



c/o Ente di Gestione del Parco Naturale Laghi di Avigliana, via M. Pirchiriano 54, 10051 Avigliana (TO)
info@centroregionalechiroterteri.org www.centroregionalechiroterteri.org

Pipistrelli e inquinamento luminoso

a cura di Elena Patriarca e Paolo Debernardi



Eptesicus serotinus

Documento aggiornato al dicembre 2010 nell'ambito del progetto *BATS AND LIGHTING OF MONUMENTAL BUILDINGS*, promosso da UNEP/EUROBATS - Accordo sulla conservazione delle popolazioni di pipistrelli europei, col sostegno finanziario del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare della Repubblica Italiana e del Ministero dell'Ecologia, dell'Energia, dello Sviluppo sostenibile e del Mare della Repubblica Francese (EUROBATS Projects Initiative: <http://www.eurobats.org/EPI/EPI.html>).



1. PREMESSA

Nella loro lunghissima storia evolutiva gli organismi viventi si sono adattati alle variazioni naturali di luminosità. Negli ultimi 150-200 anni l'illuminazione artificiale ha repentinamente creato condizioni di luminosità notturna profondamente diverse da quelle naturali. L'alterazione interessa gli ambienti terrestri così come quelli acquatici, con conseguenze potenzialmente ad amplissimo spettro e, anche per tal motivo, difficili da caratterizzare con precisione. Va aggiunto, purtroppo, che gli studiosi hanno dedicato scarsissima attenzione alla problematica e ciò fa sì che il quadro delle informazioni attualmente disponibili circa gli effetti della luce artificiale su organismi, specie, comunità biologiche ed ecosistemi sia estremamente lacunoso.

Questo documento riguarda il rapporto fra la luce artificiale e i chirotteri (pipistrelli), occupandosi anche di insetti in quanto principali prede dei chirotteri. Riassume le conoscenze disponibili e segnala problemi potenziali, relativi ad aspetti che presentano caratteristiche di criticità, ma che non sono stati studiati sufficientemente, cosicchè non è possibile valutarne significatività e rilevanza. Propone misure per minimizzare tali problemi, certi o potenziali che siano (il principio di precauzionalità impone che ci si occupi anche di questi ultimi) e formula suggerimenti per migliorare, con le stesse finalità, il quadro normativo.

Nell'ambito dei mammiferi, i chirotteri rappresentano uno degli ordini più ricco di specie, in Italia il più ricco. Sono particolarmente esposti agli effetti dell'inquinamento luminoso a causa delle abitudini notturne. Hanno grande rilevanza di conservazione (molte specie sono minacciate d'estinzione) e importante ruolo ecologico (sono i principali predatori di insetti notturni).

Gli insetti costituiscono la classe zoologica di gran lunga più importante come numero di specie e la maggior parte di esse sono notturne. Sono inoltre la componente animale che, attraverso molteplici ruoli ecologici (impollinatori, prede, predatori, detritivori, defoliatori, ecc.), maggiormente condiziona la funzionalità degli ecosistemi terrestri.

2. EFFETTI DELL'ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE SUI CHIROTTERI

2.1. Facilitazione dell'attività di foraggiamento

Varie specie di pipistrelli foraggiano (cacciano) abitualmente nelle aree illuminate artificialmente. *Tadarida teniotis*, specie di taglia cospicua e a volo rapido, caccia in alto, sopra gli edifici e, spesso, sopra i lampioni più alti, come quelli per l'illuminazione dei campi sportivi. La sua presenza è rivelata dai cospicui "schiocchi" acuti che emette con regolarità, ma lo schermo delle luci sopra le quali vola e l'altezza, ne impediscono di norma l'avvistamento. Altre specie – ad esempio *Eptesicus nilssonii* e *Nyctalus noctula* - percorrono con volo diretto gli allineamenti di lampioni, mantenendosi appena al di sopra di essi e, ogni tanto, si gettano nei coni di luce per catturare le prede. Molto più facili da osservare le specie di piccola taglia, volo discretamente veloce e "manovrato", come *Pipistrellus kuhlii* e *Pipistrellus pipistrellus*, che utilizzano intensamente le aree in luce, muovendosi spesso intorno a singoli lampioni.

La luce, in particolare quella di determinate lunghezze d'onda, esercita su molte specie di insetti effetto attrattivo. Presso i lampioni che emettono luce più attrattiva si concentrano maggiori quantità di insetti (cfr. 3.1) ed è più intensa l'attività dei chirotteri (Rydell, 1992; Blake *et al.*, 1994).

Oltre a poter approfittare della concentrazioni di prede, tali chirotteri sono facilitati nella loro attività di foraggiamento dalle alterazioni comportamentali che gli insetti mostrano presso le fonti di luce artificiale. Un esempio è dato dalle falene timpanate, ossia dotate di organi ("timpani") che

consentono la percezione degli ultrasuoni emessi dai pipistrelli. In presenza di tali predatori le falene mettono in atto strategie evasive, ad esempio adottano traiettorie di volo più difficili da seguire, si lasciano cadere come oggetti inanimati, smettono temporaneamente di volare o, ancora, emettono segnali acustici di disturbo. E' stato osservato che le falene che volano presso i lampioni continuano a farlo nonostante la presenza di pipistrelli (Acharya e Fenton, 1999) e dimostrato sperimentalmente che determinate falene, esposte alla luce di lampade al vapore di mercurio, adottano i comportamenti difensivi con frequenza molto inferiore alla norma (Svensson e Rydell, 1998).

Sono stati evidenziati effetti positivi, per i chirotteri, del foraggiamento presso i lampioni. Le ricerche condotte in Svezia su *Eptesicus nilssonii*, ad esempio, hanno dimostrato che gli esemplari di tale specie riescono a catturare presso i lampioni una biomassa di insetti maggiore che altrove, in particolare grazie alla concentrazione delle falene (Rydell, 1992). In Svizzera è stato ipotizzato che uno dei motivi della locale espansione demografica di *Pipistrellus pipistrellus* sia la concentrazione di insetti sotto i lampioni, che tale specie frequenta intensamente (Arlettaz *et al.*, 1999).

In termini generali, si può ipotizzare che la presenza di lampioni che determinano concentrazioni di prede sia vantaggiosa per i chirotteri che hanno imparato a sfruttare tale risorsa a patto che i benefici non siano superati dalle conseguenze negative dell'illuminazione, discusse nel seguito. In particolare è rilevante che gli effetti negativi dei lampioni sulle prede non ne causino una rarefazione con conseguenze significative sui chirotteri stessi.

Tali considerazioni non si applicano, in ogni caso, ai chirotteri che non foraggiano presso i lampioni.



2.2. Incremento del rischio connesso ad alcuni fattori di mortalità

Il foraggiamento nelle aree illuminate espone i chirotteri che lo praticano a un maggior rischio di predazione, dal momento che presso le fonti di luce possono essere attivi sia predatori notturni (strigiformi, gatti), sia predatori diurni (falconidi, corvidi, laridi).

In prossimità dei lampioni stradali aumenta inoltre il rischio di mortalità per investimento da parte degli autoveicoli (Rydell, 1991; Brinkmann *et al.*, 2008).

2.3. Riduzione degli ambienti di attività notturna, interferenza con gli spostamenti

Varie specie di chirotteri non foraggiano presso i lampioni e difficilmente si osservano nelle aree illuminate. Fra di esse vi sono specie di grande interesse conservazionistico, in particolare appartenenti ai generi *Rhinolophus* e *Myotis* (Reinhold, 1993; Fure, 2006; Rydell, 2006; Stone *et al.*, 2009).

Il comportamento lucifugo è stato posto in relazione all'esigenza di minimizzare il rischio di predazione (Jones, 2000), in analogia con la spiegazione in chiave antipredatoria dei limiti orari dell'attività dei chirotteri, essenzialmente crepuscolare/notturna (Speakman, 1991; Jones e Rydell, 1994; Rydell e Speakman, 1995; Rydell *et al.*, 1996; Duvergé *et al.*, 2000; Petrzalkova e Zukal, 2001).

E' anche possibile che il fenomeno sia condizionato dalle capacità sensoriali.

Vari dati indicano che la percezione visiva dei chiroteri è migliore in condizioni di bassa luminosità e peggiora in luce intensa (per una sintesi: Eklöf, 2003).

Si è a lungo ritenuto che la retina dei microchiroteri contenesse esclusivamente bastoncelli, i fotorecettori alla base della visione "scotopica" (che si esercita a bassi livelli di luminosità e non consente la percezione cromatica). Successivamente tale tesi è stata messa in dubbio da evidenze contrastanti e di recente è stato dimostrato come, per lo meno in alcune specie (fra le quali *Rhinolophus ferrumequinum*), siano presenti anche significative quantità di coni (Kim *et al.*, 2008; Muller *et al.*, 2009). Secondo Peichl (2005) la presenza di coni potrebbe riguardare tutti i microchiroteri. Tale caratteristica costituisce un requisito per la visione diurna, la percezione di colori e degli UV (ultravioletti). Relativamente a questi ultimi va precisato che, oltre alla presenza di fotorecettori sensibili, la possibilità che vengano percepiti è condizionata dal fatto che le componenti oculari (cornea, cristallino, umor vitreo) lascino passare tali radiazioni. La percezione degli UV è stata dimostrata nelle due specie di fillostomidi prese in considerazione da Muller *et al.* (2009), ma è probabilmente diffusa fra i microchiroteri, come suggerito da evidenze genetiche (Wang *et al.*, 2004; Zhao *et al.*, 2009).

I pochi dati elettrofisiologici disponibili suggeriscono che i coni dei chiroteri contribuiscano efficacemente alla visione in condizioni di luminosità intermedia (visione "mesopica"), andando incontro a rapida saturazione in corrispondenza di livelli di luminosità diurna (Muller *et al.*, 2009). La scoperta della presenza dei coni non inficia, pertanto, l'ipotesi che le capacità visive dei chiroteri siano minori in luce intensa e che ciò, come proposto da Fure (2006), possa condizionare il comportamento lucifugo. Pone inoltre in luce la possibilità che le lampade che producono UV causino problemi ai chiroteri che percepiscono tali radiazioni, anche solo perché alterano le condizioni naturali di presenza di UV nell'ambiente, ossia di una connotazione ambientale percepita. Inoltre è stato evidenziato che, se i chiroteri non posseggono un filtro oculare che li blocca, è possibile che gli UV delle lampade ne disturbino la percezione visiva e causino danni alla retina (Fure, 2006).

Occorre altresì considerare la possibilità che l'illuminazione artificiale interferisca con capacità sensoriali diverse da quella visiva.

E' stato riportato il caso di esemplari della specie americana *Myotis lucifugus* che hanno mostrato un drastico peggioramento nella capacità di evitare un ostacolo di grosse dimensioni in condizioni di illuminazione artificiale (McGuire e Fenton, 2010). Non è stato verificato se il problema dipendesse dal passaggio (quando nell'esperimento veniva accesa la luce) dall'uso dell'ecolocalizzazione a quello, meno efficace, della vista, o piuttosto fosse causato da un decremento nell'abilità di ecolocalizzare. La prima ipotesi troverebbe sostegno nei risultati di esperimenti coinvolgenti altre specie di chiroteri (sintesi in: Eklöf, 2003), ma la seconda è suggerita dal fatto che, almeno parte degli esemplari monitorati, hanno dimostrato di variare, in condizione di illuminazione, determinate caratteristiche delle emissioni acustiche finalizzate all'ecolocalizzazione (accorciamento dell'intervallo fra i segnali).

Per completezza d'informazione circa le possibili interazioni fra luce artificiale e percezione, si deve accennare alla capacità di percepire il campo magnetico terrestre, dimostrata nei chiroteri recentemente (Holland *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2007).

Prove di *homing* (ritorno al rifugio dopo rilascio a distanza) effettuate su *Myotis myotis* hanno portato a rilevare che la specie usa una "bussola" interna dopo averla calibrata sulla base di informazioni derivate dal sole (Holland *et al.*, 2010). La scoperta è sorprendente anche perché *Myotis myotis* intraprende l'attività serale ben dopo il tramonto, quando della presenza del sole in cielo rimane solo un tenue alone luminoso.

I ricercatori hanno impostato i test in maniera da escludere la possibilità che la luce solare arrivasse agli esemplari in forma polarizzata (è noto che gli uccelli utilizzano la luce polarizzata per calibrare il meccanismo di orientamento magnetico), ma ciò non ha impedito la calibrazione. Questo non consente di escludere che in condizioni naturali, ossia in presenza di luce polarizzata, i chiroterri utilizzino anche tale tipo di informazione, ma attualmente non è noto se essi posseggano la capacità di farlo. Tale abilità non è segnalata neppure in altri mammiferi (Horvath e Varju, 2004).

Quanto sopra suggerisce in ogni caso che interazioni fra informazioni relative alla luce e informazioni relative al campo magnetico possano essere rilevanti anche negli spostamenti a maggior distanza, ossia nei movimenti migratori (varie specie di chiroterri effettuano migrazioni stagionali a breve, medio e lungo raggio). Rende dunque necessario che si consideri la possibilità che l'illuminazione artificiale interferisca negli spostamenti dei chiroterri determinando errori nell'orientamento su base magnetica.

Al di là di quali ne siano le motivazioni, sono state raccolte prove sperimentali del fatto che le luci artificiali possono condizionare negativamente l'utilizzo dell'ambiente di attività notturna e gli spostamenti dei chiroterri.

In situazioni sperimentali di illuminazione controllata, esemplari di *Myotis dasycneme* hanno dimostrato di reagire alle luci (lampade alogene) modificando momentaneamente le traiettorie abituali di volo (Kuijper *et al.*, 2008).

In *Rhinolophus hipposideros* sono stati accertati una drastica riduzione dell'attività in corrispondenza delle luci (lampade al sodio ad alta pressione) e un ritardo nell'avvio degli spostamenti serali in corrispondenza delle fasi sperimentali caratterizzate da luci attivate. Anche i bassi valori di illuminamento (mediamente pari a 4,17 lux) registrati lungo le rotte di spostamento (siepi) sul lato opposto a quello illuminato sono risultati condizionare negativamente la presenza degli esemplari (Stone *et al.*, 2009).

L'attività dovuta al passaggio di esemplari di *Myotis lucifugus* in fasi caratterizzate da illuminazione è risultata significativamente minore che nelle fasi in cui le luci venivano spente (McGuire e Fenton, 2010).

Le luci artificiali possono dunque rappresentare barriere, che riducono gli ambienti a disposizione e obbligano a traiettorie di spostamento alternative rispetto a quelle ottimali, con varie possibili conseguenze negative, come lo spreco di energie (percorsi più lunghi e tortuosi) e maggiori rischi a causa dell'esposizione a condizioni più ostili (predatori, fattori meteorologici sfavorevoli).

2.4. Riduzione della qualità dei siti di rifugio

I chiroterri utilizzano *roost* (siti di rifugio) di grande volume (grotte, miniere abbandonate, determinati vani degli edifici) che sono prevalentemente caratterizzati da completa oscurità, oppure *roost* di piccolo volume (cavità e fessure all'interno di pareti rocciose, costruzioni e alberi; spazi dietro componenti schermanti come cortecce sollevate, ante di finestre tenute aperte, ecc.) per lo meno parzialmente riparati dalla luce.

Alcune specie, come *Myotis emarginatus* e *Rhinolophus ferrumequinum*, mostrano una certa tolleranza rispetto al fattore luminosità del *roost* e si osservano sia in siti totalmente bui, sia in siti moderatamente luminosi. Ciò non comporta necessariamente che siti bui e siti più in luce abbiano per esse il medesimo valore. I casi di dispersione di colonie riproduttive di *Myotis emarginatus* a causa dell'attività di predazione da parte di gazze, da noi ripetutamente osservati in *roost* all'interno di stalle (Debernardi *et al.*, 2010), suggeriscono che i siti più in luce abbiano caratteristiche subottimali, esponendo a maggiori rischi di predazione.

L'illuminazione artificiale interna dei siti di rifugio rappresenta un fattore che altera una delle connotazioni abituali dei *roost*. All'interno di una grotta utilizzata da una colonia riproduttiva della

specie americana *Myotis velifer* è stato dimostrato sperimentalmente che fra i fattori di disturbo connessi alle visite antropiche (luce, rumore, numero di visitatori) è l'intensità dell'illuminazione la causa che determina maggior agitazione negli esemplari (Mann *et al.*, 2002).

La completa illuminazione dei *roost* dà luogo a repentini e spesso drastici decrementi del numero di esemplari presenti nei siti (Laidlaw e Fenton, 1971) ed è considerata uno dei motivi che inducono i chiroterri ad abbandonare le grotte turisticizzate.

Anche l'illuminazione esterna dei *roost* può avere conseguenze negative, soprattutto se intercetta gli accessi e i passaggi che gli esemplari usano per andare e venire dai siti. In varie specie di chiroterri è descritto il comportamento di “*light sampling*” (campionamento della luce): all'inizio dell'attività serale si osservano esemplari che volano dalle aree più interne e buie dei siti di rifugio a quelle in prossimità dell'uscita o compiono brevi voli esternamente ai rifugi per poi rientrarvi (Erkert, 1982; Fure, 2006). Il comportamento riguarda solo una parte degli esemplari delle colonie, ma nonostante l'emergenza serale dal *roost* risulta fortemente sincronizzata. Ricerche condotte sulla specie asiatica *Hipposideros speoris* hanno dimostrato che la sincronizzazione è dovuta a contatti sociali fra gli esemplari (Marimuthu *et al.*, 1981).

L'esigenza di evitare un'uscita troppo precoce dai *roost* è stata messa da vari Autori in rapporto al maggior rischio di predazione in condizioni di maggior luminosità (si veda, ad esempio, Duvergè *et al.*, 2000), ma è possibile che anche i problemi di percezione sensoriale citati in 2.3 concorrano a spiegarla.

Vari studi e indagini locali attestano come l'illuminazione artificiale esterna dei *roost* determini ritardo nell'involo serale degli esemplari e, conseguentemente, accorciamento del periodo di alimentazione (Downs *et al.*, 2003; Verkem e Moermans, 2002; Theiler, 2004; Beck, 2005; Krattli e SSF, 2005; Boldogh *et al.*, 2007), in corrispondenza di una fase oraria che, per disponibilità di prede, è particolarmente propizia per il foraggiamento (Racey e Swift, 1985; Rydell *et al.*, 1996). Merita evidenziare che gli studi di cui si è a conoscenza attestano una sensibilità all'illuminazione dei *roost* da parte di tutte le specie considerate, compresi chiroterri come *Pipistrellus pygmaeus* che utilizzano i lampioni per il foraggiamento (Bartonicka *et al.*, 2008).

In colonie riproduttive di *Myotis emarginatus* e *M. (blythii) oxignathus* utilizzando *roost* illuminati è stato registrato un minor accrescimento dei piccoli rispetto a colonie in *roost* analoghi ma non illuminati (Boldogh *et al.*, 2007). Tale aspetto è rilevante poiché il raggiungimento di un peso corporeo adeguato prima dell'inverno è un fattore essenziale nel condizionare la sopravvivenza degli esemplari durante il letargo.

Anche a causa dell'illuminazione esterna, le colonie possono subire decrementi numerici e abbandonare i rifugi (Beck, 2005). E' probabile che le conseguenze degli abbandoni siano aggravate dal comportamento di filopatria, descritto per molte specie di chiroterri: le femmine nate in un sito tornano a partorire nello stesso sito ed hanno difficoltà a trovare siti riproduttivi alternativi.

Esperienze di illuminazione esterna di *roost* di *P. pygmaeus* (Downs *et al.*, 2003) e di illuminazione interna in *roost* di *Myotis velifer* (Mann *et al.*, 2002) hanno dimostrato come il disturbo sui chiroterri dipenda primariamente dall'intensità luminosa e secondariamente dalle caratteristiche spettrali della luce, essendo maggiore quando viene usata luce bianca, intermedio con luce blu e minore con luce rossa.

2.5. Alterazione dei ritmi biologici

Si è detto che l'avvio dell'attività notturna dei chiroterri può essere ritardato dall'illuminazione dei loro siti di rifugio. L'alterazione delle condizioni di naturali di luce e buio denota in realtà

potenzialità d'interferenza più a largo spettro, per la cui comprensione è necessario richiamare alcuni concetti di cronobiologia.

Numerosi processi biochimici, fisiologici e comportamentali che variano in modo ciclico (cioè si ripetono con le stesse connotazioni a intervalli temporali regolari) dipendono da fattori interni degli organismi, ma sono sincronizzati ai ritmi temporali dell'ambiente sulla base di stimoli esterni (detti "zeitgeber" ossia sincronizzatori). Il "meccanismo anatomico" che controlla i fattori interni e li sincronizza con l'ambiente è chiamato orologio biologico.

Sono detti "ritmi circadiani" i processi che hanno un ciclo di circa 24 ore (ad esempio: determinate variazioni della temperatura corporea, la secrezione ormonale, l'alternanza sonno/veglia, ecc.) e "ritmi circannuali" quelli con periodicità approssimativamente annuale (ad esempio: il ciclo riproduttivo degli animali con riproduzione stagionale, le mute, il letargo, le migrazioni, l'assunzione di cibo e l'accumulo di riserve lipidiche, ecc.).

Le variazioni della luminosità dell'ambiente naturale che si registrano durante le 24 ore e (nelle aree del pianeta ove si osserva stagionalità) le progressive variazioni della durata relativa del dì e della notte nel corso dell'anno rappresentano le informazioni più importanti per la sincronizzazione con l'ambiente esterno degli orologi biologici degli organismi viventi. Conseguentemente si può ipotizzare che variazioni artificiali della luminosità possano interferire con tali processi di regolazione, determinando alterazioni nelle funzioni controllate.

Purtroppo le conoscenze circa il funzionamento degli orologi biologici nelle diverse specie, i parametri ambientali rilevanti (per quanto riguarda la luce: variazioni dell'intensità luminosa, caratteristiche spettrali, durata dell'esposizione, ecc.) e i meccanismi (biochimici, anatomici, etologici, ecc.) con cui gli organismi rispondono a tali stimoli sono ancora molto limitate.

Nei mammiferi la sede centrale dell'orologio biologico circadiano è rappresentata dai nuclei soprachiasmatici dell'ipotalamo; esistono poi numerosi "oscillatori" periferici che interagiscono più o meno intensamente con tale *pacemaker* centrale, contribuendo all'espressione dei ritmi.

I nuclei soprachiasmatici ricevono informazioni sulla luminosità (quantità e qualità della luce, durata delle fasi di illuminazione in rapporto alle fasi di buio) attraverso gli occhi. In tale processo intervengono i fotorecettori retinici conosciuti da lungo tempo, ossia coni e bastoncelli, ma ricerche recenti hanno dimostrato come il ruolo chiave spetti a un fotorecettore scoperto da pochi anni (Berson *et al.*, 2002; Hattar *et al.*, 2002), corrispondente alle cellule dei gangli della retina che sono state denominate "intrinsecamente fotosensibili" o "cellule dei gangli della retina a melanopsina", dal nome del pigmento fotosensibile che contengono.

La presenza di tali cellule è stata finora accertata in tutti i mammiferi nei quali sono stati condotti indagini specifiche, ossia varie specie appartenenti agli ordini lagomorfi, roditori, carnivori e primati (Do e Yau, 2010). Secondo nove diversi studi condotti in vivo su roditori e primati (uomo compreso) le risposte fisiologiche da esse mediate sono massime in corrispondenza di esposizione a luce di lunghezza d'onda compresa fra 459 e 484 nm, ossia nella banda cromatica blu (sintesi in Brainard e Hanifin, 2005). Vari studi hanno fornito chiare prove di come sia la melanopsina a mediare la fototransduzione (in particolare: Melyan *et al.*, 2005; Qiu *et al.*, 2005; Panda *et al.*, 2005), benché per la piena comprensione delle caratteristiche fotochimiche della molecola necessitino ancora approfondimenti (Brainard *et al.*, 2008; Do e Yau, 2010).

Le cellule dei gangli della retina intrinsecamente fotosensibili raggiungono coi loro assoni oltre una dozzina di regioni del cervello, fra le quali i nuclei soprachiasmatici e la zona subparaventricolare ventrale, implicata nel fenomeno di "negative masking" (riduzione dell'attività locomotoria, a causa della luce, in specie notturne).

I nuclei soprachiasmatici sono a loro volta connessi con altre regioni del cervello e con sistemi periferici. Merita in particolare evidenza il loro rapporto con l'epifisi o ghiandola pineale. I nuclei soprachiasmatici comunicano alla ghiandola l'informazione sulla luce esterna ricevuta dalla retina e ciò condiziona la secrezione di un neuroormone, la melatonina. Tale molecola viene infatti prodotta

solo nelle ore notturne, sia nei mammiferi diurni che notturni (Challet, 2007), e la sua secrezione è soppressa dall'esposizione alla luce. Nell'uomo la soppressione, già rilevante a 420 nm, è massima a lunghezze d'onda comprese fra 446 e 477 nm (luce blu) (Brainard *et al.*, 2008).

La melatonina trasforma quindi il segnale di luminosità ambientale in segnale endocrino e, interagendo con ghiandole e organi bersaglio, ha un ruolo importante nel condizionare ritmi circadiani e circannuali (si vedano ad esempio: Paul *et al.*, 2008; Zawilska *et al.*, 2009). Va aggiunto che la molecola, secreta sotto la diretta influenza dei nuclei soprachiasmatici, condiziona i nuclei stessi agendo attraverso specifici recettori posti nell'area e contribuendo in tal modo alla sincronizzazione dell'orologio biologico.

Gli argomenti cui si è fatto cenno sono attualmente oggetto di un'attività di ricerca straordinariamente intensa. Contribuisce a spingere l'approfondimento delle conoscenze il fatto che l'esposizione alla luce artificiale durante la notte, soprattutto per via della soppressione della produzione della melatonina (ma non solo), è stata posta in relazione all'incidenza di numerose patologie, fra le quali anche alcune forme di cancro (la melatonina ha anche proprietà antiossidanti e oncostatiche) (si vedano ad esempio: Pauley, 2004; Navara e Nelson, 2007; Stevens *et al.*, 2007). La piena comprensione dei meccanismi che regolano i ritmi circadiani e circannuali dei mammiferi è tuttavia ancora lontana. Per quanto riguarda i chiroterri, in particolare, al momento in cui si scrive (novembre 2010) non si è a conoscenza di alcun lavoro pubblicato circa l'eventuale presenza del "nuovo" fotorecettore retinico, ossia delle cellule dei gangli della retina intrinsecamente fotosensibili.

Le informazioni su ritmi biologici e luce direttamente riferibili ai microchiroterri risultano frammentarie e prevalentemente relative a specie estranee alla fauna europea.

Proprio in un microchiroterro (nella specie neotropicale *Molossus molossus*) è stata osservata la più bassa soglia di intensità luminosa (10^{-5} lux) condizionante la sincronizzazione dei ritmi circadiani di attività finora registrata nei vertebrati (Erkert, 2004); nel caso specifico si ritiene probabile la mediazione da parte dei bastoncelli, essendo questi i fotorecettori dei mammiferi più sensibili in condizioni di bassa luminosità.

La specie più studiata per quanto riguarda l'espressione dei ritmi circadiani è probabilmente *Hipposideros speoris*, microchiroterro asiatico che utilizza come rifugi le cavità ipogee. Illuminando internamente un rifugio della specie è stata osservata la soppressione della sincronizzazione del ritmo attività/riposo che normalmente avviene attraverso contatti sociali (Marimuthu e Chandrashekar, 1983). Esponendo gli esemplari a impulsi luminosi monocromatici sono stati ottenuti sfasamenti del ritmo attività/riposo che suggeriscono la presenza di due fotorecettori condizionanti il ritmo medesimo: uno più importante nel regolare l'avvio dell'attività serale, con picco di sensibilità a 430 nm (illuminando con luce di tale lunghezza d'onda si osserva un evidente ritardo dell'attività di involo serale), l'altro rilevante nel condizionare il ritorno alla fase di riposo, con picco di sensibilità a 520 nm. La luce bianca prodotta da lampade a fluorescenza tuttavia, benché presentante entrambi le componenti spettrali, è risultata evocare principalmente il ritardo serale, come se stimolasse maggiormente il recettore a bassa lunghezza d'onda (Joshi e Chandrashekar, 1985).

In esemplari indiani di *Taphozous nudiventris*, utilizzando come *roost* fessure rocciose, è stata osservata una maggior risposta, nei cambiamenti di fase, per lunghezze d'onda superiori ai 600 nm (Sripathi, 1982). Tale dato, unitamente ai risultati di elettroretinogrammi (test con cui si valuta la sensibilità della retina a stimoli luminosi di diversa lunghezza d'onda) condotti su alcune altre specie di chiroterri ed evidenzianti picchi di sensibilità retinica a 500 e 570 nm (Hope e Bhatnagar, 1979a), ha portato vari Autori a suggerire una possibile corrispondenza fra la sensibilità retinica a lunghezze d'onda più elevate e l'utilizzo di *roost* più esposti alla luce (Hope e Bhatnagar, 1979a, b; Joshi e Chandrashekar, 1985). Recentemente è stato tuttavia evidenziato come, per lo meno in

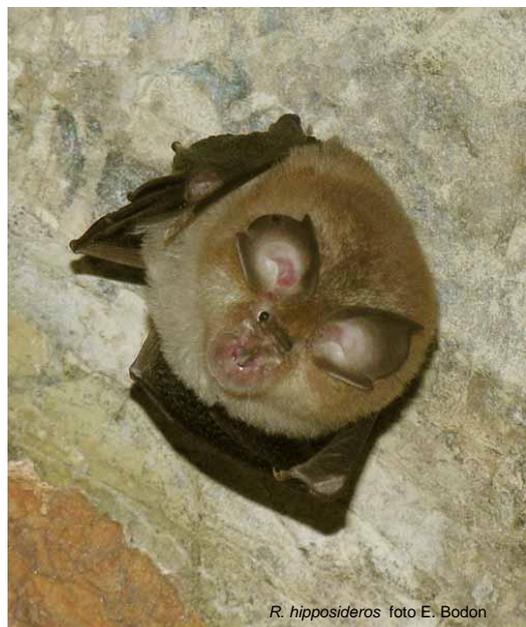
parte degli studi considerati, non fosse stata verificata la sensibilità a lunghezze d'onda inferiori a 440 nm (Muller *et al.*, 2009).

Per quanto riguarda l'eventualità che l'illuminazione determini alterazioni dei ritmi biologici interferendo con la secrezione della melatonina, si tratta di un problema certamente potenzialmente rilevante anche per i chiroteri. Benché, anche in questo caso, le conoscenze disponibili siano limitate, è stato suggerito ad esempio che in alcune specie di microchiroteri la melatonina possa condizionare l'attività riproduttiva (Kawamoto, 2003), i meccanismi di stoccaggio spermatico (Beaseley *et al.*, 1984), l'ovulazione ritardata (Srivastava e Krishna, 2010a), l'impianto ritardato (Haldar e Yadav, 2006), il metabolismo del glucosio durante l'ibernazione (Srivastava e Krishna, 2010b) e sono state ipotizzate funzioni generali di regolazione di ritmi circadiani e circannuali sulla base della localizzazione dei recettori per la molecola nell'encefalo (Schwartz *et al.*, 2009).

2.6. Alterazione dei rapporti di competizione

Il fatto che alcune specie di chiroteri evitino le aree illuminate artificialmente, mentre altre le frequentano, utilizzandole in particolare per l'alimentazione, rende le specie del secondo gruppo potenzialmente più competitive delle prime nello sfruttamento degli ambienti illuminati.

In Svizzera è stato suggerito che ciò abbia contribuito a un possibile caso di esclusione competitiva fra *Pipistrellus pipistrellus* e *Rhinolophus hipposideros*. La prima specie, alimentandosi sotto i lampioni, potrebbe aver sottratto alla seconda risorse trofiche essenziali nei momenti di minor disponibilità di prede (Arlettaz *et al.*, 2000). Va precisato che gli Autori del lavoro sono estremamente cauti nel suggerire tale ipotesi. Aggiungiamo che, in mancanza di una quantificazione della rilevanza per *R. hipposideros* del decremento nella disponibilità di prede a causa dei soli lampioni (ossia anche qualora non vi fossero *P. pipistrellus* a consumarle) risulta arduo chiarire il ruolo della specie competitorice (a determinare l'esclusione potrebbero bastare i lampioni).



R. hipposideros foto E. Bodon

Fenomeni di competizione a causa della luce artificiale sono ipotizzabili anche fra chiroteri e specie appartenenti ad altri gruppi zoologici. Una possibilità è stata suggerita da Allegri (2007) in relazione ad osservazioni ripetute di grossi stormi (fino a 300 esemplari) di gabbiani comuni (*Larus ridibundus*), intenti a predare, nottetempo, le falene attratte da una torre faro dotata di lampade ad alogenuri e da alcuni lampioni più bassi.

2.7. Impoverimento (quantitativo/qualitativo) delle risorse alimentari

L'alimentazione dei chiroteri europei è fondamentalmente basata su invertebrati, in primo luogo insetti. Gli effetti della luce artificiale su tale componente sono pertanto rilevanti per i chiroteri: eventuali decrementi demografici nelle popolazioni di insetti significano minor abbondanza di potenziali prede, mentre un impatto differenziale sulle diverse specie di insetti determina variazioni nella composizione dello spettro delle potenziali prede (rarefazione delle specie più sensibili).

Nel seguito accenneremo brevemente ad alcuni aspetti della problematica, premettendo che, anche in questo caso, molti argomenti sono stati oggetto di studi a carattere assolutamente preliminare, cosicché il quadro delle conoscenze disponibili è carente.

3. EFFETTI DELL'ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE SUGLI INSETTI

3.1. Mortalità, diversione dagli habitat e dai comportamenti naturali a causa dell'effetto attrattivo

L'effetto certamente più noto dell'illuminazione artificiale notturna sugli insetti è l'attrazione verso le sorgenti di luce (fototassi positiva). Tale fenomeno interessa ampiamente molti ordini di insetti, fra i quali lepidotteri, coleotteri, ditteri, emitteri, neurotteri, tricoteri, imenotteri e ortotteri. Si manifesta con differenze legate a fattori quali la specie, lo stadio biologico, il sesso, il livello di luminosità ambientale complessiva (l'attrazione diminuisce al diminuire del contrasto fra la sorgente luminosa e lo sfondo) e altre caratteristiche ambientali (per una discussione di tali fattori con riferimento alle falene: Frank, 2006).

Per spiegare l'attrazione sono state proposte varie teorie. Secondo una di queste le luci artificiali



sarebbero confuse con quelle naturali, in particolare la luna, utilizzate come riferimento negli spostamenti. Altre ipotesi considerano la possibilità di forme di disturbo della percezione visiva.

La conseguenza più evidente dell'effetto attrattivo è la mortalità diretta. Può essere causata da ustioni, intrappolamento all'interno dei lampioni, perdita di energie a causa dell'attività protratta intorno alle luci o cattura da parte di predatori, attratti sul posto dalla concentrazione di insetti (varie specie di pipistrelli, gechi, rospi, specie notturne di ragni, ecc.) ed eventualmente dalle condizioni di visibilità (predatori diurni come gabbiani, gheppi, rondini, specie diurne di ragni, ecc.).

L'attrazione verso le sorgenti luminose artificiali comporta inoltre diversione dagli habitat e dai comportamenti naturali e anche ciò si può risolvere in decrementi demografici.

Il dirottamento rispetto alle traiettorie naturali dei voli di migrazione o dispersione può portare al raggiungimento di ambienti assolutamente ostili; sono ad esempio descritte sciamature su piattaforme petrolifere a decine di chilometri dalla terraferma (Wolf *et al.*, 1986).

Spesso i fenomeni di diversione determinano un'evidente diminuzione del successo riproduttivo. Al riguardo meritano un commento particolare i casi di attrazione verso la luce di insetti legati per la riproduzione all'acqua, come efemerotteri, plecoteri e tricoteri.

In letteratura sono descritte, ad esempio, le imponenti sciamature dell'efemerottero *Ephoron virgo* presso i lampioni localizzati in vicinanza dei corpi idrici. La vita degli adulti di tale specie dura poche ore, durante le quali le femmine devono deporre le loro uova sull'acqua. Attratte dai lampioni finiscono invece per deporre sulle strade sottostanti: sulla superficie stradale di un ponte è stata stimata la presenza di 1,5 milioni di esemplari della specie, morti in una notte dopo aver deposto ovature andate irrimediabilmente perdute (Tobias, 1996).

Alcuni anni fa è stato scoperto che le superfici asfaltate, così come altre componenti dell'edificato e vari oggetti con superficie scura e/o liscia, determinano una polarizzazione della luce simile a quella

prodotta dagli specchi d'acqua. Il fenomeno, recentemente denominato “*polarized light pollution*”, trae in inganno le effimere e altre specie legate all'acqua (Kriská *et al.*, 1998; Horváth *et al.*, 2009; per approfondimenti si vedano anche: Labhart e Meyer, 2002; Horváth e Varjú, 2004; Horváth *et al.*, 2010). Il citato caso di *Ephoron virgo* va dunque probabilmente ricondotto al verificarsi di una sorta di sinergia fra due diverse forme di alterazione delle condizioni naturali di luce: le effimere sono attratte prima dalla luce dei lampioni e, una volta nei pressi di questi, dalla luce polarizzata derivante dall'interazione fra la superficie asfaltata e la luce che la colpisce.

In 2.1 sono state citate le alterazioni comportamentali mostrate presso i lampioni dai lepidotteri timpanati. Nelle aree illuminate si osservano anche altre forme di alterazioni comportamentali. Frequentemente gli insetti attirati dalla luce, giunti presso le sorgenti luminose, rimangono a lungo inattivi. Questa forma di alterazione comportamentale interessa gran parte delle specie di falene. Se si considera che in molti casi queste, allo stadio adulto, vivono pochi giorni, si può intuire come il fenomeno debba avere conseguenze significative. Inoltre, gli esemplari posati nelle aree illuminate possono rimanere immobili sul posto anche durante il giorno e ciò li rende spesso più esposti ai predatori diurni.

Fra le specie attratte dalle luci artificiali sono frequenti anche insetti predatori e parassitoidi (parassiti che consumano e uccidono i loro ospiti) di altri insetti (Frick e Tallamy, 1996; Sustek, 1999). Dal momento che si tratta di regolatori biologici delle specie predate o parassitate, anche questo fenomeno può avere ripercussioni sulla composizione delle comunità di insetti.

L'effetto attrattivo della luce tende a crescere al diminuire della lunghezza d'onda. In molti ordini di insetti è stata evidenziata attrazione massima per luce UV (prevalentemente intorno a 350 nm), elevata per luce blu (420-490 nm) e blu-verde (intorno a 500 nm) e minore per luce di lunghezza d'onda maggiore (Ashfaq *et al.*, 2005; Mikkola, 1972; Robinson, 2005). Tale affermazione non può tuttavia essere generalizzata. Per certi gruppi di ditteri legati all'acqua per la riproduzione è stata rilevata, ad esempio, maggior attrattività da parte della luce gialla (575-585 nm) che della luce blu (Scheibe, 2000).

Vari lavori hanno preso in considerazione il potere attrattivo di diversi tipi di lampade.

Fra quelle attualmente in uso per l'illuminazione pubblica emettono quantità decrescenti di UV le seguenti tipologie di lampade a luce bianca o prossima al bianco: lampade al vapore di mercurio (in Italia per lungo tempo sono state le più usate nell'illuminazione stradale e sono ancora piuttosto comuni), lampade ad alogenuri (con varianti molto usate negli impianti sportivi ed altre utilizzate per l'illuminazione decorativa), tubi fluorescenti e varianti a luce bianca delle lampade ai vapori di sodio ad alta pressione.

Attualmente, soprattutto nell'illuminazione stradale, vi è la tendenza a privilegiare l'uso di lampade al vapore di sodio ad alta pressione, che, nei modelli standard, producono luce brillante giallo-rosa, il cui spettro comprende una frazione marginale di UV (fig.1). Tali lampade hanno un effetto attrattivo sull'entomofauna significativamente minore di quello delle lampade sopra citate. Rispetto alla loro variante a luce bianca sodio-xeno, secondo i risultati di uno studio condotto in Germania, attirano circa 40% di insetti in meno (Eisenbeis e Hassel, 2000). Confrontate con lampade al mercurio risultano ancora più vantaggiose: nell'ambito di sei diversi studi condotti in Germania (sintesi in Eisenbeis, 2006) sono risultate attirare mediamente 57% di insetti in meno, mostrando, in particolare, una riduzione dell'effetto attrattivo sulle falene.

Potere d'attrazione ulteriormente ridotto, pressoché nullo nei confronti di gran parte delle specie di insetti, hanno le lampade al vapore di sodio a bassa pressione (Schanowski e Spath, 1994; Rydell, 1992; Rydell e Racey, 1995). Tali lampade non producono UV ed emettono una luce giallo-arancio, praticamente monocromatica (589-590 nm), che non consente la percezione dei colori (in Italia sono scarsamente utilizzate, per lo più per l'illuminazione di strade extraurbane, zone industriali e in zone di nebbia).

Recentemente, nell'ambito di alcuni documenti divulgativi (Eisenbeis, 2010) sono stati anticipati alcuni risultati della prima indagine che ha preso in considerazione anche le lampade a LED, in due modelli a luce bianca "calda" o "fredda" proposti per l'illuminazione pubblica. Tali lampade sono utilizzate sporadicamente (in Italia ed altrove) a causa dei costi ancora non competitivi. Non producono UV, ma hanno forti emissioni nella banda cromatica del blu, in particolare quelle a luce "fredda" (fig. 1). I risultati preliminari del lavoro finora resi noti evidenziano una scarsissima attrattività nei confronti degli insetti, paragonabile a quella delle lampade al sodio a bassa pressione. Ciò da un lato appare una conferma dell'importanza dell'assenza di UV per ridurre l'attrazione, dall'altro sorprende, perché la presenza significativa di emissioni blu faceva ipotizzare attrattività. Si attende la pubblicazione completa del lavoro per valutazioni più precise.

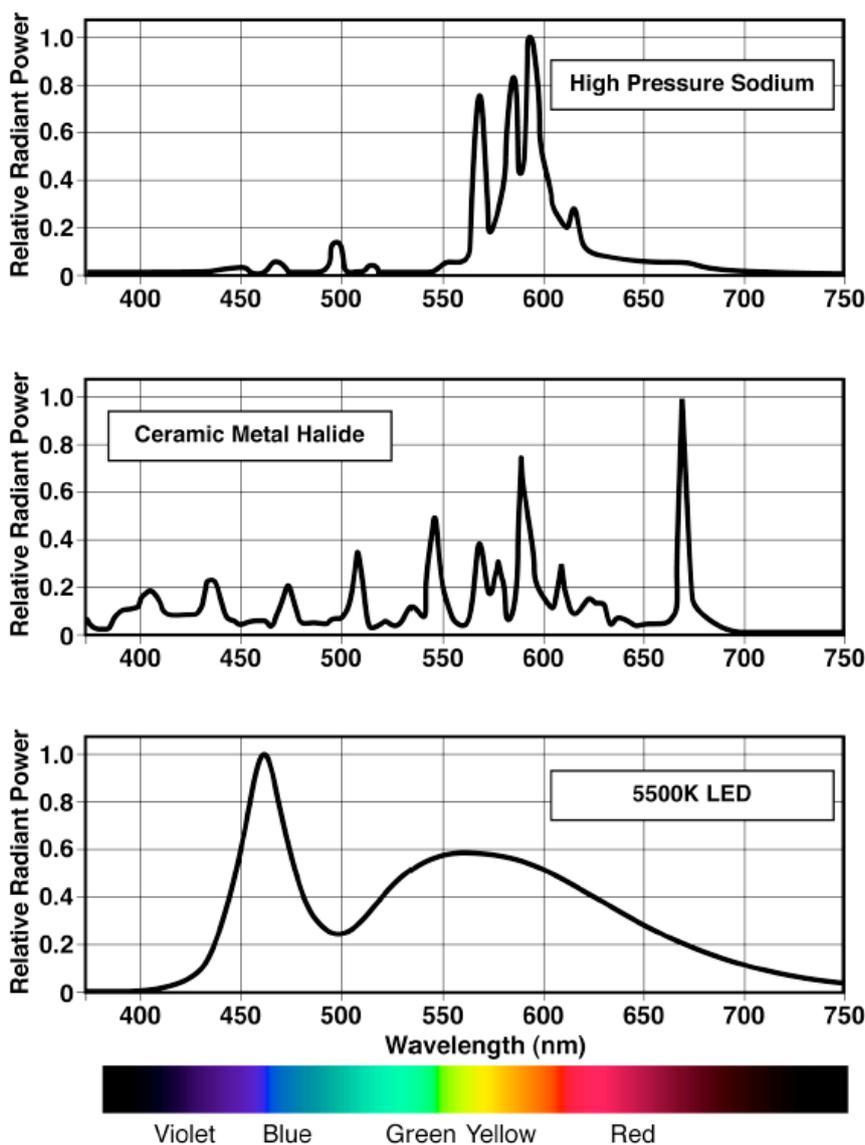


Fig. 1. Distribuzione spettrale di alcune lampade; dall'alto: sodio ad alta pressione, alogenuri metallici, LED a luce bianca fredda (tratto da IDA, 2010 - <http://docs.darksky.org/Reports/IDA-Blue-Rich-Light-White-Paper.pdf>).

3.2. Sottrazione ambientale e interferenze con gli spostamenti dovute all'effetto repulsivo

Se l'effetto attrattivo della luce è direttamente percepibile, non altrettanto evidente e più difficile da monitorare è l'effetto opposto, ossia la repulsione che la luce determina su altre specie di insetti o in altri momenti del ciclo biologico (stadi larvali e adulti possono mostrare comportamento diverso nei confronti della luce). Il fenomeno prevalentemente viene posto in relazione al rischio di predazione, in genere maggiore in condizioni di luminosità maggiore. Può manifestarsi variamente, ad esempio, quando la luce è più intensa, attraverso l'inibizione di determinati comportamenti, la generale riduzione dell'attività o la sua limitazione alle aree più buie.

Fra gli esempi più noti di diversione dalla luce (fototassi negativa), vi sono gli spostamenti degli invertebrati acquatici, che negli ambienti dulcacquicoli comprendono gli stadi larvali di molte specie di insetti.

Sulla superficie di vari laghi nordamericani sono stati registrati livelli di illuminamento dovuti alle sorgenti artificiali di luce che superano ampiamente i valori naturali che si registrano nelle notti di luna piena. E' stato dimostrato sperimentalmente come ciò possa impedire la migrazione verticale dello zooplancton (ossia la risalita al tramonto verso la superficie per foraggiare e il ritorno all'alba in profondità, ove è minore il rischio di predazione). Una delle specie maggiormente esposte è dittero caoboride *Chaoborus punctipennis*, che esprime comportamento fototattico negativo già a intensità luminose inferiori a quelle dovute alla luce delle sole stelle (Moore *et al.*, 2006).

Per quanto riguarda le acque correnti, è noto che la luce condiziona il comportamento di "drift" (deriva) dei macroinvertebrati che vivono sui fondali, di cui fanno parte, allo stadio larvale, insetti appartenenti a vari ordini (efemerotteri, plecoteri, tricoteri, ditteri, ecc.). Nelle ore diurne tali organismi si dimostrano prevalentemente poco mobili, mentre dopo il tramonto, in condizioni di bassa luminosità, possono abbandonare il fondale e lasciarsi trasportare dalla corrente più a valle, alla ricerca di nuove aree di foraggiamento. L'avvio serale del drift è condizionato dal progressivo decremento dell'intensità luminosa; in presenza di luna piena il fenomeno complessivo risulta fortemente ridotto. E' stato pertanto suggerito che il comportamento possa essere ritardato o addirittura soppresso a causa delle fonti artificiali di luce, che spesso determinano presso i corsi d'acqua intensità luminose superiori a quelle della luna piena (Moore *et al.*, 2006).

Quanto appena esposto riguardo agli insetti con larve acquatiche ha attinenza con la problematica dell'impatto dell'illuminazione sui chiroteri poiché si tratta di potenziali specie-preda allo stadio adulto (tali larve diventano insetti volatori) e in alcuni casi anche prima (*Myotis daubentonii* e *Myotis capaccinii* raccolgono larve impupate volando a pelo d'acqua).

In analogia con quanto esposto relativamente agli ambienti acquatici, si può ipotizzare che anche negli ambienti terrestri, per gli insetti caratterizzati da comportamento fototattico negativo pronunciato, l'illuminazione artificiale possa significare sottrazione ambientale e, conseguentemente, perdita di siti di alimentazione, di riproduzione e di aree di transito (con relativi effetti sulla speranza di vita degli esemplari, la dispersione delle specie, ecc.).

Analogamente all'effetto attrattivo ci si può attendere che anche l'effetto repulsivo sia condizionato non solo dall'intensità luminosa, ma anche dallo spettro della luce. Negli ambienti acquatici ciò è evidente dal momento che la lunghezza d'onda condiziona la capacità di penetrazione della luce in profondità. I dati relativi agli ambienti terrestri sono insufficienti per effettuare considerazioni in merito.

3.3. Altre interferenze

L'inibizione dell'attività degli insetti nelle aree illuminate, di cui si è detto a proposito degli insetti che sono attirati dalle lampade e che poi rimangono lungamente inattivi nelle zone in luce, è stata

segnalata anche in assenza di effetto attrattivo, nelle aree messe in luce da lampade al sodio a bassa pressione (Uffen, 1994). Purtroppo non si dispone di dati quantitativi che consentano una valutazione della rilevanza di tale fenomeno. Se da un lato la pressoché totale mancanza di effetto attrattivo delle lampade al sodio a bassa pressione suggerisce una mitigazione del fattore (se gli insetti non vengono attirati rischiano meno di essere vittima dell'effetto d'inibizione dell'attività), dall'altro il fatto che le stesse lampade siano molto lunghe, non si prestino ad essere schermate (Emery, 2008) e conseguentemente determinino una notevole dispersione di luce, ne amplia il raggio d'azione e quindi i potenziali effetti negativi.

Abbiamo accennato solo agli aspetti più evidenti delle interazioni fra luce artificiale e insetti. Anche per gli insetti la luce rappresenta il riferimento ambientale più importante nel condizionare molti fenomeni fisiologici e metabolici, ritmi circadiani di attività e riposo, comportamento riproduttivo, sviluppo e ciclo biologico (compresi i fenomeni di diapausa), ecc. La luce artificiale presenta dunque la potenzialità di interferire su uno spettro estremamente ampio di processi biologici. Data la complessità dell'argomento e la natura di questa pubblicazione non entreremo nel merito di questi aspetti.

3.4. Considerazioni sull'impatto complessivo dell'illuminazione artificiale nei diversi gruppi di insetti

Alcuni gruppi di insetti, in particolare di ditteri, coleotteri e lepidotteri notturni, sono più esposti ai rischi citati. L'illuminazione artificiale può essere particolarmente negativa in determinate situazioni ecologiche, per esempio presso le zone umide ove si formano cospicui sciame di insetti legati all'acqua per la riproduzione. Alcune specie sono più sensibili di altre per via del comportamento migratorio (dirottamento di grossi sciame), della strategia riproduttiva (specie K-selezionate), per il fatto di essere rare e/o con habitat frammentato.

Secondo Frank (2006) l'impatto più diffuso e grave dell'illuminazione artificiale sulle falene è probabilmente dovuto alle interferenze coi fenomeni di dispersione delle specie minacciate. Si tratta generalmente di specie con habitat frammentato a causa dell'antropizzazione del territorio, la cui sopravvivenza dipende fortemente dalla capacità di spostarsi fra i frammenti di habitat idonei. L'illuminazione è tipicamente localizzata nella matrice territoriale in cui sono immersi tali frammenti e agisce come una barriera che limita la probabilità che gli esemplari li raggiungano.

Certamente lo spettro delle potenziali interazioni fra luce artificiale e insetti è talmente vasto, le conoscenze di base sui meccanismi con cui gli organismi rispondono alla luce (anche quella naturale) molto incomplete, e i processi ecologici in cui gli insetti hanno un ruolo chiave così numerosi, che l'esatta comprensione delle conseguenze dell'illuminazione artificiale su questa componente zoologica appare un obiettivo il cui raggiungimento è ancora molto lontano.

Qualora lo stato di conservazione dell'entomofauna fosse soddisfacente si potrebbe forse trascurare il problema, ma sfortunatamente non è così. I risultati delle due più importanti indagini a lungo termine inerenti gli insetti finora condotte – *Hungarian Light-trap Network* in Ungheria e *Rothamsted Insect Survey* in Gran Bretagna – evidenziano declini demografici allarmanti (Szentkiralyi F., 2002; Conrad *et al.*, 2006).

In particolare, i dati raccolti in Gran Bretagna nel periodo 1968-2002 relativamente a 337 specie di macrofalene considerate nel Paese comuni e ad ampia diffusione, hanno dimostrato come due terzi di esse siano in declino e 21% delle specie abbia registrato negli ultimi dieci anni del periodo decrementi demografici superiori al 30%. Gli Autori del lavoro indicano in tale risultato la prova che è in corso una grave crisi a carico della complessiva entomofauna (Conrad *et al.*, 2006).

Non è noto che peso abbia l'illuminazione artificiale nella perdita di biodiversità entomologica, ma un approccio conservazionistico cautelativo impone l'adozione di misure efficaci per minimizzare la probabilità che il fenomeno abbia impatto significativo.

4. COME MINIMIZZARE I PROBLEMI

Nei paragrafi precedenti sono state elencate varie conseguenze negative certe dell'illuminazione artificiale notturna sui chiroterteri e sulle loro prede. Sono inoltre state citate conseguenze negative possibili, che richiedono verifica, ma che è opportuno considerare per il principio di precauzione. Per minimizzare i problemi, le regole fondamentali da rispettare sono contenere l'illuminazione allo stretto necessario e scegliere i tipi di lampade che presentano minor potenzialità d'interferenza. Spesso l'illuminazione è utilizzata dove non serve o in maniera irrazionale, ossia con dispersione della luce al di fuori dell'area che si intende illuminare, in momenti della notte in cui non serve e mediante impiego di lampade poco vantaggiose dal punto di vista della resa energetica e dei costi di gestione. Occorre dunque stabilire più razionalmente "dove", "come" e "quando" è opportuno illuminare e tener conto, oltre che delle esigenze antropiche, anche delle conseguenze negative dell'illuminazione sulle biocenosi, cosa che assai raramente oggi avviene.

4.1. Dove illuminare

Per la tutela delle biocenosi la scelta migliore è sempre quella di non illuminare, ma varie ragioni antropiche spingono a fare il contrario, prima fra tutte la motivazione della sicurezza. Non è questa la sede in cui affrontare tale problematica, ciononostante è opportuno far rilevare come spesso essa sia affrontata con un approccio irrazionale, non sulla base di dati oggettivi ma di convinzioni diffuse che hanno il sapore dei luoghi comuni, tant'è che frequentemente si preferisce parlare di "percezione della sicurezza" piuttosto che di sicurezza effettiva. E' opinione corrente che quanto più una strada è illuminata, tanto minore sia il rischio di incidenti stradali, ma esistono studi che evidenziano come la realtà sia più complessa: l'illuminazione riduce effettivamente gli incidenti, ma gli incidenti gravi, fra i quali quelli mortali, sono spesso più frequenti nei tratti stradali illuminati (si veda per esempio: Direction Interdépartementale des Routes Nord , 2007). Si crede, per lo meno in Italia, che illuminare i parchi urbani sottragga tali aree alla frequentazione malavitosa, ma una semplice considerazione di ordine pratico dovrebbe far dubitare di ciò: in un'area buia è più facile per le forze dell'ordine individuare e controllare eventuali frequentatori, costretti a utilizzare fonti personali di luce. A differenza di quanto avviene nelle città italiane, in altre città europee i parchi urbani vengono chiusi e mantenuti bui in orario notturno.

Con ciò non si intende assolutamente mettere in discussione le situazioni in cui l'illuminazione incrementa realmente la sicurezza, ma si invita a vagliare con più attenzione l'opportunità dell'illuminazione quando questa non serve o dipende da esigenze di ordine secondario, non irrinunciabili. In tali casi, per lo meno laddove gli effetti sulle componenti naturali si profilino come gravi, si dovrebbe rinunciare all'illuminazione.

La tutela dell'oscurità locale ha una rilevanza limitata per l'astronomo, poiché la possibilità di osservare i corpi celesti può essere condizionata negativamente da fonti di luce artificiale poste a grande distanza; per l'ecologo, al contrario, ha grande importanza: territori vicini possono avere significato profondamente diverso per gli organismi viventi e occorre preservare prioritariamente dall'inquinamento luminoso quelli più importanti. L'individuazione delle aree particolarmente sensibili all'illuminazione, sotto il profilo della tutela delle biocenosi e degli equilibri ecologici,

dovrebbe essere considerata abitualmente negli strumenti di pianificazione territoriale, sia direttamente relativi alla materia illuminazione, sia più genericamente finalizzati alla conservazione ambientale e gestione del territorio.

Come riconoscere le aree in cui è più importante conservare condizioni di oscurità naturale per la conservazione dei chirotteri?

Indagini sull'attività notturna della chirotterofauna possono fornire informazioni molto utili per pianificare un utilizzo rispettoso dell'illuminazione, portando a individuare, ad esempio, le principali aree di foraggiamento e i "corridoi" usati dagli esemplari per il trasferimento fra i siti di riposo diurno e le stesse aree. Attualmente i sistemi più rapidi per ottenere dati di tale tipo si basano sull'impiego del *bat detector*, con pregi (agevole contattabilità di molte specie, tecnica non invasiva, possibilità di acquisire dati più celermente che con altri metodi e con minor impegno di operatori) e difetti (scarsa contattabilità di alcune specie, difficoltà nel riconoscimento di varie specie, possibilità di conteggi multipli relativi a esemplari singoli, ecc.) di cui i rilevatori devono essere ben consapevoli. Con la tecnica del *radiotracking* si possono ottenere risultati con maggior livello di definizione (caratterizzazione precisa degli spostamenti di esemplari noti), ma coi limiti connessi al fatto che il numero di esemplari monitorati è sempre basso e il rilevamento è oneroso in termini di impegno di tempo e di operatori.

Fatta eccezione per ambiti circoscritti, di solito aree protette, è comunque raro che vengano promosse indagini per caratterizzare l'utilizzo dello spazio da parte dei chirotteri. Nella gran parte delle situazioni, nel decidere dell'opportunità o meno di illuminare, ci si deve pertanto basare sulle generali conoscenze di letteratura circa le preferenze ambientali e il comportamento negli spostamenti, spesso molto simili nelle diverse specie, cosicché è possibile individuare ambiti che hanno un valore per la complessiva chirotterofauna.

Fra gli ambienti di foraggiamento meritano attenzioni prioritarie di tutela dell'oscurità naturale le zone umide ad acque tranquille (laghi, stagni, lanche e tratti di corsi d'acqua con flusso lento), gli ambienti forestali e i loro margini, gli ecosistemi caratterizzati da prati e pascoli alternati a vegetazione arboreo-arbustiva.

I corridoi più probabilmente utilizzati dagli esemplari negli spostamenti abituali sono identificabili in via preliminare negli elementi lineari come margini forestali, bordure di corsi d'acqua, filari arborei e siepi (i chirotteri prevalentemente evitano di attraversare gli spazi aperti, preferendo volare "costeggiando").

Qualora tali rotte di volo vengano a intercettare infrastrutture viarie illuminate, l'interposizione fra le sorgenti di luce e il corridoio da mantenere buio di schermature, formate ad esempio da filari di alberi e arbusti, può aiutare a preservare l'oscurità del corridoio e nel contempo agevolare il transito degli esemplari nei punti più opportuni, ad esempio in corrispondenza di sovrappassi o sottopassi. È stato inoltre suggerito di preservare dall'illuminazione segmenti stradali di almeno 10 m su ciascun lato delle rotte di spostamento (BCT & ILE, 2009). Per approfondimenti su questi aspetti si vedano anche: Limpens *et al.*, 2004; Brinkmann *et al.*, 2008; Highways Agency, 2006.

Se sono noti siti di rifugio che ospitano colonie di particolare rilevanza conservazionistica è prioritario conservare l'oscurità al loro interno, presso gli accessi utilizzati dagli esemplari per andare e venire e, quanto più è possibile, anche nei dintorni, in particolare lungo gli elementi lineari

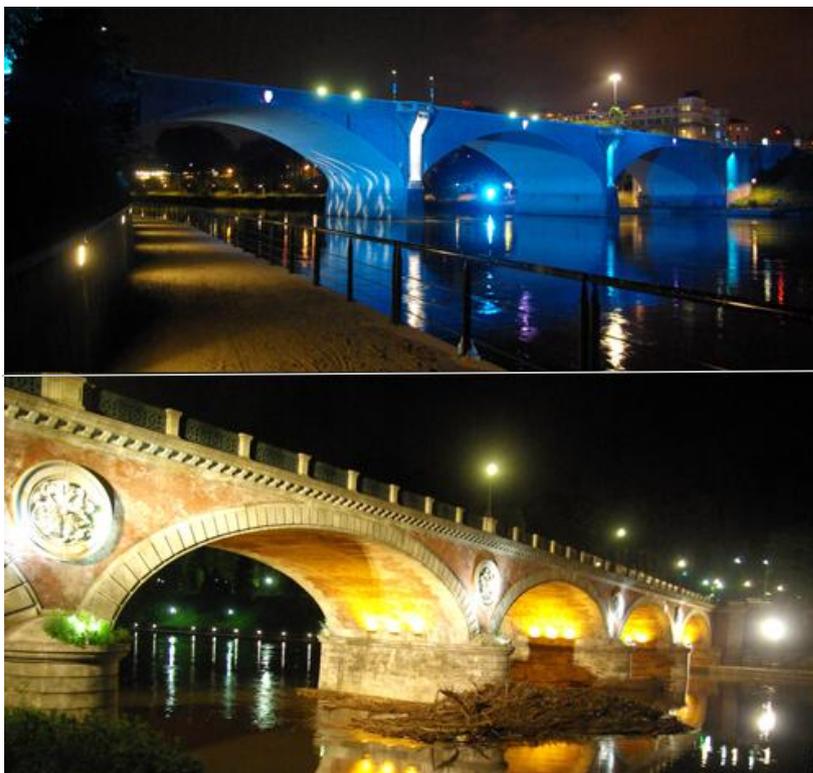


che possono costituire direttrici di spostamento dei chiroterri (filari arborei, siepi, serie di edifici disposti a schiera, ecc.).

Frequentemente i siti di rifugio importanti sono edifici monumentali (castelli, palazzi, torri, fortificazioni, chiese, ecc.) o altri siti d'interesse storico, artistico o archeologico (ponti o acquedotti antichi, necropoli, insediamenti rupestri, ecc.) facenti parte del "Patrimonio culturale". Grazie alla presenza di volumi poco utilizzati dall'uomo, bui e microclimaticamente idonei, tali ambiti si prestano infatti ad accogliere (in riposo diurno, riproduzione e, più raramente, in ibernazione) varie specie di chiroterri divenute rare e minacciate.

Negli ultimi decenni gli interventi di illuminazione decorativa del Patrimonio culturale sono divenuti sempre più frequenti sul territorio, con la finalità di massimizzare la godibilità di tali beni.

In 2.4 si è evidenziato come l'illuminazione dei *roost* presenti elevata potenzialità di impatto sulla chiroterrofauna, che si tratti di illuminazione esterna, interna (es.: torri, campanili) o internalizzata (cioè con fasci luminosi contenuti sotto elementi quali ponti, archi e gallerie). L'illuminazione può inoltre costituire una violazione delle leggi di tutela dei chiroterri, che, a scala internazionale, vietano il disturbo degli esemplari e l'alterazione dei loro siti di rifugio (art. 6, cap. III della Convenzione di Berna; art. III dell'Accordo sulla



conservazione delle popolazioni di pipistrelli europei, art. 12 della Direttiva 92/43/CEE), prevedendo inoltre che interferenze gravi, ad esempio a danno di un'importante colonia riproduttiva o ibernante, possano essere sanzionate come danno ambientale (Direttiva 2004/35/CE; Direttiva 2008/99/CE).

Per ragioni di conservazione e garanzia di rispetto della legge, è dunque opportuno che l'illuminazione decorativa degli edifici e dei siti del Patrimonio culturale denotanti potenzialità per i chiroterri sia subordinata a un'ispezione chiroterrologica. Questa può avere carattere speditivo, ma deve essere condotta da personale esperto, poiché finalizzata a rilevare non solo eventuali frequentazioni in atto (in alcuni casi evidenti anche a chi non ha competenze nel campo), ma anche tracce attestanti frequentazioni in periodo diverso dell'anno. In caso di accertamento d'uso da parte di chiroterri, limitatamente al periodo di presenza degli esemplari, l'illuminazione dovrà essere esclusa o realizzata con adeguate limitazioni, ossia in modo che non siano posti in luce rifugi, accessi e vie di transito.

Occorre anche contemplare la possibilità di "falsi negativi" nelle ispezioni chiroterrologiche, ad esempio dovuti a difficoltà di rilevamento per la collocazione degli esemplari all'interno di volumi scarsamente ispezionabili o del tutto non ispezionabili. In tali casi, ossia qualora la presenza di esemplari venga accertata in un secondo tempo, si dovrà comunque tenere conto dei chiroterri e adottare misure volte a escludere interferenze significative, modificando, se necessario, le decisioni già prese.

Analoghe attenzioni di conservazione dovrebbero essere messe in atto per ripristinare condizioni di idoneità nel caso di edifici/siti precedentemente utilizzati da colonie e già sottoposti a interventi di illuminazione decorativa senza considerare l'impatto sui chiroterri.

Per quanto riguarda infine l'illuminazione motivata da esigenze di sicurezza connesse alla presenza di cantieri, le interferenze con i chiroterri possono essere azzerate ricorrendo a soluzioni alternative, come ponteggi dotati di sistema di allarme o circuiti di videosorveglianza impieganti telecamere dotate di illuminatori a infrarossi.

Casi di edifici/siti del Patrimonio culturale nei quali, per motivi di conservazione di colonie di chiroterri, viene tutelata l'oscurità naturale notturna o attuata un'illuminazione parziale, rispettosa, sono illustrati in http://www.centroregionalechiroterri.org/introd_eurobats_it.html . Se conoscete analoghi casi virtuosi vi invitiamo a segnalarli per l'inserimento nella medesima pagina *web*.

4.2. Come illuminare

Per tutte le motivazioni che spingono a contrastare l'inquinamento luminoso, l'illuminazione dovrebbe essere realizzata in modo da soddisfare, ma non superare significativamente, i valori minimi di illuminamento imposti dalle normative di sicurezza.

Per quanto riguarda l'esigenza di evitare la dispersione della luce al di fuori dell'ambito che effettivamente occorre illuminare esiste un'ampia letteratura tecnica di riferimento, che considera il modo in cui sono inserite le lampade, gli accessori per focalizzare il fascio luminoso, l'altezza e l'orientamento dei dispositivi, la distribuzione dell'intensità luminosa. Per una trattazione esauriente di tali aspetti si veda il sito www.cielobuio.org (sezione "5 concetti fondamentali dell'illuminazione", in particolare il "Primo criterio", attualmente a:

http://www.cielobuio.org/index.php?option=com_content&view=article&id=1050&Itemid=40).

Per esigenze di risparmio energetico e di contenimento delle emissioni di CO₂, nella scelta delle lampade è necessario orientarsi verso tipologie che abbiano elevata efficienza luminosa (rapporto lumen emessi/watt assorbiti); è sottointeso che vanno valutati i parametri in esercizio, ossia considerando eventuali lenti, schermature, ecc.

Al presente (2010) le lampade a maggior efficienza luminosa sono quelle al sodio a bassa pressione (90-200 lm/W), seguite da quelle al sodio ad alta pressione (90-130 lm/W). La tendenza attuale nell'illuminazione pubblica è nell'utilizzo preferenziale delle lampade al sodio ad alta pressione, poiché quelle a bassa pressione non consentono la visione cromatica e trovano un impiego limitato prevalentemente a zone periferiche (al riguardo è stato tuttavia evidenziato come la percezione cromatica spesso non sia un'effettiva necessità, cosicché l'uso delle lampade al sodio a bassa pressione potrebbe essere molto più diffuso: IDA, 2002; va anche detto che, proprio perché queste lampade sono oggi scarsamente utilizzate, ne è prevista la cessazione della produzione entro pochi anni).

Sempre per finalità di illuminazione pubblica, sul territorio sono diffuse anche lampade meno efficienti, come quelle al mercurio (30-60 lm/W; queste lampade presentano inoltre elevati costi di smaltimento), i tubi fluorescenti (70-90 lm/W) e le lampade ad alogenuri (60-120 lm/W). Queste ultime vengono usate per impieghi particolari, come l'illuminazione di impianti sportivi e monumenti, poiché in grado di esprimere un'intensità luminosa più elevata per unità di superficie.

Recentemente, in ambiti locali (illuminazione di edifici monumentali, di parcheggi di importanti esercizi commerciali e in esperienze pilota di illuminazione pubblica messe in atto da alcuni Comuni) hanno cominciato a essere impiegate le lampade a LED. La tecnologia dei LED è stata sviluppata solo dai primi anni '90, ma il perfezionamento delle lampade, con guadagno di efficienza, ha visto un incremento esponenziale nel giro di pochi anni. Attualmente le lampade a LED proposte da varie ditte per l'illuminazione pubblica (a luce bianca) presentano un'efficienza

prossima a quella delle lampade al sodio, ma non possono essere ancora considerate competitive, soprattutto a causa dei costi di installazione elevati (richiedono sostegni ravvicinati) (CieloBuio, 2008; Radetsky, 2010). E' tuttavia probabile che nei prossimi anni, con un'ulteriore evoluzione tecnologica, i LED diventino le lampade più vantaggiose sotto il profilo energetico.

La scelta delle lampade condiziona anche la possibilità di controllare il flusso luminoso, riducendolo quando è sufficiente un'illuminazione meno intensa. Anche questo è un modo per contenere il consumo energetico e l'inquinamento luminoso. Le lampade al sodio a bassa pressione non sono adatte allo scopo, mentre lo sono le lampade al sodio ad alta pressione e, in prospettiva, si prestano ad esserlo le lampade a LED. Queste ultime presentano l'ulteriore vantaggio di un'accensione immediata, che ne potrebbe facilitare, laddove ciò risultasse proponibile, un utilizzo parsimonioso mediato da sensori di movimento.

Parallelamente all'esigenza del risparmio energetico, la scelta delle lampade dovrebbe essere orientata in funzione della minimizzazione delle eventuali conflittualità con le diverse componenti dell'ambiente naturale e con esigenze antropiche di vario tipo (salute, interesse nell'osservazione astronomica, interessi ricreativo e culturale nella percezione del cielo notturno, ecc.).

Venendo a considerare le esigenze di conservazione dell'entomofauna, base alimentare dei chiroteri, per evitare i problemi connessi all'effetto attrattivo (cfr. 3.1), i risultati delle indagini effettuate in Germania da Eisenbeis (2006; 2010) indirizzano verso l'uso dei LED (dai dati preliminari resi noti non emerge però se vi sia differenza fra i modelli a luce bianca fredda e calda) o delle lampade al sodio a bassa pressione e, secondariamente, delle lampade al sodio ad alta pressione (modelli standard). Lampade sodio-xeno, lampade agli alogenuri e lampade al mercurio, probabilmente a causa delle emissioni ultraviolette, risultano progressivamente più attrattive e quindi, nell'ordine esposto, a crescente impatto negativo.

Relativamente alle emissioni UV va anche tenuta in conto la possibilità che siano percepite dai chiroteri (per lo meno da alcune specie) e che possano interferire coi loro processi visivi (cfr. 2.3).

Numerosi lavori effettuati negli ultimi anni evidenziano potenziali problemi nell'utilizzo delle lampade a luce bianca e in particolare di quelle con elevate emissioni nella banda del blu, come i LED a luce bianca fredda. Per quanto riguarda gli aspetti biologici (ci sono anche effetti negativi che toccano l'astronomia), rispetto alle lampade al sodio a bassa o alta pressione, presentano una maggior potenzialità di impatto su un vasto spettro di comportamenti, funzioni e ritmi biologici. Potenziali effetti negativi riguardano anche i chiroteri (cfr. 2.4, 2.5) e la salute umana (cfr. 2.5 e ANSES, 2010). Benché necessitino approfondimenti d'indagine per individuare rapporti di causa-effetto certi, l'opportunità di seguire un approccio cautelativo attualmente sconsiglia l'utilizzo delle lampade che producono luce bianca, che contiene sempre la componente blu, e in particolare quello dei LED a luce bianca fredda.

Un ulteriore criterio di scelta delle lampade è quello della loro idoneità al contenimento della dispersione luminosa. Generalizzando, tanto maggiore è la dispersione tanto più è probabile che si esercitino, anche a distanza, conseguenze negative dovute alla messa in luce.

In questo caso le lampade al sodio a bassa pressione, vantaggiose in relazione alle problematiche precedentemente evidenziate, risultano poco soddisfacenti, per via delle dimensioni cospicue che presentano, che mal si adattano a direzionare con precisione il fascio luminoso. Si è evidenziato come tali lampade non abbiano quasi effetto attrattivo sugli insetti, ma è possibile che siano causa di effetto repulsivo e inibizione dell'attività (cfr. 3.2, 3.3). Purtroppo non è noto in che misura tali potenziali conseguenze negative siano in rapporto all'intensità luminosa e quanto siano condizionate dalle caratteristiche spettrali della luce.

Mediando le complessive considerazioni esposte, allo stato attuale delle conoscenze, si suggerisce quanto segue:

- nell'illuminazione pubblica diffusa usare lampade caratterizzate da alta efficienza luminosa e bassa o nulla produzione di emissioni di lunghezze d'onda corrispondenti a ultravioletto, viola e blu, o filtrate alla sorgente in modo da ottenere analogo risultato (al presente ciò porta a preferire l'impiego di lampade al sodio a bassa o alta pressione, queste ultime nei modelli standard);
- escludere l'utilizzo degli altri tipi di lampade in tutti i casi in cui non sia effettivamente indispensabile (le esigenze estetiche raramente possono essere considerate indispensabili);
- incrementare gli sforzi di ricerca per approfondire le conoscenze sugli effetti biologici delle lampade a LED;
- indirizzare l'evoluzione tecnologica tenendo conto di ciò (qualora venissero confermati effetti negativi significativi dei LED bianchi, la tecnologia a LED dovrebbe essere orientata verso la produzione di luce di colore diverso e meno impattante).

4.3. Quando illuminare

Razionalizzare l'illuminazione comporta innanzitutto che essa venga evitata nei momenti in cui non è significativamente utile, ma nelle decisioni relative a questo aspetto, ai fini della tutela dei chiroteri, dovrebbe essere considerato anche l'impatto differenziale che l'illuminazione ha nei diversi momenti dell'anno e della notte.

Nei periodi in cui l'attività dei chiroteri e delle loro prede è ridotta al minimo, cioè durante l'ibernazione, l'illuminazione artificiale denota minor potenzialità d'interferenza, benché sia possibile che giochi un ruolo negativo nei confronti delle specie di insetti attive in inverno e influenzi in qualche modo anche i pipistrelli, durante le loro interruzioni del letargo. Di certo, al di fuori della stagione in cui sono frequentati dai chiroteri, viene meno la necessità di escludere o limitare l'illuminazione dei siti di rifugio, che può essere irrinunciabile invece nei periodi di presenza degli esemplari.

In termini generali, e soprattutto per quanto riguarda il periodo di piena attività dei chiroteri, ogni limitazione oraria dell'illuminazione dev'essere considerata positiva, ma va anche detto che la fase della notte più importante per il foraggiamento dei chiroteri è quella crepuscolare e delle prime ore di buio, quando escludere l'illuminazione può risultare impossibile per effettive esigenze antropiche. I flussi del traffico rilevati in alcune città italiane, evidenziano tuttavia come potrebbero esserci delle fasce orarie di riduzione dell'illuminazione interessanti per la tutela dei chiroteri. Nella città di Torino, ad esempio, il traffico dopo le ore 21.00 risulta modesto e una riduzione dell'illuminazione di certe strade in funzione di tale fattore non pare utopistica (CieloBuio, 2006).

In caso di condizioni meteorologiche particolarmente avverse all'attività dei chiroteri e degli insetti (precipitazioni intense e persistenti, forte vento) non sono ipotizzabili effetti negativi dell'illuminazione sui chiroteri e conseguentemente, da questo punto di vista, non si pongono esigenze di limitazione dell'illuminazione.

5. PROPOSTE PER ADEGUARE LA LEGISLAZIONE IN MATERIA DI INQUINAMENTO LUMINOSO

L'illuminazione artificiale notturna è un fattore ambientale rilevante, purtroppo a lungo trascurato dagli ecologi, cosicché sono ancora frammentarie le conoscenze circa gli effetti del fenomeno sugli organismi viventi. Ciò ha condizionato anche la legislazione italiana vigente, lacunosa sul fronte della tutela delle biocenosi nonostante la materia dell'inquinamento luminoso sia stata affrontata ampiamente: se attualmente manca una legge quadro nazionale sulla materia, quasi tutte le

Amministrazioni locali con potere legislativo si sono infatti dotate di normative specifiche (17 delle 19 Regioni e una delle 2 Province autonome).

Le note che seguono riprendono in gran parte concetti elaborati in collaborazione con CieloBuio ed esposti in CRC (2009). Esse sono finalizzate a evidenziare disposizioni normative rilevanti per la tutela delle biocenosi, con particolare riferimento a chiroteri e insetti. In parte si tratta di contenuti già presenti in normative italiane (regionali o provinciali) vigenti, in parte non è così e se ne consiglia il recepimento attraverso adeguamento delle leggi esistenti o in occasione del varo di nuove leggi.

Nella stesura si è tenuto conto anche delle esigenze di risparmiare energia e di salvaguardare il paesaggio notturno e la possibilità di osservazione dei corpi celesti.

Data l'ampia portata della materia e la limitatezza delle conoscenze attualmente disponibili circa gli effetti ecologici dell'inquinamento luminoso, si evidenzia fin d'ora la necessità di futuri aggiornamenti del testo.

Poiché le risposte delle diverse specie alla luce artificiale sono molteplici, e talora opposte, al fine del maggior rispetto possibile delle varie componenti delle biocenosi è sottinteso che molto lavoro resta comunque delegato alla pianificazione territoriale, che deve essere attenta alle specifiche esigenze dell'area di applicazione.

Definizione giuridica di inquinamento luminoso

Secondo l'accezione più utilizzata nella legislazione italiana, costituisce inquinamento luminoso "ogni forma di irradiazione di luce artificiale che si disperda al di fuori delle aree cui essa è funzionalmente dedicata e, in particolare, oltre il piano dell'orizzonte". Tale definizione tiene conto della problematica "astronomica" connessa al fenomeno, ma è insufficiente dal punto di vista ecologico: non considera gli effetti negativi che la luce esercita su molte specie (attraverso attrazione, repulsione, alterazione dei ritmi biologici, ecc.), anche se direzionata correttamente sull'area da illuminare, ossia funzionalmente dedicata, e non dispersa verso l'alto.

Tenendo conto della definizione fisica del fenomeno proposta da Cinzano *et al.*, 2000 ("alterazione della quantità naturale di luce dell'ambiente esterno dovuta all'immissione di luce artificiale") e di quella ecologica di Longcore e Rich, 2004 ("luce artificiale che altera le condizioni naturali di luce e buio negli ecosistemi"), si suggerisce l'utilizzo della seguente definizione: "costituisce inquinamento luminoso ogni alterazione della quantità naturale di luce dovuta all'immissione di luce artificiale, in particolare se tale luce artificiale si disperde oltre il piano dell'orizzonte e/o induce effetti negativi su organismi viventi".

Tale definizione recepisce l'accezione più generale di inquinamento luminoso e richiama nel contempo l'attenzione sui problemi che il fenomeno determina, sia astronomici sia ecologici.

A tale nuova definizione consegue la necessità di considerare anche le luci "interne" e "internalizzate" come potenzialmente inquinanti. Nelle leggi attualmente in vigore in molte regioni italiane viene esplicitamente affermato, al contrario, che tali luci non sono inquinanti. Illuminare l'interno di un campanile o le arcate di un ponte può invece avere effetti deleteri sui chiroteri!

Finalità di tutela ecologica e indirizzo della gestione territoriale a tale fine

Alcune delle leggi regionali vigenti individuano fra le proprie finalità quella di tutelare gli equilibri ecologici. Si suggerisce di richiamare tale finalità in tutte le leggi in materia, unitamente a indirizzi generali di gestione territoriale, come segue: "è finalità della presente legge il rispetto degli equilibri ecologici, da attuarsi tutelando l'oscurità naturale, in particolare ove siano presenti ecosistemi caratterizzati da buon livello di naturalità, corridoi ecologici e siti rilevanti per l'alimentazione, il rifugio, la riproduzione e gli spostamenti della fauna".

Disposizioni sul contenimento spaziale dell'illuminazione

Si raccomanda che gli strumenti applicativi delle leggi (Regolamenti attuativi, Linee guida, Piani dell'illuminazione, ecc.) indirizzino all'identificazione degli ambiti territoriali ove limitare prioritariamente l'illuminazione artificiale tenendo in adeguato conto i criteri ecologici.

In 4.1 sono state citate tipologie ambientali ove salvaguardare prioritariamente l'oscurità naturale per la conservazione dei chiroterteri. Si tratta di componenti ambientali che rivestono importanza primaria anche per moltissime altre specie; l'indicazione è pertanto rilevante allo scopo più generale di tutelare la biodiversità e gli equilibri ecologici.

Si è inoltre evidenziata l'importanza di conservare l'oscurità all'interno e nei pressi dei rifugi dei chiroterteri rappresentati da edifici/siti del Patrimonio culturale. Ai sensi delle normative vigenti, i chiroterteri e i loro rifugi devono essere protetti, ma chi si occupa di gestione del Patrimonio culturale spesso non è al corrente di ciò e parimenti ignora la potenzialità d'interferenza degli interventi di illuminazione. Anche per agevolare il rispetto di normative ignorate colposamente, nonché per evitare che, spesso per iniziativa e con fondi pubblici, si realizzino illeciti ai danni del bene pubblico (la fauna è tutelata nell'interesse della comunità nazionale e internazionale: art. 1, L. 157/1992), si suggerisce l'introduzione nelle leggi sull'inquinamento luminoso della seguente prescrizione:

“L'illuminazione decorativa notturna di edifici/siti parte del Patrimonio culturale in cui siano presenti siti di rifugio di chiroterteri, attraverso fari esterni o interni, è subordinata all'esecuzione di accertamenti chiroterterologici volti a verificare che l'intervento sia compatibile con le normative vigenti circa la tutela della chiroterterofauna e, qualora necessario e possibile, a suggerire misure correttive, a garanzia del rispetto delle medesime normative. Nei casi in cui l'illuminazione risulti incompatibile con la conservazione dei chiroterteri e non sia possibile mettere in atto misure di mitigazione adeguate, si dovrà rinunciare all'intervento.”

Disposizioni sul contenimento temporale dell'illuminazione

Si raccomanda che gli strumenti applicativi delle leggi, nelle decisioni sulla gestione della luce, tengano conto dell'impatto differenziale che l'illuminazione ha sulle biocenosi nei diversi momenti del giorno e dell'anno. Per quanto riguarda i chiroterteri e gli insetti si rimanda alle considerazioni espresse in 4.3.

In alcune leggi regionali italiane è attualmente prevista una limitazione oraria dell'illuminazione, che però risulta scarsamente applicata. La limitazione è inoltre relativa alle ore centrali della notte, mentre per i chiroterteri può essere più importante una limitazione al crepuscolo e nelle prime ore della notte.

Disposizioni sulle modalità di illuminazione

Le modalità di illuminazione condizionano la dispersione luminosa, ossia la perdita di luce esternamente alle aree che si intende illuminare. La dispersione costituisce uno spreco energetico e la radiazione che si disperde al di sopra del piano dell'orizzonte determina quella luminosità artificiale del cielo (*sky glow*) che condiziona negativamente la possibilità di osservare i corpi celesti e può interferire anche su comportamenti degli organismi viventi (ad esempio costituire causa di disorientamento negli spostamenti per molte specie).

Varie leggi regionali fissano efficaci criteri per minimizzare il problema della dispersione. In particolare occorre che “gli apparecchi, nella posizione di installazione, abbiano una distribuzione dell'intensità luminosa massima per angoli $\gamma \geq 90^\circ$ (ossia sopra il piano dell'orizzonte)

compresa tra 0,00 e 0,49 candele per 1000 lumen di flusso luminoso totale emesso"; inoltre, ai fini del controllo del flusso luminoso indiretto, “la luminanza media mantenuta delle superfici da illuminare e gli illuminamenti non devono superare i limiti minimi previsti dalle normative tecniche di sicurezza”. Poiché l'esigenza di illuminare varia spesso in funzione dell'ora (in particolare sulle strade, in relazione ai flussi di traffico), quasi sempre è utile che gli impianti di illuminazione siano dotati di dispositivi di riduzione del flusso luminoso e di telecontrollo.

Occorre altresì considerare le caratteristiche della luce prodotta.

Sulla base delle sole esigenze di risparmio energetico ed illuminotecniche sarebbe sufficiente indirizzare la scelta delle lampade nei confronti di quelle con “la più alta efficienza possibile in relazione allo stato della tecnologia”, fatta salva la possibilità di deroghe per esigenze particolari di illuminazione (ad esempio per l'illuminazione di ambiti ove siano necessarie luci con resa cromatica superiore). Tali criteri tuttavia risultano insufficienti per la tutela delle biocenosi.

In 4.2 sono state presentate considerazioni circa l'impatto dei vari tipi di lampade sui chiropteri e sugli insetti. Si è sottolineato anche come sia necessario che vengano urgentemente effettuate ricerche sugli aspetti accennati, per acquisite informazioni che consentano di orientare con maggior precisione e correttezza le disposizioni legislative.

Ciò premesso, e ferma restando la possibilità di deroghe che siano adeguatamente giustificate, per quanto riguarda le lampade con maggior impiego (essenzialmente utilizzate per l'illuminazione stradale), si suggerisce di inserire nei documenti normativi un riferimento ad impianti equipaggiati con “lampade caratterizzate da alta efficienza luminosa e bassa o nulla produzione di emissioni di lunghezza d'onda inferiore a 500 nm o filtrate alla sorgente in modo da ottenere analogo risultato”.

Tale disposizione è coerente con le linee guida recentemente emanate da *International Dark-Sky Association* con l'obiettivo di salvaguardare la possibilità di compiere osservazioni astronomiche (IDA, 2010).

Disposizioni in tema di informazione/sensibilizzazione

Stante l'ancora scarsissima percezione pubblica del problema dell'inquinamento luminoso, si sottolinea infine l'opportunità che le leggi in materia evidenzino l'importanza della realizzazione di iniziative volte all'informazione/sensibilizzazione sui temi dell'impatto astronomico, biologico ed ecologico del fenomeno e sulle esigenze di risparmio energetico.



LAVORI CITATI

- Acharya L., Fenton M.B., 1999. Bat attacks and moth defensive behavior around streets lights. *Can. J. Zool.*, 77(1): 27-33.
- ANSES, Agence nationale de Sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'Environnement et du Travail, 2010. Effets sanitaires des systèmes d'éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED). Avis de l'Anses, rapport de expertise collective. Edition scientifique, Octobre 2010, 282 pp.
http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/089644610364204796042979030103/10_10_LED_Rapport_Couv_A4.pdf
- Allegrì M., 2007. Gabbiani che vicariano pipistrelli. *Bats replaced by gulls*. *Pianura*, 21: 215-216.
- Arlettaz R., Berthoud G., Desfayes M., 1999. Tendances démographiques opposées chez deux espèces sympatriques de chauves-souris, *Rhinolophus hipposideros* et *Pipistrellus pipistrellus*: un possible lien de cause à effet? *Le Rhinolophe*, 13: 35-41.
- Arlettaz R., Godat S., Meyer H., 2000. Competition for food by expanding pipistrelle bat populations (*Pipistrellus pipistrellus*) might contribute to the decline of lesser horseshoe bats (*Rhinolophus hipposideros*). *Biological Conservation*, 93: 55-60.
- Ashfaq M., Khan R.A., Khan M.A., Rasheed F., Hafeez S., 2005. Insect orientation to various color lights in the agricultural biomes of Faisalabad. *Pak. Entomol.*, 27(1): 49-52.
- Bartonicka T., Bielik A., Rehak Z., 2008. Roost switching and activity patterns in the soprano pipistrelle, *Pipistrellus pygmaeus*, during lactation. *Ann. Zool. Fennici*, 45: 503-512.
- BCT (Bat Conservation Trust) & ILE (Institution of Lighting Engineers), 2009. Bats and lighting in the UK. Bats and the Built Environment Series. Versione 3, maggio 2009.
http://www.bats.org.uk/data/files/bats_and_lighting_in_the_uk_final_version_version_3_may_09.pdf
- Beasley L.J., Smale L., Smith E.R., 1984. Melatonin influences the reproductive physiology of male pallid bats. *Biology of Reproduction*, 30: 300-305.
- Beck A., 2005. Aargauer Beispiele zur Problematik Fledermäuse / Licht. Zusammenstellung des Kantonalen Fledermausschutz-Beauftragten des Kantons Aargau.
- Berson D.M., Dunn F., Takao M., 2002. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*, 295: 1070-1073.
- Blake D., Hutson A.M., Racey P.A., Rydell J., Speakman J.R., 1994. Use of lamplit roads by foraging bats in southern England. *J. Zool., Lond.* 234: 453-462.
- Brainard G.C., Hanifin J.P., 2005. Photons, clocks and consciousness. *J. Biol. Rhythms*, 20: 314-325.
- Brainard G.C., Silney D., Hanifin J.P., Glickman G., Byrne B., Greeson J.M., Jasser S., Gerner E., Rollag M.D., 2008. Sensitivity of the human circadian system to short wavelength (420 nm) light. *J. Biol. Rhythms*, 23(5): 379-386.
- Brinkmann R., Biedermann M., Bontadina F., Dietz M., Hintemann G., Karst I., Schmidt C., Schorcht W., 2008. Planung und Gestaltung von Querungshilfen für Fledermäuse. – Ein Leitfaden für Strassenbauvorhaben im Freistaat Sachsen. Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit, 134 pp.
- Boldogh S., Dobrosi D., Samu P., 2007. The effects of the illumination of buildings on house-dwelling bats and its conservation consequences. *Acta Chiropterologica*, 9(2): 527-534.
- Cinzano P., Falchi F., Elvidge C.D., Baugh K.E., 2000. The artificial night sky brightness mapped from DMSP satellite Operational Linescan System measurements. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 318: 641-657.
- Challet E., 2007. Minireview: entrainment of the suprachiasmatic clockwork in diurnal and nocturnal mammals. *Endocrinology*, 148(12): 5648-5655.
- CieloBuio, 2006. Quinto criterio: gestione della luce.

http://www.cielobuio.org/index.php?option=com_content&view=article&id=1075&Itemid=40

CieloBuoio, 2008 (aggiornato 2009). Facciamo chiarezza sui LED. *ControLuce*, Osservatorio del libero pensiero illuminotecnico, di scienza e cultura.

http://www.cielobuio.org/index.php?option=com_content&view=article&id=1247

Conrad K., Warren M.S., Fox R., Parsons M.S., Woivod I.P., 2006. Rapid declines of common, widespread British moths provide evidence of an insect biodiversity crisis. *Biol. Conserv.*, 132: 279-291.

CRC (Centro Regionale Chiroterri), 2009. Non metteteli in cattiva luce! Proposte per adeguare le normative sull'inquinamento luminoso alla conservazione dei chiroterri. Atti II Convegno Italiano sui Chiroterri. Serra S. Quirico (AN), 21-23/11/2008. Pp. 127-134.

Debernardi P., Patriarca E., Toffoli R., 2010. Monitoraggio delle colonie di chiroterri riproduttive e svernanti di particolare interesse conservazionistico note in piemonte e dati preliminari sull'attività di *swarming*. Stato delle conoscenze al 30 aprile 2010. CRC, Regione Piemonte - Direzione ambiente - Settore pianificazione e gestione aree naturali protette (relazione interna).

Direction Interdépartementale des Routes Nord (Ministère des Transports de l'Équipement du Tourisme et de la Mer, République Française), 2007. Etude de sécurité comparative sur les autoroutes de rase campagne du Nord-Pas de Calais, avec ou sans éclairage. http://astrosurf.com/anpcn/documents/A16_rapport_complet.pdf

Do M.T.H., Yau K.W., 2010. Intrinsically photosensitive retinal ganglion cells. *Physiol. Rev.*, 90: 1547-1581.

Downs N.C.; Beaton V., Guest J., Polanski J., Robinson S.L., Racey P.A., 2003. The effects of illuminating the roost entrance on the emergence behaviour of *Pipistrellus pygmaeus*. *Biological Conservation*, 111: 247-252.

Duvergé P.L., Jones G., Rydell J., Ransome R.D., 2000. Functional significance of emergence timing in bats. *Ecography*, 23: 32-40.

Eisenbeis G., Hassel F., 2000. Attraction of nocturnal insects to street lights - a study of municipal lighting systems in a rural area of Rheinhessen (Germany). *Natur und Landschaft*, 75(4): 145-156.

Eisenbeis, 2006. Artificial night lighting and insects. In: Rich C., Longcore T. eds., *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, Island Press, Washington, 281-304.

Eisenbeis, 2010. Insekten und kunstliches Licht. In: Posch T., Freyhoff A., Uhlmann T. (Hg.), *Das ende der nacht. Die globale Lichtverschmutzung und ihre Folgen*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 61-80.

Eklöf J., 2003. Vision in echolocating bats. PhD th. University of Göteborg, Sweden.
<http://www.fladdermus.net/thesis.htm>

Erkert H.G., 1982. Ecological aspects of bat activity rhythms. In: Kunz T.H. ed. *Ecology of Bats*. Plenum press, New York, 201-241.

Erkert H.G., 2004. Extremely low threshold for photic entrainment of circadian activity rhythms in molossid bats (*Molossus molossus*; Chiroptera – Molossidae). *Mammalian Biology – Zeitschrift für Säugetierkunde*, 69(6): 361-374.

Emery M., 2008. Effect of street lighting on bats. *Urbis lighting LTD*. 24 pp.
<http://ilpac.eu/main/wp-content/uploads/2010/05/Effect-of-Street-Lighting-on-Bats.pdf>

Frank K.D., 2006. Effects of artificial night lighting on moths. In: Rich C., Longcore T. eds., *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, Island Press, Washington, 305-344.

Frick T.B., Tallamy D.W., 1996. Density and diversity of nontarget insects killed by suburban electric insect traps. *Entomological News*, 107: 77-82.

Fure A., 2006. Bats and lighting. *The London Naturalist* 85, 20 pp.

Haldar C., Yadav R., 2006. Melatonin, gestation and fetal development. *Jer.*, 10(1) : 32 – 42.

- Hattar S., Liao H.W., Takao M., Berson D.M., Yau K.W., 2002. Melanopsin-containing retinal ganglion cells: architecture, projections and intrinsic photosensitivity. *Science*, 295: 1065-1070.
- Highways Agency, 2006. Best practice in enhancement of highway design for bats Literature review report March 2006. Halcrow Group Limited, 83 pp.
- Holland R.A., Thorup K., Vonhof M.J., Cochran W.W., Wikelski M., 2006. Bat orientation using Earth's magnetic field. *Nature*, 444: 702.
- Holland R.A., Borissov I., Siemers B.M., 2010. A nocturnal mammal, the greater mouse-eared bat, calibrates a magnetic compass by the sun. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 107(15): 6941-6945.
- Hope G.M., Bhatnagar K.P., 1979a. Electrical response of bat retina to spectral stimulation: comparison of four microhoropteran species. *Experientia*, 35: 1189–1191.
- Hope G.M., Bhatnagar K.P., 1979b. Effect of light adaptation on electrical responses of the retinas of four species of bats. *Experientia*, 35: 1191–1193.
- Horvath G., Kriska G., Malik P., Robertson B., 2009. Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7 (6): 317-325.
- Horváth G., Kriska G., Malik P., Hegedüs R., Neumann L., Akesson S., Robertson B., 2010. Asphalt surfaces as ecological traps for water-seeking polarotactic insects: how can the polarized light pollution of asphalt surfaces be reduced? Series: Environmental Remediation Technologies, Regulations and Safety. Nova Science Publishers, Inc., Hauppauge, New York, USA, 47 pp. http://arago.elte.hu/files/AsphaltPol_NovaSciPubl.pdf
- Horváth G., Varjú D., 2004. Polarized Light in Animal Vision - Polarization Patterns in Nature. Springer-Verlag, Heidelberg - Berlin - New York, 447 pp.
- IDA, International Dark-Sky Association, 2002. Outdoor lighting code handbook, version 1.14 (December 2000/September 2002). <http://data.nextrionet.com/site/idsa/Lighting%20Code%20Handbook.pdf>
- IDA, International Dark-Sky Association, 2010. Visibility, environmental, and astronomical issues associated with blue-rich white outdoor lighting (May 4, 2010). <http://docs.darksky.org/Reports/IDA-Blue-Rich-Light-White-Paper.pdf>
- Jones G., Rydell J., 1994. Foraging strategy and predation risk as factors influencing emergence time in echolocating bats. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 346: 445-455.
- Jones J., 2000. Impact of lighting on bats. www.lbp.org.uk/downloads/Publications/Management/lighting_and_bats.pdf
- Joshi D.S., Chandrashekar M.K., 1985. Spectral sensitivity of the photoreceptors responsible for phase shifting the circadian rhythm of flight activity of the bat, *Hipposideros speoris*. *J. Comp. Physiol. A*, 156: 186-98.
- Kawamoto K., 2003. Endocrine control of the reproductive activity in hibernating bats. *Zoological Science*, 20(9): 1057-1069.
- Kim T.J., Jeon Y.K., Lee J.Y., Lee E.S., Jeon C.J., 2008. Photoreceptors in the greater horseshoe bat. *Mol. Cells*, 26: 373–379.
- Krättli, H., SSF, 2005. Fassaden-Beleuchtungen: eine Bedrohung für Fledermäuse? *Fledermaus-Anzeiger FMAZ*, 80: 10-11.
- Kriska G, Horváth G, Andrikovics S., 1998. Why do mayflies lay their eggs en masse on dry asphalt roads? Water-imitating polarized light reflected from asphalt attracts *Ephemeroptera*. *J. Exp. Biol.*, 201: 2273–2286.
- Kuijper D.P.J., Schut J, van Dulleman D., Toorman H., Goossens N., Ouwehand J., Limpens J.G.A., 2008. Experimental evidence of light disturbance along the commuting routes of pond bats (*Myotis dasycneme*). *Lutra*, 51 (1): 37-49.

- Labhart T., Meyer E.P., 2002. Neural mechanisms in insect navigation: polarization compass and odometer. *Current Opinion in Neurobiology*, 12: 707–714.
- Laidlaw G.W.J., Fenton M.B., 1971. Control of nursery colony populations of bats by artificial light. *Journal of wildlife management*, 35: 843-846.
- Limpens H.J.G.A., Twisk P., Veenbaas G., 2004. Met vleermuizen overweg. Rijkswaterstaat en Vereniging voor Zoogdierkunde en Zoogdierbescherming (VZZ), 24 pp.
- Longcore T., Rich C., 2004. Ecological light pollution. *Front. Ecol. Environ.*, 2(4): 191-198.
<http://www.urbanwildlands.org/Resources/LongcoreRich2004.pdf>
- Mann S.L., Steidl R.J., Dalton V.M., 2002. Effects of cave tours on breeding *Myotis velifer*. *J. Wildl. Manage.*, 66(3): 618-624.
- Marimuthu G., Rajan S., Chandrashekar M.K., 1981. Social entrainment of the circadian rhythm in the flight activity of the microchiropteran bat *Hipposideros speoris*. *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 8: 147-150.
- Marimuthu G., Chandrashekar M.K., 1983. Continuous light inside a cave abolishes the social synchronization of the circadian rhythm in a bat. *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 12: 321-323.
- McGuire L.P., Fenton M.B., 2010. Hitting the wall: light affects the obstacle avoidance ability of free-flying little brown bats (*Myotis lucifugus*). *Acta chiropterologica*, 12(1): 247-250.
- Melyan Z., Tarttelin E.E., Bellingham J., Lucas R.J., and Hankins M.W., 2005. Addition of human melanopsin renders mammalian cells photoreceptive. *Nature*, 433: 741-745.
- Mikkola K., 1972. Behavioural and electrophysiological responses of night-flying insects, especially Lepidoptera, to near-ultraviolet and visible light. *Annales Zoologici Fennici*, 9: 225-254.
- Moore M.V., Kohler S.J., Cheers M.S., 2006. Artificial light at night in freshwater habitats and its potential ecological effects. In: Rich C., Longcore T. eds., *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, Island Press, Washington, 365-384.
- Müller B., Glösmann M., Peichl L., Knop G.C., Hagemann C., Ammermuller J., 2009. Bat eyes have ultraviolet-sensitive cone photoreceptors. *PLoS ONE* 4(7): e6390. doi:10.1371/journal.pone.0006390
- Navara K.J., Nelson R.J., 2007. The dark side of light at night: physiological, epidemiological and ecological consequences. *J. Pineal Res.*, 43: 215-224.
- Panda S., Nayak S.K., Campo B., Walker J.R., Hogenesch J.B., Jegla T., 2005. Illumination of melatonin signaling pathway. *Science*, 307: 600-604.
- Paul M.J., Zucker I., Schwartz W.J., 2008. Tracking the seasons: the internal calendars of vertebrates. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 363: 341–361.
- Pauley S.M., 2004. Lighting for the human circadian clock: recent research indicates that lighting has become a public health issue. *Medical Hypotheses*, 63: 588-596.
- Peichl L., 2005. Diversity of mammalian photoreceptor properties: adaptation to habitat and lifestyle? *Anat. Rec. A*, 287A: 1001–1012.
- Petrželková K., Zukal J., 2001. Emergence behaviour of the serotine bat (*Eptesicus serotinus*) under predation risk. *Netherlands Journal of Zoology*, 51(4): 395-414.
- Qiu X., Kumbalasing T., Carlson S.M., Wong K.Y., Krishna V., Provencio I., Berson D., 2005. Induction of photosensitivity by heterologous expression of melatonin. *Nature*, 433: 745-749.
- Racey P.A., Swift S.M., 1985. Feeding ecology of *Pipistrellus pipistrellus* (Chiroptera: Vespertilionidae) during pregnancy and lactation. I. Foraging behaviour. *Journ. Anim. Ecol.*, 54: 205-215.

- Radetsky L., 2010. Streetlights for collector roads. NLPIP (National Lighting Product Information Program) Specifier Reports, 13(1), September 2010 (Rev. 2, November 2010). 48 pp.
- Reinhold J.O., 1993. Lantaarnpalen en laatvliegers. Nieuwsbrief VLN, 15(5): 2-5.
- Reiter G., Zahn A., 2006. Bat roosts in the alpine area: guidelines for the renovation of buildings. INTERREG IIB Project Habitat Network. Pp.131 - www.livingspacenetwork.bayern.de
- Robinson W.H., 2005. Urban insects and arachnids. A handbook of urban entomology. Cambridge University Press. 472 pp.
- Rydell, 1991. Seasonal use of illuminated areas by foraging northern bats *Eptesicus nilssonii*. Holarctic Ecology (Ecography), 14(3): 203-207.
- Rydell J., 1992. Exploitation of insects around streetlamps by bats in Sweden. Functional Ecology, 6: 744-750.
- Rydell J., 2006. Bats and their insect prey at streetlights. In: Rich & Longcore eds. Ecological Consequences of Artificial Night Lighting, Island Press, Washington, 43-60.
- Rydell J., Entwistle A., Racey P., 1996. Timing of foraging flights of three species of bats in relation to insect activity and predation risk. Oikos, 76: 243-252.
- Rydell, J., Racey P. A., 1995. Street lamps and the feeding ecology of insectivorous bats. Symposium of the Zoological Society of London, 67: 291–307.
- Rydell, J., Speakman, J.R., 1995. Evolution of nocturnality in bats: potential competitors and predators during their early history. Biol. J. Linn. Soc., 54: 183–191.
- Schanowski A., Spath V., 1994. Überbelichtet: Vorschläge für eine umweltfreundliche Aussenbeleuchtung. Naturschutzbund Deutschland (NABU), Kornwestheim.
- Scheibe A.M., 2000. Quantitative Aspekte der Anziehungskraft von Straßenbeleuchtungen auf die Emergenz aus nahegelegenen Gewässern (*Ephemeroptera*, *Plecoptera*, *Trichoptera*, *Diptera*: *Simuliidae*, *Chironomidae*, *Empididae*) unter Berücksichtigung der spektralen Emission verschiedener Lichtquellen. Dissertation, Johannes Gutenberg-Universität, Mainz. 156 p. und Anhang.
- Schwartz C., Bartell P., Cassone V., Smotherman M., 2009. Distribution of 2-[¹²⁵I]iodomelatonin binding in the brain of Mexican free-tailed bats (*Tadarida brasiliensis*). Brain Behav. Evol., 73(1): 16-25.
- Speakman J.R., 1991. Why do insectivorous bats in Britain not fly in daylight more frequently? Functional Ecology, 5: 518-524.
- Sripathi K., 1982. Light relations of the circadian rhythm in the tropical bat *Taphozous nudiventris kachhensis* Dobson, 1872 under seminatural and laboratory conditions. PhD thesis, Madurai Kamaraj University, Madurai.
- Srivastava R.K., Krishna A., 2010a. Melatonin modulates glucose homeostasis during winter dormancy in a vespertilionid bat, *Scotophilus heathi*. Comparative Biochemistry and Physiology – Part A: Molecular & Integrative Physiology, 155(3): 392-400.
- Srivastava R.K., Krishna A., 2010b. Melatonin affects steroidogenesis and delayed ovulation during winter in vespertilionid bat, *Scotophilus heathi*. J. Steroid. Biochem. Mol. Biol. 118(1-2): 107-116.
- Stevens R.G., Blask D.E., Brainard G.C., Hansen J., Lockley S.W., Provencio I., Rea M.S., Reinlib L., 2007. Meeting Report: The Role of Environmental Lighting and Circadian Disruption in Cancer and Other Diseases. Environ Health Perspect 115(9): 1357–1362.
- Stone E.L., Jones G., Harris S., 2009. Street lighting disturbs commuting bats. Current Biology, 19 (13): 1123-1127.
- Sustek Z., 1999. Light attraction of carabid beetles and their survival in the city centre. Biologia (Bratislava), 54(5): 539-551.

- Svensson A.M., Rydell J., 1998. Mercury vapour lamps interfere with the bat defence of tympanate moths (*Operophtera* spp., Geometridae). *Anim. Behav.*, 55: 223-226.
- Szentkiralyi F., 2002. Fifty-year-long insect survey in Hungary: T. Jermy's contributions to light-trapping. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 48(Suppl. 1): 85–105.
- Theiler A., 2004. Unterschiedliche Ausflugszeiten bei der Kleinen Hufeisennase - Landschaftsstrukturen beeinflussen den Aufbruch zur Jagd. *FMAZ*, 79: 4.
- Tobias W., 1996. Sommernächtliches "Schneetreiben" am Main. Zum Phänomen des Massenfluges von Eintagsfliegen. *Natur und Museum*, 126 (2): 37-54.
- Uffen R., 1994. Report of East Region meeting, Nottingham University, 13/11/1993. *Antenna*, 18: 80-81.
- Verkem S., Moermans T., 2002. The influence of artificial light on the emerging time of Geoffroy's bat *Myotis emarginatus*. Abstracts Bat Research Symposium, Le Havre, 2002. *Bat Research News*, fall 2002: 113.
- Wang D., Oakley T., Mower J., Shimming L.C., Yim S., Honeycutt R.L., Tsao H., Li W.H., 2004. Molecular evolution of bat color vision genes. *Mol. Biol. Evol.*, 21: 295–302.
- Wang Y., Pan Y., Parsons S., Walker M.M., Zhang S., 2007. Bats respond to polarity of a magnetic field. *Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 274: 2901–2905.
- Wolf W.W., Sparks A.N., Pair S.D., Westbrook J.K., Truesdale F.M., 1986. Radar observations and collections of insects in the Gulf of Mexico. In: Danthanarayana W. ed., *Insect Flight: Dispersal and Migration*. Springer-Verlag: Berlin Heidelberg: 221-234.
- Zawilska J.B., Skene D.J., Arendt J., 2009. Physiology and pharmacology of melatonin in relation to biological rhythms. *Pharmacological Reports*, 61: 383-410.
- Zhao H., Rossiter S.J., Teeling E.C., Li C., Cotton J.A., Zhang S., 2009. The evolution of color vision in nocturnal mammals. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 106(22): 8980-8985.