



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE**  
**FACOLTÀ DI INGEGNERIA**  
**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRICA**

**TECNICHE DI RIDUZIONE**  
**DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO NEGLI**  
**IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE ESTERNA**

**Relatori:**

**Chiar.mo Prof. FRANCESCO GRASSO**

**Chiar.mo Prof. PIETRO ANTONIO SCARPINO**

**Tesi di Laurea di:**

**FRANCESCO DONZELLI**

**ANNO ACCADEMICO 2005-2006**

*Dedicato alla mia Sorellina*

# INDICE

<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>1</b>
---------------------------	----------

## **PARTE I ORIGINE E FISICA DELLA LUCE**

<b>1 CAPITOLO: RICHIAMI TEORICI</b> .....	<b>7</b>
1.1 <i>L'emissione della luce</i> .....	7
1.2 <i>La luce</i> .....	9
1.3 <i>Curva di sensibilità dell'occhio umano</i> .....	11
1.4 <i>Materiali per la costruzione delle lampade</i> .....	13
1.5 <i>Le proprietà della luce</i> .....	15
1.5.1 La temperatura di colore .....	15
1.5.2 L'indice di resa cromatica .....	17
<b>2 CAPITOLO: GRANDEZZE FONDAMENTALI</b> .....	<b>18</b>
2.1 <i>Il flusso luminoso</i> .....	18
2.2 <i>L'intensità luminosa</i> .....	19
2.2.1 L'indicatrice fotometrica .....	20
2.3 <i>L'illuminamento e la luminosità</i> .....	21
2.3.1 Dipendenza dell'illuminamento dall'intensità luminosa e dal $\cos\alpha$ ...	22
2.4 <i>Uniformità di illuminamento</i> .....	25
2.5 <i>La brillantezza o luminanza di una sorgente luminosa</i> .....	26

## **PARTE II NORME E LEGGI REGIONALI IN MATERIA DI INQUINAMENTO LUMINOSO**

<b>3 CAPITOLO: NORME E LEGGI REGIONALI IN MATERIA DI INQUINAMENTO LUMINOSO</b> .....	<b>29</b>
3.1 <i>Premessa sulle leggi e norme prese in esame</i> .....	29
3.2 <i>Perché illuminare?</i> .....	32

3.2.1	Finalità .....	33
3.2.2	Definizioni .....	35
<b>3.3</b>	<b><i>Dove illuminare?</i></b> .....	<b>38</b>
3.3.1	Classificazione delle aree.....	39
<b>3.4</b>	<b><i>Come illuminare?</i></b> .....	<b>42</b>
3.4.1	Prescrizioni per limitare l'inquinamento luminoso .....	45
3.4.2	Deroghe.....	57
3.4.3	Delibere n. 962 Regione Toscana e n. 7/6162 Regione Lombardia ...	59
<b>3.5</b>	<b><i>Quanto illuminare?</i></b> .....	<b>66</b>
3.5.1	Classificazione del territorio.....	67
3.5.2	Valori minimi di luminanza .....	69
<b>3.6</b>	<b><i>Conclusioni della parte legislativa</i></b> .....	<b>75</b>

### **PARTE III MEZZI PER IL RISPARMIO ENERGETICO E LA LIMITAZIONE DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO**

<b>4</b>	<b>CAPITOLO: SORGENTI LUMINOSE UTILIZZATE NELLA PUBBLICA ILLUMINAZIONE .....</b>	<b>80</b>
4.1	<i>Scelta delle sorgenti luminose</i> .....	80
4.2	<i>Tipi di lampade</i> .....	82
4.2.1	Lampade ai vapori di mercurio.....	82
4.2.2	Lampade ai vapori di alogenuri metallici .....	85
4.2.3	Lampade ai vapori di sodio.....	86
4.2.4	LED (Light Emitting Diode) di potenza .....	91
4.3	<i>Dati tecnici delle lampade</i> .....	96
<b>5</b>	<b>CAPITOLO: INTERVENTI SULLA PUBBLICA ILLUMINAZIONE PER IL RISPARMIO ENERGETICO E LA LIMITAZIONE DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO.....</b>	<b>99</b>
5.1	<i>Considerazione generali</i> .....	99
5.2	<i>Quali benefici possiamo trarre dalla giusta applicazione delle leggi? ..</i>	101
5.3	<i>Sistemi di riduzione del flusso luminoso</i> .....	104

5.3.1	Sistemi di parzializzazione del flusso luminoso .....	105
5.3.2	Regolatori di flusso luminoso .....	107
5.4	<i>Sistemi di telecontrollo</i> .....	114
<b>CONCLUSIONI</b> .....		<b>118</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....		<b>123</b>
<b>SITI WEB CONSULTATI</b> .....		<b>126</b>

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1.3.1: Sensibilità dell'occhio umano in funzione della lunghezza d'onda. ....	11
Tabella 3.4.1: Valori massimi di $R_n$ in % a seconda degli impianti per le varie zone. ...	47
Tabella 3.4.2: Valori di intensità massima consentiti al di fuori della struttura. ....	48
Tabella 3.4.3: Valori massimi di $R_n$ , %, in assenza del PRIC. ....	49
Tabella 3.4.4: Valori $r$ in funzione del tipo di lampada e del tipo di ottica utilizzata. ...	60
Tabella 3.5.1: Classificazione delle strade in base al tipo di traffico. ....	71
Tabella 3.5.2: Prescrizioni illuminotecniche. ....	71
Tabella 3.5.3: Luminanza media mantenuta sulle strade urbane secondo la norma DIN 5044. ....	73
Tabella 3.5.4: Luminanza media mantenuta sulle strade extraurbaneurbane secondo la norma DIN 5044. ....	74
Tabella 4.1.1: Illuminazione pubblica del comune di Firenze, Caratteristiche generali. 81	
Tabella 4.1.2: Numero di lampade inserite nella rete di illuminazione pubblica del comune di Firenze. ....	81
Tabella 4.3.1: Tabella riassuntiva dei vari tipi di lampade (valori indicativi). ....	96
Tabella 5.1.1: Energia consumata dall'illuminazione pubblica ed energia dispersa per illuminare zone indesiderate. ....	99
Tabella 5.2.1: Riferimenti per un corretta classificazione delle strade. ....	101
Tabella 5.2.2: Confronto e possibile sostituzione di lampade al mercurio con lampade al sodio alta pressione. ....	103
Tabella 5.2.3: Tabella delle potenze da installare in relazione all'indice illuminotecnica di una strada. ....	103
Tabella 5.3.1: Valori di tensione minima che le varie tipologie di lampade possono sopportare per rimanere accese; correlazione con risparmio energetico ed incremento della vita media. ....	108

## INDICE DEI GRAFICI

Grafico 1.3.1: Curva di sensibilità del corpo umano .....	12
Grafico 2.1.1: Indicazioni sull'efficienza di vari tipi lampade .....	18
Grafico 4.1.1: Percentuali dei tipi di lampade utilizzate per la pubblica illuminazione installate nel comune di Firenze. ....	81
Grafico 5.3.1: Variazione del flusso luminoso di lampade fluorescenti da 58W ed alimentatore a basse perdite con l'utilizzo di un regolatore di flusso centralizzato. ....	109
Grafico 5.4.1: Costi di gestione degli impianti di illuminazione.....	115
Grafico 5.4.2: Ripartizione dei costi di manutenzione. ....	115

## **INTRODUZIONE**

Quando si parla di inquinamento ci si riferisce alla perturbazione di uno stato che viene alterato da fattori esterni. In generale i cambiamenti che vengono apportati dall'inquinamento sono pericolosi per la salute fisica e psicologica degli esseri viventi. Si sente parlare spesso dell'inquinamento atmosferico oppure dell'inquinamento acustico, problemi che sono presenti nella nostra quotidianità e che grazie alla risonanza che hanno nei mass-media sono posti alla nostra attenzione.

Il nostro lavoro affronta un tema simile, molto meno conosciuto ma che poco alla volta sta prendendo interesse anche grazie al fatto che spesso viene associato al risparmio energetico. L'inquinamento luminoso è un problema di cui non si sente parlare spesso forse perché non nuoce direttamente alla salute delle persone. Siamo sicuri che questo problema abbia però grandi conseguenze a livello culturale, sociale ed ecologico da non poter essere trascurato. Le persone che ogni tanto per hobby o magari per professione passano il loro tempo a guardare le stelle sono molto più informati su questo problema. L'inquinamento luminoso è dovuto principalmente alle particelle che si trovano in sospensione nell'aria. Queste se vengono colpite dalla luce, avendo la caratteristica di rifletterla in maniera diffondente, creano una piccolissima sfera di luce intorno al punto in cui sono state colpite e siccome di questo pulviscolo se ne possono avere strati alti anche chilometri nell'atmosfera viene a crearsi quel lieve bagliore sopra le nostre città. Le stelle che hanno un'intensità luminosa relativamente piccola riusciranno difficilmente a farsi notare se fra di loro e gli osservatori è presente questa luminescenza su tutto il campo visivo. I primi che si sono accorti di questo problema sono stati gli astrofili, persone che guardano in alto per vedere il cielo e che pian piano si sono dovuti spostare sempre più fuori dai centri abitati per riuscire a vedere lo spettacolo della volta celeste.

Agli inizi del 1800 quando si incominciò ad illuminare le strade delle prime grandi città per dare la sicurezza ai cittadini durante la notte, un astronomo inglese Sir John Herschel si accorse di veder male le stelle a causa del bagliore che iniziava a formarsi sopra questi centri abitati. Con il passare del tempo, con l'urbanizzazione crescente e con una diffusione in larga scala degli impianti di pubblica illuminazione il problema dell'inquinamento luminoso si è manifestato sempre più.

Agli inizi del '900 anche gli astronomi italiani iniziavano a lamentarsi di una “difficoltà inaspettata” nelle osservazioni a causa dell’umidità e della polvere delle strade illuminate dai “fanali” della città. In passato, la tendenza degli astronomi a spostarsi dalle città per cercare nuovi siti ove vi fossero condizioni climatiche migliori e cielo più buio, ha fatto sì che non emergesse la presenza dell’inquinamento luminoso.

Questo problema non è emerso fino alla metà degli anni '60 quando l’astronomo americano Merle Walker iniziò i primi studi sul cielo della California durati due anni e pubblicati nel 1970.

Da allora gli astronomi iniziarono a muoversi attivamente per combattere il fenomeno dell’inquinamento luminoso. Riportiamo di seguito alcune date importanti:

- Nel 1973 l’International Astronomical Union crea la commissione 50, il primo organo con il compito di raccogliere e diffondere le informazioni riguardanti le misure di protezione dei siti astronomici;
- Nel 1976 l’International Astronomical Union dopo la pubblicazione del rapporto della Commissione 50 adotta la prima risoluzione contro l’inquinamento luminoso;
- Nel 1984 il problema arriva definitivamente anche in Europa in quanto l’Accademia Francese delle scienze prepara un rapporto sull’inquinamento luminoso in Francia;
- 1988 nasce negli USA la International Dark-sky Association (IDA) con lo scopo di salvaguardare il cielo notturno. E’ una fra le associazioni più attive contro l’inquinamento luminoso a livello mondiale;
- 1989 l’Associazione Astrofili Italiani inizia il suo impegno nella lotta all’inquinamento luminoso
- 1990 la Società Astronomica Italiana crea la Commissione per l’inquinamento luminoso in Italia;
- 1992 l’UNESCO decreta il cielo stellato come patrimonio dell’umanità che va salvaguardato;
- 1993 la Commissione SAI e l’UAI preparano le raccomandazioni per la progettazione di impianti di illuminazione esterna<sup>1</sup>;

---

<sup>1</sup> Cfr. Cinzano P., “Inquinamento luminoso e protezione del cielo notturno”, istituto di scienze, lettere ed arti, 1997, Venezia.

- 1993 il 18 Settembre si svolge la prima giornata sul problema dell'inquinamento luminoso;
- 1997 nella Dichiarazione sulle responsabilità verso le generazioni future adottata alla conferenza generale dell'UNESCO si ribadisce il diritto delle generazioni future ad avere una terra in cui vengono evitati gli inquinamenti;
- 1997 il 27 Giugno entra in vigore la prima legge contro l'inquinamento luminoso nella regione Veneto;
- 1999 viene emanata dalla commissione "luce e illuminazione" la norma UNI 10819 che si occupa dei requisiti per la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso.

Fino ad ora abbiamo parlato della storia e delle cause fisiche che generano l'inquinamento luminoso, vediamo adesso come viene definito da alcune associazioni e commissioni che operano nel settore:

- L'International Commission on Illumination (CIE) definisce inquinamento luminoso una generale luminescenza del cielo causata dalla dispersione di luce artificiale nell'atmosfera. Di recente, la stessa CIE ha proposto una nuova definizione: inquinamento luminoso è un termine generico che indica la sommatoria di tutti gli effetti sfavorevoli dovuti alla luce artificiale.

-La Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) considera inquinamento luminoso qualsiasi effetto indesiderato dovuto alla luce prodotta dalle attività umane.

- L'International Dark Sky Association (IDA) ritiene inquinamento luminoso qualunque alterazione della quantità naturale di luce presente di notte nell'ambiente esterno, al di fuori dagli spazi che è necessario illuminare, dovuta ad immissione di luce di cui l'uomo è responsabile<sup>2</sup>.

Le ultime due definizioni individuano oltre al problema dell'inquinamento luminoso anche la causa. La diffusione dell'illuminazione pubblica ha aumentato notevolmente la quantità di luce che si propaga verso il cielo e di conseguenza sono aumentate in proporzione anche le problematiche relative all'inquinamento luminoso. A quest'ultimo con la crisi energetica mondiale, si è associato il problema del risparmio energetico.

---

<sup>2</sup> Cfr. Delibera della giunta regionale della regione Toscana n. 962 del 27/09/2004, pag. 3.

A partire dal 1992 quando l'UNESCO dichiara il cielo stellato patrimonio dell'umanità si è sviluppata una maggiore presa di coscienza del problema dell'inquinamento luminoso in tutto il mondo ed in Italia in particolare, nella seconda metà degli anni novanta le regioni hanno iniziato a legiferare in materia. Si è proceduto però, potremmo dire, in "ordine sparso" creando una disomogeneità di indirizzo sul territorio nazionale. Questa differenza di approccio si è accentuata quando nel 1999 l'UNI ha deciso di emanare una propria norma.

Riteniamo che la riflessione sul tema dell'inquinamento luminoso sia ancora in corso e tanta strada debba essere ancora fatta per giungere ad una piena comprensione del problema, adottare le necessarie misure di prevenzione per fare in modo che, come dice l'UNESCO nella sua dichiarazione, le generazioni future possano continuare a godere del patrimonio del cielo stellato.

Con questo lavoro vorremmo contribuire alla riflessione portando il nostro contributo in questa materia che si presenta complessa poiché agli aspetti normativi si accompagnano problemi di carattere tecnico, progettuale, di realizzazione e manutenzione degli impianti di illuminazione esterna ritenuti i maggiori responsabili dell'inquinamento luminoso. E' proprio su questi impianti che concentreremo la nostra attenzione con il lavoro che segue, il quale, basandosi sulle considerazioni fatte fino a questo punto ha analizzato il problema dell'inquinamento luminoso distinguendolo in tre parti:

Nella **prima parte – Origine e Fisica della Luce** – abbiamo dato un quadro completo degli elementi e delle grandezze in gioco all'interno del quale si muoverà la nostra analisi.

A tale scopo abbiamo introdotto i concetti basilari che stanno dietro al fenomeno fisico della luce. Abbiamo infatti affrontato l'argomento su come viene creata la radiazione luminosa applicando delle sollecitazioni ai materiali, integrando con qualche esempio in modo da rendere la trattazione più comprensibile. In seguito siamo andati ad esaminare le caratteristiche della luce emessa che ci serviranno durante la trattazione della terza parte quali la resa cromatica e la temperatura di colore. Nel secondo capitolo di questa prima parte abbiamo analizzato le grandezze fisiche che caratterizzano la luce e che vengono definite anche dal Sistema Internazionale (SI). Abbiamo introdotto in questa parte altri strumenti fondamentali nel campo dell'illuminotecnica come i solidi e le curve fotometriche, utilissime nella progettazione degli impianti.

Nella **seconda parte – Norme e Leggi Regionali in Materia di Inquinamento Luminoso** – vista la confusione presente a livello legislativo fra le leggi regionali e la norma UNI abbiamo deciso di avviare un confronto fra di loro scegliendo la suddetta norma, e le leggi di Lombardia e Toscana.

Le motivazioni di questa scelta vanno ricercate nel fatto che nella legge della regione Lombardia n 17/2000 si cerca di risolvere il problema dell'inquinamento luminoso e del risparmio energetico in maniera completa affrontando un'ampia quantità di tematiche ad essi collegate e proponendo a 360° la loro risoluzione.

Per la Toscana esamineremo la legge 39/2005 ma il confronto è stato esteso alla legge n. 37/2000 che se pure abrogata dalla citata n. 39/2005, rimane importante in quanto la seconda è stata ricalcata dalla prima e molti testi da noi consultati si rifanno ancora alla vecchia legge 37/00. Oltre ad un interesse geo-politico la legislazione della regione Toscana ci interessa perché devono essere ancora redatti alcuni regolamenti e piani attuativi ed in più ha molti punti di differenziazione da quelli della regione Lombardia.

Nel nostro confronto abbiamo incluso anche la norma UNI 10819 poiché nelle regioni prive di una legislazione in materia per realizzare impianti a regola d'arte si devono seguire le prescrizioni citate in questa norma tecnica.

Nel confronto abbiamo messo in evidenza come ognuna di queste leggi o norme, dia i propri indirizzi tecnici su come poter realizzare impianti che conseguano la riduzione dell'inquinamento luminoso e del risparmio energetico oggetto di questa analisi evidenziando le incongruenze soprattutto per quanto riguarda la norma UNI.

Nella **terza parte** di questa analisi – **Mezzi per il Risparmio Energetico e la Limitazione dell'Inquinamento Luminoso** – vengono espone in un primo momento le caratteristiche delle sorgenti luminose più utilizzate nell'illuminazione pubblica ed in seguito viene fatto un confronto fra le lampade in modo da avere una classifica di quelle che hanno caratteristiche tecniche migliori. Abbiamo ottenuto da questo confronto risultati insoliti individuando nella ricerca la vera chiave per avere sorgenti luminose efficaci ed efficienti. In secondo luogo abbiamo posto la nostra attenzione su dei sistemi per la regolazione del flusso luminoso e la telegestione di impianti di illuminazione in modo da ridurre i costi di manutenzione.

In seguito a quanto analizzato siamo arrivati a fare conclusioni diversificate fra la risoluzione dei problemi relativi all'inquinamento luminoso e quelli relativi al risparmio energetico.

***PARTE I*** ORIGINE E FISICA DELLA LUCE

## 1 CAPITOLO: RICHIAMI TEORICI

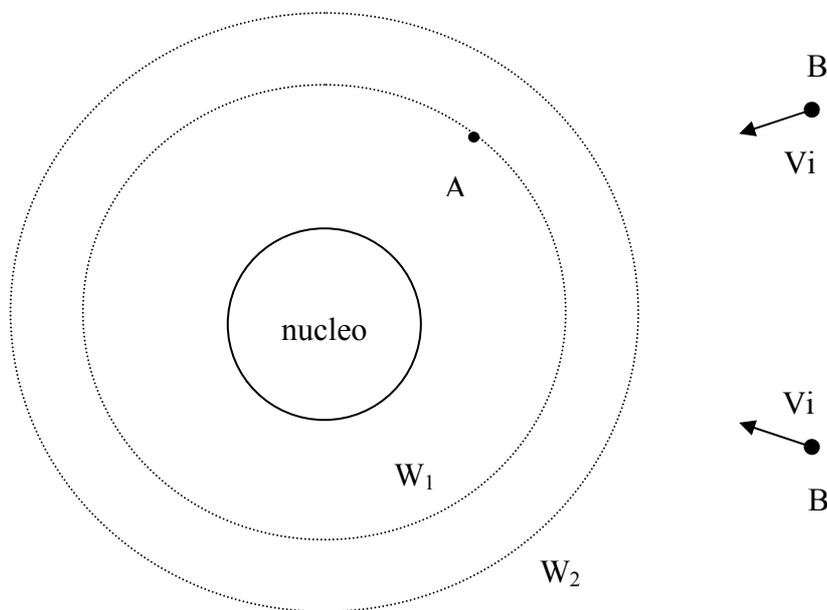
### 1.1 L'emissione della luce

Il fenomeno dell'emissione della luce deriva direttamente dalle proprietà fisiche di cui è dotata la materia; questa come noto è costituita da atomi, i quali hanno un nucleo interno formato da protoni e neutroni, ed una nuvola di elettroni all'esterno.

Gli elettroni (A) disposti attorno al nucleo occupano determinati livelli energetici (orbite). Un atomo si trova in uno stato normale quando tutti i suoi livelli energetici più bassi sono occupati da elettroni.

Mandando in collisione un elettrone, estraneo all'atomo (B), e dotato di energia sufficiente contro l'atomo stesso, lo fa passare da uno stato normale ad uno stato di eccitazione (è quello che avviene in sostanza quando il materiale viene riscaldato mediante una corrente di adeguata intensità). Questo scontro porta ad uno scambio di energia che va dall'elettrone B all'atomo e alla conseguente eccitazione di quest'ultimo.

Figura 1.1.1 Atomo eccitato mediante elettroni estranei.



Fonte: Valdes G. "impianti elettrici", Bologna, Calderone ed agricole, 2000

Il fenomeno sopra descritto porta gli elettroni esterni dell'atomo (A) a passare da un livello energetico inferiore  $W_1$  ad livello più elevato di energia  $W_2$  (anche se per un periodo di tempo brevissimo dell'ordine di  $10^{-8}$ s).

L'energia per il passaggio da un livello all'altro è data da:

$$\Delta W = W_2 - W_1 \quad (1.1.1)$$

ed è necessaria per far compiere all'elettrone interno A la transizione fino al livello energetico superiore. Questo passaggio che come abbiamo detto avviene a spese dell'energia cinetica posseduta dall'elettrone B, al momento dell'impatto deve essere superiore alla quantità di:

$$\frac{m(v_i)^2}{2} > W_2 - W_1 \quad (1.1.2)$$

con  $v_i$  =velocità iniziale e  $v_f$  =velocità finale dell'elettrone.

Dopo l'urto parte dell'energia dell'elettrone B sarà diminuita della quantità pari a

$$\frac{m(v_i)^2}{2} - \frac{m(v_f)^2}{2} = W_2 - W_1 \quad (1.1.3)$$

per il passaggio di livello energetico e per l'eccitazione dell'atomo.

Nel ritorno allo stato normale da quello di eccitato, l'elettrone emette una radiazione elettromagnetica caratterizzata da un campo elettrico e da un campo magnetico di intensità variabile con legge sinusoidale.

Questo fenomeno, se persistente, si perpetua e si propaga in tutte le direzioni, permettendoci di individuare (in quanto si segue una legge sinusoidale) una frequenza  $f$  che è data da:

$$f = \frac{(W_2 - W_1)}{h} = \frac{\Delta W}{h} \quad (1.1.4)$$

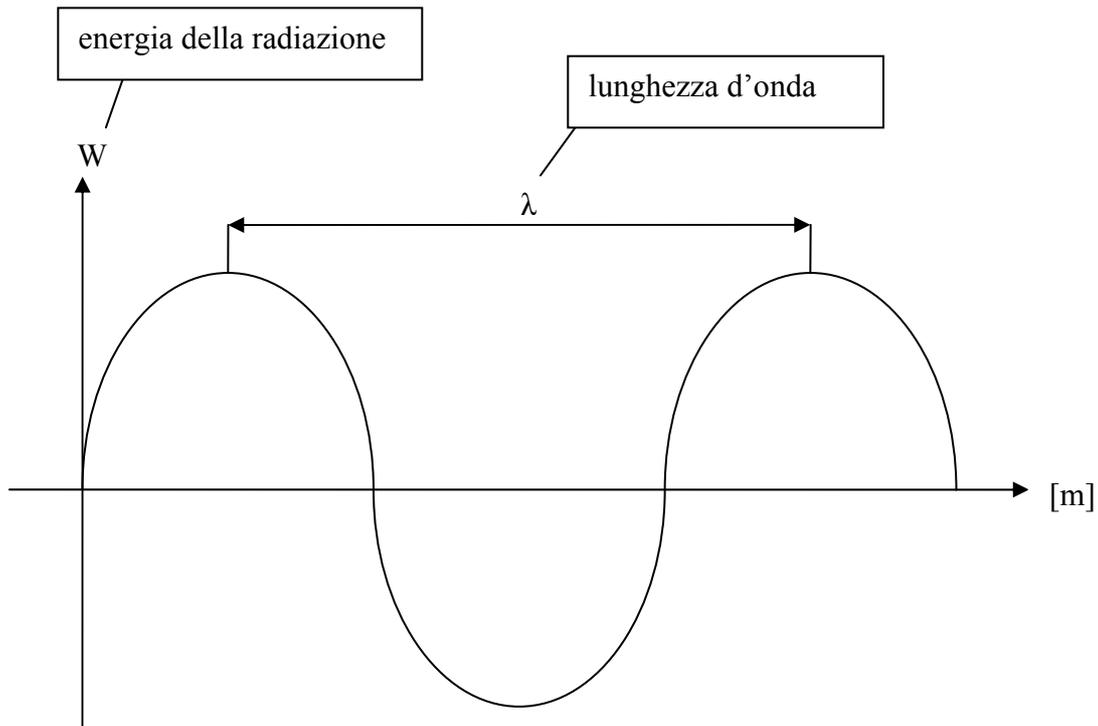
Questa formula è anche detta Relazione di Plank in cui  $h$  è la costante di Plank appunto, e vale:  $h=6,624 \cdot 10^{-34}$  [ J·s ].

Possiamo affermare che, l'abbinamento di una frequenza e di una radiazione elettromagnetica emesse da un atomo, sono sensibili all'occhio umano manifestandosi sotto forma di luce.

## 1.2 La luce

La luce è costituita da onde elettromagnetiche la cui caratteristica fondamentale è la lunghezza d'onda. Questa è definita come la distanza fra due massimi nella sua rappresentazione spaziale, come mostrato nell'immagine sotto riportata:

Figura 1.2.1: Radiazione sinusoidale.



Fonte: elaborazione propria

Matematicamente la lunghezza d'onda è data dalla formula:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

(1.2.1)

dove  $c$  è la velocità della luce nel vuoto e vale  $c = 299.739.000$  m/s e  $f$  è la frequenza.

Facendo delle semplici operazioni con i risultati in nostro possesso troviamo delle interessanti conclusioni, infatti sostituendo la formula (1.1.4) nella (1.2.1) si ottiene:

$$\lambda = \frac{c \cdot h}{\Delta W} \Leftrightarrow \Delta W = \frac{c \cdot h}{\lambda}$$

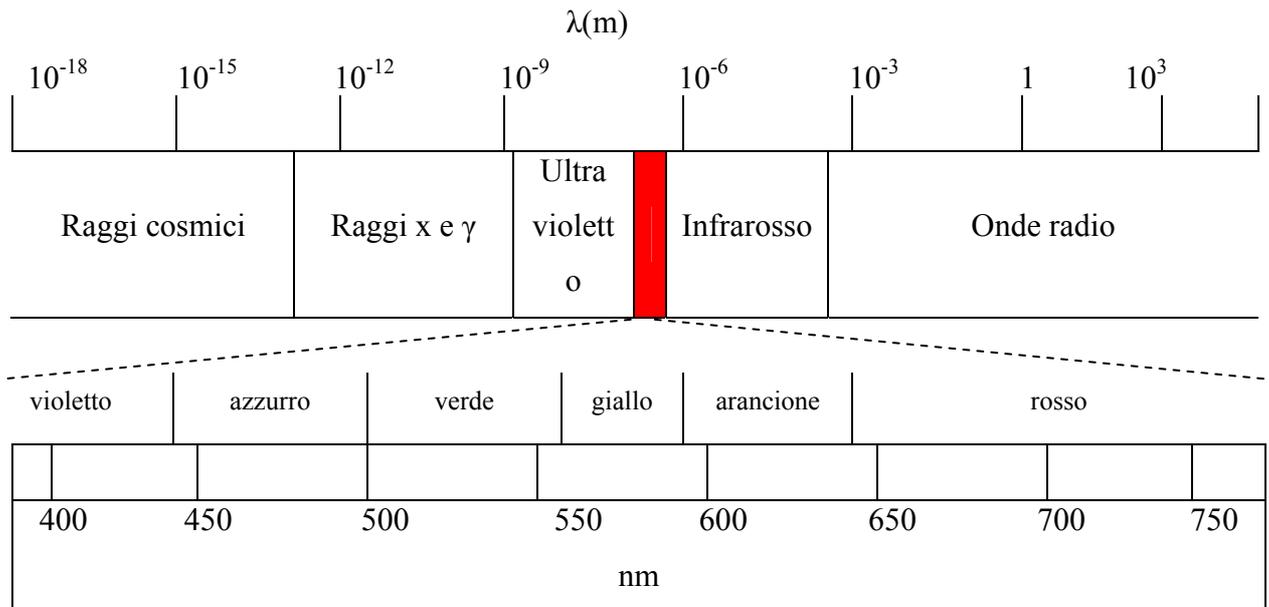
(1.2.2)

che ci consente di vedere la lunghezza d'onda che possiamo ottenere da un determinato materiale, semplicemente conoscendo la differenza di energia degli orbitali in cui si posizionano gli elettroni.

Dalla seconda parte della formula ( 1.2.2) si evince che, l'energia è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda, quindi più si hanno lunghezze d'onda piccole, più la luce è carica di energia.

In base a queste osservazioni possiamo mostrare una scala di lunghezze d'onda (vedi Figura 1.2.2) caratterizzanti i vari tipi di luce:

Figura 1.2.2: Vari tipi di lunghezze d'onda.



Fonte: Tucci M. "Illuminazione: ergonomia, sicurezza e confort visivo", MIMEO, Firenze

- Raggi cosmici,  $\lambda > 10^{-13}$  metri (raggi fortemente carichi di energia dannosi alla salute presenti nello spazio);
- Raggi X e  $\gamma$ ,  $10^{-13} < \lambda < 10^{-8}$  m (raggi pericolosi usati in medicina);
- Raggi ultra violetti,  $10^{-8} < \lambda < 10^{-7}$  m (raggi non molto pericolosi usati in medicina per sterilizzare);
- luce visibile,  $380 < \lambda < 780$  nm (nm =  $10^{-9}$  m);
- luce infrarossa,  $10^{-6} < \lambda < 10^{-3}$  m (al di sotto del rosso visibile usata in elettronica);
- onde radio,  $\lambda < 10^{-3}$  m.

L'occhio umano percepisce diversi colori a seconda della lunghezza d'onda di cui si caratterizza la luce (nel paragrafo 1.4 "Materiali per la costruzione delle lampade si menziona una parte applicativa che mostrerà come riuscire a trovare il colore della luce emessa, derivante da diversi tipi di lampade).

Si ha una corrispondenza fra lunghezza d'onda e tipo di colore:

- $380 < \lambda < 430$  nm colore violetto;

- $430 < \lambda < 500$  nm colore azzurro;
- $500 < \lambda < 550$  nm colore verde;
- $550 < \lambda < 600$  nm colore giallo;
- $600 < \lambda < 640$  nm colore arancione;
- $640 < \lambda < 780$  nm colore rosso.

La luce bianca è costituita dalla sovrapposizione di tutte le radiazioni visibili di diversa lunghezza d'onda.

### **1.3 Curva di sensibilità dell'occhio umano**

L'occhio umano presenta sensibilità diverse a seconda della lunghezza d'onda che riceve.

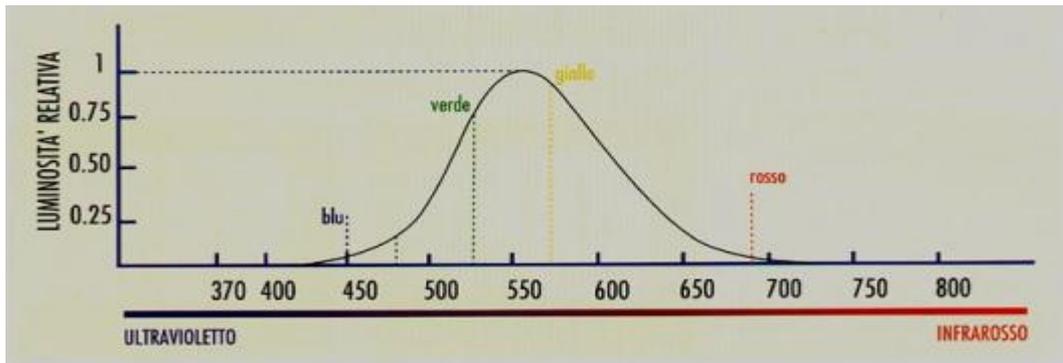
La sua sensibilità massima per definizione pari a 1, è presa alla lunghezza d'onda di  $\lambda = 555$  nm che corrisponde alla luce di colore giallo-verde. Per tutte le altre lunghezze d'onda si hanno vari tipi di sensibilità:

**Tabella 1.3.1: Sensibilità dell'occhio umano in funzione della lunghezza d'onda.**

$\lambda$ in (nm)	$S(\lambda)$
400	0
450	0,05
500	0,30
550	0,98
555	1
600	0,60
650	0,10
700	0,03
750	0

*Fonte: Valdes G. "Impianti elettrici", Bologna, Calderone ed agricole, 2000*

Grafico 1.3.1: Curva di sensibilità del corpo umano



Fonte: Scarpino P.A. “Sorgenti luminose e apparecchi illuminanti”, MIMEO, Firenze

Come si può notare, dal grafico sopra riportato, l’occhio umano ha sensibilità nulla per raggi ultravioletti ( $\lambda < 400\text{nm}$ ) e luce infrarossa ( $\lambda > 780\text{nm}$ ), che quindi non vengono visti  $S(\lambda)=0$ , mentre trova il massimo per il giallo-verde ( $\lambda=555\text{nm}$ ) con sensibilità  $S(\lambda)=1$ .

In funzione di quanto sopra si evince che la luce non può essere misurata in watt, ma con il prodotto fra la potenza radiante (cioè quella parte della potenza elettrica che si trasforma in luce) ed il fattore di sensibilità  $S(\lambda)$ . Inoltre la sensazione visiva non è direttamente proporzionale alla potenza (misurata in Watt) ma segue una legge logaritmica per ciascuna lunghezza d’onda: la sensazione visiva infatti raddoppia aumentando dieci volte la potenza della lampada. Questo fenomeno fa sì che, per avere una sensazione di maggior luce in un ambiente, è necessario triplicare o anche quadruplicare la potenza delle lampade. A questo proposito diciamo che, non conta solo la quantità di luce emessa ma anche la modalità con cui la potenza radiante giunge sugli oggetti illuminati.

A tale proposito esponiamo alcune considerazioni esemplificative riguardanti l’argomento sopra trattato.

a) Prese due sorgenti luminose che irradiano la stessa potenza radiante  $P_R$  ma con lunghezze d’onda diverse  $\lambda_1 = 500 \text{ nm}$  e  $\lambda_2 = 550 \text{ nm}$  avremo una potenza luminosa pari a:

$$P_{L1} = S(\lambda_1) \cdot P_R \quad \text{con} \quad S(\lambda_1) = 0,30.$$

$$P_{L2} = S(\lambda_2) \cdot P_R \quad \text{con} \quad S(\lambda_2) = 0,98.$$

Ed avremo quindi:

$$P_{L1} = 0,30 \cdot P_R$$

$$P_{L2} = 0,98 \cdot P_R$$

Il loro rapporto sarà :

$$P_{L2} / P_{L1} = 0,98 / 0,30 = 3,27$$

Cioè la seconda sorgente produce una potenza luminosa più che tripla rispetto alla prima.

b) Un altro esempio potrebbe essere il seguente:

supponiamo di avere una lampada con potenza elettrica assorbita pari a  $P_a = 100 \text{ W}$  e diciamo che il 30% si trasformi in potenza radiante che emana luce con una lunghezza d'onda pari a  $\lambda = 500 \text{ nm}$ . La potenza radiante sarà  $P_r = P_a \cdot 0,30 = 30 \text{ W}$  mentre gli altri 70 W vengono trasformati in calore. Con  $\lambda = 500$  avremo (vedi

Tabella 1.3.1)  $S(\lambda) = 0,30$ .

La potenza luminosa sarà:

$$P_L = S(\lambda) \cdot P_R = 0,30 \cdot 30 = 9 \text{ W}$$

Si possono individuare altre grandezze caratteristiche per descrivere meglio questo esempio. Molte delle grandezze che menzioneremo saranno riprese e spiegate anche in seguito.

Esprimiamo la potenza anche in flusso luminoso<sup>3</sup> che sarà:

$$\Phi = K \cdot S(\lambda) \cdot P_R = 685 \cdot 0,30 \cdot 30 = 6165 \text{ lm}$$

L'efficienza luminosa di una lampada è data dal rapporto fra flusso luminoso e potenza elettrica assorbita. Avremo così:

$$\eta = \Phi / P_a = 6165 / 100 = 61,65 \text{ lm/W}$$

Questa grandezza è molto utile e viene molto usata a livello pratico.

#### **1.4 Materiali per la costruzione delle lampade**

Nei capitoli precedenti abbiamo visto come si comporta l'occhio umano ad uno stimolo luminoso e le ragioni per cui i materiali provocano tale effetto. Basiamoci su questo secondo argomento per fare delle considerazioni sui materiali utilizzati nella costruzione di lampade, che più frequentemente vengono impiegati nell'illuminazione pubblica.

Prendiamo in esame due sostanze: il sodio e il mercurio. Entrambi hanno un largo impiego per via della loro efficienza luminosa (vedi Tabella 4.3.1 nel paragrafo 4.3 "Dati tecnici delle lampade") e garantiscono una lunga durata della vita della lampada.

---

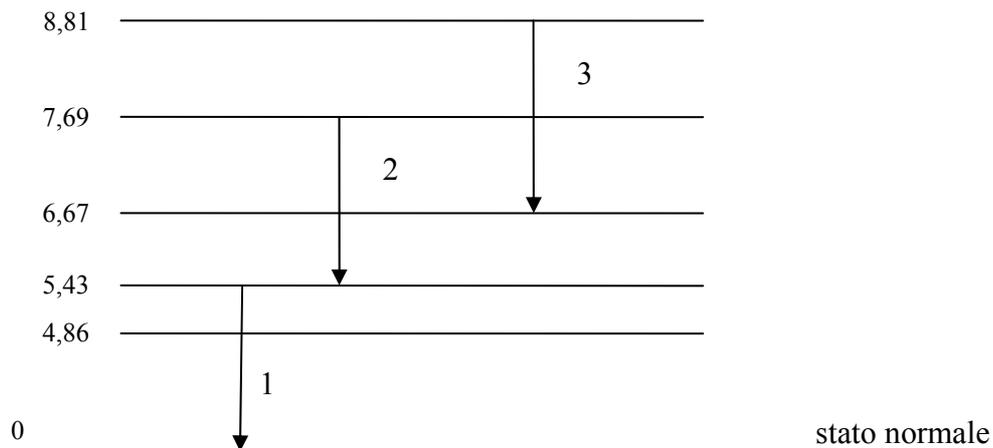
<sup>3</sup> Per esprimere la potenza luminosa in lumen (unità di misura del flusso luminoso) invece che in W occorre moltiplicare  $P_L$  per una costante  $K$  pari a 685.

Ricordando che gli elettroni si dispongono su diversi livelli energetici, la cui unità di misura è espressa in elettronvolt [eV], e che la carica di un elettrone è pari a  $e = 1,606 \cdot 10^{-19}$  Coulomb [C], si ha dalla ( 1.2.2):

$$\lambda = \frac{c \cdot h}{\Delta W} = \frac{(3 \cdot 10^8 \cdot 6,624 \cdot 10^{-34})}{(1,606 \cdot 10^{-19} \cdot \Delta W)} = \frac{1240}{\Delta W}$$

la lunghezza d'onda  $\lambda$ , espressa in nm, generata da una transizione di livello energetico pari a  $\Delta W$  (espresso in eV).

**Figura 1.4.1: Passaggi di livello degli elettroni del mercurio.**



Fonte: G. "impianti elettrici", Bologna, Calderone ed agricole, 2000

- e cioè fra il livello 4,86 eV e il livello normale 0 eV (transizione 1) con  $\Delta W = 4,86$  (eV) e  $\lambda = 1240 / 4,86 = 255$  nm corrispondente alla zona ultravioletta e quindi non visibile dall'occhio umano;
- dal livello 7,69 eV al livello 5,43 eV (transizione 2) con  $\Delta W = 2,26$  (eV) e  $\lambda = 1240 / 2,26 = 549$  nm corrispondente al colore verde;
- dal livello 8,81 eV al livello 6,67 eV (transizione 3) con  $\Delta W = 2,14$  (eV) e  $\lambda = 1240 / 2,14 = 579$  nm corrispondente al colore giallo.

Per quanto riguarda il sodio invece si ha un solo passaggio, dal livello a 2,1 eV al livello normale di 0 eV ottenendo quindi:

$\Delta W = 2,1$  con  $\lambda$  che sarà:

$\lambda = 1240 / 2,1 = 590$  nm corrispondente al colore giallo.

Quindi riassumendo possiamo dire che il mercurio emana radiazioni con lunghezza d'onda:

$\lambda = 255$  nm (ultravioletto);

$\lambda = 549$  nm (verde);

$\lambda = 580$  nm (giallo).

Mentre il sodio:

$\lambda = 590 \text{ nm}$  (giallo).

Queste considerazioni portano ad evidenziare una piccola curiosità a livello di illuminazione pubblica. Il colore della luce dei lampioni per la strada è giallo perché si fa uso di lampade al mercurio e al sodio stimulate proprio sulla lunghezza d'onda del colore giallo. Altri materiali vengono eccitati al fine di realizzare sorgenti luminose e molti emettono radiazioni di tipo ultravioletto o infrarosso, che non essendo visti dall'occhio umano vengono scartati nella costruzione di sorgenti luminose.

### **1.5 Le proprietà della luce**

Le proprietà cromatiche di una sorgente luminosa sono solitamente caratterizzate in due modi:

- La temperatura di colore;
- L'indice di resa cromatica.

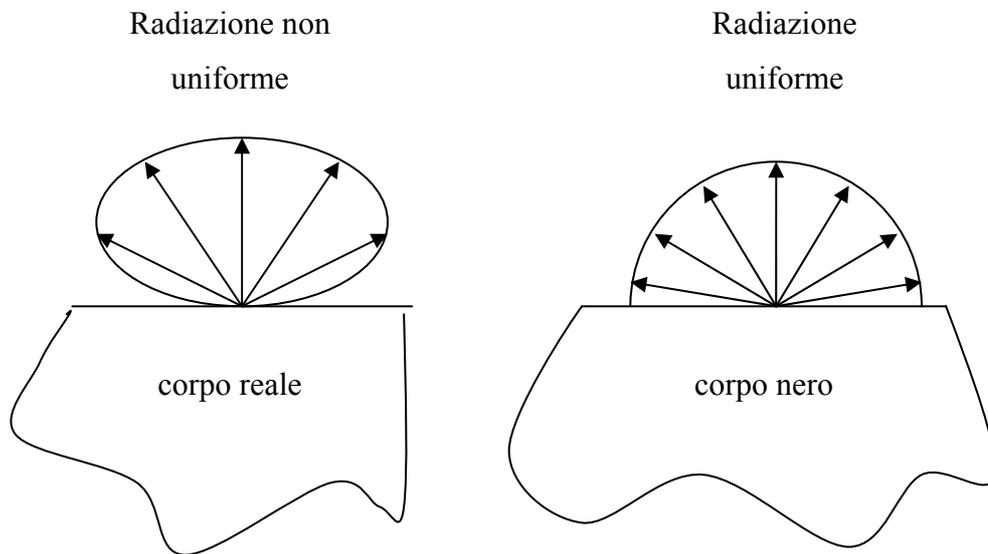
Il primo individua il modo con cui appare la luce, mentre il secondo, ci dice come un oggetto illuminato apparirà rispetto ad una sorgente luminosa di riferimento. Entrambe le due caratteristiche sono estremamente importanti al fine di definire, nel migliore dei modi, le proprietà di una sorgente luminosa.

#### **1.5.1 LA TEMPERATURA DI COLORE**

Questa grandezza caratteristica di una sorgente indica l'apparenza cromatica della luce. Si basa sul principio che qualunque oggetto, se riscaldato ad una temperatura sufficiente, inizia ad emettere luce ed il colore varierà in modo prevedibile man mano che si fa aumentare la temperatura. Per descrivere bene queste grandezze dobbiamo prima introdurre il concetto di "corpo nero". Ci si riferisce ad un corpo nero quando nella teoria si vuole esprimere un concetto di perfezione (vedi Figura 1.5.1), è cioè un corpo ideale a cui si vuol fare riferimento per confrontare le proprietà radiative di materiali reali. Un corpo nero è un perfetto emettitore ed assorbitore di radiazioni poiché emette la massima radiazione per ogni temperatura e lunghezza d'onda ed

assorbe tutta la radiazione incidente indipendentemente da direzione e lunghezza d'onda<sup>4</sup>.

Figura 1.5.1: Differenza nella radiazione fra corpo reale e corpo nero.



Fonte: Y.A. Çengel “Termodinamica e trasmissione del calore”, McGraw Hill, Milano, 1998

Ciò a cui si fa riferimento sono i mutamenti di colore di un “corpo nero radiante”, riscaldato e portato da una condizione di nero freddo ad una di bianco incandescente. Pian piano che la temperatura aumenta il corpo nero reagisce all’aumento di calore diventando rosso, poi arancio, giallo, bianco e infine bianco azzurrognolo. A questo punto possiamo definire la temperatura di colore di una sorgente luminosa come la temperatura (in gradi Kelvin [K]) alla quale, il colore del corpo nero, corrisponde alla sorgente luminosa. Per molte sorgenti luminose non si ha una corrispondenza perfetta della luce. Si fa così riferimento alla temperatura più vicina possibile, ed il colore viene descritto come temperatura di colore “correlata”. Ad esempio, un tubo fluorescente con temperatura di colore di 4000 K ha un’apparenza cromatica simile a quella di un corpo nero scaldato a 4000 K (che sarebbero 3727 °C).

Le sorgenti luminose con temperature di colore basse sono chiamate calde, mentre quelle con temperature più elevate sono chiamate fredde. Queste dizioni non vi vogliono indurre in confusione e non hanno niente a che fare con la temperatura del

---

<sup>4</sup> Siccome il corpo nero emette energia radiante uniformemente in ogni direzione si dice che un corpo nero è un emettitore *diffuso*, dove per *diffuso* si intende “indipendente da ogni direzione”.

corpo nero, ma hanno un significato più psicologico. Ci riferiamo infatti al modo in cui vengono percepiti (psicologicamente appunto) i gruppi di colori. Le sorgenti luminose con spettro nella zona blu sono indicati come freddi (anche se la loro temperatura di colore è alta) e quelli nella zona rossa, arancione, gialla sono invece detti caldi (anche se hanno una temperatura di colore più bassa).

### 1.5.2 L'INDICE DI RESA CROMATICA

Questo indice deriva direttamente da una serie di esperimenti visivi per valutare l'effetto di diversi tipi di sorgenti luminose sul colore percepito di oggetti e superfici. Si procede quindi individuando la temperatura di colore della sorgente luminosa in esame e illuminando otto tipi di colori campioni standard. Prima si va ad illuminare con la sorgente luminosa ed in seguito si illumina con un corpo nero alla stessa temperatura di colore andando a valutare la differenza visiva. Se i campioni non mutano apparenza cromatica, alla sorgente viene assegnato un indice  $R_a$  pari a 100, altrimenti ogni variazione porta ad un punteggio inferiore. La valutazione dell'indice di resa cromatica viene poi effettuata facendo la media sugli otto tipi di colori. Questo non ci garantisce però l'apparenza naturale di un colore specifico. In generale possiamo affermare che una sorgente luminosa che ha indice di resa cromatica superiore o uguale a 80 ha buone proprietà di resa cromatica.

## 2 CAPITOLO: GRANDEZZE FONDAMENTALI

### 2.1 Il flusso luminoso

Il flusso luminoso, la cui unità di misura è il lumen [ lm ], è la potenza del complesso di radiazioni elettromagnetiche emesse da una sorgente nell'unità di tempo, pesate in funzione del fattore di sensibilità dell'occhio umano (vedi paragrafo 1.3 e Grafico 1.3.1). Il Sistema Internazionale SI definisce, il lumen come il flusso luminoso emesso nell'angolo solido di uno steradiante<sup>5</sup> [ sr ] da una sorgente puntiforme isotropa avente intensità luminosa di 1 cd (vedi paragrafo 2.2: L'intensità luminosa).

Si ottiene così che  $1\text{lm} = 1\text{cd} \cdot 1\text{sr}$ . Il rapporto che abbiamo fra Lumen e Watt per una luce giallo-verde ( $\lambda=555\text{ nm}$ ) è pari a  $680\text{ lm} / 1\text{ W}$  cioè una sorgente luminosa perfetta che trasforma tutta l'energia elettrica in luce con un Watt riesce ad emettere 680 lumen. Nella realtà non si riesce neanche lontanamente ad ottenere questi tipi di valori, tanto che le lampade di luce gialla che raggiungono rendimenti molto elevati, si aggirano intorno ai  $180\text{ lm/W}$ .

Nella seguente tabella sono riportati a titolo di esempio e non esaustivi, in quanto per ogni apparecchio possono differire, alcuni valori del rapporto fra lumen e Watt:

**Grafico 2.1.1: Indicazioni sull'efficienza di vari tipi lampade ( Es: lampada da 60 W ad incandescenza; flusso luminoso  $\Phi = 60 \cdot 12 = 720\text{ lm}$ ).**

Efficienza luminosa in lm/W delle principali lampade								
Tipo di lampada	Potenza (W)							
	15/20	25	35/40	50/60	70/75	100/125	150/200	250/300
Incandescenza (230V)	6	9	10	12	12,5	13,5	14,5	16,5
Fluorescenti lineari	55	-	65	65	-	-	-	-
Alogenuri metallici	-	-	60	-	73	-	83	76
Vapori di mercurio	-	-	-	36	-	50	-	52
Vapori di sodio	-	-	-	80	90	100	110	132

Fonte: Scarpino P.A. "Sorgenti luminose e apparecchi illuminanti", MIMEO, Firenze

<sup>5</sup> Un angolo piano viene misurato solitamente in gradi o in radianti. Questo è definito come il rapporto fra la lunghezza dell'arco sul raggio che lo determina  $\alpha = a/r$  ( si ricordi che la misura dell'angolo è indipendente dal raggio). Estendendo questi concetti ad una sfera invece dell'arco di circonferenza individueremo una superficie S che confrontata con  $r^2$  ci dà proprio la definizione di angolo solido come  $\Omega = S/r^2$ . L'angolo solido viene misurato in steradiani [ sr ] ed anche lui è indipendente dal raggio r.

In pratica questa grandezza è molto usata, soprattutto per conoscere la quantità di luce emessa da una sorgente luminosa nell'unità di tempo, e facendo un paragone con l'idraulica, possiamo affermare che questa grandezza è analoga alla quantità di acqua che esce da un rubinetto nell'unità di tempo (la portata).

## 2.2 L'intensità luminosa

Le unità di misura fotometriche si basano su una grandezza fondamentale chiamata intensità luminosa. Questa viene misurata in candele [ cd ] ed è definita nel SI come l'intensità luminosa emessa da un corpo nero alla temperatura di solidificazione del platino (2045°K), in direzione perpendicolare al foro di uscita, quando la sezione di tale foro ha un'area di  $1/600000 \text{ m}^2$ , e ad una pressione di 101325 Pa.

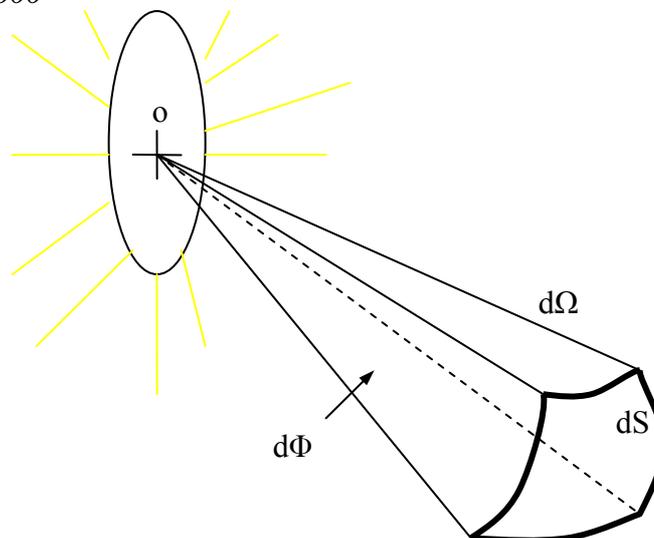
Diamo una visione più chiara di questa grandezza definendo l'intensità luminosa come il rapporto fra il flusso emesso da una sorgente entro un angolo solido e l'angolo solido stesso. Una sorgente luminosa però non emette lo stesso flusso in tutte le direzioni.

Immaginiamo quindi intuitivamente, di scomporre il flusso luminoso emesso in tanti piccoli raggi di luce infinitesimi. Questi generano angoli solidi infinitesimamente piccoli. Con il rapporto fra queste due grandezze si ottiene proprio la grandezza cercata cioè l'intensità luminosa, che espressa in formula sarà data da:

$$I = \frac{d\phi(lm)}{d\Omega(sr)}$$

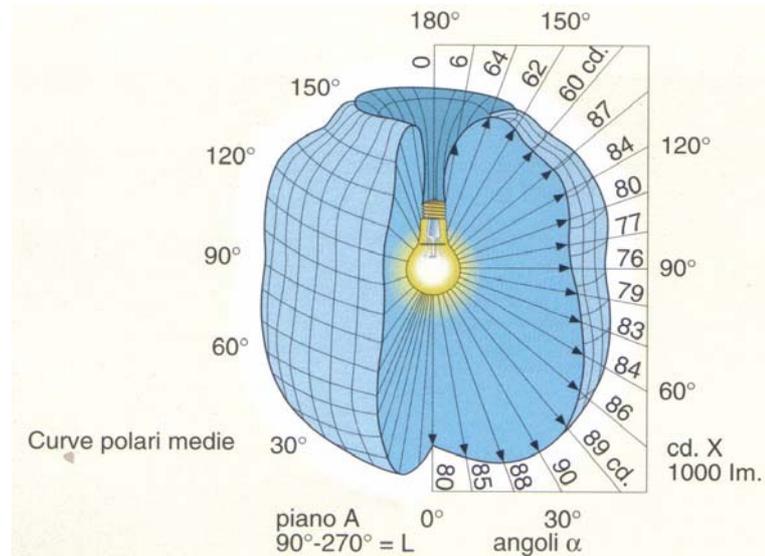
(2.2.1)

**Figura 2.2.1: Intensità luminosa.** Fonte: G.Valdes "Impianti elettrici", Bologna, Calderone ed agricole, 2000



Rappresentando con dei vettori l'intensità luminosa, che partono dall'origine O e si dirigono in ogni direzione dello spazio, si ottiene un diagramma polare (un solido vedi figura sottostante) chiamato "indicatrice fotometrica".

Figura 2.2.2: Solido fotometrico di una lampada ad incandescenza.

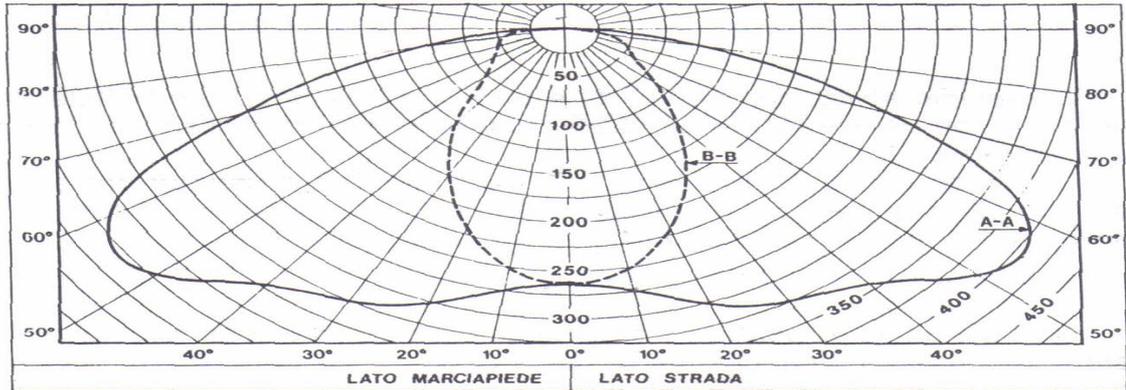


Fonte: Rivista n. 6 "Luce & Design", pagina 12, ottobre 2001, Tecniche Nuove, Milano.

### 2.2.1 L'INDICATRICE FOTOMETRICA

Questo diagramma polare può essere costruito per ogni tipo di apparecchio illuminante, parliamo di apparecchi e non di sorgenti luminose, in quanto le indicatrici fotometriche vengono date dai costruttori, per la lampada comprensiva della sua plafoniera o comunque dell'apparato riflettente (l'indicatrice cambierebbe con un apparato diverso). I costruttori spesso forniscono soltanto alcuni piani significativi ad esempio quello parallelo e passante per l'apparecchio, (curva B-B nella Figura 2.2.3) e quello perpendicolare (curva A.-A).

Figura 2.2.3: Esempio di curva fotometrica.



Fonte: G.Valdes. "Impianti elettrici", Bologna, Calderone ed agricole, 2000

I numeri al centro del diagramma (50, 100, 150...) rappresentano le intensità luminose, mentre quelli sulle ascisse e sulle ordinate (0° ,10° ,20° ,...) sono gradi che indicano la direzione in cui viene presa l'intensità luminosa (in cd).

L'intersezione fra la curva A-A e le semirette uscenti dal punto centrale, punto in cui è posizionato l'apparecchio illuminante, ci danno i valori di intensità luminosa in una determinata direzione. I valori che vengono riportati sulle indicatrici fotometriche non sono dati direttamente in candele, ma in candele su 1000 lumen di flusso luminoso installato; il valore reale di intensità luminosa in una direzione si ottiene moltiplicando i valori letti sulla curva per la quantità di lumen installati effettivamente.

A titolo esemplificativo presa la curva fotometrica riportata in Figura 2.2.3, di un apparecchio illuminante che emette un flusso totale di 2750 lm e presa la direzione di

30°, sulla curva A-A, l'intensità luminosa è data da:  $I = \left( \frac{325}{1000} \right) \cdot 2750 \cong 894 [cd]$ .

### 2.3 L'illuminamento e la luminosità

Un'altra grandezza fondamentale è l'illuminamento (E), che si riferisce ad un flusso luminoso ricevuto perpendicolarmente da una superficie, e la superficie stessa.

Riportando quanto detto in formule abbiamo che:

$$E = \frac{d\phi}{dS}$$

(2.3.1)

Nel sistema internazionale SI si definisce l'illuminamento come: illuminamento prodotto su una superficie di un metro quadrato dal flusso luminoso di un lumen incidente perpendicolarmente.

Il rapporto fra lumen e una superficie ci dà l'unità di misura dell'illuminamento che è il lux ( $lx = lm / m^2$ ).

Da notare che l'illuminamento ad un metro di distanza dalla sorgente luminosa equivale numericamente all'intensità: infatti la superficie in generale vale  $\Omega r^2$ , dove  $\Omega$  rappresenta l'angolo solido del cono di base della superficie  $\Delta S$ , ed  $r$  il raggio della sfera. Possiamo quindi affermare che per  $r = 1$  coincidono  $I = \Phi/\Omega$  ed anche  $E = \Phi/\Omega$ .

Per fare un paragone idraulico possiamo dire che l'illuminamento è analogo alla quantità di acqua che cade in un  $m^2$  di superficie.

La luminosità è molto simile all'illuminamento se non per il fatto che è definita come il flusso luminoso emesso (e non ricevuto) nel semispazio<sup>6</sup> da un'area unitaria di superficie irraggiante. L'unità di misura della luminosità è il Lambert [L] che equivale ad un lumen per centimetro quadrato, riportando il tutto in formule si ottiene:

$$l = \frac{d\phi}{dS} \tag{2.3.2}$$

Questa grandezza è spesso utilizzata per analizzare la luminosità del cielo che viene intesa come il flusso proveniente da un emisfero che finisce entro un'area unitaria.

### 2.3.1 DIPENDENZA DELL'ILLUMINAMENTO DALL'INTENSITA' LUMINOSA E DAL $\cos\alpha$

Un angolo solido è costituito dalla seguente relazione:

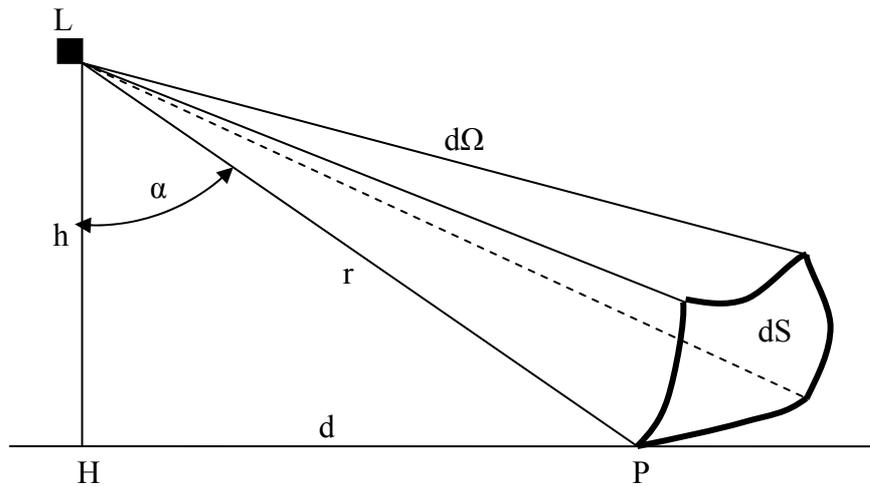
$$\Delta\Omega = \frac{\Delta S}{r^2} \tag{2.3.3}$$

ed è indipendente dal raggio  $r$ .

**Figura 2.3.1: Porzione di una pavimentazione stradale illuminata.**

---

<sup>6</sup> Per semispazio si intende una semisfera.



Fonte: G. "impianti elettrici", Bologna, Calderone ed agricole, 2000

Possiamo anche scrivere la precedente relazione nella seguente maniera:

$$\Delta S = r^2 \cdot \Delta \Omega \quad (2.3.4)$$

Supponiamo adesso di prendere una sorgente luminosa posta su un piano stradale avente centro in L, e considerare una sfera che abbia un raggio pari a LP, dove P rappresenta un punto da illuminare. La direzione del raggio LP forma un angolo con la verticale pari ad  $\alpha$ , e l'intensità luminosa è rappresentata da un vettore che ha origine in L (la sorgente), direzione da L a P, ed un modulo pari a:

$$I = \frac{\Delta \phi}{\Delta \Omega} \quad (2.3.5)$$

con  $\Delta \Phi$  che rappresenta il flusso luminoso dalla sorgente entro l'angolo solido  $\Delta \Omega$ . Questa equazione può essere anche riscritta con la seguente espressione:

$$\Delta \phi = I \cdot \Delta \Omega \quad (2.3.6)$$

Ovviamente dal paragrafo 2.3 risulta che l'illuminamento è dato dalla formula ( 2.3.1) e sostituendo le relazioni ottenute ( 2.3.6) per quanto riguarda il flusso e la ( 2.3.4) per quanto riguarda la superficie si ottiene la seguente espressione:

$$E = \frac{\Delta \phi}{\Delta S} = \frac{I \cdot \Delta \Omega}{r^2 \cdot \Delta \Omega} = \frac{I}{r^2} \quad (2.3.7)$$

Da questa fondamentale relazione si evince che l'illuminamento è direttamente proporzionale con l'intensità luminosa, ma è inversamente proporzionale al quadrato della distanza  $r$  tra il punto illuminato  $P$  e la sorgente  $L$ .

Continuando le nostre considerazioni fra queste grandezze, possiamo osservare che i punti  $L, P$  ed  $H$  formano un triangolo rettangolo da cui si ottiene la seguente relazione:

$$\cos \alpha = \frac{h}{r} \quad (2.3.8)$$

Possiamo anche riscrivere questa relazione come:

$$r = h / \cos \alpha \quad (2.3.9)$$

sostituendo questa equazione nella formula ( 2.3.7) si ottiene:

$$E = \frac{I}{r^2} = \frac{I}{\left(\frac{h}{\cos \alpha}\right)^2} = \left(\frac{I}{h^2}\right) \cdot \cos^2 \alpha \quad (2.3.10)$$

Il vettore dell'intensità luminosa può a sua volta essere scomposto in due componenti, una orizzontale, parallela alla strada, ed una verticale normale al piano stradale rispettivamente avranno dei valori in modulo pari a:

$$\begin{aligned} I_h &= I \cos \alpha = \text{componente verticale} \\ I_d &= I \sin \alpha = \text{componente orizzontale} \end{aligned} \quad (2.3.11)$$

Ai fini dell'illuminamento utile la componente che più ci interessa è naturalmente quella verticale dell'intensità luminosa, quindi possiamo dire che:

$$E_{\text{utile}} = \left(\frac{I_h}{h^2}\right) \cdot \cos^2 \alpha = \left(\frac{I \cos \alpha}{h^2}\right) \cdot \cos^2 \alpha = \left(\frac{I}{h^2}\right) \cdot \cos^3 \alpha \quad (2.3.12)$$

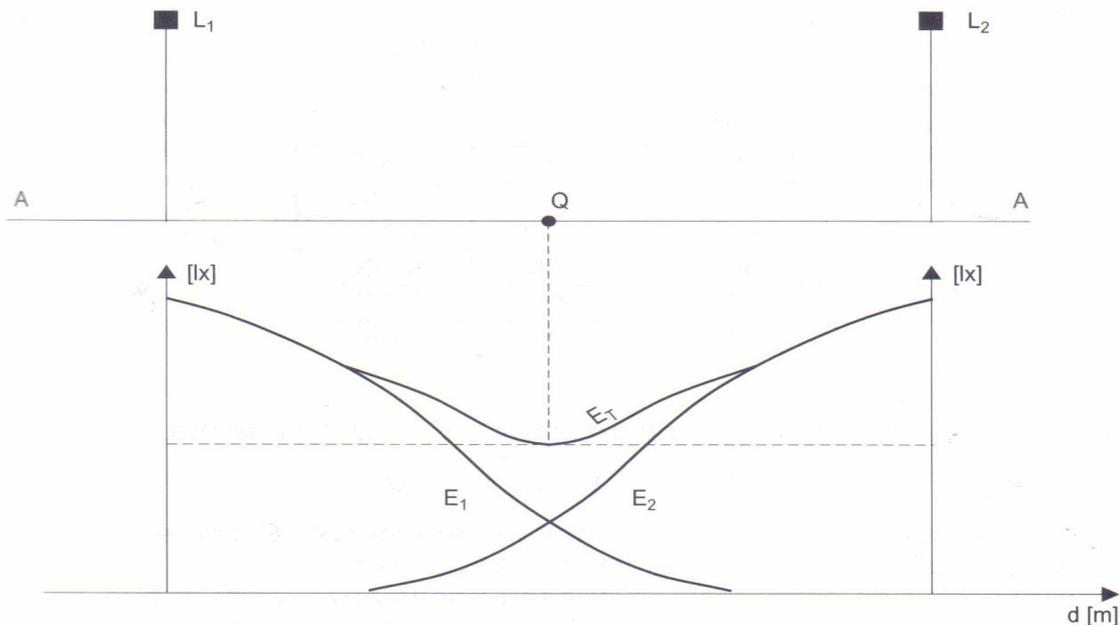
questa è proprio la relazione che cercavamo fra illuminamento e intensità luminosa, che viene anche impiegata nei calcoli degli impianti di illuminazione.

## 2.4 Uniformità di illuminamento

L'uniformità di illuminamento di una superficie, viene definita come il rapporto fra il valore massimo ed il minimo di  $E$ , nei punti rispettivamente più illuminato (perpendicolarmente all'apparecchio) e meno illuminato. L'uniformità dipende da due tipi di fattori molto importanti, quali il tipo di apparecchio illuminante che si adotta, (soprattutto per l'intensità luminosa e di conseguenza la quantità di flusso emessa) e dal rapporto fra l'interdistanza di un apparecchio con l'altro, rispetto all'altezza di montaggio degli apparecchi stessi (ricordiamo che l'illuminamento è inversamente proporzionale al quadrato della distanza, quindi montando in alto le lampade avremo un illuminamento più basso sul piano di lavoro<sup>7</sup>).

In Figura 2.4.1 sotto riportata si mostra come varia l'illuminamento  $E$  di due punti su un piano stradale in funzione della loro interdistanza (questa curva si ripeterebbe se ci fossero più punti luce alla stessa distanza utilizzando gli stessi apparecchi).

Figura 2.4.1: Variazione dell'illuminamento fra due punti luce.



Fonte: G. "impianti elettrici", Bologna, Calderone ed agricole, 2000

Questa curva deve tenere conto delle intensità luminose e degli angoli utili riportati sull'indicatrice fotometrica, di cui un apparecchio illuminante dovrebbe essere dotato. Con tali valori di intensità luminosa, individuati negli angoli appropriati ed utilizzando la già citata formula ( 2.3.12) nonché:

<sup>7</sup> Nel nostro caso il piano di lavoro si riferisce al piano stradale.

$$d = h \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

(2.4.1)

dove:

d = semidistanza fra i due punti luce;

h = altezza a cui è installato l'apparecchio;

$\alpha$  = angolo ( $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ , ...) che si forma fra la verticale di L e i vari punti di analisi per costruire la curva,

si riesce a costruire la curva riportata precedentemente.

Nei punti di intersezione delle due curve, è stato adottato il principio di sovrapposizione degli effetti, infatti possiamo notare che l'illuminamento risultante  $E_T$  è la somma degli illuminamenti  $E_1$  ed  $E_2$  (si è fatta una somma punto per punto delle curve degli apparecchi  $L_1$  ed  $L_2$ ).

Per dare un'illuminazione uniforme, durante la progettazione si dovrebbe garantire un illuminamento minimo nel punto Q, più distante fra i punti luce, non inferiore del 70% dell'illuminamento massimo che si verifica sotto le lampade. Negli ambienti interni l'uniformità dell'illuminamento migliora, anche grazie alla riflessione di parte del flusso luminoso da parte delle pareti.

## 2.5 La brillantezza o luminanza di una sorgente luminosa

La brillantezza (o luminanza) esprime la quantità di flusso luminoso, emesso nell'unità di angolo solido e nella direzione da esso individuata dalla proiezione dell'area su un piano normale alla direzione della luce.

Il Sistema Internazionale ci dice che la luminanza, è la caratteristica di una superficie di un metro quadro di emettere (o riflettere) in direzione perpendicolare, radiazioni con intensità luminosa pari a una candela. L'unità di misura della brillantezza è il nit [nt], che è

dato da:  $\operatorname{nit} = \frac{\operatorname{lm}}{\operatorname{m}^2 \cdot \operatorname{sr}} = \frac{\operatorname{cd}}{\operatorname{m}^2}$  e per quanto detto precedentemente si rappresenta

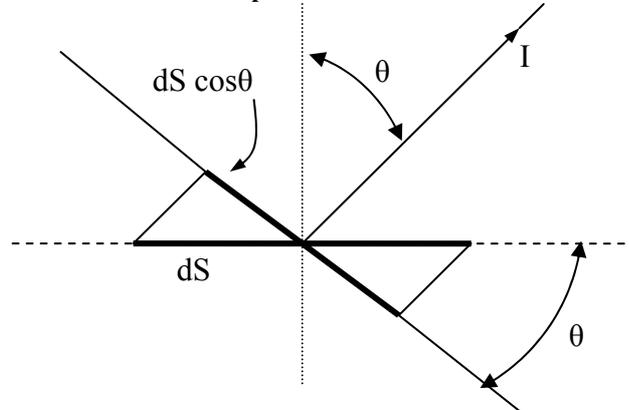
matematicamente nella seguente maniera:

$$b = \frac{d\phi}{d\Omega \cdot dS \cdot \cos \theta} = \frac{dI}{dS \cdot \cos \theta}$$

(2.5.1)

dove il prodotto  $dA \cdot \cos\theta$  dà la direzione in cui è diretto il flusso come possiamo notare dalla figura sotto riportata e che ci può chiarire un po' le idee su quanto detto.

Figura 2.5.1: Proiezione dell'elemento di superficie a 90° dalla direzione dell'intensità luminosa.



Fonte: Tucci M. "Illuminazione: ergonomia, sicurezza e confort visivo", MIMEO, Firenze, 2003.

Una sorgente luminosa che emette la stessa intensità luminosa (e quindi lo stesso flusso) può apparire all'occhio umano più o meno luminosa in funzione della superficie apparente.

Facendo un esempio più pratico considerando una lampada da 60W che emette 750 lm con una intensità luminosa di 58 cd; se il vetro è chiaro, il filamento ha una superficie di circa  $5 \text{ mm}^2$  cioè  $5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ , la luminanza sarà:  $b = 58 / 5 \cdot 10^{-6} = 11600000 \text{ nit}$ ; se la lampada è contenuta da un globo avente diametro 20 cm e superficie di  $0,0314 \text{ m}^2$  la luminanza scende a 1847 nit.

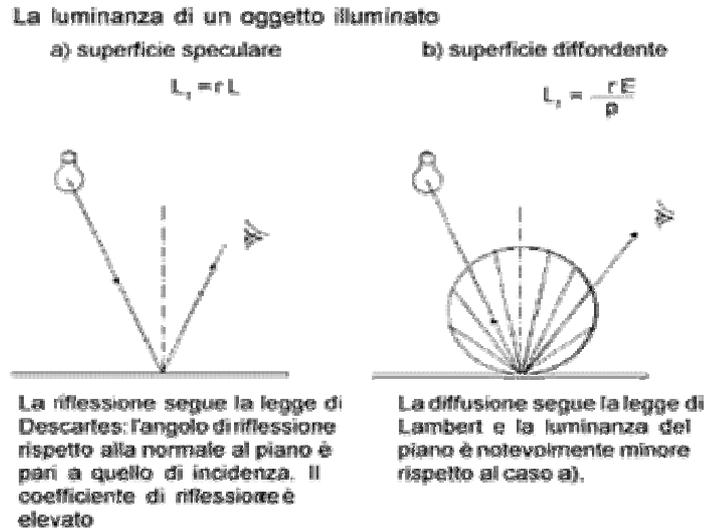
Il concetto di luminanza può essere anche esteso agli oggetti illuminati ed in questo caso dobbiamo però analizzare il modo di riflessione dell'oggetto. Se la riflessione è di tipo speculare la luminanza riflessa è pari a quella della sorgente e segue le leggi dell'ottica geometrica (ad esempio la riflessione di uno specchio) per cui possiamo scrivere che:

$b' = \rho \cdot b$  dove  $\rho$  è un coefficiente di riflessione pari a 0,9 – 0,95 e "b" la luminanza sorgente. Se la riflessione è di tipo diffondente o semi-diffondente si segue un altro tipo di legge (legge di Lambert) in cui un punto della superficie diffondente con illuminamento E presenta una luminanza data dalla relazione:  $b' = \frac{\rho \cdot E}{\pi}$  dove  $\rho$  è un

coefficiente di riflessione che varia fra i valori 0,8 e 0,1 in funzione del colore dell'oggetto che riflette la luce. La riflessione di tipo diffuso, è quella che si manifesta

in cielo e di cui bisogna tenere di conto quando si vanno a fare rilevazioni, della brillantezza notturna.

Figura 2.5.2: metodi di riflessione della luce e relative leggi fisiche.



Fonte: Scarpino P.A. "Sorgenti luminose e apparecchi illuminanti", MIMEO, Firenze

Il fenomeno della riflessione, introduce in via generale quello dell'abbagliamento, che è un fastidioso disturbo dovuto alla differenza di luminanza fra una sorgente luminosa e quella media del campo visivo.

***PARTE II*** NORME E LEGGI REGIONALI IN MATERIA DI  
INQUINAMENTO LUMINOSO

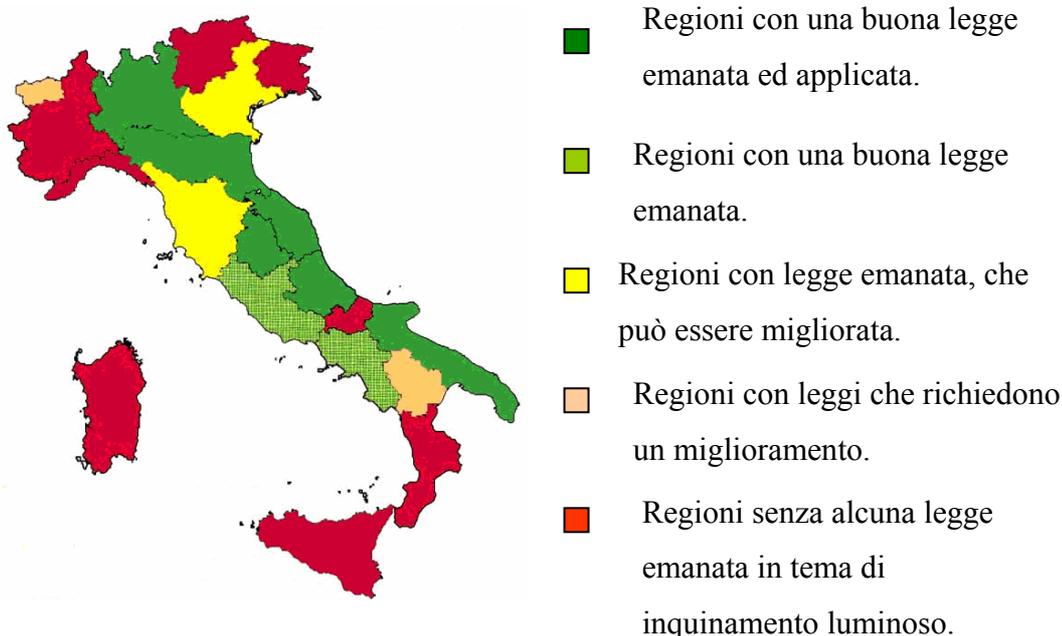
### 3 CAPITOLO: NORME E LEGGI REGIONALI IN MATERIA DI INQUINAMENTO LUMINOSO

#### 3.1 Premessa sulle leggi e norme prese in esame

Per trattare l'argomento dell'inquinamento luminoso, non si può fare a meno di prendere in esame quella che è l'attuale situazione normativa e legislativa in Italia. Essendo sprovvisti di una legge quadro a livello nazionale che affronti adeguatamente questo argomento, e di fronte ad un problema che nel tempo sta assumendo sempre più interesse, gli organismi normativi e legislativi in materia, quali la commissione UNI "Luce e illuminazione" e le regioni, hanno espresso i propri pareri, emanando così una larga documentazione. Da una comparazione tra le norme e le leggi regionali esistenti si sono rilevate tra di loro diversità ed incongruenze, sia a livello di approccio al tema dell'inquinamento luminoso che per quanto riguarda le prescrizioni costruttive degli impianti di illuminazione. Queste differenze si evidenziano in fase di attuazione soprattutto nelle zone di confine tra le regioni. Si hanno infatti zone in cui si devono rispettare forti limitazioni legislative ed altre, spesso a pochi chilometri di distanza, in cui la legislazione è meno restrittiva.

Lo studio delle varie leggi regionali in vigore nonché le differenze emerse nella predetta analisi ci hanno consentito di fare anche un confronto qualitativo tra le varie norme il cui risultato è riportato nella sottostante cartina.

Figura 3.1.1: Stato legislativo nazionale. Fonte: Dal sito "[www.inquinamentoluminoso.it](http://www.inquinamentoluminoso.it)"



I criteri con cui siamo andati ad analizzare la qualità delle leggi regionali, non si sono fermati soltanto all'approccio del documento con l'inquinamento luminoso. La classificazione è stata fatta anche in base a una serie di disturbi collegati a questo problema: il confort visivo, l'inquinamento ottico, l'abbagliamento. Sono state prese in considerazione anche tutta una serie di tematiche a livello ecologico come la salvaguardia dei ritmi circadiani<sup>8</sup> e degli ecosistemi naturali, e socio-culturale come gli studi astronomici.

Sulla base delle considerazioni fatte secondo i citati criteri abbiamo così classificato le varie legislazioni regionali evidenziate nella cartina di figura 3.1.1 :

- con il colore verde le regioni che affrontano una quantità maggiore di argomenti e che cercano di far applicare la legge;
- con il verde chiaro le regioni, che hanno una buona argomentazione in materia di inquinamento luminoso, ma che ancora devono migliorarne l'applicazione;
- con il giallo le regioni con una legislazione che può essere migliorata con periodi di applicabilità medio-lunghi;
- con il rosa quelle regioni che già a livello di legge hanno molte lacune in materia, oltre a quelle a livello applicativo;
- le regioni in rosso infine non hanno una legge che parli di inquinamento luminoso e quindi attuano solo le direttive dettate dalla norma.

La norma a cui si fa riferimento e che tratta il nostro tema è la UNI 10819 "Impianti di illuminazione esterna; requisiti per la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso". Per quanto riguarda invece i livelli minimi di illuminazione delle strade, faremo riferimento anche ad altre norme, quali la UNI 10439 "Requisiti illuminotecnica delle strade con traffico motorizzato" e la norma tedesca DIN 5044 in alcune delle sue parti.

Vediamo adesso le scelte e le motivazioni su cui ci siamo basati per fare un confronto fra le varie leggi regionali:

---

<sup>8</sup> L'alternanza fra il giorno e la notte, cioè fra la quantità di ore di luce o di buio durante le stagioni è detta ciclo circadiano.

1) La legge regionale Toscana ci interessa geo-politicamente perché ha come oggetto un'analisi dell'inquinamento luminoso con particolare attenzione a questa regione. Le leggi che prenderemo in esame sono le seguenti:

- **Legge della Regione Toscana del 21 marzo 2000, n. 37**  
"Norme per la prevenzione dell'inquinamento luminoso".
- **Legge della Regione Toscana del 24 febbraio 2005, n. 39**  
"Disposizioni in materia di energia".
- **Delibera della Giunta Regionale del 27 settembre 2004, n 962**  
"Linee guida per la progettazione, l'esecuzione, e l'adeguamento degli impianti di illuminazione esterna".

La legge n. 37/00 è stata abrogata dalla legge n 39/05, che nell'articolo 42 "abrogazione di disposizioni regionali e disapplicazione di disposizioni statali", al comma 1 dice che: " (...omissis...) dall'entrata in vigore della presente legge cessano di avere applicazione nella Regione Toscana, per gli impianti di competenza della Regione e degli enti locali, le seguenti disposizioni statali: " il comma 2, lettera c) recita: " Legge regionale 21 marzo 2000, n 37 (norme per la prevenzione dell'inquinamento luminoso), (...omissis...) ".

La legge 39/05 detta disposizioni in materia di energia ed in questo contesto prende in esame anche l'inquinamento luminoso agli articoli 34, 35, 36 e 37. La nuova legge ricalca la n 37/00 sia nell'approccio al tema dell'inquinamento luminoso che negli indirizzi normativi per limitarlo tanto che alcune parti sono ripetute nei contenuti. Per questi motivi in molti dei testi consultati per eseguire questa trattazione si fa ancora riferimento alla vecchia legge regionale. Abbiamo pertanto ritenuto opportuno prendere anche noi in considerazione il testo della legge 37/00, per dare una visione più ampia di come viene trattato il tema dell'inquinamento luminoso.

2) La legge regionale della Lombardia è stata una fra le prime leggi ad affrontare in modo serio e completo il tema della dispersione della luce insieme ai problemi ad esso correlati. Sono questi i motivi che ci hanno indotto a sceglierla per sviluppare le nostre considerazioni.

In particolare le leggi prese da noi in esame sono state le seguenti:

- **Legge della Regione Lombardia del 27 marzo 2000, n 17**  
"Misure urgenti in tema di risparmio energetico ad uso di illuminazione esterna e di lotta all'inquinamento luminoso".
- **Delibera della Giunta Regionale del 11 dicembre 2000, n 7/2611**  
"Aggiornamento dell'elenco degli osservatori astronomici in Lombardia e determinazione delle relative fasce di rispetto".

- **Delibera della Giunta Regionale del 20 novembre 2001, n 7/6162**  
“Criteri di applicazione della L.R. n 17 del 27/03/00”.
- **Legge Regionale del 21 dicembre 2004, n 38**  
“Modifiche ed integrazioni alla L.R. n 17 del 27/03/00 ed ulteriori disposizioni”.
- **Legge Regionale del 20 dicembre 2005, n 19**  
“Disposizioni legislative per l’attuazione del documento di programmazione economico finanziaria regionale”.

Per completezza nella motivazione della nostra scelta vogliamo far notare come molte delle regioni che in figura 3.1.1 abbiamo colorato in verde, e che dispongono quindi di una buona legge sull’inquinamento luminoso, si sono riferite proprio alla normativa della regione Lombardia. Riteniamo che altrettanto dovrebbero fare anche quelle che ne sono attualmente sprovviste.

3) Infine come riferimento per le regioni che non hanno una propria legislazione in materia di inquinamento luminoso, andremo a fare un confronto anche con la norma UNI 10819. Questa norma a nostro avviso andrebbe migliorata, in quanto in alcune delle sue parti a volte è molto permissiva. Se si deve affrontare il problema dell’inquinamento luminoso in maniera efficace, non riteniamo che questo sia lo strumento giusto per cercare di risolverlo.

Il nostro lavoro svilupperà un confronto fra la norma UNI e le leggi regionali sopra citate prendendo in esame alcuni aspetti qualificanti il tema in esame come: le finalità delle norme, dove, come e quanto illuminare, le prescrizioni costruttive.

### **3.2 Perché illuminare?**

La luce “artificiale” su scala urbana è un fatto molto recente. Prima e per decine di secoli, nei villaggi la notte era buia, poche fiaccole ed in seguito qualche lanterna nei passaggi da controllare.

Tutto era naturale, durante la notte le attività si fermavano e nessuno si poneva il problema della qualità della luce. Nella seconda metà del diciannovesimo secolo spinti dalla necessità di aumentare la sicurezza dei cittadini si è iniziato in modo sistematico ad illuminare le città. Le prime realizzazioni, e per poche città, furono fatte con lampade a gas, con le comprensibili difficoltà di gestione. Sarà solo con l’arrivo della luce elettrica che la rete della pubblica illuminazione potrà essere costruita su larga scala. In

particolare dal dopoguerra in poi si è assistito ad un aumento esponenziale (anche grazie alla maggiore quantità di risorse disponibili) di punti luce per l'illuminazione esterna.

Una volta risolto il problema della quantità però si è presentato quello della qualità. Infatti da questa crescita hanno avuto origine problemi come l'inquinamento luminoso, alti costi energetici e di gestione. E' nata allora la necessità di affrontare questi problemi sia dal punto di vista tecnico con la ricerca di materiali in grado di sfruttare al meglio l'energia e la luce a disposizione che dal punto di vista normativo per migliorare la qualità delle nuove realizzazioni proponendo soluzioni idonee a risolvere i citati problemi. E' così che la commissione UNI ed anche le regioni si sono occupati della materia ed hanno emanato norme e leggi in proposito.

Come già abbiamo avuto modo di affermare, l'argomento non è stato affrontato in modo univoco e pertanto riteniamo utile ai fini della nostra trattazione fare un confronto tra alcune leggi e la normativa UNI.

### 3.2.1 FINALITA'

Iniziamo il confronto prendendo in esame quello che, di solito, è l'inizio di ogni legge o norma: lo scopo per cui è stata emanata.

Nella norma UNI 10819 si cita come scopo:

“ La presente norma prescrive i requisiti degli impianti di illuminazione esterna, per la limitazione della dispersione verso l'alto di flusso luminoso proveniente da sorgenti di luce artificiale (...omissis...).

Essa non considera la limitazione della luminanza notturna del cielo dovuta alla riflessione delle superfici illuminate o a particolari condizioni locali, quali l'inquinamento atmosferico.

La presente norma si applica esclusivamente agli impianti di illuminazione esterna, di nuova realizzazione (...omissis...) “.

In questa prima parte si focalizza l'attenzione sul problema del flusso luminoso inviato verso l'alto da impianti di illuminazione esterna. Nel seguito vengono poi citati i fattori che la norma trascura nel calcolo dell'illuminazione diretta verso il cielo ovvero la riflessione della luce da parte di muri e strade, (riflessione indiretta), nonché particolari condizioni di inquinamento atmosferico. Mentre riteniamo la riflessione indiretta un elemento irrilevante la sospensione di particelle inquinanti nell'aria in concentrazioni elevate possono aumentare in modo non trascurabile l'inquinamento luminoso. Infatti la

presenza di pulviscolo (umidità, polvere, smog, ecc) e di aerosoli<sup>9</sup> nell'aria aumentano la quantità di luce riflessa verso il basso ostacolando la visione notturna del cielo. Riducendo l'inquinamento atmosferico la quantità di particelle in sospensione nell'aria diminuirà consentendo una visione più nitida della volta celeste.

A livello nazionale la norma dà gli elementi base a cui dobbiamo riferirci per progettare e installare impianti conformi alla regola dell'arte (secondo la legge n 186/68).

Vediamo adesso, nel dettaglio, quali sono le indicazioni circa lo scopo della L.R. Toscana n 37/00:

Nell'Articolo 1 al comma 1 si recita:

” La presente legge prescrive misure per la prevenzione dell'inquinamento luminoso sul territorio regionale, al fine di tutelare e migliorare l'ambiente, di conservare gli equilibri ecologici nelle aree naturali protette (...omissis...) di promuovere le attività di ricerca e divulgazione scientifica degli Osservatori Astronomici. ”

Nel presente articolo si pone attenzione non solo al tema della riduzione dell'inquinamento luminoso, ma anche sull'importanza culturale dell'attività astronomica, che come tale deve essere tutelata. Sia la legge 37/00 che la 39/05 non prendono minimamente in considerazione il risparmio energetico derivante dalla lotta all'inquinamento luminoso.

A differenza della norma UNI 10819 viene preso in considerazione anche il problema ecologico che, l'inquinamento luminoso, porta sugli ecosistemi naturali nelle aree protette.

La legge Toscana 39/05 cita all'articolo 2, comma 1:

“ La Regione opera nel quadro delle politiche europee e nazionali per i seguenti obiettivi: “ e alla lettera h) riporta: “ h) prevenzione e riduzione dell'inquinamento luminoso (...omissis...) “.

Questa legge aggiunge rispetto alla precedente l'obiettivo di riduzione della luce dispersa verso l'alto e non soltanto la prevenzione dall'inquinamento luminoso

La L.R. Lombardia n 17/00 invece introduce all'articolo 1, comma 1 le seguenti finalità:

“ Sono finalità della presente legge:

- a) la riduzione dell'inquinamento luminoso ed ottico sul territorio regionale attraverso il miglioramento delle caratteristiche costruttive e dell'efficienza degli apparecchi, l'impiego di lampade a ridotto consumo

---

<sup>9</sup> Nell'atmosfera sono in sospensione particelle liquide, solide o miste che vengono chiamate appunto *aerosoli*.

- ed elevate prestazioni illuminotecniche e l'introduzione di accorgimenti antiabbagliamento;
- b) la razionalizzazione dei consumi energetici negli apparecchi di illuminazione, in particolare da esterno, l'ottimizzazione dei costi di esercizio e di manutenzione degli stessi;
- c) la riduzione dell'affaticamento visivo e il miglioramento della sicurezza per la circolazione stradale;
- d) la tutela delle attività di ricerca scientifica e divulgativa degli osservatori astronomici ed astrofisici, professionali e non, di rilevanza nazionale, regionale o provinciale e di altri osservatori individuati dalla Regione;
- e) la conservazione e la tutela degli equilibri ecologici sia all'interno che all'esterno delle aree naturali protette. ”

Già a partire dal primo articolo, si nota che la presente legge, affronta il tema dell'inquinamento luminoso in modo più completo rispetto a quelle citate precedentemente. Vengono estesi ed espressi dei concetti meno noti e visibili, ma che sono strettamente legati all'argomento in questione. A differenza della legge fatta in Toscana e della UNI 10819, si parla di confort visivo per migliorare la sicurezza stradale e di ottimizzazione degli impianti. In questa legge si è dato uno sguardo più ampio a quello che è il problema, non soffermandosi soltanto sui temi del risparmio energetico e la protezione del cielo notturno. Infatti i parchi naturali vengono protetti dall'inquinamento luminoso non soltanto al loro interno ma anche all'esterno, garantendo così una maggiore vivibilità all'ecosistema.

Come possiamo vedere da questa prima parte, il tema trattato può essere molto complesso e se viene analizzato più approfonditamente ci accorgiamo che gli argomenti su cui operare sono molti e non sempre di semplice interpretazione.

### 3.2.2 DEFINIZIONI

Le definizioni cui una norma o una legge fanno riferimento sono molto importanti, in quanto identificano e spiegano con precisione l'argomento che in seguito verrà trattato.

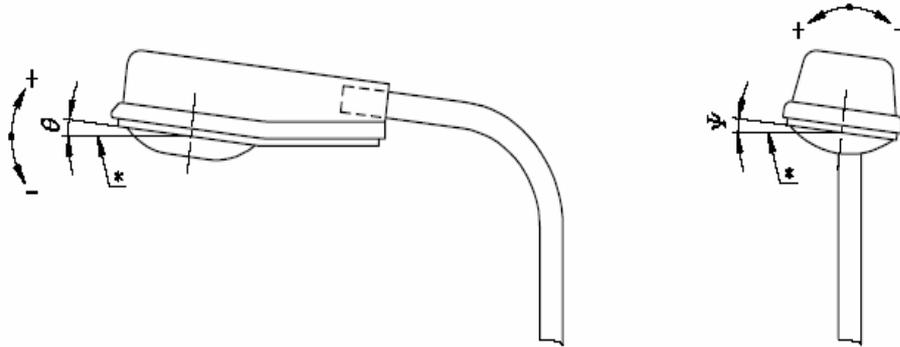
Le leggi che abbiamo preso in considerazione, si soffermano nelle definizioni principalmente sugli argomenti che andranno a trattare. La norma invece prende in esame le grandezze che utilizzerà in seguito per arrivare ai propri obiettivi.

In particolare nella norma UNI 10819 vengono definiti i concetti principali di:

- **luminanza notturna del cielo**: luminanza notturna risultante dalla riflessione della luce da parte dei componenti atmosferici (gas, aerosoli, polveri) o direttamente emessa verso l'alto dopo la riflessione delle superfici.

- **flusso luminoso disperso**: flusso luminoso che non va ad illuminare le superfici desiderate.
- **flusso luminoso superiore di progetto  $\Phi_{\theta,\psi}$** : flusso emesso da un apparecchio illuminante nel suo emisfero superiore, nelle sue normali condizioni di installazione. Gli angoli  $\theta$  e  $\psi$  sono individuati nella figura sottostante:

Figura 3.2.1: Angoli caratteristici che definiscono la direzione in cui deve essere preso il flusso che è diretto verso il cielo.



\* Traccia del piano orizzontale. Come rappresentato in figura l'angolo  $\theta$  è positivo, l'angolo  $\psi$  è negativo.

Fonte: Norma UNI 10819, marzo 1999

- **rapporto medio di emissione superiore  $R_n$** : in un impianto con  $n$  apparecchi è, il rapporto fra la somma dei flussi luminosi emessi nella parte superiore da tutte le lampade  $\Phi_{\theta,\psi}$  e il flusso totale emesso dall'impianto  $\Phi_{tot}$ . Questa grandezza in formula è definita così:

$$R_n = 100 \cdot \frac{\sum_n \phi_{\theta,\psi}}{\sum_n \phi_{tot}} \quad (3.2.1)$$

Analizzando le definizioni che questa norma dà, si può notare che non viene citato il tema principale dell'inquinamento luminoso. Un accenno di quale è il problema viene menzionato soltanto nello scopo della norma che abbiamo analizzato al paragrafo precedente. Si parla soltanto di una limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso e non di abbattimento dell'inquinamento luminoso e dei problemi ad esso correlati.

Per la L.R. Toscana n 37/00 l'inquinamento luminoso è definito all'articolo 2, comma1:

“ (...omissis...) si intende per "inquinamento luminoso" ogni forma di irradiazione di luce artificiale al di fuori delle aree a cui essa è funzionalmente dedicata e in particolare modo verso la volta celeste “.

Mentre per la legge regionale Toscana n 39/05 si ha:

“ (...omissis...) l'inquinamento luminoso è inteso come ogni forma di irradiazione di luce artificiale al di fuori delle aree a cui essa è rivolta e, in particolar modo, verso la volta celeste “.

La definizione di inquinamento luminoso che viene data dalle due leggi è molto simile. Nella sua semplicità, rende bene l'idea del problema che si deve affrontare con particolare attenzione agli effetti che si hanno sul cielo notturno.

La legge della regione Lombardia invece cita all'articolo 1 bis, comma 1:

“ Ai fini della presente legge si intende:

- a) per inquinamento luminoso, ogni forma di irradiazione di luce artificiale che si disperda al di fuori delle aree cui essa è funzionalmente dedicata e, in particolare, oltre il piano dell'orizzonte;
- b) per inquinamento ottico o luce intrusiva, ogni forma di irradiazione artificiale diretta su superfici o cose cui non è funzionalmente dedicata o per le quali non è richiesta alcuna illuminazione;
- c) per piano dell'illuminazione, il piano redatto dalle amministrazioni comunali per il censimento della consistenza e dello stato di manutenzione insistenti sul territorio amministrativo di competenza e per la disciplina delle nuove installazioni, nonché dei tempi e delle modalità di adeguamento, manutenzione o sostituzione di quelle esistenti;
- d) per osservatorio astronomico ed astrofisico, la costruzione adibita in maniera specifica all'osservazione astronomica a fini scientifici e divulgativi, con strumentazione dedicata all'osservazione notturna;
- e) per fascia di rispetto, l'area circoscritta all'osservatorio la cui estensione è determinata dalla categoria dell'osservatorio medesimo;
- f) per aree naturali protette, gli ambiti territoriali ad elevato valore ambientale e socio-culturale interessati da misure di protezione a valenza nazionale, regionale e locale. ”.

E' evidente come questa legge tratti un maggior numero di argomenti rispetto alle altre ed in modo più esaustivo. Infatti già nella definizione la legge 17/00 considera inquinamento luminoso ogni forma di luce oltre l'orizzonte, e non solo quella verso il cielo come viene detto dalla L.R. 37/00 e dalla L.R. 39/05. Viene poi affrontato il problema dell'inquinamento ottico trascurato invece nelle altre leggi. Un altro aspetto rilevante della legge 17/00 riguarda l'introduzione per le amministrazioni comunali della necessità di redigere un piano riguardante l'illuminazione in modo da tenere sotto controllo lo stato di cambiamento e manutenzione della pubblica illuminazione. Si spiega cosa si intende per osservatorio, e per fascia di rispetto, cioè una zona in cui si

deve prevenire al massimo l'inquinamento luminoso per salvaguardare l'attività svolta da queste strutture. Si pone infine attenzione alle aree naturali protette che vengono parificate come importanza agli osservatori astronomici.

### **3.3 Dove illuminare?**

Rispondere a questa domanda sembrerebbe molto semplice; tutti risponderemmo “dove serve!!!”...come vedremo di seguito la risposta non è così banale come appare. In passato non è stato poi così scontato che ci si ponesse questa domanda e così quando venivano costruiti gli impianti di illuminazione abbiamo illuminato aree come cigli delle strade, facciate di palazzi senza alcun valore artistico o storico, oppure addirittura si finiva (o si finisce) per illuminare il cielo contribuendo così in maniera sostanziale a quel fenomeno che oggi definiamo “inquinamento luminoso”.

L'inquinamento luminoso si propaga anche a grandi distanze dal punto in cui si verifica. Questo fenomeno dipende naturalmente dalla quantità di luce emessa verso il cielo, dalle condizioni atmosferiche, dalle aree che vogliamo prendere in esame. Nella pianura padana ad esempio la conformazione geografica è quella di avere tanti centri di dimensioni medio-piccole sparsi a breve distanza uno dall'altro e alla stessa altezza rispetto al livello del mare. Il risultato è quello di avere una forte brillantezza del cielo diminuendo le possibilità di osservazione della volta celeste.

Per un sito astronomico l'inquinamento luminoso è uno dei problemi maggiori con cui si deve fare i conti. Siccome la dispersione di luce sopra l'orizzonte fa aumentare la brillantezza del cielo, risulta difficile avere una buona visuale dei corpi celesti. Emergono così una serie di problemi a livello culturale, ecologico, sociale ed economico. A livello culturale viene meno il lavoro fatto da molte persone in tema di astronomia, questo impegno di risorse intellettuali ed economiche dovrà essere tutelato. A livello ecologico con l'inquinamento luminoso si va a danneggiare l'ambiente naturale, inteso come disturbo dei ritmi animali e vegetali. Per la fauna infatti viene meno quella distinzione naturale fra la notte e il giorno, mentre per la flora vengono alterati i ritmi di sintesi clorofilliana che avvengono di notte in assenza di luce. Economicamente si hanno sprechi derivanti dall'illuminazione di aree indesiderate del 30% sull'illuminazione totale. Questo significa che su 1 KW di potenza installata 300 Watt (l'equivalente di due lampade da 150W l'una) vengono sprecati per illuminare zone senza alcuna utilità. La

perdita sociale consiste sostanzialmente nella privazione della visione notturna del cielo. Dalla conferenza generale dell'UNESCO il 12/11/97, in coerenza con la Dichiarazione sulle responsabilità delle generazioni future, si afferma che “ le generazioni future hanno diritto a ricevere in eredità una terra in cui le presenti generazioni dovrebbero agire per uno sviluppo durevole, preservando le condizioni della vita e l'integrità dell'ambiente, evitando inquinamenti che potrebbero mettere in pericolo la loro salute e la vita stessa.”.

Inoltre, l'UNESCO nel 1992 ha anche proclamato il cielo stellato, patrimonio naturale dell'umanità.

### 3.3.1 CLASSIFICAZIONE DELLE AREE

Le aree che più risentono degli effetti dell'inquinamento luminoso vengono in genere tutelate dalla legge. Ogni luogo non dovrebbe essere soggetto all'inquinamento luminoso, e in particolare le zone intorno agli osservatori astronomici e i parchi naturali. Questi luoghi vengono circoscritti da delle fasce di rispetto in cui si attuano provvedimenti riguardanti la dispersione della luce descritti al paragrafo 3.4.1.

La norma UNI 10819 cita al primo paragrafo:

“ La presente norma prescrive i requisiti (...omissis...), per la limitazione della dispersione verso l'alto di flusso luminoso (...omissis...), anche al fine di non ostacolare l'osservazione astronomica. “.

Le fasce che vengono individuate dalla norma sono le seguenti:

“ Zona 1: Zona altamente protetta ad illuminazione limitata (per esempio: osservatori astronomici o astrofisici di rilevanza internazionale). Raggio  $r = 5$  km dal centro di osservazione.

Zona 2: Zona protetta intorno alla Zona 1 o intorno ad osservatori a carattere nazionale e/o di importanza divulgativa. Raggio  $r = 5$  km, 10 km, 15 km o 25 km dal centro di osservazione, in funzione dell'importanza del centro.

Zona 3: Territorio nazionale non classificato nelle Zone 1 e 2. “

Vengono quindi individuate 3 zone di diverso raggio a seconda dell'importanza dell'osservatorio. Viene posto un raggio di 5 Km intorno all'osservatorio (individuando la zona 1) e poi aggiunti altri chilometri in base all'importanza del centro di osservazione formando le zone 2 e 3. In base alla distanza dai centri di osservazione i comuni vengono suddivisi a seconda della zona a cui appartengono. Se un territorio comunale fosse diviso in più zone dalle fasce di influenza, si assegna a ciascuna parte la zona di appartenenza, oppure la zona maggiormente protetta viene estesa a tutto il

territorio. Questa parte della norma non trova riscontro con quelli che sono i distanziamenti fatti nelle diverse regioni.

La regione Toscana divide gli osservatori astronomici in due categorie nella legge 39/05, nell'articolo 34, al comma 1 si dice:

“ Sono disposte speciali forme di tutela a favore delle stazioni astronomiche, così classificate:

a) stazioni astronomiche che svolgono attività di ricerca scientifica e di divulgazione scientifica;

b) stazioni astronomiche che svolgono attività di divulgazione scientifica di rilevante interesse regionale o provinciale. “.

La prima categoria di osservatori ha una maggiore importanza rispetto alla seconda, la classificazione delle zone avviene rispettivamente nella seguente maniera; all'articolo 5, comma 1 si recita:

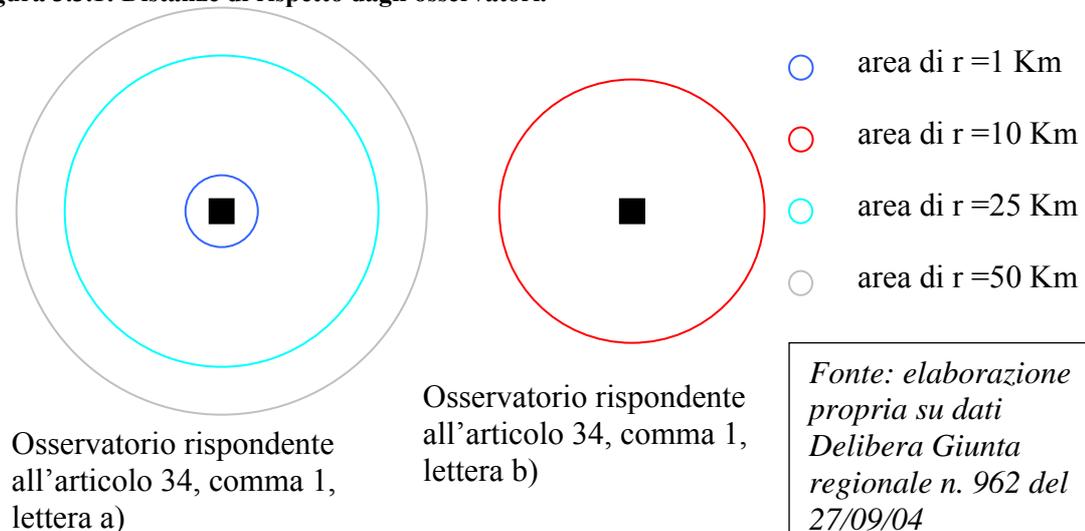
“Attorno a ciascuna delle stazioni astronomiche di cui all'articolo 34 è istituita una zona di particolare protezione dall'inquinamento luminoso avente un'estensione di raggio, fatti salvi i confini regionali, pari a almeno:

a) 25 chilometri per le stazioni di cui all'articolo 34, comma 1, lettera a);

b) 10 chilometri per le stazioni di cui all'articolo 34, comma 1, lettera b). “.

Vengono istituite altre due fasce di rispetto, la prima è menzionata all'articolo 35, comma 2 che dice: ” Entro un chilometro in linea d'aria dalle stazioni di cui di cui all'articolo 34, comma 1, lettera a), (...omissis...) “, la seconda invece all'articolo 35, comma 4 definisce: “ Nella fascia compresa tra il raggio di 25 chilometri ed il raggio di 50 chilometri dalle stazioni di cui all'articolo 34, comma 1, lettera a), (...omissis...) “. Per essere più chiari, nella figura sottostante diamo una rappresentazione grafica della situazione normativa:

**Figura 3.3.1: Distanze di rispetto dagli osservatori.**



L'elenco degli osservatori e la cartografia sulla classificazione delle zone di rispetto, sono compiti a cui la regione ha assolto, coinvolgendo anche i comuni interessati. Tali comuni, in queste fasce dovranno rispettare le prescrizioni che vedremo al paragrafo 3.4.1. Per quanto riguarda i parchi naturali invece, la legge 39/05, all'articolo 34, comma 2 afferma che:

“La Regione, (...omissis...) prevede misure particolari di tutela degli equilibri ecologici nelle aree naturali protette di cui alla legge regionale 11 aprile 1995, n. 49 (Norme sui parchi, le riserve naturali e le aree protette di interesse locale).”.

Si vanno quindi a tutelare anche i parchi naturali nei limiti delle loro aree.

La regione Lombardia nella legge 17/00, dà quelli che sono i luoghi tutelati parificando aree naturali protette con le fasce di protezione degli osservatori, infatti all'articolo 5, comma 1, viene detto:

“Sono tutelati dalla presente legge gli osservatori astronomici ed astrofisici statali, quelli professionali e non professionali di rilevanza regionale o provinciale che svolgano ricerca e divulgazione scientifica, nonché le aree naturali protette di cui alla lettera f) del comma 1 dell'articolo 1 bis.”.

Con un unico articolo viene fatta la classificazione delle fasce e dei vari tipi di osservatori astronomici. All'articolo 5, comma 5 si dice:

“Le fasce di rispetto per le diverse categorie di osservatori, intese come raggio dall'osservatorio considerato, vengono definite come segue:

- a) non meno di 25 chilometri per gli osservatori di rilevanza nazionale;
- b) non meno di 15 chilometri per gli osservatori di rilevanza regionale;
- c) non meno di 10 chilometri per gli osservatori di rilevanza provinciale.”.

Anche in questo caso gli organi competenti della regione quale la Giunta Regionale, redige la lista degli osservatori astronomici e astrofisici menzionata nell'articolo 5, comma 5 della legge 17/00, con la “Delibera della Giunta Regionale del 11 dicembre 2000, n 7/2611” in cui viene fatto l'aggiornamento dell'elenco degli osservatori astronomici in Lombardia e la determinazione delle relative fasce di rispetto.

Per quanto riguardano i parchi naturali e le aree protette, sempre all'articolo 5, comma 7 si definiscono i confini di tali aree:

“Le fasce di rispetto delle aree naturali protette di cui alla lettera f) del comma 1 dell'articolo 1 bis, coincidono con i relativi confini esterni.”.

che rimangono nei confini delle stesse.

Con questo confronto che stiamo facendo, non vogliamo tediare il lettore riportando il valore delle zone di rispetto in cui verranno applicate le prescrizioni del paragrafo 3.4.1, ma mettere in risalto un altro aspetto. La diversità fra i valori che definiscono le fasce possono far operare in maniera errata le persone che definiscono tali aree. Infatti rispettando le aree della norma UNI avremmo delle zone di rispetto diverse da quelle definite dalle leggi regionali. Naturalmente là dove è presente una legge regionale saranno state identificate le fasce di rispetto secondo le prescrizioni di tale legge che meglio tutela le aree protette. Se nella definizione di tali aree sono stati coinvolti anche gli osservatori e il corpo forestale dello stato che gestisce i parchi naturali saranno garantite e rispettate le esigenze di ognuno.

### **3.4 Come illuminare?**

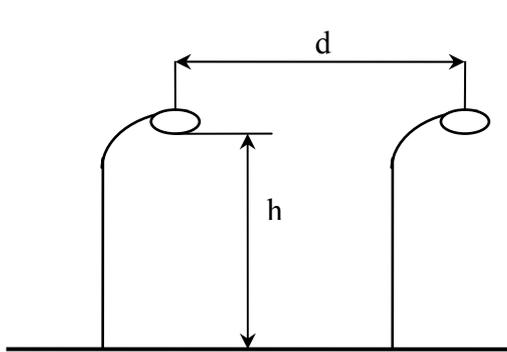
Questa osservazione è basilare nel problema dell'inquinamento luminoso e del risparmio energetico. Nel cercare una risposta a questa domanda siamo arrivati a prendere provvedimenti per gli sbagli compiuti in passato. Le disposizioni che sono state adottate ci hanno portato ad intraprendere un'analisi sui metodi di abbattimento del flusso luminoso rivolto verso il cielo. Per evitare l'inquinamento luminoso, e per quanto riguarda il risparmio energetico, sarebbero sufficienti semplici norme impiantistiche e molti dei problemi sopra citati verrebbero risolti. Queste regole logicamente dovrebbero essere rispettate per tutti i punti luce. Diamo di seguito alcuni semplici consigli progettuali che a nostro avviso permetterebbero di risolvere molti dei problemi citati.

Gli impianti pubblici e privati, di illuminazione esterna, dovrebbero possedere i seguenti requisiti per una efficace ed efficiente illuminazione:

- 1) Ogni impianto di illuminazione esterna dovrebbe rispettare il principio di massima economicità, sia per quanto riguarda l'installazione che per la manutenzione e l'esercizio dello stesso. Il rispetto di questo principio non deve però portare ad installare materiali di qualità scadente anche al fine di garantire la sicurezza.
- 2) Cercare di illuminare sempre verso il basso, parallelamente all'orizzonte, ed evitare fenomeni come l'abbagliamento e l'inquinamento ottico. Illuminare soltanto nelle aree ove necessario, e porre attenzione affinché le sorgenti luminose non inviino il flusso luminoso verso le facciate o all'interno di edifici abitati, onde evitare disturbi di illuminazione indesiderata.

- 3) Si consiglia quindi di installare apparecchi, che nella loro posizione di installazione, abbiano una distribuzione dell'intensità luminosa massima nell'emisfero superiore, di 0 candele per 1000 lumen di flusso totale emesso a 90° ed oltre.
- 4) Per quanto riguarda la scelta degli apparecchi, si devono preferire quelli costituiti da: lampada, ottica trasparente piana con elevati rendimenti di riflessione (rapporto fra il flusso emesso dall'intero corpo illuminante sul flusso emesso dalla lampada) e apparati necessari per il funzionamento della stessa incassati nel vano ottico superiore dell'apparecchio.
- 5) Per un buon risparmio energetico le lampade devono essere di avanzata tecnologia ed elevate prestazioni. Lampade che rispondono a questa esigenza sono del tipo a vapori di sodio ad alta o bassa pressione, anche se hanno bassi valori di resa cromatica. Hanno una larga applicazione nell'illuminazione stradale. Se è necessario l'impiego di una resa cromatica maggiore ad esempio  $R_a > 65$ , come avviene per l'illuminazione di centri storici, monumenti, edifici, campi sportivi, aree di aggregazione, o luoghi adibiti solo ad uso pedonale, si consiglia l'utilizzo di lampade che comunque abbiano un'efficienza luminosa non inferiore a 90 lm/W, e comunque rispondenti ai criteri sopra citati.
- 6) Porre attenzione alla quantità di punti luce che viene installata nell'illuminazione pubblica. Di solito viene usato il rapporto fra l'interdistanza di due centri luminosi e l'altezza a cui questi apparecchi vengono montati.

Questo rapporto in formule è dato da:



$$r = \frac{d}{h} \quad (3.4.1)$$

Figura 3.4.1: Rapporto fra interdistanze e altezza.

Fonte: elaborazione propria

Non vengono consigliati particolari valori di questo rapporto in quanto a nostro giudizio sta al progettista una volta scelta la lampada da installare decidere a che distanza e a quale altezza montare i corpi illuminanti. Bisogna anche tenere presente la quantità di luce che necessita l'illuminazione della strada (e quindi la classe illuminotecnica nella

quale è stata classificata). Consigliamo comunque di seguire i criteri di economicità per avere la massima efficienza e il minimo costo.

7) L'illuminazione di edifici e monumenti deve avvenire preferibilmente ed esclusivamente dall'alto verso il basso con l'impiego di basse potenze installate o comunque regolabili attraverso apparecchi che possono modificare, per determinati orari serali, la quantità di flusso luminoso emesso dalla lampada. E' preferibile lo spegnimento dopo tali orari.

8) Avere a disposizione i dati fotometrici caratteristici dell'apparecchio che andiamo ad installare. Tali dati devono essere forniti dal costruttore e certificati da un ente terzo, ad esempio dall'istituto Marchio di Qualità Italiano (IMQ) che rilascia apposito certificato di laboratorio e che può porre il marchio "performance" sull'apparecchio. Queste curve e tabelle ci permettono di verificare l'effettiva quantità di flusso luminoso che l'apparecchio emette sopra i 90°.

9) Tenere in considerazione quale è l'effettiva posizione in cui viene installato l'apparecchio. In generale le prove di laboratorio che si fanno, per costruire la fotometria, hanno posizione orizzontale. Si possono avere però delle rare eccezioni. Ad esempio se dalla tabella fotometrica vediamo che a 85° tutte le intensità sono pari a 0 cd, abbiamo la possibilità di inclinare ancora l'apparecchio di 5° senza riportare conseguenze. Di solito però i progettisti non fanno mai questo tipo di scelta e preferiscono avere modelli che vengono montati paralleli all'orizzonte.

10) Contenere la luminanza media mantenuta sulle superfici da illuminare e gli illuminamenti nei valori minimi previsti dalle normative tecniche di sicurezza. Essere provvisti di dispositivi per ridurre in determinate ore della notte il flusso luminoso emesso (vedremo nel paragrafo 3.5.2 più in dettaglio).

11) E' fortemente sconsigliato l'utilizzo di fasci di luce roteante o fissi rivolti verso il cielo per qualunque tipo di scopo.

12) Le insegne non dotate di illuminazione propria dovrebbero essere illuminate dall'alto verso il basso come detto al punto 1, le insegne che invece sono dotate di illuminazione propria dovrebbero avere valori di flusso luminoso il più contenuto possibile, con la previsione di spegnimento nelle ore notturne. Non sono consigliati i criteri sopra citati per gli esercizi che svolgono servizi di sicurezza o di pubblica utilità (esempio: vigili urbani, vigili del fuoco, farmacie di turno...).

I vantaggi che si ottengono con questi accorgimenti sugli impianti sono i seguenti: si hanno forti riduzioni di energia impiegata, minor inquinamento luminoso, abolizione dell'abbagliamento, gli apparecchi si sporcano meno, è più facile pulirli, e non ingialliscono, hanno maggiore durata allungando i tempi di manutenzione, hanno una minore perdita di efficienza, si hanno costi notevolmente ridotti.

### 3.4.1 PRESCRIZIONI PER LIMITARE L'INQUINAMENTO LUMINOSO

In questa parte vedremo le differenze sostanziali tra i criteri, che le leggi regionali e la norma UNI, propongono nei propri testi, per affrontare il problema degli accorgimenti da adottare per limitare l'inquinamento luminoso.

La norma UNI 10819 suddivide, innanzitutto gli impianti in diverse categorie ed al paragrafo 4, sezione 4.1 "classificazione degli impianti di illuminazione" così recita:

“Tipo A: Impianti dove la sicurezza è a carattere prioritario, per esempio illuminazione pubblica di strade, aree a verde pubblico, aree a rischio, grandi aree;

Tipo B: Impianti sportivi, impianti di centri commerciali e ricreativi, impianti di giardini e parchi privati;

Tipo C: Impianti di interesse ambientale e monumentale;

Tipo D: Impianti pubblicitari realizzati con apparecchi di illuminazione;

Tipo E: Impianti a carattere temporaneo ed ornamentale, quali per esempio le luminarie natalizie. “.

Con la classificazione del territorio, così come abbiamo trattato al paragrafo 3.3.1, vengono individuati dei metodi di calcolo per determinare i valori del rapporto medio di emissione superiore  $R_n$  e quindi scegliere gli apparecchi illuminanti adeguati per le varie zone di rispetto. Vengono definiti due metodi di calcolo, il primo prende in considerazione il fatto che sia stato redatto da parte del comune un Piano Regolatore dell'Illuminazione Comunale (PRIC), nel secondo invece viene presa in considerazione l'eventualità che il comune non sia in possesso del suddetto piano.

Il primo metodo viene analizzato al paragrafo 5, sezione 5.1 e 5.2 della norma:

#### **5.1) Metodo del rapporto medio di emissione superiore.**

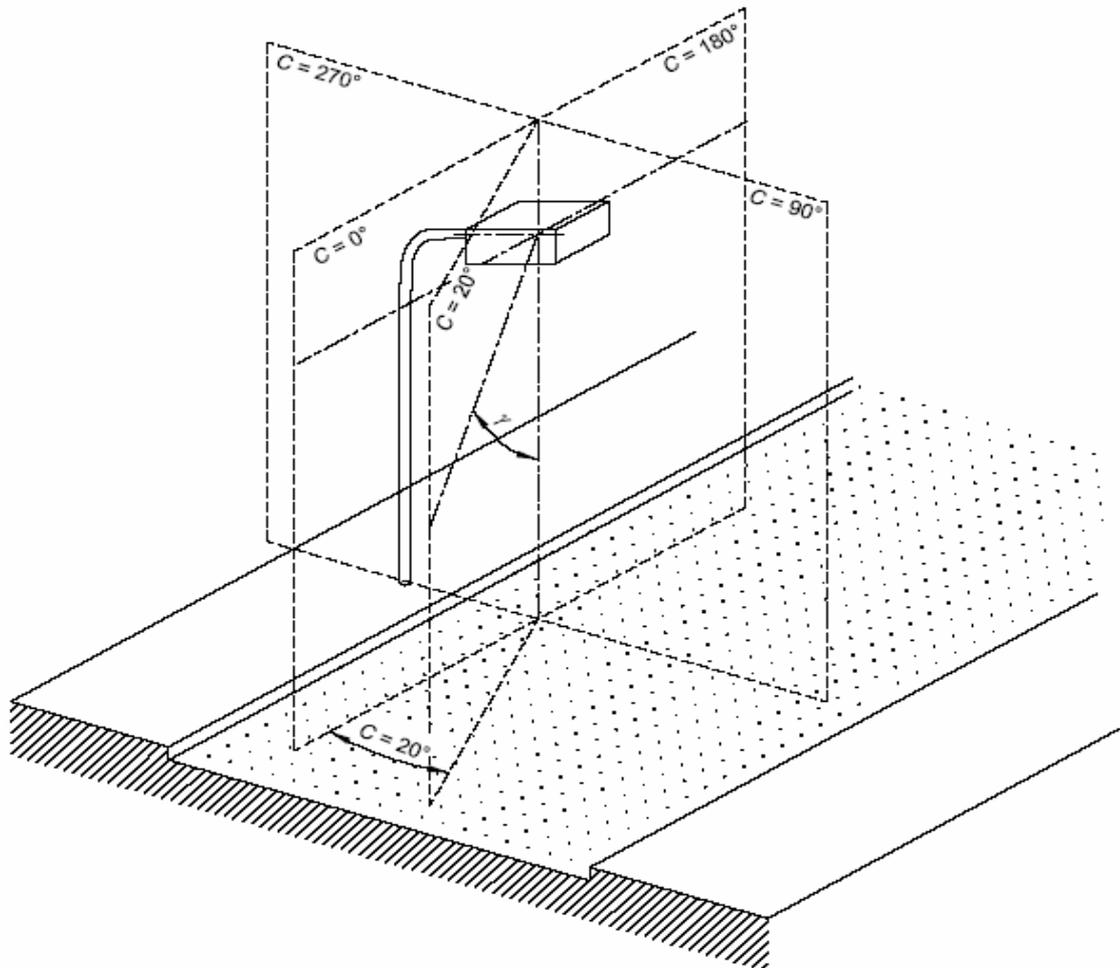
I comuni dovrebbero essersi dotati di un Piano Regolatore dell'Illuminazione Comunale (PRIC) nel quale è definita la gamma di apparecchi luminosi da poter installare e con questi anche il valore massimo del rapporto medio di emissione superiore  $R_n$ . Vediamo adesso come poter calcolare il valore di  $R_n$ . Una volta scelti gli apparecchi da installare

con le tabelle fotometriche messe a disposizione dal costruttore dobbiamo prima calcolare il flusso luminoso superiore di progetto  $\Phi_{\theta,\psi}$  per ogni angolo, che è dato da:

$$\phi_{\phi,\psi} = \sum \Omega_{\gamma} \cdot I_{C,\gamma} \quad (3.4.2)$$

dove  $I_{C,\gamma}$  è l'intensità luminosa riportato sulle tabelle del costruttore, mentre  $\Omega_{\gamma}$  è un coefficiente che varia a seconda dell'angolo fra la verticale della lampada e la direzione che vogliamo prendere in considerazione. Riportiamo qui sotto una figura per capire meglio di quali angoli stiamo parlando (per identificare gli angoli  $\theta$  e  $\psi$  vi rimandiamo alla Figura 3.2.1) :

**Figura 3.4.2: Angoli caratteristici per definire la direzione dell'intensità luminosa presa in esame.**



Fonte: norma UNI 10439, Luglio 2001

Trovato  $\Phi_{\theta,\psi}$  per un angolo, dobbiamo fare la somma dei flussi di tutti gli angoli nella parte superiore dell'apparecchio, in seguito se le lampade sono tutte uguali fare la somma di tutti i flussi dispersi verso l'alto. Se le lampade sono diverse dobbiamo ripetere il calcolo ogni volta. Successivamente fare la somma di tutti i flussi luminosi che gli apparecchi emettono per trovare il flusso totale emesso dall'impianto  $\Phi_{tot}$ . Il rapporto fra queste due grandezze ci darà ciò che cercavamo cioè  $R_n$ . Nella seguente tabella riportiamo i valori che la norma dà a seconda delle zone in cui cade il comune:

**Tabella 3.4.1: Valori massimi di  $R_n$  in % a seconda degli impianti per le varie zone.**

Tipo di impianto	$R_n$ max. %		
	Zona 1	Zona 2	Zona 3
A, B, C, D	1	5	10
E	Non ammessi	Ammessi solo se soggetti ad orario regolamentato	Ammessi

Fonte: norma UNI 10819, marzo 1999

In seguito a questa parte descrittiva del metodo di calcolo la norma aggiunge alcune indicazioni:

“ Nella determinazione del flusso luminoso superiore, a causa della complessità del calcolo, generalmente non si tiene conto di schermature dovute all'ambiente circostante. Tuttavia, qualora sussistano schermature naturali o artificiali in grado di limitare efficacemente il flusso luminoso superiore, nel computo di  $\Phi_{\theta,\psi}$ , relativo a ciascun apparecchio di illuminazione, è consentito dedurre le parti di flusso intercettate dalle suddette schermature, purché la loro sottrazione sia giustificata da un preciso calcolo analitico. “

Riteniamo che la comprensione di questo metodo sia già difficile e che la successiva analisi delle schermature aggiunga altri problemi ai molti calcoli da effettuare.

### 5.2) Metodo delle intensità luminose massime.

Nella norma viene detto che si può fare a meno di utilizzare il precedente metodo in presenza di particolari difficoltà nel calcolo di  $\Phi_{\theta,\psi}$  (come nei casi di illuminazione dal basso verso l'alto, che a nostro parere dovrebbero essere evitati) per l'illuminazione a monumenti o edifici con potenza installata inferiore a 5 KW.

L'impianto infatti è definito conforme a tale norma se i valori di intensità luminosa oltre il contorno della struttura non superano i valori indicati nella tabella alla pagina seguente:

Tabella 3.4.2: Valori di intensità massima consentiti al di fuori della struttura.

Tipo di impianto	Intensità massima nell'emisfero superiore cd/klm		
	Zona 1	Zona 2	Zona 3
A	5	15	30
B	5	30	80
C	5	100	200
D	5	100	200
E	Non ammessi	Ammessi solo se soggetti ad orario regolamentato	Ammessi

Fonte: norma UNI 10819, marzo 1999

Tali impianti non vengono considerati nel calcolo di  $R_n$ .

Questi metodi di calcolo non sono facilmente applicabili sia a livello teorico che pratico in quanto frutto di calcoli che come abbiamo visto non sono molto semplici. A livello di progettazione non vengono usati, in quanto di difficile interpretazione e di possibile errore in fase di montaggio dell'impianto. Installando infatti un apparecchio in modo errato si rischia di vanificare tutti i calcoli fatti in progetto. A livello di verifica invece o non si riesce a misurare sul campo i valori richiesti o si deve fare uso di attrezzature molto complesse e di una elevata abilità operativa.

Il secondo metodo viene descritto nell'appendice C della norma:

**APPENDICE C “Modello di distribuzione degli impianti di illuminazione in assenza di un Piano Regolatore dell'illuminazione Comunale”**

In questa parte viene fatta una ulteriore suddivisione degli impianti elettrici di illuminazione pubblica che sono sul territorio comunale. Gli impianti interessati sono quelli di tipo A che vengono suddivisi in stradali e non stradali (aree a verde pubblico, aree a rischio, grandi aree). In questa appendice della norma infatti viene detto:

“Si ipotizza che il territorio comunale sia servito da impianti di illuminazione di tipo stradale e da impianti di tipo non stradale, secondo le seguenti percentuali:  
 tipo A stradale 65% degli impianti di illuminazione comunali;  
 tipo A non stradale, tipo B, C, D 35% degli impianti di illuminazione comunali. “.

In base a questo modello, i valori massimi di  $R_n$ , in riferimento all'intero territorio comunale possono essere rispettati se, ciascun impianto di illuminazione ha valori del rapporto medio di emissione superiore ( $R_n$ ) più bassi rispetto ai valori riportati nella tabella riportata alla pagina seguente.

Tabella 3.4.3: Valori massimi di  $R_n$ , %, in assenza del PRIC.

Tipo di impianto	$R_n$ %		
	Zona 1	Zona 2	Zona 3
A, stradale	1	3	3
A, non stradale, B, C, D	1	9	23

Fonte: norma UNI 10819, marzo 1999

Il metodo di calcolo del rapporto medio di emissione superiore per un impianto di illuminazione pubblica rimane comunque quello visto precedentemente ai punti 5.1 e 5.2.

Per quanto riguarda le prescrizioni da adottare, la norma non dà particolari indicazioni sugli argomenti che abbiamo visto precedentemente tranne che per l'utilizzo di fasci luminosi fissi o rotanti. Nel paragrafo 4 sezione 4.1 viene detto:

“L’Autorità Competente autorizza l’installazione dei dispositivi che emettono fasci luminosi fissi o roteanti diretti verso l’emisfero superiore con la sola funzione di segnalazione. ”.

Per segnalare cosa?!? Questo non ci sembra proprio il metodo per combattere l’inquinamento luminoso. Inoltre non vengono dati riferimenti sull’angolazione di montaggio degli apparecchi, oppure quali tipi di lampade utilizzare per avere una migliore efficienza dell’impianto. L’unico riferimento che viene fatto per il risparmio energetico è quello di applicare orari regolamentati agli impianti e, durante questi orari, di tenere i livelli di luminanza media mantenuta il più vicino possibile a quelli indicati dalla norma UNI 10439. Non vengono posti limiti di luminanza nelle fasce orarie non sottoposte ad orario regolamentato.

La regione Toscana nella legge n 37/00 dava due indicazioni in cui venivano specificate le prescrizioni richieste e a cui far riferimento per limitare l’inquinamento luminoso. La regione infatti aveva fra i suoi compiti (articolo 3, comma 1, lettera a), quello di emanare un Piano Regionale per la Prevenzione dell’Inquinamento Luminoso in cui si davano precise indicazioni sulle prescrizioni e sui metodi applicativi. In attesa del PRPIL in questa legge venivano dettati i requisiti minimi (articolo 9 e allegato C della suddetta legge) da seguire.

La stesura del PRPIL non è mai stata portata a compimento ed anche le prescrizioni basilari che erano definite nella legge, spesso sono state disattese.

La legge regionale della Toscana n 39/05, come abbiamo detto, si occupa di inquinamento luminoso in un contesto più ampio di disposizioni in materia di energia infatti oltre ad occuparsi di inquinamento luminoso, parla anche di razionalizzazione dell'energia, produzione e trasporto, fonti rinnovabili, ecc. All'articolo 6 prevede che venga redatto il Piano di Indirizzo Energetico Regionale. Questo testo, che deve ancora essere emanato, dovrebbe regolare e programmare tutte le attività svolte in materia di energia.

Per quanto riguarda l'inquinamento luminoso la legge 39/05 prevede la classificazione degli osservatori astronomici con le rispettive fasce di rispetto nonché quali sono le prescrizioni da applicare per ogni impianto pubblico e privato. Della classificazione degli osservatori abbiamo già trattato al capitolo 3.3.1, vediamo quindi le prescrizioni in materia di impianti di illuminazione.

All'articolo 35, comma 2 si recita:

“Entro un chilometro in linea d'aria dalle stazioni di cui all'articolo 34, comma 1, lettera a), sono vietate tutte le sorgenti di luce, che producono qualunque emissione di luce verso l'alto; le sorgenti esistenti non conformi sono sostituite ovvero opportunamente schermate. “.

Nel raggio di un chilometro (circonferenza blu, vedi Figura 3.3.1) dalle stazioni astronomiche più importanti, tutti gli apparecchi relativi ad impianti di illuminazione sia di nuova installazione che quelli già esistenti, da modificare ove necessario, devono essere opportunamente schermati in modo da evitare ogni emissione di luce verso l'alto così come previsto dalla legge.

Nella fascia da un chilometro a 25 Km (fra la circonferenza blu e quella celeste, Figura 3.3.1) per gli osservatori di maggiore importanza e nel raggio di 10 Km (circonferenza rossa in Figura 3.3.1) dagli osservatori di minore importanza la legge 39/05 all'articolo 35, comma 3, prevede:

“ (...omissis...) è vietato, per le nuove installazioni, ai soggetti pubblici e privati l'impiego di fasci di luce di qualsiasi tipo e modalità, fissi e rotanti, diretti verso il cielo o verso superfici che possono rifletterli verso il cielo. Per gli impianti già in esercizio (...omissis...), il divieto si applica con modalità e tempi definiti dal PIER. “.

Viene vietato, per le nuove installazioni, ogni fascio di luce diretto verso il cielo, mentre per quelle già esistenti sarà il PIER a stabilire i modi ed i tempi per le modifiche da effettuare in modo da evitare l'inquinamento luminoso.

Per gli osservatori di maggiore importanza, nella fascia compresa fra i raggi di 25 Km e quella di 50 Km all'articolo 35, comma 4 viene detto:

“ (...omissis...) i fasci di cui al comma 3 dovranno essere orientati ad almeno novanta gradi dalla direzione in cui si trovano i telescopi. “.

Tutti gli apparecchi di illuminazione ricadenti in questa fascia dovranno essere posizionati a 90° dalla direzione in cui sono puntati i telescopi degli osservatori. Siccome gli osservatori possono modificare la posizione dei loro strumenti, per non sbagliare invitiamo all'uso di corpi illuminanti montati orizzontalmente.

L'articolo 37 ai commi 1 e 2 ci dice che fino a che non sarà entrato in vigore il PIER tutti i comuni dovranno adottare e promuovere l'adeguamento per la progettazione, la realizzazione e la gestione degli impianti pubblici e privati secondo i criteri tecnici indicati nell'allegato A della presente legge.

Di seguito riportiamo cosa dice l'allegato A della legge 39/05:

“ Criteri tecnici per la progettazione, realizzazione e gestione di impianti di illuminazione esterna:

1. Impegnare preferibilmente sorgenti luminose a vapori di sodio ad alta pressione o con efficienze luminose equivalenti o superiori; possono essere utilizzati altri tipi di sorgenti dove è assolutamente necessaria la corretta percezione dei colori;
2. Per le strade con traffico motorizzato, selezionare ogni qualvolta ciò sia possibile, i livelli minimi di luminanza ed illuminamento consentito dalle normative UNI 10439 o dalla norma DIN 5044.
3. Evitare per i nuovi impianti l'adozione di sistemi di illuminazione a diffusione libera o diffondenti o che comunque emettano un flusso luminoso nell'emisfero superiore eccedente il 3 per cento del flusso totale emesso dalla sorgente.
4. Limitare l'uso di proiettori ai casi di reale necessità, in ogni caso mantenendo l'orientazione del fascio verso il basso, non oltre i sessanta gradi (60°) dalla verticale.
5. Adottare sistemi automatici di controllo e riduzione del flusso luminoso, fino al 50 per cento del totale, dopo le ore 22 o dopo le ore 23 nel periodo di ora legale, e adottare lo spegnimento programmato totale degli impianti ogni qualvolta ciò sia possibile, tenuto conto delle esigenze di sicurezza.
6. Impiegare, laddove tecnicamente possibile, impianti che rispondano ai contenuti delle “Linee Guida per la progettazione, l'esecuzione e l'adeguamento degli impianti di illuminazione esterna” di cui alla deliberazione di Giunta regionale 27 settembre 2004, n. 962. ”.

Come base di principio possiamo dire che i punti sopra citati, anche se semplici, possono essere un positivo inizio al fine di un risparmio energetico e una buona prevenzione dell'inquinamento luminoso. Siamo un po' scettici per quanto viene detto ai punti 3, 4 in quanto si dovrebbe vietare a nostro avviso la possibilità di emettere forti

quantità di luce sopra l'orizzonte. Per un maggiore approfondimento delle linee guida citate al punto 6 rimandiamo il lettore al paragrafo 3.4.3 "DELIBERE N. 962 REGIONE TOSCANA E N. 7/6162 REGIONE LOMBARDIA" in cui vengono spiegate più dettagliatamente gli indirizzi tecnici che vengono dati. A conclusione di questo paragrafo vogliamo sottolineare uno dei punti deboli di questa legge quale la mancata prescrizione di precisi tempi di intervento entro cui effettuare le modifiche sugli impianti esistenti. Questo ci porta a dire che gli effetti di questa legge, se non verrà modificata, si vedranno in periodi di tempo medio-lunghi.

La regione Lombardia prende in considerazione molti aspetti di come devono essere realizzati gli impianti nelle fasce di rispetto. Questo avviene anche in considerazione del fatto che sono esaminati molti aspetti relativi all'inquinamento luminoso e al risparmio energetico. Andiamo ad analizzare quali sono le prescrizioni in queste aree ed in seguito vedremo quali accorgimenti questa legge prevede per la progettazione e la realizzazione di impianti di illuminazione esterna. L'articolo che ci interessa della legge 17/00 è il numero 9 "disposizioni relative alle fasce di rispetto" e nel suo primo comma detta i tempi di aggiornamento degli impianti dicendo:

"La modifica e la sostituzione degli apparecchi per l'illuminazione, secondo i criteri indicati nel presente articolo, è effettuata entro e non oltre il 31 dicembre 2007; a tal fine, qualora le norme tecniche e di sicurezza lo permettano, si procede in via prioritaria all'adeguamento degli impianti con l'impiego di apparecchi ad alta efficienza e minore potenza installata. "

Non vengono imposte particolari prescrizioni in quanto gli impianti di illuminazione esterna come vedremo in seguito saranno tutti progettati e realizzati con i criteri di abbattimento degli sprechi di energia e dell'inquinamento luminoso. Nei commi successivi si prende in considerazione l'illuminazione effettuata da parte di privati, nella riduzione del flusso luminoso di alcuni tipi di sorgenti luminose particolarmente inquinanti. Ai commi 2, 3, 4, viene detto:

"2. Per l'adeguamento degli impianti luminosi di cui al comma 1, i soggetti privati possono procedere, in via immediata, all'installazione di appositi schermi sulla armatura, ovvero alla sola sostituzione dei vetri di protezione delle lampade, nonché delle stesse, purché assicurino caratteristiche finali analoghe a quelle previste dal presente articolo e dall'articolo 6.

3. Per la riduzione del consumo energetico, i soggetti interessati possono procedere, in assenza di regolatori del flusso luminoso, allo spegnimento del 50 per cento delle sorgenti di luce entro le ore ventitré nel periodo di ora solare e entro le ore ventiquattro nel periodo di ora legale. (...omissis...).

4. Tutte le sorgenti di luce altamente inquinanti già esistenti, come globi, lanterne o similari, devono essere schermate o comunque dotate di idonei dispositivi in grado di contenere e dirigere a terra il flusso luminoso comunque non oltre 15 cd per 1000 lumen a 90° ed oltre, nonché di vetri di protezione trasparenti. (...omissis...). “.

Per quanto riguarda altri apparecchi illuminanti come faretti, torri faro e riflettori spesso molto inquinanti, verranno presi in esame nella sezione riguardante le prescrizioni da adottare nella progettazione.

Vediamo adesso invece quali sono le prescrizioni che la legge 17/00 prende in considerazione per effettuare il risparmio energetico e limitare l'inquinamento luminoso. Il nostro lavoro procederà con un'analisi e un commento degli articoli che ci interessano. All' articolo 6, “Regolamentazione delle sorgenti di luce e dell'utilizzazione di energia elettrica da illuminazione esterna”, al comma 1 si dice:

“(…omissis…) dalla data di entrata in vigore della presente legge, tutti gli impianti di illuminazione esterna, pubblica e privata in fase di progettazione o di appalto sono eseguiti a norma antinquinamento luminoso e a ridotto consumo energetico; per quelli in fase di esecuzione, è prevista la sola obbligatorietà di sistemi non disperdenti luce verso l'alto, ove possibile nell'immediato, fatto salvo il successivo adeguamento, secondo i criteri di cui al presente articolo. “.

Questo articolo si riferisce agli impianti nuovi o in fase di progettazione e a quelli in fase di installazione. Per i primi vengono indicati quelli che sono i principi di questa legge e cioè di risparmio energetico e abbattimento dell'inquinamento luminoso. Per i secondi invece viene richiesto soltanto di evitare la dispersione di luce verso il cielo.

Si cerca di rispettare quello che noi citavamo come principio di economicità. Cerchiamo cioè di fare le cose con i minori sprechi possibili e con i maggiori risultati di efficienza.

Il comma 2 dello stesso articolo recita:

“Sono considerati antinquinamento luminoso e a ridotto consumo energetico solo gli impianti aventi un'intensità luminosa massima di 0 cd per 1000 lumen a 90° ed oltre; gli stessi devono essere equipaggiati di lampade con la più alta efficienza possibile in relazione allo stato della tecnologia; (...omissis...) qualora esistenti, e devono essere provvisti di appositi dispositivi in grado di ridurre, entro le ore ventiquattro, l'emissione di luci degli impianti in misura non inferiore al trenta per cento rispetto al pieno regime di operatività. La riduzione va applicata qualora le condizioni d'uso della superficie illuminata siano tali che la sicurezza non ne venga compromessa (...omissis...). “.

Questa parte è una fra le più importanti e a differenza delle altre leggi si danno quelli che sono i criteri per la buona realizzazione di un impianto nel pieno rispetto dell'ambiente, dei consumi e quindi della legge. Per quanto riguarda il problema

dell'inquinamento luminoso tutte le fonti di luce devono avere intensità luminosa a 90° e oltre pari a 0 cd per 1000 lm. Per quanto riguarda il risparmio energetico gli apparecchi devono avere lampade tecnologicamente avanzate e quindi con una buona efficienza.

Prendendo adesso in considerazione il tema dell'abbagliamento e dell'inquinamento ottico e del confort visivo, il comma 10 ter dell'articolo 6 recita:

“Gli apparecchi destinati all'illuminazione esterna, sia pubblica che privata, in particolare se non funzionalmente dedicati alla circolazione stradale, non devono costituire elementi di disturbo per gli automobilisti e per gli interni delle abitazioni; a tal fine ogni fenomeno di inquinamento ottico o di abbagliamento diretto deve essere contenuto nei valori minimi previsti (...omissis...)”.

In questo comma si pone una riflessione su tutta quella luce che viene emessa in maniera errata e può provocare disturbo non solo per gli automobilisti ma anche per i cittadini che si vedono infastiditi da luce indesiderata che entra nei loro appartamenti.

Un altro aspetto molto importante di questa legge, è che sono state prese in considerazione tutte le fasi operative, dalla costruzione alla verifica degli apparecchi, per combattere i problemi dell'inquinamento luminoso e del risparmio energetico. La regione ha infatti coinvolto nella stesura della legge non solo i progettisti e gli installatori nel settore illuminotecnico, ma anche tutte le aziende costruttrici di apparecchi illuminanti.

Nell'articolo 6, al comma 8, si dice:

“Le case costruttrici, importatrici o fornitrici devono certificare, tra le caratteristiche tecniche degli apparecchi commercializzati, la rispondenza del singolo prodotto alla presente legge ed alle norme tecniche di attuazione, corredandolo della dichiarazione di conformità rilasciata da riconosciuti istituti nazionali e internazionali operanti nel settore della sicurezza e qualità dei prodotti e delle aziende, nonché delle raccomandazioni circa la corretta installazione ed uso.”.

I corpi illuminanti devono essere certificati e corredati di dati fotometrici cartacei con le relative istruzioni di installazione. Il comma 8 bis prende in considerazione l'eventualità che:

“Qualora le case produttrici dispongano di laboratori fotometrici propri e strutture certificate e autorizzati a norma delle vigenti disposizioni di settore, la conformità di cui al comma 8 è rilasciata direttamente dalle stesse (...omissis...)”.

Viene chiarito che non è espressa l'obbligatorietà che la certificazione sia fatta da enti terzi. L'azienda può rilasciare la dichiarazione di conformità del prodotto alla legge se

possiede dei propri laboratori fotometrici autorizzati a norma delle disposizioni normative del settore. Naturalmente deve essere comunque riportata la documentazione che abbiamo sopra indicato.

A questo punto il testo legislativo all'articolo 6 si sofferma sui vari casi di illuminazione di aree sportive, edifici monumentali, e illuminazione delle insegne. Nel comma numero 5 si prendono in considerazione gli apparecchi di illuminazione che vengono utilizzati nelle grandi aree dicendo:

“L'uso di riflettori, fari e torri-faro deve uniformarsi, su tutto il territorio regionale, a quanto disposto dall'articolo 9. “.

L'articolo 9 in materia dei corpi illuminanti presi in considerazione dice al comma 5:

“Fari, torri faro e riflettori illuminanti parcheggi, piazzali, cantieri, svincoli ferroviari e stradali, complessi industriali, impianti sportivi e aree di ogni tipo devono avere, rispetto al terreno, un'inclinazione tale, in relazione alle caratteristiche dell'impianto, da non inviare oltre 0 cd per 1000 lumen a 90° ed oltre. “.

Vengono quindi parificati questi tipi di apparecchi con gli altri corpi illuminanti utilizzati nell'illuminazione stradale, riportando le stesse considerazioni fatte per questi ultimi. L'utilizzo di queste lampade all'articolo 6, comma 6, nei luoghi sopra citati deve essere il seguente:

“ Nell'illuminazione di impianti sportivi e grandi aree di ogni tipo devono essere impiegati criteri e mezzi per evitare fenomeni di dispersione di luce verso l'alto e al di fuori dei suddetti impianti. (...omissis...) “.

Per quanto riguarda l'illuminazione di monumenti ed edifici al comma 10 del solito articolo è detto:

“L'illuminazione di edifici e monumenti, (...omissis...) deve essere di tipo radente, dall'alto verso il basso; solo nei casi di comprovata inapplicabilità del metodo ed esclusivamente per manufatti di comprovato valore artistico, architettonico e storico, sono ammesse altre forme di illuminazione, purché i fasci di luce rimangano entro il perimetro delle stesse, l'illuminamento non superi i 15 lux, l'emissione massima al di fuori della sagoma da illuminare non superi i 5 lux e gli apparecchi di illuminazione vengano spenti entro le ore ventiquattro. “.

Nell'illuminare grandi aree l'utilizzo di fari e torri faro è molto frequente e porta spesso a commettere degli errori di installazione. Rispetto alla norma UNI e alla legge della regione Toscana 39/05 la Lombardia detta le proprie specifiche su come illuminare grandi spazi, come abbiamo visto all'articolo 6 comma 6, e per gli impianti sportivi cui si applicano le regole di prevenzione per l'inquinamento luminoso degli articoli 6 e 9. In

particolare si prevede di indirizzare il flusso luminoso soltanto nelle aree ove occorre. Per l'illuminazione di edifici viene preferito l'utilizzo di apparecchi illuminanti di tipo radente dall'alto verso il basso. Per monumenti quali statue la situazione si complica e l'illuminazione ha le restrizioni di illuminamento che sono riportate nel comma sopra citato.

Infine vogliamo riportare un altro dei pregi che questa legge ha: per limitare i consumi energetici e rispettare l'ambiente vengono incentivati l'utilizzo di forme di energia rinnovabile e di apparecchi di illuminazione innovativi in ambito stradale. Nell'articolo 6, al comma 10 bis, viene detto:

“La Regione Lombardia, ai fini del risparmio energetico nell'illuminazione pubblica e privata di esterni:

- a) incentiva l'impiego della tecnologia fotovoltaica;
- b) incentiva, anche al fine di migliorare la sicurezza stradale, la sostituzione e l'integrazione dell'illuminazione tradizionale con sistemi passivi di segnalazione, quali catarifrangenti, cat-eyes e similari, o sistemi attivi, quali LED fissi o intermittenti, indicatori di prossimità, linee di luce e similari;
- c) dispone l'impiego, a parità di luminanza, di apparecchi che conseguano impegni ridotti di potenza elettrica, condizioni ottimali di interasse dei punti luce e ridotti costi manutentivi; in particolare, i nuovi impianti di illuminazione stradali tradizionali, fatta salva la prescrizione dell'impiego di lampade con la minore potenza installata in relazione al tipo di strada ed al suo indice illuminotecnico, devono garantire un rapporto fra interdistanza e altezza delle sorgenti luminose non inferiore al valore di 3.7. Sono consentite soluzioni alternative solo in quanto funzionali alla certificata migliore efficienza generale dell'impianto. “.

Al punto c) del soprascritto comma, vengono dati dei riferimenti ai progettisti sul rapporto fra le interdistanze e l'altezza a cui gli apparecchi illuminanti devono essere montati. Vogliamo soffermarci su queste indicazioni progettuali facendo un piccolo esempio: supponiamo che i corpi illuminanti vengano montati ad un'altezza di 6 m, con la formula ( 3.4.1) vista precedentemente:

$$r = \frac{d}{h}$$

possiamo trovare a quale distanza vengono posizionati i lampioni lungo la sede stradale, infatti si ha:  $r = \frac{d}{h} \Leftrightarrow d = r \cdot h = 3,7 \cdot 6 = 22,2 \text{ m}$ . Fra un pilone e l'altro dovranno intercorrere quindi circa 23 m. A seconda della quantità di luce che viene richiesta per illuminare la sede stradale, con il dato sopra riportato e con le tabelle fotometriche date

dal costruttore si va a scegliere l'apparecchio illuminante più adatto per illuminare quella strada.

### 3.4.2 DEROGHE

Le prescrizioni che abbiamo sopra riportato non possono giustamente valere per ogni impianto di illuminazione esterna. La norma UNI 10819 non specifica quali sono gli impianti che possono subire deroga, di fatto quindi invita a seguire le disposizioni date dagli enti comunali o a seguire le linee dettate dalle leggi regionali. In assenza di leggi regionali che affrontino l'argomento dell'inquinamento luminoso e del risparmio energetico o di un Piano Regolatore dell'Illuminazione Comunale, i progettisti o ignorano ogni tipo di norma tecnica riguardante questi argomenti o non possono che trovarsi di fronte a notevoli difficoltà.

Vediamo quali sono le disposizioni che la legge della regione Toscana n 37/00 dava in materia di deroghe sugli impianti di illuminazione esterna sia pubblici che privati.

All'articolo 1, comma 2 viene detto:

“ Le disposizioni di cui alla presente legge non si applicano:

- a) alle installazioni, impianti e strutture pubbliche, civili e militari, la cui progettazione, realizzazione e gestione sia già regolata da specifiche norme statali;
- b) agli impianti privati di illuminazione esterna, costituiti da non più di dieci sorgenti luminose con un flusso luminoso, per ciascuna sorgente, non superiore a 1.500 lumen. “.

A nostro giudizio è giusto che impianti montati in strutture che devono rispondere ad esigenze di pubblica utilità o sicurezza non rispettino alcune prescrizioni di questa legge tanto più se, come dice la legge stessa, esse sono regolate da specifiche norme proprie. Per quanto riguarda gli impianti privati ci sembra eccessivo il limite di 10 punti luce che disperdano al massimo 1.500 lumen cadauno. Vengono praticamente legalizzati 15.000 lumen di flusso luminoso rivolto verso il cielo per ogni impianto privato di illuminazione esterna. Non vogliamo essere fiscali ma così facendo è come se ogni privato che ha un giardino accendesse un faretto da 150 W e lo proiettasse diretto verso la volta celeste così da produrre oltre all'inquinamento luminoso un totale spreco di energia. Secondo noi questa legge dovrebbe abbassare il citato limite per i privati dei 10 punti luce.

Suggeriamo magari di accompagnare queste prescrizioni anche con una maggiore sensibilizzazione sulle problematiche legate agli impianti di illuminazione esterna.

La legge 39/2005 sostanzialmente riporta gli stessi criteri della legge sopra citata, per completezza riportiamo il comma 5, all'articolo 35 che dice:

“Le prescrizioni di cui ai commi 2, 3 e 4 (vedi il Paragrafo 3.4.1 PRESCRIZIONI PER LIMITARE L'INQUINAMENTO LUMINOSO) non si applicano per gli impianti la cui realizzazione e gestione sia già regolata da apposite norme statali nonché per gli impianti privati di illuminazione esterna, costituiti da non più di dieci sorgenti luminose, con flusso luminoso, per ciascuna sorgente, non superiore a 1.500 lumen. “.

La Lombardia invece nella legge 17/00, per gli impianti privati, dice all'articolo 6, comma 3:

“E' concessa deroga per le sorgenti di luce internalizzate e quindi non inquinanti, per quelle con emissione non superiore ai 1500 lumen cadauna in impianti di modesta entità (fino a tre centri con singolo punto luce), per quelle di uso temporaneo che vengano spente entro le ore venti nel periodo di ora solare e entro le ore ventidue nel periodo di ora legale.“.

Come possiamo constatare le indicazioni proposte per gli impianti di piccole dimensioni realizzati dai privati sono più restrittive rispetto a quelle della regione Toscana, infatti possono emettere verso il cielo soltanto 4.500 lumen. Viene poi concessa deroga per l'illuminazione internalizzata, come ad esempio sotto portici in quanto la percentuale di flusso diretta verso il cielo è minima, e per gli impianti esterni che dopo determinate ore notturne vengono comunque spenti.

Nella delibera n 7/6162 “Criteri di applicazione della legge 17/00” vengono presi in considerazione tutti gli impianti privati di illuminazione esterna. Al punto 9 sono citati i limiti di emissione differenziati per piccoli impianti fino a 3 punti luci e per quelli in numero superiore. La delibera pone così le seguenti deroghe:

“Le sorgenti di luce con emissione non superiore ai 1500 lumen cadauna (flusso totale emesso dalla sorgente in ogni direzione) in impianti di modesta entità, cioè costituiti da un massimo di tre centri con singolo punto luce. Per gli impianti con un numero di punti luce superiore a tre, la deroga è applicabile solo ove gli apparecchi, nel loro insieme, siano dotati di schermi tali da contenere il flusso luminoso, oltre i 90°, complessivamente entro 2250 lumen, fermi restando i vincoli del singolo punto luce e dell'emissione della singola sorgente, in ogni direzione, non superiore a 1500 lumen. “.

Rimane quanto detto in precedenza con l'introduzione di una ulteriore limitazione sugli impianti esterni che devono avere un flusso complessivo su tutto l'impianto nella parte superiore al di sotto dei 2250 lumen.

Per quanto riguarda il risparmio energetico anche la regione Lombardia consente deroga alle disposizioni della legge 17/00 per tutte le strutture che compiono attività di ordine pubblico, giustizia e difesa come viene detto all'articolo 9, comma 3:

“Le disposizioni relative alla diminuzione dei consumi energetici sono facoltative per le strutture in cui vengono esercitate attività relative all'ordine pubblico e all'amministrazione della giustizia e della difesa. “.

Vengono concesse anche deroghe particolari per l'illuminazione di grandi impianti sportivi dove è più difficile la gestione della luce anche se l'impegno rimane quello di illuminare le zone che effettivamente lo richiedono. All'articolo 6, comma 6 viene detto:

“E' concessa deroga alle disposizioni del comma 2 (vedi paragrafo 3.4.1: PRESCRIZIONI PER LIMITARE L'INQUINAMENTO LUMINOSO) in termini di intensità luminosa massima, per gli impianti sportivi con oltre 5.000 posti a sedere, a condizione che gli apparecchi di illuminazione vengano spenti entro le ore ventiquattro e siano comunque dotati delle migliori applicazioni per il contenimento del flusso luminoso verso l'alto ed all'esterno degli impianti medesimi. “.

Anche per quanto riguarda le deroghe si evidenzia, per quanto esposto, come la legge 17/00 della Lombardia affronta il tema in modo più articolato e completo rispetto alla legge regionale della Toscana.

### 3.4.3 DELIBERE N. 962 REGIONE TOSCANA E N. 7/6162 REGIONE LOMBARDIA

Questi testi emanati dalle giunte regionali della Toscana e della Lombardia servono ad integrare e spiegare i criteri attuativi che abbiamo analizzato in questa parte. Le indicazioni che vengono dettate in più rispetto alle leggi prese in esame hanno anch'esse carattere prescrittivo e quindi devono essere seguite per la progettazione e l'esecuzione di impianti. In questa sintetica analisi vogliamo sottolineare quali sono gli indirizzi che queste due linee guida danno rispetto alle leggi in vigore. Iniziamo quindi “Delibera della Giunta Regionale del 27 settembre 2004, n. 962” della regione Toscana.

#### **Indirizzi di carattere generale**

Lampade ad alta efficienza: Su tutto il testo delle linee guida viene sempre fatto riferimento all'utilizzo di lampade con elevata tecnologia ed efficienza luminosa, quindi all'utilizzo di lampade al sodio o agli alogenuri metallici dove serve. Le prime sono da preferire nelle fasce di rispetto. Per le seconde deve essere prestata maggiore attenzione

nell'installazione in quanto, avendo elevate intensità luminose, devono essere alloggiate in apparecchi illuminanti perfettamente schermati.

Sistemi di illuminazione a diffusione libera: In questa parte viene approfondito il punto 3 dell'allegato C della legge regionale 39/05 in cui si invita all'utilizzo di apparecchi illuminanti con flusso luminoso superiore inferiore al 3%. Siamo perplessi di fronte al fatto di permettere l'uso di globi luminosi e lampioni che emettono tali valori di flusso luminoso verso l'alto nelle fasce non tutelate infatti come vedremo meglio nel paragrafo 3.6 con valori di questo tipo si possono sprecare molti Watt di energia elettrica. Sempre al punto 3 dell'allegato C viene detto che le curve fotometriche degli apparecchi scelti per illuminare sono un requisito che, a richiesta, il produttore deve fornire al progettista. A nostro avviso le curve fotometriche dovrebbero essere sempre fornite perché indispensabili strumenti senza i quali non si è in grado di progettare un buon impianto di illuminazione esterna. Vengono anche dettati dei rapporti per determinare le distanze dei punti luce nell'illuminazione pubblica come riportato nella tabella sottostante.

**Tabella 3.4.4: Valori r in funzione del tipo di lampada e del tipo di ottica utilizzata.**

Tipi di lampade	r			
	Tipo di ottica			Proiettori asimmetrici
	Schermata	Semi-Schermata	Non Schermata	
Vapori di sodio B.P. (lampada tubolare)	3	3,5	4	2,5
Vapori di sodio A.P. (bulbo diffondente)				
Vapori di mercurio (bulbo diffondente)				
Vapori di sodio A.P. (bulbo trasparente)	3,5	4	4,5	
Alogenuri metallici				

*Fonte: elaborazione propria su dati Delibera Giunta regionale n. 962 del 27/09/04*

Si può facilmente intuire che in un impianto di illuminazione in cui vengono montati apparecchi non schermati si possano avere interdistanze fra i piloni dei lampioni

maggiori rispetto all'impiego di sorgenti luminose completamente schermate. Se da un lato si cerca di limitare l'inquinamento luminoso montando apparecchi schermati, dall'altro, per garantire livelli di illuminazione adeguati, si devono avere pali più vicini gli uni dagli altri portando ad un consumo più elevato di energia. Il recente sviluppo della tecnologia però ha consentito l'installazione di nuovi prodotti di illuminazione tipo cut-off (schermato) che possono raggiungere e superare anche il valore di interdistanza pari a 4.

Sistemi automatici di riduzione e controllo del flusso luminoso: Viene incentivato l'utilizzo di questi apparecchi per ridurre i livelli di flusso luminoso emesso. In questa parte viene anche detto che in alternativa a tali impianti è possibile una parzializzazione mediante spegnimento del 50% dei punti luce.

### **Linee guida per la progettazione, l'esecuzione e l'adeguamento degli impianti**

Criteri tecnici comuni per tutti gli impianti: Installare impianti secondo i criteri antinquinamento luminoso con bassi fattori di abbagliamento e ridotto consumo energetico. Viene richiesto l'utilizzo di apparecchi che siano in grado di ridurre la luce emessa in misura superiore al 30% dopo determinati orari. Viene stabilita in  $1 \text{ cd/m}^2$  la luminanza mantenuta su tutte le superfici illuminate rispettando anche i livelli minimi previsti dalle norme di sicurezza.

Criteri per impianti specifici: In questa parte vengono definiti gli angoli di inclinazione degli apparecchi da installare. Le ottiche dovrebbero essere montate preferibilmente su pali dritti parallelamente alle superfici da illuminare o con inclinazione da non superare un'emissione di  $5 \text{ cd/Klm}$  a  $90^\circ$  e  $0 \text{ cd/Klm}$  a  $95^\circ$  e oltre per le fasce non tutelate. Nelle fasce tutelate si devono rispettare le  $0 \text{ cd/Klm}$  a  $90^\circ$  e oltre.

Negli impianti extraurbani sono necessarie, dove possibile, lampade ai vapori di sodio ad alta pressione o a bassa pressione. Nelle aree di passaggio viene consigliato l'uso di sensori di prossimità che accendono le luci al passaggio dei pedoni.

Per l'illuminazione di grandi spazi si dovranno privilegiare lampade al sodio, essere dotati di appositi impianti di riduzione di flusso in determinati orari, con emissioni di  $5 \text{ cd/Klm}$  a  $90^\circ$  e  $0 \text{ cd/Klm}$  a  $100^\circ$  e oltre nelle fasce non tutelate,  $0 \text{ cd/Klm}$  a  $90^\circ$  e oltre nelle fasce tutelate.

Nell'illuminazione di edifici e monumenti dovranno essere utilizzate le seguenti tecniche:

- illuminamento radente dall'alto verso il basso;
- i fasci di luce dovranno rimanere entro un metro al di sotto del bordo superiore della superficie da illuminare;
- livelli minimi di luminanza mantenuta non superare a  $1 \text{ cd/m}^2$ ;
- prevedere orari regolamentati nelle ore notturne.

Gli impianti sportivi che si trovano all'aperto possono essere illuminati anche con lampade agli alogenuri metallici che hanno una resa cromatica maggiore, ed essere predisposti con proiettori asimmetrici e variatori di flusso per avere la giusta illuminazione in caso di attività sportive diversificate (gare, allenamenti...). La dispersione di luce verso il cielo è consentita soltanto per grandi impianti con valori che non superino il 5% del flusso luminoso emesso dalla lampada.

Le insegne commerciali non dotate di luce propria devono essere illuminate dall'alto verso il basso con luminanza non superiore a  $5 \text{ cd/m}^2$  e spente in orari prestabiliti durante la notte.

Divieti: E' fatto divieto su tutto il territorio regionale di utilizzo di fari fissi o rotanti o di qualsiasi struttura di richiamo luminoso che disperdono luce verso la volta celeste per meri fini pubblicitari o di altro genere.

Disposizioni per l'adeguamento degli impianti esistenti: Gli apparecchi non conformi devono essere adeguati con l'installazione di appositi schermi, sostituzione dei vetri di protezione e delle lampade, inclinazione delle sorgenti, schermatura dell'emisfero superiore del corpo illuminante. Ai fini dell'adeguamento, i comuni dovrebbero predisporre piani triennali di spesa nei quali siano previste quote significative di ammodernamento degli impianti per l'adeguamento a quanto previsto dalle presenti linee guida. Anche questi piani sono stati disattesi dalle amministrazioni comunali competenti.

Pur con evidenti lacune in alcune sue parti riteniamo che nel complesso la normativa in materia di prevenzione dell'inquinamento luminoso e del risparmio energetico emanata dalla regione Toscana dia buone indicazioni per la progettazione, realizzazione e manutenzione di impianti di illuminazione esterna. Rimangono purtroppo i problemi legati alla sua completa applicazione infatti la scarsa sensibilità al tema dell'inquinamento luminoso come priorità insieme a ragioni di carattere economico

fanno slittare nel tempo gli obiettivi prefissati soprattutto per quanto riguarda l'ammmodernamento degli impianti esistenti.

La delibera della Giunta Regionale della Lombardia n. 7/6162 del 20 settembre 2001 detta in 10 punti i criteri di applicazione della legge 17/00. Riprende cioè le parti fondamentali che compongono la legge e, in maniera più dettagliata, le elabora ampliandone i contenuti. Nella nostra analisi prendiamo in esame le parti che vengono aggiunte rispetto a quelle già analizzate dalla legge.

### **1. Finalità**

Vengono ribaditi gli obiettivi che si è prefissata la legge e che abbiamo analizzato al paragrafo 3.2.1.

### **2. Adempimenti**

In questa parte si definiscono i tempi, i ruoli e gli obblighi che gli enti locali, le province, la regione per quanto riguarda la pubblica amministrazione, gli osservatori astronomici, le case costruttrici, i progettisti e gli installatori da parte dei privati, devono prendere in considerazione per far rispettare le prescrizioni previste dalla legge.

### **3. Definizioni**

Viene ribadita la definizione di inquinamento luminoso.

### **4. Premesse**

Disposizioni generali: Molte delle considerazioni fatte in questa parte delle linee guida vengono riprese direttamente dalla legge all'articolo 6, commi 1 e 7, dove sono definiti i tempi di intervento sugli impianti già esistenti che consistono nella modifica dell'inclinazione dei corpi illuminanti.

Disposizioni per le fasce di rispetto: In questa parte si sottolinea il fatto che ogni sorgente luminosa ricadente nelle fasce di rispetto deve sottostare ai criteri dettati dalla legge 17/00 modificando e riducendo l'inquinamento luminoso ed il consumo energetico. A tale fine è suggerito l'utilizzo di lampade al sodio con efficienza più elevata possibile.

### **5. Criteri comuni**

Oltre a riprendere parti dell'articolo 6 si danno indicazioni tecniche sugli apparecchi da preferire come ad esempio lampade che hanno un'avanzata tecnologia ed elevata efficienza, lampade che sono recessive all'interno del vano ottico superiore del corpo

illuminante con elementi di chiusura inferiore trasparenti e piani, realizzati con materiali antingiallimento.

La luminanza media mantenuta delle superfici non deve superare i livelli minimi previsti dalle norme di sicurezza e deve prendere in considerazione i seguenti fattori:

- impiego di apparecchi che consentano ridotte potenze installate;
- mantenimento sulle superfici illuminate (fatte salve le disposizioni dettate dalle norme di sicurezza) con valori di luminanza non superiori ad una candela;
- impiego di riduttori di flusso;
- realizzazione di impianti a regola d'arte seguendo anche le norme europee DIN, UNI, NF, ecc ;
- calcolo della luminanza in funzione del colore delle superfici da illuminare;

#### **6. Criteri per impianti specifici**

Extraurbani e grandi aree: Nell'illuminazione di autostrade, tangenziali, circonvallazioni viene consigliato l'utilizzo di lampade ai vapori di sodio. Nell'illuminazione delle grandi aree l'utilizzo di fari o torri faro deve comportare un risparmio rispetto ad un'illuminazione di tipo tradizionale fatta con lampioni, gli impianti devono essere dotati di sistemi di spegnimento in periodi di non utilizzazione.

Centri storici e vie commerciali: Se siamo in presenza di luoghi alberati bisogna evitare che il flusso emesso dalle sorgenti luminose sia intercettato dalle chiome degli alberi stessi. Nell'illuminazione di centri storici è da preferire un'illuminazione fatta di apparecchi illuminanti situati sotto gronda o direttamente a parete.

#### **7. Criteri per altri impianti specifici**

Impianti sportivi: In questo tipo di impianti è consentito l'utilizzo di lampade agli alogenuri metallici con proiettori di tipo asimmetrico. Per questo tipo di impianti si devono prevedere appositi sistemi di variazione della luminanza in relazione alle attività che vengono svolte. Gli impianti che hanno grandi dimensioni possono subire alcuni tipi di deroghe che sono state prese in considerazione al paragrafo 3.4.2.

Monumenti ed edifici: l'illuminazione di questi manufatti dovrebbe essere realizzata di tipo radente dall'alto verso il basso. Gli apparecchi utilizzati dovrebbero avere ottiche corredate di schermi antidispersione e la luminanza media mantenuta non dovrebbe

superare in nessun caso  $1 \text{ cd/m}^2$ . Per l'illuminazione di capannoni industriali si consigliano lampade a vapori di sodio bassa pressione.

### **8. Criteri aggiuntivi per le fasce di rispetto**

In aggiunta ai criteri visti ai punti 4 e 5 vengono definite le seguenti disposizioni per l'adeguamento degli impianti alla legge 17/00:

- variazione dell'inclinazione degli apparecchi pubblici e privati compatibilmente con le norme di sicurezza;
- installazione di appositi schermi o sostituzione delle calotte superiori o delle stesse lampade per gli impianti di illuminazione privata;
- vengono preferite le lampade ai vapori di sodio in quanto recano un minore disturbo alle osservazioni astronomiche;
- per gli apparecchi su cui è impossibile variare l'inclinazione si deve provvedere alla loro sostituzione;
- spegnimento parziale al 50% dei punti luce ove le norme di sicurezza lo consentano;
- come visto all'articolo 9 comma 4 gli apparecchi di illuminazione altamente inquinanti come globi, lanterne o similari devono essere schermati con dispositivi in grado di dirigere nell'emisfero superiore un'intensità luminosa massima non superiore a  $15 \text{ cd/klm}$  a  $90^\circ$  e oltre. Se questa misura non può essere rispettata si deve provvedere alla sostituzione dell'apparecchio illuminante.
- le insegne luminose di qualsiasi tipo di uso non indispensabile durante le ore notturne devono essere spente entro determinati orari durante la notte, le altre comunque entro il relativo orario di chiusura.

### **9. Derghe**

Per questa parte vi rimandiamo al paragrafo 3.4.2 già analizzato più approfonditamente.

### **10. Divieti**

Viene fatto divieto di usare fari fissi o rotanti per meri fini pubblicitari di richiamo o di altro tipo su tutto il territorio della regione Lombardia.

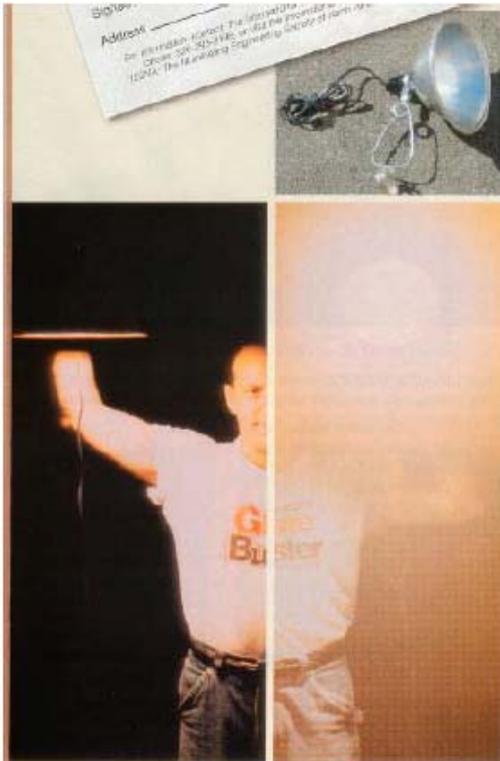
Con questo testo che giudichiamo positivo, la regione Lombardia conferma la bontà della linea che ha tenuto nei confronti della lotta all'inquinamento luminoso e al risparmio energetico.

### 3.5 Quanto illuminare?

La quantità di luce emessa dagli impianti di illuminazione esterna, dovrebbe essere quella strettamente legata alle necessità per le quali l'impianto è costruito. Con quantità inferiori di luce, specialmente nelle città, sorgono problemi di ordine pubblico e di sicurezza sia per pedoni che per gli automobilisti. Con valori di luminanza media mantenuta superiori si hanno invece sprechi di energia nell'ordine di decine di euro l'anno per punto luce, oltre ad un incremento di inquinamento luminoso per la maggiore quantità di flusso luminoso inviato verso il cielo. Sono da considerare anche i conseguenti problemi di sicurezza stradale. Infatti di notte, l'83 % delle informazioni utili alla guida giungono al cervello attraverso la vista. Gli occhi hanno quindi un ruolo fondamentale durante la guida notturna. Gli impianti di illuminazione pubblica dovrebbero tenere un livello minimo di illuminazione e non superare mai questi limiti. In alcune zone si sono rilevati illuminamenti a terra 100 volte superiori rispetto ai valori previsti dalla norma.

**Figura 3.5.1: differenza fra illuminazione diretta (abbagliamento) e dall'alto verso il basso.**

*Fonte: S. Minuto "Inquinamento luminoso e circolazione stradale" CNIL UAI*



L'occhio infatti se riceve impulsi luminosi troppo forti direttamente dalle fonti luminose, diminuisce le proprie capacità visive ed il contrasto fra gli oggetti, oltre a perdere gran parte della visione laterale.

Fonti intense di illuminazione in presenza di abbagliamento provocano la perdita di una quantità rilevante di capacità visive, anche del 30%. Pertanto si deve dirigere, fin dove è possibile, la fonte luminosa verso il basso per evitare che gli automobilisti vedano direttamente la fonte luminosa. Una strada a

forte scorrimento con luminosità mantenuta di 2 cd al m<sup>2</sup>, se utilizza lampade

completamente schermate, oltre a dare una visuale migliore ai telescopi degli osservatori (il vetro che scherma la lampada, elimina molte radiazioni fra cui l'infrarosso), permette anche di avere una visione molto superiore rispetto a impianti con lampade non schermate. Aumentare la quantità di luce nelle strade per far vedere meglio i pedoni, se non si eliminano prima i problemi di disturbo visivo e abbagliamento, è un grosso errore.

Dopo quanto detto l'obiettivo è quello di illuminare quanto necessario e nella maniera giusta. Per raggiungere questo scopo dobbiamo percorrere due strade, una è quella di una buona classificazione delle aree territoriali, l'altra invece è quella di progettare rispettando i valori minimi di luminanza previsti dalle norme.

### 3.5.1 CLASSIFICAZIONE DEL TERRITORIO

Alcune regioni italiane per valorizzare le aree nel loro distretto, soprattutto se molto influenzate da turismo, hanno emanato leggi che impongono ai comuni una classificazione del territorio. Alcuni parametri di questa selezione sono stati ed esempio le aree di maggiore interesse culturale, il piano urbano del traffico, il piano edilizio comunale e per quanto ci interessa il Piano di Illuminazione Comunale (PIC). Per la stesura di questo documento i comuni devono suddividere le varie aree cittadine secondo la frequenza ed il passaggio di traffico motorizzato, ciclisti e pedoni. In base alla classificazione fatta sarà assegnata ad ognuna la quantità di luce richiesta. Nel PIC vengono inserite tutte quelle informazioni e prescrizioni relative alla realizzazione di impianti di illuminazione esterna di tipo pubblico, e proposti anche consigli per la progettazione e realizzazione degli impianti di illuminazione stradale. I vantaggi che si possono avere da questa pianificazione sono numerosi ne menzioniamo alcuni per sottolineare ancora di più la loro importanza:

1. Risparmio energetico e programmazione economica;
2. Valorizzazione del territorio, dell'ambiente urbano e dei centri storici;
3. Sicurezza del traffico e migliore viabilità;
4. Salvaguardia dell'ambiente e lotta all'inquinamento luminoso.

Naturalmente questi vantaggi si riflettono sulla collettività intesa come: i cittadini, i comuni gestori degli impianti, i progettisti, l'ente distributore, le forze dell'ordine (che potranno svolgere meglio il loro lavoro), gli astronomi, l'ambiente e così via.

Anche le norme UNI parlano di questo documento e propongono dei riferimenti per agevolare i comuni nella stesura di questo piano. La UNI 10819 nella sua introduzione dice proprio:

“ (...omissis...) La norma intende costituire uno strumento tecnico di riferimento sia per i provvedimenti derivanti dalle suddette attività legislative sia per eventuali specifici Piani Regolatori dell'Illuminazione Comunale (PRIC) o altri tipi di Regolamenti Comunali in materia, affinché tutti gli operatori di settore possano agire secondo procedure unificate in situazioni generali comuni e condivisibili. “.

All'interno di questo piano dovrebbero essere fatti tutti i calcoli che abbiamo visto al paragrafo 3.4.1 per la determinazione di  $R_n$ , da cui deriva la scelta degli apparecchi illuminanti da installare. La norma vuole quindi dare gli indirizzi per la realizzazione di un piano d'illuminazione secondo i propri criteri, poi la scelta di quali lampade installare, come installarle e la classificazione delle aree viene lasciata alla competenza ai comuni.

Dopo aver visto l'importanza e i vantaggi che i piani di illuminazione comunale (PIC) portano, anche la regione Toscana nella legge 37/00 ne prescrive la predisposizione da parte dei comuni. Quello che non riusciamo a capire è come mai nella legge 39/05 tale previsione non trova più riscontro. Probabilmente questo argomento verrà ripreso in considerazione nel PIER che però stiamo ancora aspettando. Durante questa attesa vediamo quali erano le indicazioni date nella legge 37/00 per la stesura di questo documento. All'articolo 4, della legge n 37/00, al comma 1 lettera a) leggiamo:

“ Sono di competenza dei Comuni:

a) la predisposizione, l'approvazione e l'aggiornamento del Piano Comunale della Illuminazione Pubblica. “.

Ed in seguito l'articolo 6 “ Piano Comunale della illuminazione pubblica” indica quelli che devono essere i contenuti di questo documento come spiegato nel comma 1:

“Il Piano Comunale della Illuminazione Pubblica di cui all'articolo 4, comma 1, programma la realizzazione e la gestione degli impianti pubblici di illuminazione esterna, nel rispetto delle linee guida contenute nel P.R.P.I.L., perseguendo i seguenti obiettivi:

- a) sicurezza del traffico veicolare e delle persone;
- b) riduzione dell'inquinamento luminoso;
- c) risparmio energetico;
- d) miglioramento della qualità della vita e delle condizioni di fruizione dei centri urbani e dei beni ambientali, monumentali e architettonici;
- e) ottimizzazione dei costi di esercizio e manutenzione. “.

Non possiamo che esprimere la nostra approvazione verso questo articolo che in sintesi e con semplici punti rispecchia quelli che sono gli obiettivi che avevamo prima citato. L'articolo in questione continua spiegandoci cosa in particolare deve contenere il PIC, infatti nel comma 2 viene detto:

“Il Piano Comunale di Illuminazione Pubblica indica le modalità ed i termini per l'adeguamento degli impianti pubblici esistenti alle norme antinquinamento. “.

Ogni comune attraverso il Piano comunale di illuminazione dettava le proprie regole tecniche anche a seconda della fascia di rispetto in cui cadeva. Infine dalla legge 37/00 ci veniva detto in quale contesto veniva inserito e con quali criteri veniva valutato questo piano, al comma 3, infatti si recitava:

“Il Piano Regolatore Comunale, attraverso il Piano Strutturale (...omissis...), detta criteri per la valutazione del piano comunale della illuminazione pubblica (...omissis...). “.

Ci auguriamo che il maggior numero di comuni della regione Toscana abbiano fatto uso di questo utile strumento per la loro illuminazione stradale.

La regione Lombardia invece come ricordiamo nel paragrafo 3.2.2 inserisce già nelle definizioni quella di piano di illuminazione e fra i compiti dei comuni detta le scadenze entro le quali i suddetti devono dotarsi di tali piani. Infatti all'articolo 4 comma 1, lettera a) viene detto:

“I comuni:

a) si dotano entro e non oltre il 31 dicembre 2006 dei piani di illuminazione di cui alla lettera c) del comma 1 dell'articolo 1 bis. “.

La legge 17/00 inserisce il Piano di Illuminazione tra gli strumenti urbanistici comunali assumendone pari dignità e valore come detto sempre al comma 1, lettera b):

“provvedono a integrare lo strumento urbanistico generale con il piano dell'illuminazione. “.

Infine per quanto riguarda questa parte i comuni possono promuovere consorzi per verificare il rispetto dei requisiti dell'illuminazione pubblica e privata oppure si possono formare aggregazioni ad esempio per territori con le stesse caratteristiche che adottano un unico piano di illuminazione.

### 3.5.2 VALORI MINIMI DI LUMINANZA

Le leggi regionali non si occupano giustamente di prendere in esame la quantità di luminanza da mantenere sul manto stradale. Questi valori infatti devono essere unificati a livello nazionale. Di solito si rimanda a quelle che sono le disposizioni date dal codice

della strada o alle norme tecniche che effettivamente danno dei valori di luminanza media mantenuta. La norma che prenderemo in esame come abbiamo detto nella premessa è la norma UNI 10439.

Iniziamo quindi a vedere quali sono le definizioni più importanti che questa norma dà:

- **Luminanza media mantenuta:** Valore che assume la luminanza media del manto stradale nelle condizioni peggiori di invecchiamento ed insudiciamento dell'impianto di illuminazione.

- **Abbagliamento debilitante:** Abbagliamento prodotto dai centri luminosi, che può compromettere la visione, senza necessariamente provocare una forte sensazione fastidiosa. L'indice di abbagliamento debilitante TI (vedi Tabella 3.5.2 ultima colonna a destra) è definito per n centri luminosi in percentuale, come:

$$TI = 65 \frac{K}{L_m^{0,8}} \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{\theta_i^2} (\%)$$

(3.5.1)

dove:

-  $L_m$  è la luminanza media della carreggiata in candele a metro quadrato;

-  $E_i$  è l'illuminamento sull'occhio dell'osservatore prodotto dal centro luminoso "i" nel piano perpendicolare alla direzione di osservazione, in lux;

-  $\theta_i$  è l'angolo fra la congiungente l'occhio dell'osservatore con il centro luminoso "i" e la direzione di osservazione;

- K è uguale a 10 se  $\theta$  è espresso in gradi,  $K = 3 \cdot 10^{-3}$  se  $\theta$  è espresso in radianti.

- **Flusso di traffico:** numero di autoveicoli che percorrono la strada nell'unità di tempo prescelta, durante l'intera giornata o in particolari ore notturne.

Al paragrafo 3, sezione 3.2 "Classificazione delle strade e prescrizioni" ci vengono date le informazioni che ci servono per fare la classificazione delle strade e conoscere alla fine quali sono i livelli di luminanza media mantenuta da rispettare.

Il codice della strada classifica le strade a seconda della grandezza con lettere crescenti che vanno dalla A alla F. Per ognuna di queste si indica una categoria illuminotecnica che va da 6 per le strade più importanti a 2 per quelle di importanza minore. Possiamo vedere questa classificazione dalla tabella sottostante:

**Tabella 3.5.1: Classificazione delle strade in base al tipo di traffico.**

Classe <sup>1)</sup>	Tipo di strada e ambito territoriale	Indice della categoria illuminotecnica <sup>3)</sup>
A	Autostrade extraurbane	6
A	Autostrade urbane	6
B	Strade extraurbane principali	6
C	Strade extraurbane secondarie	5
D <sup>2)</sup>	Strade urbane di scorrimento veloce	6
D	Strade urbane di scorrimento	4
E <sup>2)</sup>	Strade urbane interquartiere	5
E	Strade urbane di quartiere	4
F	Strade extraurbane locali	4
F <sup>2)</sup>	Strade urbane locali interzonali	3
F	Strade urbane locali	2

1) La presente classificazione è in sintonia con quella riportata nel "Testo aggiornato dal Decreto Legislativo 30 aprile 1992, n° 285 recante il nuovo codice della strada" pubblicato sul supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale Serie generale - n° 67 del 22 marzo 1994.

2) La presente classificazione è in sintonia con quella riportata nel Decreto Ministeriale LL.PP. del 12 aprile 1995 "Direttive per la redazione, adozione ed attuazione dei piani urbani del traffico", pubblicato sul supplemento ordinario n° 77, Gazzetta Ufficiale n° 146 del 24 aprile 1995.

3) Le prestazioni relative all'indice della categoria illuminotecnica sono indicate nel prospetto 1b.

Fonte: norma UNI 10439, Luglio 2001

Una volta trovato l'indice della categoria illuminotecnica più adatto riferendosi alle condizioni di flusso orario con traffico massimo si vanno a vedere le prescrizioni specificate nella seguente tabella:

**Tabella 3.5.2: Prescrizioni illuminotecniche.**

Indice della categoria illuminotecnica	Valore minimo della luminanza media mantenuta $L_m$ cd/m <sup>2</sup>	Uniformità minima		Valore massimo dell'indice di abbagliamento debilitante $\mathcal{T}$ <sup>3)</sup>
		$\mathcal{U}_0$ <sup>1)</sup>	$\mathcal{U}_l$ <sup>2)</sup>	
		%	%	
6	2,0	40	70	10
5	1,5	40	70	10
4	1,0	40	50	10
3	0,75	40	50	15
2	0,5	35	40	15
1	0,3	35	40	15

1)  $\mathcal{U}_0 = L_{\min}/L_{\text{med}}$  rapporto tra luminanza minima e media su tutta la carreggiata (vedere 4.4.2).

2)  $\mathcal{U}_l = L_{\min}/L_{\max}$  rapporto tra luminanza minima e massima lungo la mezzzeria di ciascuna corsia (vedere 4.4.3).

3)  $\mathcal{T}$ = indice dell'abbagliamento debilitante (vedere 4.4.4).

Fonte: norma UNI 10439, Luglio 2001

I valori di luminanza che sono riportati possono subire variazioni di più o meno il 15% e non sono quelli reali ma di progetto. Nella realtà infatti bisogna prendere in considerazione un coefficiente di manutenzione M, che preveda la sporcizia e l'usura della strada e dei corpi illuminanti rispettivamente. Di solito i valori di luminanza in tabella vengono divisi per questo coefficiente M che è pari a 0,8.

Viene preso in considerazione anche il caso in cui il flusso orario di traffico diminuisca durante le ore notturne. Se le condizioni di sicurezza lo permettano, in fase di esercizio dell'impianto è possibile ridurre la luminanza media mantenuta dei seguenti valori che la norma indica:

“ - flusso di traffico minore del 50% del valore massimo: indice della categoria illuminotecnica ridotto di 1;  
- flusso di traffico minore del 25% del valore massimo: indice della categoria illuminotecnica ridotto di 2, salvo per la categoria illuminotecnica con indice 2 cui si applica la riduzione di una categoria. “.

Vengono dettati così anche dei valori di luminanza da mantenere nel caso in cui si faccia uso di riduttori di flusso luminoso nelle fasce ad orario regolamentato.

Questa norma prende in considerazione anche le zone laterali alla strada adibite ad uso pedonale con le seguenti prescrizioni:

“Le fasce di pertinenza o di rispetto della strada per la parte destinata al traffico pedonale devono essere illuminate, per tutta la loro larghezza fino a 5 m a lato della carreggiata, ad un livello non minore della metà del livello d'illuminamento della fascia adiacente di 5 m appartenente alla carreggiata stessa. “.

In sintesi possiamo quindi affermare che le indicazioni della norma ci permettono di fare la classificazione delle strade ed avere i livelli minimi di illuminazione con cui progettare i nostri impianti.

La legge della regione Toscana n. 39/05 affronta questo argomento nella parte dell'allegato A al punto 2 con riferimento all'articolo 37 commi 1, 2, (avevamo trattato questo punto al paragrafo 3.4.1 ma adesso cerchiamo di approfondirlo) nel seguente modo:

“Criteri tecnici per la progettazione, realizzazione e gestione di impianti di illuminazione esterna: (...omissis...)

2. Per le strade con traffico motorizzato, selezionare ogni qualvolta ciò sia possibile, i livelli minimi di luminanza ed illuminamento consentito dalle normative UNI 10439 o dalla norma DIN 5044. “.

A differenza della legge 37/00 la 39/05 dà la possibilità di far riferimento anche alla norma tedesca DIN 5044. In base all'articolo 1 della legge 186/1968 gli impianti

elettrici che nella loro realizzazione hanno seguito le indicazioni dettate dalle norme sono da considerare fatti a “regola d’arte”. Se facciamo riferimento alla direttiva 83/189/CEE e al D.P.R. n°447/91 articolo 5, ai fini della regola dell’arte si possono considerare conformi tutti gli impianti realizzati anche secondo le norme DIN o UNI. Questo provvedimento a nostro giudizio è molto utile in quanto le norme degli altri stati europei possono integrare i punti che la nostra norma nazionale non chiarisce o indica in maniera incompleta. I criteri di classificazione della norma DIN infatti non prendono in considerazione la grandezza delle strade per dare dei limiti di luminanza, ma viene preso in considerazione l’intensità del traffico cioè sulla base di quanti veicoli l’ora transitano per quella strada. Viene poi fatta una ulteriore divisione fra strade urbane ed extraurbane. A seconda delle caratteristiche della strada e delle velocità consentite su di essa vengono dati i valori di luminanza che riportiamo nelle seguenti tabelle:

**Tabella 3.5.3: Luminanza media mantenuta sulle strade urbane secondo la norma DIN 5044 (valori in cd / m<sup>2</sup>).**

Classificazione strada urbana DIN 5044	Intensità del traffico (veicoli/ora)			
	900	600	200	200
	Durata di superamento (ore/anno)			
	≥200	≥300	≥300	<300
Con spartitraffico con costruzioni ai lati, con traffico in sosta ai lati della/sulla carreggiata	2	2	1,5	1
Con spartitraffico con costruzioni ai lati, senza traffico in sosta ai lati	1,5	1,5	1	0,5
Con spartitraffico senza costruzioni ai lati, senza traffico in sosta ai lati	1	1	0,5	0,5
Con spartitraffico, strade principali con traffico pesante (velocità consentita >70km/h)	1,5	1	0,5	0,5
Con spartitraffico, strade principali (velocità consentita ≤70 km/h)	1	0,5	0,5	0,5
Classificazione strada urbana DIN 5044	Intensità del traffico (veicoli/ora)			
	600	300	100	100
	Durata di superamento (ore/anno)			
	≥200	≥300	≥300	<300
Senza spartitraffico con costruzioni ai lati, con traffico in sosta ai lati della/sulla carreggiata	2	2	1,5	0,5
Senza spartitraffico con costruzioni ai lati, senza traffico in sosta ai lati	2	1,5	1	0,5
Senza spartitraffico senza costruzioni ai lati, senza traffico in sosta ai lati	1,5	1,5	1	0,5
Senza spartitraffico, strade principali con traffico pesante (velocità consentita >70km/h)	1,5	1	0,5	0,5
senza spartitraffico, strade principali (velocità consentita ≤70 km/h)	1	1	0,5	0,5

Fonte: norma DIN 5044

Tabella 3.5.4: Luminanza media mantenuta sulle strade extraurbane secondo la norma DIN 5044 (valori in cd / m<sup>2</sup>).

Classificazione strada Extraurbana	Intensità del traffico (veicoli/ora)		
	900	600	600
DIN 5044	Durata di superamento (ore/anno)		
	≥200	≥300	<300
Con spartitraffico, strade principali (velocità consentita >70km/h)	1,5	1	0,5
Con spartitraffico, strade principali (velocità consentita ≤70 km/h)	1	0,5	0,5
Con spartitraffico, autostrade (velocità consentita >110 km/h)	1	1	1
Con spartitraffico, autostrade (velocità consentita ≤110 km/h)	1	0,5	0,5
Classificazione strada Extraurbana	Intensità del traffico (veicoli/ora)		
DIN 5044	600	300	300
	Durata di superamento (ore/anno)		
	≥200	≥300	<300
Senza spartitraffico, fasce laterali, marciapiedi e piste ciclabili	1	0,5	0,5
Senza spartitraffico, con delimitazione della carreggiata, con marciapiedi e/o piste ciclabili	0,5	0,5	0,5
Senza spartitraffico strade principali con traffico pesante (velocità consentita >70km/h)	1	1	0,5
senza spartitraffico, strade principali con traffico pesante (velocità consentita ≤70 km/h)	1	0,5	0,5

Fonte: norma DIN 5044

Dal nostro punto di vista è meglio riferirsi a questa norma in quanto l'effettiva necessità di illuminazione sulle strade deve dipendere dalla quantità di autoveicoli che passano e non dall'importanza di una strada. Ci rendiamo comunque conto che questi due fattori sono strettamente collegati ma si possono avere comunque delle eccezioni che non avrebbero la necessità di rispondere alla norma italiana, mentre si avrebbe un'analisi migliore con la norma tedesca.

La regione Lombardia con la sua legge 17/00 pone soltanto l'obbligo di non superare i livelli minimi di illuminamento previsti dalle norme di sicurezza. All'articolo 6, comma 2, infatti viene detto:

“ (...omissis...) gli impianti (...omissis...) devono essere realizzati in modo che le superfici illuminate non superino il livello minimo di luminanza media mantenuta previsto dalle norme di sicurezza. “.

Viene posta attenzione, per avere un'efficace risparmio energetico e per garantire la necessaria sicurezza, alla conservazione dei valori minimi di luminanza media mantenuta.

Vogliamo mettere in risalto un piccolo particolare di questa legge: non si parla di illuminazione stradale come fanno la norma UNI o la legge regionale 39/05 della Toscana. Vengono presi in considerazione tutti gli impianti di illuminazione pubblica e quindi anche ad esempio quella di parchi, sottopassaggi, scalinate ecc, ecc.

Riportiamo a titolo di esempio alcuni valori di illuminamento di luoghi particolari diversi dalle strade:

- Attraversamenti pedonali: da 20 a 30 lx di illuminamento medio sulla strada, marciapiedi compresi;
- Scalinate: 20 lx di illuminamento medio sulla scalinata, comunque quanto basta per individuare i gradini;
- Rampe: 20 lx;
- Piste ciclabili: da 3 a 10 lx, se la ciclabile è affiancata a marciapiedi, anche su questo si dovranno avere gli stessi valori di illuminamento;
- Sottopassaggi pedonali e ciclabili: 30 lx di illuminamento sulla parte ciclabile e anche sui marciapiedi;
- Parcheggi, autosilos: 10 lx nella parte occupata dalle vetture e anche nei passaggi pedonali limitrofi;
- Sentieri e passeggiate: 2 lx;
- Parchi e vialetti: 5 lx nei camminamenti del parco.

I valori sopra riportati possono variare anche secondo le scelte del progettista o delle necessità impiantistiche che si vogliono adottare. Non costituiscono alcuna prescrizione e sono da prendere soltanto come riferimento indicativo.

### **3.6 Conclusioni della parte legislativa**

L'analisi ed il confronto fatto in questa seconda parte su alcune leggi e le norme più significative, ci ha consentito di farci una opinione su come la normativa in materia affronta il tema dell'inquinamento luminoso. Riportiamo un esempio per introdurre e spiegare meglio le nostre valutazioni di merito.

Prendiamo in esame un comune di medie dimensioni nella pianura padana, diciamo in Piemonte, con una popolazione di circa 30.000 abitanti, dove non si hanno particolari legislazioni in materia di inquinamento luminoso e risparmio energetico. Diciamo che sul territorio sono installati 2.300 punti luce per l'illuminazione cittadina con un flusso

medio per lampada di 13.000 lumen e una potenza media installata per lampada di 180 W.

Riassumendo in tabella si ha:

Punti luce installati	Numero	2.300
Potenza media di lampada	Watt	180
Flusso medio di lampada	Lumen	13.000
efficienza media effettiva	Lumen / Watt	72,22

Da quanto sopra riportato possiamo arrivare ai seguenti risultati:

Potenza elettrica nominale installata	KW	414
Emissione luminosa globale	Lumen	29.900.000

Con i dati ottenuti, facciamo delle osservazioni ed applichiamo le prescrizioni previste dalle varie norme o leggi prese in esame.

Come abbiamo visto nel paragrafo 3.3.1 sulla classificazione delle aree la norma UNI 10819 divide il territorio in tre zone e per ognuna di queste dà dei valori in percentuale del rapporto medio di emissione superiore  $R_n$ . Questo parametro riportato in Tabella 3.4.1 non deve essere superato.  $R_n$  è calcolato per ogni impianto secondo la formula (3.2.1) e in base ai dati che ci sono stati forniti possiamo fare delle considerazioni. Supponiamo di sottoporre il nostro comune alle prescrizioni che la norma impone nelle diverse zone di rispetto e analizziamo i risultati ottenuti:

1) Zona 1

Applichiamo la (3.2.1) e cerchiamo quanto flusso luminoso può essere emesso nella parte superiore verso il cielo dall'illuminazione pubblica di questo comune.

$$R_n = 100 \cdot \frac{\sum_n \phi_{\theta,\psi}}{\sum_n \phi_{tot}} \Leftrightarrow \sum_n \phi_{\theta,\psi} = \frac{R_n \cdot \sum_n \phi_{tot}}{100}$$

(3.6.1)

e sostituendo i dati che abbiamo a disposizione otteniamo:

$$R_n = 1\% \quad (\text{vedi Tabella 3.4.1})$$

$$\Phi_{tot} = 19.500.000 \text{ lumen}$$

$$\sum_n \phi_{\theta,\psi} = \frac{R_n \cdot \sum_n \phi_{tot}}{100} = \frac{1 \cdot 29.900.000}{100} = 299.000 \text{ Lumen}$$

questo è il valore del flusso luminoso che il comune può dirigere verso l'alto pur essendo conforme alla norma UNI 10819. Presa come riferimento una lampada da 150W ai vapori di sodio ad alta pressione che ha un flusso luminoso di 15.000 lumen, vogliamo trovare il numero di lampade equivalenti che sommate darebbero il flusso luminoso sopra trovato.

$$N_{lampade} = \frac{299.000}{15.000} = 20$$

Questo è il numero di corpi illuminanti che potremmo rivolgere verso il cielo se le altre lampade che costituiscono l'illuminazione pubblica del nostro comune fossero tutte rivolte verso il basso. Il risparmio energetico che otterremmo sarebbe il seguente:

*Potenza risparmiata* =  $20 \cdot 150 = 3.000 \text{ W}$  senza considerare il tempo di usura della lampada.

I valori sopra ottenuti sono validi per tutti i comuni, sia quelli che sono in possesso di un piano regolatore dell'illuminazione comunale sia per quelli che non lo hanno in quanto i valori di  $R_n$  riportati nelle Tabella 3.4.1 e Tabella 3.4.3 sono gli stessi nella zona 1.

## 2) Zona 2

Ripetendo i calcoli fatti sopra la situazione non migliora sicuramente, infatti otteniamo i seguenti risultati per i comuni che hanno il PRIC:

$$R_n = 5\% \quad (\text{vedi Tabella 3.4.1})$$

$$\text{flusso emesso superiore} = 1.495.000 \text{ Lumen}$$

$$N_{lampade} = \frac{1.495.000}{15.000} = 100$$

$$\text{Potenza risparmiata} = 100 \cdot 150 = 15.000 \text{ W}$$

Per i comuni che invece non sono in possesso del suddetto piano otteniamo:

$$\left. \begin{array}{l} R_{n \text{ stradale}} = 3\% \\ R_{n \text{ non stradale}} = 9\% \end{array} \right\} \text{ vedi Tabella 3.4.3}$$

$$\text{flusso emesso stradale} = \frac{3 \cdot 29.900.000}{100} \cdot 0,65 = 583.050 \text{ Lumen}$$

il coefficiente 0,65 sta ad indicare la parte di impianti che sono adibiti ad illuminazione stradale (vedi paragrafo 3.4.1).

$$\text{flusso emesso non stradale} = \frac{9 \cdot 29.900.000}{100} \cdot 0,35 = 941.850 \text{ Lumen}$$

il coefficiente 0,35 indica invece la parte di impianti al di fuori dell'illuminazione non stradale e quindi adibita a aree a verde pubblico, aree a rischio, grandi aree e tutti gli altri tipi di impianti che la norma classifica come B, C, D (vedi paragrafo 3.4.1).

$$\text{flusso emesso totale} = 1.524.900 \text{ Lumen}$$

$$N_{\text{lampade}} = \frac{1.524.900}{15.000} = 102$$

$$\text{Potenza risparmiata} = 102 \cdot 150 = 15.300 \text{ W}$$

### 3) Zona 3

Aumentando la percentuale di  $R_n$  aumenta anche il flusso disperso verso il cielo ed in questo caso abbiamo nelle zone in cui è in vigore il PRIC:

$$R_n = 10\% \quad (\text{vedi Tabella 3.4.1})$$

$$\text{flusso emesso superiore} = 2.990.000 \text{ Lumen}$$

$$N_{\text{lampade}} = \frac{2.990.000}{15.000} = 199$$

$$\text{Potenza risparmiata} = 199 \cdot 150 = 29.850 \text{ W}$$

Per i comuni che dispongono del Piano Regolatore si ottengono i seguenti risultati:

$$\left. \begin{array}{l} R_n \text{ stradale} = 3\% \\ R_n \text{ non stradale} = 23\% \end{array} \right\} \text{ vedi Tabella 3.4.3}$$

$$\text{flusso emesso stradale} = \frac{3 \cdot 29.900.000}{100} \cdot 0,65 = 583.050 \text{ Lumen}$$

$$\text{flusso emesso non stradale} = \frac{23 \cdot 29.900.000}{100} \cdot 0,35 = 2.406.950 \text{ Lumen}$$

$$\text{flusso emesso totale} = 2.990.000 \text{ Lumen}$$

$$N_{\text{lampade}} = \frac{2.990.000}{15.000} = 199$$

$$\text{Potenza risparmiata} = 199 \cdot 150 = 29.850 \text{ W}$$

Come possiamo notare i risultati che si ottengono nei comuni con o senza il PRIC sono giustamente gli stessi. Lo stesso criterio di limitazione dell'inquinamento luminoso deve essere seguito in tutti i comuni. Il problema è che viene sprecata troppa energia (in zona

3 quasi 30 KW) che va tra l'altro ad incrementare gli effetti dell'inquinamento luminoso.

Per quanto riguarda i valori di emissione di flusso luminoso oltre i 90° la norma UNI 10819 non risponde alle prescrizioni delle leggi regionali prese in esame. Se venissero seguite le prescrizioni indicate dalla norma per eseguire impianti in Toscana verrebbe violata la legge 39/05 e precisamente l'articolo 35, ai commi 2, 3, 4 e l'allegato A ai punti 3, 4 e 6. Quanto detto per la regione Toscana vale a maggior ragione per la Lombardia, che vedrebbe gran parte dei suoi articoli violati. Sempre per le stesse ragioni la norma UNI 10819 non può essere applicata neanche nelle seguenti regioni: Veneto, Emilia Romagna, Abruzzo, Umbria, Marche, Lazio, Campania, Puglia (regioni che in Figura 3.1.1 sono colorate di verde, verde chiaro, giallo). Questa norma infatti consente percentuali di flusso luminoso sopra le 0 cd per 1000 lumen di flusso totale emesso dal corpo illuminante.

La norma UNI 10819 inoltre suddivide il territorio in zone 1, 2, 3 con alcuni valori di distanziamento dagli osservatori astronomici. Le leggi regionali non hanno zone ma fasce di rispetto con distanze completamente diverse (vedi il paragrafo 3.3.1). Alcune delle prescrizioni che si devono seguire all'interno delle fasce di rispetto dettate dalle leggi regionali sono più restrittive rispetto a quelle previste dalla norma UNI.

In considerazione di quanto sopra esposto potrebbe quindi verificarsi la paradossale situazione in cui abbiamo impianti a norma secondo la legge 186/1968 perché conformi alla UNI 10819 ma non rispondenti però alle leggi regionali. Ne consegue pertanto che nelle regioni che si sono dotate di una propria normativa in materia di inquinamento luminoso come: Lombardia, Veneto, Emilia Romagna, Toscana, Marche, Umbria, Abruzzo, Lazio, Campania e Puglia gli impianti che sono conformi alla sola norma UNI 10819 sono da considerare **FUORI LEGGE**.

La norma UNI 10819, a nostro giudizio, sarebbe quindi da applicare solamente nelle zone in cui non si abbiano regolamenti comunali, provinciali o regionali.

***PARTE III*** MEZZI PER IL RISPARMIO ENERGETICO E  
LA LIMITAZIONE DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO

## 4 CAPITOLO: SORGENTI LUMINOSE UTILIZZATE NELLA PUBBLICA ILLUMINAZIONE

### **4.1 Scelta delle sorgenti luminose**

Per realizzare un impianto di illuminazione seguendo i criteri di efficienza ed economicità, dobbiamo inevitabilmente fare una scelta dei corpi illuminanti più appropriati. Se da un lato sono fondamentali le proprietà illuminotecniche degli apparecchi luminosi, dall'altro le lampade ne costituiscono la parte vitale. Dobbiamo conoscere quali sono le proprietà con cui essi vengono costruiti in modo da operare le giuste scelte in fase di progettazione ed esecuzione di impianti di illuminazione. Sono ad esempio da privilegiare, a parità di flusso luminoso emesso, gli apparecchi che impieghino meno potenza elettrica.

Ogni sorgente luminosa deve avere le caratteristiche adeguate per il luogo in cui viene installata. Sono da preferire le lampade a vapori di sodio per illuminare zone in cui non viene richiesto un compito visivo troppo elevato (illuminazione pubblica di strade, parcheggi...). Per le aree in cui viene richiesta una resa cromatica superiore (campi sportivi, centri storici...) si consiglia invece l'impiego di altri tipi di lampade ad esempio quelli a ioduri metallici con un'efficienza luminosa il più elevata possibile.

Le amministrazioni comunali per l'illuminazione di aree pubbliche fanno largo uso di questi due tipi di lampade. A titolo di esempio vogliamo riportare dei dati riguardanti la pubblica illuminazione della città di Firenze in modo da capire quali sono le proporzioni di utilizzo delle varie lampade. Riportiamo nella tabella che segue i dati sulle caratteristiche generali del territorio e della rete di pubblica illuminazione relativi all'anno 2005.

**Tabella 4.1.1: Illuminazione pubblica del comune di Firenze, Caratteristiche generali.**

SUPERFICIE TERRITORIO COMUNALE	Km2	102,41
ESTENSIONE RETE VIARIA	Km	798
EMISSIONE LUMINOSA GLOBALE	Lumen	720.345.870
POTENZA ELETTRICA NOMINALE INSTALLATA	KW	7.870
POTENZA MEDIA DI LAMPADA	Watt	205
FLUSSO LUMINOSO MEDIO DI LAMPADA	Lumen	18.770
EFFICIENZA LUMINOSA MEDIA EFFETTIVA	Lumen/Watt	91,53
CENTRI LUMINOSI		38.378
QUANDRI DI ALIMENTAZIONE		617

Per quanto riguarda il numero ed il tipo di lampade utilizzate in questo comune facciamo riferimento ai seguenti dati:

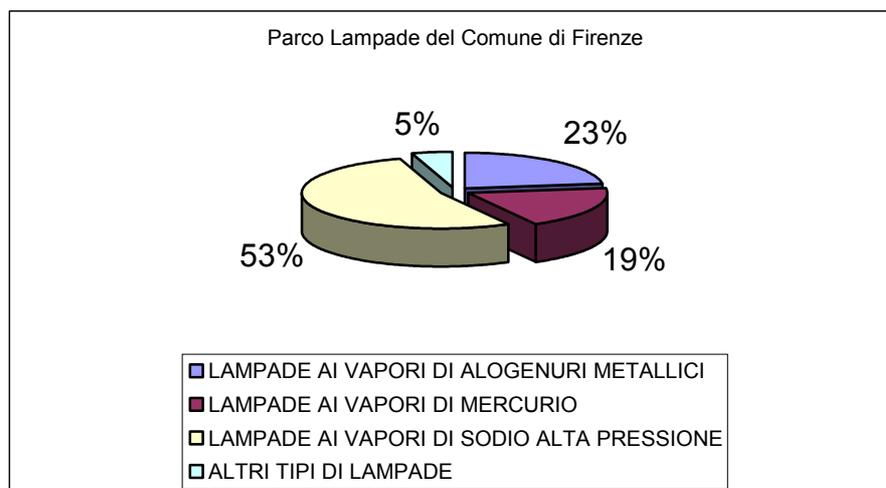
**Tabella 4.1.2: Numero di lampade inserite nella rete di illuminazione pubblica del comune di Firenze.**

LAMPADE AI VAPORI DI ALOGENURI METALLICI		8.780
LAMPADE AI VAPORI DI MERCURIO		7.326
LAMPADE AI VAPORI DI SODIO ALTA PRESSIONE		20.489
ALTRI TIPI DI LAMPADE		1.783
TOTALE PARCO LAMPADE		38.378

Fonte: vedi sito comune di Firenze

Alla voce altri tipi di lampade sono stati sommati i contributi di lampade alogene, ad incandescenza, ad induzione e lampade ai vapori di sodio a bassa pressione. Le percentuali dei valori sopra citati sono evidenziate nel grafico sottostante.

**Grafico 4.1.1: Percentuali dei tipi di lampade utilizzate per la pubblica illuminazione installate nel comune di Firenze.**



Fonte: elaborazione propria su dati

Come possiamo notare i tipi di lampade che vengono più utilizzati nell'illuminazione pubblica sono quelle a vapori di alogenuri metallici, lampade al sodio ad alta pressione, lampade ai vapori di mercurio. Queste considerazioni possono essere estese alla maggior parte dei comuni del territorio italiano.

Per i motivi sopra elencati nei paragrafi successivi faremo un'analisi delle sorgenti luminose più utilizzate.

## **4.2 Tipi di lampade**

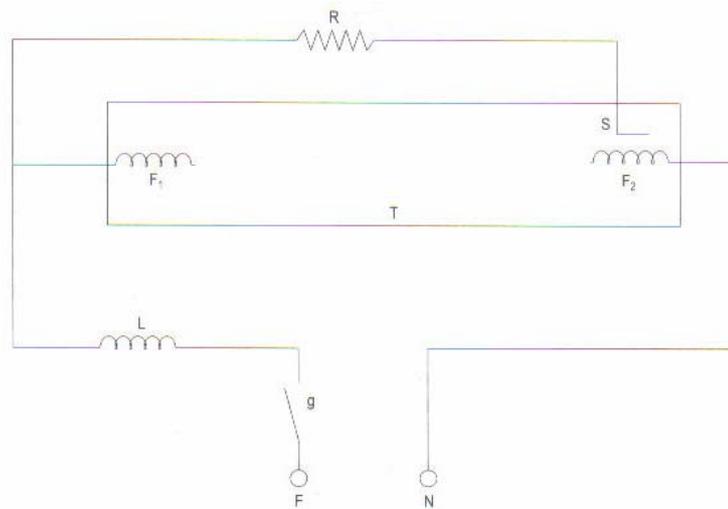
### 4.2.1 LAMPADE AI VAPORI DI MERCURIO

Questi tipi di lampade sono state le prime nel tempo ad essere utilizzate in larga scala per l'illuminazione pubblica. Attualmente non vengono più installate e stanno lentamente scomparendo. Il loro largo impiego nel passato non ha tenuto conto della pericolosità e delle difficoltà di smaltimento di sostanze chimiche come il mercurio. Il 13/02/2003 è entrata in vigore la direttiva comunitaria 2002/95/CE sulla restrizione dell'impiego di tali materiali pericolosi nelle apparecchiature elettriche ed elettroniche. Questa direttiva ha come effetto la messa al bando di lampade al mercurio sul territorio europeo. E' stato vietato ogni tipo di commercializzazione e installazione a partire dal 1° Luglio 2006. Data la loro diffusione (vedi Grafico 4.1.1) ed i tempi con cui queste direttive verranno applicate è comunque importante prendere in esame ed approfondire il funzionamento di queste lampade.

La radiazione elettromagnetica degli atomi di mercurio è molto influenzata dalla pressione. Nel tempo si sono sviluppati due tipi di sorgenti luminose, lampade al mercurio a bassa pressione e lampade ad alta pressione. La radiazione emessa dal mercurio a pressioni dell'ordine di qualche millesimo di bar è nella maggior parte ultravioletta con una lunghezza d'onda pari a  $\lambda = 255 \text{ nm}$  (vedi Grafico 1.3.1: Curva di sensibilità del corpo umano e commenti di seguito riportati). Con queste caratteristiche la lampada risulta invisibile in quanto l'occhio umano ha sensibilità  $S(\lambda)$  nulla. Questo tipo di sorgente luminosa provoca danni alla salute delle persone e trova impiego soltanto in campo medico per la sterilizzazione di ambienti ed oggetti. Se l'ampolla esterna della lampada viene rivestita di particolari sostanze (polvere fluorescente in genere vanadato di ittrio o alluminato di ittrio) con la capacità di convertire la

radiazione ultravioletta in radiazione luminosa, le lampade a vapori di mercurio a bassa pressione vengono chiamate lampade fluorescenti. Aumentando la pressione (da 5 a 50 bar), la radiazione emessa si sposta dando alla luce della lampada un colore bianco-azzurro. Le lampade a vapori di mercurio ad alta pressione vengono costruite in ampole di quarzo (molto più resistente del vetro ad elevate temperature) e presentano un tubo a scarica a forma di T come in figura:

**Figura 4.2.1: Schema elettrico e costruttivo di una lampada al mercurio ad alta pressione.**



*Fonte: G. "impianti elettrici", Bologna, Calderone ed agricole, 2000*

Dove:

T è il tubo in cui avviene la scarica; F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub> sono gli elettrodi principali; S è l'elettrodo ausiliario per l'innesco della lampada; L è il reattore; R è una resistenza; F e N sono fase e neutro rispettivamente.

Il tubo a T oltre a contenere mercurio, ha al suo interno anche piccoli quantitativi di argon. Alimentando la lampada si possono individuare due fasi principali per la sua accensione:

- 1) In un primo periodo la corrente elettrica circola passando per il reattore L, per la resistenza R ed attraverso gli elettrodi S e F<sub>2</sub> incontrando una minore resistenza. Si crea così una scarica elettrica dovuta alla rottura del dielettrico creato dall'argon tra questi elettrodi. Vengono prodotti elettroni necessari per innescare la lampada in modo da eccitare gli atomi di mercurio.
- 2) Una volta innescata la scarica elettrica la resistenza fra gli elettrodi F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub> (che sono di tungsteno) diminuisce. Siccome la corrente elettrica preferisce il percorso in cui si

incontra resistenza minore, la differenza di potenziale rimane fra questi due elettrodi. Si avvia così un processo continuo in cui gli elettroni che circolano durante il passaggio di corrente eccitano gli atomi di mercurio portandoli ad emettere radiazioni elettromagnetiche. Prima di raggiungere la massima luminosità, la lampada deve arrivare alla sua temperatura ottimale (di solito intorno a 680° K). Il pieno flusso luminoso viene raggiunto dopo circa cinque minuti dall'accensione.

In caso di spegnimento accidentale si riaccendono dopo pochi minuti in quanto a caldo necessitano soltanto dell'eccitazione del mercurio e di ritrovare la temperatura ottimale di funzionamento.

Su queste lampade possono essere montati alimentatori elettronici che fanno funzionare la sorgente anche a potenza ridotta del 50% purché l'accensione avvenga a piena potenza. La corrente di spunto è pari a circa il 140% della corrente nominale di funzionamento.

La durata di vita di queste lampade è di circa 10.000 ore e non risentono delle piccole variazioni di tensione ( $\pm 5\%$  della tensione nominale a cui lavora la lampada). La caduta di flusso luminoso a fine vita è del 25%.

Il fattore di potenza di queste lampade è molto basso rispetto a quello della rete, si possono trovare valori che oscillano intorno a 0,5-0,7 per questo è necessario rifasare<sup>10</sup> questo tipo di corpi illuminanti. Inoltre le lampade al mercurio possono dare luogo a radiodisturbi che vengono eliminati collegando all'interno dell'apparecchio luminoso un condensatore in parallelo alla lampada.

Come abbiamo accennato questa lampada è sempre più in disuso perché presenta numerosi elementi negativi rispetto alle altre tecnologie:

- una bassa efficienza luminosa in media intorno ai 55 lm/W;
- una durata di vita modesta di circa 8.000-10.000 ore;
- l'alto costo di smaltimento a causa del mercurio.

---

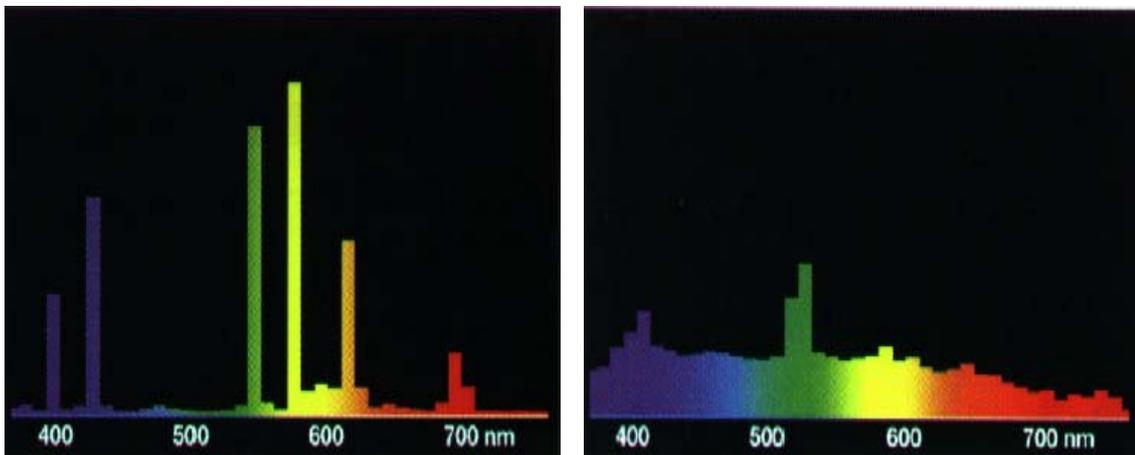
<sup>10</sup> Per gli impianti che hanno valori del fattore di potenza inferiori a 0,8 l'ente distributore fa pagare delle penali (a causa della quantità di potenza reattiva che transita sulle reti). Per questo si cerca di riportare il cos $\phi$  a valori intorno all'unità installando in parallelo alla lampada un condensatore con valore determinato. I costruttori di apparecchi illuminanti costruiscono i loro prodotti già con inseriti i condensatori realizzando così il rifasamento detto "Punto-Punto". Può essere realizzato anche un rifasamento centralizzato (scarsamente impiegato).

#### 4.2.2 LAMPADE AI VAPORI DI ALOGENURI METALLICI

Le lampade agli alogenuri metallici sono costituite da un tubo contenente vapori di mercurio aggiunti a ioduri metallici (sodio, tallio, sodio/scandio, cesio, indio, ecc).

La luce che viene emessa è molto bianca, tipo quella solare, in quanto queste sostanze alle alte temperature si scompongono e gli ioni emettono luce nello spettro in cui i vapori di mercurio non presentano righe. Possiamo notare questa differenza confrontando gli spetti luminosi di queste due lampade riportate nella figura sottostante.

**Figura 4.2.2: Confronto fra gli spettri luminosi di una lampada al mercurio (figura a sinistra) con quelli di una lampada ad alogenuri (figura a destra). Notate come nella seconda figura lo spettro è distribuito su ogni lunghezza d'onda del visibile.**



Fonte: vedi sito internet "<http://etd.adm.unipi.it/>"

La lampada viene costruita nella stessa maniera delle lampade ai vapori di mercurio. L'aggiunta di ioduri contribuisce ad aumentarne l'efficienza che per lampade da 150 W arriva a circa 95-105 lm/W e la resa cromatica che assume valori compresi fra 80-95. Le sorgenti luminose ad alogenuri metallici avendo una luce bianchissima coprono tutto lo spettro del visibile emettendo anche radiazioni elettromagnetiche nel campo dell'ultravioletto. Per evitare questo tipo di radiazione le lampade vengono montate in apparecchi ermeticamente chiusi con parabole di vetro resistente alle alte temperature. Queste sorgenti luminose non sono molto gradite dall'astrofilo in quanto le loro

radiazioni che inquinano il cielo non possono essere eliminate nemmeno con appositi filtri nebulari<sup>11</sup>.

Questi tipi di lampade sono molto compatte e vengono usate in genere per illuminare zone in cui è richiesto un elevato compito visivo. Il loro utilizzo viene scelto per l'illuminazione di manufatti, monumenti oppure di impianti sportivi in cui si devono seguire gli spostamenti di oggetti piccoli anche da elevate distanze (si pensi agli spostamenti di un palla a centinaia di metri di distanza). Per realizzare questo tipo di impianti si impiegano sorgenti luminose molto potenti. Dato il loro elevato grado di inquinamento luminoso è necessario uno studio approfondito per dirigere i fasci luminosi nella giuste direzioni. Si deve quindi fare una progettazione mirata ad avere giuste inclinazioni dei fari, ottiche asimmetriche interne all'apparecchio, schermature e riduzioni di potenza in modo da controllare il consumo di energia.

Queste lampade possono raggiungere all'incirca le 6.000 ore di vita anche se questa viene accorciata del 30-40% con sbalzi di tensione del 5%. A fine vita la caduta del flusso luminoso è del 40%. La corrente di spunto all'accensione di queste lampade può raggiungere anche il 190% della corrente nominale a cui di solito lavorano. In fase di progettazione dobbiamo porre molta attenzione nella regolazione del flusso luminoso di queste lampade infatti a tensioni ridotte possono sorgere problemi di aberrazioni cromatiche e riduzione della vita di funzionamento. In caso di spegnimento accidentale è possibile con accenditori o alimentatori particolari la riaccensione immediata dei corpi illuminanti.

#### 4.2.3 LAMPADE AI VAPORI DI SODIO

Le lampade a vapori di sodio come abbiamo visto nel Grafico 4.1.1 sono le più diffuse (53%) nell'illuminazione pubblica. La pressione influenza fortemente la radiazione elettromagnetica che il sodio emette se percorso da corrente, tanto che si hanno due tipi

---

<sup>11</sup> I filtri nebulari sono anche chiamati LPS ovvero Light Pollution Reducer ( in italiano significa "riduttori di inquinamento luminoso"). Le nebulose ad emissione e a riflessione emettono le loro lunghezze d'onda generalmente intorno ai 490nm (idrogeno-alfa) e 650nm (idrogeno-beta). Bisogna fare invece eccezione per le nebulose planetarie , le quali essendo fatte esclusivamente da O<sub>3</sub> emettono luce in un sol punto dello spettro, 502nm. Invece, le lampade che inquinano il cielo , se sono fatte da vapori di mercurio hanno una lunghezza d'onda compresa fra i 400 ed i 450nm, quelle ai vapori di sodio emettono luce all'incirca verso i 600nm. Il filtro nebulare quindi, ha il compito di attenuare le lunghezze d'onda delle lampade cittadine e di rafforzare quelle dell' idrogeno e dell' ossigeno tre volte ionizzato.

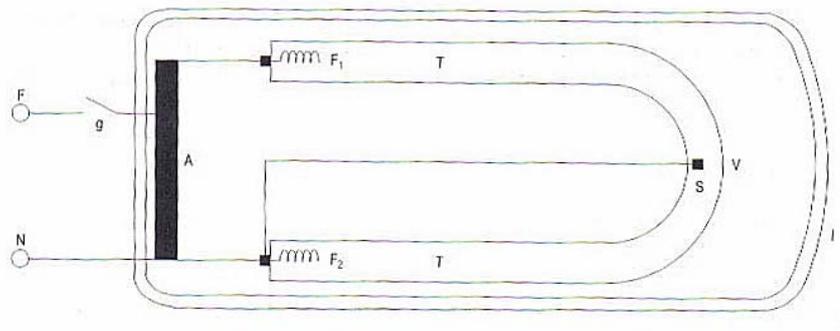
di lampade, quelle ai vapori di sodio a bassa pressione e quelle ai vapori di sodio ad alta pressione. Iniziamo ad analizzare questi due tipi di sorgenti luminose:

- **Lampade ai vapori di sodio a bassa pressione (LPS)**

La lampada al sodio bassa pressione è stata la prima lampada a scarica in gas, introdotta nel 1932, ancora oggi rimane la sorgente luminosa migliore in fatto di efficienza luminosa.

Questo tipo di lampada oltre a contenere sodio ha al suo interno anche piccole quantità di gas inerte in genere neon. E' costruita ripiegando un tubo di vetro a U in cui sono contenuti oltre al sodio gli elettrodi principali e quelli per l'accensione della lampada come possiamo vedere dalla figura sotto riportata.

Figura 4.2.3: Schema elettrico e costruttivo di una lampada al mercurio ad alta pressione.



Fonte: G. "impianti elettrici", Bologna, Calderone ed agricole, 2000

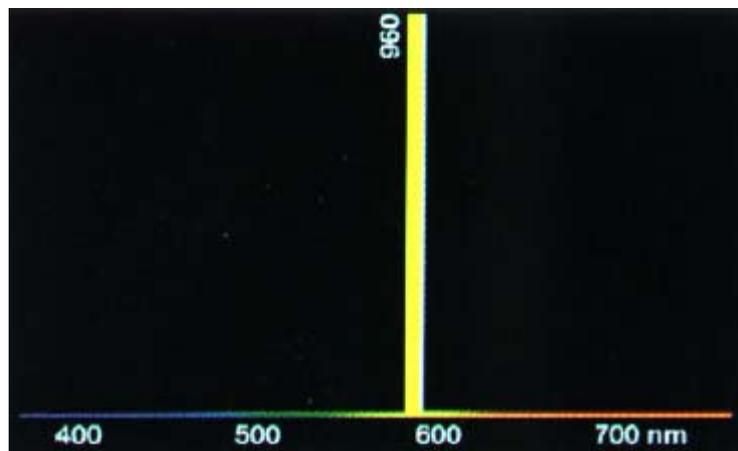
Dove:

T è il tubo contenente il sodio; F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub> sono gli elettrodi principali; S è l'elettrodo ausiliario; I è il vetro esterno; V è l'estremità del tubo; A è un autotrasformatore; F e N sono fase e neutro rispettivamente.

Il punto S è collegato all'elettrodo principale F<sub>2</sub> per innescare l'accensione della lampada grazie all'aiuto del neon presente all'interno del tubo. S è posizionato all'estremità V della lampada in modo da ridurre la distanza e quindi riuscire ad ottenere delle scariche elettriche rompendo più facilmente il dielettrico formato dal neon e dal sodio. Con la lampada spenta, cioè alla temperatura ambiente il sodio si deposita in grandi gocce sulle pareti del tubo. Il sodio infatti ha una temperatura di fusione di 93° C e quindi alla temperatura ambiente si presenta alla stato solido. Una volta alimentata

la lampada, alla pressione di qualche Pascal<sup>12</sup> si innescano delle scariche elettriche nel neon che fanno riscaldare il tubo T. Il sodio inizia gradualmente ad evaporare con l'aumento di temperatura (fino a 200°C) e con la conseguente ionizzazione, gradualmente emette radiazioni con una lunghezza d'onda pari a circa 589-589,6 nm. Lo spettro di emissione è riportato nella figura sottostante e come possiamo vedere l'emissione del sodio a basse pressioni avviene soltanto alla lunghezze d'onda riportate rendendo impossibile distinguere gli altri colori di oggetti che vengono illuminati da questa luce.

**Figura 4.2.4: Spettro luminoso di lampade al sodio a bassa pressione.**



*Fonte: vedi sito internet "<http://etd.adm.unipi.it/>"*

La tensione di rete di 220 V è insufficiente a creare l'innescò della lampada, si ricorre quindi all'utilizzo di un autotrasformatore A montato in parallelo che eleva la tensione a 400 V necessari a creare la scarica elettrica. Il percorso della corrente una volta che la lampada ha raggiunto la temperatura di stabilizzazione è il seguente: F fase, autotrasformatore A, elettrodo F<sub>1</sub>, tubo T, elettrodo F<sub>2</sub>, neutro N.

Su queste lampade si ricorre a delle piccole modifiche meccaniche in quanto il vapore di sodio attacca il vetro comune, pertanto il tubo T viene rivestito internamente con del vetro borosilicato più resistente. Per mantenere ancora di più la temperatura costante si cerca di ridurre al minimo gli scambi di calore creando il vuoto fra il tubo T e l'ampolla I contenente la lampada. In questa maniera infatti vengono ridotti al minimo gli scambi termici relativi alla conduzione e alla convezione.

Alla lunghezza d'onda di emissione di questa lampada, come possiamo vedere dalla

---

<sup>12</sup> 1 bar = 10<sup>5</sup> Pascal.

Tabella 1.3.1, la luce è di colore giallo intenso e molto vicina al valore massimo di sensibilità dell'occhio umano. Per questo motivo le sorgenti luminose ai vapori di sodio a bassa pressione anche se emettono luce gialla monocromatica e hanno coefficienti di resa cromatica inferiori a 25, raggiungono i valori a più alta efficienza luminosa che si possono aggirare intorno a 180-190 lm/W. Gli osservatori astronomici promuovono molto questi tipi di lampade in quanto disturbano poco le osservazioni ed i loro spettri luminosi sono di facile eliminazione grazie ai filtri nebulari.

La loro accensione però avviene con periodi di tempo più lunghi anche in luogo del fatto che il sodio deve evaporare e per raggiungere il pieno flusso luminoso si possono impiegare anche 15 minuti. Hanno il vantaggio in caso di spegnimento accidentale di potersi riaccendere entro poche decine di secondi o al massimo qualche minuto.

Questi tipi di lampade vengono scarsamente utilizzate a causa del colore emesso e sono installate soprattutto in zone industriali, depositi, svincoli stradali o in distributori di carburanti fuori città.

Diamo adesso un po' di caratteristiche tecniche di questi apparecchi:

- le sorgenti luminose ai vapori di sodio a bassa pressione hanno un fattore di potenza molto basso intorno a 0,3 e necessitano indispensabilmente di batterie di rifasamento;
- la corrente di spunto è la stessa della nominale;
- la vita media di queste lampade può raggiungere le 9.000 ore se non viene abbreviata da sbalzi di tensione del 5% durante il loro funzionamento;
- la caduta di flusso luminoso a fine vita della lampada è all'incirca del 40%.

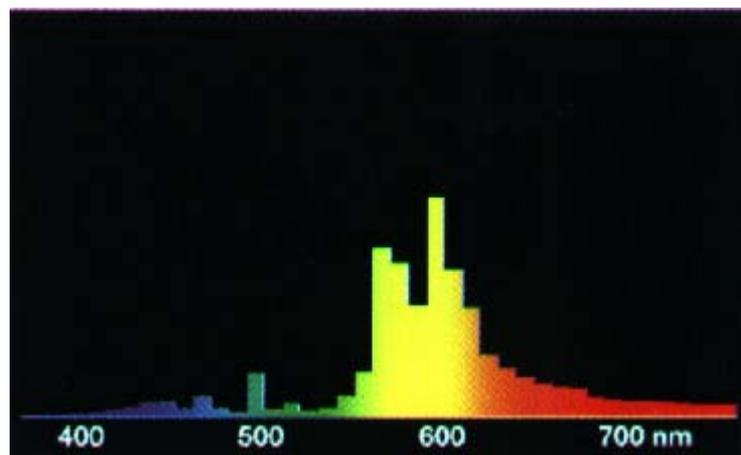
A nostro avviso questa è una sorgente luminosa che nel prossimo futuro avrà ulteriori sviluppi e diffusione. Grazie a tempi di vita relativamente lunghi, alla totale assenza di mercurio al suo interno, ai bassi livelli di inquinamento luminoso emesso e con rapporti di efficienza luminosa molto elevati rispetto alle altre lampade riteniamo che sia il tipo di lampada adatto per le nostre esigenze di risparmio energetico e limitazione dell'inquinamento luminoso.

## **2) Lampade ai vapori di sodio ad alta pressione (HPS)**

Aumentando la pressione all'interno della lampada (decine di Kpa) il sodio lavora a temperature superiori (700°C) ma si allontana dalle condizioni di gas ideale. La lampada è costituita dagli stessi elementi visti per gli apparecchi a bassa pressione ad

eccezione del gas inerte che può essere sostituito da argon e dell'elettrodo ausiliario S. Questo è superfluo in quanto le dimensioni delle sorgenti al sodio ad alta pressione sono più compatte rispetto a quelle a bassa pressione. La distanza fra gli elettrodi principali è sufficiente a far innescare l'arco elettrico per il riscaldamento e la vaporizzazione del sodio. Queste lampade emettono una luce bianco-oro con lunghezze d'onda fra 540 e 650 nm ed hanno una resa cromatica decisamente superiore che può aggirarsi intorno ai 65. La luce gialla meno intensa è dovuta al fenomeno dell'autoassorbimento, il vapore di sodio più freddo che si trova nella zona più lontana dalla scarica assorbe le radiazioni emesse dal vapore in prossimità della scarica e riemette l'energia assorbita parte sotto forma di calore, parte come emissione luminosa che riempie lo spettro del visibile come riportato nella figura sottostante.

**Figura 4.2.5: Spettro luminoso di una lampada ai vapori di sodio ad alta pressione.**



*Fonte: vedi sito internet "<http://etd.adm.unipi.it/>"*

Con l'aumentare della pressione (fino a 90 Kpa) all'interno del tubo che contiene il sodio, si ottiene luce sempre più tendente al bianco a scapito però dell'efficienza luminosa. Questa a seconda del tipo di apparecchio preso in esame può avere valori che si aggirano intorno a 90-130 lm/W.

Anche per questo tipo di lampada si hanno tempi di accensione piuttosto prolungati ed il pieno flusso luminoso è raggiunto dopo circa 10 minuti dall'accensione. Questi apparecchi illuminanti in caso di spegnimento possono riaccendersi entro pochi minuti e se vengono dotati di particolari accenditori la lampada può riaccendersi immediatamente. All'occorrenza possono essere fatte riduzioni di flusso luminoso emesso anche del 55% rispetto alle condizioni nominali. La corrente di spunto all'accensione risulta intorno al 120% di quella nominale e il fattore di potenza per

lampade al sodio HPS è all'incirca intorno a 0,5. Possono raggiungere le 10.000 ore di vita con una caduta di flusso luminoso a fine vita del 10%. La durata della vita si abbrevia con aumenti e diminuzioni di tensione medi del 5%. Neanche questi tipi di lampada creano problemi al fine delle osservazioni astronomiche.

Per completezza nella trattazione di questi tipi di sorgenti luminose diciamo che il sodio con l'aggiunta di impurezze come lo xeno permette di ottenere luce più bianca simile a quella delle lampade ad incandescenza e una resa dei colori paragonabile a quella delle lampade al mercurio. Pur contenendo sodio queste lampade provocano molto inquinamento luminoso e quindi dal punto di vista astronomico le impurezze aggiungono linee nello spettro del sodio e diminuiscono la possibilità (anche attraverso filtri) di osservare il cielo. Esistono in commercio lampade al sodio/xeno che possono funzionare con tonalità di colore diverse. Queste lampade non contengono mercurio e possono essere dimmerate riducendo il flusso luminoso anche del 50% rispetto al nominale. Particolare attenzione all'utilizzo di queste lampade deve essere posta per l'illuminazione di strade o di oggetti in movimento in quanto possono presentare effetti stroboscopici.

#### 4.2.4 LED (LIGHT EMITTING DIODE) DI POTENZA

Per completezza, nell'esame delle sorgenti luminose, riteniamo opportuno trattare anche i LED di potenza in quanto possibile strumento di illuminazione stradale del futuro.

I LED oggi trovano utilizzo come integrazione dell'illuminazione tradizionale e non avendo un ruolo primario vengono utilizzati per segnalazioni stradali, semafori, come indicatori di prossimità, linee di luce ed in rari casi nell'illuminazione di zone pedonali, piazze, parchi.

**Figura 4.2.6: Esempi di apparecchi luminosi costituiti da LED.**



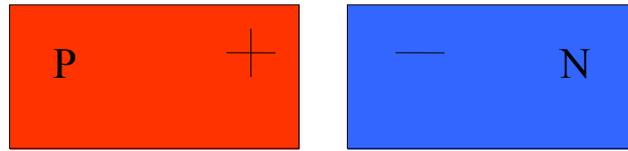
Purtroppo non abbiamo a disposizione una grande quantità di dati da poter riportare a causa della scarsa diffusione commerciale per l'illuminazione pubblica di questi apparecchi.

I LED esistono dagli anni '60 (sono relativamente giovani rispetto alle altre sorgenti luminose) ma con una tecnologia in evoluzione stanno raggiungendo flussi luminosi sempre più elevati, potenze impegnate sempre più ridotte e quindi efficienze luminose da prendere in considerazione. Durate di vita interessanti e buone capacità meccaniche di resistenza agli urti fanno in modo che questi tipi di sorgenti luminose abbiano costi ridotti di manutenzione. Naturalmente oggi un apparecchio costituito interamente da LED ha un costo superiore rispetto alle sorgenti luminose con tecnologia a scarica. Le amministrazioni comunali, che si occupano dell'illuminazione pubblica e devono rispettare obblighi di bilancio che danno poco spazio all'impiego di apparecchiature che non siano collaudate e che non garantiscano un sicuro risparmio di energia.

I LED sono diodi che funzionano con tecnologia a semiconduttori e se attraversati da corrente emettono luce. La stessa sigla con cui vengono chiamati significa questo: Diodo Emittitore di Luce. Un LED è costituito da diversi strati di materiale semiconduttore che quando vengono percorsi da corrente se polarizzati correttamente generano luce.

Per costruire i diodi di solito si ricorre al drogaggio dei semiconduttori cioè all'immissione di materiali estranei nel reticolo del semiconduttore di base. Per rendere la trattazione più semplice prendiamo ad esempio un materiale semiconduttore come il silicio che ha la caratteristica di avere 4 elettroni sull'orbita esterna. Se nel reticolo creato dal silicio iniettiamo degli atomi di boro (che ne ha 3 di elettroni) si creano dei legami fra questi due semiconduttori al fine di raggiungere una condizione di equilibrio stabile cioè quella con 8 elettroni esterni (l'ottetto). L'immissione del boro nel silicio viene chiamata drogaggio, mentre l'assenza di un elettrone ( $4+3=7$ ) porta a dire che sono state generate delle lacune in questo materiale. Se al posto del boro usiamo il fosforo che ha 5 elettroni nell'orbita esterna avremo un elettrone in più ( $4+5=8+1$ ) ed otteniamo un materiale ricco di elettroni. Un diodo comune è costituito di una parte di materiale semiconduttore drogato con un eccesso di lacune chiamato zona P, mentre l'altra parte con un eccesso di elettroni formando la zona N. Accostando le due parti si ottiene una giunzione PN come possiamo vedere dalla figura di seguito.

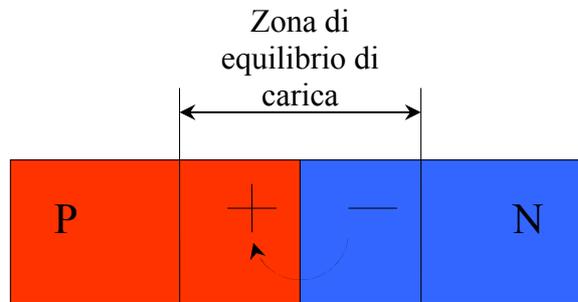
**Figura 4.2.7: Elementi che costituiscono un diodo. La zona P è ricca di lacune mentre la zona N ha un eccesso di elettroni.**



*Fonte: elaborazione propria*

Quando la zona P e la zona N vengono in contatto parte degli elettroni della zona N migrano verso la zona P dove vanno a riempire una parte delle lacune (vedi figura).

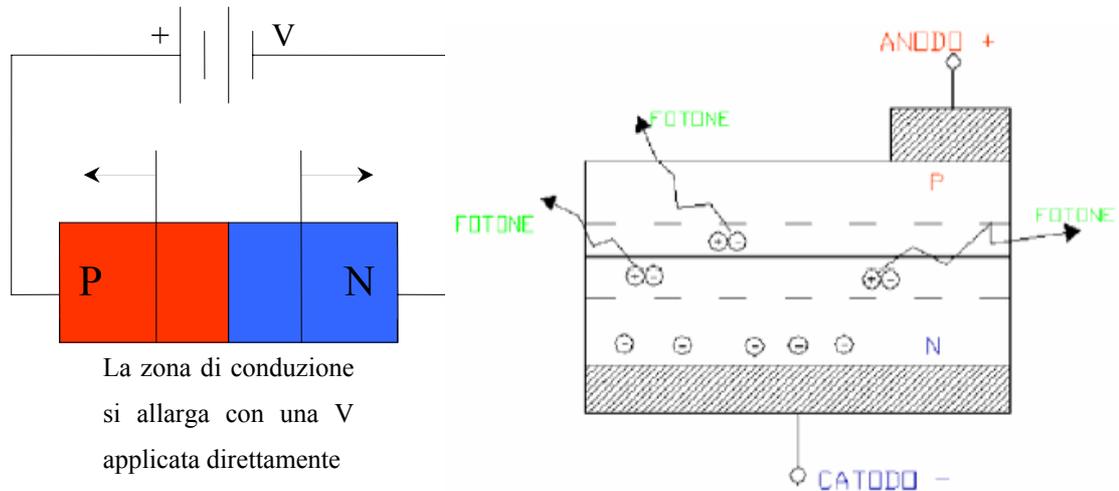
**Figura 4.2.8: Con il contatto tra le due zone avviene una diffusione degli elettroni dalla zona N alla zona P ricca di lacune, creando un'area di equilibrio.**



*Fonte: elaborazione propria*

Lo spostamento di elettroni provoca all'interno del materiale la formazione di un campo elettrico che quando raggiunge determinati valori si oppone all'ulteriore migrazione di cariche. Questo fa sì che non tutto il materiale sia in equilibrio elettrico. Viene generato un potenziale che agisce come una barriera impedendo ulteriormente la diffusione delle cariche. La giunzione in queste condizioni viene detta in equilibrio. Applicando dall'esterno una tensione polarizzata direttamente come in figura sottostante si provoca un abbassamento della barriera di potenziale interna al diodo permettendo così la circolazione di corrente.

Figura 4.2.9: A sinistra l'alimentazione diretta del diodo che provoca la conduzione del diodo stesso; a destra emissione di fotoni ad alimentazione avvenuta.



Fonte: a sinistra elaborazione propria; a destra vedi sito internet

["http://etd.adm.unipi.it/"](http://etd.adm.unipi.it/)

Affinché una giunzione PN possa essere utilizzata come dispositivo di emissione di luce si devono ricombinare le cariche negative con le lacune in modo da ottenere un'emissione di fotoni<sup>13</sup>. Durante il passaggio di corrente avviene proprio quanto detto infatti gli elettroni immessi nel LED durante il passaggio di corrente si dirigono verso la giunzione dove si ricombinano con le lacune generando una grande quantità di fotoni.

La luce emessa da questo tipo di sorgenti luminose è strettamente monocromatica. I primi LED erano soltanto di colore rosso ed utilizzati soprattutto in strumenti elettronici. Successivamente vennero sviluppati di colore giallo e verde. Negli anni '90 iniziò una larga espansione di questo tipo di lampade con un aumento delle efficienze luminose e delle gamme di colori fra cui anche il blu. Oggi con una tecnologia più avanzata si riescono a costruire LED che emettono luce bianca facendo un mix fra i vari colori a disposizione che occupino tutto lo spettro del visibile e con efficienze luminose (superiori a 30 lm/W) paragonabili alle lampade ad incandescenza. A parità di luce emessa consentono un risparmio di energia elettrica fino all'80% con durate di vita 10 volte superiori.

<sup>13</sup> In fisica i fotoni (dal greco "phos" significa luce) sono dei quanti (si dice quanto una quantità discreta ed indivisibile di una certa grandezza) del campo elettromagnetico. E' considerata come una particella elementare del modello standard.

Per concludere vogliamo elencare una serie di motivi che ci hanno spinti a promuovere queste lampade come sorgenti luminose del futuro:

**Piccole dimensioni e nuove opzioni di design:** la loro compattezza e la tensione di funzionamento (24V DC) rendono possibile un minore abbagliamento se installate in corpi illuminanti di ridotte dimensioni e una maggiore libertà creativa da parte di progettisti nel creare apparecchi luminosi più attraenti.

**Robustezza:** i LED non presentano in fase costruttiva elementi come filamenti, elettrodi o tubi di vetro, caratteristica che abbassa i costi di imballaggio e riduce la possibilità di rottura durante il trasporto o l'installazione.

**Lunga durata della vita:** con una vita utile compresa fra le 50.000 e le 100.000 ore i LED necessitano di manutenzione praticamente ridotta ai minimi termini.

**Ampio spettro di colori brillanti e saturi:** per quanto riguarda i colori si hanno le seguenti caratteristiche:

- l'emissione monocromatica, satura i colori e li rende particolarmente brillanti;
- Con un alto numero di colori disponibili si possono scegliere gli spettri che recano meno danno alle osservazioni astronomiche;
- Vengono evitate le emissioni negli spettri dell'infrarosso e dell'ultravioletto attirando una minore quantità di insetti intorno a sorgenti luminose.

**Variazioni di flusso:** queste lampade sono facilmente dimmerabili consentendo ogni tipo di variazione e di gestione del flusso luminoso anche per ogni punto luce.

**Risparmio energetico:** con i LED sicuramente oggi possiamo risparmiare energia rispetto all'utilizzo di lampade ad incandescenza o alogene (da non confondere con le lampade ad alogenuri metallici che sono un'altra cosa).

**Nessun Problema alle basse temperature:** queste sorgenti luminose possono funzionare con temperature esterne fino a -30° garantendo affidabilità di accensione ed emissione del flusso luminoso anche a basse temperature.

Ci auguriamo che con la ricerca e con ulteriori investimenti economici da parte delle aziende costruttrici si possano accrescere le potenzialità di questo tipo di sorgente luminosa.

### 4.3 Dati tecnici delle lampade

Di norma sui cataloghi di apparecchi illuminanti i dati tecnici che vengono riportati sono i seguenti: Tensione di alimentazione (V), flusso luminoso (lm), efficienza luminosa (lm/W), luminanza media (cd/cm<sup>2</sup>), temperatura di colore (°K), indice di resa cromatica (Ra), modalità di installazione, apparecchiature collegate alla lampada, presenza di condensatore di rifasamento e relativa taglia (µF).

Nella seguente tabella abbiamo cercato di riassumere le qualità tecniche delle lampade da noi analizzate in precedenza inserendo alcuni parametri che di solito vengono riportati nei cataloghi di apparecchi illuminanti e altri dati che a nostro giudizio sono molto utili ad un progettista. Tra di essi la tensione minima con cui le lampade possono rimanere accese è un parametro molto importante da tenere in considerazione nel caso in cui si vogliano effettuare delle riduzioni di flusso luminoso (per maggior chiarimenti vedi il paragrafo 5.3.2 nella parte che affronta l'argomento dei riduttori di flusso centralizzati). Tale operazione viene fatta mediante la variazione della tensione di alimentazione della sorgente luminosa, tensione che comunque non potrà diminuire sotto i valori indicati pena lo spegnimento del punto luce. I LED non hanno questo valore in quanto essendo alimentati in bassa tensione 24V possono subire qualunque tipo di variazione di corrente e quindi anche di flusso luminoso attraverso i dimmer.

Tabella 4.3.1: Tabella riassuntiva dei vari tipi di lampade (valori indicativi).

TIPI DI LAMPADE	FLUSSO LUMINOSO	EFFICIENZA	LUMINANZA MEDIA	TEMPERATURA DI COLORE	RESA CROMATICA	POTENZA	DURATA DI VITA	FACILE VARIAZIONE DI FLUSSO	CORRENTE DI SPUNTO	TENSIONE MINIMA
Unità di Misura	lm	lm/W	cd/m <sup>2</sup>	K		W	h		Vn+%	V
SODIO ALTA PRESSIONE	33.000	132	500	<3300	25	250	12.000	SI	20	170
SODIO B.P.	33.000	183	10	1800	Mono*	180	9.000	SI	0	180
ALOGENURI METALLICI	20.000	80	1.350	45000	90	250	6.000	NO	90	190
VAPORI DI MERCURIO	14.000	56	10	<4000	40-70	250	10.000	SI	40	195
LED**	42	35	-	5600	80	1,2	50.000	SI	0	MAI

\* Luce gialla monocromatica; \*\*LED di potenza Golden Dragon "Cool White" per informazioni vedi il sito [www.arditi.com](http://www.arditi.com)

Come possiamo notare ai valori riportati in tabella sono stati assegnati dei colori, è nostro intento infatti stilare una classifica delle sorgenti luminose prese in esame ed utilizzate nella pubblica illuminazione. Ad ogni colore è stato associato il seguente significato ed un relativo punteggio come viene riportato di seguito:

■	Blu = valore ottimo	—————>	Punteggio assegnato = 9
■	verde = valore discreto	—————>	Punteggio assegnato = 6
■	giallo = valore mediocre	—————>	Punteggio assegnato = 3
■	rosso = valore scarso	—————>	Punteggio assegnato = 0
□	bianco = assenza dati	—————>	Punteggio assegnato = 4,5

Facendo la somma dei risultati ottenuti con i punteggi sopra assegnati e tenendo conto del fatto che il valore massimo sarebbe stato di 90 otteniamo i seguenti risultati:

- I LED si trovano al primo posto con 54 punti. Per un loro largo impiego, come abbiamo visto, è però necessario un ulteriore sviluppo tecnologico di queste sorgenti luminose che rimangono comunque il tipo di lampada su cui puntare in futuro;
- Con 51 punti abbiamo le lampade al sodio a bassa pressione. Queste lampade hanno il loro punto di forza nell'efficienza (ben 3 volte superiore alle lampade al mercurio) ma hanno il grave inconveniente di emettere luce esclusivamente gialla che limita il loro utilizzo soltanto a zone periferiche come svincoli, piazzali;
- A pari merito con 51 punti le lampade al sodio ad alta pressione;
- Le lampade agli alogenuri metallici totalizzano 45 punti. Esse hanno un'intensità luminosa a parità di superficie emittente veramente straordinaria, emettono luce bianchissima paragonabile a quella solare ma hanno il grosso inconveniente di creare problemi in caso si voglia variare il loro flusso luminoso;
- All'ultimo posto con 33 punti le lampade al mercurio. Questo tipo di lampade ha un costo inferiore del 30-40% rispetto alle lampade al sodio ad alta pressione ma se aggiungiamo gli inevitabili costi di esercizio come: manutenzione, quelli per la raccolta trasporto e successivo smaltimento il vantaggio iniziale si annulla.

Da questo confronto vediamo come le scelte dei professionisti del settore possono orientarsi secondo le esigenze della tipologia di impianto da realizzare verso tipi di lampade diverse privilegiando di volta in volta prodotti che danno affidabilità, una buona qualità visiva e costi che garantiscano una buona efficienza degli impianti. Dall'analisi dei dati proposti emerge un altro dato interessante: la sorgente luminosa che

presenta migliori prestazioni arriva ad un punteggio di appena 54 punti su 90 e ricordiamo che tuttora non trova un impiego su larga scala. Tutto questo ci dice come la ricerca abbia ampi margini per migliorare l'efficienza ed il rendimento energetico delle sorgenti luminose.

## 5 CAPITOLO: INTERVENTI SULLA PUBBLICA ILLUMINAZIONE PER IL RISPARMIO ENERGETICO E LA LIMITAZIONE DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO

### 5.1 Considerazione generali

In Italia la rete della pubblica illuminazione ha un peso sui consumi totali di energia pari all'1,9%. Nel biennio 2003, 2004 siamo passati da un consumo di 5.790,8 GWh (10<sup>6</sup> KWh) a 5.917 GWh con un incremento del 2,13%. Per avere queste quantità di energia devono essere consumati 12,6 milioni di Tonnellate Equivalenti di Petrolio<sup>14</sup> (TEP) con emissioni pari a 4,26 milioni di Tonnellate<sup>15</sup> di CO<sub>2</sub> diffuse in atmosfera<sup>16</sup>. E' evidente che seppure non molto rilevante percentualmente il consumo di questo settore è tutt'altro che trascurabile ed in continua crescita.

In Toscana la situazione non cambia molto rispetto a quella nazionale, anzi la richiesta di energia elettrica destinata all'illuminazione pubblica è aumentata del 12,2% nel periodo dal 1995 al 2000 come possiamo vedere dalla tabella sotto riportata.

**Tabella 5.1.1: Energia consumata dall'illuminazione pubblica ed energia dispersa per illuminare zone indesiderate.**

	1995	1996	1997	1998	1999	2000
EE Illuminazione pubblica (kTep)	23,7	24,5	25,1	25,6	26,2	26,6
Energia sprecata (kTep)	7,1	7,4	7,5	7,7	7,9	8,0
Energia sprecata (GWh)	82,5	85,8	87,6	89,4	91,5	92,8

Fonte: Delibera Giunta regionale n. 962 del 27/09/04 Toscana su dati forniti da ENEL, GRTN

Questi dati evidenziano come il settore dell'illuminazione pubblica debba essere preso in maggiore considerazione all'interno del panorama energetico regionale essendo:

<sup>14</sup> E' stato stimato un rendimento medio delle centrali elettriche pari al 40%.

<sup>15</sup> 1 Kg di CO<sub>2</sub> corrisponde ad 1 KWh \* 0,72.

<sup>16</sup> Dati ottenuti da "Facciamo piena luce; Indagine nazionale sull'efficienza nell'illuminazione pubblica", Legambiente, MIMEO, Padova, 16 Marzo 2006.

- uno dei settori più energivori: con un impiego di 305 GWh/annui;
- il settore in cui è prevista la più alta percentuale di risparmio sui consumi nei tempi di contratto stimati intorno al 30% in 10 anni;
- il settore in cui si possono ottenere i maggiori risparmi economici pari a 8,5 milioni di € all'anno;
- il settore in cui si possono ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> di una quantità pari a 66 mila Tonnellate/l'anno (il 34% del risparmio complessivo regionale valutato in circa 195 mila T/a)<sup>17</sup>.

Conseguire un risparmio energetico nel settore della pubblica illuminazione può essere relativamente facile non essendo in presenza di un sistema che, come quello dei trasporti, è influenzato da una grande quantità di variabili. Si tratta infatti di impianti in cui:

- la gestione del servizio viene svolta sostanzialmente da un unico soggetto come gli enti locali o aziende appaltatrici;
- la loro consistenza è costituita essenzialmente da apparecchi luminosi e da una fitta rete elettrica di cui si conoscono: ubicazione, quantità, potenza impegnata e durata di vita delle apparecchiature;
- la manutenzione sia ordinaria che straordinaria può essere programmata.

Se fino ad oggi, per ragioni di priorità di bilancio, c'è stata da parte degli enti locali poca attenzione per la pubblica illuminazione riteniamo che l'aumento vertiginoso del costo dell'energia favorirà gli investimenti in questo settore sia nella ricerca tecnologica, per migliorare le apparecchiature, sia nell'ammodernamento della rete. Otterremo così oltre ad un consistente risparmio energetico una inevitabile riduzione dell'inquinamento luminoso.

Nei prossimi capitoli analizzeremo quali sono i mezzi che i progettisti hanno preso in considerazione per affrontare questi tipi di problemi.

---

<sup>17</sup> Cfr. "Linee guida per la progettazione, l'esecuzione e l'adeguamento degli impianti di illuminazione esterna", Delibera Giunta regionale n. 962 del 27/09/04 Toscana, 9-10.

## 5.2 Quali benefici possiamo trarre dalla giusta applicazione delle leggi?

Tutte le prescrizioni, le indicazioni ed i metodi di progettazione che sono stati indicati nelle leggi, norme e linee guida che abbiamo analizzato nella seconda parte hanno lo scopo di ridurre i consumi energetici e limitare la dispersione di luce verso il cielo. Buoni risultati possono essere già ottenuti mediante:

- Un giusto orientamento degli apparecchi illuminanti nelle aree opportune;
- mantenimento dei livelli minimi di luminanza media consigliati dalle norme;
- giusta classificazione del territorio ed impiego a parità di illuminamento di apparecchi che impiegano ridotte potenze elettriche.

In generale per quanto riguarda l'inclinazione delle sorgenti luminose abbiamo visto che per un'efficace progettazione gli apparecchi dovrebbero essere rivolti verso il basso parallelamente all'orizzonte. I livelli minimi di luminanza media mantenuta sono definiti dalle norme ed il progettista si deve rifare a quei valori per la progettazione di un impianto (vedi paragrafo 3.5.2 VALORI MINIMI DI LUMINANZA). La classificazione del territorio dovrebbe essere fatta in maniera molto seria ed inserita in un piano regolatore dell'illuminazione. Se le necessità di illuminazione vengono valutate correttamente si possono ottenere risparmi energetici notevoli infatti dalla definizione delle zone classificate dipende la potenza delle lampade che verranno installate. Con la tabella sotto riportata si potranno ottenere adeguate classificazioni delle strade e quindi corretti livelli di illuminazione.

**Tabella 5.2.1: Riferimenti per un corretta classificazione delle strade.**

Classificazione Stradale:	Carreggiate indipendenti (min)	Corsie (min) x Senso di Marcia	Altri requisiti minimi	Indice Illum.
A-Autostrada	2	2+2		6
B- Extraurbane principali	2	2+2	- tipo tangenziali, superstrade	6
D- Urbane a scorrimento veloce	2	2+2	- limite di velocità >=50km/h	6
D- Urbane a scorrimento	2	2+2	- limite di velocità <=50km/h	4
C- Extraurbane secondarie	1	1+1	- se con banchine laterali transitabili - collegamento di + comuni (S.P. o S.S.)	5
E- Urbane di Quartiere	1	1+1 oppure 2 nello stesso senso	- solo se proseguimento di strade tipo C - solo con corsie di manovra e parcheggi esterni alla carreggiata	4
F- Extraurbane locali	1	1+1 o 1	- se diverse dalle strade tipo C	4
F- Urbane Interzonali	1	1+1 o 1	- strade tipo F - Urbane locali di rilievo che attraversano l'intero centro abitato	3
F- Urbane locali	1	1+1 o 1	- tutte le altre strade nel centro abitato	2

Fonte: dal sito internet "www.cielobuio.it", 4° Criterio: ottimizzazione degli impianti d'illuminazione

Se la classificazione illuminotecnica è eseguita correttamente in media le strade di un comune appartengono percentualmente alle seguenti categorie:

- il 70% sono di categoria 2 ( $\pm$  il 10%);
- il 15% sono di categoria 4 ( $\pm$  il 5%);
- il 10% sono di categoria 5 ( $\pm$  il 5%);
- nel restante 5% le strade sono di categoria 6 e 3 (con  $\pm$  il 5%).

Dall'esame dei dati della Tabella 3.5.2 si capisce che per la maggior parte delle strade la norma UNI 10439 prevede livelli di luminanza molto bassi (l'indice illuminotecnico pari ad 1 è raro e si trova soltanto quando l'ente locale ha deciso di declassare una strada con motivate scelte) e quindi il rispetto di tali livelli consente di avere un'illuminazione che consuma poca energia elettrica.

Per avere impianti con potenze impegnate ridotte occorre utilizzare lampade che abbiano livelli di efficienza luminosa elevati accompagnate da ottiche che consentano di ottenere buoni risultati di riflessione e quindi ottimi rendimenti dell'apparecchio illuminante nella sua totalità. Se per i nuovi impianti sarà lo stesso progettista a ricercare idonee soluzioni, per quelli esistenti dovremo procedere con la sostituzione dell'intero corpo illuminante. In quest'ultimo caso dovremo porre attenzione alla diversa efficienza luminosa tra la vecchia e la nuova lampada e ai rendimenti complessivi del nuovo apparecchio illuminante. Ad esempio nella sostituzione di lampade al mercurio con altre a vapori di sodio, qualora mantenessimo la stessa potenza avremmo valori di luminanza media superiori a prima con conseguente spreco di energia. Per quanto riguarda le ottiche invece sono da preferire quelle con rendimento di riflessione maggiore (rapporto fra il flusso luminoso emesso dalla lampada e quello emesso dall'apparecchio illuminante).

A titolo di esempio riportiamo nella tabella sottostante il vantaggio che otterremmo nella sostituzione corretta di lampade al mercurio con lampade al sodio ad alta pressione.

**Tabella 5.2.2: Confronto e possibile sostituzione di lampade al mercurio con lampade al sodio alta pressione.**

VECCHIA LAMPADA		NUOVA LAMPADA	INCREMENTO DEL FLUSSO LUMINOSO	RISPARMIO INDICATIVO [W]
80W Mercurio	SOSTITUITA CON:	50W Sodio AP	- 6% (da 3600 a 3400 lumen)	60% (> se aumenta Interdistanza)
80W Mercurio		70W Sodio AP	+ 80% (da 3600 a 6500 lumen)	14% (> se aumenta Interdistanza)
125W Mercurio		70W Sodio AP	+ 5% (da 6200 a 6500 lumen)	70%
125W Mercurio		100W Sodio AP	+ 61% (da 6200 a 10000 lumen)	25% (> se aumenta Interdistanza)
250W Mercurio	SOSTITUITA CON:	150W Sodio AP	+19% (da 12500 a 14700 lumen)	60% (> se aumenta Interdistanza)

Fonte: dal sito internet "www.cielobuio.it", 3° Criterio: sorgenti luminose ad elevata efficienza

Di seguito riportiamo dei dati orientativi in cui si consigliano le potenze adeguate delle lampade da installare per ottenere una corretta illuminazione del manto stradale ed ottimizzare così i risparmi.

**Tabella 5.2.3: Tabella delle potenze da installare in relazione all'indice illuminotecnico di una strada.**

Indice Illuminotecnico	Diffusione Media % sul territorio	Potenze consigliate	Potenze consigliate se la larghezza della carreggiata è superiore a 8 metri di larghezza
1 (Lm=0.3 cd/m <sup>2</sup> )	-*	50W-70W	100W (statisticamente non più del 5% dei casi)
2 (Lm=0.5 cd/m <sup>2</sup> )	60-70%	50-70W	100W (statisticamente non più del 10% dei casi) 150W (statisticamente non più del 5% dei casi)
3 (Lm=0.75 cd/m <sup>2</sup> )	5-10%	70W	100W (statisticamente non più del 30-35% dei casi) 150W (statisticamente non più del 5-10% dei casi)
4 (Lm=1 cd/m <sup>2</sup> )	20-20%	100W	150W (statisticamente non più del 30-35% dei casi)
5 (Lm=1.5 cd/m <sup>2</sup> )	10-15%	100W-150W	250W (statisticamente non più del 20-25% dei casi)
6 (Lm=2 cd/m <sup>2</sup> )	5-10%	150W-250W	250W (statisticamente non più del 30-35% dei casi)

Fonte: dal sito internet "www.cielobuio.it", 4° Criterio: ottimizzazione degli impianti d'illuminazione

La sola sostituzione del parco lampade e degli apparecchi illuminanti porta ad un oneroso investimento iniziale da parte degli enti pubblici con buoni risultati in fatto di risparmio energetico intorno al 30-40% e di ammortamento che si aggira intorno ai 4-5 anni.

### **5.3 Sistemi di riduzione del flusso luminoso**

La progettazione ideale di un impianto di illuminazione esterna dovrebbe avere non soltanto l'obiettivo dell'impiego di basse potenze installate ma anche l'utilizzo di appositi dispositivi che ne consentano una gestione a 360 gradi dei punti luminosi. In altre parole si dovrebbe avere un'illuminazione di tipo dinamico per poter variare il flusso luminoso di ogni singolo corpo illuminante, sapere quanta potenza viene impiegata da ogni punto luce, una stima della durata della vita delle lampade, ed infine con la segnalazione di criticità che consentano la pianificazione di interventi di manutenzione. Allo stato attuale la pubblica illuminazione nei vari comuni d'Italia è molto lontana da questo modello. I riduttori di flusso possono aiutare gli enti pubblici a raggiungere lo scopo di un razionale consumo energetico con delle piccole limitazioni che vedremo quando andremo a parlare dei regolatori di flusso al paragrafo 5.3.2.

Prima ancora di adottare riduttori di flusso bisogna fare molta attenzione alla potenza da installare nei vari impianti. E' radicata infatti, in certi professionisti, la mentalità di prevedere potenze magari di 150 W, quando ne servirebbero 70 W, per dimostrare poi con orgoglio al committente che mediante sistemi di riduzione del flusso si possono ottenere risparmi anche superiori al 50%. Vengono così sperperati molti soldi per impianti che necessiterebbero soltanto di sorgenti luminose appropriate. Bisogna diffidare anche di chi con questi dispositivi garantisce risparmi sulla bolletta del 30-35% in quanto le riduzioni di flusso è possibile realizzarle soltanto in certe ore della notte e con un massimo del 50% (come abbiamo visto al paragrafo 3.5.2 VALORI MINIMI DI LUMINANZA nella norma UNI 10439). Tenendo conto che una buona parte delle ore l'impianto funziona a piena potenza facendo una media dell'energia assorbita difficilmente si otterranno risparmi superiori al 25-30%. Risulta quindi evidente che l'utilizzo di questi apparati di corredo ad un impianto di illuminazione pubblica dovranno essere adottati se economicamente convenienti. A titolo indicativo di solito i riduttori di flusso centralizzati vengono impiegati per impianti con potenze superiori ai 4 KW. Spesso hanno il difetto di poter essere utilizzati soltanto con lo stesso tipo di lampada per tutto l'impianto (anche se con gli sviluppi tecnologici si trovano sempre più spesso in commercio regolatori di flusso che possono pilotare lampade di tipo diverso con diverse potenze installate). I progettisti di solito cercano di accomunare più impianti con caratteristiche simili in modo da non avere questo tipo di problema. In

impianti non stradali in cui non vengono richiesti particolari livelli di illuminamento continua ad essere giusta la scelta di uno spegnimento totale.

### 5.3.1 SISTEMI DI PARZIALIZZAZIONE DEL FLUSSO LUMINOSO

Questi sistemi di variazione del flusso luminoso sono stati i primi in senso temporale ad essere utilizzati in larga scala per la riduzione della quantità di luce degli impianti di pubblica illuminazione. Consistono sostanzialmente nello spegnimento di punti luce, ottenendo una minore luminosità delle superfici. Si hanno tre tipi di metodi di parzializzazione del flusso luminoso che andremo ad approfondire di seguito.

#### **Illuminazione al 50%**

Nei luoghi in cui non sussistano problemi di sicurezza e dove l'impianto è stato progettato su due linee elettriche distinte, è possibile operare grazie a dei timer lo spegnimento alternato dei punti luce. Questo metodo è utilizzato soltanto in luoghi in cui l'interdistanza fra i lampioni non sia tale da creare zone con scarsa uniformità dell'illuminazione. Questo potrebbe creare fastidiosi effetti stroboscopici per gli automobilisti che a lungo andare possono dare sonnolenza e facilitare i colpi di sonno. Dobbiamo quindi porre una particolare attenzione nell'utilizzo di questo metodo di illuminazione stradale. Può essere invece utile nell'illuminazione di parchi, centri storici in cui si ha un'affluenza ridotta nelle ore notturne.

#### **Illuminazione alternata**

Questo metodo consiste nell'alloggiare all'interno dello stesso corpo illuminante due sorgenti luminose distinte. Le lampade possono essere uguali oppure con caratteristiche differenti. Ad esempio se è richiesta solamente una parzializzazione del flusso possono essere montate due lampade uguali e con un timer che prevede uno spegnimento alternato applicare la riduzione dopo gli orari desiderati. A seconda della quantità di luce da ridurre scegliamo di conseguenza la potenza delle lampade da installare. Dobbiamo però stare attenti alla quantità di traffico che interessa la strada che dovrà essere illuminata in quanto la norma consente variazioni della luminanza media mantenuta del 25 e del 50% rispetto alle condizioni nominali. Questo vuol dire che ad esempio se montiamo due lampade da 100W potremo avere riduzioni del 50% ma non del 25%. Per avere più flessibilità dovremmo disporre di un numero più elevato di lampade con diversa potenza a scapito delle dimensioni dell'apparecchio illuminante.

La maggiore flessibilità può essere ottenuta con i riduttori di flusso ma la loro installazione ha un costo decisamente superiore rispetto all'installazione di più lampade nello stesso corpo illuminante tanto che in passato ci si è orientati alla seconda opzione. Oggi i corpi illuminanti che hanno due lampade al loro interno non trovano un ampio utilizzo perché le ottiche in queste condizioni non danno efficienze molto elevate e nel rinnovo degli impianti vengono pertanto preferiti apparecchi che consentano il controllo mediante riduttori di flusso.

Migliori risultati possono essere ottenuti montando lampade di tipo diverso all'interno dello stesso corpo illuminante le quali possono essere alternate a seconda delle caratteristiche di illuminazione delle superfici. Realizziamo ad esempio un apparecchio con una lampada al sodio ad alta pressione e una a bassa pressione. Negli orari in cui si ha un'elevata quantità di traffico e forti necessità visive può essere utilizzata la lampada ai vapori di sodio ad alta pressione, mentre nelle restanti ore sfruttare l'alta efficienza delle lampade al sodio a bassa pressione ottimizzando i consumi. Anche in questo caso dobbiamo porre molta attenzione nella quantità di luce necessaria ad illuminare determinate superfici.

Questo metodo di illuminazione è relativamente semplice da applicare e può portare oltre a dei sostanziali risparmi di energia e di manutenzione anche a raddoppiare la vita delle lampade in quanto il loro utilizzo è praticamente dimezzato.

### **Illuminazione mista**

Questo tipo di illuminazione viene utilizzata quando un impianto deve garantire una certa percezione dei colori tutta la notte e non sia possibile utilizzare lampade al sodio a bassa pressione o un'illuminazione alternata con le stesse lampade. Questa tecnica prevede l'installazione di due lampade con caratteristiche completamente diverse all'interno dello stesso apparecchio illuminante. Si possono ad esempio mescolare lampade ai vapori di sodio con quelle ad alogenuri metallici oppure, più frequentemente, viene utilizzato l'insieme fra lampade ai vapori di sodio a bassa e alta pressione. La lampada ai vapori di sodio a bassa pressione costituisce la base dell'illuminazione, mentre quella ad alta pressione o agli alogenuri permettono una distinzione migliore dei colori. Vengono soprattutto utilizzate per l'illuminazione di capannoni industriali o per magazzini di stoccaggio in luoghi in cui sia necessaria comunque la distinzione dei colori. Anche in questo tipo di apparecchi illuminanti è

possibile alternare l'utilizzo fra le lampade conseguendo quindi riduzioni della potenza impiegata e minori interventi di manutenzione dovuti all'allungamento della vita delle stesse.

### 5.3.2 REGOLATORI DI FLUSSO LUMINOSO

Questo metodo di gestione dell'illuminazione pubblica ha avuto diffusione a partire dai primi anni '80. Con i riduttori di flusso si è cercato di rendere automatico e più flessibile il controllo dei punti luce utilizzati nell'illuminazione esterna. Le prescrizioni sul loro impiego da parte di numerose leggi regionali ed una commercializzazione sempre più spinta hanno fatto in modo che molti progettisti adottassero questi sistemi come supporto nell'illuminazione pubblica e privata. Si parla molto dei regolatori di flusso proponendoli come soluzione per la riduzione dell'inquinamento luminoso e del risparmio energetico. In realtà i benefici che si ottengono dalla diminuzione di questi problemi è una conseguenza indiretta delle regolazioni che vengono fatte sulla quantità di flusso luminoso emesso dalle sorgenti illuminanti.

L'installazione di regolatori di flusso porta indubbiamente a benefici economici a fronte dei costi di installazione. Considerando il risparmio di energia e le spese derivanti da un numero minore di interventi di manutenzione si possono avere ammortamenti di questi sistemi (meglio se abbinati alla sostituzione del parco lampade) in periodi compresi fra i 2 e i 4 anni. In generale si consiglia sempre di abbinare a questi dispositivi sistemi di telegestione degli impianti in modo da avere la certezza che questi impianti funzionino oltre naturalmente ad una maggiore flessibilità nel controllo dell'illuminazione. Di seguito prenderemo in considerazione due tipi di regolatori di flusso luminoso.

#### **Regolatori di flusso luminoso centralizzati**



**Figura 5.3.1: Regolatori di flusso centralizzati (serie Stabilux, IREM).**

*Fonte: Rivista "Luce & Design", pagina 144, novembre 2003, Tecniche Nuove, Milano.*

Il reale vantaggio di un regolatore di flusso è quello di riuscire a stabilizzare e regolare la tensione di alimentazione delle sorgenti luminose in modo da poter avere cicli prestabiliti e programmati (durante le ore di accensione degli impianti) in cui far variare la quantità di luce emessa dalle lampade. La tensione della rete pubblica infatti non rimane mai fissa al suo valore nominale di 230V. Spesso accade che in alcuni periodi della giornata come ad esempio in corrispondenza della cessazione di attività lavorative che impiegano grandi quantità di potenza oppure durante la notte quando la richiesta di energia elettrica è minore, si possano avere sbalzi di tensione dell'ordine del 10% del valore della tensione nominale. La norma impone ai fornitori di energia elettrica di non superare questi valori che di solito oscillano intorno ai 210-250V. Qualunque sia il distributore di energia elettrica, quindi, la tensione per un utente non risulta mai essere costante.

Le conseguenze che questa instabilità ha sugli impianti di illuminazione (sia interni che esterni) è una sostanziale riduzione della vita media delle lampade ed un progressivo peggioramento delle prestazioni, che si traduce in un rapido decadimento del flusso luminoso della sorgente.

I regolatori possono essere utilizzati su tutte le lampade a scarica, compreso quelle fluorescenti. Per ogni sorgente luminosa però si possono ottenere quantità differenti di risparmio energetico in funzione della tensione minima a cui possono essere alimentate. Le lampade a scarica necessitano di una tensione minima ai loro capi per poter emettere luce, sotto questa soglia si spengono completamente. Nella tabella sottostante sono riportati i valori di tensione minima con i relativi risparmi e le percentuali di incremento della vita portando l'alimentazione ai valori minimi di tensione.

**Tabella 5.3.1: Valori di tensione minima che le varie tipologie di lampade possono sopportare per rimanere accese; correlazione con risparmio energetico ed incremento della vita media.**

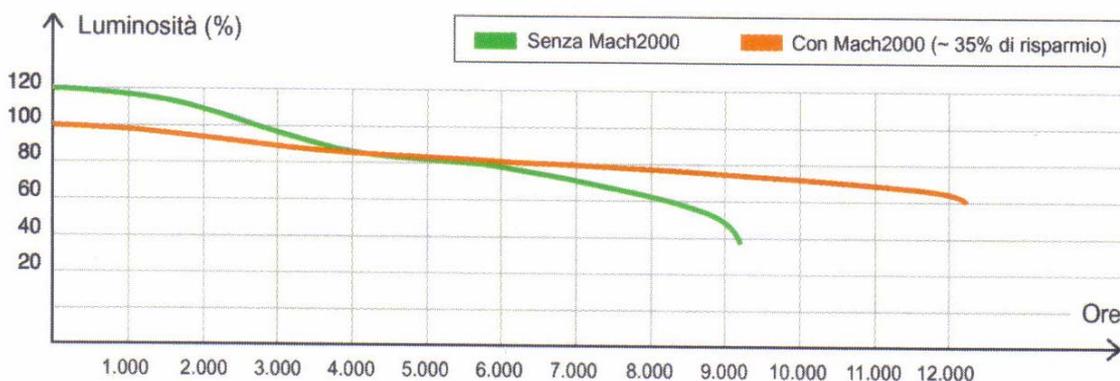
Tipo di Lampada	Tensione minima	Max % di risparmio	Min incremento della Vita media
Fluorescente	185 V	45%	40%
Fluorescente compatta	190 V	40%	20%
Vapori di Sodio Alta Pressione	170 V	55%	50%
Vapori di Sodio Bassa Pressione	180 V	45%	50%
Vapori di Mercurio	195 V	35%	40%
Ioduri e Alogenuri Metallici	190 V	40%	25%
Lampade ad induzione	190 V	40%	30%

*Fonte: Rivista "Luce & Design", pagina 146, novembre 2003, Tecniche Nuove, Milano.*

Possiamo vedere che i migliori risultati si ottengono con l'impiego di lampade al sodio ad alta pressione sia come risparmio energetico che come incremento della vita media. Nel caso in cui si presentino impianti con illuminazione mista a cui si vuole applicare regolatori di flusso dobbiamo porre molta attenzione in quanto, la tensione di funzionamento minima dovrà essere quella della lampada che accetta il campo di riduzione minore. Ad esempio: un impianto di illuminazione con lampade al mercurio che hanno una soglia di tensione minima a 195V, e lampade ai vapori di sodio ad alta pressione che hanno il loro limite a 170V, permettono riduzioni di tensione soltanto fino a 195V in quanto con valori di tensione inferiore le lampade al mercurio si spegnerebbero.

Come abbiamo visto nel paragrafo 4.2 le variazioni di tensione sia positive che negative rispetto al valore nominale di funzionamento della lampada hanno una forte influenza sulla loro vita. Per funzionare correttamente bisognerebbe alimentare sorgenti luminose con tensioni che non superino il 5% del valore nominale. Come sappiamo le reti di distribuzione sono soggette a continue variazioni e le sovratensioni che si verificano sono molto più elevate di quelle sopportabili dalle lampade così che ne compromettono la durata e ne diminuiscono anche il flusso luminoso emesso. Oltre alla stabilizzazione, con i regolatori di flusso, si può praticare una riduzione della tensione permanente delle lampade che, nonostante l'effetto iniziale sia quello di ridurre la loro efficienza rispetto al funzionamento normale, viene migliorato il comportamento con l'avanzare del tempo. Il minor rendimento iniziale viene perciò compensato nel periodo in cui le sorgenti luminose avrebbero dato le loro prestazioni peggiori come possiamo notare nel grafico sotto riportato.

**Grafico 5.3.1: Variazione del flusso luminoso di lampade fluorescenti da 58W ed alimentatore a basse perdite con l'utilizzo di un regolatore di flusso centralizzato.**



Fonte: Rivista "Luce & Design", pagina 146, novembre 2003, Tecniche Nuove, Milano.

I regolatori di flusso trovano applicazione in moltissimi campi. Oltre ad avere un largo impiego nella pubblica illuminazione vengono usati anche:

- Nel settore commerciale per la regolazione delle luci in modo da garantire un maggiore comfort per il pubblico ed avere una forte flessibilità sul controllo dell'illuminazione;
- Nel settore industriale in impianti che richiedono un utilizzo 24 ore su 24 in presenza anche di illuminazione naturale o con assenza di personale;
- Per impianti di illuminazione di gallerie o tunnel in cui è necessario adattare la luminosità all'ingresso e all'uscita in modo da non provocare abbagliamento agli automobilisti.

Per una visione più generale e riassuntiva, riportiamo un elenco di elementi che caratterizzano l'utilizzo di regolatori di flusso negli impianti di illuminazione:

- Il principale vantaggio è quello di stabilizzare la tensione entro valori definiti in particolar modo la limitazione dei valori massimi in ingresso agli apparecchi illuminanti;
- Possibilità di riduzione della tensione e quindi del flusso emesso dalle lampade;
- Tecnologia abbastanza consolidata e sfruttabile in larga scala;
- Non permettono la variazione di luce per ogni singola sorgente luminosa dell'impianto;
- Scegliendo i prodotti giusti si possono avere buoni risultati con una spesa contenuta: 35-40 € a punto luce (valore medio con 100 punti luce a riduttore di flusso) e fino a 70 € se viene aggiunto il telecontrollo dei regolatori di flusso (sempre consigliato);
- Porre particolare attenzione durante la progettazione delle linee con regolatori di flusso in quanto a fine linea si possono verificare cadute di tensione<sup>18</sup> tali da non permettere l'accensione dei punti luce;
- Eliminazione dei picchi e dei disturbi presenti in rete;
- Come abbiamo visto nel paragrafo 4.2 la maggior parte delle sorgenti luminose all'accensione richiedono percentuali superiori di tensione per

---

<sup>18</sup> La norma CEI 64/8 prescrive cadute di tensione per gli impianti di pubblica illuminazione al massimo del 5% della tensione nominale.

accendersi. Con i regolatori di flusso viene fatta un'accensione "dolce" dell'impianto cioè un graduale aumento della tensione fino ai valori di accensione per poi rientrare a valori nominali evitando alla lampada lo shock iniziale di trovarsi a regime istantaneamente;

- Fare attenzione nell'uso dei regolatori con lampade agli alogenuri metallici o a fluorescenza in quanto si possono verificare aberrazioni cromatiche della luce emessa da questi tipi di lampade;
- Questi sistemi vanno gestiti e mantenuti con molta cura in quanto spesso si verifica che gli installatori o le persone che si occupano della manutenzione per frettezza o inesperienza tendono a metterli in bypass e non li fanno più funzionare. Naturalmente con la telegestione questi problemi vengono automaticamente superati.

### **Alimentatori elettronici**

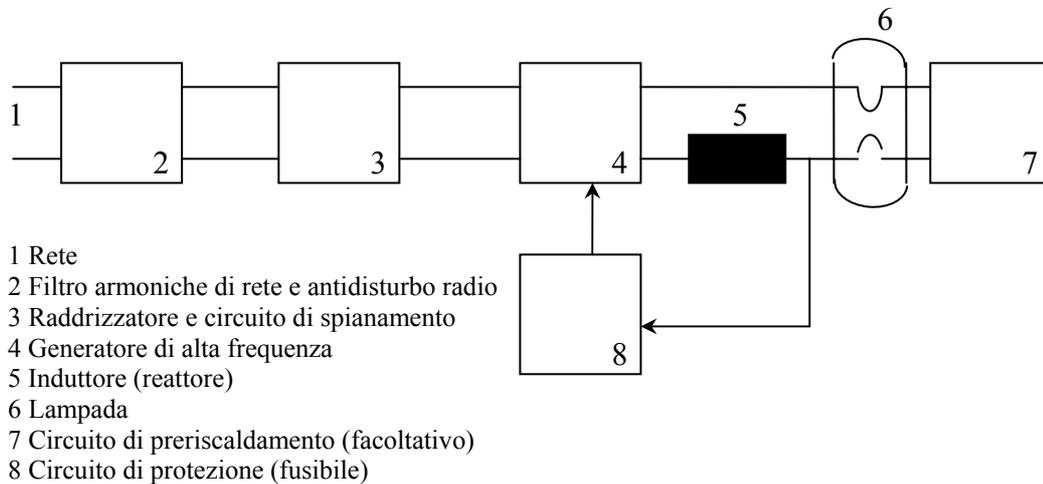
Questo tipo di sistemi trova largo impiego nell'alimentazione di lampade fluorescenti ma a causa di problemi di natura tecnica hanno ancora uno sviluppo limitato nell'utilizzo sulle lampade a scarica. Entrati in commercio negli ultimi anni questi alimentatori elettronici presentano caratteristiche di compattezza riducendo la quantità di componenti interni all'apparecchio illuminante. Dobbiamo chiarire subito il fatto che gli alimentatori elettronici non fanno lavorare le lampade alla frequenza nominale di 50 Hz come nel caso dei semplici alimentatori induttivi (reattori) ferromagnetici. Le sorgenti infatti vengono sottoposte a frequenze 1000 volte più grandi sull'ordine dei 50.000 Hz (50 KHz). L'impedenza  $Z$  che si trova in serie alla lampada è un carico puramente induttivo che vale:

$$Z = \omega L = 2\pi f L \quad (5.3.1)$$

A parità di tensione e di corrente applicata, e quindi con la stessa impedenza, all'aumentare della frequenza  $f$  il valore dell'induttanza  $L$  cambia, nel passaggio da 50 Hz a 50 KHz  $L$  passa dal valore di 1 H (Henry) a quello di 1 mH. Di conseguenza si ha la possibilità di ridurre le dimensioni dell'induttore e quindi anche delle sue perdite. A parità di flusso luminoso emesso si hanno riduzioni di potenza dell'8-10%. Riportiamo

di seguito lo schema di principio valido in generale per alimentatori elettronici che alimentano lampade a scarica.

Figura 5.3.2: Schema di principio di un alimentatore elettronico



Fonte: Elaborazione propria su dati si rivista "Luce" ,articolo "Dietro la lampada",edizione n. 2 marzo 2002, Tecniche Nuove, Milano

Facciamo di seguito alcune osservazioni sugli elementi caratterizzano lo schema di principio sopra riportato:

2 – Questo filtro evita tutte le impurezze che possono essere presenti in rete e che possono disturbare il funzionamento di apparecchiature delicate come il raddrizzatore o il generatore di frequenza.

3 – Questo strumento porta il segnale in ingresso da sinusoidale a continuo grazie ad un ponte a diodi ed alcuni condensatori.

4 – Genera la forma d'onda desiderata con la possibilità di stabilizzare la tensione a valori costanti e con la frequenza desiderata.

5 – L'induttore come abbiamo detto ha dimensioni molto ridotte rispetto a quelli montati in alimentatori normali.

7 – Circuito di preriscaldamento usato soltanto per riscaldare gli elettrodi alcuni tipi di lampade fluorescenti.

8 – circuito di protezione del dispositivo (fusibile).

Gli alimentatori elettronici presentano qualche problema quando vengono usati per alimentare lampade a scarica. Per un vasto campo di frequenze infatti, si verificano instabilità di funzionamento e instabilità dell'arco, che possono portare allo spegnimento della lampada dovuto a risonanze acustiche all'interno del tubo di scarica.

Ogni semionda creata dalla corrente a cui è sottoposta la lampada crea un'onda di pressione all'interno del tubo di scarica. Questa a sua volta produce onde di pressione in fase che vengono riflesse dalle pareti del tubo di scarica. L'effetto che si ottiene è quello di un aumento della tensione a cui è sottoposta la lampada e che può produrre lo spegnimento della stessa. Risulta perciò difficile far funzionare sorgenti luminose ad alta pressione con frequenza nel campo della corrente e delle sue armoniche a cui è sottoposta la sorgente luminosa. Per questo motivo il generatore di alte frequenze deve produrre una corrente che vari periodicamente. Nonostante queste difficoltà in commercio si trovano comunque alimentatori elettronici per lampade agli alogenuri e per quelle al sodio ad alta pressione. Qualche problema in più si ha nella ricerca di alimentatori elettronici per sorgenti al mercurio o al sodio a bassa pressione in quanto avendo i componenti (reattore e starter) costi modestissimi le case costruttrici non investono nella costruzione di alimentatori adatti a questo tipo di lampade.

Riportiamo di seguito alcune caratteristiche di questi tipi di alimentatori elettronici:

- Si prospettano come il futuro della regolazione e stabilizzazione del flusso della maggior parte delle sorgenti luminose;
- Rispetto alla rete hanno un fattore di potenza intorno a 0,9-1 non rendendo necessario l'utilizzo di condensatori di rifasamento;
- Sostituiscono il gruppo ausiliari formato da starter, reattore, condensatore svolgendo le stesse caratteristiche con un solo componente;
- Costi ancora molto elevati in virtù del fatto che necessitano inevitabilmente della telegestione (circa 150 €/punto luce) che comporta un aumento del prezzo di installazione e mantenimento;
- Esperienza limitata. Rispetto alla tecnologia con alimentatori ferromagnetici e con la presenza degli agenti atmosferici a cui i punti luce sono sottoposti, l'elettronica di bordo non garantisce una durata nel tempo che possa eguagliare i sistemi tradizionali;
- Gli alimentatori elettronici sono comunque dotati di un'elevata flessibilità ed una buona efficienza energetica (basti pensare che un reattore ferromagnetico assorbe all'incirca il 15% dell'energia totale dell'apparecchio);

- Allungamento della vita della lampada grazie alla gestione precisa delle grandezze elettriche che questi componenti offrono. L'alimentatore elettronico è l'unico che permetta di mantenere costanti i parametri di funzionamento della lampada in maniera indipendente;
- L'assemblamento del dispositivo elettronico con il resto dell'apparecchio illuminante deve essere effettuato dal costruttore che se ne assume la responsabilità nel momento in cui mette in commercio quella sorgente luminosa;
- La classe di isolamento dell'apparecchio deve essere definita dal produttore in quanto alcuni dispositivi elettronici possono richiedere il potenziale di terra. Di solito i corpi illuminanti sono in classe II e possono non richiedere il conduttore di protezione (anche se poi almeno al palo viene distribuito perché in caso di incidente non si verifichi la presenza di tensioni pericolose). Fare attenzione quindi alle modalità di installazione di questi apparecchi.

#### **5.4 Sistemi di telecontrollo**

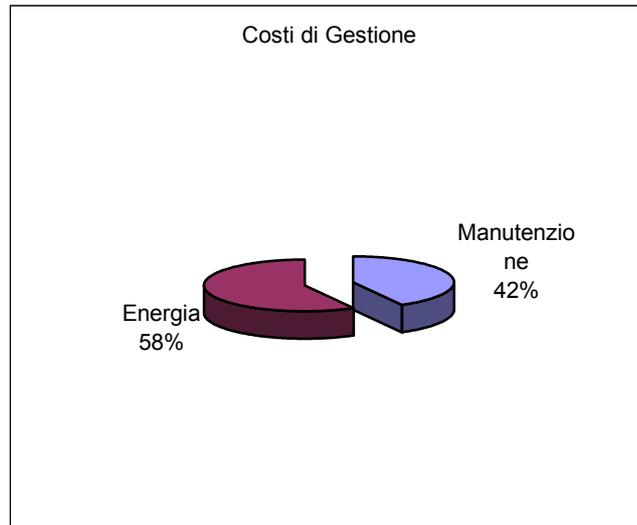
Un impianto di illuminazione pubblica se pure semplice nei suoi elementi costruttivi; è infatti costituito essenzialmente da quadri elettrici, linee e punti luce si presenta esteso e quindi con un numero rilevante di elementi da controllare e gestire. La loro diffusione capillare rende problematico e molto dispendioso, con le tecnologie tradizionali, effettuare tempestivamente l'individuazione di malfunzionamenti dei vari componenti. Il controllo degli elementi e dei punti luce non funzionanti nella stragrande maggioranza dei casi è effettuata mediante la perlustrazione da parte del personale addetto alla manutenzione degli impianti o in seguito a segnalazioni/reclami dei cittadini.

Tutti questi interventi comportano altissimi costi in termini di tempo, personale, mezzi necessari al fine di garantire un livello di qualità e di continuità del servizio accettabile riducendo al minimo gli sprechi energetici.

Da uno studio compiuto sulla gestione di 5.000 comuni francesi, ma adattabile anche alla situazione italiana, è emerso che i costi della manutenzione sono quasi paragonabili a quelli della spesa energetica impiegata per l'alimentazione delle sorgenti luminose. I dati delle spese di manutenzione sono ulteriormente disaggregabili in funzione delle varie voci di spesa come ad esempio: individuazione dei guasti, spese per i materiali,

per il personale, per i mezzi (vedi Grafico 5.4.1 Grafico 5.4.2). Nei grafici che seguono vengono precisate le percentuali di spesa rispetto al costo dell'energia e la suddivisione dei costi di manutenzione:

**Grafico 5.4.1: Costi di gestione degli impianti di illuminazione.**



Fonte: Rivista n. 3 "Luce & Design", articolo "il telecontrollo nell'illuminazione stradale", pagina 72, maggio 2006, Tecniche Nuove Milano.

**Grafico 5.4.2: Ripartizione dei costi di manutenzione.**



Fonte: Rivista n. 3 "Luce & Design", articolo "il telecontrollo nell'illuminazione stradale", pagina 72, maggio 2006, Tecniche Nuove Milano.

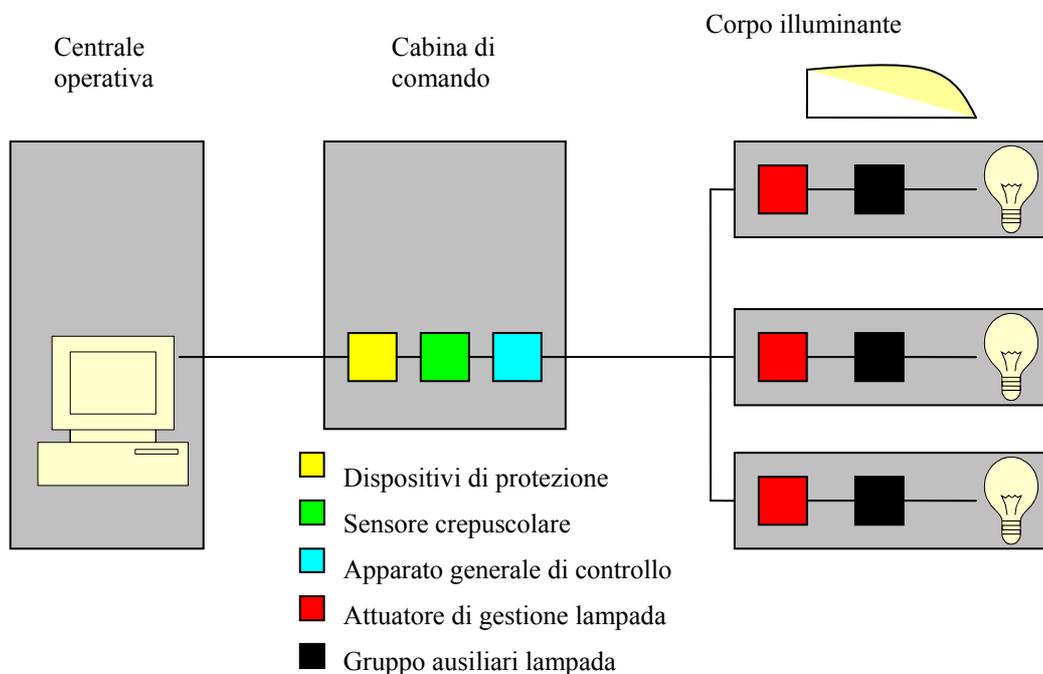
I gestori degli impianti sono interessati al contenimento dei costi e per centrare questo obiettivo uno dei mezzi disponibili è la telegestione che consente, in tempo reale, il controllo dello stato di funzionamento dell'impianto. L'adozione della telegestione quale strumento di supervisione degli impianti richiede un investimento iniziale che

spesso rimane un ostacolo nell'adozione di questa tecnologia anche se nel tempo viene largamente ammortizzato con i risparmi conseguibili nella manutenzione dell'impianto. Il sistema di telecontrollo è una piattaforma che gestisce tutte le tipologie di dispositivi che alimentano la lampada (reattori, starter, accenditori, alimentatori elettronici) e tutti i dispositivi che si trovano nel quadro di comando compresi i regolatori di flusso centralizzati anche se in quest'ultimo caso non possiamo avere un controllo punto-punto ma solamente di impianto. Gli apparecchi che vengono installati operano in due modi:

- sono orientati all'archiviazione di dati sullo stato di fatto degli impianti;
- gestiscono gli impianti tramite telecontrollo e telemisura degli stessi.

Nel primo caso si lavora memorizzando tutti gli elementi anagrafici dell'impianto in modo da creare un database di ogni apparecchio dove poter verificare come si è comportato nel tempo. Nel secondo caso si vanno ad operare le modifiche desiderate sull'impianto o sull'apparecchio interessato direttamente da PC con un software di gestione. La gestione avviene secondo lo schema di principio di seguito illustrato nella figura sottostante.

Figura 5.4.1: Diagramma di principio di un impianto di telecontrollo.



Fonte: Elaborazione propria su dati rivista n. 2 "Luce", articolo "La notte è sotto controllo", pagina 40, Tecniche nuove, Milano.

Anche con il sistema di telegestione gli apparecchi illuminanti sono alimentati da una linea di potenza mentre cambia sostanzialmente l'insieme degli apparati che comandano la lampada. Ogni gruppo di apparecchi o al limite ogni singolo punto luce è collegato ad un attuatore che ha il compito di ricevere i segnali da un dispositivo centrale e tradurli in comandi per modificare lo stato degli apparecchi (accensione, spegnimento, regolazione di flusso). I dati vengono trasmessi su canale di trasmissione BUS. Il dispositivo centrale varia lo stato dell'impianto in base a segnali che riceve dai sensori in campo ad esempio, fotocellule o sensori volumetrici, per la di presenza di persone, oppure dai crepuscolari per una variazione di luce.

Riepilogando, l'apparecchio illuminante comunica con un attuatore il quale traduce i segnali che gli arrivano tramite comunicazione BUS da un apparato generale che gestisce i dati provenienti da sensori in campo e da un Personal Computer dove un utente può verificare lo stato e il funzionamento di ogni impianto o al limite di ogni punto luce.

Questi dispositivi rendono quindi la gestione dell'illuminazione molto più semplice andando a ridurre i costi (che abbiamo visto in Grafico 5.4.2: Ripartizione dei costi di manutenzione.) di manutenzione degli impianti fino al 30% (eliminazione dei costi di gestione e minor intervento di personale e mezzi). Un sistema di telegestione permette quindi di fare le seguenti operazioni:

- Ricevere allarmi di malfunzionamenti direttamente dall'apparecchio che ha subito il guasto;
- Ricevere lo stato degli apparecchi anche con misure elettriche;
- Modificare a distanza le caratteristiche di un apparecchio a seconda che si stia utilizzando un sistema centralizzato oppure punto-punto;
- Comandare l'accensione di un impianto;
- Programmare gli interventi di manutenzione.

E' di fondamentale importanza che la scelta dei sistemi di gestione dell'illuminazione di cui dotarsi sia di facile utilizzo, accesso e comprensione in quanto talvolta accade che questi sistemi dopo la messa in funzione vengano abbandonati per le difficoltà che presentano nel loro impiego.

## **CONCLUSIONI**

Riusciremo a recuperare la visione notturna del cielo stellato nelle nostre città? Continuando così nel giro di 15 anni avremo perso totalmente la visione della via Lattea dai nostri centri abitati venendo a mancare così uno “spettacolo” che ci ha accompagnato nei secoli più di quanto non lo abbia fatto la luce artificiale. E non solo tanti poeti e artisti si sono ispirati alla visione del cielo stellato per comporre le loro opere ma crediamo che ognuno di noi abbia alzato qualche volta lo sguardo per godersi questo “spettacolo unico” che, se ci fermiamo ad ammirarlo, ci affascina, suscita in noi emozioni indescrivibili.

Allora a conclusione dell’analisi svolta nel percorso che ci ha accompagnato in questo lavoro vogliamo sviluppare una riflessione che ci porti a rispondere alla domanda: a quali condizioni, che cosa dobbiamo e possiamo fare per raggiungere l’obiettivo di una riduzione dell’inquinamento luminoso così come ci siamo proposti nella nostra introduzione?

Negli ultimi anni come abbiamo visto nella seconda parte la normativa tecnica ed alcune regioni hanno iniziato ad interessarsi di inquinamento luminoso emettendo tutta una serie di leggi e norme in materia. Ad oggi constatiamo come in Italia ci sia una situazione estremamente frastagliata: regioni con buone leggi, altre con meno buone, altre ancora che non hanno ancora affrontato il problema. Tra le regioni che si sono dotate di strumenti legislativi segnaliamo come la Toscana debba ancora redigere ed emanare alcuni dei previsti strumenti attuativi come il PIER (Piano Indirizzo Energetico Regionale) senza i quali la legge non trova completa attuazione. Sarebbe pertanto auspicabile che dove possibile si completasse il quadro normativo.

Più in generale, per ovviare a questa situazione, sulla scia di un percorso già adottato per altri campi di intervento come, ad esempio, l’inquinamento acustico, è auspicabile l’emanazione di una legge quadro a livello nazionale all’interno della quale siano individuate le competenze di regioni ed enti locali. Le regioni, secondo le loro specificità territoriali, potrebbero svolgere indagini sulla situazione esistente, coordinare ed indirizzare all’interno di un piano regionale l’attività dei comuni, svolgere compiti di formazione dei soggetti coinvolti a vario titolo, programmare e finanziare interventi sull’esistente. In proposito segnaliamo quanto fatto dalla regione Toscana che nel 2005

## *Conclusioni*

ha finanziato interventi di rinnovo degli impianti di illuminazione pubblica in undici comuni. Purtroppo, così come affermato da un funzionario della regione, nel 2006 per mancanza di risorse l'iniziativa non si è rinnovata. Per quanto riguarda i comuni li riteniamo i veri soggetti che possono contribuire in modo significativo, attraverso le loro scelte, alla lotta all'inquinamento luminoso. Sono loro infatti che esprimono pareri di conformità alla normativa in materia per i nuovi impianti di illuminazione esterna sia pubblica che privata. E' ancora il comune che in proprio o tramite ditte esterne gestisce ed esegue la manutenzione della rete esistente. E' per questi motivi che riteniamo indispensabile che gli strumenti previsti dalle leggi regionali come ad esempio il Piano Indirizzo Energetico Regionale della Toscana, oppure i Piani Comunali di Illuminazione vengano redatti ed adottati perché costituiscono preziosi punti di riferimento per i comuni stessi, per i progettisti e le ditte che operano nel settore.

Purtroppo, nella realtà, in tanti comuni, come ad esempio quello di Poggibonsi con cui abbiamo avuto contatti, si gestisce l'esistente con il criterio di conseguire l'obiettivo minimo del funzionamento degli impianti con interventi che tendono a riparare ciò che si rompe piuttosto che ad una gestione programmata che miri ad un'alta efficienza del sistema sia per l'esistente che per nuovi impianti.

Un altro problema importante da risolvere, è quello dell'assenza di figure di controllo. Se nessuno controlla che gli impianti vengano realizzati secondo le prescrizioni che la legge o le norme prevedono i lavori potranno essere realizzati in modo difforme.

Sempre riguardo agli aspetti normativi sarebbe auspicabile l'estensione a tutto il territorio nazionale della decisione della regione Lombardia di vietare l'immissione in commercio di apparecchiature che non rispettano le prescrizioni previste dalla legge regionale 17/00.

La normativa con le sue prescrizioni ed indicazioni acquista valore se viene ben applicata. Per fare questo occorre investire nella formazione degli operatori. Prima di tutto i progettisti. Sono loro infatti che caratterizzano l'impianto con le loro scelte: il rispetto dei parametri di luminanza, la individuazione di idonei apparecchi illuminanti, la scelta del tipo di lampada appropriata allo scopo sono tutti parametri che definiscono un impianto più o meno inquinante dal punto di vista luminoso. Ma altrettanto importante è anche la formazione di quelle figure che realizzano e svolgono mansioni di manutenzione e gestione degli impianti. A tal proposito abbiamo citato l'esempio

della telegestione che viene talvolta disattivata semplicemente perché gli operatori non hanno le conoscenze per il suo corretto uso.

Se pure qualificabile come effetto secondario l'abbattimento del pulviscolo, dello smog presente nell'aria contribuirebbe ad una diminuzione dell'inquinamento luminoso. Infatti gli aerosoli che si trovano in sospensione nell'aria creano strati di elevate dimensioni e nel momento in cui la luce incontra queste piccole particelle viene riflessa in maniera diffondente verso il basso creando quel bagliore che noi chiamiamo inquinamento luminoso. Questo fenomeno si accentua in presenza di una forte umidità dell'aria.

Nella nostra analisi abbiamo sovente associato al problema dell'inquinamento luminoso quello del risparmio energetico. Sono molto spesso due facce della stessa medaglia nel senso che l'adozione di opportune decisioni progettuali così come la scelta di buoni materiali ed una manutenzione a regola d'arte contribuiscono a raggiungere entrambe gli obiettivi di una riduzione dell'inquinamento luminoso e di un risparmio energetico. Entrando più nel dettaglio gli elementi che legano l'inquinamento luminoso con il risparmio energetico sono:

1. illuminare le zone dove è necessario;
2. illuminare quanto è necessario,
3. una buona manutenzione ordinaria e straordinaria degli impianti esistenti

I criteri di principio che ogni progettista illuminotecnico dovrebbe adottare nella progettazione di un impianto d'illuminazione efficace ed efficiente e che rispettino i punti sopra citati sono:

- Contenere i costi dell'impianto senza che questo vada a scapito della sua qualità nel miglior rapporto possibile qualità prezzo. A differenza del passato oggi non possiamo puntare solo sulla quantità.
- Utilizzare lampade che abbiano efficienze luminose elevate per gli ambienti in cui devono essere installate;
- Per la scelta dell'apparecchio illuminante fare uso delle curve fotometriche in modo da capire in che direzione viene orientata la maggior parte dell'intensità luminosa;

## *Conclusioni*

- Utilizzare ottiche che abbiano rendimenti di riflessione il più elevati possibile, cioè alti rapporti fra il flusso emesso dal corpo illuminante ed il flusso totale emesso da una lampada;
- Illuminare le aree richieste per evitare sprechi inutili di luce;
- Orientare gli apparecchi illuminanti a 90° rispetto alla verticale evitando così l'inquinamento luminoso.
- Fare uso di dispositivi di telegestione e riduzione del flusso.

Per quanto riguarda la manutenzione riteniamo che un più largo uso della telegestione degli impianti, oltre a migliorare il servizio offerto, come abbiamo visto nel paragrafo ad essa dedicato, riduce i costi di manutenzione. Le risorse così liberate potrebbero essere impegnate per migliorare la rete esistente. Passare in buona sostanza, come già detto, da una manutenzione effettuata su chiamata, quando si rompe qualcosa, ad una programmata.

Una ultima sottolineatura vorremmo farla a favore della ricerca. Infatti se nel nostro lavoro abbiamo più volte richiamato l'attenzione sulla disponibilità di materiali tecnicamente evoluti e della necessità del loro impiego rimangono ancora ampi margini di miglioramento. Su tutto ricordiamo quanto detto a proposito delle lampade. Quelle che trovano, ad oggi, un più largo impiego nella valutazione delle loro caratteristiche ottimali su un possibile punteggio massimo di 90 punti ne raggiungono appena 51.

In tutto il percorso del nostro lavoro abbiamo sempre ricercato ed individuato le possibili soluzioni tecniche ai problemi che abbiamo incontrato per poter limitare l'inquinamento luminoso e gli sprechi di energia.

Negli incontri che abbiamo fatto con le persone che operano ormai da molti anni nel settore da noi trattato abbiamo constatato come la lotta all'inquinamento luminoso ed il conseguimento di un risparmio energetico non passano solo attraverso la normativa e la tecnica. Occorre far crescere la sensibilità, acquisire una cultura positiva verso queste problematiche. Se è vero che le tematiche ambientali hanno favorito la presa di coscienza in alcune realtà dell'esistenza del problema dell'inquinamento luminoso è anche vero che tanta strada rimane da fare.

La difesa del nostro "cielo stellato" dipenderà molto dalla crescita dell'importanza che riusciremo a far percepire in tema di ambiente nella nostra società. Se vogliamo che le generazioni future continuino a guardare il cielo stellato come uno "spettacolo unico"

### *Conclusioni*

dovremo decidere che lo sviluppo deve confrontarsi con l'ambiente. Fare in modo che lo "sviluppo sostenibile" diventi una parola patrimonio non solo degli scienziati quando si ritrovano al "capezzale della terra" per discutere dei suoi mali ma dei progettisti, degli installatori perché realizzino dei buoni impianti e dei nostri governi, delle nostre giunte perché prestino più attenzione e destinino più risorse alla lotta all'inquinamento luminoso ed al risparmio energetico.

## **BIBLIOGRAFIA**

- ALBERTIN G., PESSOTTO D., *Il giorno e la notte*, in “Luce”, novembre 2001, pp 82-87.
- ARCESILAI G., TEDESCHI R., *I LED negli esterni*, in “Luce & Design”, novembre 2003, pp 42-45.
- BALESTRERI B., AIOLFI I., *Thylia Microriflettori per la nuova luce urbano*, in “Luce & Design”, novembre 2003, pp 140-143.
- BERTIN A., POLI M., VITALE A., *Fondamenti di meccanica*, Progetto Leonardo, Bologna, 1995.
- BESSI A., TASSI L., MINATI A., SPADA D., *Dietro la lampada*, in “Luce”, marzo 2002, pp 36-48.
- BUZZI R., *Le ottiche semplici*, in “Luce”, ottobre 2001, pp 10-20.
- Cecchini L., *Il telecontrollo nell’illuminazione stradale*, in “Luce & Design”, maggio 2006, pp 72-76.
- CINZANO P., *Inquinamento luminoso e protezione del cielo notturno*, Venezia, Istituto veneto di scienze, lettere ed arti, 1997.
- DALL’O’ P., *Impianti: più sicurezza per l’illuminazione pubblica*, in “Luce & Design”, settembre 2003, pp 6.
- DI LECCE P., *Rivoluzione copernicana*, in “Luce & Design”, maggio 2003, pp 132-136.
- DI MARTINO M., PULVIRETTI E., *Cesano Boscone: Il piano urbano della luce*, in “Luce”, Maggio 2001, pp 148-157.
- FAURI M., *Strategie per il consumo*, in “Luce”, marzo 2002, pp 110-121.
- GRECHI M., MUSETTI F., *Luce e arredo per la viabilità stradale*, in “Luce & Design”, novembre 2003, pp 86-91.

## Bibliografia

- LARUSSI M., SAULI A., *Inquinamento luminoso; quali risposte?* , in “Luce & Design”, maggio 2003, pp 12-16.
- M.VILLA M., *Cinisello: una piazza ritrovata*, in “Luce & Design”, giugno 2004, pp 63-68.
- MONTANI M., SÜSS M., *Luce e ambiente: necessità biologiche e psicologiche*, in “Luce”, ottobre 2001, pp 52-56.
- PATETTA M., *Recepire l'innovazione: gli oscurantismi della luce urbana*, in “Luce & Design”, settembre 2004, pp10.
- PULVIRENTI E., *I regolatori di flusso luminoso*, in “Luce & Design”, novembre 2003, pp 144-147.
- PULVIRENTI E., *Per un approccio integrato all'illuminazione urbana*, in “Luce & Design”, giugno 2004, pp 114-117.
- REDAZIONE, *illuminazione pubblica: i problemi gestionali*, in “Luce & Design”, febbraio 2003, pp 12-17.
- REGGIANI A., *La frammentarietà notturna del residenziale*, in “Luce & Design”, giugno 2004, pp 82-83.
- ROSATI S., *Una visita agli impianti di illuminazione*, in “Luce”, novembre 2001, pp 72-77.
- SAULI A., *Valutazione del flusso disperso*, in “Luce & Design”, maggio 2003, pp 28-31.
- TUCCI M., *Illuminazione: ergonomia, sicurezza e comfort visivo*, in “Dispense del corso di SICUREZZA DEGLI IMPIANTI INDUSTRIALI”, anno accademico 2003-2004, MIMEO, Firenze.
- VALDES G., *Impianti elettrici*, Calderoni edagricole, Bologna, 2000.
- VILLA M., *Luci dal paesaggio*, in “Luce”, Maggio 2002, pp 76-79.

### ***Bibliografia***

- YANUS A. ÇENGEL, *Termodinamica e trasmissione del calore*, McGraw Hill, Milano, 1997.

## **SITI WEB CONSULTATI**

<http://etd.adm.unipi.it/>

<http://it.wikipedia.org>

<http://web.rete.toscana.it/strutture>

<http://www.aidiluce.it>

<http://www.alfredoneri.com/illuminotecnica.htm>

<http://www.arditi.com>

<http://www.astrofilisenesi.it>

<http://www.astrofilispezzini.org>

<http://www.cielobuio.org>

[http://www.comune.fienze.it/servizi\\_publici/edilizia/illuminazione.htm](http://www.comune.fienze.it/servizi_publici/edilizia/illuminazione.htm)

<http://www.conchiglia.com>

<http://www.darksky.ch>

<http://www.disano.it>

<http://www.ildiaframma.it>

<http://www.inquinamentoluminoso.it>

<http://www.lanuovaecologia.it/documenti/illuminazione20%pubblica.pdf>

<http://www.legambiente.com>

<http://www.leuci.com>

<http://www.luceonline.it>

<http://www.ordineingegneriberghamo.it>

<http://www.reggiani.net>

<http://www.relco.it>

<http://www.uai.it>