

# Convegno Energie locali: Le tecnologie del risparmio energetico. Illuminazione urbana e nuove sorgenti luminose.

Sesto S. Giovanni, 26 Maggio 2010

## Sorgenti luminose e illuminazione urbana: dal mercurio al LED

Mario Bonomo

Il passaggio dalle lampade ai vapori di mercurio ai LED condensa in poche parole l'evoluzione tecnica che hanno subito le sorgenti luminose per le applicazioni di maggior utilizzazione ed in particolare per l'illuminazione degli esterni negli ultimi 60 anni, gli anni del nostro dopo guerra. I principali tipi di lampada che si sono succeduti negli impianti (v. tab.1) e i vantaggi che esse hanno portato sono qui passati in rassegna.

### **Le lampade al mercurio**

Queste lampade sono state realizzate secondo due tipologie:

- ❑ al mercurio a bassa pressione, meglio note come lampade fluorescenti, che hanno avuto la loro massima espansione negli esterni negli anni '50, ma che sono tuttora le sorgenti più impiegate nel terziario. Le caratteristiche essenziali di queste lampade: la buona efficienza, la buona durata e la buona resa cromatica. I lati negativi, soprattutto per le applicazioni negli esterni: le grandi dimensioni in rapporto alla potenza e quindi la loro destinazione agli interni, dove le altezze d'installazione sono ridotte e dove in genere sono limitate le necessità di modificare la forma dell'emissione luminosa;
- ❑ al mercurio ad alta pressione, meglio note come lampade al mercurio a bulbo fluorescente, che sono state impiegate soprattutto negli anni '60 e '70, ma che sono tuttora in esercizio in molti impianti non ancora rinnovati. Le caratteristiche: ottima durata, discreta efficienza luminosa, discreto rapporto potenza/dimensioni, ma rese obsolete dall'avvento delle lampade al sodio ad alta pressione.

### **Le lampade al sodio ad alta pressione**

Queste lampade hanno dominato il periodo dal '70 ai giorni nostri; il loro successo è dipeso dall'alta efficienza (è stato superato il muro dei 100 lumen per watt con luce "bianca"; il doppio delle lampade a bulbo fluorescente), dalla buona durata, dal buon rapporto potenza/dimensioni – che rendono agevole il controllo del flusso luminoso emesso – da un'accettabile resa cromatica .

### **Le lampade ad alogenuri**

Queste lampade si sono diffuse soprattutto negli interni, ma si stanno diffondendo, specie negli ultimi anni, anche negli esterni, grazie ai progressi compiuti nella loro fabbricazione che ne hanno migliorato la durata, l'efficienza e il mantenimento nel tempo del flusso luminoso e del colore della luce.

### **I LED**

Questa nuova sorgente luminosa appare oggi come una novità dirompente nel panorama dell'illuminazione, tanto degli esterni quanto degli interni. Per quanto riguarda gli esterni , il LED inizia la sua diffusione in questo secondo decennio del 2000; le caratteristiche e le prestazioni che lo rendono altamente competitivo:

- ❑ la lunga durata, che viene stimata in oltre una dozzina di anni d'esercizio nell'illuminazione stradale;
- ❑ l'ottimo controllo del flusso luminoso emesso;

- ❑ l'ampiezza quasi illimitata della gamma di potenze disponibili, grazie alle dimensioni minime del modulo di base (il LED) e al suo elevatissimo rapporto: emissione luminosa/dimensioni;
- ❑ una buona efficienza luminosa.

Tab.1. L'evoluzione delle principali lampade per illuminazione stradale negli ultimi 60 anni e le relative prestazioni

Tipo di lampada	Anni di diffusione	Prestazioni					Apertura del fascio luminoso (sterad)	Dimensione massima della sorgente di luce (mm)	Flusso luminoso unitario (lm)
		Efficienza luminosa <sup>(1)</sup> (lm/Watt)	Vita media <sup>(2)</sup> (ore)	Mantenimento o del flusso luminoso <sup>(3)</sup> (%)	Resa cromatica (Ra)	Luminanza <sup>(4)</sup> (cd/m <sup>2</sup> )			
Al mercurio a bulbo fluorescente	Dal 1950 al 1970	~50	16000	70	60	4 ÷ 15	~4π	100 ÷ 300	2000 ÷ 24000
Al sodio ad alta pressione	Dal 1970 in poi	~120	28000	85	25	500	~3,4π	50 ÷ 90	44000 ÷ 90000
Ad alogenuri	Dal 1990 in poi	~90	12000	80	85	1000 ÷ 6000	~3,4π	8 ÷ 19	3300 ÷ 40000
LED	Dal 2010 in poi	~80 ÷ 60	<b>50000</b>	70	75 ÷ 80	~6000	<b>~0,6 π ÷ ~π</b>	<b>~2</b>	<b>70 ÷ 100</b>

<sup>(1)</sup> Riferita alla sola lampada

<sup>(2)</sup> Ore di sopravvivenza del 50% del lotto

<sup>(3)</sup> Percentuale di flusso luminoso al termine della vita media rispetto quello iniziale

<sup>(4)</sup> Valutata rispetto l'asse trasversale delle prime tre lampade; lungo l'asse frontale per i LED, alimentati a 350 mA

N.B. I dati della tabella sono valori medi; essi possono variare per alcune esecuzioni particolari di lampade e sono comunque in evoluzione per i continui perfezionamenti costruttivi

### Confronto fra le prestazioni delle varie lampade

Confrontiamo ora le prestazioni dei LED, nel settore dell'illuminazione stradale, con le lampade ad alogenuri, le sole che possono competere con i LED nell'ambito delle sorgenti a luce "bianca"; com'è noto, tali sorgenti godono del vantaggio, rispetto le lampade al sodio ad alta pressione, di richiedere un livello di illuminazione della strada di circa il 25%-30% in meno e questo fatto riduce la competitività delle tradizionali lampade al sodio, fino ad ora universalmente impiegate.

In tabella 2 sono state riportate le principali prestazioni di tre lampade LED di una ditta che consideriamo rappresentativa delle varie esecuzioni di queste lampade; una di tonalità di luce fredda ( $T_k \geq 5000$  K), una neutra ( $T_k \geq 3700$  K), e una di tonalità calda ( $T_k \geq 2700$  K), nonché le analoghe prestazioni di due lampade ad alogenuri di una nota ditta di tonalità neutra e calda. Come si vede, nel confronto fra le lampade di temperatura di colore neutra, i LED hanno un'efficienza inferiore del 33% (62 lm/watt contro 94 lm/watt) delle lampade ad alogenuri di analoga temperatura di colore; questa differenza si attenua al 13% (82 contro 94) se si considera il LED di tonalità fredda. Nel confronto fra le lampade a tonalità calda, i LED hanno un'efficienza di circa la metà di quella delle lampade ad alogenuri (57 lm/watt contro 113 lm/watt).

Il confronto ha preso in esame solo le lampade di due costruttori, ma i risultati esposti sembrano, per quanto si è a conoscenza, abbastanza indicativi della situazione attuale.

Tab. 2. Confronto fra le principali prestazioni dei LED e quelle delle lampade ad alogenuri

Tipo di lampada	Temperatura di colore (Tk)	Resa cromatica (Ra)	Flusso luminoso (lm)	Potenza nominale (W)	Efficienza (lm/watt)	Vita media (ore)	Ditta costruttrice e tipo
LED	≥5000 K	75	107	1,3	82	50000	Cree XR-E,Q5
LED	≥3700 K	75	80,6	1,3	62	50000	Cree XR-E,P4
LED	≥2600 K	80	73,9	1,3	57	50000	Cree XR-E,P3
Ad alogenuri	4200 K	92	6600	70	94	16000	Philips CDM-T
Ad alogenuri	2730 K	66	6800	60	113	18000	Philips CPO-TW

### I motivi della convenienza energetica dei LED

Quali sono dunque gli elementi che determinano la convenienza anche energetica delle lampade a LED su quelle ad alogenuri nell'illuminazione stradale – oltre alla convenienza sotto il profilo della manutenzione per la loro eccezionale durata, visto che il confronto fra le efficienze delle due lampade è in favore di quella ad alogenuri? Sono due questi elementi: **l'utilanza**, grandezza che dipende dalla controllabilità del flusso luminoso della sorgente, come si vedrà; e **la continuità delle potenze** disponibili. Esaminiamo nel dettaglio questi due elementi.

#### L'utilanza degli apparecchi d'illuminazione con sorgenti a LED

L'utilanza esprime la percentuale di flusso luminoso che raggiunge la carreggiata stradale rispetto quello che esce dall'apparecchio. Questa grandezza, moltiplicata per il rendimento dell'apparecchio, dà luogo, com'è noto, al fattore d'utilizzazione dell'impianto.

Il rendimento dell'apparecchio – cioè la percentuale di flusso luminoso che esce dall'apparecchio rispetto quello prodotto dalla lampada – non è sostanzialmente diverso nei due casi (LED e lampada ad alogenuri). In ambedue i casi, il rendimento dell'apparecchio è dato essenzialmente dal rendimento della sua ottica (lente, riflettore, schermo protettivo) . Si può considerare che il valore del rendimento negli apparecchi di miglior qualità in ambedue i casi è dell'ordine dell'80%,

Del flusso che esce dall'apparecchio (fig.1), una parte si riversa sulla carreggiata e la parte rimanente cade al suo esterno. La proporzione fra la parte che cade sulla carreggiata e quella che esce dall'apparecchio, l'utilanza per l'appunto, nel caso di una lampada ad alogenuri (ma anche nel caso di una al sodio ad alta pressione) è , per una strada larga come l'altezza dei centri luminosi e con questi ultimi posti proprio in corrispondenza di uno dei lati della strada, nel migliore dei casi, dell'ordine del **55%**. Si ha infatti in questi casi

un fattore d'utilizzazione  $UF = 0,80 \times 0,55 = 0,44$ .

Nel caso di una lampada a LED, la proporzione di cui sopra, utilanza, nelle medesime condizioni d'installazione, può risultare, a quanto si rileva nei prodotti oggi disponibili, dell'ordine del **75%**. Ne deriva, per queste lampade,

un fattore d'utilizzazione  $UF = 0,80 \times 0,75 = 0,60$ .

In conclusione, nello schema d'installazione sopra considerato, con le lampade ad alogenuri solo il **44%** del flusso di lampada va ad illuminare la strada; mentre con i LED ne va il **60%**. Tale divario non cambia sostanzialmente mutando lo schema d'installazione dell'impianto.

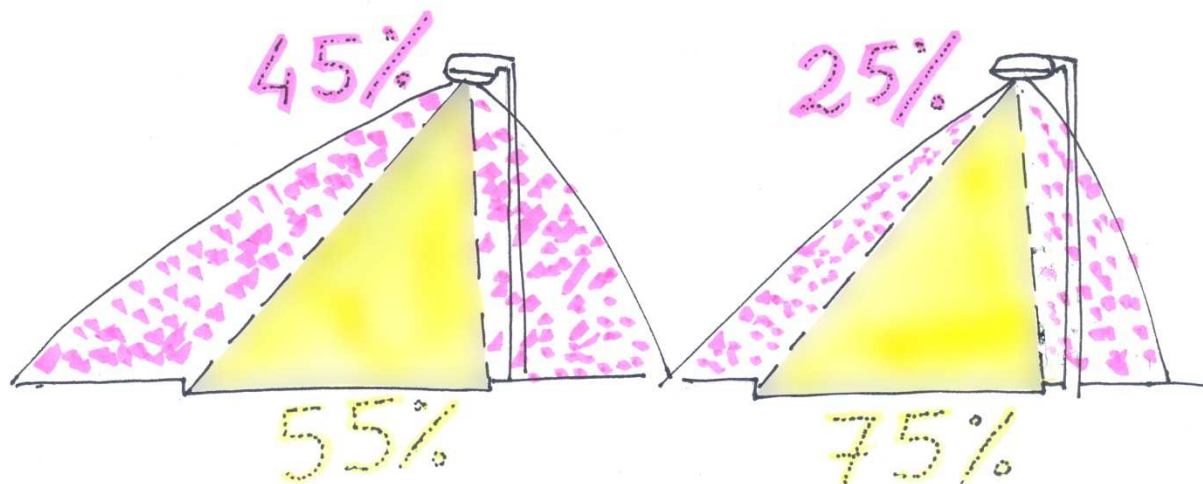


Fig.1. La quota parte di luce emessa verso l'esterno della carreggiata (la parte tratteggiata in rosso) è nettamente inferiore, nei buoni apparecchi a LED (b), di quella degli apparecchi con lampade tradizionali (a). Le percentuali indicate si riferiscono all'installazione tipo definita nel testo e danno luogo ad un fattore di utilizzazione UF, nel caso (a),  $=0,8 \times 0,55 = 0,4$ ; e nel caso (b),  $=0,8 \times 0,75 = 0,6$ .

### La continuità delle potenze

La continuità delle potenze disponibili significa la mancanza di "salti" fra la potenza di una lampada e quella del formato immediatamente contiguo. Nel diagramma di fig.2 sono riportati: con la retta di color blu, il flusso luminoso di lampada occorrente, in funzione dell'illuminamento medio mantenuto, per un'installazione tipo con i seguenti parametri: larghezza carreggiata: 8m; altezza dei centri: 8m; interdistanza fra i centri (posti lungo un solo lato della strada): 30m; posizione dei centri: proprio sopra uno dei margini della carreggiata.

I quattro valori d'illuminamento evidenziati (7,5 lx, 15 lx, ecc.) sono quelli previsti dalla Norma per le quattro categorie di strada CE4, CE2, CE1 e CE0, corretti per tener conto della luce "bianca" delle lampade impiegate (ricordiamo che la Norma – UNI 11248 prevede un illuminamento sulla strada inferiore del 25÷40% rispetto quello riportato nelle tabelle per ogni categoria di strada, quando la luce è bianca, o più esattamente quando la sua resa cromatica è maggiore o uguale a 60, com'è la luce delle lampade qui considerate).

Con la linea spezzata rossa è indicato il flusso luminoso emesso dalle lampade ad alogenuri disponibili, nel tratto del diagramma in cui il flusso di ogni formato di lampada è uguale o superiore a quello richiesto (cioè alla linea blu). Appare evidente il divario fra le due linee, che testimonia l'eccesso di potenza (e d'illuminamento) che deriva dai "salti" di potenza fra i vari formati di lampada.

Nel caso dei LED, la modestia delle loro potenze unitarie consente di ridurre drasticamente questi salti, con una opportuna aggregazione dei vari moduli, rendendo l'offerta delle sorgenti disponibili più aderente alla richiesta (in teoria, con una linea di flusso luminoso disponibile coincidente con la linea blu).

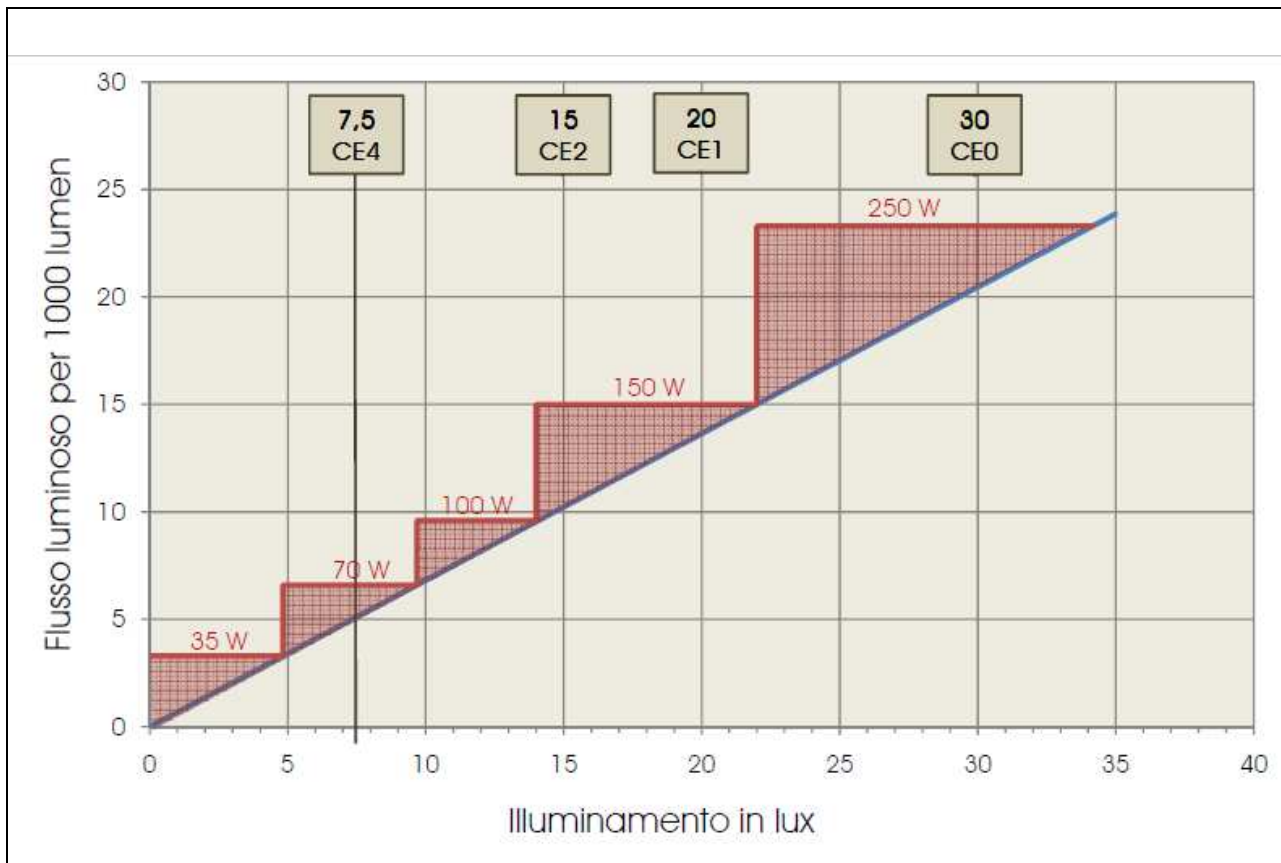


Fig.2. Flusso luminoso necessario per ottenere l'illuminamento indicato in ascissa (per una determinata geometria d'installazione) – segnato con la linea blu - e i flussi delle lampade ad alogenuri disponibili. L'intervallo retinato evidenzia il sovradimensionamento dell'impianto conseguente alla progressione a gradini dei vari formati delle lampade

### Un esempio

Consideriamo la soluzione adottata per l'impianto di categoria CE2 del grafico della fig.2. La soluzione ad alogenuri porta ad un flusso luminoso necessario pari a:

$$\Phi = \frac{15 \text{ lx} \cdot 8 \text{ m} \cdot 30 \text{ m}}{0,44 \cdot 0,8} = 10227 \text{ lm}$$

Il formato di lampada disponibile al di sopra di tale valore è

15000 lm (lampada HCI-T 150 W, potenza effettiva con l'alimentatore: 170 W);

quella immediatamente al di sotto:

9600 lm (lampada HCI-T 100 W, potenza effettiva con l'alimentatore: 115 W).

Le soluzioni possibili sono le seguenti due:

- utilizzare la lampada da 150 W, che porta ad una potenza effettiva per metro di strada:  $170 / 30 = 5,7 \text{ W/ m}$ ;
- utilizzare la lampada da 100 W, ma con un'interdistanza di 28m, che consente di ridurre il flusso luminoso richiesto a

$$\Phi = \frac{15 \text{ lx} \cdot 8 \text{ m} \cdot 28 \text{ m}}{0,44 \cdot 0,8} = 9545 \text{ lm}$$

per cui il flusso di 9600 lm della lampada da 100W è adeguato. La potenza effettiva per metro di strada è in questo caso:  $115 / 28 = 4,1 \text{ W/m}$ .

Con un apparecchio a LED, il flusso richiesto è:

$$\Phi = \frac{15lx \cdot 8m \cdot 30m}{0,6 \cdot 0,7} = 8571lm$$

Avendo adottato il fattore di utilizzazione sopra individuato e un fattore di manutenzione di 0,7, dato che il LED al termine della sua vita di 50000 ore ha una perdita di flusso del 30%, secondo quanto ci viene indicato dai costruttori. Utilizzando LED da 5000K di temperatura di colore, 1,3 W, 107 lm (v. tab. 2), occorrono  $8571 / 107 = 80$  LED.

I LED possono essere raggruppati a piacimento, anche se, per motivi costruttivi, i vari scaglioni di potenza non potranno variare al di sotto d'un certo numero di LED, che costituiranno i moduli base dei mini-aggregati di LED. Nell'ipotesi di realizzare un apparecchio con esattamente gli 80 LED richiesti (costituiti ad esempio da 8 moduli da 10 LED), la potenza del centro luminoso risulterà:  $1,3 \times 80 \times 1,05 \sim 110 \text{ W}$  (dove 1,05 tiene conto delle perdite negli alimentatori) e una potenza per metro di strada pari a:  $110/30=3,7 \text{ W/m}$ .

La tab.3 riassume i risultati dell'esempio appena svolto, includendovi anche il flusso luminoso indirizzato verso il cielo e l'onere annuo per energia. Come si vede, i due elementi essenziali sotto il profilo energetico appena esaminati – l'elevata utilanza degli impianti a LED e l'ampia possibilità di calibrare la potenza dei centri di questo tipo – portano ad installazioni ottimali. Non sono stati presi in esame gli oneri di manutenzione delle soluzioni messe a confronto, per l'indisponibilità di qualche dato riguardante i LED, ma la durata eccezionale della vita utile dei LED non potrà che accentuare la convenienza economica di tali nuove sorgenti di luce.

Tab. 3. Confronto fra le risultanze di tre soluzioni d'impianto per l'illuminazione d'una strada di categoria illuminotecnica CE2 (strade commerciali percorse da veicoli, ad esempio)

Tipo di lampade	Ad alogenuri con interdistanza=3,75H a)	Ad alogenuri con interdistanza ottimale b)	A LED
Numero di centri per chilometro	33,3	35,7	33,3
Potenza (kW/km)	5,7	4,1	3,7
Onere annuo per energia (€/km)	3429,00	2466,00	2226,00
Flusso luminoso indirizzato verso il cielo (lm/ km) <sup>1)</sup>	40000	27400	20000

<sup>1)</sup> Il flusso luminoso indirizzato verso il cielo (fig.3) è stato così calcolato: per le lampade ad alogenuri, pari alla somma del flusso indirizzato verso l'alto direttamente dagli apparecchi (1%) e al flusso riflesso verso l'alto dalla strada (assunto pari al 7%); totale l'8% del flusso di lampada; per i LED, pari al solo 7% riflesso dalla strada, potendosi nel caso dei LED evitare totalmente l'emissione di luce verso l'alto da parte degli apparecchi, senza le note penalizzazioni che si riscontrano con gli apparecchi che utilizzano le altre lampade.

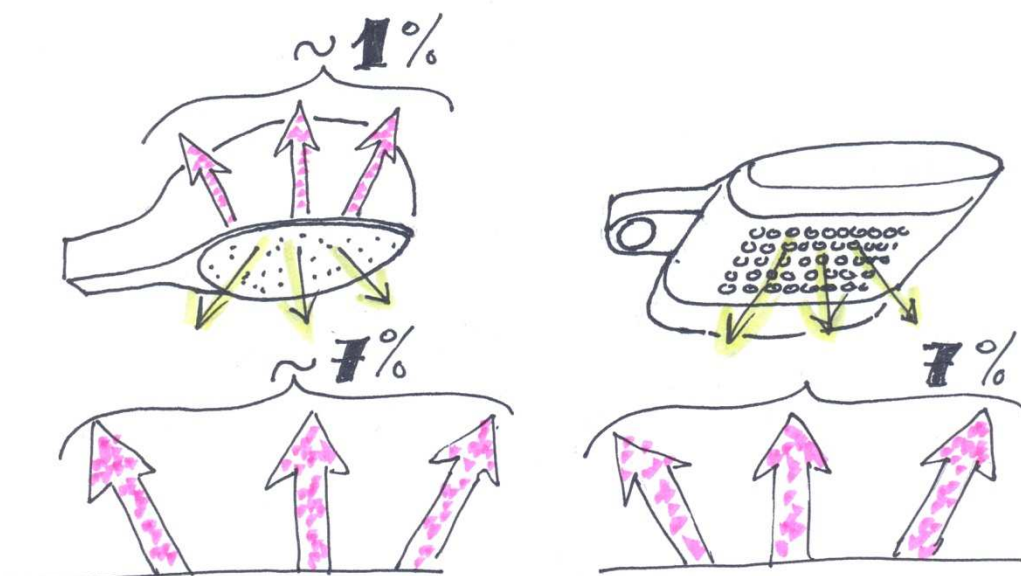


Fig.3. La particolare conformazione dei LED consente di eliminare totalmente (sulla destra) anche la piccola emissione di luce verso l'alto che un buon apparecchio utilizzando le lampade tradizionali emette (sulla sinistra)

## Conclusioni

Il LED si pone come una sorgente di grande interesse negli impianti stradali, per le economie energetiche e gestionali che potranno derivare dalla sua diffusione sugli impianti. A tale utile diffusione non contribuiscono le numerosissime disinformazioni in materia di LED contenute in molte comunicazioni non soltanto commerciali.

L'efficienza luminosa dei LED è inferiore a quella delle lampade utilizzate nei moderni impianti stradali; ma è la struttura di queste prodigiose lampade che consente, come si è visto, di realizzare impianti più efficienti di quelli tradizionali (ma non di alcune fantasiose percentuali che si sentono addirittura in alcuni convegni tecnici!).

Un risparmio ancora maggiore dovrebbe poi scaturire dai minori oneri di manutenzione che la lunga durata dei LED dovrebbe comportare, anche se attualmente mancano alcuni dati sperimentali per effettuare un'analisi accurata di tali costi, come ad esempio: il tasso di premorienza dei LED lungo le 50000 ore di vita media; e le modalità di sostituzione del gruppo lampade al termine della vita delle lampade, cioè dopo circa 12 anni. Occorre infatti tener presente che ovvi motivi economici portano a mantenere in esercizio impianti anche dopo oltre un trentennio, come si evince dall'esperienza, cioè dopo almeno due o tre ricambi delle lampade a LED; per cui questo costo deve essere noto fin dal momento dell'installazione dell'impianto, per un'esauriente analisi economica.