



**CIELOBUIO – Coordinamento per la protezione del cielo notturno**  
<http://www.cielobuio.org/>

**MARCO VEDOVATO**

# **L'INQUINAMENTO LUMINOSO**

**BREVE GUIDA PER VALUTARE GLI  
IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE ESTERNA**

ver. 2007.02

**PREFAZIONE DI FABIO FALCHI**

	<p><i>Associazione CieloBuio</i> Coordinamento per la salvaguardia del cielo notturno <a href="http://www.cielobuio.org">www.cielobuio.org</a></p>
<p><b>ing. Marco Vedovato, cell. 348-7729145</b> <b>email: vedovatom@virgilio.it</b></p>	

## INDICE

<b>PREFAZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>PREFAZIONE DELL'AUTORE .....</b>	<b>4</b>
<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>5</b>
<b>2. INQUINAMENTO LUMINOSO: DEFINIZIONI E CAUSE.....</b>	<b>5</b>
<b>3. APPARECCHI D'ILLUMINAZIONE.....</b>	<b>7</b>
<b>4. LE CURVE FOTOMETRICHE.....</b>	<b>11</b>
<b>5. CONFRONTI TRA CORPI ILLUMINANTI .....</b>	<b>16</b>
<b>6. LUMINANZA: CHI ERA COSTEI?.....</b>	<b>21</b>
<b>7. PROGETTAZIONE "OTTIMIZZATA" CON EASY-LIGHT</b>	
<b>8. CONCLUSIONI.....</b>	<b>22</b>
<b>9. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI ESSENZIALI.....</b>	<b>23</b>

## PREFAZIONE

**I**l cielo notturno non è mai completamente buio. Anche nei siti astronomici più isolati esiste un chiarore di fondo, generato da vari fattori naturali. Oggi la grande maggioranza delle popolazioni dei paesi sviluppati vive sotto un cielo che arriva ad essere anche centinaia di volte più luminoso di questo fondo naturale. La parte artificiale della luminosità del cielo notturno è causata dalla diffusione nell'atmosfera della luce prodotta dall'uomo. Le luci di una grande città o quelle di una moltitudine di piccole città possono aumentare la luminosità del cielo in un osservatorio distante centinaia di chilometri.

La luminosità artificiale del cielo notturno, l'effetto oggi più evidente dell'inquinamento luminoso, è cresciuta nel corso di questo secolo fino a diventare un problema ambientale globale oltre che un problema di primaria importanza per la scienza astronomica e la cultura, sia scientifica che umanistica. Per la ricerca scientifica il danno più evidente è la diminuita capacità osservativa dei telescopi posti in siti inquinati. Questo obbliga a spostare gli osservatori in sedi sempre più isolate (Canarie, Hawaii, Cile ecc.).

Per la cultura il danno è rappresentato principalmente dalla fine della possibilità di osservare il cielo da parte della popolazione, soprattutto da parte delle giovani generazioni, alle quali viene preclusa non solo una via privilegiata di accesso al sapere scientifico ma anche uno spettacolo, quello della volta stellata, che è un insostituibile stimolo alla conoscenza, alla riflessione, alla meditazione, alla creatività, all'amore per la natura e alla percezione del nostro essere parte dell'Universo. Gli abitanti di una città come Milano, ad esempio, non riescono a vedere ad occhio nudo che alcune decine di stelle nelle serate più limpide su uno sfondo di un cielo di colore giallastro (indice che la luminosità è tale da permettere all'occhio umano la percezione dei colori). Anche città piccole come Mantova o Cremona riescono a nascondere circa il 90 % delle stelle che sarebbero visibili in assenza di inquinamento. In particolare l'inquinamento luminoso rende difficile la preziosa opera di divulgazione dell'astronomia intrapresa dai numerosi osservatori pubblici sparsi su tutto il territorio italiano.

Da non dimenticare l'aspetto puramente economico del problema: nella sola Italia si stima che vengano spesi circa 250 milioni di Euro ogni anno per illuminare la volta stellata. Questa cifra, pur se a prima vista trascurabile rispetto ad altri sprechi, sarebbe sufficiente per permettere al no-

stro paese di costruire, ogni anno, un osservatorio come il Very Large Telescope o di finanziare il Next Generation Space Telescope.

L'inquinamento luminoso non causa danni solo economici e culturali, ma anche danni ecologici nel senso più tradizionale del termine. In Italia la produzione di energia elettrica è ottenuta principalmente con centrali termoelettriche alimentate da combustibili fossili. Ogni lampada di media potenza montata in un apparecchio non schermato usa un barile di petrolio ogni anno per illuminare direttamente la volta stellata. E' stato dimostrato che l'eccessiva illuminazione comporta alterazioni alla fotosintesi clorofilliana e ai ritmi circadiani nelle piante. Sono state notate anche difficoltà di orientamento per alcuni uccelli migratori e alcune specie di insetti, che in alcuni casi arriva fino a provocare la morte dei soggetti per spossatezza o per collisione con edifici illuminati, e fenomeni di alterazione delle abitudini di vari animali. Le neonate tartarughe marine, appena uscite dall'uovo, si dirigono verso i lampioni stradali invece che verso il mare, andando incontro a morte certa. L'esposizione a bassi livelli di luminosità durante le ore di sonno inibisce nell'uomo la produzione di melatonina.

Questi sono solo alcuni dei danni portati dall'inquinamento luminoso. Fortunatamente alcune avvedute regioni italiane stanno adottando dei provvedimenti legislativi per tentare di limitare il fenomeno. Purtroppo, nonostante il combattere l'inquinamento luminoso porti solo vantaggi (economici, di sicurezza, all'ambiente), si incontrano resistenze sia nel far approvare le leggi che, successivamente, nel farle applicare. A volte addirittura abbiamo assistito a stravolgimenti nel testo approvato che lo rendono di fatto inutile nel limitare l'inquinamento luminoso.

### **Fabio Falchi**

- **IDA**-International Dark-Sky Association
- **CieloBuio** - Coordinamento per la salvaguardia del cielo notturno
- **ISTIL** – Istituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso

## PREFAZIONE DELL'AUTORE

**S**copo di questo lavoro è fornire una panoramica sull'inquinamento luminoso. Sull'argomento vi è un'ampia letteratura, anche di alto livello, tuttavia chi inizia ad occuparsene spesso si trova disorientato dal cumulo di notizie cui deve far fronte. Sulla base della mia personale esperienza ho cercato di evidenziare i punti salienti.

La mia speranza è di aver scritto un'utile e completa guida introduttiva cercando, per quanto possibile, di mantenere un tono divulgativo; solo in un paio di punti, peraltro segnalati, è richiesto un minimo di conoscenza di analisi matematica, tuttavia la relativa lettura non è indispensabile.

Il lusinghiero successo della precedente versione, scaricata parecchie migliaia di volte, si accompagna al desiderio di un maggior coinvolgimento dei tecnici preposti.

Sarò grato a tutti coloro che vorranno segnalare sviste, manchevolezze e parti da chiarire. Un ringraziamento particolare va al dottor Fabio Falchi per la revisione delle bozze, i suggerimenti, le integrazioni e la prefazione al presente lavoro. Devo doverosamente citare il bravissimo Giuliano Lunelli di Trento per gli splendidi disegni, ampiamente migliorativi di alcune mie precedenti immagini (molto grezze), che, fra l'altro, sono state utilizzate, naturalmente nella versione elaborata da Lunelli, per illustrare il problema dell'inquinamento luminoso ai visitatori della mostra astronomica "Destinazione Stelle" organizzata, nella prima metà dell'anno 2002, dal Museo Tridentino di Scienze Naturali. A lui la riconoscenza per avermi concesso l'utilizzo dei suoi piccoli capolavori.

Marco Vedovato  
Predazzo (TN), dicembre 2004

*Per la difesa delle meraviglie del cielo  
di bellezza infinitamente superiore  
a qualsiasi "creatività" luminosa umana*



*Cometa Hale-Bopp nell'aprile 1997  
in una foto dell'autore*

## 1. PREMESSA

Con questo lavoro ci proponiamo di fornire gli elementi per una immediata valutazione sull'efficacia di un impianto nei confronti della limitazione dell'inquinamento luminoso; l'argomento riveste estremo interesse per progettisti, astronomi, astrofili o comunque per tutte le associazioni interessate alla tutela ambientale.

## 2. INQUINAMENTO LUMINOSO: DEFINIZIONI E CAUSE

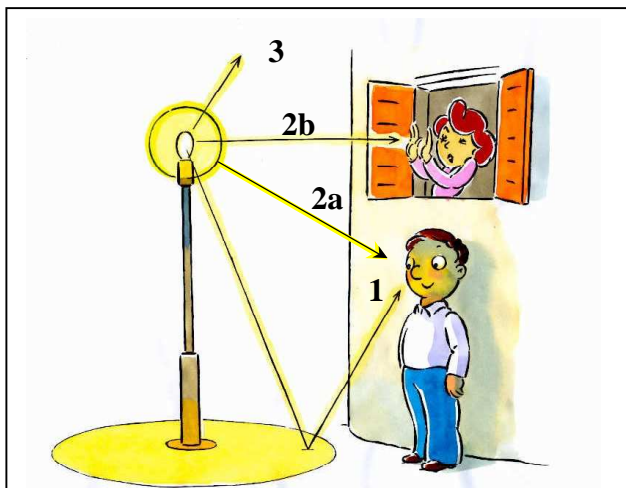


Fig. 2.1 – La visione: solo il raggio 1, dopo essersi riflesso sull'area da illuminare, è funzionale allo scopo. Invece i raggi 2a, 2b e 3, non colpendo l'oggetto sono inutilizzati. Anzi i raggi 2a e 2b sono di ostacolo alla visione in quanto, arrivando direttamente all'occhio, provocano abbagliamento.

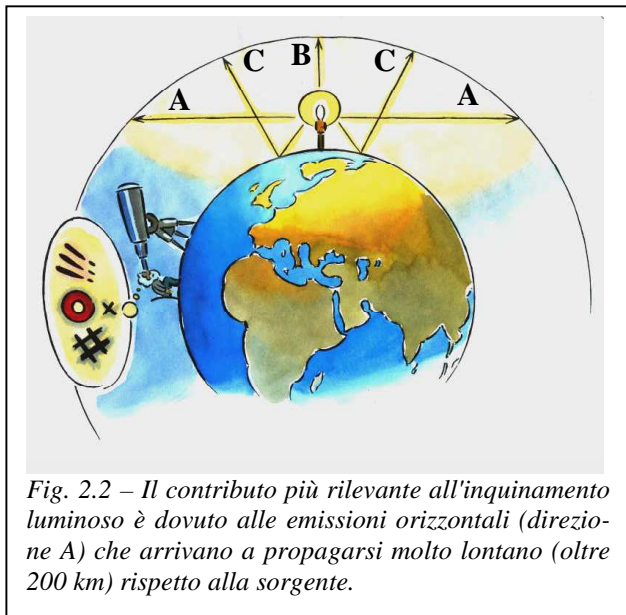


Fig. 2.2 – Il contributo più rilevante all'inquinamento luminoso è dovuto alle emissioni orizzontali (direzione A) che arrivano a propagarsi molto lontano (oltre 200 km) rispetto alla sorgente.

Cominciamo con un concetto banale che non sarà male rinfrescare: perché ci vediamo quando si illumina? Come illustrato nella figura 2.1, la luce per illuminare deve seguire un percorso analogo a quello indicato dalla linea spezzata 1: dalla sorgente il raggio raggiunge un'area (per esempio una pavimentazione stradale) per venirne in parte riflesso verso l'occhio dell'osservatore dove avverrà il processo della visione. La luce che si propaga in altre direzioni, per esempio 2a, 2b e 3, rimane inutilizzata; anzi la luce lungo le direzioni 2 (a e b) è addirittura controproducente poiché, arrivando direttamente alla pupilla, produce abbagliamento. **Quindi solo la luce che si riflette sull'area da illuminare, in direzione dell'osservatore, è funzionale allo scopo.**

Possiamo ora dare una definizione del tutto generale di "inquinamento luminoso" enunciandolo come: **“alterazione della quantità naturale di luce presente nell'ambiente notturno dovuta ad immissione di luce artificiale prodotta da attività umane”**.

**La luce artificiale è una forma di inquinamento.**

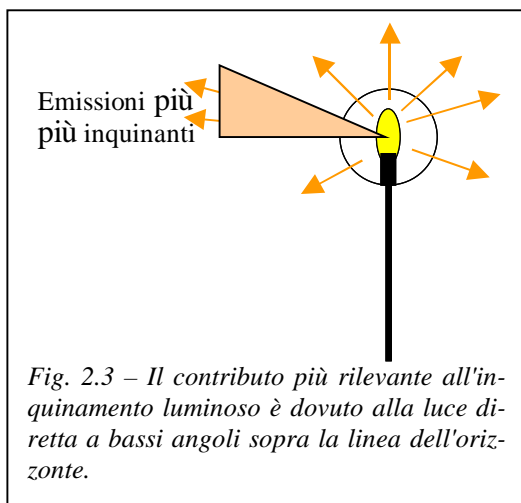
Viene qui enfatizzato il danno ambientale per la flora, con l'alterazione del ciclo della fotosintesi clorofilliana [6] e per la fauna, in particolar modo per le specie notturne, private dell'oscurità a loro necessaria, e per gli uccelli migratori, impediti a riconoscere le principali stelle e quindi destinati a perdere l'orientamento nel volo notturno [7]. Stando ad alcune ricerche, pur mantenendo tutta la prudenza del caso, vi sarebbero anche effetti sulla salute umana: l'illuminazione artificiale, alterando il ciclo di produzione della melatonina, sembra possa aumentare il rischio di tumori, come quello alla mammella [24] [25].

Tecnicamente però possiamo dare dell'inquinamento luminoso questa diversa definizione: **“ogni forma di irradiazione di luce artificiale che si disperda al di fuori delle aree cui essa è funzionalmente dedicata e, in particolar modo, se diretta sopra della linea dell'orizzonte”**. La prima parte della proposizione è ovvia (sebbene troppo spesso non ci si pensi): la luce che non colpisce gli

## Come si propaga l'inquinamento luminoso?

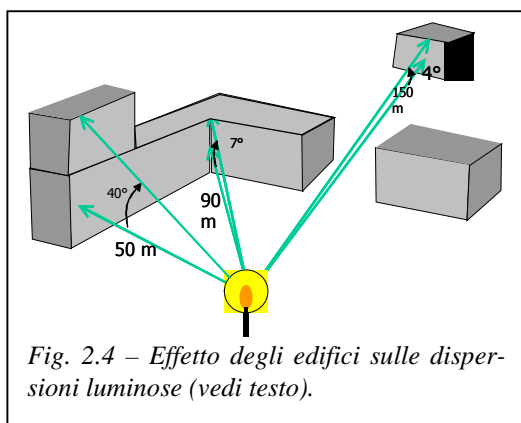
oggetti da illuminare rimane inutilizzata; la seconda parte merita invece un approfondimento. Analizziamo come si propaga l'inquinamento luminoso [3]: nella figura 2.2 sono evidenziate tre possibili emissioni luminose di un lampione "a palla", scelto poiché riassuntivo di tutti i possibili difetti di un corpo illuminante.

- **Emissione A:** è diretta verso l'orizzonte ed arriva a propagarsi molto lontano dalla sorgente, fino a 200-300 km di distanza, dopodiché la naturale curvatura terrestre disperde nello spazio il flusso luminoso fin qui arrivato. In questo tragitto la luce, attraversando un maggiore spessore atmosferico (rispetto alle traiettorie B e C), viene quasi integralmente diffusa in atmosfera -causa l'interazione tra luce, molecole dell'aria e polveri in sospensione- e di conseguenza più rilevante è il suo contributo all'aumento di luminosità artificiale del fondo del cielo. E' stato stimato [3] come Milano contribuisca all'inquinamento luminoso di Asiago, sede dei più grandi telescopi su suolo italiano, per il 3%.
- **Emissione B:** è diretta verso la verticale; dopo aver attraversato l'atmosfera, si perde per la maggior parte nello spazio (salvo la parte diffusa nell'atmosfera). Contribuisce ad aumentare l'inquinamento luminoso a livello locale.
- **Emissione C:** è dovuta alla luce riflessa (inquinamento da luce indiretta) dalle superfici illuminate (strade, marciapiedi, piazze...), quindi dalla luce realmente utilizzata per illuminare. Questo contributo, sommandosi all'emissione B contribuisce ad aumentare l'inquinamento luminoso a livello locale; tipicamente il flusso luminoso riflesso ammonta a circa il 10-20% del flusso incidente.



Insomma l'inquinamento luminoso è il risultato della diffusione (*scattering*) della luce da parte dell'atmosfera; più la luce è diffusa, più aumenta l'inquinamento luminoso che, d'altra parte, non esisterebbe se non vi fosse l'aria...

Come visto ora, **il contributo più importante all'inquinamento luminoso non è determinato dalla luce dispersa verso l'alto ma da quella inviata a piccoli angoli sopra la linea dell'orizzonte** (figura 2.3). Si tenga a mente questo concetto perché è la chiave di tutto il discorso. Su questo specifico punto conviene fare alcune considerazioni. Sono apparsi dei lavori [21] ove si sostiene la tesi che dette emissioni a piccoli angoli non contano poiché intercettate dalle pareti degli edifici; tale teoria, in mancanza di inoppugnabili dati sperimentali, non ci trova d'accordo. La schermatura delle pareti, qualora si verifici, è solo parziale e lungo diverse direzioni può diventare da efficace ad irrisoria (figura 2.4). L'effetto invocato dagli autori, insomma, è un caso particolare (non un fatto generale); se può essere presente in impianti collocati nel centro di una grossa città in cui le vie, con edifici adeguatamente alti, si incrociano le une con le altre in modo apparentemente confuso, lo è molto meno se l'urbanistica si sviluppa con grandi arterie diritte, ossia prive di schermature, partenti da un centro (Parigi, per fare un esempio). Inoltre man mano che ci si allontana dal centro, al diradarsi delle abitazioni, la luce è sempre più libera di propagarsi, fermo restando che le periferie sono infestate da più o meno potenti fari, faretto, torri-faro quasi sempre installati alla tanto peggio, anche per illuminare le cose più inutili ed assurde, per i quali, trattandosi di campi aperti, non vi sono efficaci schermature da parte degli edifici. Se la teoria



CieloBiuo – Coordinamento per la protezione del cielo notturno

di cui sopra fosse vera, non si spiegherebbe come mai anche lontano dalle città il cielo rimanga inquinato! Inoltre non esistono solo le grandi città: vi sono pure una miriade di cittadine e piccoli paesi il cui ridotto numero di abitazioni, di altezza generalmente modesta, non offre particolare efficacia nel coprire le dispersioni a piccoli angoli sull'orizzonte; in questo caso il problema si manifesta nella sua interezza. In zone di montagna si aggiungono gli effetti delle altimetrie, per cui lampioni collocati nelle zone più alte sono liberi di diffondere luce ovunque, boschi compresi. Comunque, anche laddove sussista l'effetto di schermo degli edifici, si tratta evidentemente di luce che entra, non richiesta, attraverso le finestre in appartamenti privati ("*luce intrusiva*"; fig.2.1, direzione 2b); questo non va bene: l'illuminazione pubblica illumini solo ciò che è pubblico ed il privato illumini, se necessario, solo ciò che è suo, senza invadere le proprietà altrui! Ecco allora la necessità di prestare massima cura per eliminare le emissioni a piccoli angoli, tenendo presente che il tutto va comunque a vantaggio del *comfort* visivo.

Ad ogni modo è doveroso agire su tutte le direzioni di propagazione: quelle al di sopra dell'orizzonte (le citate direzioni A e B della figura 2.2) attraverso l'utilizzo, come vedremo, di appropriate schermature e quelle da luce indiretta (direzione C) attraverso un'accurata progettazione, mantenendo sensati livelli di illuminazione (nel rispetto di eventuali normative), evitando le illuminazioni a giorno, autentico e dannoso spreco di risorse. Si ricordi che illuminare non significa trasformare la notte in giorno; la notte esiste da molto tempo prima dell'arrivo dell'uomo e funge da regolatore dei cicli biologici di tutte le specie viventi e pertanto le va tributato il dovuto rispetto. Non è progresso il poter leggere i giornali di notte all'aperto (anche perché di sera i giornali sono già vecchi...).

### 3. APPARECCHI D'ILLUMINAZIONE

Un corpo illuminante è composto fondamentalmente, oltre al circuito di alimentazione, da due parti:

- 1) la lampada
- 2) l'armatura, comprendente il guscio di protezione, il supporto della lampada e il sistema ottico.

La scelta di un buon apparecchio passa attraverso un'opportuna valutazione di questi due elementi; è del tutto inutile scegliere un'ottima lampada per poi inserirla in un'armatura mediocre e viceversa. Analizzeremo perciò le due componenti per fornire dei criteri di valutazione facilmente comprensibili per poi quindi passare ad esempi pratici con confronti tra soluzioni diverse.

#### 3.1 Le lampade

Ne esistono di diversi tipi: ad incandescenza, ai vapori di mercurio ad alta pressione (quelle al mercurio a bassa pressione, emettendo nell'ultravioletto, sono impiegate in campo terapeutico), a fluorescenza, alogene, agli alogenuri metallici, ai vapori di sodio ad alta e bassa pressione... Non ne descriveremo il principio di funzionamento per il quale esistono numerosi testi specializzati [8]; ogni lampada possiede una propria **efficienza luminosa** ossia, per una data potenza assorbita, produce una determinata quantità di luce. L'efficienza luminosa è espressa dal rapporto *lumen/watt* (simbolo lm/W). Il *lumen* è un'unità di misura (dimensionalmente è una potenza) che esprime la quantità di luce prodotta (come sarà discusso nel paragrafo 4); più *lumen* vengono prodotti, a parità di potenza assorbita (misurata in *watt*), più alta è

LAMPADA	EFFICIENZA (lumen/watt)
Incandescenza	8-25
Vapori di mercurio	35-50
Alogenuri metallici	70-110
Vapori di sodio alta pressione	90-135
Vapori di sodio bassa pressione	100-200

l'efficienza della lampada. Sostituendo una lampada poco efficiente con un'altra di maggior efficienza si otterrà, a parità di luce prodotta, un minor impegno di potenza, a favore del risparmio energetico. La consultazione della tabella 1 è istruttiva: in essa è quantificata l'efficienza luminosa di molte lampade di uso comune.

Ad esempio una lampada ai vapori di mercurio da 250 Watt può produrre fino a 12500 lumen (= 50 lm/W x 250 W), una lampada ai vapori di sodio a bassa pressione da soli 90 Watt può arrivare fino a 18000 lumen (= 200 lm/W x 90 W). Ipotizzando 4000 ore di accensione

all'anno ad un costo di 0,2 € per chilowattora (kWh), si ricava la tabella 2; sono qui evidenti le grandi differenze di consumo a seconda della lampada utilizzata, nella condizioni di quantità simili di luce prodotta. Una lampada ai vapori di sodio ad alta pressione da 150 W comporterà un spesa annua di 0,2 € x 4000 ore x 150 W/1000 = 12000 € annui. E' palese il grande vantaggio in termini di risparmio che consegue dall'impiego di lampada ad alta efficienza.

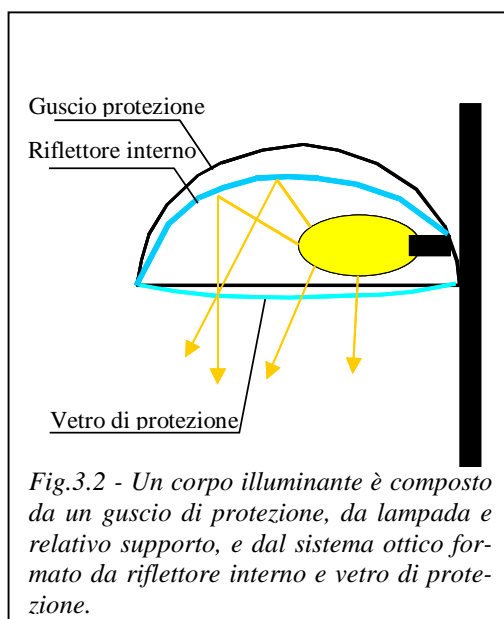
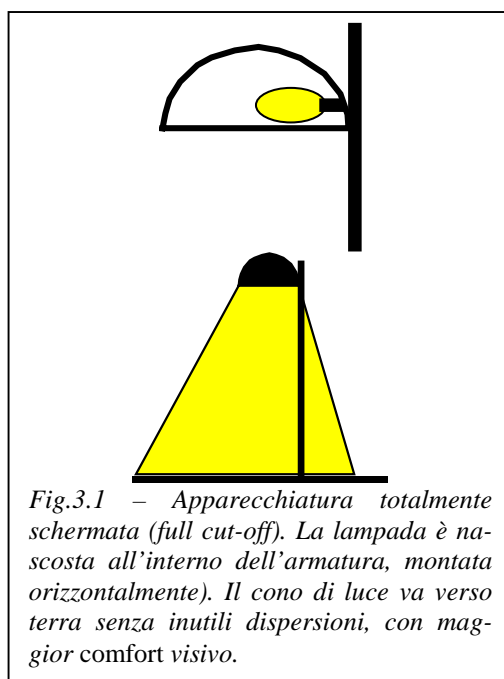
Naturalmente bisogna considerare, a seconda dell'ambiente da illuminare, la resa cromatica (ossia la possibilità di percepire i colori). Da questo punto di vista le lampade al sodio ad alta pressione, nella loro versione *standard*, sono eccellenti a dispetto della loro luce colore arancio. Se proprio si desidera una luce bianca oggi si possono utilizzare lampade agli ioduri metallici con bruciatore ceramico che presentano efficienze elevatissime -oltre 90 lm/W- anche nella versione a più bassa potenza (25 W). Viceversa le lampada al sodio ad alta pressione nelle versioni *comfort* ed a "luce bianca" hanno efficienze assai inferiori, sia rispetto alla versione *standard* che a quelle a bruciatore vetroceramico e molte Leggi Regionali contro l'inquinamento luminoso ne impediscono l'utilizzo prescrivendo efficienze di almeno 90 lm/W.

**Non basta la scelta di una buona lampada: bisogna valutare anche l'armatura.**

Per molti il risparmio energetico per l'illuminazione finisce qui, con la scelta di una buona lampada; anzi, sovente non comincia neppure perché si sostituiscono lampade poco efficienti con altre a maggior efficienza ma di uguale potenza (quindi i consumi rimangono invariati). Invece la strada da percorrere è molto più complessa e va molto oltre questo punto. Per noi è scontato che si debbano usare le lampade migliori ma questo è solo l'inizio; infatti ora andremo ad esaminare il problema centrale della questione.

TABELLA 2 - costi a (circa) parità di luce prodotta

Lampada	Potenza (Watt)	Luce prodotta (lumen)	Costo annuo
Vapori di Mercurio	250 W	12700 lm	200,00 € (100%)
Sodio alta pressione	150 W	14500 lm	120,00 € (60%)
Sodio bassa pressione	90 W	18000 lm	72,00 € (36%)





### 3.2 Le armature

Per evitare le dispersioni di luce di cui si è detto, conviene utilizzare corpi totalmente schermati (detti *full cut-off*), come quello rappresentato in figura 3.1. Si noti, in particolare, come la lampada sia completamente incassata in una armatura montata orizzontalmente; questo è il concetto base (lampada incassata + montaggio orizzontale), il più importante di tutti, sul quale sviluppare ogni ulteriore ragionamento. Conviene approfondire questo aspetto poiché, come detto precedentemente, non ha senso scegliere lampade efficienti per inserirle in armature che disperdono magari fino a tre quarti della luce prodotta; sarebbe come inserire il motore di una macchina di formula uno nella carrozzeria di un'utilitaria.

L'armatura, come già accennato all'inizio, è costituita da un guscio di protezione, dal supporto della lampada e dal sistema ottico formato dal vetro di protezione esterno e da un riflettore interno (figura 3.2); al sistema ottico è affidato il compito di "sagomare" il cono di luce per indirizzarlo nel modo più preciso possibile verso l'area da illuminare. E' immediato intuire come la presenza del riflettore interno consenta di rinviare verso terra anche la radiazione inizialmente diretta verso l'alto.

Gli apparecchi *full cut-off* possono essere con vetro piano orizzontale o con vetro curvo completamente incassato nell'armatura (figure 3.3 e 3.4) quindi **full cut-off e vetro piano orizzontale non sono sinonimi**. Il vetro curvo, se sporge dall'armatura, a causa fenomeni di rifrazione e riflessione, consente ad una parte di flusso luminoso di indirizzarsi al di sopra dell'orizzonte. E' bene tuttavia conoscere alcuni limiti del vetro piano; il vetro di protezione curvo consente, a parità di altre condizioni, di ottenere un cono di luce di maggior apertura. Ciò avviene perché nell'attraversare un vetro, la luce subisce dei fenomeni di riflessione e rifrazione, ben conosciuti e studiati nell'ottica geometrica. Senza andare nel dettaglio, nel caso del vetro piano all'aumentare dell'angolo di incidenza diminuisce la quantità di luce che riesce ad attraversare il vetro; molta luce viene quindi rinvia indiettro, verso il riflettore, ma ad ogni riflessione una parte di flusso luminoso viene assorbita (e quindi persa) dall'armatura con un calo di rendimento. L'adozione di un vetro curvo (supposto trasparente altrimenti se opalino diffonderebbe "a ventaglio" ogni raggio luminoso incidente, aumentando il flusso disperso) come quello a destra nella figura 3.3 sembrerebbe perciò, a prima vista, preferibile. Però, come detto, c'è il prezzo da pagare in termini di luce che riesce a "scappare" al di sopra dell'orizzonte (si ricordi che sono le emissioni verso l'orizzonte le più inquinanti) e di luce che viene emessa poco sotto l'orizzonte aumentando il fenomeno dell'abbagliamento e diminuendo il *comfort* visivo; più il vetro è curvo e maggiore sarà la luce dispersa, vanificando quindi un teorico miglior rendimento offerto dal vetro curvo. Viceversa il vetro piano orizzontale, pur con i limiti e-

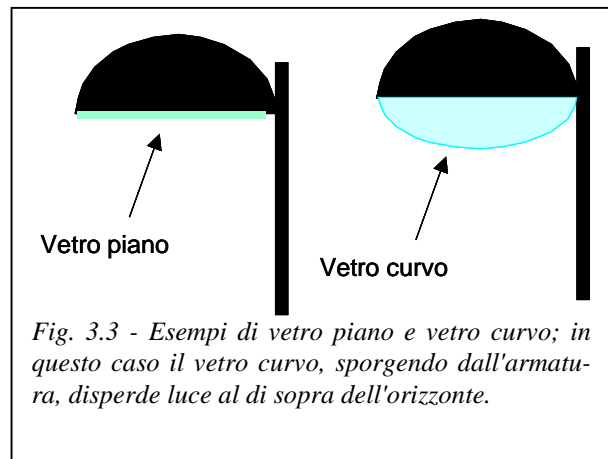


Fig. 3.3 - Esempi di vetro piano e vetro curvo; in questo caso il vetro curvo, sporgendo dall'armatura, disperde luce al di sopra dell'orizzonte.

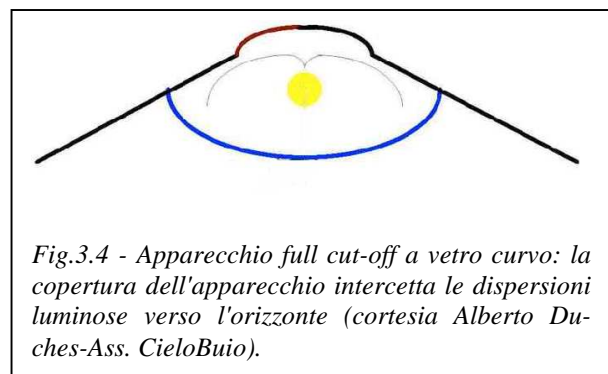


Fig.3.4 - Apparecchio full cut-off a vetro curvo: la copertura dell'apparecchio intercetta le dispersioni luminose verso l'orizzonte (cortesia Alberto Duches-Ass. CieloBuio).

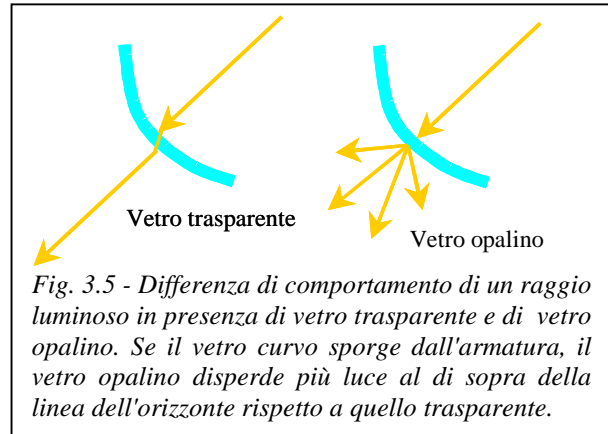


Fig. 3.5 - Differenza di comportamento di un raggio luminoso in presenza di vetro trasparente e di vetro opalino. Se il vetro curvo sporge dall'armatura, il vetro opalino disperde più luce al di sopra della linea dell'orizzonte rispetto a quello trasparente.

Si avverte che, in presenza di vetro curvo, la luce dispersa al di sopra dell'orizzonte è maggiore rispetto a quella dispersa al di sotto dell'orizzonte. Viceversa il vetro piano orizzontale, pur con i limiti e-

videnziati, non produce inquinamento luminoso e limita fortemente l'abbagliamento. Naturalmente se il vetro curvo rientra nello schema di figura 3.4 non vi sono comunque dispersioni, per di più senza gli svantaggi del vetro piano. Da considerare anche che il vetro curvo, quando sporge dall'armatura, rende l'apparecchio più visibile agli insetti, attirandone in gran numero e facendone strage (alterando così la catena alimentare). Molte specie di farfalle della famiglia delle falene si sono estinte (o stanno per farlo) proprio a causa della visibilità delle luci disperse [9].

Una critica (basata sulle considerazioni ora esposte sulla riflessione nel vetro piano) spesso mossa ai corpi illuminanti *full cut-off* con vetro piano, è quella di produrre un cono di luce più stretto, costringendo il progettista ad aumentare il numero dei pali rispetto a quello necessario con altri tipi di apparecchi. Questo può essere vero se si confrontano apparecchi classificati considerati *cut-off* e *semi cut-off* secondo la definizione della CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) ma NON nel caso dei *full cut-off*

**L'utilizzo di apparecchi totalmente schermati non fa aumentare il numero di punti luce.**

come vengono intesi in Europa, cioè con nessuna limitazione all'intensità luminosa ammessa al di sotto della linea dell'orizzonte (a differenza dei *cut-off* secondo la definizione CIE) e nessuna dispersione al di sopra di essa. Se non ci sono limitazioni alle intensità ammesse al di sotto della linea dell'orizzonte (senza però esagerare, per evitare di abbagliare) è possibile produrre, grazie ad appropriate forme del riflettore interno, apparecchi *full cut-off* che

permettano interdistanze tra palo e palo anche superiori a quelle possibili con i *semi cut-off* [11]. Le obiezioni su presunti limiti dei *full cut-off* a vetro piano, con i quali sono ormai possibili interassi di oltre quattro volte l'altezza del palo [11], sono perciò superate purché si presti attenzione alla scelta dei corpi illuminanti; le differenze tra un pessimo ed un buon *full cut-off* sono notevoli! Ci

permettiamo tuttavia di rilevare come le citate obiezioni siano spesso accademiche: molti impianti recenti, con corpi non schermati, hanno ancora interassi inferiori a 2,5 volte l'altezza del palo, prestazione ampiamente alla portata di un mediocre *full cut-off*; diventa allora ozioso fare grandi teorie di fronte a questi casi purtroppo troppo frequenti.

**Insomma, la qualità della progetto incide molto di più rispetto al tipo di vetro.**

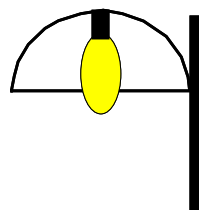


Fig.3.6 - Esempio di schermatura non efficace: parte della lampada rimane visibile generando abbagliamento oltre a disperdere luce verso l'orizzonte.



Fig. 3.7 - Lo stesso viale con illuminazione non schermata (a sinistra) e schermata. Come è più confortevole e riposante l'illuminazione di destra senza inutili abbagliamenti!

Prestiamo attenzione nel distinguere le schermature efficaci da quelle che non lo sono, come in figura 3.6; in questo caso la lampada rimane visibile, sia pure parzialmente, causando un certo abbagliamento oltre a disperdere luce verso l'orizzonte, ossia lungo la direzione che permette, come abbiamo visto, all'inquinamento luminoso di propagarsi molto lontano dalla sorgente.

Dall'adozione di un'illuminazione totalmente schermata conseguono evidenti due vantaggi:

- la luce prodotta è completamente inviata verso il terreno, assolvendo il compito di illuminare, per cui l'unica residua forma di inquinamento luminoso è quella determinata dalla riflessione verso la verticale della luce incidente sulle pavimentazioni
- non vi è la visione diretta della lampada

Quest'ultima condizione è particolarmente importante in quanto assicura un adeguato *comfort* visivo; questo aspetto è spesso dimenticato: il processo della visione è legato a un pigmento, la rodopsina (o porpora visiva), contenuto nella retina; a contatto con la luce questa proteina si decompone in retinene e opsina, generando in tal modo gli impulsi nervosi diretti al cervello per l'interpretazione del segnale. I processi fisiologici tendono poi a ricomporre la quantità di rodopsina, assicurando una visione ottimale. Se però lo stimolo visivo è troppo intenso, come può accadere nel caso della visione diretta di una lampada (si riveda la figura 2.1), l'organismo non riesce più a compensare la troppo rapida decomposizione della rodopsina (da questo l'abbagliamento) per cui l'occhio cerca di difendersi restringendo il diametro della pupilla per fare entrare meno luce; ecco allora raggiunta la paradossale condizione per cui più si illumina e peggio ci si vede! A titolo di esempio **una pupilla ristretta a 3 mm (abbagliata da una luce intensa), lascia passare un quarto della luce che potrebbe raccogliere col diametro massimo di 6 mm**, vanificando ampiamente gli sforzi per aumentare l'illuminazione. Purtroppo gli impianti realizzati come in figura 3.7 (immagine di sinistra) sono la maggioranza nonostante l'evidente mancanza di concrete giustificazioni tecniche. Sempre in figura 3.7 (immagine di destra) si confronti la piacevolezza di un'illuminazione schermata.

#### 4. LE CURVE FOTOMETRICHE

Per giudicare sulla validità di un corpo illuminante, non solo dal punto di vista dell'inquinamento luminoso, bisogna analizzare le "curve fotometriche" ossia la rappresentazione grafica di come la luce si distribuisca attorno all'apparecchio stesso; tali curve sono riportate in tutti i cataloghi anche se purtroppo pochi le analizzano ed è un grave errore perché forniscono fondamentali informazioni che vanno molto al di là della mera valutazione estetica e pertanto richiedono adeguate conoscenze scientifiche e tecniche. Non è sufficiente che un lampione sia "carino" per essere valido.

In termini intuitivi, il solido fotometrico è una superficie chiusa (si veda la figura 4.1) al cui inter-

**Bisogna valutare le curve fotometriche!**

curve sono riportate in tutti i cataloghi anche se purtroppo pochi le analizzano ed è un grave errore perché forniscono fondamentali informazioni che vanno molto al di là della mera valutazione estetica e pertanto richiedono adeguate conoscenze scientifiche e tecniche. Non è sufficiente che un lampione sia "carino" per essere valido.

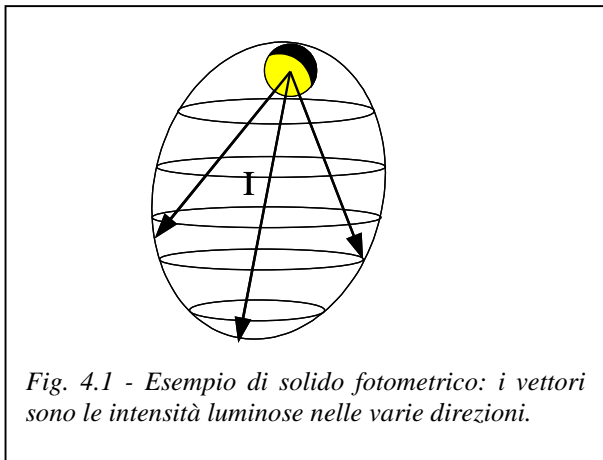


Fig. 4.1 - Esempio di solido fotometrico: i vettori sono le intensità luminose nelle varie direzioni.

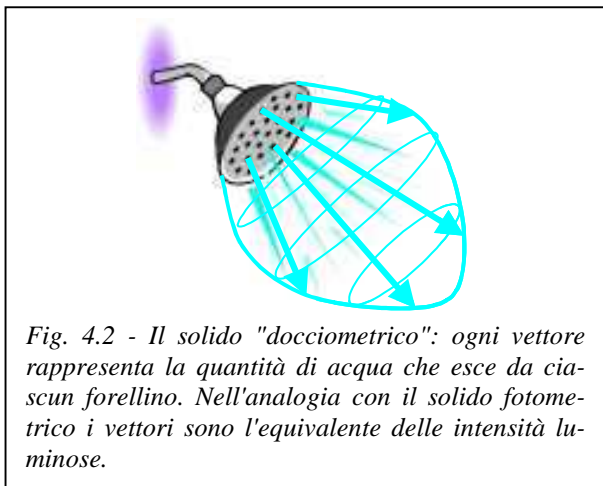


Fig. 4.2 - Il solido "docciometrico": ogni vettore rappresenta la quantità di acqua che esce da ciascun forellino. Nell'analogia con il solido fotometrico i vettori sono l'equivalente delle intensità luminose.

no è collocata, in modo opportuno, una sorgente luminosa. Da tale sorgente si possono disegnare tanti vettori che intercettano la superficie del solido; ciascun vettore rappresenta l'intensità luminosa in quella direzione. Se vogliamo, la situazione è simile a quella di una doccia (figura 4.2): da ciascun forellino, ogni secondo, esce una certa quantità di acqua; se disegniamo nello spazio attorno alla doccia dei vettori proporzionali alla quantità di acqua che esce da ciascun forellino, otterremo una figura analoga al solido fotometrico (e che, per capirci, abbiamo chiamato "solido docciometrico"). Ogni vettore ci dirà quanta acqua esce da ciascun foro. Dai fori dove esce più acqua si otterrà uno zampillo più intenso che, mettendoci sotto una mano, ci "pungerà" più degli altri.

In figura 4.3 è rappresentata una sorgente isotropa, ossia con la stessa intensità in ogni direzione: si intuisce facilmente come il suo solido fotometrico debba essere una sfera di raggio pari al valore  $I$  dell'intensità luminosa. L'inserimento sopra la sorgente di un riflettore costringe la parte di luce diretta verso l'alto a riflettersi verso terra; di conseguenza il solido fotometrico del sistema sorgente+riflettore si deforma rispetto a quella della sola sorgente, passando dalla forma sferica ad una superficie di forma molta più complessa (figura 4.4).

Per valutare quanta parte di luce si disperda sopra della linea dell'orizzonte, può far comodo pensare al solido fotometrico come rappresentativo del flusso luminoso totale emesso dalla lampada, sebbene ciò non sia vero (come spiegato nel successivo riquadro di approfondimento). Per esempio, inseriamo la nostra sorgente isotropa (quella già vista in figura 4.1) su un palo; è intuitivo come una metà della luce prodotta vada verso il basso, l'altra verso l'alto. Ciò è confermato dall'analisi del solido fotometrico (figura 4.5): facendo passare un piano (piano  $\alpha$ ) parallelo al terreno e passante per la sorgente luminosa, questo piano divide il solido in due parti. La parte su-

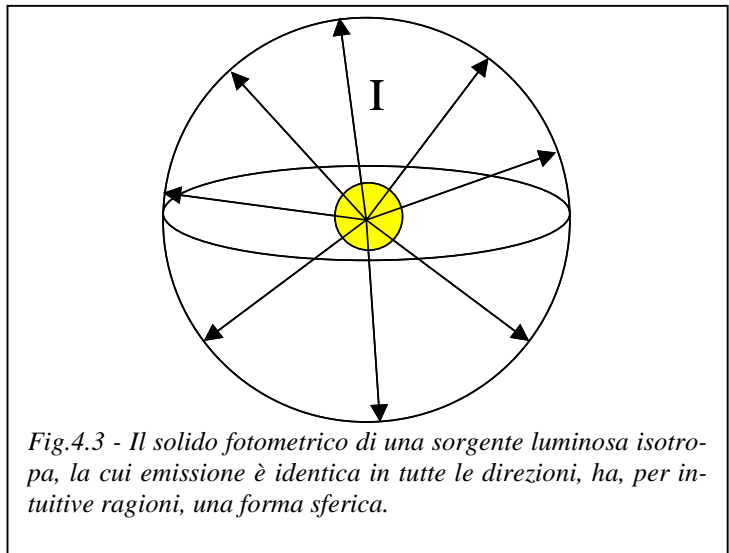


Fig.4.3 - Il solido fotometrico di una sorgente luminosa isotropa, la cui emissione è identica in tutte le direzioni, ha, per intuitive ragioni, una forma sferica.

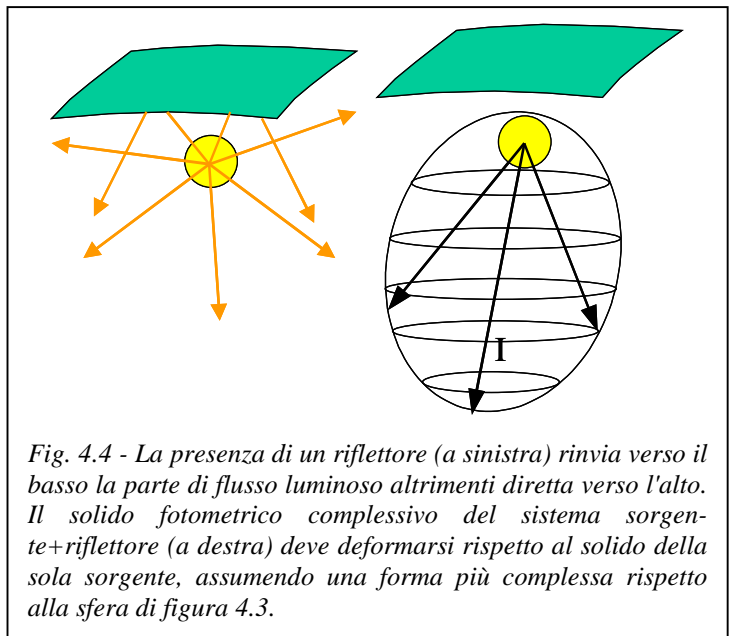


Fig. 4.4 - La presenza di un riflettore (a sinistra) rinvia verso il basso la parte di flusso luminoso altrimenti diretta verso l'alto. Il solido fotometrico complessivo del sistema sorgente+riflettore (a destra) deve deformarsi rispetto al solido della sola sorgente, assumendo una forma più complessa rispetto alla sfera di figura 4.3.

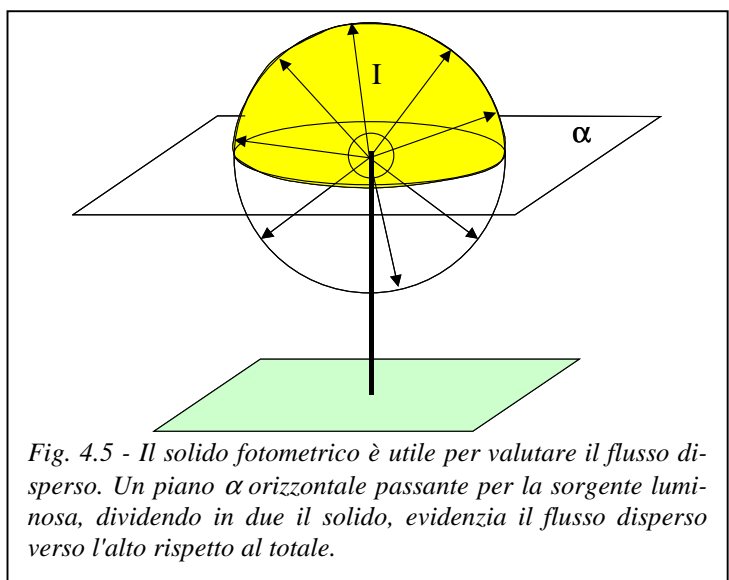


Fig. 4.5 - Il solido fotometrico è utile per valutare il flusso disperso. Un piano  $\alpha$  orizzontale passante per la sorgente luminosa, dividendo in due il solido, evidenzia il flusso disperso verso l'alto rispetto al totale.

periore (pari alla metà del totale) rappresenta il flusso disperso, quindi inquinante, al di sopra della linea dell'orizzonte.

Per visualizzare graficamente il solido fotometrico bisogna sezionarlo tramite un opportuno fascio di piani verticali e riportare su un foglio le sezioni così ottenute (figura 4e .6); queste sezioni sono precisamente le "curve fotometriche" cercate. Nei cataloghi dei produttori, esse sono riportate in forma parametrica, relativamente a un flusso luminoso di 1000 lumen; quindi bisogna moltiplicare il valore dell'intensità letto sul diagramma per il numero di *chilolumen* effettivamente emessi della lampada.

In particolare, sono interessanti le curve ottenute sezionando il solido con un piano parallelo all'asse stradale (il cosiddetto piano  $C=0^\circ$ - $C=180^\circ$ ) e con un piano ortogonale all'asse stradale (piano  $C=90^\circ$ - $C=270^\circ$ ); le prime permettono una valutazione dell'interasse tra i punti luce, le seconde ci dicono se l'illuminazione è in grado di coprire tutta la larghezza della strada. In realtà il discorso è un po' più complesso e pure gli altri piani di sezione sono da considerare.

Nell'esempio di figura 4.7 si osserva una situazione sul piano parallelo all'asse stradale, con apparecchi *full cut-off* nei quali l'intensità massima sia raggiunta ad un angolo  $\gamma$  (angolo tra la verticale e la direzione considerata) molto elevato. La soluzione è molto vantaggiosa: infatti sotto il palo arriva meno luce che si distribuisce però su un'area più piccola mentre lontano dal palo arriva una quantità maggiore di luce che si distribuisce su un'area più grande; le due cose tendono a compensarsi a vantaggio di una più uniforme illuminazione. Le altezze dei sostegni per illuminazione stradale unificate a livello internazionale (UNI EN 40) sono di 8 m, 10 m, 12 m, 15 m.

È interessante mettere in rilievo un aspetto tipico della progettazione ove è necessario bilanciare opposte esigenze; nella figura 4.8 sono illustrate due possibili soluzioni per la medesima sede stradale. Con un palo più alto, si ottengono interassi maggiori ma molta luce può cadere al di fuori dell'area da illuminare; a destra, con un palo più basso, gli interassi sono minori ma la luce è meglio utilizzata. Inoltre con un palo più alto probabilmente bisognerà impiegare lampade di potenza maggiore rispetto al caso di un palo più basso; a priori è difficile dire se è meglio utilizzare pali alti ed interassi elevati (minor numero di punti luce ma lampade di potenza più alta e maggior spreco di luce) o pali bassi ed interassi accorciati (lampade di potenza più bassa, migliore utilizzo della luce ma

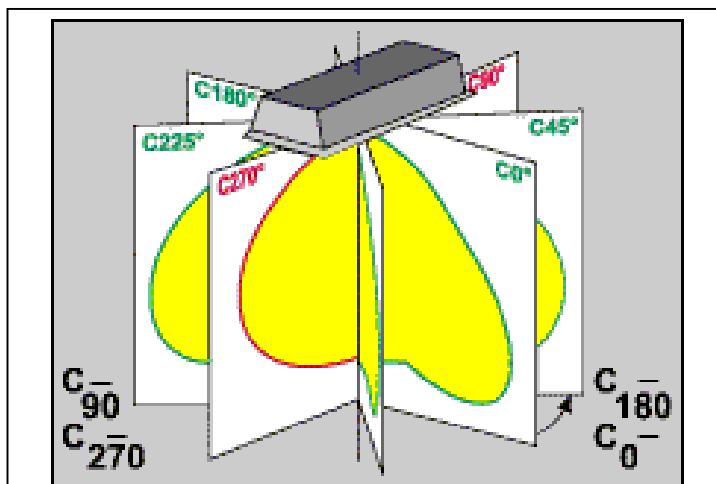


Fig. 4.6 - Sezionando il solido fotometrico con una stella di piani verticali si ottengono le curve fotometriche riportate nei cataloghi.

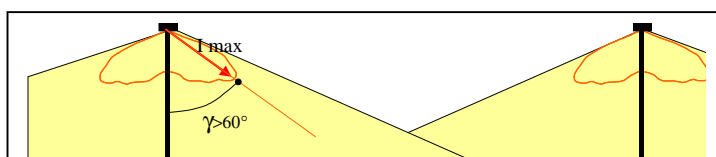


Fig. 4.7 - Osservando le curve fotometriche lungo un piano parallelo all'asse stradale si ricava l'interasse tra i pali. Per intensità massime con angoli  $\gamma$  elevati si ottengono interassi ottimali anche con apparecchi *full cut-off*.

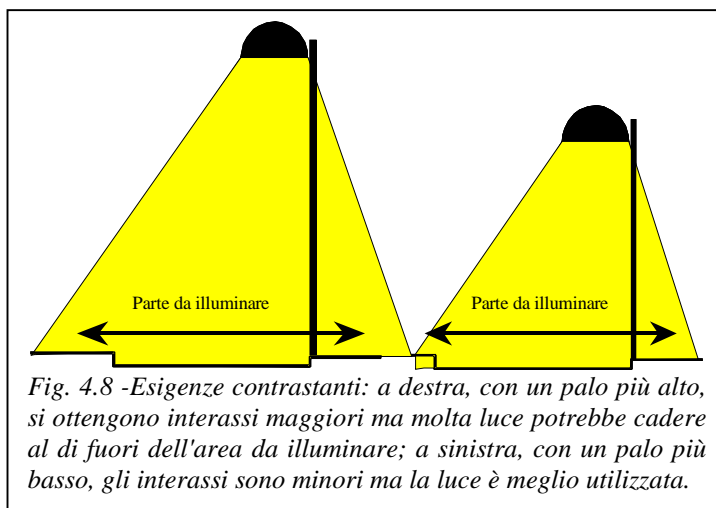


Fig. 4.8 - Esigenze contrastanti: a destra, con un palo più alto, si ottengono interassi maggiori ma molta luce potrebbe cadere al di fuori dell'area da illuminare; a sinistra, con un palo più basso, gli interassi sono minori ma la luce è meglio utilizzata.

maggior numero di punti luce). Una soluzione potrebbe essere quella di considerare vincente l'impianto che consente di impegnare la minore potenza complessiva (somma della potenza assorbita da ciascun punto luce). E' quindi importante "ottimizzare" l'impianto in funzione della superficie da illuminare; vedremo più avanti come questo possa essere ottenuto facilmente.

### APPROFONDIMENTO PER I VOLONTEROSI...

#### INTENSITA' E FLUSSO LUMINOSO - DEFINIZIONI

Bisogna richiamare due concetti fondamentali, tra loro legati: flusso luminoso ed intensità luminosa; sacrificando qualcosa al rigore formale, a favore di una più immediata comprensione del discorso, si consideri nuovamente il semplice caso della sorgente isotropa di figura 4.3. Si disegni una sfera di raggio unitario, con centro nella sorgente, e individuiamo sulla superficie di tale sfera un punto P, contornato dall'areola elementare dA sottesa dall'angolo solido infinitesimo dΩ, espresso in steradiani (per cui dA = r dΩ); attraverso tale areola transiterà solo una parte dΦ del flusso luminoso totale Φ. L'intensità luminosa I della sorgente nel punto P della sfera è definita come rapporto tra il flusso luminoso dΦ e l'angolo solido dΩ, quindi, essendo nel nostro caso r = 1, si avrà:

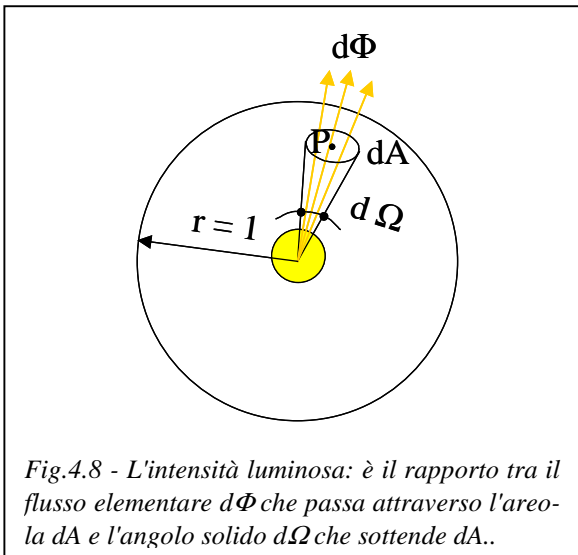


Fig.4.8 - L'intensità luminosa: è il rapporto tra il flusso elementare dΦ che passa attraverso l'areola dA e l'angolo solido dΩ che sottende dA..

$$I = d\Phi/d\Omega = r d\Phi/dA = d\Phi/dA(I)$$

o, in forma equivalente, integrando su tutto l'angolo solido (pari a 4π steradiani):

$$\Phi = \int_{4\pi} I d\Omega = 4\pi I \quad (2)$$

Questo conferma quanto detto in precedenza: l'integrale della (2), pari al flusso totale della sorgente, NON rappresenta il volume del solido fotometrico (se così fosse il flusso totale sarebbe stato pari a 4/3πr³) sebbene per valutare il flusso disperso, come già visto, sia visivamente comodo pensare proprio in questi termini. La (1) fornisce un'interpretazione "visiva" dell'intensità luminosa: se la sfera ha raggio unitario, l'intensità luminosa è il flusso

per unità di area. Naturalmente il discorso può essere esteso a sorgenti anisotrope ma per questo si rimanda a testi specifici.

Nel Sistema Internazionale l'intensità luminosa si misura in **candele** (simbolo: cd); la candela è definita come l'intensità luminosa, in una data direzione, di una sorgente che emette radiazione monocromatica di frequenza 540x10<sup>12</sup> hertz e che ha una intensità radiante in tale direzione di 1/683 watt per steradiante. Il valore dell'intensità luminosa viene sperimentalmente determinato in laboratorio.

L'unità di misura del flusso luminoso è il **Lumen** (simbolo: lm) che corrisponde al flusso luminoso emesso da una sorgente di luce puntiforme, di intensità pari ad una candela, ed uscente da una superficie di 1 metro quadrato, intercettata su una sferica di raggio pari a 1 metro (o, in forma più compatta, il lumen è il flusso luminoso emesso nell'angolo solido unitario da una sorgente puntiforme posta al centro di una sfera di raggio unitario di intensità luminosa pari ad 1 cd).

## 5. CONFRONTI TRA CORPI ILLUMINANTI

Dopo tante elucubrazioni, siamo ora in grado di proporre delle alternative agli impianti inquinanti normalmente installati. E' importante sottolineare come, nella maggior parte dei casi, sia sempre possibile trovare una soluzione, anche salvaguardando l'estetica dell'arredo urbano; analizzeremo quindi una serie di comuni apparecchi da illuminazione esterna per dimostrare quanto affermato. Naturalmente corpi come quelli in figura 5.1 sono talmente mediocri che non dovrebbero neppure essere presi in considerazione.

- LE SFERE

Le sfere non schermate sono molto utilizzate nell'arredo urbano, anche per via del limitato costo iniziale, peraltro vanificato dallo spreco energetico causato. Nell'esempio in figura 5.2 sono messi a confronto il miglior tipo di sfera non schermata, con lampada rivolta verso il basso e dotata di alette frangiluce, e una buona sfera (o, più precisamente, semisfera) *full cut-off*.

Si noti, dalla curva fotometrica, la grande dispersione dell'esempio di sinistra (e trattasi della migliore sfera non schermata!). Al contrario, ottimo il corpo di destra. Vale la pena spendere due parole in più sulla sfera di sinistra; alcuni produttori la pubblicizzano come apparecchio anti-inquinamento luminoso, perché dotata di alette frangiluce, affermazione non vera come impietosamente evidenziato dalle curve fotometriche. Analizziamo come funzionano le alette frangiluce (figura 5.3): alcuni raggi, come quello contrassegnato dal numero 1, sono, dopo la riflessione, indirizzati correttamente verso il basso, altri raggi (come il raggio 2) subiscono una seconda riflessione con l'aletta inferiore e fuggono verso l'alto. Inoltre ad ogni riflessione

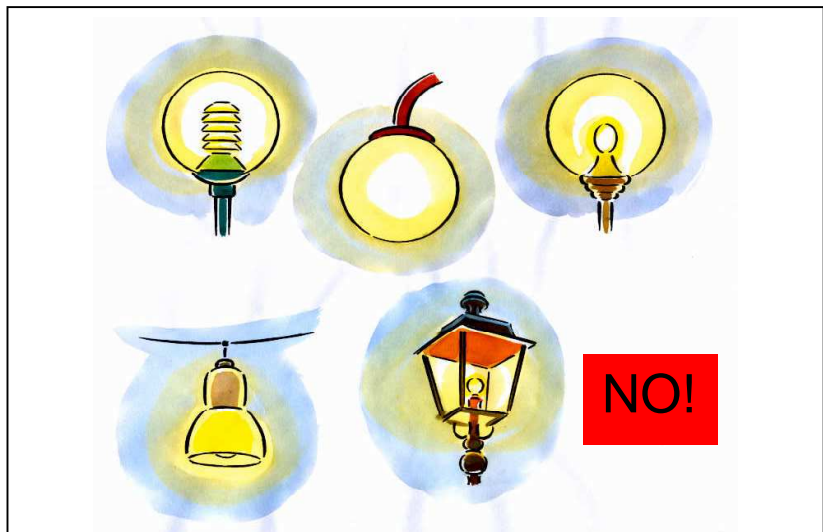


Fig.5.1 - Tipici e comunissimi corpi **altamente inquinanti**. Alcuni, come i tre globi in alto, disperdono verso l'alto dal 50 fino al 75 % della luce prodotta. Sono illuminazioni talmente modeste che non andrebbero nemmeno prese in considerazione!

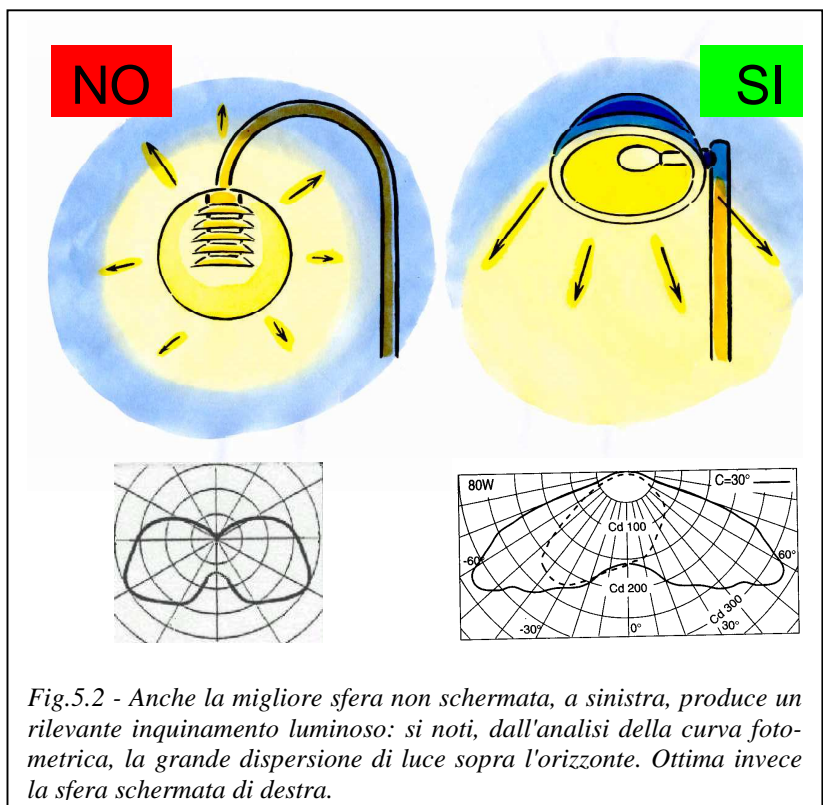


Fig.5.2 - Anche la migliore sfera non schermata, a sinistra, produce un rilevante inquinamento luminoso: si noti, dall'analisi della curva fotometrica, la grande dispersione di luce sopra l'orizzonte. Ottima invece la sfera schermata di destra.

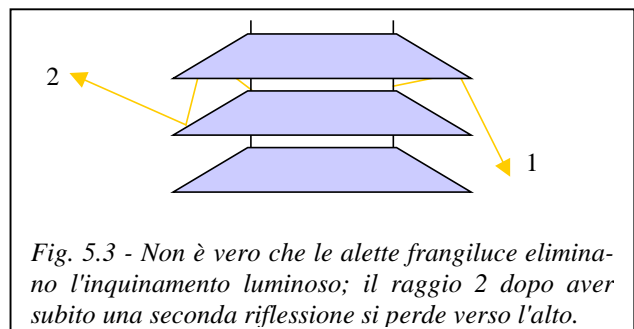


Fig. 5.3 - Non è vero che le alette frangiluce eliminano l'inquinamento luminoso; il raggio 2 dopo aver subito una seconda riflessione si perde verso l'alto.

una parte di luce viene assorbita a scapito del rendimento generale del corpo illuminante; all'aumentare del numero di alette frangiluce diminuisce la luce dispersa sopra l'orizzonte ma la tempo stesso cala il rendimento dell'apparecchio (generalmente attorno al 40%, il che vuol dire che solo il 40% della luce prodotta dalla lampada riesce a uscire dal corpo illuminante).

- LE LANTERNE

Le lanterne sono fra i corpi illuminanti più utilizzati negli antichi centri storici per il loro aspetto "antico"; a nostro parere sarebbe come voler mettere le ruote di legno alle automobili per simulare il correre del cocchio che i padri dei padri presero al loro tempo ma tant'è. Riteniamo preferibili metodi più moderni, visto che l'illuminazione è un'invenzione posteriore alla realizzazione della maggior parte delle piazze e dei monumenti, quindi avulsa da ogni contesto architettonico. Ad ogni modo, a chi piace, è possibile l'installazione di lanterne schermate. Negli esempi di figura 5.4 l'estetica è identica ma i risultati sono molto diversi: nelle lanterne schermate la lampada è ben incassata nell'armatura a differenza di quelle non schermate, ove la lampada, rimanendo in vista, produce fastidiosi abbagliamenti. Va precisato che anche nelle lanterne schermate permane un po' di dispersione luminosa per via delle riflessioni sui vetri inclinati di protezione; situazione comunque ampiamente migliorativa rispetto alle pessime lanterne "tradizionali" (purché i vetri laterali siano trasparenti e lisci, non opalini, traslucidi o a buccia d'arancia). Di recentissima produzione esistono lanterne ancora migliori di quella ora illustrata.

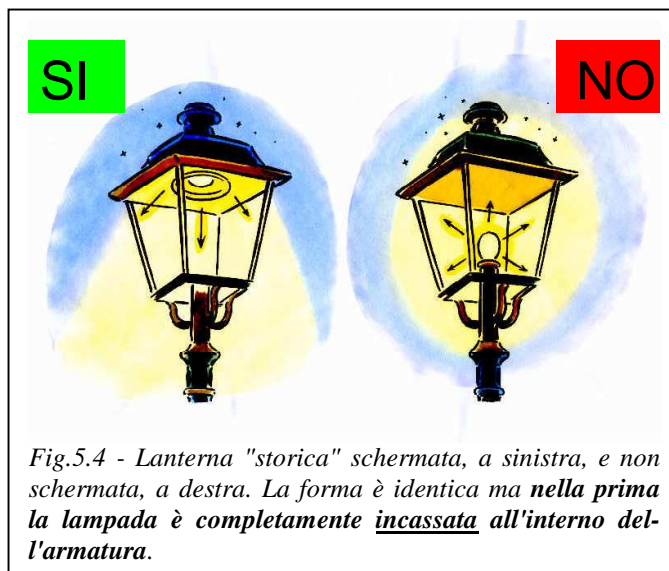


Fig.5.4 - Lanterna "storica" schermata, a sinistra, e non schermata, a destra. La forma è identica ma **nella prima la lampada è completamente incassata all'interno dell'armatura.**

- ILLUMINAZIONE STRADALE

Anche nell'importante settore dell'illuminazione stradale è possibile fare molto. Ancora una volta (figura 5.5) il concetto è quello della lampada incassata, abbinata al montaggio orizzontale dell'armatura; nell'illustrazione vediamo un classico e molto inquinante lampione stradale, con vetro prismatico di protezione, (in alcuni casi si disperde oltre il 30% della luce prodotta) a confronto con un lampione di moderna concezione. Si

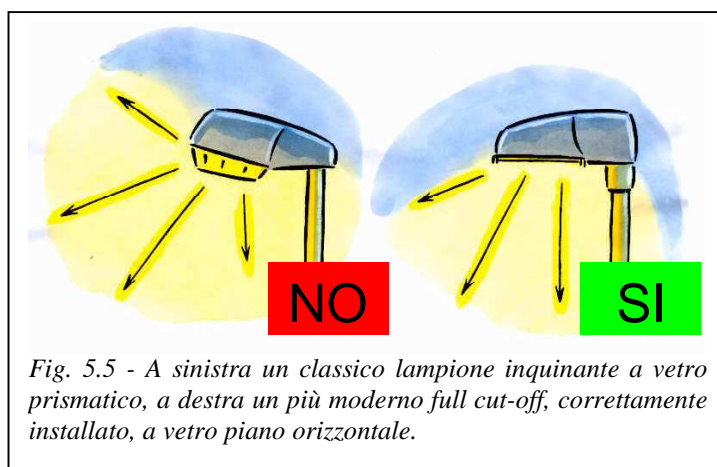


Fig. 5.5 - A sinistra un classico lampione inquinante a vetro prismatico, a destra un più moderno full cut-off, correttamente installato, a vetro piano orizzontale.

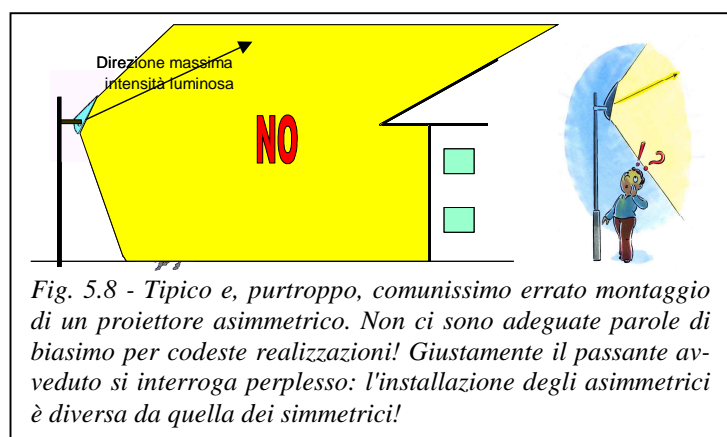
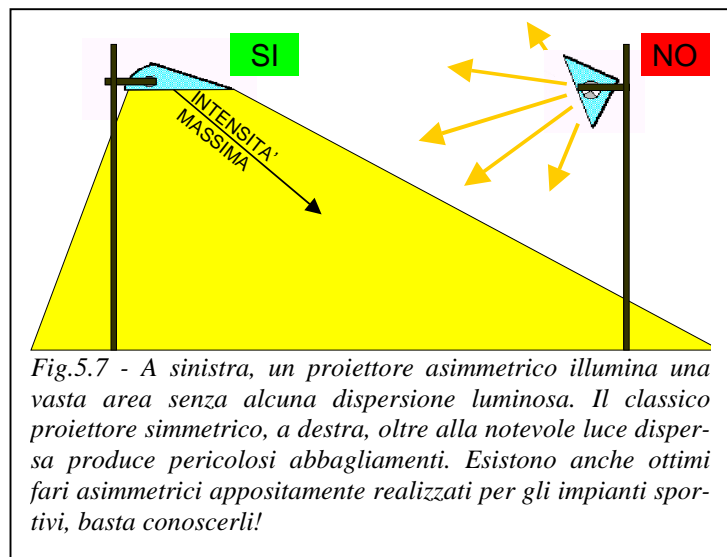
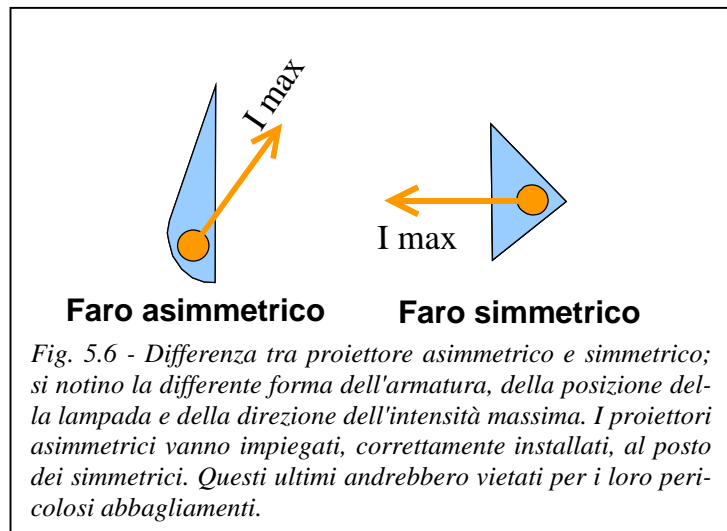
sottolinea nuovamente come con i moderni apparecchi *full cut-off*, anche a vetro piano, non sia più necessario diminuire, rispetto ai lampioni a vetro prismatico, l'interasse tra palo e palo per mantenere l'uniformità di illuminazione richiesta dalle norme di sicurezza. La diminuzione del fattore d'abbagliamento rende addirittura più confortevole la visione a tutto vantaggio della sicurezza stradale.



- FARI E TORRI FARO

Il capitolo dei fari e delle torri-faro è importante per via dell'altissima quantità di luce prodotta; è sotto gli occhi di tutti l'abuso che se ne fa, anche per illuminare le cose più inutili ed assurde, spesso installati con pressappochismo sconcertante con conseguenti fortissimi abbagliamenti. E' un tipico esempio di scarsa razionalizzazione dei consumi l'utilizzo di torri faro per illuminare strade e rotonde. Oltre alla strada, la torre-faro (se non schermata) illumina la parte, solitamente a prato, sotto la torre e una notevole area oltre la strada, normalmente altri prati o, peggio, abitazioni. Le torri-faro (se schermate) possono essere una scelta oculata laddove si debba illuminare una zona ampia, come ad esempio un piazzale per parcheggi.

Esistono due tipi di faro: simmetrico ed asimmetrico (figura 5.6); il primo produce un fascio di luce simmetrico e per coprire l'area da illuminare viene montato inclinato (figura 5.7), spesso verticalmente o quasi, con rilevanti dispersioni a bassi angoli sopra l'orizzonte (le emissioni più inquinanti, come ripetutamente detto) e al di fuori delle aree da illuminare. Spesso costituiscono, causa l'abbagliamento, un grave e sottovalutato pericolo per la circolazione stradale. Andrebbero certamente sostituiti con proiettori asimmetrici montati orizzontalmente; si noti dalla figura 5.7 come i proiettori asimmetrici presentino un massimo dell'intensità luminosa che va a cadere distante dall'apparecchio con grandi vantaggi sia per l'uniformità dell'illuminazione sia per la vasta area illuminata. Il massimo dell'intensità luminosa può arrivare anche ad angoli maggiori di 60° rispetto alla perpendicolare tracciata dal vetro; in pratica sarebbe pressappoco come montare un apparecchio simmetrico inclinato di 60°, senza però inquinamento luminoso. Peccato che non siano molto conosciuti e, peggio, quando usati vengono spesso montati inclinati come fossero semplici proiettori simmetrici. In questo caso si vanificano le loro migliori caratteristiche e, paradossalmente, si finisce per illuminare di più il cielo che non la superficie che si sarebbe voluto (figura 5.8). Questo tipo di errate installazioni è causato a volte dalla semplice ignoranza delle caratteristiche del prodotto; non basta quindi la scelta di ottimi corpi illuminanti: biso-



...bisogna

gna saperli anche montare correttamente per non creare danni ancora maggiori. Va precisato che molti proiettori asimmetrici tagliano la luce già ad angoli  $\gamma$  di circa  $80^\circ$ , quindi nel montaggio tollerano una leggera di inclinazione (sui  $5^\circ$ ); naturalmente la cosa va valutata con attenzione, in caso di reale e tecnicamente giustificata necessità, e sotto la sorveglianza di un progettista preparato per non giungere a installazioni palesemente errate come quelle appena viste.

L'impiego dei proiettori asimmetrici è in grado di sostituire i proiettori simmetrici nella quasi totalità dei casi: parcheggi, piazze, monumenti, campi sportivi (con questo sistema sono stati, ad esempio, illuminati importanti stadi di calcio).

- **FACCIATE DI EDIFICI E MONUMENTI**

Altro capitolo importante è l'illuminazione di palazzi e monumenti per presunti scopo di valorizzazione, come se un capolavoro non fosse tale senza illuminazione. A volte, purtroppo, al posto di una presunta (e opinabile) "valorizzazione", il monumento viene stravolto come nel caso delle mura di Bergamo, dalle quale non è più neppure possibile affacciarsi per ammirare il paesaggio tanto si rimane abbagliati dai proiettori sottostanti.

Ad ogni modo, supponendo vi sia effettiva necessità di illuminare le opere d'arte, si può fare molto meglio di molte e comuni realizzazioni cervelotiche. Per cominciare è bene privilegiare l'illuminazione dall'alto verso il basso utilizzando, ad esempio, proiettori asimmetrici orizzontali (figura 5.9); in questo caso si raggiunge il duplice scopo di riuscire ad illuminare contemporaneamente la facciata di un palazzo e del monumento con relativa piazza. L'illuminazione dal basso verso l'alto va riservata solo ai monumenti di fondamentale importanza storica e architettonica (la Basilica di S. Marco a Venezia o la Basilica di S. Pietro, per intenderci, non ruderi diroccati o capannoni) e nei casi di reale impossibilità a fare altrimenti; naturalmente bisogna avere cura che il fascio luminoso rimanga contenuto all'interno della sagoma dell'edificio. In questo caso è ancora utile il proiettore asimmetrico,

montato con inclinazione tale che il vetro piano non superi la verticale (figura 5.10); a questi possono essere affiancati fari tipo *spot* (a fascio concentrato) per l'illuminazione di strutture più strette e sporgenti rispetto alla facciata dell'edificio, come i campanili. Naturalmente non sempre è possibile contenere la luce all'interno di una sagoma complessa, per esempio una chiesa gotica, però si deve

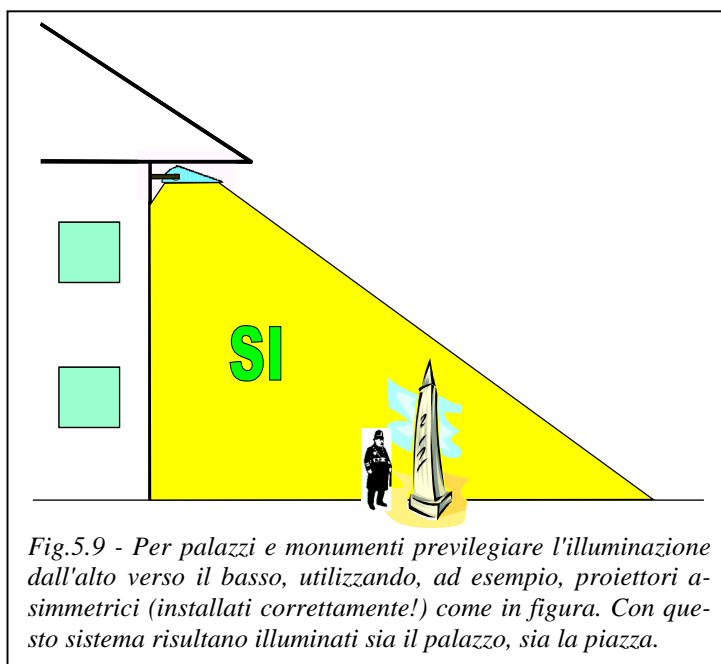


Fig.5.9 - Per palazzi e monumenti privilegiare l'illuminazione dall'alto verso il basso, utilizzando, ad esempio, proiettori asimmetrici (installati correttamente!) come in figura. Con questo sistema risultano illuminati sia il palazzo, sia la piazza.

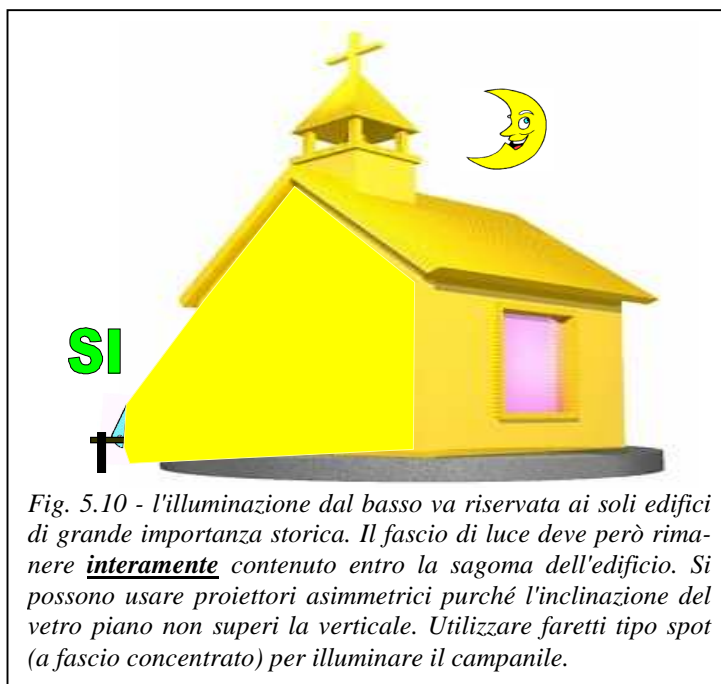


Fig. 5.10 - l'illuminazione dal basso va riservata ai soli edifici di grande importanza storica. Il fascio di luce deve però rimanere interamente contenuto entro la sagoma dell'edificio. Si possono usare proiettori asimmetrici purché l'inclinazione del vetro piano non superi la verticale. Utilizzare faretto tipo *spot* (a fascio concentrato) per illuminare il campanile.

aver cura di minimizzare le dispersioni, limitando a un certo valore (per esempio 5 lux [26]) l'emissione massima dispersa all'esterno della sagoma stessa. In ogni caso, tanto per l'illuminazione radente dall'alto quanto dal basso, vanno previsti dei riduttori per diminuire (se non spegnere del tutto) l'illuminazione dopo una certa ora: **tenere illuminato un monumento alle due di notte, per pochi nottambuli, è un autentico spreco.**

**Perché tenere illuminati i monumenti dopo una certa ora?**

L'illuminazione dal basso verso l'alto non andrebbe permessa, come purtroppo accade, per illuminare fabbriche, capannoni o, addirittura, vecchi tralicci arrugginiti di nessun interesse storico. A

questi ultimi andrebbe consentita solo l'illuminazione dall'alto verso il basso e unicamente per motivi di sicurezza oppure, ancora meglio, l'illuminazione pilotata da sensori di movimento.



*Fig. 5.11 - Ancora un esempio di illuminazione dall'alto. Seguendo le indicazioni prima illustrate si possono ottenere eccellenti risultati senza disperdere luce.*



*Fig. 5.12 - Corretta illuminazione dal basso di un edificio storico. Il flusso luminoso rimane contenuto entro la sagoma dell'edificio.*

## 6. LUMINANZA: CHI ERA COSTEI?

Vale la pena dare, prima delle conclusioni, un cenno ad una fondamentale grandezza fotometrica cui si fa riferimento in tutte le normative che disciplinano (o dovrebbero disciplinare) la materia: la luminanza ossia di quel parametro il cui valore fornisce una indicazione di quanto al nostro occhio appaia illuminata una superficie. In altri termini, se illuminiamo con la stessa quantità di luce un'area più chiara ed una più scura, accadrà che quella più chiara apparirà molto più luminosa. Affinché al nostro occhio le due superfici appaiano ugualmente luminose, bisognerà illuminare quella più scura con una quantità di luce maggiore; raggiunta questa condizione si potrà dire che le due superfici hanno la stessa luminanza, sebbene siano illuminate con quantità di luce molto diverse. E' intuitivo come la superficie più chiara debba riflettere più luce, quindi la luminanza (nel caso di superficie illuminata) deve essere legata alla quantità di luce riflessa. Infatti per valutare grossomodo quanto vale la luminanza di una strada illuminata possiamo ragionare come segue:

- 1) una strada sia illuminata con per un valore di 20 lux ( $1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen/m}^2$ ), valore abbastanza tipico.
- 2) la strada abbia un coefficiente di riflessione diffusa (albedo) del 15%, vale a dire rifletta il 15% della luce incidente

Per una superficie perfettamente diffondente (superficie lambertiana, vedi approfondimento), ossia con luminanza costante per ogni direzione, dato l'illuminamento e il coefficiente di riflessione diffusa (albedo), possiamo ricavare la luminanza con questa formula:

$$\text{Luminanza} = \text{illuminamento} * \text{albedo}/\pi$$

Nell'illuminazione stradale una formula molto approssimata per passare dall'illuminamento alla luminanza è questa:

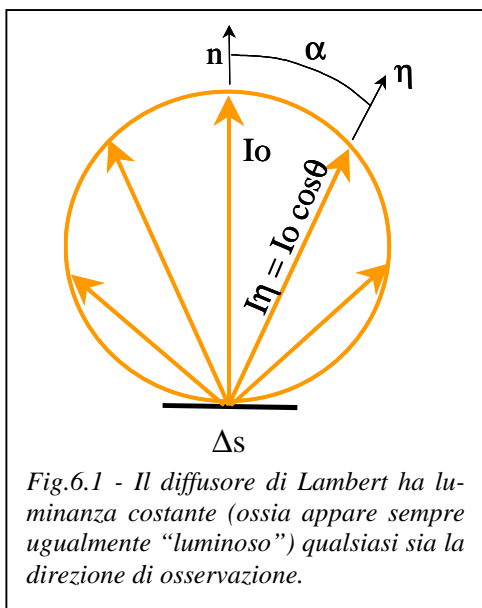
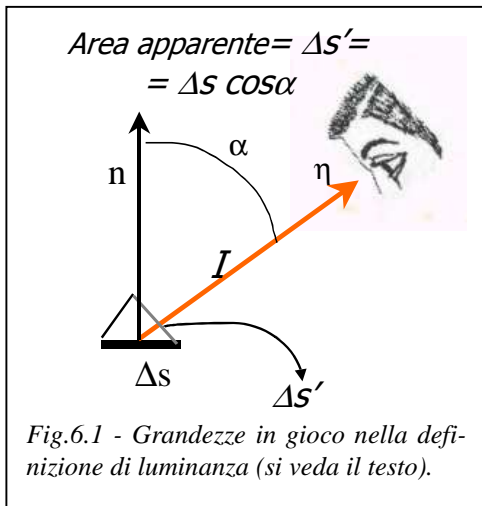
$$\text{Luminanza} = \text{illuminamento} * 0,07$$

Quest'ultima tiene in conto del fatto che quando la luce incide in modo quasi radente sul manto stradale l'asfalto non si comporta più come una superficie lambertiana ma riflette di più, aumentando la luminanza percepita dall'automobilista. Con i valori ipotizzati troviamo che la nostra strada, illuminata con 20 lux, fornisce una luminanza di circa  $20 \times 0,07 = 1,4 \text{ cd/m}^2$ . Nel riquadro di approfondimento vi sono ulteriori.

### APPROFONDIMENTO PER I VOLONTEROSI...

#### LUMINANZA E DIFFUSORE DI LAMBERT

*E' opportuno precisare come i concetti qui esposti valgono sia per superfici illuminate sia per superfici che emettano luce e che il concetto di luminanza ha senso solo per superfici estese (quindi non puntiformi); i ragionamenti condotti nel paragrafo 4 (su flusso luminoso ed intensità luminosa), non lo si era detto, ma erano applicati a sorgenti puntiformi (ossia molto piccole da un punto di vista pratico). Da notare che in fisica "molto piccolo" non vuol dire necessariamente microscopico: anche una stella è, con buona approssimazione, una sorgente puntiforme poiché il suo raggio è terribilmente più piccolo della distanza dalla quale la osserviamo; un pianeta del nostro Sistema Solare invece, causa la maggior vicinanza, ha una sua estensione e perciò si può calcolarne la luminanza. Vediamo dunque cosa è questa grandezza aiutandoci con la figura 6.1. Consideriamo una piccola area,  $\Delta s$ , di dimensioni finite, di normale  $n$ , che invii luce (di propria produzione oppure per riflessione da una luce incidente) un po' dappertutto; una parte di questa luce si dirigerà, con intensità  $I$ , verso l'osservatore lungo la direzione  $\eta$ . L'osservatore però non vede l'area  $\Delta s$  in*



vera grandezza ma la vede "schiacciata" per ovvie ragioni prospettive; il valore  $\Delta s'$  di quest'area apparente vale  $\Delta s' = \Delta s \cdot \cos \alpha$ . Egli riterrà perciò che l'areola  $\Delta s'$  sia luminosa esclusivamente a causa della luce in arrivo lungo la direzione  $\eta$ ; più luce arriverà all'occhio e più l'area stessa apparirà luminosa. Insomma, la luminanza  $L$  non è altro che l'intensità luminosa per unità di area apparente:

$$L = I / \Delta s' = I / (\Delta s \cos \alpha) \quad (4)$$

Se ora si variesse la direzione di osservazione (cambiando l'angolo  $\alpha$  tra la normale  $n$  e la linea di vista), mantenendo ipoteticamente costante l'intensità luminosa, all'aumentare di  $\alpha$  l'areola  $\Delta s$  apparirebbe via via più "luminosa" poiché sempre più ristretta dalla prospettiva e quindi "concentrata". Quest'ultima situazione però di solito non capita mai: normalmente si ha a disposizione una superficie (quasi) perfettamente diffondente (superficie lambertiana, figura 6.2) dove a mano a mano che ci si allontana dalla verticale, diminuiscono all'unisono sia il flusso percepito sia l'area  $\Delta s'$  in modo da mantenere costante il loro rapporto; di conseguenza percepiremo una luminanza costante. Infatti, per il diffusore di Lambert, detta  $L_\eta$  la luminanza lungo la generica direzione  $\eta$ , applicando la (4) si ottiene:

$$L_\eta = I_0 \cos \alpha / \Delta s \cos \alpha = I_0 / \Delta s = \text{costante}$$

La luminanza nel Sistema Internazionale si misura in candele su metro quadrato ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).

## 7. PROGETTAZIONE "OTTIMIZZATA" CON EASY-LIGHT

Diamo ora un approfondimento di quanto accennato alla fine del paragrafo 4. La realizzazione di un impianto passa attraverso il calcolo di tre grandezze geometriche: altezza del palo, interasse tra i pali e sbraccio del corpo illuminante. E' cattiva abitudine quella di prefissare altezza e sbraccio e di calcolare di conseguenza l'interasse (diminuendolo rispetto a quello di tentativo) affinché l'impianto risponda ai requisiti delle norme tecniche (come la UNI 10439). Questo modo di procedere è sbagliato e può portare a dimensionamenti che impegnano più potenza di quella che sarebbe stata necessaria con un calcolo più raffinato. **Il calcolo corretto, nella generalità dei casi, DEVE ricavare il valore più opportuno di tutte e tre le grandezze (altezza, interasse, sbraccio) considerate come variabili indipendenti.** Un calcolo condotto per questa via richiede naturalmente un numero molto grande di possibili configurazioni. Viene in aiuto il software **gratuito** *EasyLight-Save the Sky* [10], scaricabile dal sito Internet di CieloBuoio. L'interfaccia utente, molto semplice, consente di selezionare il tipo di strada, i parametri normativi, la curva fotometrica (c'è un *database* molto ricco) e restituisce, ad esempio, la configurazione con massimo interasse oppure di minima potenza per metro di strada (non sempre le due configurazioni coincidono). Si possono perciò facilmente confrontare diverse configurazioni, dimostrando come sia possibile con apparecchi totalmente schermati raggiungere interessi molto elevati (ben oltre 4 volte l'altezza del palo!) [11]; ne scaturisce l'eviden-

za di come sia errato utilizzare sempre gli stessi apparecchi (quelli con cui si è abituati a che fare): ogni tipo di strada richiede l'utilizzo di impianti dotati di opportuna curva fotometrica. Un corpo illuminante che fornisca ottime prestazioni in una situazione può diventare mediocre in un'altra. Ancora una volta si palesa l'importanza di un accurato calcolo.

## 8. CONCLUSIONI

Pensiamo sia ora chiaro che la prevenzione dell'"inquinamento luminoso coincide semplicemente con la realizzazione di impianti ben fatti, senza perciò ledere il desiderio dei cittadini nell'aver strade illuminate in modo adeguato. Non è vero, come talvolta si sente dire, che gli astronomi o gli astrofili vorrebbero riportare tutti al buio!

Ci sentiamo di sottolineare i seguenti punti:

- combattere l'inquinamento luminoso conviene a tutti: ai cittadini, agli amministratori, all'ambiente
- e' necessaria una più attenta valutazione dei parametri progettuali
- la ricerca di una illuminazione più rispettosa dell'ambiente favorirà la produzione di apparecchi più efficienti
- i progettisti dovranno cogliere questa nuova sfida del terzo millennio per non rimanere esclusi dal mercato

Vale la pena ricordare come in Italia si stiano compiendo passi importanti grazie all'approvazione di alcune leggi regionali in materia; ad esempio la Regione Lombardia è stata insignita nell'anno 2000 dell'importante riconoscimento "*Primo Premio Internazionale per una stella in più*", attribuito all'unanimità dall'International Dark-Sky Association di Tucson (USA), dall'Associazione Cielo-Buio e dall'Unione Astrofili Italiani, per l'approvazione della Legge Regionale 17/2000, il miglior provvedimento europeo in materia di inquinamento luminoso [12]. Se iniziative analoghe [13], [14], [22], [23] non prenderanno rapidamente piede su tutto il territorio, nel 2025 la Via Lattea, antica compagna di strada di tutte le generazioni umane ed ispiratrice di artisti e poeti, sarà invisibile da tutta l'Italia [2], [3]. La vista dell'Universo, il più grandioso spettacolo naturale (infinitamente superiore a qualsiasi creatività luminosa umana), ci sarà per sempre preclusa e i nostri figli leggeranno dell'esistenza delle stelle soltanto sui libri e, ignari del fascino della notte stellata, non apprezzeranno nemmeno l'argomento. Le notti si confonderanno con il giorno e, perdendo la vista dell'infinito, nessun poeta potrà ancora scrivere, come il Leopardi, "*Forse, s'avessi io l'ale da volar su le nubi e noverar le stelle una ad una, (...), più felice sarei, candida Luna*".

## 9. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. Cinzano Pierantonio, 1997: "Inquinamento luminoso e protezione del cielo notturno", Ed. Istituto veneto di scienze lettere ed arti, ISBN 88-86166-48-6
2. Cinzano Pierantonio, Falchi Fabio, Christopher D. Elvidge, P.2001: "Rapporto ISTIL 2001, Stato del cielo notturno e inquinamento luminoso in Italia", Istituto di Scienza e Tecnologia dell'inquinamento luminoso-*Light Pollution Science and Technology Institute*.
3. Cinzano Pierantonio, 2000: "*Disentangling artificial sky brightness from single sources in diffusely urbanized areas, in measuring and modelling light pollution*", ed. P. Cinzano, Membro Società Astronomica Italiana
4. "Inquinamento Luminoso e Risparmio Energetico", AA.VV. (di Sora, Bonata, Duches, Scardia) - Ass. CieloBuio.
5. Candy Paolo, 2002: "Il cielo stellato patrimonio dell'umanità-Salvaguardare il buio notturno", ed. *Travel Factory*, ISBN 88-87155-15-1
6. Roman A., Giulini P., Giacometti G. M., Cinzano P., 1995, *Inquinamento luminoso e probabili effetti sulle piante*, tesi di laurea, Università di Padova-Dipartimento di Biologia.
7. Lorenzo Fornesari. Elisabetta De Carli e Alessandro Ioele: *Monitoraggio delle componenti faunistiche migratorie e degli elementi di disturbo causati alle stesse dalla presenza aeroportuale*, Ass. FaunaViva, reperibile nel sito di CieloBuio
8. "Manuale di Illuminotecnica", Francesco Bianchi, NIS Febbraio 95
9. Alberto Zilli, "*Per vederci chiaro*", Museo Civico di Zoologia, via U. Aldrovandi 18. Relazione presentata nel *Light Pollution International WorkShop* di Frascati (Roma), maggio 2003.
10. *Software "EasyLight-save the Sky"*, sviluppato dall'ing. Diego Bonata scaricabile da [www.cielobuio.org](http://www.cielobuio.org) o direttamente da [www.vialattea.net/bonata/stsky.htm](http://www.vialattea.net/bonata/stsky.htm)
11. Diego Bonata, "*Save the Sky: un nuovo modo per affrontare la progettazione illuminotecnica stradale*", [www.cielobuio.org/supporto/luce/luce.htm](http://www.cielobuio.org/supporto/luce/luce.htm)
12. Legge Regionale Lombardia n. 17 del 30.03.2000 "*Misure urgenti in tema di risparmio energetico ad uso di illuminazione esterna e di lotta all'inquinamento luminoso*".
13. Legge Regionale Marche n. 10/2002, "*Misure urgenti in materia di risparmio energetico e contenimento dell'inquinamento luminoso*"
14. Legge Regionale Emilia Romagna n. 19/03 "*Norme in materia di riduzione dell'inquinamento luminoso e di risparmio energetico*".
15. Legge della Regione Veneto n.22 del 27/06/97
16. Legge della Regione Toscana n.37 del 21/03/00
17. Legge della Regione Lazio n.23 del 03/03/00
18. Legge n. 10 del 9 gennaio 1991 "*Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia*"
19. Legge 6 dicembre 1991, n. 394 (Parchi Naturali): l'art.11 impone il controllo delle "emissioni luminose" per la conservazione e protezione del patrimonio naturale.
20. Programma GreenLight-Commissione Europea: ridurre i consumi di energia per l'illuminazione esterna e interna.
21. Paolo Soardo, Lorenzo Fellin, Paola Iacomussi, Giuseppe Rossi "*Risparmio Energetico e Flusso Luminoso verso l'alto*", rivista *Luce* n° 1/2003.
22. Legge Regionale Abruzzo 12/2005
23. Legge Regionale Umbria 20/2005
24. *Neuroendocrinology Letters* 2002, 23 (suppl. 2):52-56 *Light during darkness, melatonin suppression and cancer progression*, David E. Blask, Robert T. Dauchy, Leonard A. Sauer, Jean A. Krause & George C. Brainard Laboratory of Experimental Neuroendocrinology/Oncology, Bassett Research Institute, Cooperstown, NY, USA. Department of Neurology, Thomas Jefferson Medical College, Thomas Jefferson University, Philadelphia, PA, USA.
25. *Neuroendocrinology Letters* 2002, 23 (suppl. 2):17-22: *Ocular Input for Human Melatonin Regulation: Relevance to Breast Cancer*, Gena Glickman, Robert Levin, George C. Brainard, 1. Department of Neurology, Jefferson Medical College, Philadelphia PA, 2. Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, USA
26. Legge Regionale Lombardia del 21 Dicembre 2004 "*Modifiche e integrazioni alla Legge Regionale 27 marzo 2000, n. 17 (misure urgenti in materia di risparmio energetico ad uso illuminazione esterna e di lotta all'inquinamento luminoso) ed ulteriori disposizioni*".