

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PAVIA
FACOLTA' DI SCIENZE MM. FF. NN.

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE E TECNOLOGIE PER LA NATURA
PERCORSO IN SCIENZE E GESTIONE DELL' AMBIENTE

INQUINAMENTO LUMINOSO:
SOSTENIBILITA' DELL' ILLUMINAZIONE PUBBLICA

Relatore:

Chiar.mo Prof. Cristina Cordoni

Tesi di Laurea
di Samuele Cupello
Matr. N. 249431/86

Anno Accademico 2004/2005

PORGO I MIEI RINGRAZIAMENTI

alla mia famiglia, a Deborah, a tutte le persone
che mi sono state accanto negli anni di studio

alla Prof.ssa C. CORDONI e al Prof. V. VACCARI
dell'Università degli Studi di Pavia

alla Dott.ssa D. ROSSIN
della Provincia di Pavia

al Dott. F. FRIGERIO e all'Ing. V. BELLI
dell'Agenzia di Pavia della rete di Punto Energia

al Sindaco P. FASANI, all'Amministrazione Comunale, ai dipendenti
del Comune di Campospinoso

SOMMARIO

PREMESSA.....	- 1 -
1 - INTRODUZIONE.....	- 5 -
1.1 - INQUINAMENTO LUMINOSO: DEFINIZIONE E CAUSE	- 5 -
1.2 - LEGGE DELLA REGIONE LOMBARDIA n. 17/00	- 10 -
1.3 - ECONOMIA DELL'AMBIENTE E SVILUPPO SOSTENIBILE.....	- 14 -
2 - IMPATTO AMBIENTALE DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO	- 18 -
2.1 - EFFETTI SULLA FLORA	- 20 -
2.1.1 - ALBERATURE CITTADINE.....	- 20 -
2.1.2 - STUDIO ESEGUITO SULL'EFFICIENZA FOTOSINTETICA	- 21 -
2.2 - EFFETTI SULLA FAUNA	- 22 -
2.2.1 - INSETTI	- 22 -
2.2.2 - RETTILI	- 23 -
2.2.3 - UCCELLI.....	- 23 -
2.3 - EFFETTI SULL'UOMO	- 27 -
2.3.1 - ANATOMIA E FISIOLOGIA DELL'OCCHIO	- 27 -
2.3.2 - RITMO CIRCADIANO.....	- 29 -
2.3.3 - SICUREZZA DELLA CIRCOLAZIONE STRADALE.....	- 32 -

3 - STUDIO ESEGUITO NEL COMUNE DI CAMPOSPINOSO	- 36 -
3.0.1 - <i>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E DEMOGRAFICO.....</i>	<i>- 36 -</i>
3.0.2 - <i>PROBLEMATICHE DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA</i>	<i>- 37 -</i>
3.0.3 - <i>OBBIETTIVI DELLO STUDIO</i>	<i>- 38 -</i>
3.1 - METODICA DEL CENSIMENTO DEI CORPI ILLUMINANTI	- 40 -
3.1.1 - <i>ARMATURE</i>	<i>- 40 -</i>
3.1.2 - <i>LAMPADE</i>	<i>- 43 -</i>
3.1.3 - <i>ELEMENTI PER LA PROGETTAZIONE</i>	<i>- 43 -</i>
3.2 - INTERVENTI NEL BREVE PERIODO.....	- 46 -
3.2.1 - <i>PIAZZE IN ZONA RESIDENZIALE</i>	<i>- 50 -</i>
3.3 - INTERVENTI NEL MEDIO E LUNGO PERIODO.....	- 53 -
4 - CONCLUSIONI	- 54 -
APPENDICE.....	- 57 -
A - FOTOSINTESI CLOROFILLIANA	- 57 -
B - NOZIONI DI OTTICA.....	- 60 -
B.1 - <i>RADIAZIONI OTTICHE.....</i>	<i>- 60 -</i>
B.2 - <i>PROPRIETÀ FISICHE DELLE RADIAZIONI OTTICHE.....</i>	<i>- 62 -</i>
C - NOZIONI DI ILLUMINOTECNICA	- 65 -
C.1 - <i>GLOSSARIO DEI TERMINI</i>	<i>- 65 -</i>
C.2 - <i>LAMPADE PER ESTERNI</i>	<i>- 70 -</i>
C.3 - <i>ARMATURE.....</i>	<i>- 76 -</i>

ALLEGATI	- 81 -
A - LEGGE DELLA REGIONE LOMBARDIA n. 17/00	- 81 -
B - RILEVAZIONI DEL COMUNE DI CAMPOSPINOSO	- 92 -
<i>B.1 - STRADARIO</i>	<i>- 92 -</i>
<i>B.2 - LEGENDA</i>	<i>- 93 -</i>
<i>B.3 - CARATTERISTICHE DELLE LAMPADE FORNITE DA E.N.E.L. So.I.e.....</i>	<i>- 94 -</i>
<i>B.4 - TABELLE DI RILEVAZIONE</i>	<i>- 95 -</i>
<i>B.5 - TABELLE RIASSUNTIVE PARZIALI</i>	<i>- 106 -</i>
 BIBLIOGRAFIA	 - 109 -
 INDICE DELLE IMMAGINI	 - 111 -
 INDICE DELLE TABELLE E DEI GRAFICI.....	 - 112 -

Se l'automobile fosse una cellula

<<Da biochimico e ricercatore sul cancro io confronto sempre i sistemi biochimici con i sistemi che ci circondano: ho cercato analogie fra le cellule viventi e il traffico, e le ho trovate. Noi usiamo automobili da due tonnellate per trasportare 70 kg di uomo: nessuna specie potrebbe tollerare questo sistema per un lungo periodo di tempo, morirebbe. In natura evoluzione significa minor spreco di energia per svolgere la stessa funzione>>.

Frederic Vester

PREMESSA

La massima in apertura ben esemplifica gli aspetti negativi dello stile di vita contemporaneo dei Paesi sviluppati. Nel 1998 il mio compagno di corso Davide Cardone e io la utilizzammo anche in apertura del volume *Ambiente, vita, uomo*¹, che elaborammo dai nostri appunti come resoconto didattico dell'omonimo ciclo di seminari, organizzato dal Prof. Carlo Alberto Redi del Dipartimento di Biologia Animale e tenutosi all'Almo Collegio Borromeo. In quel corso appresi per la prima volta come cambiò l'impatto dell'Uomo sull'ambiente nel suo cammino evolutivo e quali erano gli effetti della "pesante" impronta ecologica contemporanea, lasciata da una parte della popolazione mondiale per mantenere il proprio tenore di vita. Tutto questo unitamente alla perdita del rispetto per l'ambiente furono, e sono anche al presente, la causa dei fenomeni di degrado dell'ambiente e d'inquinamento di entità variabile.

Il legittimo desiderio dei Paesi in via di sviluppo, nei quali vive la maggior parte dell'Umanità, di poter avere una crescita economica che possa garantire loro il nostro stesso livello di benessere diffuso, si scontra con le risorse finite del nostro pianeta, che non possono sopportare un eccessivo aumento dell'impronta ecologica e degli effetti e dai danni sull'ambiente che essa comporta. La complessità delle negative dinamiche ecologiche che si instaurano e i costi economici per contrastarle, non sempre sono ben comprese dai sostenitori della crescita economica basata sul modello consumista. Nell'ultimo decennio il progresso della tecnologia e l'adozione da parte delle Istituzioni di strumenti legislativi e normativi a tutela dell'ambiente, rendono possibile il modello di sviluppo economico sostenibile. Le ragioni della limitata applicazione di questo responsabile approccio al sostentamento delle comunità attuali e future, sono quindi da ricercare in una carenza d'informazione su più livelli.

Questo elaborato assolve quindi la duplice funzione di strumento divulgativo in merito agli aspetti ambientali, economici, tecnici, e di strumento operativo per censire le caratteristiche degli impianti d'illuminazione pubblica ed eseguire l'intervento graduale proposto, che vuole essere un esempio e un *input* per l'adeguamento dell'illuminazione pubblica alla Legge della Regione Lombardia n. 17 del 27 marzo 2000 dal titolo <<Misure urgenti in tema di risparmio energetico a uso di illuminazione esterna e di lotta all'inquinamento luminoso>>. L'inquinamento luminoso e lo spreco energetico, a esso correlato, producono un notevole impatto ambientale e delle

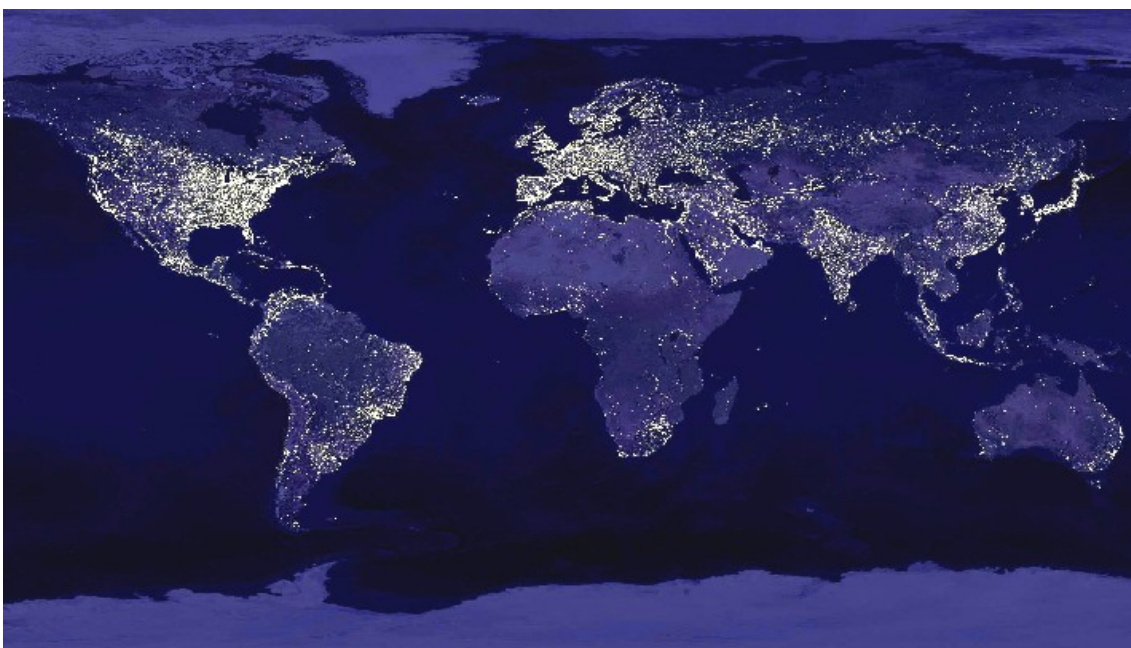
¹ non è posto in commercio e la sua diffusione è limitata agli usi interni o privati dell'Università, dell'Almo Collegio Borromeo e dei cultori della materia.

diseconomie non giustificabili, mentre è possibile conciliare le esigenze degli individui e la salvaguardia dell'ambiente per mezzo di una corretta pianificazione e gestione del sistema d'illuminazione pubblica economicamente compatibile e ambientalmente sostenibile. L'ottima L.R.L. n. 17/00 stimola le aziende del settore illuminotecnico a progettare e a realizzare delle armature antinquinamento luminoso a elevato rendimento. L'innovazione tecnologica e l'aumento dell'efficienza sono quindi la soluzione pratica alla via indicata dal biochimico F. Vester nella sua massima e il mezzo per ottenere reciproci vantaggi tra ecologia ed economia.

Il Comune di Campospinoso è stato scelto come rappresentante delle piccole realtà comunali, che sono la maggioranza dei Comuni italiani. In questi piccoli centri il problema si manifesta nella sua interezza: le abitazioni poco numerose e di altezza non elevata non offrono nessuna efficace barriera alle dispersioni orizzontali, e sono scarse sia le risorse finanziarie sia le risorse umane per affrontare in modo sistematico la riqualificazione dell'illuminazione pubblica.

Amartya Sen, il Premio Nobel per l'economia del 1998, disse che <<il futuro del mondo potrebbe dipendere proprio dalla nostra capacità di riuscire a collegare discipline diverse>>. Il percorso didattico multidisciplinare offerto da questo corso di laurea risponde a questa esigenza, preparando i suoi studenti ad affrontare la complessità delle tematiche ambientali, anche negli aspetti giuridico-economici, e a essere degli attenti gestori dell'ambiente.

Figura P-1: la Terra e l'inquinamento luminoso emesso dai corpi illuminanti visti dallo Spazio



(fonte: N.A.S.A.)

1 - INTRODUZIONE

1.1 - INQUINAMENTO LUMINOSO: DEFINIZIONE E CAUSE

In una notte serena e senza Luna, il cielo ha una luminosità determinata da molteplici sorgenti di luce naturale tra cui la luce delle stelle, la luce del Sole riflessa dalle polveri interplanetarie, la ricombinazione atomica nella ionosfera, ecc.

L'uomo osserva gli astri e ne studia i movimenti fin da un antico passato, come dimostrano gli studi di archeoastronomia, e per migliaia di anni solo le condizioni atmosferiche hanno limitato questo suo guardare e osservare il cielo.

Dal secolo scorso alla luminosità naturale si è aggiunta la componente luminosa prodotta dall'illuminazione artificiale: questa componente è l'inquinamento luminoso, che gli astronomi definiscono <<l'alterazione della quantità naturale di luce, presente nell'ambiente notturno, provocata dall'immissione di luce artificiale>>. Infatti, la parola inquinamento è definita dal vocabolario <<introduzione nell'ambiente naturale di sostanze chimiche o biologiche, o fattori fisici, in grado di procurare alterazioni o danni all'ambiente stesso>> (ZINGARELLI N., 1997).

L'inquinamento luminoso produce due tipi d'impatto ambientale:

- generalizzato, dovuto all'immissione in atmosfera di luce artificiale e alla successiva diffusione da parte delle molecole e degli aerosol in sospensione, che si comportano come sorgenti secondarie di luce;
- prossimale, dovuto all'inquinamento ottico² prodotto da quella luce, dispersa da una sorgente ottica artificiale, che illumina direttamente un'area o un soggetto che non è richiesto illuminare.

Nel primo caso l'impatto ambientale di un singolo punto luce è minimo mentre non lo è quello di tutti i punti luce di una strada o di un paese, analogamente all'effetto delle immissioni gassose in atmosfera o di quelle liquide nel reticolo idrografico. La valutazione di questo impatto richiede perciò di determinare quale dovrebbe essere l'emissione massima affinché la sommatoria degli effetti di tutti gli impianti attivi, produca un'alterazione trascurabile della quantità di luce naturale presente nell'ambiente.

² l'aggettivo ottico vuole sottolineare che questo tipo di inquinamento luminoso è prodotto dall'illuminamento diretto, basato sulle leggi dell'ottica geometrica, anziché dalla luce diffusa in atmosfera.

Nel secondo caso l'effetto è dato dal flusso luminoso che irradia una superficie o una persona: dato che l'illuminamento è inversamente proporzionale al quadrato della distanza dalla sorgente ottica, il raggio d'azione di questi effetti è limitato al circondario degli impianti di illuminazione.

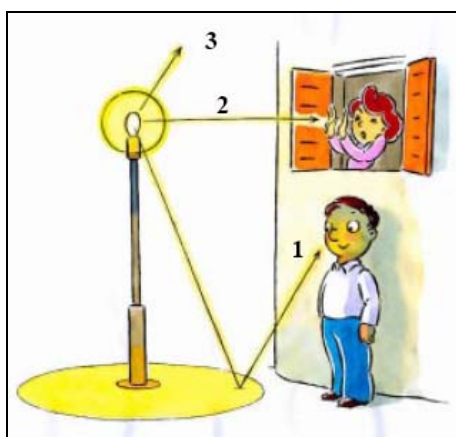
Quando la luce dispersa da una sorgente ottica artificiale colpisce direttamente una persona che è utente dell'impianto di cui fa parte la sorgente, il disturbo prodotto è l'*abbagliamento*: in questo caso il disturbo è legato al rapporto tra l'intensità della luce, che arriva direttamente al soggetto dalla sorgente, e quella che gli arriva dalla superficie illuminata dall'impianto.

Nel caso dell'*inquinamento ottico* invece il soggetto non è utente dell'impianto, quindi il disturbo è legato al valore assoluto dell'intensità della luce che arriva dalla sorgente. A esempio, è abbagliamento il disturbo prodotto agli atleti dai proiettori che illuminano un campo sportivo, ma è inquinamento ottico il disturbo prodotto dagli stessi proiettori a una persona che passeggia in una vicina strada buia.

Le radiazioni emesse dalle sorgenti ottiche naturali come le stelle, in assenza di ostacoli si propagano in tutte le direzioni dello spazio con superfici d'onda sferiche. Allo stesso modo, una sorgente ottica non schermata propaga in tutte le direzioni le radiazioni ottiche che emette, producendo l'inquinamento luminoso.

Infatti, la luce per illuminare deve seguire un percorso analogo a quello indicato dalla linea spezzata 1 della figura 1-1: dalla sorgente il raggio d'onda ottica raggiunge un'area, per esempio una pavimentazione stradale, per venirne in parte riflesso verso l'occhio dell'osservatore dove avverrà il processo della visione.

Figura 1-1: emissione luminosa di un corpo illuminante a sfera



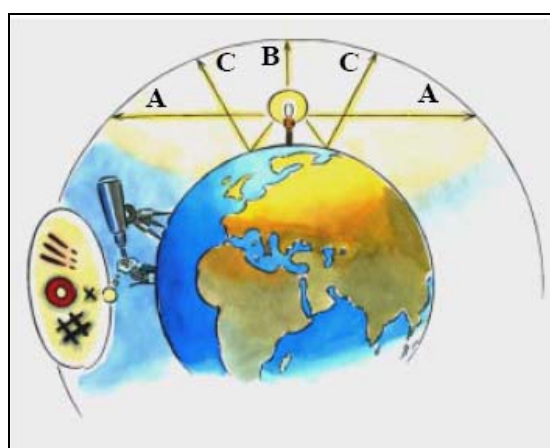
(fonte: VEDOVATO M., 2002)

La radiazione ottica che si propaga in altre direzioni, per esempio lungo le linee 2 e 3, rimane inutilizzata; anzi, il raggio d'onda ottica lungo la linea 2 è addirittura

controproducente poiché, arrivando direttamente all'occhio dell'osservatore, ne causa l'abbagliamento. Quindi, solo la luce che si riflette nell'area da illuminare è funzionale allo scopo.

In linea con quanto disposto dal legislatore si può enunciare una definizione più tecnica di inquinamento luminoso: *ogni forma di irradiazione di luce artificiale che si disperda al di fuori delle aree a cui essa è funzionalmente dedicata e, in particolare, oltre il piano dell'orizzonte*. La prima parte della proposizione appare immediatamente chiara: la luce che non irradia gli oggetti da illuminare è inutilizzata. Per comprendere la seconda parte occorre analizzare come si propaga l'inquinamento luminoso nell'atmosfera. Nella figura 1-2 sono rappresentate le tre tipiche emissioni luminose generate da un lampione a sfera, che riassume tutti i possibili difetti di un corpo illuminante.

Figura 1-2: direzioni delle emissioni luminose



(fonte: VEDOVATO M., 2002)

Analizziamo ciascuna di queste emissioni:

- A - è diretta verso il piano dell'orizzonte: questo tipo di emissione arriva a propagarsi fino a 200-300 km di distanza dalla sorgente ottica, oltre la quale interviene la naturale curvatura terrestre a disperdere nello spazio i raggi d'onda ottica. In questo "tragitto" la luce emessa attraversa un considerevole spessore atmosferico³, per cui il meccanismo della diffusione agisce molto più efficacemente e di conseguenza è più rilevante l'aumento di luminosità artificiale di fondo del cielo;
- B - è diretta verso lo zenit: dopo aver attraversato l'atmosfera si disperde nello Spazio. Contribuisce ad aumentare l'inquinamento luminoso a livello locale;

³ maggiore rispetto a quello attraversato dalle emissioni contrassegnate con B e C che esamineremo di seguito.

C - è dovuta ai raggi d'onda ottica riflessi dalle superfici illuminate (strade, piazze, marciapiedi, edifici, ecc...), quindi questo inquinamento da luce indiretta è prodotto dalla radiazione ottica effettivamente utilizzata per illuminare. Il flusso luminoso riflesso ammonta a circa il 10% del flusso incidente e, sommandosi all'emissione B, contribuisce ad aumentare l'inquinamento luminoso a livello locale.

Il concetto fondamentale da comprendere per affrontare l'argomento è che il contributo più rilevante all'inquinamento luminoso non è dato dalle emissioni dirette verso la verticale, che inquinano a livello locale, ma da quelle dirette verso il piano dell'orizzonte o a piccoli angoli sopra di esso, che inquinano a molta distanza dalla sorgente ottica: in questo tipo di immissione inquinante nell'ambiente, l'effetto è determinato non solo dalla quantità ma anche dalla direzione dell'emissione. Pertanto, utilizzare dei parametri di valutazione basati solo sulla quantità di flusso luminoso immesso nell'ambiente non è sufficiente ed è necessario utilizzarne altri che tengano conto anche della direzione di tale immissione. Occorre, quindi, intervenire su tutte le direzioni di propagazione delle emissioni luminose:

- per quelle dirette verso il piano dell'orizzonte o sopra di esso (A e B), per mezzo di armature schermate;
- per l'inquinamento da luce indiretta (C), per mezzo della progettazione di impianti di illuminazione che tengano conto, in modo corretto, del tipo di superficie da illuminare e del suo effettivo coefficiente di riflessione, per non erogare un flusso luminoso eccessivo, ma adatto a garantire un adeguato *comfort* visivo e la sicurezza della circolazione stradale.

Figura 1-3: la pianura padana di notte vista dal monte Campo dei Fiori (VA)



(fonte: Unione Astrofili Italiani)

Agli effetti diretti che l'inquinamento luminoso ha sull'ambiente, si aggiungono quelli indiretti causati dallo spreco di energia elettrica per produrre radiazione ottica in eccesso od inutilizzata. Le conseguenze di questo spreco sono, in primo luogo, la maggior quantità di emissioni gassose prodotte dai processi di combustione e l'abuso delle risorse naturali impiegate nella produzione di energia elettrica; in secondo luogo lo spreco legato alla produzione dell'impiantistica per l'illuminazione.

Altro obiettivo da perseguire, è la razionalizzazione dei consumi energetici negli apparecchi di illuminazione pubblica e l'ottimizzazione dei costi di esercizio e di manutenzione degli stessi, in un'ottica di sostenibilità.

1.2 - LEGGE DELLA REGIONE LOMBARDIA n. 17/00

Nei paragrafi precedenti si è sottolineato come la radiazione ottica artificiale, che si disperde al di fuori delle aree a cui essa è funzionalmente dedicata e, in particolare, oltre il piano dell'orizzonte, è l'inquinamento luminoso, i cui effetti sono amplificati e aggravati da quello atmosferico. L'effetto finale è che il bagliore diffuso distribuito uniformemente nel campo visivo di un osservatore o di un telescopio, si presenta come un rumore di fondo che diminuisce il contrasto e quindi la capacità di distinguere gli oggetti deboli rispetto al fondo. La manifestazione più evidente di questo fatto è l'aumento della luminosità artificiale del cielo notturno, che nel corso degli ultimi decenni ha ostacolato le attività di ricerca e di divulgazione scientifica degli astronomi e degli astrofili. L'articolo 9 della Costituzione della Repubblica Italiana sancisce che: <<La Repubblica promuove lo sviluppo della cultura e la ricerca scientifica e tecnica. Tutela il paesaggio e il patrimonio storico e artistico della Nazione>>. Quindi il cielo, essendo parte della Natura e del paesaggio che ci circonda, deve essere salvaguardato come le altre componenti dell'ambiente.

La necessità di tutelare questo patrimonio dell'Umanità, ha reso gli astronomi e gli astrofili i primi promotori delle iniziative di lotta all'inquinamento luminoso. Nella Regione Lombardia, a esempio, è stata proprio l'associazione di astrofili CieloBuio a promuovere la Legge regionale n. 17 del 27 marzo 2000⁴ dal titolo <<Misure urgenti in tema di risparmio energetico a uso di illuminazione esterna e di lotta all'inquinamento luminoso>>.

Nell'articolo 1, che enuncia le finalità di questo intervento normativo, il legislatore affronta tutte le tematiche relative alla dispersione della luce artificiale:

- a) *la riduzione dell'inquinamento luminoso e ottico* sul territorio regionale attraverso il miglioramento delle caratteristiche costruttive e dell'efficienza degli apparecchi, l'impiego di lampade a ridotto consumo ed elevate prestazioni illuminotecniche e l'introduzione di accorgimenti antiabbagliamento;
- b) *la razionalizzazione dei consumi energetici* negli apparecchi di illuminazione, in particolare da esterno, l'ottimizzazione dei costi di esercizio e di manutenzione degli stessi;
- c) *la riduzione dell'affaticamento visivo* e il miglioramento della sicurezza per la circolazione stradale;

⁴ il testo completo, modificato ed integrato da successive disposizioni, è a pag. 81.

- d) *la tutela delle attività di ricerca scientifica e divulgativa* degli osservatori astronomici e astrofisici, professionali e non, di rilevanza nazionale, regionale o provinciale e di altri osservatori individuati dalla Regione;
- e) *la conservazione e la tutela degli equilibri ecologici* sia all'interno che all'esterno delle aree naturali protette.

Nell'articolo 1 *bis* sono enunciate le definizioni di inquinamento luminoso e di inquinamento ottico che sono state analizzate nel capitolo 1.1.

Per realizzare le finalità della legge all'articolo 4 sono previsti per i Comuni due adempimenti obbligatori:

- si devono dotare entro e non oltre il 31 dicembre 2006 dei piani di illuminazione. Questo strumento deve essere redatto per censire la consistenza e lo stato di manutenzione degli impianti d'illuminazione pubblica, sul territorio amministrativo di competenza, e per disciplinare le nuove installazioni, nonché i tempi e le modalità di adeguamento, manutenzione, sostituzione di quelle esistenti: la proposta d'intervento graduale che ho elaborato durante il mio *stage* e illustrata nel capitolo 3, è un incentivo e una base su cui lavorare per la realizzazione del piano dell'illuminazione;
- l'autorizzazione per tutti gli impianti di illuminazione esterna è rilasciata se il progetto illuminotecnico dell'opera da realizzare è redatto da figure professionali specialistiche, che ne attestino inequivocabilmente la rispondenza ai requisiti della presente legge. A fine lavori, l'impresa installatrice deve produrre al committente, unitamente alla certificazione di collaudo, la dichiarazione di conformità alle disposizioni della presente legge dell'impianto realizzato in relazione al progetto approvato.

In questo modo il legislatore mira alla qualità dell'illuminazione esterna obbligando, da una parte, i Comuni alla programmazione organica e disciplinata degli interventi sul territorio, dall'altra, i progettisti e gli installatori a una maggiore professionalità e conoscenza dell'illuminotecnica e dei prodotti con la più alta efficienza possibile, in relazione alla migliore tecnologia disponibile economicamente compatibile.

Per l'attuazione di quanto previsto dall'articolo 1, dalla data di entrata in vigore della presente legge, tutti gli impianti di illuminazione esterna, pubblica e privata, in fase di progettazione o di appalto, sono eseguiti secondo la regolamentazione tecnica delle sorgenti ottiche antinquinamento luminoso e a ridotto consumo energetico enunciata nell'articolo 6. Il comma 2 di questo articolo è il fulcro operativo della legge

perché interviene sulle tre emissioni luminose generate dal corpo illuminante e sul consumo di energia elettrica:

- le emissioni A e B sono eliminate in quanto l'intensità luminosa massima a 90° e oltre è di 0 cd/klm;
- l'emissione C è minimizzata in quanto non si devono sovrailluminare le superfici, ma mantenere il livello minimo di luminanza media previsto dalle norme di sicurezza;
- gli impianti d'illuminazione devono essere equipaggiati di lampade con la più alta efficienza possibile in relazione allo stato della tecnologia e devono essere provvisti di appositi dispositivi in grado di ridurre, entro le ore ventiquattro, l'emissione di luce degli impianti in misura non inferiore al trenta per cento rispetto al pieno regime di operatività. La riduzione va applicata qualora le condizioni d'uso della superficie illuminata siano tali che la sicurezza non ne venga compromessa.

In ottemperanza a queste disposizioni, le case costruttrici, importatrici o fornitrici certificano la rispondenza del singolo prodotto alla presente legge. La verifica delle emissioni luminose viene effettuata misurando la distribuzione spaziale dell'intensità luminosa, rappresentata graficamente dalle *curve fotometriche*⁵.

Al fine di migliorare la sicurezza stradale e nel contempo ridurre i costi complessivi dell'impianto d'illuminazione pubblica, i commi 10 *bis* e 10 *ter* dell'articolo 6 dispongono che:

- a parità di luminanza, siano impiegate armature che conseguano impegni ridotti di potenza elettrica, condizioni ottimali di interasse dei punti luce e ridotti costi manutentivi;
- i nuovi impianti di illuminazione stradali tradizionali devono garantire un rapporto fra interdistanza e altezza delle sorgenti luminose non inferiore al valore di 3,7, in modo tale da diminuire il numero delle sorgenti ottiche e dei pali che le sostengono;
- gli apparecchi destinati all'illuminazione esterna, sia pubblica che privata, in particolare se non funzionalmente dedicati alla circolazione stradale, non devono costituire elementi di disturbo per gli automobilisti e per gli interni delle abitazioni.

⁵ queste curve sono riportate nei cataloghi di armature.

Il legislatore non ha intenzionalmente fatto riferimento alla norma tecnica UNI 10819 del marzo 1999⁶, perché non garantisce un'appropriata limitazione dell'inquinamento luminoso. Infatti, essa consente una frazione percentuale di flusso luminoso emesso verso l'alto da un impianto, che supera il limite di 0 cd/klm stabilito dalla L.R.L. 17/00: questa norma tecnica è quindi una presunzione minima della "regola dell'arte" per quanto riguarda la qualità dell'illuminazione, per cui gli impianti realizzati rispettando le disposizioni della L.R.L. 17/00 sono eseguiti anche a "regola d'arte". Inoltre, istituisce all'interno dei confini regionali, aree denominate 1, 2 o 3 in cui il valore di questa frazione varia, mentre le disposizioni dell'articolo 6 della L.R.L. 17/00 valgono in tutto il territorio regionale e sono tenuti a rispettarle sia il pubblico sia il privato. Quindi, tale norma è da applicare solo ed esclusivamente nelle zone in cui non è vigente un regolamento o una legge regionale che regoli l'emissione della dispersione luminosa oltre un certo angolo.

La L.R.L. 17/00 costituisce un corretto punto di partenza per lo sviluppo di un'illuminotecnica rispettosa dell'ambiente, nella quale il nuovo *standard* dell'illuminazione notturna è basato sulla qualità e non più solamente sulla quantità. Per questo motivo la Regione Lombardia nel 2001 ha ricevuto il premio internazionale "Per una stella in più" dall'International Dark-Sky Association e, in onore dell'associazione promotrice di questa ottima legge, l'Unione Astronomica Internazionale ha assegnato il nome CieloBuio all'asteroide 13777, scoperto nell'ottobre del 1998.

⁶ "Luce ed illuminazione - Impianti di illuminazione esterna: requisiti per la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso".

1.3 - ECONOMIA DELL'AMBIENTE E SVILUPPO SOSTENIBILE

L'economia si è occupata a lungo solo dei "beni economici", cioè disponibili in quantità limitata rispetto ai bisogni da soddisfare. Nella seconda metà degli anni settanta del secolo scorso, con il mutare delle condizioni storico-economiche (a esempio le crisi petrolifere), alcuni studiosi misero in evidenza i costi ambientali derivanti dalla crescita economica e i primi problemi di scarsità anche per i cosiddetti "beni liberi" (paesaggi, aria, acqua, ecc...), al pari delle risorse sfruttate come "beni economici" (carbone, petrolio, metalli, ecc...).

Oggi l'ambiente è a tutti gli effetti una risorsa economica perché può essere utilizzato per soddisfare i bisogni umani sia direttamente (fruizione dei boschi per attività ricreative, l'aria per le esigenze biologiche) sia indirettamente, quando è impiegato nella realizzazione di "beni di consumo": in questo caso l'ambiente svolge le funzioni di fonte di risorse naturali per i processi produttivi, di localizzatore delle attività produttive, di ricettore delle sostanze inquinanti.

I problemi che la scienza economica cerca di risolvere in merito alle risorse sono: come ripartirle fra usi alternativi, come utilizzarle in modo efficiente e a vantaggio di chi. L'ultimo di questi problemi è il primo da cui partire per superare i limiti "ambientali" dell'economia neoclassica, che si basa sul principio utilitaristico, ovvero sul fatto che il benessere di una società è funzione del livello di benessere degli individui che la compongono, dato dal desiderio di massimizzare l'utilità dei beni economici. Questo approccio basato sulle preferenze degli individui, espressione dell'utilitarismo, non comprende la complessità e l'esigenza dei processi ambientali e degli altri esseri che non siano quelli umani: l'importanza attribuita dai singoli individui a questi aspetti è diversa per ognuno. Quindi, i valori che la società attribuisce alle risorse ambientali non devono essere dati solo dalla somma dei valori dei singoli individui ma dovrebbero essere superiori, perché un approccio basato sulla somma delle preferenze individuali può comportare la distruzione di ecosistemi, l'estinzioni di specie, l'alterazione dell'equilibrio dinamico naturale della Terra⁷. I bisogni degli individui non devono essere considerati come l'unico motore del sistema economico ma occorre integrarli con i valori che vanno oltre il benessere della collettività (a esempio, il diritto all'esistenza di altre specie, l'esistenza di equilibri biologici, ecc...)

⁷ i cambiamenti climatici indotti dall'effetto serra antropico, che si somma a quello naturale, ne sono un esempio.

I riferimenti idonei a questo scopo sono funzioni di benessere sociale in grado di fornire l'ordine di preferenza in cui la società pone situazioni economiche alternative, che possono essere distinte secondo la produzione e la distribuzione dei beni e dei servizi tra le persone facenti parte del sistema economico. La teoria economica neoclassica deve essere integrata per considerare la complessità del rapporto tra sistema economico e sistema ambientale e della loro interdipendenza con la società e le sue istituzioni, con un orizzonte temporale non limitato al breve periodo come quello dell'attuale sistema di mercato.

Per ottenere questo risultato l'economia dell'ambiente utilizza un approccio basato sull'analisi interattiva del sistema economico e del sistema ambientale, che intende la produzione come un processo di trasformazione di materiali. Le immissioni di inquinanti nell'ambiente non sono più considerate esternalità negative⁸, indesiderati sottoprodotti di scarto conseguenza della combinazione dei vari fattori produttivi, ma sono una parte del processo di trasformazione di materiali che deve essere attentamente valutata.

Il termine trasformazione è adoperato al posto di produzione perché l'economia dell'ambiente ha unito le leggi dell'economia con quelle della fisica, riferendosi *in primis* alle leggi della termodinamica. Infatti, la prima legge, definita la legge della conservazione della materia, enunciando che non è possibile né la creazione né la distruzione dell'energia o della materia, legata a essa da rapporti di equivalenza, permette solo processi di trasformazione e non di produzione. La seconda legge, definita la legge dell'entropia o degradazione dell'energia, affermando che l'energia può essere trasformata solo da uno stato più disponibile a uno meno disponibile, è alla base del processo di distruzione delle risorse.

Un semplice esempio fornito dalla gestione integrata dei rifiuti può aiutare a capire questo concetto: i rifiuti sono energia dissipata quando sono costituiti da materiali di natura diversa e tanto maggiore è la diversità di questa natura, tanto maggiore è la difficoltà di recupero e di riciclo, ovvero l'improbabilità di ottenere ordine⁹ (a costi economici accettabili). L'ulteriore dissipazione dell'energia la porta in uno stato non disponibile: ne è un esempio l'inquinamento, ciò che resta dell'energia trasformata da uno stato disponibile.

⁸ si hanno quando le attività di trasformazione o di consumo causano dei costi esterni che ricadono su soggetti diversi da quelli che li hanno originati, senza che si abbia compensazione per tali costi.

⁹ la raccolta differenziata dei rifiuti realizzata dal produttore mantiene bassa l'entropia perché la frazione separata è omogenea.

Quindi, la politica economica dovrebbe incentivare le attività economiche che, investendo in ricerca scientifica e innovazione tecnologica, sviluppano e utilizzano processi produttivi più efficienti che, impiegando meno risorse e minimizzando i rifiuti prodotti, dissipano meno energia (conservano bassa entropia).

Le argomentazioni esposte avvicinano l'economia e l'ecologia, dando risalto alla loro radice comune *eco*, che deriva dal greco *ôikos* che significa casa: la tesi sostenuta dagli economisti, secondo la quale la crescita economica comporta utilità crescenti che compensano abbondantemente gli inevitabili danni ambientali che causa, e quella sostenuta dagli ecologisti, secondo la quale le utilità sono decrescenti e i danni ambientali sono crescenti, possono trovare un punto d'incontro in un nuovo modo di gestire le risorse ambientali e le risorse naturali.

Il conseguimento di questo obiettivo si basa sul concetto di sviluppo economico sostenibile divulgato dal Rapporto Brundtland nel 1987: <<L'umanità ha la possibilità di rendere sostenibile lo sviluppo, cioè far sì che esso soddisfi i bisogni dell'attuale generazione senza compromettere la capacità di quelle future di soddisfare i loro>>.

L'orizzonte temporale del sistema di mercato si estende al lungo periodo affinché, attraverso il miglioramento del rendimento del flusso di risorse e la conseguente conservazione degli *stock*, si possa avere uno sviluppo economico che duri nel tempo e che comprenda anche finalità sociali, di equità infragenerazionale o redistributiva e intergenerazionale.

Per sviluppo economico si intendono, infatti, non solo le modifiche quantitative riguardanti la struttura economica, ma anche quelle qualitative che coinvolgono la società e le istituzioni: il coinvolgimento di tutti gli *stakeholders* nella definizione degli obiettivi e delle priorità da seguire è necessario per definire la sostenibilità nel rispetto delle esigenze degli individui.

Per svolgere la loro funzione civica gli *stakeholders* devono essere correttamente informati. Infatti, l'asimmetria informativa è spesso uno dei motivi di fallimenti del mercato. Nel prendere le decisioni che coinvolgono l'uso dell'ambiente, la mancanza d'informazione è un fattore che spesso condiziona la discussione ed è dovuta sia all'incertezza scientifica sul manifestarsi di certi eventi, sia al semplice fatto che molte persone ignorano i danni causati dall'errata gestione delle risorse ambientali e naturali, anche a causa della sua complessità. Il ruolo della divulgazione scientifica è senz'altro di supporto al processo decisionale, ma non può prescindere dalla volontà di salvaguardare l'ambiente.

La tesi sostenuta in questo elaborato applica il concetto di sostenibilità alla gestione dell'illuminazione pubblica. L'inquinamento luminoso non solo vanifica gli investimenti nella ricerca scientifica astronomica eseguita dalla Terra e l'impegno amatoriale degli astrofili, che la affianca e la sostiene avvicinando la popolazione all'osservazione del cielo stellato, ma è anche un problema per la biosfera. Lo spreco energetico a esso associato è un ingiustificato:

- depauperamento dello *stock* di risorse naturali del pianeta e di risorse finanziarie dei Comuni;
- utilizzo di suolo per la localizzazione delle centrali termoelettriche e delle relative infrastrutture¹⁰;
- aumento dell'immissione nell'atmosfera di inquinanti gassosi.

La presente proposta d'intervento graduale studiata per i piccoli Comuni, è atta a conseguire un contenimento, dove possibile, dell'inquinamento luminoso e dello spreco energetico, per ottenere un miglioramento della qualità dell'ambiente e un risparmio economico che potrebbe essere reinvestito nell'adeguamento degli impianti di illuminazione pubblica alla L.R.L. 17/00.

Infine, la realizzazione di nuovi e più efficienti impianti in un Comune, seguendo la strategia del miglioramento continuo delle *performances* ambientali ed economiche, concorda con il principio "pensare globalmente, agire localmente". La dimensione locale dello sviluppo assume grande rilevanza perché è proprio in questo ambito che le azioni di promozione della sostenibilità si rivelano più efficaci.

¹⁰ si ricordi che la LULU - *locally unwanted land use* - provoca la reazione NIMBY - *not in my backyard* - delle comunità locali.

2 - IMPATTO AMBIENTALE DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO

Tutte le forme di vita nella loro evoluzione non hanno potuto prescindere dall'esistenza della radiazione ottica, la cui principale sorgente per il nostro pianeta è il Sole: per la maggior parte dei sistemi biologici l'alternarsi tra giorno e notte, tra luce e buio, è un fattore fondamentale della loro vita. Quando nel 1880 Thomas Alva Edison costruì la prima lampada a incandescenza, iniziò l'era dell'illuminazione pubblica elettrica: solo alla fine del secolo scorso si capì che, negli ecosistemi inquinati dalla luce artificiale che si disperde al di fuori delle aree a cui essa è funzionalmente dedicata, l'alterazione del ritmo circadiano è fonte di stress per gli esseri viventi, siano essi piante o animali. Infatti, i valori esposti nella tabella 2-1 mostrano che una strada poco illuminata supera ampiamente la luminosità dei corpi celesti in una notte sgombra di nuvole.

Tabella 2-1: valori d'illuminazione, espressi in lux, in alcune situazioni

situazione	illuminazione minima	illuminazione massima
stelle	-	0,001
Luna	-	0,2
strada illuminata	5	60
abitazione	-	300
ufficio luminoso	400	600
giornata nuvolosa	1.000	10.000
giornata soleggiata	50.000	100.000

(fonte: BERGAMIN S., 2004)

Gli effetti di disturbo della luce artificiale si possono classificare in due categorie (CINZANO P., 2004):

- effetti delle immissioni luminose dirette verso l'alto;
- effetti delle immissioni luminose dirette verso il basso.

Nel primo caso si tratta di effetti della luce artificiale su soggetti in quota (es. disturbo alle migrazioni) e di effetti dell'illuminamento secondario al suolo prodotto dalla luce artificiale diffusa dall'atmosfera. Per i soggetti in quota, un possibile parametro per quantificare l'impatto nel territorio è la "distanza d'impatto", cioè la distanza in funzione dell'altitudine oltre la quale il soggetto non viene disturbato dall'impianto: è stato calcolato che, in una notte di Luna nuova, per gli insetti questa distanza è di circa 400-700 metri¹¹. I parametri di quantificazione per valutare la luce diffusa dall'atmosfera che illumina il suolo, e che ha un effetto importante nel determinare la

¹¹ Prof. EISENBEIS G., Dipartimento di Biologia, Università Johannes Gutenberg, Mainz (Germania).

luminosità ambientale percepita dall'animale, potranno essere, invece, l'illuminamento orizzontale al suolo e la somma integrale della luminanza del cielo e del suolo.

Gli effetti delle immissioni luminose verso il basso sono, invece, dovuti all'illuminamento diretto da parte degli apparecchi dell'impianto sulla superficie o sul soggetto coinvolto. I livelli, di solito, sono notevoli e di elevato impatto vicino agli impianti e la loro valutazione va fatta in base alla mappatura dell'inquinamento riscontrato punto per punto in un'ampia area attorno all'impianto (curve isolux, cioè di ugual illuminamento).

Le situazioni o comportamenti anomali causati da questi disturbi sono oggetto di disamina dei prossimi paragrafi.

2.1 - EFFETTI SULLA FLORA

Alla base della catena alimentare ci sono i vegetali, organismi autotrofi che trasformano il carbonio inorganico in carbonio organico assimilabile dagli organismi eterotrofi, utilizzando l'energia della radiazione solare per effettuare la fotosintesi clorofilliana¹². I vegetali che di notte sono illuminati dalla luce artificiale manifestano alcune disfunzioni fisiologiche, come l'alterazione di questo processo fotochimico e l'anomala crescita delle foglie.

2.1.1 - ALBERATURE CITTADINE

Percorrendo un viale alberato cittadino nel periodo vegetativo si può notare che le chiome degli alberi ubicati in prossimità dei lampioni stradali, si protendono verso le sorgenti luminose. Il fototropismo positivo è l'effetto più evidente dell'influenza della luce artificiale dato che la vegetazione, diminuendo l'illuminazione della carreggiata, va a influire sulla sicurezza degli utenti della strada. Dall'osservazione di questo fenomeno, si è sviluppato un filone di ricerca che ha evidenziato altre alterazioni della fisiologia delle piante cittadine (CASAGRANDE R., GIULINI P., 1983): è stato analizzato lo spettro di emissione delle lampade maggiormente utilizzate nell'illuminazione urbana di Padova per confrontarlo con lo spettro solare e con lo spettro di assorbimento dei pigmenti vegetali. I risultati ottenuti hanno mostrato che le lampade a incandescenza e quelle al quarzo-iodio, emettendo lunghezze d'onda dai 350 agli 800 nm, si avvicinano in maggior misura allo spettro solare: è per questo motivo che influenzano in modo significativo l'attività biologica delle piante. La luce emessa da queste lampade crea una situazione di stress nelle piante, prolungando la fase luminosa della fotosintesi anche nella notte. Inoltre, la radiazione termica emessa dalle lampade produce nelle sue immediate vicinanze un microclima che riscalda le foglie provocando ritardi nella fase di riposo o anticipi del periodo vegetativo e di fioritura. Questo riscaldamento può anche creare l'*habitat* favorevole ai parassiti dei vegetali che, nel tempo, possono nuocere alla vita stessa della pianta. Infine, le lampade a incandescenza stimolano l'attività dei fitocromi¹³: le foglie che vengono illuminate risultano più grandi e risultano chiaramente allineate con la fonte di luce. Le reazioni delle piante esposte alla luce emessa dalle lampade ai vapori di mercurio e ai vapori di sodio ad alta

¹² per un approfondimento su questo processo si veda a pag. 57.

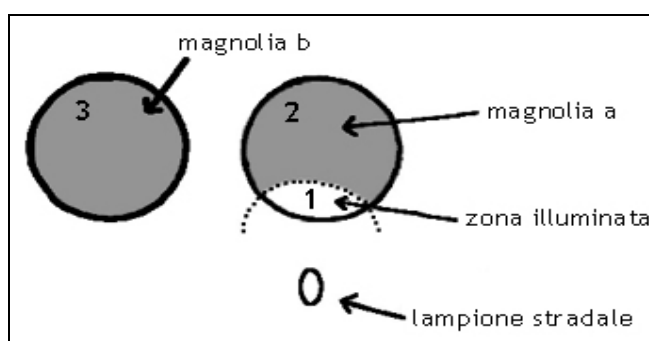
¹³ pigmento di colore blu che controlla le reazioni fotomorfogenetiche, periodiche e non, legate all'influenza delle radiazioni ottiche, come l'accrescimento, la fioritura, la germinazione dei semi, ecc..., indipendentemente dalla funzione clorofilliana.

pressione non furono allora certe, mentre quelle esposte alla luce emessa dalle lampade ai vapori di sodio a bassa pressione non ne evidenziarono nemmeno dopo una prolungata esposizione.

2.1.2 - STUDIO ESEGUITO SULL'EFFICIENZA FOTOSINTETICA

Nel 1995 venne condotta una ricerca su due esemplari di *Magnolia Grandiflora L.*, ubicati all'ingresso dell'orto botanico di Padova (ROMAN A. et al., 1995). La magnolia *a* della figura 2-1, illuminata da una lampada ai vapori di mercurio da 125 W distante circa 2,2 m, fu campionata sia dalla parte illuminata che dalla parte oscura. I campioni di controllo provennero dalla magnolia *b* ubicata nella zona non illuminata, quindi con il fotoperiodo regolare.

Figura 2-1: ubicazione delle magnolie e della sorgente ottica



(fonte: ROMAN A. et al., 1995)

L'efficienza fotosintetica è un indicatore dello stato fisiologico delle foglie e la si può misurare utilizzando il metodo dell'induzione di fluorescenza. La quantità e la cinetica dell'emissione di fluorescenza¹⁴ furono misurate tramite uno strumento chiamato P.A.M.F. (*Photo Amplitude Modulate Fluorimeter*) e, dopo circa un anno di esperimenti, i risultati evidenziarono che l'efficienza fotosintetica nella zona esposta all'illuminazione artificiale è significativamente inferiore rispetto alle due zone che si trovano in condizione di buio. Dato che le magnolie sono ubicate nello stesso giardino, a pochi metri di distanza l'una dall'altra, è da escludere che i valori di questo indicatore siano stati influenzati dai fattori meteorologici, mentre è più probabile che sia la presenza del lampione stradale vicino alla pianta a determinare, nel lungo periodo, squilibri fisiologici (per esempio la bassa produzione di clorofilla). Questo lavoro concorre, quindi, a dimostrare che anche la luce emessa dalle lampade ai vapori di mercurio causa uno stress alle foglie, che ne sono direttamente esposte, alterando il normale processo fotosintetico.

¹⁴ cfr. nota 43, pag. 58.

2.2 - EFFETTI SULLA FAUNA

2.2.1 - INSETTI

Questa classe d'invertebrati si è adattata a sopravvivere nelle più avverse condizioni ambientali grazie all'enorme biodiversità¹⁵, a un ciclo riproduttivo breve e molto prolifico, alle ridotte dimensioni, a organi di senso molto sviluppati: gli organi della vista, in particolare, sono due paia di occhi composti, costituiti da migliaia di elementi semplici, gli ommatidi, e tre occhi semplici, gli ocelli, disposti a triangolo tra le antenne. Il grande numero d'individui e la sensibilità visiva della quale sono dotati sono il motivo dell'elevato numero di soggetti vittime dell'inquinamento luminoso.

Gli efemotteri, i lepidotteri, i ditteri, i coleotteri e molti altri insetti manifestano fototropismo positivo alla luce dei lampioni, al punto da morire bruciati dalla lampada, se non è protetta da un vetro: questo fenomeno è da tutti osservabile nelle notti dei mesi più caldi. È stato calcolato che ogni notte, da maggio a settembre, circa 5.000 farfalle notturne vadano a morire su una lampada a vapori di mercurio da 2.000 W, utilizzata per l'illuminazione di una statua nelle vicinanze di Matera; considerando l'intero sistema di illuminazione il numero sale a circa cinque milioni di individui l'anno (HAUSMANN A., 1992). In effetti, sono sempre più rare, anche a causa della riduzione del loro habitat e dell'utilizzo dei prodotti chimici a difesa delle colture agricole.

L'illuminazione artificiale influisce negativamente anche sui meccanismi naturali di controllo delle popolazioni: il disturbo alla visione può rendere le farfalle notturne prede più facili da catturare per i ragni, gli uccelli notturni, i pipistrelli. Anche se in questo caso la specie predatrice trae un vantaggio dalla presenza d'illuminazione artificiale, si tratta comunque di un'alterazione biologica a danno di un'altra specie.

La morte di miliardi di insetti a causa d'impianti d'illuminazione mal concepiti, è destabilizzante per l'intero ecosistema, dati i molti ed essenziali ruoli ecologici che gli insetti ricoprono.

La conservazione e la tutela degli equilibri ecologici sia all'interno che all'esterno delle aree naturali protette è una delle finalità della L.R.L. 17/00: quindi un intervento mirato a cercare di diminuire questi fenomeni consiste nel diminuire il flusso luminoso delle sorgenti ottiche o di spegnerle nei luoghi dove non sono necessarie. In ogni caso è necessario provvedere a proteggere le lampade in modo che gli insetti non possano entrarvi in contatto, e dotare gli impianti di illuminazione di lampade ai vapori di sodio

¹⁵ la più ricca del pianeta con più di un milione e mezzo di specie conosciute.

a bassa pressione, dato che le lampade stradali che attirano maggiormente gli insetti sono quelle ai vapori di mercurio.

2.2.2 - RETTILI

La presenza di luce artificiale sulle spiagge di nidificazione è una seria minaccia per la continuazione della specie delle tartarughe di mare.

La risposta comportamentale nella deposizione delle uova in presenza di luce artificiale delle specie di testuggini marine *Caretta Caretta* o tartaruga verde e *Chelonia Mydas* o tartaruga di mare, che nidificano rispettivamente sulle spiagge di Melbourne Beach in Florida e Tortuguero in Costa Rica, è stata oggetto di studio (WITHERINGTON B. E., 1992): è stata selezionata in ciascuno dei due luoghi un settore di spiaggia isolata in condizioni di buio e lontano da attività umane; qui è stata svolta una sperimentazione con l'illuminazione prodotta da lampade ai vapori di mercurio e ai vapori di sodio a bassa pressione, e quelli di controllo con condizioni di buio.

I risultati ottenuti hanno evidenziato che in un'area di 50 m circa di raggio intorno alle lampade ai vapori di mercurio, il numero di tartarughe verdi e tartarughe di mare che si annidano è risultato significativamente ridotto rispetto alle condizioni di buio. Inoltre, è stato riscontrato anche che è diminuito il numero di tartarughe che transitano in prossimità dei lampioni senza annidarsi, e che nel ritorno verso l'oceano gli animali non seguono il percorso usuale più diretto. Nelle zone illuminate con lampade ai vapori di sodio a bassa pressione la differenza rispetto alle condizioni di buio appare meno marcata.

Le radiazioni ottiche emesse dalle lampade ai vapori di mercurio, e degli altri tipi di lampade che hanno emissioni spettrali ampie, interferiscono con lo spettro di sensibilità visiva delle tartarughe, le quali confondono le luci delle lampade con la luce diurna. Oltre a ciò, le luci delle costruzioni edificate alle spalle della spiaggia vengono spesso scambiate dalle tartarughe marine appena uscite dall'uovo per il riflesso delle stelle sulla superficie del mare e, invece di dirigersi verso l'acqua, vanno a morire tra le dune dell'entroterra.

2.2.3 - UCCELLI

Numerose specie di uccelli sono migratrici, ossia si spostano regolarmente da una zona climatica all'altra all'alternarsi delle stagioni.

La maggior parte di queste specie compie migrazioni latitudinali, trasferendosi da Nord a Sud e in senso inverso: a Nord trovano, nelle vaste masse di terre emerse delle

regioni temperate settentrionali e subartiche, l'habitat per l'alimentazione e la nidificazione durante i mesi più caldi; a Sud si ritirano per svernare. Le restanti specie compiono migrazioni altitudinali, trasferendosi in regioni montuose per trascorrervi l'estate e ritornando nelle regioni pianeggianti per trascorrervi l'inverno.

Molte specie percorrono rotte migratorie stabilite e seguono più o meno un programma di volo: alcuni uccelli migrano tenendosi vicino al suolo, altri a un'altitudine di 900-1.500 m ma raramente superiore. Sebbene gli individui possano volare con una velocità di 50-80 km/h, le necessarie soste per il riposo e per l'alimentazione riducono la velocità media a circa 40 km/d.

Nella migrazione alcuni uccelli seguono punti di riferimento evidenti - coste, fiumi, catene montuose - mentre altri passano su mari e terre con poche caratteristiche topografiche.

Le specie che compiono la migrazione notturna ottengono alcuni vantaggi: durante la notte l'aria è più densa e fredda e questo permette di disperdere meglio il calore, di diminuire il rischio di disidratazione, di volare con meno fatica in quanto sono ridotte anche le turbolenze e quindi la probabilità di volare controvento; volando di notte si hanno a disposizione le ore di luce per alimentarsi a terra.

Di notte le informazioni sulla rotta sono ricavate dai riferimenti astronomici: così come una densa copertura di nubi o la nebbia, anche la presenza di fonti luminose artificiali interferiscono con l'orientamento dei migratori.

Gli esperimenti svolti sulle tecniche di orientamento degli uccelli migratori che sostano all'Oasi di Palo laziale, sono stati tutti invalidati a causa dell'intenso chiarore che la città di Roma diffondeva in cielo. Gli uccelli che in primavera avrebbero dovuto avere una direzione di volo migratorio verso NE si dirigevano costantemente a SE, appunto in direzione del bagliore cittadino (FRATICELLI F., PALELLA A., 1995).

Lo studio commissionato nel 2000 dal Parco Regionale della Valle del Ticino, in collaborazione con la Regione Lombardia, ha verificato che anche l'aeroporto internazionale della Malpensa, ubicato nella parte settentrionale del parco, produce lo stesso effetto deviante sui flussi migratori principali che oltrepassano le Alpi (FORNASARI L., DE CARLI E., IOELE A., 2003). Essi si orientano sia in direzione Ovest muovendosi lungo i versanti delle Prealpi che si affacciano direttamente sulla pianura, sia in direzione Sud concentrandosi lungo le linee costituite dai principali corsi fluviali quali Mincio, Oglio, Serio, Adda, Ticino. Ciò comporta che proprio nell'area settentrionale del Parco del

Ticino, in corrispondenza con il settore ove è ubicato l'Aeroporto della Malpensa, si incrociano due delle principali vie di migrazione attraverso la Lombardia:

- il tragitto prealpino che porta i migratori dagli ingressi orientali fino alle coste liguri e ai quartieri di svernamenti situati nella Francia meridionale, nella Penisola Iberica, nell'Africa Nord-occidentale o ancora più oltre;
- il tragitto prealpino con uccelli che percorrono i laghi svizzeri, le vallate delle Alpi centrali, il Lago Maggiore, e seguendo il Ticino si dirigono poi a Sud per svernare nella penisola italiana o per raggiungere quartieri di svernamento africani attraverso il Canale di Sicilia.

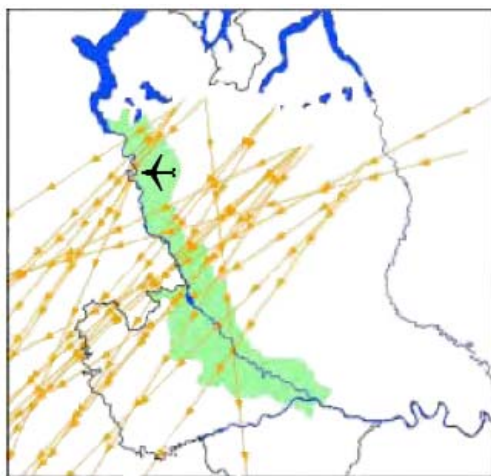


Figura 2-2: i dati relativi agli uccelli inanellati e ricatturati indicano che il Parco del Ticino è attraversato in autunno da un ampio fronte di migrazione diretto verso SO, che interessa soprattutto le specie del genere *Turdus* e i fringillidi. In questo esempio sono riportati i dati relativi al Tordo bottaccio, per gli individui inanellati in più anni e in più stazioni nei giorni tra il 28 settembre e il 7 ottobre

(fonte: Regione Lombardia)

L'indagine sugli uccelli in migrazione è stata effettuata mediante l'analisi di dati esistenti e l'esecuzione di rilevamenti sul campo principalmente in una stazione di inanellamento appositamente messa in opera in prossimità dell'aeroporto. I possibili indicatori dello stato fisiologico dei migratori sono il peso, se confrontato con altri parametri biometrici, e il livello di adiposità (FORNASARI L., 1987), che indica la capacità migratoria dei soggetti catturati. Questo viene normalmente determinato attraverso un esame "a vista" degli accumuli adiposi, assenti in altri periodi, osservabili in trasparenza nella regione addominale e in quella pettorale di uccelli catturati: la cattura di un elevato numero di individui con evidenti accumuli di grasso in corrispondenza dei picchi di migrazione, indicherebbe che i voli degli aerei causano l'interruzione dei movimenti dei migratori: infatti, gli individui non dovrebbero trovarsi al suolo. La valutazione delle interazioni delle direzioni di volo notturne con le rotte aeree è stata compresa utilizzando la tecnica del *moon-watching*¹⁶. Essa è applicabile

¹⁶ osservazione per mezzo di un cannocchiale del transito dei migratori che attraversano il disco lunare.

con eguale efficacia sia nel corso della migrazione autunnale che in quella primaverile, per la quale la cattura e l'inanellamento nelle aree continentali è normalmente meno efficace. [...] Il risultato di questi esperimenti indica che il numero di migratori notturni che sosta al suolo in prossimità della Malpensa è incrementato dal potere attrattivo delle luci dell'aeroporto. Indicazioni in questo senso derivano dai numeri di catture effettuate nel Parco Lombardo, e dal livello di adiposità mostrato dai migratori nei giorni di massima frequenza delle catture, anormalmente elevato. In pratica, ciò significa la presenza al suolo di soggetti che dovrebbero trovarsi in migrazione attiva. Tale effetto è stato verificato sia per migratori notturni a media distanza (Pettirosso, Capinera), sia per migratori notturni a lunga distanza (Beccafico). Gli esperimenti di orientamento diurni e notturni condotti in autunno a Tornavento, a Sud dell'aeroporto, mostrano chiaramente che la direzione presa dai soggetti in migrazione è deviata verso la fonte luminosa costituita dall'aeroporto stesso. Tale effetto risulta anche dall'esame dei dati dell'osservazione notturna dal disco lunare; infatti i migratori osservati a Sud dell'aeroporto in autunno e a Nord dell'aeroporto in primavera, cioè "dopo" l'aeroporto nel senso della migrazione, sono marcatamente meno di quelli osservati "prima" dell'aeroporto, come se in parte fossero stati attirati al suolo. Ciò a breve termine può influenzare negativamente la sopravvivenza dei soggetti implicati, e quindi a lungo termine può influenzare negativamente la consistenza delle popolazioni implicate. [...] Le misure di mitigazione proposte consigliano l'utilizzo di fonti illuminanti a minore impatto luminoso e l'incremento delle risorse alimentari disponibili per i migratori piantando specie baccifere autoctone.

Infine, la deviazione delle rotte migratorie non è il solo effetto negativo della luce artificiale su questa Classe: l'inquinamento luminoso influisce negativamente anche sui meccanismi naturali di predazione. È il caso del Falco pellegrino che si appollaiava sui tralicci della raffineria di petrolio alla periferia di Cagliari, attendendo le facili prede che divenivano gli uccelli migratori notturni attratti dal potente faro che illuminava a giorno gli impianti per motivi di sicurezza.

2.3 - EFFETTI SULL'UOMO

La legislazione in tema di risparmio energetico a uso di illuminazione esterna e di lotta all'inquinamento luminoso è in accordo anche con l'articolo 32 della nostra Costituzione, che sancisce il diritto alla salute: «La Repubblica tutela la salute come fondamentale diritto dell'individuo e interesse della collettività». Infatti, gli effetti dell'inquinamento luminoso sull'uomo non si limitano all'interferenza con l'osservazione del cielo stellato. Una breve trattazione delle caratteristiche dell'occhio è utile per comprendere le interazioni che la luce artificiale ha con la nostra fisiologia.

2.3.1 - ANATOMIA E FISIOLOGIA DELL'OCCHIO

L'apparato visivo è formato da due organi pari e simmetrici posti anteriormente nel cranio, gli occhi o bulbi oculari, collegati direttamente all'encefalo dai nervi ottici. Il sistema ottico è formato dalla pupilla, che regola la quantità di luce entrante nell'occhio, e dal cristallino, la lente che focalizza le radiazioni ottiche sulla retina, la superficie fotosensibile sede dei fotorecettori:

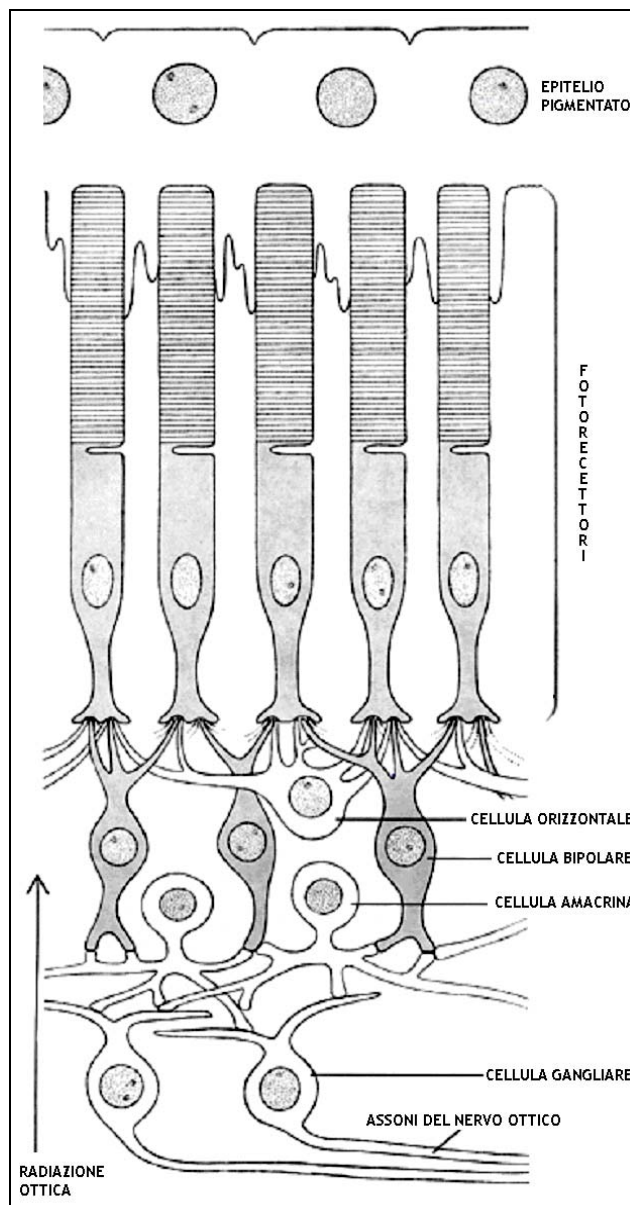
- i bastoncelli ($\sim 13 \cdot 10^7$), rossi e di forma cilindrica, localizzati maggiormente nelle zone periferiche, sono molto sensibili a bassi livelli di illuminazione e la loro disposizione permette una migliore percezione di deboli sorgenti ottiche diffuse ed estese, mentre non hanno la capacità di distinguere piccoli dettagli dell'immagine visiva. I bastoncelli sono collegati a gruppi alle fibre nervose;
- i coni ($\sim 7 \cdot 10^6$), giallastri, presenti soltanto nella zona centrale della retina, denominata fovea centrale o macchia gialla della retina, hanno una definizione molto accurata e percepiscono i colori, ma necessitano di alti livelli d'illuminazione. Diversamente dai bastoncelli, i coni sono collegati singolarmente alle fibre nervose e pertanto gli stimoli diretti a ciascuno di essi vengono riprodotti in modo preciso.

Il segmento esterno dei fotorecettori contiene una pila di minuscoli dischi in successione ordinata contenenti una proteina fotosensibile, che è la rodopsina nel caso dei bastoncelli e la iodopsina nel caso dei coni, in grado di assorbire l'energia luminosa e di avviare una risposta eccitatoria. Entrambe sono costituite di due componenti:

- 1) l'11-*cis*-retinale, che è una molecola organica derivata dalla vitamina A¹⁷;
- 2) un supporto proteico, che è inattivo in assenza di luce (opsina).

¹⁷ la carenza alimentare di questa vitamina può portare all'emeralopia, la diminuzione della capacità visiva in tutte le situazioni di bassa illuminazione.

Figura 2-3: sezione schematica della retina



(fonte: NICOLÒ M., modificato)

L'11-*cis*-retinale, entrando in collisione con un fotone ottico, acquista energia e ruota su se stesso trasformandosi in un suo isomero, detto retinale tutto-*trans*, che si dissocia dall'opsina. Da questa prima reazione chimica il segnale luminoso viene trasformato, da una successione di eventi a cascata, in un segnale elettrico che, attraverso il passaggio sinaptico tra i vari neuroni della retina¹⁸, diventa un segnale nervoso: viaggiando lungo i nervi ottici raggiunge le aree visive corticali del lobo occipitale del cervello. Il risultato dell'attività di questo centro superiore di analisi sensoriale è la visione delle forme e dei colori.

¹⁸ la terminazione sinaptica dei fotorecettori è collegata ai neuroni bipolari, a loro volta collegati con i neuroni ganglionari: gli assoni di questi ultimi formano il nervo ottico. Le cellule orizzontali e le cellule amacrine partecipano alle sinapsi tra gli altri tre tipi di cellule del sistema retinico.

Il campo visivo dell'occhio è quindi formato da una piccola zona centrale di grande nitidezza, circondata da una zona di nitidezza minore ma molto più sensibile alla luce. Di notte gli oggetti risultano visibili nella parte periferica della retina, mentre sono invisibili in quella centrale: ne deriva che i responsabili della visione notturna sono i bastoncelli, mentre i coni presiedono alla visione diurna.

La duplicità della funzione dei due tipi di fotorecettori, trova la sua più chiara testimonianza nel fenomeno che si sviluppa in seguito al trasferimento da un ambiente esterno bene illuminato a una camera buia: all'inizio tutto appare grigio e indistinto e soltanto dopo una trentina di minuti, la visione diventa più confortevole e si riesce ad apprezzare quasi bene la forma degli oggetti presenti.

Il tempo necessario ai bastoncelli per completare il loro adattamento all'oscurità serve per rigenerare la rodopsina, che si è completamente dissociata durante l'esposizione alla luce solare. La rigenerazione della rodopsina avviene con una bassa intensità luminosa e comprende varie tappe: il retinale tutto-*trans* viene ridotto a retinolo tutto-*trans*. Alla luce forte il retinolo viene convertito in esteri del retinolo e messo in riserva. Il retinolo tutto-*trans* viene poi ossidato a 11-*cis*-retinale che, a bassa intensità luminosa, si riassocia all'opsina.

Alla fine del processo di adattamento all'oscurità la visione periferica sarà ottimale, ma la visione centrale sarà annullata perché la presenza esclusiva di coni nella regione foveale è completamente inutile al buio, essendo i coni funzionali alle alte intensità luminose: infatti, anche se sottoposti a un fortissimo abbagliamento (a es. alla luce solare diretta), la iodopsina dei coni si rigenera completamente in meno di sei minuti. Lo strato esterno di pigmento bruno su cui poggia la superficie esterna della retina è un ulteriore strumento di protezione: se una luce intensa colpisce la retina, i granuli di questo pigmento migrano negli spazi intorno ai coni formando uno schermo protettivo.

2.3.2 - RITMO CIRCADIANO

Nell'essere umano, come nella maggioranza delle specie, certi processi biologici sono sincronizzati con l'ambiente esterno da fattori abiotici, che interessano uno o più organi alla ricerca della loro variazione giornaliera o stagionale¹⁹. Il fattore abiotico che più condiziona la fisiologia dei vertebrati superiori è la radiazione ottica solare, in particolare la radiazione ottica blu con lunghezza d'onda nell'intorno dei 460-470 nm.

¹⁹ l'uso di un sincronizzatore esterno all'organismo è necessario affinché l'attività biologica dell'individuo sia modulata in funzione delle risorse naturali dell'ambiente: vi è un migliore momento per riposarsi, per cacciare, per costituire le riserve alimentari, per mettere al mondo la prole, ecc...

Il fotoperiodo è condizionato dalle caratteristiche astronomiche della Terra che determinano l'alternanza tra notte e dì, il variare del suo rapporto in relazione alla latitudine e al susseguirsi delle stagioni²⁰.

L'orologio biologico che regola il ritmo circadiano è ubicato nel nucleo soprachiasmatico dell'ipotalamo, alla base del cervello. Esso coordina le molteplici oscillazioni circadiane quali, a esempio, il ritmo sonno-veglia, la temperatura corporea, controlla la secrezione ormonale dell'epifisi, che di notte secreta la melatonina, delle ghiandole surrenali e dell'adenoipofisi, che stimolate al risveglio dalla radiazione ottica blu secernono rispettivamente il cortisolo e la tierotropina. Queste variazioni fisiologiche variano durante l'intero arco della giornata:

- la melatonina ha una concentrazione molto bassa durante il giorno, inizia a incrementare dalle ore 20:00 fino a raggiungere la concentrazione massima alle 03:00-04:00 di notte, per poi scendere ai normali valori diurni. Questo ormone oltre a modulare il processo del sonno, ha altre proprietà: attivante cerebrale, *antistress*, riequilibratore del sistema immunitario, miglioratore del sistema cardiovascolare, antinfiammatorio, antiossidante, e secondo recentissimi studi anche come inibitore della crescita delle cellule tumorali (BLASK D. *et al.*, 2005);
- il cortisolo cresce rapidamente nelle prime ore del mattino e diminuisce durante la giornata. Questo ormone agisce sul metabolismo dei carboidrati accelerando la sintesi del glucosio e attiva il catabolismo di proteine e lipidi;
- la tierotropina regola la funzione della tiroide stimolando l'elaborazione e l'immissione nel circolo sanguigno degli ormoni tiroidei che influiscono sui processi metabolici generali.

I fotorecettori ganglionari ($\sim 2 \cdot 10^3$) che segnalano al nostro organismo quando è notte o dì, con un sistema indipendente da quello visivo dei bastoncelli e dei coni, sono localizzati nella parte anteriore della retina (BERSON D., DUNN F. A., TAKAO M., 2002). Essi sono innervati direttamente con il nucleo soprachiasmatico e contengono la melanopsina, la proteina fotosensibile alla radiazione blu che rileva la variazione della radiazione ottica nel tempo indicando alla pupilla quando dilatarsi o restringersi in base alla quantità di luce registrata: quindi i meccanismi fisiologici della visione cosciente sono diversi da quelli che regolano il ritmo circadiano.

²⁰ infatti, gli animali che possiedono l'epifisi più sviluppata vivono alle alte latitudini con forte variazione del fotoperiodo, mentre quelli in cui essa è totalmente assente, poco sviluppata o sviluppata ed attiva ma legata ad altri fattori abiotici (la temperatura, l'umidità, il regime pluviale, ecc...), vivono alle basse latitudini ($0^\circ - 10^\circ$) con debole variazione del fotoperiodo.

La ricerca di questo sistema e dei fotorecettori che lo governano è iniziata osservando che molte persone non-vedenti hanno la normale e ciclica concentrazione nel sangue di melatonina e di cortisolo, un regolare ritmo del sonno e degli altri parametri vitali, e che in queste persone l'esposizione alla luce durante le ore notturne è in grado di inibire la produzione di melatonina esattamente come nelle persone vedenti.

Quindi la sintesi e la secrezione della melatonina non è stimolata dal buio ma è inibita in maniera dose-dipendente dalla radiazione ottica blu: nemmeno riposarsi al buio durante il giorno ne aumenta la produzione, dato che in questo lasso di tempo la sua ciclicità determina basse concentrazioni.

Le persone che per lavoro svolgono la loro attività nei turni di notte non beneficiano così dell'azione inibitoria della melatonina sulla crescita di cellule tumorali e, nelle donne, sulla iperproduzione di estrogeni.

Una ricerca danese su donne tra i 30 e i 54 anni che svolgono orari di lavoro notturno in determinati settori per almeno sei mesi, ha riscontrato che il rischio di ammalarsi di cancro al seno è il 50% più alto della media e, nelle lavoratrici notturne di lungo periodo con alle spalle oltre sei anni di impieghi svolti in prevalenza durante la notte, il rischio aumenterebbe arrivando al 70% in più rispetto alle colleghe occupate nelle ore diurne (HANSEN J., 2001).

Un'altra ricerca su un campione più grande di donne impiegate in lavori con turni notturni per un lungo periodo di tempo (~20 anni), ha avvalorato questa tesi: si dimostra così l'esistenza di un collegamento tra l'orario di lavoro notturno e il rischio d'insorgenza di tumori al seno. Questi risultati suggeriscono che il sempre maggior utilizzo di illuminazione artificiale durante la notte, sia a casa che sul posto di lavoro, può costituirne un fattore significativo (SCHERNHAMMER E. S. *et al.*, 2006).

In conclusione, la luce artificiale disturba la nostra fisiologia alterando il metabolismo del ritmo circadiano, esponendo così chi è obbligato a lavorare periodicamente in un turno notturno o chi per professione o diletto vive in modo disordinato, a patologie i cui costi sociali e sanitari cominciano solo ora a essere considerati. Nell'ambito dell'argomento di questo elaborato, l'impiego all'esterno di lampade ai vapori di sodio²¹ al posto di quelle ai vapori di mercurio o di alogenuri metallici, diminuisce il fattore di rischio per l'alterazione del ritmo circadiano dell'Uomo e di tutti gli altri esseri viventi.

²¹ che non emettono radiazione ottica blu.

2.3.3 - SICUREZZA DELLA CIRCOLAZIONE STRADALE

L'inquinamento luminoso produce l'effetto diretto più pericoloso per l'uomo quando questo diventa un utente notturno della strada, dato che l'80% delle informazioni che gli automobilisti utilizzano per guidare sono acquisite dalla vista. Quindi, per garantire l'altrui e la propria incolumità, è necessario poter disporre del massimo rendimento visivo, una combinazione tra la propria capacità visiva, che utilizza abilità diverse al variare della condizione dell'ambiente esterno, e la condizione dell'ambiente esterno, che deve offrire un'adeguata illuminazione del manto e della segnaletica stradale. La capacità visiva è caratterizzata da:

- ampiezza del campo visivo, che è di circa 140°;
- acutezza visiva dinamica (la capacità di riconoscere, mentre si è in movimento, chiaramente e alla corretta distanza, una persona o un'automobile);
- percezione della profondità (la capacità di valutare la distanza relativa fra gli oggetti, o tra un oggetto e l'automobilista);
- capacità di coordinamento simultaneo (la capacità di dirigere facilmente e automaticamente ambedue gli occhi sullo stesso oggetto);
- accomodazione (la capacità di cambiare rapidamente e facilmente il fuoco degli occhi da un soggetto lontano a uno vicino);
- grado di adattabilità all'oscurità (la capacità di vedere con scarsa illuminazione).

A velocità maggiore di 110 km/h, queste abilità subiscono delle alterazioni:

- diminuzione della visione laterale (effetto *tunnel*);
- la percezione della profondità diventa più difficile;
- lo spostamento in avanti del fuoco dell'attenzione fa perdere i dettagli degli oggetti vicini.

L'impegno richiesto dalla guida aumenta in presenza di pioggia, neve, foschia o nebbia, che, attenuando la radiazione ottica in modo esponenziale, diminuiscono la distanza di visibilità. In particolare, la nebbia è quella che in maggior misura diminuisce la distanza di visibilità perché le minuscole goccioline d'acqua che la compongono diffondono la radiazione ottica emessa dai proiettori di un automezzo creando la luminanza di velo, che si manifesta come un "muro bianco" davanti agli occhi del conducente.

Questo fenomeno si manifesta anche con condizioni meteorologiche ottimali quando il flusso luminoso di un impianto d'illuminazione è sovradimensionato e produce una luminosità diffusa che permea tutto il territorio circostante. In questo caso la luminanza di velo genera nel conducente un effetto psicologico di maggior sicurezza

che può avere effetti controproducenti: la sensazione di tranquillità indotta dalla maggior sicurezza abbassa la soglia di attenzione e della percezione del pericolo, con la conseguente spinta inconscia ad aumentare la velocità oltre limiti ragionevoli. Inoltre, la luminanza di velo riduce la visibilità degli oggetti sulla strada e quindi anche della segnaletica stradale passiva²².

Una risposta importante ai fini della sicurezza della circolazione stradale è il tempo di reazione²³ del conducente, che influisce in misura piccola ma significativa sulla distanza di arresto di un veicolo. Il tempo di reazione, oltre che dall'età e dai fattori psicofisici (stanchezza, abuso di alcool e/o droga), dipende anche dalla condizione d'illuminazione della strada. La tabella 2-2 espone i tempi di reazione di giovani adulti, misurati con diverso flusso luminoso di lampade ai vapori di sodio ad alta pressione, e le relative distanze di arresto. I dati mostrano che i tempi cambiano sensibilmente al variare del tipo di lampada, ma un aumento del flusso luminoso oltre i 3 lm non produce ulteriori miglioramenti nelle prestazioni dei conducenti in termini di tempo di reazione.

Questo esperimento conferma che la sovrailluminazione del manto stradale compromette la sicurezza della circolazione stradale. Inoltre, quando l'occhio è adattato a un tratto di strada eccessivamente illuminato e si giunge a uno tratto di strada a bassa luminanza o completamente buio, il proseguimento del percorso avverrà con il rendimento visivo non ottimale perché, come è stato illustrato nel paragrafo 2.3.1, la rodopsina si scinde dopo la collisione con il fotone ottico e si rigenera completamente dopo circa mezz'ora.

Tabella 2-2: incidenza del flusso luminoso sul tempo di reazione e relative distanze d'arresto (capacità frenante del veicolo: 2,75 m/s² - lampada ai vapori di sodio ad alta pressione)

flusso luminoso (lm)	tempo di reazione (s)	distanza d'arresto (m)	
		50 km/h	130 km/h
0,1	1,1	50	276
0,5	0,95	46	270
1	0,80	44	265
2	0,70	43	261
3	0,60	42	258
10	0,60	42	258

(fonte: Pubblica Illuminazione)

²² non dotata d'illuminazione propria.

²³ tempo trascorso tra la comparsa di un ostacolo e l'inizio dell'azione di frenatura.

Invece, l'occhio adattato a condizioni di bassa illuminazione può facilmente subire un abbagliamento molesto o, nel peggiore dei casi, debilitante, per effetto del quale si può perdere il controllo visivo della strada per alcuni secondi.

Quando si viene abbagliati, come può accadere nel caso della visione diretta di una lampada, l'intensa radiazione ottica fa scindere rapidamente un gran numero di proteine fotosensibili che l'organismo non riesce a sostituire immediatamente: l'automatica reazione di difesa dell'occhio restringe il diametro della pupilla per ridurre l'ingresso di radiazione ottica, ottenendo così, nel caso di un impianto di pubblica illuminazione, il paradossale risultato che più s'illumina e peggio si vede.

Gli abbagliamenti non sono causati solo dalla visione diretta di una sorgente ottica, pubblica o privata, ma ogni qualvolta il livello d'illuminazione al suolo è superiore a quello dei fari utilizzati dai mezzi di trasporto, come può accadere quando si proviene da un tratto di strada buio e si giunge a uno tratto di strada eccessivamente illuminato (a esempio un incrocio o uno svincolo).

La tabella 2-3 mostra, a titolo di esempio, i tempi occorrenti per il recupero dopo un abbagliamento in funzione della sorgente ottica abbagliante e le corrispondenti distanze percorse senza controllo visivo a 120 km/h, ovvero 3,3 m in un battito di palpebra (~ 0,1 s). La lampada ai vapori di sodio a bassa pressione è risultata la meno abbagliante, con tempi di recupero del 26,3% in meno rispetto a una lampada ai vapori di mercurio e del 40,5% in meno rispetto a una lampada a incandescenza. Il tempo di recupero di osservatori con età tra 50 e 62 anni in media si raddoppia e con esso la distanza percorsa in condizioni di assenza di controllo visivo. Anche in questo caso il proseguimento del percorso avverrà con il rendimento visivo non ottimale nella mezz'ora necessaria alla rodopsina per rigenerarsi.

Tabella 2-3: tempi di recupero dopo un abbagliamento
(età osservatori: 18-25 anni, B = 0,5 lm)

sorgente ottica (lampada)	tempo di recupero (s)	distanza percorsa senza il controllo visivo a 120 km/h (m)	variazione percentuale
a incandescenza	5,7	190	-
ai vapori di mercurio	4,2	140	- 26,3%
ai vapori di sodio a bassa pressione	3,4	113	- 40,5%

(fonte: Pubblica Illuminazione, modificato)

Un esempio riassuntivo dei casi di pericolo può essere così esemplificato: se si incrociano alcuni automezzi con fari abbaglianti e se per caso si sta percorrendo una strada con insegne pubblicitarie o installazioni non a norma di privati, chi guida può incorrere in disattenzioni e cecità momentanea, della durata di qualche secondo. Inoltre, si perdono le capacità di rilevare i contorni delle strade e quindi non è più possibile vedere e scansare ostacoli o rilevare una successiva curva, con conseguenze facilmente immaginabili.

Gli impianti d'illuminazione, sia pubblici che privati, non adeguatamente progettati che non assicurano un adeguato *comfort* visivo, sono la concausa più importante degli incidenti stradali notturni²⁴, che comportano costi per la società in termini di:

- danni alla persona biologici e morali;
- perdita della capacità produttiva parziale o totale in relazione alle conseguenze dell'incidente sulla persona;
- costi sanitari relativi al pronto soccorso e trasporti, ai ricoveri nei reparti, alla riabilitazione;
- danni materiali e altri costi che comprendono i costi derivanti dai danni materiali, dai costi amministrativi (costi di gestione delle assicurazioni e di intervento delle autorità pubbliche) e costi giudiziari (spese sostenute dall'Amministrazione Giudiziaria per il contenzioso per responsabilità civile automobilistica).

Gli impianti di pubblica illuminazione dovrebbero garantire la sicurezza della circolazione stradale di notte, fornendo un'adeguata illuminazione sia in ambito urbano sia in ambito extraurbano. Si avrebbero così le condizioni per il rendimento visivo ottimale del conducente in modo tale da ridurre il numero di incidenti stradali.

Tali riduzioni sarebbero di entità tale da giustificare, già da sole e su un piano puramente economico, l'investimento di risorse finanziarie in impianti di illuminazione adeguati, funzionali, efficienti.

²⁴ i pali di sostegno dell'armatura sono un'altra concausa non trascurabile di incidenti stradali: gli urti contro di essi sono responsabili di molti incidenti mortali. Quindi l'esigenza di minimizzare il numero di pali non è dettata solo da ragioni economiche.

3 - STUDIO ESEGUITO NEL COMUNE DI CAMPOSPINOSO

Nel capitolo 1 si è affermato che il contributo più rilevante all'inquinamento luminoso è dato dalle emissioni A, dirette verso il piano dell'orizzonte o a piccoli angoli sopra di esso. Solo una parte di queste emissioni vengono intercettate dalle pareti degli edifici e questo dipende dalle dimensioni dell'agglomerato urbano e dall'assetto urbanistico confuso o ordinato: una città che si sviluppa lungo strade diritte offre alla luce maggiori possibilità di raggiungere gli spazi aperti oltre la periferia.

3.0.1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E DEMOGRAFICO

In Italia, all'esiguo numero di grandi città si contrappongono 5.868 Comuni con meno di 5.000 abitanti, ovvero il 72% del totale²⁵, nei quali il problema si manifesta nella sua interezza: le abitazioni poco numerose e di altezza non elevata non offrono nessuna efficace barriera alle dispersioni orizzontali. Inoltre, nelle zone di collina e di montagna, delle quali il nostro territorio è ricco, si aggiungono gli effetti delle altimetrie, per cui i corpi illuminanti collocati nelle zone più alte sono liberi di diffondere la luce ovunque.

La Provincia di Pavia racchiude in sé questi elementi che favoriscono il propagarsi dell'inquinamento luminoso. La morfologia prevalente del territorio è la pianura, che rappresenta il 73% della superficie. Essa si estende a Nord del fiume Po e nella fascia prossima alla sua riva destra, dove confina con la zona collinare che rappresenta il 17% della superficie. A Sud le montagne dell'Appennino occupano il restante 10% della superficie. Il territorio è suddiviso amministrativamente in 190 Comuni, ripartiti nella tabella 3-1 per classe di ampiezza demografica e per altimetria.

Tabella 3-1: suddivisione amministrativa dei Comuni della Provincia di Pavia

abitanti	pianura		collina		montagna		totali per classe di ampiezza demografica	
fino a 999	58	30,5%	26	13,7%	7	3,7%	91	47,9%
da 1.000 a 4.999	66	34,7%	13	6,8%	2	1,1%	81	42,6%
da 5.000 a 19.999	13	6,8%	2	1,1%	0	0,0%	15	7,9%
da 19.999 a 49.999	1	0,5%	0	0,0%	0	0,0%	1	0,5%
da 50.000 a 99.999	2	1,1%	0	0,0%	0	0,0%	2	1,1%
totali per altimetria	140	73,6%	41	21,6%	9	4,8%		

(elaborata con i dati dell'Osservatorio Servizi di Pubblica Utilità della Regione Lombardia)

²⁵ fonte: Associazione Nazionale Piccoli Comuni Italiani.

3.0.2 - PROBLEMATICHE DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

Come si evince dalla tabella sopra riportata, i Comuni della Provincia di Pavia con una popolazione inferiore ai 5.000 abitanti sono ben il 90,4% e quelli con una popolazione inferiore ai 1.000 abitanti sono il 47,9%: in questi piccoli centri sono scarse sia le risorse finanziarie sia le risorse umane per affrontare in modo sistematico la riqualificazione dell'illuminazione pubblica.

Una possibile soluzione è quella di ricorrere al finanziamento tramite terzi affidandosi a una *Energy Service COmpany* (E.S.CO.), imprese specializzate nell'effettuare interventi nel settore dell'efficienza energetica. Esse sollevano in genere il cliente dalla necessità di reperire risorse finanziarie per la realizzazione dei progetti e dal rischio tecnologico, in quanto gestiscono sia la progettazione e la costruzione sia la manutenzione degli impianti per la durata del contratto, compresa di solito fra i cinque e i dieci anni.

Il prezzo per l'adempimento delle clausole contrattuali è comunque inferiore ai costi che avrebbe comportato l'esercizio della vecchia struttura impiantistica. La differenza rappresenta il vantaggio economico che il Comune ottiene grazie alla nuova illuminazione. Al termine del periodo richiesto per rientrare dall'investimento e remunerare le attività della società di servizi, l'impianto viene in genere riscattato dal soggetto beneficiario dell'intervento, mentre la sua gestione può essere lasciata in carico alla E.S.CO. o affidata ad altri soggetti.

I vantaggi di operare in uno schema di questo tipo per l'utente sono:

- l'assenza di rischi finanziari (in caso di intervento sbagliato e non remunerativo è la E.S.CO. che si assume tutte le responsabilità al riguardo);
- l'opportunità di realizzare interventi anche in mancanza di risorse finanziarie proprie e in presenza di difficoltà nel reperire finanziamenti esterni;
- la liberazione dalle problematiche connesse alla gestione e manutenzione dell'impianto;
- la disponibilità di risorse interne per altri compiti;
- la possibilità di conseguire benefici energetico-ambientali importanti, tenuto conto del fatto che i profitti della E.S.CO., in presenza di un contratto ben realizzato, sono proporzionali all'efficienza dell'impianto.

Ovviamente tali vantaggi comportano una complessità contrattuale consistente e la necessità di predisporre capitolati dettagliati. Le clausole contrattuali devono servire a garantire all'utente che l'intervento realizzato sia energeticamente efficiente e

tecnicamente valido, anche tenendo conto dell'andamento del mercato dei vettori energetici e delle tecnologie. D'altro canto il contratto deve garantire alla E.S.CO. una compatibilità economica e un ritorno adeguato, in modo che riesca effettivamente a rientrare nei costi sostenuti e a realizzare una certa quota di profitto.

Tali aspetti e i costi fissi della commessa, inoltre, fanno sì che ci sia una dimensione economica minima dell'intervento sotto la quale non ha senso ricorrere al finanziamento tramite terzi. Sebbene non ci sia un valore ben definito al riguardo, in genere il finanziamento tramite terzi diventa un'opzione attivabile oltre gli € 50.000.

La complessità contrattuale richiesta da questo sistema può essere d'impedimento al suo utilizzo in un piccolo Comune: sovente l'Ufficio Tecnico comunale consta di un unico addetto che svolge svariate funzioni e che potrebbe non essere sufficientemente informato sugli effetti dell'impatto ambientale dell'inquinamento luminoso e dello spreco energetico a esso associato, nella sua dimensione globale e di lungo periodo. Inoltre, potrebbe non avere la necessaria competenza tecnica per verificare la validità del *mix* armatura più lampada, in funzione della classificazione della strada.

3.0.3 - OBIETTIVI DELLO STUDIO

Il presente lavoro si è sviluppato nell'ambito di uno *stage* presso l'U.O.C. Aria ed Energia della Provincia di Pavia, con il supporto tecnico dell'Agenzia di Pavia della Rete di Punto Energia. La L.R.L. 17/00 attribuisce a questo Ente il compito di diffonderne i principi dettati e quindi si è configurato un progetto di pubblicazione a tal fine di questo elaborato, che si propone di perseguire la funzione di strumento divulgativo in merito ai citati aspetti tecnici, ambientali, economici, e di strumento operativo per censire le caratteristiche degli impianti d'illuminazione pubblica. Questo consentirebbe di eseguire una serie d'interventi a basso costo e realizzabili nel breve periodo, per limitare l'inquinamento luminoso e ridurre lo spreco energetico.

Nel medio e nel lungo periodo, la conoscenza e l'esperienza maturata dalle risorse umane e l'accantonamento delle risorse finanziarie derivanti dalla riduzione di una negatività del bilancio comunale, potrebbero essere impiegate per l'adeguamento progressivo di tutti gli impianti alla L.R.L. 17/00, mediante la stesura del piano dell'illuminazione e, se necessario, ricorrendo al finanziamento tramite terzi.

L'oggetto dello studio è il Comune di Campospinoso, le cui ridotte dimensioni mi hanno consentito di operare direttamente per la raccolta di tutti i dati necessari. L'aspetto di indubbio interesse legato all'analisi di un piccolo Comune appare in tutta

evidenza alla luce dei dati riportati nella tabella 3-1: una molteplicità di microinterventi porterebbero a un abbattimento dell'inquinamento luminoso legato all'attività antropica di oltre il 90% della popolazione della provincia.

Il Comune di Campospinoso si estende per 36,9 km² nella pianura dell'Oltrepò Pavese e ha 830 abitanti. La tabella 3-2 mostra che in questo Comune sono presenti le tipologie di strade più comuni e che sono localizzate in zone con diversa destinazione urbanistica²⁶. Questa circostanza aumenta la casistica trattata, offrendo all'elaborato l'opportunità di svolgere al meglio la sua duplice funzione.

Tabella 3-2: distribuzione delle vie e dei corpi illuminanti in base alla tipologia della strada

	<i>piazza in zona residenziale</i>		<i>strada urbana locale in zona residenziale</i>		<i>strada urbana locale in zona artigianale</i>		<i>strada extraurbana secondaria</i>		totale
piazze o vie	3	12,5%	14	58,3%	3	12,5%	4	16,7%	24
corpi illuminanti	19	8,6%	116	52,7%	23	10,5%	62	28,2%	220

(elaborata dai dati della rilevazione)

Infine, la residenza in questo Comune mi ha permesso di eseguire ripetuti accertamenti della correttezza dei dati raccolti durante il rilevamento e di migliorare la funzionalità e il valore informativo della tabella di rilevazione.

²⁶ lo stradario è a pag. 92.

3.1 - METODICA DEL CENSIMENTO DEI CORPI ILLUMINANTI

Il censimento è stato effettuato utilizzando come base l'elenco dei corpi illuminanti fornito dal gestore degli impianti di pubblica illuminazione, la società E.N.E.L. So.l.e., che riporta i seguenti dati:

- la denominazione toponomastica della piazza o della via;
- il numero di targa che identifica il corpo illuminante;
- la persona giuridica proprietaria del corpo illuminante;
- il tipo di lampada installata e la sua potenza nominale.

Per l'elaborazione di questi dati sono state progettate specifiche tabelle, come quella riportata di seguito²⁷:

VIA ...		ARMATURA				LAMPADA							
STRADA ... IN ZONA ...		TIPO	I N C L .	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA			SOST.
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ				A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	
1	018026 - C00xxxx - 001	S								0			0
2	018026 - C00xxxx - 001	C								0			0
n lampioni		0	0	0	0	0				0			0
											risparmio annuo di energia elettrica		0 kWh
											risparmio annuo di risorse finanziarie		0,00 €

I primi tre dati sono riportati nella parte destra della tabella utilizzata per la rilevazione, completati da un numero progressivo, per una più veloce ricerca del corpo illuminante nelle tabelle, e dalla loro quantità.

3.1.1 - ARMATURE

Attualmente, le armature sono suddivise in quattro categorie:

- non schermate: la *Commission Internationale de l'Eclairage* (C.I.E.) pone un limite massimo all'emissione di 1.000 cd a 90° rispetto dalla verticale. Non ne è consigliato l'impiego in alcun tipo di impianto perché estremamente inquinanti e a elevato spreco energetico;
- *semi-cut-off*: la C.I.E. pone un limite massimo all'emissione di 50 cd/klm a 90° rispetto alla verticale e comunque non superiore a 1.000 cd, e inferiore o uguale a 100 cd/klm a 80°. In genere esse non sono ben schermate per l'emissione sopra l'orizzonte e sono quindi inquinanti;

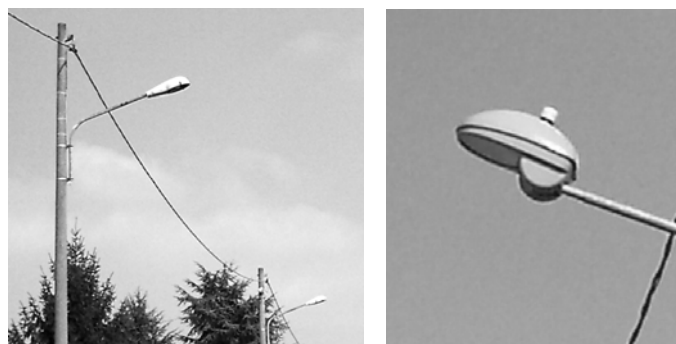
²⁷ la legenda è a pag. 93.

- *cut-off*: la C.I.E. pone un limite massimo all'emissione di 10 cd/klm a 90° rispetto alla verticale e comunque non superiore a 1.000 cd, e inferiore o uguale a 30 cd/klm emessi a 80°;
- totalmente schermate o *full-cut-off*: il limite massimo all'emissione è di 0 cd/klm a 90° e oltre rispetto al piano dell'orizzonte. Le caratteristiche che rendono possibile rispettare questo limite sono due:
 - la lampada è all'interno del guscio di protezione e non vi sporge;
 - il vetro di protezione può essere piano con la posa in opera orizzontale o curvo completamente incassato nell'armatura.

Questo tipo di armatura è l'evoluzione più recente e non fa parte della classificazione dalla C.I.E.. In linea di principio, le armature *cut-off* della classificazione C.I.E possono essere anche totalmente schermate se installate con inclinazione dell'ottica uguale a zero o, comunque, fortemente schermate se installate con piccola inclinazione dell'ottica. Tuttavia non c'è corrispondenza biunivoca tra armature *cut-off* e armature *full-cut-off*.

L'assenza d'informazioni sulle caratteristiche fotometriche delle armature nell'elenco fornito dalla E.N.E.L. So.l.e., è stata il primo inconveniente della progettazione della tabella per la raccolta dei dati sul campo: si tratta dell'impossibilità di assegnare "a vista" la categoria di armatura *semi-cut-off* e *cut-off*, e di stabilire se l'inclinazione dell'apparecchio d'illuminazione sia un parametro progettuale o una errata posa in opera (figura 3-1).

Figura 3-1: esempi di armature progettate inclinate in via Albericia (a sx) e da regolare per la posa in opera orizzontale in via Erbatici (a dx)



Il criterio di catalogazione basato sull'assegnazione dalla x alle caratteristiche che determinano problemi d'inquinamento luminoso, fornisce una semplice chiave di lettura della parte centrale della tabella. Infatti, un'armatura antinquinamento luminoso che rispetta le disposizioni della L.R.L. 17/00, ha tutte le celle vuote. Viceversa, la x in una delle celle comporta l'assegnazione della x nella colonna che segnala l'inquinamento luminoso. In questo modo è possibile identificare, a esempio, un'armatura totalmente schermata non posata in opera orizzontalmente o un intervento di installazione di un vetro di protezione piano in un'armatura che ne è sprovvista.

In via cautelativa, quindi, si è scelto di assegnare la x a tutte le armature inclinate (figura 3-1) e di incerta determinazione (figura 3-2), lasciando vuota la cella per le armature totalmente schermate, facilmente riconoscibili come quelle nella figura 3-3, e posate in opera orizzontalmente. Durante gli interventi di sostituzione della lampada, o durante la manutenzione ordinaria, sarebbe possibile eseguire una verifica tecnica sulle armature inclinate per determinare quali apparecchi possono essere regolati per la posa in opera orizzontale.

Figura 3-2: esempi di armature inclinate di incerta determinazione che si trovano in molte vie del paese

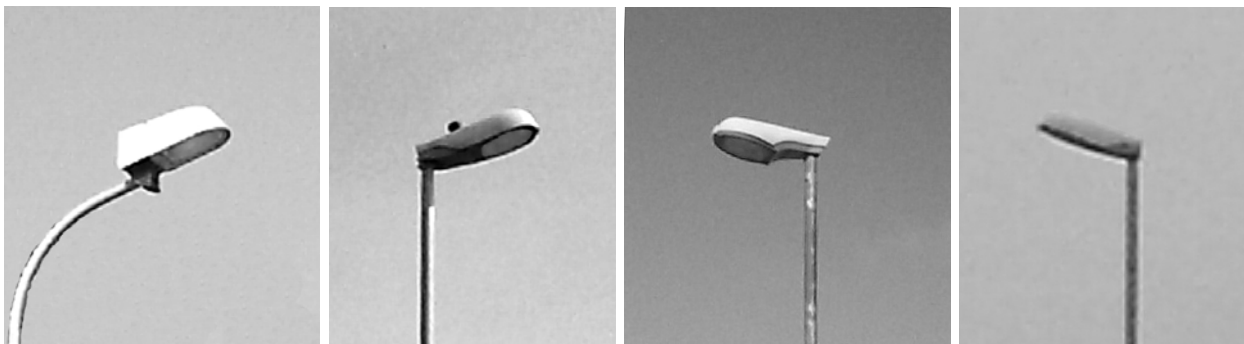
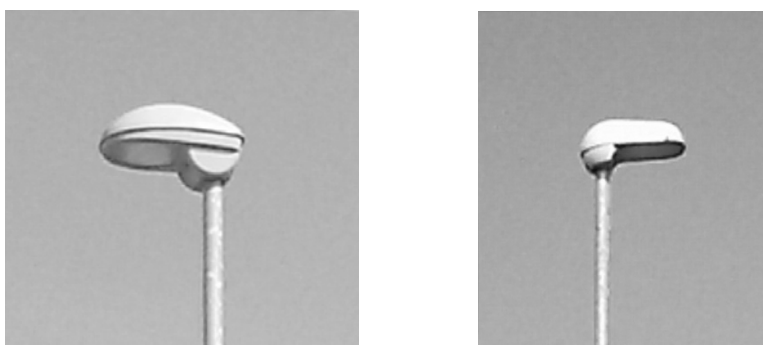


Figura 3-3: armature totalmente schermate in via Da Vinci (a sx) e in via Giardino (a dx)



Nel capitolo 2.2.1 si è affermato che gli insetti manifestano fototropismo positivo verso la luce dei lampioni al punto da morire bruciati se la lampadina non ha un vetro di protezione. Nell'appendice C.3 si evidenzia che il vetro di protezione curvo, se sporge dall'armatura, fa sì che una parte di flusso luminoso si indirizzi al di sopra dell'orizzonte, a causa dei fenomeni di rifrazione e riflessione. Queste problematiche sono evidenziate all'interno della tabella assegnando una x nella corrispondente cella: lasciandole vuote si indica il vetro di protezione piano, che non pone problemi d'inquinamento.

Figura 3-4: armatura con vetro di protezione assente in via Albericia (a sx) e armatura con vetro di protezione curvo in via Europa (a dx)



3.1.2 - LAMPADE

La parte destra della tabella è stata progettata per poter confrontare le caratteristiche e i consumi delle lampade installate e di quelle consigliate.

Per indicare la necessità di sostituzione della lampada viene assegnata una x nell'ultima colonna. Nelle ultime due righe è indicato il risparmio energetico ed economico. Il numero di ore annue di funzionamento degli impianti d'illuminazione pubblica e il prezzo unitario medio dell'energia elettrica utilizzati per i computi²⁸, sono stati calcolati dalle fatture di E.N.E.L. Distribuzione²⁹.

3.1.3 - ELEMENTI PER LA PROGETTAZIONE

Un impianto d'illuminazione stradale è progettato utilizzando come parametro fondamentale l'indice illuminotecnico, che stabilisce la luminanza media minima per garantire le condizioni di sicurezza della circolazione stradale. Questo indice viene

²⁸ i valori sono: 3.600 h/a, pari a 9,8 h/d, e 0,08617 €/kWh al netto dell'I.V.A..

²⁹ per la fornitura di energia elettrica in bassa tensione per usi d'illuminazione pubblica del Comune di Campospinoso.

assegnato alla strada in funzione della sua classificazione e al suo volume di traffico³⁰. Nel territorio di competenza del Comune di Campospinoso sono presenti due tipi di strada:

- urbana locale - indice illuminotecnico 2 (1 negli orari di traffico non intenso);
- extraurbana secondaria - indice illuminotecnico 5 (4 e 3 negli orari di traffico non intenso).

L'associazione di astrofili CieloBuio ha redatto la tabella 3-3 per orientare i progettisti nella scelta della potenza nominale della lampada. Nella terza colonna si considera il caso in cui la geometria del tracciato non consenta l'ottimizzazione dell'impianto con potenze inferiori³¹.

Tabella 3-3: potenza nominale della lampada consigliata per ottimizzare i risparmi

indice illuminotecnico	potenze consigliate	potenze massime consigliate quando la geometria non consente l'ottimizzazione con potenze inferiori
1 (B = 0,3 nit)	50 W - 70 W	70 W
2 (B = 0,5 nit)	70 W	100 W (statisticamente solo il 10% dei casi)
3 (B = 0,75 nit)	70 W	100 W (statisticamente il 30-35% dei casi) 150 W (statisticamente solo il 5-10% dei casi)
4 (B = 1 nit)	100 W	150 W (statisticamente solo il 20% dei casi)
5 (B = 1,5 nit)	100 W - 150 W	150 W (statisticamente il 50% dei casi)

(fonte: CieloBuio)

Fatte salve le condizioni necessarie per garantire la sicurezza della circolazione stradale, l'ulteriore parametro di selezione è di carattere qualitativo: i diversi spettri d'emissione delle tre tipologie di lampada considerati influiscono sulla percezione dei colori, e quindi sulla capacità di distinguere gli oggetti e i loro movimenti rapidi. La destinazione urbanistica dell'area nella quale la strada è localizzata concorre a determinarne l'utilizzo notturno e il relativo volume di traffico, in funzione dei quali scegliere la resa cromatica della lampada³².

In base ai dati emergenti dalla letteratura di settore è possibile l'esclusione delle lampade ai vapori di mercurio da qualsiasi applicazione. Infatti, nel capitolo 2 si è evidenziato che la radiazione ottica emessa da questo tipo di lampade è la più dannosa

³⁰ in base a quanto disposto dal Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 5 novembre 2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade".

³¹ come disposto dalla L.R.L. 17/00 all'articolo 6, comma 10 bis, lettera c. Esso impone anche l'obbligo di documentare opportunamente l'accertata impossibilità di rispettare questa disposizione.

³² la tipologia della lampada è scelta in base ai campi di applicazione della tabella C-2, pag. 74.

per la fisiologia degli esseri viventi. Inoltre, se non viene effettuato il corretto smaltimento delle lampade³³ il loro impatto ambientale si aggrava. Il mercurio è un metallo liquido pesante dall'elevata tossicità³⁴, che si bioaccumula nel tessuto lipidico degli esseri viventi provocando diverse patologie:

- depressione e irritabilità sono i sintomi più leggeri di avvelenamento;
- danni neurologici, quali paralisi, cecità, demenza;
- rottura dei cromosomi e teratogenicità.

Infine, data la loro scarsa efficienza luminosa, bisogna ricorrere a un'elevata potenza nominale per avere il flusso luminoso necessario a garantire l'adeguata luminanza media minima al suolo, aumentando così il consumo di energia elettrica.

³³ la legislazione in materia di gestione integrata dei rifiuti lo considera rifiuti speciali in quanto contenenti mercurio.

³⁴ si è manifestata in modo drammatico nell'area della Baia di Minamata in Giappone, negli anni dal 1953 al 1960: 111 casi di avvelenamento, 43 morti, 19 bambini con malformazioni congenite. Le persone si erano nutrite con il pesce pescato nella baia, inquinata dagli scarichi contenenti mercurio di un'industria chimica.

3.2 - INTERVENTI NEL BREVE PERIODO

Il primo intervento che propongo è di estendere lo studio che ho eseguito al limitrofo Comune di Alberedo Arnaboldi, con il quale Campospinoso è in regime di unione, per gestire insieme anche l'illuminazione pubblica e sfruttare così la maggiore dimensione³⁵ di questo Ente per le economie di scala, in accordo con quanto promosso dalla Regione Lombardia³⁶.

La tabella 3-4 mostra i dati riassuntivi della rilevazione³⁷. I corpi illuminanti che producono inquinamento luminoso sono 196, pari all'89,1% del totale. Con i valori delle caratteristiche delle armature si è creato il grafico 3-1, che mostra la quantità di corpi illuminanti che hanno una determinata caratteristica negativa che li rende inquinanti. L'intervento più consistente è la verifica tecnica su 177 armature inclinate per determinare quali apparecchi possono essere regolati per la posa in opera orizzontale.

Tabella 3-4: dati riassuntivi della rilevazione

	ARMATURA					LAMPADA				
	TIPO	INCL.	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	CONSUMO (kWh)		PREZZO (€)		SOST.
			A	C		INST.	CONS.	INST.	CONS.	
<i>PIAZZA IN ZONA RESIDENZIALE</i>	19	-	10	0	19	9.972	9.180	859	791	8
<i>STRADA URBANA LOCALE IN ZONA RESIDENZIALE</i>	94	98	65	16	98	40.482	23.904	3.488	2.060	116
<i>STRADA URBANA LOCALE IN ZONA ARTIGIANALE</i>	4	17	1	0	17	10.188	7.236	878	624	21
<i>STRADA EXTRAURBANA SECONDARIA</i>	42	62	1	12	62	39.060	33.480	3.366	2.885	14
Tot.	159	177	77	28	196	99.702	73.800	8.591	6.359	159
	72,3%	80,5%	35,0%	12,7%	89,1%		-25.902		-2.232	70,4%

risparmio del 26,0%

I dati relativi alla sostituzione delle lampade indicano che si eviterebbe lo spreco di 25.902 kWh all'anno di energia elettrica, pari a 5.700 t.e.p., e l'immissione in atmosfera di 14.200 t di biossido di carbonio. La valutazione economica è sicuramente positiva: il piccolo Comune di Campospinoso risparmierebbe € 2.232 all'anno, il 26% della spesa attuale.

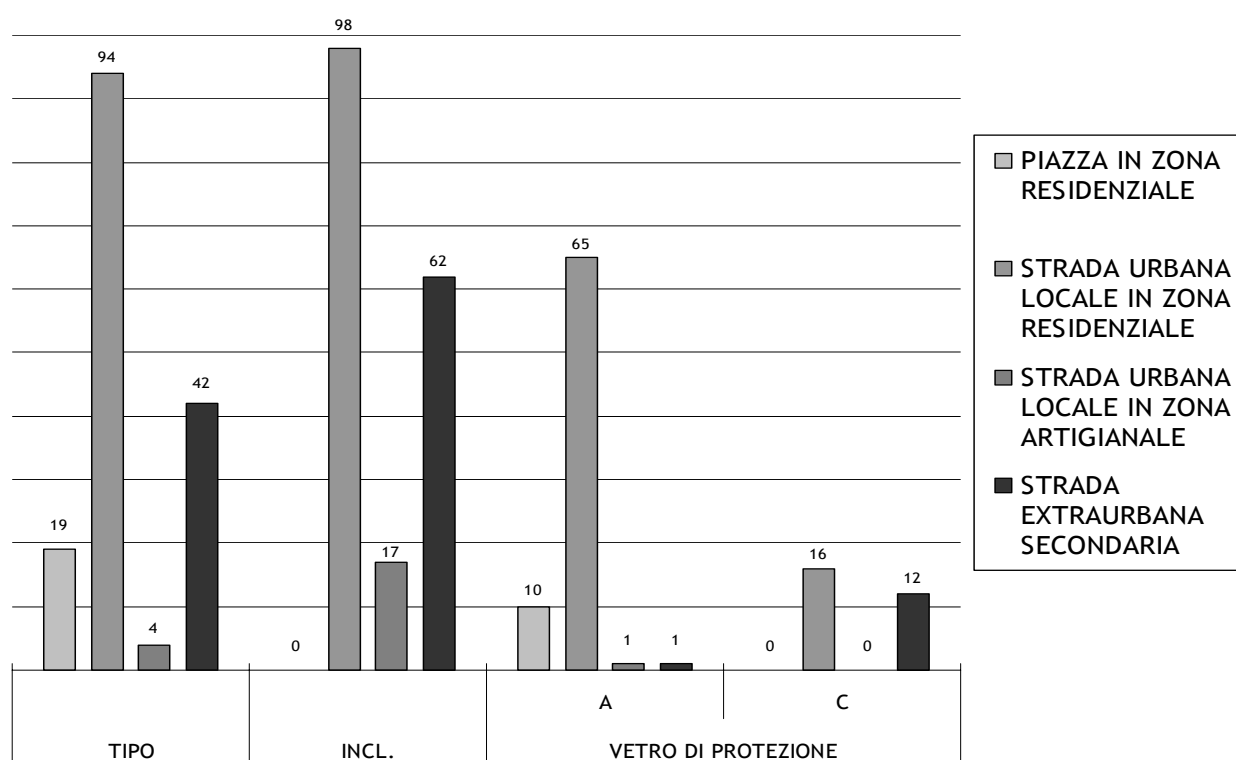
³⁵ 129,1 km² di superficie, 1.040 abitanti, 285 corpi illuminanti.

³⁶ L.R.L. 17/00, art. 2, comma 2 *quater*: «La Regione promuove forme di aggregazione tra i Comuni con l'obiettivo di facilitare la migliore applicazione dei dettati normativi, anche in termini di economicità degli interventi».

³⁷ le tabelle di rilevazione sono a pag. 95.

Nel 2004 i Comuni della Provincia di Pavia hanno consumato per l'illuminazione pubblica 44 GWh di energia elettrica³⁸: ipotizzando di applicare la stessa percentuale di risparmio a questa cifra, si sarebbe evitato di sprecare 11,4 GWh di energia elettrica, pari a 2,5 Mt.e.p., e di immettere nell'atmosfera 6,2 Mt di biossido di carbonio. Il risparmio di risorse finanziarie complessivo di tutti i Comuni della Provincia sarebbe stato di € 982.350. Il dato dei consumi di energia elettrica è aggregato, ovvero non discrimina i consumi per ordine di grandezza degli utenti. Questo pone un limite alla lettura di questa estrapolazione puramente indicativa.

Grafico 3-1: le caratteristiche tecniche negative delle armature



Il grafico 3-2 mostra le tipologie e la quantità di lampade attualmente installate ed è stato elaborato con i dati dalla tabella 3-5, nella quale è riportata anche la distribuzione per forma del bulbo e potenza nominale. Queste due caratteristiche sono molto importanti per poter ponderare la scelta della lampada sostitutiva: infatti, solo con esse è possibile conoscere il valore del flusso luminoso emesso e il tipo di attacco all'armatura. In particolare il tipo di attacco è tecnicamente discriminante a causa della sua forma e, dato che non è attuabile la sostituzione del portalampada, circoscrive la scelta allo stesso gruppo della lampada da sostituire.

³⁸ fonte: Terna - Rete Elettrica Nazionale S.p.A.

3 - STUDIO ESEGUITO NEL COMUNE DI CAMPOSPINOSO

A questo proposito è esemplare il caso delle strade urbane locali della zona artigianale. Gli impianti d'illuminazione di queste vie, di recente realizzazione, hanno corpi illuminanti sui quali sono installate dalle lampade a vapori di sodio ad alta pressione: l'impiego di lampade a vapori di sodio a bassa pressione, come consigliato dalla sopraccitata tabella C-2, avrebbe evitato lo spreco di un'ulteriore 1,7%³⁹ con lampade SBP-T da 55 W, o del 3,1%⁴⁰ con lampade SBP-T da 35 W. Purtroppo, la carenza informativa in merito a questi aspetti ha indirizzato la scelta alle lampade a vapori di sodio ad alta pressione.

Grafico 3-2: le tipologie e la quantità di lampade attualmente installate

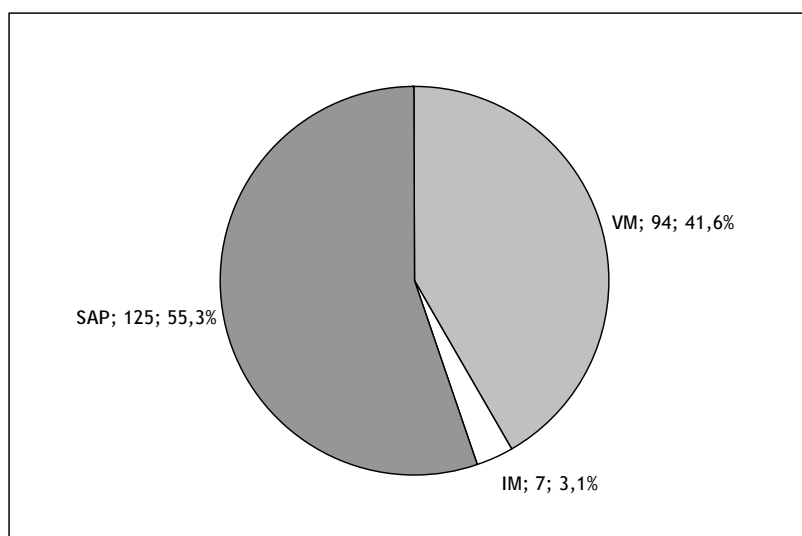


Tabella 3-5: la quantità di lampade installate al presente e le loro caratteristiche tecniche

INST.	SOST.	TIPO	POTENZA (W)	FLUSSO LUMINOSO (lm)	ATTACCO	EFFICIENZA LUMINOSA (lm/W)	VITA MEDIA (h)	
65	41,6%	VM-E	80	3.600	E27	45	10.000	
29			125	6.300	E27	50	10.000	
7	3,1%	IM-C	150	12.000	Rx7s	80	6.000	
4	55,3%	SAP-E	70	5.600	E27	80	14.000	
10			100	9.500	E40	95	14.000	
2	55,3%	SAP-T	70	6.500	E27	93	14.000	
28			100	10.000	E27	100	14.000	
63			13	150	14.500	E40	97	14.000
17			17	250	27.000	E40	108	14.000
1			1	400	48.000	E40	120	14.000
226	159							

³⁹ 1.674 kWh all'anno di energia elettrica, pari a € 145.

⁴⁰ 3.042 kWh all'anno di energia elettrica, pari a € 262.

Gli interventi di verifica tecnica delle armature di incerta determinazione, operando dove possibile la simultanea messa in opera orizzontale, e di sostituzione delle 159 lampade, pari al 70,4% del totale, possono essere programmati in una manutenzione straordinaria, in modo tale da ottenere immediatamente sia i vantaggi ambientali che quelli economici. Il prezzo di 159 lampade ai vapori di sodio ad alta pressione è di € 837,40, ammortizzato in 137 giorni dai minori consumi di energia elettrica.

Nell'ipotesi di voler programmare gli interventi nella manutenzione ordinaria, il prezzo di € 275,58 è dato dall'extracosto della sostituzione delle 94 lampade ai vapori di mercurio con quelle ai vapori di sodio ad alta pressione. La gestione così fatta dell'intervento, oltre a essere più laboriosa dal punto di vista organizzativo rispetto a un intervento di manutenzione straordinaria, non consente di avvalersi *in toto* dei risparmi derivanti dai minori consumi di energia elettrica e, di conseguenza, di calcolare il tempo di ritorno dell'investimento.

La soluzione ottimale è la programmazione mista degli interventi:

- in manutenzione straordinaria la sostituzione delle 94 lampade ai vapori di mercurio con quelle ai vapori di sodio ad alta pressione e la verifica delle armature su cui sono installate. Il tempo di ritorno dell'investimento è di 45 giorni;
- in manutenzione ordinaria la sostituzione delle rimanenti 65 lampade ai vapori di sodio ad alta pressione con altre dello stesso tipo ma con potenza minore e la verifica delle armature su cui sono installate.

I prezzi unitari medi netti delle lampade utilizzati per i computi⁴¹ sono stati calcolati dalle fatture di E.N.E.L. So.l.e.⁴².

⁴¹ i valori al netto dell'I.V.A. sono: € 2,34 per le lampade ai vapori di mercurio e € 5,27 per quelle ai vapori di sodio ad alta pressione.

⁴² per la gestione degli impianti d'illuminazione pubblica del Comune di Campospinoso

3.2.1 - PIAZZE IN ZONA RESIDENZIALE

In aggiunta alla funzione principale d'illuminare la piazza, questi corpi illuminanti hanno anche quella estetica di arredo urbano. I canoni estetici e la validità illuminotecnica si pongono spesso in contrapposizione, per cui si ritiene necessario un approfondimento.

PIAZZA ARNABOLDI

In questa piazza sono presenti sette corpi illuminanti a luce indiretta (figura 3-5 a sinistra) con installate delle lampade a vapori di ioduri metallici da 150 W.

Figura 3-5: corpo illuminante a luce indiretta in piazza Arnaboldi (a sx) e corpo illuminante con due lanterne in piazza della Chiesa (a dx)



La sorgente ottica è orientata verso l'alto e la radiazione ottica emessa colpisce la soprastante vela e viene riflessa verso il basso. Nelle notti nebbiose si può notare che una parte della radiazione ottica emessa sfugge verso l'alto dai lati della vela. L'efficienza complessiva di questo corpo illuminante è molto bassa. Infatti, nonostante i 12.000 lm emessi, illuminano una piccola area nel loro intorno: la sostituzione con una lampada dello stesso tipo da 70 W non è, quindi, attuabile. L'intervento consigliato nel breve periodo è la pulizia della vela, allo scopo di ripristinare l'integrità della superficie riflettente. Nel medio-lungo termine si consiglia la loro sostituzione con corpi illuminanti a norma della L.R.L. 17/00.

PIAZZA DELLA CHIESA

In questa piazza sono presenti sei corpi illuminanti con installate delle lampade a vapori di sodio ad alta pressione con il bulbo ellissoidale da 100 W: quattro di questi portano due lanterne (figura 3-5 a destra), mentre i due rimanenti una sola.

L'armatura emette la radiazione ottica in tutte le direzioni: l'emissione A è fermata dai muri di cinta e dagli edifici che circondano la piazza, mentre per l'emissione B si consiglia di sostituire, se tecnicamente fattibile, i vetri trasparenti superiori con degli specchi che riflettano la luce verso il basso, in modo da fermare la radiazione ottica e aumentare la luminanza al suolo. La lampada installata è quella di minor potenza per il tipo di attacco E40, per cui la sostituzione non è attuabile.

PIAZZA SAN LORENZO

In questa piazza sono presenti sei corpi illuminanti: quattro di questi portano una lanterna (figura 3-6 a sinistra) con installate delle lampade a vapori di sodio ad alta pressione da 70 W, mentre i due rimanenti portano due apparecchi per illuminazione diretta (figura 3-6 a destra) con installate delle lampade a vapori di sodio ad alta pressione da 150 W e da 70 W.

Figura 3-6: corpo illuminante con una lanterna (a sx) e corpo illuminante con due apparecchi per illuminazione diretta (a dx) in piazza San Lorenzo



Le lanterne sono dello stesso tipo di quelle di Piazza della Chiesa, per cui valgono le stesse osservazioni sia per l'emissione A (anche questa piazza è chiusa sui quattro lati da edifici) sia per l'emissione B. In queste lanterne la potenza della lampada può essere diminuita: considerando che la piazza è costeggiata su tre lati da strade illuminate, l'impiego di lampade ai vapori di sodio ad alta pressione da 50 W non ne compromette la luminanza al suolo complessiva. La funzione degli apparecchi per illuminazione diretta è quella d'illuminare la facciata dell'omonima Chiesa e occorre verificarne la conformità alla L.R.L. 17/00, articolo 6, comma 10: <<l'illuminazione di edifici e monumenti, fatte salve le disposizioni del comma 2 in termini di intensità luminosa massima, deve essere di tipo radente, dall'alto verso il basso; solo nei casi di comprovata inapplicabilità del metodo ed esclusivamente per manufatti di comprovato valore artistico, architettonico e storico, sono ammesse altre forme di illuminazione, purché i fasci di luce rimangano entro il perimetro delle stesse, l'illuminamento non superi i 15 lux, l'emissione massima al di fuori della sagoma da illuminare non superi i 5 lux e gli apparecchi di illuminazione vengano spenti entro le ore ventiquattro>>.

3.3 - INTERVENTI NEL MEDIO E LUNGO PERIODO

La conclusione della verifica tecnica delle armature di incerta determinazione e della sostituzione delle lampade, avvia l'intervento a medio termine che consiste nella stesura del piano dell'illuminazione, per dotare il Comune dello strumento che disciplina le nuove installazioni, nonché i tempi e le modalità di adeguamento, manutenzione o sostituzione di quelle esistenti. Questo è un passaggio fondamentale per pianificare la tempistica degli interventi necessari a raggiungere l'obiettivo di lungo periodo: la sostenibilità completa dell'illuminazione pubblica per mezzo della sostituzione di tutti gli impianti che non rispettano la L.R.L. 17/00.

A questo proposito si riportano alcuni accorgimenti tecnici, in aggiunta a quelli impiegati finora, per ottimizzare i consumi di energia elettrica:

- nell'illuminazione di strade pubbliche e private, di grandi aree, e in tutti gli impianti che impegnino almeno 4/5 kW di potenza si devono utilizzare riduttori di flusso i quali, consentendo la riduzione della tensione e la sua stabilizzazione, diminuiscono i consumi fino al 30/40% l'anno, con possibilità di accrescere notevolmente la vita delle lampade e, quindi, con minori spese per la ordinaria manutenzione. Questi dispositivi possono essere facilmente ammortizzati in due o tre anni a seconda dell'uso, risultando pertanto molto vantaggiosi per i Comuni e per tutti i soggetti (pubblici e privati) che utilizzano impianti medio-grandi per tutta la durata della notte;
- è ammissibile e deve essere promossa anche una illuminazione promiscua di lampade ai vapori di sodio a bassa pressione e ai vapori di sodio ad alta pressione: in questo caso le lampade ai vapori di sodio a bassa pressione fornirebbero l'intensità luminosa di base mentre le lampade di sodio ad alta pressione darebbero la tonalità di colore necessaria per visualizzare i movimenti;
- in molti casi è utile impiegare impianti con cablaggio bipotenza. Un timer comanda il dispositivo che riduce la potenza nominale della lampada, ad esempio da 150 a 100 W, al di fuori degli orari di traffico intenso.

4 - CONCLUSIONI

La valutazione economica degli interventi ipotizzati è positiva, dimostrando che la riqualificazione degli impianti di pubblica illuminazione è un'azione concreta di sviluppo economico sostenibile e realizza una molteplicità di obiettivi:

- riduzione dell'impatto ambientale dell'inquinamento luminoso e dello spreco energetico a esso correlato;
- riduzione di una voce di costo del bilancio comunale;
- innovazione tecnologica che le disposizioni della L.R.L. 17/00 ha favorito;
- ricaduta occupazionale nella filiera del settore illuminotecnico.

Lo studio eseguito per dimostrare la tesi iniziale ha sviluppato un modello, esportabile e applicabile in altri Comuni, che richiede bassi costi e poco personale addetto. Le tabelle progettate per la rilevazione sono di facile compilazione e lettura e l'elenco di base è fornito dal gestore in tempi brevi: il limite informativo di questo elenco è la mancanza di dati sulle caratteristiche delle armature, che causa alcune incertezze nella rilevazione dei dati.

Inoltre, i contenuti informativi di questa tesi la rendono anche uno strumento divulgativo: l'atteggiamento delle Amministrazioni Comunali e della popolazione nei confronti della radiazione ottica emessa dalle lampade al sodio, sia a bassa che ad alta pressione, di solito poca accettata a causa della loro colorazione, cambierebbe sostanzialmente se fossero più informati sugli aspetti e i risultati che ho esposto in questo elaborato.

Figura 4-1: rappresentazione della stessa via illuminata da armature non schermate (a sx) e da armature totalmente schermate (a dx)



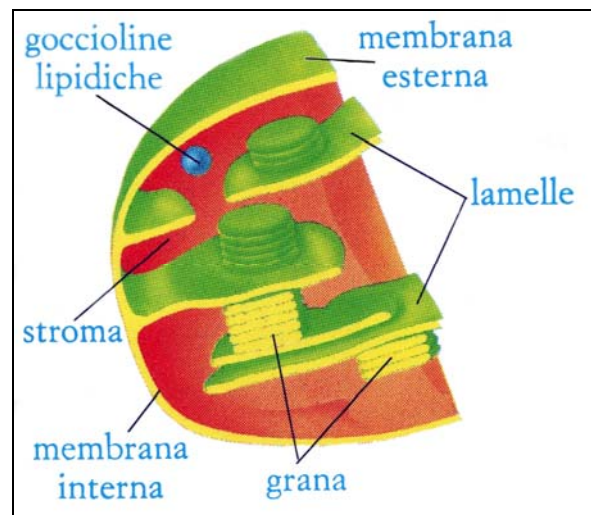
(fonte: VEDOVATO M., 2004)

APPENDICE

A - FOTOSINTESI CLOROFILLIANA

Questo processo fotochimico ha luogo nei cloroplasti (figura A-1), organuli della cellula vegetale di dimensioni comprese per fra i 3 e i 10 μm e di forma ovoidale o lenticolare o arrotondata. Al microscopio elettronico è visibile la doppia membrana: mentre la membrana esterna continua li separa dal citoplasma, quella interna si introflette formando le lamelle tilacoidali o tilacoidi, sacculi appiattiti più o meno paralleli fra loro e disposti secondo l'asse longitudinale del cloroplasto, in cui avviene la fase luminosa della reazione per mezzo dei pigmenti fotosintetici.

Figura A-1: rappresentazione schematica di un cloroplasto



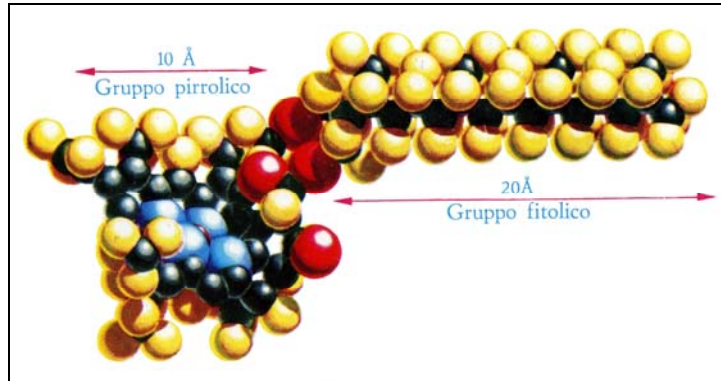
(fonte: RAFFELLI M., DOMENECH J. M. T., 1993)

Nei cloroplasti delle piante superiori sono presenti i grana, strutture più evolute ed efficienti costituite da 2 a 40 tilacoidi circolari posti l'uno sopra l'altro. Lo stroma è lo spazio interno del cloroplasto e racchiude una soluzione acquosa contenente ioni, amido, lipidi, proteine, enzimi, acidi nucleici (DNA e RNA).

Il pigmento fotosintetico basilare è la clorofilla (figura A-2), termine con cui vengono definiti un gruppo di composti chimici la cui formula di struttura contiene una lunga catena fitolica e un anello tetrapirrolico con al centro un atomo di magnesio. I quattro anelli pirrolici sono legati l'uno all'altro da quattro ponti metinici (-CH=), caratterizzati dal doppio legame coniugato: la regolare alternanza di legame doppio e legame semplice determina le proprietà ottiche della molecola. Mediante l'analisi cromatografica sono stati separati i due tipi di clorofilla presenti nelle piante superiori, che si differenziano per modifiche della catena laterale e per lo spettro di

assorbimento: la clorofilla *a* ($C_{55}H_{72}N_4O_5Mg$), che è verde bluastra e ha il massimo d'assorbimento caratteristico a 410, 430, 662 nm, e la clorofilla *b* ($C_{55}H_{70}N_4O_6Mg$), verde giallastra con massimo d'assorbimento caratteristico a 453 e 642 nm.

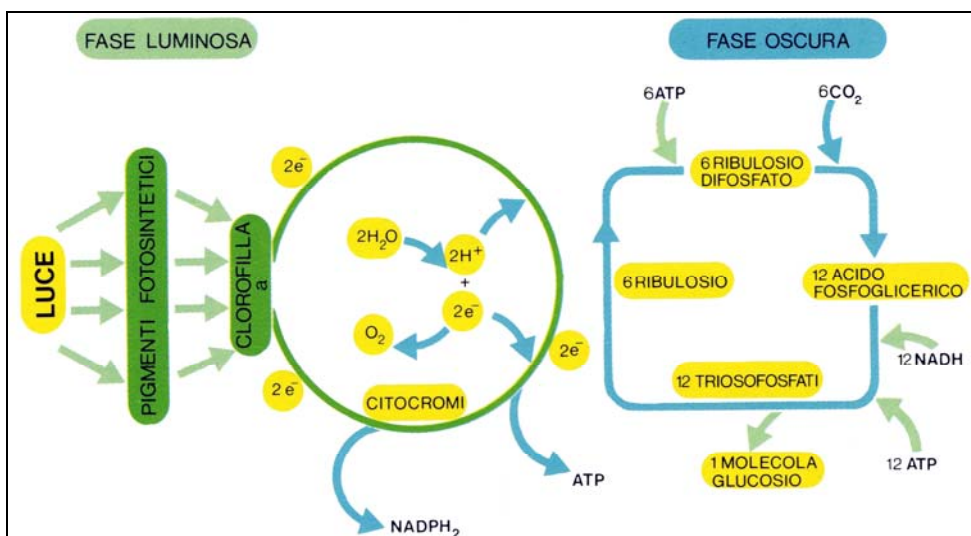
Figura A-2: struttura molecolare della clorofilla



(fonte: RAFFELLI M., DOMENECH J. M. T., 1993)

Nelle reazioni luce-dipendenti i quanti di energia dei fotoni assorbiti spostano gli elettroni delle molecole della clorofilla *b* e dei carotenoidi, i pigmenti accessori, a un livello energetico superiore. Le molecole eccitate possono cedere l'energia assorbita a lunghezza d'onda superiore⁴³, quindi con un'energia minore, oppure trasferirla alla clorofilla *a* che innesca la prima reazione chimica della fotosintesi. Dalla scissione della molecola d'acqua si formano due protoni, che si legano al coenzima trasportatore NAD (nicotinammideadenindinucleotide), due elettroni, una molecola d'ossigeno che va ad arricchire l'atmosfera.

Figura A-3: schema della fotosintesi clorofilliana



(fonte: RAFFELLI M., DOMENECH J. M. T., 1993)

⁴³ sotto forma di calore e di fluorescenza.

La fase oscura della fotosintesi si realizza nello stroma: l'energia chimica prodotta nella fase luminosa, l'ATP (adenosintrifosfato) e il NADPH₂ (nicotinammide-adenindinucleotide fosfato), viene utilizzata nel ciclo di Calvin per ridurre l'anidride carbonica assorbita dall'esterno. Il ciclo di Calvin richiede la presenza, nel cloroplasto, del ribulosio, uno zucchero a cinque atomi di carbonio, che funziona da accettore della CO₂. Dapprima si forma un composto instabile a sei atomi di carbonio, che si scinde in due molecole di acido trifosfoglicerico. Questo processo riduttivo, al quale prendono parte enzimi appartenenti a vari gruppi, porta alla formazione di gliceraldeide fosfato, estere fosforico della glicerina, che rappresenta la specie chimica di partenza per la sintesi di carboidrati complessi. Nelle successive reazioni si ha la rigenerazione della molecola del ribulosio e il ricavato netto di un singolo ciclo di Calvin, una frazione di molecola di glucosio: per ottenere un'intera molecola di glucosio (C₆H₁₂O₆) il ciclo deve ripetersi sei volte.

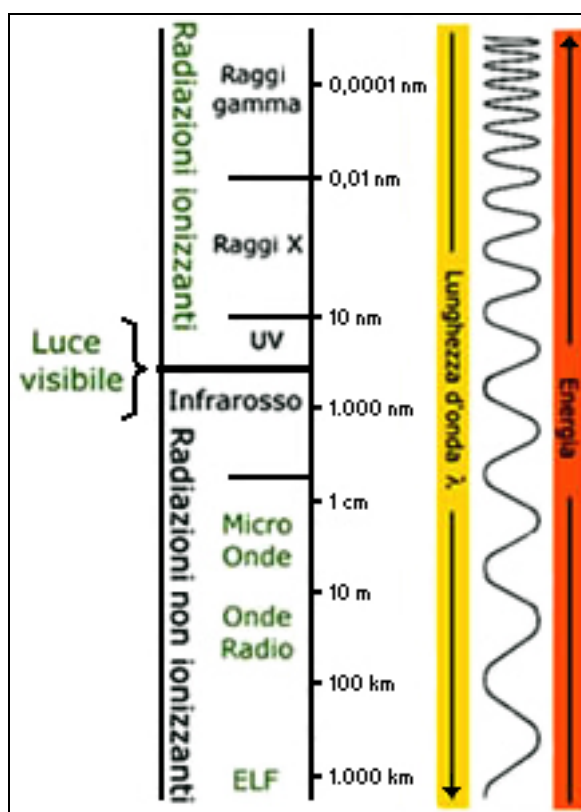
Le molecole di glucosio polimerizzano in amido, la sostanza di riserva più comune nelle piante superiori.

B - NOZIONI DI OTTICA

B.1 - RADIAZIONI OTTICHE

Le radiazioni ottiche sono onde elettromagnetiche la cui frequenza è compresa tra $4,3 \cdot 10^{14}$ Hz e $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz, corrispondente a lunghezze d'onda comprese tra 700 e 400 nm. Questa ristretta banda dello spettro elettromagnetico (figura B-1) è quella che raggiunge in quantità maggiore la superficie terrestre, sostenendo la vita. Infatti queste lunghezze d'onda non interferiscono negativamente a livello biologico, come avviene invece per tutte le lunghezze d'onda minori, che hanno l'energia necessaria per rompere i legami chimici delle molecole organiche alterandone la funzione, e per quelle appena superiori che, se in eccesso, aumentano oltremisura l'energia vibrazionale degli atomi e di conseguenza la temperatura del corpo di cui fanno parte. Le radiazioni ionizzanti sono fermate dagli atomi liberi e dalle molecole inorganiche presenti negli strati alti dell'atmosfera⁴⁴, mentre la maggior parte delle radiazioni infrarosse sono assorbite dal vapor acqueo e dal biossido di carbonio presenti nella troposfera.

Figura B-1: lo spettro elettromagnetico



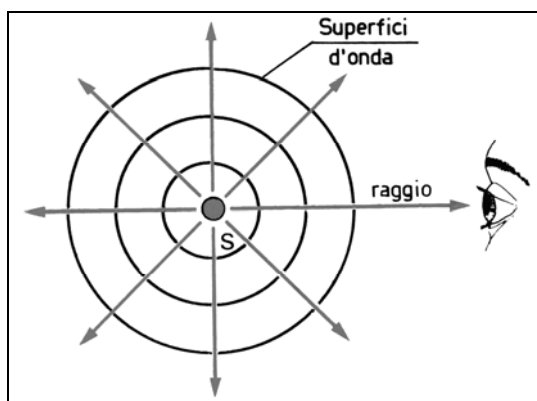
(fonte: Provincia di Torino, modificato)

⁴⁴ la stratosfera, la mesosfera, la termosfera ed infine la esosfera che, a partire da 400 km di altezza, si dissolve nello Spazio.

Le sorgenti ottiche (stelle, fiamme, metalli incandescenti) le emettono irradiando energia che, in assenza di ostacoli, si propaga in tutte le direzioni dello spazio con superfici d'onda sferiche⁴⁵. L'occhio umano deve disporsi in una delle direzioni lungo le quali tale energia si propaga per riceverne una parte. La direzione lungo la quale l'occhio riceve l'energia dalla sorgente si definisce raggio d'onda ottica e provoca nell'osservatore la sensazione luminosa, più comunemente definita luce (figura B-2).

Esso non è un ente fisico ma solo geometrico e quindi è errato parlare di raggi luminosi o raggi di luce: ciò perché non esiste luce al di fuori dell'osservatore e perché nel significato corrente della parola ai raggi si attribuisce una realtà fisica che in verità non hanno.

Figura B-2: il raggio d'onda ottica entra nell'occhio



(fonte: MILLER H., 1989, modificato)

L'energia raggianti è emessa, si propaga, è assorbita per quanta ed è trasportata nello spazio dai fotoni ottici, originati dai salti quantici degli elettroni periferici all'interno degli atomi, e non distribuita sul fronte d'onda, com'è richiesto dalla teoria ondulatoria. Questa è la conclusione alla quale giunse il fisico tedesco Albert Einstein dopo gli studi sull'effetto fotoelettrico⁴⁶, e che fu fondamentale per spiegare il dualismo onda-particella. Infatti, ne deriva che nei fenomeni che riguardano le radioonde l'effetto di un singolo fotone non è rilevabile, mentre lo è quello dovuto a una moltitudine di fotoni: in questo campo di fenomeni prevale l'aspetto ondulatorio. A livello di particelle elementari invece, l'energia portata da un singolo fotone γ è più che sufficiente a produrre fenomeni d'interazione, per cui si deve necessariamente pensare ai fotoni in termini di particelle.

⁴⁵ il luogo dei punti nei quali le onde sono in concordanza di fase.

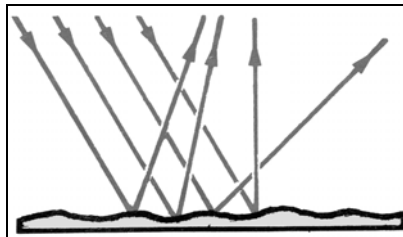
⁴⁶ Einstein pubblicò i risultati dei suoi studi nel 1905 nella teoria dei fotoni, che gli valse il premio Nobel per la fisica nel 1921.

B.2 - PROPRIETÀ FISICHE DELLE RADIAZIONI OTTICHE

Alle radiazioni ottiche si associano vari fenomeni fisici:

- diffusione dell'energia raggiante che colpisce la superficie di un corpo in tutte le possibili direzioni. Il fenomeno è anche detto riflessione diffusa, che differisce da quella ordinaria perché la direzione della luce diffusa non è univocamente determinata da quella del raggio incidente

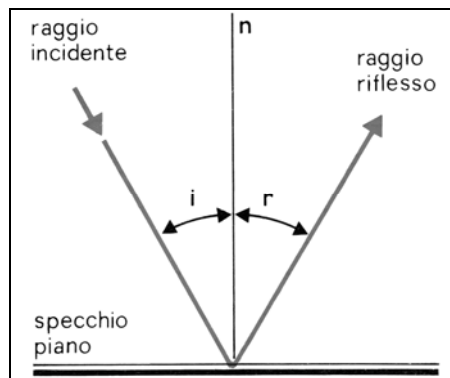
Figura B-3: diffusione dell'energia raggiante



(fonte: MILLER H., 1989)

- riflessione ordinaria dell'energia raggiante in una sola direzione da parte di una superficie molto levigata in senso ottico, cioè il suo grado di rugosità è inferiore alla lunghezza d'onda incidente (a esempio lo specchio). La riflessione è regolata da due leggi geometriche:
 - il raggio dell'onda incidente, il raggio dell'onda riflessa, la normale alla superficie di riflessione appartengono allo stesso piano
 - l'angolo di riflessione r è uguale all'angolo d'incidenza i

Figura B-4: riflessione di un raggio d'onda ottica



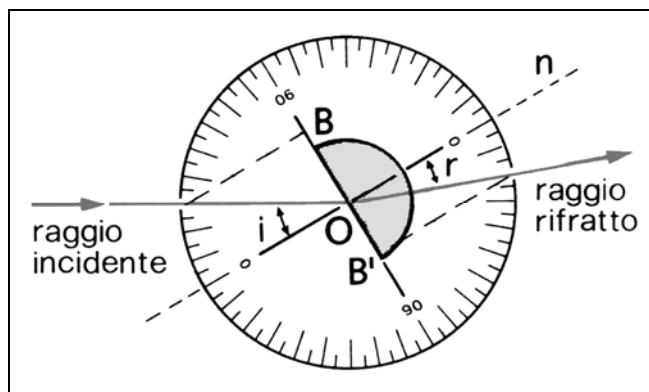
(fonte: MILLER H., 1989)

- rifrazione: l'energia raggiante subisce una deviazione nella direzione di propagazione quando passa da un mezzo a un altro otticamente diverso. Anche la rifrazione è regolata da due leggi geometriche:
 - il raggio dell'onda incidente, il raggio dell'onda rifratta, la normale nel punto d'incidenza appartengono allo stesso piano

- il rapporto $\sin i / \sin r$ è costante al variare di i ed è uguale al rapporto fra la velocità di propagazione della luce nel primo mezzo (v_1) e la velocità di propagazione nel secondo mezzo (v_2):

$$\sin i / \sin r = v_1 / v_2 = n_{2,1} \quad \text{indice di rifrazione relativo di 2 rispetto a 1}$$

Figura B-5: rifrazione di un raggio d'onda ottica

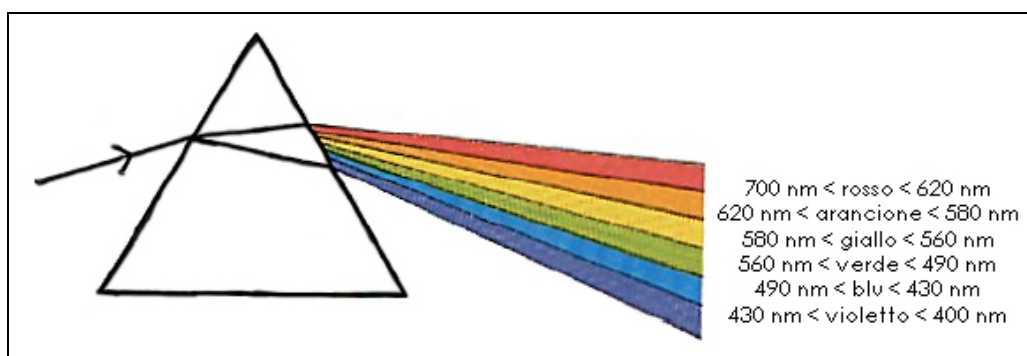


(fonte: MILLER H., 1989)

L'indice di rifrazione assoluto di un mezzo è l'indice di rifrazione relativo al vuoto riferito a luce con $\lambda=589$ nm. Si è reso necessario prendere come riferimento questa λ perché l'indice di rifrazione cresce col crescere della frequenza, e di conseguenza, tutte le radiazioni ottiche si propagano nel vuoto, o nell'aria, con la medesima velocità, mentre in mezzi diversi dal vuoto la loro velocità diminuisce col crescere della frequenza

- **dispersione** di un raggio d'onda ottica policromatico nelle varie lunghezze d'onda componenti, formando uno spettro che dipende dall'indice di rifrazione del mezzo e dalla lunghezza d'onda della luce. Una prova evidente la si ottiene osservando la rifrazione di un raggio d'onda ottica bianco attraverso un prisma: la radiazione emerge separandosi in fasci di vari colori, poiché i raggi di minore lunghezza d'onda sono rifratti con un angolo r maggiore.

Figura B-6: rifrazione di un raggio d'onda ottica bianco

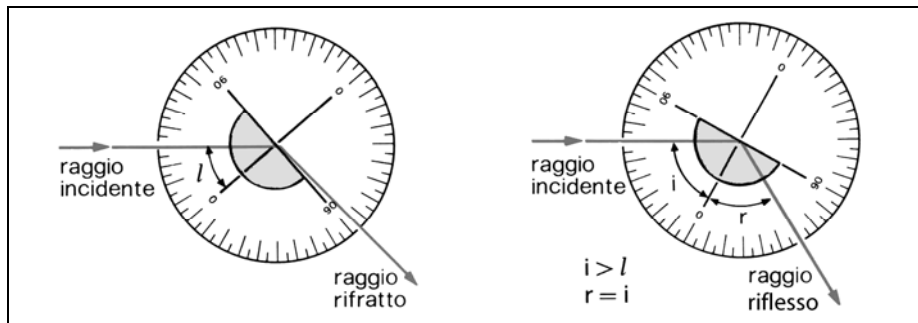


(fonte: MILLER H., 1989, modificato)

Questo fenomeno fu indagato sistematicamente per la prima volta dal fisico inglese Isaac Newton, che dal 1670 al 1672 studiò l'ottica. Egli concluse che ogni telescopio rifrattore avrebbe subito gli effetti dell'aberrazione cromatica⁴⁷ e per eliminarla inventò il telescopio riflettore, costruito con specchi invece che con lenti

- **riflessione totale:** è un caso particolare di rifrazione. Aumentando l'inclinazione del raggio incidente, quello rifratto si allontana ulteriormente dalla normale finché, in corrispondenza di un particolare angolo d'incidenza l , detto angolo limite, il raggio rifratto risulta inclinato sulla normale di un angolo di 90° . Per incidenze superiori all'angolo limite, il raggio emergente si riflette.

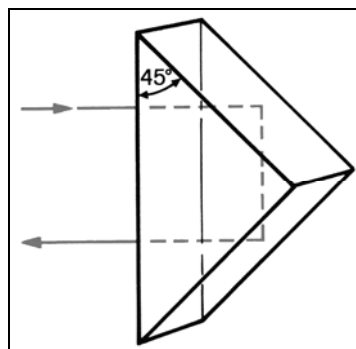
Figura B-7: riflessione totale di un raggio d'onda ottica



(fonte: MILLER H., 1989)

Questa proprietà trova applicazione nei catarifrangenti dei veicoli o dei segnali stradali per mezzo dei prismi a riflessione totale (con base triangolare rettangolare isoscele e costituiti di una sostanza trasparente il cui angolo limite è inferiore a 45°).

Figura B-8: prisma a riflessione totale



(fonte: MILLER H., 1989)

⁴⁷ una lente di vetro normale ha un fuoco lievemente differente per i diversi colori dell'iride e questo altera i colori degli oggetti osservati.

C - NOZIONI DI ILLUMINOTECNICA

Dopo l'esposizione di un elenco di termini illuminotecnici, saranno forniti i criteri per valutare le due parti di cui è composto un corpo illuminante:

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

La scelta di un buon apparecchio richiede un'opportuna valutazione di questi elementi: utilizzare una lampada con un'alta efficienza luminosa fa indubbiamente risparmiare energia, ma continuerà a produrre inquinamento luminoso se inserita in una armatura non totalmente schermata o posta in opera inclinata.

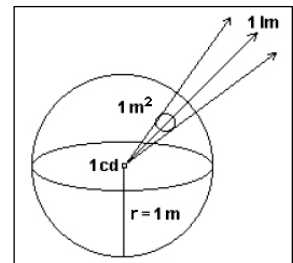
C.1 - GLOSSARIO DEI TERMINI⁴⁸

Flusso luminoso

Il flusso luminoso Φ è la quantità di energia raggiante Q o di luce emessa da una sorgente nell'unità di tempo:

$$\Phi = Q/t$$

Dalla formula si deduce che il flusso luminoso è una potenza e la sua unità di misura è il lumen lm , che corrisponde al flusso luminoso emesso da una sorgente di luce puntiforme isotropa, di intensità pari a una candela, e uscente da un metro quadrato di superficie sferica con raggio pari a un metro.



Intensità luminosa

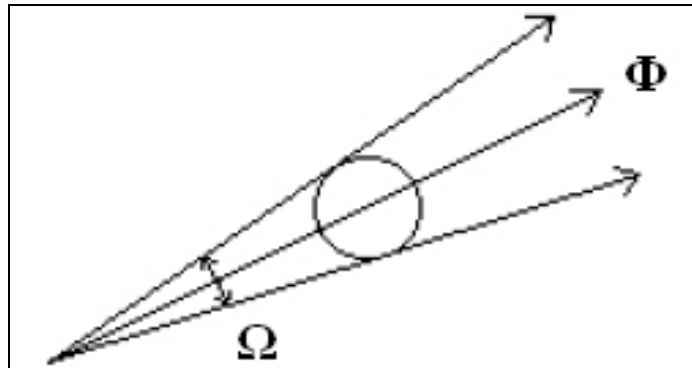
L'intensità luminosa I si calcola con la formula:

$$I = \Phi/\Omega$$

dove Φ è il flusso luminoso in una direzione, emesso dalla sorgente luminosa all'interno di un piccolo cono di angolo solido Ω ; in pratica l'intensità luminosa non è altro che la densità di flusso in una certa direzione. L'unità di misura dell'intensità luminosa è la candela cd e corrisponde all'intensità luminosa emessa da un corpo nero alla temperatura di fusione del platino (2.040 K) alla frequenza di $540 \cdot 10^{12}$ Hz, in direzione

⁴⁸ il testo e le immagini seguenti, ai quali ho apportato alcune modifiche, sono estratti da "Nozioni di illuminotecnica - glossario dei termini" dell'ingegnere Carlo Rossi della Commissione Nazionale Inquinamento Luminoso dell'Unione Astrofili Italiani.

perpendicolare a un foro di uscita con un'area pari a $1/600.000 \text{ m}^2$ alla pressione di $101,325 \text{ Pa}$. La distribuzione spaziale dell'intensità luminosa di un corpo illuminante è graficamente rappresentata dalle curve fotometriche.

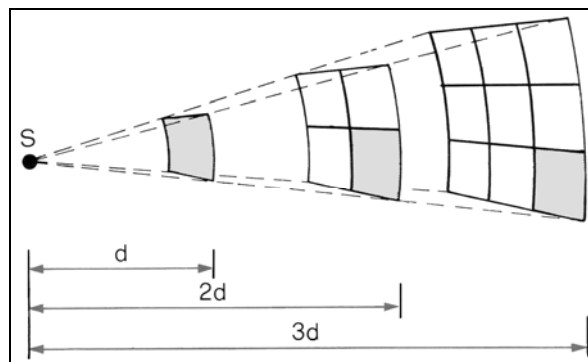


Illuminamento

L'illuminamento E è il flusso d'irraggiamento definito dal rapporto fra il flusso luminoso incidente ortogonalmente su una superficie e l'area A della superficie che riceve il flusso:

$$E = \Phi / A$$

L'unità di misura dell'illuminamento è il *lux* (lm/m^2). Il lux è definito come il flusso luminoso emesso da una sorgente luminosa situata al centro di una sfera con una intensità luminosa di 1 cd che illumina una superficie di 1 m^2 . L'illuminamento è inversamente proporzionale al quadrato della distanza dalla sorgente ottica.



Efficienza luminosa

L'efficienza luminosa η è stata introdotta per rapportare le grandezze fotometriche a quelle energetiche, ed è, infatti, il rapporto fra il flusso luminoso emesso da una sorgente ottica e la potenza elettrica assorbita:

$$\eta = \Phi / P_e$$

L'efficienza luminosa di una lampada si misura in lm/W ed è una funzione variabile con il tipo di lampada:

- 6 - 18 lm/W per le lampade ad incandescenza;
- 40 - 60 lm/W per le lampade ai vapori di mercurio;
- 60 - 100 lm/W per le lampade ai vapori di alogenuri metallici;
- 60 - 150 lm/W per le lampade ai vapori di sodio ad alta pressione;
- 100 - 190 lm/W per le lampade ai vapori di sodio a bassa pressione.

La lampada ai vapori di sodio a bassa pressione ha l'efficienza luminosa più elevata: a parità di lumen emessi questa lampada consuma un terzo dell'energia elettrica di una lampada ai vapori di mercurio.

Il processo fisico che descrive l'efficienza luminosa può essere riassunto in due fasi:

- in entrata l'energia elettrica assorbita nel tempo è in funzione della potenza nominale in watt della lampada;
- in uscita dalla lampada troviamo il flusso luminoso che è minore della potenza assorbita in quanto nel passaggio entrata/uscita ci sono delle perdite di potenza.

La formula seguente evidenzia quanto spiegato:

$$P_u = P_e - P_p$$

dove P_u è la potenza luminosa in uscita, cioè il flusso luminoso, P_e la potenza elettrica assorbita dalla lampada, P_p la potenza perduta e quindi non trasformata in energia raggiante. La potenza perduta è dovuta al processo non ideale di trasformazione della potenza elettrica in potenza raggiante a causa delle seguenti perdite:

- addizionali (a esempio dei contatti elettrici);
- per effetto Joule⁴⁹;
- per riflessione e assorbimento della luce emessa da parte del bulbo in vetro, che si trasforma in calore ceduto dal bulbo stesso all'ambiente esterno;
- interne per convezione;
- per emissione nel campo dell'invisibile (radiazioni ultraviolette e infrarosse);
- per una scarica non ideale dei gas.

Un'alta efficienza luminosa si ottiene, quindi, minimizzando le perdite di potenza del processo di trasformazione dell'energia elettrica in energia raggiante.

Brillanza o luminanza

La brillanza B è pari al rapporto fra l'intensità luminosa I emessa in una certa direzione e l'area A della superficie emittente perpendicolare alla direzione:

$$B = I/A$$

⁴⁹ dissipazione di energia elettrica, che passa in un conduttore, sotto forma di energia termica.

L'unità di misura della luminanza è il *nit* (cd/m^2), che equivale al flusso luminoso emesso per unità di angolo solido da una sorgente di luce puntiforme isotropa di intensità pari a una candela entro un'area unitaria perpendicolare alla direzione del flusso luminoso.

La luminanza è importante in quanto deve essere sufficiente e uniforme al fine di riconoscere il percorso, i pedoni ed eventuali ostacoli. Valori troppo elevati di luminanza delle sorgenti portano a abbassare il contrasto e quindi a uno scarso riconoscimento dei pedoni od ostacoli. Infatti se illuminiamo con la stessa quantità di luce due aree di color diverso, una più chiara e 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. In pratica, la sensazione visiva dell'occhio umano, quando percepisce la luce direttamente emessa da una sorgente o riflessa da una superficie, è in funzione della luminanza.

Radianza o luminosità

La radianza R è la grandezza energetica corrispondente alla brillantezza e si calcola dividendo il flusso luminoso Φ emesso per l'area A della superficie irraggiante:

$$R = \Phi/A$$

La luminosità si misura in $\text{W}/\text{sr}\cdot\text{m}^2$ ed è il flusso luminoso di 1 lm emesso in un emisfero da un metro quadrato di superficie irraggiante.

Temperatura di colore

La temperatura di colore, la cui unità di misura è il grado Kelvin, ha come riferimento l'emissione del corpo nero o la curva di Planck. La parte della radiazione visibile preponderante è funzione diretta della temperatura di colore T_c , cioè tanto più grande è T_c tanto più si accentua la parte azzurra della radiazione, mentre per valori piccoli di T_c si accentua la parte rossa della radiazione visibile. A esempio, la luce emessa da una lampada a incandescenza ha T_c pari a circa 2.700 K, mentre la luce diurna a mezzogiorno presenta un valore di T_c pari a 6.000 K.

Tonalità di luce

La tonalità di luce è funzione della temperatura di colore:

- tono caldo < 3.000 K

- tono neutro compreso tra 3.000 K e 5.000 K
- tono bianchissimo 4.000 K
- luce diurna > 5.000 K

Resa cromatica e indice di resa cromatica

La resa cromatica è una valutazione qualitativa sull'aspetto cromatico degli oggetti illuminati ed è pari a:

- 1 - ottimo
- 2 - buono
- 3 - soddisfacente

L'indice di resa cromatica (Ra) è una valutazione oggettiva del modo in cui una sorgente luminosa rende il colore degli oggetti da essa illuminati. Il colore non è una caratteristica intrinseca degli oggetti ma il risultato della interazione tra luce, oggetto che la riflette, apparato percettivo di chi osserva. La qualità della luce incide dunque notevolmente sulla resa dei colori. Per valutare l'Ra di una sorgente luminosa la si pone a confronto con la sorgente luminosa di riferimento, la luce del cielo del Nord a 7.500 K con indice Ra uguale a 100, e se ne valuta lo scostamento. L'Ra di 80 soddisfa in genere pienamente la normale esigenza di discriminazione cromatica.

Tabella C-1: categorie di resa dei colori

grado	Ra	
1A	> 90	dove: 1 - luce diurna > 5.000 K 2 - luce bianchissima 4.000 K 3 - luce calda < 3.000 K
1B	80 < Ra < 90	
2A	60 < Ra < 80	
2B	40 < Ra < 60	
3	20 < Ra < 40	

(fonte: Comitato Elettrotecnico Italiano)

Per comprendere meglio il significato delle ultime tre grandezze trattate, utilizziamo a esempio la sigla *1A - Ra 90-100 - > 5.000 K* di una lampada ai vapori di alogenuri metallici:

- *1A* è il grado di resa cromatica;
- *Ra 90 - 100* rappresenta l'indice di resa dei colori;
- *> 5.000 K* è la temperatura di colore che da indirettamente la tonalità di luce, in questo caso diurna.

La corretta interpretazione di questa sigla è d'aiuto nella scelta della lampada in funzione del suo impiego.

C.2 - LAMPADE PER ESTERNI

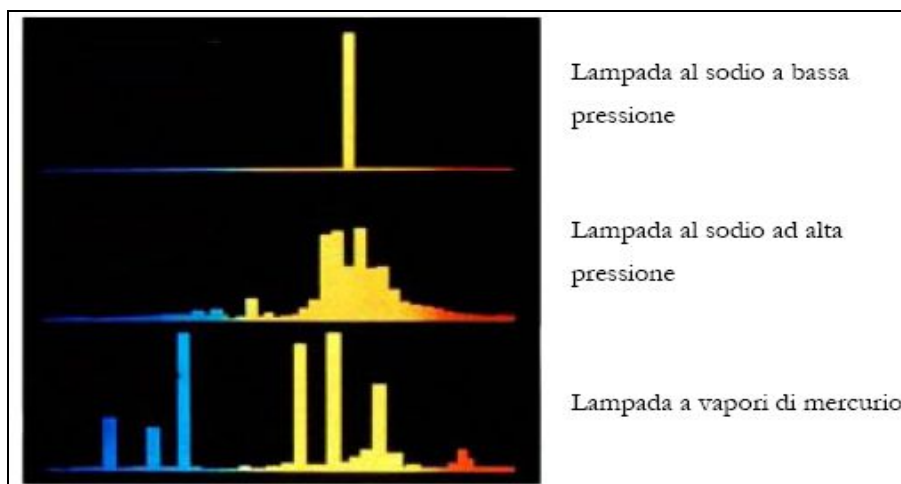
Il grado d'inquinamento prodotto dai punti luce dipende dalla distribuzione spettrale della radiazione ottica emessa dalla lampada. L'opportuna scelta della lampada, in funzione del suo utilizzo e con la più alta efficienza possibile in relazione allo stato della tecnologia, è quindi il primo passo per limitare il disturbo alle osservazioni astronomiche e agli ecosistemi⁵⁰.

Considerazioni generali sulle lampade a scarica di gas

Queste lampade basano il loro funzionamento sul fenomeno fisico della scarica dei gas e sono ai vapori di:

- mercurio con luce bianca;
- alogenuri metallici con luce bianca solare;
- sodio ad alta pressione con buona efficienza luminosa e buona resa cromatica;
- sodio a bassa pressione con ottima efficienza luminosa.

Figura C-1: le lampade funzionanti ad alta pressione emettono pacchetti di spettro continuo, invece le lampade a bassa pressione emettono righe monocromatiche



(fonte: BERETTA M., 1998)

Questo tipo di lampade sono costituite, di norma, da:

- un attacco;
- un tubo di scarica;
- un'ampolla o tubo di vetro chiaro che contiene il gas;
- due elettrodi fra i quali si innesca la scarica di tipo Townsend⁵¹ del gas.

⁵⁰ il testo e le immagini seguenti, ai quali ho apportato alcune modifiche, sono estratti da "Nozioni di illuminotecnica - glossario dei termini" dell'ingegnere Carlo Rossi della Commissione Nazionale Inquinamento Luminoso dell'Unione Astrofili Italiani.

⁵¹ tipo di scarica elettrica (10^{-7} A < I < 10^{-5} A) tra anodo e catodo in un tubo contenente gas alla pressione di qualche millimetro di mercurio.

L'innesco per la scarica si verifica solo quando la tensione applicata è pari alla tensione di scarica in modo da perforare il dielettrico fra il catodo e l'anodo. Nella colonna di gas interessata dalla scarica, alcuni elettroni danno luogo a una valanga e almeno un elettrone di ogni valanga a sua volta ne provoca un'altra; gli elettroni eccitati quando ricadono al livello energetico inferiore danno luogo all'emissione di fotoni. A evitare che la corrente assorbita assuma valori elevati e pericolosi, si introduce nel circuito elettrico un reattore che limita tale corrente.

Lampade ai vapori di mercurio (2B e 2A \ Ra 50-70 \ ~ 4.000 K)

Questo tipo di lampade sono costituite da un'ampolla in vetro esterna e da un tubo di quarzo interno contenente i vapori di mercurio ad alta pressione (VM) che, eccitati dalla scarica, emettono delle onde ultraviolette. L'ampolla esterna è ricoperta internamente di polvere fluorescente, in genere vanadato o alluminato d'ittrio, che trasduce la radiazione ultravioletta in radiazione visibile: la luce bianca emessa copre tutta la luce visibile con punte dal violetto all'arancione. Questo spettro, pur non essendo continuo, fa diminuire molto la visione del cielo stellato. Inoltre la legislazione in materia di gestione integrata dei rifiuti considera queste lampade rifiuti speciali in quanto contenenti mercurio. In definitiva sono da evitare per tre motivi:

- emissione su tutto lo spettro;
- scarsa efficienza luminosa;
- smaltimento ad alti costi e difficoltoso.

Queste lampade sono presenti soprattutto nelle strade cittadine ma la tendenza attuale prevede la loro sostituzione con le lampade al sodio ad alta pressione. Le lampade ai vapori di mercurio possono funzionare anche con potenza ridotta del 50% purché l'accensione avvenga alla piena potenza. Il pieno flusso luminoso viene raggiunto dopo circa cinque minuti dall'accensione e nel caso di spegnimento si riaccendono dopo pochi minuti, in quanto a caldo la tensione di innesco è superiore alla tensione nominale. La durata di vita è di circa 10.000 ore e non risente delle piccole variazioni di tensione ($\pm 5\%$). La caduta di flusso luminoso alla fine della vita è del 25%.

Lampade ai vapori di alogenuri metallici (2A e 1B \ Ra 65-85 \ 3.000 K < Tc < 4.900 K)

L'aggiunta di alogenuri metallici (sodio, indio, tallio, cesio, disprosio, olmio, tulio) nel tubo di quarzo interno del precedente tipo di lampade, ne aumenta l'efficienza e ne migliora la resa dei colori perché queste molecole, alle alte temperature, si scompongono e gli ioni metallici emettono radiazioni nelle zone ove il vapore di

mercurio non presenta righe di emissione. Ne risulta una luce bianca con lo spettro d'emissione continuo, che contamina notevolmente la visione del cielo stellato e non è interamente filtrata dai filtri nebulari⁵² applicati ai telescopi. La loro scarsa efficienza luminosa rispetto agli altri tipi di lampade ne limita l'uso dove c'è la necessità di avere una luce perfettamente bianca, come a esempio per illuminare gli impianti sportivi, in quanto per seguire i movimenti rapidi e/o la palla occorre l'intero spettro. In questo caso la loro sostituzione con altri tipi di lampade è problematica e per limitarne l'inquinamento luminoso occorre:

- ridurre la potenza;
- utilizzare le ottiche asimmetriche;
- porre attenzione all'inclinazione dei fari.

Il pieno flusso luminoso viene raggiunto dopo circa quattro minuti dall'accensione e con speciali accenditori o alimentatori possono riaccendersi subito. Presentano un fattore di potenza simile alle lampade ai vapori di mercurio. Una caratteristica di queste lampade è l'emissione di radiazione ultravioletta e quindi possono funzionare solo in apparecchi ermeticamente chiusi con parabole in vetro resistente all'alta temperatura e infrangibile. Anche queste lampade, che possono raggiungere le 5.000-6.000 ore di vita (la durata di vita si abbrevia del 30/40% per aumenti di tensione medi del 5%), sono classificate come rifiuti speciali. La caduta di flusso luminoso a fine vita è del 40%.

Lampade ai vapori di sodio a bassa pressione (3 \ Ra monocromatica gialla \ 1.800 K)

Nelle lampade al sodio a bassa pressione (SBP) la scarica si innesca inizialmente in ambiente di gas neon. Quando la temperatura raggiunge i 200°C, il sodio, contenuto nella loro ampolla tubolare, evapora e inizia a ionizzarsi ed emette la caratteristica luce gialla sulla lunghezza d'onda del doppietto del sodio (589-589,6 nm) che disturba poco le osservazioni astronomiche in quanto è bloccata dai filtri nebulari. Questa emissione disturba poco anche l'osservazione astronomica visuale perché l'occhio in condizioni di bassissima luminosità ambientale, quando la visione avviene tramite i bastoncini, cambia la sua curva di sensibilità spettrale e il doppietto del sodio viene a trovarsi non più al centro ma ai margini di tale curva. La pressione interna è di qualche Pascal. Sono le lampade migliori per efficienza luminosa con gli oneri d'esercizio più bassi ma, data la loro emissione monocromatica che non consente la percezione dei colori, sono utilizzate per zone industriali, depositi, svincoli autostradali, distributori di

⁵² ogni modello di filtro blocca solamente una determinata lunghezza d'onda dello spettro visibile.

benzina fuori città. Per le caratteristiche della loro emissione sono altresì utilizzate in zone di nebbia. Il pieno flusso luminoso viene raggiunto dopo circa 15 minuti dall'accensione e si riaccende subito in caso di spegnimento fortuito. Possono raggiungere le 12.000 ore di vita (la durata di vita non si abbrevia per aumenti o diminuzioni di tensione medi del 5%). La caduta di flusso luminoso alla fine della vita è del 40%.

Lampade ai vapori di sodio ad alta pressione

(3 \ Ra 20 \ ~ 2.000 K)

Le lampade ai vapori di sodio ad alta pressione (SAP) hanno una pressione maggiore dei vapori rispetto a quelle SBP e una temperatura d'esercizio di circa 700°C: la luce emessa ha una distribuzione pressoché continua che permette di distinguere i colori. Questo è dovuto al fenomeno dell'autoassorbimento per cui il vapore di sodio più freddo, che si trova lontano dalla zona ove avviene la scarica, assorbe parte delle radiazioni emesse dal vapore in prossimità della scarica e riemette l'energia assorbita in parte come calore e in parte come una moltitudine di righe di emissione che riempie lo spettro visibile. In corrispondenza del doppietto di emissione del sodio appare quindi un doppietto in assorbimento (autoinversione). In genere emettono fra 550 e 750 nm ma con intensità decrescente con la lunghezza d'onda dal giallo al rosso e i filtri nebulari permettono di filtrare la loro radiazione. Quindi costituiscono un buon equilibrio tra potere inquinante e possibilità di distinguere i colori nei casi in cui tale caratteristica sia effettivamente necessaria. La pressione dei vapori determina la quantità di autoassorbimento e quindi la tonalità della luce che parte dal giallo-oro dei modelli standard, con pressioni del sodio di 10 kPa ed elevata efficienza (anche 130 lm/W), e diventa sempre più bianca al crescere della pressione attraverso i modelli *plus*, *super*, *comfort* e *de luxe*. Questi ultimi hanno pressioni dell'ordine di 40 kPa ma efficienze inferiori (fino a 95 lm/W). I modelli *white* hanno, infine, una luce bianco-dorata, ottenuta con una pressione di 95 kPa, ma un'efficienza assai scarsa (circa 50 lm/W). L'aggiunta di impurezze nel sodio permette di ottenere una luce più bianca, in quanto appaiono altre righe, ma aumenta notevolmente il loro potere inquinante. Il pieno flusso luminoso viene raggiunto dopo circa 10 minuti dall'accensione e può essere ridotto del 55% rispetto al nominale. Nel caso di spegnimento si riaccendono dopo pochi minuti in quanto a caldo la tensione di innesco è superiore alla tensione nominale; con speciali accenditori possono riaccendersi all'istante. Possono raggiungere le 14.000 ore

di vita (la durata di vita non si abbrevia per aumenti o diminuzioni di tensione medi del 5%). La caduta di flusso luminoso alla fine della vita è del 10%.

Campi di applicazione e aspetti tecnici

Ultimata la rassegna delle lampade si può affermare che, in linea di massima, sono da escludere da qualsiasi applicazione le lampade ai vapori di mercurio.

Tabella C-2: i campi di applicazione consigliati per le lampade agli alogenuri metallici, SAP, SBP (la "X" in grassetto sotto la colonna delle lampade SAP è relativa ai soli fari od alle torri faro)

	alogenuri metallici	SAP	SBP
STRADE CITTADINE		X	
STRADE VELOCI		X	
VIALI PEDONALI		X	
PIAZZE		X	
INCROCI STRADALI		X	
PARCHI, GIARDINI		X	
CENTRI STORICI		X	
ZONE ARCHEOLOGICHE		X	X
CHIESE, TEMPLI, MONUMENTI ANTICHI		X	
CIMITERI		X	X
MONUMENTI ED EDIFICI ARTISTICI MODERNI		X	
INSEGNE A GIORNO		X	
PARCHI GIOCHI		X	X
IMPIANTI SPORTIVI	X	X	
STADI, CINODROMI, IPPODROMI	X		
DEPOSITI			X
SCALI FERROVIARI, PORTUALI, FLUVIALI		X	X
ZONE INDUSTRIALI		X	X
STAZIONI FERROVIARIE, PORTI, AEROPORTI		X	X
RACCORDI AUTOSTRADALI			X
CASERME, CAMPI MILITARI/ADDESTRAMENTO		X	X
PIAZZALI AUTOSTRADE			X
PARCHEGGI		X	X
INDUSTRIE		X	X
STAZIONI ELETTRICHE		X	X
STAZIONI DI RIFORNIMENTO CARBURANTE		X	X
ZONE LAGUNARI E FLUVIALI		X	X
GALLERIE			X
BINARI DI ENTRATA STAZIONI FERROVIARIE		X	X

(fonte: Commissione Nazionale Inquinamento Luminoso dell'Unione Astrofili Italiani)

In merito ai campi di applicazione indicati in tabella C-2 si possono fare le seguenti considerazioni:

- l'utilizzo delle lampade ai vapori di alogenuri metallici deve essere limitato agli impianti sportivi, dove sono necessarie per permettere agli spettatori di seguire i movimenti rapidi;
- l'uso delle lampade SAP va bene ma, ove possibile, è meglio servirsi di quelle SBP;
- le lampade SBP hanno il massimo utilizzo nelle zone industriali e nei depositi; il loro impiego dovrebbe essere esteso in maniera massiccia alle strade extraurbane e autostrade e laddove possibile;
- è ammissibile e deve essere promossa anche una illuminazione promiscua di lampade SBP e SAP: in questo caso le lampade SBP fornirebbero l'intensità luminosa di base mentre le lampade SAP darebbero la tonalità di colore necessaria per visualizzare i movimenti.

C.3 - ARMATURE

Il secondo passo per realizzare un impianto antinquinamento luminoso è quello di inserire la lampada in un'armatura completamente schermata, per impedire alla radiazione ottica di disperdersi al di fuori delle aree cui essa è funzionalmente dedicata e, in particolare, oltre il piano dell'orizzonte. La residua forma di inquinamento luminoso determinata dalla riflessione verso la verticale della luce incidente sulle pavimentazioni, è meno dannosa per le osservazioni astronomiche e per gli ecosistemi perché il flusso luminoso riflesso ammonta a circa il 10% del flusso incidente⁵³.

Per evitare inutili dispersioni di luce è opportuno utilizzare corpi totalmente schermati o *full-cut-off* (figura C-2).

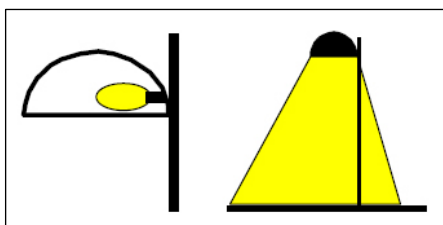


Figura C-2: esempio di apparecchio totalmente schermato o *full-cut-off*. La lampada è nascosta all'interno dell'armatura, a sua volta disposta parallelamente al terreno (posa in opera orizzontale). Il cono di luce è indirizzato completamente verso terra, senza inutili dispersioni e con maggior *comfort* visivo

Si noti, in particolare, come la lampada sia completamente incassata in una armatura montata orizzontalmente: questo è il concetto base sul quale sviluppare ogni ulteriore ragionamento. 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, che rinvia verso terra la radiazione diretta verso l'alto (figura C-3); al sistema ottico è affidato il compito di configurare il cono di luce per indirizzarlo nel modo più preciso possibile verso l'area da illuminare.

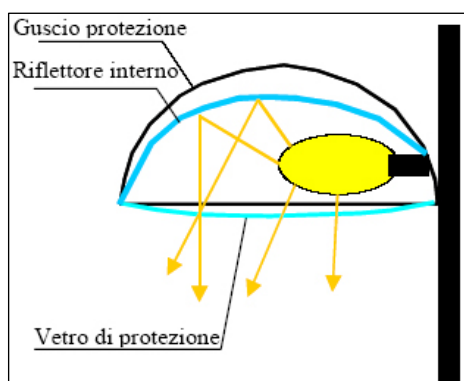


Figura C-3: un corpo illuminante è composto da un guscio di protezione, da lampada e relativo supporto, e dal sistema ottico formato da riflettore interno e vetro di protezione

⁵³ il testo, al quale ho apportato alcune modifiche, e le immagini seguenti sono estratti da "La prevenzione dell'inquinamento luminoso - Breve guida per valutare gli impianti d'illuminazione esterna" dell'ingegner Marco Vedovato, coordinatore di CONTROLUCE - osservatorio di libero pensiero illuminotecnico, scienza, cultura di CieloBuio.

Gli apparecchi *full-cut-off* possono essere con vetro di protezione piano orizzontale o con vetro di protezione curvo completamente incassato nell'armatura: quindi, *full-cut-off* e vetro di protezione piano orizzontale non sono sinonimi. Il vetro di protezione curvo, a causa dei fenomeni di rifrazione e riflessione, permette, a parità di altre condizioni, di ottenere un cono di luce di maggior apertura, ma se sporge dall'armatura fa sì che una parte di flusso luminoso si indirizzi al di sopra dell'orizzonte. La scelta di un vetro di protezione curvo, come quello a destra nella figura C-4, sembrerebbe a prima vista preferibile per la maggior superficie illuminata, ma più il vetro è curvo e maggiore è la luce dispersa al di sopra⁵⁴ e poco sotto⁵⁵ l'orizzonte.

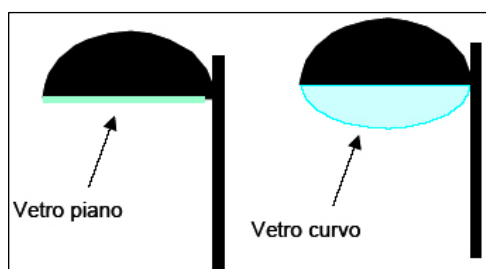


Figura C-4: esempi di vetro piano e vetro curvo; in questo caso il vetro curvo, sporgendo dall'armatura, disperde luce al di sopra dell'orizzonte

Il vetro di protezione curvo deve essere trasparente perché, se sporge dall'armatura, irradia sopra l'orizzonte una quantità di luce nettamente inferiore rispetto al vetro opalino: quest'ultimo diffonde "a ventaglio" verso l'esterno ogni raggio luminoso incidente (figura C-5).

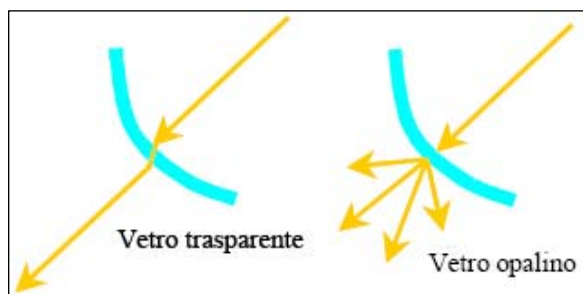


Figura C-5: differenza di comportamento di un raggio luminoso in presenza di vetro trasparente e di vetro opalino. Se il vetro curvo sporge dall'armatura, il vetro opalino disperde più luce al di sopra della linea dell'orizzonte rispetto a quello trasparente

Viceversa il vetro di protezione piano orizzontale non produce inquinamento luminoso e limita fortemente l'abbagliamento, ma il cono di luce è di minor apertura perché all'aumentare dell'angolo di incidenza diminuisce la quantità di luce che riesce ad attraversare il vetro; a ogni riflessione una parte di flusso luminoso rinvio indietro verso il riflettore viene assorbito dall'armatura, a scapito del rendimento globale del corpo illuminante. Il vetro di protezione curvo dello schema di figura C-6 non ha né dispersioni né gli svantaggi del vetro piano.

⁵⁴ si ricordi che le emissioni verso l'orizzonte sono le più inquinanti.

⁵⁵ abbagliano gli utenti della strada e ne diminuiscono il *comfort* visivo.

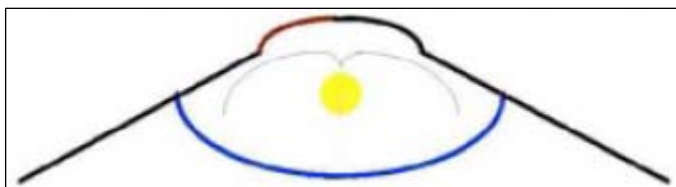


Figura C-6: apparecchio *full-cut-off* a vetro curvo. La copertura dell'apparecchio intercetta le dispersioni luminose verso l'orizzonte (cortesia Alberto Duches - Ass. CieloBuio)

La figura C-7 mostra una schermatura non efficace perché la lampada rimane visibile, sia pure parzialmente, abbagliando e disperdendo la luce lungo la direzione che permette all'inquinamento luminoso di propagarsi molto lontano dalla sorgente.

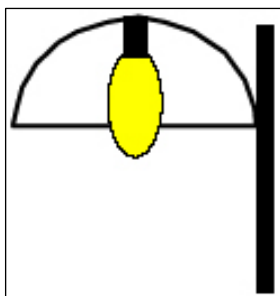


Figura C-7: esempio di schermatura non efficace: parte della lampada rimane visibile generando abbagliamento oltre a disperdere luce verso l'orizzonte

Una critica rivolta ai corpi illuminanti *full-cut-off*, che producono un cono di luce più stretto, è quella di costringere 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 *Commission Internationale de l'Eclairage* (C.I.E.) come *cut-off* e *semi-cut-off* ma non nel caso dei *full-cut-off* europei, cioè con nessuna limitazione all'intensità luminosa ammessa al di sotto della linea dell'orizzonte, a differenza dei *cut-off* secondo la definizione C.I.E., e nessuna dispersione al di sopra di essa. Se non ci sono limitazioni alle intensità ammesse al di sotto della linea dell'orizzonte è possibile produrre, grazie ad appropriate forme del riflettore interno, apparecchi *full-cut-off* che permettano interdistanze tra palo e palo 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 interassi di quasi quattro volte l'altezza del palo⁵⁶, sono perciò superate purché si presti attenzione alla scelta dei corpi illuminanti. Tra l'altro la diminuzione dell'abbagliamento agli utenti della strada permessa dai *full-cut-off* fa diventare meno importanti, per una visione ottimale, i requisiti di uniformità della luminanza del manto stradale. La figura C-8 ne è un esempio: in questo caso sono utilizzati apparecchi *full-cut-off* la cui intensità massima corrisponde a un angolo γ (angolo tra la verticale e la direzione considerata) molto elevato. La soluzione è molto vantaggiosa perché sotto il palo arriva meno luce, che si distribuisce però su

⁵⁶ la L.R.L. 17/00 al punto 3 del comma 10 *bis* dell'articolo 6 impone un interasse non inferiore a 3,7. Le altezze dei sostegni per illuminazione stradale unificate a livello internazionale (UNI EN 40) sono di 8 m, 10 m, 12 m, 15 m.

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 a un'illuminazione più uniforme.

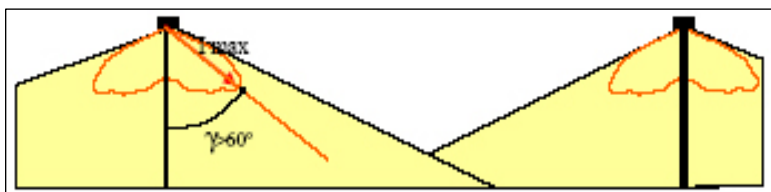


Figura C-8: osservando le curve fotometriche lungo un piano parallelo all'asse stradale si ricava l'interasse tra i pali. Per intensità massime con angoli γ elevati si ottengono interassi ottimali anche con apparecchi *full-cut-off*

Un aspetto tipico della progettazione è quello di bilanciare opposte esigenze. Nella figura C-9 si osservano due differenti realizzazioni di un impianto: a destra, 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.

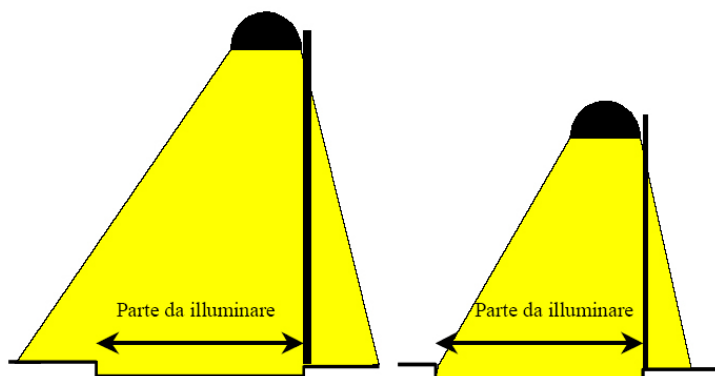


Figura C-9: esigenze contrastanti: a destra, con un palo più alto, si ottengono interassi maggiori ma molta luce cade al di fuori dell'area da illuminare; a sinistra, con un palo più basso, gli interassi sono minori ma la luce è meglio utilizzata

A priori è difficile stabilire se è meglio utilizzare pali alti e interassi elevati (minor numero di punti luce ma lampade di potenza più alta e maggior spreco di luce) o pali bassi e 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 ottimale l'impianto che consente di impegnare la minore potenza complessiva, ovvero la somma della potenza assorbita da ciascun punto luce.

Purtroppo, si trovano molti impianti, anche recenti con corpi non schermati il cui interasse 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, 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 senza nessun valido motivo tecnico.

ALLEGATI

A - LEGGE DELLA REGIONE LOMBARDIA n. 17/00

Legge regionale 27 marzo 2000 - n. 17

**Misure urgenti in tema di risparmio energetico a uso di illuminazione
esterna e di lotta all'inquinamento luminoso**

(pubblicata sul B.U.R.L. - 1° Supplemento Straordinario al n. 13 - 30 marzo 2000)

modificata e integrata dalla

Legge regionale 21 dicembre 2004 - n. 38

**Modifiche e integrazioni alla legge regionale 27 marzo 2000, n. 17
(Misure urgenti in materia di risparmio energetico a uso illuminazione
esterna e di lotta all'inquinamento luminoso) e ulteriori disposizioni**

(pubblicata sul B.U.R.L. - 2° Suppl. Ordinario al n. 52 - 24 dicembre 2004)

e dalla

Legge regionale 20 dicembre 2005 - n. 19

**Disposizioni legislative per l'attuazione del documento di
programmazione economico-finanziaria regionale, ai sensi dell'articolo
9-ter della legge regionale 31 marzo 1978, n. 34 (Norme sulle
procedure della programmazione, sul bilancio e sulla contabilità della
Regione) Collegato 2006**

(pubblicata sul B.U.R.L. - 1° Suppl. Ordinario al n. 51 - 22 dicembre 2005)

(le modifiche e le integrazioni sono scritte in corsivo)

IL CONSIGLIO REGIONALE
ha approvato
IL COMMISSARIO DEL GOVERNO
ha apposto il visto
IL PRESIDENTE DELLA GIUNTA REGIONALE
promulga

la seguente legge regionale:

Art. 1
(Finalità)

1. Sono finalità della presente legge:

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

Art. 1 bis
(Definizioni)

1. Ai fini della presente legge si intende:

- a) *per inquinamento luminoso, ogni forma di irradiazione di luce artificiale che si disperda al di fuori delle aree cui essa è funzionalmente dedicata e, in particolare, oltre il piano dell'orizzonte;*
- b) *per inquinamento ottico o luce intrusiva, ogni forma di irradiazione artificiale diretta su superfici o cose cui non è funzionalmente dedicata o per le quali non è richiesta alcuna illuminazione;*
- c) *per piano dell'illuminazione, il piano redatto dalle Amministrazioni Comunali per il censimento della consistenza e dello stato di manutenzione insistenti sul territorio amministrativo di competenza e per la disciplina delle nuove installazioni, nonché dei tempi e delle modalità di adeguamento, manutenzione o sostituzione di quelle esistenti;*
- d) *per osservatorio astronomico e astrofisico, la costruzione adibita in maniera specifica all'osservazione astronomica a fini scientifici e divulgativi, con strumentazione dedicata all'osservazione notturna;*

- e) *per fascia di rispetto, l'area circoscritta all'osservatorio la cui estensione è determinata dalla categoria dell'osservatorio medesimo;*
- f) *per aree naturali protette, gli ambiti territoriali a elevato valore ambientale e socio-culturale interessati da misure di protezione a valenza nazionale, regionale e locale.*

Art. 2

(Compiti della Regione)

1. La Regione incentiva l'adeguamento degli impianti di illuminazione esterna esistenti anche in relazione alle leggi 9 gennaio 1991, n. 9 (Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale: aspetti istituzionali, centrali idroelettriche ed elettrodotti, idrocarburi e geotermia, autoproduzione e disposizioni fiscali) e 9 gennaio 1991, n. 10 (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) per l'attuazione del Piano energetico nazionale.

2. Tutti i capitolati relativi all'illuminazione pubblica e privata devono essere conformi alle finalità della presente legge.

2 bis. La Regione, in applicazione delle linee di indirizzo del Programma Energetico Regionale, approvato con deliberazione della Giunta regionale 21 marzo 2003, n. 7/12467, promuove il ricorso all'istituto del finanziamento tramite terzi per la progettazione, la realizzazione e la gestione degli impianti di illuminazione esterna, attraverso la redazione e la divulgazione di documentazione di gara atta a consentire la adozione di nuove e migliorative soluzioni contrattuali.

2 ter. La Regione con il concorso delle associazioni rappresentative degli interessi per il contenimento dell'inquinamento luminoso, delle categorie e degli enti/organismi a diverso titolo interessati dalle presenti disposizioni, incentiva la formazione di figure professionali dedicate e l'aggiornamento degli operatori di settore, promuovendo, attraverso atti di programmazione negoziata, corsi di studio e programmi nelle diverse sedi didattiche della Lombardia.

2 quater. La Regione promuove forme di aggregazione tra i Comuni con l'obiettivo di facilitare la migliore applicazione dei dettati normativi, anche in termini di economicità degli interventi.

Art. 3

(Compiti delle Province)

1. Le Province:

- a) esercitano il controllo sul corretto e razionale uso dell'energia elettrica da illuminazione esterna e provvedono a diffondere i principi dettati dalla presente legge;
- b) curano la redazione e la pubblicazione dell'elenco dei Comuni nel cui territorio esista un osservatorio astronomico da tutelare; tale elenco comprende anche i Comuni al di fuori del territorio provinciale purché ricadenti nelle fasce di protezione indicate;
- b-bis) adeguano gli impianti di illuminazione esterna, per i quali si siano generate situazioni di competenza diretta, ai criteri della legislazione regionale di settore;*
- b-ter) esercitano le funzioni di vigilanza sui Comuni circa l'ottemperanza delle disposizioni di cui alla presente legge;*
- b-quater) comminano, in presenza di accertate inadempienze dei Comuni, le sanzioni amministrative previste all'articolo 8, comma 3.*

Art. 4
(Compiti dei Comuni)

1. I Comuni:

- a) *si dotano entro e non oltre il 31 dicembre 2006 dei piani di illuminazione di cui alla lettera c) del comma 1 dell'articolo 1 bis;*
- b) *provvedono a integrare lo strumento urbanistico generale con il piano dell'illuminazione;*
- c) *promuovono forme di aggregazione per la migliore applicazione dei dettati normativi;*
- d) *rilasciano, con decreto del Sindaco, l'autorizzazione per tutti gli impianti di illuminazione esterna, anche a scopo pubblicitario, per i quali non ricorrano gli estremi della deroga di cui all'articolo 6, comma 3. A tal fine il progetto illuminotecnico dell'opera da realizzare deve essere redatto da figure professionali specialistiche che ne attestino inequivocabilmente la rispondenza ai requisiti della presente legge, anche mediante la produzione della documentazione sulle caratteristiche costruttive e prestazionali degli apparecchi e delle lampade, rilasciata da riconosciuto istituto di certificazione. A fine lavori l'impresa installatrice deve produrre al committente, unitamente alla certificazione di collaudo, la dichiarazione di conformità alle disposizioni della presente legge dell'impianto realizzato in relazione al progetto approvato;*
- e) *emettono comunicati per la corretta progettazione e realizzazione degli impianti di illuminazione, ai fini dell'autorizzazione sindacale;*
- f) *provvedono direttamente, ovvero su richiesta degli osservatori astronomici o delle associazioni rappresentative degli interessi per il contenimento dell'inquinamento luminoso, a verificare il rispetto e l'applicazione dei dettati legislativi sul territorio amministrativo di competenza;*
- g) *adottano, nei casi di accertate inadempienze sia da parte di soggetti privati che pubblici, ordinanze sindacali per uniformare gli impianti ai criteri legislativi stabiliti, entro il termine di dodici mesi dalla data di accertamento; nello stesso periodo gli impianti devono essere utilizzati in modo da limitare al massimo il flusso luminoso, ovvero spenti nei casi in cui non si pregiudichino le condizioni di sicurezza privata e pubblica;*
- h) *applicano le sanzioni amministrative di cui all'articolo 8, comma 1, impiegandone i relativi proventi per i fini di cui al medesimo articolo.*

2. I Comuni, per gli adempimenti di competenza, possono avvalersi del supporto tecnico dell'ARPA della Lombardia.

Art. 5
(Disposizioni in materia di osservatori astronomici)

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

2. Gli osservatori astronomici e le associazioni rappresentative degli interessi per il contenimento dell'inquinamento luminoso collaborano con gli enti territoriali per una migliore e puntuale applicazione della presente legge, secondo le loro specifiche competenze, e segnalano alle autorità territoriali competenti le situazioni di mancato rispetto della legge.

3. La Giunta regionale aggiorna annualmente l'elenco degli osservatori, anche su proposta della Società Astronomica Italiana e dell'Unione Astrofili Italiani o su richiesta degli osservatori stessi.
4. La Giunta regionale provvede inoltre a individuare mediante cartografia in scala adeguata le fasce di rispetto, inviando ai Comuni interessati copia della documentazione cartografica.
5. Le fasce di rispetto per le diverse categorie di osservatori, intese come raggio dall'osservatorio considerato, vengono definite come segue:
- a) non meno di 25 chilometri per gli osservatori di rilevanza nazionale;
 - b) non meno di 15 chilometri per gli osservatori di rilevanza regionale;
 - c) non meno di 10 chilometri per gli osservatori di rilevanza provinciale.
6. Sulla base delle esperienze tecnico-scientifiche maturate in ambito nazionale e internazionale la Giunta regionale, con propria deliberazione, può ampliare le fasce di rispetto stabilite nel comma 5.
7. Le fasce di rispetto delle aree naturali protette di cui alla lettera f) del comma 1 dell'articolo 1 bis, coincidono con i relativi confini esterni.

Art. 6

(Regolamentazione delle sorgenti di luce e dell'utilizzazione di energia elettrica da illuminazione esterna)

1. Per l'attuazione di quanto previsto dall'articolo 1, dalla data di entrata in vigore della presente legge, tutti gli impianti di illuminazione esterna, pubblica e privata in fase di progettazione o di appalto sono eseguiti a norma antinquinamento luminoso e a ridotto consumo energetico; per quelli in fase di esecuzione, è prevista la sola obbligatorietà di sistemi non disperdenti luce verso l'alto, ove possibile nell'immediato, fatto salvo il successivo adeguamento, secondo i criteri di cui al presente articolo.
2. Sono considerati antinquinamento luminoso e a ridotto consumo energetico solo gli impianti aventi un'intensità luminosa massima di 0 cd per 1000 lumen a 90° e oltre; gli stessi devono essere equipaggiati di lampade con la più alta efficienza possibile in relazione allo stato della tecnologia; gli stessi inoltre devono essere realizzati in modo che le superfici illuminate non superino il livello minimo di luminanza media mantenuta previsto dalle norme di sicurezza, qualora esistenti, e devono essere provvisti di appositi dispositivi in grado di ridurre, entro le ore ventiquattro, l'emissione di luce degli impianti in misura non inferiore al 30% rispetto al pieno regime di operatività. La riduzione va applicata qualora le condizioni d'uso della superficie illuminata siano tali che la sicurezza non ne venga compromessa; le disposizioni relative ai dispositivi per la sola riduzione dei consumi sono facoltative per le strutture in cui vengano esercitate attività relative all'ordine pubblico, all'amministrazione della giustizia e della difesa.
3. È concessa deroga per le sorgenti di luce internalizzate e quindi non inquinanti, per quelle con emissione non superiore a 1500 lumen cadauna in impianti di modesta entità (fino a tre centri con singolo punto luce), per quelle di uso temporaneo che vengano spente entro le ore venti nel periodo di ora solare ed entro le ore ventidue nel periodo di ora legale.
4. L'illuminazione delle insegne non dotate di illuminazione propria deve essere realizzata dall'alto verso il basso. *Per le insegne dotate di illuminazione propria, il flusso totale emesso non deve superare i 4.500 lumen.*
5. L'uso di riflettori, fari e torri-faro deve uniformarsi, su tutto il territorio regionale, a quanto disposto dall'articolo 9.

ALLEGATI

6. Nell'illuminazione di impianti sportivi e grandi aree di ogni tipo devono essere impiegati criteri e mezzi per evitare fenomeni di dispersione di luce verso l'alto e al di fuori dei suddetti impianti. È concessa deroga alle disposizioni del comma 2 in termini di intensità luminosa massima, per gli impianti sportivi con oltre 5.000 posti a sedere, a condizione che gli apparecchi di illuminazione vengano spenti entro le ore ventiquattro e siano comunque dotati delle migliori applicazioni per il contenimento del flusso luminoso verso l'alto e all'esterno degli impianti medesimi.

7. La modifica dell'inclinazione degli apparecchi per l'illuminazione, sia esterni che interni alle fasce di rispetto, deve essere effettuata entro e non oltre il 31 dicembre 2006; la presente disposizione si applica anche agli impianti di competenza delle province. Qualora l'intervento non sia possibile, in relazione alla sicurezza degli apparecchi di illuminazione, la sostituzione di questi ultimi, limitatamente alle aree esterne alle fasce di rispetto degli osservatori, deve essere completata entro il 31 dicembre 2008.

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

8 bis. Ove le case costruttrici dispongano di laboratori fotometrici propri e strutture certificati e autorizzati a norma delle vigenti disposizioni di settore, la conformità di cui al comma 8, è rilasciata direttamente dalle stesse. Restano confermati, a carico delle case costruttrici, importatrici e fornitrici, gli adempimenti di cui al punto 2 dell'allegato a) alla deliberazione della Giunta regionale 20 settembre 2001, n. 7/6162.

9. È fatto espresso divieto di utilizzare, per meri fini pubblicitari, fasci di luce roteanti o fissi di qualsiasi tipo.

10. L'illuminazione di edifici e monumenti, fatte salve le disposizioni del comma 2 in termini di intensità luminosa massima, deve essere di tipo radente, dall'alto verso il basso; solo nei casi di comprovata inapplicabilità del metodo ed esclusivamente per manufatti di comprovato valore artistico, architettonico e storico, sono ammesse altre forme di illuminazione, purché i fasci di luce rimangano entro il perimetro delle stesse, l'illuminamento non superi i 15 lux, l'emissione massima al di fuori della sagoma da illuminare non superi i 5 lux e gli apparecchi di illuminazione vengano spenti entro le ore ventiquattro.

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

- a) incentiva l'impiego della tecnologia fotovoltaica;
- b) incentiva, anche al fine di migliorare la sicurezza stradale, la sostituzione e l'integrazione dell'illuminazione tradizionale con sistemi passivi di segnalazione, quali catarifrangenti, cat-eyes e similari, o sistemi attivi, quali LED fissi o intermittenti, indicatori di prossimità, linee di luce e similari;
- c) dispone l'impiego, a parità di luminanza, di apparecchi che conseguano impegni ridotti di potenza elettrica, condizioni ottimali di interesse dei punti luce e ridotti costi manutentivi; in particolare, i nuovi impianti di illuminazione stradali tradizionali, fatta salva la prescrizione

dell'impiego di lampade con la minore potenza installata in relazione al tipo di strada e al suo indice illuminotecnico, devono garantire un rapporto fra interdistanza e altezza delle sorgenti luminose non inferiore al valore di 3,7. Sono consentite soluzioni alternative solo in quanto funzionali alla certificata migliore efficienza generale dell'impianto.

10 ter. Gli apparecchi destinati all'illuminazione esterna, sia pubblica che privata, in particolare se non funzionalmente dedicati alla circolazione stradale, non devono costituire elementi di disturbo per gli automobilisti e per gli interni delle abitazioni; a tal fine ogni fenomeno di inquinamento ottico o di abbagliamento diretto deve essere contenuto nei valori minimi previsti dalle norme tecniche e di sicurezza italiane ed europee.

Art. 7

(Norma finanziaria)

1. All'autorizzazione delle spese previste dalla presente legge si provvederà con successivo provvedimento di legge.

Art. 8

(Sanzioni)

1. *Chiunque non ottemperi all'ordinanza sindacale di cui all'articolo 4, comma 1, lettera g), incorre nella sanzione amministrativa da € 100 a € 300 per punto luce; l'ammontare passa da € 200 a € 600 per punto luce ove l'inadempienza si verifichi in ambiti territoriali ricadenti nelle fasce di rispetto degli osservatori e da € 350 a € 1050 per punto luce in presenza di impianti a elevato inquinamento luminoso.*

2. *Qualora i Comuni non ottemperino alle scadenze di cui all'articolo 4, comma 1, lettera a), sono esclusi dai benefici economici regionali di settore per i successivi ventiquattro mesi.*

3. *Le Province, nei casi di accertate inadempienze da parte dei Comuni, irrogano sanzioni amministrative:*

- a) *da € 2.000 a € 6.000 per l'inosservanza delle disposizioni inerenti ai nuovi impianti di cui all'articolo 6, comma 1, con un massimo di € 10.000 ove l'opera interessi le fasce di rispetto degli osservatori;*
- b) *da € 600 a € 1.800 per ogni mese, o frazione di mese, di inosservanza delle disposizioni di cui all'articolo 6, commi 4 e 7.*

4. *Alle sanzioni di cui al comma 3 si aggiunge l'esclusione dai benefici economici regionali nello specifico settore, rispettivamente per i successivi trentasei e ventiquattro mesi.*

5. *Qualora le inadempienze riguardino le Province, la Regione promuove di volta in volta le azioni più opportune per la tempestiva applicazione della norma.*

6. *I proventi delle sanzioni di cui al comma 1 sono impiegati dai Comuni per l'adeguamento degli impianti di illuminazione pubblica ai criteri della legislazione regionale.*

7. *I proventi delle sanzioni di cui al comma 3 sono impiegati dalle Province per l'adeguamento degli impianti di illuminazione, posti sulla rete viabilistica di diretta competenza, ai criteri della legislazione regionale.*

Art. 9

(Disposizioni relative alle zone tutelate)

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

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

3. Per la riduzione del consumo energetico, i soggetti interessati possono procedere, in assenza di regolatori del flusso luminoso, allo spegnimento del cinquanta per cento delle sorgenti di luce entro le ore ventitre nel periodo di ora solare ed entro le ore ventiquattro nel periodo di ora legale. Le disposizioni relative alla diminuzione dei consumi energetici sono facoltative per le strutture in cui vengono esercitate attività relative all'ordine pubblico e all'amministrazione della giustizia e della difesa.

4. Tutte le sorgenti di luce altamente inquinanti già esistenti, come globi, lanterne o similari, devono essere schermate o comunque dotate di idonei dispositivi in grado di contenere e dirigere a terra il flusso luminoso comunque non oltre 15 cd per 1000 lumen a 90° e oltre, nonché di vetri di protezione trasparenti. È concessa deroga, secondo specifiche indicazioni concordate tra i Comuni interessati e gli osservatori astronomici competenti per le sorgenti di luce internalizzate e quindi, in concreto, non inquinanti, per quelle con emissione non superiore a 1500 lumen cadauna (fino a un massimo di tre centri con singolo punto luce), per quelle di uso temporaneo o che vengano spente normalmente entro le ore venti nel periodo di ora solare ed entro le ore ventidue nel periodo di ora legale, per quelle di cui sia prevista la sostituzione entro quattro anni dalla data di entrata in vigore della presente legge. Le insegne luminose non dotate di illuminazione propria devono essere illuminate dall'alto verso il basso. In ogni caso tutti i tipi di insegne luminose di non specifico e indispensabile uso notturno devono essere spente entro le ore ventitre nel periodo di ora legale ed entro le ore ventidue nel periodo di ora solare.

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

Art. 10

(Elenco degli osservatori)

1. Gli osservatori astronomici, astrofisici professionali da tutelare sono:

- Osservatorio astronomico Brera di Merate (LC)

2. Gli osservatori astronomici non professionali di grande rilevanza culturale, scientifica e popolare d'interesse regionale da tutelare sono:

- Osservatorio astronomico Serafino Zani di Lumezzane (BS)
- Osservatorio astronomico G.V. Schiapparelli di Campo dei Fiori (VA)

- Osservatorio astronomico di Sormano (CO)

3. Gli osservatori astronomici, astrofisici non professionali di rilevanza provinciale che svolgono attività scientifica e/o divulgazione da tutelare sono:

- Osservatorio astronomico delle Prealpi Orobie di Aviatico (BG)
- Osservatorio astronomico «Presolana» di Castione della Presolana (BG)
- Osservatorio astronomico Sharrudi Covo (BG)
- Civica Specola Cidnea di Brescia (BS)
- Osservatorio privato di Bassano Bresciano (BS)
- Osservatorio di Cima Rest - Masaga (BS)
- Osservatorio sociale del Gruppo Astrofili Cremonesi di Cremona (CR)
- Osservatorio pubblico di Soresina - Osservatorio astronomico Provinciale del Lodigiano (LO)
- Osservatorio sociale «A. Grosso» di Brugherio (MI)
- Osservatorio Città di Legnano (MI)
- Osservatorio astronomico pubblico di Gorgo San Benedetto Po (MN)
- Osservatorio pubblico Giuseppe Piazzi di Ponte in Valtellina (SO)

Art. 11

(Disposizioni finali)

1. Entro centottanta giorni dall'entrata in vigore della presente legge la Giunta regionale emana i criteri di applicazione della medesima.
2. È concessa facoltà anche ai Comuni il cui territorio non ricada nelle fasce di rispetto di cui all'articolo 9, comma 1, di adottare integralmente i criteri previsti dall'articolo medesimo mediante l'approvazione di appositi regolamenti.

Art. 12

(Entrata in vigore)

1. La presente legge entra in vigore sessanta giorni dopo la sua pubblicazione sul Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia.

La presente legge regionale è pubblicata nel Bollettino Ufficiale della Regione.

È fatto obbligo a chiunque spetti di osservarla e farla osservare come legge della Regione lombarda.

Milano, 27 marzo 2000

Roberto Formigoni

(Approvata dal Consiglio Regionale nella seduta del 23 febbraio 2000 e vistata dal Commissario del Governo con nota del 21 marzo 2000, protocollo n. 23102/617)

Articoli esclusivi della Legge regionale 21 dicembre 2004 - n. 38

Art. 10

(Piano dell'illuminazione)

1. Il piano dell'illuminazione definito dalla lettera c) dell'articolo 1bis della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17, introdotto dalla presente legge, è approvato dai Comuni secondo le procedure previste dalla legge regionale 23 giugno 1997, n. 23 (Accelerazione del procedimento di approvazione degli strumenti urbanistici comunali e disciplina del regolamento edilizio) e costituisce integrazione allo strumento urbanistico generale.
2. Il piano, comprensivo di relazione generale introduttiva, elaborati grafico-planimetrici, norme di attuazione e stima economica degli interventi da porre in essere, è uniformato ai principi legislativi della Regione, al Codice della strada, alle normative tecniche di settore, al contesto urbano ed extraurbano e alla eventuale presenza di ulteriori vincoli.
3. Obiettivi del piano sono:
 - a) la limitazione dell'inquinamento luminoso e ottico;
 - b) l'economia di gestione degli impianti attraverso la razionalizzazione dei costi di esercizio, anche con il ricorso a energia autoctona da fonti rinnovabili, e di manutenzione;
 - c) il risparmio energetico mediante l'impiego di apparecchi e lampade ad alta efficienza, tali da favorire minori potenze installate per chilometro ed elevati interassi tra i singoli punti luce, e di dispositivi di controllo e regolazione del flusso luminoso;
 - d) la sicurezza delle persone e dei veicoli mediante una corretta e razionale illuminazione e la prevenzione dei fenomeni di abbagliamento visivo;
 - e) una migliore fruizione dei centri urbani e dei luoghi esterni di aggregazione, dei beni ambientali, monumentali e architettonici;
 - f) la realizzazione di linee di alimentazione dedicate.

Art. 11

(Concessione di contributi)

1. La Regione, compatibilmente con le risorse di bilancio e con riferimento ai compiti assegnati alle province e ai Comuni dagli articoli 3 e 4 della legge regionale 27 marzo 2000, n. 17, come modificati dalla presente legge, concede direttamente o tramite forme di credito agevolato, contributi per:
 - a) la predisposizione del piano dell'illuminazione pubblica di cui all'articolo 5, comma 1, lett. a) in misura non superiore al 65% della spesa ritenuta ammissibile e comunque per un importo non superiore a € 10.000;
 - b) l'adeguamento ai criteri della legislazione regionale o il rifacimento degli esistenti impianti pubblici di illuminazione esterna.
2. Le modalità e i tempi per accedere ai finanziamenti da parte di soggetti interessati sono definiti con apposita deliberazione della Giunta regionale.

Art. 13

(Norma finanziaria)

1. All'autorizzazione delle spese previste ai precedenti articoli si provvede con successiva legge regionale.

La presente legge regionale è pubblicata nel Bollettino Ufficiale della Regione.

È fatto obbligo a chiunque spetti di osservarla e farla osservare come legge della Regione lombarda.

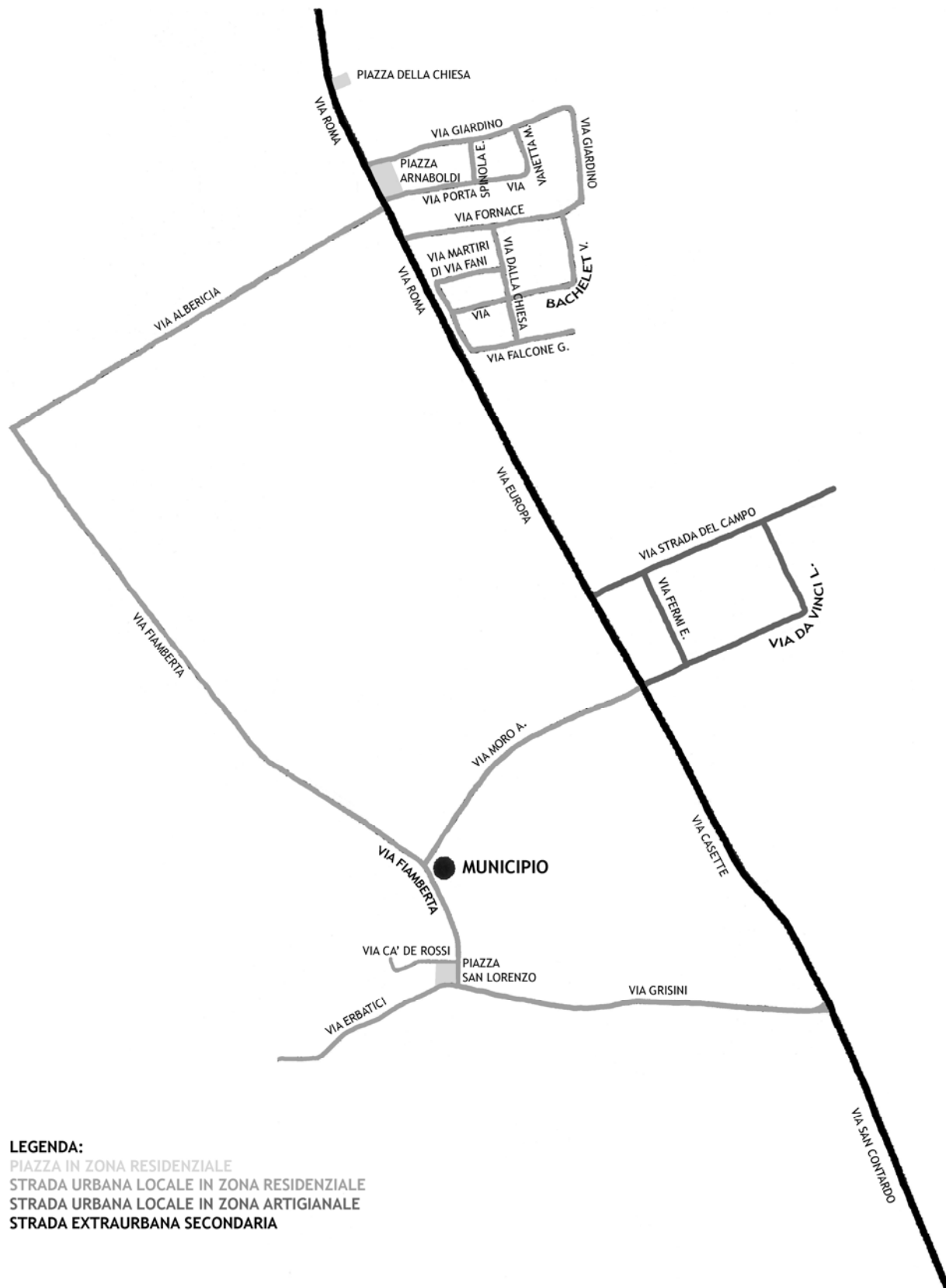
Milano, 21 dicembre 2004

Roberto Formigoni

(Approvata con deliberazione del consiglio regionale n. VII/1133 del 15 dicembre 2004)

B - RILEVAZIONI DEL COMUNE DI CAMPOSPINOSO

B.1 - STRADARIO



LEGENDA:

- PIAZZA IN ZONA RESIDENZIALE
- STRADA URBANA LOCALE IN ZONA RESIDENZIALE
- STRADA URBANA LOCALE IN ZONA ARTIGIANALE
- STRADA EXTRAURBANA SECONDARIA

B.2 - LEGENDA

PROPRIETARIO

S	E.N.E.L. So.l.e.
C	Comune di Campospinoso

ARMATURA

TIPO	INCLINAZIONE	VETRO DI PROTEZIONE	INQUINAMENTO LUMINOSO
x <i>semi-cut-off</i> o <i>cut-off</i>	x inclinata	x assente (A) o curvo (C)	x presente
<i>full cut-off</i>	orizzontale	piano	assente

LAMPADA

TIPO	SOSTITUZIONE
VM-E vapori di mercurio bulbo ellissoidale	x consigliata non attuabile
IM-C vapori di ioduri metallici bulbo compatto doppio attacco	
SAP-E vapori di sodio ad alta pressione bulbo ellissoidale	
SAP-T vapori di sodio ad alta pressione bulbo tubolare	
SBP-T vapori di sodio a bassa pressione bulbo tubolare	

B.3 - CARATTERISTICHE DELLE LAMPADE FORNITE DA E.N.E.L. So.I.e

INSTALLATE

INST.	SOST.	TIPO	POTENZA (W)	FLUSSO LUMINOSO (lm)	ATTACCO	EFFICIENZA LUMINOSA (lm/W)	VITA MEDIA (h)	
65	41,6%	65	80	3.600	E27	45	10.000	
29			29	125	6.300	E27	50	10.000
7	3,1%		150	12.000	Rx7s	80	6.000	
4		4	70	5.600	E27	80	14.000	
10			100	9.500	E40	95	14.000	
2	55,3%	2	70	6.500	E27	93	14.000	
28			28	100	10.000	E27	100	14.000
63			13	150	14.500	E40	97	14.000
17			17	250	27.000	E40	108	14.000
1			1	400	48.000	E40	120	14.000
226		159						

DISPONIBILI

CONS.	SOST.	TIPO	POTENZA (W)	FLUSSO LUMINOSO (lm)	ATTACCO	EFFICIENZA LUMINOSA (lm/W)	VITA MEDIA (h)	
		VM-E	80	3600	E27	45	10.000	
			125	6300	E27	50	10.000	
7	3,1%	IM-C	70	6.100	Rx7s	87	6.000	
			150	12.000	Rx7s	80	6.000	
79	96,9%	SAP-E	50	3.400	E27	68	14.000	
			70	5.600	E27	80	14.000	
26			16	100	9.500	E40	95	14.000
				150	14.000	E40	93	14.000
				250	25.000	E40	100	14.000
				400	47.000	E40	118	14.000
				1.000	128.000	E40	128	14.000
49	49	SAP-T	70	6.500	E27	93	14.000	
			100	10.000	E27	100	14.000	
65	15		150	14.500	E40	97	14.000	
			250	27.000	E40	108	14.000	
			400	48.000	E40	120	14.000	
		SBP-T	35	4.550	BY22d	130	12.000	
			55	7.800	BY22d	142	12.000	
			90	13.100	BY22d	146	12.000	
			135	22.500	BY22d	167	12.000	
			180	32.000	BY22d	178	12.000	
226		159						

B.4 - TABELLE DI RILEVAZIONE

PIAZZA ARNABOLDI			ARMATURA			LAMPADA							
PIAZZA IN ZONA RESIDENZIALE			TIPO	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA			SOST.
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ				A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	
1	018026 - C000201 - 001	S	x			x	IM-C	150	540	IM-C	150	540	
2	018026 - C000202 - 001	S	x			x	IM-C	150	540	IM-C	150	540	
3	018026 - C000203 - 001	S	x			x	IM-C	150	540	IM-C	150	540	
4	018026 - C000204 - 001	S	x			x	IM-C	150	540	IM-C	150	540	
5	018026 - C000205 - 001	S	x			x	IM-C	150	540	IM-C	150	540	
6	018026 - C000206 - 001	S	x			x	IM-C	150	540	IM-C	150	540	
7	018027 - C000207 - 001	S	x			x	IM-C	150	540	IM-C	150	540	
7 punti luce			7	0	0	7	3.780			3.780			0

risparmio annuo di energia elettrica 0 kWh
risparmio annuo di risorse finanziarie 0,00 €

PIAZZA DELLA CHIESA			ARMATURA			LAMPADA							
PIAZZA IN ZONA RESIDENZIALE			TIPO	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA			SOST.
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ				A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	
8	non assegnato	C	x	x		x	SAP-E	100	360	SAP-E	100	360	
							SAP-E	100	360	SAP-E	100	360	
9	non assegnato	C	x	x		x	SAP-E	100	360	SAP-E	100	360	
							SAP-E	100	360	SAP-E	100	360	
10	non assegnato	C	x	x		x	SAP-E	100	360	SAP-E	100	360	
11	non assegnato	C	x	x		x	SAP-E	100	360	SAP-E	100	360	
12	non assegnato	C	x	x		x	SAP-E	100	360	SAP-E	100	360	
							SAP-E	100	360	SAP-E	100	360	
13	non assegnato	C	x	x		x	SAP-E	100	360	SAP-E	100	360	
							SAP-E	100	360	SAP-E	100	360	
6 punti luce			6	6	0	6	3.600			3.600			0

risparmio annuo di energia elettrica 0 kWh
risparmio annuo di risorse finanziarie 0,00 €

ALLEGATI

<i>PIAZZA SAN LORENZO</i>		ARMATURA				LAMPADA							
<i>PIAZZA IN ZONA RESIDENZIALE</i>		TIPO	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA			SOST.	
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ			A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)		
14	018026 - C000166 - 001	S	x	x		x	SAP-T	70	252	SAP-E	50	180	x
15	018026 - C000167 - 001	S	x			x	SAP-T	150	540	SAP-E	100	360	x
							SAP-E	70	252	SAP-E	50	180	x
16	018026 - C000168 - 001	S	x	x		x	SAP-E	70	252	SAP-E	50	180	x
17	018026 - C000169 - 001	S	x	x		x	SAP-E	70	252	SAP-E	50	180	x
18	018026 - C000170 - 001	S	x			x	SAP-T	150	540	SAP-E	100	360	x
							SAP-E	70	252	SAP-E	50	180	x
19	018026 - C000171 - 001	S	x	x		x	SAP-T	70	252	SAP-E	50	180	x
6 punti luce		6		4	0	6			2.592			1.800	8

risparmio annuo di energia elettrica 792 kWh
 risparmio annuo di risorse finanziarie 68,25 €

<i>VIA ALBERICIA</i>		ARMATURA				LAMPADA							
<i>STRADA URBANA LOCALE IN ZONA RESIDENZIALE</i>		TIPO	I N C L	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA			SOST.
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ				A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	
20	018026 - C000136 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	125	450	SAP-E	50	180	x
21	018026 - C000137 - 001	S	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
22	018026 - C000138 - 001	S	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
23	018026 - C000139 - 001	S	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
24	018026 - C000140 - 001	S	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
25	018026 - C000141 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
26	018026 - C000142 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
27	018026 - C000143 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
28	018026 - C000144 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
29	018026 - C000145 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
30	018026 - C000146 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
11 lampioni		11	11	7	0	11			3.330			1.980	11

risparmio annuo di energia elettrica 1.350 kWh
 risparmio annuo di risorse finanziarie 116,33 €

VIA BACHELET V.		ARMATURA					LAMPADA							
STRADA URBANA LOCALE IN ZONA RESIDENZIALE		TIPO	I N C L	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA			SOST.	
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ				A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)		
31	018026 - C000119 - 001	S	x	x			x	VM-E	125	450	SAP-T	70	252	x
32	018026 - C000120 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	125	450	SAP-T	70	252	x
33	018026 - C000121 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	125	450	SAP-T	70	252	x
34	018026 - C000122 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	125	450	SAP-T	70	252	x
35	018026 - C000123 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	125	450	SAP-T	70	252	x
36	018026 - C000115 - 001	S	x	x			x	VM-E	125	450	SAP-T	70	252	x
37	018026 - C000116 - 001	S	x	x			x	VM-E	125	450	SAP-T	70	252	x
38	018026 - C000117 - 001	S	x	x			x	VM-E	125	450	SAP-T	70	252	x
39	018026 - C000118 - 001	S	x	x			x	VM-E	125	450	SAP-T	70	252	x
9 lampioni		9	9	4	0	9				2.250			1.260	9
												risparmio annuo di energia elettrica	990 kWh	
												risparmio annuo di risorse finanziarie	85,31 €	

VIA CÀ DE ROSSI		ARMATURA					LAMPADA							
STRADA URBANA LOCALE IN ZONA RESIDENZIALE		TIPO	I N C L	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA			SOST.	
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ				A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)		
40	018026 - C000015 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
41	018026 - C000016 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
2 lampioni		2	2	2	0	2				576			360	2
												risparmio annuo di energia elettrica	216 kWh	
												risparmio annuo di risorse finanziarie	18,61 €	

VIA DALLA CHIESA gen. C. A.		ARMATURA					LAMPADA							
STRADA URBANA LOCALE IN ZONA RESIDENZIALE		TIPO	I N C L	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA			SOST.	
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ				A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)		
42	018026 - C000129 - 001	S	x	x		x	x	SAP-T	250	900	SAP-E	100	360	x
43	018026 - C000130 - 001	S	x	x		x	x	SAP-T	250	900	SAP-E	100	360	x
44	018026 - C000131 - 001	S	x	x		x	x	SAP-T	250	900	SAP-E	100	360	x
45	018026 - C000132 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
4 lampioni		4	4	1	1	4				2.988			1.260	4
												risparmio annuo di energia elettrica	1.728 kWh	
												risparmio annuo di risorse finanziarie	148,90 €	

ALLEGATI

<i>VIA ERBATICI</i>		ARMATURA					LAMPADA							
<i>STRADA URBANA LOCALE IN ZONA RESIDENZIALE</i>		TIPO	I N C L .	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA			SOST.	
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ				A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)		
46	018026 - C000017 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
47	018026 - C000018 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
48	018026 - C000019 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
49	018026 - C000020 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
50	018026 - C000021 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
51	018026 - C000022 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
52	018026 - C000023 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
53	018026 - C000162 - 001	S		x			x	SAP-T	100	360	SAP-E	50	180	x
54	018026 - C000163 - 001	S		x			x	SAP-T	100	360	SAP-E	50	180	x
9 lampioni		7	9	7	0		9			2.736			1.620	9
												risparmio annuo di energia elettrica	1.116 kWh	
												risparmio annuo di risorse finanziarie	96,16 €	

<i>VIA FALCONE G.</i>		ARMATURA					LAMPADA							
<i>STRADA URBANA LOCALE IN ZONA RESIDENZIALE</i>		TIPO	I N C L .	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA			SOST.	
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ				A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)		
55	018026 - C000124 - 001	S	x	x		x	x	VM-E	125	450	SAP-T	70	252	x
56	018026 - C000125 - 001	S	x	x		x	x	VM-E	125	450	SAP-T	70	252	x
57	018026 - C000126 - 001	S	x	x		x	x	VM-E	125	450	SAP-T	70	252	x
58	018026 - C000127 - 001	S	x	x		x	x	VM-E	125	450	SAP-T	70	252	x
59	018026 - C000128 - 001	S	x	x		x	x	VM-E	125	450	SAP-T	70	252	x
5 lampioni		5	5	0	5		5			2.250			1.260	5
												risparmio annuo di energia elettrica	990 kWh	
												risparmio annuo di risorse finanziarie	85,31 €	

VIA FIAMBERTA		ARMATURA					LAMPADA						
STRADA URBANA LOCALE IN ZONA RESIDENZIALE		TIPO	I N C L	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA			SOST.
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ				A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	
60	018026 - C000001 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
61	018026 - C000002 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
62	018026 - C000003 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
63	018026 - C000004 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
64	018026 - C000005 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
65	018026 - C000006 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
66	018026 - C000007 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
67	018026 - C000008 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
68	018026 - C000009 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
69	018026 - C000010 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
70	018026 - C000011 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
71	018026 - C000012 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
72	018026 - C000013 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
73	018026 - C000014 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
14 lampioni		14	14	14	0	14			4.032			2.520	14

risparmio annuo di energia elettrica 1.512 kWh
risparmio annuo di risorse finanziarie 130,29 €

VIA FORNACE		ARMATURA					LAMPADA						
STRADA URBANA LOCALE IN ZONA RESIDENZIALE		TIPO	I N C L	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA			SOST.
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ				A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	
74	018026 - C000106 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
75	018026 - C000107 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
76	018026 - C000108 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
77	018026 - C000109 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
78	018026 - C000110 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
79	018026 - C000111 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
80	018026 - C000112 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
81	018026 - C000113 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
82	018026 - C000114 - 001	S	x	x	x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
9 lampioni		9	9	9	0	9			2.592			1.620	9

risparmio annuo di energia elettrica 972 kWh
risparmio annuo di risorse finanziarie 83,76 €

ALLEGATI

VIA GIARDINO		ARMATURA					LAMPADA							
STRADA URBANA LOCALE IN ZONA RESIDENZIALE		TIPO	I N C L .	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA			SOST.	
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ				A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)		
83	018026 - C000100 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	125	450	SAP-T	70	252	x
84	018026 - C000101 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	125	450	SAP-T	70	252	x
85	018026 - C000102 - 001	S	x	x		x	x	VM-E	125	450	SAP-T	70	252	x
86	018026 - C000103 - 001	S	x	x		x	x	VM-E	125	450	SAP-T	70	252	x
87	018026 - C000104 - 001	S	x	x		x	x	VM-E	125	450	SAP-T	70	252	x
88	018026 - C000105 - 001	S	x	x		x	x	VM-E	125	450	SAP-T	70	252	x
89	018026 - C000165 - 001	C						SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
90	018026 - C000192 - 001	C						SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
91	018026 - C000193 - 001	C						SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
92	018026 - C000194 - 001	C						SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
93	018026 - C000195 - 001	C						SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
94	018026 - C000196 - 001	C						SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
95	018026 - C000197 - 001	C						SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
96	018026 - C000198 - 001	C						SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
97	018026 - C000199 - 001	C						SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
15 lampioni		6	6	2	4		6			5.940			3.780	15

risparmio annuo di energia elettrica 2.160 kWh
 risparmio annuo di risorse finanziarie 186,13 €

VIA GRISINI		ARMATURA					LAMPADA							
STRADA URBANA LOCALE IN ZONA RESIDENZIALE		TIPO	I N C L .	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA			SOST.	
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ				A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)		
98	018026 - C000024 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
99	018026 - C000025 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
100	018026 - C000026 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
101	018026 - C000027 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
102	018026 - C000028 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	125	450	SAP-E	50	180	x
103	018026 - C000029 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
104	018026 - C000030 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
105	018026 - C000031 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
106	018026 - C000032 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
107	018026 - C000033 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
108	018026 - C000034 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
109	018026 - C000035 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
110	018026 - C000036 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
111	018026 - C000037 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
112	018026 - C000038 - 001	S	x	x		x	x	SAP-T	150	540	SAP-E	100	360	x
15 lampioni		15	15	14	1		15			4.734			2.880	15

risparmio annuo di energia elettrica 1.854 kWh
 risparmio annuo di risorse finanziarie 159,76 €

<i>VIA MARTIRI DI VIA FANI</i>		ARMATURA					LAMPADA							
<i>STRADA URBANA LOCALE IN ZONA RESIDENZIALE</i>		TIPO	I N C L .	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA			SOST.	
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ				A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)		
113	018026 - C000133 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	125	450	SAP-T	70	252	x
114	018026 - C000134 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	125	450	SAP-T	70	252	x
115	018026 - C000135 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	125	450	SAP-T	70	252	x
3 lampioni		3	3	3	0	3				1.350			756	3
												risparmio annuo di energia elettrica	594 kWh	
												risparmio annuo di risorse finanziarie	51,18 €	

<i>VIA MORO A.</i>		ARMATURA					LAMPADA							
<i>STRADA URBANA LOCALE IN ZONA RESIDENZIALE</i>		TIPO	I N C L .	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA			SOST.	
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ				A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)		
116	018026 - C000069 - 001	S	x	x		x	x	SAP-T	150	540	SAP-E	100	360	x
117	018026 - C000070 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	125	450	SAP-E	50	180	x
118	018026 - C000071 - 001	S						VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
119	018026 - C000072 - 001	S						VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
120	018026 - C000073 - 001	S						VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
121	018026 - C000074 - 001	S						VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
122	018026 - C000075 - 001	S						VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
123	018026 - C000076 - 001	S	x	x			x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
8 lampioni		3	3	1	1	3				2.718			1.620	8
												risparmio annuo di energia elettrica	1.098 kWh	
												risparmio annuo di risorse finanziarie	94,61 €	

<i>VIA PORTA SPINOLA E.</i>		ARMATURA					LAMPADA							
<i>STRADA URBANA LOCALE IN ZONA RESIDENZIALE</i>		TIPO	I N C L .	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA			SOST.	
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ				A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)		
124	018026 - C000147 - 001	S	x	x		x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
125	018026 - C000148 - 001	S	x	x		x	x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
126	018026 - C000149 - 001	S	x	x		x	x	VM-E	125	450	SAP-E	50	180	x
127	018026 - C000150 - 001	S	x	x		x	x	VM-E	125	450	SAP-E	50	180	x
128	018026 - C000151 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	125	450	SAP-E	50	180	x
129	018026 - C000172 - 001	C		x			x	SAP-T	150	540	SAP-E	100	360	x
130	018026 - C000173 - 001	C		x			x	SAP-T	150	540	SAP-E	100	360	x
7 lampioni		5	7	1	4	7				3.006			1.620	7
												risparmio annuo di energia elettrica	1.386 kWh	
												risparmio annuo di risorse finanziarie	119,43 €	

ALLEGATI

<i>VIA VANETTA M.</i>		ARMATURA					LAMPADA					SOST.	
<i>STRADA URBANA LOCALE IN ZONA RESIDENZIALE</i>		TIPO	I N C L .	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA			
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ				A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)		consumo annuo (kWh)
131	018026 - C000174 - 001	C					SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
132	018026 - C000175 - 001	C					SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
133	018026 - C000176 - 001	C					SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
134	018026 - C000177 - 001	C					SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
135	018026 - C000178 - 001	C	x	x		x	SAP-T	150	540	SAP-E	100	360	x
5 lampioni		1	1	0	0	1			1.980			1.368	5
risparmio annuo di energia elettrica											612 kWh		
risparmio annuo di risorse finanziarie											52,74 €		

<i>VIA DA VINCI L.</i>		ARMATURA					LAMPADA					SOST.	
<i>STRADA URBANA LOCALE IN ZONA ARTIGIANALE</i>		TIPO	I N C L .	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA			
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ				A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)		consumo annuo (kWh)
136	018026 - C000152 - 001	S	x	x		x	SAP-T	250	900	SAP-T	150	540	x
137	018026 - C000153 - 001	S					SAP-T	150	540	SAP-E	100	360	x
138	018026 - C000154 - 001	S					SAP-T	150	540	SAP-E	100	360	x
139	018026 - C000155 - 001	S					SAP-T	150	540	SAP-E	100	360	x
140	018026 - C000156 - 001	S					SAP-T	150	540	SAP-E	100	360	x
141	018026 - C000157 - 001	S					SAP-T	150	540	SAP-E	100	360	x
142	018026 - C000160 - 001	S	x	x		x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
143	018026 - C000161 - 001	S	x	x		x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
144	018026 - C005009 - 001	C		x		x	SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
145	018026 - C005010 - 001	C		x		x	SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
146	018026 - C005011 - 001	C		x		x	SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
147	018026 - C005012 - 001	C		x		x	SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
148	018026 - C005013 - 001	C		x		x	SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
13 lampioni		3	8	0	0	8			6.480			4.680	11
risparmio annuo di energia elettrica											1.800 kWh		
risparmio annuo di risorse finanziarie											155,10 €		

<i>VIA FERMI E.</i>		ARMATURA					LAMPADA					SOST.	
<i>STRADA URBANA LOCALE IN ZONA ARTIGIANALE</i>		TIPO	I N C L .	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA			
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ				A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)		consumo annuo (kWh)
149	018026 - C000158 - 001	S					SAP-T	150	540	SAP-E	100	360	x
150	018026 - C005001 - 001	C		x		x	SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
151	018026 - C005002 - 001	C		x		x	SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
152	018026 - C005003 - 001	C		x		x	SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
4 lampioni		0	3	0	0	3			1.620			1.116	4
risparmio annuo di energia elettrica											504 kWh		
risparmio annuo di risorse finanziarie											43,43 €		

<i>VIA STRADA DEL CAMPO</i>		ARMATURA					LAMPADA							
<i>STRADA URBANA LOCALE IN ZONA ARTIGIANALE</i>		TIPO	I N C L	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA			SOST.	
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ				A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)		
153	018026 - C000077 - 001	S	x	x	x		x	VM-E	80	288	SAP-E	50	180	x
154	018026 - C005004 - 001	C		x			x	SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
155	018026 - C005005 - 001	C		x			x	SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
156	018026 - C005006 - 001	C		x			x	SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
157	018026 - C005007 - 001	C		x			x	SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
158	018026 - C005008 - 001	C		x			x	SAP-T	100	360	SAP-T	70	252	x
6 lampioni		1	6	1	0	6				2.088			1.440	6

risparmio annuo di energia elettrica 648 kWh
risparmio annuo di risorse finanziarie 55,84 €

<i>VIA CASSETTE</i>		ARMATURA					LAMPADA							
<i>STRADA EXTRAURBANA SECONDARIA</i>		TIPO	I N C L	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA			SOST.	
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ				A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)		
159	018026 - C000039 - 001	S	x	x		x	x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
160	018026 - C000052 - 001	S	x	x		x	x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
161	018026 - C000053 - 001	S	x	x		x	x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
162	018026 - C000054 - 001	S	x	x		x	x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
163	018026 - C000055 - 001	S	x	x		x	x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
164	018026 - C000056 - 001	S	x	x		x	x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
165	018026 - C000057 - 001	S	x	x		x	x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
166	018026 - C000058 - 001	S	x	x		x	x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
167	018026 - C000059 - 001	S	x	x		x	x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
168	018026 - C000060 - 001	S	x	x		x	x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
169	018026 - C000061 - 001	S	x	x		x	x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
170	018026 - C000062 - 001	S	x	x		x	x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
171	018026 - C000063 - 001	S	x	x		x	x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
172	018026 - C000064 - 001	S	x	x		x	x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
173	018026 - C000065 - 001	S	x	x		x	x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
174	018026 - C000066 - 001	S	x	x		x	x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
175	018026 - C000067 - 001	S	x	x		x	x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
176	018026 - C000068 - 001	S	x	x		x	x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
18 lampioni		18	18	0	1	18				9.720			9.720	0

risparmio annuo di energia elettrica 0 kWh
risparmio annuo di risorse finanziarie 0,00 €

ALLEGATI

VIA EUROPA		ARMATURA					LAMPADA						
STRADA EXTRAURBANA SECONDARIA		TIPO	I N C L .	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA			SOST.
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ				A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	
177	018026 - C000079 - 001	S	x	x		x	SAP-T	250	900	SAP-T	150	540	x
178	018026 - C000080 - 001	S		x		x	SAP-T	250	900	SAP-T	150	540	x
179	018026 - C000081 - 001	S	x	x		x	SAP-T	250	900	SAP-T	150	540	x
180	018026 - C000179 - 001	S		x		x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
181	018026 - C000180 - 001	S		x		x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
182	018026 - C000181 - 001	S		x		x	SAP-T	400	1.440	SAP-T	150	540	x
183	018026 - C000182 - 001	S		x		x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
184	018026 - C000183 - 001	S		x		x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
185	018026 - C000184 - 001	S		x		x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
186	018026 - C000185 - 001	S		x		x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
187	018026 - C000186 - 001	S		x		x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
188	018026 - C000187 - 001	S		x		x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
189	018026 - C000188 - 001	S		x		x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
190	018026 - C000189 - 001	S		x		x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
191	018026 - C000190 - 001	S		x		x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
192	018026 - C000191 - 001	S		x		x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
193	018026 - C000200 - 001	S		x		x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
17 lampioni		2	17	0	2	17			11.160			9.180	4
risparmio annuo di energia elettrica											1.980 kWh		
risparmio annuo di risorse finanziarie											170,62 €		

VIA ROMA		ARMATURA					LAMPADA						
STRADA EXTRAURBANA SECONDARIA		TIPO	I N C L .	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA			SOST.
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ				A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	
194	018026 - C000082 - 001	S	x	x		x	SAP-T	250	900	SAP-T	150	540	x
195	018026 - C000083 - 001	S		x		x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
196	018026 - C000084 - 001	S		x		x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
197	018026 - C000085 - 001	S		x		x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
198	018026 - C000086 - 001	S		x		x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
199	018026 - C000087 - 001	S		x		x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
200	018026 - C000088 - 001	S	x	x		x	SAP-T	250	900	SAP-T	150	540	x
201	018026 - C000089 - 001	S	x	x		x	SAP-T	250	900	SAP-T	150	540	x
202	018026 - C000090 - 001	S	x	x		x	SAP-T	250	900	SAP-T	150	540	x
203	018026 - C000091 - 001	S	x	x		x	SAP-T	250	900	SAP-T	150	540	x
204	018026 - C000092 - 001	S	x	x		x	SAP-T	250	900	SAP-T	150	540	x
205	018026 - C000093 - 001	S	x	x		x	SAP-T	250	900	SAP-T	150	540	x
206	018026 - C000094 - 001	S	x	x		x	SAP-T	250	900	SAP-T	150	540	x
207	018026 - C000095 - 001	S	x	x		x	SAP-T	250	900	SAP-T	150	540	x
208	018026 - C000096 - 001	S	x	x	x	x	SAP-T	250	900	SAP-T	150	540	x
	018026 - C000097 - 001	S											
15 lampioni		10	15	1	9	15			11.700			8.100	10
risparmio annuo di energia elettrica											3.600 kWh		
risparmio annuo di risorse finanziarie											310,21 €		

VIA SAN CONTARDO		ARMATURA					LAMPADA						SOST.	
STRADA EXTRAURBANA SECONDARIA		TIPO	I N C L .	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	INSTALLATA			CONSIGLIATA				
NUMERO DI TARGA E PROPRIETÀ				A	C		tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)	tipo	potenza (W)	consumo annuo (kWh)		
209	018026 - C000040 - 001	S	x	x			x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
210	018026 - C000041 - 001	S	x	x			x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
211	018026 - C000042 - 001	S	x	x			x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
212	018026 - C000043 - 001	S	x	x			x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
213	018026 - C000044 - 001	S	x	x			x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
214	018026 - C000045 - 001	S	x	x			x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
215	018026 - C000046 - 001	S	x	x			x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
216	018026 - C000047 - 001	S	x	x			x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
217	018026 - C000048 - 001	S	x	x			x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
218	018026 - C000049 - 001	S	x	x			x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
219	018026 - C000050 - 001	S	x	x			x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
220	018026 - C000051 - 001	S	x	x			x	SAP-T	150	540	SAP-T	150	540	
12 lampioni		12	12	0	0	12			6.480			6.480	0	

risparmio annuo di energia elettrica 0 kWh

risparmio annuo di risorse finanziarie 0,00 €

ALLEGATI

B.5 - TABELLE RIASSUNTIVE PARZIALI

n. 3 <i>PIAZZE IN ZONA RESIDENZIALE</i>	ARMATURA				LAMPADA				SOST.
	TIPO	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	CONSUMO (kWh)		PREZZO (€)		
		A	C		INST.	CONS.	INST.	CONS.	
n. 19 punti luce	19	10	0	19	9.972	9.180	859	791	8
	100,0%	52,6%	0,0%	100,0%		-792		-68	32,0%

risparmio del 7,9%

n. 14 <i>STRADE URBANE IN ZONA RESIDENZIALE</i>	ARMATURA				LAMPADA				SOST.	
	TIPO	INCL.	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	CONSUMO (kWh)		PREZZO (€)		
			A	C		INST.	CONS.	INST.		CONS.
n. 116 lampioni	94	98	65	16	98	40.482	23.904	3.488	2.060	116
	81,0%	84,5%	56,0%	13,8%	84,5%		-16.578		-1.429	100,0%

risparmio del 41,0%

n. 3 <i>STRADE URBANE IN ZONA ARTIGIANALE</i>	ARMATURA				LAMPADA				SOST.	
	TIPO	INCL.	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	CONSUMO (kWh)		PREZZO (€)		
			A	C		INST.	CONS.	INST.		CONS.
n. 23 lampioni	4	17	1	0	17	10.188	7.236	878	624	21
	17,4%	73,9%	4,3%	0,0%	73,9%		-2.952		-254	91,3%

risparmio del 29,0%

n. 4 <i>STRADE EXTRAURBANE SECONDARIE</i>	ARMATURA				LAMPADA				SOST.	
	TIPO	INCL.	VETRO DI PROTEZIONE		INQ. LUM.	CONSUMO (kWh)		PREZZO (€)		
			A	C		INST.	CONS.	INST.		CONS.
n. 62 lampioni	42	62	1	12	62	39.060	33.480	3.366	2.885	14
	67,7%	100,0%	1,6%	19,4%	100,0%		-5.580		-481	22,6%

risparmio del 14,3%

BIBLIOGRAFIA

- BERGAMIN S. (2003), "L'inquinamento luminoso: un nuovo problema per la salvaguardia dell'ambiente" - Tesi di laurea triennale in Scienze Ambientali, Università Cà Foscari, Venezia
- BERSON D., DUNN F. A., TAKAO M. (2002), "Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock" - Science, vol. 295, 1070-1073, febbraio 2002
- BERSON D., "Not so different after all: mysterious eye cells adapt to light" - Brown University of Providence, RI, U.S.A.
- BLASK D. *et al.* (2005), "Melatonin-depleted blood from premenopausal women exposed to light at night stimulates growth of human breast cancer xenografts in nude rats" - Cancer Research, anno 65, 11174-11184, dicembre 2005
- BRAINARD G. C. *et al.* (2001), "Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor" - The Journal of Neuroscience, anno 21 no. 16, 6405-6412, agosto 2001
- CASAGRANDE R., GIULINI P. (1983), "Luci cittadine e verde urbano" - Memorie della società astronomica italiana, vol. 71, 55-58, 2000
- CINZANO P. (1997), "Inquinamento luminoso e protezione del cielo notturno" - Istituto veneto di scienze, lettere e arti, vol. 38
- CINZANO P., FALCHI F., ELVIDGE C. D. (2001), "Rapporto I.S.T.I.L. 2001 - Stato del cielo notturno e inquinamento luminoso in Italia" - Istituto di scienza e tecnologia dell'inquinamento luminoso, Thiene (VI)
- CINZANO P. (2004), "La valutazione dell'impatto ambientale dell'inquinamento luminoso" - relazione presentata al Convegno Nazionale Immissioni ed Emissioni, Milano, 14/12/2004
- D'ASTE L. (2003), "L'inquinamento luminoso, la legge regionale 17/2000 e la situazione del Comune di Merate" - Relazione di tirocinio del corso di laurea in Scienze dell'Educazione, Università degli Studi, Bergamo
- FORNASARI L., DE CARLI E., IOELE A. (2003) "Monitoraggio delle componenti faunistiche migratorie e degli elementi di disturbo causati alle stesse dalla presenza aeroportuale" - U.R.L.: <http://www.cielobuio.org/cielobuio/supporto/migratorinotturni.doc>
- FORNASARI L. (2003), "Rotte naturali sopra il Ticino" - Parco Ticino, anno 6 no. 2, 5-6, giugno 2003
- FRAILE OVEJERO A., D'ACQUINO F., RIZZOLI C. (2004), "Atlante di fisiologia umana" - Giunti Gruppo Editoriale, Firenze
- FRATICELLI F., PALELLA A. (1995), "Svelare la notte - Ovvero la riduzione dell'inquinamento luminoso" - Dossier W.W.F., novembre 1995
- HANSEN J. (2001), "Increased breast cancer risk among women who work predominantly at night" - Epidemiology, anno 12 no. 1, 74-77, gennaio 2001
- HAUSMANN A. (1992), "Untersuchungen zum massensterben von nachtfaltern an industriebeleuchtungen (Lepidoptera, Macroheterocera)" - Atalanta, no. 23, 411-416
- MAESTRONI G. (2006), "La luce blu stimola l'emissione di cortisolo, l'ormone che, con la melatonina, presiede all'alternanza sonno-veglia" - La Stampa, sezione Tutto Scienze, 3, 04/01/2006
- MILLER H. (1999), "Fisica: materia, energia, ambiente" - Casa Editrice Poseidonia, Bologna

- MINUTO S., “Circolazione stradale: attenti agli occhi” e “Circolazione stradale: inquinamento luminoso, ambiente, circolazione stradale, sicurezza” - Commissione Nazionale Inquinamento Luminoso dell’Unione Astrofili Italiani
- NICOLÒ M., “Formazione prenatale della retina” - Società oftalmologi universitari, U.R.L.: <http://www.ofthalmologiuniversitari.it/anatomia%20e%20fisiologia/retina.doc>
- PALLANTE M. (2003), “Ricchezza ecologica” - manifestolibri S.r.l, Roma
- PANELLA G. (2002), “Economia e politiche dell’ambiente” - Carocci editore S.p.a., Roma
- PANELLA G. (2003), “Elementi di economia politica” - Edizioni C.U.S.L., Pavia
- PERSICO M. (2002), “La misura dell’inquinamento luminoso nelle osservazioni astronomiche” - Tesi di laurea triennale in Ingegneria Elettrica, Politecnico, Milano
- RAFFELLI M., DOMENECH J. M. T. (1993), “Atlante di botanica” - Giunti Gruppo Editoriale, Firenze
- RIGUTTI A. (2003), “Atlante di anatomia umana” - Giunti Gruppo Editoriale, Firenze
- ROMAN A. *et al.* (1995), “Inquinamento luminoso e possibili effetti sulle piante superiori” - Memorie della società astronomica italiana, vol. 71, 59-69, 2000
- ROMAN A., “Gli effetti dell’inquinamento luminoso sulla flora e sulla fauna” - U.R.L.: <http://dipastro.pd.astro.it/cinzano/web2/roman.html>
- ROSSI C., “Nozioni di illuminotecnica - Glossario dei termini” - Commissione Nazionale Inquinamento Luminoso dell’Unione Astrofili Italiani
- SCHERNHAMMER E. S. *et al.* (2006), “Night work and risk of breast cancer” - Epidemiology, anno 17 no. 1, 108-111, gennaio 2006
- VEDOVATO M. (2002), “La prevenzione dell’inquinamento luminoso - Breve guida per valutare gli impianti d’illuminazione esterna” - CieloBuio. I disegni sono di Giuliano Lunelli e sono state utilizzate 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.
- WITHERINGTON B. E. (1992), “Behavioral responses of nesting sea turtles to artificial lighting” - Herpetologica, no. 48, 31-39
- ZINGARELLI N. (1997), “Lo Zingarelli 1997” - Vocabolario della lingua italiana, 888, Zanichelli Editore S.p.A., Bologna
- “Artificial light at night stimulates breast cancer growth in laboratory mice” - National Institute of Environmental Health Sciences, U.S.A., notizia stampa del 19/12/2005
- “E.S.CO. - Energy Service Company o società di servizio energia” - Federazione Italiana per l’uso Razionale dell’Energia (F.I.R.E.), U.R.L.: <http://www.tecnologieefficienti.it/esco/esco.asp>
- “Illuminazione e sicurezza stradale”- Pubblica Illuminazione, documento tecnico-informativo, U.R.L.: <http://www.pubblicailluminazione.it/> - percorso: Aree Tematiche -> Area Tecnica -> Illuminazione e sicurezza stradale
- “La mobilità sostenibile - Incidenti e costi sociali” - A.R.P.A. Lombardia, documento tecnico-informativo, U.R.L.: <http://www.arpalombardia.it/mobilitanew/main.asp?sec=05>
- “Lampade a vapori di ioduri metallici” - E.N.E.L. So.l.e, luglio 2001
- “Lampade a vapori di sodio a bassa pressione” - E.N.E.L. So.l.e, luglio 2001
- “Lampade a vapori di sodio ad alta pressione” - E.N.E.L. So.l.e, luglio 2003

- “Lampade a vapori di mercurio ad alta pressione” - E.N.E.L., Divisione Mercato, Area di Business Illuminazione Pubblica, gennaio 2004
- “La posizione di CieloBuio in merito alla norma tecnica UNI 10819” - CieloBuio, U.R.L.: <http://www.cielobuio.org/index.php?catid=12>

INDICE DELLE IMMAGINI

- Figura P-1: la Terra e l'inquinamento luminoso emesso dai corpi illuminanti visti dallo Spazio - *pag. 2*
- Figura 1-1: emissione luminosa di un corpo illuminante a sfera - *pag. 6*
- Figura 1-2: direzioni delle emissioni luminose - *pag. 7*
- Figura 1-3: la pianura padana di notte vista dal monte Campo dei Fiori (VA) - *pag. 8*
- Figura 2-1: ubicazione delle magnolie e della sorgente ottica - *pag. 21*
- Figura 2-2: i dati relativi agli uccelli inanellati e ricatturati indicano che il Parco del Ticino è attraversato in autunno da un ampio fronte di migrazione diretto verso SO, che interessa soprattutto le specie del genere *Turdus* e i fringillidi. In questo esempio sono riportati i dati relativi al Tordo bottaccio, per gli individui inanellati in più anni e in più stazioni nei giorni tra il 28 settembre e il 7 ottobre - *pag. 25*
- Figura 2-3: sezione schematica della retina - *pag. 28*
- Figura 3-1: esempi di armature progettate inclinate in via Albericia (a sx) e da regolare per la posa in opera orizzontale in via Erbatichi (a dx) - *pag. 41*
- Figura 3-2: esempi di armature inclinate di incerta determinazione che si trovano in molte vie del paese - *pag. 42*
- Figura 3-3: armature totalmente schermate in via Da Vinci (a sx) e in via Giardino (a dx) - *pag. 42*
- Figura 3-4: armatura con vetro di protezione assente in via Albericia (a sx) e armatura con vetro di protezione curvo in via Europa (a dx) - *pag. 43*
- Figura 3-5: corpo illuminante a luce indiretta in piazza Arnaboldi (a sinistra) e corpo illuminante con due lanterne in piazza della Chiesa (a dx) - *pag. 50*
- Figura 3-6: corpo illuminante con una lanterna (a sx) e corpo illuminante con due apparecchi per illuminazione diretta (a dx) in piazza San Lorenzo - *pag. 51*
- Figura 4-1: rappresentazione della stessa via illuminata da armature non schermate (a sx) e da armature totalmente schermate (a dx) - *pag. 54*
- Figura A-1: rappresentazione schematica di un cloroplasto - *pag. 57*
- Figura A-2: struttura molecolare della clorofilla - *pag. 58*
- Figura A-3: schema della fotosintesi clorofilliana - *pag. 58*
- Figura B-1: lo spettro elettromagnetico - *pag. 60*
- Figura B-2: il raggio d'onda ottica entra nell'occhio - *pag. 61*
- Figura B-3: diffusione dell'energia raggiante - *pag. 62*
- Figura B-4: riflessione di un raggio d'onda ottica - *pag. 62*
- Figura B-5: rifrazione di un raggio d'onda ottica - *pag. 63*
- Figura B-6: rifrazione di un raggio d'onda ottica bianco - *pag. 63*
- Figura B-7: riflessione totale di un raggio d'onda ottica - *pag. 64*

- Figura B-8: prisma a riflessione totale - *pag. 64*
- Figura C-1: le lampade funzionanti ad alta pressione emettono pacchetti di spettro continuo, invece le lampade a bassa pressione emettono righe monocromatiche - *pag. 70*
- Figura C-2: esempio di apparecchio totalmente schermato o *full-cut-off*. La lampada è nascosta all'interno dell'armatura, a sua volta disposta parallelamente al terreno (posa in opera orizzontale). Il cono di luce è indirizzato completamente verso terra, senza inutili dispersioni e con maggior *comfort* visivo - *pag. 76*
- Figura C-3: 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 - *pag. 76*
- Figura C-4: esempi di vetro piano e vetro curvo; in questo caso il vetro curvo, sporgendo dall'armatura, disperde luce al di sopra dell'orizzonte - *pag. 77*
- Figura C-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 - *pag. 77*
- Figura C-6: apparecchio *full-cut-off* a vetro curvo. La copertura dell'apparecchio intercetta le dispersioni luminose verso l'orizzonte (cortesia Alberto Duches - Ass. CieloBuio) - *pag. 78*
- Figura C-7: esempio di schermatura non efficace: parte della lampada rimane visibile generando abbagliamento oltre a disperdere luce verso l'orizzonte - *pag. 78*
- Figura C-8: 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* - *pag. 79*
- Figura C-9: 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 - *pag. 79*

INDICE DELLE TABELLE E DEI GRAFICI

- Tabella 2-1: valori d'illuminazione, espressi in lux, in alcune situazioni - *pag. 18*
- Tabella 2-2: incidenza del flusso luminoso sul tempo di reazione e relative distanze d'arresto - *pag. 33*
- Tabella 2-3: tempi di recupero dopo un abbagliamento - *pag. 34*
- Tabella 3-1: suddivisione amministrativa dei Comuni della Provincia di Pavia - *pag. 36*
- Tabella 3-2: distribuzione delle vie e dei corpi illuminanti in base alla tipologia della strada - *pag. 39*
- Tabella 3-3: potenza nominale della lampada consigliata per ottimizzare i risparmi - *pag. 44*
- Tabella 3-4: dati riassuntivi della rilevazione - *pag. 46*
- Grafico 3-1: le caratteristiche tecniche negative delle armature - *pag. 47*
- Grafico 3-2: le tipologie e la quantità di lampade attualmente installate - *pag. 48*
- Tabella 3-5: la quantità di lampade installate al presente e le loro caratteristiche tecniche - *pag. 48*
- Tabella C-1: categorie di resa dei colori - *pag. 69*
- Tabella C-2: i campi di applicazione consigliati per le lampade agli alogenuri metallici, SAP, SBP - *pag. 74*