

**UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE**

**DIPARTIMENTO SCIENZE DELLA VITA E  
DELL'AMBIENTE**

**CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN SCIENZE BIOLOGICHE**



***LA BIOLUMINESCENZA NEGLI  
SQUALI***

**Glow on sharks**

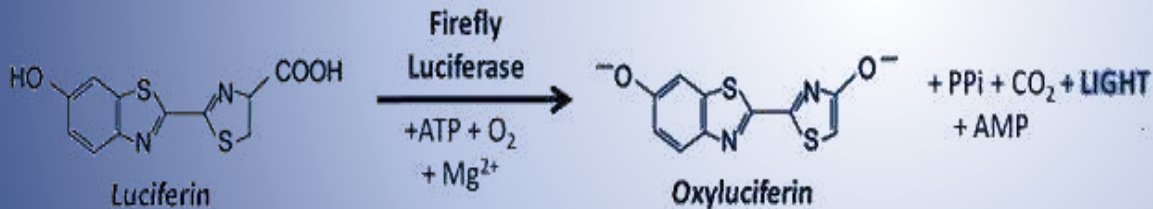
**Tesi di Laurea di:  
VITTORIA COLLEONI**

**Docente Referente:  
CINZIA CORINALDESI**

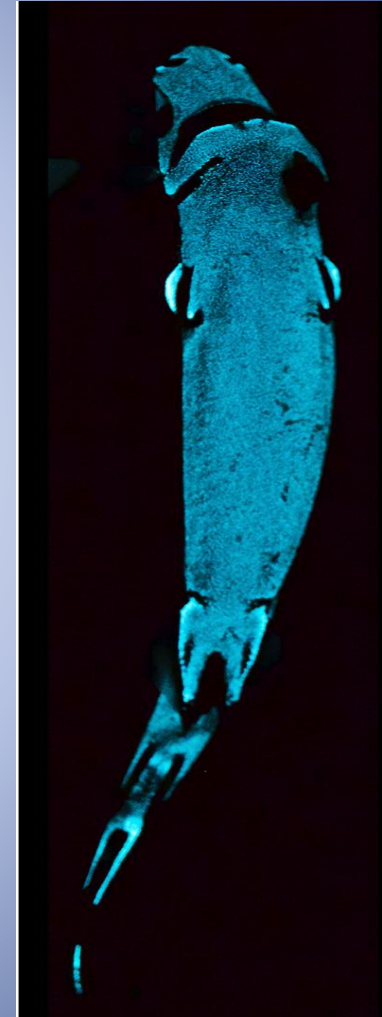
**Anno accademico 2023/2024**

# LA BIOLUMINESCENZA

La bioluminescenza è una reazione esoergonica spontanea che coinvolge l'ossidazione di una **luciferina** catalizzata da una **luciferasi**<sup>1</sup>, rilasciando oxyluciferina e energia luminosa



All'interno della colonna d'acqua, la **zona mesopelagica** (200-1000 m di profondità) presenta un'alta percentuale di organismi luminosi



# <<DIVERSITA' LUMINOSA>> NEGLI SQUALI

Gli squali sono gli unici pesci cartilaginei con la capacità di emettere luce.

La bioluminescenza è limitata a 3 famiglie di Squaliformi:

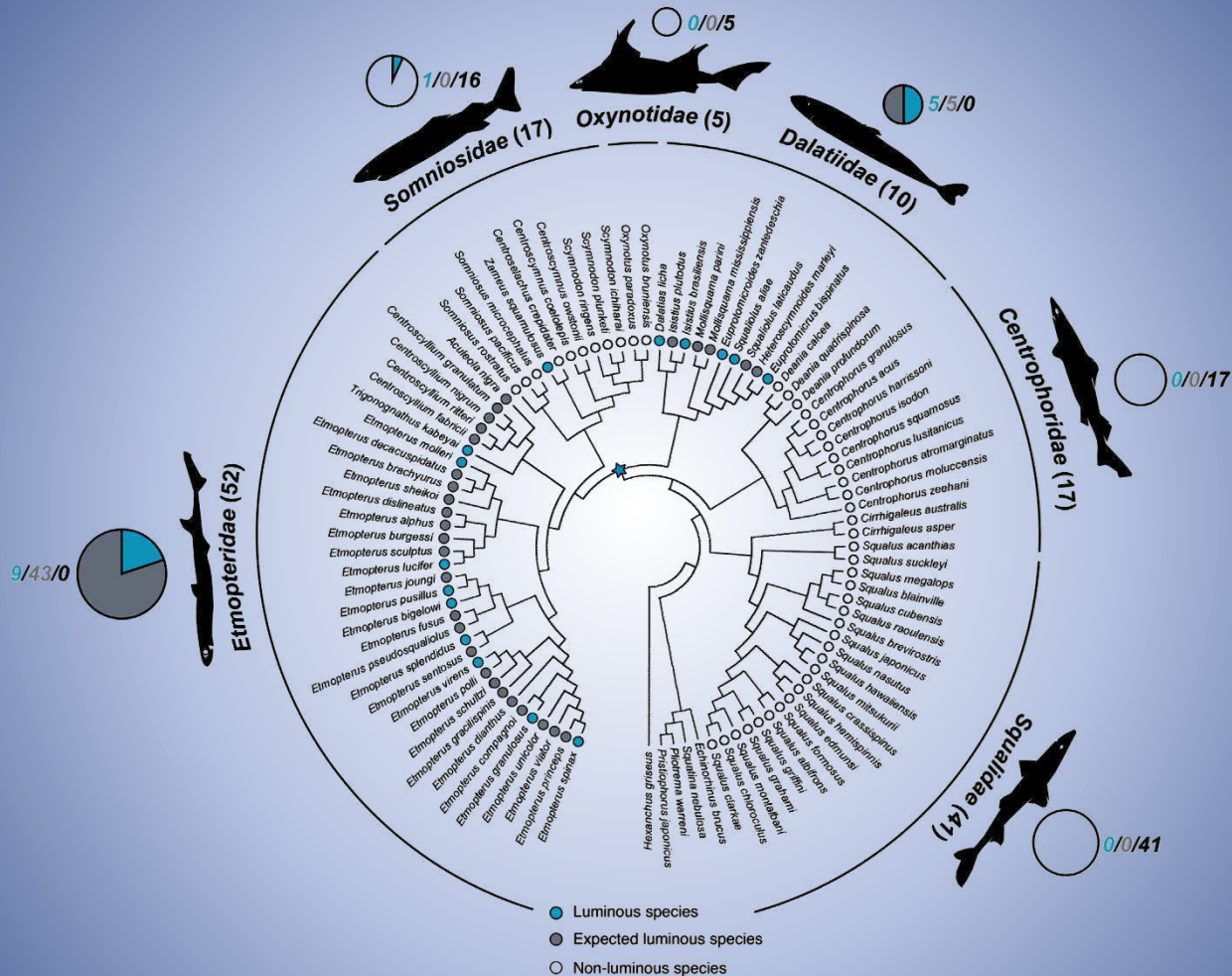
**Dalatiidae** (10 specie), **Somniosidae** (1 specie) e **Etmopteridae** (52 specie)

L'acquisizione di questa capacità è avvenuta in un singolo evento evolutivo, alla fine del Cretaceo.



# Distribuzione della luminescenza all'interno delle famiglie di Squaliformi.

La luminescenza è stata osservata dal vivo solo in 15 specie.

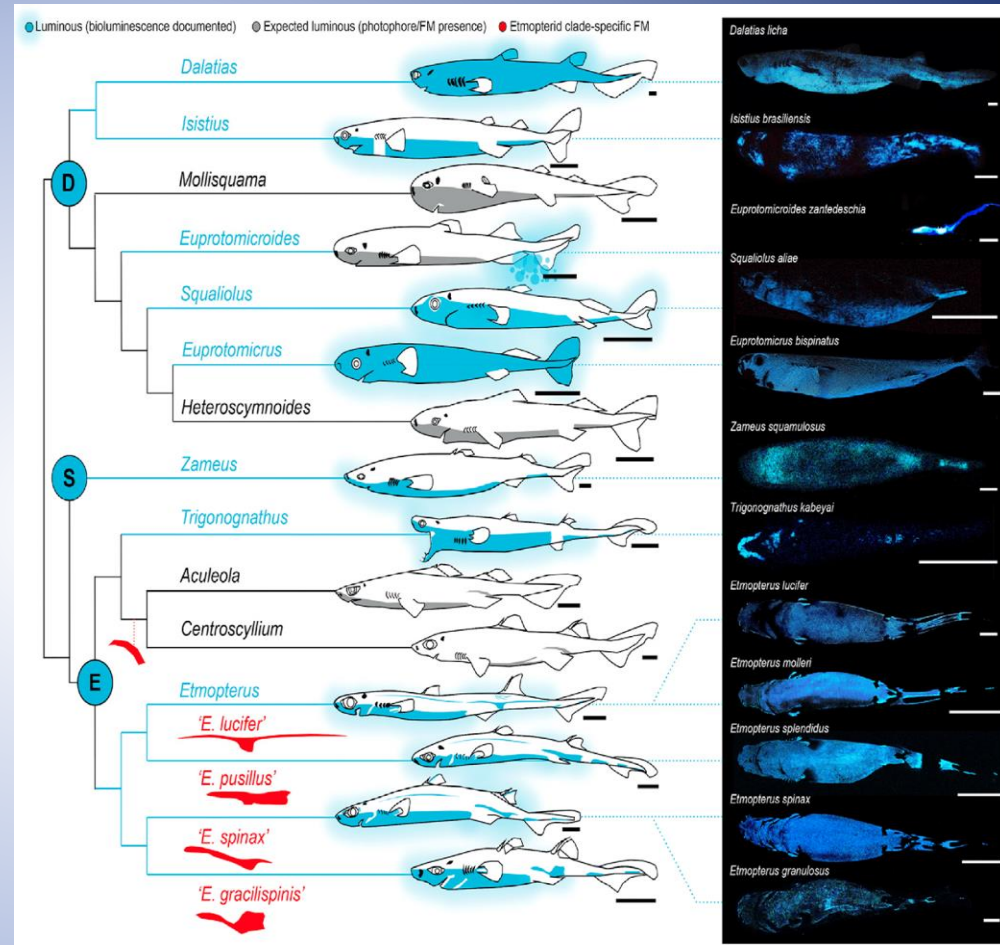


I cerchi all'interno dell'albero rappresentano lo stato luminoso (blu), luminoso atteso (grigio) e non luminoso (bianco) di ciascuna specie rappresentata. Gli status si basano su immagini in vivo, studi fisiologici (luminoso), presenza di fotofori o di segni sul fianco (luminoso atteso), e nessuno di questi criteri (non luminoso). Per ogni famiglia, il numero totale di specie luminose/ attese luminose /non luminose è indicato accanto al cerchio.

# ECOLOGIA DELLA BIOLUMINESCENZA

Lo studio delle **funzioni ecologiche** della bioluminescenza avviene attraverso analisi dettagliate:

- della distribuzione dei fotofori
- delle caratteristiche fisiche della luce
- della cinetica della luminescenza



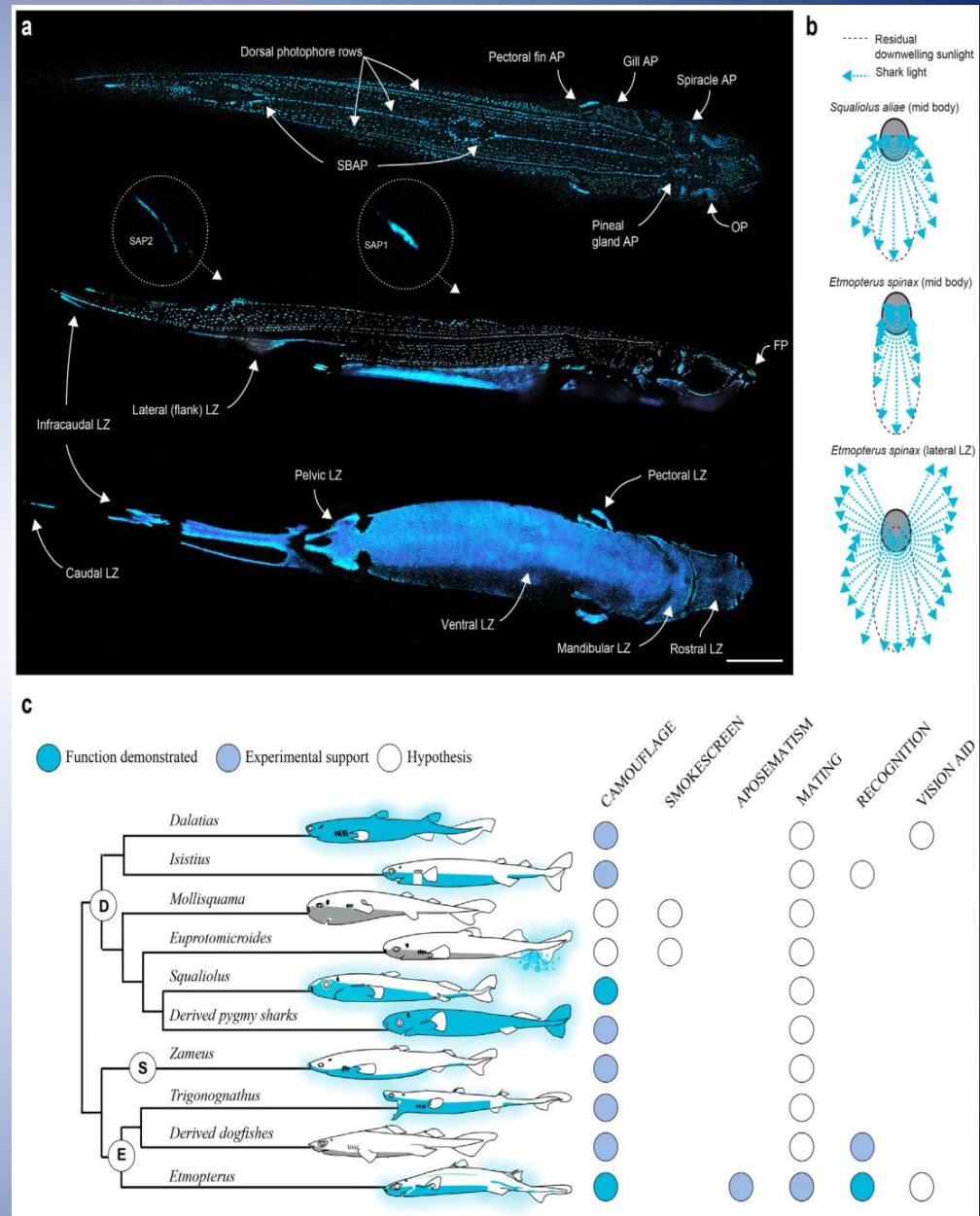
Cladogramma dei modelli luminescenti degli squali, basato su osservazioni di fotofori/marcature sul fianco (tonalità grigia) o luminescenza viva (tonalità blu)

## Funzioni **dimostrate** della bioluminescenza:

- Controilluminazione
- Comunicazione intraspecifica
  - Accoppiamento
  - Aposematismo

## Ulteriori **ipotetiche** funzioni:

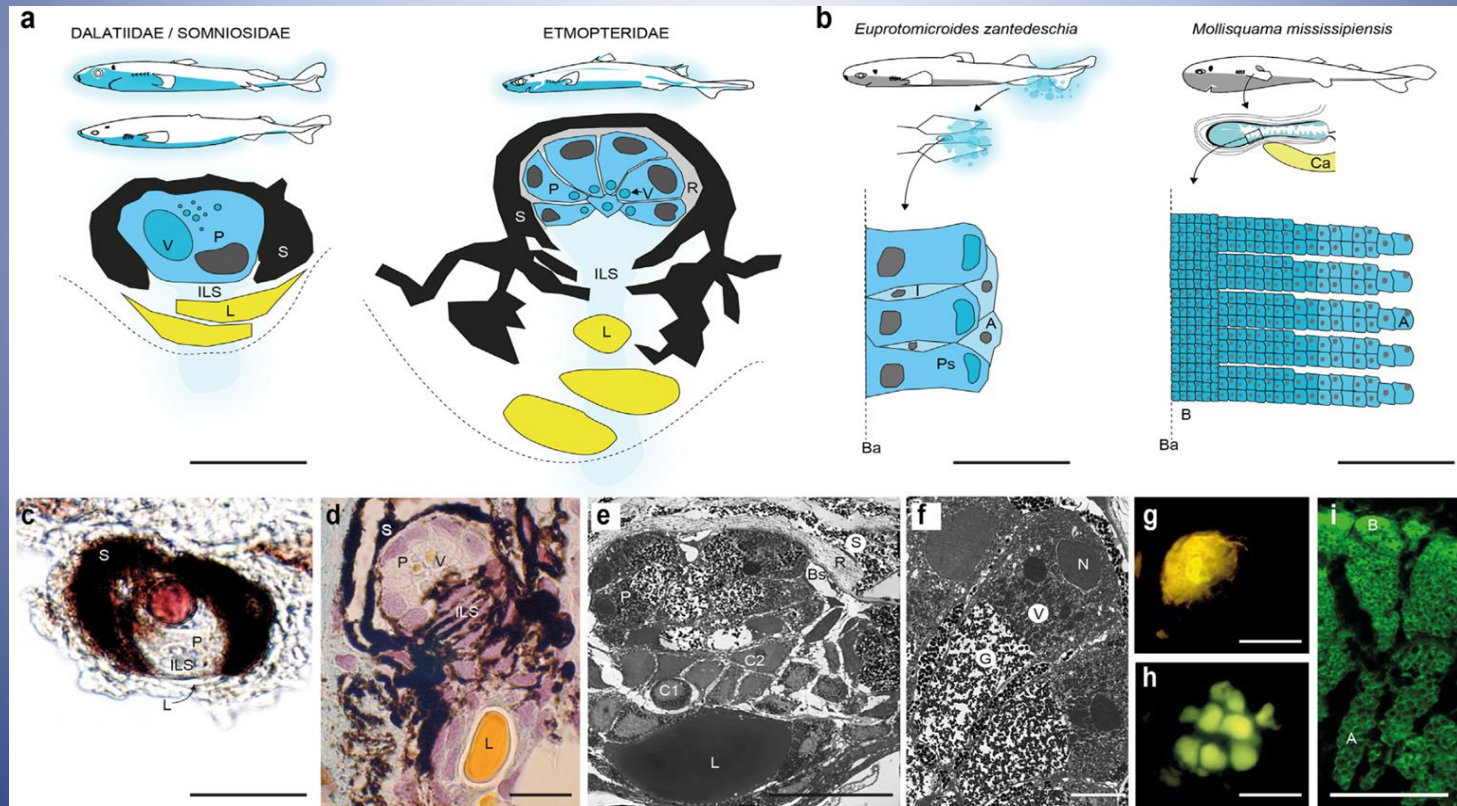
- Liquido luminescente per la difesa
- Fotofori oculari come ausilio alla visione
- Coda come esca distrattiva



# STRUTTURE FOTOGENICHE

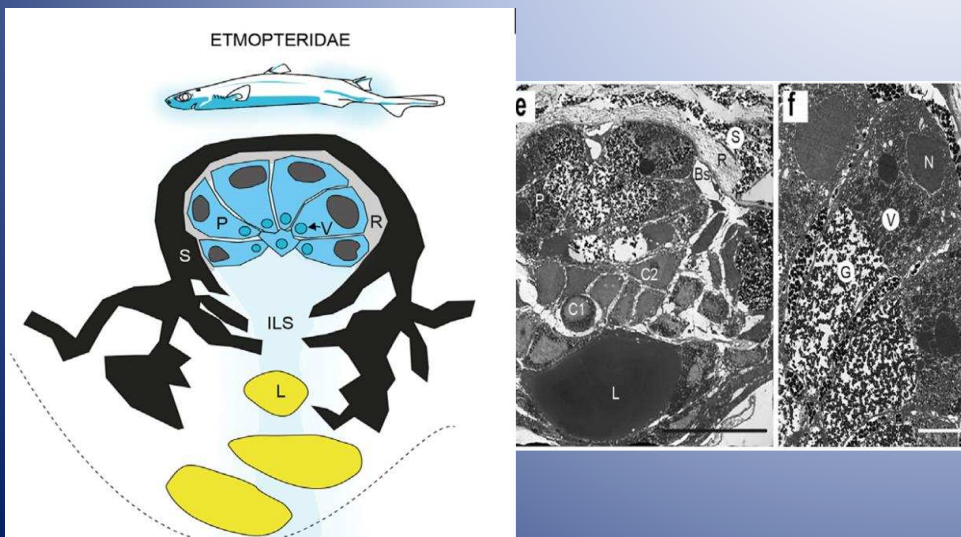
Gli squali mostrano due tipi di strutture fotogeniche:

1. le **ghiandole secretorie** che espellono un fluido bioluminescente (luminescenza esterna)
2. i **fotofori** (luminescenza interna)



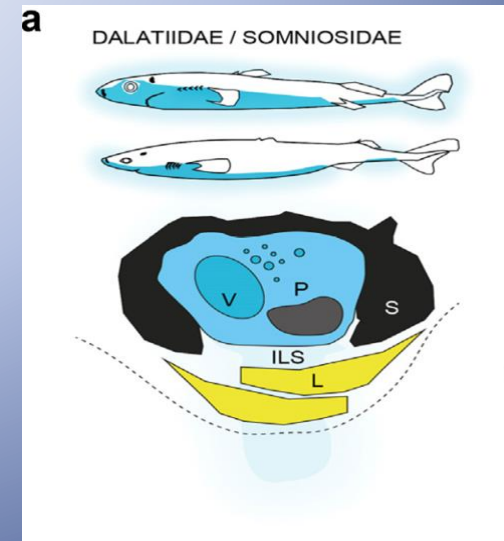
## FOTOFORI IN ETMOPTERIDAE

- 6-14 fotociti (formati da 3 aree) (P)
- Guaina pigmentata (S)
- Strato riflettente (R)
- Struttura simile all'iride (ILS) (3 tipi di cellule)
- Cellule del cristallino (L)
- Non hanno innervazione intraorgano



## FOTOFORI IN SOMNIOSIDAE E DALATIIDAE

- 1 solo fotocita (P)
- Guaina pigmentata (S)
- NO strato riflettente
- Struttura simile all'iride (ILS)
- Cellule del cristallino (L)
- Non hanno innervazione intraorgano



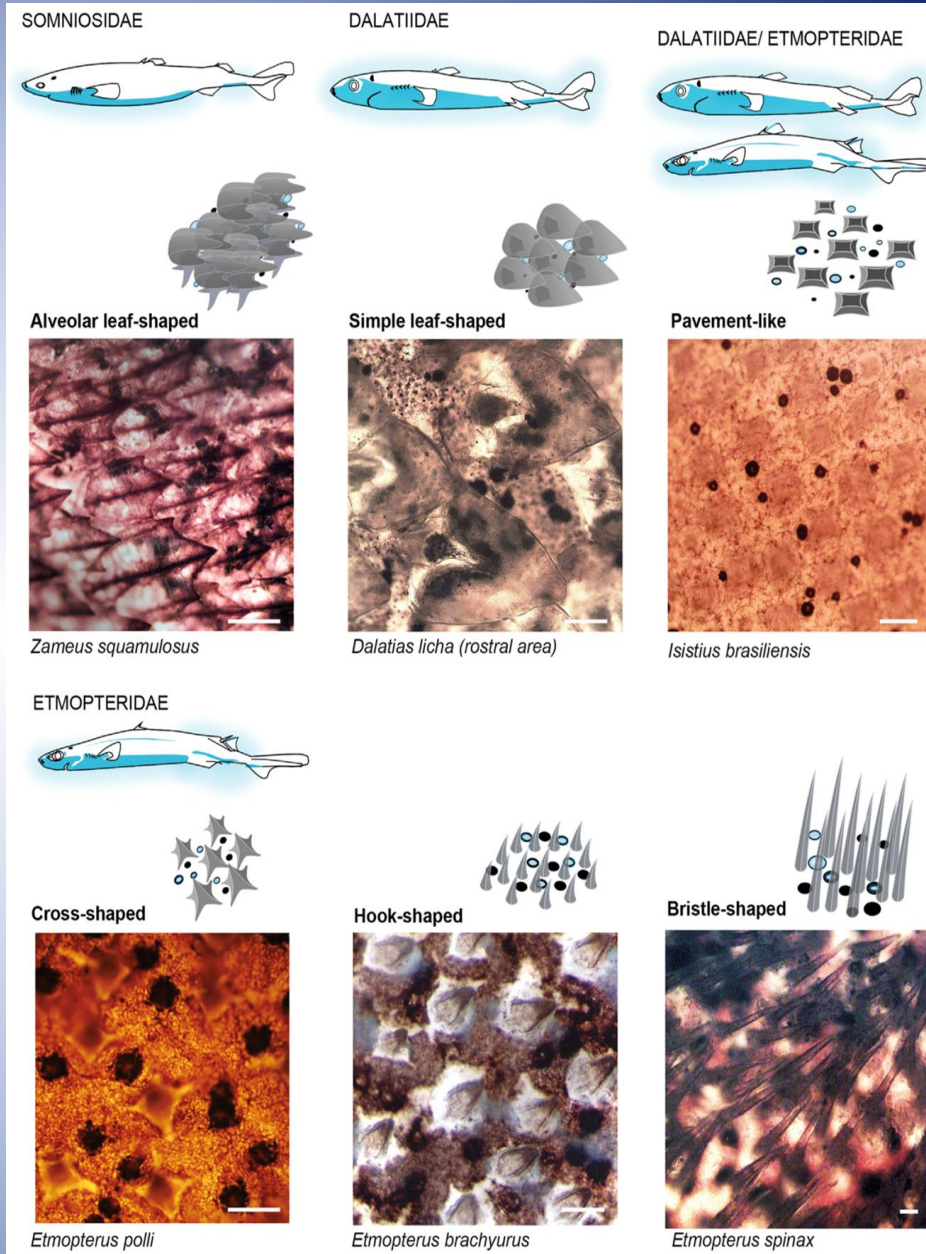


Gli squali bioluminescenti hanno sviluppato specifici **modelli di squamatura**:

a pavimentazione, a croce, a setola, a uncino e a foglia

I fotofori sono inseriti sotto (tipi a forma di foglia) o tra (tipi a pavimentazione, a croce, a setola, a uncino) le scaglie placoidi

I fotofori sono rappresentati con punti blu (aperti) e scuri (chiusi) tra le scaglie placoidi.



# CONTROLLO DELLA BIOLUMINESCENZA

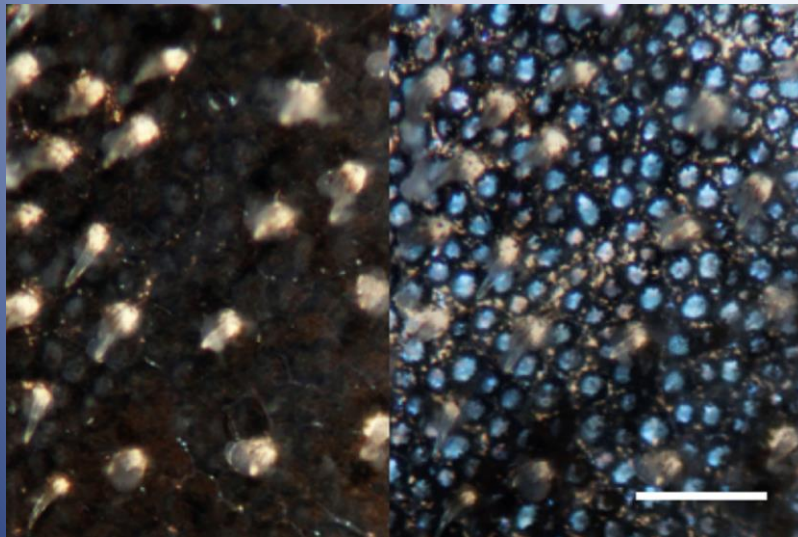
Il controllo della bioluminescenza negli squali non è di tipo nervoso (pesci ossei), ma **ORMONALE**

Claes e Mallefet (2009), utilizzando *E. spinax* come specie modello, hanno evidenziato l'implicazione di 3 ormoni principali nel processo di emissione di luce<sup>2</sup>:

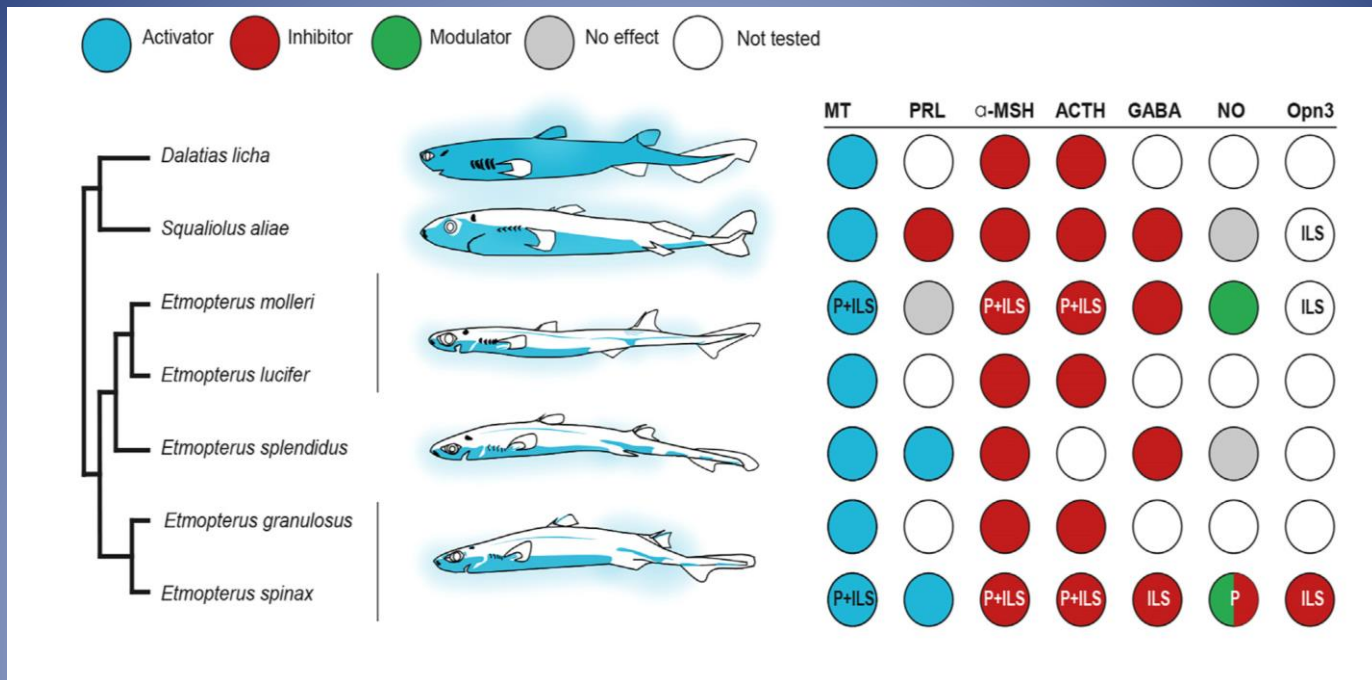
**melatonina (MT)**

**prolattina (PRL)**

**ormone alfa-melanocita-stimolante ( $\alpha$ -MSH)**



Patch cutaneo contenente fotofori prima della stimolazione ormonale (a sinistra) e al picco di luminescenza (a destra) da *E. spinax*<sup>3</sup>



### Attivatori:

- MT (rilascio lento e luminescenza duratura)
- PRL (rilascio rapido e luminescenza breve)

### Inibitori:

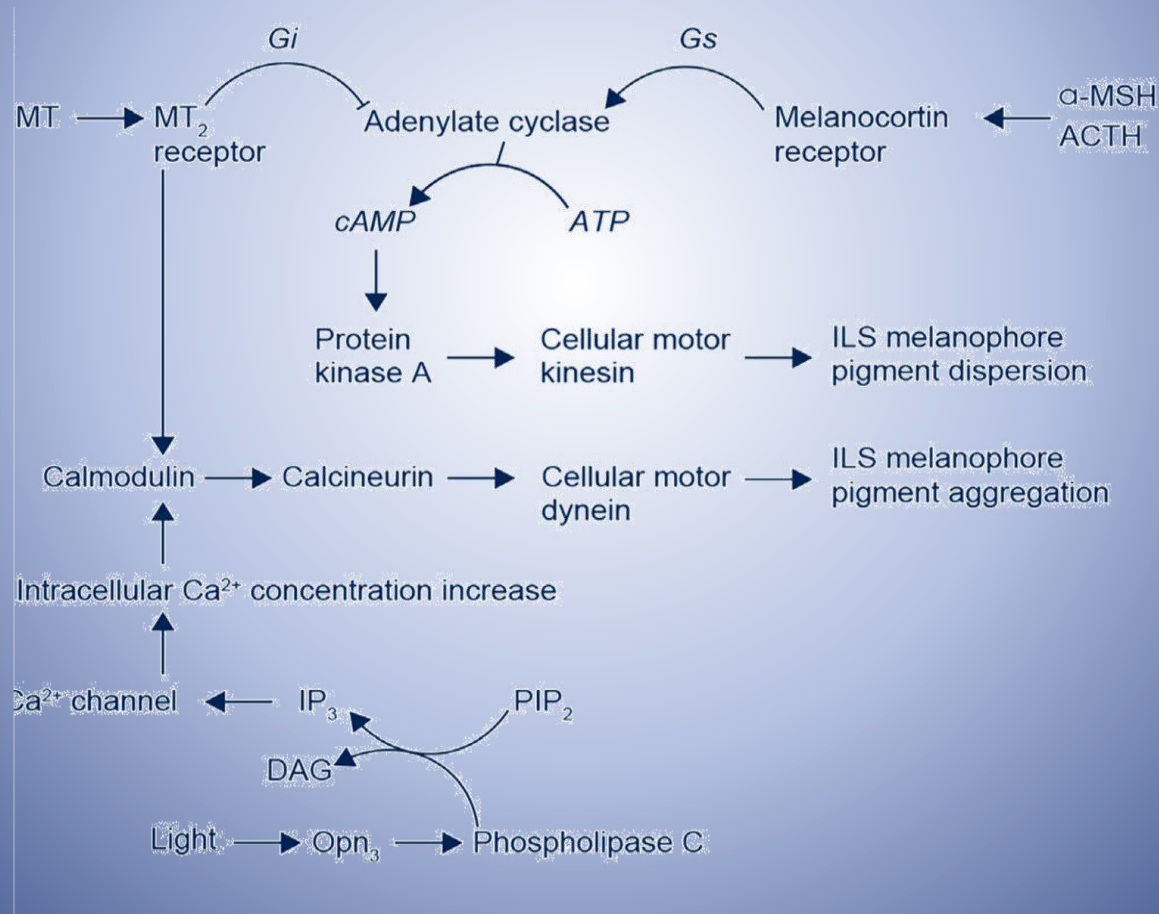
- $\alpha$ -MSH
- ACTH

### Neuromodulatori:

- GABA (inibitore)
- NO

# MODELLO INTEGRATIVO DEL CONTROLLO ORMONALE

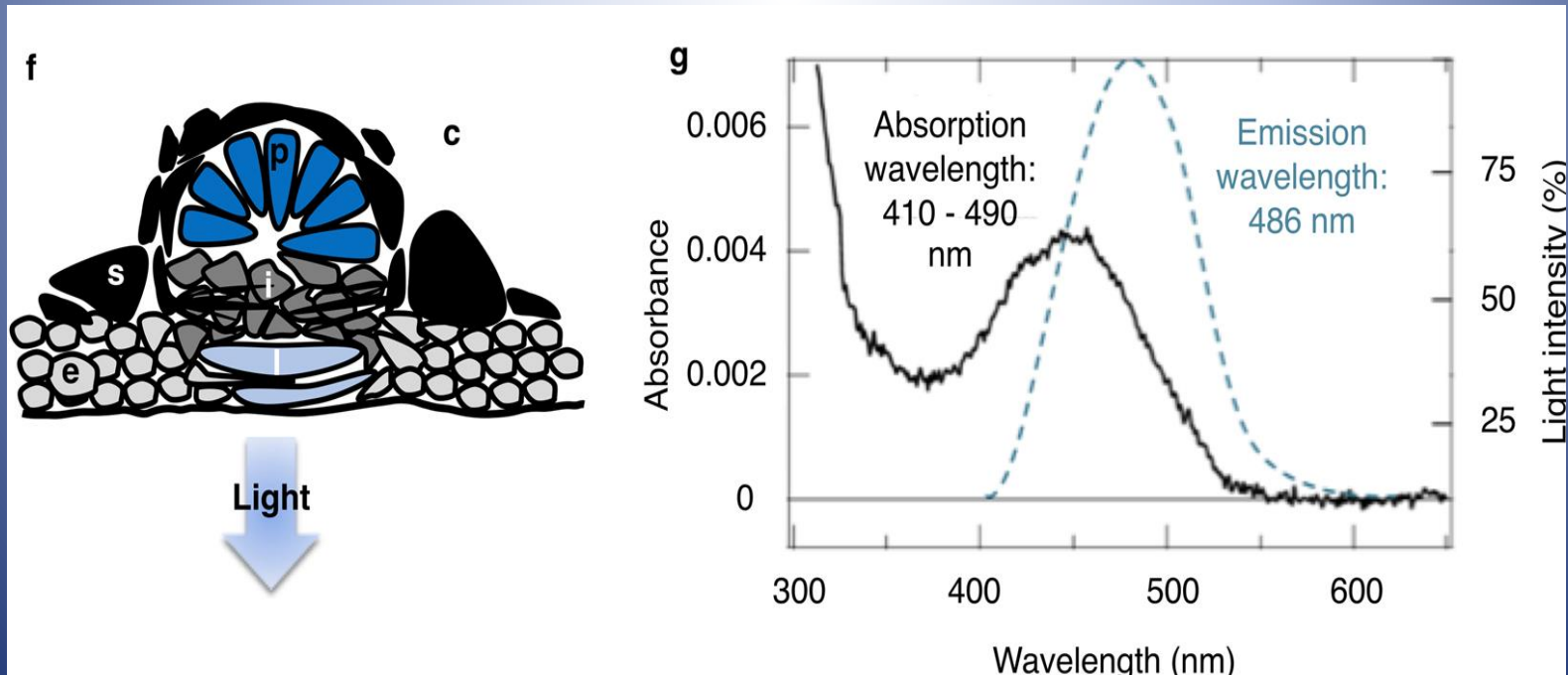
Evidenza come le interazioni della MT con adenilato ciclasi e calmodulina, e di  $\alpha$ -MSH /ACTH con adenilato ciclasi influenzino la dispersione e l'aggregazione del pigmento nei melanofori ILS<sup>3</sup>



# FOTORECEZIONE EXTRAOCULARE

È stata ipotizzata l'esistenza di un collegamento funzionale tra la fotorecezione extraoculare e il controllo della bioluminescenza

La presenza di **Es-Opn3** (opsina extraoculare) nei fotofori della pelle ventrale di *E. Spinax* fornisce supporto a questa ipotesi. Un'ulteriore conferma è data dalla sovrapposizione tra lo spettro di emissione luminosa dello squalo e l'assorbimento luminoso del ftopigmento<sup>3</sup>

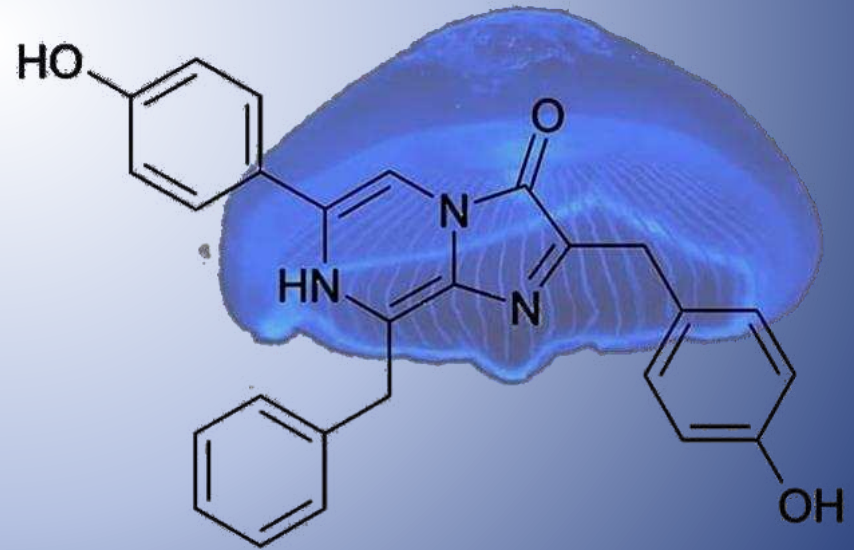


# BIOCHIMICA DELLA BIOLUMINESCENZA

Sono noti due tipi di sistemi luminosi:  
i sistemi luciferasi-luciferina e i sistemi fotoproteine

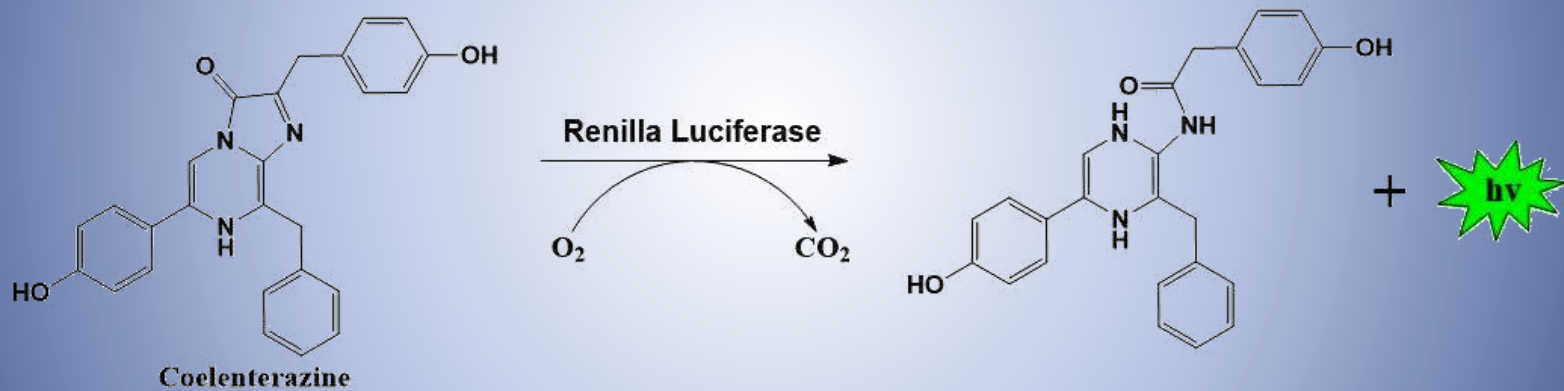
La luciferina più diffusa è la **coelenterazina** e i suoi derivati.  
Associate a queste luciferine, sono state descritte 9 diverse  
tipologie di luciferasi e 3 tipi di fotoproteine.

Questi substrati ed enzimi sono spesso  
condivisi da specie filogeneticamente  
molto distanti, perciò è stato ipotizzato che  
alcune specie possano acquisire i  
componenti necessari per la reazione  
luminosa attraverso l'alimentazione<sup>4</sup>



Reazioni incrociate positive tra luciferasi specifiche e luciferine hanno dimostrato l'ipotesi di acquisizione di bioluminescenza attraverso l'alimentazione.

Solo la coelenterazina (luciferina) è stata trovata nel tratto digestivo di *E. spinax*, ma nessuna delle luciferine testate ha reagito con la luciferasi contenuta nell'estratto di pelle fotogenica dello squalo<sup>4</sup>



È stato ipotizzato il coinvolgimento di un sistema sconosciuto di emissione luminosa, che coinvolge una specifica forma attiva di una luciferina nota, oppure una nuova luciferina o fotoproteina.

# CONCLUSIONI

L'evoluzione della bioluminescenza negli squali:

- è stata un evento evolutivo unico e cruciale
- ha facilitato la loro proliferazione negli habitat marini profondi e migliorato la loro vista
- svolge differenti funzioni (mimetismo, comunicazione intra/interspecifica, accoppiamento)
- è influenzata da diversi ormoni, anche se persistono lacune su alcuni aspetti del controllo ormonale

Per il futuro si prevedono ulteriori ricerche riguardanti l'aspetto molecolare (genoma) ed etologico (comportamento)



# *RIFERIMENTI*

1. Hastings, J.W.; Morin, J.G. Bioluminescence. In *Comparative Animal Physiology. Neural and Integrative Animal Physiology*; Prosser, C.L., Ed.; John Wiley and Sons: Chichester, NY, USA, 1991; Chapter 3; pp. 131–170
2. Claes, J.M.; Mallefet, J. Hormonal control of luminescence from lantern shark (*Etmopterus spinax*) photophores. *J. Exp. Biol.* 2009, 212, 3684–3692
3. Duchatelet, L.; Sugihara, T.; Delroisse, J.; Koyanagi, M.; Rezsóhazy, R.; Terakita, A.; Mallefet, J. From extraocular photoreception to pigment movement regulation: A new control mechanism of the lanternshark luminescence. *Sci. Rep.* 2020, 10, 10195
4. Renwart, M.; Mallefet, J. First study of the chemistry of the luminous system in a deep-sea shark, *Etmopterus spinax* Linnaeus, 1758 (Chondrichthyes: Etmopteridae). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 2013, 448, 214–219
5. Straube, N.; Iglésias, S.P.; Sellos, D.Y.; Kriwet, J.; Schlieven, U.K. Molecular phylogeny and nodetime estimation of bioluminescent lantern sharks (Elasmobranchii: Etmopteridae). *Mol. Phylogenet. Evol.* 2010, 56, 905–917

# *RIASSUNTO ESTESO*

Fino ad oggi, gli squali bioluminescenti sono stati trovati solo negli Squaliformi, nello specifico nelle famiglie Etmopteridae, Dalatiidae e Somniosidae. Vengono presentate le conoscenze attuali riguardo l'evoluzione, le funzioni ecologiche, la struttura istologica, la squama associata e il controllo fisiologico degli organi fotogenici di questi squali. Si presta particolare attenzione al loro meccanismo di controllo ormonale e, in questo contesto, viene trattata l'implicazione della fotorecezione extraoculare associata al fotoforo.

Sono evidenziate le somiglianze e le differenze tra le famiglie di squali, supportando l'ipotesi di un'origine evolutiva unica e ancestrale della luminescenza negli elasmobranchi.

Infine, vengono presentate possibili aree per future ricerche sulla luminescenza degli squali.