



# **EVOLUZIONE DEL CERVELLO NEI MAMMIFERI**

*THE HUMAN BRAIN IN NUMBERS: A LINEARLY SCALED-UP PRIMATE BRAIN*

**Tesi di Laurea:  
Chiara Garofalo S1104381**

**Docente Referente:  
Vincenzo Caputo Barucchi**

**Sessione Autunnale (Dicembre 2024)**

**Anno Accademico 2023/2024**

# Indice



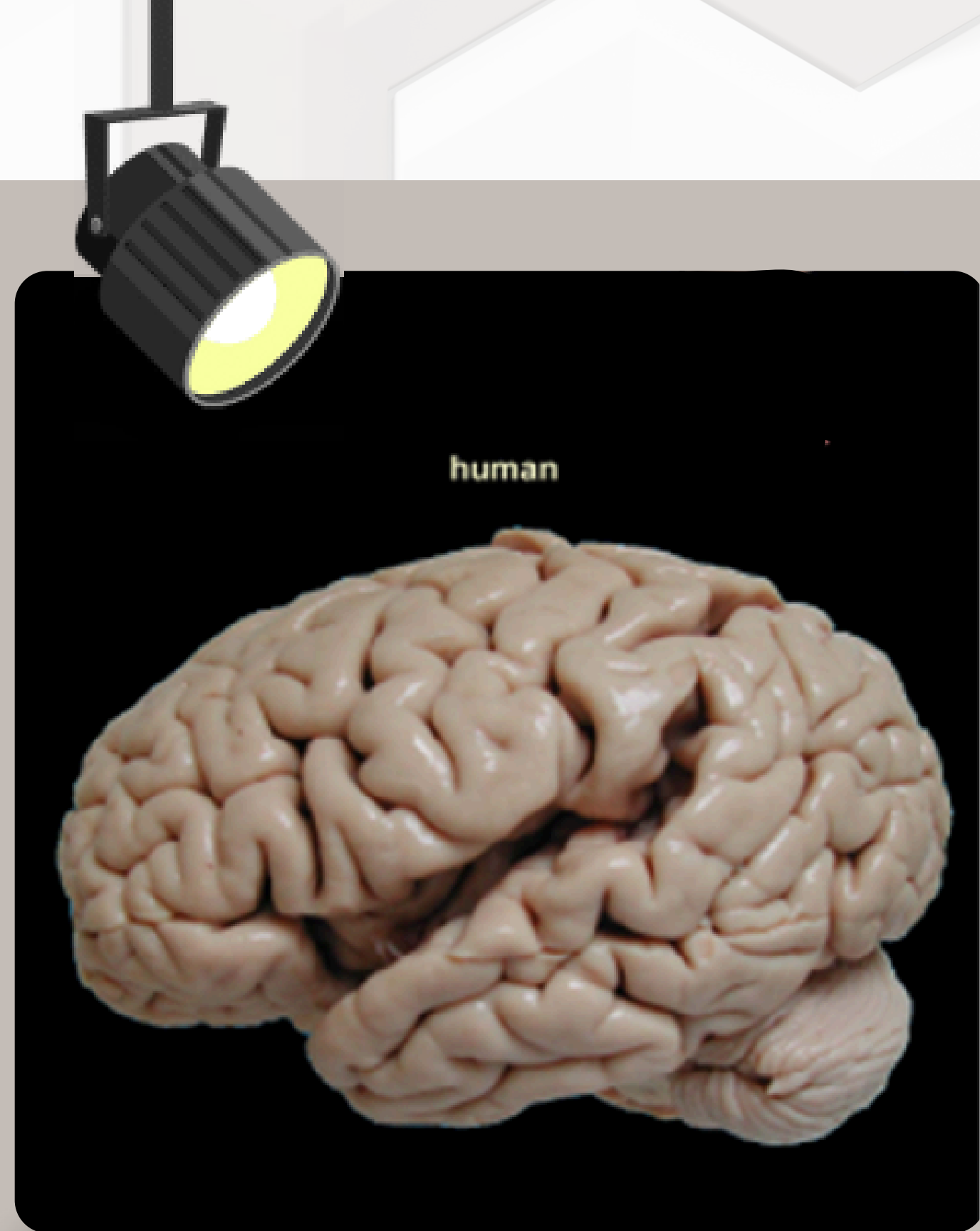
- 
- Introduzione
  - Il cervello umano come unico e speciale?
  - La visione tradizionale dello scaling del cervello e del corpo
  - Nuova visione: **Scaling dei numeri neuronali**
  - Metodologie
  - Il vantaggio salvaspazio dei primati
  - ...Tutta una questione di diverse leggi di scaling
  - Il cervello umano si conforma alle regole di scaling dei primati?
  - Abbiamo più neuroni rispetto ai grandi mammiferi?
  - Perchè allora il cervello umano è 'speciale'?
  - Conclusioni e Bibliografia

# INTRODUZIONE

Il cervello umano, tradizionalmente considerato eccezionale per dimensioni relative al corpo, complessità corticale e presunto numero di 100 miliardi di neuroni, non è unico nella sua composizione cellulare rispetto ad altri primati tanto da presupporre che contenga tanti neuroni e cellule della glia previsti per un primate delle sue dimensioni.

Questo studio è un'analisi quantitativa e comparativa riguardo a numeri che caratterizzano i cervelli dei mammiferi; in particolare viene dimostrato come il cervello umano segua le stesse regole di scala cellulare dei primati.

Questi risultati metteranno in crisi la percezione dell'unicità del cervello umano?

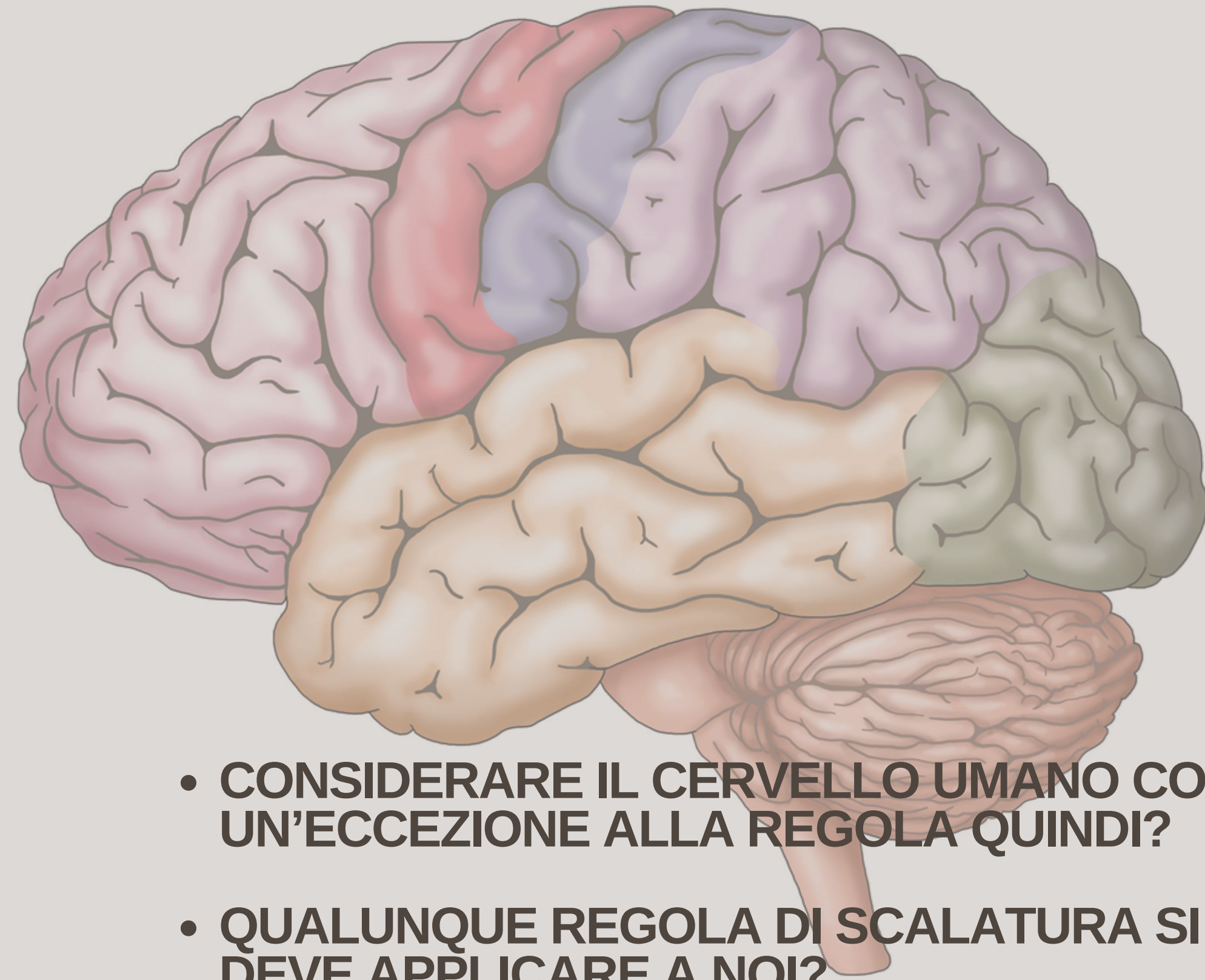


# IL CERVELLO UMANO COME UNICO E SPECIALE?

“abbiamo cervelli più grandi del previsto per una scimmia, abbiamo una neocorteccia che è tre volte più grande di quanto previsto per la nostra dimensione corporea, abbiamo alcune aree della neocorteccia e del cervelletto che sono più grandi del previsto, abbiamo più materia bianca”.

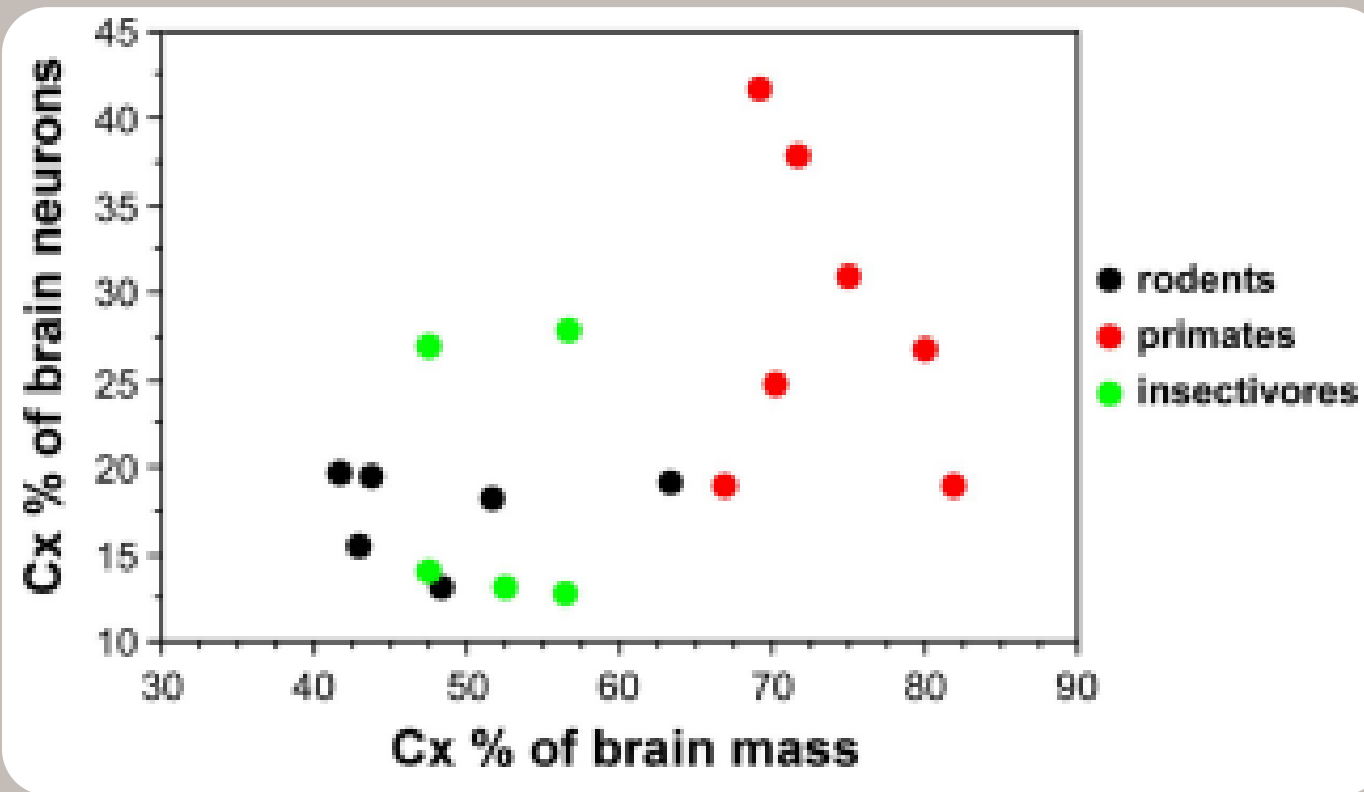
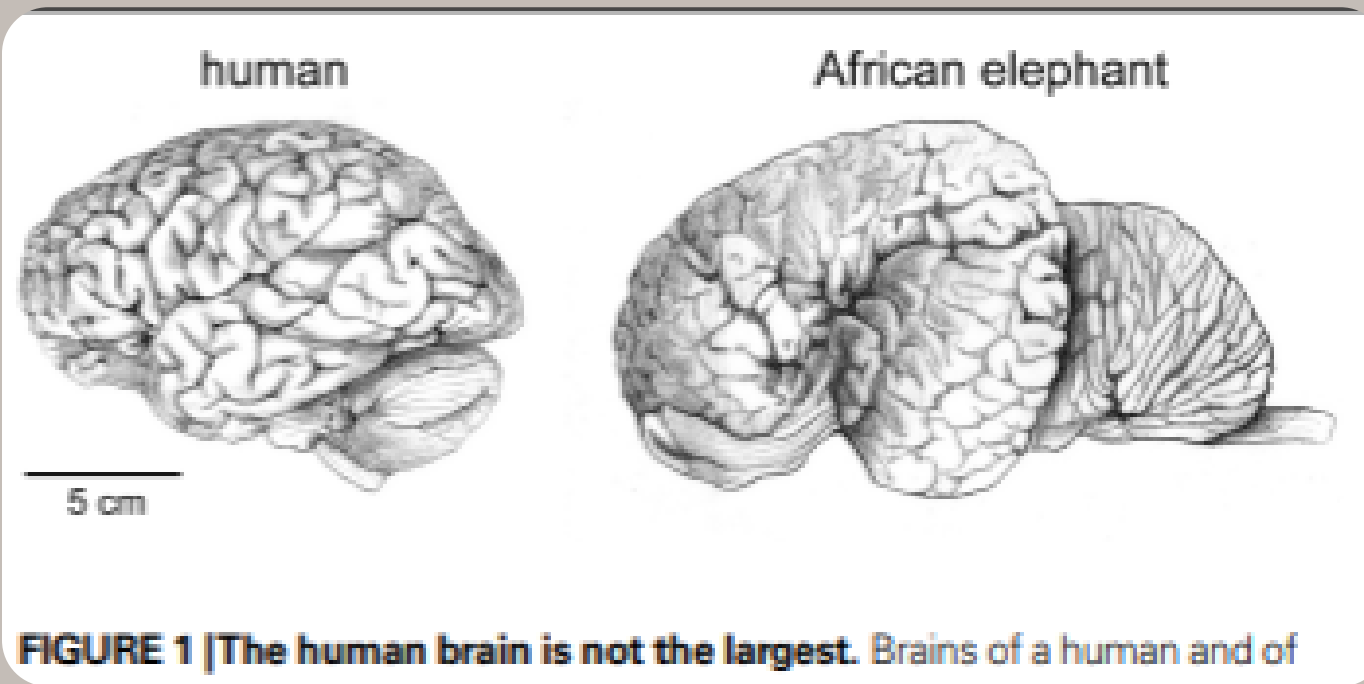
- **CONSIDERARE IL CERVELLO UMANO COME UNICO RICHIEDE CONSIDERARLO UN'ECCEZIONE ALLA REGOLA QUINDI?**
- **QUALUNQUE REGOLA DI SCALATURA SI APPLICHI AD ALTRI PRIMATI NON SI DEVE APPLICARE A NOI?**

**Ricorrere a una ricerca di unicità potrebbe essere sembrato un passo necessario e naturale per giustificare la superiorità cognitiva del cervello umano.**





# LA VISIONE TRADIZIONALE DELLO SCALING DEL CERVELLO E DEL CORPO



1

La dimensione corporea conta (introduzione del EQ con i suoi vantaggi e svantaggi).

2

La dimensione del cervello conta (teoria secondo cui la dimensione del cervello sia correlata alle capacità cognitive).

3

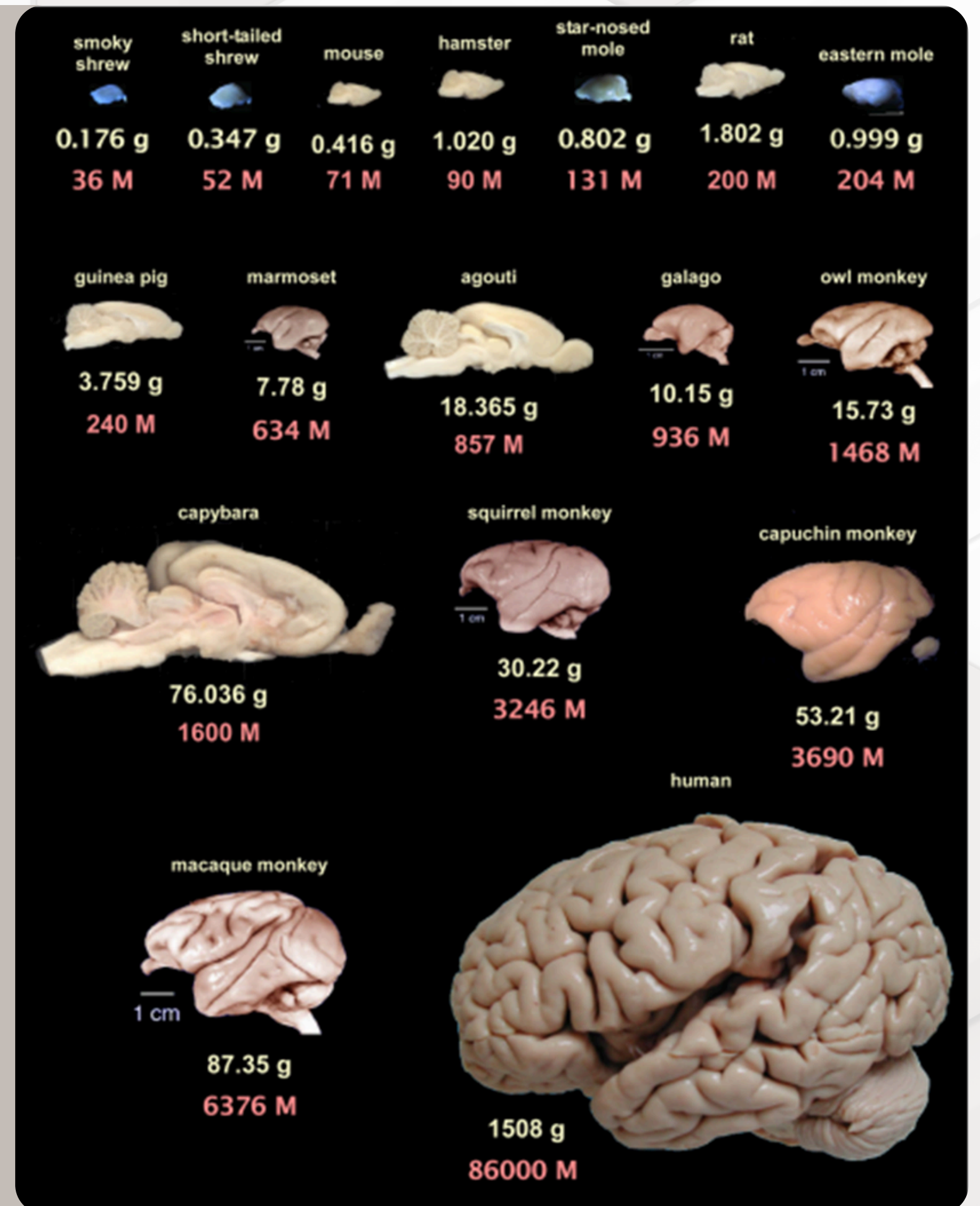
La dimensione relativa conta (spiegazione di tesi in disaccordo).



# NUOVA VISIONE: SCALING DEI NUMERI NEURONALI

Utilizzo del nuovo metodo di **isotropic fractionator** grazie al quale è stato possibile determinare le regole di scalatura all'interno di ordini di mammiferi.

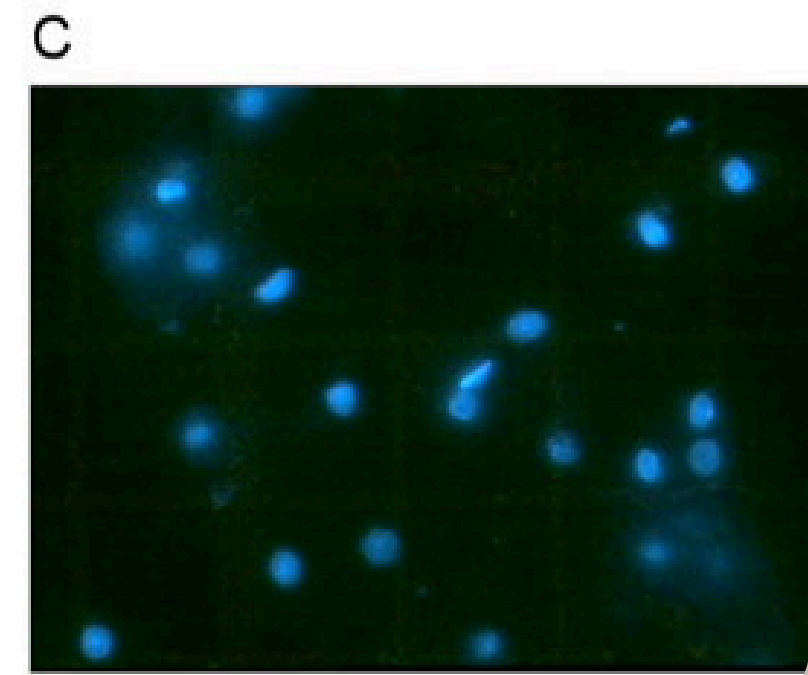
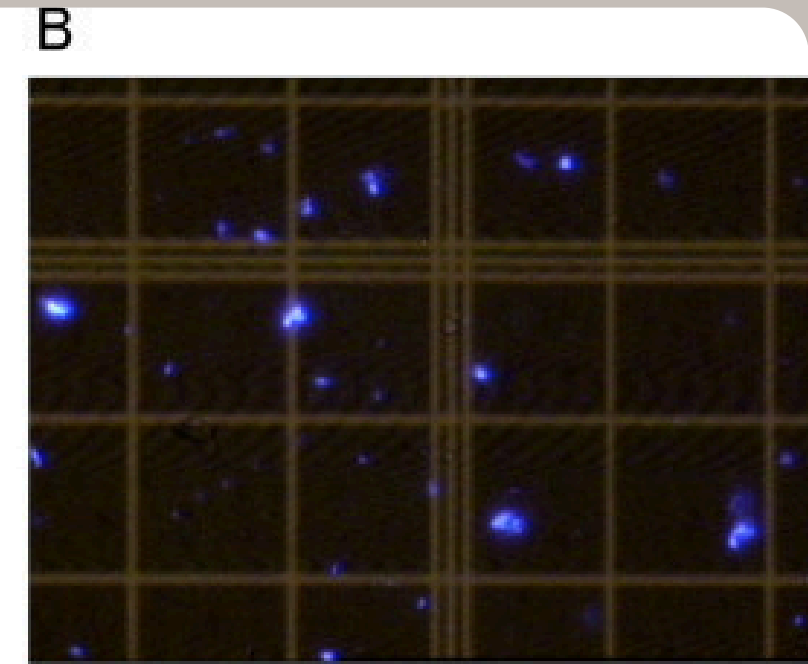
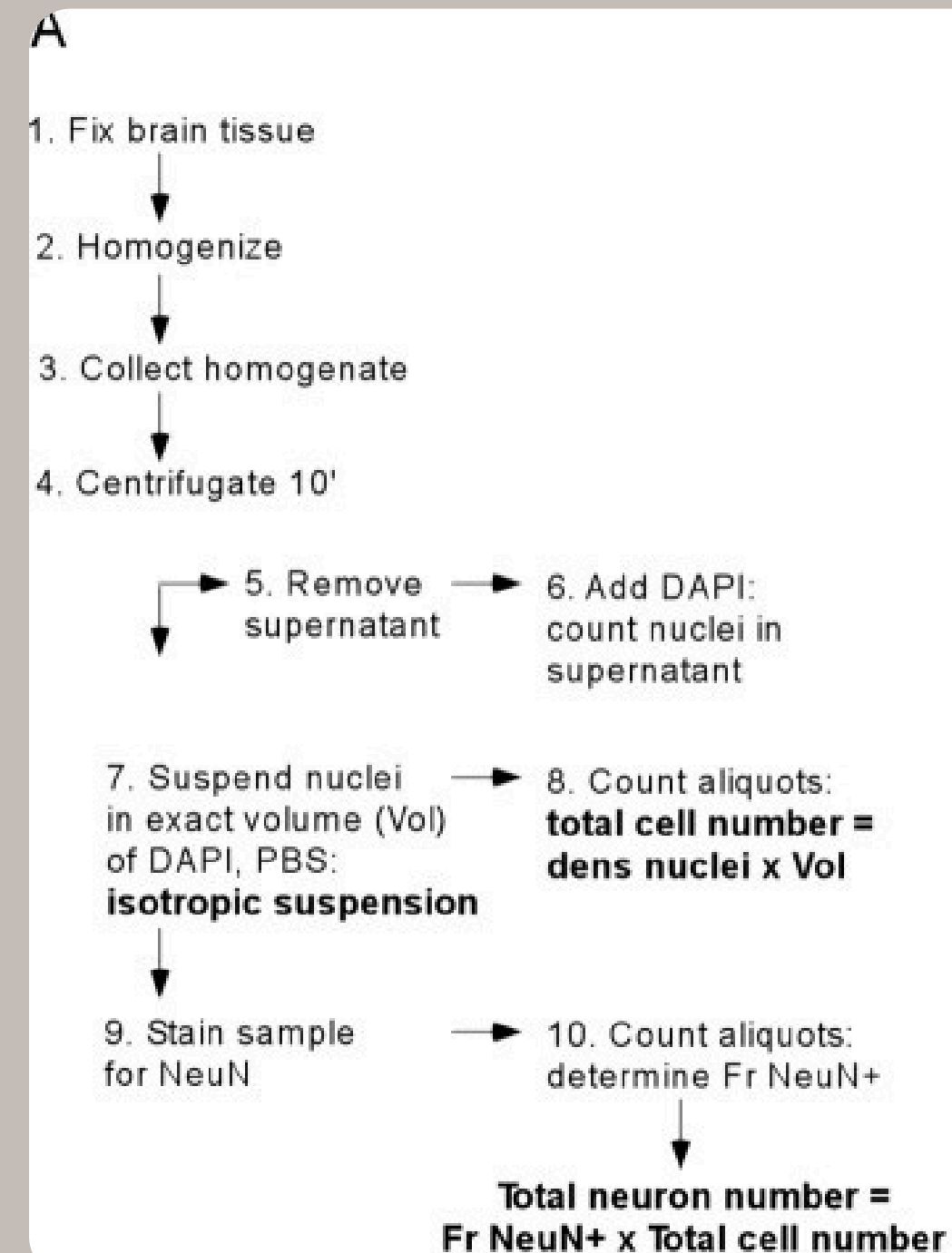
**Messaggio principale:** la massa cerebrale non è un indicatore diretto della complessità neurale o cognitiva. Ad esempio, cervelli più piccoli di primati possono contenere più neuroni rispetto a cervelli più grandi di roditori, sottolineando differenze fondamentali nella composizione e organizzazione cerebrale tra gruppi di mammiferi.



# METODOLOGIE

## ISOTROPIC FRACTIONATOR

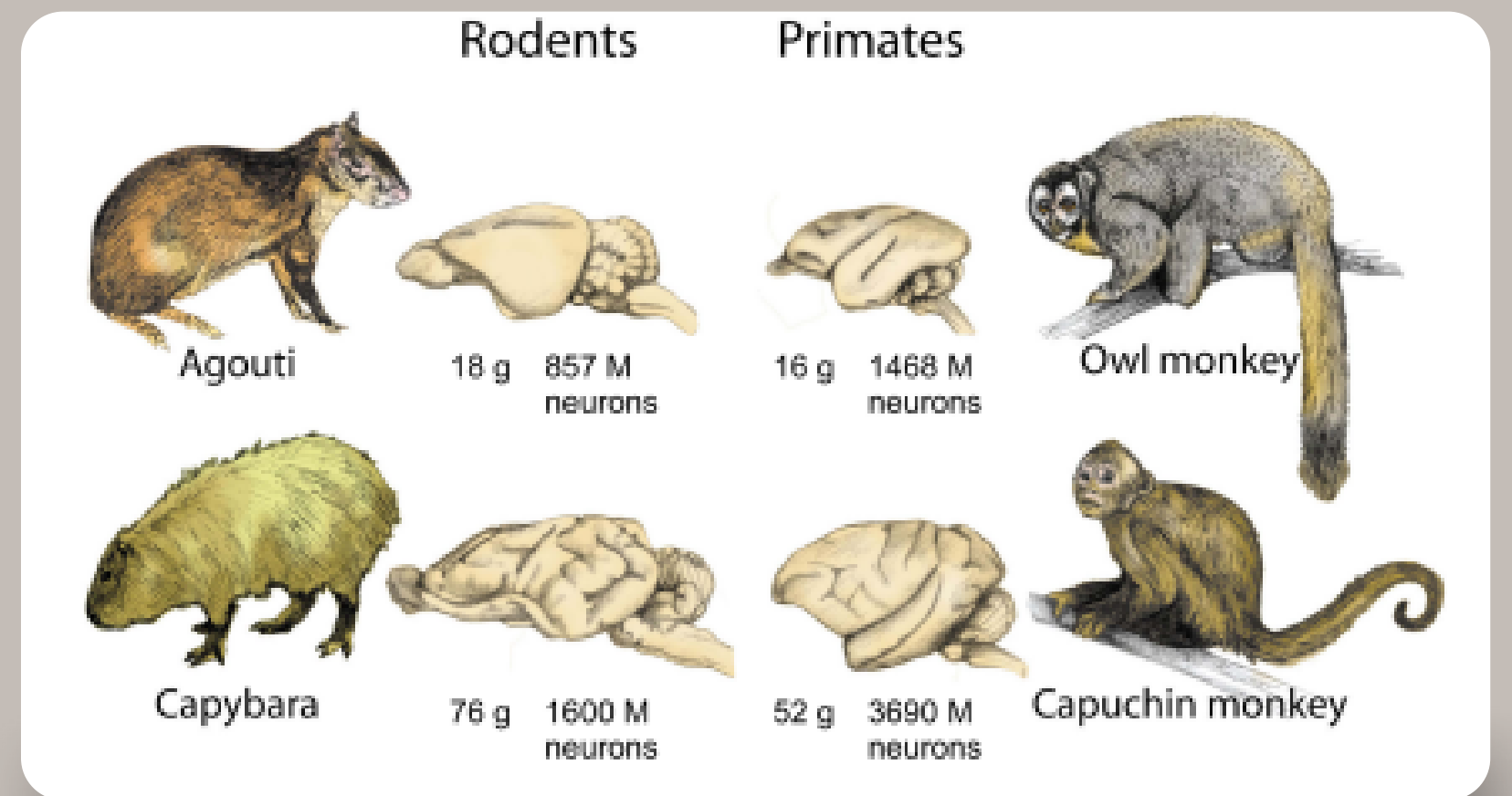
A. L'isotropic fractionator è un metodo in 10 passaggi che consente una rapida determinazione del numero totale di cellule (2 ore per i passaggi 2-8) e del numero totale di cellule neuronali e non neuronali (24 ore per i passaggi 2-10) in tessuto cerebrale fissato con aldeide. B, C. Illustrazione delle sospensioni isotropiche di nuclei colorati con DAPI preparati da corteccia adulta di ratto non fissata (B) o fissata con paraformaldeide (C), mostrati alla stessa ingrandimento. Barre della scala: 50  $\mu\text{m}$ . Sebbene la completa dissociazione del tessuto non fissato porti alla distruzione dei nuclei (B), i nuclei fissati e dissociati risultano intatti e con morfologia preservata (C).





# IL VANTAGGIO SALVASPAZIO DEI PRIMATI

Confronto tra primati e roditori di dimensioni cerebrali simili



## Rodentia

- Il cervello cresce allometricamente rispetto al numero di neuroni: un aumento di 10 volte nei neuroni porta a un aumento di 35 volte nella dimensione del cervello.
- La densità neuronale diminuisce man mano che aumentano le dimensioni del cervello.
- Le dimensioni medie dei neuroni aumentano significativamente, e il rapporto glia/neuroni cresce.

## Primates

- Il cervello cresce isometricamente rispetto al numero di neuroni: un aumento di 10 volte nei neuroni porta a un aumento di 11 volte nella dimensione del cervello.
- La densità neuronale rimane costante, così come il rapporto glia/neuroni.
- Questo approccio consente ai primati di avere cervelli più compatti e ricchi di neuroni.



# ... TUTTA UNA QUESTIONE DI DIVERSE LEGGI DI SCALING

**Roditori:** Gli esponenti  $\alpha$  sono generalmente più alti rispetto a insettivori e primati. Ciò implica che la massa del cervello cresce più velocemente in relazione al numero di neuroni.

**Insettivori:** Gli esponenti  $\alpha$  sono intermedi rispetto agli altri gruppi.

**Primati:** Gli esponenti  $\alpha$  sono generalmente vicini a 1, il che significa che nei primati la massa del cervello o delle sue strutture aumenta quasi proporzionalmente al numero di neuroni. Questo suggerisce che i primati riescono a "impacchettare" più neuroni per unità di massa.

Sono riportate le leggi di scala che descrivono la relazione tra la massa del cervello o di specifiche sue regioni e il numero di neuroni contenuti in questi; in tre gruppi di mammiferi: roditori, insettivori e primati.

**Table 1 | Power law exponents that apply to the scaling of brain mass, or structure mass, as a function of the number of neurons they contain in rodents, insectivores and primates.**

	<b>Rodents</b>	<b>Insectivores</b>	<b>Primates</b>
Brain mass x neurons	$M_{BR} \sim N_{BR}^{1.550}$	$M_{BR} \sim N_{BR}^{1.016}$	$M_{BR} \sim N_{BR}^{1.056}$
Cortical mass x neurons	$M_{CX} \sim N_{CX}^{1.744}$	$M_{CX} \sim N_{CX}^{1.520}$	$M_{CX} \sim N_{CX}^{1.077}$
Cerebellar mass x neurons	$M_{CB} \sim N_{CB}^{1.372}$	$M_{CB} \sim N_{CB}^{1.028}$	$M_{CB} \sim N_{CB}^{0.990}$
Remaining areas mass x neurons	$M_{RA} \sim N_{RA}^{1.153}$	$M_{RA} \sim N_{RA}^{0.926}$	$M_{RA} \sim N_{RA}^{1.013}$

In particolare i valori rappresentano: **M** la massa del cervello e della zona specifica, **N** il numero dei neuroni e  $\alpha$  è l'esponente che quantifica come M cambia in funzione di N.

# IL CERVELLO UMANO SI CONFORMA ALLE REGOLE DI SCALING DEI PRIMATI? SÌ MA...

1

Riguardo la massa cerebrale totale, il cervello umano ha una distribuzione della massa più equilibrata rispetto al cervello di primati generici.

2

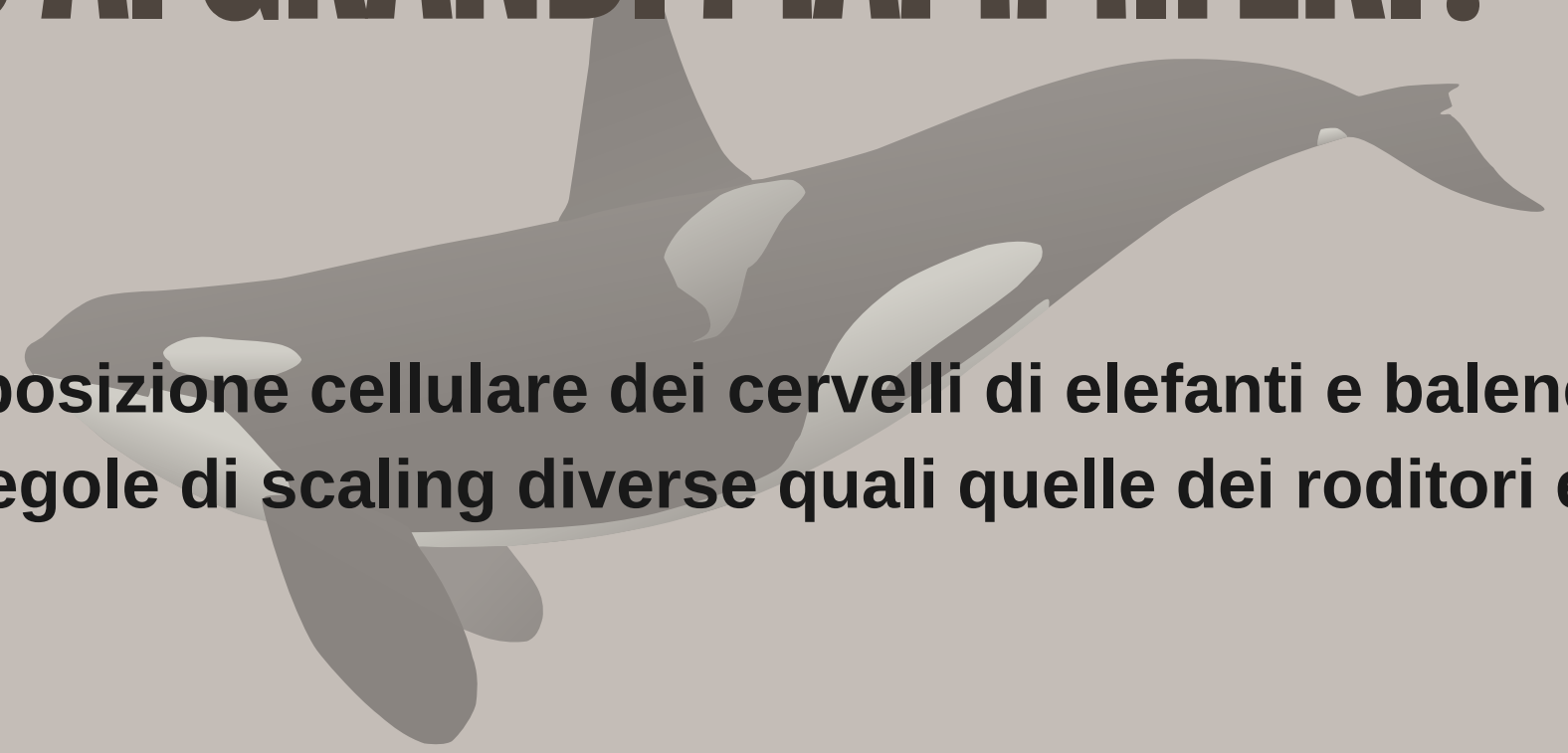
Il cervello umano ha un numero di neuroni simile a quello previsto per i primati, ma il numero di cellule non-neurali è più equilibrato rispetto a entrambi i modelli.

3

Il cervello umano ha un numero proporzionalmente basso di neuroni corticali rispetto al modello di primate generico, ma il cervelletto è più ricco di neuroni.

	Generic rodent brain	Generic primate brain	Human brain
Brain mass	1500 g	1500 g	1508 g
Total number of neurons in brain	12 billion	93 billion	86 billion
Total number of non-neurons in brain	46 billion	112 billion	85 billion
Mass, cerebral cortex	1154 g	1412 g	1233 g
Neurons, cerebral cortex	2 billion	25 billion	16 billion
Relative size of the cerebral cortex	77% of brain mass	94% of brain mass	82% of brain mass
Relative number of neurons in cerebral cortex	17% of brain neurons	27% of brain neurons	19% of brain neurons
Mass, cerebellum	133 g	121 g	154 g
Neurons, cerebellum	10 billion	61 billion	69 billion
Relative size of the cerebellum	9% of brain mass	8% of brain mass	10% of brain mass

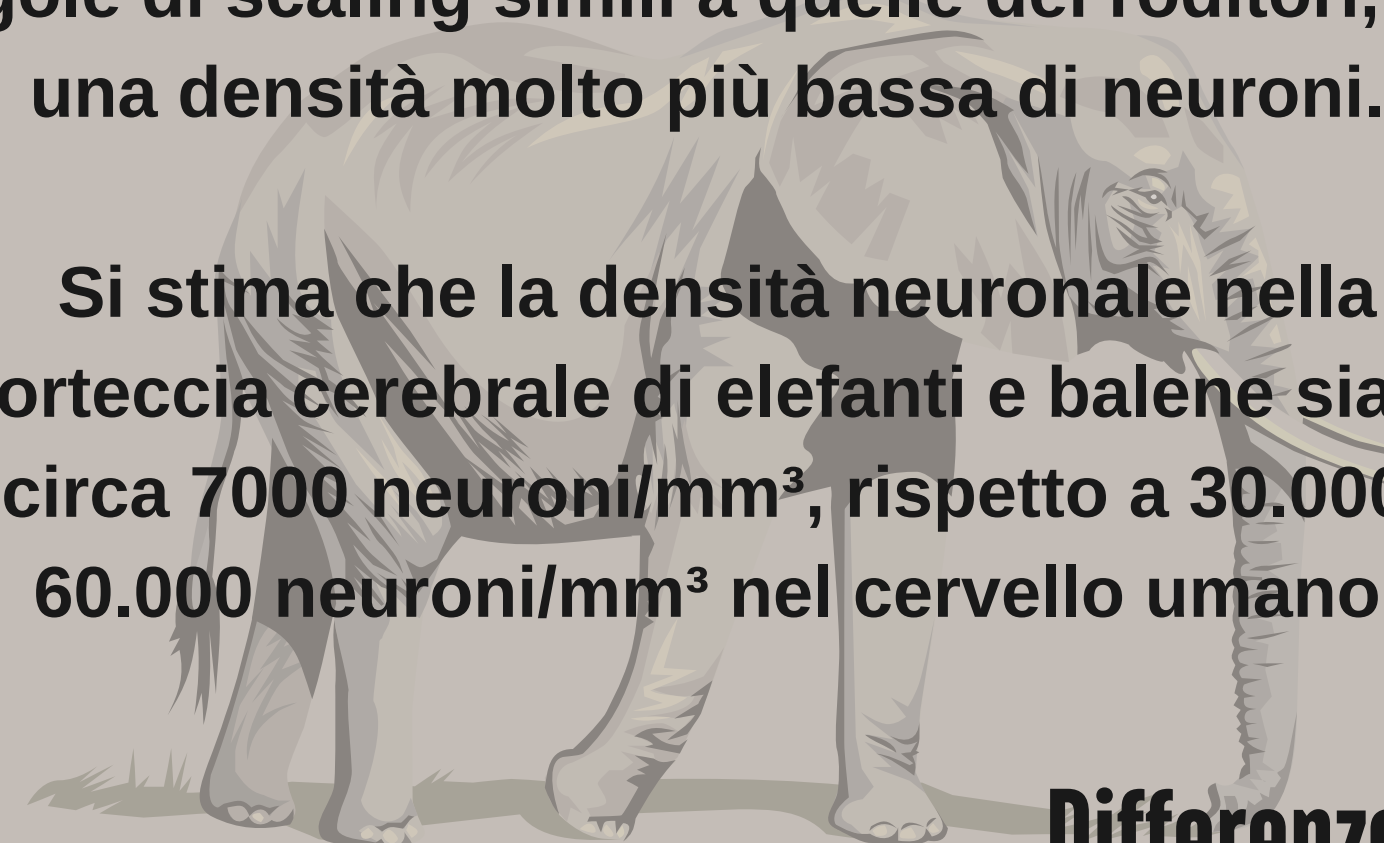
# ABBIAMO PIÙ NEURONI RISPETTO AI GRANDI MAMMIFERI? SCOPRIAMOLO...



Nonostante non ci siano ancora misurazioni dirette della composizione cellulare dei cervelli di elefanti e balene possiamo però capire come varierebbero se previste da due regole di scaling diverse quali quelle dei roditori e dei primati.

Gli elefanti e le balene probabilmente seguono regole di scaling simili a quelle dei roditori, con una densità molto più bassa di neuroni.

Si stima che la densità neuronale nella corteccia cerebrale di elefanti e balene sia di circa 7000 neuroni/mm<sup>3</sup>, rispetto a 30.000-60.000 neuroni/mm<sup>3</sup> nel cervello umano.



	Predicted from rodent rules	Predicted from primate rules
<b>FALSE KILLER WHALE, 3650 G</b>		
Neurons, whole brain	21 billion	212 billion
Mass, cerebral cortex	3000 g	3655 g
Neurons, cerebral cortex	3 billion	55 billion
Neuronal density, cortex	1000 neurons/mg*	30–80,000 neurons/mg**
Mass, cerebellum	304 g	279 g
Neurons, cerebellum	19 billion	140 billion
Neuronal density, cerebellum	63,500 neurons/mg*	400–600,000 neurons/mg*
<b>AFRICAN ELEPHANT, 4200 G</b>		
Neurons, whole brain	23 billion	241 billion
Mass, cerebral cortex	3488 g	4245 g
Neurons, cerebral cortex	3 billion	62 billion
Neuronal density, cortex	960 neurons/mg*	30–80,000 neurons/mg***
Mass, cerebellum	347 g	318 g
Neurons, cerebellum	21 billion	159 billion
Neuronal density, cerebellum	61,200 neurons/mg*	400–600,000 neurons/mg*

**Differenze nella densità neuronale!!!**



# PERCHÈ ALLORA IL CERVELLO UMANO È 'SPECIALE' ?



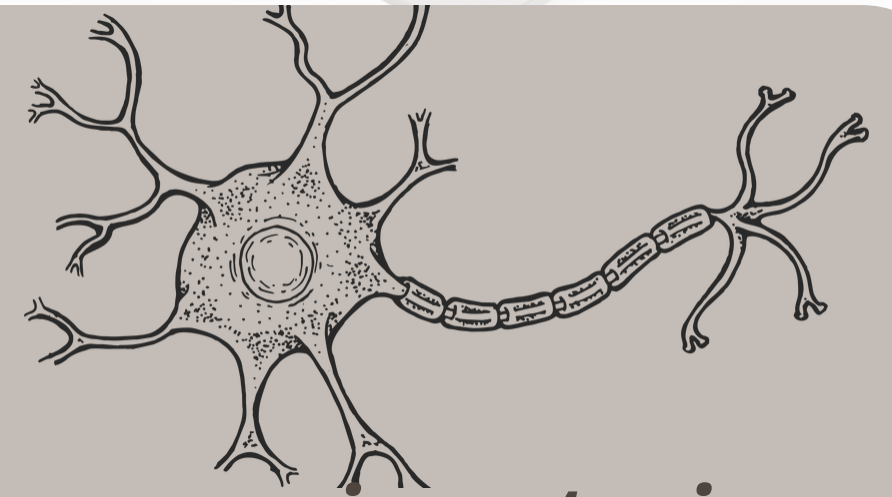
Possiamo dire che il cervello umano non ha capacità cognitive completamente diverse da quelle di altri primati o mammiferi con cervelli grandi (imitazione e cognizione sociale). Tuttavia, si distingue per la combinazione e il grado con cui queste capacità sono sviluppate.

Le *nostre capacità cognitive* emergono dalla *combinazione di vari elementi* che possiamo elencare:

1. *Aumenti quantitativi* (numero assoluto di neuroni, specialmente nel cervelletto).
2. *Modifiche anatomiche specifiche* (corteccia prefrontale, cervelletto; che permettono di lavorare in sinergia con il grande numero di neuroni).
3. *Evoluzione a mosaico* (dove specifiche aree del cervello aumentano in importanza e complessità in base alle esigenze funzionali).



# INOLTRE...



## *Il cervello umano è unico per l'organizzazione e l'interconnessione tra i neuroni*

Concetti chiave:

- **Crescita non lineare delle capacità cognitive:** La presenza di numero elevato di neuroni rende possibile la realizzazione di più connessioni, la rete quindi è in grado di gestire e processare informazioni in modo molto più complesso.
- **Soglia critica:** Si pensa che una certa densità e complessità di connessioni sinaptiche abbia permesso il passaggio da una semplice elaborazione dei dati a funzioni cognitive più avanzate, come il linguaggio, il pensiero astratto e la pianificazione a lungo termine.
- **Impatto maggiore nei cervelli grandi:** Nei cervelli grandi, come quelli umani, ogni nuovo neurone ha più opportunità di connettersi in una rete che è già altamente complessa, amplificando così l'effetto dell'aggiunta. In cervelli più piccoli, come quelli di scimmie scoiattolo o galagoni, il potenziale di nuove connessioni è limitato dalla struttura neurale meno densa e complessa.

# CONCLUSIONI



- 1. Revisione delle idee tradizionali:** l'articolo analizzato offre la revisione di alcune idee fondamentali sull'evoluzione del cervello grazie anche a progressi nella quantificazione della composizione cellulare del cervello umano e nel confronto con quello di altri primati. L'approccio tradizionale, che correlava le capacità cognitive alle dimensioni corporee e cerebrali, viene in parte sostituito da una visione in cui il numero assoluto di neuroni emerge come parametro chiave.
- 2. Cervello umano non eccezionale per peso e dimensione:** i dati dimostrano che il cervello umano non è un'eccezione straordinaria, ma piuttosto un cervello di primate che si adatta alle aspettative per il suo peso e dimensione. Questo ribalta l'idea di una cerebralità umana unica e richiama un'interpretazione più integrata dell'evoluzione delle strutture cerebrali, con un'attenzione non solo alla corteccia, ma anche al cervelletto e ad altre regioni.
- 3. Importanza del numero di neuroni:** tuttavia, la scala di neuroni del cervello umano rispetto a quello di altri mammiferi sottolinea due vantaggi distintivi: la nostra efficienza nel rapporto tra dimensioni cerebrali e numero di neuroni, ed è l'unico tra i primati a possedere il cervello con il maggior numero di neuroni. Questo ci dà un modo concreto per capire meglio la complessità delle capacità cognitive umane.
- 4. Prospettive future:** per comprendere meglio l'evoluzione delle capacità cognitive nei Mammiferi, in futuro sarebbe opportuno condurre analisi comparative basate sul numero effettivo di neuroni nelle diverse specie.



# BIBLIOGRAFIA

---

- Herculano-Houzel, S. (2009). The human brain in numbers: A linearly scaled-up primate brain. *Frontiers in Human Neuroscience*, 3, Article 31.

**doi:10.3389/neuro.09.031.2009.**

- Tutte le immagini utilizzate sono tratte dall'articolo sopra citato e sono state usate con riferimento diretto al testo originale.