

Impatto dell' inquinamento luminoso sugli Artropodi: analisi di casi di studio

Giuseppe Camerini^{*}, Monica Masanta²

¹ Istituto di Istruzione Superiore "Taramelli Foscolo", Via Mascheroni, 53 – 27100 Pavia

² Istituto di Istruzione Superiore "A.Maserati", Via Mussini, 22 - Voghera (Pv)

^{*} Referente per la corrispondenza. E-mail: giuseppe.camerini@taramellifoscolo.it

Pervenuto l'11.8.2021; accettato il 4.9.2021

Riassunto

L'inquinamento luminoso interferisce con la fisiologia degli organismi viventi e con le dinamiche che regolano gli ecosistemi. Causa del fenomeno è la progressiva antropizzazione delle terre emerse dovuta da un lato all'aumento della popolazione umana, dall'altro al fenomeno della crescita urbana. L'articolo presenta e discute i risultati di una serie di casi di studio che hanno esaminato gli effetti dell'esposizione alla luce artificiale su insetti e ragni. I meccanismi che principalmente interferiscono con la biologia e l'ecologia di questi organismi sono: l'alterazione dei cicli di sviluppo, la compromissione della capacità visiva con conseguente disorientamento spaziale, l'attrazione verso fonti luminose (fototassi positiva), l'alterazione dei rapporti predatore-preda e l'interferenza con i meccanismi dell'impollinazione. È opinione diffusa che il declino delle popolazioni di Artropodi che si registra in molte aree del Pianeta sia riconducibile a un insieme di fattori quali l'impatto degli insetticidi, la distruzione degli habitat, i mutamenti climatici e –non ultimo per importanza– l'inquinamento luminoso. Quest'ultimo tende a condizionare gli organismi viventi funzionando come un vero e proprio fattore di pressione selettiva. Le strategie per contenere e ridurre il fenomeno consistono nella maggiore efficienza degli impianti di illuminazione, nella implementazione di fonti luminose meno impattanti e nel contenimento dell'urbanizzazione.

PAROLE CHIAVE: insetti / ragni / illuminazione artificiale / pressione selettiva

Impact of light pollution on Arthropods: review of some cases of study

Light pollution impacts both on living organism physiology and on ecological interactions. Such an impact is due to the growing anthropization of the Planet, which implies an increase in human population and in urban sprawl. This paper reviews some cases of study concerning the impact of artificial night lighting on spiders and insects. The main effects of light pollution on Arthropods are the interferences on biological cycles and on reproduction, spatial disorientation, attraction to light sources (positive phototaxis), changes of prey-predator relationships, pollination dynamics changes. It is common opinion that the worldwide decline of insect populations is occurring due to several stressors, such as pesticide use, habitat destruction, climate changes and –last but not least– light pollution, which tends to affect living organisms by working as a factor of selection pressure. Strategies which can be adopted in order to limit light pollution impact are efficiency improvements of lighting systems, optimization of light emission spectra and urban expansion control.

KEY WORDS: insects / spiders / artificial light / selective pressure

INTRODUZIONE

L'illuminazione artificiale a servizio di strade o edifici e altre fonti di emissione luminosa, come ad esempio le insegne o i fari dei veicoli (Gaston *et al.*, 2021), produ-

cono nel loro insieme il cosiddetto "inquinamento luminoso". Il fenomeno è di ostacolo all'osservazione astronomica (Cinzano *et al.*, 2001; Falchi *et al.*, 2011) e interferisce

anche con gli organismi viventi (Falchi *et al.*, 2016; 2019). Ignorato per lungo tempo, il problema fu posto all'attenzione della comunità scientifica grazie agli studi svolti

negli anni '50 da Verhewijen (1958), che dimostrò come la luce artificiale sia in grado di attrarre e disorientare molti animali notturni. In tempi più recenti un grande contributo scientifico è venuto dalla pubblicazione del volume di Rich e Longcore (2006), che raccoglie le esperienze di numerosi ricercatori impegnati ad indagare cause ed effetti del fenomeno.

L'esposizione alla luce artificiale condiziona in misura significativa la fisiologia degli organismi viventi e anche la specie umana non fa eccezione (Camerini, 2014; Svehkina *et al.*, 2020). L'impatto può derivare da una sorgente luminosa ben identificabile e talora puntiforme (es. il singolo lampione) oppure può manifestarsi in forma di luce diffusa ("sky glow"). Quest'ultima è il risultato delle interferenze della luce con l'atmosfera, la superficie del suolo e le nubi e si traduce nella formazione di un'aura luminosa sospesa sul piano dell'orizzonte, che può assumere dimensioni imponenti in coincidenza con le aree metropolitane (Crawford e Hunter, 1990). Il fenomeno è in crescita: tra il 2012 e il 2016 l'inquinamento luminoso è aumentato del 2,2% annuo su scala planetaria (Kyba *et al.*, 2017). Tra le cause del problema vi sono la progressiva antropizzazione delle terre emerse dovuta da un lato all'aumento della popolazione umana, dall'altro al fenomeno della "crescita diffusa" ("urban sprawl") degli agglomerati urbani, non necessariamente riconducibile alla crescita demografica (Camerini, 2018).

Un decimo della superficie del Pianeta sperimenta gli effetti più diretti dell'inquinamento luminoso, ma se si fa riferimento alla luce diffusa, la superficie interessata dal fenomeno fra le latitudini 75°N e 60°S è pari al 23% (Falchi *et al.*, 2016). Il problema, che in

origine riguardava solo le aree più industrializzate e densamente popolate (Falchi *et al.*, 2019) coinvolge ormai anche Nazioni che in passato ne erano relativamente indenni, come dimostrano recenti studi svolti, ad esempio, in Brasile (Freitas *et al.*, 2019) o nell'area balcanica (Peregrym *et al.*, 2020). Nell'ambito del territorio italiano le aree ove il fenomeno è più evidente sono la pianura padana, le regioni costiere e le aree urbane di Napoli e Roma.

Nel caso delle comunità animali, le alterazioni indotte dalla luce artificiale agiscono sulle molte specie che hanno abitudini crepuscolari o notturne. Per queste specie la luce artificiale rappresenta un fattore di pressione selettiva che, quand'anche non ne pregiudichi la possibilità di sopravvivenza, può condizionare la fitness, il trionfo, la migrazione o le dinamiche di predazione. Gli effetti sui singoli organismi si ripercuotono poi sulle loro reciproche interazioni, emergendo quindi a livelli di organizzazione più complessa, come la popolazione, la comunità e l'e-

cosistema (Irwin, 2018; Sanders e Gaston, 2018).

Di seguito vengono presentati e discussi i risultati di una serie di ricerche che hanno preso in esame gli effetti dell'esposizione alla luce artificiale sugli Artropodi. I meccanismi che principalmente interferiscono con la biologia e l'ecologia di questi organismi (Owens e Lewis, 2018) sono indicati nella figura 1.

Alterazione dei cicli di sviluppo e della riproduzione

L'interferenza della luce artificiale con il metabolismo e i cicli di sviluppo si evidenzia anzitutto a livello molecolare. *Phalerisida maculata* (Kulzer, 1959) è un Coleottero Tenebrionide che vive nei litorali marini sabbiosi del Sud America. Quintanilla-Ahumada *et al.* (2021) hanno analizzato la risposta di questa specie all'esposizione notturna a luce artificiale (60 lux; 120 lux). Rispetto al campione di controllo (zero lux) gli esemplari cresciuti in condizioni di disturbo luminoso manifestavano un rapporto RNA:DNA significativamen-

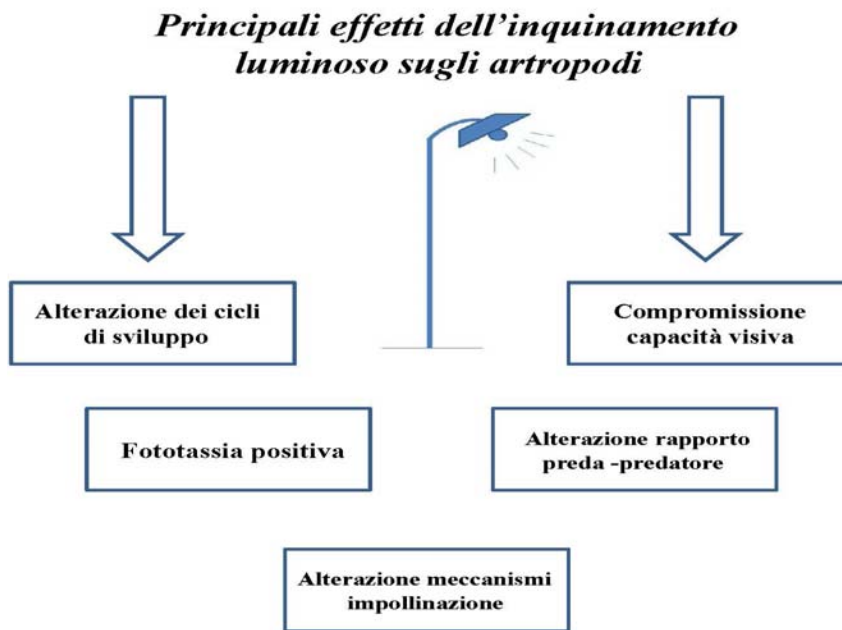


Fig. 1. Rappresentazione dei principali meccanismi di impatto della luce artificiale a danno degli artropodi.

te più basso, in ragione di una riduzione della sintesi proteica, che a sua volta era il risultato di un'inibizione dell'attività trofica.

In un esperimento svolto da Grenis e Murphy (2018) in Colorado è stato studiato l'impatto della luce artificiale sulle modalità di crescita di una specie vegetale e di un suo fitofago. Più nello specifico, è stato valutato il possibile effetto di lampade al sodio ad alta pressione sul metabolismo della pianta erbacea *Bromus inermis* (Leyss., 1761) misurando il rapporto C:N, la biomassa secca e lo sviluppo delle lamine fogliari. L'esposizione alla luce artificiale non influiva né sul rapporto C:N né sulla biomassa, mentre venivano osservate differenze significative in termini di sviluppo delle lamine fogliari. Fu analizzato anche l'effetto della luce artificiale sulle larve del lepidottero notturno *Apamea sordens* (Hufnagel, 1766), fitofago di *B. inermis*: le larve mostravano un rallentamento del loro sviluppo rispetto a quelle cresciute senza essere state esposte all'illuminazione artificiale nelle ore notturne.

Teleogryllus commodus (Walker, 1869) è un comune grilide che vive in Australia e ha abitudini crepuscolari. Botha *et al.*, (2017) hanno allevato questa specie per valutare gli effetti dell'esposizione notturna a tre livelli di illuminamento (1, 10, 100 lux) rispetto al campione di controllo (illuminanza nulla). L'esposizione ai due livelli di luminosità più elevati riduceva il successo riproduttivo, mentre non si osservavano variazioni di sorta per quanto riguarda le modalità di emissione dei richiami sonori da parte dei maschi.

Numerose evidenze scientifiche indicano nella soppressione della secrezione di melatonina uno dei principali effetti a livello biochimico provocato dall'illuminazione artificiale. Oltre ad avere

un ruolo fondamentale come regolatore del cosiddetto "orologio biologico", essa funziona come antiossidante ed interviene nell'ambito dei meccanismi immunitari. La melatonina può anche mitigare gli effetti negativi dell'inquinamento luminoso, come osservato da un gruppo di ricerca australiano (Jones *et al.*, 2015). Il dosaggio di questo ormone nella dieta somministrata ad individui adulti dell'ortottero *Teleogryllus commodus* compensava –se pure solo in parte– gli effetti negativi della esposizione a luce artificiale costante, ovvero una maggiore mortalità delle neanidi e una riduzione della fecondità.

Cameraria ohridella (Deschka e Dimic, 1986) è un lepidottero minatore fogliare dell'ippocastano (*Aesculus hippocastanum* L., 1753). Al termine della stagione vegetativa campioni di giovani piante di questa specie arborea infestate dal fitofago furono collocate in serra ed esposte durante le ore notturne –rispettivamente– a 1,3 lux e 60 lux. A differenza di quanto osservato nel caso delle piante sottoposte a basse luminosità, si osservava lo sviluppo di un'ulteriore generazione dell'insetto in risposta all'esposizione a 60 lux. Ulteriori rilievi effettuati nella città di Berlino e nella regione rurale del Brandeburgo dimostrarono inoltre che le foglie degli alberi esposti alla luce artificiale mostravano lamine fogliari più grandi e un'attività trofica più intensa da parte delle larve minatrici (Schroer *et al.* 2019).

Compromissione della capacità visiva e disorientamento spaziale

Le lucciole (Coleoptera Lampyridae) sono particolarmente sensibili all'inquinamento luminoso, dal momento che l'incontro tra i sessi si basa sull'emissione di impulsi luminosi che spiccano

nel buio della notte (Picchi *et al.*, 2013). In *Lampyris noctiluca* (L. 1767) l'attrazione verso le femmine da parte dei maschi può essere del tutto compromessa in presenza di un'illuminanza nell'ordine di 0,18 lux (Bird e Parker, 2014). Si tratta di un livello luminoso che nel Regno Unito, dove la ricerca si è svolta, risulta ben inferiore a 1,5 lux, valore indicato dalla legislazione vigente come raccomandato. Un'altra ricerca su *L. noctiluca* svolta in Finlandia (Elgert *et al.*, 2020) ha evidenziato che l'esposizione alla luce artificiale ritarda l'emissione di luce da parte delle femmine adulte rispetto ai normali ritmi con i quali essa si manifesta, oppure la inibisce. Il medesimo gruppo di ricerca ha inoltre dimostrato che l'esposizione a livelli di illuminanza paragonabili a quelli considerati standard in Finlandia per gli impianti di illuminazione pubblica tende ad ostacolare la localizzazione delle femmine da parte dei maschi, i quali sono inclini a selezionare gli esemplari di femmina capaci di produrre una luce più intensa (Elgert *et al.*, 2021). Anche Van den Broeck *et al.*, (2021) hanno dimostrato effetti simili a danno di *L. noctiluca* nel caso di esposizione a luci LED bianche, evidenziando che l'interferenza cresceva all'aumentare dell'intensità luminosa, mentre non veniva influenzata dalla temperatura di colore.

Un altro studio sulle possibili interferenze della luce artificiale con le dinamiche di corteggiamento dei lampiridi è quello condotto da Owens e Lewis (2021) su *Photinus obscurellus* (LeConte 1851). La ricerca, che è stata realizzata in laboratorio utilizzando esemplari di ambo i sessi, ha analizzato cinque fonti luminose LED a diverso spettro emissivo (bianco freddo, bianco caldo, ambra, blu e rosso) ed ha registrato una generale inibizione del dialogo luminoso pre-

riproduttivo, soprattutto da parte della luce emessa dalle lampade color ambra.

Alcune specie di lampiridi sono attratte dalla luce artificiale, come ad esempio *Photuris versicolor* (Fabricius, 1798) e *Photinus pyralis* (L., 1767), entrambi presenti negli USA. Anche in questo caso si viene a determinare un'inibizione del dialogo luminoso alla base del corteggiamento, in quanto l'addensamento degli individui nei pressi della fonte luminosa ha come effetto la riduzione del successo riproduttivo, generando così una sorta di trappola demografica (Firebaugh e Haynes, 2019).

In Sudamerica l'illuminazione artificiale è considerata una delle principali minacce per la sopravvivenza delle lucciole: una ricerca condotta nella foresta atlantica (Brasile, Paraguay, Argentina) ha rilevato che l'inquinamento luminoso, non meno della deforestazione e dell'urbanizzazione, sta mettendo a rischio specie ormai confinate in "hot spots", che pure essendo aree protette non sono esenti dagli effetti dell'inquinamento luminoso (Vaz *et al.*, 2021).

Fototassi positiva

L'inquinamento luminoso è considerato una minaccia per le farfalle notturne; a supporto di questa evidenza vi sono i risultati di una ricerca condotta in Danimarca (van Langevelde *et al.*, 2018). Esaminando i dati di un progetto di monitoraggio nazionale (anni 1985 - 2015) è emerso che le specie di macrolepidotteri notturne dotate di fototassi positiva sono anche quelle che mostrano i trend di popolazione più negativi. Indicazioni simili vengono anche da uno studio che analizza le dinamiche di popolazione di 100 specie di macrolepidotteri nel Regno Unito e in Irlanda tra il 1962 e il 2002 (Wilson *et al.*, 2018). Secondo Bo-

yes *et al.* (2021) che hanno analizzato in forma di review i principali meccanismi di interferenza della luce artificiale sul ciclo vitale delle farfalle notturne, un impatto è dimostrabile sui singoli individui, ma non esistono dati sufficienti per sostenere che si tratti di un fattore determinante per giustificare il declino dei questi insetti.

Un ulteriore studio sui lepidotteri notturni svolto da van Grunsven *et al.* (2020) in Olanda tra il 2012 e il 2016 ha evidenziato l'effetto negativo di tre diverse fonti di luce artificiale (bianca, verde, rossa). Nella prima fase dello studio non si sono rilevati effetti di sorta sull'abbondanza delle popolazioni, mentre tra il 2014-2016 è stato registrato un decremento significativo (-14%). Secondo gli Autori questo risultato dimostra che i danni derivanti dall'esposizione alla luce artificiale devono essere studiati con cura anche su tempi lunghi, poiché si possono manifestare dopo un periodo di latenza.

Il lavoro di Plummer *et al.* (2016) ha preso in esame l'uso dell'habitat da parte delle popolazioni di farfalle notturne della città di Birmingham (UK); dallo studio è emerso che questi lepidotteri sono attratti verso i giardini delle aree suburbane dove la dotazione di fonti luminose artificiali è più ricca e più varia. Tali aree funzionano come delle vere e proprie "trappole ecologiche", dal momento che all'addensamento delle falene non corrispondono risorse sufficienti per la loro sopravvivenza e riproduzione. Lo studio ha anche dimostrato che la sostituzione di lampade al sodio a bassa pressione con sorgenti luminose al sodio ad alta pressione ha l'effetto di mitigare il disturbo. Effetti simili sono emersi da una ricerca durata tre anni e svolta in Slovenia che ha preso in esame l'illuminazione artificiale a servizio di 15 edifici di interes-

se storico (Verovnik *et al.* 2015). Lo studio ha analizzato gli effetti della sostituzione dell'originaria illuminazione artificiale (lampade a ioduro metallico, sodio ad alta pressione) con lampade al sodio di colore blu e giallo. Tale sostituzione ha ridotto di 6 volte il numero di individui attratti dalle fonti luminose. L'esperimento condotto da Brehm *et al.* (2021) a Jena (Germania) indica la particolare attrazione dei lepidotteri notturni nei confronti delle componenti ultravioletto e blu.

Un interessante esperimento finalizzato a sperimentare gli effetti della luce stroboscopica (intermittente) è quello condotto da Barroso *et al.* (2015) in Brasile. In questo caso i ricercatori sono partiti dall'ipotesi che luci stroboscopiche fatte pulsare a diverse frequenze potessero avere effetti diversi rispetto alle tradizionali fonti luminose a luce continua. A tale scopo sono stati conteggiati ed identificati gli insetti (imenotteri, coleotteri, ditteri ed emitteri) catturati da trappole luminose su cui erano montate lampade di entrambe le tipologie; a conferma dell'ipotesi, il numero di catture con trappole a luce stroboscopica era significativamente inferiore.

Per quanto riguarda l'attrattività verso lampade LED di colore bianco (del tipo "freddo" e "caldo") uno studio condotto in 18 località del sud ovest dell'Inghilterra, in ambienti pratici lontani da fonti luminose (Wakefield *et al.*, 2016) ha confermato che il numero di insetti (ditteri) attratto dalle lampade LED era significativamente più basso rispetto alle altre tipologie testate (lampadine incandescenti al tungsteno, lampadine fluorescenti).

Inoltre, uno studio comparativo fra le popolazioni urbane e rurali del ragno *Steatoda triangulosa* (Walckenaer, 1802) ha dimostrato che gli esemplari sessualmente im-

maturi delle popolazioni rurali in gran parte evitano la costruzione dei nidi in aree illuminate artificialmente, contrariamente ai ragni delle popolazioni urbane. Il dato dimostra che l'inquinamento luminoso può agire come fattore di pressione selettiva (Czaczkas *et al.*, 2018).

Infine, le femmine adulte degli Efemerotteri risalgono contro corrente i fiumi prima dell'ovideposizione e possono essere attratte dalle fonti luminose artificiali presenti in corrispondenza dei ponti e di conseguenza possono essere allontanate dalle acque del fiume. Mészáros *et al.* (2021) hanno esaminato il potere attrattivo di alcune diverse sorgenti emissive su *Ephoron virgo* (Olivier, 1791) e *Caenis macrura* (Stephens, 1835) ed hanno notato una progressiva fototassi in relazione alla lunghezza d'onda: le sorgenti emissive in cui dominano le componenti bianco e blu sono infatti più attrattive rispetto a quelle in cui a prevalere è il giallo.

Alterazione dei rapporti predatore-preda

I rapporti fra pipistrelli e insetti notturni evidenziano gli effetti dell'illuminazione artificiale sulle dinamiche preda/predatore. In un esperimento condotto in Sudafrica da Minaar *et al.* (2015) furono posti a confronto i meccanismi di predazione di lepidotteri notturni da parte del chiroterro *Neoromicia capensis* (Smith, 1829) in aree illuminate e in altre prive di illuminazione. Il tasso di predazione nelle aree dotate di illuminazione artificiale era superiore e secondo gli Autori il dato era da mettere in relazione al fatto che l'inquinamento luminoso tendeva a sopprimere i meccanismi anti-predatori messi in atto dalle falene. A conferma di questa teoria va citato l'esperimento di Hügel e Goerlitz (2019) che prevedeva la cattura di farfalle not-

turne con trappole luminose (lampada fluorescente) nei pressi delle quali veniva attivata l'emissione artificiale di ultrasuoni. È stato dimostrato che la luce artificiale inibiva i comportamenti difensivi da parte delle prede. In modo analogo Wakefield *et al.* (2015) hanno dimostrato un effetto simile causato da lampade LED.

Bolliger *et al.* (2020) hanno analizzato i possibili effetti della presenza di luci LED bianche a diversa temperatura di colore (2700 K, 6500 K) sulla predazione degli insetti notturni da parte di *Pipistrellus pipistrellus* (Schreber, 1774) nell'area peri-urbana di Zurigo. Gli Autori hanno riscontrato effetti trascurabili, interpretando il dato sulla base di due possibili spiegazioni. La prima fa riferimento al limitato impatto delle tipologie di fonti luminose testate. La seconda è riconducibile al fatto che l'area di studio era dotata da decenni di illuminazione artificiale notturna.

Una ricerca svolta a Torino ha preso in esame il ragno *Brigittea civica* (Lucas, 1850), che si insedia sulle facciate degli edifici storici. Lo studio ha dimostrato che l'abbondanza di questo ragno era correlata positivamente al livello di luce artificiale incidente sulla superficie dei monumenti, in quanto le zone più illuminate erano anche quelle che attraevano in abbondanza gli insetti catturati dai ragni (Mammola *et al.*, 2018). La specie mostrava preferenza per i soffitti illuminati da lampioni ad incandescenza rispetto alle aree esposte a lampade alogene.

Analoghe indicazioni vengono da uno studio australiano, che dimostra la preferenza per aree illuminate artificialmente (nel caso specifico luce a LED) da parte del ragno *Eriophora biapicata* (Koch, 1871) che colonizza i giardini delle abitazioni in ambiente urbano (Willmott *et al.*, 2019). Ulteriori

esperimenti su questa specie hanno dimostrato che l'esposizione cronica a luci a LED influisce in maniera significativa sulla fisiologia dei ragni (tasso di crescita, mortalità e successo riproduttivo); ad esempio lo sviluppo giovanile veniva accelerato, ma a prezzo di dimensioni minori degli adulti e di un maggior tasso di mortalità. Anche il numero di uova deposte nelle aree illuminate era inferiore rispetto al campione di controllo. Pertanto le popolazioni di *E. biapicata* insediate in ambienti urbani erano soggette a due fattori di pressione selettiva: l'uno orientava la specie verso ambienti illuminati da luce artificiale in ragione dei vantaggi in termini di foraggiamento, l'altro agiva in negativo, inibendo il tasso riproduttivo.

Va detto infine che la luce artificiale non sempre favorisce la cattura di prede nelle tele da parte dei ragni. Ad esempio, *Nephila pilipes* (Fabricius, 1793) cattura le prede –in prevalenza farfalle notturne– nelle sue tele fissate alle corolle dei fiori grazie al suo mimetismo (colore giallo mimico rispetto a quello del polline) ma in presenza di luce artificiale la strategia predatoria risulta meno efficace (Yuen e Bonebrake, 2017).

Alterazione dei meccanismi alla base dell'impollinazione

Numerose sono le specie di insetti impollinatori con abitudini notturne. Il loro percorso evolutivo li ha dotati di un'efficiente capacità visiva anche a livelli luminosi quasi nulli, o della possibilità di orientarsi verso le fonti di polline/nettare tramite l'olfatto o la percezione dell'umidità emessa dai fiori appena sbocciati. In tempi recenti la massiccia immissione nell'ambiente di luce artificiale ha improvvisamente scombinato equilibri consolidatisi nei lunghi tempi dell'evoluzione (Borges, 2018; Ste-

wart, 2021).

Mac Gregor *et al.*, (2015, 2017) hanno verificato che gli impianti di illuminazione artificiale che attraggono le farfalle notturne finiscono per danneggiare numerose specie impollinatrici. In una successiva ricerca del 2020, tuttavia, studiando l'impollinazione del vegetale *Silene latifolia* in parcelle sperimentali diversamente esposte alla luce artificiale, hanno osservato che le piante esposte a luci LED mostravano un successo maggiore in termini di impollinazione rispetto alle piante non esposte alla luce artificiale (Macgregor e Scott-Brown, 2020).

Infine, lo studio condotto da Knop *et al.* (2018) ha dimostrato che l'inquinamento luminoso può compromettere l'efficacia dell'impollinazione da parte degli insetti notturni (lepidotteri, coleotteri, ditteri). In colture prative foraggere illuminate artificialmente, la frequenza delle visite degli insetti alle corolle dei fiori era inferiore del 62% rispetto alle aree di controllo mantenute al buio. È stata inoltre registrata una riduzione del 13% della produzione di frutti in piante che pure erano liberamente accessibili da parte degli impollinatori con abitudini diurne.

CONCLUSIONI

Una crescente disponibilità di dati scientifici attesta il preoccupante declino delle popolazioni di insetti che si sta verificando in diverse aree del Pianeta (van Langevelde *et al.*, 2018). È opinione diffusa che tale declino sia riconducibile a un insieme di fattori, quali l'impatto degli insetticidi, la distruzione degli habitat, i mutamenti climatici e –non ultimo per importanza– l'inquinamento luminoso (Owens *et al.*, 2020; Grubisic *et al.*, 2021). I primi impianti di illuminazione pubblica risalgono a inizio '800; da allora l'Umanità

ha avuto a disposizione uno strumento molto potente per sottrarre spazio alla notte. Se da un lato tale innovazione ha rappresentato una vera e propria rivoluzione che ha favorito l'economia e la fruibilità dello spazio urbano, dall'altro ha avuto effetti dirompenti. I bioritmi che regolano l'attività metabolica degli organismi sono infatti il risultato di un processo di adattamento ed evoluzione avviatosi con la comparsa stessa della vita e dunque hanno preso forma su una scala temporale che non è minimamente comparabile con quella che ha fatto da sfondo all'invenzione e alla prima applicazione della luce artificiale (Singhal *et al.*, 2021).

Rispetto ad altri fattori che sono stati e sono tuttora causa del cambiamento globale in corso (inquinamento dell'atmosfera, riscaldamento globale, contaminazione del suolo, deforestazione), il fenomeno dell'inquinamento luminoso è stato fino a tempi recenti sottovalutato. Tale sottovalutazione è per certi versi sorprendente, considerato il fatto che un numero consistente di specie del mondo animale ha abitudini crepuscolari e notturne ed è quindi inevitabile che per tali organismi la crescente immisione nell'atmosfera di luce artificiale rappresenti un fattore critico.

Quali indirizzi di risanamento ambientale è possibile mettere in atto per contrastare il problema? Purtroppo non esiste una fonte di emissione luminosa artificiale innocua e neppure è semplice analizzare l'impatto delle diverse fonti emissive sulle diverse componenti biologiche. Se si fa riferimento agli insetti, ad esempio, una sorgente luminosa che risulti relativamente poco impattante a danno di un certo taxa, può risultare invece di disturbo nei confronti di un altro gruppo di organismi (van Grusven *et al.*, 2019; Briolat *et al.*, 2021; Deichmann *et al.*, 2021). Su questo

aspetto negli anni più recenti sono stati raccolti molti preziosi dati e dunque in futuro sarà quanto meno possibile progettare gli apparati di illuminazione non solo in relazione alle loro prestazioni e al loro consumo energetico, ma anche sulla base del loro impatto sulle componenti biotiche; tuttavia il problema è molto più complesso poiché richiede interventi su più livelli. Un contributo importante può venire dal settore dell'illuminotecnica, con la progettazione di apparecchiature più efficienti che ad esempio siano in grado di minimizzare la dispersione di luce verso l'alto. Un contributo può venire anche dall'adeguamento degli impianti di illuminazione a standard che, pur assicurando una luminosità sufficiente, ne evitino ogni eccesso. Un ulteriore importante aspetto riguarda la pianificazione territoriale: fenomeni come la crescita diffusa ("urban sprawl") sono da considerare particolarmente deleteri poiché producono un incremento diffuso del fenomeno dell'inquinamento luminoso. L'auspicata adozione di linee di pianificazione ispirate al contenimento del consumo di suolo potrebbe –da questo punto di vista– contribuire all'obiettivo.

Infine le reti ecologiche, che sono state progettate con la finalità di compensare il fenomeno della frammentazione della trama di ambienti naturali/seminaturali e dell'isolamento che ne deriva, rischiano di non garantire piena efficacia qualora gli elementi stessi delle reti siano compromessi dalla presenza diffusa di sorgenti di luce artificiale. Tale eventualità va scongiurata mediante la rigorosa tutela dei corridoi di interconnessione, di cui vanno salvaguardate l'integrità e la permeabilità, cosa che per gli animali notturni significa massima attenzione a non creare barriere luminose che comprometterebbero la funzione delle reti ecologiche.

Bibliografia

- Barroso A., Haifig I., Janei V., Da Silva I., Dietrich C., Costa-Leonardo A. M., 2017. Effects of flickering light on the attraction of nocturnal insects. *Lighting Research e Technology*, **49**: 100-110.
- Bird S., Parker J. 2014. Low levels of light pollution may block the ability of male glow-worms *Lampyrus noctiluca* L. to locate females. *Journal of Insect Conservation*, **18**: 737-743.
- Bolliger J., Hennem T., Wermelinger B., Blum S., Haller J., Obrist M. K., 2020. Low impact of two LED colors on nocturnal insect abundance and bat activity in a peri-urban environment. *Journal of Insect Conservation*, **24**: 625-635.
- Borges R. M., 2018. Focus: Sensory Biology and Pain: Dark Matters: Challenges of Nocturnal Communication Between Plants and Animals in Delivery of Pollination Services. *The Yale journal of biology and medicine*, **91**: 33-42
- Botha L. M., Jones T. M., Hopkins G. R., 2017. Effects of lifetime exposure to artificial light at night on cricket (*Teleogryllus commodus*) courtship and mating behaviour. *Animal Behaviour*, **129**: 181-188.
- Boyes D. H., Evans D. M., Fox R., Parsons M. S., Pocock M. J., 2021. Is light pollution driving moth population declines? A review of causal mechanisms across the life cycle. *Insect Conservation and Diversity*, **142**: 167-187.
- Brehm G., Niermann J., Jaimes Nino L. M., Enselinget *et al.*, 2021. Moths are strongly attracted to ultraviolet and blue radiation. *Insect Conservation and Diversity*, **142**: 188-198.
- Briolat E. S., Gaston K. J., Bennie J., Rosenfeld E. J., Troscianko J., 2021. Artificial nighttime lighting impacts visual ecology links between flowers, pollinators and predators. *Nature Communications*, **121**: 1-8.
- Camerini G., 2014. Impatto dell'illuminazione artificiale sugli organismi viventi. *Biologia Ambientale*, **28**: 65-88.
- Camerini G., 2018. Consumo di suolo, urbanizzazione e perdita di biodiversità. *Biologia Ambientale*, **32**: 1-15.
- Cinzano P., Falchi F., Elvidge C.D., 2001. The first world atlas of the artificial night sky brightness. *Monthly Notes Royal Astronomical Society*, **328**: 689-707.
- Crawford D.L., Hunter T.B., 1990. The battle against light pollution. *Sky e Telescope*, **80**: 23-29.
- Czaczkcs T. J., Bastidas-Urrutia A. M., Ghislandi P., Tuní C., 2018. Reduced light avoidance in spiders from populations in light-polluted urban environments. *The Science of Nature*, **105**: 1-5.
- Deichmann J. L., Ampudia Gatty C., Andía Navarro J. M., *et al.*, 2021. Reducing the blue spectrum of artificial light at night minimises insect attraction in a tropical lowland forest. *Insect Conservation and Diversity*, **14**: 247-259.
- Elgert C., Hopkins J., Kaitala A., Candolin U., 2020. Reproduction under light pollution: maladaptive response to spatial variation in artificial light in a glow-worm. *Proceedings of the Royal Society B*, doi: 10.1098/rspb.2020.0806.
- Elgert C., Lehtonen T. K., Kaitala A., Candolin U., 2021. Sexual selection for bright females prevails under light pollution. *Current Zoology*, **67**: 329-331.
- Falchi F., Cinzano P., Elvidge C.D., Keith D.M., Haim A., 2011. Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. *Journal of Environmental Management*, **92**: 2714-2722.
- Falchi F., Cinzano P., Duriscoe D., Kyba C.C. *et al.*, 2016. The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science advances*, **2**, doi: e160037
- Falchi F., Furgoni R., Gallaway T.A., Rybnikova N.A. *et al.*, 2019. Light pollution in USA and Europe: The good, the bad and the ugly. *Journal of environmental management*, **248**, doi: 109227.
- Firebaugh A., Haynes K. J., 2019. Light pollution may create demographic traps for nocturnal insects. *Basic and Applied Ecology*, **34**: 118-125.
- Freitas J.R., Bennie J., Mantovani W., Gaston K.J., 2017. Exposure of tropical ecosystems to artificial light at night: Brazil as a case study. *PLoS ONE*, **12**: e0171655.
- Gaston K. J., Ackermann S., Bennie J., Cox D. T., Phillips B. B., de Miguel A. S., Sanders D., 2021. Pervasiveness of biological impacts of artificial light at night. *Integrative and Comparative Biology*, icab145.
- Grenis K., Murphy S. M., 2019. Direct and indirect effects of light pollution on the performance of an herbivorous insect. *Insect science*, **264**: 770-776.
- Grubisic M., van Grunsven R. H., 2021. Artificial light at night disrupts species interactions and changes insect communities. *Current Opinion in Insect Science*, **47**: 136-141.
- Hügel T., Goerlitz H. R., 2019. Light suppresses the acoustically prompted predator-avoidance behaviour in moths. *bioRxiv*, 727248.
- Hügel T., Goerlitz H. R., 2020. Light might suppress both types of sound-evoked antipredator flight in moths. *Ecology and evolution*, **1023**: 13134-13142.
- Knop E., Zoller L., Ryser R., Gerpe C., Hörler M., Fontaine C., 2017. Artificial light at night as a new threat to pollination. *Nature*, **5487666**: 206-209.
- Kyba C. C., Kuester T., De Miguel A. S., Baugh K *et al.*, 2017. Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science advances*, **311**, e1701528.
- Jones T. M., Durrant J., Michaelides E. B., Green M. P., 2015. Melatonin: a possible link between the presence of artificial light at night and reductions in biological fitness. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, **3701667**, 20140122.
- Irwin A., 2018. The dark side of light: how artificial lighting is harming the natural world. *Nature*, **553**: 268-270.
- Macgregor C. J., Pocock M. J., Fox R., Evans, D. M., 2015. Pollination by nocturnal Lepidoptera, and the effects of light pollution: a review. *Ecological entomology*, **40**: 187-198.
- Macgregor C. J., Evans D. M., Fox R.,

- Pocock M. J., 2017. The dark side of street lighting: impacts on moths and evidence for the disruption of nocturnal pollen transport. *Global Change Biology*, **23**: 697-707.
- Macgregor C. J., Scott-Brown A. S., 2020. Nocturnal pollination: An overlooked ecosystem service vulnerable to environmental change. *Emerging topics in life sciences*, **4**: 19-32.
- Mammola S., Isaia M., Demonte D., Triolo P., Nervo M., 2018. Artificial lighting triggers the presence of urban spiders and their webs on historical buildings. *Landscape and Urban Planning*, **180**: 187-194.
- Mészáros Á., Kriska G., Egri, Á., 2021. Spectral optimization of beacon lights for the protection of night-swarming mayflies. *Insect Conservation and Diversity*, **14**: 225-234.
- Minaar C., Boyles J. G., Minaar I. A., Sole C. L., McKechnie A. E., 2015. Stacking the odds: light pollution may shift the balance in an ancient predator-prey arms race. *Journal of applied ecology*, **52**: 522-531.
- Owens A. C., Lewis S. M., 2018. The impact of artificial light at night on nocturnal insects: A review and synthesis. *Ecology and evolution*, **8**: 11337-11358.
- Owens A. C., Cochard P., Durrant J., Farnworth B., Perkin E. K., Seymour B., 2020. Light pollution is a driver of insect declines. *Biological Conservation*, **241**, doi:108259.
- Owens A.C. and Lewis S.M., 2021. Narrow-spectrum artificial light silences female fireflies (Coleoptera: Lampyridae). *Insect Conservation and Diversity*, **14**: 199-210.
- Peregrin M., Kabaš E., Tashev A., Dragičević S., Pénteszé Kónya E., Savchenko M., 2020. Is Artificial Light at Night Dangerous for the Balkan Strict Protected Areas at Present? *Water, Air and Soil Pollution*, **231**: 1-15.
- Picchi M., Azzani L., Avolio L., Brombin O., Camerini G., 2013. Fireflies and land use in an urban landscape: the case of *Luciola italica* L. (Coleoptera: Lampyridae) in the city of Turin. *Journal of Insect Conservation*, **17**: 797-805.
- Plummer K. E., Hale J. D., O'Callaghan M. J., Sadler J. P., Siriwardena G. M., 2016. Investigating the impact of street lighting changes on garden moth communities. *Journal of Urban Ecology*, **2**, doi: juw004.
- Quintanilla-Ahumada D., Quijón P. A., Pulgar J., Manríquez P. H., García-Huidobro M. R., Duarte C., 2021. Exposure to artificial light at night ALAN alters RNA: DNA ratios in a sandy beach coleopteran insect. *Marine Pollution Bulletin*, **165**, doi: 112132.
- Rich C., Longcore T., 2006. *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, Island Press, 458 pp.
- Sanders D., Gaston K. J., 2018. How ecological communities respond to artificial light at night. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*, **329**: 394-400.
- Singhal R. K., Chauhan J., Jatav H. S., Rajput V. D., Singh G. S., Bose B. 2021. Artificial night light alters ecosystem services provided by biotic components. *Biologia Futura*, **72**: 169-185.
- Schroer S., Häffner E., Hölker F., 2019. Impact of artificial illumination on the development of a leafmining moth in urban trees. *International Journal of Sustainable Lighting*, **21**: 1-10.
- Stewart A.J., 2021. Impacts of artificial lighting at night on insect conservation. *Insect Conservation and Diversity*, **14**: 163-166.
- Svechikina A., Portnov B. A., Trop T., 2020. The impact of artificial light at night on human and ecosystem health: a systematic literature review. *Landscape Ecology*, **35**: 1725-1742.
- Van den Broeck M., De Cock R., Van Dongen S., Matthyssen E., 2021. White LED light intensity, but not colour temperature, interferes with mate-finding by glow-worm *Lampyris noctiluca* L. males. *Journal of Insect Conservation*, **25**: 339-347.
- van Langevelde F., Braamburg-Annegarn M., Huigens M.E. et al., 2018. Declines in moth populations stress the need for conserving dark nights. *Global change biology*, **24**: 925-932.
- van Grunsven R. H., van Deijk J. R., Donners M., Berendse F., Visser M. E., Veenendaal E., Spoelstra K., 2020. Experimental light at night has a negative long-term impact on macro-moth populations. *Current Biology*, **30**: R694-R695.
- Vaz S., Manes S., Gama-Maia D., Silveira et al., 2021. Light pollution is the fastest growing potential threat to firefly conservation in the Atlantic Forest hotspot. *Insect Conservation and Diversity*, **14**: 211-224.
- Verheijen, F. J., 1958. The mechanisms of the trapping effect of artificial light sources upon animals. Archives Néerlandaises de Zoologie **13**:1-107.
- Verovnik R., Fišer Ž., Zakšek V., 2015. How to reduce the impact of artificial lighting on moths: A case study on cultural heritage sites in Slovenia. *Journal for Nature Conservation*, **28**: 105-111.
- Wakefield A., Stone E. L., Jones G., Harris S., 2015. Light-emitting diode street lights reduce last-ditch evasive manoeuvres by moths to bat echolocation calls. *Royal Society open science*, **2**, doi: 150291.
- Wakefield A., Broyles M., Stone E. L., Jones G., Harris S., 2016. Experimentally comparing the attractiveness of domestic lights to insects: do LEDs attract fewer insects than conventional light types?. *Ecology and evolution*, **6**: 8028-8036.
- Willmott N.J., Henneken J., Selleck, C.J., Jones T.M., 2018. Artificial light at night alters life history in a nocturnal orb-web spider. *Peer J*, doi: 10.7717/peerj.5599.
- Willmott N.J., Henneken J., Elgar M.A., Jones T.M., 2019. Guiding lights: Foraging responses of juvenile nocturnal orb-web spiders to the presence of artificial light at night. *Ethology*, **125**: 289-297.
- Wilson J. F., Baker D., Cheney J., Cook M., et al., 2018. A role for artificial night-time lighting in long-term changes in populations of 100 widespread macro-moths in UK and Ireland: a citizen-science study. *Journal of Insect Conservation*, **22**: 189-196.
- Yuen S.W., Bonebrake T.C., 2017. Artificial night light alters nocturnal prey interception outcomes for morphologically variable spiders. *Peer J*, **5**: e4070.