500



### 2.1.1.3 Colore della luce - Temperatura di colore e cromaticità

Le fonti luminose emettono spesso in una varietà di differenti lunghezze d'onda, anche se sono percepite come di un singolo colore. Questo colore apparente si definisce abitualmente "temperatura di colore" della fonte luminosa. La temperatura di colore si riferisce al colore derivato dal riscaldamento del cosiddetto "corpo nero" ad una certa temperatura, misurata in Kelvin (K). Il sole, ad esempio, ha una temperatura di colore di 5780 K quando non è osservato a mezzogiorno ed è approssimabile ad un corpo nero.

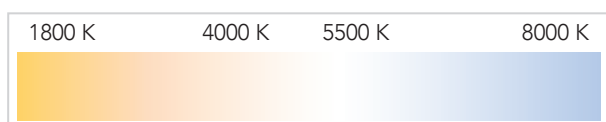


Figura 3 Temperatura di colore

L'illuminazione a LED, al contrario delle tecnologie più obsolete, offre la possibilità di variare o selezionare la temperatura di colore della luce in modo flessibile a seconda dell'applicazione. Va comunque considerato il fatto che la temperatura di colore della fonte incide sull'efficienza energetica del sistema di illuminazione e può avere effetti fisiologici su persone e animali. Tipicamente le luci bianco fredde riflettono un'efficienza energetica maggiore dei sistemi di illuminazione. Un livello elevato di luce blu nelle luci bianco fredde può causare d'altra parte effetti fisiologici, da considerare. Ricerche recenti hanno mostrato che la luce bianca è più efficace come supporto alla visione rispetto al bianco-giallo. La luce bianca appare più chiara rispetto al bianco-giallo. Di conseguenza è più opportuno preferire luce bianca (4000 K) per situazioni stradali complesse, con differenti tipi di utilizzatori (automobilisti, ciclisti, pedoni). All'opposto, temperature di colore più basse (bianco caldo) sono da preferire nelle zone più abitate.

In generale la scelta della temperatura di colore è un aspetto importante della progettazione dell'illuminazione stradale. L'illuminazione a LED offre tutto lo spettro delle possibili temperature di colore e quindi offre la possibilità di una scelta accurata del colore della luce per diverse necessità e applicazioni.

A fianco della temperatura di colore è possibile definire la cosiddetta cromaticità (le coordinate reali del colore nello spettro) per specificare l'uniformità del colore di una determinata lampadina. Le coordinate del colore possono anche essere utilizzate per definire la modifica del colore della luce nel tempo. Le

differenze del colore della luce in un determinato lotto di lampade in un determinato periodo di tempo sono indicate dalle cosiddette ellissi di McAdams. La consistenza del colore di un determinato lotto è indicata dalla dimensione dell'ellisse di McAdams, che rappresenta la deviazione cromatiche. In tal modo è possibile specificare i requisiti in termini di uniformità di colore delle lampadine in fase di acquisto.

I requisiti minimi per i prodotti in vendita nell'UE sono definiti nella relativa legislazione. Il requisito minimo per l'attuale legislazione Ecodesign è di 5 ellissi di McAdams (5-step) di differenza.

### 2.1.1.4 Resa cromatica

Fonti luminose con la stessa temperatura cromatica possono dare una resa molto differente in termini di rappresentazione dei colori delle aree e degli oggetti illuminati. Perciò la resa cromatica specifica non dipende dalla temperatura del colore della fonte luminosa ma dalle lunghezze d'onda dello spettro emesso dalla sorgente. Le fonti luminose che forniscono uno spettro intero di lunghezze d'onda rappresentano qualsiasi tipo di colore degli oggetti illuminati in modo molto naturale. Le fonti luminose che emettono solo alcuni colori possono supportare la rappresentazione di questi colori specifici.

Per i pedoni, ad esempio, è importante il riconoscimento facciale - che richiede anche la capacità di percepire il contrasto dei colori. Alcuni studi hanno dimostrato che le persone per sentirsi sicure hanno bisogno di riconoscere i volti da una distanza di 4 metri (vedi le classi di illuminazione P, HS e SC nella sezione 22.2 che include aspetti di riconoscimento facciale). [LRT]

La capacità di resa cromatica delle fonti luminose è quantificata in laboratorio mediante otto colori standard definiti. La resa cromatica è rappresentata dall'indice di resa cromatica (colour rendering index, CRI; il massimo valore dell'indice è 100). I sistemi di illuminazione con resa cromatica di 80 o più sono adatti a un buon riconoscimento facciale. [LRT] Per quanto riguarda l'illuminazione a LED anche la resa cromatica specifica del colore rosso è rilevante. Questo valore, chiamato R9, normalmente non è incluso nell'indice CRI classico ma nell'indice più esteso che riguarda 14 colori standard. Per l'illuminazione a LED il CRI standard e il valore R9 dovrebbero essere considerati in combinazione. La tabella mostra i tipici livelli di resa cromatica per le diverse tecnologie usate nell'illuminazione stradale. Le illuminazioni a LED normalmente garantiscono un indice di resa cromatica dall'80 in su. Per

le strade con un pattern di utilizzo semplice una resa cromatica di Ra 70 è spesso sufficiente. Per un utilizzo più complesso, situazioni di illuminazione al di sopra di Ra 80 sarebbero auspicabili.

Complessivamente sia il colore della luce (temperatura cromatica) sia la resa del colore di una fonte luminosa sono rilevanti per la visibilità e la percezione di oggetti in un ambiente.

**Tabella 3** *Indice di resa cromatica per sistemi di illuminazione stradale [BG]*

Tipologia fonte luminosa	CRI
Mercurio alta pressione	40–60
Alogenuri metallici	70–95
Sodio bassa pressione	monocromatica
Sodio alta pressione	20
LED	80+

### 2.1.1.5 Mantenimento cromatico

Il mantenimento del colore è un argomento di particolare interesse per l'illuminazione a LED, in quanto i moduli LED con il tempo potrebbero cambiare la proprie temperature cromatiche e coordinate colorimetriche. I problemi di mantenimento del colore possono essere causati dalla degradazione del materiale usato per l'incapsulamento o per le lenti dei LED, da contaminazioni o da altri tipi di degradazione del sistema. Altre cause su cui si sta investigando al momento potrebbero essere le alte temperature di funzionamento, le elevate correnti di funzionamento, la decolorazione dei materiali ottici dovuta a radiazioni blu o ultraviolette.

Finora solo alcuni produttori di pacchetti LED offrono garanzie sul mantenimento del colore, e non sono disponibili procedure standard per la previsione del mantenimento cromatico. [ENG]

Deviazioni cromatiche nel tempo possono essere specificate e valutate con le coordinate cromatiche e le ellissi di MacAdams.

### 2.1.1.6 Inquinamento luminoso

Le luci artificiali hanno effetti dannosi su persone e animali. L'illuminazione indesiderata di luoghi all'aperto si chiama anche inquinamento luminoso. Per gli esseri umani, gli effetti variano dall'illuminazione del cielo notturno nelle città e nelle vicinanze, fino allo sconvolgimento dei ritmi sonno-veglia dovuto all'illuminazione esterna in aree residenziali. Gli animali usano le fonti di illuminazione per l'orientamento e perciò possono

essere confusi o spaventati dall'illuminazione artificiale. Molti animali percepiscono le diverse lunghezze d'onda luminose in modo differente dagli esseri umani.

Alcuni studi hanno dimostrato che le fonti di illuminazione a LED attraggono meno insetti rispetto alle altre fonti luminose usate nell'illuminazione stradale, con LED "bianchi caldi" (con una temperatura cromatica di 3000 K) che attraggono un numero considerevolmente inferiore di insetti rispetto a quelli "bianchi freddi" (temperatura cromatica di 6000 K). [SdN]

Una strategia per ridurre l'inquinamento luminoso è usare luminarie 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.

La luce emessa dalle luminarie è quantificata dalla percentuale di flusso luminoso verso l'alto (abbreviato ULOR o RULO): [RO]

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

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

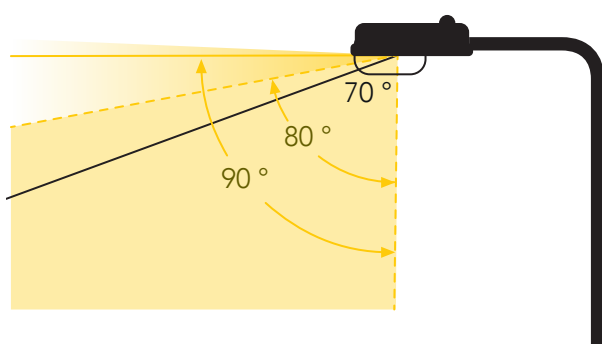
- **Illuminazioni full cut-off:** un massimo del 10% del flusso luminoso totale della lampada è emesso a un angolo di 80° al di sopra del nadir, e lo 0% a un angolo di 90° al di sopra del nadir.
- **Illuminazioni cut-off:** un massimo del 10% del flusso luminoso totale della lampada è emesso a un angolo di 80° al di sopra del nadir, e il 25% a un angolo di 90° al di sopra del nadir.
- **Illuminazioni semi-cut-off:** un massimo del 20% del flusso luminoso totale della lampada è emesso a un angolo di 80° al di sopra del nadir, e il 5% a un angolo di 90° al di sopra del nadir.
- **Illuminazioni non-cut-off:** emettono luce in tutte le direzioni.

Questa definizione tradizionale di cut-off è estesa a sei diverse classi di intensità luminose nello standard EN 13201-2, che include anche valori per angoli di 70° o più. Vedere la sezione 2.2 per ulteriori informazioni sul EN 13201-2.

**Tabella 4** Ingress Protection (IP) rating

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

[IEEC, 2015]



**Figura 4** Definizione dei criteri cut-off

Ulteriori opzioni per la riduzione dell'inquinamento luminoso includono:

- **Riduzione dell'illuminamento:** Questa misura deve essere pesata in base ai requisiti di sicurezza per gli utilizzatori delle strade. Sistemi di controllo della luce intelligenti possono modificare l'illuminamento a livelli appropriati per specifici orari o situazioni (vedi sezione 3.5) [JAE]. Tuttavia, spegnere o ridurre le illuminazioni durante la notte (per esempio, tra mezzanotte e le 5:30) difficilmente può apportare grandi benefici per la fauna locale in quanto per esempio pipistrelli e altre specie notturne sono attive nelle prime ore della notte, quando le illuminazioni stradali stanno ancora funzionando a massimo regime. [BAT]
- **Cambiare lo spettro:** La sensibilità degli animali ai diversi colori della luce variano da specie a specie. Complessivamente sembra che le tecnologie di illuminazione che emettono uno spettro ristretto di luce "bianca calda" - come le lampade a sodio a bassa pressione (LPS) - hanno un impatto ecologico minore rispetto alle altre tecnologie. Con la tecnologia LED la temperatura del colore può variare a seconda del bisogno. Tuttavia è necessario rispondere a requisiti di qualità e sicurezza.

A livello nazionale è necessario verificare il rispetto ulteriore delle possibili normative regionali e locali, in merito all'inquinamento luminoso e alla presenza di eventuali zone di tutela.

La tecnologia di illuminazione a LED può essere utilizzata per creare un livello di illuminazione più uniforme. Lampade a scarica ad alta intensità (high intensity discharge, HID) come le lampade HPS o MH hanno un livello di picco di illuminazione più alto direttamente sotto la fonte luminosa, ma "zone buie" tra i punti luce.

## 2.1.2 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 ed adeguato. Per questo scopo tipicamente sono specificati requisiti sulla protezione di ingresso (IP), protezione da impatti (IK) e di sovravoltaggio.

### 2.1.2.1 Grado di protezione

La resistenza delle fonti luminose contro l'ingresso di corpi esterni è indicata dal cosiddetto grado di protezione (IP), un numero a due cifre definito dagli standard IEC 60529. La prima cifra indica la resistenza rispetto a oggetti solidi, mentre la seconda valuta la sua resistenza rispetto ai liquidi:

Per l'illuminazione stradale dovrebbero essere usati apparecchi di illuminazione IP65, per assicurare sufficiente resistenza alla polvere e alle cattive condizioni meteorologiche. [IEA]

### 2.1.2.2 Impatto meccanico

La resistenza degli apparecchi di illuminazione a impatti meccanici è indicata dal loro codice di Impatto Meccanico (IK), un valore definito dagli standard IEC 62262:

**Tabella 5** Valutazione dell'Impatto Meccanico (IK)

Valore IK	Forza dell'impatto in Joule
00	–
01	0,15
02	0,2
03	0,35
04	0,5
05	0,7
06	1
07	2
08	5
09	10
10	20

Dato che l'illuminazione esterna può essere colpita da rami d'albero o da altri detriti portati da venti forti o addirittura essere vittima di vandalismo, è raccomandato un minimo di IK08.

### 2.1.2.3 Protezione dalla sovratensione

Sovratensioni transitorie (incrementi nel voltaggio al di sopra del voltaggio standard progettato che durano da microsecondi fino ad alcuni millisecondi) possono causare danni ai moduli LED e alimentatori. La resistenza a tale fluttuazione è misurata dalla valutazione della protezione alla sovratensione.

Mentre EN61547 regola i criteri minimi per la protezione dalla sovratensione per le illuminazioni a LED, esso specifica un livello di prova minimo di 0,5 kV Linea/Neutro, Linea/PE, Neutro/PE, insufficiente per situazioni più serie come la caduta di fulmini nelle vicinanze. Per questo motivo diversi progetti di illuminazione stradale elevano il parametro di protezione dalla sovratensione a 10 kV [ZVEI2]

### 2.1.3 Criteri di efficienza

Rispetto alla maggior parte delle altre tecnologie, i LED raggiungono livelli di efficienza energetica molto elevati (lumen per Watt di potenza).

**Tabella 6** Valori tipici di efficienza energetica per tipi di lampade stradali [BG]

Tipologia fonte luminosa	Efficienza energetica [lm/W]
Mercurio alta pressione	60
Alogenuri metallici	120
Sodio alta pressione	150
LED	150

L'efficienza totale dei sistemi di illuminazione a LED dipende non solo dall'efficacia del modulo LED, ma anche dall'apparecchio di illuminazione, dal sistema di controllo della luce e dal progetto complessivo del sistema di illuminazione. Per questa ragione è importante distinguere l'efficacia a livello di modulo LED, di apparecchio di illuminazione e di sistema totale.

L'efficienza totale del sistema come elemento unico è influenzata tra l'altro dalla distribuzione spaziale della luce (intensità luminosa), dalla sistemazione geometrica sulla strada e dal sistema di illuminazione (vedi sezioni 3.2 e 3.3 per aspetti più dettagliati). Per valutare l'efficienza energetica a livello di sistema stradale è stato sviluppato l'indicatore di densità di potenza (Power Density Indicator, PDI).

Mentre l'indicatore di densità di potenza, in un sistema di illuminazione stradale, fornisce informazioni utili sull'efficienza energetica per un particolare stato di illuminazione, i livelli di illuminazione possono cambiare durante le ore della notte e dell'anno a seconda del sistema di controllo del flusso luminoso applicato. L'efficienza energetica totale e il consumo energetico in un anno sono perciò espressi meglio dall'indicatore annuale di consumo energetico (AECI, Annual Energy Consumption Indicator). La sezione 2.2.3 spiega il PDI e l'AECI più nel dettaglio.

### 2.1.4 Durata

Per quantificare la durata di vita dei moduli LED, lo standard IEC 62722-2-1 definisce i seguenti parametri:

La **vita media valutata Lx** esprime il tempo che impiega il modulo LED medio a fornire meno dell'*x* per cento del suo output iniziale di lumen. Per esempio, L80 50'000 h significa che l'output di lumen del modulo si abbassa del 20% dopo 50'000 ore di utilizzo.

La **vita utile valutata LxBy** indica che percentuale *y* dei moduli LED avrà l'output di lumen *x* dopo il periodo

specificato. Perciò, L80B10, 50'000 h dovrebbe essere letto come:

- Dopo 50'000 ore di utilizzo il 10% dei LED avrà il flusso luminoso pari o inferiore all'80% di quello originale.

Il **tempo di guasto improvviso Cz** descrive il tempo dopo cui lo z per cento dei LED ha subito un guasto. Perciò, C10 50'000 t = 35°C dovrebbe essere letto come:

- Dopo un tempo di 50'000 ore in un ambiente con temperatura di 35°C, il 10% degli apparecchi luminosi a LED installati con gli stessi moduli LED ha subito un guasto totale.

A causa della vita lunga dei LED e dei loro cicli di sviluppo relativamente brevi, i valori di vita valutata e di guasto sono estrapolazioni statistiche e non dovrebbero essere considerate per il singolo modulo. Inoltre, la vita vera e propria di un apparecchio può dipendere da diversi fattori. Il guasto o la degradazione del flusso luminoso di un apparecchio inoltre dipende dai dati di funzionamento elettrici e termici, dalla temperatura dell'ambiente e da vari altri parametri. Il progettista deve ottenere tutti i dati rilevanti dal produttore in modo da selezionare un apparecchio luminoso adatto all'utilizzo programmato e creare piani di manutenzione adeguati [ZVEI, 2015]. I LED hanno un ciclo di vita di 100'000 ore o più. Anche la vita dell'alimentatore di un apparecchio luminoso deve essere presa in considerazione, e normalmente viene espressa come la percentuale di probabilità di guasto all'interno di un determinato periodo di tempo. Per esempio, "un tasso di guasto dello 0.2% su 1000 ore".

## 2.2 Standard Europeo EN 13201

- L'obiettivo principale dell'illuminazione stradale è di garantire il sostegno alla sicurezza sulle strade durante i periodi di buio. I buoni sistemi di illuminazione stradale rendono possibile per gli utilizzatori della strada l'identificazione di persone, ostacoli e fonti di pericolo, sulla strada o vicino ad essa. Ciò permette agli utenti di comportarsi in modo da evitare incidenti nel buio.

I criteri essenziali di qualità per l'illuminazione stradale sono specificati dallo Standard Europeo EN 13201 "Illuminazione stradale" che affronta le seguenti tematiche:

- EN 13201-1:2004: Selezione di classi di illuminazione
- EN 13201-2:2015: Requisiti di performance

- EN 13201-3:2015: Calcolo della performance
- EN 13201-4:2015: Metodi per misurare la performance di illuminazione
- EN 13201-5:2015: Indicatori di performance energetica

Le parti dalla 2 alla 5, recentemente aggiornate, sono valide in tutta l'Unione Europea e nei paesi membri CEN. Per quanto riguarda la parte 1 al momento non ci sono stati accordi tra gli stati membri dell'UE, per cui non esiste un'applicazione standardizzata delle regole in essa specificate.

### 2.2.1 Selezione di classi di illuminazione

EN 13201-1 specifica un sistema per una descrizione dettagliata di tutte le tipiche situazioni di illuminazione in strade trafficate. Sulla base di questo standard può essere determinato il requisito di illuminazione, a seconda delle specifiche condizioni stradali. Vari parametri di illuminazione, come la geometria della zona di traffico, l'uso dato e le influenze ambientali, possono essere usati per identificare le classi di illuminazione per cui sono descritti requisiti di illuminazione qualitativi e quantitativi.

EN 13201-1 usa una procedura di selezione per determinare le classi di illuminazione da ME1 a ME6, da MEW1 a MEW5, da CE0 a CE5 e da S1 a S6. La seconda parte dello standard è stata rivista nel 2016 e sono stati cambiati e leggermente semplificati i criteri di assegnazione delle classi di illuminazione (vedi la sezione 2.2.2 per le definizioni di nuove classi di illuminazione). Le nuove classi si possono sostituire alle vecchie classi:

Le cifre del codice restano identiche; tuttavia qualsiasi designazione di lettera prima della cifra è declassata (per esempio, ME4a diventa M4). L'unica eccezione avviene per la classe A precedente, che è sostituita dalla nuova classe HS. Le sottoclassi possono essere cambiate come segue:

I criteri di selezione per ogni sottoclasse sono basati sulla geometria della strada, la quantità di traffico e le condizioni ambientali.

I criteri geometrici includono (sulla base della versione tedesca DIN 13201-1:2004):

- Separazione delle corsie con diverse direzioni di traffico (si/no)
- Tipi di intersezioni (incroci/svincoli autostradali)
- Distanza tra svincoli autostradali o ponti (più o meno di 3 km)

- Densità delle intersezioni (più o meno di 3 intersezioni/km)
- Zone di conflitto (sì/no - definite come zone stradali dove flussi di traffico motorizzato si incontrano o che sono utilizzate da altri utenti come pedoni o ciclisti)
- Misure ingegneristiche per lo snellimento del traffico sul posto (sì/no)

I criteri di utilizzo da parte del traffico includono:

- Densità di traffico di veicoli motorizzati (in numero di veicoli al giorno)
- Densità di traffico di ciclisti (normale/alta)
- Densità di traffico di pedoni (normale/alta)
- Difficoltà di flusso del traffico (normale/più alta del normale - definita come la difficoltà di prendere velocità o posizione sulla strada sulla strada in base alle informazioni visive disponibili)
- Parcheggio di veicoli (permesso/non permesso)
- Riconoscimento visivo (necessario/non necessario)
- Rischio di criminalità (normale/più alto del normale - basato sul confronto tra la probabilità di criminalità del luogo e la probabilità della regione più ampia).

Le condizioni ambientali includono:

- Complessità degli stimoli visuali all'interno del campo visivo (normale/alta)
- Luminanza dell'ambiente (ambiente rurale/ambiente urbano/centro città)
- Condizione climatica prevalente (secca/umida - non più applicabile per le nuove classificazioni di classi di illuminazione)

Alcuni parametri (in particolare la densità del traffico e la luminanza dell'ambiente) possono variare da stagione a stagione, o durante le diverse ore della notte. Perciò alcune sezioni stradali possono essere definite con classificazioni stradali diverse. [DIN 13201-1:2004; EN 13201-2:2003; EN 13201-2:2015]

## 2.2.2 Requisiti di performance, misurazioni e metodi di calcolo

La parte 2 della EN 13201 fornisce specifiche per le diverse classi di illuminazione, definite da una serie di requisiti fotometrici a seconda delle necessità e dei requisiti delle specifiche utenze e tipi di strade.

Le classi di illuminazione semplificano lo sviluppo e l'applicazione di prodotti per l'illuminazione stradale e la loro manutenzione. Per armonizzare più generalmente i requisiti, le classi di illuminazione sono state

definite dagli stati membri sulla base di standard nazionali e dagli standard CIE 115:2010. La parte 2 introduce varie misure aggiuntive, utili per definire criteri minimi o massimi per ogni sottoclasse.

Le classi stradali M sono vie per il traffico motorizzato con velocità di guida media o elevata. Per soddisfare i criteri dello standard, bisogna curarsi di mantenere un illuminamento minimo medio della superficie stradale, un'uniformità minima dell'illuminamento della superficie stradale (con valori minimi separati dati in condizioni climatiche asciutte o bagnate), un'uniformità minima di luminanza lungo il centro delle corsie stradali, un livello massimo di riverbero. Inoltre è necessario assicurarsi che la luminanza, al di fuori della strada, non diventi nulla troppo rapidamente.

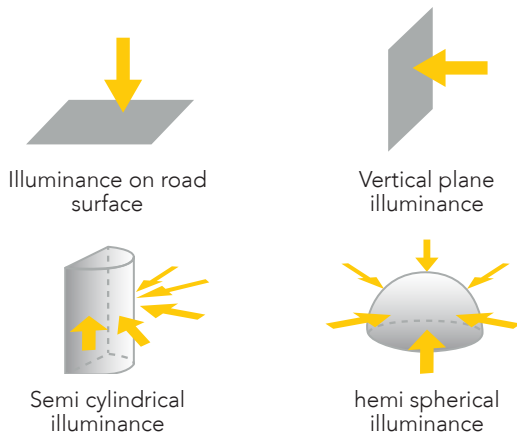
Le classi stradali C rappresentano aree di conflitto in cui i veicoli motorizzati devono prevedere la presenza di altri utenti stradali (come pedoni o ciclisti) o devono muoversi in situazioni di traffico complesse, come intersezioni stradali, rotonde, zone di incolonnamento e così via. Anche se i sistemi di illuminazione delle classi stradali C devono garantire un'uniformità minima della luminanza della superficie stradale, la maggior parte dei criteri per le classi stradali M non sono applicabili o praticabili (per esempio, molte aree di conflitto non hanno una striscia di terra definita a fianco della carreggiata adatta a calcolare quanto velocemente l'illuminazione si riduce a zero oltre la carreggiata). Piuttosto, esse devono mantenere un'illuminazione media orizzontale sull'area della strada. Anche se le classi stradali C - al contrario delle classi M - non hanno criteri obbligatori per minimizzare il riverbero, l'appendice C della EN 13201-2 fornisce criteri informativi anche per questa classe.

Le classi stradali P e HS sono destinate a pedoni o ciclisti su passaggi pedonali, ciclabili, corsie di emergenza e altre aree della strada collocate separatamente o lungo le carreggiate del traffico motorizzato, ma anche in strade residenziali, pedonali, zone di parcheggio, cortili scolastici ecc. I criteri per le classi stradali P includono un'illuminazione minima media dell'area stradale, e un'illuminazione minima costante dell'area stradale. Il riconoscimento facciale è importante: bisogna considerare criteri aggiuntivi per l'illuminamento del piano verticale (in un dato punto) e un illuminamento minimo semicilindrico (su un piano al di sopra dell'area stradale). Come alternativa alla classe stradale Pm la classe HS basa i propri criteri sull'uniformità

complessiva dell'illuminazione della superficie stradale e all'illuminamento medio emisferico.

Le classi stradali SC sono una classe aggiuntiva per aree pedonali, dove il riconoscimento facciale e la sensazione di sicurezza sono particolarmente importanti. Esse richiedono livelli minimi di illuminamento semicilindrico.

Le classi stradali EV sono una classe aggiuntiva per situazione come aree di interscambio in cui le superfici verticali devono essere percepite molto chiaramente.



**Figura 5** Tipi di criteri di illuminamento

In aggiunta, l'Appendice A della EN 13201-2 introduce sei diverse classi di intensità luminose per la riduzione del riverbero nei casi in cui il parametro normale (incremento della soglia) non può essere calcolato. Le classi G\*1, G\*2 e G\*3 corrispondono ai concetti tradizionali di "semi-cut-off" e "cut-off", mentre G\*4, G\*5, e G\*6 corrispondono al "full-cut-off". Vedi la sezione 2.1.1.4 per la definizione di questi termini.

La EN 13201-3 descrive i metodi matematici e le procedure che dovrebbero essere usati per calcolare le performance caratteristiche di illuminazione, definite in EN 13201-2.

La EN 13201-4 descrive i metodi che dovrebbero essere usati per misurare le performance di illuminazione. Ci sono quattro situazioni base in cui dovrebbero essere considerate tali misurazioni:

- In fase finale di collaudo si dovrebbero realizzare le misurazioni per verificare la conformità ai requisiti dello standard e/o alle specifiche progettuali.
- A intervalli predeterminati durante la vita del sistema di illuminazione stradale, per quantificare la

degradazione della performance di illuminazione e determinare la necessità di manutenzione.

- Costantemente o a intervalli predeterminati per correggere il flusso luminoso degli apparecchi di illuminazione, se la strada usa illuminazioni stradali adatte (per esempio la luminanza o l'illuminamento sono controllati in relazione al volume del traffico, al tempo, al clima o a altri fattori ambientali).

### 2.2.3 Indicatori di performance energetica

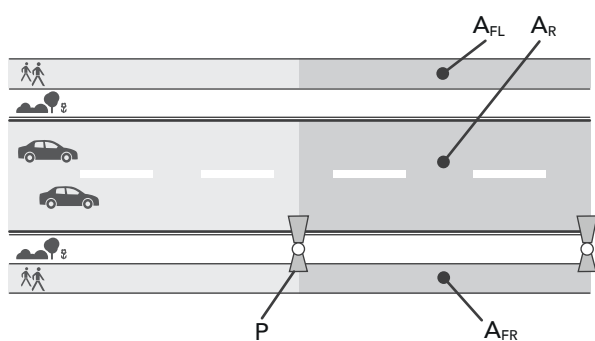
La EN 13201-5 descrive i due metodi di misurazione della performance energetica: l'indicatore di densità di potenza (DPI) DP, misurato in  $[W/(lx\ m^2)]$ , e l'indicatore annuale di consumo energetico (AECI) DE, misurato in  $[Wh/m^2]$ , che è già stato citato nel capitolo precedente. Questi indicatori dovrebbero essere utilizzati per la valutazione della performance energetica di un determinato sistema di illuminazione.

L'indicatore di densità di potenza definisce come calcolare la performance energetica di una particolare installazione di illuminazione stradale, e rende possibile il confronto tra diversi assetti e tecnologie per lo stesso progetto di illuminazione stradale (dato che diversi luoghi avranno diverse condizioni geometriche e ambientali, i valori DPI possono essere usati solo per compattare diversi assetti per la stessa installazione). Le seguenti informazioni sono utili per calcolare l'indicatore di densità di potenza per una data area:

- La potenza totale del sistema P del sistema di illuminazione (dell'intera installazione di una sezione rappresentativa), che include sia la potenza operativa di tutti i punti individuali di illuminazione (fonti luminose e qualsiasi apparecchio associato), sia quella di apparecchi che non sono parte dei punti individuali di illuminazione ma che sono necessari per il loro funzionamento (come sistemi di controllo centralizzati e interruttori).
- L'illuminamento medio orizzontale mantenuto E (in  $[lx]$ ) di ogni sotto-area (e della dimensione di ogni sotto-area). Le strisce di erba e le strisce usate per calcolare quanto velocemente l'illuminamento di riduce a zero al di fuori della carreggiata sono escluse. L'illuminamento può essere derivato da fattori che sono già stati stabiliti per selezionare la classe di illuminazione della strada.

**Tabella 7** Esempio di valori DP [W/(lx m<sup>2</sup>)] e DE [kWh/m<sup>2</sup>] per una strada a due corsie per traffico motorizzato

Classe di illuminazione	Tipologia di fonte luminosa				
	Mercurio alta pressione	Alogenuri metallici	Sodio alta pressione	Sodio bassa pressione	LED
M1		45/5,0		34-41/4,0-5,3	25-32/3,0-3,8
M2	100/10,8	50/4,6		31-40/3,2-4,2	24-27/2,4-2,5
M3	84/6,0	47/3,6	40/2,8-3,1	34-38/2,5-2,6	23-25/1,5
M4	90/5,0	60/3,1	41-47/2,3-2,5	34-42/1,8-2,4	23/1,1
M5	86/3,2	30/0,9	47/1,7	38-45/1,1-1,6	24/0,8
M6	85/1,9	37/0,6		45-49/0,2-1,2	20-27/0,4-0,5



**Figura 6** Esempio di layout per il calcolo PDI/AECI

L'equazione completa per calcolare il PDI è:

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

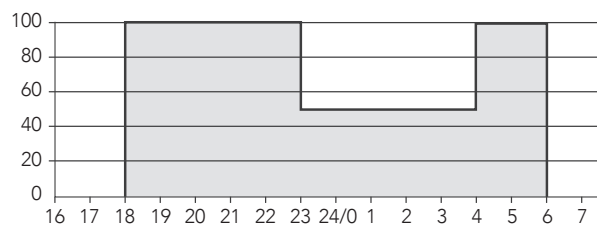
con ( $\bar{E}_i$ ) come illuminamento medio orizzontale della sotto-area,  $A_i$  come dimensione della sotto-area "i" illuminata dall'installazione luminosa (in [m<sup>2</sup>]), en come numero delle sotto-aree da illuminare. Per le classi di illuminazione stradale che non usano un illuminamento medio orizzontale costante (come classi di illuminazione stradale diverse da M), la sezione 4.2 della EN 13201-5 fornisce linee guida per la conversione.

Dato che le classi di illuminazione solitamente cambiano a seconda delle diverse stagioni, il DPI dovrebbe essere calcolato separatamente per ogni classe principale. Per comparare le differenze di consumo energetico tra due diversi assetti, non solo per una particolare classe di illuminazione stradale ma in un intero anno di funzionamento, è necessario calcolare l'AECI. A questo scopo è necessario dividere l'anno in separati periodi di funzionamento in cui si applicano diversi valori per P. L'equazione completa per calcolare l'AECI è:

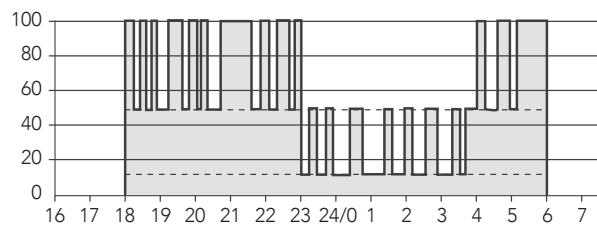
$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \times t_j)}{A}$$

con  $P_j$  come potenza totale del sistema associata con il periodo j-esimo di funzionamento (in [W]),  $t_j$  come durata del periodo j-esimo di funzionamento quando la potenza  $P_j$  si è consumata (in [h]), A come la dimensione dell'area illuminata dallo stesso assetto di illuminazione t (in [m<sup>2</sup>]) e m come numero di periodi con diversi valori operativi di potenza  $P_j$ .

Le durate cumulative di  $t_j$  dovrebbero sommarsi per un intero anno. I periodi di tempo in cui l'illuminazione non è operativa (per esempio durante il giorno) dovrebbero essere comunque inclusi nel calcolo, in quanto durante questi periodi il sistema impegna comunque potenza per rimanere in standby.



**Figura 7** Esempio di output luminoso basato sul tempo: potenza massima durante la sera e la mattina presto, potenza dimezzata nelle ore notturne



**Figura 8** Output luminoso basato sul tempo con rilevatori di veicoli o presenza - potenza massima quando è rilevata la presenza



**Tabella 8** Scelta della corretta illuminazione per luoghi urbani (come da standard EN13201-1:2014)

Parametro	Opzione	Descrizione*	Peso relativo $V_w$ *
Velocità di progetto o limite di velocità	Molto elevata	$v \geq 100$ km/h	3
	Elevata	$70 < v < 100$ km/h	2
	Moderata	$40 < v \leq 70$ km/h	0
	Ridotta	$v \leq 40$ km/h	-1
Volume di traffico	Elevato		1
	Moderato		0
	Ridotto		-1
Composizione del traffico	Misto con elevata percentuale di non motorizzati		2
	Misto		1
	Solo motorizzato		0
Separazione delle corsie	No		1
	Si		0
Veicoli in sosta	Presente		1
	Non presente		0
Luminosità ambientale	Elevata	vetrine, pubblicità, impianti sportivi, stazioni, aree di sosta	1
	Moderata	situazione normale	0
	Ridotta		2
Difficoltà nella guida	Elevata		2
	Moderata		1
	Ridotta		0

\* I valori riportati sono esemplificativi: se giustificati, a livello nazionale, possono essere adottati valori più corretti o metodologie differenti.

L'Appendice A della EN 13201-5 fornisce esempi di valori per PDI/AECI per un ampio range di classi di illuminazione, larghezze delle carreggiate e tipi di lampade (basandosi sui prodotti di illuminazione disponibili nel 2014). Alcuni esempi di valori sono mostrati sotto (tutti per carreggiate con 7 m di larghezza).

L'Appendice C della EN 13201-5 fornisce un metodo semplificato per comparare i sistemi di illuminazione per classi di illuminazione M basandosi sull'illuminamento orizzontale medio costante  $\bar{E}$ . L'appendice D presenta uno schema esemplificativo per la presentazione di informazioni su un indicatore di performance energetica.

## 2.2.4 Esempio – strade in aree urbane

La seguente sezione illustra come lo standard EN13201 può essere applicato per diverse situazioni di illuminazione, in termini di classificazioni stradali e requisiti. Il primo esempio è un centro urbano che include un attraversamento pedonale e una corsia per biciclette. La strada è molto angusta, il che causa gravi ingorghi di traffico durante le ore di punta. La sera tardi il traffico si riduce, permettendo velocità maggiori per i veicoli.



**Figura 9** Centro urbano

Secondo la Tabella 1 della EN 13201 ci sono due situazioni di illuminazione che si incontrano tipicamente in questa situazione:

- Durante la mattina e le ore di punta della sera - il traffico è lento, per esempio tra 5 e 30 km/h. Gli utenti primari della strada sono veicoli motorizzati e pedoni, nonostante il traffico possa includere anche alcuni ciclisti. Ciò corrisponde alla situazione di illuminazione D2 specificata nello standard.
- La sera tardi durante le ore non di punta la velocità del traffico motorizzato aumenta a 30-60 km/h. Gli altri partecipanti al traffico che si incontrano sono pedoni e ciclisti. Ciò corrisponde alla situazione di illuminazione B1.

L'Appendice A.7 della EN 13201-1 fornisce criteri di selezione per situazioni di illuminazione D1 e D2. La tabella A.14 fornisce specificazioni sulla luminanza dell'ambiente con le categorie "basso", "medio" e "alto". Durante la situazione di illuminazione D1, la località è abbondantemente illuminata dalle luci provenienti da negozi e ristoranti. Perciò, la luminanza può essere classificata come "alta", che porta conseguentemente (freccia nella tabella " ") alla tabella A.13 nello standard. Luminosità ambientale: l'ambiente nelle ore di maggior traffico è chiaro e la luminosità è elevata, quindi valore del peso pari a 1.

La tabella A.13 elenca diversi ulteriori criteri per determinare la classe di illuminazione della località:

- Non ci sono misure tecniche per lo snellimento del traffico sul luogo.
- Il rischio di criminalità è normale.
- Non c'è bisogno di riconoscimento facciale.
- La complessità di movimento nel traffico è al di sopra della media, in quanto la strada è piuttosto stretta e la visibilità per i veicoli è scarsa.
- Il flusso di pedoni è alto negli orari del giorno e della notte.

In combinazione con l'alta luminanza dell'ambiente che abbiamo determinato sopra, ciò corrisponde alla classe di illuminazione stradale CE2 (l'equivalente della classe di illuminazione stradale C2 usata nelle parti aggiornate della EN13201, come spiegato nella sezione 2.2.1).

### 2.2.5 Esempio – strade in aree rurali

Il nostro secondo esempio è una strada principale tra due villaggi. L'illuminazione stradale non è obbligatoria per strade di questo tipo. Tuttavia se è pianificata un'illuminazione stradale (per esempio per ridurre gli incidenti), la classe di illuminazione e i criteri minimi devono essere determinati come al solito.



Figura 10 Località rurale

La Tabella 1 nella EN13201-1 è nuovamente usata per determinare la situazione di illuminazione. Tipicamente per strade principali al di fuori dei paesi la velocità media degli utilizzatori (ovvero dei veicoli motorizzati) è maggiore di 60 km/h. E' presente un sentiero per biciclette/pedoni che fiancheggia la strada, il che significa che non è permesso a ciclisti e pedoni di utilizzare la strada. Tuttavia veicoli dal movimento lento come i trattori sono piuttosto comuni in strade di questo tipo. Perciò la situazione di illuminazione corrisponde a un A2 nello standard.

La tabella A.4 suggerisce la seguente situazione:

- La località non è una zona di conflitto.
- La complessità di movimento del traffico è normale.
- La luminanza dell'ambiente è bassa.

Il simbolo "->" porta alla tabella A.3, in cui è possibile selezionare i seguenti aspetti:

- La condizione climatica prevalente è l'asciutto (di nuovo, il criterio non è più rilevante)
- La densità degli incroci è minore di 3/km
- La densità di traffico è minore di 7'000 veicoli al giorno.

Ciò porta a una classe di illuminazione ME5, che è l'equivalente della classe M5 secondo le classificazioni aggiornate e fornisce i seguenti criteri:

- Luminanza media minima della superficie stradale  $\bar{L}$ : 0,5 cd m<sup>2</sup>
- Uniformità minima complessiva della luminanza della superficie stradale  $U_0$ : 0,4
- Uniformità minima longitudinale della luminanza della superficie stradale  $U_{0L}$ : 0,4
- Uniformità minima complessiva della luminanza della superficie stradale  $U_{0W}$ : 0,15 (condizioni di clima umido)
- Incremento di soglia  $f_{T1}$ : 15%
- Rapporto di illuminamento del bordo  $R_{E1}$ : 0,3 (notare che ciò si applica al lato della strada senza il sentiero per pedoni/biciclette – il percorso separato ha i propri criteri di illuminamento).

**Tabella 9** Scelta delle situazioni di illuminazione per un centro urbano

Parametro	Opzione	Descrizione*		Peso relativo $V_w^*$
Velocità di progetto o limite di velocità	Molto elevata	$v \geq 100$ km/h		2
	Elevata	$70 < v < 100$ km/h		1
	Moderata	$40 < v \leq 70$ km/h		-1
	Ridotta	$v \leq 40$ km/h		-2
Volume di traffico	Elevato	Autostrada, strada a più corsie	<b>Strada a due corsie</b>	1
	Moderato	35% – 65% della capacità massima	15% – 45% della capacità massima	0
	Ridotto	< 35% della capacità massima	< 15% della capacità massima	-1
Composizione del traffico	Misto con elevata percentuale di non motorizzati			2
	Misto			1
	Solo motorizzato			0
Separazione delle corsie	No			1
	Sì			0
Densità incrocio		Incroci al km	<b>Svincoli, distanza tra ponti, km</b>	
	<b>Elevata</b>	<b>&gt; 3</b>	<b>&lt; 3</b>	<b>1</b>
		<b><math>\geq 3</math></b>	<b><math>\leq 3</math></b>	<b>0</b>
Veicoli in sosta	Presente			1
	Non presente			0
Luminosità ambientale	Elevata	vetrine, pubblicità, impianti sportivi, stazioni, aree di sosta		1
	Moderata	Situazione normale		0
	Ridotta			-1
Difficoltà nella guida	Elevata			2
	Moderata			1
	Ridotta			0

\* I valori riportati sono esemplificativi: se giustificati, a livello nazionale, possono essere adottati valori più corretti o metodologie differenti.

# 3. Componenti e progetto del sistema di illuminazione



## 3.1 Componenti del sistema di illuminazione

I sistemi di illuminazione stradale possono essere suddivisi in tre vaste categorie

- Sistemi ottici, che riguardano gli apparecchi di illuminazione (inclusi riflettori, rifrattori e lenti), oltre che lampade e alimentatori
- Sistemi di supporto che consistono nei pali e le loro fondazioni
- Sistemi elettrici (inclusi i gabinetti di servizio) che riguardano l'erogazione dell'energia e i servizi di controllo e misurazione.

### 3.1.1 Sistemi Ottici

#### 3.1.1.1 Definizione di apparecchi di illuminazione, lampade e fonti di illuminazione

Per distinguere i termini "apparecchio di illuminazione", "lampada" e "fonte di illuminazione" si fa riferimento alle definizioni presentate nei recenti Regolamenti UE 874/2012 (etichettatura indicante il consumo d'energia delle lampade elettriche e delle apparecchiature d'illuminazione) e 1194/2012 (specifiche per la progettazione ecocompatibile delle lampade direzionali, delle lampade con diodi a emissione luminosa e delle pertinenti apparecchiature):

- "Apparecchio di illuminazione" significa un apparato che distribuisce, filtra o trasforma la luce trasmessa da una o più lampade e che include tutte le parti per il supporto, il fissaggio e la protezione delle lampade e, se necessario, circuiti ausiliari con il fine di connetterli alla rete di alimentazione elettrica.
- Una "Lampada" è definita come un'unità la cui performance può essere valutata indipendentemente e che consiste in una o più fonti luminose. Può

includere componenti aggiuntivi necessari per l'accensione, la fornitura di energia o il funzionamento stabile dell'unità per distribuire, filtrare o trasformare la radiazione ottica, in casi in cui questa componenti non possano essere rimosse senza danneggiare in modo permanente l'unità.

- Col termine "sorgente luminosa" si intende una superficie o oggetto progettato per emettere soprattutto una radiazione ottica visibile prodotta dalla trasformazione di energia. L'espressione "visibile" si riferisce a una lunghezza d'onda di 380-780 nm.

In questo contesto un "apparecchio di illuminazione" può contenere una o più "lampade", mentre una "lampada" può essere attrezzata con una o più "sorgenti luminose".

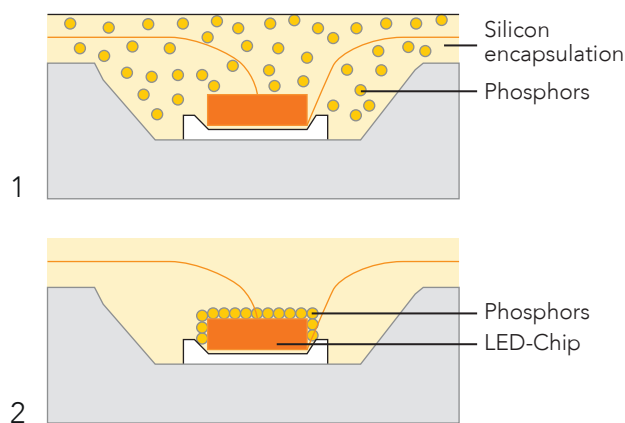
#### 3.1.1.2 Fonti luminose

Da un punto di vista fisico tutte le tecnologie di lampade trasformano l'energia elettrica in luce visibile. Le lampade a scarica ad alta intensità sono state il prodotto dominante nell'illuminazione stradale per decenni. Come è già stato menzionato nella sezione precedente, la tecnologia LED si sta imponendo su tutte le altre tipologie di lampade, in particolare per i nuovi sistemi di illuminazione stradale. Le lampade a sodio ad alta pressione (HPS) rimangono un'opzione valida soprattutto per alcuni compiti di illuminazione, come per le autostrade. L'efficienza molto elevata compensa la bassa resa cromatica, che non rappresenta un problema per quest'area di applicazione.

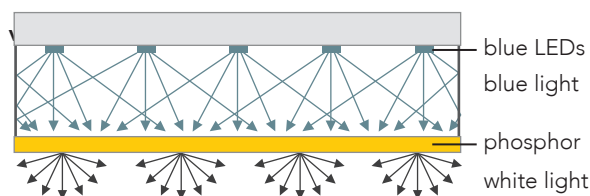
Nelle lampade a LED viene prodotto il cosiddetto effetto di elettroluminescenza. Tecnicamente, un diodo emettitore di luce (light-emitting diode, LED) – come dispositivo allo stato solido – è un diodo a giunzione p-n, che emette luce quando attivato. Il chip LED è fatto di un materiale semiconduttore drogato con impurità

per creare una giunzione p-n. come in altri diodi, la corrente scorre facilmente dal lato p, o anodo, al lato n, o catodo. Portatori di carica – elettroni e lacune – scorrono nella giunzione da elettrodi con diversi voltaggi. Quando un elettrone incontra una lacuna, esso cade a un livello di energia più bassa e rilascia energia sotto forma di un fotone.

La lunghezza d'onda della luce emessa, e perciò il suo colore, dipende dalla BAND GAP (banda proibita) dei materiali che formano la giunzione p-n. I materiali usati per il LED hanno una band gap diretta, con energie che corrispondono a luce quasi-infrarossa, visibile e quasi-ultravioletta. Per scopi di illuminazione stradale comunemente si usano LED blu, che danno una luce bianca una volta incapsulati in un involucro al fosforo (involucro giallo, vedi figura 11 e 12 che illustrano i diversi principi per la generazione di luce bianca basandosi sugli involucri al fosforo). I LED a luce blu al momento hanno l'efficienza più alta tra tutti i tipi di LED, con un rapporto di conversione del 55%. Il restante 45% è trasformato in calore. Dato che una temperatura di giunzione più alta (la temperatura del materiale semiconduttore del LED) riduce sia l'efficienza che la vita, è necessaria una buona progettazione termica. Per dissipare il calore, il chip LED e la coppetta riflettente sono montate in un dissipatore di calore. Questo dissipatore a sua volta trasferisce il calore all'apparecchio di illuminazione, che dissipa il calore nell'ambiente.



**Figura 11** Incapsulamento al fosforo sospeso in silicone (sinistra) e involucro al fosforo conforme (destra)



**Figura 12** Principio di un modulo LED al fosforo che crea luce bianca

Un altro tipo di LED sono i LED organici (OLED), che usano come sostanza che emette luce uno strato piatto di molecole organiche al posto dei semiconduttori. Nonostante essi abbiano diverse interessanti applicazioni (per esempio TV a schermo piatto) e la loro tecnologia stia avanzando rapidamente, non sono ancora idonei all'illuminazione stradale.

Dato che il flusso luminoso di un solo LED, anche se ad alta potenza, è piuttosto basso rispetto ai lux richiesti per l'illuminazione stradale, diversi chip LED sono assemblati in un unico circuito che può essere composto con componenti aggiuntivi. Perciò è necessario distinguere diversi livelli di integrazione. Le seguenti definizioni sui LED sono state formulate nei Regolamenti della Commissione UE 874/2012 e 1194/2012:

- "Light-emitting diode (LED)" significa una sorgente luminosa che consiste in un dispositivo allo stato solido che incorpora una giunzione p-n [come collegamento o interfaccia tra i due tipi di materiali semiconduttori, tipo p e tipo n, all'interno di un singolo cristallo di semiconduttore] (di materiale non organico). La giunzione emette una radiazione ottica quando eccitata da una corrente elettrica.
- "Pacchetto LED" significa un insieme di uno o più LED. L'insieme può includere un elemento ottico e un'interfaccia termica, meccanica o elettrica;
- "Modulo LED" significa un insieme che non ha copertura e che incorpora uno o più pacchetti LED in uno schema a circuito stampato. L'insieme può avere componenti elettrici, ottici, meccanici e termici, interfacce e alimentatori;
- "Lampada a LED" significa una lampada che incorpora uno o più moduli LED. La lampada può essere attrezzata con una copertura - munita di un attacco.

Questa distinzione è in linea con la segmentazione dei prodotti LED comunemente stabilita all'interno dell'industria dell'illuminazione [R], eccetto che per il livello 2.

**Tabella 10** Livelli di integrazione dei LED

Livello di integrazione	Descrizione
Livello 0	Chip LED (o matrice)
Livello 1	Pacchetto LED che include connessione elettrica, meccanica e di protezione, dissipazione del calore e componenti ottici.
Livello 2	Insieme di vari LED (LED cluster) su uno schema a circuito stampato.
Livello 3	Modulo LED (o motore LED). Un modulo con LED cluster, dissipatore di calore, alimentatore elettrico e talvolta un apparato ottico. Il modulo LED funziona come una lampada.
Livello 4	Apparecchio di illuminazione che consiste in un modulo LED (livello 3) e che contiene ottiche secondarie.
Livello 5	Sistema di illuminazione a LED che include elementi di controllo.

La temperatura di apertura di un chip LED – in particolare la temperatura di una giunzione p-n – è un aspetto critico, specialmente in quanto influenza l'efficacia e la lunghezza della vita. I dati di performance del chip LED sono specificati per una temperatura di giunzione di 25 °C. Le temperature in condizioni di funzionamento normali possono tuttavia facilmente raggiungere i 60-90°C, causando una riduzione dell'output, in lumen, fino al 40%. I LED blu sono meno colpiti dall'innalzamento delle temperature di funzionamento (con una riduzione del flusso dal 5 al 20% a 80°C (temperatura di giunzione). Nella valutazione di lampade a LED potrebbero essere utili ulteriori dati di performance.

La vita di una luce a LED raggiunge le 100,000 ore (specificato per L80, vedi capitolo 2.1.4), ma dipende fortemente dalla temperatura di funzionamento reale e dall'efficacia della gestione termica dell'apparecchio di illuminazione, che dovrebbe garantire una dissipazione di calore sufficiente.

Molto comunemente, e in contrasto con altre tecnologie di illuminazione (come lampade a scarica), i moduli LED sono applicati all'apparecchio di illuminazione stesso, e non sono progettati per essere sostituite come componente sulla base di dimensioni standardizzate, fissaggi e connessioni elettriche. Ciò potrebbe creare difficoltà nella riparazione a lungo termine e nella strategia di sostituzione, anche se le sostituzioni del modulo LED sono richieste dal fornitore originale molti anni prima dell'iniziale messa in funzionamento. Diversi attori del mercato si sono adoperati per la definizione di uno standard unificato chiamato Zhaga per ottenere interoperabilità e intercambiabilità dei moduli LED e degli apparecchi di illuminazione offerti dai diversi fornitori. Nonostante ciò i prodotti certificati Zhaga (motori LED, moduli e apparecchi di illuminazione) rappresentano ancora una nicchia di mercato.

I LED non possono funzionare direttamente connessi con la maggior parte delle reti di alimentazione a corrente alternata (AC). Perciò è necessario un alimentatore (control gear "driver"), con la funzione principale di fornire un voltaggio a corrente continua (DC) stabilizzato. A seconda della qualità del driver le perdite di potenza possono variare tra il 10 e il 30% della potenza nominale della fonte luminosa, e con driver di bassa qualità ci possono essere perdite fino al 50% e probabilmente una riduzione della vita della sorgente luminosa. Una funzione secondaria importante del driver è l'attenuazione della luce, che è approfondita nella sezione 3.3.4. [RL]

### 3.1.1.3 Apparecchi di illuminazione

Un apparecchio di illuminazione è il completo apparato che ospita anche tutte le parti richieste per il montaggio e il funzionamento, incluse le lampade, le parti di controllo, gli alimentatori, i fili ecc. I componenti solitamente sono montati in apparecchi progettati specificamente con forme piatte, che fanno un uso ottimale delle proprie proprietà ottiche. Esistono altri tipi di apparecchi a LED modellati sulla base di apparecchi di illuminazione classici. [IIEC] Apparecchi di questo tipo sono generalmente considerati per



**Figura 13** Tipi di apparecchi di illuminazione a LED

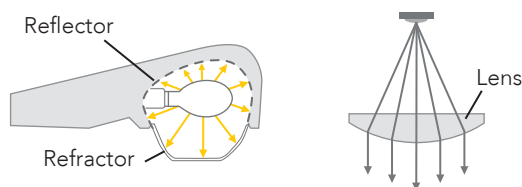
la sostituzione e per emulare gli apparati precedentemente installati (non LED) e solitamente non fanno uso di sistemi ottici e di dissipazione di calore ottimizzati e moderni, disponibili per i LED. Essi possono comunque essere utilizzati nei casi in cui non è possibile la sostituzione dei pali con sistemi ottimizzati. [LRT4]

Lo standard di test per gli apparecchi di illuminazione a cui i produttori fanno riferimento è lo IEC 60598-2-3, che fornisce raccomandazioni generali per gli apparecchi e per le loro coperture. Gli apparati di illuminazione dovrebbero essere resistenti alla corrosione o essere protetti dalla corrosione mediante finiture appropriate. Gli apparecchi di illuminazione contengono elementi ottici come riflettori, rifrattori e lenti (Figura 14) che determinano la distribuzione desiderata della luce, e sono necessari per il controllo dell'abbagliamento e per limitare l'inquinamento luminoso.

I **riflettori** sono usati per ridirezionare e formare l'output luminoso. Gli specchi del riflettore creano immagini multiple della fonte luminosa, usate per creare un pattern luminoso piuttosto uniforme sulla superficie illuminata. [RL]. Nonostante i LED siano già molto direzionali rispetto alle altre fonti luminose, i riflettori possono comunque contribuire alla riduzione dell'inquinamento luminoso e dell'abbagliamento (vedi sezioni 2.1.1.2 e 2.1.1.6).

**Rifrattori o lenti prismatiche** ridirigono la luce della lampada stessa e la luce dal riflettore, e inoltre forniscono una protezione aggiuntiva contro i danni esterni. Sono molto comunemente usati in apparecchi di illuminazione "a testa di cobra".

Le **lenti** permettono un ulteriore controllo direzionale dell'illuminazione a LED, e sono direttamente fissate sui LED. Esse possono aiutare a ridirezionare la luce, ridurre l'abbagliamento e fornire protezione aggiuntiva all'ingresso (vedi sezione 2.1.2.1). [IIEC]



**Figura 14** Riflettore, rifrattore e lente in un apparecchio di illuminazione stradale

Nei moderni apparecchi di illuminazione a LED avanzati, i rifrattori lens-type possono essere fissati su ogni singolo LED, per rendere possibile la modifica della distribuzione della

luce spegnendo o attenuando i LED con diverse lenti fissate. Ciò permette una grande flessibilità nell'adattare la distribuzione della luce alla distanza tra gli apparecchi, alla larghezza della strada, alle proprietà di riflessione della superficie stradale e al cambiamento delle condizioni climatiche. [RL]

Il CIE Technical Report 115:2010 introduce classi di intensità luminosa per gli apparecchi di illuminazione, che definiscono criteri di valori di intensità luminosa massima per diverse angolazioni di elevazione e sono valutati da G1 a G6, formulando criteri sempre più stringenti man mano che gli angoli si fanno più elevati (riducendo quindi l'inquinamento luminoso e l'abbagliamento). [CIE]

Le componenti di un apparecchio di illuminazione dovrebbero essere modulari, in modo che ogni componente possa essere facilmente rimpiazzato da un componente identico o compatibile senza dover rimpiazzare tutto l'apparato. [BFE] Come spiegato nella precedente sezione, la dissipazione di calore è particolarmente importante per gli apparecchi progettati per sorgenti LED. Oltre ad assicurare una buona conduzione di calore tra la luce e l'apparecchio di illuminazione, le seguenti caratteristiche dell'apparecchio luminoso migliorano la dissipazione di calore:

- Il volume dell'apparecchio di illuminazione – più grande il volume, minore è la temperatura all'interno dell'apparecchio.
- Le proprietà di conduzione del calore del rivestimento dell'apparecchio, che determinano quanto in fretta il calore si dissipa nell'aria circostante. La maggior parte dei metalli funziona bene in questo ambito, mentre le plastiche sono isolanti termici e perciò generalmente poco adatte agli apparecchi di illuminazione a LED.
- Le alette di raffreddamento possono essere usate per migliorare il trasferimento del calore nell'aria circostante, in quanto aumentano la superficie termica disperdente dell'apparecchio.

Gli apparecchi di illuminazione sono solitamente valutati per la massima temperatura dell'ambiente "Ta" in cui possono funzionare in modo sicuro. Se non è fornito un valore Ta, si considera una temperatura massima dell'ambiente di 25 °C. [RL]

### Marchi di conformità e qualità per apparecchi di illuminazione stradale

#### CE

Qualsiasi prodotto immesso sul mercato dell'Unione Europea deve rispettare tutte le direttive che lo concernono. Mediante la marcatura CE un'azienda conferma legalmente la conformità del prodotto alle normative. Dal 1997 la marcatura

CE deve essere apposta su tutti i prodotti venduti in Europa e soggetti alle direttive che ne prevedono la presenza.

La marcatura CE (Communautés Européennes, European Community) non è un marchio conseguente a un test come ENEC o altri marchi nazionali di qualità, ma un marchio di conformità. E' opportuno sottolineare che il simbolo non è rilasciato da un ente terzo, ma dal fabbricante stesso.

Le autorità controllo riconoscono i prodotti marchiati CE come commerciabili. La conformità è verificata esclusivamente dalle autorità di sorveglianza del mercato con controlli a campione o se i prodotti sono sospettati di non conformità.

Per gli apparecchi di illuminazione stradale la marcatura CE è dovuta alla seguente legislazione:

- Direttiva 2014/35/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 26 febbraio 2014 concernente l'armonizzazione delle legislazioni degli Stati membri relative alla messa a disposizione sul mercato del materiale elettrico destinato a essere adoperato entro taluni limiti di tensione (Direttiva Bassa tensione)
- Direttiva 2014/30/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 26 febbraio 2014, concernente l'armonizzazione delle legislazioni degli Stati membri relative alla compatibilità elettromagnetica (Direttiva EMC recast)

## ENEC

Il marchio ENEC (European Electrics Standards Electrical Certification) è un marchio europeo di sicurezza, con condizioni di prova uniformi in tutta Europa. L'accordo ENEC descrive la procedura per la concessione e l'uso di un marchio comunemente concordato per determinate apparecchiature elettriche conformi alle norme europee. Attualmente i seguenti 20 paesi hanno firmato l'accordo: Austria, Belgio, Repubblica ceca, Danimarca, Finlandia, Francia, Germania, Grecia, Ungheria, Italia, Lussemburgo, Paesi Bassi, Norvegia, Portogallo, Slovenia, Spagna, Svezia, Svizzera, Regno Unito.

Il simbolo ENEC conferma che il prodotto è conforme ai requisiti corrispondenti dell'Unione Europea. Il marchio ENEC può essere rilasciato da un organismo nazionale di certificazione che è parte dell'Agreement ENEC. Il numero dopo il contrassegno ENEC indica quale centro di prova è stato certificato in quale paese (ad esempio ENEC 03 per l'Italia).

Le condizioni di prova congiunte sono definite nella serie di norme EN 60598. Al fine di garantire la qualità del prodotto garantita dal marchio ENEC, i produttori devono disporre di un sistema di garanzia della qualità.

Un prodotto con marchio ENEC proveniente da un altro Paese europeo è trattato come se fosse stato certificato

dall'organismo nazionale di ispezione nel proprio paese. Ciò semplifica la libera circolazione delle merci nell'area economica europea, compresa la Svizzera - e sempre più anche nei mercati dell'Europa orientale.

### 3.1.2 Sistemi di Supporto

I pali devono essere conformi allo standard EN 12767 ("Passive Safety of Support Structures for Road Equipment") che specifica i criteri per minimizzare il pericolo per gli occupanti dei veicoli in caso di collisione. Secondo lo standard, le strutture di supporto delle attrezzature stradali sono classificate in tre diverse categorie per la sicurezza passiva:

- Ad alto assorbimento di energia (High energy absorbing, HE)
- A basso assorbimento di energia (Low energy absorbing, LE)
- Ad assorbimento di energia nullo (Non-energy absorbing, NE)

Le strutture di supporto ad assorbimento di energia rallenteranno il veicolo significativamente in caso di collisione e ridurranno il rischio di una collisione secondaria. Le strutture ad assorbimento di energia nullo permetteranno al veicolo di continuare con solo minime riduzioni di velocità, che riduce il rischio degli occupanti del veicolo in una prima collisione, ma aumenta il rischio di collisioni secondarie – incluse quelle con altri soggetti partecipanti al traffico.

Per le strutture di supporto si specificano quattro livelli di sicurezza per gli occupanti, col livello 4 che rappresenta strutture di supporto non lesive che dovrebbero causare solo danni minimi. Gli altri tre livelli sono determinati da test di impatto effettuati usando automobili leggere a velocità di 35, 50, 70 e 100 km/h. I dati dei test sono stati usati per derivare i valori acceleration severity impact (ASI) e theoretical head impact velocity (THIV), che descrivono il pericolo per i passeggeri. [TRB]

Per elementi fissi si prevede una vita di diversi decenni. I pali in acciaio al giorno d'oggi vengono zincati. In passato essi erano protetti dalla corrosione con una protezione per la ruggine. Le versioni in acciaio inossidabile sono usate solo nelle zone di pregio. Le parti elettriche e tutti gli altri componenti sono mantenuti e cambiati molto più frequentemente del montante vero e proprio. Influenze ambientali come il sole, la pioggia e il vento sono relativamente poco rilevanti per i componenti. Tuttavia tempeste, nevicate o anche gelate possono costituire una minaccia per i pali.

La disposizione dei montanti, così come la loro altezza, è una decisione tecnica. Questa scelta è basata sulla geometria della strada, le caratteristiche del sistema, le condizioni della strada, le caratteristiche fisiche del palo, i requisiti ambientali, lo spazio per la manutenzione disponibile, il budget, l'estetica e gli obiettivi di illuminazione. Le disposizioni più comuni sono mostrate sotto. [RL]



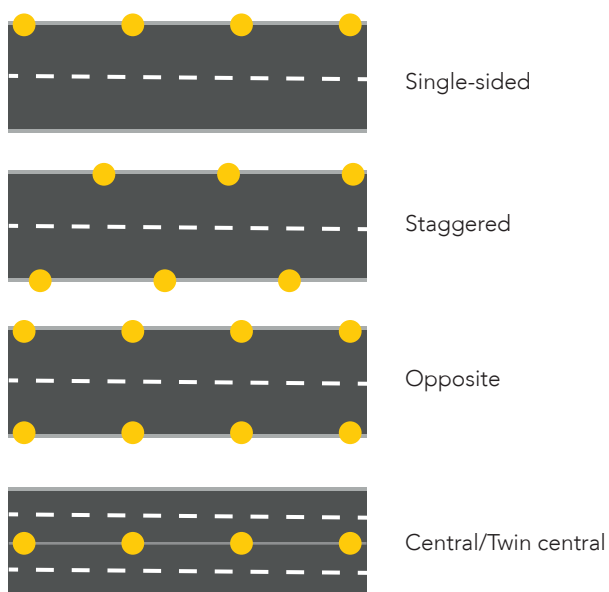


Figura 15 Disposizione dell'illuminazione

La disposizione delle luci determina l'altezza minima di montaggio degli apparecchi in funzione della larghezza stradale effettiva (misurata in orizzontale, dall'apparato al lato estremo della strada).

- In disposizione su un solo lato, la larghezza effettiva della strada può essere al massimo pari all'altezza del montante dell'apparecchio. Inoltre, a differenza delle altre disposizioni, la luminanza della strada non sarà uguale su entrambe le corsie della strada.
- In disposizione sfalsata, la larghezza effettiva della strada può essere al massimo 1,5 volte l'altezza del montante dell'apparecchio. L'uniformità di luminanza è generalmente bassa e crea uno schema alternato di zone chiare e scure. Tuttavia, con strada bagnata tale schema copre l'intera strada meglio delle disposizioni su un solo lato.
- In disposizione opposta, la larghezza effettiva della strada può essere al massimo 2 o 2,5 volte l'altezza del montante dell'apparecchio. Se la disposizione è usata per una carreggiata doppia con uno spazio centrale di almeno un terzo della larghezza della carreggiata, o se lo spazio centrale include altre ostruzioni visive significative (come alberi o cartelloni) essa, in effetti, diventa una doppia disposizione su un solo lato, e deve essere considerata come tale.
- In disposizione centrale, le luci sono appese a fili (span wires) tesi attraverso la strada, normalmente tra edifici. La larghezza effettiva della strada può essere al massimo 2 volte l'altezza del piano dell'apparecchio.
- In disposizione doppia-centrale – in cui due apparecchi di illuminazione opposti sono installati al centro – la larghezza effettiva della strada può essere al massimo uguale all'altezza del montante dell'apparecchio. Ammesso che lo spazio centrale della strada non sia

troppo largo, entrambi gli apparecchi possono contribuire all'illuminazione della superficie stradale in ogni corsia, rendendo questa disposizione generalmente più efficace di quella a luci opposte. Tuttavia, la disposizione opposta può funzionare leggermente meglio in condizioni di strada bagnata. [RL]

La decisione della posizione esatta del palo e l'altezza del montante dell'apparecchio è parte del processo progettuale ed è normalmente presa mediante un software specializzato, in quanto l'obiettivo è non solo di mantenere una luminanza minima, ma anche una minima uniformità della luminanza, che dipende dalla distribuzione dell'intensità luminosa degli apparecchi di illuminazione in un sistema di illuminazione stradale. [RL] Bisognerebbe notare che dato che molti prodotti LED sono progettati per la sostituzione di apparecchi di illuminazione esistenti (facendo perciò uso di montanti esistenti), spesso non è possibile sfruttare a pieno le moderne caratteristiche degli apparecchi a LED, capaci di una distribuzione di intensità luminosa di gran lunga migliore rispetto agli apparecchi HPS o MH.

Il design della base del palo può variare, ma deve essere in grado di ancorare fermamente il palo nel terreno e sopportare il peso dell'apparecchio di illuminazione, e allo stesso tempo essere capace di resistere a condizioni climatiche intense, vibrazioni e altre condizioni locali dannose. [IIEC]

### 3.1.3 Sistemi Elettrici

La messa a terra dovrebbe essere connessa ai seguenti componenti: la scatola di metallo a terra che copre le canaline di metallo, i pali e qualsiasi altra asta aggiuntiva installata nelle fondamenta del palo.

La resistenza dei fili e dei cavi di un determinato circuito per l'illuminazione stradale causerà una riduzione netta del voltaggio, causando un funzionamento inefficiente. Per garantire che tutti gli apparecchi all'interno di un particolare circuito ricevano un livello minimo di fornitura di voltaggio, la riduzione del voltaggio tra il punto di alimentazione e gli apparecchi più lontani dovrebbe non superare il 3% del voltaggio dell'intero sistema.

Il quadro di servizio dovrebbe avere un involucro protetto da infiltrazioni, sigillato mediante guarnizione. [IIEC]

## 3.2 Sistemi di controllo dell'illuminazione stradale

---

Un controllo attivo dei sistemi di illuminazione stradale permette un significativo risparmio energetico, anche se i risparmi potenziali devono essere valutati, in base anche alla complessità e ai costi. Ci sono tre tipologie base di sistemi per il controllo dell'illuminazione, in funzione della modalità di gestione: controllo autonomo, controllo centralizzato e controllo dinamico.

### 3.2.1 Controllo autonomo

In caso di controllo autonomo dell'illuminazione stradale, gli apparecchi di illuminazione sono pre-programmati (normalmente dal produttore) con intervalli di tempo prefissati per il funzionamento. Questa è la situazione di gran lunga più semplice ed economica, in quanto non richiede ulteriore controllo o sistemi di rete. Tuttavia, dato che la programmazione è normalmente limitata, spesso non c'è modo di programmarli per il weekend o per i giorni di festa. Inoltre, i timer interni potrebbero non essere precisi, e ogni aggiornamento del sistema richiede sostituzioni per ogni apparecchio del sistema. In alternativa, è possibile rilevare l'illuminazione ambiente con sensori su ogni lampione e decidere se attivare le lampade, ma con costi aggiuntivi.

### 3.2.2 Controllo centralizzato

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 (solitamente mediante un segnale inviato attraverso la linea elettrica). Anche questa configurazione è relativamente semplice ed economica da mettere in pratica ma permette una certa flessibilità nella regolazione delle luci in caso di mutate necessità – per esempio, un sensore di luce centralizzato può determinare quando accendere tutte le luci di un dato gruppo (a differenza di sistemi basati unicamente sull'orario può cambiare anche in base al tempo atmosferico locale). Sensori di questo tipo devono essere puliti regolarmente per garantire un funzionamento corretto. [BFE] Altre opzioni includono un'attenuazione della luce in base all'orario, che riduce o spegne la luce di alcune lampade in specifici orari o zone, come durante la notte quanto il volume di traffico previsto è basso. Nonostante la riduzione dei costi di energia e inquinamento luminoso (vedi la sezione 2.1.1.6) potrebbe essere sostanziale, potrebbe aumentare il pericolo per i partecipanti al traffico se la loro capacità di aggirare gli ostacoli è compromessa. [CEE]

Il flusso di informazioni è però solo a senso unico: mentre il nodo centrale può determinare lo stato dei gruppi di luci, esso non riceve informazioni sul loro stato individuale o su qualsiasi altra condizione del luogo.

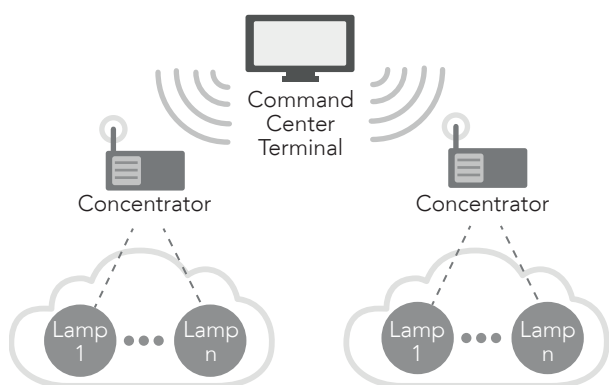
Sia il sistema di controllo centralizzato sia quello dinamico richiedono la messa in pratica di un sistema ICT (Information and Communications Technology) con vari livelli di complessità. Nonostante essi permettano opzioni aggiuntive per il risparmio energetico, richiedono anche maggiori risorse e conoscenze per l'installazione e il mantenimento, in quanto la complessità addizionale aumenta i rischi di guasto del sistema [HCS]. Perciò, acquirenti e pianificatori dovrebbero considerare se tali risorse sono disponibili dopo l'installazione, anche con un preavviso relativamente breve.

### 3.2.3 Controllo dinamico

Con il controllo dinamico dell'illuminazione stradale è possibile il massimo grado di controllo. Non solo le luci possono essere controllate sia in gruppo che individualmente, ma il 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 ambiente, luce dell'ambiente, traffico, presenza di pedoni). Sono inoltre possibili modifiche alla programmazione sul server di controllo centrale che non richiedono cambiamenti sull'hardware fisico.

Tuttavia, come già riportato, questa flessibilità aggiunta porta con sé una considerevole complessità e quindi un costo aggiuntivo. Il software di controllo deve essere sviluppato e mantenuto, gli organi decisionali locali che si occupano del sistema devono essere addestrati al suo utilizzo. La complessità aggiuntiva aumenta anche il rischio di problemi di programmazione, e le luci dovrebbero essere installate con sistemi anti-guasto che assicurino che garantiscano una sicurezza minima di notte, anche quando ricevono comandi erronei o nulli dal sistema di controllo. [BFE]

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 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. [PE]

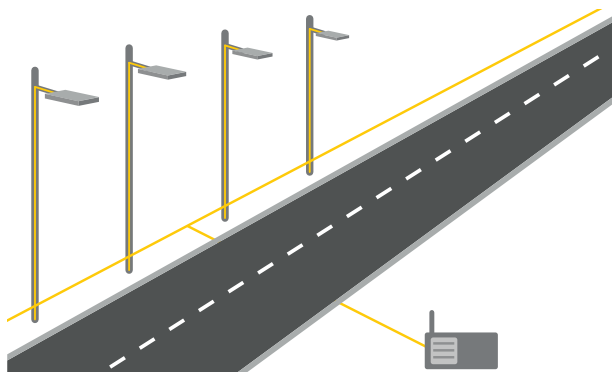


**Figura 16** Organizzazione di un sistema di controllo per l'illuminazione stradale

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, e 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, tecnologia ben nota. [PE] I cavi Ethernet sono teoricamente possibili anche tra i concentratori e le lampade, ma ciò richiederebbe cavi aggiuntivi e perciò costi aggiuntivi. 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.



**Figura 17** Comunicazione power-line

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. Protocolli adatti sono ad esempio Wi-Fi (802.11), GPRS (General Packet Radio Services) o WiMax.

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. Protocolli adatti sono ad esempio Wi-Fi (802.11), GPRS (General Packet Radio Services) o WiMax.

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. Se necessario, è possibile amplificare la forza del segnale mediante ripetitori. Protocolli adatti per questo layer di rete includono:

- DALI (Digital Addressable Lighting Interface): standard IEC sviluppato per il monitoraggio degli apparecchi di illuminazione. Può controllare fino a 64 nodi.
- ZigBee, un'alternativa a basso costo, basso consumo e ridotto trasferimento dati ai network wireless. Ha però delle lacune in termini di ritardi di trasmissione e può rallentare le performance del sistema.
- 6LoWPAN (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks). [PE] Questo standard non definisce un protocollo di instradamento specifico per un particolare sistema, permettendo maggiore flessibilità ma richiedendo maggiore sforzo nella definizione dei protocolli usati per una particolare installazione. [SEN]



**Figura 18** Wireless communication

### 3.3 Strategie di controllo dell'illuminazione stradale

---

Nel corso degli anni sono state sviluppate varie strategie con diversi livelli di complessità per decidere quando attivare un sistema di illuminazione stradale, ognuno con i propri vantaggi e svantaggi. Alcuni di questi possono essere associati tra essi, per strategie più complesse.

#### 3.3.1 Timer astronomici

I timer astronomici hanno informazioni precise sugli orari di alba e tramonto per ogni determinata posizione geografica. Essi possono essere calcolati in anticipo con un altissimo grado di accuratezza, e per periodi di tempo molto lunghi. Le strategie di controllo della luce basate su timer astronomici potrebbero però non tenere conto di elementi importanti della geografia locale, come grandi colline o montagne che ostacolano il sole all'alba o al crepuscolo. I timer astronomici non possono inoltre fare previsioni sulle condizioni meteorologiche, come in caso di temporali, che potrebbero richiedere un'illuminazione artificiale anche durante periodi della giornata con luce diurna.

I timer astronomici possono definire uno schema on/off per l'illuminazione, che specifica l'orario di attivazione dell'illuminazione serale e la disattivazione mattutina, o specificare i periodi durante la notte in cui è previsto minor traffico e durante i quali l'illuminazione rimane attiva ma con minore intensità.

Il principale vantaggio dei timer astronomici è la mancanza di qualsiasi sistema ICT complesso per il funzionamento.

#### 3.3.2 Sfruttamento della luce naturale

In contrapposizione all'uso dei timer astronomici, le strategie di analisi della luce usano fotosensori per rilevare la luce dell'ambiente e regolare l'illuminazione artificiale se i livelli della luce nell'ambiente si riducono o si oltrepassano certi valori soglia. Questo approccio funziona particolarmente bene con l'attenuazione della luce (vedi sotto) e può in caso di lunghi periodi di crepuscolo (fatto comune in regioni vicine ai Circoli Polari) o con condizioni meteorologiche avverse. Il fotosensore richiede però una regolare pulizia per garantire il corretto funzionamento. E' necessario inoltre decidere se ci sia un unico fotosensore che controlla l'illuminazione di una vasta area o se ogni gruppo di lampade o anche ogni lampada individuale abbia il proprio sensore. Il primo scenario riduce la complessità del

sistema ma non può rivelare tutte le condizioni (particolari aree in condizioni di ombra o sistemi meteorologici minori): ciò rappresenta un punto debole del sistema. Il secondo scenario permette maggiore flessibilità, ma richiede anche l'acquisto di un certo numero di sensori supplementari e una maggiore manutenzione per la loro pulizia.

I fotosensori possono essere inseriti in una grande infrastruttura ICT, che (a seconda della configurazione del fotosensore) può favorire il monitoraggio in tempo reale dell'illuminazione stradale. Grazie ad esso qualsiasi problematica di illuminazione insufficiente può essere rapidamente identificata e corretta.

#### 3.3.3 Rilevamento del traffico

Molte strade sono poco trafficate, specialmente di notte. Ridurre il loro livello di illuminazione rispettando i requisiti formulati in EN 13201 offre possibilità di risparmio energetico potenzialmente molto elevate. Per garantire che i partecipanti al traffico possano comunque muoversi sulle strade in sicurezza, possono essere installati sistemi di rilevamento del traffico per aumentare il livello di illuminazione quando necessario. La tecnologia più diffusa di rilevamento del traffico – sia di veicoli a motore che di pedoni o ciclisti – sono i sensori di movimento. I tipi di sensori di movimento includono:

**Rilevatori di movimento a ultrasuoni:** rilevano lo spostamento con onde sonore riflesse da un oggetto in movimento. Questa tipologia di sensore non richiede una linea visiva continua. Sono economici, possono rilevare oggetti indipendentemente dal loro materiale, e sono poco influenzati da spostamenti d'aria fino a 10 m/s (36 km/h). Hanno però una ridotta distanza di rilevamento e possono essere influenzati da umidità e temperature elevate.

**Rilevatori di movimento a microonde:** rilevano lo spostamento con microonde riflesse da un oggetto in movimento, come i sistemi di rilevatori di velocità radar. Possono rilevare anche piccoli movimenti e non sono influenzati dalla temperatura degli oggetti dell'ambiente. Sono costosi, e possono essere imprecisi, influenzati da movimenti al di fuori della zona di rilevamento richiesta.

**Sensori a infrarossi:** rilevano il calore di un oggetto o una persona nelle vicinanze. Sono sensori puramente passivi – cioè, non hanno bisogno di emettere nessun suono o radiazione per raccogliere informazioni sulla zona. Tuttavia, possono essere imprecisi se influenzati da aria calda, pioggia o oggetti caldi.

**Elaborazione video:** si usano videocamere in qualità di sensori intelligenti, che identificano oggetti in movimento mediante piccoli algoritmi. Possono osservare un'area più grande rispetto agli altri sistemi di rilevamento e possono rilevare non solo il movimento ma anche la presenza di oggetti. Hanno anche una bassa probabilità di imprecisione. Gli algoritmi che processano i dati sono piuttosto complessi (e ciò provoca sia costi aggiuntivi per il software, sia un maggior consumo energetico a causa dell'energia richiesta per processare le informazioni) e i rilevamenti sono dipendenti dalla luce (anche se ciò può essere compensato con filtri infrarossi fino a un certo livello).

I sistemi che rilevano il movimento possono anche essere combinati tra loro, in modo che gli svantaggi degli uni siano compensati dalle capacità di altri. La combinazione più comune è il rilevamento a microonde e infrarossi, mentre l'associazione di ultrasuoni e infrarossi è meno comune.

Una volta che il sensore rileva la necessità di illuminazione aggiuntiva, il sensore dovrebbe garantire che i requisiti richiesti per la categoria di illuminazione stradale (vedi sezione 2.2.1) siano soddisfatti. Ciò significa che un sensore di movimento applicato a un determinato apparecchio non dovrebbe essere usato solo per attivare quella particolare lampada, ma anche una o più lampade adiacenti in modo che i partecipanti al traffico non siano vittime di abbagliamento o a cambiamenti improvvisi delle condizioni di illuminazione.

Qualsiasi sistema basato sul rilevamento del movimento che abbia lo scopo di coprire un'area più che solo pedonale quasi sempre richiede un'integrazione con una configurazione ICT superiore. Questo sistema permette però anche la raccolta di dati sul traffico, utili a controllori del traffico, pianificatori urbani, servizi di emergenza e altre agenzie.

### 3.3.4 Attenuazione

A seconda delle condizioni di traffico, meteorologiche e di luce, potrebbe non essere necessario che le lampade funzionino alla massima potenza durante la notte. Combinando adeguati timer astronomici, sensori di luce e schemi di rilevamento del traffico, con l'attenuazione della potenza è possibile ottenere ingenti risparmi energetici – in alcuni casi si sono ottenuti risparmi fino all'85%. Inoltre, aumentare e ridurre gradualmente l'illuminazione riduce i possibili fastidi da abbagliamento per i residenti delle vicinanze. [BFE] I LED sono particolarmente indicati per implementare strategie basate sull'attenuazione della luce in quanto possono essere facilmente attenuati senza quasi alcuna complicazione tecnica. Altri tipi di lampade usate nell'illuminazione

stradale non possono essere attenuate affatto (sodio a bassa pressione), o producono drastici cambiamenti cromatici quando attenuate (mercurio ad alta pressione e alogenuri metallici) o sono limitate su quanto possono essere attenuati (a scarica ad alta intensità). [RL]

### 3.3.5 Considerazioni

Sia le strategie di controllo dinamico dell'illuminazione stradale come il monitoraggio della luce diurna sia il rilevamento del traffico sono ambiti tecnologici in rapida evoluzione, richiedono quindi una considerazione particolarmente accurata degli ostacoli alla loro corretta applicazione.

Le leggi nazionali e locali, i regolamenti e gli standard relativi all'illuminazione stradale spesso non tengono conto degli ultimi sviluppi tecnologici, e devono essere perciò studiati per assicurarsi che i sistemi di controllo dell'illuminazione proposti soddisfino tutti i requisiti legali. Una questione aggiuntiva è la responsabilità – se il sistema non funziona correttamente a causa di difetti tecnici e perciò viola gli standard locali, deve essere chiara l'individuazione della responsabilità del malfunzionamento.

Nonostante l'applicazione di controlli dinamici dell'illuminazione stradale possa risultare un sistema tecnologico di considerevole complessità, chi è incaricato dell'installazione dovrebbe essere anche incaricato della manutenzione che andrà inclusa in appositi contratti di servizio. Ciò è particolarmente importante se la soluzione di installazione prevede sistemi e componenti proposti da più di un offerente e che richiedono integrazione e aggiornamenti. Nel caso di assegnazione di appalti per impianti simili va valutata la provata esperienza con sistemi di illuminazione stradale dinamici o tecnologie simili.

Ogni apparecchio di illuminazione dovrebbe inoltre essere programmato con una modalità "default" a cui può tornare, nel caso in cui ricevesse segnali di controllo errati o nulli. Questo stato di default dovrebbe rappresentare un controllo dell'illuminazione minimo, basato sull'orario e che rispetti i requisiti di legge senza le caratteristiche di controllo dinamico. Inoltre, in caso di guasto catastrofico del sistema, è necessario prevedere del personale di pronto intervento in grado di ripristinare delle parti o l'intero sistema di illuminazione stradale in questo stato di default e con breve preavviso, senza richiedere il diretto intervento dell'appaltatore.

# 4. Acquisto di sistemi di illuminazione stradale



## 4.1 Introduzione

Il presente capitolo è dedicato all'acquisto di sistemi di illuminazione stradale energeticamente efficienti.

L'insieme dei requisiti PremiumLightPro copre i criteri di base per la selezione dell'offerente (chiamati nelle prossime sezioni criteri di selezione), i requisiti tecnici obbligatori per tutti gli offerenti e i criteri di aggiudicazione. Per i criteri di aggiudicazione è proposto un approccio di valutazione a punteggio. Sono fornite inoltre specifiche tecniche generali e dettagli contrattuali normalmente richiesti per gli appalti. La Tabella 11 sotto mostra il riepilogo delle specifiche e dei requisiti.

I criteri sviluppati per il procurement dal consorzio di progetto Premiumlight Pro, sono un possibile completamento delle richieste a livello nazionale. In Italia il Ministro dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare ha recentemente emanato i Criteri Ambientali Minimi [CAM] per il Servizio di Illuminazione Pubblica. I CAM sono i requisiti ambientali definiti per le varie fasi del processo di acquisto, volti a individuare la soluzione progettuale, il prodotto o il servizio migliore sotto il profilo ambientale lungo il ciclo di vita, tenuto conto della disponibilità di mercato. I CAM sono definiti nell'ambito di quanto stabilito dal Piano per la sostenibilità ambientale dei consumi del settore della pubblica amministrazione e sono adottati con Decreto del Ministro dell'Ambiente della Tutela del Territorio e del Mare. Alcune Regioni hanno introdotto nei Piani di Azione Regionali indicazioni o specifiche tecniche superiori.

**Tabella 11** *Requisiti Minimi e Criteri Premiali PremiumLightPro*

A) Specifiche tecniche generali	
Pianta/layout del sistema stradale. Specifiche delle strade e dei percorsi e relative specifiche tecniche appropriate (illuminamento, uniformità, fattore di manutenzione, ecc.).	<p>Il committente dovrebbe fornire il piano delle strade e dei sentieri per il quale verrà installato un sistema di illuminazione, o di tipi di strade specifici, per i quali si acquisteranno i punti di luce (pali e apparecchi di illuminazione). Si devono considerare i requisiti stipulati in EN13201 per tutte le parti/sezioni del sistema di illuminazione stradale. Tra le altre cose il committente dovrebbe specificare:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• i livelli di illuminamento,</li><li>• i livelli di uniformità,</li><li>• i fattori di manutenzione del sistema di illuminazione</li></ul> <p>secondo la EN 13201 o sulla base di necessità specifiche.</p>
Aspetti di controllo di illuminazione	<p>Il committente dovrebbe specificare una delle tre opzioni seguenti.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Le opzioni di controllo di illuminazione non vengono prese in considerazione perché ritenute inappropriate dal committente per lo specifico sistema di illuminazione.</li><li>• Il committente è del tutto consapevole delle opzioni di controllo e regolazione di illuminazione adatte per lo specifico sistema di illuminazione e specifica i requisiti dettagliati del sistema di controllo.</li><li>• Il committente non è in grado di specificare le caratteristiche di controllo di illuminazione ottimali, ma richiede agli offerenti di fornire un'offerta per un sistema regolabile che sia accompagnata da un calcolo LCC trasparente.</li></ul>

## A) Specifiche tecniche generali

Misurazione del consumo energetico	<p>Il committente dovrebbe specificare una delle seguenti tre opzioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• non viene presa in considerazione nessuna misurazione del consumo energetico perché per lo specifico sistema di illuminazione il committente non ritiene necessaria la misurazione.</li> <li>• il committente è del tutto consapevole delle opzioni di misurazione adatte per lo specifico sistema di illuminazione e specifica i requisiti dettagliati per il piano di monitoraggio.</li> <li>• il committente non è in grado di specificare le misurazioni ottimali per il sistema in oggetto, ma richiede che l'offerente fornisca un piano di monitoraggio accompagnato da un calcolo LCC trasparente.</li> </ul>
------------------------------------	---

## B) Criteri di selezione

	Requisito obbligatorio	Criterio premiale
Know-how ed esperienza del team progettuale e del team di installazione	✓	
Capacità dell'offerente di consegnare il prodotto in un lasso di tempo specificato	✓	
Conformità agli standard EN e ISO	✓	

## C) Requisiti tecnici e criteri premiali

	Requisito obbligatorio	Criterio premiale
Criteri energetici – A livello di sistema		
Consumo energetico annuale o indicatore di densità di potenza	(✓)	✓
Power Factor	✓	✓
Aspetti di controllo dell'illuminazione: opzionale: come definito nelle specifiche tecniche generali sopra riportate		✓
Misurazione del consumo energetico: opzionale: come definito nelle specifiche tecniche generali sopra riportate		✓
Criteri energetici – A livello di componenti (solo per progetti che comprendono la sostituzione di componenti)	Requisito obbligatorio	Criterio premiale
Efficienza energetica dell'apparecchio	✓	✓
Efficienza energetica del driver	✓	✓
Criteri di qualità e design	Requisito obbligatorio	Criterio premiale
Colore della luce (temperatura della luce)	✓	
Resa cromatica	✓	
Consistenza e tenuta del colore	✓	✓
Luminanza e illuminamento	✓	
Distribuzione della luce, uniformità dell'illuminamento	✓	✓
Inquinamento luminoso (ULOR)	✓	
Protezione dall'abbagliamento (abbagliamento debilitante e molesto)	✓	✓
Protezione d'ingresso (IP rating)	✓	
Protezione all'impatto (IK rating)	✓	
Protezione IEC	✓	
Protezione dalle sovratensioni	✓	
Marchio di conformità di tutti i componenti (ENEC, regolamenti nazionali)	✓	

C) Requisiti tecnici e criteri premiali		
Vita utile	✓	✓
Garanzia	✓	✓
Disponibilità dei pezzi di ricambio	✓	✓
Semplicità di riparazione e riciclo	✓	✓
Design		✓
Criteri di qualità per progetti solo riguardanti componenti		
Vita utile dell'apparecchio di illuminazione	✓	✓
Vita utile del modulo LED	✓	✓
Vita utile del driver	✓	✓

D) Criteri economici		
Calcolo del TCO (opzione raccomandata)		✓
Costi di investimento (opzione fall back)		✓

E) Tematiche contrattuali		
Messa in servizio di sistemi di illuminazione e di controllo	✓	
Corretta installazione	✓	
Riduzione e riutilizzo degli scarti	✓	

I criteri di efficienza e di vita utile suggeriti a livello di componenti per gli apparecchi di illuminazione, per le fonti luminose e per i driver sono intesi principalmente per progetti di sostituzione delle componenti e possono essere esclusi in caso di progetti in cui i requisiti sono specificati a livello di sistema di illuminazione.

## 4.2 Specifiche generali

La tabella A copre alcune specifiche generali essenziali che devono essere considerate durante la fase iniziale del processo di appalto. In questa fase devono essere specificati il layout generale del sistema di illuminazione, gli aspetti di controllo dell'illuminazione e di misurazione del consumo energetico.

### 4.2.1 Specifica del sistema di illuminazione

Come step preparatorio nel processo di appalto il committente deve specificare il sistema stradale per cui deve essere progettato il sistema di illuminazione. Le tipologie stradali devono essere specificate in base standard internazionali (EN 13201) o se è il caso a standard nazionali o locali.

### 4.2.2 Aspetti di controllo dell'illuminazione e dei sistemi di comunicazione

Durante la fase iniziale del processo inoltre bisogna valutare e specificare se e che tipo di aspetti di controllo dell'illuminazione devono essere considerati. Nonostante siano preferibili opzioni di controllo semplici, come funzionalità minima per la maggior parte dei sistemi di illuminazione stradale, potrebbero essere appropriati in alcuni casi specifici sistemi intelligenti e complessi per il controllo. E' necessario specificare una adeguata funzionalità di controllo dell'illuminazione per specifiche tipologie di strada. Gli aspetti di controllo intelligente devono anche soddisfare i requisiti di sicurezza e qualità. Nel capitolo 3 di queste linee guida sono descritte diverse opzioni tecniche. Differenti tipologie di opzioni tecniche possono essere usate per influire sulla vita utile o sui costi. I requisiti sotto riportati dovrebbero essere soddisfatti in termini di compatibilità e comunicazione:

#### Comunicazione

##### *Requisiti PremiumLight-Pro:*

Un sistema di comunicazione deve essere disponibile e capace di comunicare con la centralina di controllo dei singoli apparecchi di illuminazione. La comunicazione tramite linea elettrica (PLC) rappresenta il livello minimo di tecnologia capace di soddisfare questo criterio, ma è possibile applicare sistemi di comunicazione



più avanzati. La centralina di controllo deve essere programmabile e inviare notifiche in caso di guasto del meccanismo.

#### **Compatibilità con la funzionalità di controllo**

##### ***Requisiti PremiumLight-Pro:***

Gli apparecchi di illuminazione devono essere compatibili con l'attenuazione e altre funzionalità di controllo (per esempio interruttori con timer, sensori di movimento, controllo della luce naturale ecc.).

##### ***Requisiti opzionali:***

Gli apparecchi di illuminazione devono essere equipaggiati con sistemi integrati di controllo costante del flusso luminoso. Questo garantisce che l'apparecchio abbia un output luminoso costante lungo tutta la vita utile, nonostante il declino graduale nel tempo del flusso luminoso stesso.

##### ***Verifica***

L'offerente deve fornire documentazione che descriva il metodo di attenuazione e l'interfaccia di attenuazione.

Come requisito opzionale, è positivo se il sistema ICT implementato per il management della luce è modificabile, modulare e aperto. La modificabilità consente l'aggiornamento o l'estensione del sistema di controllo dell'illuminazione quando necessario, consentendo funzionalità aggiuntive che non fanno parte del sistema originale al momento dell'installazione. La modularità richiede l'adesione agli standard nei suoi elementi costitutivi del sistema ICT e alle interfacce tra i building block, consentendo modifiche a parte del sistema senza una revisione complessiva. Criteri utili per stabilire la modificabilità e la flessibilità includono:

- Programmazione di aggiornamenti
- Scalabilità del sistema
- Vincoli del sistema e relative limitazioni
- Interfacce modulari e standardizzazione delle interfacce del software
- Interoperabilità e intercambiabilità dei moduli
- Accessibilità del network, dati e infrastruttura condivisi con il sistema
- Connettività del sistema con altri sistemi rilevanti, applicazioni e domini.

#### **4.2.3 Misura del consumo energetico**

Parallelamente alle specifiche e alle funzionalità per il controllo, bisogna chiarire le necessità relative alle funzionalità per la misura. Nel capitolo 3 sono presentate opzioni e raccomandazioni generali sulla misura. La valutazione di un sistema di illuminazione, in termini di manutenzione e

funzionamento ottimizzati e dei rispettivi costi e consumi energetici richiede un metodo adeguato di misurazione dei consumi. I valori di AECl possono essere verificati solo con misurazioni. La misurazione permette inoltre di rilevare malfunzionamenti e necessità di manutenzione. La misurazione può essere realizzata a vari livelli del sistema, anche con diversi livelli di complessità. È necessario considerare e comparare le opzioni più appropriate.

##### ***Requisiti PremiumLight-Pro:***

Nel caso in cui le opzioni di controllo e di misura dell'illuminazione siano ritenute appropriate per il progetto, la funzionalità specifica deve essere descritta nell'appalto. I costi e i benefici del sistema di controllo e misura dell'illuminazione devono essere inclusi nel calcolo totale LCC/TCO.

##### ***Verifica***

Gli offerenti dovrebbero proporre opzioni per la misura e dichiararne costi e benefici mediante considerazioni su TCO/LCC.

### **4.3 Criteri di selezione**

---

I criteri di selezione specificano i requisiti base che devono essere soddisfatti completamente dall'offerente. I criteri riguardano l'esperienza, le capacità e le eventuali certificazioni.

#### **4.3.1 Know-how e esperienza del team progettuale e del team di installazione**

Il team di progettazione e di installazione del sistema di illuminazione può essere costituito da diverse aziende o da un singolo offerente. In entrambe le situazioni è necessaria la conferma del fatto che i compiti di progetto e installazione saranno presi in carico da un team con un'adeguata conoscenza professionale.

##### ***Requisiti PremiumLight-Pro:***

L'offerente (o gli esperti coinvolti nel progetto) ha realizzato con successo negli ultimi 3 anni un minimo di 5 progetti rilevanti per l'illuminazione stradale con tecnologia LED. Le referenze dovrebbero avere una dimensione o una complessità simili al progetto oggetto di offerta.

##### ***Verifica***

L'offerente deve specificare i responsabili di progetto e deve fornire informazioni sulle qualifiche formative e professionali, l'esperienza su progetti simili rilevanti e le certificazioni. L'offerente deve fornire una lista di progetti di illuminazione simili che sono stati progettati

e realizzati negli ultimi tre anni. Nel caso in cui parte del lavoro sia da subappaltare, è necessario fornire informazioni sui subappaltatori. Le dimensioni dei progetti rilevanti possono essere caratterizzate basandosi sul numero di punti di illuminazione installati.

### 4.3.2 Capacità dell'offerente

#### *Requisiti PremiumLight-Pro:*

L'offerente deve mostrare e confermare di poter rispettare le tempistiche di realizzazione del progetto in un periodo determinato di tempo.

#### *Verifica:*

L'offerente deve specificare le risorse dedicate al progetto e fornire un calendario concreto per il progetto.

### 4.3.3 Conformità con gli standard EN e ISO

#### *Requisiti PremiumLight-Pro:*

L'offerente deve rispettare gli standard EN e ISO rilevanti.

#### *Verifica:*

L'offerente deve dichiarare e confermare la conformità dell'opera a specifici standard.

## 4.4 Requisiti tecnici (criteri obbligatori e premiali)

I requisiti tecnici includono requisiti sulla qualità e sugli aspetti energetici, in parte specificati come criteri obbligatori e in parte come criteri premiali.

### 4.4.1 Criteri legati all'energia

#### 4.4.1.1 Efficienza degli apparecchi di illuminazione e dei moduli LED (solo per progetti con la sostituzione di componenti)

I seguenti requisiti specificano un'efficienza minima per gli apparecchi di illuminazione a LED. L'efficienza di un apparecchio varia a seconda della temperatura di colore della fonte luminosa. Per questa ragione vengono proposti diversi requisiti di efficienza al variare della temperatura di colore. In particolare gli apparecchi con temperature di colore molto basse (ad esempio minori di 2000 K) hanno efficienze minori. I requisiti per l'efficienza degli apparecchi di illuminazione verranno aggiornati ogni anno secondo livelli che saranno specificati durante l'autunno 2018 per l'anno 2019.

#### *Requisiti PremiumLight-Pro:*

I seguenti requisiti di efficienza per gli apparecchi di illuminazione sono specificati per il 2017 e per il 2018:

- 4000 K:  $\geq 120$  lm/W
- 2700–3000 K:  $\geq 105$  lm/Watt
- $\leq 2000$  K:  $\geq 80$  lm/Watt

Gli apparecchi con CCT molto basso (tipologia ambra) devono essere usati soltanto in aree/applicazioni sensibili, per cui la loro applicazione deve giustificata adeguatamente (aree periferiche, aree con specifici aspetti di salvaguardia della natura).

I criteri di PremiumLight-Pro si riferiscono soltanto all'illuminazione a LED, perciò i livelli di efficienza delle tecnologie tradizionali non sono considerati.

#### *Verifica*

L'offerente dovrebbe specificare e confermare l'efficienza dei componenti nei documenti tecnici dell'offerta. Il flusso luminoso e la potenza dovrebbero essere dichiarati in conformità agli standard appropriati.

Per progetti a livello di sistema in cui la maggior parte del sistema di illuminazione stradale è di recente progettazione, i criteri di efficienza devono essere definiti a livello di sistema. Ulteriori requisiti a livello di componenti in questo caso non sono indispensabili. I requisiti qui riportati sono soprattutto per progetti che concernono solo la sostituzione dei componenti.

#### *Requisiti PremiumLight-Pro:*

Efficienza energetica dell'apparecchio: efficienza minima: 140 lm/W

Efficienza energetica del modulo LED: efficienza minima: 160 lm/W

I criteri PremiumLightPro sono intesi solo per sistemi di illuminazione a LED, i livelli di efficienza per le tecnologie tradizionali non sono pertanto considerati. Per tutti i sistemi di illuminazione per cui sono forniti valori di AECI o PDI con un calcolo trasparente, è possibile escludere l'efficienza a livello dei componenti.

#### *Verifica*

L'offerente deve specificare e confermare l'efficienza dei componenti nella documentazione tecnica. Devono essere dichiarati il flusso luminoso e la potenza, in base ai relativi standard. I dati da US Department of Energy (DOE 2016) mostrano che già erano disponibili nel 2015 moduli LED con una luce bianca calda con 130 lm/Watt e moduli bianco freddi con 170 lm/Watt. Il

trend tecnologico verso una maggiore efficienza energetica è in ascesa continua.

#### 4.4.1.2 Indicatore di consumo energetico annuale e indicatore di densità di potenza

I criteri di consumo energetico denominati "Indicatore di consumo energetico annuale" (*Annual Energy Consumption Indicator*, AECI) e "Indicatore di densità di potenza" (*Power Density Indicator*, PDI) sono i principali indicatori per la valutazione del consumo e dell'efficienza energetica a livello del sistema di illuminazione (per maggiori dettagli si veda il cap. 2).

Il calcolo dell'AECI e del PDI è basato sui dati dei componenti hardware e quindi è necessaria una verifica delle informazioni del prodotto per dimostrare la correttezza dei calcoli. L'AECI copre aspetti come l'attenuazione, il sovrailluminamento o l'emissione luminosa costante (*constant light output*, CLO) (EN 13201-5:2016), ed è quindi il primo indicatore preferibile in molte situazioni.

In questa prima versione dei criteri PremiumLight-Pro, l'AECI e il PDI sono inclusi soltanto come criteri premiali. Non sono perciò specificati requisiti minimi.

Nei casi in cui l'offerente voglia specificare requisiti obbligatori minimi, un possibile approccio è indicato qui sotto.

##### Requisiti PremiumLight-Pro:

Il PDI e l'AECI dovrebbero essere calcolati dall'offerente come specificato nella EN 13201-5:2016 ed ulteriormente spiegato nel capitolo 2 di questo documento:

Indicatore di densità di potenza (PDI)

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

Indicatore di consumo energetico annuo (AECI)

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

$D_p$  (PDI): Indicatore di densità di potenza

$D_E$  (AECI): Indicatore di consumo energetico annuo

P: Potenza (W)

$\bar{E}_i$ : illuminamento medio orizzontale mantenuto (lx)

A: area illuminata (m<sup>2</sup>)

Il PDI e l'AECI dovrebbero essere calcolati dall'offerente in maniera trasparente ed essere verificati tramite misurazioni su uno specifico tratto stradale. L'AECI include tipicamente opzioni di attenuazione.

##### Verifica

L'offerente dovrebbe calcolare e fornire i valori di AECI e PDI in maniera trasparente (secondo lo standard EN 13201-5:2016). L'offerente dovrebbe inoltre fornire il file fotometrico degli apparecchi di illuminazione e i parametri dei componenti richiesti per i calcoli dell'AECI e del PDI. Inoltre dovrebbero essere fornite le specifiche tecniche della fonte luminosa (le dichiarazioni dovrebbero essere basate su metodi di misurazione dello stato dell'arte, inclusi gli standard europei armonizzati). Nei casi in cui sia adottata l'attenuazione, le assunzioni dovrebbero essere specificate in conformità alla EN 13201-5:2016 (si veda il capitolo 2 per una discussione più dettagliata degli indicatori di performance energetica).

##### Approccio alternativo per i committenti che intendono specificare un requisito minimo per l'efficienza energetica a livello di sistema

Benché PremiumLight-Pro non includa requisiti obbligatori minimi sull'efficienza energetica a livello di sistema di illuminazione, viene fornito un possibile approccio che può essere utilizzato dagli appaltatori interessati ai requisiti a livello di sistema. L'approccio è attualmente in corso di proposta e discussione all'EU-GPP. I requisiti minimi proposti per il PDI e l'AECI sono calcolati sulla base dei parametri di illuminamento, utilanza, efficacia luminosa, manutenzione del sistema e fattore di attenuazione (come riportato nella bozza per l'EU-GPP di agosto 2017 del JRC di Siviglia). Si suggerisce di usare un approccio leggermente semplificato che include la larghezza della strada invece dell'utilanza, come mostrato qui sotto:

$$PDI < M/(\eta \times F_m \times 0.07 \times RW)$$

$$AECI < M \times PDI \times F_{dim} \times E_m \times T \times 1 \text{ kW}/1000 \text{ W}$$

$F_m$ : fattore di manutenzione del sistema di illuminazione

$RW$ : larghezza della strada

$F_{dim}$ : fattore di attenuazione

$E_m$ : illuminamento

T: tempo (h)

$\eta$ : efficacia dell'apparecchio di illuminazione

M: fattore di adattamento:

- M = 1,3 per sistemi di illuminazione esistenti in cui le posizioni dei punti luce e dei pali della luce esistenti non possono essere modificate
- M = 1,2 per sistemi di illuminazione nuovi

I due diversi fattori di adattamento M = 1,2 o 1,3 sono usati a seconda che il sistema di illuminazione completo sia recentemente installato (la posizione dei pali e degli apparecchi di illuminazione può essere selezionata) oppure vengano utilizzati pali della luce esistenti.

I criteri di consumo energetico "Annual Energy Consumption Indicator" (AECI) e "Power Density Indicator" (PDI) sono gli indicatori principali per la valutazione del consumo energetico e dell'efficienza a livello del sistema di illuminazione (per dettagli vedi pp.18, capitolo 2).

Se il consumo energetico e l'efficienza sono valutati a livello di sistema, spesso non sono necessari requisiti aggiuntivi a livello di componenti. Il calcolo di AECI e PDI è basato però su valori teorici: la verifica delle informazioni del prodotto è comunque necessaria per provare la correttezza dei calcoli. L'AECI esamina aspetti come l'attenuazione, la sovra illuminazione o l'output costante di luce (CLO) (EN 13201-5:2016), e in molte occasioni risulta quindi essere l'indicatore primario preferibile. PremiumLightPro raccomanda di usare – quando possibile – l'AECI come prima priorità. Il PDI può essere usato in alternativa nei casi in cui non è possibile calcolare l'AECI in modo trasparente e affidabile o quando il PDI sembra più appropriato per altri ben giustificati motivi. Una doppia richiesta specifica su PDI e AECI solitamente non è necessaria.

#### **Requisiti PremiumLight-Pro:**

Quando è possibile richiedere l'AECI come indicatore di energia primaria a livello di sistema:

**Il consumo annuale di energia AECI non deve essere più elevato di quanto specificato nella seguente formula:**

$$\text{AECI [kWh/(m}^2\text{.y)]} < 0.8 \times 161/\text{RW[m]} \times 0.004 \times \text{Em [lx]}$$

Nei casi in cui l'AECI non è disponibile poiché non è possibile calcolarlo in modo trasparente o affidabile, può essere usato il PDI:

**La densità di potenza PDI non deve essere più elevata di quanto specificato nella seguente formula:**

$$\text{PDI [mW/(lx.m}^2\text{)]} < 1.1 \times 161/\text{RW[m]}$$

[RW] è la larghezza totale della strada, incluse le corsie di emergenza, i marciapiedi e le corsie ciclabili. RW deve essere tra 5 e 10 m. La formula usata per il PDI utilizza un approccio semplificato proposto dall'attuale bozza per il Green Public Procurement, sviluppata dal JRC di Sevilla (l'approccio utilizzando come riferimento le classi stradali M3 porta al fattore 161/RW). In aggiunta alla larghezza della strada potrebbero essere importanti la distribuzione luminosa e il profilo stradale. Gli studi mettono in evidenza che la disposizione centrale delle luci o i bracci lunghi hanno effetti positivi. E' fondamentale un'analisi di dettaglio per adattare le regole generali alla specifica situazione.

Il calcolo del consumo energetico annuale si basa sull'ipotesi di 4000 ore di funzionamento annue. L'illuminamento minimo medio costante [Em] è definito in funzione delle classi stradali in EN 13201-2:2016. Per le classi stradali in cui è usata la luminanza (L m) invece dell'illuminamento (Em), è possibile usare la formula di conversione da EN 13201-5:2016 ( $\text{Em} = L / 0.07$ ). Per i sistemi di illuminazione stradale per i quali si applica un illuminamento emisferico (Ehs), la formula di conversione secondo lo standard è  $\text{Em} = \text{Ehs}/0.65$ .

I fattori introdotti nelle formule considerano il sovradimensionamento o l'attenuazione del sistema di illuminazione. A causa della riduzione del flusso luminoso durante la vita utile della fonte luminosa, i sistemi richiedono un certo sovradimensionamento rispetto ai livelli di progetto calcolati. Per sistemi regolabili l'attenuazione può essere usata inizialmente per ridurre il flusso luminoso, per compensare il sovradimensionamento. Per maggiori informazioni sull'attenuazione vedi il capitolo 3.

#### **Verifica**

L'offerente deve calcolare e fornire in modo trasparente (secondo lo standard EN 13201-5:2016) i valori di AECI o in alternativa e se giustificato, i valori di PDI. I valori di AECI o PDI possono essere più elevati rispetto ai livelli raccomandati in casi particolari: essi devono comunque essere sempre giustificati. L'offerente deve fornire il file fotometrico dell'apparecchio di illuminazione e i parametri delle componenti utilizzate per il calcolo di AECI e PDI. Inoltre devono essere fornite le specifiche tecniche della fonte luminosa (le dichiarazioni devono essere basate su metodi di misurazione di ultima generazione, considerando gli standard europei armonizzati). Nei casi in cui venga utilizzata l'attenuazione, devono essere specificati i criteri in accordo con EN 13201-5:2016. Si veda al capitolo 2 per maggiore dettaglio sugli indicatori di performance energetica.

#### 4.4.1.3 Fattore di potenza

La rilevanza del fattore di potenza per la performance energetica complessiva di un sistema di illuminazione è analizzata nel capitolo 2. PremiumLightPro raccomanda due requisiti in merito: fattore di potenza a piena potenza e in situazione di attenuazione al 50% di potenza.

##### *Requisiti PremiumLight-Pro:*

Fattore di potenza a potenza massima:  $\cos \phi \geq 0.9$

Per sistemi regolabili: Fattore di potenza a 50% di potenza:  $\cos \phi \geq 0.8$

##### *Verifica*

L'offerente deve specificare e confermare il fattore di potenza con la documentazione tecnica. Il fattore di potenza deve essere riportato come da legislazione EU sulla progettazione ecosostenibile o altri standard rilevanti.

#### 4.4.2 Criteri di qualità e design

##### 4.4.2.1 Colore della luce, resa di colore e mantenimento del colore

###### Temperatura di colore (colore della luce)

Per la selezione del colore della luce (temperatura di colore) è necessario definire la tipologia stradale o la specifica area di applicazione. Il colore della luce per l'illuminazione stradale prevede diversi tipi di temperature di colore per diverse aree di applicazione (più comunemente tra 3000 K e 4000 K). Diverse ricerche hanno dimostrato che la luce bianca supporta la percezione dell'occhio umano più efficacemente rispetto a quella gialla. La luce bianca appare più luminosa rispetto al bianco giallognolo. Per maggiori dettagli sulla temperatura di colore si rimanda al capitolo 2 (pag. 10).

Date le diverse esigenze non è possibile specificare un requisito standard per il colore della luce, dato che la selezione della temperatura del colore dipende dall'area di applicazione e dalle preferenze personali. PremiumLightPro fornisce perciò solo raccomandazioni generali.

##### *Raccomandazioni PremiumLightPro:*

- La temperatura di colore raccomandata per aree residenziali e per le aree principalmente pedonali è di circa 3000 K.
- La temperatura di colore raccomandata per strade principali, autostrade e aree con traffico misto è di circa 4000 K.

###### Resa cromatica

Oltre alla temperatura di colore anche la resa cromatica è molto importante per la percezione di oggetti e dei differenti colori. In merito alla resa cromatica non è possibile definire requisiti stringenti ma solo raccomandazioni.

##### *Raccomandazioni PremiumLightPro:*

- La resa cromatica (CRI) deve essere superiore a 70 ( $Ra \geq 70$ ) per autostrade e strade principali.
- La resa cromatica deve essere superiore a 80 ( $Ra \geq 80$ ) per strade con condizioni di utenza mista: traffico, ciclisti e pedoni.

###### Consistenza e mantenimento del colore

La consistenza del colore definisce la deviazione del colore della luce dal valore standard (un punto specifico nel sistema di coordinate del colore). Il mantenimento del colore descrive la deviazione del colore nel tempo. Entrambe le deviazioni sono specificate dalle cosiddette Ellissi di MacAdams (per dettagli vedi il capitolo 2).

##### *Raccomandazioni PremiumLightPro:*

- La variazione del colore della sorgente di illuminazione, nel momento in cui il sistema è installato, deve essere contenuta entro 5 ellissi di MacAdams.
- Il mantenimento del colore della sorgente o di un apparecchio di illuminazione lungo la vita dell'apparecchio deve essere contenuto entro 6 ellissi di MacAdams.

##### *Verifica*

L'offerente deve precisare e confermare i parametri nella documentazione tecnica dell'offerta. I parametri devono essere dichiarati in osservanza ai relativi standard e alla legislazione.

##### 4.4.2.2 Luminanza e illuminamento

I livelli di luminanza e illuminamento devono essere definiti in base alle necessità delle tipologie di strada e devono seguire i requisiti specificati in EN13201.

##### *Requisiti PremiumLightPro:*

- L'illuminamento deve essere determinato secondo i requisiti nello standard EN13201
- La luminanza deve essere determinato secondo i requisiti nello standard EN13201

##### 4.4.2.3 Inquinamento luminoso

L'inquinamento luminoso è definito come emissione di luce che non soddisfa le necessità specifiche di illuminazione ma illumina aree dove la luce non è desiderata (ad esempio verso il cielo notturno, abitazioni

ecc.). Come spiegato nel capitolo 2, l'inquinamento luminoso dovrebbe essere il più possibile evitato tramite una progettazione adeguata dell'illuminazione stradale. L'illuminazione indesiderata dell'ambiente riduce l'efficacia energetica e può avere effetti negativi su esseri umani e animali.

Il principale indicatore di inquinamento luminoso è il rapporto di output luminoso verso l'alto (ULOR) che è la quantità di luce emessa al di sopra del piano orizzontale rispetto alla posizione dell'apparecchio di illuminazione.

#### **Requisiti PremiumLightPro:**

- Il rapporto di output luminoso verso l'alto (ULOR) dell'apparecchio di illuminazione deve essere dello 0%, per tutti i tipi di strade in cui non sono esplicitamente richiesti altri valori.

L'illuminazione non necessaria del cielo notturno e dell'ambiente va evitata. La tecnologia LED generalmente permette una distribuzione della luce più precisa e riduce quindi l'inquinamento luminoso. Alcuni requisiti ULOR sono stati specificati nella guida tecnica CIE 126:1997.

Per apparecchi di illuminazione tradizionali HID "a testa di cobra" si è verificato un fenomeno di trade-off tra i tipi di lente a rifrattore e le lenti piatte in vetro. Oggi per i sistemi di illuminazione a LED si raccomandano solo unità di lenti piatte in vetro, che permettono una distribuzione della luce più precisa ed efficiente. Le unità a vetro piatto hanno un minore output di luce verso l'alto, un migliore controllo del passaggio della luce verso le finestre delle abitazioni e un minore angolo di abbagliamento.

#### **Verifica**

L'offerente deve fornire i dati fotometrici che devono includere informazioni sul rapporto di output luminoso verso l'alto.

#### **4.4.2.4 Protezione dall'abbagliamento**

L'abbagliamento è un importante parametro di qualità per l'illuminazione stradale dato che influenza direttamente la sicurezza e il comfort. Sia per l'abbagliamento debilitante sia per quello molesto è disponibile una classificazione standard per i diversi livelli di abbagliamento (per definizioni vedi capitolo 2). Per entrambi i parametri sono state definite sei classi (G1-G6 per abbagliamento debilitante, D1-D6 per abbagliamento molesto).

#### **Requisiti PremiumLightPro:**

- Per l'abbagliamento debilitante si raccomanda l'uso di prodotti con una classe di schermatura almeno G4 o superiore. In generale, bisognerebbe usare sistemi con schermatura piana.
- Per l'abbagliamento molesto si raccomanda l'uso di prodotti con una classe di abbagliamento D6 per strade locali e aree residenziali. Per strade pedonali si raccomanda una classe D5.
- Livelli simili di classi di abbagliamento sono raccomandati dalle linee guida nazionali e internazionali (ad esempio dalle linee guida danesi sull'illuminazione stradale).

#### **Verifica**

La classe di abbagliamento dei prodotti deve essere specificata dall'offerente.

#### **4.4.2.5 Requisiti di protezione per gli apparecchi di illuminazione**

##### **Protezione d'ingresso**

La qualità della luce e l'output luminoso sono influenzati dalla quantità di sporco e acqua che entrano nell'apparecchio. L'apparecchio di illuminazione deve quindi avere una protezione d'ingresso sufficiente, specificata dalla cosiddetta valutazione IP (secondo CIE 154:2003). Il valore IP è anche rilevante per il fattore di manutenzione dell'apparecchio. Il Regolamento Ecodesign 245/2009/UE ha indicato IP65 come benchmark per le classi di illuminazione stradali da ME1 a ME6 e MEW1 a MEW6 (IP65: nessun ingresso di polvere, protezione completa contro il contatto di acqua e proiezione di acqua in tutte le condizioni meteorologiche).

#### **Requisiti PremiumLightPro:**

- Una protezione d'ingresso IP65 deve essere richiesta per tutte le classi di strade.

##### **Protezione all'impatto**

Per varie situazioni e tipologie di strada sono richieste differenti classi di valutazione per gli impatti. Ad esempio in Danimarca sono comunemente richieste le classi di protezione tra IK06 e IK10 [VEJ].

#### **Requisiti PremiumLightPro:**

- L'apparecchio di illuminazione deve avere un valore di protezione all'impatto maggiore di IK07.

#### **Verifica**

Tutti i requisiti a livello di apparecchio di illuminazione devono essere confermati dall'appaltante con

informazioni di prodotto appropriate e dichiarazioni rilevanti in conformità con i regolamenti e gli standard UE.

#### **Protezione elettrica (IEC)**

La protezione elettrica assicura un isolamento sufficiente delle parti in caso di guasto.

#### **Requisiti PremiumLightPro:**

- Tutti gli apparecchi di illuminazione devono avere una protezione elettrica di Classe II.

Ciò garantisce che ci siano due livelli di isolamento che offrono protezione tra le parti attive in caso di guasto. La protezione di Classe II è piuttosto comune ed è raccomandata per le installazioni per l'illuminazione. [WB] [VEJ]

#### **Protezione alla sovratensione (IEC)**

La protezione alla sovratensione assicura una protezione contro i danni dall'eccessivo voltaggio.

#### **Requisiti PremiumLightPro:**

- L'installazione deve avere una protezione alla sovratensione di 10 kV

Ciò permette che la lampada sia protetta contro tutte le sovratensioni transitorie tranne che per i casi più estremi. La protezione alla sovratensione maggiore di 4 kV è già generalmente soddisfatta [SES]. Il livello proposto è più cautelativo.

#### **Verifica**

Il voltaggio e la sovratensione ammissibile devono essere dichiarati dall'offerente.

### **4.4.3 Marchio di conformità**

Il marchio di conformità assicura che i componenti del sistema di illuminazione rispettino gli standard essenziali per i prodotti elettrici. La marcatura CE è comunque obbligatoria per qualsiasi prodotto con questa funzione e venduto nell'UE e non è quindi menzionato esplicitamente come requisito particolare.

#### **Requisiti PremiumLightPro:**

Tutti i componenti del sistema di illuminazione devono avere i seguenti marchi di conformità:

- ENEC (European Norm Electromechanical Certification)

#### **Verifica**

Per tutti i componenti l'offerente fornisce la dichiarazione di conformità.

### **4.4.3.1 Vita utile, garanzia e riparabilità**

#### **Vita utile degli apparecchi di illuminazione e dei moduli LED**

La vita utile minima di un apparecchio di illuminazione è specificata come requisito LxBz (vedi capitolo 2). Per PremiumLightPro si ipotizza che la vita utile sia dichiarata con il valore L80B10.

#### **Requisiti PremiumLightPro:**

- L'apparecchio di illuminazione deve avere una vita utile di almeno L80B10 = 100'000 h.

PremiumLightPro offre criteri che coprono esclusivamente la tecnologia LED. Non si definiscono requisiti sulla vita utile appropriati, ad esempio, per lampade a scarica ad alta intensità. Le linee guida di topstreetlight.ch raccomandano una vita utile per un apparecchio di illuminazione a LED di almeno 100'000 h. [SES]

#### **Verifica**

L'offerente deve fornire le specifiche tecniche dell'apparecchio di illuminazione (che sono basate su metodi di misurazione di ultima generazione che includono, quando disponibili, quelli descritti dagli standard europei armonizzati).

#### **Vita utile degli alimentatori**

I driver e alimentatori sono una tipica fonte di guasto e influenzano perciò significativamente le richieste di manutenzione e riparazione. Un alimentatore di alta qualità garantisce una vita utile di 100'000 ore, mentre prodotti di bassa qualità possono raggiungere a malapena 30'000 ore.

#### **Requisiti PremiumLightPro:**

La percentuale di guasto dell'alimentatore deve essere inferiore allo 0,1% su 1000 ore, e la percentuale di guasto dopo 100'000 ore deve essere inferiore al 10%.

#### **Verifica**

L'offerente deve fornire specifiche tecniche sull'alimentatore (sulla base di metodi di misurazione riconosciuti e attuali, che includono, quando disponibili, quelli descritti dagli standard europei armonizzati).

#### **Garanzia**

La garanzia per un sistema di illuminazione e per i suoi componenti, così come la riparabilità, rappresenta un aspetto essenziale per la vita utile prevista di un'installazione luminosa. Una vita utile lunga può giustificare un investimento iniziale più elevato per sistemi di illuminazione stradale a LED più efficienti.

Riparazioni e manutenzioni generalmente devono essere possibili senza strumentazione particolari.

#### **Requisiti PremiumLightPro:**

La garanzia e/o il contratto di servizio devono coprire un periodo minimo di dieci anni e includere:

- a** La sostituzione senza costi delle sorgenti di illuminazione difettose (inclusa la riduzione dei lumen al di sotto di livelli definiti), di alimentatore e/o dell'apparecchio.
- b** La sostituzione completa di lotti di apparecchi, nel caso in cui più del 10% delle unità nel lotto sia difettosa.

La garanzia deve escludere i seguenti casi:

- c** Apparecchi difettosi a causa di vandalismo, incidenti, fulmini o temporali.
- d** Lampade o apparecchi utilizzati non in condizioni normali (per esempio con tensione di linea sbagliata).

#### **Riparabilità e disponibilità dei pezzi di ricambio**

##### **Requisiti PremiumLightPro:**

La disponibilità dei pezzi di ricambio deve essere garantita per un periodo di dieci anni. A proposito della riparabilità, la sorgente di illuminazione (lampada o modulo LED) e i componenti ausiliari devono essere facilmente accessibili e riparabili sul luogo (per esempio, per la quota a cui è posto l'apparecchio). La riparazione deve essere realizzata con attrezzature standard.

Alcuni enti richiedono una disponibilità di pezzi di ricambio anche più estesa, ad esempio 15 anni.

Oggi c'è una tendenza a integrare completamente i moduli LED nell'apparecchio e perciò non è possibile rimpiazzarli con nuovi moduli. Tuttavia, alla luce delle strategie economiche basate sull'economia circolare e per supportare una lunga vita utile di prodotto, la sostituibilità dei moduli LED dovrebbe essere obbligatoria.

#### **Verifica**

La garanzia o il contratto di servizio dovrebbero essere definiti nell'appalto, indicando le parti che sono coperte dal contratto di servizio e dalla garanzia. Dovrebbe essere fornita una lista di pezzi di ricambio con manuali o diagrammi che illustrino l'accesso all'apparecchio e descrivano metodi e strumenti per l'intervento di smontaggio e montaggio.

#### **4.4.4 Costo nel ciclo di vita/TCO**

L'economicità dei nuovi sistemi di illuminazione a LED è valutata al meglio mediante un approccio life cycle. Anche se i costi di acquisto possono essere più elevati, se comparati con quelli dei sistemi di illuminazione tradizionale, i costi totali, che includono anche il funzionamento e la manutenzione, sono spesso inferiori. Un approccio di valutazione life cycle, o TCO, può permettere soluzioni più "costose" in termini di investimento iniziale ma che sono più efficaci lungo la vita utile del sistema.

##### **Requisiti PremiumLight-Pro:**

L'offerente dovrebbe calcolare il costo del ciclo di vita per l'installazione di un sistema di illuminazione stradale usando un metodo specificato dal committente. Per esempio si può applicare uno dei seguenti approcci:

- Il metodo del valore presente, come specificato da CIE 115:2010 Technical Report, p. 24. [CIE]
- Il metodo di valutazione del costo annuale, come specificato da CIE 115:2010 Technical Report, p. 24. [CIE]
- Il metodo specificato da RequirementID:10677:1 della Swedish National Agency for Public Procurement (Uphandlings myndigheten) [UM]

Il calcolo del TCO deve includere parametri come il costo della manodopera, i costi energetici, il prezzo di acquisto, la vita utile prevista dell'apparecchio, i costi di manutenzione (tempo per pulire un gruppo di apparecchi, tempo per riparare un apparecchio, frequenza di pulizia delle luci ecc.).

#### **Verifica**

L'offerente dovrebbe fornire un calcolo LCC/TCO basato su un metodo di calcolo dei costi approvato e specificato dal committente.

#### **4.4.5 Aspetti contrattuali**

Diversi requisiti da prendere in considerazione nell'appalto non riguardano specifiche tecniche per la valutazione dell'offerta ma concernono specifiche contrattuali.

Per assicurare livelli di illuminazione adeguati e qualità dell'illuminazione in linea con gli standard vigenti, è essenziale una corretta installazione del sistema di illuminazione. I requisiti seguenti assicurano che il sistema di illuminazione installato sia conforme con le specifiche e gli standard vigenti.



#### 4.4.5.1 Installazione e calibrazione corretta

Per assicurare livelli di illuminazione adeguati e qualità dell'illuminazione in linea con gli standard vigenti, è essenziale una corretta installazione del sistema di illuminazione. I requisiti seguenti assicurano che il sistema di illuminazione installato sia conforme con le specifiche e gli standard vigenti.

##### **Installazione corretta**

###### **Requisiti PremiumLight-Pro:**

l'offerente deve:

- Assicurare che tutti gli apparati di illuminazione (incluse lampade, apparecchi, sistemi di controllo e misurazione dell'illuminazione) siano installati esattamente come specificato nel progetto.
- Fornire una documentazione di tutti i componenti di illuminazione installati che confermino che l'apparecchio sia conforme alle specifiche originali
- Condurre misurazioni per un segmento stradale scelto a caso che certifichi la conformità del sistema di illuminazione con le specifiche e gli standard vigenti. Tra gli altri, PDI e AECl devono essere calcolati in base a misurazioni svolte per una settimana secondo EN 13201 (calcolo con una tolleranza di +/- 10%).
- Verificare i criteri per l'inquinamento luminoso misurando l'angolo di inclinazione del braccio per un gruppo di apparecchi di illuminazione scelto a caso (+/- 2° di tolleranza massima).

##### **Verifica**

L'offerente deve fornire tutti i documenti specificati e i risultati delle misurazioni.

##### **Calibrazione**

###### **Requisiti PremiumLight-Pro:**

l'offerente deve assicurare che il sistema di controllo dell'illuminazione funzioni correttamente e il consumo energetico non sia maggiore di quanto specificato nel progetto del sistema di illuminazione. In particolare, bisogna verificare che i seguenti tipi di aspetti di controllo siano calibrati e funzionino correttamente:

- Sistemi di controllo sensibili alla luce del giorno
- Controllo basato sul traffico
- Interruttori a timer

##### **Verifica**

L'offerente deve adeguare il sistema in base alle specifiche richieste e fornire la documentazione necessaria. Inoltre l'offerente deve fornire tutte le informazioni rilevanti e la documentazione richiesta per il funzionamento e la manutenzione degli aspetti di controllo.

#### **Informazione e documentazione su manutenzione, sostituzione e ricalibrazione**

##### **Requisiti PremiumLight-Pro:**

Una documentazione completa deve assicurare che l'operatore del sistema di illuminazione sia attrezzato con tutte le informazioni rilevanti necessarie per un funzionamento e una manutenzione efficaci. l'offerente deve fornire le seguenti informazioni:

- Istruzioni di smontaggio per gli apparecchi
- Istruzioni di sostituzione delle fonti luminose (tipi e procedimenti)
- Istruzioni per il funzionamento e la ricalibrazione dei sistemi di controllo e la programmazione di interruttori a timer

##### **Verifica**

L'offerente deve fornire tutta la documentazione rilevante oltre alle istruzioni allo staff responsabile.

#### **4.4.6 Riduzione dei rifiuti e recupero dei materiali**

La riduzione dei rifiuti e il recupero dei materiali grezzi sono essenziali per la maggior parte delle installazioni di illuminazione stradale: molti sistemi di nuova installazione rimpiazzano i precedenti. Deve essere raccolta una notevole quantità di rifiuti ed è possibile recuperare vari componenti.

##### **Requisiti PremiumLight-Pro:**

Durante lo smantellamento e la nuova installazione tutti i componenti rilevanti devono essere separati e recuperati in accordo con la Direttiva WEEE (Directive on Waste Electrical & Electronic Equipment) dell'Unione Europea. [WEE]

##### **Verifica**

L'offerente deve dichiarare la modalità di separazione dei rifiuti e il recupero dei materiali durante lo smantellamento del vecchio sistema e l'installazione del nuovo sistema.

#### **4.5 Criteri premiali PremiumLightPro: ponderazione e valutazione**

---

##### **4.5.1 Introduzione**

Nella precedente sezione sono specificati sia i criteri minimi obbligatori sia i criteri di aggiudicazione. Per i criteri di aggiudicazione elencati nella tabella 12 è assegnato un punteggio che permette una classificazione

delle offerte. Per il calcolo del punteggio totale è richiesta una ponderazione dei diversi tipi di criteri. La seguente sezione offre una proposta per un possibile principio per la valutazione.

Le tabelle 12 e 13 mostrano la ponderazione proposta per i criteri di aggiudicazione. I due approcci mostrano concetti per progetti con e senza il calcolo TCO.

Per progetti per cui può essere applicato un approccio TCO robusto che consideri i costi di investimento, di funzionamento e di manutenzione, devono essere specificati solo alcuni parametri aggiuntivi: qualità, design, garanzia e fine vita (vedi tabella 12). Il consumo energetico e per la manutenzione sono già inclusi nei costi energetici e di manutenzione. Di conseguenza il peso del criterio TCO è piuttosto elevato.

In caso in cui il TCO non venga fornito, i costi di manutenzione e di investimento sono valutati a parte.

La ponderazione dei criteri tipicamente si adatta alle necessità specifiche e locali. La valutazione qui presentata è da considerare solo come opzione possibile.

**Tabella 13** Ponderazione dei criteri di aggiudicazione per progetti che non includono informazioni TCO

Criterio premiale	Peso [%]
Criteri di costo	25
Costi di investimento	25
Criteri di qualità e design	35
Qualità dell'illuminazione e vita utile	25
Design	10
Criteri di energia	20
AECI o PDI o efficienza dei componenti (a seconda del tipo di progetto bisogna usare l'indicatore più appropriato; alcuni tipi di progetti permettono solo l'uso di PDI o efficienza dei componenti).	20
Criteri di funzionamento, manutenzione, fine vita	20
Facilità di manutenzione e riparazione	10
Garanzia, disponibilità dei pezzi di ricambio	10
Totale	100

**Tabella 12** Ponderazione di criteri di aggiudicazione per progetti che includono informazioni sul TCO

Criterio premiale	Peso [%]	
Criteri economici basati sul costo totale di proprietà (TCO)	50	
TCO	Costi di investimento	15
	Costi di elettricità	20
	Costi di manutenzione	15
Criteri di qualità e design	30	
Qualità di illuminazione	20	
Design	10	
Garanzia, progetto per il riciclaggio	20	
Garanzia	10	
Disponibilità di pezzi di ricambio, progetto di riciclaggio	10	
Totale	100	

## Bibliografia

---

- BAT – Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World (2016). C. Voigt, T. Kingston (Editors). Springer Open
- BFE – Energieeffiziente Straßenbeleuchtung mit LED (2016). Energie Schweiz, BFE
- BG – Beleuchtungstechnik Grundlagen (2016). Baer, Barfuß, Seifert. HUSS-MEDIEN GmbH, Berlin
- CAM - Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di illuminazione pubblica, approvato con DM 28 marzo 2018, in GU n. 98 del 28 aprile 2018
- CIE – CIE 115:2010 Technical Report "Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic", Commission Internationale De L'Eclairage
- European Commission (2015a): Preparatory Study on Light Sources for Ecodesign and/or Energy Labelling Requirements ('Lot 8/9/19'), Final report Task 3: Use of Light Sources
- European Commission (2015b): Preparatory Study on Light Sources for Ecodesign and/or Energy Labelling Requirements ('Lot 8/9/19'), Final report Task 4: Technologies
- EN 13201-1:2014 – Street lighting. Guidelines on selection of lighting classes;
- EN 13201-2:2015 – Street lighting – Part 2: Performance requirements;
- EN 13201-3:2015 – Street lighting – Part 3: Calculation of performance;
- EN 13201-4:2015 – Street lighting – Part 4: Methods of measuring lighting performance;
- EN 13201-5:2015 – Street lighting – Part 5: Energy performance indicators;
- ENG – Engineering: Progress in Understanding Color Maintenance in Solid-State Lighting Systems (2015). Maryam Yazdan Mehra, Willem Dirk van Driela, G. Q. (Kouchi) Zhang, Volume 1, Issue 2, 2015, Pages 170–178
- GPP – Revision of the EU Green Public Procurement Criteria for Street Lighting and Traffic Signals (2016); Technical report and criteria proposal (1st draft)
- IIEC – International Institute for Energy Conservation (2015): Energy Efficiency Guidelines for Street Lighting in the Pacific; Bangkok
- LRT – An examination of the fundamentals of street lighting for pedestrians and drivers (2004). P Raynham. Lighting Res. Technol. 36, 4 2004 pp. 307–316
- LRT2 – A smart LED luminaire for energy savings in pedestrian street lighting (2015). E Juntunen, E Tetri, O Tapaninen, S Yrjänä, V Kondratyev, A Sitomaniemi, H Siirtola, EM Sarjanoja, J Aikio, V Heikkinen. Lighting Res. Technol. 2015; Vol. 47: 103–115
- PE – The design and implementation of an energy efficient street lighting monitoring and control system (2012). Electrical Review, ISSN 0033-2097, R. 88 NR 11a
- RO – Lighting (2014). D.C. Pritchard. Routledge
- RL – Street lighting (2015): Fundamentals, Technology, and Application. Wout van Bommel, Springer
- SdN – Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft (2013). BfN-Skripten 336, Bundesamt für Naturschutz, M. Held, F. Hölker, B. Jessel (Editors)
- SEN – Streetlight Control System Based on Wireless Communication over DALI Protocol (2016). F J Bellido-Outeiriño, F J Quiles-Latorre, C D Moreno-Moreno, PMC
- SES – Straßenbeleuchtung (2016). Effiziente Systeme – Empfehlungen für Gemeindebehörden und Beleuchtungsbetreiber. topstreetlight.ch
- VEJ – Handbook Street Lighting – Construction and Planning (2015). Vejregler, Denmark
- WEEE – Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE)
- ZHA – Zhaga Interface specification book 1 (2015): overview and common information, Edition 1.7
- ZHA5 – Zhaga Interface Specification Book 5 (2014): Socketable LED Light Engine with Separate Electronic Control Gear, Edition 1.2
- ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (2016): Leitfaden Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung Begriffe, Definitionen und Messverfahren: Grundlagen für Vergleichbarkeit, Frankfurt am Main
- ZVEI2 – Überspannungsfestigkeit in Leuchten der Schutzklasse II für die Straßenbeleuchtung (2014). Informationspapier, Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie
- ZVEI3 – Information zum Dimmen von LED-Lichtquellen (2014). ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V., 2014

## Consorzio di PremiumLight-Pro:



AUSTRIAN ENERGY AGENCY

### Austria

Austrian Energy Agency  
[www.energyagency.at](http://www.energyagency.at)



### Czech Republic

SEVEn, The Energy Efficiency Center  
[www.svn.cz](http://www.svn.cz)



### Denmark

Energy piano



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

### Portugal

Institute for Systems and Robotics,  
University of Coimbra



### United Kingdom

Energy Saving Trust  
[www.energysavingtrust.org.uk](http://www.energysavingtrust.org.uk)



### Germany

co2online gGmbH  
[www.co2online.de](http://www.co2online.de)

POLITECNICO MILANO  
DIPARTIMENTO DI ENERGIA



### Italy

Politecnico Milano  
[www.energia.polimi.it](http://www.energia.polimi.it)



### Spain

Ecoserveis  
[www.ecoserveis.net](http://www.ecoserveis.net)



### Poland

FEWE, Polish Foundation for Energy  
Efficiency, [www.fewe.pl](http://www.fewe.pl)

Publicato e prodotto da: Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency  
Mariahilfer Straße 136, A-1150 Vienna, Phone +43 (1) 586 15 24, Fax +43 (1) 586 15 24 - 340  
E-Mail: [office@energyagency.at](mailto:office@energyagency.at), Internet: <http://www.energyagency.at>  
Editor: Peter Traupmann  
Prodotto e pubblicato a Vienna

La ristampa è consentita solo parzialmente e con una citazione dettagliata. Stampato su carta non sbiancata con cloro. L'Agenzia dell'energia austriaca ha curato i contenuti di questo studio in maniera minuziosa e al meglio delle sue conoscenze. Non ci si assume alcuna responsabilità per l'aggiornamento, la completezza o l'accuratezza di qualsiasi contenuto.

Traduzione e adattamento: Politecnico di Milano - Dip. Energia - gruppo eERG  
Via Lambruschini 4, 20156 Milano - Italia  
E-Mail: [info@eerg.it](mailto:info@eerg.it)

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