

La valutazione dell'impatto ambientale dell'inquinamento luminoso

Pierantonio Cinzano

Dipartimento di Astronomia, Università di Padova, vicolo dell'Osservatorio 2, I-35122 Padova, Italy

*Istituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso (ISTIL), via Roma 13, I-36016 Thiene, Italy,
email:cinzano@lightpollution.it*

Relazione presentata al Convegno Nazionale *Immissioni ed Emissioni*, Milano 14 Dicembre 2004 © ISTIL 2004

Introduzione

L'inquinamento luminoso è l'alterazione della quantità naturale di luce presente nell'ambiente notturno provocata dall'immissione di luce artificiale¹. Le sorgenti delle immissioni inquinanti sono per lo più gli impianti di illuminazione esterna notturna.

Negli ultimi anni il nostro Paese ha fatto un consistente sforzo legislativo nei confronti di questo fenomeno, sia a livello regionale che nazionale. Questo in conformità agli indirizzi dell'Unione Europea, la cui Commissione, rispondendo in modo non sempre soddisfacente a numerose interpellanze di parlamentari europei, ha più volte sostenuto che si tratta di materia da regolare a livello nazionale. Grazie all'attività di sensibilizzazione ed al contributo delle organizzazioni che combattono questo fenomeno (Cielobuio, International Dark-Sky Association, Unione Astrofili Italiani, Legambiente, WWF, Pro-Natura, etc.) sono state approvate leggi regionali contro l'inquinamento luminoso, valide o meno valide, in 10 regioni (Lombardia 17/00, Emilia-Romagna 113/03, Marche 10/02, Lazio 23/00, Campania 13/02, Veneto 22/97, Toscana 37/00, Piemonte 31/00, Valle d'Aosta 17/98, Basilicata 41/00) che coprono più di due terzi della popolazione italiana e le principali città (Milano, Roma, Venezia, Firenze, Bologna, Napoli). Le numerose proposte di legge presentate al Senato o alla Camera in questa XIV legislatura (la prima proposta risale alla XI legislatura) sono state recentemente unificate dalle Commissioni Ambiente e Attività Produttive nel testo "Disposizioni per la prevenzione e la lotta all'inquinamento luminoso" che è in discussione ma risulta in alcuni punti ancora insoddisfacente e inadeguato. La normativa tecnica nazionale ed internazionale (es. UNI 10819, CIE 150:2003, CIE DS 015.2/E:2004, CEN prEN12464-2) è invece giudicata assolutamente insufficiente a combattere efficacemente l'inquinamento luminoso e la credibilità di enti normatori privati in questo settore è oggetto di aspre critiche da parte ambientale. L'impegno legislativo ha attivato un processo virtuoso diretto alla limitazione dell'inquinamento, sia a livello della progettazione degli apparecchi, sia a livello di una maggiore – ma ancora insufficiente – attenzione nella progettazione ed installazione degli impianti, sia nella sorveglianza.

Fondamentale per l'azione di prevenzione/controllo è il monitoraggio della situazione dell'ambiente in relazione al fenomeno dell'inquinamento luminoso e la valutazione dell'impatto ambientale dei nuovi impianti. Con quest'ultima espressione non ci riferiamo solo alla VIA prevista dalla legge 349/1986 e DPCM 377/1988 e all'impatto prodotto dai grandi impianti, ma in modo più generale alla *quantificazione* dell'inquinamento luminoso prodotto da qualsiasi impianto o sistema di impianti, e dei suoi effetti, tramite parametri e indicatori appositi. Lo stesso Testo Unificato della

¹ Per un'introduzione al problema si veda Cinzano P. 2004, Quaderni della Rivista Giuridica dell'Ambiente, 14, 113

proposta di legge alla Camera prevede esplicitamente di “verificare l'andamento del fenomeno dell'inquinamento luminoso sul territorio nazionale” (art.3) e “l'effettuazione di controlli ... al fine di garantire il rispetto e l'attuazione della legge da parte di soggetti pubblici e privati” (art.6).

Possiamo identificare due classi principali di impatto ambientale dell'inquinamento luminoso. Il primo, che possiamo chiamare *generalizzato*, è dovuto all'immissione in atmosfera di luce artificiale e alla sua successiva diffusione da parte delle molecole e delle particelle di aerosol, che si comportano come sorgenti secondarie di luce. Il secondo, che possiamo chiamare *prossimale*, è dovuto all'illuminamento *diretto*², da parte degli impianti, di superfici, oggetti e soggetti che non è richiesto illuminare (è chiamato anche *inquinamento ottico*³).

Nel primo caso il comportamento è simile a quello del tubo di scappamento di un'automobile. L'impatto di una singola autovettura può essere in apparenza molto piccolo ma la somma delle emissioni di tutte le autovetture circolanti produce un impatto rilevante. La valutazione di questo impatto richiede perciò di determinare quale dovrebbe essere l'emissione massima perché la sommatoria degli effetti di tutti gli impianti attivi produca un'alterazione trascurabile dell'ambiente naturale, cioè, nel nostro caso, della quantità di luce naturale presente nell'ambiente. La propagazione della luce artificiale in atmosfera fa sì che gli effetti inquinanti si manifestino anche a centinaia di chilometri dalla sorgente, proprio come nel caso dell'inquinamento di tipo “chimico”. La principale differenza rispetto alle immissioni inquinanti di tipo “chimico” è che qui l'effetto è determinato non solo dalla quantità ma anche la direzione dell'emissione. Parametri di valutazione basati solo sulla quantità di flusso luminoso immesso nell'ambiente sono insufficienti ed è necessario utilizzare parametri che tengano conto anche della direzione di tale immissione. Ad esempio, il parametro Rn della norma UNI10819, cioè la *frazione percentuale di flusso luminoso emesso verso l'alto da un impianto*, è un parametro inadeguato. E' invece un parametro corretto *l'intensità dell'emissione luminosa dell'impianto in ciascuna direzione, per unità di flusso totale emesso*, a cui fanno riferimento le leggi regionali di Lombardia 17/00, Emilia-Romagna 113/03, Marche 10/02, Lazio 23/00, Campania 13/02. Si ottiene da misure della distribuzione luminosa degli apparecchi di illuminazione che sono uno standard praticato da anni.

Nel caso invece dell'inquinamento luminoso *prossimale*, l'effetto è dato dal flusso luminoso che arriva sulla superficie o sul soggetto coinvolto, quindi i parametri di interesse sono l'illuminamento orizzontale o verticale (flusso luminoso per unità di superficie su piani orizzontali o verticali) o quelli legati al soggetto stesso, come l'*abbagliamento debilitante*, l'*abbagliamento molesto*, l'indice DGR (Discomfort Glare Rating) e l'indice VCP (Visive Comfort Probability). In questo caso le aree più colpite sono quelle situate nel circondario degli impianti di illuminazione, per evidenti ragioni geometriche e perchè la quantità di luce inquinante ricevuta da un singolo impianto dipende dall'inverso della distanza. L'inquinamento luminoso *prossimale* ha quindi molte affinità con l'inquinamento acustico (anche per quanto riguarda i riferimenti all'art. 844 c.c.). Tuttavia, il concetto di *dose* in questo ambito è assente.

Vediamo come possono essere quantificati i principali impatti dell'inquinamento luminoso.

Visibilità del cielo notturno e inquinamento luminoso dell'atmosfera

L'aumento della luminosità del cielo notturno è il più noto dei molti effetti dell'inquinamento luminoso, sia perchè è molto evidente sia perchè gli astronomi, grazie ai loro sensibili strumenti, lo

² *Diretto* qui significa “che arriva immediatamente dalla sorgente luminosa” senza altri passaggi.

³ L'aggettivo *ottico* vuole evidentemente sottolineare che questo tipo di inquinamento luminoso è prodotto dall'illuminamento diretto, basato sulle leggi dell'Optica Geometrica, anziché dalla luce diffusa in atmosfera.

hanno rilevato e cominciano a studiare già molti anni fa, quando non era ancora così pronunciato. E' un problema grave perché mette in pericolo la percezione dell'Universo in cui viviamo, sul quale il cielo stellato costituisce l'unica "finestra" disponibile per la popolazione. Non si tratta della perdita della contemplazione "romantica" del firmamento, ma della ben più preoccupante perdita della percezione dell'ambiente in cui ci troviamo a vivere. Trattandosi di un elemento fondamentale per la cultura, sia umanistica sia scientifica, e di una componente importante del patrimonio paesaggistico, è stato chiesto all'UNESCO di riconoscere al cielo notturno lo status di "Patrimonio dell'Umanità" [1] e di mantenere il riferimento al "diritto ad un cielo incontaminato" nella "Dichiarazione dei Diritti delle Generazioni Future".

Il crescente interesse per gli effetti dell'inquinamento luminoso sul cielo notturno richiede un monitoraggio periodico su scala globale della situazione. Una campagna di misure della brillantezza del cielo fatte da terra non può avere dimensioni globali, cosicché i dati da satellite costituiscono la sola sorgente disponibile di informazione su questa scala. La radianza misurata dall'Operational Linescan System (OLS), un radiometro oscillante di elevata sensibilità alla luce visibile installato sui satelliti del Defense Meteorological Satellite Program (DMSP), consente di ottenere informazioni ad alta risoluzione sulle emissioni luminose da parte delle sorgenti sulla superficie terrestre, ma non fornisce alcun'informazione sugli effetti di questa luce sul cielo notturno dovuti alla propagazione dell'inquinamento luminoso. La valutazione di questi effetti è l'obiettivo del progetto di ricerca "Monitoraggio globale dell'inquinamento luminoso e della brillantezza del cielo notturno da misure da satellite" svolto all'Istituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso (ISTIL) in collaborazione col National Geophysical Data Center di Boulder e col supporto dell'Agenzia Spaziale Italiana e del progetto "Inquinamento luminoso e la situazione del cielo notturno nei siti astronomici" svolto all'Università di Padova in collaborazione coi precedenti enti [2]. La brillantezza artificiale del cielo notturno in ogni punto viene ottenuta sommando i contributi di tutte le sorgenti entro un raggio di almeno 200 km. La propagazione dell'inquinamento luminoso viene calcolata tenendo conto della diffusione da parte delle molecole e degli aerosoli, dell'estinzione atmosferica lungo il cammino ottico della luce e della curvatura terrestre. I risultati sono associati, con ben definiti parametri, alle condizioni atmosferiche per non confondere le variazioni dovute alla crescita dell'inquinamento luminoso con quelle dovute a diverse condizioni atmosferiche. Si tiene conto anche di altitudine, schermatura da parte delle montagne e caratteristiche della visione dell'occhio medio. Oltre alle normali mappe bidimensionali, in funzione di latitudine e longitudine, si possono ottenere *ipermappe a 4 dimensioni* che danno la brillantezza del cielo in ogni punto del territorio in funzione dell'altezza e dell'azimut della direzione di osservazione e *ipermappe a 3 dimensioni* che danno la brillantezza allo zenit in funzione del contenuto di aerosoli dell'atmosfera. Le mappe sono validate, e spesso anche calibrate, con misure da terra. Per questo, l'ISTIL ha allestito uno specifico Laboratorio di Fotometria e Radiometria dell'Inquinamento Luminoso (www.lplab.it) con strumenti di misura specifici e un servizio di calibrazione per controllarne l'accuratezza.

Per il monitoraggio dell'inquinamento luminoso vengono utilizzati vari indicatori, tra cui (1) la *Brillantezza⁴ artificiale del cielo notturno allo zenit*, (2) la *Brillantezza totale del cielo notturno allo zenit*, (3) la *Magnitudine limite visuale* (magnitudine della stella più debole visibile ad occhio nudo da un osservatore tipico in condizioni predefinite). Da alcuni anni agenzie di protezione ambientale regionali e nazionali hanno adottato la brillantezza del cielo notturno come indicatore di impatto ambientale del "settore energetico". Di solito essa non viene espressa in termini assoluti ma come rapporto tra la brillantezza artificiale e quella naturale. La visibilità delle stelle, espressa dalla

⁴ *Brillantezza* è un termine generico utilizzato per indicare il flusso per unità di superficie per unità di angolo solido che giunge da una data direzione di cielo. Si parla più specificatamente di luminanza fotopica o scotopica, brillantezza UBVRI, radianza energetica, radianza fotonica a seconda che ci si riferisca al flusso luminoso nella banda di sensibilità fotopica o scotopica dell'occhio, al numero di fotoni nella bande astronomiche UBVRI, al flusso di energia, al numero di fotoni.

magnitudine limite, è stata invece adottata come indicatore dell'impatto sull'uomo e sulla società. Tali parametri sono stati incrociati con la distribuzione di popolazione ed hanno dato luogo ad altre famiglie di indicatori statistici dell'impatto sulla popolazione, fra cui ad esempio: la percentuale di popolazione che può vedere o non può vedere la nostra galassia (la Via Lattea) dal luogo dove vive, che vive in luoghi ove non scende mai una vera e propria notte, che vive in un perenne "chiaro di luna artificiale" etc...[per le precise definizioni si veda 3,4].

Tecniche di *tomografia dell'inquinamento luminoso* in atmosfera, da noi introdotte recentemente con i programmi LPTRAN (Light Pollution Radiative Transfer) e LPDART (Light Pollution Distribution from Atmospheric Radiative Transfer), consentono di ottenere dalle misure da satellite informazioni punto per punto sulla situazione nell'atmosfera sovrastante qualunque territorio e sulla superficie terrestre. Si tratta quindi di un'informazione di tipo tridimensionale. Tra i parametri principali vi sono (a) la *densità di radiazione artificiale in atmosfera*, che consente di quantificare l'alterazione della quantità naturale di radiazione punto per punto (es. in fotoni per metro cubo), (b) la *densità di flusso luminoso diffuso* che consente di quantificare l'impatto di ogni volume di atmosfera come sorgente secondaria di luce (es. in fotoni al secondo per metro cubo), (c) il *contributo frazionario* di ogni volume di atmosfera alla brillantezza del cielo percepita da un osservatore a terra, etc. Si tratta di quantità integrate che – come è già stato precisato – sono utili solo come indicatori dell'alterazione dell'atmosfera o per meglio valutare l'impatto sulla luminosità del cielo, ma non per calcolare l'effetto della luce diffusa da ciascun volume di atmosfera. Per quest'ultimo scopo occorre conoscere *l'intensità della luce diffusa in ciascuna direzione da ogni volume unitario di atmosfera*, un parametro disponibile grazie ai citati programmi di calcolo ma troppo specifico e difficile da trattare per poter essere utilizzato come indicatore: basti pensare che l'intensità della luce diffusa da ogni volume unitario di atmosfera a data altitudine e posizione geografica viene abitualmente calcolata in una griglia di almeno 1000 direzioni diverse.

Le precedenti quantità di solito sono calcolate nell'intervallo di lunghezza d'onda a cui è sensibile l'occhio umano (banda fotopica e scotopica), ma possono essere calcolate anche in altre bande o per ciascuna lunghezza d'onda della luce visibile. L'unico limite è l'elevato tempo di calcolo richiesto.

Per quanto riguarda la valutazione dell'impatto di un singolo impianto, bisogna distinguere la *valutazione dell'impatto effettivo*, cioè del valore assoluto dell'immissione totale dell'impianto, e la *valutazione delle caratteristiche di controllo dell'inquinamento luminoso e di rispondenza alla legge*, che si basa in parte su valori relativi riferiti all'unità di flusso luminoso installato. Di solito è la seconda ad attrarre l'interesse. Infatti, nel nostro Paese la lotta si è orientata al contenimento dell'inquinamento luminoso anziché al contenimento degli impianti. Anche le migliori leggi regionali (LR Lombardia 17/00, Emilia-Romagna 113/03, Marche 10/02) hanno scelto di non porre pressoché alcun limite all'installazione di impianti di illuminazione ma di limitarsi a regolamentare la loro progettazione, il loro uso e i livelli di illuminazione. Quindi di fatto l'obiettivo non è limitare il valore assoluto dell'immissione inquinante, che dipende anche dalla dimensione dell'area illuminata e dal livello di illuminazione richiesto, ma l'immissione relativa, rapportata alla "dimensione" dell'impianto. E' probabile che in future proposte di legge vengano introdotti limiti anche al flusso luminoso installabile in ogni comune, sulla scia di alcuni provvedimenti adottati all'estero che però devono essere totalmente rivisti per risultare realmente efficaci. Il valore assoluto dell'immissione totale dell'impianto ha comunque una particolare rilevanza per i grandi impianti laddove, se eccessivo, può suggerire di contenere l'ampiezza delle aree illuminate.

La *valutazione delle caratteristiche di controllo dell'inquinamento luminoso e di rispondenza alla legge* di un impianto di illuminazione si esegue sui dati di progetto. La verifica che l'installazione sia stata eseguita conformemente al progetto è compito del *collaudo*. La valutazione si deve basare sui criteri fondamentali per il corretto contenimento dell'inquinamento luminoso, qui riassunti.

Il primo criterio fondamentale è quello di evitare le immissioni di luce sopra l'orizzonte dagli apparecchi dell'impianto (il limite adottato dalle leggi migliori è di 0 cd/klm a 90 gradi ed oltre, per qualsiasi impianto pubblico o privato, tranne qualche eccezione, con un'implicita tolleranza di ± 0.5 cd/klm). Infatti le immissioni luminose provenienti dagli apparecchi, anche quando possono sembrare trascurabili rispetto a quelle provenienti dalle superfici illuminate, in realtà costituiscono una parte fondamentale del flusso inquinante ad una certa distanza dalle sorgenti. Poiché l'inquinamento luminoso si propaga liberamente ad oltre 200 km di distanza, in gran parte del territorio la brillantezza artificiale è prodotta per lo più dalla somma degli effetti delle sorgenti "lontane"⁵. Per ragioni geometriche facili da intuire, l'emissione "a piccoli angoli sopra l'orizzonte" si propaga più lontano rispetto alla luce emessa ad angoli elevati e si somma ad altra luce proveniente da altre sorgenti lontane, creando un effetto di addizione molto efficiente nel produrre livelli importanti di luminosità artificiale del cielo. Gli apparecchi di illuminazione semi-schermati, permessi dalle leggi meno efficaci (ad es. quelli che emettono meno del 5% del loro flusso luminoso verso l'alto) normalmente sono apparecchi che per loro costruzione emettono questo flusso proprio a piccoli angoli, poco sopra la linea dell'orizzonte. Al contrario, le superfici di strade e piazze hanno un'emissione chiamata quasi-Lambertiana con intensità piccole a piccoli angoli ed elevate verso lo zenit. Quindi la luce più inquinante, quella emessa a piccoli angoli sopra l'orizzonte, proviene in gran parte dagli apparecchi⁶. Usando apparecchi totalmente schermati l'unico flusso verso l'alto rimane quello riflesso dalle superfici che, se si progetta l'impianto con cura e si limita la luce dispersa nelle aree circostanti, può essere reso più piccolo di quello prodotto da un impianto non schermato avente uguale luminanza.

Il secondo criterio irrinunciabile per un'efficace limitazione dell'inquinamento luminoso è quello di non sovrailluminare. Gli estensori delle leggi della regione Lombardia, Emilia-Romagna, Marche, Veneto e Toscana hanno correttamente previsto che la luminanza media mantenuta delle superfici da illuminare non debba superare i livelli minimi previsti dalle normative tecniche di sicurezza, ove presenti, e che essa sia ridotta quando le condizioni di uso della superficie lo consentono. Nel caso in cui norme non ve ne siano, la legge del Lazio ha introdotto un limite di 1 cd/m² subito ripreso nel regolamento della Lombardia e nelle leggi delle Regioni Marche ed Emilia-Romagna. Questo valore è dell'ordine di quello richiesto dalle norme di sicurezza nella maggior parte delle strade urbane (escluse quelle di scorrimento veloce).

Il terzo criterio è quello di usare lampade la cui distribuzione spettrale della luce abbia la massima intensità alle lunghezze d'onda a cui l'occhio ha la massima sensibilità nelle condizioni tipiche delle aree illuminate (per tipiche luminanze ≥ 1 cd/m² la risposta è in prevalenza fotopica).

Quindi, per eseguire una accurata *valutazione delle caratteristiche di controllo dell'inquinamento luminoso e di rispondenza alla legge* dobbiamo quantificare, in base al progetto:

- 1) le emissioni luminose inviate verso l'alto dagli apparecchi dell'impianto, con particolare attenzione alle direzioni a piccoli angoli sopra l'orizzonte (parametro: intensità luminosa in ciascuna direzione per unità di flusso emesso dall'impianto; unità: cd/klm). Laddove siano presenti leggi, tali emissioni devono essere conformi ai limiti previsti.
- 2) la luminanza delle superfici (o l'illuminamento per certi tipi di impianto) (parametri: luminanza, illuminamento orizzontale e verticale; unità: cd/m², lx). Essi non devono superare il minimo richiesto dalle normative di sicurezza, se presenti, e devono essere contenuti entro i limiti di

⁵ Si pensi che nel raggio di 150 km da un sito ai bordi della pianura veneta si contano più di 1800 comuni ognuno con centinaia o migliaia di lampioni.

⁶ Ad esempio, utilizzando in un impianto stradale apparecchi con una percentuale di flusso verso l'alto del 2% (piccola rispetto ai limiti previsti nella norma UNI-10819 e nella LR 22/1997 del Veneto) il flusso emesso a piccoli angoli che viene diffuso dall'atmosfera (quello più efficace nell'alterare la luminosità del cielo) aumenta del 212% rispetto a quello prodotto dalla sola riflessione della strada. [5]

legge, ove previsti. L'impianto dovrebbe consentire, quando possibile o negli orari previsti, la riduzione di flusso o lo spegnimento parziale o totale. Spesso si deve anche valutare se il progettista ha tenuto conto in modo corretto del tipo di superficie da illuminare e del suo effettivo coefficiente di riflessione.

- 3) la distribuzione spettrale delle lampade (in pratica si tratta solo di identificare il tipo di lampada, essendo le lampade in numero limitato e le loro caratteristiche in genere conosciute). Essa dovrebbe essere tale da produrre, a parità di flusso luminoso, il minore impatto e comunque il tipo di lampada deve essere congruente con le indicazioni di legge, ove presenti.
- 4) il valore assoluto delle immissioni. (in pratica si calcola il flusso luminoso installato totale, e i flussi emessi verso l'alto dagli apparecchi e riflessi verso l'alto dalle superfici nei vari intervalli angolari).
- 5) Dobbiamo infine verificare che vi sia rispondenza ad ogni altra prescrizione di legge che dovesse essere prevista in questo ambito;

Le informazioni in elenco si ottengono facilmente in base al progetto illuminotecnico dell'impianto e all'allegata fotometria degli apparecchi (nel formato standard EULUMDAT). *Roadpollution*, un software gratuito in beta test, produce un completo rapporto tecnico per gli impianti di illuminazione stradale, con tutti i parametri di interesse. Il progetto illuminotecnico è obbligatorio nelle buone leggi contro l'inquinamento luminoso e l'IMQ certifica l'accuratezza della fotometria.

Effetti sugli esseri viventi ed inquinamento luminoso a livello del suolo

L'uomo, animale tipicamente diurno, tende ad ignorare l'eccezionale ricchezza di vita dell'ambiente notturno. Pochi sanno, ad esempio, che delle 8500 specie di farfalle europee, oltre 8000 sono notturne. I disturbi prodotti dall'inquinamento luminoso all'ambiente e alla salute degli esseri che ci vivono (animali, piante e uomo) sono tanti e documentati da centinaia di studi scientifici e rapporti [6,7,8,9], sebbene sia un campo di studi sviluppatosi da poco tempo. Gli studi eseguiti finora hanno evidenziato effetti su insetti, tra cui falene e lucciole, invertebrati, rane, salamandre, tartarughe, salmoni e pesci vari, avifauna ed altri mammiferi, piante di vario tipo, etc. che comprendono alterazioni del comportamento, del ciclo riproduttivo, delle migrazioni, dei ritmi circadiani, alterazioni alla fotosintesi clorofilliana, al fotoperiodismo, etc. Possiamo dividere questi effetti in due classi:

(a) Effetti delle immissioni luminose dirette verso l'alto.

Si tratta di (i) effetti della luce su soggetti in quota (es. disturbo alle migrazioni) e di (ii) effetti dell'illuminamento secondario al suolo dovuto alla luce diffusa dall'atmosfera. Nel primo caso un possibile parametro per quantificare l'impatto nel territorio potrebbe essere, ad esempio, la "distanza di impatto" cioè la distanza in funzione dell'altitudine oltre la quale il soggetto non viene disturbato dagli impianti. Questo tipo di valutazioni devono ancora essere sviluppate. Nel secondo caso, la luce diffusa dall'atmosfera illumina il suolo in modo non trascurabile in vicinanza di aree ad alta urbanizzazione ed ha anche un effetto importante nel determinare la luminosità ambientale percepita dall'animale, poiché il cielo occupa una frazione consistente, se non prevalente, del campo visivo di un animale. Parametri di quantificazione saranno quindi l'illuminamento orizzontale al suolo e la luminosità ambientale, intesa come la somma integrale della luminanza del cielo e del suolo. Naturalmente, è necessario che i singoli ricercatori di scienze naturali identifichino gli intervalli di lunghezza d'onda più opportuni per le diverse specie ed i valori con cui fare il confronto, che non sono solo l'illuminamento e la luminosità *naturali*, prodotti per lo più dalla luce delle stelle, ma anche quelli per cui l'impatto diviene "dannoso". Difficilmente sarà possibile trovare valori limite uguali per tutti, anche a causa delle diverse sensibilità a luce di diversa lunghezza d'onda. Ad esempio, le misure per valutare gli effetti sulla fotosintesi clorofilliana delle piante vengono fatte nella banda PAR (Photosynthetic Active Radiation).

(b) Effetti delle immissioni luminose dirette verso il basso.

Essi sono dovuti all'illuminamento diretto da parte degli apparecchi dell'impianto sulla superficie o sul soggetto coinvolto, cioè al già citato inquinamento luminoso *prossimale*. I livelli di solito sono notevoli e di elevato impatto in vicinanza degli impianti. La valutazione di base va fatta in base alla mappatura dell'illuminamento riscontrato punto per punto in un'ampia area attorno all'impianto (rappresentato in genere con le cosiddette curve isolux, curve di eguale illuminamento). Dato che spesso l'illuminamento è prodotto da un singolo impianto è sufficiente mappare quest'ultimo nella usuale banda fotopica. I valori in qualsiasi altra banda fotometrica si possono ottenere moltiplicando questi per un fattore di scala fisso che dipende dal tipo di lampada utilizzata e determinabile in laboratorio una volta per tutte. Per quantificare la luce intrusiva, ossia quella luce che penetra nelle proprietà private e nelle case ed è stata indicata come probabile causa di vari disturbi (da semplice irritazione a miopia dei bambini fino ad alterazione del sistema della melatonina con possibili effetti cancerogeni) si misura l'illuminamento sulle pareti delle case. La valutazione dell'*abbagliamento debilitante* (TI), dell'*abbagliamento molesto*, dell'indice DGR (Discomfort Glare Rating) e dell'indice VCP (Visive Comfort Probability), e di analoghi da introdurre per le varie specie animali, consente di quantificare l'impatto sulle capacità visive. I limiti da non superare sono noti per l'uomo. Purtroppo, nella usuale pratica illuminotecnica questi indici vengono calcolati solo per gli utenti dell'impianto e non per chi si trova nelle aree adiacenti dove l'impatto è molto maggiore. L'abbagliamento dipende dal rapporto tra l'illuminamento prodotto dalla sorgente sull'occhio e la luminosità dello sfondo e può essere molto elevato per chi si trova in aree poco illuminate ma adiacenti ad un impianto (es. un giardino semi-buio, una camera da letto, una strada non illuminata).

La riduzione al minimo della luce inutilmente dispersa nelle aree circostanti (cioè emessa *verso il basso* ma *al di fuori* dall'area da illuminare) finora non è stata specificamente prevista nelle leggi, a causa della difficoltà di imporre precisi limiti numerici alla progettazione. Infatti non è facile avere un controllo accurato della luce emessa verso il basso. L'utilanza arriva al massimo al 60% in impianti stradali ben fatti, cioè almeno il 40% della luce è sprecato anche nei migliori impianti! Tuttavia, tale riduzione è già implicita in una buona progettazione, che per essere tale deve massimizzare la frazione di luce effettivamente utilizzata dall'impianto per minimizzare i consumi energetici. In alcune aree degli USA i limiti all'intensità delle immissioni luminose degli impianti di strade e grandi aree partono da un angolo di 80 gradi dalla verticale, invece che da 90 gradi come in Italia. In questo modo vengono contenute anche le immissioni tra gli 80 e i 90 gradi, che illuminano ad una distanza maggiore di 5.8 volte l'altezza del palo, cioè dove non serve. I limiti alla luce emessa *verso il basso* sono però sgraditi al mondo illuminotecnico, già riluttante ad accettare limiti alla luce emessa verso il cielo.

Per la limitazione della luce intrusiva, le normative tecniche fanno riferimento all'illuminamento entro una proprietà privata, o sulle pareti in prossimità di finestre, e alla luminanza delle pareti delle case adiacenti l'impianto. I limiti previsti nelle normative e linee guida CIE e CEN risultano purtroppo spesso inadeguati. Ad esempio, la CIE 150:2003 consente che un impianto produca sulle pareti delle case adiacenti una luminanza da 2,5 a 25 volte maggiore di quella richiesta dalle norme di sicurezza negli svincoli autostradali e nelle strade ad elevato traffico.

Per tenere conto dell'inquinamento luminoso prossimale, nella *valutazione delle caratteristiche di controllo dell'inquinamento luminoso e di rispondenza alla legge di un impianto di illuminazione*, si deve valutare, oltre ai punti descritti nella sezione precedente, anche:

- 6) le caratteristiche di *controllo della luce* dell'impianto, cioè la sua capacità di inviare la luce solo dove serve. Tipicamente gli indicatori utilizzati sono l'*Utilanza*, cioè la frazione percentuale della luce emessa dagli apparecchi dell'impianto che va effettivamente ad illuminare la superficie anziché disperdersi nell'ambiente, e la *Photometric Efficacy*, cioè il flusso luminoso

installato per unità di superficie di strada per una luminanza unitaria (unità: $\text{lm m}^{-2} / \text{cd m}^{-2}$). Per verificare le caratteristiche di risparmio energetico, di interesse per la riduzione degli inquinamenti connessi alla produzione di energia, è bene verificare anche il *rendimento* degli apparecchi, cioè il rapporto tra il flusso emesso dalla lampada ed il flusso effettivamente uscente dall'apparecchio di illuminazione, e l'*efficienza* delle lampade cioè il flusso luminoso emesso per unità di potenza consumata;

- 7) la distribuzione dell'illuminamento orizzontale nei dintorni dell'impianto (unità: lx - curve isolux), anche sommato a quello di eventuali altri impianti.
- 8) l'illuminamento sulle pareti delle case (unità: lx);
- 9) la distribuzione dell'abbagliamento nei dintorni dell'impianto (ad es. mappando i valori massimi dei coefficienti TI e DGR - curve isoabbagliamento).

I punti (7) e (9) abitualmente vengono calcolati dal progettista illuminotecnico solo per l'area da illuminare e per gli utenti dell'impianto, e non per le aree circostanti dove l'illuminamento, dal suo punto di vista, è basso. Esso può avere invece un notevole impatto ambientale, visto che si tratta di aree che non dovrebbero essere illuminate. Quelle sopra descritte sono valutazioni da eseguire sui dati di progetto, a cui può far seguito una verifica della rispondenza dell'impianto reale al progetto.

Conclusioni

Se da un lato il monitoraggio della situazione del cielo notturno e dell'ambiente naturale notturno sul territorio richiede tuttora una complessa attività di ricerca scientifica ed è ancora lontano da diventare una pratica di routine, dall'altro lato invece la *valutazione delle caratteristiche di controllo dell'inquinamento luminoso* di un singolo impianto è un'operazione semplice e veloce. Essa si può fare in base al progetto illuminotecnico e ai dati fotometrici degli apparecchi, cioè stando comodamente in ufficio e senza muovere personale di notte, e può persino essere fatta dallo stesso progettista tramite un'estensione del comune software di progettazione illuminotecnica. Sono in preparazione programmi specifici, come il già citato ROADPOLLUTION per gli impianti stradali. Il mio augurio è che non soltanto il monitoraggio dell'inquinamento luminoso sul territorio, ma anche la valutazione dell'impatto ambientale degli impianti di illuminazione diventi presto una pratica abituale. Quest'ultima, eseguita di routine sia dai progettisti che dagli enti di controllo ambientale e dalle organizzazioni che combattono l'inquinamento luminoso, costituirebbe uno strumento in più per assicurare ai cittadini italiani una reale ed efficace protezione del cielo notturno e dell'ambiente naturale notturno.

Riferimenti

- 1 Cinzano, P. (ed.), Light pollution and the protection of the night environment, Atti del convegno "Inquinamento Luminoso e la protezione dell'ambiente notturno: Venezia, salviamo la notte", Venezia 3 maggio 2002, ISTIL, Thiene (2002), ISBN 88-88517-01-4, scaricabile in PDF da www.inquinamentoluminoso.it/libri.html
- 2 Per maggiori dettagli si veda www.inquinamentoluminoso.it/dmsp/
- 3 Cinzano, P., Falchi, F., Elvidge, C.D., The first world atlas of the artificial night sky brightness, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 328, 689-707 (2001).
- 4 Cinzano, P., Falchi, F., Elvidge, C.D., Rapporto ISTIL 2001, Stato del cielo notturno e inquinamento luminoso in Italia, ISTIL, Thiene, (2001) ISBN 88-88517-00-6
- 5 Cinzano, P., Light pollution by luminaires in roadway lighting, paper presented at the CIE TC4-21 (Interference of light on the astronomical observations), CIE Div.4 meeting, Turin, 28 September - 3 October 2002, www.cielobuio.org
- 6 Symposium "Ecological Consequences of Artificial Night Lighting", 23-24 February 2002, University of California, Los Angeles, www.urbanwildlands.org/conference.html
- 7 Symposium "Light, Endocrine Systems and Cancer", 2-3 May 2002, Univ. Cologne, Neuroendocrinol. Letters Suppl., 2, 23 (2002)
- 8 Cinzano, P., References on Light Pollution and Related Fields, Internal Report No.11, Department of Astronomy, Padova (1994), <http://dipastro.pd.astro.it/cinzano/refer/node8.html>
- 9 Longcore, T., Rich C., Ecological light pollution, Front. Ecol. Environ., 2 (4), 191-198 (2004)