

Evoluzione e cervello

Lorenzo Fontolan

Computational Neuroscience Group

Janelia Research Campus @Howard Hughes Medical Institute

Perché le Neuroscienze?

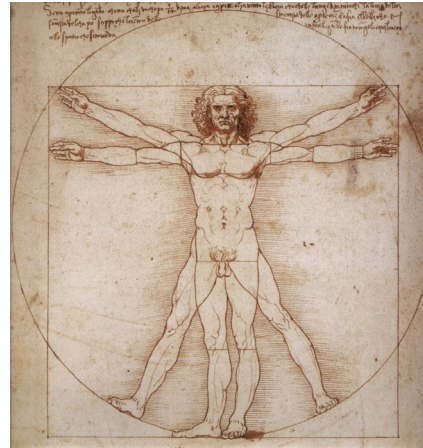


Realtà

Percezione



Cognizione



Azione



Comportamento

Perché le Neuroscienze?

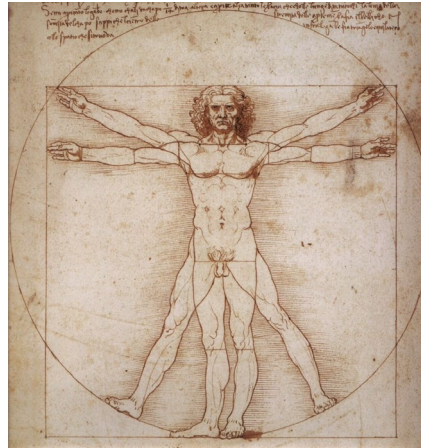


Realtà

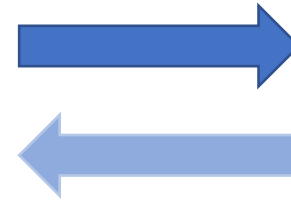
Percezione



Cognizione



Azione



Comportamento

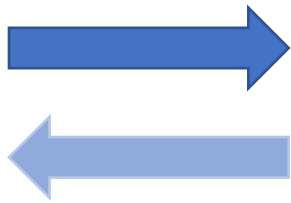


Perché le Neuroscienze?

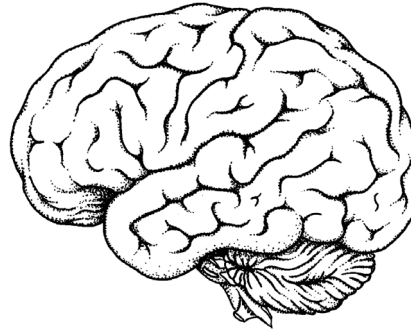


Realtà

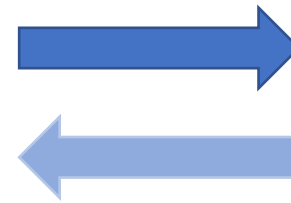
Percezione



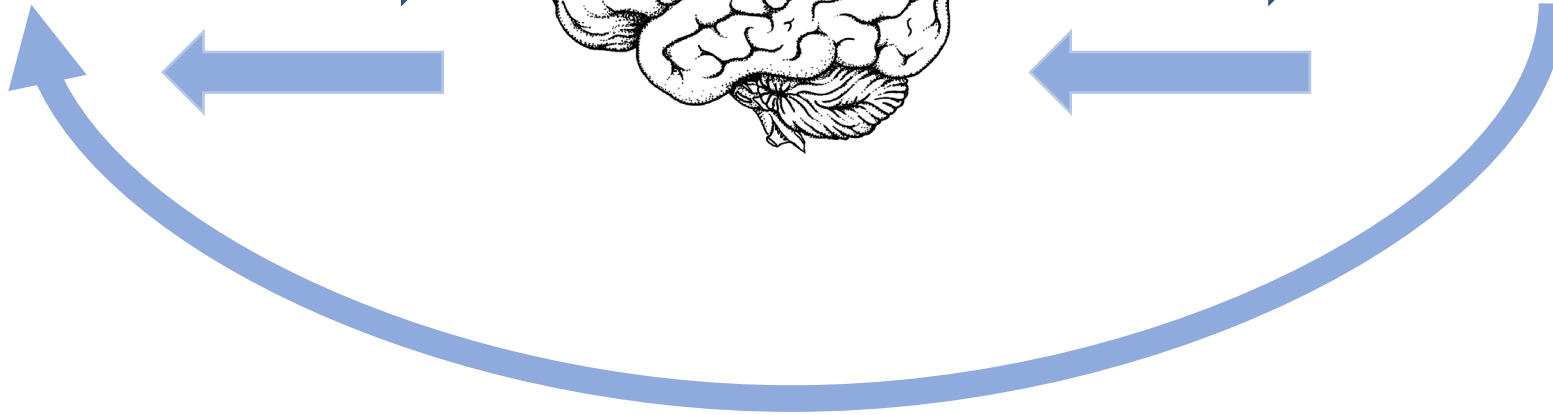
Cognizione



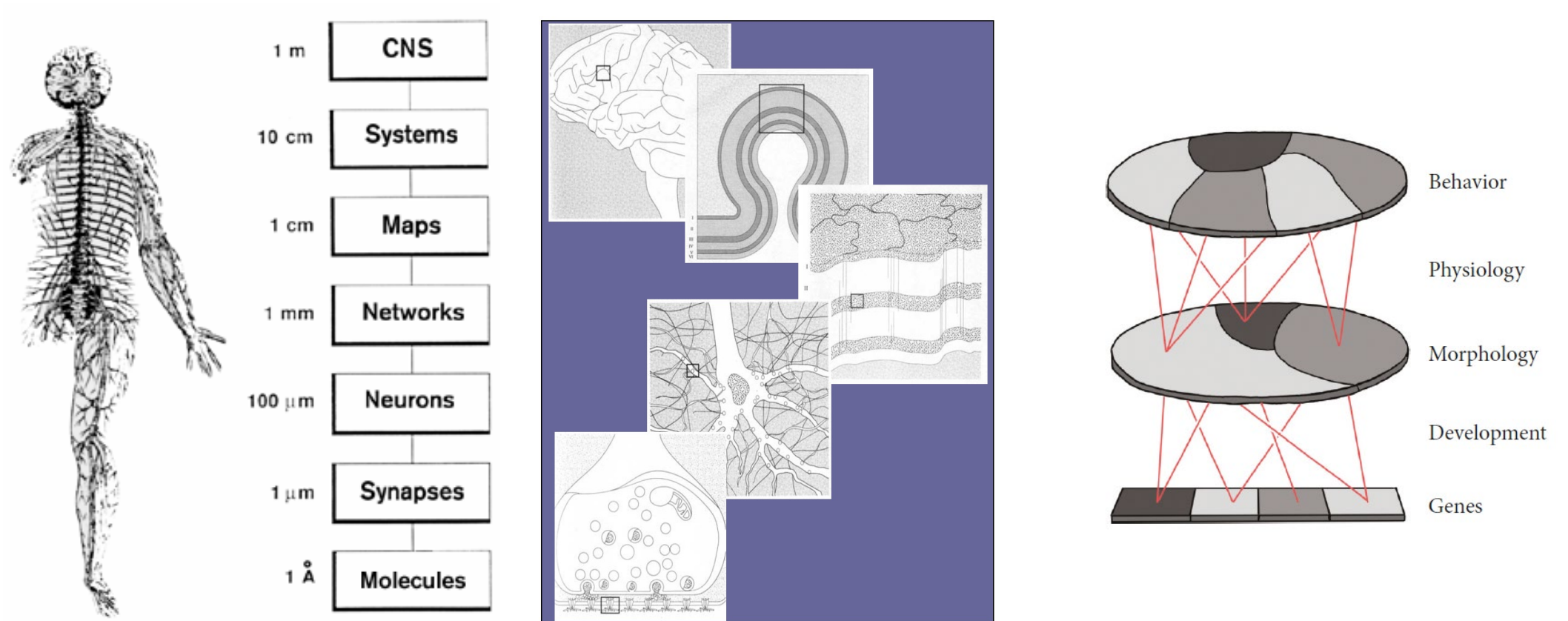
Azione



Comportamento



Ampio spettro di scale temporali e spaziali nel cervello:



*Images from:
Neuroscience, Purves et al., Sinauer Ass.
H. Markram*

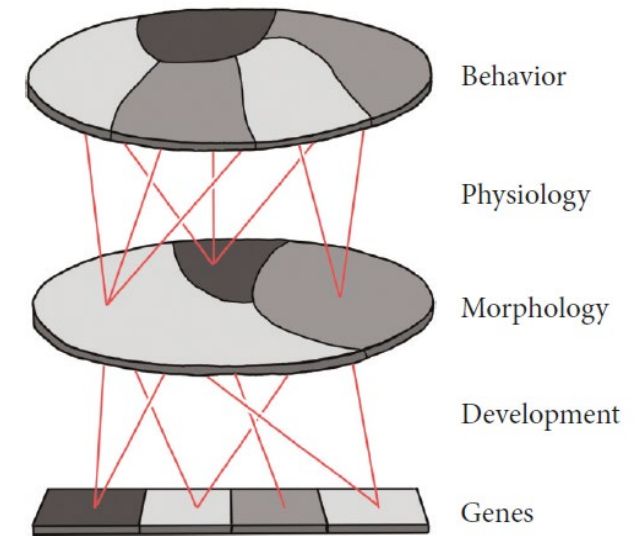
Cosa vuol dire “capire” il funzionamento del cervello?

Esistono tanti approcci complementari per studiare il cervello (psicologia, biologia cellulare, neuroscienze dei sistemi, psicofisica, filosofia della mente, ...).

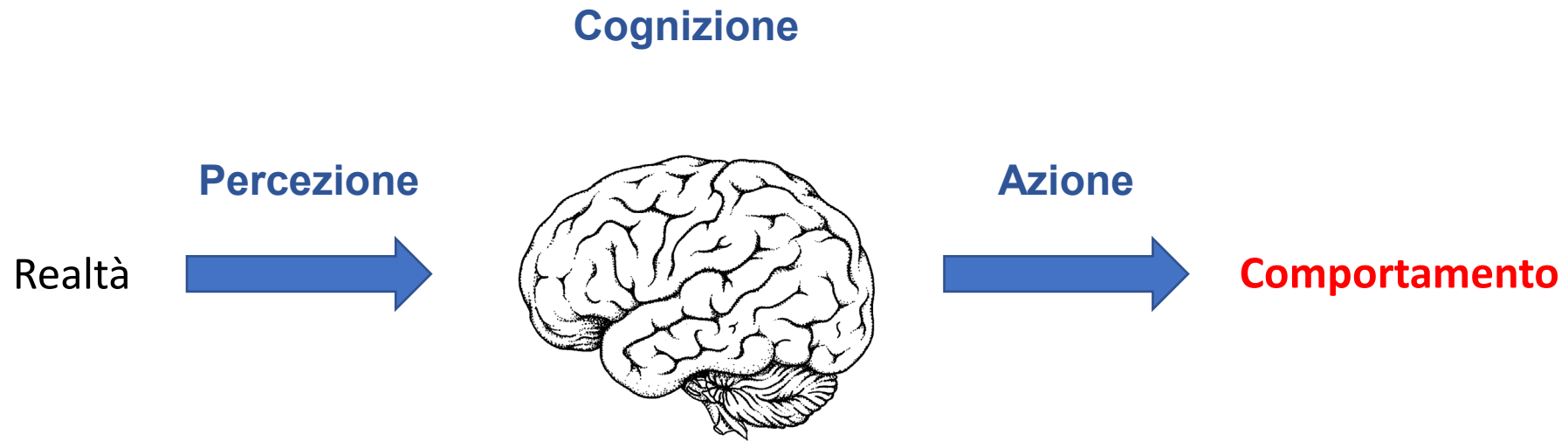
Dalla seconda metà del 1800 le Neuroscienze tentano di trovare collegamenti tra i diversi livelli (dai geni e l'ambiente fino ad arrivare al comportamento).

Cosa vuol dire capire?

Individuare relazioni causali da un livello di descrizione all'altro (e viceversa, poiché sappiamo che i livelli interagiscono dinamicamente (es. Epigenetica))



A cosa serve il cervello?



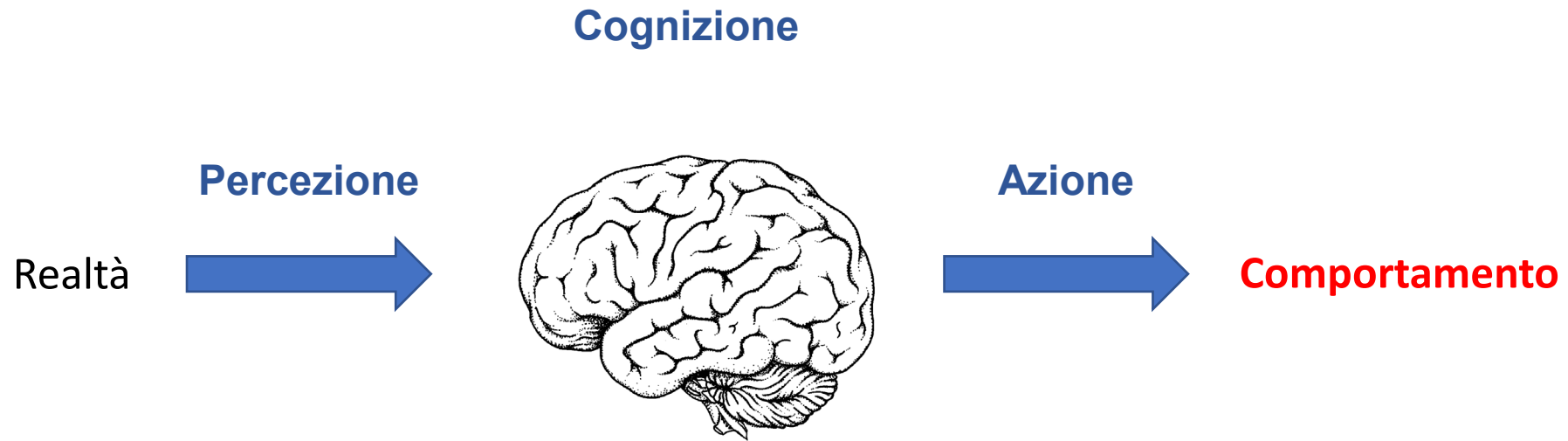
The whole neural organism, it will be remembered, is, physiologically considered, but a machine for converting stimuli into reactions” (James, 1890, p. 372).

L'intero organismo neurale, si ricorderà, non è, considerato dal punto di vista fisiologico, che una macchina per convertire gli stimoli in reazioni.



William James

Cos'è il comportamento?



Comportamento:

1. Analisi del mondo
2. Pianificazione dell'azione
3. Esecuzione dell'azione

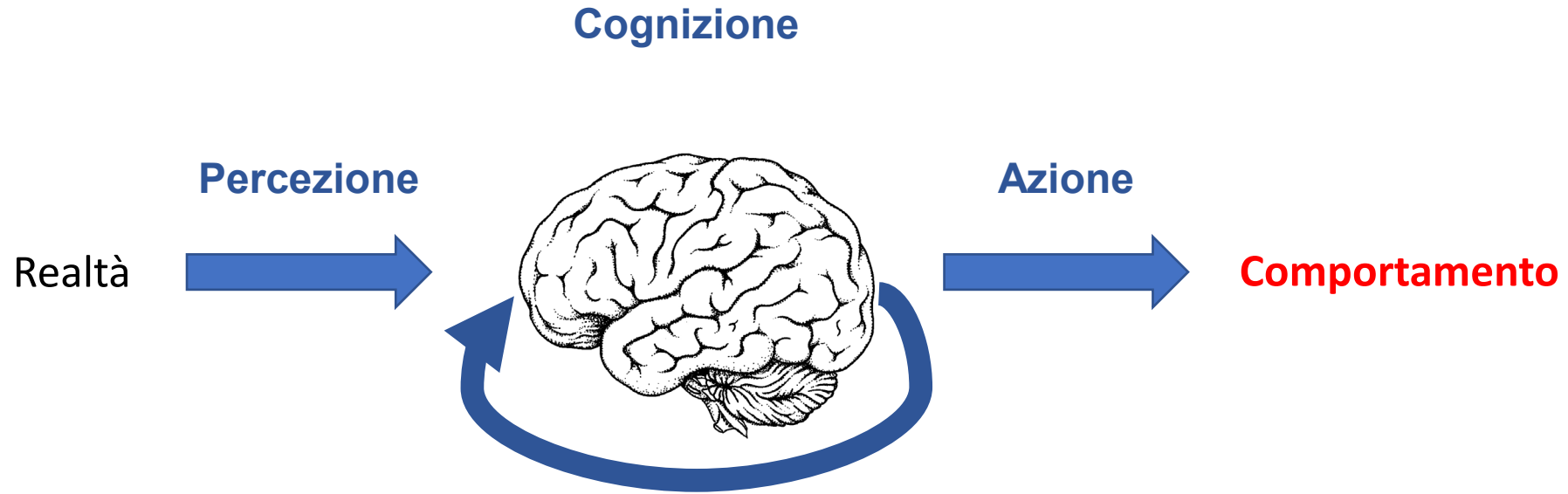
"Sense, think, act"

Percepire, pensare, agire



William James

Cos'è il comportamento?

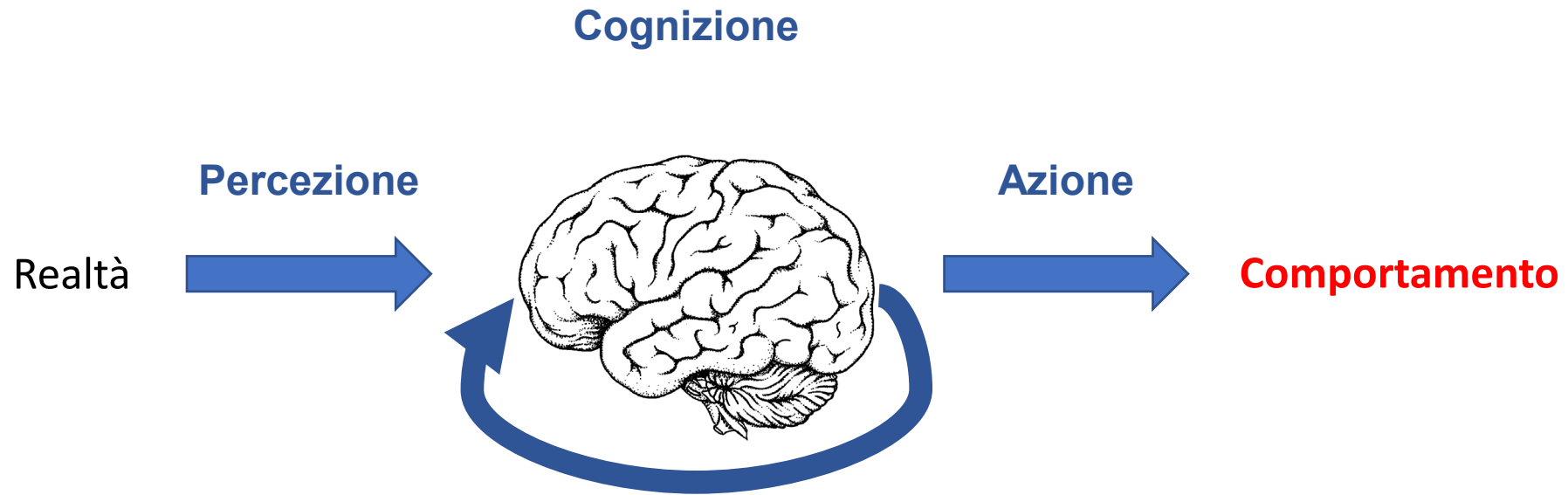


I processi della psiche ("cerebrali") sono indispensabili per comprendere come gli organismi generano i comportamenti.



Edward Tolman

Cos'è il comportamento?



- Il cervello costruisce rappresentazioni:
 - degli stimoli che provengono dalla realtà esterna (dal latino *stimulus*: pungolo per sollecitare i buoi)
 - delle azioni future e dei potenziali effetti delle azioni future
 - ***Le rappresentazioni contengono informazione***



Shannon



Turing

Rappresentazioni del mondo e delle intenzioni

- *Le **rappresentazioni** contengono **informazione***

Devono contenere informazioni sul mondo, sull'organismo e sulle interazioni tra mondo e organismo (anche gli animali possiedono rappresentazioni del mondo!)

Come le ha apprese il cervello? (esperienza, circuiti innati, evoluzione?)

Rappresentazioni del mondo e delle intenzioni

- *Le rappresentazioni contengono informazione*

Devono contenere informazioni sul mondo, sull'organismo e sulle interazioni tra mondo e organismo (anche gli animali possiedono rappresentazioni del mondo!)

Come le ha apprese il cervello? (esperienza, circuiti innati, evoluzione?)

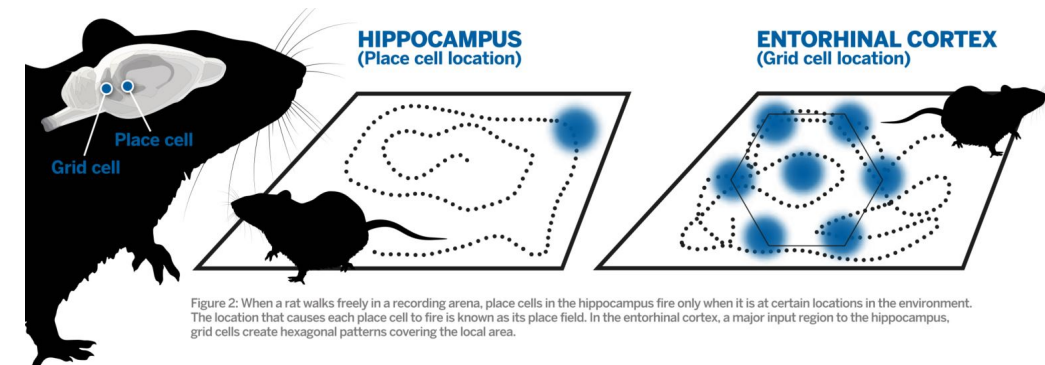
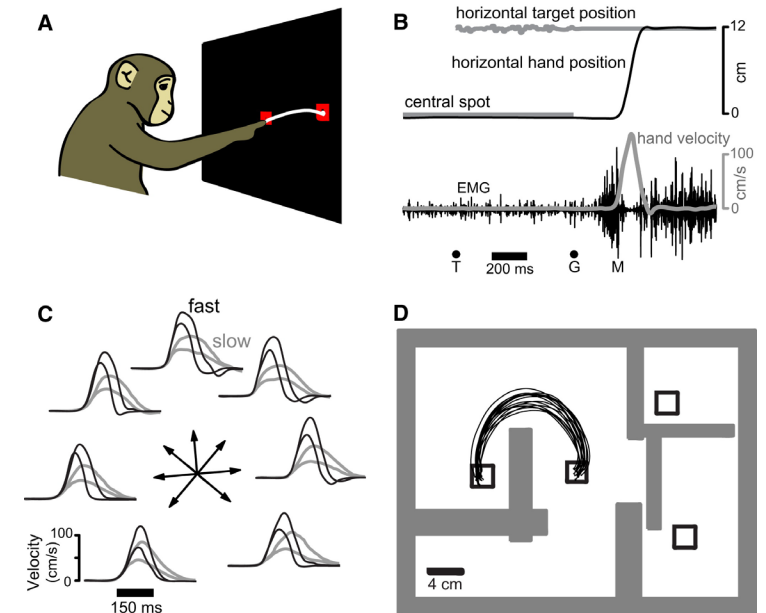
Esempi:

Ricostruire le immagini nella corteccia visiva

Mappa spaziale del mondo circostante per poter muoversi

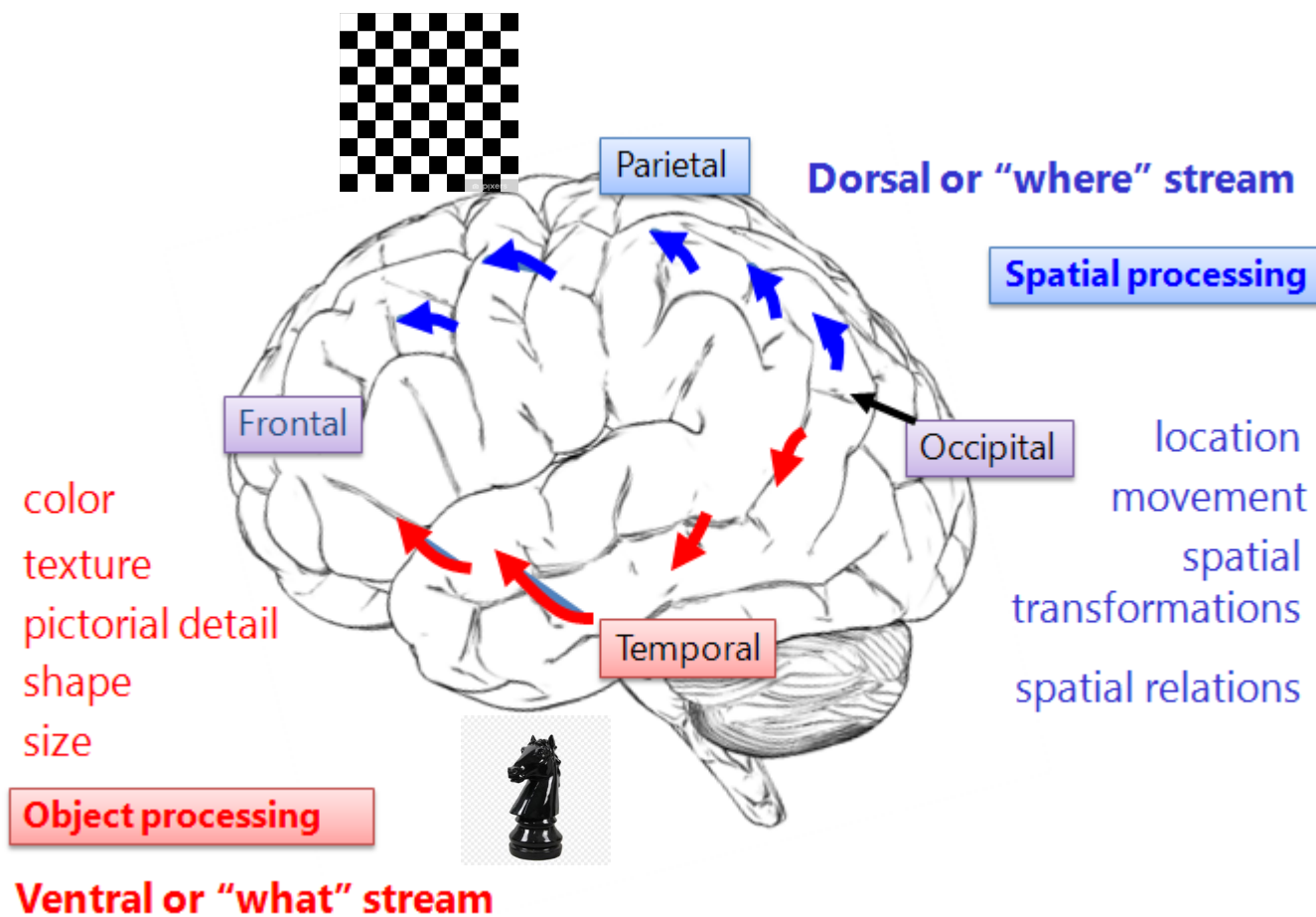
Categorizzazione di oggetti

Spazio delle azioni motorie (es. movimento di una mano)



Ipotesi: le funzioni cognitive utilizzano le rappresentazioni trasformandole per produrre un'azione

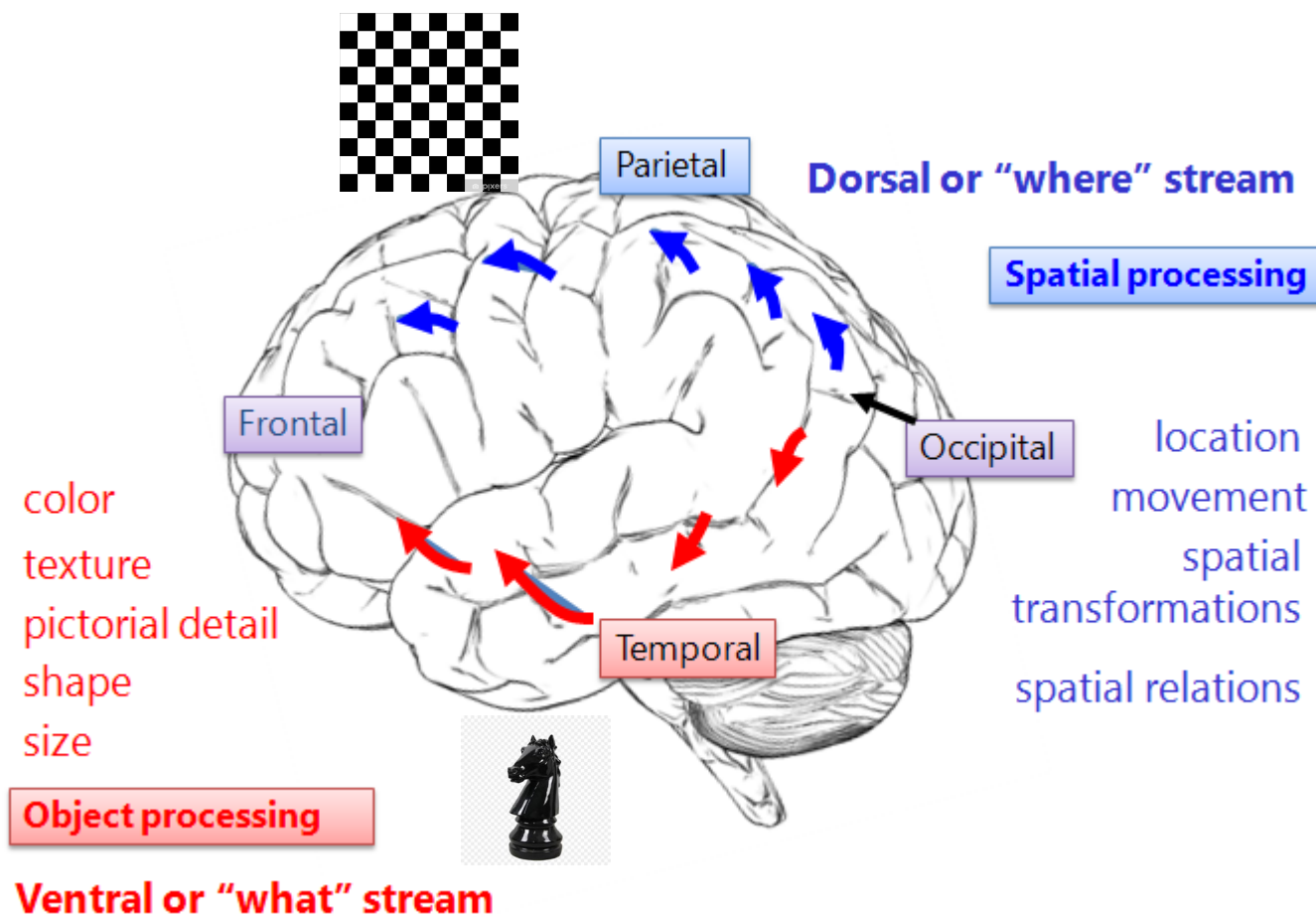
Esempio: processi visivi



Ipotesi: le funzioni cognitive utilizzano le rappresentazioni trasformandole per produrre un'azione

Esempio: processi visivi

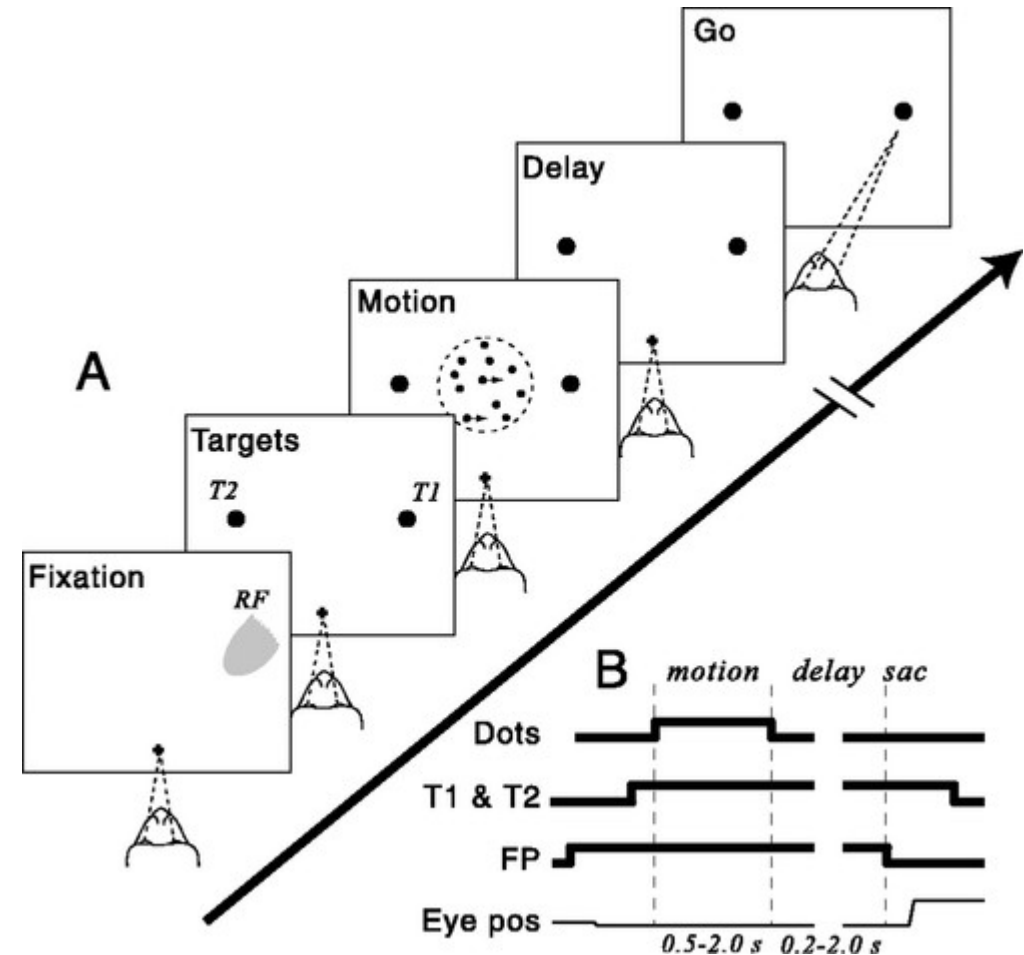
Ma dove e come viene integrata
l'informazione per formare l'immagine
coerente che vediamo?
(binding problem)



Il problema della rappresentazione nelle aree associative

Esempio: decision-making (presa di decisione)

Processo che utilizza descrizioni, forma nuove mappe
concettuali, utilizza filtra di attenzione, programmi motori
per produrre azioni, memoria di lavoro etc.



Il problema della rappresentazione nelle aree associative

Esempio: decision-making (presa di decisione)

Processo che utilizza descrizioni, forma nuove mappe concettuali, utilizza filtra di attenzione, programmi motori per produrre azioni, memoria di lavoro etc.

Lateral Intraparietal Area (LIP)

Sembra che riceva input sensoriali, diriga i processi attenzione (input verso le aree decisionali/motorie), ma rappresenti anche l'azione (è un'area che sembra coinvolta nella decisione stessa)

- Come fa a fare entrambe le cose?
- Forse il nostro schema è sbagliato?

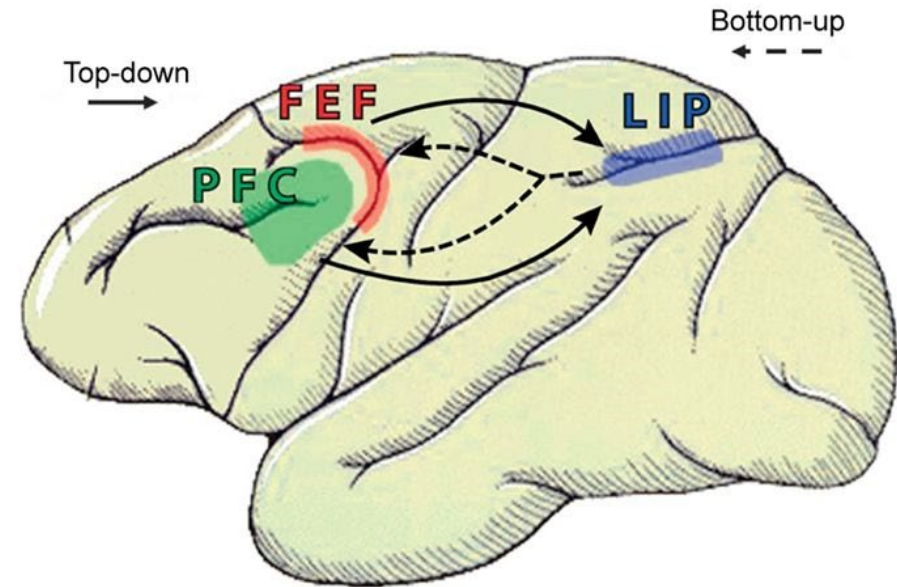
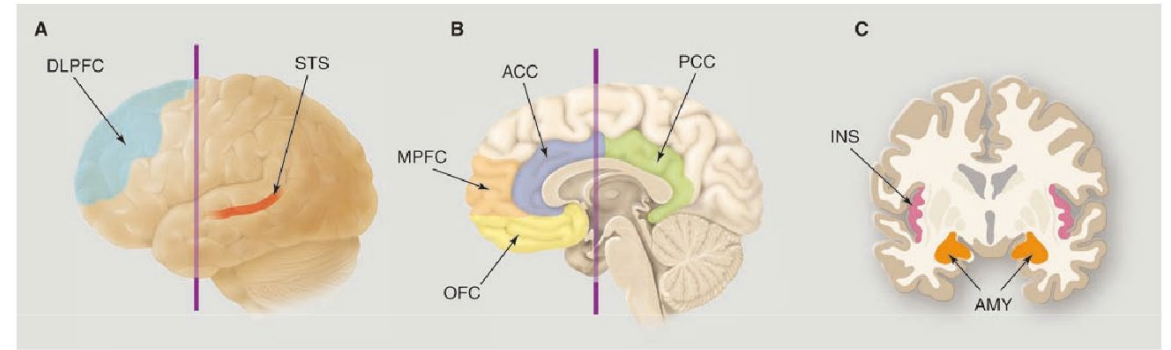


FIGURE 50.10 Schematic representation of the flow of top-down and bottom-up attention signals in the PFC. Based on neural latency from Buschman and Miller (2007).

Il problema della rappresentazione nelle aree associative

Esempio: decision-making (presa di decisioni)

Processo che utilizza descrizioni, forma nuove mappe concettuali, utilizza filtra di attenzione, programmi motori per produrre azioni, memoria di lavoro etc.



Theory of Mind: STS, MPFC, OFC

Sanfey 2007 Science

Molte aree sono coinvolte nella presa di decisioni, non sappiamo ancora con precisione quali siano più o meno coinvolte e in che ordine temporale. L'optogenetica ci aiuterà, ma per ora solo per semplici nei roditori (Inagaki & Fontolan 2019, Finkelstein and Fontolan 2020)

Gli scacchi: un esempio di decision-making



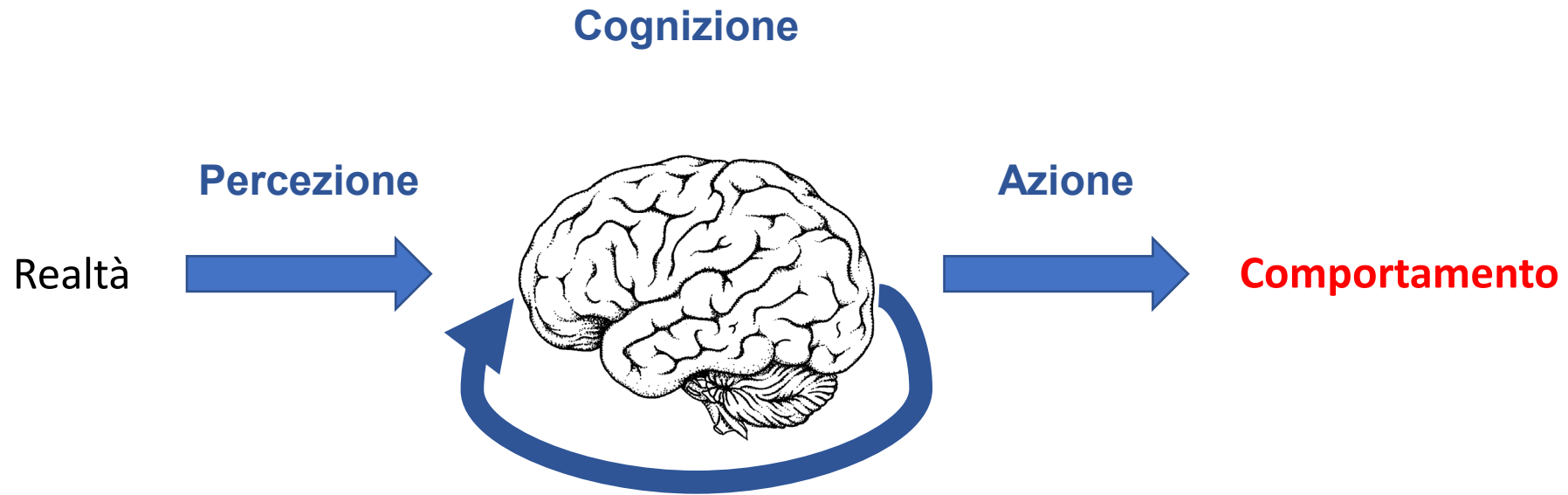
G. Kasparov



- Che pezzo muovere? la regina? il pedone?
- Strategia:
 1. Calcolare gli effetti delle azioni future
 2. Decidere che pezzo muovere
 3. Pianificare il movimento con il braccio e la mano
 4. Eseguire il movimento

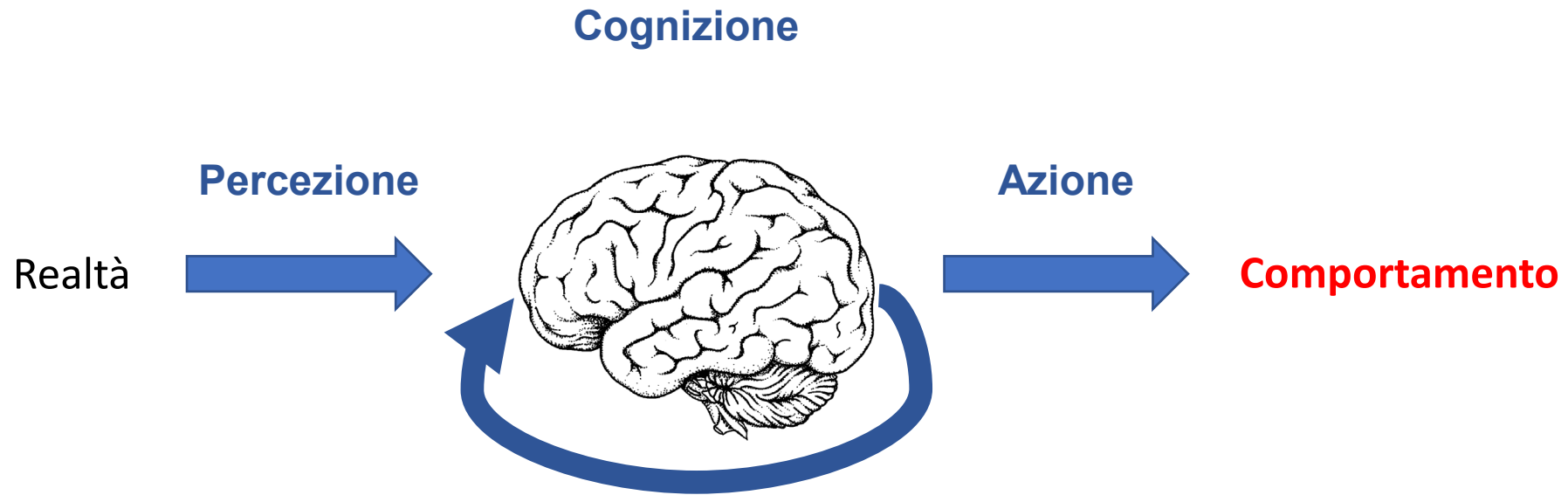
Sense, think, act

È l'approccio giusto?



- Trovare dei correlati neurali precisi nelle **aree associative** sembra un'impresa complicate.
- Il cervello non assomiglia all'algoritmo che svilupperebbe uno scienziato per creare un ente capace di prendere decisioni.

È l'approccio giusto?



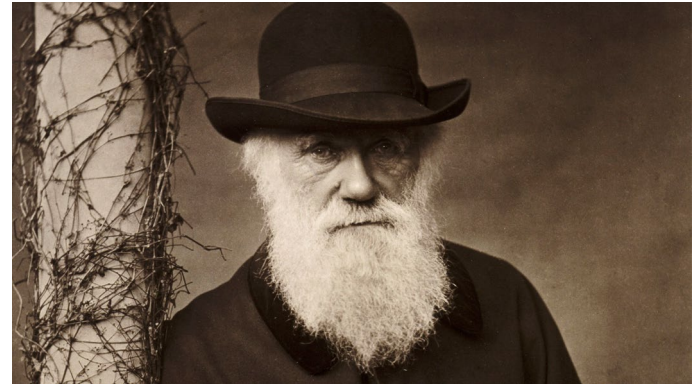
- Trovare dei correlati neurali precisi nelle **aree associative** sembra un'impresa complicata.
- Il cervello non assomiglia all'algoritmo che svilupperebbe uno scienziato per creare un ente capace di prendere decisioni.

Quella di James è una schematizzazione che sembra sensata e utile, ma potrebbe non essere quella utilizzata dal cervello!

Forse bisogna cambiare in parte approccio?

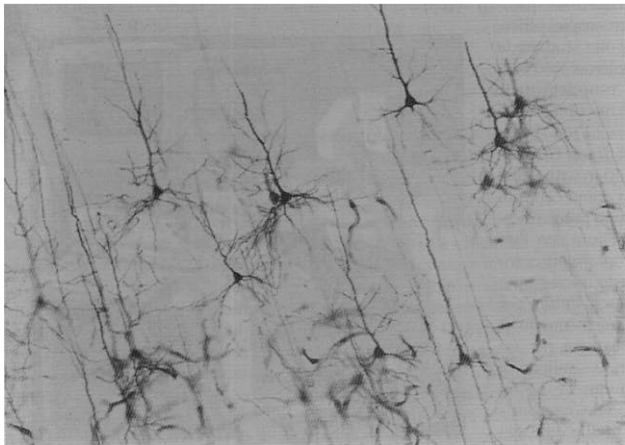
Il cervello è il risultato di processi evolutivi

- Le strutture cerebrali (e l'esistenza stessa del sistema nervoso) hanno subito processi evolutivi lunghi milioni di anni
- Due concetti fondamentali nella teoria evolutiva:
 - **Selezione naturale** (qual è il vantaggio della caratteristica X per la sopravvivenza dell'individuo e della specie?)
 - **Filogenesi**: mutazioni ("casuali") determinano la differenziazione degli organismi nel tempo



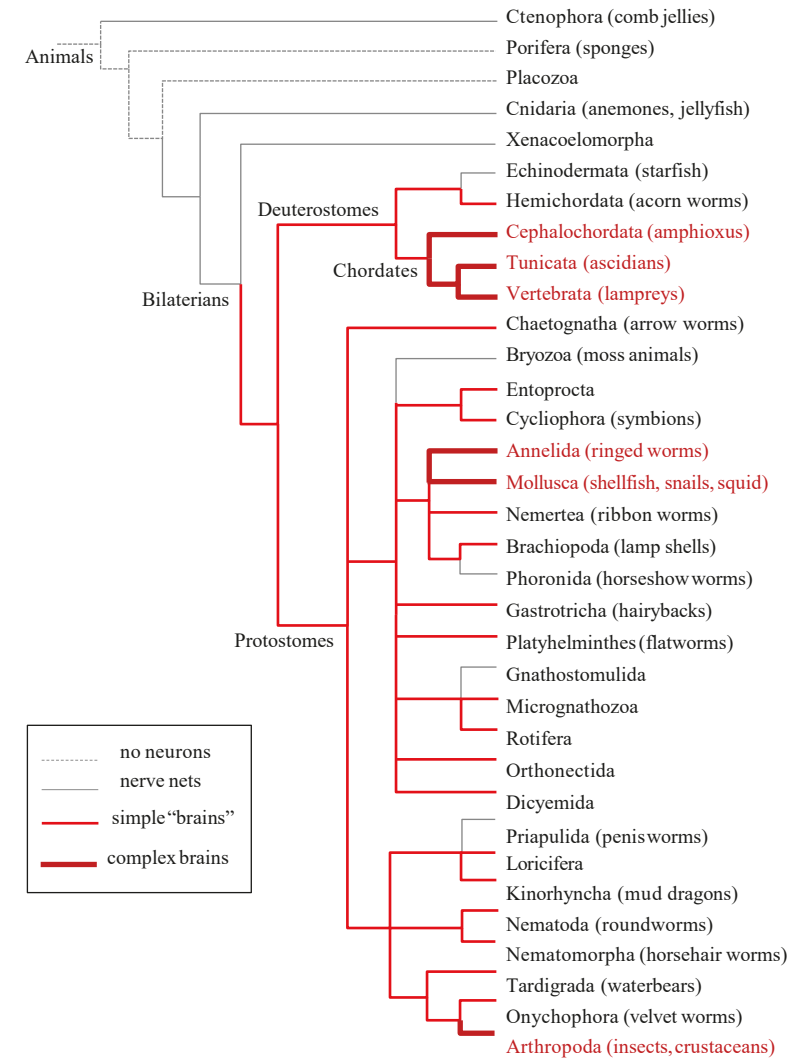
L'evoluzione dei sistemi nervosi primitivi

Non tutti gli organismi possiedono neuroni!



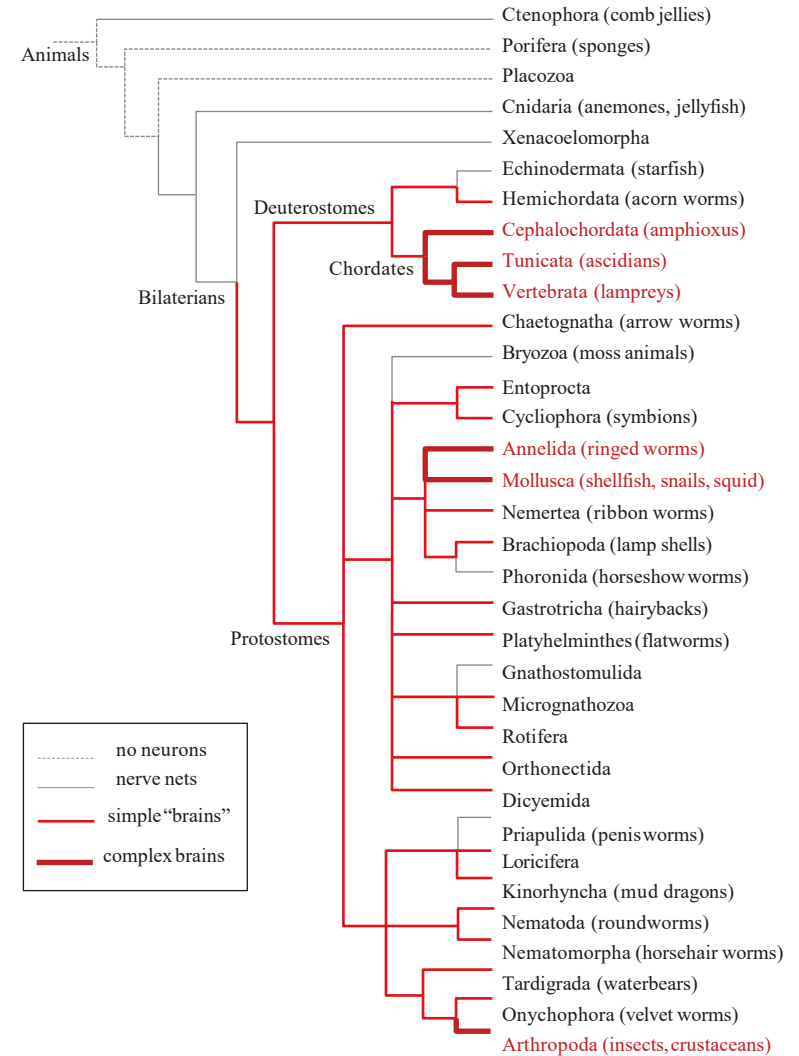
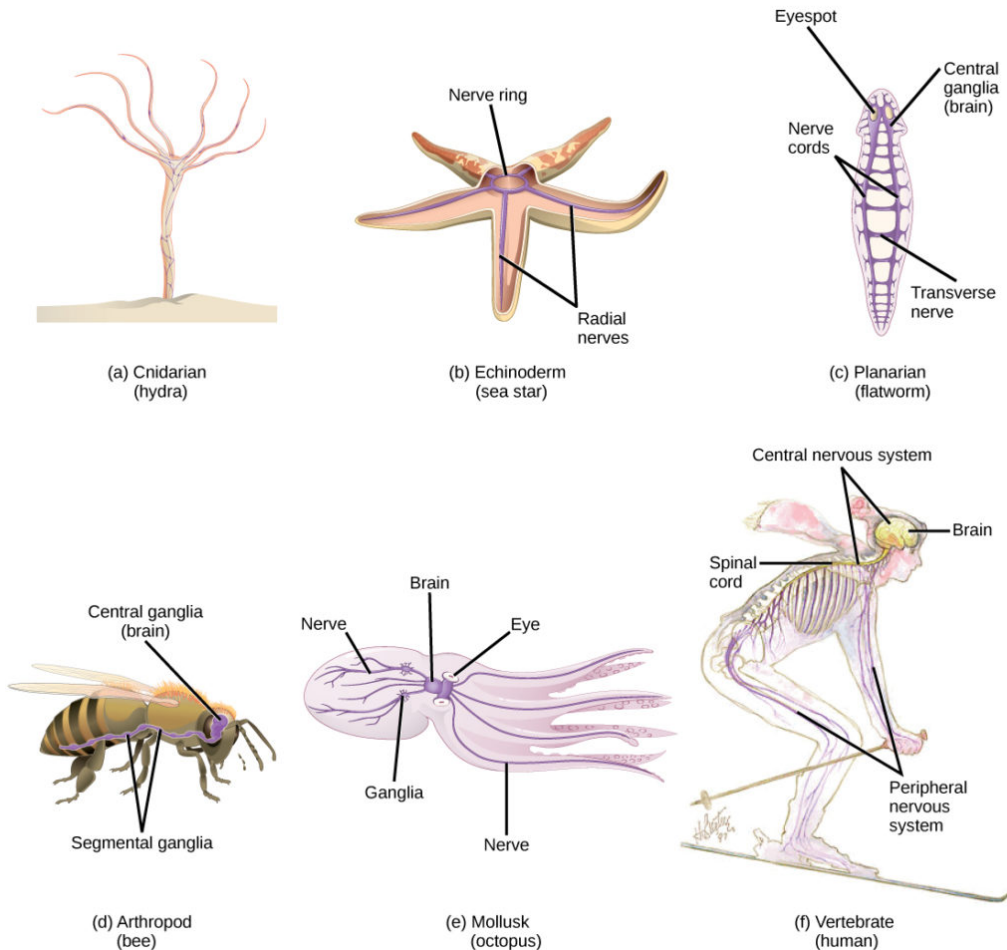
Camillo Golgi

Ramon y Cajal



L'evoluzione dei sistemi nervosi primitivi

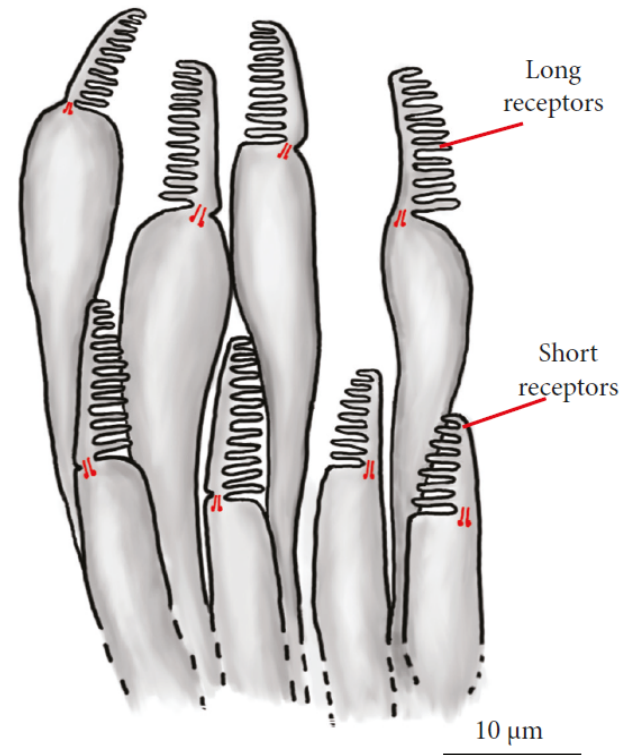
Non tutti gli organismi possiedono neuroni!



I fotorecettori della lampreda



Lamprey Photoreceptors



Responses to Light

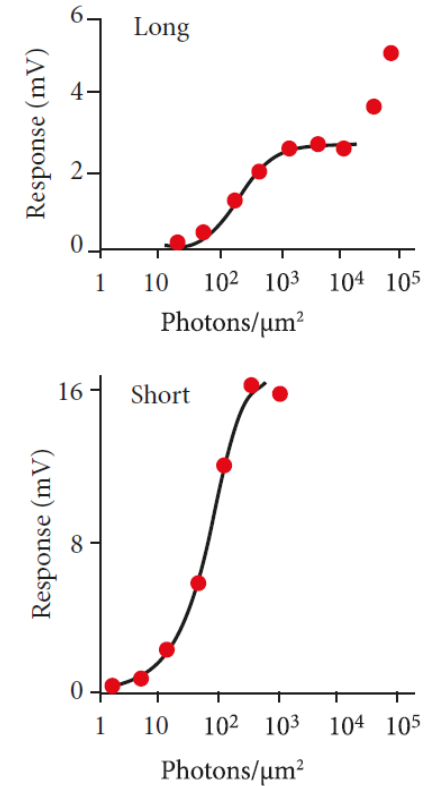
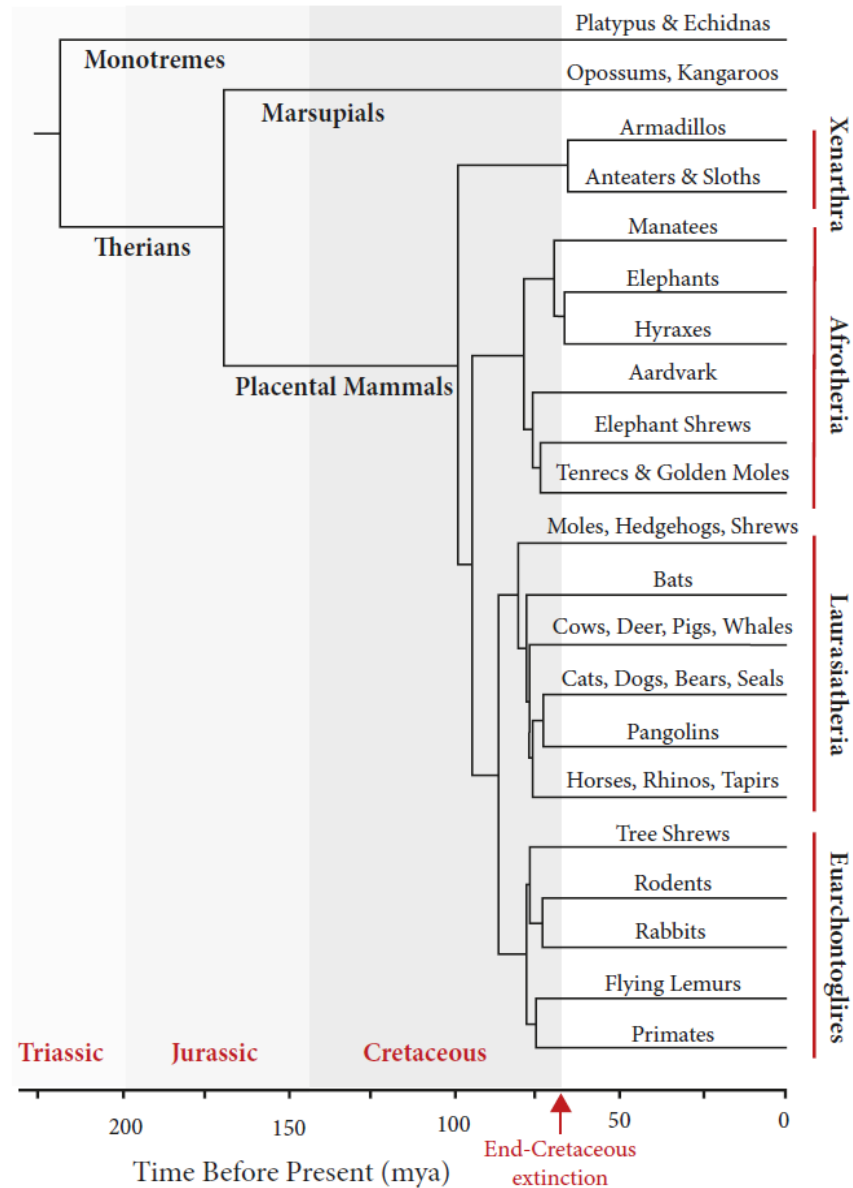


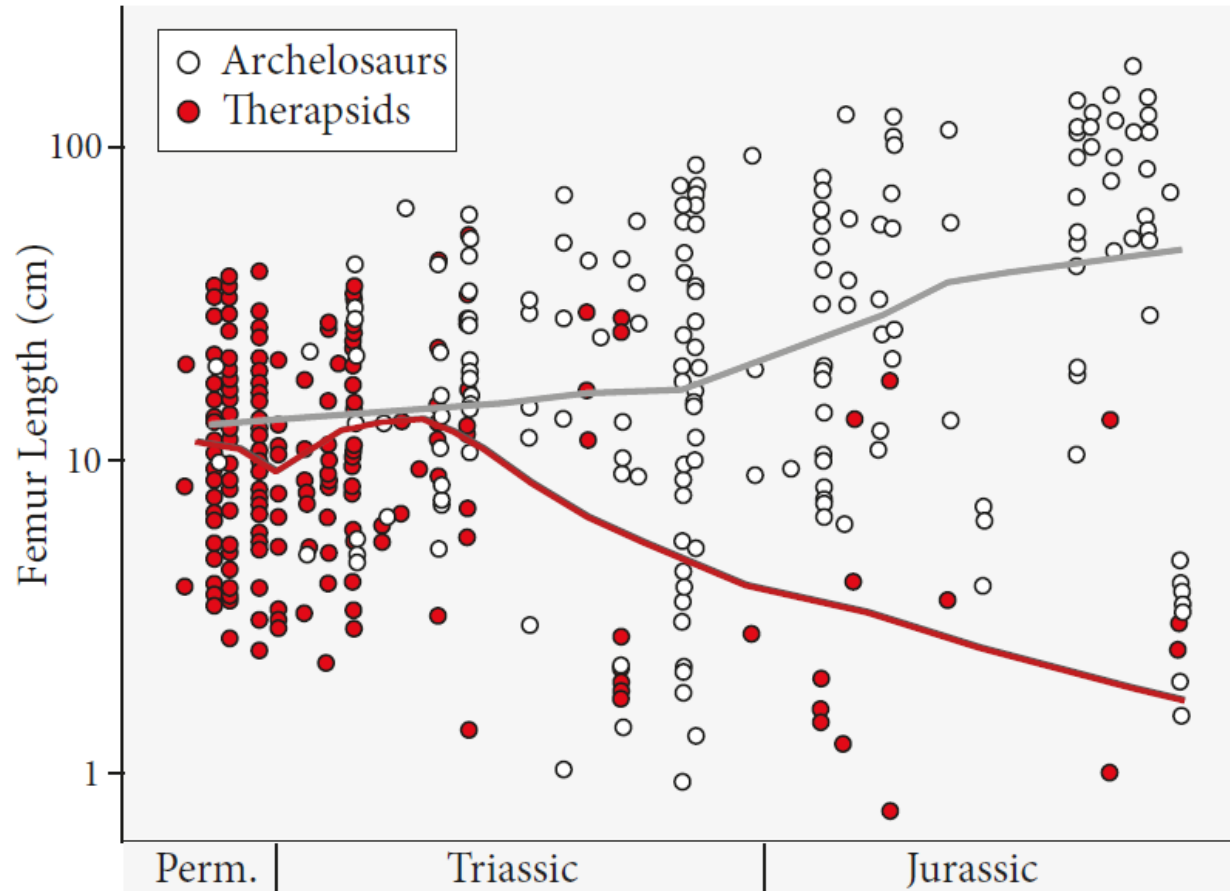
Figure 2.13 Lamprey photoreceptors. The European river lamprey *Lampetra fluviatilis* has long and short types of photoreceptors in its retina. Both types have outer segments that are cone-like insofar as they feature deep invaginations of the cell membrane (rather than the intracellular disks typical of rods). However, the short photoreceptors are much more light-sensitive than the long photoreceptors, making them rod-like. The graphs depict responses to flashes of 520 nm light.

Adapted from Asteriti et al. (2015).

Come sono sopravvissuti i mammiferi ai dinosauri e all'estinzione di massa?



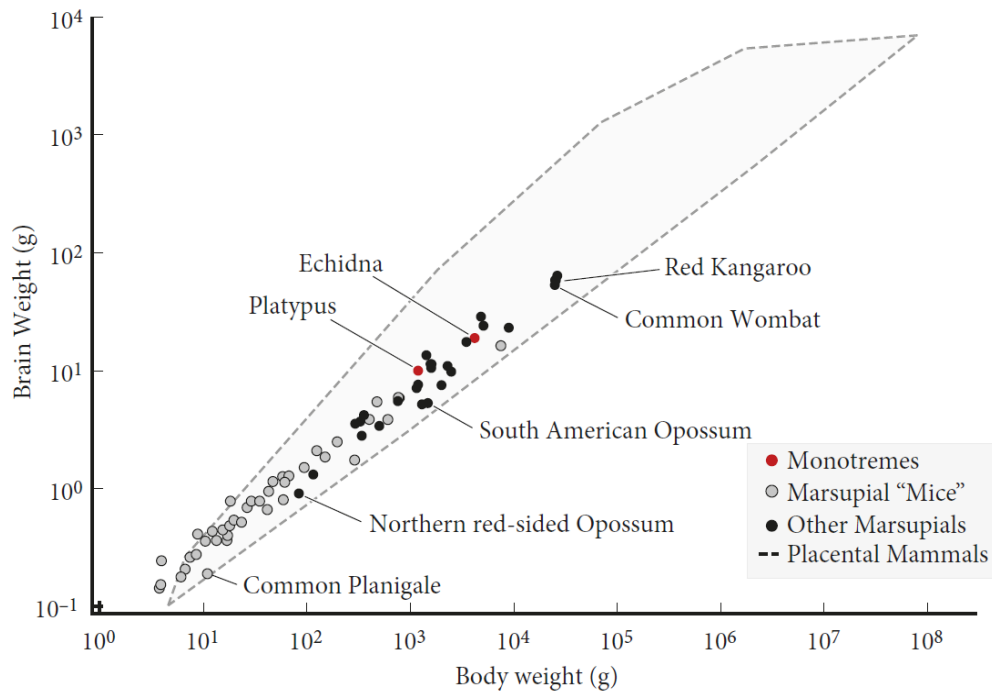
Come sono sopravvissuti i mammiferi ai dinosauri e all'estinzione di massa?



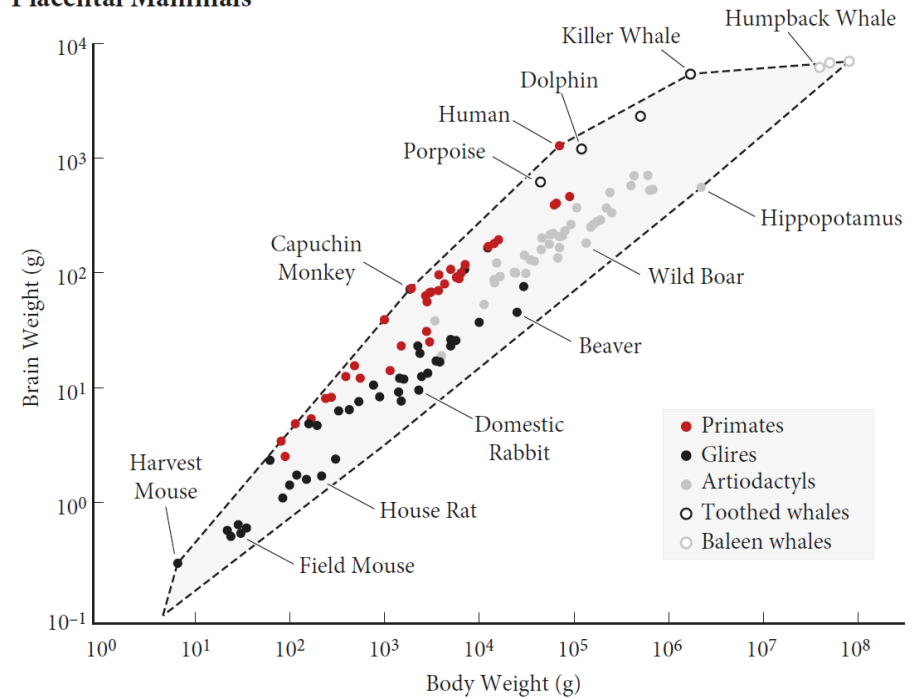
- diminuendo progressivamente le dimensioni (nessun quadrupede di più di 25kg di peso è sopravvissuto)
- diventando animali notturni (**endotermia, visione notturna**)

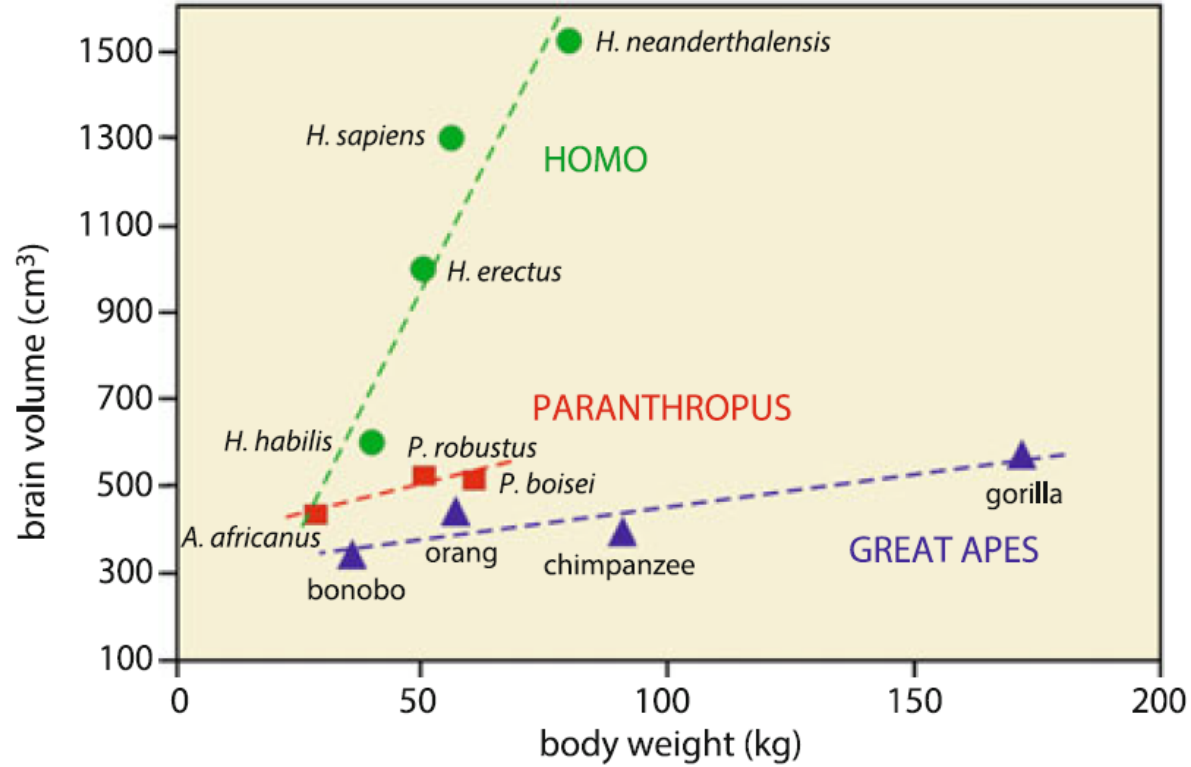
Come cambia il cervello rispetto alla specie?

Marsupials & Monotremes



Placental Mammals

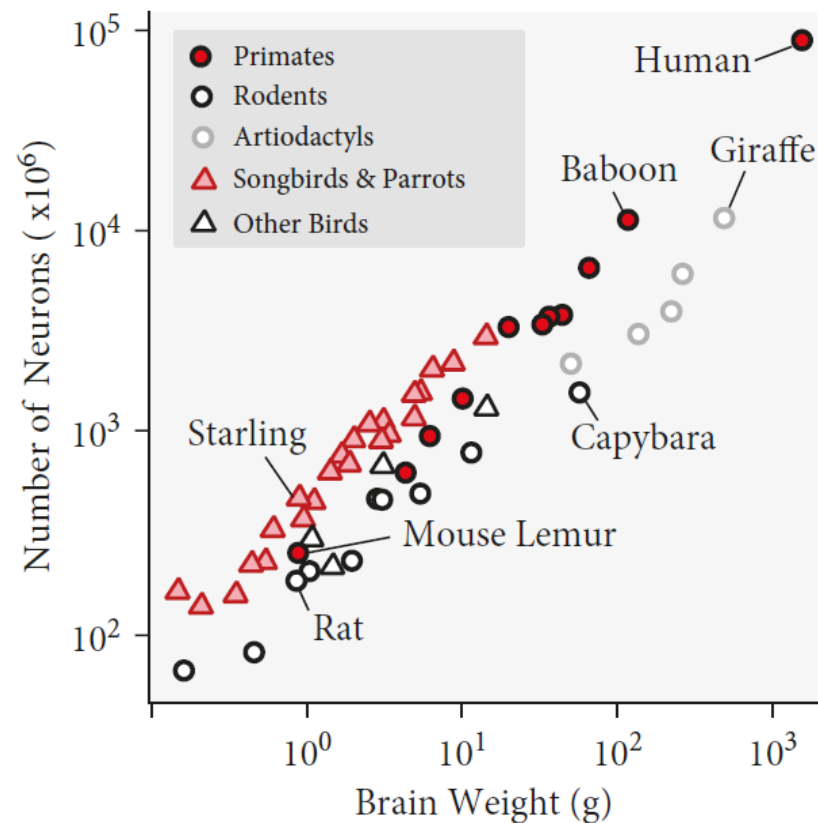
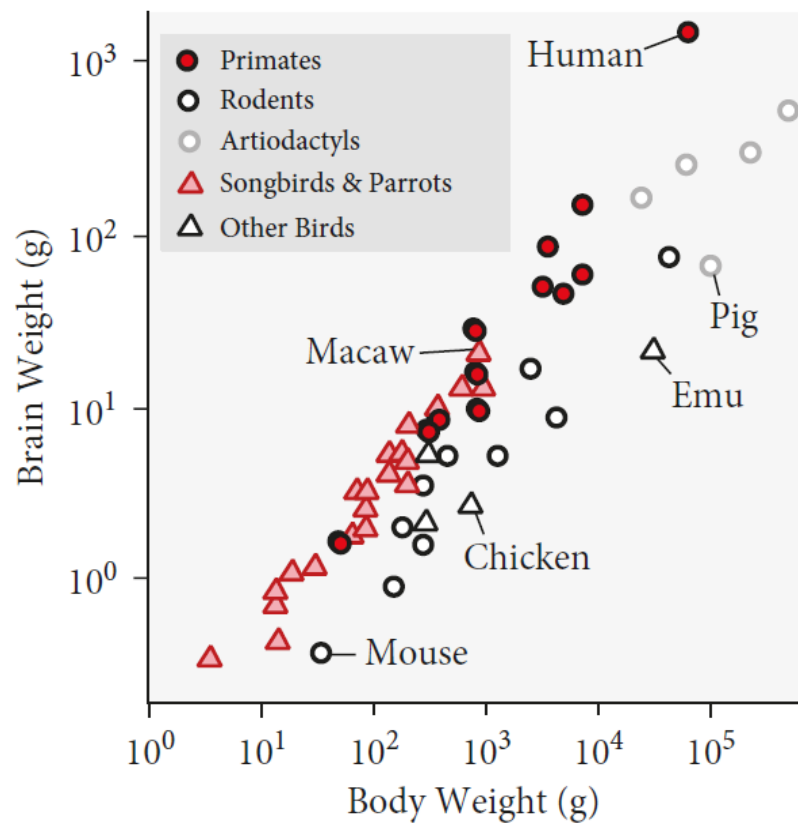




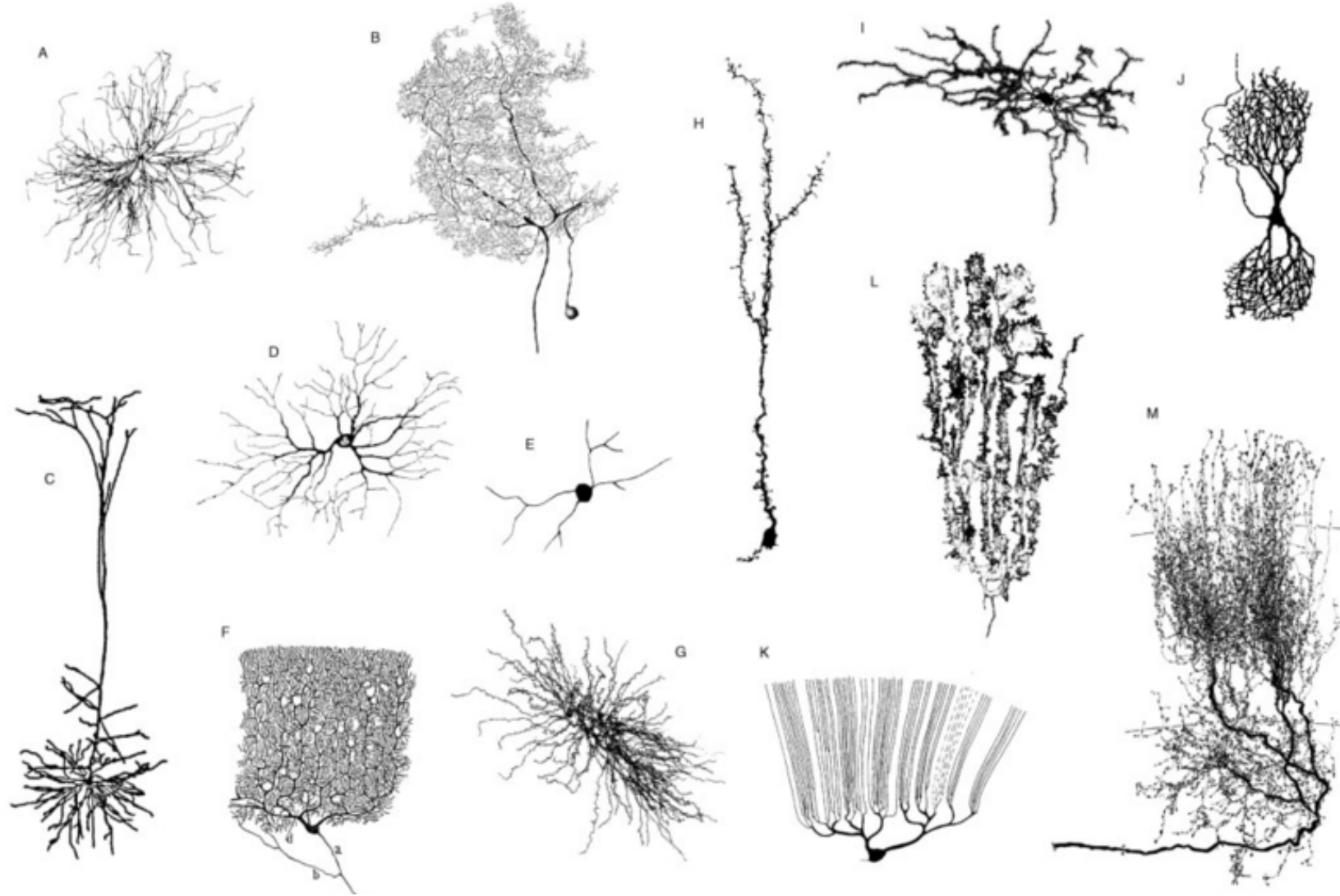
Data from Jerison

L'Uomo di Neanderthal aveva un cervello più voluminoso e più pesante del cervello dell'Uomo Sapiens!

Il numero di neuroni è importante?



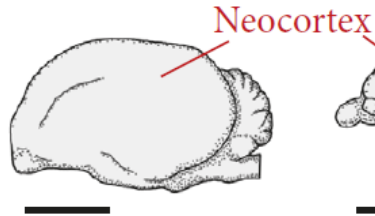
Morfologia dei neuroni



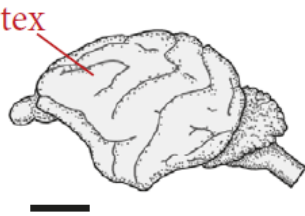
Girificazione: un processo convergente?

Monotremes

Platypus

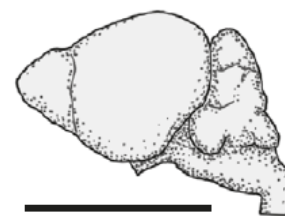


Echidna

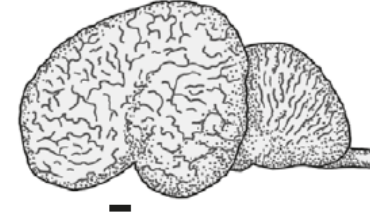


Afrotheria

Tenrec

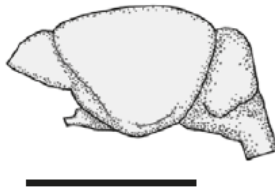


Elephant

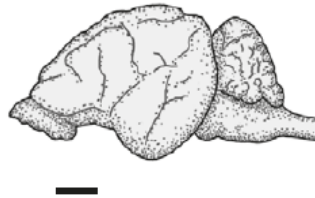


Marsupials

Dwarf Opossum

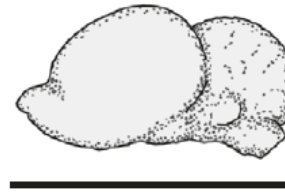


Grey Kangaroo

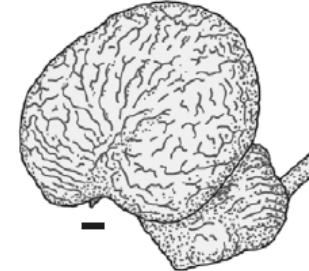


Laurasiatheria

Horseshoe Bat

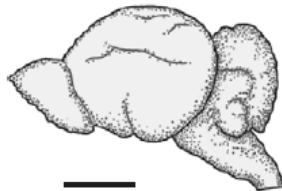


Dolphin

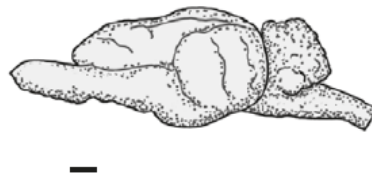


Xenarthra

Armadillo

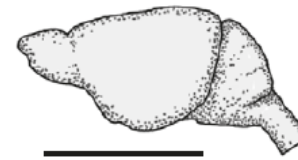


Giant Anteater

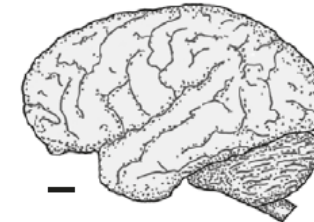


Euarchontoglires

House Mouse



Chimpanzee



L'evoluzione della corteccia nei mammiferi

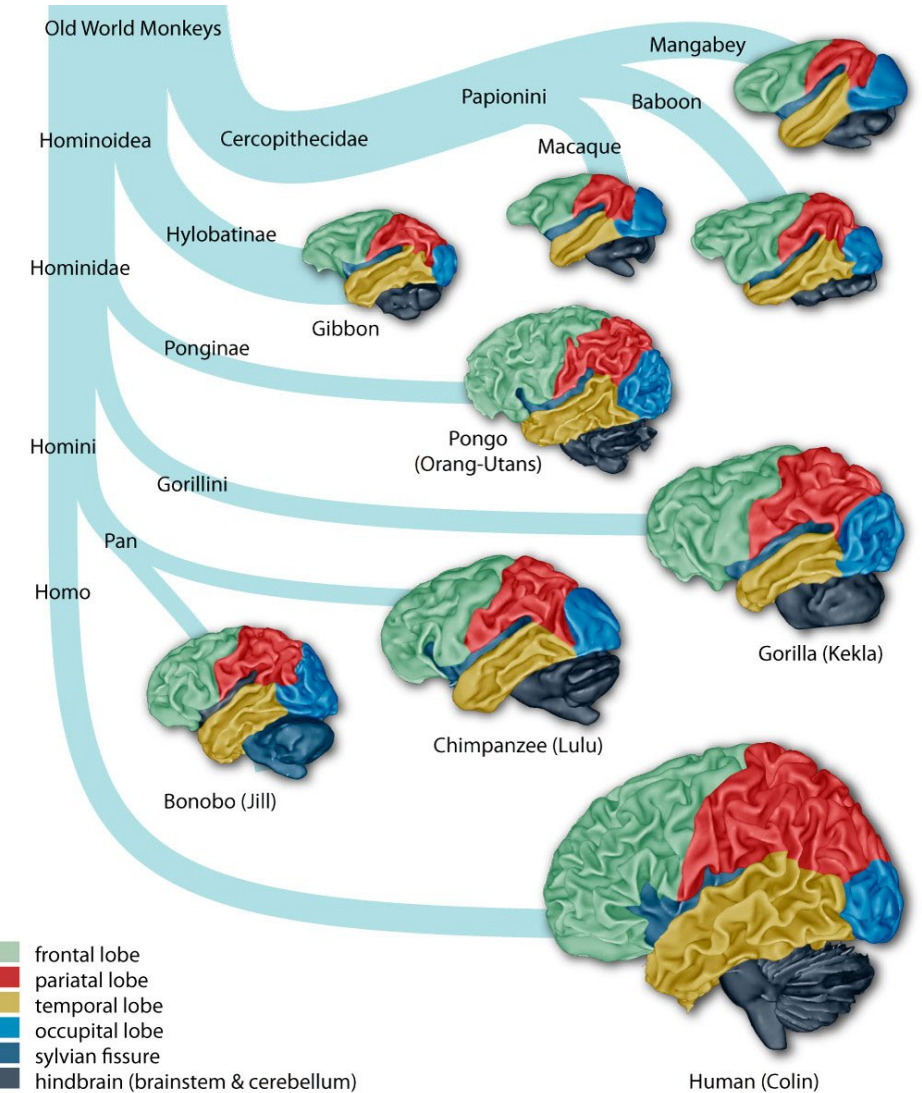
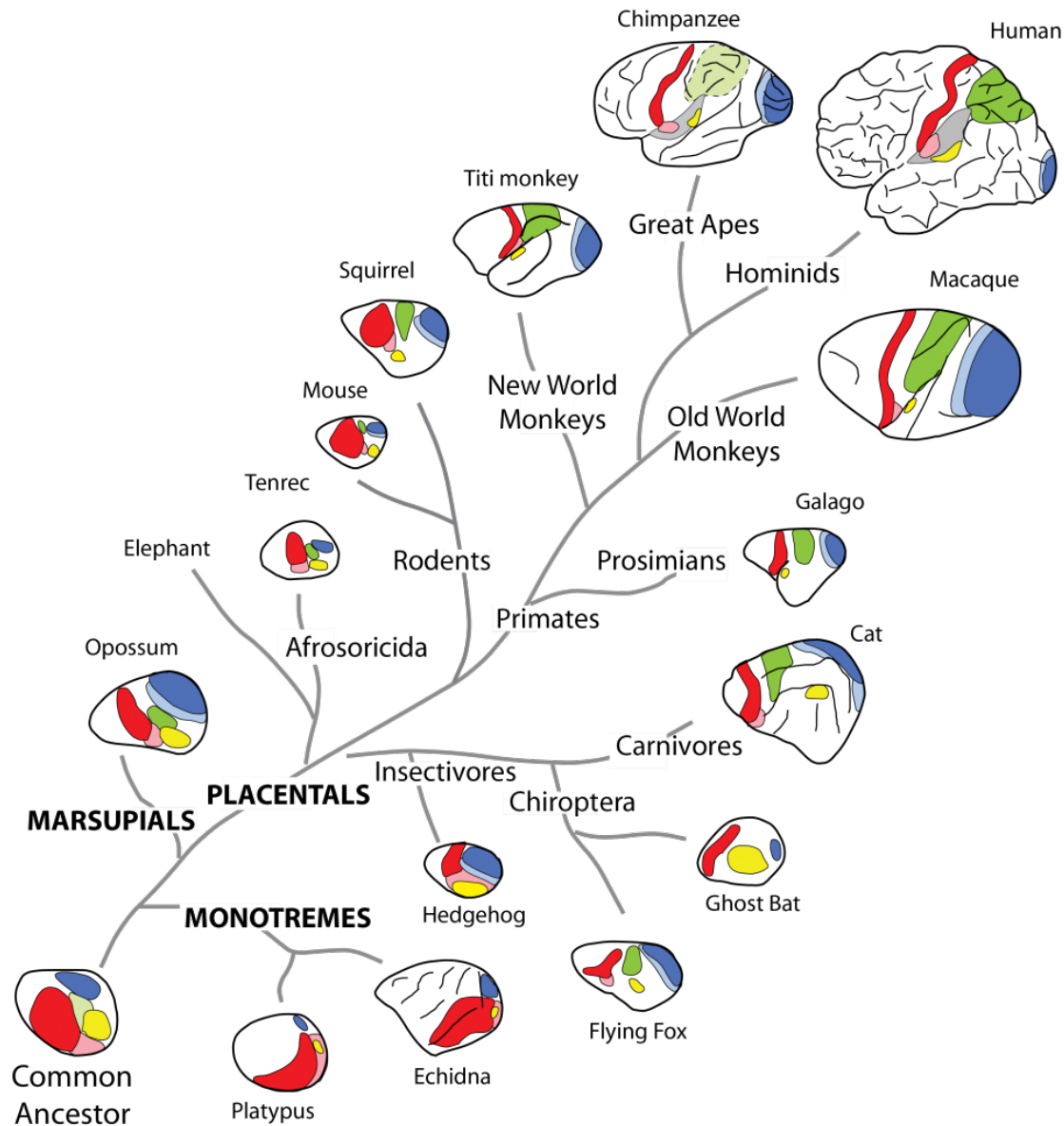
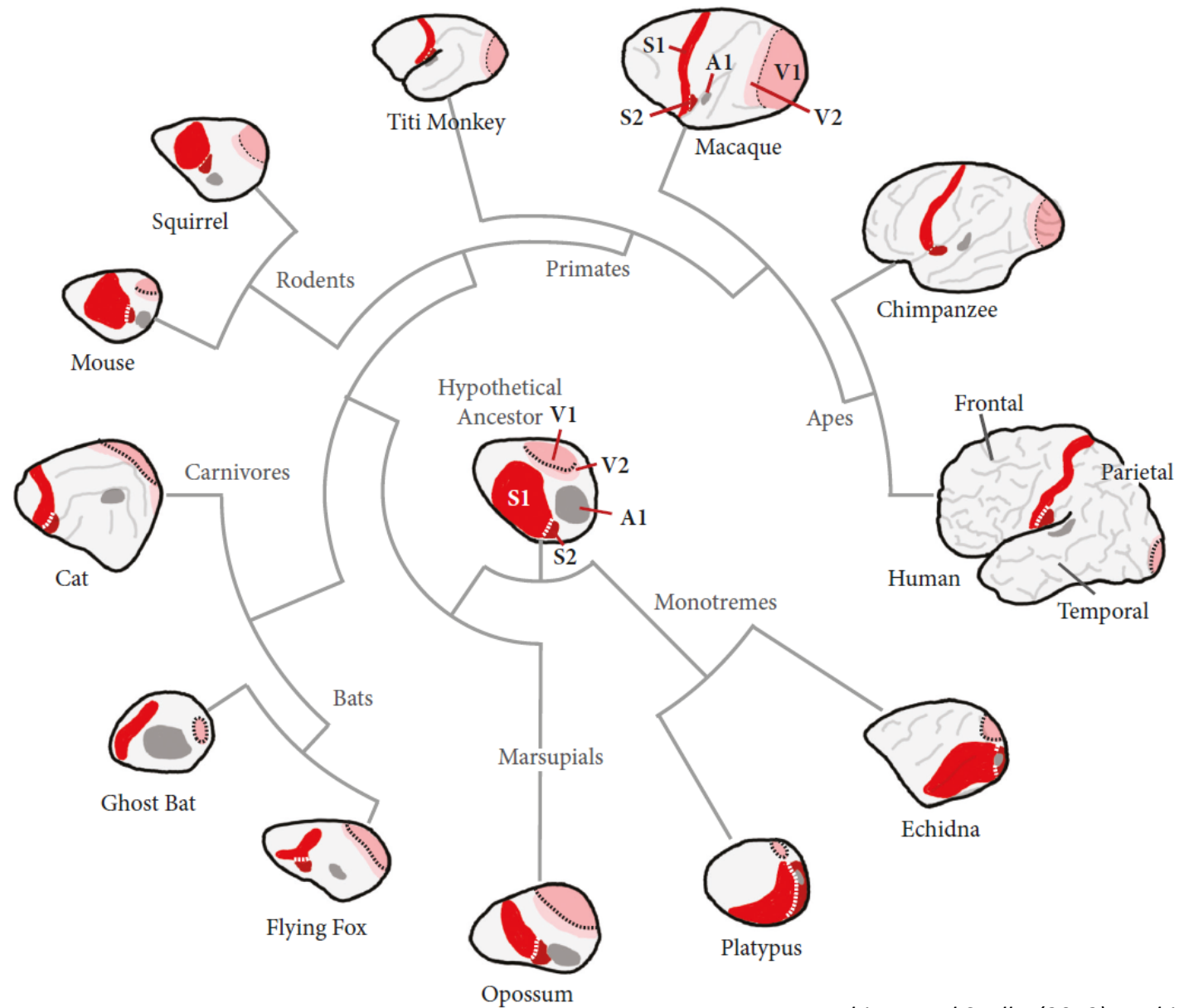
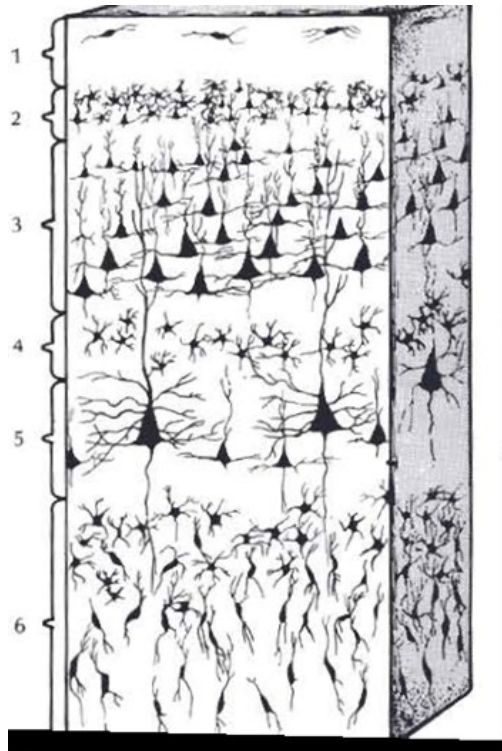
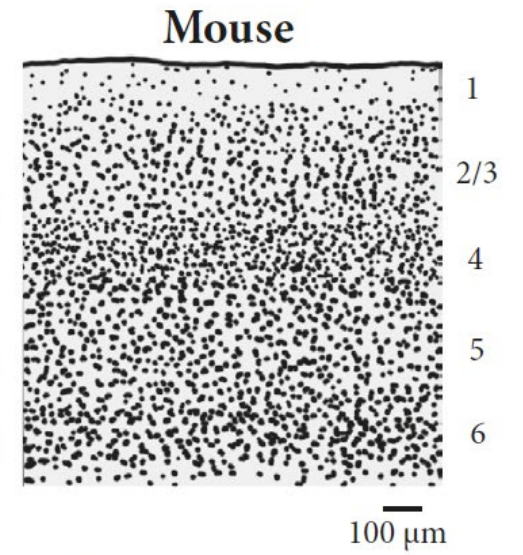
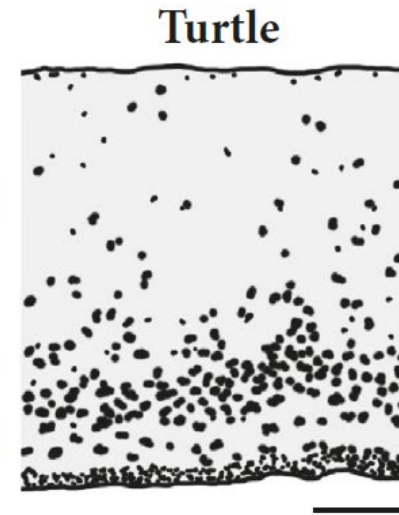
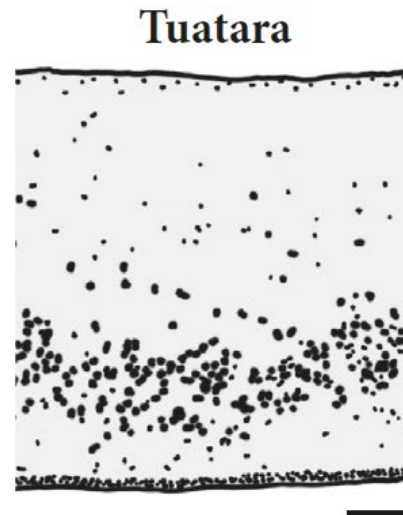
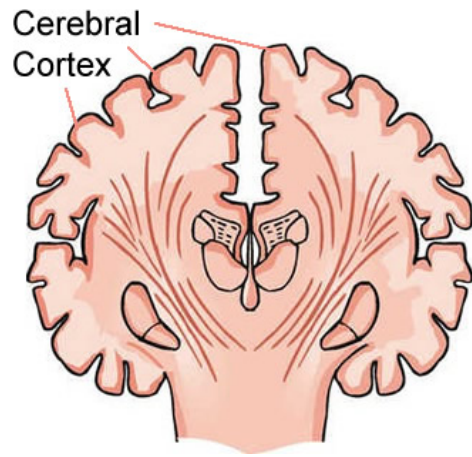


Fig. HE: Visualization of evolution of brains in primates based on the inner surface. The lobes, the sylvian fissure and the hindbrain (brainstem and cerebellum) are colorized for better orientation.

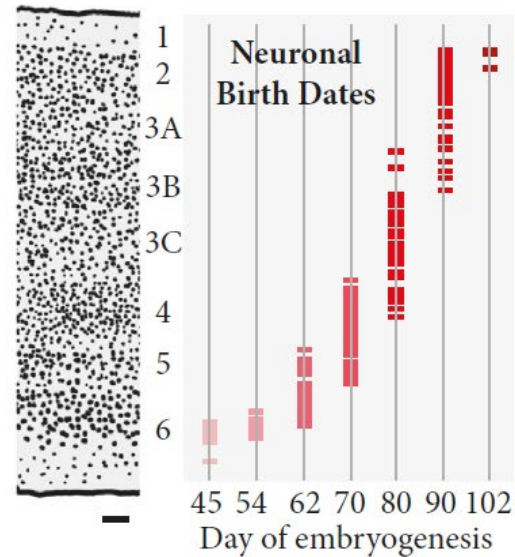
Le aree sensoriali nei mammiferi



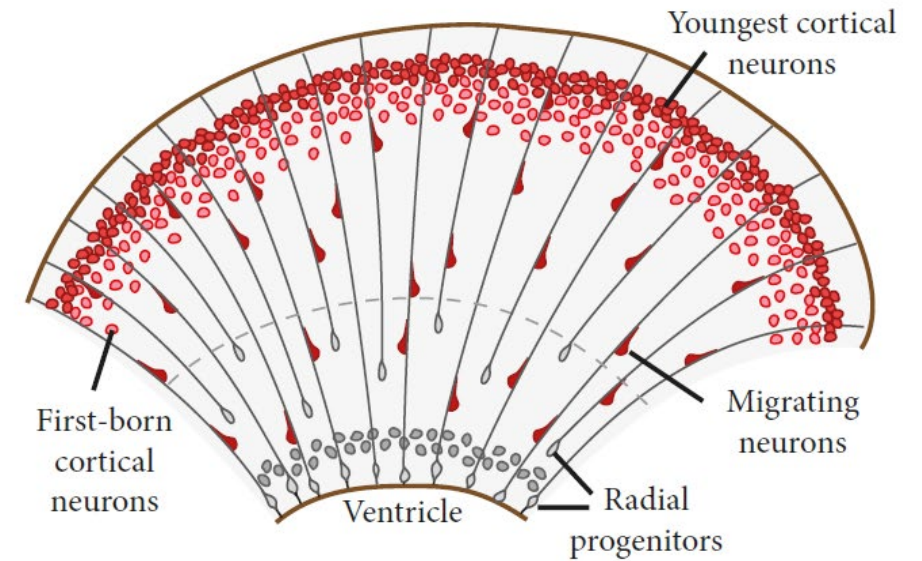
Da Krubitzer and Seelke (2012), Krubitzer and Stolzenberg (2014), Kaas (2017).



Monkey

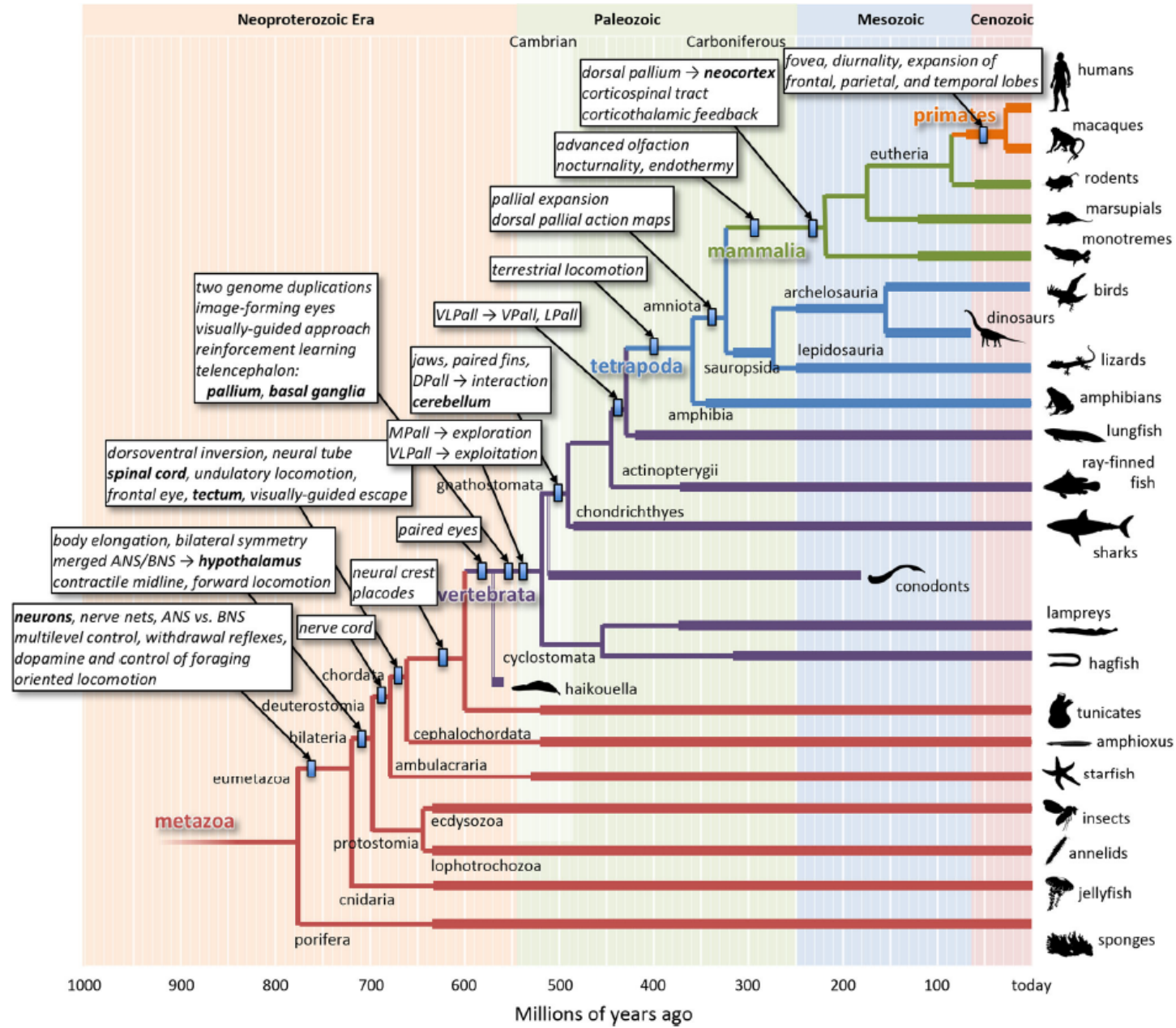


Young Neuron Migration



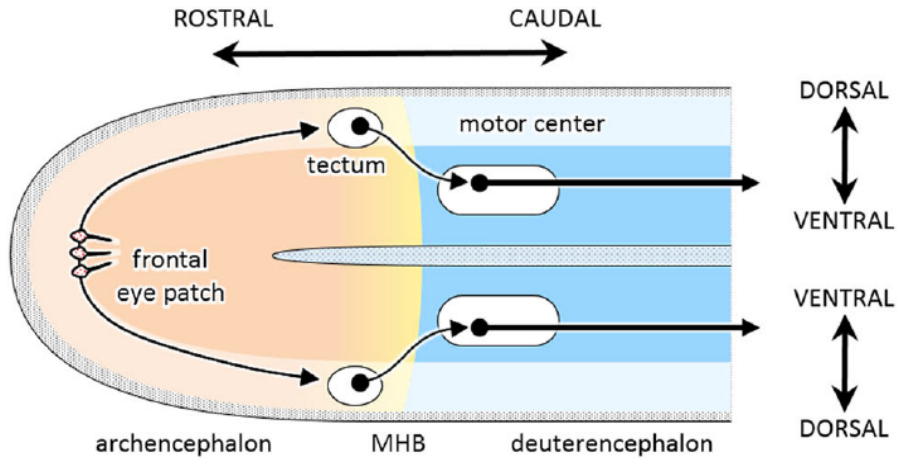
Adapted from (Naumann and Laurent, 2017), Rakic (1974), Striedter et al. (2014); monkey cortical layers after Balaram and Kaas (2014).

Ipotesi: un aiuto dalla filogenetica

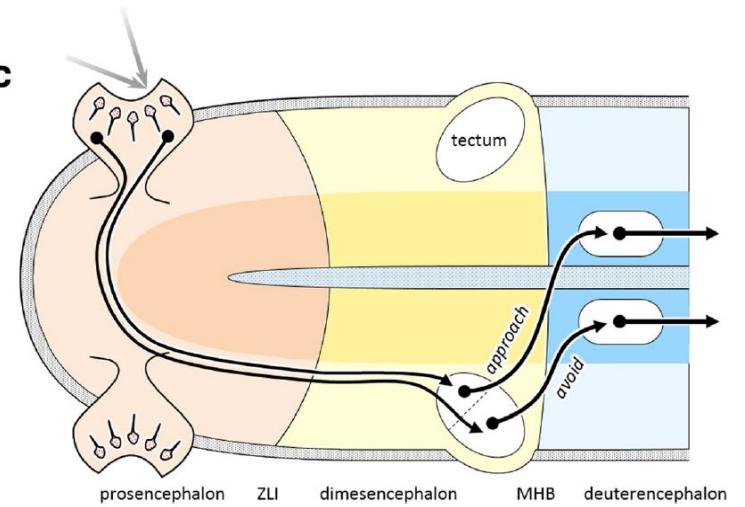


I sistemi nervosi primitivi: evitare i predatori

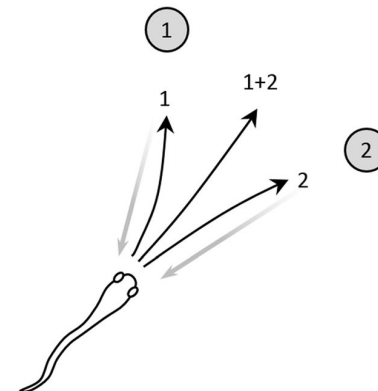
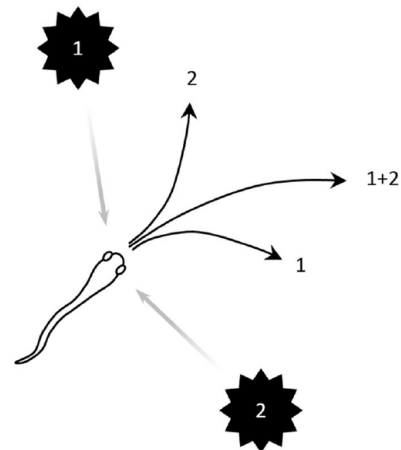
a



c

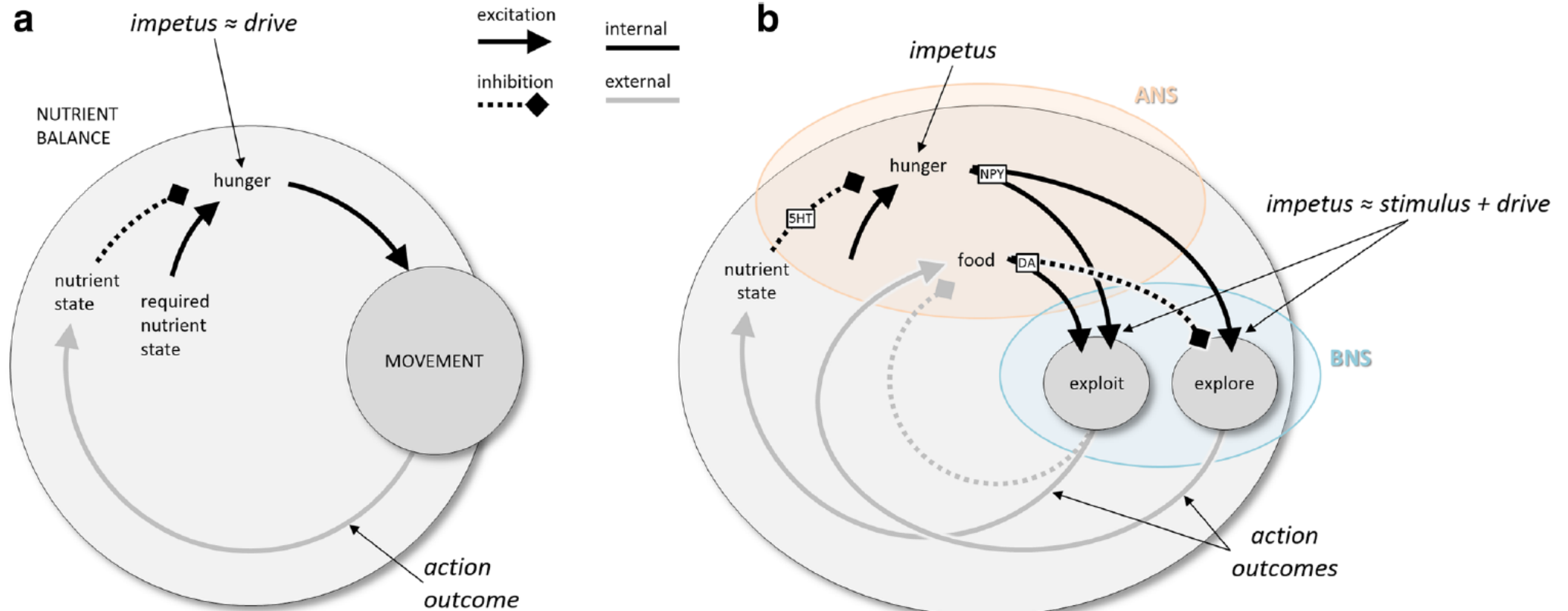


d

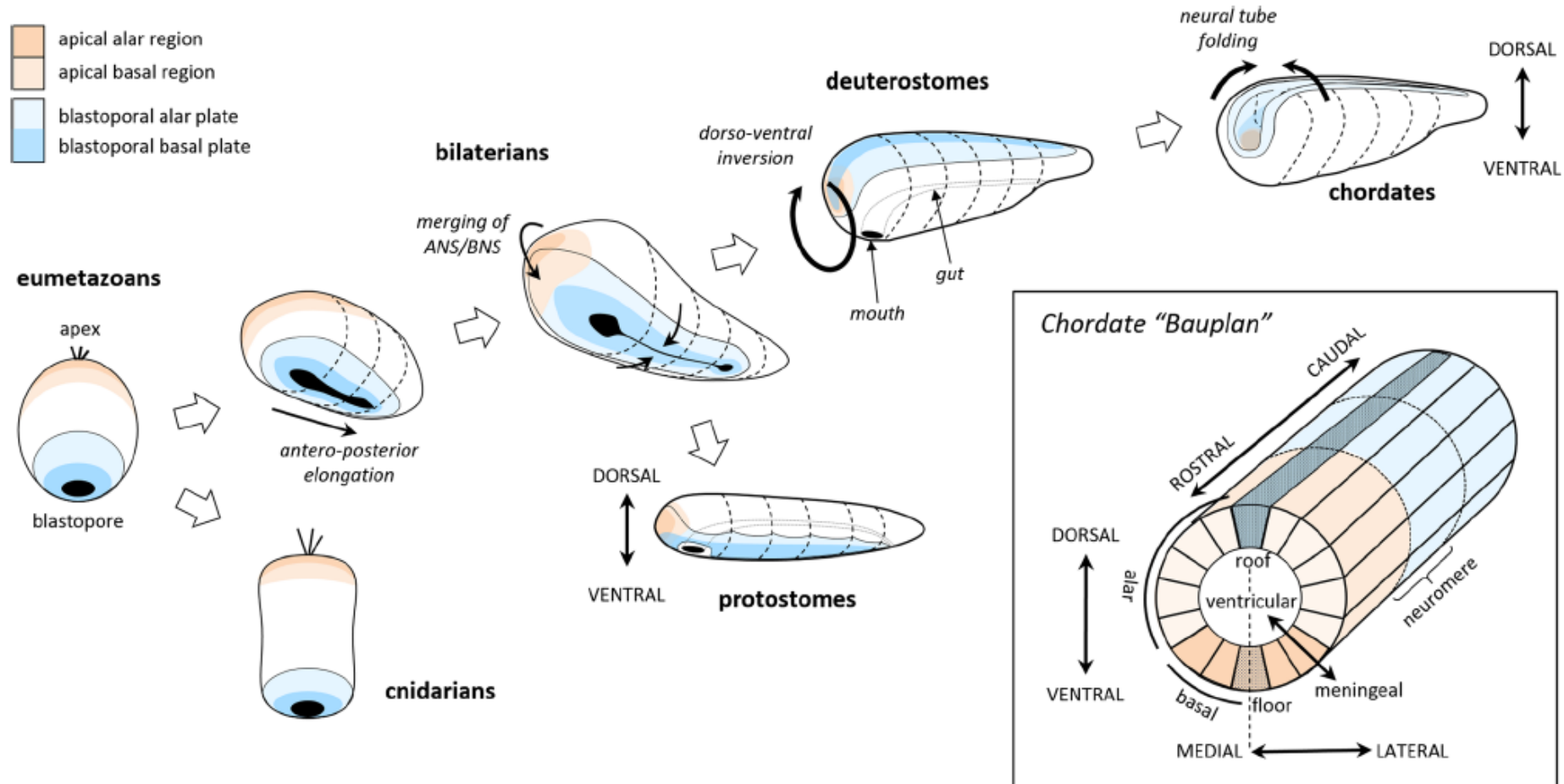


P. Cisek, Resynthesizing behavior
through phylogenetic refinement 2019,
V. Braitenberg, Experiments in Synthetic
Biology

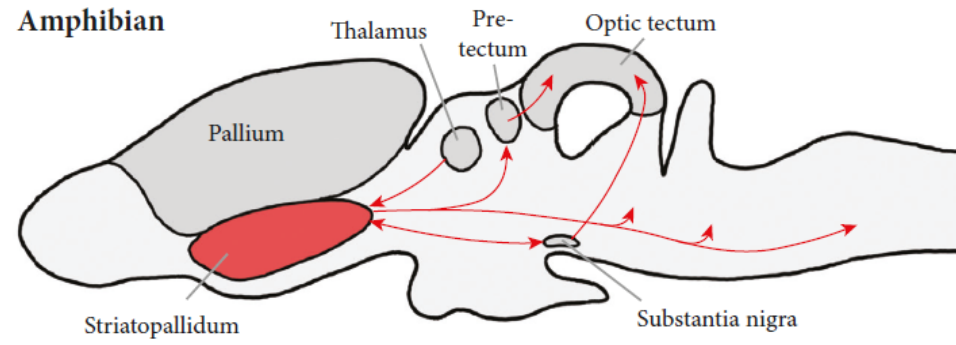
I sistemi nervosi primitivi: controllo e regolazione di impulsi



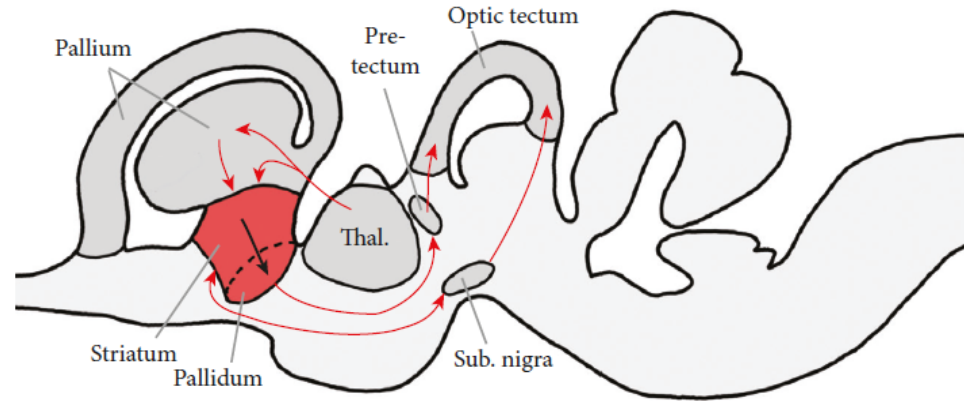
Evoluzione dei sistemi nervosi primitivi



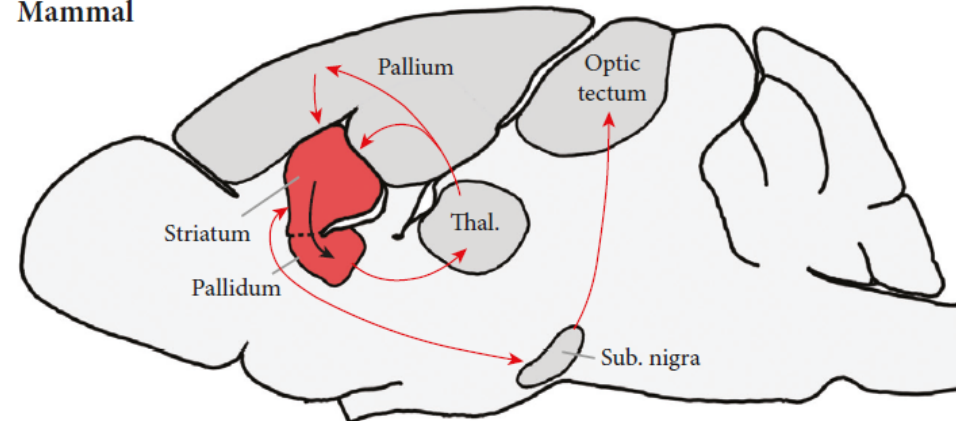
Amphibian



Non-avian Reptile

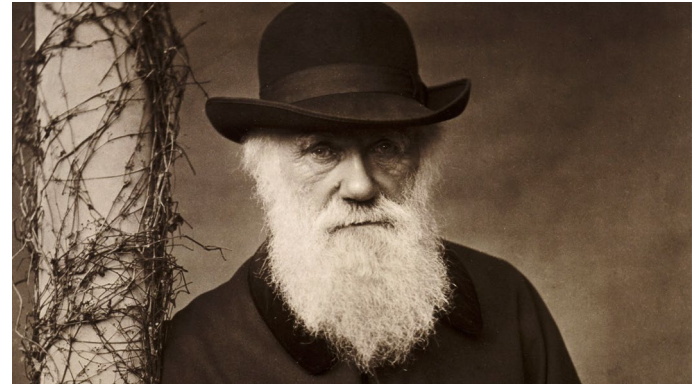


Mammal



L'approccio evolutivo

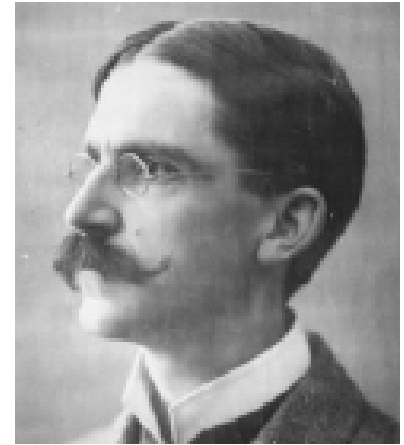
- Gli organismi evolvono per sopravvivere, incluso il cervello.
- I comportamenti emersero nella storia evolutiva a partire dalle interazioni tra gli organismi e l'ambiente, per facilitare la sopravvivenza (a lungo termine) e l'adattamento
- È difficile ricostruire a posteriori il percorso evolutivo



Un altro modo di vedere il comportamento?

“Di tutte le potenziali azioni disponibili, [l’organismo] produce quella che risulta nella migliore percezione”

Quello che abbiamo è un circuito... le risposte motorie determinano lo stimolo stesso, tanto quanto gli stimoli sensoriali determinano il movimento” (Dewey, 1896).



John Dewey

Rappresentazioni “pragmatiche”

- riguardano già le interazioni tra organismo e realtà
- implicite
- “soggettive” e subottimali, contengono un mix di stati interni (quasi inaccessibili negli animali e stimoli/azioni esterne)
- correlano con molte variabili in parallelo (aree associative)
- Esempi:
 - mappe di salienza (pixel di un’immagine rappresentati per importanza)
 - segnali motori agli arti (rappresentazione arbitraria, variabile nel tempo)
 - mix di rappresentazione di valore e di azioni motorie



J.J. Gibson

Diversi tipi di decisioni

- decider la mossa (molto difficile) è ben diverso dal prendere il pezzo e spostarlo sulla scacchiera (facilissimo)



Ma i problemi affrontati dagli organismi per centinaia di milioni di anni sono ben diversi!

- Il mondo presenta diverse scelte legate alle azioni motorie da intraprendere e ravvicinate nel tempo
- Le decisioni vanno continuamente rivalutate (meccanismo di controllo?)
- Il cervello deve modificare la rappresentazione in tempo reale
 - forse non è la rappresentazione del mondo esterno ad essere fissata nell'attività cerebrale, ma la rappresentazione dell'obiettivo (catturare la zebra)



Evoluzione, cervello e comportamento

- Le strutture cerebrali si evolvono adattandosi alle condizioni dell'ambiente e secondo le spinte evolutive (sopravvivenza, fitness)
- Nuove strutture emergono dalle mutazioni casuali, ma il substrato biologico precedente limita il tipo di cambiamenti che possono avvenire, e i nuovi comportamenti generati soppiantano quelli vecchi solo se convengono
- In entrambi i casi si possono avere **comportamenti emergenti**
- Le aree cerebrali collaborano collettivamente al mantenimento di un equilibrio, per generare comportamenti e rappresentazioni che diano vantaggi
- La metafora del cervello-computer non sembra funzionare particolarmente bene

THE BRAIN



DICTIONARY

Grazie per l'ascolto

For questions, links and resources:
fontolanl@hhmi.Janelia.org