

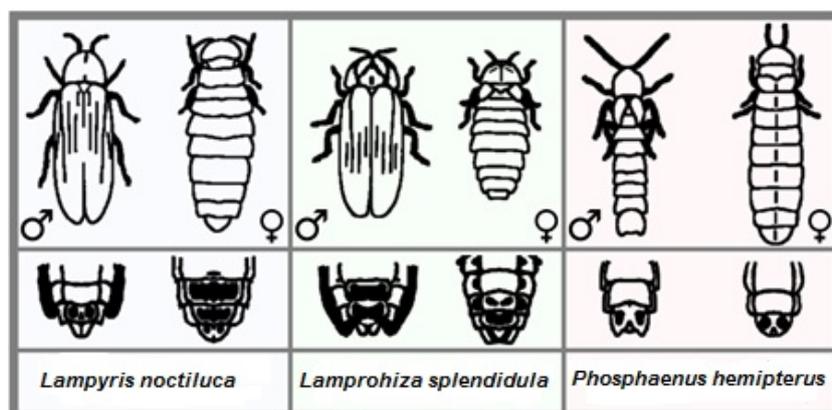
### Informazioni di base

# Bioluminescenza: una combinazione di biologia, chimica e bionica

## I Lampiridi in Europa

Con solo tre specie nell'Europa centrale, i Lampiridi sono una delle più piccole famiglie di coleotteri.<sup>[1]</sup> Le larve dei Lampiridi si schiudono da uova nel terreno e predano lumache e limacce.<sup>[2]</sup> Gli adulti non si nutrono e muoiono poco dopo la copulazione/deposizione delle uova.<sup>[3]</sup>

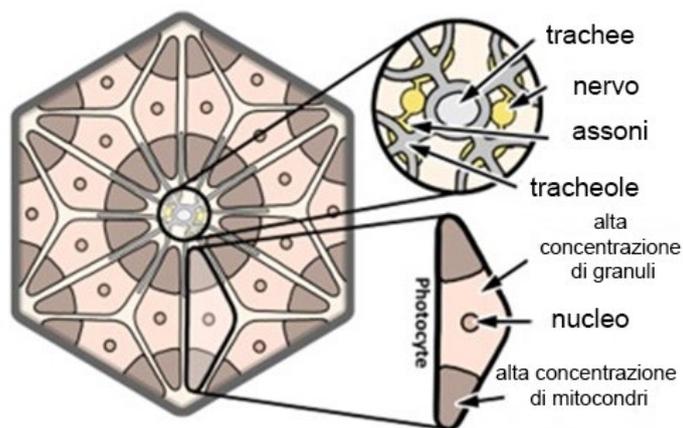
Il segnale luminoso che gli individui emettono è specifico per ogni specie e serve ad attrarre un partner per l'accoppiamento.<sup>[4]</sup> Ci sono due forme di comunicazione per le specie dell'Europa centrale: la femmina stazionaria di *Lampyris noctiluca* emette luce per trovare un partner di accoppiamento tra giugno e settembre. Con il suo colore brunoastro e la mancanza di ali, sembra quasi una larva. I suoi organi luminosi primari sono situati sotto il sesto-ottavo segmento addominale.<sup>[2]</sup> maschio e femmina di *Lamprohiza splendidula* creano segnali luminosi specie-specifici per l'accoppiamento tra giugno e luglio. I maschi lasciano che il loro sesto e settimo segmento addominale emettano luce in un particolare schema, che viene recepito da una femmina ricettiva disposta a copulare. Le femmine vivono sul terreno. Non possono volare e appaiono come larve a causa del loro colore giallo-brunoastro.<sup>[2]</sup> L'ultima specie, *Phosphaenus hemipterus*, ha solo organi di emissione della luce debolmente sviluppati. I maschi e le femmine non possono volare e brillano solo leggermente da adulti. L'attrazione e la ricerca di un partner per l'accoppiamento avvengono attraverso i feromoni sessuali.<sup>[5]</sup>



Panoramica schematica di tre specie di Lampiridi che vivono in Europa centrale (basata su Ref. [6]). Immagine gentilmente concessione di Marcel Hammann

## Il fotoforo

Il fotoforo si trova sul fondo dell'ultimo segmento addominale dei Lampiridi. La sua parte visibile consiste nei cosiddetti fotociti. Proprio dietro lo strato di fotociti si trova uno strato non trasparente di cellule che serve da riflettore. I fotociti sono disposti cilindricamente intorno alla rete tracheale. I granuli situati al centro di ogni fotocita immagazzinano luciferasi e luciferina.<sup>[2]</sup> L'emissione di luce può essere regolata attraverso impulsi nervosi e dipende dai livelli di ossigeno all'interno del fotocita. I mitocondri nei fotociti sono situati vicino alla rete tracheale, che trasporta l'ossigeno. Così, i mitocondri utilizzano normalmente quasi tutto l'ossigeno che sarebbe necessario per avviare le reazioni di emissione della luce attraverso la luciferina immagazzinata nei granuli al centro del fotocita. Attraverso un impulso nervoso, viene emesso monossido di azoto che, a sua volta, riduce l'assorbimento di ossigeno da parte dei mitocondri. In questo modo, il livello di ossigeno aumenta e avvia l'ossidazione catalizzata enzimaticamente della luciferina nei granuli.<sup>[2]</sup>



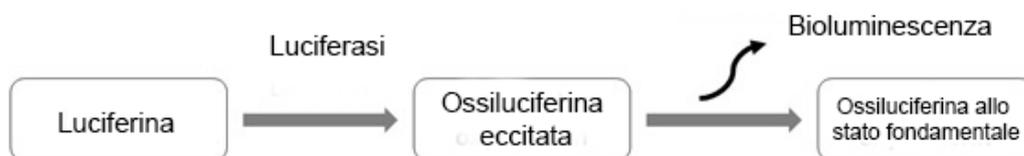
*Illustrazione schematica di un fotoforo con fotociti disposti intorno alla rete tracheale. Immagine gentilmente concessa da Marcel Hammann*

## Luminescenza

Nella luminescenza, l'energia viene emessa nella gamma di lunghezza d'onda visibile della luce attraverso l'ossidazione di un luminifero.<sup>[7]</sup> In termini più semplici, uno dei prodotti non raggiunge direttamente il livello energetico finale della reazione. La luciferina viene ossidata a ossiluciferina, che si trova temporaneamente in uno stato eccitato ed emette luce quando decade al suo stato fondamentale. A differenza della fluorescenza o della fosforescenza, che ricevono energia dalla luce, l'energia di eccitazione nella luminescenza è energia chimica. La bioluminescenza è un tipo specifico di chemiluminescenza, in cui i processi sono catalizzati enzimaticamente negli organismi viventi.

Nel caso della luciferina - il luminifero che si trova in molti fotofori dei coleotteri che emettono luce - la luciferasi catalizza la sua ossidazione attraverso la stabilizzazione del complesso reattivo

luciferina-adenosina monofosfato (AMP).<sup>[8]</sup> Attraverso l'ossidazione, una molecola di anidride carbonica viene rilasciata e la molecola di ossiluciferina risultante raggiunge uno stato ad alta energia. Attraverso l'emissione di un fotone, il luminifero raggiunge quindi lo stato energetico di terra della sua forma ossidata.



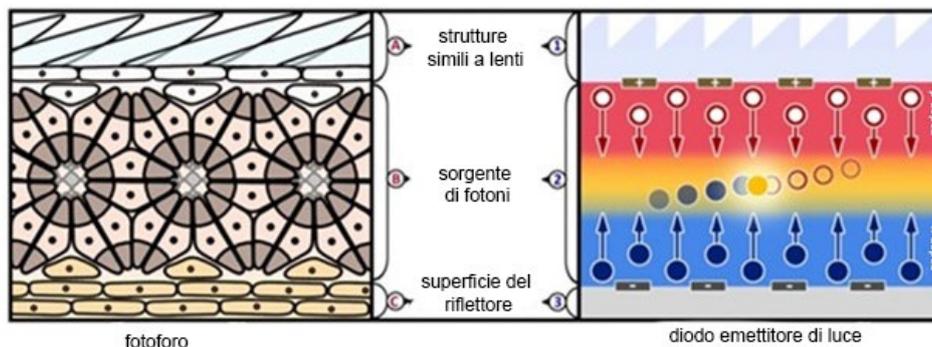
*Reazione semplificata di emissione di luce della luciferina a livello molecolare (basato su Ref. [8]). Immagine gentilmente concessa da Marcel Hammann*

## I Fotofori dei Lampiridi e i LED

La luce creata nei fotofori deve passare attraverso la cuticola per essere irradiata nell'ambiente circostante. Ogni volta che la luce viene emessa, deve passare attraverso un mezzo otticamente denso (cuticola) ad un mezzo meno denso (aria). La velocità con cui la luce viaggia attraverso un mezzo otticamente più denso differisce dalla velocità in un mezzo meno denso. A causa della differenza di velocità con cui la luce viaggia attraverso questi due mezzi, la rifrazione e la riflessione della luce avvengono vicino all'interfaccia dei due mezzi. Così, solo una parte della luce passa effettivamente attraverso il nuovo mezzo. L'altra parte viene riflessa nel mezzo sorgente. Se la luce colpisce l'interfaccia con un certo angolo di incidenza, quasi tutta la luce viene riflessa. Per la cuticola del fotoforo dei Lampiridi, questo angolo è di 40°.

Un esame più attento della cuticola rivela la sua struttura irregolare: la superficie del fotoforo è coperta di scaglie, che sono leggermente inclinate e hanno estremità appuntite. A causa della loro inclinazione, la struttura della superficie è simile a quella di un prisma. In questo modo, l'angolo con cui la luce colpisce la cuticola viene cambiato. Attraverso le estremità appuntite delle scaglie, viene dispersa più luce, portando così ad un'ulteriore trasmissione della luce, aumentando l'emissione luminosa del 45%.

Quando si confronta la struttura del fotoforo con quella di un LED, alcune somiglianze diventano evidenti. Entrambi hanno uno strato generatore di luce coperto da uno strato trasparente. Nel caso di un LED, lo strato generatore di luce è formato da semiconduttori dopati, che generano luce attraverso l'elettroluminescenza. L'impilamento di materiali dopati p e n permette una trasmissione di elettroni spazialmente limitata e, quindi, porta a un equilibrio di portatori di carica all'interfaccia. Un LED è composto da un anodo e un catodo. Il semiconduttore è incorporato in una cavità riflettente e parte dell'incudine. Un filo metallico lo collega al palo. Il palo e l'incudine formano il telaio del cavo, che è coperto da una cassa di vetro o di plastica per protezione. Applicando una tensione, si può indurre la ricombinazione continua dei portatori di carica all'interfaccia degli strati, che porta all'emissione di fotoni.<sup>[9]</sup>



Confronto delle proprietà strutturali di un fotoforo schematizzato dei Lampiridi (sinistra) e di un LED (destra) Immagine gentilmente concessa da Marcel Hammann

Analogamente alla riflessione che avviene sulla superficie del fotoforo, parte della luce emessa da un LED viene riflessa all'interfaccia tra vetro e aria, abbassando così l'efficienza luminosa. Per aumentare l'efficienza, la struttura squamosa della cuticola è stata trasferita sulla superficie dei LED seguendo una tipica procedura bionica in tre fasi:

- I. Esplorare un fenomeno biologico
- II. Astrazione dei risultati ottenuti
- III. I risultati vengono impiegati per risolvere problemi tecnici

## Referenze

- [1] Harde KW, Severa F (2006) *Der Kosmos Käferführer: Die Käfer Mitteleuropas [The Kosmos Beetle Guide: Beetles in Central Europe]* p 37. Kosmos. ISBN: 978-3440139325
- [2] Dettner K (2010) Biolumineszenz [Bioluminescence]. In Dettner K, Peters W (eds), *Lehrbuch der Entomologie [Textbook Etymology]* pp 601–611. Spektrum. ISBN: 978-3-8274-2617-8
- [3] Klausnitzer B, Förster M (2002) *Wunderwelt der Käfer [The Magic World of Beetles]* p 121. Spektrum. ISBN: 978-3662586969
- [4] Klausnitzer B, Förster M (2002) *Wunderwelt der Käfer [The Magic World of Beetles]* p 177. Spektrum. ISBN: 978-3662586969
- [5] DeCock R (2000) Rare, or simply overlooked? Practical notes for survey and monitoring of the small glow-worm *Phosphaenus hemipterus* (Coleoptera: Lampyridae). *Belgian Journal of Zoology*, **130**: 93–101.
- [6] DeCock R (2012) Three central European glow-worm species: how to recognise central European glow-worm species. Retrieved from <http://www.glowworms.org.uk/ident.html>.
- [7] Hofmann P (2013) *Einführung in die Festkörperphysik. Lehrbuch Physik [Introduction to Solid-State Physics. Textbook Physics]*. p 98. Wiley. ISBN: 978-3-527-41226-6
- [8] Girotti S, Ferri EN, Bolelli L, Sermasi G (2001) Applications of bioluminescence in analytical chemistry. In García-Campaña AM, Baeyens WRG (eds) *Chemiluminescence in Analytical Chemistry* pp 247–284. Marcel Dekker. ISBN: 0-8247-0464-9
- [9] Hofmann P (2013) *Einführung in die Festkörperphysik. Lehrbuch Physik [Introduction to Solid-State Physics. Textbook Physics]*. p 140. Wiley. ISBN: 978-3-527-41226-6