



**UNIVERSITÀ POLITECNICA
DELLE MARCHE**

Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente

Corso di laurea in: **SCIENZE BIOLOGICHE**

THE DIFFERENT SHAPES OF THE PUPIL IN ANIMALS

Le diverse forme della pupilla negli animali

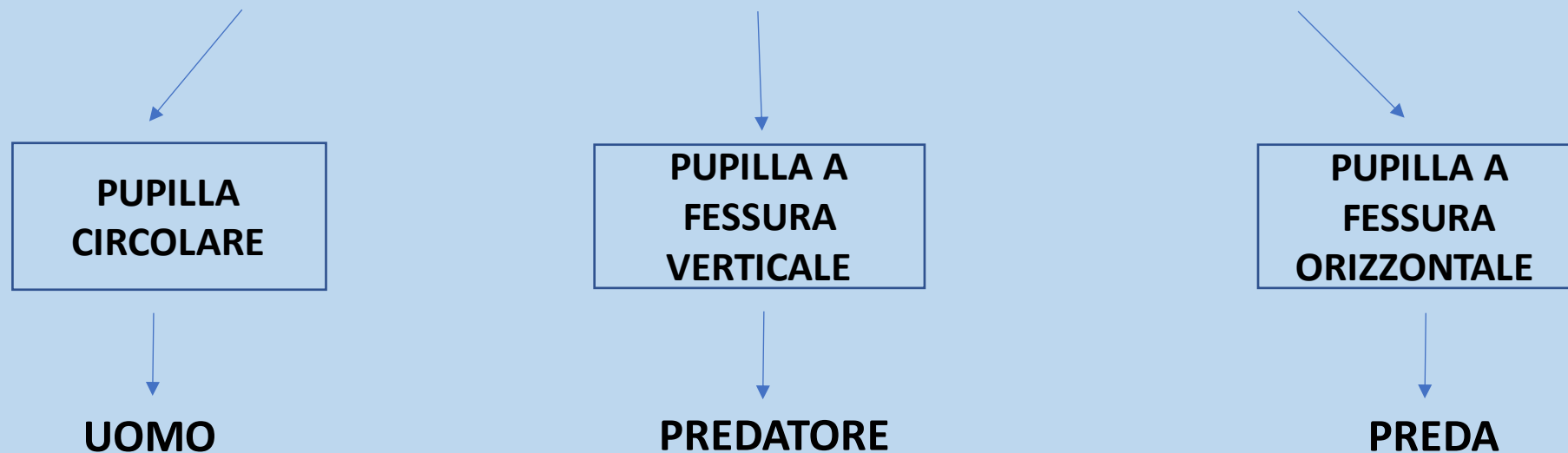
Candidato: **Costanza Pia Caruso**

Relatore: **Vincenzo Caputo Barucchi**

Anno accademico: **2021-2022**

PERCHÉ GLI OCCHI DEGLI ANIMALI HANNO PUPILLE DI FORME DIVERSE?

- Correlazione tra la forma della pupilla e la nicchia ecologica a cui gli animali appartengono
- Evoluzione della forma della pupilla è strettamente connessa all'essere un predatore o una preda



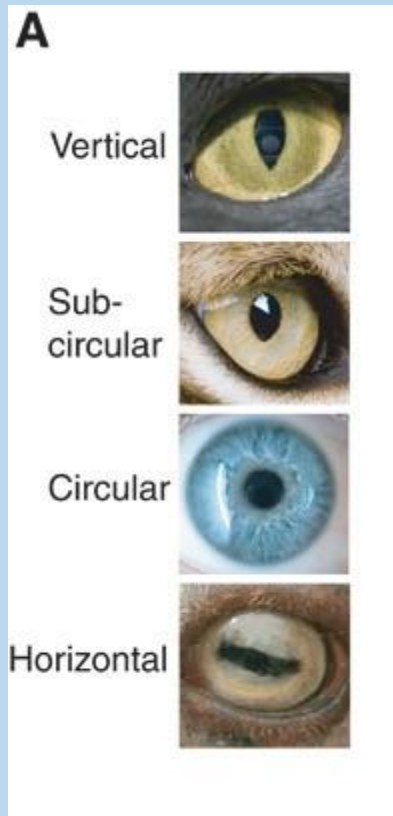


Fig. A: Esempi relativi alla fessura verticale, sub-circolare (ma allungata verticalmente), circolare ed orizzontale di specie diverse

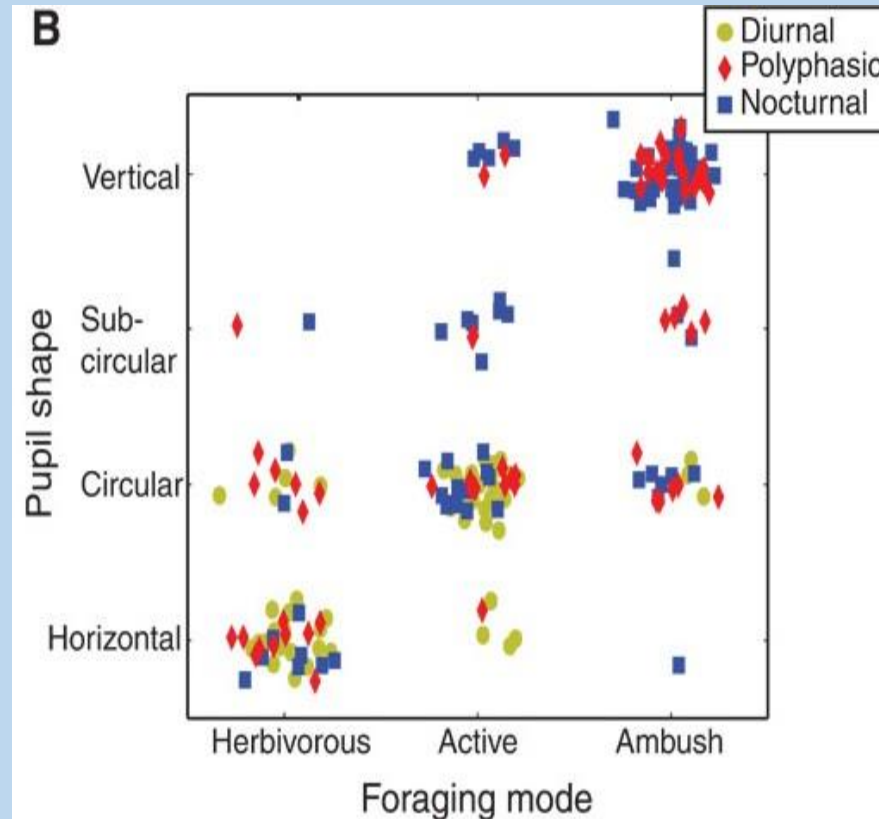


Fig. B: Tracciamento della forma della pupilla in funzione della modalità di foraggiamento degli animali. I colori giallo, blu e rosso invece, rappresentano rispettivamente il loro tempo di attività: DIURNO, NOTTURNO e POLIFASICO.

Si evince l'elevata probabilità che gli **erbivori** (le prede) abbiano pupille **orizzontali**, mentre i **predatori notturni e polifasici** che tendono a agguati abbiano **pupille a fessura verticale**. Inoltre, gran parte dei **predatori diurni** ha **pupille circolari**.

QUALI FUNZIONI SVOLGONO LE PUPILLE ALLUNGATE?

- Controllo dell'illuminazione retinica a seconda dell'intensità luminosa



DI NOTTE LA PUPILLA SI DILATA



DI GIORNO LA PUPILLA SI RESTRINGE

- Correzione dell'aberrazione cromatica mediante una **LENTE MULTIFOCALE**



Costituita da zone concentriche di cui ognuna è focalizzata su una banda di lunghezza d'onda diversa sulla retina



MIGLIORA LA QUALITÀ DELL'IMMAGINE

PUPILLA A FESSURA VERTICALE



**CONSENTE AI PREDATORI DI STIMARE
ACCURATAMENTE LA DISTANZA
DALLE POTENZIALI PREDE**



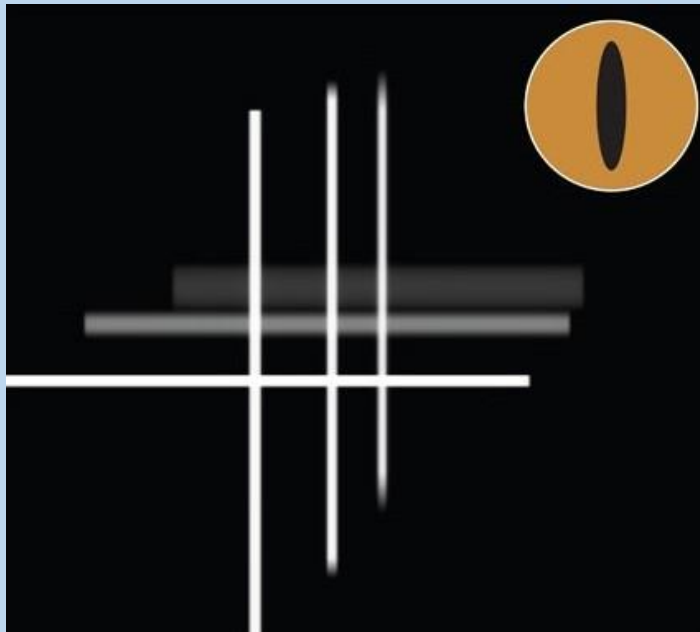
Grazie a 3 possibili
segnali di profondità:

- **STEREOPSI:** disparità binoculare sfruttata dal cervello per trarre informazioni in merito alla profondità e alla posizione dell'oggetto mirato
- **PARALLASSE DI MOVIMENTO:** fenomeno per cui un oggetto sembra spostarsi rispetto allo sfondo se si cambia il punto di osservazione
- **SFOCATURA DEFOCUS:** differenze create proiettando attraverso diverse parti della pupilla

QUALE DI QUESTI SEGNALI VIENE UTILIZZATO DAI PREDATORI CHE TENDONO AGGUATI?

- **STEREOPSI** → PER STIMARE LE DISTANZE DAI PROFILI VERTICALI
- **SFOCATURA DEFOCUS** → PER STIMARE LE DISTANZE DAI PROFILI ORIZZONTALI

N.B. I predatori di agguati non possono usare la **PARALLASSE DI MOVIMENTO**, in quanto i movimenti della testa rivelerebbero la loro posizione a potenziali prede.



La figura mostra la **PROFONDITÀ DI CAMPO ASTIGMATICA** con pupilla a fessura verticale.

Tre croci sono presentate a diverse distanze (0D, 0.4D, 0.8D). La fotocamera è focalizzata sulla croce più vicina, pertanto le altre due sono più lontane dal piano focale. Gli arti verticali di tutte e tre le croci sono relativamente nitidi, mentre quelli orizzontali delle due croci più lontane sono abbastanza sfocati.

CORRELAZIONE TRA L'ALTEZZA DEGLI OCCHI, LA SFOCATURA DEFOCUS E LA PROBABILITÀ DI AVERE UNA PUPILLA VERTICALE ALLUNGATA

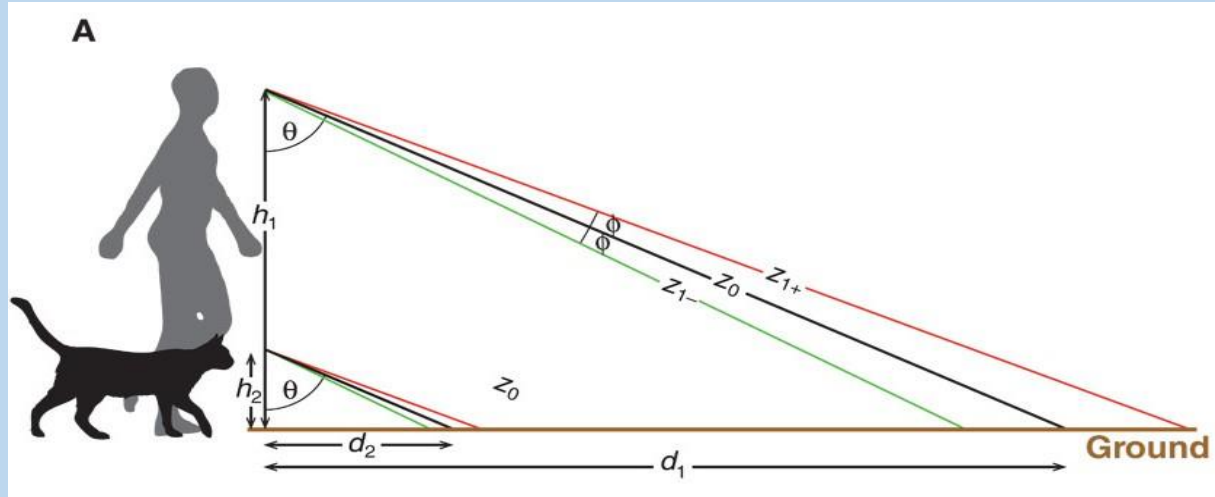


Fig. A: mostra due spettatori con diverse altezze degli occhi che fissano un punto lungo il terreno. Gli occhi sono concentrati ad una distanza z_0 : più vicino per i gatti rispetto agli umani.

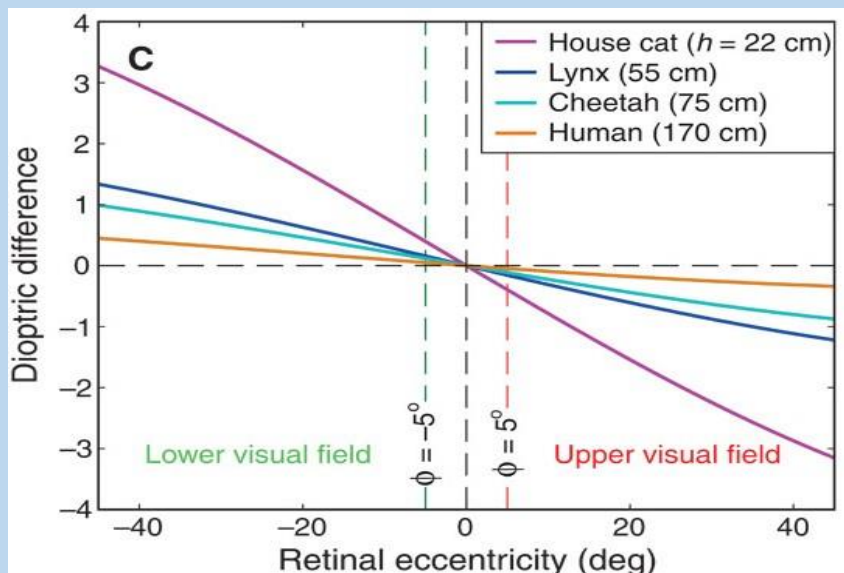


Fig. C: mostra come la differenza diottrica (di distanze) varia con l'eccentricità retinica verticale per diverse altezze degli occhi. Animali più piccoli con gli occhi vicini al suolo sperimenteranno un cambiamento molto maggiore in tutta la retina.

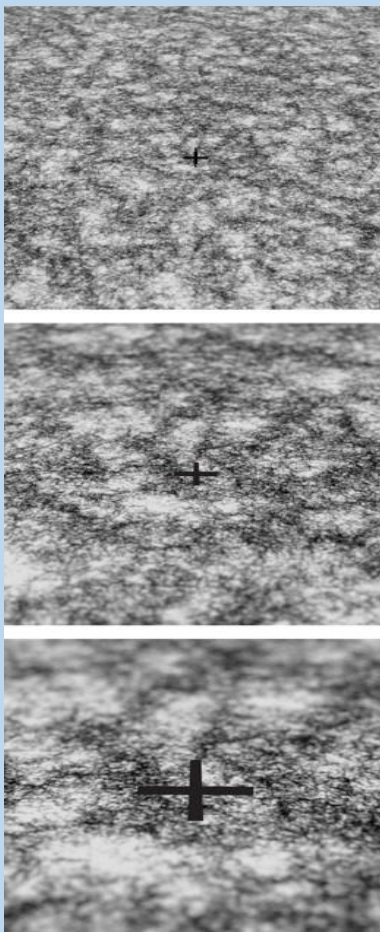


Fig. D: mostra immagini del terreno per spettatori di diverse altezze. La fotocamera è focalizzata sulla croce nera a distanza z_0 . Dall'alto verso il basso, z_0 è pari a 0.6, 0.2 e 0.1 m. Si deduce quindi che il gradiente di sfocatura è molto maggiore quando la fotocamera è vicina alla superficie (pannello inferiore) rispetto a quando essa è più lontana (pannello superiore).

Pertanto, vi è un'elevata probabilità che i predatori di agguati aventi gli occhi posizionati frontalmente posti ad un'altezza tale che essi siano più vicini al terreno, abbiano una **pupilla a fessura verticale**.

PER QUALE MOTIVO?

Creandosi un gradiente di sfocatura maggiore attraverso la retina, **la profondità da sfocatura diventa un mezzo più efficace per stimare le distanze lungo il terreno**

PUPILLA A FESSURA ORIZZONTALE



**CONSENTE UNA VISIONE
PANORAMICA, FACILITANDO
LA RILEVAZIONE DEI PREDATORI
PROVENIENTI DA TUTTE LE DIREZIONI**



Tale pupilla migliora la qualità dell'immagine per i **profili orizzontali** davanti e dietro l'animale.



IN CHE MODO?



Avendo gli **occhi posizionati lateralmente**, in modo tale da consentire un campo visivo più ampio possibile.

CICLOVERGENZA COMPENSATIVA



Gli **occhi** (posizionati lateralmente) **ruotano in direzioni opposte attorno agli assi ottici**, in risposta ai **movimenti della testa** (verso l'alto per osservare l'ambiente o verso il basso per pascolare).



Animali quali ad esempio, capre, pecore, cavalli ed alci presentano cambiamenti nel tono della testa pari a circa 70° con un guadagno (quantità di rotazione degli occhi divisa per la quantità di altezza della testa) di 0.7.

RICOSTRUZIONE ANCESTRALE DELLA FORMA DELLA PUPILLA, DEL TEMPO DI ATTIVITÀ E DELLA MODALITÀ DI FORAGGIAMENTO PER FELIDI E CANIDI

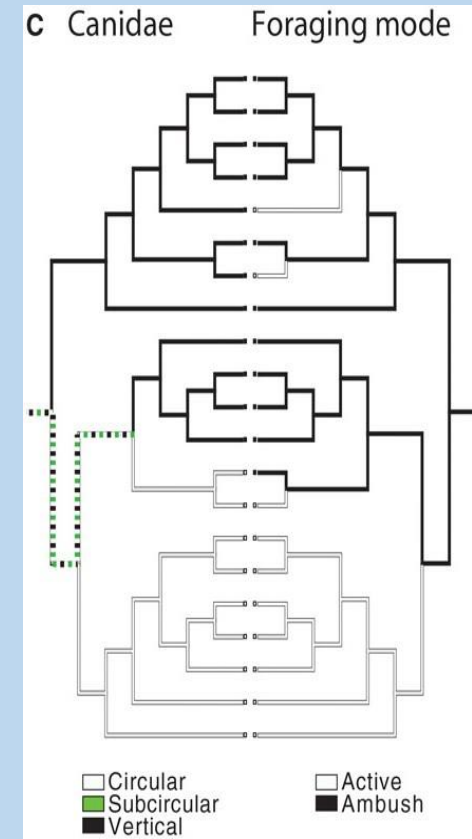
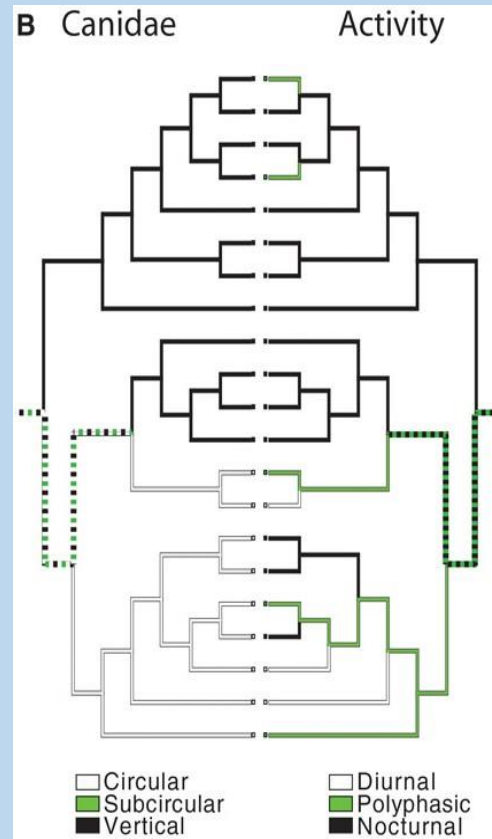
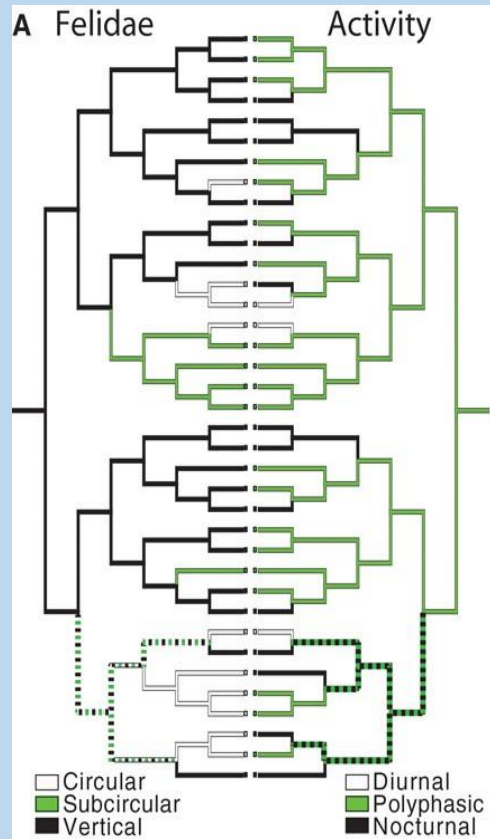


Fig. A: illustra i cambiamenti nella forma della pupilla rispetto a quelli riguardanti il tempo di attività per i Felidi.

Fig. B: illustra i cambiamenti nella forma della pupilla rispetto a quelli riguardanti il tempo di attività per i Canidi.

Fig. C: illustra i cambiamenti nella forma della pupilla rispetto a quelli riguardanti la modalità di foraggiamento per i Canidi.

ANALISI E RISULTATI

- L'analisi dei Felidi suggerisce che l'ultimo antenato comune era un predatore che tendeva a agguati, notturno o polifasico con pupille a fessura verticale. Nel cladogramma le pupille sub-circolari si sono evolute da 2 a 4 volte dallo stato ancestrale, mentre quelle circolari 6 volte.



Si assiste ad un'evoluzione indipendente delle pupille a fessura verticale e sub-circolare collegate al tempo di attività.

- L'analisi dello stato ancestrale dei Canidi suggerisce che l'ultimo antenato comune era un predatore che tendeva a agguati, polifasico con pupille sub-circolari. Inoltre, le pupille circolari e verticali si sono evolute 2 volte ciascuna.



Si assiste ad un'evoluzione indipendente delle pupille verticali e circolari collegate all'attività di tempo e alla modalità di foraggiamento.

RIASSUNTO E CONCLUSIONI

La forma della pupilla negli animali è strettamente correlata alla nicchia ecologica a cui essi appartengono, pertanto a seconda della modalità di foraggiamento e del tempo di attività avranno una **pupilla verticale, orizzontale o circolare**. La prima caratterizza i predatori notturni e polifasici (attivi sia di notte che di giorno) che tendono agguati (utilizzano la strategia "seduto e aspetta" per catturare le prede). La seconda invece, è tipica delle prede (gli erbivori ad esempio), mentre la terza la si riscontra nell'uomo e nei predatori diurni attivi (inseguono la preda). La pupilla circolare è correlata all'altezza: gli occhi umani ad esempio, sono troppo lontani dal suolo affinché siano efficaci i vantaggi conferiti dalle pupille allungate ovvero il **controllo dell'illuminazione retinica** a seconda dell'intensità luminosa (di notte la pupilla si dilata, mentre di giorno si restringe) e la **correzione dell'aberrazione cromatica** mediante una lente multifocale (consente un miglioramento della qualità dell'immagine). La pupilla a fessura verticale consente ai predatori di **stimare accuratamente la distanza dalle potenziali prede** grazie a tre possibili segnali di profondità: **stereopsi** (grazie ad essa il cervello trae informazioni in merito alla profondità e alla posizione dell'oggetto mirato); **parallasse di movimento** (un oggetto sembra spostarsi rispetto allo sfondo se si cambia il punto di osservazione); **sfocatura defocus** (differenze create proiettando attraverso diverse parti della pupilla). I predatori che tendono agguati utilizzano il primo per **stimare le distanze dai profili verticali** e l'ultimo per quelle dai **profili orizzontali**. Inoltre, vi è un'elevata probabilità che i predatori di agguati aventi gli occhi posizionati frontalmente posti ad un'altezza tale che essi siano più vicini al terreno, abbiano una pupilla a fessura verticale in quanto creandosi un gradiente di sfocatura maggiore attraverso la retina, **la profondità da sfocatura diventa un mezzo più efficace per stimare le distanze lungo il terreno**. La pupilla a fessura orizzontale invece, **consente una visione panoramica facilitando la rilevazione dei predatori provenienti da tutte le direzioni**: questo è possibile in quanto gli **occhi sono posizionati lateralmente**, in modo tale da consentire un campo visivo più ampio possibile.

La ricostruzione ancestrale della forma della pupilla, del tempo di attività e della modalità di foraggiamento per Felidi e Canidi ha dimostrato che la loro evoluzione è dovuta alla pressione selettiva dell'ambiente (**evoluzione convergente o parallela**) e non alla comparsa negli antenati comuni.

BIBLIOGRAFIA

Martin S. Banks, William W. Sprague, Jurgen Schmoll, Jared A. Q. Parnell and Gordon D. Love (2015). "Why do animal eyes have pupils of different shapes?"

Article tools: <http://advances.sciencemag.org/content/1/7/e1500391>

Laureanda: Costanza Pia Caruso

Matricola: 1088966

Anno accademico: 2021-2022