L'inquinamento luminoso:
un nuovo problema per la salvaguardia dell'ambiente

Di: Sara Bergamin

Facoltà: Scienze Ambientali Ca' Foscari Università di Venezia

Tesi di laurea triennale

A.A. 2003/2004

Dedico questo lavoro a
Cinzia,Cristina,Ilaria e Rim Zea
Che mi hanno permesso di
Frequentare attivamente
Questi anni di Università.

Questo lavoro è stato fatto per cercare di sondare le conseguenze che l'illuminazione artificiale provoca sugli esseri viventi.

Infatti, mentre il problema della dispersione della luce verso la volta celeste è un problema molto sentito e molto conosciuto tra gli astronomi, esso rimane pressoché sconosciuto al resto del mondo scientifico.

Questo lavoro, quindi, ha un duplice scopo, da un lato, di integrare le informazioni che gli astronomi ritengono necessarie per la soluzione del problema, dall'altro di porre l'accento sul fatto che l'inquinamento luminoso non è solo un problema per la ricerca scientifica astronomica, ma che anzi sta diventando un problema di natura ambientale su scala molto vasta.

Il testo è suddivisibile in tre sezioni principali: la prima (comprendente i primi due capitoli) è una sorta di introduzione nella quale vengono brevemente accennati i due temi della situazione legislativa italiana e della natura della luce; la seconda sezione (capitoli 3-6) e la terza (capitoli 7-8) sono il fulcro dell'intero lavoro.

Nei capitoli che vanno dal 3 al 6 vengono riportati alcuni degli effetti che l'inquinamento luminoso provoca su piante (Magnolia Grandiflora) e animali (lucciole, falene, rane) e un accenno sui possibili effetti negativi che la luce artificiale può arrecare all'uomo.

Non si è potuto entrare nel dettaglio dei danni temporanei o permanenti o degli effetti a lungo e medio termine, in quanto gli stessi dati non permettevano un tale approfondimento ma davano solamente la constatazione della presenza di un qualche problema da approfondire con ulteriori ricerche.

L'ultima sezione (capitoli 7-8) è stata completamente dedicata ad un approfondito studio sulla condizione di inquinamento del territorio italiano. In particolare, l'ultimo capitolo di questa sezione vuole essere una presa di coscienza della gravità del problema ed in particolare vuole mostrare, grazie alle mappe prodotte dall'ISTIL (Istituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso) quale sia la reale situazione e quale potrà essere lo scenario futuro in assenza di una regolamentazione dei flussi luminosi.

Colgo l'occasione per portare i miei più sentiti ringraziamenti al dottor Pierantonio Cinzano per i suoi numerosissimi e indispensabili suggerimenti e informazioni su siti internet e pubblicazioni.

Ringrazio il dottor Lorenzo Fornasari per avermi spedito in tempi rapidissimi la pubblicazione: *La migrazione degli uccelli nella valle del Ticino e l'impatto di Malpensa* edito dal Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino.

Ringrazio inoltre il dottor Fabio Falchi per aver revisionato l'ultima stesura di questo mio lavoro correggendolo in alcune sue parti.

Indice

Introduzione al problema dell'inquinamento luminoso 1

1 La legislazione 4

1.1 Le prescrizioni di legge 6

2 Le caratteristiche della luce 8

2.1 Le unità di misura della luce 10

2.1.1 Il flusso luminoso 10

2.1.2 L'intensità luminosa 11

2.1.3 L'illuminamento 11

2.1.4 Luminanza 12

2.1.5 Efficienza luminosa 12

2.2 Le soluzioni tecniche attualmente disponibili sul mercato 13

3 L'influenza dell'inquinamento luminoso sull'ambiente 16

3.1 Lo studio effettuato dal Parco del Ticino 16

3.1.1 La migrazione notturna 17

3.1.2 L'area del Parco del Ticino 18

3.1.3 Effetto della presenza dell'aeroporto. 18

3.2 Lo studio condotto da FLAP (Fatal Light Awareness Program) 19

4 Gli effetti della luce artificiale su insetti e anfibi 20

4.1 La luce artificiale e gli insetti 20

4.1.1 L'impatto sulle falene 21

4.2 L'impatto sulle rane notturne 22

5 Gli effetti della luce sui ritmi circadiani 24

6 Gli effetti della luce artificiale sulle piante 25

6.1.1 La fase luminosa 25

6.1.2 I pigmenti fotosintetici 26

6.2 Studi condotti su Magnolia Grandiflora 27

6.2.1 Studio delle relazioni tra emissioni delle luci artificiali e i pigmenti fotosintetici 27

6.2.2 I risultati 27

7 La misura dell'inquinamento luminoso 32

8 Le mappe 33

8.1 Mappa della brillanza artificiale al livello del mare 33

8.2 Mappa della brillanza totale del cielo notturno 34

8.3 Mappa della magnitudine limite e visibilità delle stelle 36

8.4 Mappa della perdita di magnitudine 39

9 La crescita dell'inquinamento luminoso 40

Allegato 1 Legge della regione Lombardia n°17/2000 42

Allegato 2 Legge della Regione Emilia Romagna n°19/03 48

Bibliografia e fonti informatiche 51

Fonti bibliografiche 51

Siti internet e materiale on line 51

indice delle figure 53

Indice dei grafici e delle tabelle 54

Introduzione al problema dell'inquinamento luminoso

La luce, assieme all'acqua, è uno degli elementi caratterizzanti il nostro pianeta, senza di essi probabilmente, non ci sarebbe vita sul nostro Pianeta.

È il costante alternarsi del giorno e della notte che rende possibile la vita in tutte le sue forme; non solo quella degli animali e delle piante e ma anche quella dell'uomo.

Tutti gli esseri viventi, nessuno escluso, in una situazione di squilibrio della luce o della sua naturale alternanza con la notte, non riescono a sopravvivere, oppure vivono male.

L'uomo dal canto suo ha sempre cercato la luce: il fuoco aiutava a tenere lontani gli animali, permetteva di mangiare, di scaldarsi ma anche, con il passare dei millenni, di intrattenere relazioni sociali anche oltre il calar delle tenebre.

Il fuoco ha accompagnato l'uomo per millenni fino a quando, nel 1879 fu inventato il surrogato del fuoco: la lampadina. Ma fu il 1883, anno in cui venne prodotto il primo generatore elettrico di corrente alternata, grazie al quale si iniziò la produzione di energia elettrica su vasta scala, che diede inizio alla diffusione della luce elettrica.

Da quel momento l'uomo è diventato sempre più avido di luce; si poteva portare dove più serviva, dava la possibilità di dilatare le ore di una giornata permettendo di lavorare per un maggior numero di ore, permetteva di leggere, di incontrarsi, di illuminare strade… in altre parole permetteva di dominare il tempo!

Con il passare degli anni l'illuminazione artificiale è divenuta un simbolo del progresso e sinonimo di sicurezza.

Paradossalmente è proprio la valenza socio-culturale; retaggio del pensiero ottocentesco, che ha condotto l'uomo moderno ad abusarne, e solo da relativamente poco tempo ci si sta rendendo conto che questa illuminazione artificiale non è priva di conseguenze negative.

Nell'ultimo secolo si è affermata l'idea che anche l'ambiente notturno ha una sua necessità di esistere e quindi l'uomo si deve operare per proteggerlo.

Anche se l'uomo moderno ormai non può più fare a meno delle fonti luminose, possiede le conoscenze per affrontare tutta una serie di problemi che l'inquinamento luminoso pone, quali ad esempio:

- perdita di visibilità del cielo notturno con conseguente perdita della possibilità per l'uomo di percepire l'ambiente in cui vive, cioè l'universo e la difficoltà nello studio della volta celeste da parte degli scienziati e degli astronomi. Perdita del diritto della popolazione di poter osservare forse il più grande spettacolo naturale;

- spreco di energia con conseguente spesa da parte degli enti pubblici e inquinamento da emissioni di gas serra;
- alterazione di parti e a volte anche di interi ecosistemi.
- Danno paesaggistico, con riflessi sull'ambiente e sul paesaggio notturno
- Danno alla salute derivante dalla luce intrusiva, quella luce proveniente dalle insegne e dalla strada che penetra nelle case proprio nel momento dedicato al riposo
- perdita intellettuale e culturale per il singolo che si ritrova a non poter più sognare, riflettere o semplicemente stupirsi guardando ciò che ci sovrasta.

[...] Un esempio eclatante è ciò che è accaduto all'indomani dell'ultimo forte terremoto *(28 giugno 1992)* che ha colpito la città di Los Angeles: i centralini telefonici degli istituti scientifici furono presi letteralmente d'assalto dai cittadini che chiedevano che cosa fosse successo al cielo. In realtà si trattava solo del fatto che la momentanea sospensione di energia elettrica in molte zone della città e la parziale distruzione di molti impianti di illuminazione, avevano reso visibili ai cittadini quel cielo stellato che i più non avevano mai visto [...][1]

L'impossibilità di godere di un cielo stellato è causa di una grave perdita culturale per l'uomo moderno.

[...] la cultura popolare del cielo è ormai ridotta ad particolari eventi di tipo astronomico; perdendo il contatto diretto con il cielo l'uomo si è impoverito rispetto alle culture millenarie degli antichi popoli orientali e la differenza è esattamente la metà*;* gli antichi vedevano *il cielo* a 360 gradi, noi a 180 gradi. A titolo di esempio si pensi che gran parte degli scolari vedono le costellazioni celesti solo sui libri di scuola, e gli abitanti delle più grandi città non hanno mai visto una stella.[2]

In una grande città come è Padova, in una notte serena si possono vedere a malapena una settantina di stelle mentre, se improvvisamente tutte le luci nel raggio di 200 km si spegnessero, se ne potrebbero vedere migliaia…

Il binomio luce=sicurezza ha portato alla illuminazione "a giorno" non solo nelle zone in cui ciò è veramente utile come gli incroci o gli svincoli autostradali, ma anche dove, oltre a non essere necessario risulta perfino deturpante.

---

[1] INQUINAMENTO LUMINOSO E RISPARMIO ENERGETICO *un problema per tutti noi. Soluzioni e proposte per affrontarlo e risolverlo* edito da CIELOBUIO coordinamento per la protezione del cielo notturno in collaborazione con IDA e UAI p.6

[2] vedi nota precedente

Figura 1:esempi di illuminazione errata. A sinistra una piazza e a destra un tratto di strada della Repubblica Ceca.

L'illuminazione del cielo causata da lampade non schermate o dal puntamento sbagliato del fascio luminoso, ha dei costi economici elevati. Tali costi non sono solamente quelli diretti derivanti dallo spreco di energia elettrica, ma sono anche indiretti. Tra questi ultimi, ad esempio si deve conteggiare l'accorciamento della vita dei telescopi situati nelle vicinanze di aree popolate. Un tempo, infatti, anche se un telescopio veniva sostituito con uno più potente, poteva ancora essere utilizzato, oggi invece, i vecchi telescopi, già dopo pochi anni non possono più essere utilizzati perché insufficienti.

Gli effetti dell'inquinamento luminoso si ripercuotono anche sull'uomo con effetti sia a livello metabolico che psichico. Infatti, mentre in Italia si utilizzano tende alle finestre e spesso anche persiane, in altri paesi questa abitudine non esiste e accade spesso che le stanze vengano illuminate dalle luci delle strade proprio nel periodo dedicato al riposo.

L'ultimo effetto prodotto dall'inquinamento luminoso, ma sicuramente non ultimo in importanza è un effetto ecologico:

[...] l'illuminazione notturna ha sicuramente un effetto negativo sull'ecosistema circostante, flora e fauna vedono modificati il loro ciclo naturale notte-giorno. Il ciclo della fotosintesi clorofilliana che le piante svolgono nel corso della notte subisce alterazioni dovute proprio ad intense fonti luminose che, in qualche modo impediscono di identificare il normale oscuramento.

Per fare altri esempi, si pensi alle migrazioni degli uccelli che si svolgono ciclicamente secondo precise vie aeree e che possono subire deviazioni proprio per effetto dell'intensa illuminazione delle città.

Negli Stati Uniti in un parco, alcuni orsi hanno distrutto i vari lampioni probabilmente perché fastidiosi per il loro riposo.

Ancora più famoso (apparso anche su giornali e TV) il gallo di Mestre che confuso dalle luci di centri commerciali e discoteche ormai canta durante la notte. [3]

Un altro aspetto ecologico che non può essere trascurato riguarda gli effetti derivanti dalla produzione di energia elettrica. L'ENEL ha stimato che nel 1998 sono stati utilizzati 6240GWh per l'illuminazione, di questi il 30-35% è andato disperso direttamene verso il cielo. Ciò significa che per illuminare la volta celeste (e quindi per privarci della sua visione) sono state prodotte 1.200.000 tonnellate di biossido di carbonio che sono state immesse in atmosfera [4].

1 La legislazione

Anche se ormai sono molti anni che si conosce questo problema e ci sono le conoscenze per poterlo affrontare, ridurre e spesso anche eliminare, nel nostro paese non si è ancora giunti alla formulazione di una normativa nazionale.

La prima proposta di legge a livello nazionale risale al 1992, fu promossa da una società di astronomi ma non portò alla definizione di una legge. nella successiva legislatura venne presentata una nuova proposta, la n°751: *misure urgenti in tema di risparmio energetico ad uso di illuminazione esterna e di lotta all'inquinamento luminoso*, con un testo fortemente modificato rispetto alla stesura originaria. Tale proposta portò successivamente alla redazione della norma UNI 10819 che, di fatto, risulta inapplicabile in quanto prevede calcoli complessi per ogni singolo impianto e in alcuni casi permette un flusso verso l'alto del 23%.

È a partire dal 1997, anno in cui è stata approvata la Legge della Regione Veneto n°22 inerente alle norme per la prevenzione dell'inquinamento luminoso, che nelle varie regioni d'Italia si stanno approvando numerose normative, che risultano più o meno efficaci ed applicabili.

---

[3] vedi nota 1

[4] http://www.venetostellato.it/conf-stamp-vicenza.doc

La legislazione

Leggi regionali contro l'inquinamento luminoso, sono state già approvate in 10 regioni:

Basilicata 41/00	Marche 10/02,
Campania 13/02,	Piemonte 31/00,
Emilia-Romagna 19/03	Toscana 37/00,
Lazio 23/00	Valle d'Aosta 17/98,
Lombardia 17/00,	Veneto 22/97,

[5]

Dato il fallimento della procedura nazionale e a seguito della necessità di attuare un risparmio energetico e la salvaguardia del cielo notturno, alcune regioni decidono di dotarsi di una propria legge facendo tesoro degli errori passati.

La prima regione a dotarsi di una legge è il Veneto (n° 22/97). Tale legge, però, manca di regolamento d'attuazione, ma le norme transitorie la rendono comunque applicabile.

A partire da questa legge, altre regioni hanno cercato di affrontare il problema dell'inquinamento luminoso promulgando proprie leggi che considerassero gli errori che nel passato avevano reso inapplicabili o poco incisive le leggi precedenti.

La Toscana (n°37/00) ha fatto propria la legge del Veneto, anche se mancava di regolamento d'attuazione

Il Piemonte (n°31/00) ha promulgato una legge che appoggiandosi sulla norma UNI10819 non limita efficacemente l'inquinamento luminoso di fatto facilita l'installazione di nuovi impianti senza che vi siano controlli adeguati, e non tutela affatto chi subisce l'inquinamento.

La regione Lombardia ha reso attiva una legge (n°17/00) che risulta essere la legge italiana con i parametri tecnici più efficaci per limitare l'inquinamento luminoso in questo ambito [6].

Proprio in relazione al suo grande livello di tutela e alla sua applicabilità, è stata successivamente ripresa sia dalla regione Marche (n°10/02) che dalla regione Emilia Romagna (n° 19/03).

---

[5] Queste leggi coprono più di due terzi della popolazione italiana e le principali città (Milano, Roma, Venezia, Firenze, Bologna, Napoli). Esistono inoltre tre norme tecniche italiane che fanno riferimento in modo diretto o indiretto all'inquinamento luminoso: UNI 10819, UNI 10439, UNI 9316. Per quanto riguarda l'efficacia nella limitazione dell'inquinamento luminoso, soltanto la legge della regione Lombardia n 17 del 2000 e le leggi di Marche (10/02) ed Emilia-Romagna (113/03) garantiscono la migliore tutela e applicabilità tecnica. La legge della Regione Lazio e della Regione Campania sono sulla stessa linea ma soffrono di limiti troppo elevati e di una maggiore complessità di applicazione e di controllo essendo i limiti differenziati per tipo di impianto e località. Al contrario la norma UNI 10819, che prescrive i requisiti degli impianti di illuminazione esterna, per la limitazione della dispersione verso l'alto di flusso luminoso proveniente da sorgenti di luce artificiale, e la legge n. 31 del 24 marzo 2000 della regione Piemonte, che ad essa fa riferimento, non risultano tecnicamente adeguate a proteggere il cielo notturno. Le leggi di Basilicata e Valle D'Aosta non sono assolutamente efficaci in quanto richiamano ad un generico rispetto della norme.

[6] Per il testo integrale della legge si veda **Allegato 1 Legge della regione Lombardia n°17/2000**a p.42

Attualmente ci sono altre due regioni che sono dotate di legge antinquinamento che sono la regione Lazio (n°23/00) e la regione Campania (n°13/02) ma le loro Leggi, sembrano solamente ispirate a quella lombarda, esse infatti, propongono limiti troppo ampi e differenziati per tipologia di impianto e località.

1.1 Le prescrizioni di legge

Poiché l'inquinamento luminoso è prodotto dalle emissioni di luce verso il cielo, siano esse dirette o indirette, le leggi pongono limiti per le emissioni verso l'alto. Questi limiti, però spesso non soddisfano le necessità di preservare il cielo stellato e di proteggere l'ambiente notturno.

Per cercare di comprendere l'importanza dell'imposizione di un limite di emissione verso l'alto che sia il minimo possibile, vediamo un piccolo esempio di calcolo.

Consideriamo un punto luce che sia a norma secondo la normativa europea e che sia dotato di una luce da 100 lumen.

Supponiamo che esso illumini un tratto di strada con asfalto scuro, che si è calcolato riflettere il 10% del flusso incidente e che non sia adeguatamente schermato (emissione verso l'alto del 23%).

A causa di questa lampada si avrà un flusso totale verso l'alto di 23%+10%= 33%, in pratica 33 lumen!

La situazione sarebbe assai diversa se ci trovassimo nei pressi di un impianto veneto costruito dopo l'entrata in vigore della legge n°22/97, in questo caso il flusso verso l'alto risulterebbe al massimo del 3%. Poiché abbiamo ipotizzato che l'asfalto rifletta il 10% della luce incidente, in questa situazione avremo che la luce dispersa verso il cielo sarà il 13% del totale, quindi soltanto 13 lumen![7]

Il controllo dell'inquinamento luminoso, però, non passa solamente per l'imposizione di limiti di emissione verso l'alto, ma è anche necessaria una regolamentazione che consideri il flusso riflesso dalle superfici, come fa ad esempio la legge lombarda imponendo dei limiti massimi ai livelli di illuminazione. Le leggi inoltre mirano anche al risparmio energetico, aspetto particolarmente importante in un futuro in cui dovranno essere utilizzate fonti alternative per la produzione di energia.

Alcuni begli esempi sono stati portati durante il convegno dal titolo "Venezia:salvare la notte" tenutosi a Venezia il 3 Maggio 2002.

---

[7] LIGHT POLLUTION AND THE PROTECTION OF THE NIGHT ENVIRONMENT VENEZIA: SALVARE LA NOTTE 3maggio 2002 *dall'intervento di P.Cinzano* p.196

La legislazione

A Frosinone, anni prima dell'entrata in vigore della legge Lazio n°23 del 13/04/2000 è stato approvato un regolamento comunale che ha portato alla riduzione dell'inquinamento luminoso di ben 28 milioni di lumen con un risparmio del 30% sulle spese di gestione della sola area del depuratore.

I dati presentati sono quasi sconvolgenti: si è passati da 27,45 kWh che comportavano una spesa di £ 25.000.000 di lire l'anno, a 15,75 kWh corrispondenti ad una spesa annua di soli £ 7.200.000 di lire. Anche se il costo di tale intervento è stato abbastanza elevato, quasi 17.000.000 di lire, verrà ammortizzato in un solo anno [8].

Per quanto ristretta fosse stata l'area, questi dati vogliono indicare quanto si possa risparmiare con degli accorgimenti a volte anche banali come ha esplicitamente mostrato il dottor Mario Di Sora, nel suo interveto durante lo stesso convegno egli infatti dice, riferendosi ad alcuni interventi effettuati in alcuni impianti che: […] è bastato sostituire la coppa in policarbonato con un vetro piano temperato, per passare, sul piano di calpestio, da 7 a 25 lux. Costo dell'operazione: circa 5 €.[…][9].

In questo caso quindi si è solo provveduto alla sostituzione della struttura, se si fossero voluti raggiungere gli stessi risultati (25 lux sul piano di calpestio) in altro modo l'unica soluzione possibile sarebbe stata la sostituzione della lampada con una più potente e questo avrebbe prodotto un'impennata nei consumi.

---

[8] vedi nota precedente *intervento di Mario Di Sora* p.183

[9] LIGHT POLLUTION… SALVARE LA NOTTE p.183 *intervento di M. Di Sora*

2 Le caratteristiche della luce

"Circa 300 anni fa il fisico inglese Sir Isaac Newton separò la luce visibile in uno spettro di colori facendola passare attraverso un prisma." *Con questo esperimento,* "[...]Newton dimostrò che la luce bianca è costituita da un certo numero di colori diversi che vanno dal rosso al violetto. [...]

La separazione dei colori è possibile perché passando, attraverso il prisma, la luce bianca si rifrange con angoli diversi.[...]"

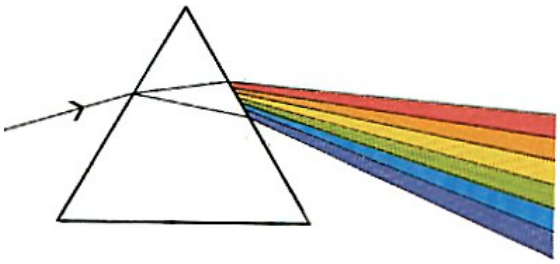


Figura 2: un fascio di luce che attraversa un prisma si scompone in tutti i suoi colori. [Fonte: L*e scienze biologiche. Un percorso evolutivo* H. Curtis, N. Sue Barnes]

Fu solo nel XIX secolo, "[...]grazie a James C. Maxwell che si scoprì che quella che noi consideriamo luce non è altro che una piccola parte di un vasto spettro continuo di radiazioni, lo spettro elettromagnetico".

"Come Maxwell dimostrò, tutte le radiazioni incluse in questo spettro viaggiano sotto forma di onde [...]" *e le lunghezze d'onda variano da quelle dei raggi X, misurate in manometri (nm) a quelle delle onde radio a bassa frequenza, misurate in chilometri (km).*

Più corta è la lunghezza d'onda di una data radiazione, maggiore sarà la sua energia.

Considerando quindi lo spettro della luce visibile, la luce rossa corrisponde alla lunghezza d'onda maggiore, mentre la luce violetta corrisponde alla lunghezza d'onda minore.

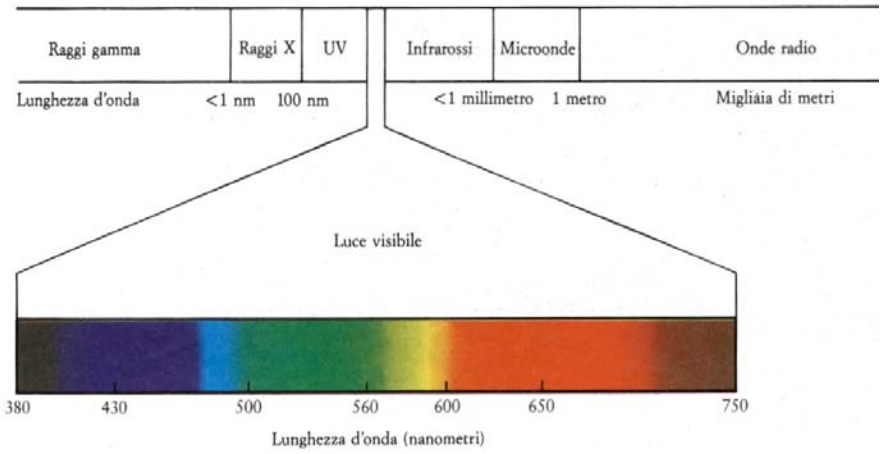


Figura 3: in questa figura si può vedere quanto sia ristretta la banda della luce visibile all'interno di tutto lo spettro elettromagnetico. [Fonte: L*e scienze biologiche. Un percorso evolutivo* H. Curtis, N. Sue Barnes]

"[...]Dal punto di vista fisico, quindi, la differenza tra luce e buio altro non è che una differenza di pochi manometri di lunghezza d'onda.

La teoria della natura esclusivamente ondulatoria della luce venne messa in discussione nel 1888 quando si osservò perla prima volta un fenomeno inatteso su di "[...]una lamina di zinco esposta a radiazioni ultraviolette: la lamina di zinco acquistava una carica positiva.

Da questo esperimento si dedusse che il metallo diveniva carico positivamente perché l'energia radiante aveva espulso gli elettroni dagli atomi del metallo [...]".

In seguito si scoprì che ogni metallo presentava lo stesso effetto fotoelettrico se sottoposto ad una particolare lunghezza d'onda, sia nello spettro del visibile che dell'invisibile.

Per alcuni metalli come il sodio, il potassio e il selenio, la lunghezza d'oda critica è nello spettro della luce visibile[...]" Di conseguenza se uno di questi metalli viene colpito dalla luce visibile ed è inserito in un apparato che consenta agli elettroni di fluire, si può creare una corrente elettrica. È proprio questo fenomeno che sta alla base del funzionamento delle fotocellule di porte automatiche e di alcune telecamere.[10]

Abbiamo appena visto che la luce, come dimostrò Maxwell, altro non è che una piccola parte di uno spettro continuo. Ma allora "[...]perché proprio questo particolare gruppo di radiazioni e non un altro illumina il nostro pianeta, fa crescere le foglie, fa sbocciare i fiori, causa l'accoppiamento delle lucciole e, riflettendosi dalla luce lunare fa sognare gli innamorati? È una semplice coincidenza?"

Secondo George Wald di Harvard, uno dei massimi esperti nel campo della fotobiologia, tutto ciò non è frutto di una semplice coincidenza.

[...]Egli crede che se la vita esiste in qualche altra parte dell'Universo, essa dipende dallo dtesso piccolo frammento del vasto spettro delle radiazioni elettromagnetiche.

Ward basa questa sua convinzione su due punti: primo, la materia vivente così come la conosciamo, è costituita di grandi e *complesse* molecole le cui particolari configurazioni e le cui specifiche relazioni sono determinate da legami idrogeno o da altri legami deboli. Una radiazione ultravioletta (cioè di energia superiore a quella della luce violetta) provocherebbe la rottura di tali legami e quindi sconvolgerebbe la struttura e la funzione di queste macromolecole.

Ad esempio, le radiazioni di lunghezza d'onda inferiore ai 200nm causano la perdita di elettroni dagli atomi ed ecco perché vengono chiamate radiazioni ionizzanti.

L'energia della luce infrarossa (cioè di lunghezza d'onda maggiore della luce visibile rossa) è assorbita dall'acqua [...] e sappiamo che l'acqua costituisce la sostanza base della materia vivente.

---

[10] H. RAVEN, R.F.EVERT, S.E. EICHHORN *Biologia delle piante* V ed. 1999 pp. 98-99

Quando la radiazione ultravioletta raggiunge le molecole organiche, la sua minore energia causa un aumento del movimento delle molecole *(aumentando la temperatura)* ma, in condizioni normali, non produce alcun cambiamento nella loro struttura.[...][11]

Quindi soltanto le radiazioni comprese nel visibile non producono effetti significativi a livello biologico.

La seconda ragione per cui la banda del visibile è stata scelta dagli esseri viventi "[...] risiede nella sua maggiore disponibilità. La maggior parte della radiazione solare che raggiunge la Terra è data dalla luce visibile[...]. Le radiazioni più energetiche a minore lunghezza d'onda vengono assorbite dagli strati di ossigeno e ozono presenti nell'alta atmosfera, la maggior parte delle radiazioni infrarosse viene assorbita dal vapore acqueo e dal biossido di carbonio prima di raggiungere la superficie terrestre[...]". [12]

La scelta della radiazione visibile è quindi uno dei molteplici esempi dei vincoli imposti dall'ambiente.

2.1 Le unità di misura della luce

Qui di seguito vengono elencate brevemente le definizioni delle unità di misura correntemente utilizzate quando si parla di luce.

2.1.1 Il flusso luminoso

"Si definisce flusso luminoso la quantità di energia che la luce emette in un secondo in tutte le direzioni. Ha quindi le dimensioni di una potenza.

L'unità del flusso luminoso è il lumen (lm).

[11] vedi nota precedente pp.98-99 *mio il corsivo*
[12] vedi nota 10

Un lumen è il flusso luminoso della fonte di luce uniforme che ha un'intensità luminosa pari a 1 candela ed è contenuta in un'unità di angolo solido (o 1 steradian[13]). [...]

Dato che l'area della sfera è $4\Pi r^2$, il flusso luminoso della fonte di illuminazione è di 4Π lumen. "

2.1.2 L'intensità luminosa

"L'intensità luminosa è la capacità di emettere luce in una determinata direzione, oppure è il flusso luminoso irradiato dalla fonte luminosa in una determinata direzione, all'interno dell'unità dell'angolo spaziale. L'unità dell'intensità luminosa è la candela.

Se la fonte di illuminazione del punto, emette Ø lumen in un piccolo angolo spaziale ß, l'intensità luminosa è:

I = Ø/ß. [...]"

2.1.3 L'illuminamento

"Questa definizione stabilisce l'ammontare del flusso che si distribuisce su una superficie. Se Ø è il flusso luminoso ed S è l'area della superficie determinata, l'illuminamento E è determinata da E=Ø/S.

L'unità dell'illuminamento è il lux. Un lux si ha con 1 m² di un'area uniformemente illuminata da 1 lm di flusso luminoso. "

Condizione	Illuminazione minima	Illuminazione massima

Tabella 1: in questa tabella sono indicati i valori minimi e massimi di illuminazione di alcuni corpi celesti e di alcuni luoghi e situazioni quotidiane.

[13] Lo steradian è l'angolo spaziale che delimita un'area della superficie della sfera, uguale alla superficie del raggio della sfera.

	(lux)	(lux)
Stelle	-	0.001
Luna	-	0.2
Strada illuminata	5	60
Abitazione	-	300
Ufficio luminoso	400	600
Giornata nuvolosa	1000	10.000
Giornata soleggiata	50.000	100.000

2.1.4 Luminanza

"La luminanza L è l'intensità luminosa emessa dall'unità di superficie

Matematicamente è L = I/S dove I è l'intensità luminosa, S è l'area della superficie della fonte perpendicolare alla direzione determinata.

L'unità di misura della luminanza è cd/m² o cd/cm².

Il valore di luminanza indica lo sfolgorio che mette a disagio quando si guarda una fonte di illuminazione. Questi valori sono piuttosto alti per il sole o per una piccola lampada e sono bassi per le grandi apparecchiature di illuminazione."[14]

2.1.5 Efficienza luminosa

"L'efficienza luminosa è pari al rapporto fra il flusso luminoso (Lumen, lm) emesso da una sorgente luminosa e la potenza elettrica assorbita (watt, W).

L'efficienza luminosa, quindi, si misura in lm/W. [...]"

Essa è una funzione variabile con il tipo di lampada, ad esempio:

lampade al sodio a bassa pressione: 100 - 200 lm/W
lampade al sodio ad alta pressione: 70 - 150 lm/W
lampade agli alogenuri: 60 - 100 lm/W
lampade al mercurio: 40 - 60 lm/W
lampada ad incandescenza è circa 15 lm/W

Come si può vedere le lampade più efficienti sono le lampade al sodio a bassa pressione, seguite da quelle al sodio ad alta pressione. È questo infatti, uno dei motivi per cui esse vengono utilizzate per l'illuminazione esterna e vengono preferite quando si tratta di attuare politiche di risparmio energetico. Da notare che i valori riportati si riferiscono ai lumen emessi a lampada

nuova. Con l'invecchiare della lampada si ha un decadimento del flusso più o meno accentuato a seconda del tipo di lampada. Ad esempio le lampade agli alogenuri mostrano un decadimento più elevato delle corrispondenti lampade al sodio ad alta pressione, oltre ad avere una vita molto più breve.

2.2 Le soluzioni tecniche attualmente disponibili sul mercato

Attualmente in commercio esistono diverse tipologie di lampade ed ognuna di esse è caratterizzata da uno spettro di emissione e da un'efficienza. È proprio questa eterogeneità che causa problemi agli esseri viventi e pone problemi di filtraggio agli astronomi.

Attualmente esistono quattro tipi diversi di lampade[15], suddivise in due grandi famiglie: ad incandescenza e a scarica in un ambiente con gas.

- *Lampade ad incandescenza*. Sono le classiche lampadine da interni. In questo caso la luce proviene da un filamento di tungsteno che al passaggio della corrente elettrica diventa, appunto, incandescente[16]. Lo spettro di emissione è continuo.

[...]esistono poi anche lampade ad incandescenza con alogeno. Il funzionamento di questo tipo di lampada si basa sul ciclo di rigenerazione del filamento di tungsteno. [...]I vapori di tungsteno che si formano per effetto della sublimazione del filamento portato all'incandescenza si spostano verso la parete interna del bulbo la cui temperatura è di circa 7OO°. A tale temperatura i vapori di tungsteno reagiscono chimicamente con l'alogeno presente all'interno della lampada dando luogo alla formazione di un alogenuro di tungsteno.

I vapori di alogenuro di tungsteno che si vengono così a formare tendono a spostarsi verso il filamento. La temperatura assai elevata di quest'ultimo (circa 2.5OO C°) vale ad innescare la reazione inversa a quella indicata al punto precedente e si ha, di conseguenza, la dissociazione dell'alogenuro di tungsteno in alogeno e tungsteno metallico.

Il tungsteno così formatosi si deposita (in pratica solo parzialmente) sul filamento e tende a ricostituirne l'integrità mentre la liberazione dell'alogeno assicura la continuazione del ciclo. [...]"[17]

L'altra famiglia di lampade è quella delle lampade a scarica[18]. Queste lampade sono:

- *Lampade ai vapori di mercurio*: in questo caso è il gas è contenuto in un piccolo tubo di quarzo ricoperto, nella sua parte interna, da una polvere fluorescente che, una volta

---

[14] definizioni tratte da: www.luceonline.it/articoli/caegoria2/definizionidellaluce.htm
[15] informazioni tratte da www.gaspra.org/Attivita/inqinamento/InLum.htm e rielaborate
[16] le lampade ad incandescenza quindi "non sono adatte [...] *al* risparmio energetico perché l'energia elettrica da esse assorbita è trasformata [...] in calore e in minima parte in energia radiante." Da: http://www.edilio.it/news/pdf/Relazione-Lampade.pdf p.1
[17] http://www.edilio.it/news/pdf/Relazione-Lampade.pdf p. 2
[18] in questo tipo di lampade la produzione di luce è "dovuta a collisioni di elettroni e di ioni in un gas [...]" [da: http://www.edilio.it/news/pdf/Relazione-Lampade.pdf p.2 quindi l'energia assorbita trasformata in calore è minore e di conseguenza l'energia elettrica trasformata in luce è maggiore.

eccitato dalla scarica di elettroni, emette praticamente nell'ultravioletto. La radiazione ultravioletta colpisce la polvere fluorescente che la assorbe e riemette nel visibile.

- *Lampade al sodio a bassa pressione*: in questo caso viene eccitato il gas Neon per mezzo di una scarica elettrica che fa riscaldare l'ampolla nel quale è contenuto fino ad una temperatura prossima ai 200°C. A questa temperatura avviene l'evaporazione e la successiva ionizzazione del Sodio presente nell'ampolla.

In questo caso la radiazione luminosa prodotta risulta monocromatica gialla e questo non consente al nostro occhio di percepire i colori.

Queste lampade, proprio per la loro monocromaticità sono molto apprezzate dagli astronomi in quanto la loro luce può essere facilmente filtrata.

- *Lampade al Sodio ad alta pressione*: sono simili a quelle a bassa pressione ma differiscono per il fatto che in questo caso si possono raggiungere i 700°C. grazie alla più alta temperatura, viene prodotta luce bianca che permette di distinguere i colori.

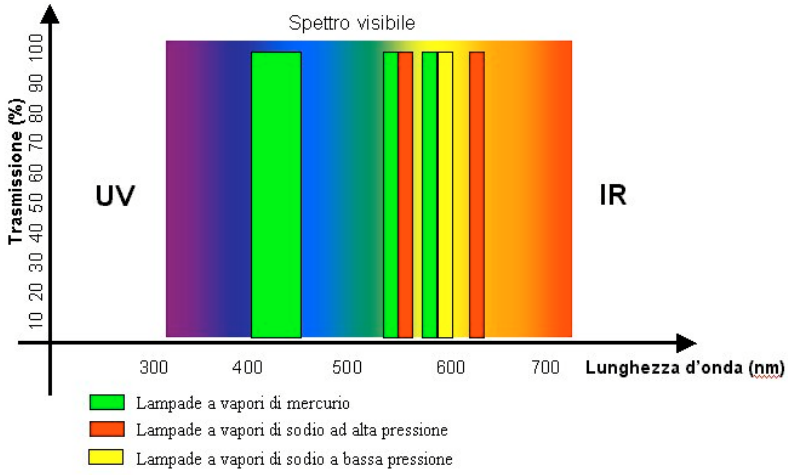


Grafico 1: in questo grafico si possono vedere le bande di emissione dei tre tipi di lampade più comunemente utilizzate per l'illuminazione esterna. [fonte http://digilander.iol.it/photallica]

UV=ultravioletto

IR= infrarosso

Non è quasi mai sufficiente prestare attenzione soltanto al tipo di lampada o di radiazione emessa, questi infatti sono soltanto accorgimenti tecnici che contribuiscono a limitare l'impatto negativo su questa o quell'altra specie, ma non portano alla diminuzione dell'inquinamento luminoso.

È infatti la luce dispersa a pochi gradi sopra l'orizzonte che crea quell' "effetto nebbia" che contribuisce maggiormente all'aumento della luminanza artificiale del cielo notturno.

La luce dispersa a piccoli angoli, durante il suo percorso, si somma con quella proveniente da tutte le altre fonti nel raggio di centinaia di chilometri. È stato calcolato che l'inquinamento

luminoso esistente in un punto della superficie terrestre è il risultato della dispersione della luce da parte delle fonti esistenti nel raggio di 200km ed oltre e che l’unico vero schermo a questa diffusione è la curvatura terrestre.

Quando si tratta di limitare la dispersione di luce verso l'alto si devono tenere presenti alcuni dettagli sia nella progettazione dei punti luce sia nella loro dotazione, infatti la maggior parte della luce che va a costituire l'inquinamento proviene da lampade che, oltre ad illuminare il terreno, illuminano anche sopra l'orizzonte. Spesso a causare questa dispersione è proprio la coppa protettiva con la quale sono costruite.

Spesso infatti, il materiale utilizzato per proteggere la lampada, con il tempo si opacizza e questo fa diminuire l'illuminazione della sede stradale e spesso costringe le Amministrazioni ad installare lampade sempre più potenti mentre, molto spesso basterebbe sostituire, quando possibile, la ormai decennale plastica con un vetro piano.

3 L'influenza dell'inquinamento luminoso sull'ambiente

La dispersione della luce al di fuori delle aree a cui essa è funzionalmente dedicata, oltre ad essere uno spreco di energia, è anche fonte di stress per gli altri esseri viventi.

Molti sono gli studi che mettono in evidenza comportamenti o situazioni anomale, sia nel mondo vegetale che animale.

Chi, soprattutto durante le serate estive, non è stato colpito dal numero di *moscerini e farfalline* che girano senza sosta attorno ai lampioni? Questi insetti, sono talmente attratti dalla luce dei lampioni che possono perfino morire bruciati perché si appoggiano alla lampadina.

L'attrazione verso la luce, nel caso di alcune falene migratrici, ha portato alla disgregazione dello sciame migratorio, e questo sta portando ad un progressiva riduzione di alcune di queste specie. [19]

Per quanto riguarda le grandi fonti d'inquinamento e gli studi condotti sul loro impatto, l'unico studio italiano di cui si parlerà è lo studio effettuato dal Parco del Ticino in collaborazione con la Regione Lombardia, volto a "[...] valutare l'impatto prodotto dall'aeroporto di Malpensa sulle diverse componenti ambientali presenti nella Valle del Ticino"[20].

Successivamente verranno affrontati i problemi di altre specie, soprattutto animali, in quanto è su essi che è possibile riscontrare danni causati dall'illuminazione del loro ambiente naturale.

3.1 Lo studio effettuato dal Parco del Ticino

Questo studio, riguardante l'avifauna migratoria e stanziale del parco del Ticino e i dintorni dello scalo aeroportuale di Malpensa, ha portato alla scoperta di una situazione assai allarmante.

Era già noto che gli uccelli fossero attratti a terra dalle luci dello scalo, quello che non si conosceva è il fatto che, una volta scesi al suolo, perdono completamente l'orientamento e molti di essi prendono rotte totalmente diverse da quelle che dovrebbero seguire, mentre molti altri non riprendono più il viaggio.

---

[19] studi di A. Roman http://dipastro.pd.astro.it/cinzano/web2/roman.html

[20] FORNASARI L. (ed.), 2003 *la migrazione degli uccelli nella valle del ticino e l'impatto di malpensa.* Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino. *presentazione*

3.1.1 La migrazione notturna

Sono molti gli uccelli che compiono migrazioni stagionali da e verso le aree di nidificazione o di svernamento, alcuni di essi compiono questi lunghissimi tragitti di giorno ma molti altri viaggiano di notte.

La scelta della migrazione notturna, soprattutto quando le distanze da coprire sono di molte centinaia di chilometri, vengono preferite per due motivi principali: durante la notte l'aria è più densa e fredda e questo permette di disperdere meglio il calore, di diminuire il rischio di disidratazione e di volare con meno fatica in quanto sono ridotte anche le turbolenze, e quindi la probabilità di volare controvento.

Non sono solo questi i vantaggi del volo notturno, volando di notte si hanno a disposizione le ore di luce per scendere a terra e andare a caccia del cibo necessario a ricostituire le energie per la successiva tappa del viaggio.[21]

Gli uccelli che migrano di notte utilizzano il cielo come bussola ma, soprattutto quando il cielo è coperto, vengono attirati da altre fonti luminose come possono essere quelle degli scali aeroportuali, e degli altri segnali luminosi in particolare degli edifici più elevati.

L'attrazione verso le luci può essere fatale anche per questi animali. Già nel 1886 E.A. Gastman[22] riportò che le torri illuminate di una cittadina dell'Illinois, in una sola stagione avevano causato la morte di più di 1000 esemplari.

Esattamente 110 anni dopo un rapporto del WWF canadese e del Fatal Light Awareness Program (FLAP) ha evidenziato che le strutture illuminate e le finestre possono risultare molto pericolose per gli uccelli in quanto non vengono riconosciute come ostacoli.

---

[21] FORNASARI L. (ed.), 2003 *la migrazione degli uccelli nella valle del ticino e l'impatto di malpensa.* Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino pp.6-7 Modalità del fenomeno migratorio

[22] „Ecological Consequences of Artificial Night Lighting" February 23-24, 2002 Los Angeles, California *intervento di* Sidney A. Gauthreaux, Jr. and Carroll G. Belser The behavioral responses of migrating birds to different lighting systems on tall towers

3.1.2 L'area del Parco del Ticino

L'Aeroporto Internazionale di Malpensa è ubicato in una vasta area naturale inclusa nella parte settentrionale del Parco Regionale Lombardo della Valle del Ticino.

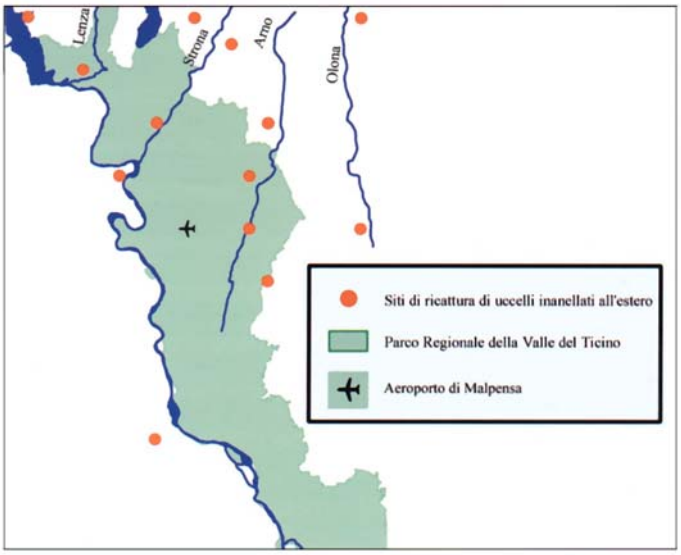


Figura 4: Localizzazione dello scalo aeroportuale della Malpensa all'interno dell'area del Parco del Ticino.

A seguito dell'ampliamento dell'aeroporto avvenuto nel 1998, è stato avviato un programma di monitoraggio diretto ai diversi aspetti ambientali tra cui il possibile effetto della presenza dell'aeroporto stesso sul sistema di migrazione degli uccelli a livello regionale. [...]

Le informazioni raccolte da Fornasari et al. Sottolineano come l'aeroporto si trovi dove si intersecano due dei principali tragitti migratori che attraversano la Regione [...]. possibili effetti negativi della presenza aeroportuale avrebbero ricadute potenzialmente elevate, poiché l'avifauna migratoria è uno degli elementi naturali più rilevanti del territorio del Parco e della Regione.[...]

Durante le fasi iniziali dell'attività di campo è risultato evidente un aspetto inatteso, l'effetto attrattivo giocato dall'illuminazione notturna delle strutture aeroportuali sugli uccelli in migrazione attiva. [...]

3.1.3 Effetto della presenza dell'aeroporto.

"[...]La prima indicazione di un effetto della presenza dell'aeroporto è venuta da osservazioni occasionali effettuate al crepuscolo, quando individui appena rilasciati sono stati visti svoltare, in volo, in direzione di Malpensa. [...] Anche le condizioni fisiche dei migratori catturati suggerivano l'alterazione della normale dinamica migratoria: vicino all'Aeroporto i migratori notturni mostravano depositi di grasso inattesi nei giorni di picco della migrazione e nelle prime ore del mattino, quando l'adiposità dovrebbe essere minima.[...]

Per verificare l'effetto attrattivo dell'aeroporto, nella stagione autunnale 2000 sono stati fatti esperimenti di orientamento. [...]

Figura 5: illuminazione del sistema viario che porta a Malpensa

Gli esperimenti di orientamento effettuati in autunno per verificare la portata di questa tendenza sono stati 66 nelle ore diurne [...] e 60 nelle ore notturne[...].

I diagrammi *ottenuti* mostrano che l'orientamento preferenziale rilevato nelle ore diurne viene completamente perturbato durante la notte dall'illuminazione artificiale proveniente da Malpensa. Nelle condizioni dell'esperimento, questa illuminazione ha il palese effetto di attrarre i migratori in direzione N-NE, opposta alla direzione di migrazione.[...]"[23]

3.2 Lo studio condotto da FLAP (Fatal Light Awareness Program)

Gli studi di WWF (Canada) e FLAP hanno evidenziato che le luci attirano gli uccelli in modo diversificato a seconda della colorazione.

Il lavoro è stato compiuto per comprendere e valutare l'influenza di due tipologie di illuminazione degli edifici: l'illuminazione con luci bianche e l'illuminazione con luci rosse. Le tipologie di volo sono state raggruppate in sole due categorie: a) volo lineare; b) volo non lineare.

Durante la migrazione primaverile il gruppo di lavoro ha monitorato il volo durante 9 serate nei pressi di una torre radio e in un'area di controllo.

In questo periodo le luci bianche sono risultate maggiormente impattanti per gli uccelli, infatti il numero di individui che volavano con volo non lineare attorno a queste sorgenti è risultato significativamente superiore al numero di uccelli nell'area di controllo.

[23] FORNASARI, ID. pp.74-75

Lo studio è proseguito anche durante il periodo della migrazione autunnale. In questo caso sono state fatte misurazioni durante 14 serate nelle vicinanze di una torre televisiva che montava luci rosse e vicino ad una seconda torre televisiva con luci bianche. Come area campione è stata presa un'area senza torri illuminate.

Lo studio autunnale ha messo in evidenza che il numero di uccelli che volavano con volo non lineare attorno alle torri con luci rosse era maggiore di quello che volava attorno alle luci bianche e il numero di uccelli attorno alle luci bianche è risultato essere più grande di quello dell'area di controllo.

4 Gli effetti della luce artificiale su insetti e anfibi

Tutti gli esseri viventi, compreso l'uomo, si sono evoluti in un ambiente con caratteristiche di illuminazione giornaliera e stagionale molto differenti tra loro, sappiamo infatti che esistono animali notturni (o che prediligono la vita notturna), animali diurni e animali (prevalentemente marini) che vivono in ambienti in cui la luce è praticamente assente.

Ognuno di questi esseri viventi se viene sottoposto, anche per alcuni istanti, ad una luce con intensità superiore a quella a cui è naturalmente abituato, sviluppa un fenomeno particolare che viene chiamato *photobleaching*[24].

Guardando una lampadina o un oggetto colorato uniformemente per qualche istante e poi distogliendo lo sguardo, tutti noi abbiamo continuato a vedere ancora per qualche istante la sua sagoma abbastanza distinta e con i colori complementari.

Questo accade perché la nostra retina è stata iper-eccitata e per *smaltire* questo effetto ha bisogno di qualche istante.

Ognuno di noi ha avuto una tale esperienza e sicuramente ha provato un senso di disagio tanto più forte quanto più l'intensità della sagoma impediva di vedere chiaramente.

4.1 La luce artificiale e gli insetti

Gli insetti notturni sono gli animali che risultano più sensibili alla luce artificiale e questo per due principali motivi: l'evoluzione li ha dotati di apparati visivi particolarmente sensibili proprio per riuscire a sfuggire ai predatori, per poter svolgere le normali attività di vita come il cibarsi e

[24] Kochevar, Randall E. Effects of Artificial Light on Deep Sea Organisms: Recommendations for ongoing use of artificial lights on deep sea submersibles.

l'accoppiarsi[25]; gli insetti sono poi la *Classe* in assoluto più ricca del pianeta, non solo in considerazione al numero di specie presenti, ma anche come numero di individui quindi il numero di soggetti che potenzialmente potrebbero cadere vittime degli gli effetti dell'inquinamento luminoso è molto elevato.

Un piccolo esempio della magnitudine di questo problema è visibile a tutti, semplicemente osservando il numero di *farfalline* che, soprattutto nei mesi più caldi, girano senza sosta attorno ai lampioni o alle luci dei giardini.

Questi esseri vengono attirati verso la fonte luminosa proprio come se fosse una trappola e spesso, soprattutto se la lampadina non ha un vetro di protezione, vengono uccisi dal calore.

Ma, anche quando non avviene il contatto diretto con il corpo caldo, possono subire danni più o meno irreversibili, come si avrà modo di sottolineare più avanti.

4.1.1 L'impatto sulle falene

Studi condotti da molti ricercatori hanno dimostrato che la luce artificiale potrebbe essere la maggior responsabile della riduzione delle popolazioni, anche se non è ancora nota nessuna estinzione causata esclusivamente dalle luci artificiali.

Le luci, infatti, oltre ad arrecare disturbo alla visione, all'alimentazione e all'ovideposizione, disturbano e alle volte inibiscono la migrazione di questi *Lepidotteri*.

I disturbi alla visione possono rendere le falene più facili da catturare per gli uccelli notturni, i pipistrelli e i ragni.

Le luci artificiali possono indebolire o eliminare piccole popolazioni già provate da altri disturbi, in particolare in ambienti frammentati dallo sviluppo urbano.

C'è inoltre un altro fattore importante che è stato identificato grazie ad alcuni esperimenti che prevedevano catture con retini attorno alle luci, e cioè che assieme alle falene, attorno alle fonti luminose, vengono attirati anche i parassiti di questi insetti e questo influisce in modo fortemente negativo sui meccanismi naturali di controllo delle popolazioni sia dell'una che dell'altra specie[26].

Una possibile soluzione per cercare di diminuire questo fenomeno è quella di spegnere le luci nei luoghi dove non sono necessarie ed in particolare nelle aree agricole[27] e nei pressi di zone ecologicamente importanti come i parchi naturali e le riserve.

---

[25] „Ecological Consequences of Artificial Night Lighting" February 23-24, 2002 Los Angeles, California *intervento di* G. Eisenbeis: Artificial night lighting and insects in Germany

[26] „Ecological Consequences of Artificial Night Lighting" *intervento di* K. D. Frank: Impact of artificial lighting on moths

[27] ID. FRANF, K.D.

Nelle strade o nelle piazze cittadine, dove lo spegnimento delle luci non è applicabile si potrebbe provvedere a proteggere le lampade in modo che le falene e gli altri insetti non possano entrare in contatto con i corpi caldi.

Una seconda soluzione, che però non esclude la precedente, è quella di dotare gli impianti di illuminazione di lampade al sodio a bassa pressione[28].

4.2 L'impatto sulle rane notturne

Delle circa 3500 specie di rane conosciute, la maggior parte ha una vita quasi completamente notturna e conseguentemente a questo anche i loro sistemi di visione sono adattati alla quasi oscurità.

Esperimenti condotti in laboratorio e fatti realmente accaduti, dimostrano che, non solo le modificazioni permanenti della condizione di illuminazione di un'area possono creare seri problemi a questi animali, ma anche una variazione temporanea può influire sulla riproduzione, sulla cattura del cibo e in generale su tutti i comportamenti attuati per sopravvivere come la caccia o la fuga dai predatori.

Esperimenti di laboratorio hanno permesso di scoprire che una repentina illuminazione dell'ambiente provoca negli animali una sorta di cecità temporanea che può protrarsi per tempi più o meno lunghi a seconda dell'animale e può portare anche a danni irreversibili ai sistemi della visione.

L'illuminazione degli ambienti, soprattutto quando non è così forte da provocare l'accecamento può risultare un vantaggio per questi animali, infatti una maggiore illuminazione permette loro di vedere meglio le loro prede e di conseguenza di poterne catturare un maggior numero. Di contro, ciò risulta un beneficio anche per i predatori che in questo modo riescono a vedere rane che non sarebbero altrimenti visibili.

Ecco quindi che in una situazione in cui venga illuminata un'area abitata dalle rane, possono instaurarsi sbilanciamenti nei meccanismi naturali di controllo delle popolazioni sia delle prede che dei predatori [29].

---

[28] Argomento trattato al cap. Le soluzioni tecniche attualmente disponibili sul mercato.a pagina 13

[29] „Ecological Consequences of Artificial Night Lighting“ *intervento di* Bryant W. Buchanan Observed and potential effects of artificial light on the behavior, ecology, and evolution of nocturnal frogs

5 Gli effetti della luce sui ritmi circadiani

Il ciclo luce-buio dell'alternarsi del giorno e della notte è il fattore principale della sincronizzazione del ritmo circadiano. La luce stimola la retina che possiede una connessione neurale diretta con i centri suprachiasmatici (SCN) e con l'ipotalamo. I centri suprachiasmatici sembrano essere i maggiori orologi biologici che coordinano le molteplici oscillazioni circadiane quali ad esempio il sonno, la temperatura corporea, le concentrazioni di melatonina, cortisolo e l'ormone TSH.

Queste variazioni fisiologiche variano durante l'intero arco della giornata.

La melatonina ad esempio aumenta durante le ore serali, rimane stabile durante la notte e decresce durante il pomeriggio.

Il cortisolo cresce rapidamente nelle prime ore del giorno per poi diminuire durante il giorno.

Sebbene fattori esterni possano influenzare i valori di queste variabili, questi ritmi sono endogeni.

Per esempio, benché la temperatura interna possa essere modificata da una serie di fattori esterni come il riposo o l'esercizio fisico, la temperature rimane soggetta ad una ritmicità di tipo circadiano anche in quei soggetti costretti all'immobilità a letto o che non dormono per 24 ore consecutive.

Il ciclo di variazione della temperatura corporea rimane il ritmo circadiano più studiato, tanto che il valore più basso di questo ciclo viene anche definito "lancetta" dell'orologio biologico. I ritmi circadiani producono effetti sul sonno, infatti, spostamenti nel tempo dei ritmi circadiani causano insonnia, risvegli mattinieri o sonno eccessivo.

I ritmi circadiani sono spesso associati e hanno una forte correlazione. Ad esempio sono strettamente correlati il sonno e la temperatura (difatti il sonno avviene quando la temperatura è più bassa) In alcune circostanze questi ritmi possono disgiungersi. In un ambiente senza orologi e senza finestre, temperatura e sonno possono acquisire ritmi differenti. Ad esempio la temperatura un ciclo di 25 ore mentre il sonno uno di 35. L'intensità di questa diacronia non dipende soltanto dalla durata della illuminazione ma anche dalla sua intensità.

All'inizio si pensava che soltanto una luce intensa potesse spostare i ritmi circadiani. Però, alcuni recenti dati indicano che anche bassi livelli di illuminazione possono modificate tali ritmi anche se non nella stessa misura della luce intensa. Sono esempi di sfasamento dei ritmi circadiani la depressione invernale causata dalle poche ore di luce della giornata e il jetlag.[30]

---

[30] DAVID AVERY *The Effects of Light on Circadian Rhythms, Sleep and Mood*, Dark Skies Northwest Regional Meeting December 2nd, 2000

6 Gli effetti della luce artificiale sulle piante

È noto a tutti che le piante utilizzano la radiazione solare per fare la fotosintesi, processo che permette loro di sintetizzare, appunto, sostanze a loro indispensabili per crescere e l'ossigeno indispensabile a noi per vivere

È noto altresì che durante la notte, le stesse piante, invertono il processo base della fotosintesi e diventano "consumatori di ossigeno"[31].

Quando la pianta si ritrova a crescere nei pressi di un lampione e viene da esso illuminata, il processo naturale subisce forti alterazioni.

La luce emessa dal lampione che illumina parte della pianta, riscalda le foglie, esse quindi si ritrovano a vivere in un microhabitat con una temperatura media decisamente superiore a quella in cui vive il resto della pianta ciò produce un allungamento del periodo vegetativo.

Il riscaldamento di parte della pianta non ha solo effetti sulla crescita vegetativa ma può anche aprire la strada a insetti e ad altri parassiti che, trovandosi vivere in un ambiente a loro più favorevole, mettono così in serio pericolo la vita stessa della pianta.[32]

La luce artificiale innesca nella pianta anche un processo di crescita verso la fonte luminosa (processo di tipo fototattico o fototassi) che, in caso si tratti di alberature stradali, va ad influire sulla sicurezza stradale, in quanto va a diminuire l'illuminazione della sede stradale.

Inoltre, livelli molto bassi di illuminazione possono provocare alterazioni del fotoperiodo con ritardi nella fase di riposo o anticipi del periodo vegetativo e di fioritura.

6.1.1 La fase luminosa

Le piante accumulano energia luminosa grazie alla presenza di pigmenti. Un pigmento è una qualsiasi sostanza che assorbe una certa lunghezza d'onda ma ne riflette una determinata parte che è quella che noi vediamo come colore dell'oggetto.

La clorofilla, il pigmento che da colore al verde delle foglie, assorbe la luce nella zona del violetto, dell'azzurro e del rosso e riflette la componente verde ed è questo il motivo per cui ci appare verde.

Per capire quale sia la lunghezza d'onda di assorbimento di un certo pigmento si utilizza lo spettro di assorbimento.

---

[31] P.H. RAVEN, R.F.EVERT, S.E. EICHHORN *Biologia delle piante* V ed. 1999 pp. 93-96

"[...]Un pigmento che assorbe energia luminosa si porta ad uno stato eccitato perché gli elettroni della sua molecola vengono spinti ad un livello energetico superiore. La molecola eccitata può cedere l'energia assorbita sotto forma di calore ad una lunghezza d'onda superiore (e quindi con una energia minore)[33].

Oppure può cederla ad un sistema che consenta di formare legami chimici e quindi di accumularla.[...]" [34]

6.1.2 I pigmenti fotosintetici

"[...]I pigmenti implicati nella fotosintesi comprendono: le clorofille, le ficobiline e i carotenoidi[...]".

Esistono infatti due tipi di clorofilla la clorofilla *a* e la clorofilla *b*.

"[...]La clorofilla *a* si trova in tutti gli eucarioti fotosintetici e nei cianobatteri. Essa rappresenta il pigmento fondamentale per la fotosintesi[...].

La clorofilla *b* è invece presente, assieme alla clorofilla *a* in tutte le piante vascolari, nelle briofite, nelle alghe verdi e in quelle euglenoidi.

La clorofilla *b* è un pigmento accessorio che permette di "[...]ampliare lo spettro delle radiazioni luminose utilizzabili per la fotosintesi[...]" ed è per questo motivo che la clorofilla *b* costituisce circa ¼ della clorofilla totale.

"[...]Quando una molecola di clorofilla *b* assorbe la luce, la molecola eccitata trasferisce la sua energia ad una molecola di clorofilla *a* che la trasforma in energia chimica durante la fotosintesi[...].

Un'altra classe di pigmenti accessori implicati nella cattura dell'energia luminosa sono i carotenoidi e le ficobiline.

I carotenoidi sono pigmenti liposolubili di colore rosso, arancione o giallo. Essi sono presenti in tutti i cloroplasti e nei cianobatteri[...]". Sono presenti anche nelle piante verdi, ma in quantità limitata e sempre inferiore alle clorofille.

Le ficobiline, infine sono pigmenti accessori "[...]presenti nei cianobatteri, nelle alghe rosse e in qualche altro gruppo di alghe[...]. [35]

---

[32] *Mesuring and modelling light pollution* ed. P. CINZANO Mem. Soc. Astron. It. Vol 71 n° 1 2000 "city light and urban green" R. CASAGRANDE, P. GIULINI p. 55 (formato elettronico da http://dipastro.pd.astro.it/cinzano/web2/roman.html

[33] Se questo secondo processo avviene in un tempo breve o brevissimo si ha "fluorescenza", se invece avviene con un certo ritardo si ha "fosforescenza". [...]P.H. RAVEN, R.F.EVERT, S.E. EICHHORN

[34] P.H. RAVEN, R.F.EVERT, S.E. EICHHORN pp. 93-96

[35] P.H. RAVEN, R.F.EVERT, S.E. EICHHORN pp. 93-96 *mio il corsivo*

6.2 Studi condotti su Magnolia Grandiflora

Lo studio sull'impatto della luce artificiale sulle piante cittadine iniziò nel 1983 quando la dottoressa Casagrande e il professor Giulini dell'Università di Padova notarono che le chiome delle alberature cittadine si protendevano verso le sorgenti luminose.

Qui di seguito viene proposto parte dello studio fatto dalla dottoressa Roberta Casagrande e dal dottor Patrizio Giulini risalente al 1983.

6.2.1 Studio delle relazioni tra emissioni delle luci artificiali e i pigmenti fotosintetici

Le luci della città possono causare danni più o meno seri sia alle funzioni fotosintetiche che al fotoperiodo, alla maggior parte degli alberi che si ritrovano circondati da molte sorgenti di luce artificiale.

Infatti la radiazione termica emessa dalle lampade produce nelle sue immediate vicinanze, un microclima favorevole che prolunga il periodo vegetativo dei rami e delle foglie più esposte.

Per di più la luce emessa dalle lampade ad incandescenza contribuisce a creare una situazione di stress nelle piante che prolungano l'attività fotosintetica anche per le 24 ore di una giornata.

Infine le lampade ad incandescenza stimolano l'attività dei citocromi in modo anomalo se confrontato con la lunghezza delle ore di luce e la fioritura.

Le foglie che vengono illuminate risultano più grandi e risultano chiaramente allineate con la fonte di luce.

6.2.2 I risultati

È stato analizzato lo spettro di emissione delle lampade maggiormente utilizzate per l'illuminazione cittadina ed è stato individuato essere compreso tra i 350 e gli 800nm.

Questo spettro di emissione è stato quindi confrontato con lo spettro solare e con lo spettro di assorbimento dei pigmenti vegetali (clorofilla *a*, clorofilla *b*) e con i fitocromi.

I risultati ottenuti mostrano che le tradizionali lampade ad incandescenza (quelle che si avvicinano maggiormente allo spettro solare) influenzano in modo significativo l'attività biologica delle piante, proprio per questa loro caratteristica.

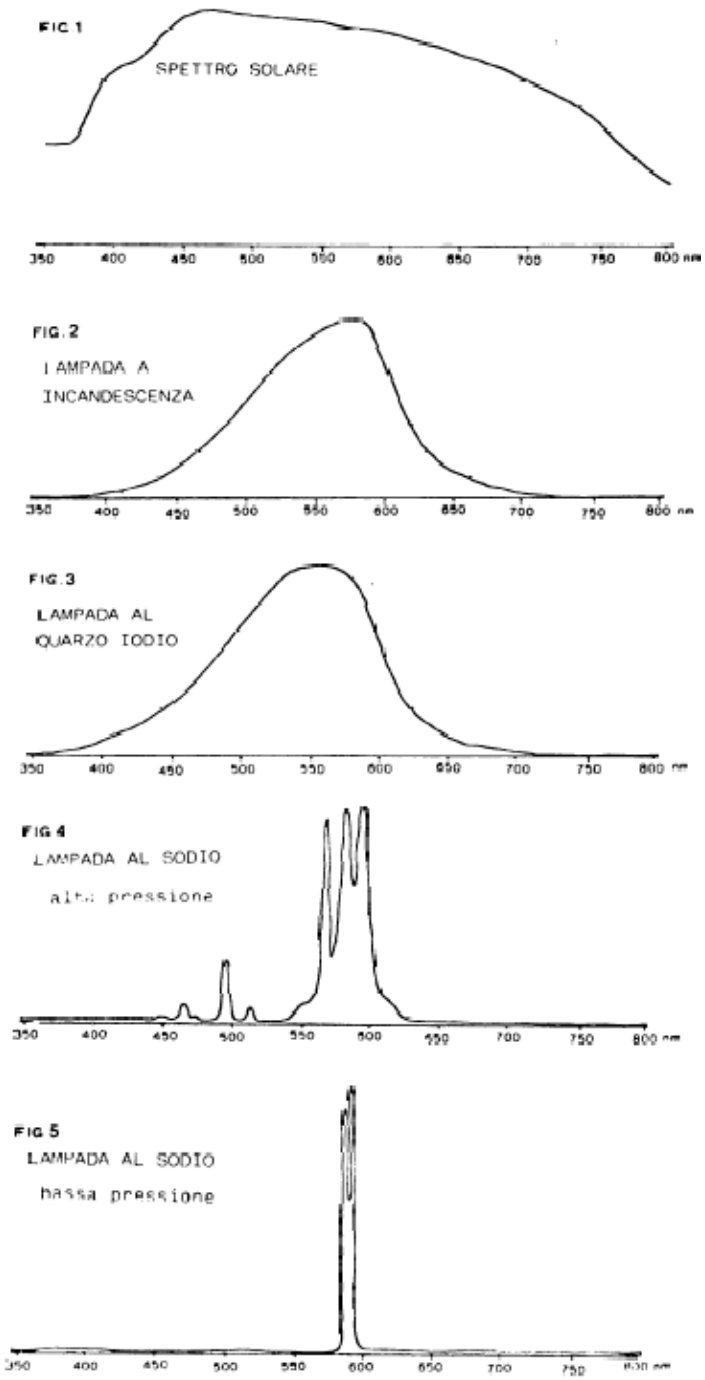


Figura 6: questi grafici mostrano gli spettri di emissione delle più comuni lampade per l'illuminazione esterna. Fig 1: spettro solare; Fig 2:lampada ad incandescenza;fig3:lampada al quarzo; fig: 4 lampada al sodio ad alta pressione; fig 5: lampada al sodio a bassa pressione

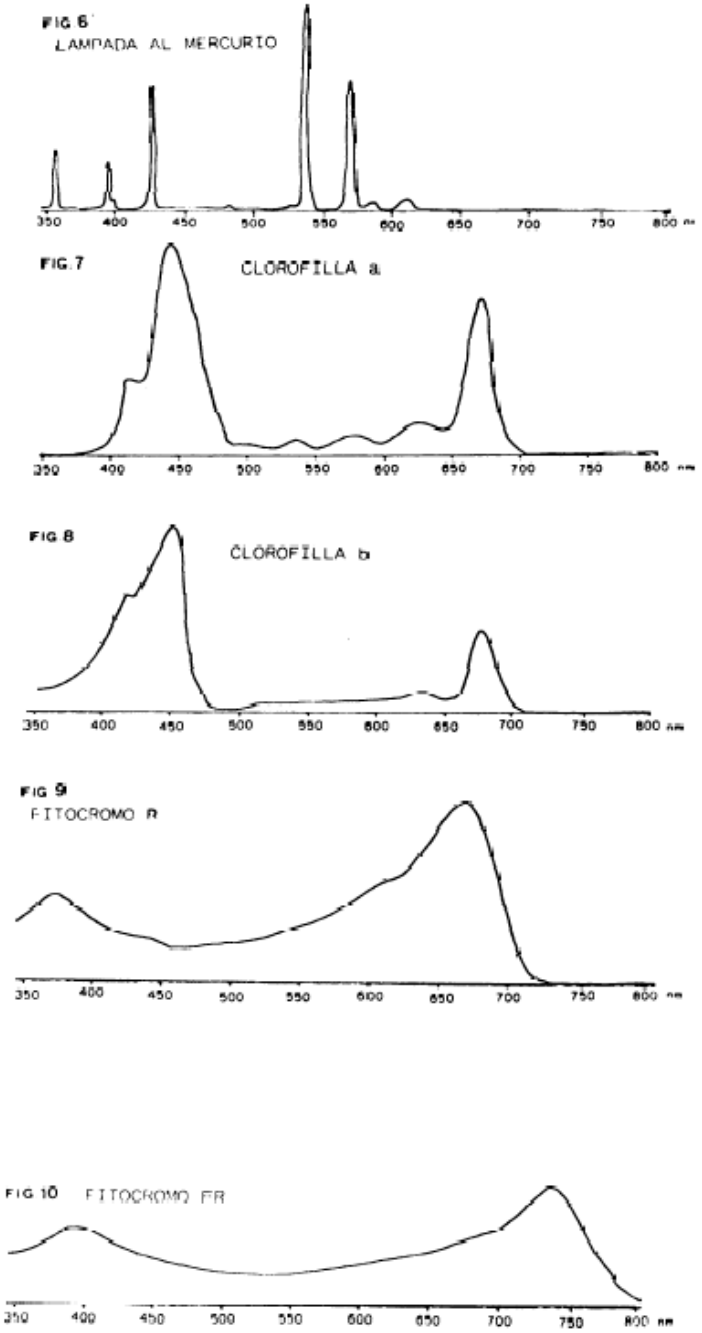


Figura 7: questi grafici mettono a confronto lo spettro di emissione delle lampade al mercurio con gli spettri di assorbimento dei pigmenti fotosintetici. Questo è stato fatto per mettere in evidenza quali fossero i pigmenti maggiormente sensibili alle emissioni di questo tipo di lampada.

I risultati preliminari hanno indicato che le lampade ad incandescenza e al quarzo-iodio causano evidenti reazioni nelle piante; che le lampade al sodio ad alta o bassa pressione producono effetti non attribuibili in modo certo a questo tipo di illuminazione.

Le piante esposte alle lampade al sodio a bassa pressione non hanno evidenziato reazioni nemmeno dopo una prolungata esposizione. Questo tipo di lampada quindi produce un tipo di

luce diversa da quella solare e quindi è da preferirsi per illuminare i monumenti e per evidenziarne i dettagli[36].

A questo studio ha fatto seguito, nel 1995, uno studio condotto presso il Dipartimento di Biologia dell'Università di Padova da A. Roman, P. Giulini, G. M. Giacometti, P. Cinzano, su due esemplari di *Magnolia Grandiflora* dell'orto botanico di Padova.

Tale studio ha evidenziato una diminuzione dell'efficienza fotosintetica delle foglie illuminate da una lampada ai vapori di mercurio.

Non è stato possibile rintracciare lo studio completo condotto dal dottor Andrea Roman e dai suoi colleghi, se ne riporta qui di seguito parte dell'articolo "Gli effetti dell'inquinamento luminoso sulla fauna e sulla flora" presente su:

http://dipastro.pd.astro.it/cinzano/web2/roman.html

"[...]Gli studi che abbiamo condotto (io, il professor Giulini, il professor Giacometti e il dottor Cinzano) presso il dipartimento di biologia dell'Università di Padova su due piante di *Magnolia Grandiflora* **L.** presenti all'orto botanico della città stessa, hanno evidenziato una diminuzione dell'efficienza fotosintetica delle foglie direttamente illuminate da una lampada ai vapori di mercurio. Il grafico di figura 4 illustra i risultati a cui siamo giunti dopo circa un anno di esperimenti; abbiamo selezionato tre zone di due magnolie, in modo tale da poter avere dei campioni di una pianta provenienti sia dalla parte illuminata che dalla parte oscura, e dei campioni al buio provenienti da un'altra pianta; è evidente che l'efficienza fotosintetica, (identificata con il parametro F p) della zona esposta all'illuminazione artificiale è significativamente inferiore rispetto alle due zone che si trovano in condizione di buio. La conclusione logica dello studio è che la presenza di una sorgente luminosa in prossimità della pianta causa uno stress alle foglie che sono direttamente esposte alla luce, alterandone il normale processo fotosintetico.

Per la misura dell'efficienza fotosintetica e quindi per l'analisi dello stato fisiologico delle foglie interessate all'esperimento abbiamo utilizzato il metodo dell'induzione di fluorescenza. Infatti la maggior parte dell'energia solare che viene assorbita dalle foglie viene utilizzata per i processi della fotosintesi, mentre il resto è dissipato sotto forma di calore e di fluorescenza: tramite uno strumento chiamato PAM (photoamplitude modulate fluorimeter) si è in grado di misurare la quantità di energia emessa sottoforma di fluorescenza, che nei sistemi in vivo si aggira intorno al 3-5% sul totale dell'energia assorbita. Ed è proprio la quantità e la cinetica dell'emissione di fluorescenza che ci ha permesso di capire qual'era lo stato fisiologico delle piante.

Infine direi che non è azzardato pensare che le sorgenti luminose, possano essere responsabili di un microclima nelle foglie che sono a più diretto contatto con esse (aumento della temperatura, dell'umidità relativa ed estensione della luce diurna) tale da favorire il prolungamento del periodo vegetativo oltre il suo normale termine. [...]"

---

[36] purtroppo però tale tipologia di lampada non è molto ben accetta per l'illuminazione degli edifici e delle opere d'arte

7 La misura dell'inquinamento luminoso

Lo studio di cui si parlerà in seguito è lo studio condotto da Pierantonio Cinzano, Fabio Falchi e Christopher D. Elvidge per conto dell'ISTIL (Istituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso) nel 2001: "*Rapporto ISTIL 2001. Stato del cielo notturno e inquinamento luminoso in Italia"*. i dati satellitari raccolti in questo rapporto risalgono al 1997 ma sono stati calibrati con misure da terra per il 1998-1999.

Anche se sono possibili osservazioni da terra queste non possono che essere limitate ad un numero limitato di siti. Per ottenere mappature globali dell'inquinamento luminoso la metodologia migliore è l'osservazione per mezzo del satellite.

Verranno quindi riportate, a solo titolo esemplificativo, le mappe che sono state elaborate a partire dai dati ottenuti utilizzando i dati satellitari del Defence Meteorological Satellite Program (DMSP) dell'aeronautica Militare degli Stati Uniti. La visione notturna del satellite è garantita da un fotomoltiplicatore attaccato al telescopio. La risposta spettrale del fotomoltiplicatore va da 440nm a 940nm con la maggiore sensibilità nella regione tra 500nm e 650nm cioè nell'intervallo caratteristico delle lampade per l'illuminazione esterna notturna. Il sensore a bordo di questi satelliti ha una sensibilità di 4-5 ordini di grandezza maggiore dei sensori a bordo degli altri satelliti.

Figura 8: immagine dell'Italia ripresa dal satellite. La luce in questa immagine è quella sfuggita nello spazio (emessa direttamente dagli apparecchi o riflessa da superfici e pavimentazioni). L'immagine mette in evidenza le aree più illuminate del nostro paese. [Fonte: *light pollution and the protection of the night environment Venezia: salvare la notte* p.97]

8 Le mappe

Le mappe presentate nel rapporto ISTIL sono di quattro tipi ed ognuna è stata calcolata per una atmosfera limpida standard che, nel caso della mappa della brillanza viene anche rapportata a livello del mare per rendere i dati delle diverse aree più facilmente confrontabili.

Le mappe sono:

- *Mappe della brillanza artificiale del cielo a livello del mare.* Esse indicano l'inquinamento luminoso in atmosfera e permettono di individuare le aree maggiormente inquinate.
- *Mappe della brillanza totale con l'altitudine* indicano la luminosità del cielo.
- *Mappe della magnitudine limite* indicano la visibilità delle stelle da parte di una persona con occhi già abituati al buio.
- *Mappe di perdita di magnitudine* indicano la perdita di visibilità stellare, cioè il degrado nella visibilità delle stelle.

8.1 Mappa della brillanza artificiale al livello del mare

Questa tipologia di mappa è ottenuta tramite l'integrazione di tutti i contributi luminosi provenienti da un raggio di 200km: nell'elaborazione vengono tenuti in considerazione anche l'estinzione della luce durante il suo precorso, la diffusione operata da molecole e aerosoli e non ultimo la curvatura terrestre[37].

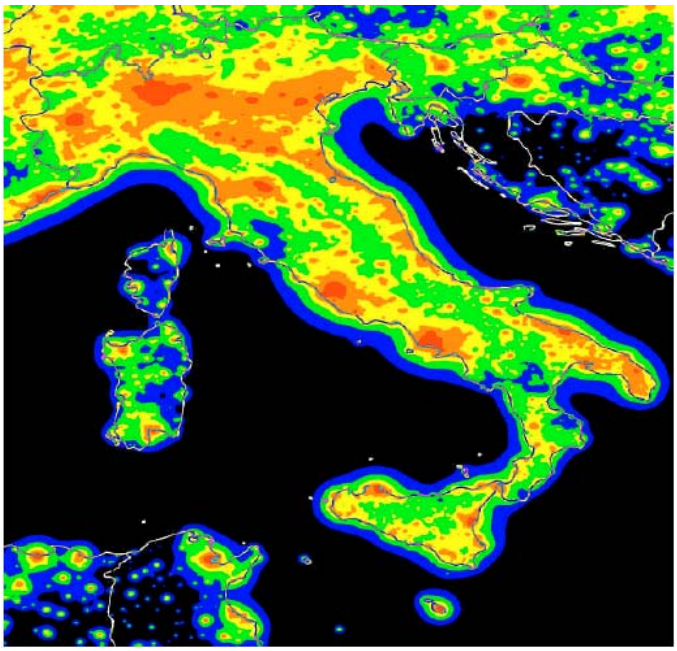
Questa tipologia di mappa mostra i livelli di inquinamento dell'atmosfera rapportati al livello del mare e non la luminosità effettiva del cielo e nemmeno la visibilità delle stelle. In queste mappe, quindi le aree più scure sono quelle con meno luce artificiale e non quelle in cui si vedono meglio le stelle. Possono però essere utilizzate come prima stima delle aree in cui si vedrà meglio le Via Lattea.

In queste mappe ad esempio, le aree di color arancio sono quelle in cui un osservatore medio difficilmente riuscirà a vedere le Via Lattea.

<11%	Nero
11-33%	Blu
3-100%	Verde
1-3	Giallo
3-9	Arancio
9	Rosso

[37] più precisamente vengono considerati la diffusione Rayleigh da parte delle molecole, la diffusione Mie da parte degli aerosoli. [*"Rapporto ISTIL 2001. Stato del cielo notturno e inquinamento luminoso in Italia"* p.17]

Figura 9: brillanza artificiale del cielo notturno a livello del mare. In questo caso i livelli della brillanza artificiale sono espressi come frazione della brillanza naturale di riferimento che equivale a 252µcd/m^2.



8.2 *Mappa della brillanza totale del cielo notturno*

Questo tipo di mappa fornisce una indicazione della qualità del cielo notturno di un territorio e viene elaborata tenendo in considerazione l'altitudine e la brillanza naturale del cielo.

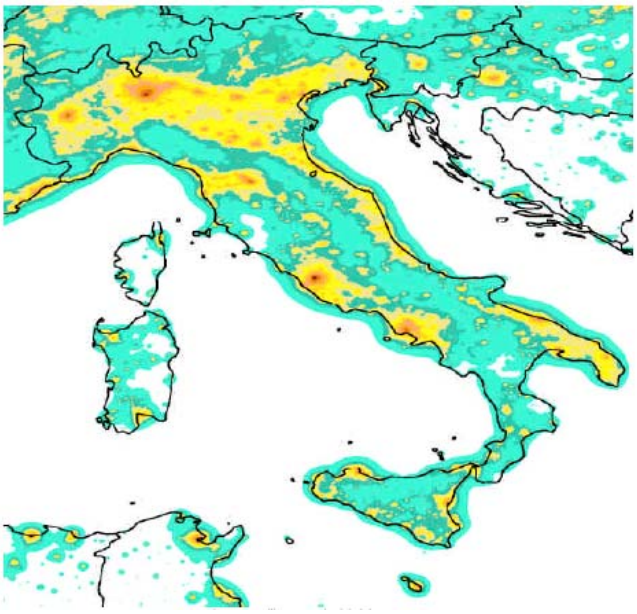
Qui di seguito viene inserita una tabella indicativa che associa alla magnitudine limite un giudizio qualitativo sulla qualità del cielo visibile.

mag 4	Cielo appena stellato
mag 4,5	Cielo poco stellato
mag 5	Cielo moderatamente stellato
mag 5,5	Cielo molto stellato
mag 6	Cielo ampiamente stellato
mag 6,5	Cielo eccezionalmente stellato

Tabella 2: indicazione della corrispondenza tra magnitudine e la qualità del cielo visibile.

Nella mappa della brillanza totale del cielo, le aree più buie sembrano più estese ma dipende solamente dal fatto che qui viene utilizzata una diversa unità di misura (tra un livello ed il successivo c'è una differenza di 0,5 magnitudini per secondo d'arco quadrato, corrispondente ad un aumento di brillanza di circa il 68% tra un livello ed il successivo).

Anche questa mappa non fornisce indicazioni sulla visibilità delle stelle. Quest'ultima infatti è dipendente anche dall'altitudine e quindi dall'estinzione atmosferica



>21.5	Bianco
21-21.5	Verde
20.5-21	Verde scuro
20-20.5	Kaki
19.5-20	Giallo
19-19.5	Giallo scuro
18.5-19	Rosa
18-18.5	Arancio
17.5-18	Marrone
<17.5	Rosso scuro

Figura 10: Mappa della brillanza totale del cielo notturno

8.3 Mappa della magnitudine limite e visibilità delle stelle

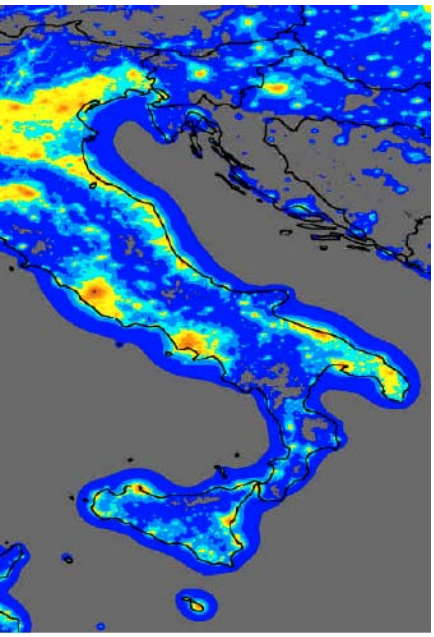
La mappa della visibilità delle stelle ad occhio nudo, cioè la magnitudine limite ad occhio nudo, indica la possibilità di vedere stelle di una data luminosità (magnitudine) da parte di un osservatore medio. La mappa è calcolata per lo zenith e tiene conto dell'altitudine, dell'estinzione della luce nel suo tragitto nell'atmosfera e della capacità dell'occhio di distinguere sorgenti puntiformi su di uno sfondo luminoso.

[…] La magnitudine limite ossia la magnitudine della stella più debole che un osservatore medio riesce ad osservare è stata ottenuta in base ai lavori di Garstang (2000) e Schaefer (1991) sulla capacità dell'occhio di percepire sorgenti puntiformi sopra uno sfondo luminoso. Come ha mostrato Blackwell (1946) e altri autori, la relazione tra magnitudine limite e brillanza del cielo non è lineare ed è un concetto statistico. Un certo numero di fattori casuali hanno effetto sulla misura che l'occhio è in grado di fare, quali ad esempio la capacità del singolo occhio, la dimensione della pupilla del singolo osservatore, l'esperienza che rende l'osservatore sicuro di aver visto una stella ad un livello di probabilità diverso da quello di un altro, la durata dell'osservazione e così via.[…]

Un osservatore più esperto è capace di distinguere stelle con magnitudine superiore, l'astrofilo americano O'Meara è infatti riuscito ad osservare da un sito buio in alta montagna con l'ausilio di una tecnica di iperossigenazione, oltre la magnitudine 8, quando il limite normalmente accettato per le stelle più deboli visibili ad occhio nudo è la magnitudine 6.[38]

La mappa mostra la distribuzione della magnitudine limite allo zenith per un campione di osservatori di esperienza media e capacità media, occhi adattati al buio e che osservino con entrambi gli occhi.

[38] *"Rapporto ISTIL 2001. Stato del cielo notturno e inquinamento luminoso in Italia"* p.19



> 6,0	Nero
5,75-6,0	Grigio
5,5-5,75	Blu
5,25-5,5	Blu chiaro
5,0-5,25	Azzurro
4,75-5,0	Giallo
4,5-4,75	Ocra
4,25-4,5	Arancio
4,0-4,25	Arancio scuro
3,75-4,0	Rosso
> 3,75	Violetto

Figura 11: mappa della visibilità delle stelle a occhio nudo.

Questa mappa non dà alcuna indicazione sull'inquinamento luminoso in quanto altitudine ed estinzione della luce "[...]confondono i risultati."

Il fatto che alcuna zone montuose presentino la stessa colorazione (e quindi la stessa magnitudine limite) di alcune aree costiere indica che le montagne sono fortemente inquinate, in

quanto, nonostante l'aiuto dell'altitudine, non è possibile scorgere stelle più deboli che non a livello del mare

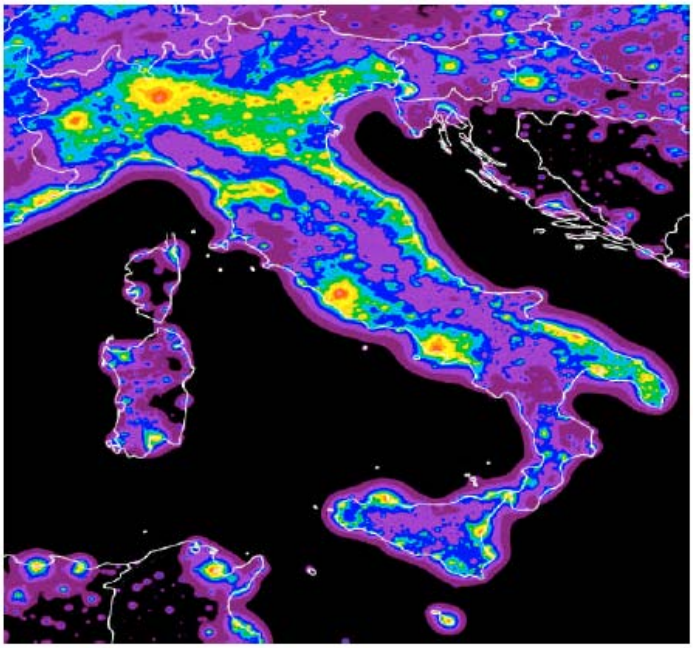
8.4 Mappa della perdita di magnitudine

Questa mappa indica il decadimento della capacità di percepire le stelle.

È stata ottenuta facendo la differenza tra I valori della mappa di visibilità stellare (vedi Figura 11 a p.37) e I valori di una particolare mappa di magnitudine limite ottenuta assumendo che l'inquinamento luminoso sia zero ovunque.

Da questa mappa, quindi si possono vedere chiaramente gli effetti dell'inquinamento luminoso anche nelle montagne. Si deve tenere in considerazione che il numero di stelle visibili approssimativamente si dimezza ogni 0.6 magnitudini perdute.

È da questa mappa quindi si possono ricavare i luoghi meno inquinati.



>0.1	Nero
0.1-0.2	Porpora
0.2-0.4	Viola
0.4-0.6	Blu
0.6-0.8	Blu chiaro
0.8-1.0	Verde
1.0-1.2	Giallo oro
1.2-1.4	Giallo
1.4-1.6	Arancio
1.6-1.8	Rosso
1.8-2.0	Rosa intenso
>2.0	Rosa

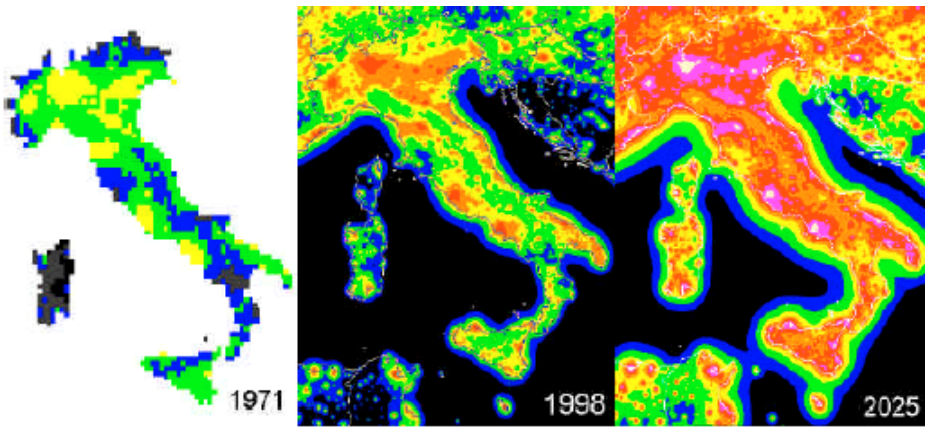
Figura 12: mappa del degrado della visibilità delle stelle ad occhio nudo. I valori della tabella si riferiscono alla perdita di magnitudine.

9 La crescita dell'inquinamento luminoso

Per cercare di individuare quale fosse la tendenza dell'aumento dell'inquinamento luminoso il gruppo di lavoro ha prodotto la seguente mappa di confronto tra i dati del 1971(Bertiau e Treanor e De Graeve) e quelli ricavati per questo studio. La tendenza di crescita in questi 27 anni è stata estesa fino al 2025.

Mappa del 1971		Mappa del 1998		Mappa del 2025	
< 5%	Nero	> 11%	Nero	> 11%	Nero
6-15%	Grigio				
16-35%	Blu	11-33%	Blu	11-33%	Blu
> 11%	giallo	33-100%	Verde	33-100%	Verde
		1-3	Giallo	1-3	Giallo
		3-9	Arancio	3-9	Arancio
		> 9	rosso	9-27	Rosso
				27-81	Violetto
				>81	bianco

Tabella 3: Indicazione dei livelli di brillanza artificiale. tali valori sono espressi come frazione della brillanza naturale di riferimento (252µcd/m^2.)



Le mappe

La mappa del 2025 non tiene in considerazione il fatto che alcune regioni si sono dotate di leggi antinquinamento e quindi si può sperare che la situazione mostrata sia eccessiva rispetto a ciò che realmente potrà accadere.

Solo indicativamente, in queste mappe il colore arancio indica le zone in cui, anche nelle notti limpide risulta difficile vedere la Via Lattea, mentre il colore rosso corrisponde alle zone in cui sono visibili un centinaio di stelle fino ad una trentina di gradi sopra l'orizzonte.

Allegato 1 Legge della regione Lombardia n°17/2000

LEGGE REGIONALE 27 MARZO 2000 - N. 17

MISURE URGENTI IN TEMA DI RISPARMIO ENERGETICO AD USO DI ILLUMINAZIONE ESTERNA E DI LOTTA ALL'INQUINAMENTO LUMINOSO

IL CONSIGLIO REGIONALE

ha approvato

IL COMMISSARIO DI GOVERNO

ha apposto il visto

IL PRESIDENTE DELLA GIUNTA REGIONALE

promulga

Articolo 1

(Finalità)

1. La presente legge, ai fini di quanto stabilito dall'articolo 3, comma 3, punti 7, 8, 9 dello Statuto della Regione Lombardia, ha per finalità la riduzione sul territorio regionale dell'inquinamento luminoso e dei consumi energetici da esso derivanti e, conseguentemente la tutela dell'attività di ricerca scientifica e divulgativa svolta dagli osservatori astronomici professionali di rilevanza regionale o provinciale o di altri osservatori scientifici nonché la conservazione degli equilibri ecologici sia all'interno che all'esterno delle aree naturali protette.

2. Ai fini della presente legge viene considerato inquinamento luminoso dell'atmosfera ogni forma di irradiazione di luce artificiale che si disperda al di fuori delle aree a cui essa è funzionalmente dedicata e, in particolar modo, se orientata al di sopra della linea dell'orizzonte.

Articolo 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 nuovo 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.

Articolo 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 principio 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.

Articolo 4

(Compiti dei comuni)

1.I comuni:
a) si dotano, entro tre anni dalla data di entrata in vigore della presente legge, di piani dell'illuminazione che disciplinano le nuove installazioni in accordo con la presente legge, fermo restando il dettato di cui alla lettera d) ed all'articolo 6, comma 1;

b) Sottopongono al regime dell'autorizzazione da parte del Sindaco tutti gli impianti di illuminazione esterna, anche a scopo pubblicitario; a tal fine il progetto deve essere redatto da una delle figure professionali previste per tale settore impiantistico; dal progetto deve risultare la rispondenza dell'impianto ai requisiti della presente legge e, al termine dei lavori, l'impresa installatrice rilascia al comune la dichiarazione di conformità dell'impianto realizzato alle norme di cui agli articoli 6 e 9, oppure, ove previsto, il certificato di collaudo in analogia con il disposto della legge 5 marzo 1990, n. 46 (Norma per la sicurezza degli impianti), per gli impianti esistenti all'interno degli edifici; la procedura sopradescritta si applica anche agli impianti di illuminazione pubblica; la cura e gli oneri dei collaudi sono a carico dei committenti degli impianti;

c) provvedono, tramite controlli periodici di propria iniziativa o su richiesta di osservatori astronomici, o di altri osservatori scientifici, a garantire il rispetto e l'applicazione della presente legge sui territori di propria competenza da parte di soggetti pubblici e privati; emettono apposite ordinanze, entro sessanta giorni dalla data di entrata in vigore della presente legge, per la migliore applicazione dei seguenti principi per il contenimento sia dell'inquinamento luminoso che dei consumi energetici derivanti dall'illuminazione esterna, con specifiche indicazioni ai fini del rilascio delle licenze edilizie;

d) provvedono, anche su richiesta degli osservatori astronomici o di altri osservatori scientifici, alla verifica dei punti luce non corrispondenti ai requisiti previsti dalla presente legge, disponendo affinché essi vengano modificati o sostituiti o comunque uniformati ai criteri stabiliti, entro 1 anno dalla notifica della constatata inadempienza, e, decorsi questi, improrogabilmente entro sessanta giorni;

e) applicano, ove previsto, le sanzioni amministrative di cui all'articolo 8 impiegandone i relativi proventi per i fini di cui al medesimo articolo.

Articolo 5

(Disposizioni in materia di osservatori astronomici)

1. Sono tutelati dalla presente legge gli osservatori astronomici ed astrofisici statali, quelli professionali e non professionali di rilevanza regionale o provinciale che svolgano ricerca scientifica e/o divulgazione.

2. La Giunta Regionale, entro centoventi giorni dall'entrata in vigore della presente legge:

a) aggiorna l'elenco degli osservatori di cui all'art. 10 anche su proposta della Società Astronomica Italiana e dell'Unione Astrofili Italiani;

b) provvede con apposita delibera a determinarne la relativa fascia di rispetto.

3. La Giunta Regionale provvede inoltre, entro centoventi giorni dall'entrata in vigore della presente legge, ad individuare mediante cartografia in scala adeguata le zone di protezione, inviando ai comuni interessati copia della documentazione cartografica.

4. Gli osservatori astronomici:

a) segnalano alle autorità territoriali competenti le sorgenti di luce non rispondenti ai requisiti della presente legge, richiedendone l'intervento affinché esse vengano modificate o sostituite o comunque uniformate ai criteri stabiliti;

b) collaborano con gli enti territoriali per una migliore e puntuale applicazione della presente legge secondo le loro specifiche competenze.

Articolo 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° ed 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 luci degli impianti in misura non inferiore al trenta per cento rispetto al pieno regime di operatività. La riduzione va applicata qualora le condizioni d'uso della superficie illuminata siano tali che la sicurezza non ne venga compromessa; 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, alla amministrazione della giustizia e della difesa.

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

4. L'illuminazione delle insegne non dotate di illuminazione propria deve essere realizzata dall'alto verso il basso.

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

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.

7. La modifica dell'inclinazione delle sorgenti di luce secondo i criteri indicati nel comma 2 del presente articolo deve essere attuata entro diciotto mesi dall'entrata in vigore della presente legge.

8. Le case costruttrici, importatrici o fornitrici devono certificare, tra le caratteristiche tecniche delle sorgenti di luce commercializzate, la loro rispondenza alla presente legge mediante apposizione sul prodotto della dicitura ''ottica antinquinamento luminoso e a ridotto consumo ai sensi delle leggi della Regione Lombardia'', e allegare, inoltre, le raccomandazioni di uso corretto.

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

10. Nell'illuminazione di edifici e monumenti devono essere privilegiati sistemi di illuminazione dall'alto verso il basso. Solo nel caso in cui ciò non risulti possibile e per soggetti di particolare e comprovato valore architettonico, i fasci di luce devono rimanere di almeno un metro al di sotto del bordo superiore della superficie da illuminare e, comunque, entro il perimetro degli stessi provvedendo allo spegnimento parziale o totale, o alla diminuzione di potenza impiegata entro le ore ventiquattro.

Articolo 7

(Norme Finanziarie)

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

Articolo 8

(Sanzioni per le zone tutelate)

1. Chiunque, nelle fasce di rispetto dei siti degli osservatori tutelati dalla presente legge, impiega impianti e sorgenti di luce non rispondenti ai criteri indicati negli articoli 6 e 9 incorre, qualora non modifichi gli stessi entro sessanta giorni dall'invito dei Comandi di polizia municipale del comune competente, nella sanzione amministrativa da lire 400.000 a lire 1.200.000.

2. Si applica la sanzione amministrativa da lire 700.000 a lire 2.100.000 qualora detti impianti costituiscano notevole fonte di inquinamento luminoso, secondo specifiche indicazioni che sono fornite dagli osservatori astronomici competenti, e vengano utilizzati a pieno regime per tutta la durata della notte anche per semplici scopi pubblicitari o voluttuari.

3. I proventi di dette sanzioni sono impiegati dai comuni per l'adeguamento degli impianti di illuminazione pubblica ai criteri di cui alla presente legge.

4. I soggetti pubblici, ivi compresi i comuni, che omettano di uniformarsi ai criteri di cui alla presente legge, entro i periodi di tempo indicati, sono sospesi dal beneficio di riduzione del costo dell'energia elettrica impiegata per gli impianti di pubblica illuminazione fino a quando non si adeguano alla stessa e, entro e non oltre quattro anni, alla normativa vigente.

5. Il provvedimento di cui al comma 4 è adottato con deliberazione della Giunta Regionale, previa ispezione e su segnalazione degli osservatori astronomici territorialmente competenti.

Articolo 9

(Disposizioni relative alle zone tutelate)

1. Entro quattro anni dalla data di entrata in vigore della presente legge tutte le sorgenti di luce non rispondenti agli indicati criteri e ricadenti nelle fasce di rispetto devono essere

sostituite e modificate in maniera tale da ridurre l'inquinamento luminoso e il consumo energetico mediante l'uso di sole lampade al sodio di alta e bassa pressione.

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

3. Per la riduzione del consumo energetico, i soggetti interessati possono procedere, in assenza di regolatori del flusso luminoso, allo spegnimento del 50 per cento delle sorgenti di luce entro le ore ventitre nel periodo di ora solare e 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° ed oltre, nonché di vetri di protezione trasparenti. E' 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 20 nel periodo di ora solare e entro le ore 22 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 deve essere spente entro le ore ventitre 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° ed oltre.

6. La modifica dell'inclinazione delle sorgenti di luce, secondo i criteri indicati, deve essere applicata entro sei mesi dalla data di entrata in vigore della presente legge.

Articolo 10

(Elenco degli osservatori)

1. Gli osservatori astronomici, astrofisici professionali da tutelare:
   - Osservatorio astronomico 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. Schiaparelli 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 Orobiche di Aviatico (BG)
- Osservatorio Astronomico ‘’Presolana’’ di Castione della Presolana (BG)
- Osservatorio Astronomico Sharru di 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 (CR)
- 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)

Articolo 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. E’ 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.

Articolo 12

(Entrata in vigore)

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.

E’ 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 di governo con nota del 21 Marzo 2000, prot. n. 23102/617).

Allegato 2 Legge della Regione Emilia Romagna n°19/03

"NORME IN MATERIA DI RIDUZIONE DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E DI RISPARMIO ENERGETICO"

Art. 1

Finalità

1. La Regione con la presente legge promuove la riduzione dell'inquinamento luminoso e dei consumi energetici da esso derivanti nonché la tutela dell'attività di ricerca e divulgazione scientifica degli osservatori astronomici.

2. Per tali finalità si considera inquinamento luminoso ogni forma di irradiazione di luce artificiale che si disperda al di fuori delle aree a cui essa è funzionalmente dedicata e se orientata al di sopra della linea dell'orizzonte.

Art. 2

Funzioni della Regione

1. La Regione, per garantire una omogenea applicazione delle norme della presente legge, esercita le funzioni di coordinamento ed indirizzo in materia di riduzione dell'inquinamento luminoso e dei consumi energetici.

2. Per le finalità di cui al comma 1, la Giunta regionale, sentita la competente Commissione consiliare:

a) emana, entro centoventi giorni dall'entrata in vigore della presente legge, direttive e specifiche indicazioni applicative, tecniche e procedurali, finalizzate, in particolare, alla riduzione del consumo energetico;

b) coordina la raccolta delle informazioni relative all'applicazione della presente legge, al fine di favorire lo scambio di informazioni in materia di riduzione dell'inquinamento luminoso e dei consumi energetici;

c) promuove, in accordo con gli Enti locali, iniziative di formazione in materia di illuminazione avvalendosi anche della collaborazione delle associazioni che si occupano di inquinamento luminoso, degli ordini professionali e di enti e associazioni competenti in materia.

Art. 3

Funzioni delle Province

1. Per le finalità della presente legge compete alle Province:

a) esercitare le funzioni di supporto e coordinamento ai Comuni per l'attuazione della presente legge;

b) curare la redazione e la pubblicazione dell'elenco degli osservatori astronomici e scientifici da tutelare sulla base delle richieste inoltrate dai gestori dei medesimi;

c) definire, sulla base dei criteri contenuti nella direttiva di cui all'articolo 2, comma 2, lettera a), l'estensione delle zone di protezione dall'inquinamento luminoso nell'intorno degli osservatori di cui alla lettera b), qualora interessi aree di più Comuni;

d) individuare, in collaborazione con i Comuni e su segnalazione degli osservatori astronomici e scientifici, le sorgenti di rilevante inquinamento luminoso da assoggettare ad interventi di bonifica;

e) aggiornare l'elenco delle aree naturali protette da tutelare.

Art. 4

Funzioni dei Comuni

1. Per le finalità della presente legge compete ai Comuni:

a) definire sulla base dei criteri contenuti nella direttiva di cui all'articolo 2, comma 2, lettera a) l'estensione delle zone di protezione dall'inquinamento luminoso nell'intorno degli osservatori di cui all'articolo 3, lettera b);

b) adeguare il regolamento urbanistico edilizio (RUE), di cui all'articolo 29 della legge regionale 24 marzo 2000, n. 20 (Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio), alle disposizioni della presente legge e predisporre un abaco in cui siano indicate, zona per zona, le tipologie dei sistemi e dei singoli corpi illuminanti ammessi tra cui i progettisti e gli operatori potranno scegliere quale installare;

c) dare ampia diffusione a tutti i soggetti interessati delle nuove disposizioni per la realizzazione degli impianti di illuminazione pubblica e privata;

d) individuare, anche con la collaborazione dei soggetti gestori, gli apparecchi di illuminazione responsabili di abbagliamento, e come tali pericolosi per laviabilità, da adeguare alla presente legge;

e) elencare le fonti di illuminazione che in ragione delle particolari specificità possono derogare dalle disposizioni della presente legge, fra cui rientrano in particolare i fari costieri, gli impianti di illuminazione di carceri, caserme e aeroporti;

f) svolgere le funzioni di vigilanza sulla corretta applicazione della legge.

2. Degli impianti di illuminazione redatti e progettati con le modalità previste dall'articolo 5 e dalle direttive di cui all'articolo 2, comma 2, lettera a), deve essere data preventiva comunicazione al Comune.

Art. 5

Requisiti tecnici e modalità d'impiego degli impianti di illuminazione

1. Tutti i nuovi impianti di illuminazione esterna pubblica e privata devono essere corredati di certificazione di conformità alla presente legge e devono essere:

a) costituiti da apparecchi illuminanti aventi un'intensità massima di 0 candele (cd) per 1000 lumen a 90 gradi ed oltre;

b) equipaggiati di lampade al sodio ad alta e bassa pressione, ovvero di lampade con almeno analoga efficienza in relazione allo stato della tecnologia e dell'applicazione;

c) realizzati in modo che le superfici illuminate non superino il livello minimo di luminanza media mantenuta previsto dalle norme di sicurezza, qualora esistenti, o, in assenza di queste, valori di luminanza media mantenuta omogenei e, in ogni caso, contenuti entro il valore medio di una candela al metro quadrato;

d) realizzati ottimizzando l'efficienza degli stessi, e quindi impiegando, a parità di luminanza, apparecchi che conseguono impegni ridotti di potenza elettrica e condizioni ottimali di interasse dei punti luce;

e) provvisti di appositi dispositivi in grado di ridurre, entro l'orario stabilito con atti delle Amministrazioni comunali, l'emissione di luci degli impianti in misura non inferiore al trenta per

cento rispetto al pieno regime di operatività: la riduzione non va applicata qualora le condizioni d'uso della superficie illuminata siano tali da comprometterne la sicurezza.

2. I requisiti di cui al comma 1 non si applicano per le sorgenti interne ed internalizzate, per quelle in impianti con emissione complessiva al di sopra del piano dell'orizzonte non superiore ai 2250 lumen, costituiti da sorgenti di luce con flusso totale emesso in ogni direzione non superiore a 1500 lumen cadauna, per quelle di uso temporaneo che vengono spente entro le ore venti nel periodo di ora solare ed entro le ventidue nel periodo di ora legale, per gli impianti di modesta entità e per gli impianti per i quali è concessa deroga, così come definito dalle direttive di cui all'articolo 2, comma 2, lettera a).

3. L'illuminazione di impianti sportivi deve essere realizzata in modo da evitare fenomeni di dispersione di luce verso l'alto e al di fuori dei suddetti impianti. Per tali impianti è consentito l'impiego di lampade diverse da quelle previste al comma 1, lettera b).

4. E' fatto divieto di utilizzare in modo permanente fasci di luce roteanti o fissi a scopo pubblicitario.

5. L'illuminazione degli edifici deve avvenire di norma dall'alto verso il basso. Solo in caso di illuminazione di edifici classificati di interesse storicoarchitettonico e monumentale e di quelli di pregio storico, culturale e testimoniale i fasci di luce possono essere orientati dal basso verso l'alto. In tal caso devono essere utilizzate basse potenze e, se necessari, dispositivi di contenimento del flusso luminoso disperso come schermi o alette paraluce.

Art. 6

Sanzioni

1. Salvo che il fatto costituisca reato, chiunque realizza impianti di illuminazione pubblica e privata in difformità alla presente legge è punito con la sanzione amministrativa da 500,00 euro a 2500,00 euro oltre a provvedere all'adeguamento entro sessanta giorni dalla notifica dell'infrazione.

2. Le somme derivanti dall'applicazione delle sanzioni previste dal comma 1 sono introitate dai Comuni.

Art. 7

Delegificazione

1. Alle modifiche ed integrazioni dei requisiti tecnici e delle modalità d'impiego degli impianti di illuminazione di cui all'articolo 5, provvede la Regione con proprio regolamento.

Art. 8

Contributi regionali

1. La Regione per agevolare l'attuazione della presente legge può concedere contributi ai Comuni per l'adeguamento degli impianti di illuminazione pubblica nell'ambito delle azioni previste nel programma triennale regionale per la tutela dell'ambiente di cui all'articolo 99 della legge regionale 21 aprile 1999, n. 3 (Riforma del sistema regionale e locale).

Bibliografia e fonti informatiche

Fonti bibliografiche

CIELOBUIO "*inquinamento luminoso e risparmio energetico. Un problema per tutti noi. Soluzioni e proposte per affrontarlo e risolverlo"* edito da CIELOBUIO in collaborazione con IDA e UAI p.6

CINZANO P."*light pollution and the protection of the night environment Venezia: salvare la notte"* 3 maggio 2002 edited by Pierantonio Cinzano pp.177, 184,196

FORNASARI L. (ed.), 2003 *"la migrazione degli uccelli nella valle del Ticino e l'impatto di Malpensa."* Consorzio Parco Lombardo della Valle del Ticino. *Presentazione,* pp.6-7, 74-75

H. Curtis, N. Sue Barnes "*Le scienze biologiche. Un percorso evolutivo"* Zanichelli 1995 p. 144

H. RAVEN, R.F.EVERT, S.E. EICHHORN *Biologia delle piante* V ed. 1999 pp. 93-96, 98-99

Siti internet e materiale on line

www.luceonline.it/articoli/caegoria2/definizionidellaluce.htm

http://inquinamentoluminoso.uai.it/impianti_illuminazione/rassegnacorpiilluminanti.htm

www.gaspra.org/Attivita/inqinamento/InLum.htm

http://dipastro.pd.astro.it/cinzano/web2/roman.html

http://www.cielobuio.org

http://www.venetostellato.it/conf-stamp-vicenza.doc

http://www.edilio.it/news/pdf/Relazione-Lampade.pdf

DAVID AVERY *The Effects of Light on Circadian Rhythms, Sleep and Mood*, December 2nd, 2000

„Ecological Consequences of Artificial Night Lighting" February 23-24, 2002 Los Angeles, California interventi di: SIDNEY A., GAUTHREAUX, JR. AND CARROLL, G. BELSER, G. EISENBEIS, K. D. FRANK, BRYANT W. BUCHANAN

KOCHEVAR, RANDALL E. *"Effects of Artificial Light on Deep Sea Organisms: Recommendations for ongoing use of artificial lights on deep sea submersibles."*

CASAGRANDE R., GIULINI P. *"Mesuring and modelling light pollution"* ed. P. CINZANO Mem. Soc. Astron. It. Vol 71 n° 1 2000 "city light and urban green" p. 55 (formato elettronico da http://dipastro.pd.astro.it/cinzano/web2/roman.html

"Rapporto ISTIL 2001. Stato del cielo notturno e inquinamento luminoso in Italia" pp.15-32

indice delle figure

Figura 1:esempi di illuminazione errata. A sinistra una piazza e a destra un tratto di strada della Repubblica Ceca. 3

Figura 2: un fascio di luce che attraversa un prisma si scompone in tutti i suoi colori. [Fonte: L*e scienze biologiche. Un percorso evolutivo* H. Curtis, N. Sue Barnes] 8

Figura 3: in questa figura si può vedere quanto sia ristretta la banda della luce visibile all'interno di tutto lo spettro elettromagnetico. [Fonte: L*e scienze biologiche. Un percorso evolutivo* H. Curtis, N. Sue Barnes] 8

Figura 4: Localizzazione dello scalo aeroportuale della Malpensa all'interno dell'area del Parco del Ticino. 18

Figura 5: illuminazione del sistema viario che porta a Malpensa 19

Figura 6: questi grafici mostrano gli spettri di emissione delle più comuni lampade per l'illuminazione esterna. Fig 1: spettro solare; Fig 2: lampada ad incandescenza; fig 3:lampada al quarzo; fig: 6 lampada al sodio ad alta pressione; fig &: lampada al sodio a bassa pressione 28

Figura 7: questi grafici mettono a confronto lo spettro di emissione delle lampade al mercurio con gli spettri di assorbimento dei pigmenti fotosintetici. Questo è stato fatto per mettere in evidenza quali fossero i pigmenti maggiormente sensibili alle emissioni di questo tipo di lampada. 29

Figura 8: immagine dell'Italia ripresa dal satellite. La luce in questa immagine è quella sfuggita nello spazio (emessa direttamente dagli apparecchi o riflessa da superfici e pavimentazioni). L'immagine mette in evidenza le aree più illuminate del nostro paese. [Fonte: *light pollution and the protection of the night environment Venezia: salvare la notte* p.97] 32

Figura 9: brillanza artificiale del cielo notturno a livello del mare. In questo caso i livelli della brillanza artificiale sono espressi come frazione della brillanza naturale di riferimento che equivale a 252µcd/m^2. 33

Figura 10: Mappa della brillanza totale del cielo notturno.....35

Figura 11: mappa della visibilità delle stelle a occhio nudo. 37

Figura 12: mappa del degrado della visibilità delle stelle ad occhio nudo. I valori della tabella si riferiscono alla perdita di magnitudine.....39

Indice dei grafici e delle tabelle

Grafico 1: in questo grafico si possono vedere le bande di emissione dei tre tipi di lampade più comunemente utilizzate per l'illuminazione esterna. [fonte http://digilander.iol.it/photallica] 14

Tabella 1: in questa tabella sono indicati i valori minimi e massimi di illuminazione di alcuni corpi celesti e di alcuni luoghi e situazioni quotidiane.....11

Tabella 2: indicazione della corrispondenza tra magnitudine e la qualità del cielo visibile. 34

Tabella 3: Indicazione dei livelli di brillanza artificiale. tali valori sono espressi come frazione della brillanza naturale di riferimento (252µcd/m^2.) 40