

SVILUPPO TROPPO RAPIDO DELLA MASSA CEREBRALE: ELEFANTE-DELFINO CON MODULI CEREBRALI MENO EFFICIENTI

Giuseppe C. Budetta

Razze estinte di delfini dell'Eocene avevano una massa cerebrale molto superiore a quella degli odierni cetacei. **Sviluppo della massa cerebrale meno rapida: Homo Sapiens sapiens.**

Negli ultimi settantamila anni, la massa cerebrale di *Homo Sapiens sapiens* si è andata riducendo, ma è migliorata la resa dei moduli cerebrali. *Homo di Neanderthal* aveva il volume cerebrale superiore a quella di *Homo Sapiens sapiens*. Un cervello di grandi dimensioni consuma più energia costringendo a mangiare di più per sopravvivere. In periodi di scarsità di cibo, come durante l'era glaciale, la sopravvivenza è molto problematica. Potrebbe anche essere che l'intelligenza umana stessa sia cambiata. Sarebbe cresciuta l'intelligenza collettiva: abbiamo lavori più specializzati e condividiamo più informazioni tra di noi, il che significa che non dobbiamo sapere tutto, ma solo un sottoinsieme di conoscenze per far funzionare la società. Smaers J. B. et al., (2021), hanno raccolto dati sul cervello e sul corpo - quantificati come massa volumetrica - dalla letteratura, oltre ad aver esaminato centinaia di reperti fossili. I risultati rivelano che i mammiferi con cervello più voluminoso hanno raggiunto dimensioni corporee mediante percorsi filogenetici molto divergenti. Cinque gruppi di mammiferi (elefanti, grandi scimmie, ominidi, odontoceti e delfinidi) hanno il più elevato rapporto cervello-corpo, seguendo traiettorie stranamente diversificate. Gli elefanti sono il caso più semplice, poiché si sono evoluti direttamente dal grado ancestrale dei mammiferi, aumentando le dimensioni corporee al contempo, ma più rapidamente, quelle del cervello. Nelle balene dentate e delfinidi, la dimensione relativa del cervello è aumentata in modo più graduale.

Nei mammiferi con elevato volume dei lobi cerebrali, ci sono tre condizioni anatomiche:

1. Collo corto.
2. Riduzione dell'estensione dei seni paranasali e delle ossa frontali.
3. Prensione degli alimenti, effettuata con la proboscide (Elefante), o tramite il mezzo liquido come il mare (delfino e cetacei in genere), oppure tramite le mani (Uomo).

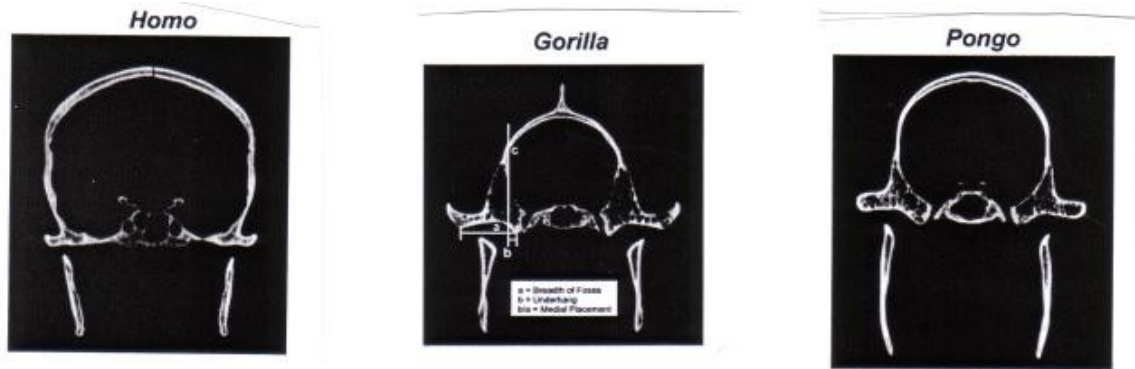
Lo sviluppo encefalico è collegato inoltre allo sviluppo corporeo.

Perché si sviluppino spiccate asimmetrie tra i due lobi cerebrali, sarebbero indispensabili alcune caratteristiche della circolazione sanguigna. Questo argomento sarà sviluppato nel presente studio comparato. C'è da fare qui una considerazione.

In *Homo di Neanderthal*, male si conciliavano encefalo voluminoso ed elevata velocità sistolica nelle arterie cerebrali medie, verosimilmente di calibro superiore a quelle di *Homo Sapiens sapiens*: il volume cerebrale, essendo superiore nell'*Uomo di Neanderthal*.

N.B. La velocità di flusso in un tubo (arteria) è inversam. proporz. al calibro dello stesso tubo. Sherwood et al. (2002), hanno effettuato ricerche morfometriche, rilevando la differente disposizione della fossa mandibolare nelle grosse scimmie rispetto all'Uomo. Gli autori hanno effettuato studi su 12 uomini adulti, 12 scimpanzè, 15 gorilla e 8 orangutan. La fossa mandibolare nell'Uomo è mediale, ma laterale nelle grosse scimmie. Negli ominidi, c'è la stessa ubicazione dell'Uomo moderno e la fossa mandibolare è in entrambi ampia. Per gli autori, queste differenze sono rapportabili alla funzione masticatoria e allo sviluppo cranico in senso laterale (Fig.1).

Fig.1



Materia cerebrale - aspetti comparativi. Aspetti comparativi tra il cervello umano e quello di altri mammiferi con elevata massa cerebrale, aiutano a chiarire i meccanismi collegati all'efficienza di elaborazione dell'informazione nervosa.

L'Elefante ha spiccate relazioni sociali e un'ottima memoria di lungo termine, finalizzata in particolare alla ricerca di cibo e acqua. Ha un elevato grado di consapevolezza. Un elefante può essere guidato dalle capacità mentali e biologiche di un consimile.

Aspetti comparativi. Peso del cervello in *toto*, compreso i rivestimenti meningei.

- **Elefante: 4.700 gr. in media** (4050 – 5220)
- **Scimpanzé: 350 gr.** “ (330 – 370)
- **Uomo: 1.400 gr.** “ (1350-1450)

Dal punto di vista dell'efficienza cerebrale, sarebbero importanti alcuni parametri, come il rapporto *massa cerebrale/massa corporea* che avvantaggia l'Uomo. Inciderebbero anche l'età, il sesso, e nel caso dell'Elefante, la specie. Il quoziente di encefalizzazione (Q.E.) che è il rapporto *massa cerebrale/massa corporea* è:

- **UOMO: 7,5**
- **SCIMPANZE: 2,5**
- **ELEFANTE: 1,3 – 2,3**

Numero dei neuroni cerebrali.

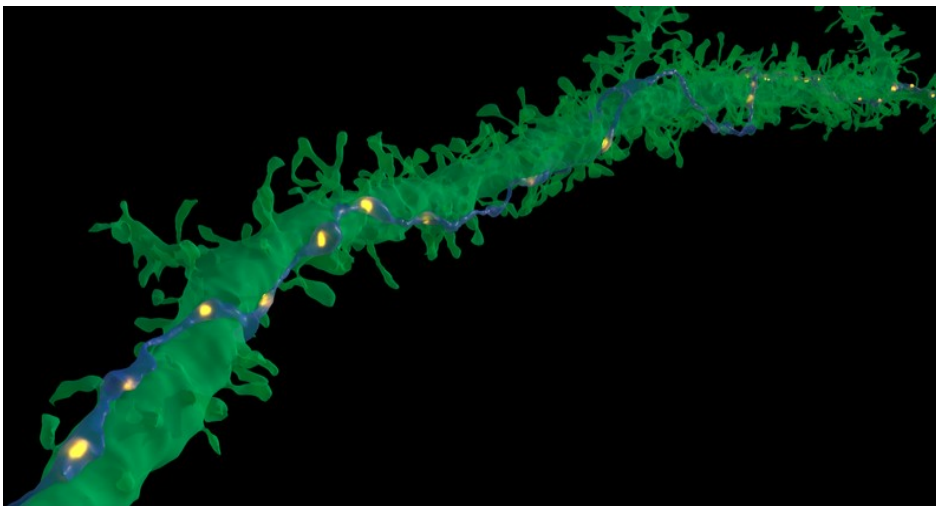
- **UOMO: 20 bilioni**
- **ELEFANTE ASIATICO: 10 bilioni**
- **SCIMPANZE: 6,5 bilioni**

Nell'Elefante, la riduzione della densità neuronale è associata all'aumento del volume cellulare e da una densità gliale più elevata. I neuroni hanno un numero maggiore di sinapsi e d'interconnessioni cilindrossiali che nei primati. La densità neuronale corticale è minore di circa 1/3 che nell'Uomo e di circa 1/7 che nello Scimpanzé. Nell'Elefante, c'è una gran quantità di grossi neuroni corticali, con prolungamenti cilindrossiali che attraversano la sostanza bianca per collegarsi con neuroni corticali molto lontani. Nei primati, questi grossi neuroni corticali, con cilindrossi molto lunghi, sono di

numero esiguo. Nell'Elefante, i neuroni corticali, hanno connettività con aree lontane dalla neo-cortex. La sostanza bianca corticale è molto estesa, formata da lunghi prolungamenti assonici che connettono regioni tra loro distanziate. La sostanza bianca della neo-cortex ha un volume eccessivo rispetto a quello del cervello in toto, limitando l'efficienza delle interconnessioni neurali, (Cangizi M.A., 2007).

Per calcolare il QE bisogna conoscere il **fattore di cefalizzazione** C, calcolabile con la formula: $C = E/(S)r$ - dove E è il peso del cervello, S è il peso del corpo e la potenza r è una costante che viene determinata empiricamente. Due dei possibili valori di r per i mammiferi sono 0,56 e 0,66. Per trovare il quoziente di encefalizzazione bisogna dividere C per il valore di un mammifero medio.

Il cervello umano ha 100 miliardi di neuroni e circa 1.000 trilioni di connessioni sinaptiche. La struttura interna di ogni neurone è ricca e diversificata, ma con un consumo energetico di soli 20 watt circa. Nel cervello umano, c'è una classe di connessioni sinaptiche alquanto rare, ma molto potenti, dove una coppia di neuroni può essere collegata da più di 50 sinapsi individuali. Il 96,5% dei contatti, tra gli assoni e le cellule bersaglio, ha una sola sinapsi, ma lo 0,092% ha quattro, o più connessioni sinaptiche. Ulteriori studi su queste connessioni multiple potrebbero rivelarne il ruolo funzionale nel cervello. Forse, ad esempio, queste forti connessioni sono il modo con cui il cervello ottiene risposte neurali veloci, o il modo per codificare ricordi molto importanti.



In casi molto rari, un singolo assone (blu) ha stabilito ripetute connessioni sinaptiche (punti gialli) con un neurone bersaglio (verde). Lo scopo di queste strette connessioni non è chiaro. Foto ricavata dal materiale scientifico di Viren Jian, ricercatore e responsabile tecnico, connectomics presso Google.

Media del volume dei neuroni.

- ELEFANTE: $4.200 \mu\text{m}^3$. Ci sono cellule voluminose, in particolare le piramidali. Il volume dei neuroni corticali eccelle quello degli altri mammiferi, tranne alcune specie di cetacei.
- UOMO e SCIMMIA: $1.200 \mu\text{m}^3$. C'è una elevata quantità di piccoli neuroni, in particolare di cellule granulari.

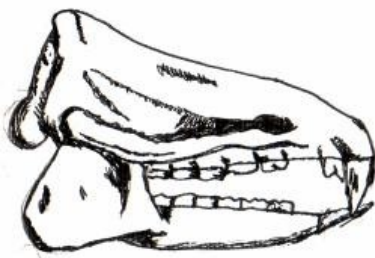
Cervello di Uomo, Elefante, Scimpanzè e Delfino. Aspetti di efficienza comparativa.

- Elefante. L'impulso nervoso corticale ha lunghe percorrenze, attraversando regioni distanziate e vaste. Ciò ritarda il processo di elaborazione dell'informazione nervosa.
- Uomo e grandi scimmie. I neuroni corticali mantengono l'interconnessione ottimale con stimoli nervosi di breve durata. C'è minore connettività corticale globale e maggiore suddivisione in scompartimenti, con circuiti locali e connessioni modulari, (Kaas J.H., 2007). Nonostante l'incremento volumetrico del cervello, la presenza d'interconnessioni brevi è evidente nel rapporto proporzionale dei neuroni di un singolo modulo, indicato come circuito neuronale locale (LCNs), in connessione singola con neuroni di moduli adiacenti. Dagli scimpanzè all'Uomo, c'è incremento del volume corticale e una LCNs che va dal 93% al 98%. Viceversa, dall'Elefante all'Uomo, la LCNs decresce dal 98% al 91%.

Poth C. et all. (2005), effettuarono una ricerca su sei specie di odontoceti, incluso i delfini comuni (*Delphinus delphis*), la balena pigmea (*Kogia breviceps*) ed il delfino naso di bottiglia (*Tursiops truncatus*). Gli Autori studiarono il rapporto tra numero neuronale e relative unità corticali nella corteccia uditiva primaria, corteccia visiva e somatosensitiva, di entrambi gli emisferi cerebrali. Nelle aree corticali esaminate, a partire da un cervello con peso di 834 grammi fino ad uno di 6052 grammi, c'era una riduzione del numero neuronale ed un incremento di massa cerebrale. In particolare nel delfino adulto, l'incremento in *toto* del peso non era collegabile all'incremento del numero cellulare per unità corticale. Aspetti simili sarebbero presenti nelle strutture cerebrali di Elefante.

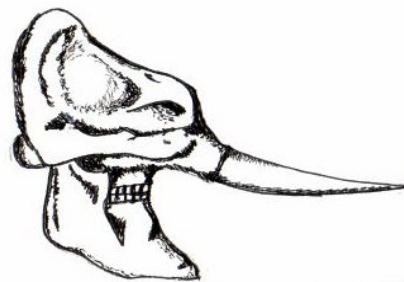
EVOLUZIONE DEL CRANIO DEI PROBOSCIDATI

FIG. 11



EOCENE

FIG. 12

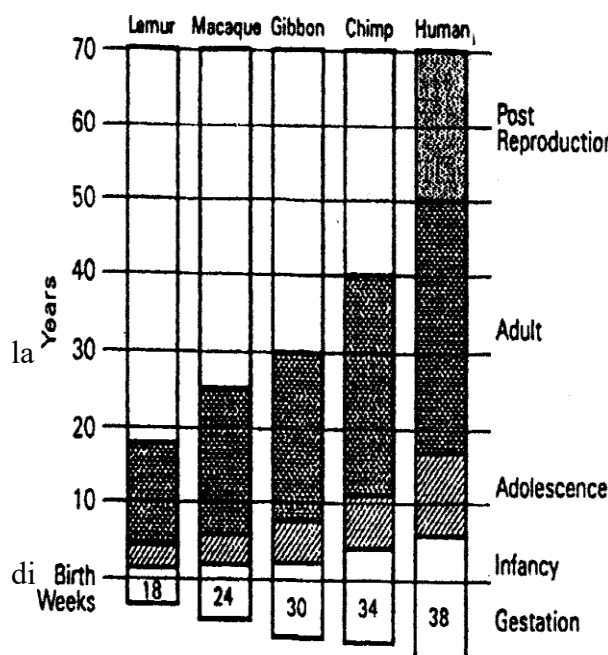


PLEISTOCENE

Fig. 11, 12 - In un mammifero come l'elefante nella sua evoluzione, è avvenuto la riduzione dello splancnocranio e il rapido incremento del neurocranio, correlati alla prensione degli alimenti con la proboscide. In alcune specie come elefanti e delfini, lo sviluppo cranico, correlato tra l'altro alla prensione degli alimenti, è stato molto più elevato e rapido, rispetto alla specie umana.

Cervelli fetali ed adulti. Differenze tra Uomo e primati.

Nel periodo fetale e nei primi periodi di vita extrauterina, differente è il grado di sviluppo volumetrico del cervello tra esseri umani e scimmie, come la tabella, tratta dal lavoro di Rappoport (1999), illustra.



Nella specie umana, lo sviluppo pre-natale del cervello è molto accentuato. La discrepanza è minima tra Uomo e scimpanzé, ma si accentua dopo la nascita. Rappoport afferma che nell'Uomo, la densità sinaptica della corteccia frontale raggiunge l'apice verso i cinque anni di vita. Nella scimmia, questa densità s'incrementa negli ultimi periodi di vita intrauterina e primi mesi dopo nascita. Nella specie umana, perfino poco prima della nascita, l'attività neuronale cerebrale ha repentini cambiamenti. Con la nascita del soggetto umano, si passa dal mondo uterino al mondo esterno, ricco di input sensoriali: odori dei genitori, le luci artificiali una stanza, segnali acustici...Così, in diverse regioni del cervello, i neuroni diventano più attivi. In particolare s'incrementano:

1. la rete somatosensoriale che elabora stimoli del mondo circostante come immagini e suoni oltre al coordinamento dei movimenti corporei.
2. La rete sottocorticale che è come un hub di trasmissione per le informazioni provenienti da diverse regioni del cervello.

Plasticità cerebrale Uomo – Scimmia - La plasticità cerebrale è la capacità del cervello di adattarsi ed a riorganizzarsi formando nuove connessioni neurali in risposta all'apprendimento, all'esperienza, o a un trauma. Questa proprietà dinamica favorisce lo sviluppo e il recupero, avendo un ruolo fondamentale nelle funzioni cognitive, sensoriali e motorie. I tre tipi di plasticità sono:

Plasticità indipendente dall'esperienza: avviene senza l'influenza di stimoli esterni, guidata da programmi genetici e molecolari. È più evidente durante lo sviluppo prenatale e il primo periodo postnatale, quando si stabiliscono le strutture neurali di base e la connettività. Esempi includono la formazione di sinapsi e circuiti neurali che governano i riflessi di base.

Plasticità basata sull'esperienza: si basa su specifici stimoli esterni che il cervello in via di sviluppo anticipa nei periodi critici. Ad esempio, la corteccia visiva richiede l'esposizione a stimoli visivi per un corretto sviluppo; senza tale input, la capacità del cervello di elaborare le informazioni visive è compromessa. Questo tipo di plasticità enfatizza la capacità del cervello di autoregolarsi in base alle interazioni ambientali previste.

Plasticità dipendente dall'esperienza: s'incrementa per tutta la vita, implicando la formazione e il rafforzamento delle connessioni sinaptiche come risultato diretto di esperienze individuali. È alla base di abilità come l'apprendimento del linguaggio, l'allenamento musicale e la formazione della memoria. A differenza della plasticità basata sull'aspettativa dell'esperienza, che è universale per tutti gli esseri umani, la plasticità dipendente dall'esperienza è unica per le esperienze vissute da ogni individuo.

In conclusione, la plasticità cerebrale comprende diversi meccanismi tra i quali la neurogenesi, la glicogenesi, la formazione di connessioni, sia per estensione assonale che per formazione di sinapsi, potatura o crescita di dendriti e quindi sinapsi; cambiamenti epigenetici; così come cambiamenti nell'equilibrio eccitatorio-inibitorio.

La diversa plasticità cerebrale uomo-scimmia è dunque molto accentuata nel periodo prenatale e nei primi periodi di vita post-uterina.

Bibliografia:

CHALMERS D.J.: *La mente cosciente: alla ricerca di una teoria fondamentale*. Oxford University Press, New York, (1996).

CANGIZI M.A.: *Scaling the brain and its connections*. In Kaas, J.H., Krubitzer, L.A. (Eds). Evolution of Nervous System. A comparative Review, vol. 3. Mammals. Elsevier, Amsterdam, pp. 167 – 180, (2007).

KAAS J.H.: *Reconstructing the organization of neocortex of the first mammals and subsequent modifications*. In Kaas J.H., Krubitzer, L.A. (Eds). Evolution of Nervous System. A comparative Review, vol. 3. Mammals. Elsevier, Amsterdam, pp. 27 – 48, (2007).

POTH C. et al.: *Neuron numbers in sensory cortices of five delphinids compared to a physteterid, the pygmysperm wale*. Brain Res. Bulletin, 66: 357 – 360, (2005).

RAPPOPORT S.I.: *How did the human brain evolve? A proposal based on new evidence from in vivo brain imaging during attention and ideation*. Brain Res Bull 50(3):149-165, (1999).

SMAERS J.B. et al.: *The evolution of mammalian brain size – SCIENCE ADVANCES, VOL. 7, Issue 18, (2021)*.

Autore: Giuseppe C. Budetta - giuseppe.budetta@gmail.com