



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

MARCO VEDOVATO

LA PREVENZIONE DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO

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

ver. 2.0 - maggio 2002

PREFAZIONE DI FABIO FALCHI



Associazione CieloBuio
Coordinamento per la
salvaguardia del cielo notturno
www.cielobuio.org

ing. Marco Vedovato, cell. 348-7729145
email: vedovatom@virgilio.it

INDICE

PREFAZIONE	3
PREFAZIONE DELL'AUTORE	4
1. PREMESSA	5
2. INQUINAMENTO LUMINOSO: DEFINIZIONI E CAUSE.....	5
3. APPARECCHI D'ILLUMINAZIONE.....	7
4. LE CURVE FOTOMETRICHE.....	11
5. CONFRONTI TRA CORPI ILLUMINANTI	16
6. LUMINANZA: CHI ERA COSTEI?.....	21
7. CONCLUSIONI.....	22
8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI ESSENZIALI.....	23

PREFAZIONE

Ll 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 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.

dott. Fabio Falchi, fisico
International Dark-Sky Association
Associazione CieloBuio - Coordinamento per la salvaguardia del cielo notturno

PREFAZIONE DELL'AUTORE

Lo scopo di questo lavoro è quello di fornire una panoramica sui principali temi riguardanti l'inquinamento luminoso. Sull'argomento vi è ormai 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 condensare i punti salienti, evidenziando (e confutando) alcune obiezioni che sulla questione sono state talvolta poste da alcune categorie interessate all'illuminazione (progettisti e produttori).

La mia speranza è quella di avere scritto un'utile e completa guida introduttiva, letta la quale il lettore potrà senz'altro passare a testi più specifici; ho cercato di mantenere un tono divulgativo, tranne in un paio di occasioni, peraltro segnalate, il cui studio non è però obbligatorio per la comprensione dell'articolo.

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.

ing. Marco Vedovato
Predazzo (TN), febbraio 2002

NOTE SU QUESTA SECONDA EDIZIONE

A distanza di breve tempo, ritorno sul testo. Ho aggiunto alcune, spero utili, precisazioni ed ho inserito delle nuove figure; a questo proposito devo menzionare doverosamente Giuliano Lunelli di Trento per il bellissimo miglioramento apportato ad 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. Anche a lui la mia gratitudine per avermi concesso l'utilizzo dei suoi piccoli capolavori.

Predazzo (TN), maggio 2002

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



*Saturno nel gennaio 2002
in una foto dell'autore*

1. PREMESSA

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

2. INQUINAMENTO LUMINOSO: DEFINIZIONI E CAUSE

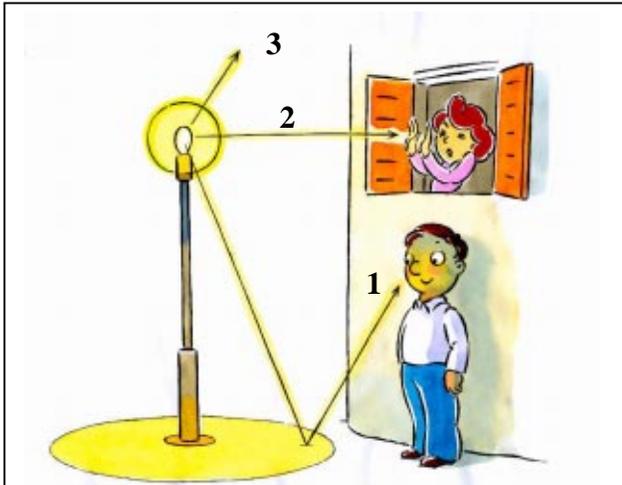


Fig. 2.1 – La visione: solo il raggio 1, dopo essersi riflesso sull'area da illuminare, è funzionale allo scopo. Invece i raggi 2 e 3, non colpendo l'oggetto sono inutilizzati. Anzi il raggio 2 è addirittura di ostacolo alla visione in quanto, arrivando direttamente all'occhio, provoca abbagliamento.

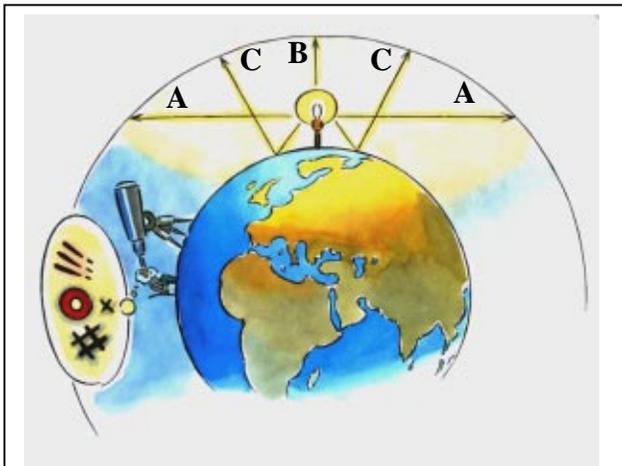


Fig. 2.2 – Il contributo più rilevante all'inquinamento luminoso è dovuto alle emissioni orizzontali (direzione A) che arrivano a propagarsi molto lontano (oltre 200 km) rispetto alla sorgente.

Cominciamo con un concetto banale che non sarà male rinfrescare: perché 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 venirci in parte riflesso verso l'occhio dell'osservatore dove avverrà il processo della visione. La luce che si propaga in altre direzioni, per esempio lungo le linee 2 e 3, rimane inutilizzata; anzi la luce lungo la direzione 2 è addirittura controproducente poiché, arrivando direttamente alla pupilla, causa abbagliamento. **Quindi solo la luce che si riflette nell'area da illuminare è funzionale allo scopo.**

Chiarito questo, possiamo ora dare una definizione di inquinamento luminoso; da un punto di vista generale possiamo enunciarlo come: **“alterazione della quantità naturale di luce presente nell'ambiente notturno dovuta ad immissione di luce artificiale prodotta da attività umane”**. In questo caso viene posto rilievo al 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]. Tecnicamente interessa però una enunciazione diversa: **“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 orientata al di sopra della linea dell'orizzonte”**. La prima parte della proposizione appare immediatamente chiara: la luce che

non colpisce gli oggetti da illuminare rimane inutilizzata. La seconda necessita invece un approfondimento; andiamo perciò ad analizzare come si propaga l'inquinamento luminoso. Nella figura 2.2 sono evidenziate tre tipiche emissioni luminose emesse da un lampione "a palla"; nell'esempio qui

proposto il lampione a palla è utilizzato in quanto riassume tutti i possibili difetti di un impianto illuminante. Analizziamo perciò ciascuna di queste emissioni [3]:

Come si propaga l'inquinamento luminoso?

- Emissione A: è diretta verso l'orizzonte; come intuibile dalla figura è un tipo di emissione che arriva a propagarsi molto lontano dalla sorgente, fino a 200-300 km di distanza oltre la quale interviene la naturale curvatura terrestre a disperdere nello spazio la luce fin qui arrivata. In questo tragitto la luce deve attraversare una maggiore spessore atmosferico (rispetto a B e C) per cui il meccanismo della diffusione (interazione tra la luce, le molecole dell'aria e le polveri in sospensione) agisce molto più efficacemente e di conseguenza più rilevante è l'aumento di luminosità artificiale del fondo del cielo. A titolo di esempio, Milano contribuisce 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 nello spazio. 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% del flusso incidente.

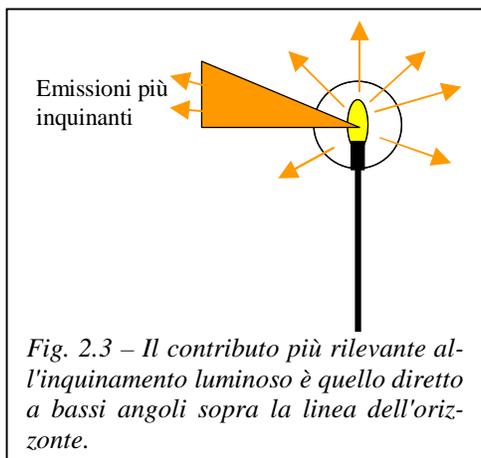


Fig. 2.3 – Il contributo più rilevante all'inquinamento luminoso è quello diretto a bassi angoli sopra la linea dell'orizzonte.

Appare ora chiaro come **il contributo più rilevante all'inquinamento luminoso non è, come molti ancora credono, quello diretto verso la verticale ma quello diretto a bassi angoli sopra la linea dell'orizzonte** (figura 2.3). Il lettore tenga molto bene a mente questo concetto perché è la chiave di tutto il discorso. Su questo punto conviene fare alcune considerazioni. In alcuni ambienti illuminotecnici si sostiene che le emissioni orizzontali non contano poiché vengono intercettate dalle pareti degli edifici; tale teoria è facilmente confutabile. Infatti, se può essere esatta per impianti collocati nel centro di una grossa città in cui le vie, e quindi le case, si incrociano le une con le altre in modo apparentemente confuso, la cosa è molto meno vera se l'urb-

nistica si sviluppa con grandi arterie diritte 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, faretti, 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 di cui sopra fosse vera non si spiegherebbe come mai Milano contribuisca per il 3% all'inquinamento luminoso di Asiago. Inoltre non esistono solo grandi città come Milano e Torino! Non si dimentichi che vi sono pure una miriade di cittadine e piccoli paesi il cui ridotto numero di abitazioni, di altezza meno elevata, non offre alcuna efficace copertura alle dispersioni orizzontali; 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; questo non va bene: l'illuminazione pubblica illumini solo ciò che è pubblico ed il privato illumini (bene) solo ciò che è suo, senza invadere le proprietà altrui! Ecco quindi la necessità prestare la massima cura per eliminare le emissioni a bassi angoli sopra la linea dell'orizzonte, tenendo presente che il tutto va comunque a vantaggio di una più confortevole visibilità oltre ad evitare il dover fare una marea di regolamenti nei quali quello che è consentito in un posto è vietato in un altro, il tutto a scapito della chiarezza e facilità di applicazione.

Ad ogni modo è doveroso agire su tutte le direzioni di propagazione: quelle al di sopra dell'orizzonte (A e B) attraverso l'utilizzo, come vedremo, di appropriate schermature e quelle da luce indiretta (tipo C) attraverso il mantenimento di adeguati livelli di illuminazione, evitando le illuminazioni a giorno, autentico ed inutile 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, a parere di chi scrive, 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 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, quindi passeremo ad esempi pratici con confronti diretti tra diverse soluzioni.

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]; in questa sede ci limitiamo a sottolineare come ogni lampada abbia una propria **efficienza luminosa**, ossia per una data potenza assorbita produce una determinata quantità di luce. Sostituendo una lampada poco efficiente con un'altra di maggior efficienza si otterrà, a parità di potenza assorbita, una maggior quantità di luce. Il che ci indica che se la luce prodotta dalla lampada poco efficiente era comunque adeguata si potrà ottenere la stessa quantità di luce con una lampada a maggior efficienza impegnando però una potenza minore, con un conseguente risparmio energetico. La consultazione della tabella 1 è veramente istruttiva: in essa è quantificata l'efficienza luminosa di molte lampade comunemente usate; 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 l'efficienza della lampada.

Tabella 1

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

E' immediato constatare come le lampade al sodio, in particolare quelle a bassa pressione, vantino eccellenti prestazioni. Una lampada ai vapori di mercurio da 250 *Watt* può produrre fino a

CieloBuiο – Coordinamento per la protezione del cielo notturno

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 4100 ore di accensione all'anno, ad un costo di 0,15 € per kilowattora, si può ricavare la tabella 2, nella quale sono riportati i costi energetici di alcune lampade, nella condizione di avere quantità simili di luce prodotta; i valori indicati di potenza e di luce sono tipici di molti impianti. Per esempio una lampada ai vapori di sodio ad alta pressione da 150 W comporterà un spesa annua di 0,15 € x 4100 ore x 150 W/1000 = 92,25 € annui.

tabella 2

Lampada	Potenza (Watt)	Luce prodotta (lumen)	Costo annuo
Vapori di Mercurio	250 W	12700 lm	153,75 € (100%)
Sodio alta pressione	150 W	14500 lm	92,25 € (60%)
Sodio bassa pressione	90 W	13000 lm	55,35 € (36%)

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

Naturalmente bisogna considerare la resa cromatica (ossia la possibilità di percepire i colori); da questo punto di vista le lampade al sodio ad alta pressione sono più versatili, tuttavia è evidente il grande vantaggio nell'impiego di lampada ad alta efficienza. Per molti il risparmio energetico per l'illuminazione finisce qui; 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 ben 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.

3.2 Le armature

Per evitare inutili dispersioni di luce conviene utilizzare corpi totalmente schermati (*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 quindi approfondire questo punto 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

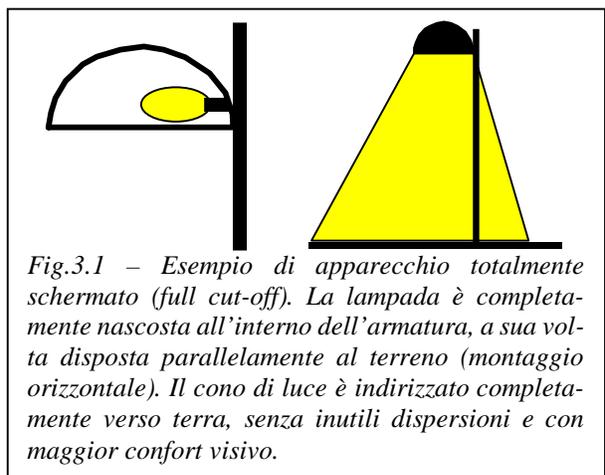


Fig.3.1 - Esempio di apparecchio totalmente schermato (*full cut-off*). La lampada è completamente nascosta all'interno dell'armatura, a sua volta disposta parallelamente al terreno (montaggio orizzontale). Il cono di luce è indirizzato completamente verso terra, senza inutili dispersioni e con maggior confort visivo.

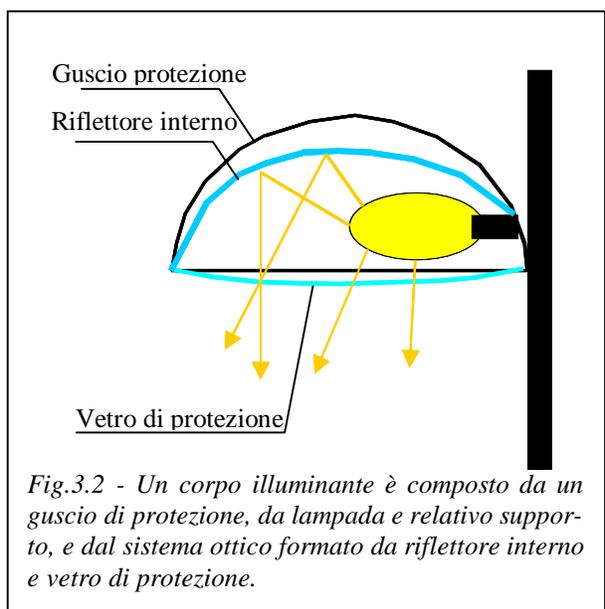


Fig.3.2 - Un corpo illuminante è composto da un guscio di protezione, da lampada e relativo supporto, e dal sistema ottico formato da riflettore interno e vetro di protezione.

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, in generale, da un vetro di protezione esterno, per il momento supposto trasparente, 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 rinviata indietro, verso il riflettore, ma ad ogni riflessione una parte di flusso luminoso viene assorbita dall'armatura a scapito del rendimento globale del corpo illuminante. L'adozione di un vetro curvo (sempre supposto trasparente) 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 *confort* visivo; più il vetro è curvo e maggiore sarà la luce dispersa. Viceversa il vetro piano orizzontale, pur con i limiti evidenziati, 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.

Una critica spesso mossa ai corpi illuminanti *full cut-off* 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 secondo la CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) come *cut-off* e semi *cut-off* ma NON nel caso dei *full cut-off* 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*. Le obiezioni tipiche ai *full cut-off*, compresi quelli a vetro piano con i quali sono ormai possibili

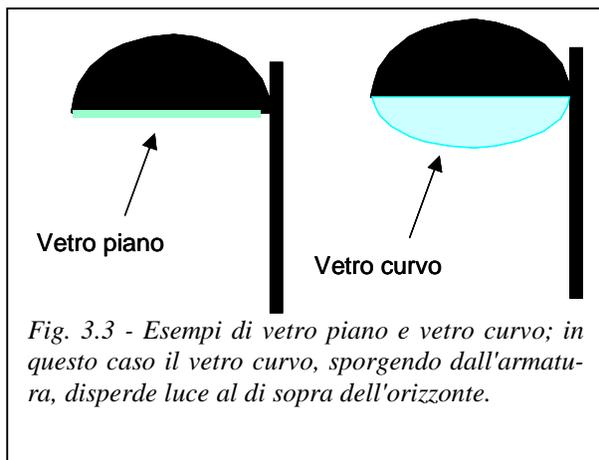


Fig. 3.3 - Esempi di vetro piano e vetro curvo; in questo caso il vetro curvo, sporgendo dall'armatura, disperde luce al di sopra dell'orizzonte.

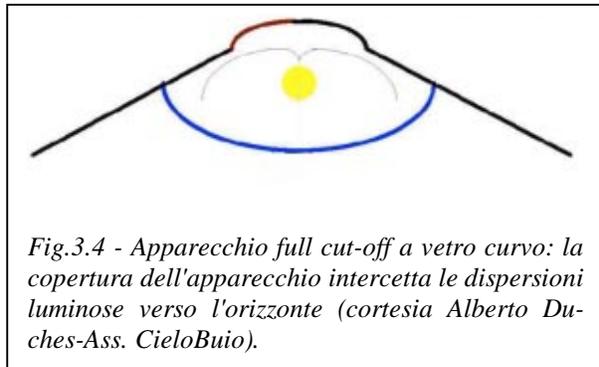


Fig.3.4 - Apparecchio full cut-off a vetro curvo: la copertura dell'apparecchio intercetta le dispersioni luminose verso l'orizzonte (cortesia Alberto Duches-Ass. CieloBuio).

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

interassi di quasi quattro volte l'altezza del palo, 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! Tra l'altro la diminuzione dell'abbagliamento permessa dai *full cut-off* fa diventare meno importanti, per una visione ottimale, i requisiti di uniformità della luminanza del manto stradale (la luminanza è il parametro cui è legata, come vedremo, la sensazione di luminosità di una superficie). Va ancora detto che si trovano molti impianti anche recenti, con corpi non schermati, il cui interesse è comunque inferiore a quattro volte l'altezza del palo; quindi non è obiezione valida il sostenere che con i *full cut-off* bisogna aumentare i punti luce (cosa peraltro non vera come appena visto) se poi si utilizzano comunque interassi ridotti, a prescindere dalla tipologia degli apparecchi utilizzati. Inoltre è prassi consolidata installare lampioni stradali inclinati anche su strade strette; che motivo tecnico c'è? Per illuminare l'erba ai lati della strada o perché si è sempre fatto così ed allora non si pensa a quello che si fa?

Bisogna ora evidenziare un ulteriore aspetto: abbiamo prima ipotizzato, parlando di vetri curvi, che questi siano trasparenti; il motivo di questa scelta è semplice. A parità di forma del vetro curvo (figura 3.5), quello trasparente, se sporge dall'armatura, irradia sopra l'orizzonte una quantità di luce nettamente inferiore rispetto al vetro opalino in quanto quest'ultimo diffonde

"a ventaglio" verso l'esterno ogni raggio luminoso incidente. Prestiamo ancora 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 ancora 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:

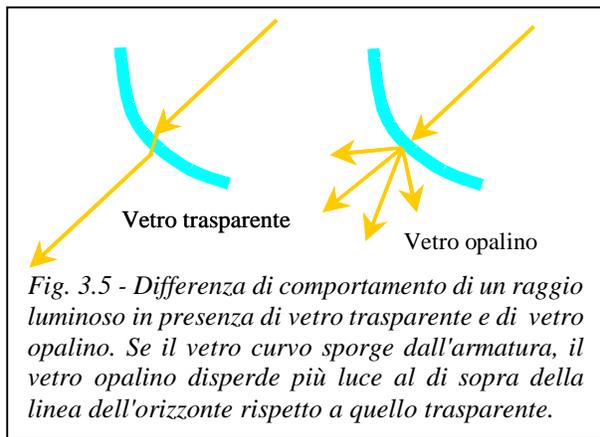


Fig. 3.5 - Differenza di comportamento di un raggio luminoso in presenza di vetro trasparente e di vetro opalino. Se il vetro curvo sporge dall'armatura, il vetro opalino disperde più luce al di sopra della linea dell'orizzonte rispetto a quello trasparente.

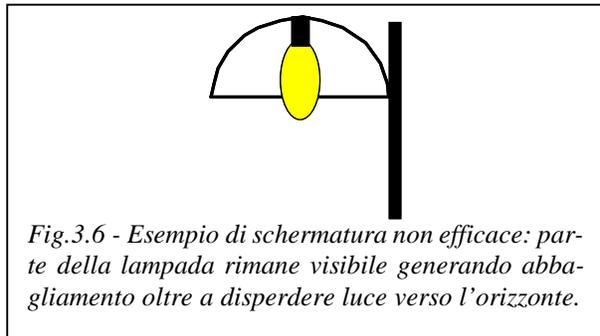


Fig. 3.6 - Esempio di schermatura non efficace: parte della lampada rimane visibile generando abbagliamento oltre a disperdere luce verso l'orizzonte.



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!

- 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 purtroppo spesso dimenticato. E' opportuno ricordare come la visione sia legata 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! Purtroppo gli impianti realizzati come in figura 2.1 sono la maggioranza eppure appare evidente che non vi è alcuna giustificazione tecnica al loro utilizzo. Nell'esempio di figura 3.7 si può notare come sia più confortevole l'illuminazione schermata.

4. LE CURVE FOTOMETRICHE

Per giudicare sulla validità di un corpo illuminante, non solo dal punto di vista dell'inquinamento luminoso, bisogna valutare le cosiddette "curve fotometriche" ossia la rappresentazione grafica di come la luce viene distribuita attorno l'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.

Bisogna valutare le curve fotometriche!

In termini intuitivi, un solido fotometrico è una superficie chiusa (si veda la figura 4.1) al cui interno è collocata, in modo opportuno, una sorgente luminosa. Da tale sorgente si possono disegnare tanti vettori che intercettano la superficie del solido;

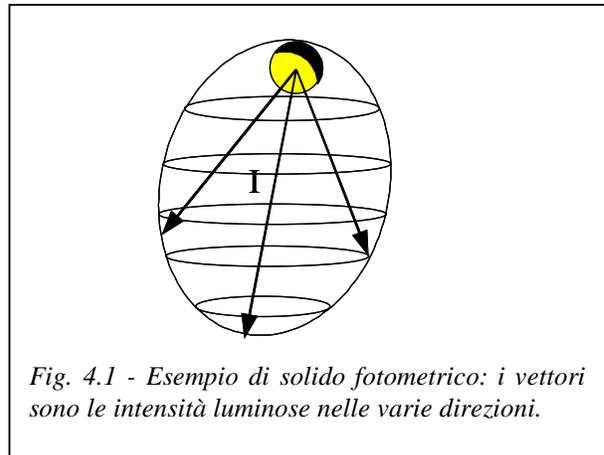


Fig. 4.1 - Esempio di solido fotometrico: i vettori sono le intensità luminose nelle varie direzioni.

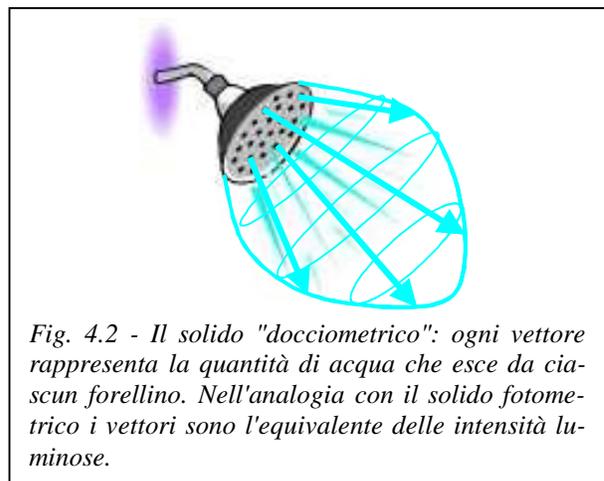


Fig. 4.2 - Il solido "docciometrico": ogni vettore rappresenta la quantità di acqua che esce da ciascun forellino. Nell'analogia con il solido fotometrico i vettori sono l'equivalente delle intensità luminose.

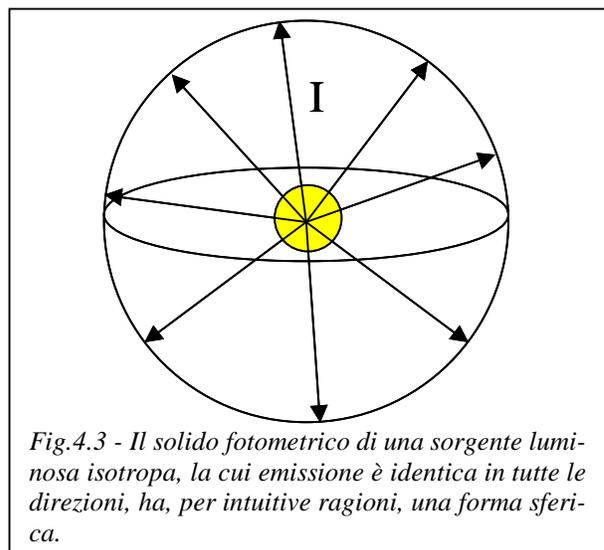


Fig. 4.3 - Il solido fotometrico di una sorgente luminosa isotropa, la cui emissione è identica in tutte le direzioni, ha, per intuitive ragioni, una forma sferica.

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 e se metteremo una mano sotto la doccia sentiremo questi zampilli pungerci 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 al di 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 affatto vero (come i volenterosi apprenderanno fra breve nell'approfondimento). Per esempio, inseriamo la nostra sorgente isotropa (quella già vista in figura 4.1) su un palo; è intuitivo che metà della luce prodotta va verso terra, l'altra metà verso l'alto. Ciò è confermato dall'analisi del solido fotometrico (figura 4.5): facendo passare un piano (piano α) parallelo al terreno e passante per la sorgente luminosa, questo piano divide il solido in due parti. La parte sopra (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

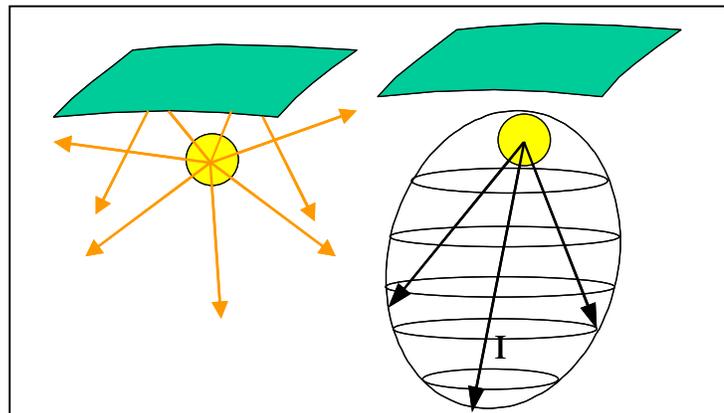


Fig. 4.4 - La presenza di un riflettore (a sinistra) rinvia verso il basso la parte di flusso luminoso altrimenti diretta verso l'alto. Il solido fotometrico complessivo del sistema sorgente+riflettore (a destra) deve deformarsi rispetto al solido della sola sorgente, assumendo una forma più complessa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

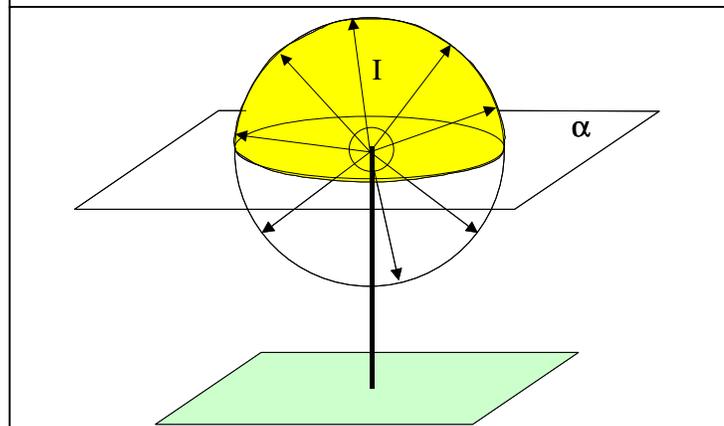


Fig. 4.5 - Il solido fotometrico è utile per valutare il flusso disperso. Un piano α orizzontale passante per la sorgente luminosa, dividendo in due il solido, evidenzia il flusso disperso verso l'alto rispetto al totale.

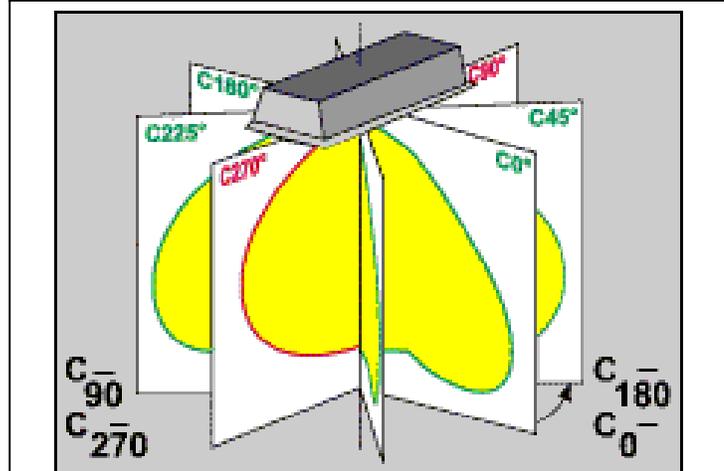


Fig. 4.6 - Sezionando il solido fotometrico con una stella di piani verticali si ottengono le curve fotometriche riportate nei cataloghi. Da "Curve Fotometriche - Imparare a leggerle e comprenderle" di Alberto Duches- Ass. CieloBiuo

opportuno fascio di piani verticali e riportare su un foglio le sezioni così ottenute (figura 4.6); queste vanno a costituire le "curve fotometriche". Nei cataloghi dei produttori, le curve fotometriche 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 kilolumen effettivamente emessi della lampada.

In particolare, sono interessanti le curve ottenute sezionando con un piano parallelo all'asse stradale (il cosiddetto piano $C=0^\circ-C=180^\circ$) per valutare l'interasse tra i punti luce e con un piano ortogonale all'asse stradale (piano $C=90^\circ-C=270^\circ$) per verificare se l'illuminazione è in grado di coprire tutta la larghezza della strada. Nell'esempio di figura 4.7 si osserva la situazione sul piano parallelo all'asse stradale; in questo caso sono utilizzati apparecchi *full cut-off* la cui intensità massima corrisponde ad un angolo γ (angolo tra la verticale e la direzione considerata) molto elevato.

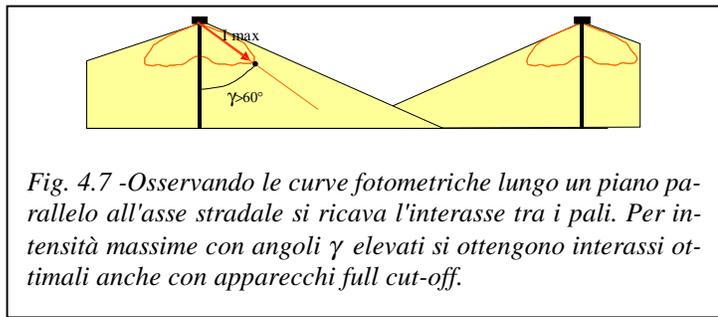


Fig. 4.7 -Osservando le curve fotometriche lungo un piano parallelo all'asse stradale si ricava l'interasse tra i pali. Per intensità massime con angoli γ elevati si ottengono interassi ottimali anche con apparecchi *full cut-off*.

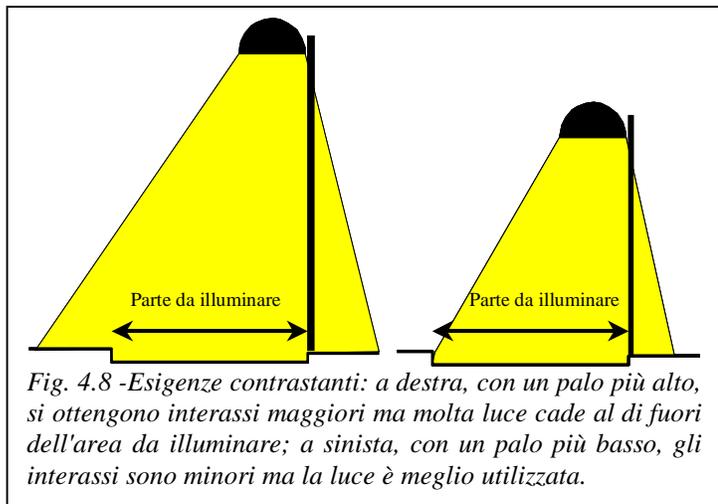


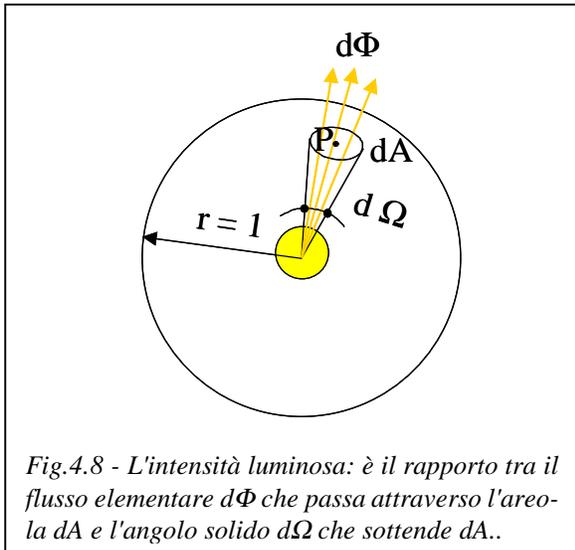
Fig. 4.8 -Esigenze contrastanti: a destra, con un palo più alto, si ottengono interassi maggiori ma molta luce cade al di fuori dell'area da illuminare; a sinistra, con un palo più basso, gli interassi sono minori ma la luce è meglio utilizzata.

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 si compensano dando luogo quindi ad un'illuminazione più uniforme. Le altezze dei sostegni per illuminazione stradale unificate a livello internazionale (UNI EN 40) sono di 8 m, 10 m, 12 m, 15 m.

E' interessante mettere in rilievo un aspetto tipico della progettazione ove è necessario bilanciare opposte esigenze; nella figura 4.8 si osservano due differenti realizzazioni di un impianto. Con un palo più alto, si ottengono interassi maggiori ma molta luce può 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. 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 maggior numero di punti luce). Una possibile 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).

Per il lettore desideroso di saperne di più daremo ora dei concetti più rigorosi (senza esagerare); la cosa potrebbe risultare un po' complessa. Chi incontrasse difficoltà, salti tranquillamente questa parte e vada al paragrafo successivo.

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, e 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:



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

$$I = d\Phi/d\Omega = r d\Phi/dA = d\Phi/dA \quad (1)$$

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

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 4/3πI³) 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 540x10¹² 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. È 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 assolutamente 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 che questi apparecchi causano. 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 (ed è, ripetendo, la migliore sfera non schermata!). Al contrario, ottimo il corpo di destra. Vale la pena spendere due parole di più sulla sfera di sinistra; alcuni produttori la pubblicizzano come apparecchio anti inquinamento luminoso perché dotata di aletta frangiluce, affermazione evidentemente che lascia il tempo che trova, come appena visto. Analizziamo come funzionano le alette frangiluce (figura 5.3): alcuni raggi, come quello contrassegnato dal numero 1, vengono, 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 ri-

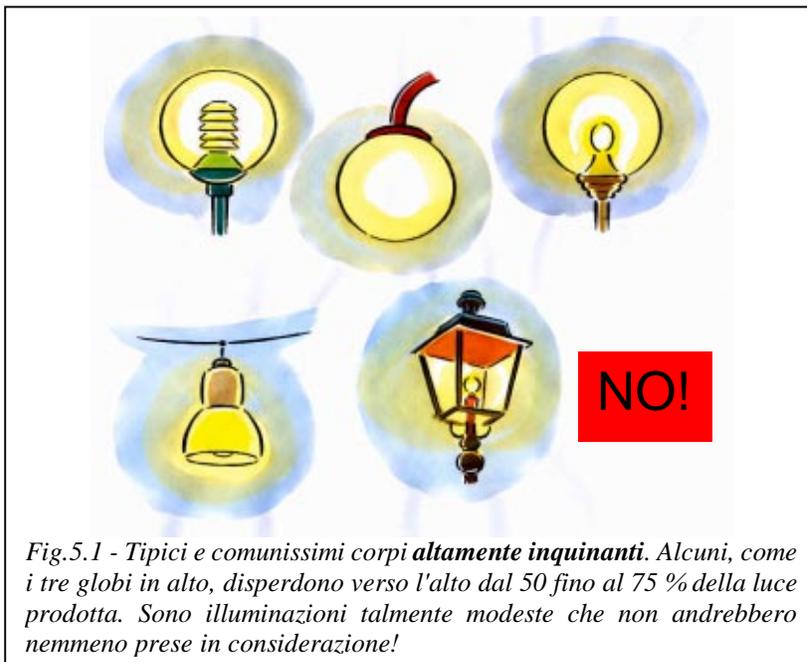


Fig.5.1 - Tipici e comunissimi corpi **altamente inquinanti**. Alcuni, come i tre globi in alto, disperdono verso l'alto dal 50 fino al 75 % della luce prodotta. Sono illuminazioni talmente modeste che non andrebbero nemmeno prese in considerazione!

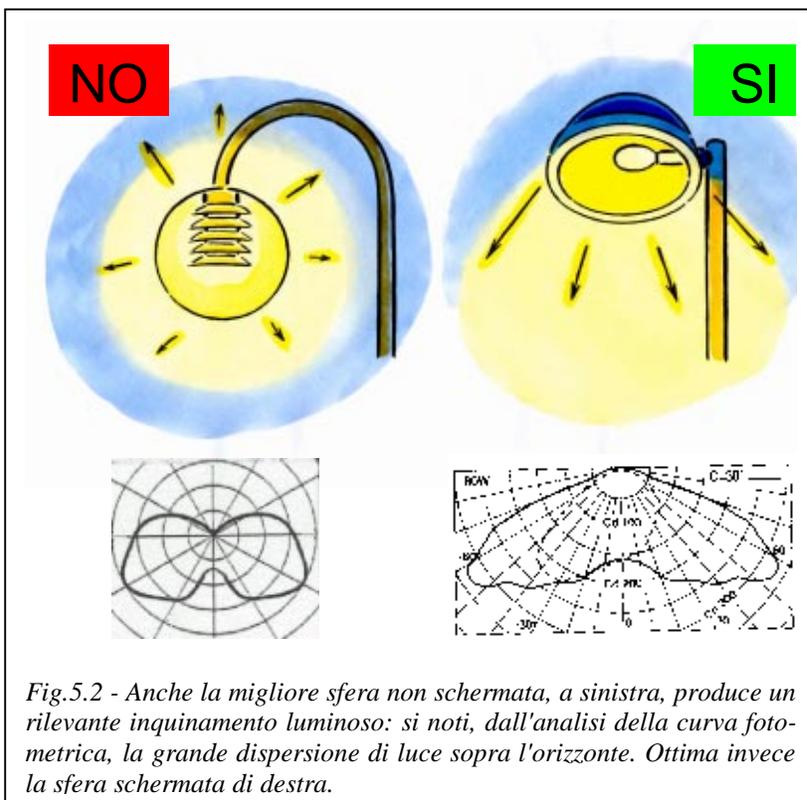


Fig.5.2 - Anche la migliore sfera non schermata, a sinistra, produce un rilevante inquinamento luminoso: si noti, dall'analisi della curva fotometrica, la grande dispersione di luce sopra l'orizzonte. Ottima invece la sfera schermata di destra.

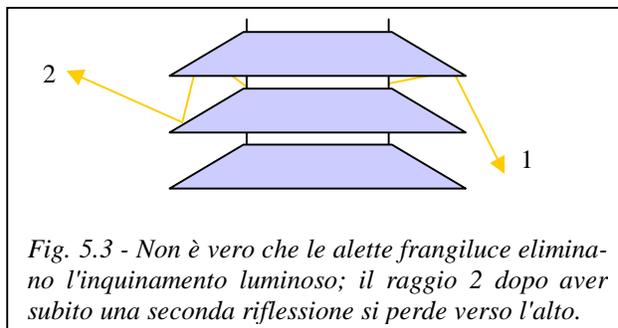


Fig. 5.3 - Non è vero che le alette frangiluce eliminano l'inquinamento luminoso; il raggio 2 dopo aver subito una seconda riflessione si perde verso l'alto.

flessione una parte di luce viene assorbita a scapito del rendimento generale del corpo illuminante; all'aumentare del numero di 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 da fine ottocento-inizio novecento; 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, comunque, l'illuminazione è un'invenzione di molto posteriore alla realizzazione della maggior parte delle piazze e dei monumenti e 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: nel-

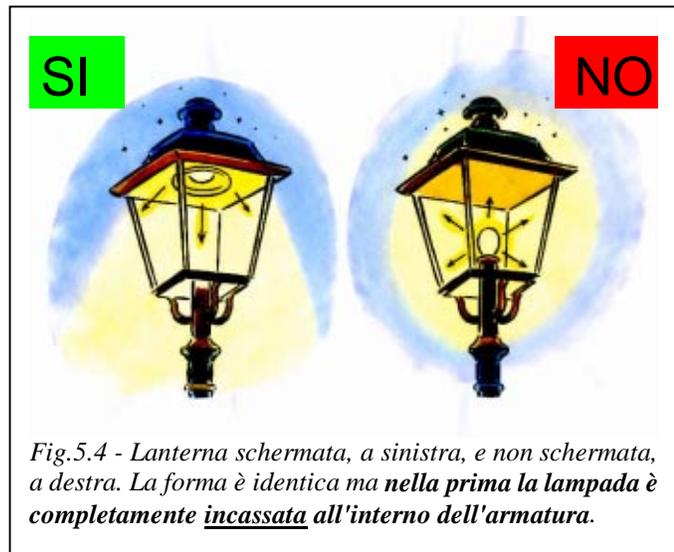


Fig.5.4 - Lanterna schermata, a sinistra, e non schermata, a destra. La forma è identica ma **nella prima la lampada è completamente incassata all'interno dell'armatura.**

le 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.

- 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 sottolinea nuovamente come con dei moderni buoni apparecchi *full cut-off*, anche a vetro piano, non sia più necessario diminuire, rispetto ai lampioni a vetro prismatico, l'interdistanza 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.

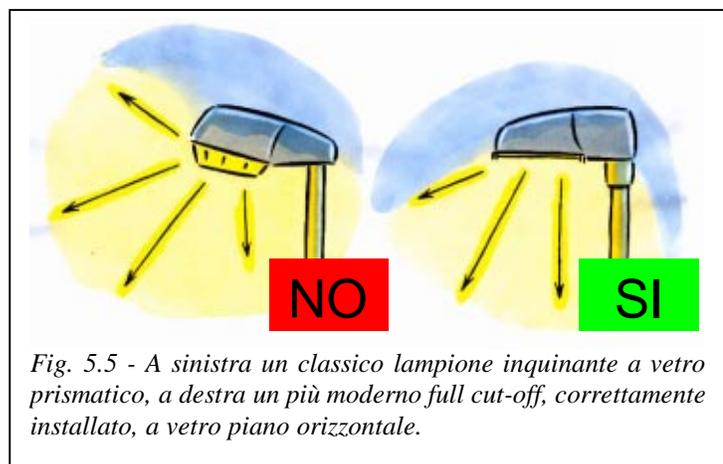
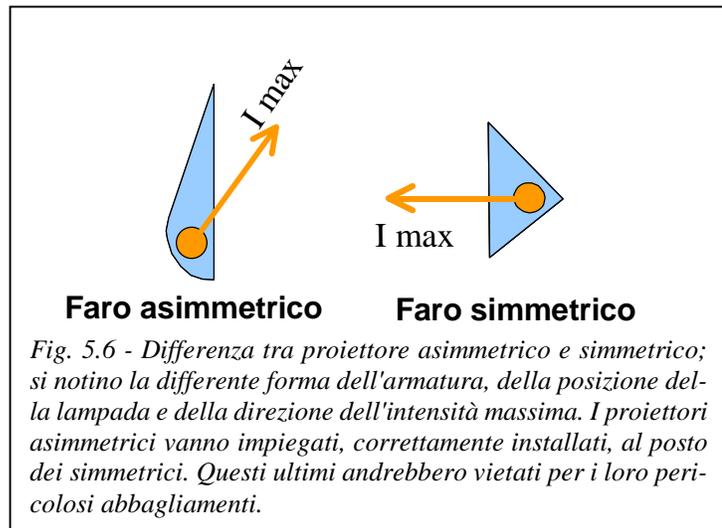


Fig. 5.5 - A sinistra un classico lampione inquinante a vetro prismatico, a destra un più moderno full cut-off, correttamente installato, a vetro piano orizzontale.

- FARI E TORRI FARO

Il capitolo delle fari e delle torri faro è importante per via dell'altissima quantità di luce prodotta; è sotto gl'occhi di tutti l'abuso che si fa di questi corpi, anche per illuminare le cose più inutili ed assurde, spesso installati con pressappochismo sconcertante con conseguenti fortissimi abbagliamenti. 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 (si veda la figura 5.5), spesso verticalmente o quasi, con rilevanti dispersioni a bassi angoli sopra l'orizzonte (le emissioni più nocive, come ripetutamente detto) e al di fuori delle aree da illuminare. A mio parere i proiettori simmetrici andrebbero vietati proprio per il pericolo che possono arrecare alla circolazione stradale. Andrebbero invece sostituiti con proiettori asimmetrici montati orizzontalmente; si noti dalla figura come i proiettori asimmetrici presentino un massimo dell'intensità luminosa che va a cadere molto distante dall'apparecchio con grandi vantaggi sia per l'uniformità dell'illuminazione sia per la vasta area illuminata. Il massimo dell'intensità luminosa esce infatti dal proiettore con un angolo anche maggiore di 60° rispetto alla perpendicolare tracciata dal vetro. In pratica sarebbe circa come montare un apparecchio simmetrico inclinato di 60° , senza produrre 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 migliori caratteristiche di questo tipo di proiettori e, paradossalmente, si illumina di più il cielo che non la superficie che vorremmo illuminare (figura 5.6). 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: bisogna saperli anche montare correttamente per non creare danni ancora maggiori. Va precisato che molti proiettori asimmetrici tagliano la luce già ad angoli γ di circa 80° quindi nel montaggio tollerano una leggera di inclinazione (sui 5°); naturalmente la cosa va valutata con attenzione, in ca-



Faro asimmetrico **Faro simmetrico**
 Fig. 5.6 - Differenza tra proiettore asimmetrico e simmetrico; si notino la differente forma dell'armatura, della posizione della lampada e della direzione dell'intensità massima. I proiettori asimmetrici vanno impiegati, correttamente installati, al posto dei simmetrici. Questi ultimi andrebbero vietati per i loro pericolosi abbagliamenti.

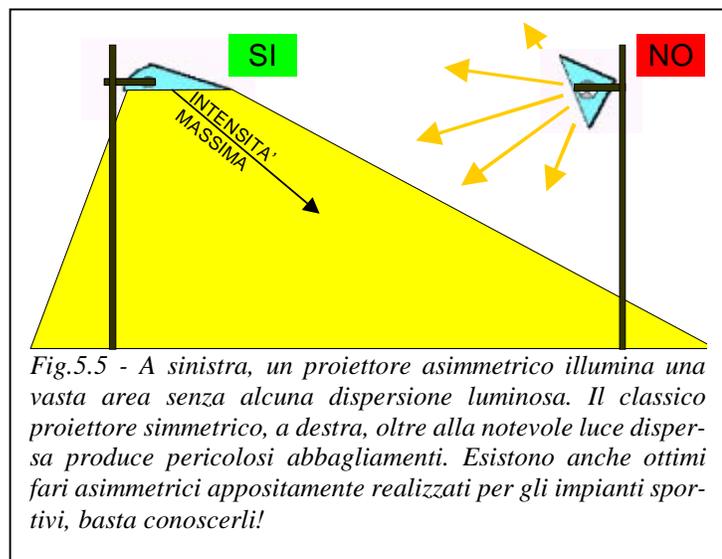


Fig.5.5 - A sinistra, un proiettore asimmetrico illumina una vasta area senza alcuna dispersione luminosa. Il classico proiettore simmetrico, a destra, oltre alla notevole luce dispersa produce pericolosi abbagliamenti. Esistono anche ottimi fari asimmetrici appositamente realizzati per gli impianti sportivi, basta conoscerli!



Fig. 5.6 - Tipico e, purtroppo, comunissimo montaggio errato di un proiettore asimmetrico. Non ci sono adeguate parole di biasimo per codeste realizzazioni! Giustamente il passante avveduto si interroga perplesso: l'installazione degli asimmetrici è diversa da quella dei simmetrici! Non si può sbagliare così palesemente.

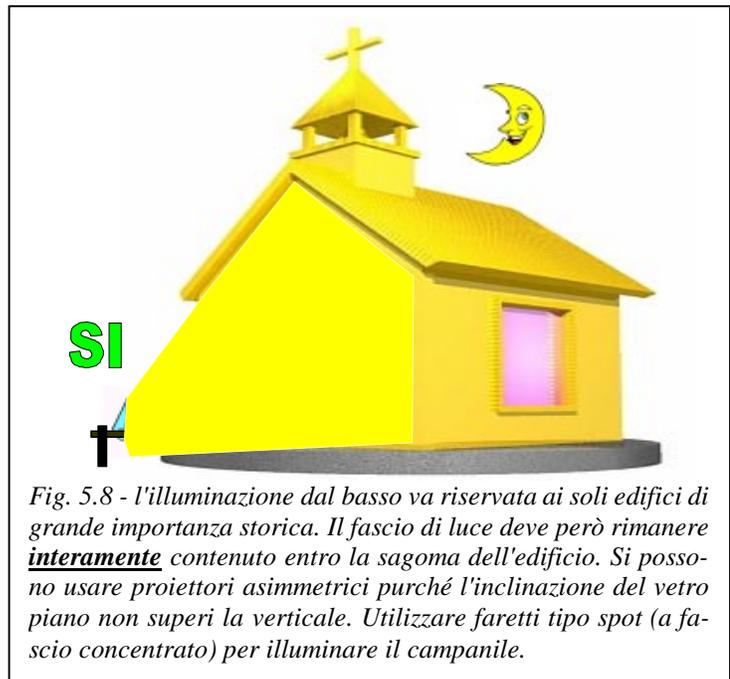
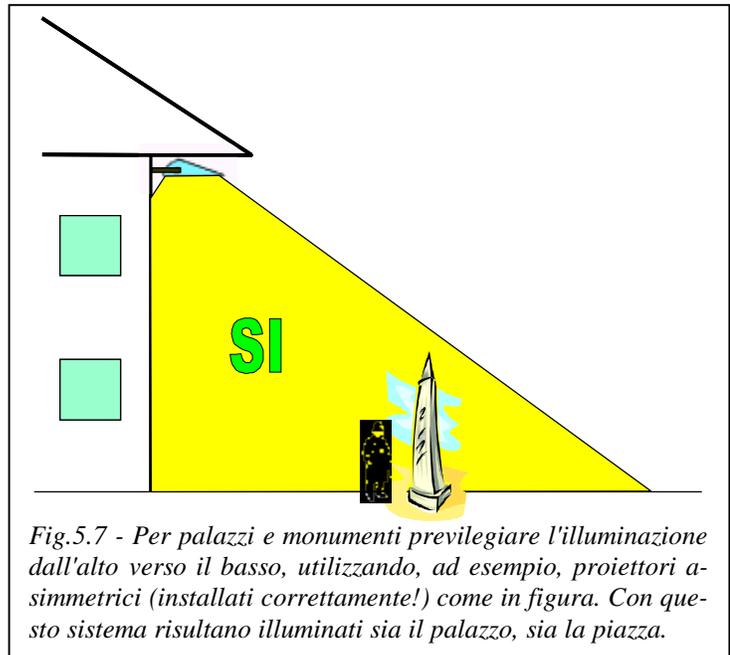
so di reale e tecnicamente giustificata necessità, e sotto la sorveglianza di un progettista preparato per non giungere a installazioni palesemente errate come quelle appena viste.

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 stadi di calcio, alcuni anche importanti).

- **FACCIAE DI EDIFICI E MONUMENTI**

Altro capitolo importante è l'illuminazione di palazzi e monumenti per un presunto scopo di valorizzazione, come se un capolavoro non fosse tale senza illuminazione. A volte, purtroppo, al posto di essere valorizzato, il monumento viene deturpato 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, anche supponendo vi sia reale necessità di illuminare le opere d'arte, si può fare molto meglio molte e comuni realizzazioni cervellotiche. Per cominciare è bene privilegiare l'illuminazione dall'alto verso il basso utilizzando, ad esempio, proiettori asimmetrici orizzontali (figura 5.7); 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 ed architettonica (la Basilica di S. Marco a Venezia o la Basilica di S. Pietro, per intenderci) e in quei casi di reale impossibilità a fare altrimenti; naturalmente bisogna avere cura che il fascio luminoso rimanga **interamente** 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 5.8); 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 della sagoma dell'edificio, per esempio su una chiesa gotica, però si deve avere cura di minimizzare al massimo le dispersioni, con un adeguato progetto illuminotecnico. In ogni caso, sia per l'illuminazione radente dall'alto sia per l'illuminazione dal basso, vanno previsti



Perché tenere illuminati i monumenti dopo una certa ora?

dei riduttori per diminuire o, meglio, spegnere l'illuminazione dopo una certa ora: **tenere illuminato un monumento alle due di notte, per pochi nottambuli, è evidentemente un autentico spreco.**

L'illuminazione dal basso verso l'alto non andrebbe permessa, come purtroppo spesso 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. 5.9 - Ancora un esempio di illuminazione dall'alto. Seguendo le indicazioni prima illustrate si possono ottenere eccellenti risultati senza disperdere luce.



Fig. 5.10 - 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, nel caso di una strada illuminata per esempio, fornisce una indicazione di come al nostro occhio apparirà illuminata la relativa superficie. In altri termini, se illuminiamo con la stessa quantità di luce due aree di color diverso, una 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 (ripeto 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), ossia con la stessa luminanza in ogni direzione, dato l'illuminamento e il coefficiente di riflessione diffusa (albedo), possiamo ricavare la luminanza con questa formula:

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

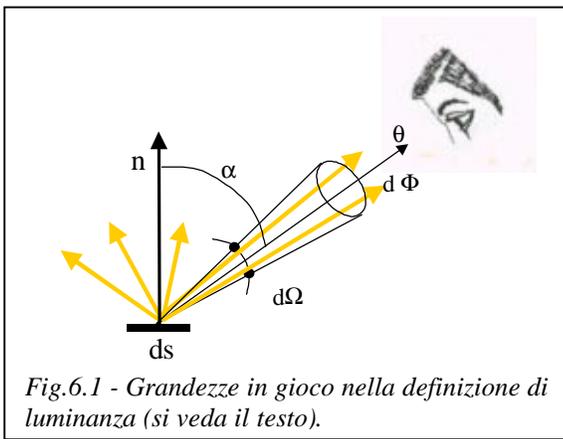
Nell'illuminazione stradale una formula molto approssimata per passare dall'illuminamento alla luminanza è questa:

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

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 $20 \times 0,07 = 1,4 \text{ cd/m}^2$. Per il lettore provvisto di un po' di conoscenze matematiche daremo dei riferimenti un po' più precisi; coloro i quali temono la matematica saltino pure al paragrafo conclusivo.

APPROFONDIMENTO PER I VOLONTEROSI...

E' opportuno precisare come i concetti di seguito 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 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 dS , di normale n , che invia luce (di propria produzione oppure per riflessione da una luce incidente) un po' dappertutto; una parte di questa luce si dirigerà verso l'osservatore lungo la direzione θ , circondata dall'angolo solido $d\Omega$. Fin qui è come già visto nel paragrafo 4 e infatti possiamo anche



definire il valore dell'intensità luminosa lungo questa direzione, come già visto nel paragrafo 4 ($I = d\Phi/d\Omega$). Ora però c'è un qualcosa in più: la sorgente non è più puntiforme ma estesa. Inoltre l'osservatore non vede l'areola ds in vera grandezza ma la vede "schiacciata" per ovvie ragioni prospettive; il valore ds' di quest'area apparente vale: $ds' = ds \cos\alpha$. Egli riterrà perciò che l'areola ds' sia luminosa esclusivamente a causa del flusso in arrivo attraverso l'angolo solido $d\Omega$; più flusso arriverà all'occhio e più l'areola stessa apparirà luminosa. Se invece si varia la direzione di osservazione (cambiando l'angolo α tra la normale n e la linea di vista), mantenendo costante il flusso in transito nell'angolo solido, all'aumentare di α l'areola ds apparirà via via più luminosa poiché sarà sempre più "ristretta" dalla prospettiva e quindi tanto più essa sembrerà "concentrata". Quest'ultima situazione però di solito non capita mai: normalmente si ha a disposizione una superficie lambertiana (o quasi) dove a mano a mano che ci si allontana dalla verticale diminuiscono all'unisono sia il flusso percepito sia l'areola ds' in modo da mantenere costante il loro rapporto; di conseguenza percepiremo una luminanza costante. Siamo perciò tentati di correlare il flusso $d\Phi$ che passa attraverso l'angolo solido $d\Omega$ con l'areola ds o, meglio, alla sua proiezione ds' lungo la linea di vista. Perveniamo dunque alla definizione di luminanza (L):

$$L = \frac{\partial}{\partial s'} \frac{\partial \Phi}{\partial \Omega} \quad (3)$$

E ricordando la definizione di intensità luminosa (vedere paragrafo 4 formula 1):

$$L = dI/ds' = dI/(ds \cos\alpha) \quad (4)$$

Quindi la luminanza è il flusso luminoso per unità di angolo solido e per unità di area apparente e si misura in candele su metro quadrato.

7. 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 ad avere le strade illuminate in modo adeguato. Quindi non è vero, come talvolta si sente dire, che gli astronomi o gli astrofili vorrebbero riportare tutti al buio!

Ci sentiamo di evidenziare 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 [10]. Se iniziative analoghe 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*".

8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI ESSENZIALI

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, Mem. Soc. Astron. 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. Rossi Carlo: "Manuale per la lotta all'inquinamento luminoso", Commissione Nazionale Inquinamento Luminoso – Unione Astrofili Italiani
10. **Legge Regionale Lombarda n. 17 del 30.03.2000** in tema di "MISURE URGENTI IN TEMA DI RISPARMIO ENERGETICO AD USO DI ILLUMINAZIONE ESTERNA E DI LOTTA ALL'INQUINAMENTO LUMINOSO.
11. Legge della Regione Veneto n.22 del 27/06/97
12. Legge della Regione Toscana n.37 del 21/03/00
13. Legge della Regione Lazio n.23 del 03/03/00
14. 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"
15. 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.
16. Programma *GreenLight*-Commissione Europea: ridurre i consumi di energia per l'illuminazione esterna e interna.