

ASIMMETRIE CEREBRALI NELL'UOMO E NELLE SCIMMIE

BUDETTA GIUSEPPE COSTANTINO

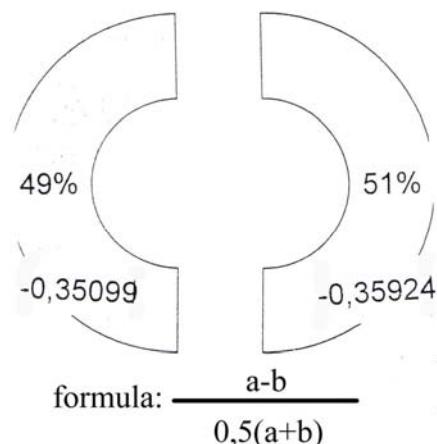
Abstract. *Il cervello di Scimma ha molte analogie con l'umano. La sua forma è asimmetrica verso sinistra, sia nell'Uomo che nelle grosse scimmie. Però, esistono differenze in particolare per quanto concerne la citoarchitettura e sviluppo della neocortex. Nell'Uomo, la durata dello sviluppo pre-natale del cervello è superiore agli altri primati. Nell'Uomo, la densità sinaptica della corteccia frontale ha apice verso i cinque anni di vita. Nella scimmia, questa densità è in aumento negli ultimi periodi di vita intrauterina e primi mesi dopo la nascita.*

Premessa. Rispetto alla poderosa corporatura dei Neanderthal, gli *Homo sapiens* ad essi contemporanei per alcune migliaia di anni furono gracili. Secondo alcuni, gli *Homo sapiens* moderni ebbero abilità cognitive assenti nei Neanderthal. Le numerose pitture conservate nelle caverne suggeriscono che una differenza chiave sia stata la capacità di *Homo sapiens* all'uso di simboli come ausilio del pensiero astratto. Altro fattore importante di *Homo sapiens* fu la predisposizione all'eloquio e alla migliore capacità di pianificare ed usare strategie. Si sa che i Neanderthal si adattarono bene alle condizioni di un clima glaciale ed interglaciale e che gli ultimi esemplari risalgono a circa 30.000 anni fa, un passato archeologico relativamente recente. I Neanderthal costruirono lo stesso tipo di utensile per 200.000 anni, senza mai alterarne le componenti di base. Non produssero mai strumenti di caccia più elaborati delle lance con punta di pietra. Secondo Voisin J.L. (2001), gli ominidi *Homo ergaster*, *Homo antecessor* fino agli *Homo erectus* ed *Homo habilis*, avevano clavicola molto simile a quella di gorilla e differente da quella di *Homo sapiens sapiens*. Questo dimostrerebbe la persistenza di stretti rapporti di questi ominidi con la flora ad essi contemporanea ed anche quando avevano raggiunto la deambulazione certamente eretta (*Homo erectus*), continuavano a spostarsi sugli alberi con le braccia come i gorilla. Dai rilievi morfometrici eseguiti da numerosi studiosi - Voisin JL., (2001) e Lovejoy C. O. (2007) - risulta che anche *Homo habilis* avesse un aspetto più scimmiesco di quanto si pensasse poiché la lunghezza dell'omero di questi ominidi era simile a quella di un gorilla e non a quella di un Uomo moderno. Al riguardo, le recenti vedute scientifiche portano ad affermare che negli ultimi sette milioni di anni sono apparse sulla Terra diverse specie di ominidi, la gran parte destinata ad estinguersi dopo un certo numero di secoli. I primi ominidi bipedi conosciuti – tra i sette ed i quattro milioni di anni fa – sono un gruppo eterogeneo, come lo furono in seguito (tra i quattro ed il milione di anni fa) gli australopitechi con massa cerebrale e corporea ridotte. Il nostro genere *Homo* (apparso circa due milioni di anni fa) conterebbe una dozzina di specie diverse entro le quali emerse *Homo sapiens* ed in seguito *Homo sapiens sapiens*. Dalle analisi del Dna, è emerso che *Homo sapiens* trova una sicura collocazione all'interno della radiazione proveniente dalla grosse scimmie. L'isolamento di piccoli segmenti di DNA da fossili di *Homo neanderthalensis* ha portato alla certezza che era una specie separata da *Homo sapiens*. Le stesse analisi genetiche su campioni fossili indicano che tra *Homo sapiens*, *Homo neanderthalensis* e le scimmie antropomorfe c'è equidistanza evolutiva: Erren C.T. et all. (2008); Green R.E. et all., (2006). Come se ci fosse il seguente rapporto costante:

Homo sapiens : *Homo neanderthalensis* = *Homo sapiens* : Scimmie antropomorfe (scimpanzè).

Questa ricerca scientifica è suddivisa in dieci paragrafi. Dal secondo al quarto, riporto le analogie più significative tra il cervello umano e quello delle scimmie. Negli altri, le più marcate differenze. Dalla comparazione morfo-strutturale e funzionale tra cervello *Homo sapiens sapiens* e di Scimmia è stato possibile dedurre aspetti di ordine generale. Sembra esserci un valore costante che è di **0,35** ricavato applicando la formula del coefficiente di asimmetria al volume endocranico di alcuni ominidi, come spiegato nel primo paragrafo del presente studio di anatomia e fisiologia comparata. Darwin ipotizzò che la conformazione geologica del pianeta fosse soggetta a graduali cambiamenti così come l'evoluzione biologica degli organismi viventi. L'ipotesi darwiniana di una evoluzione lenta e costante della specie umana troverebbe riscontro nel valore costante di **0,35**.

1. Applicazione del coefficiente di asimmetria al volume endocranico di alcuni ominidi

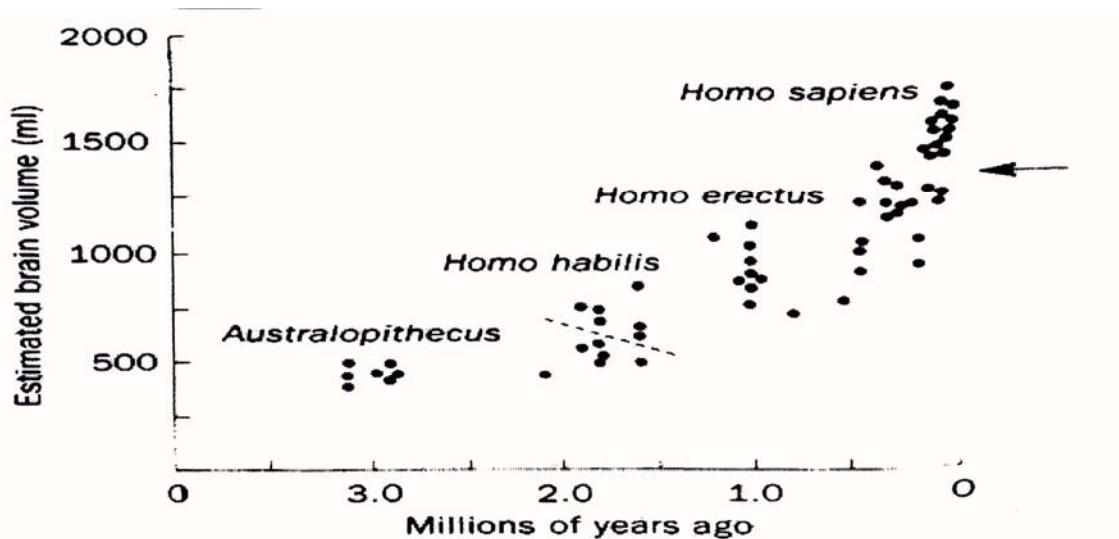


Ho applicato la formula che calcola il coefficiente di asimmetria tra i due emisferi cerebrali per evidenziare le percentuali esistenti tra *Homo habilis* (vol. endocranico di 664 cm^3) ed *Homo erectus javanicus* (volume endocranico di 926 cm^3). Ho ripetuto la stessa operazione tra il vol. endocranico di *Homo erectus pekinensis* (1043 cm^3) ed *Homo sapiens neanderthalis* (vol. endocranico 1487 cm^3). Sembra esserci rapporto costante di crescita tra i quattro volumi cranici. Questo valore si aggirerebbe intorno a **0,35**. Siccome il volume cranico è collegato a quello della massa corporea di una determinata specie di mammifero, si deduce che anche l'incremento corporeo abbia seguito parametri omologhi.

2 – Filogenesi e corticogenesi. Pinker (1998), afferma che *Homo habilis* vissuto circa da 2,5 a 2 milioni di anni fa, si lasciò dietro depositi di utensili litici, possibili basi di abitazioni o punti di macellazione locale, suggerendo in entrambi i casi un certo grado di cooperazione e tecnologia acquisita. Gli *Homo habilis* ci lasciarono crani che recano una vaga impronta delle circonvoluzioni cerebrali. Il centro di Broca è grande e abbastanza prominente da essere visibile, idem per i giri cerebrali angolari e sovramarginali (le aree del linguaggio). Queste zone sono più grandi nell'emisfero sinistro. Non si può comunque essere certi se gli *Homo habilis* usassero il linguaggio perché anche le scimmie hanno un piccolo omologo dell'area di Broca. Jerison, (1985) afferma che gli esseri umani hanno EQ maggiore rispetto a tutti gli altri mammiferi. Per la precisione, subito dopo l'Uomo seguono le scimmie cappuccine. Tra i carnivori, *Ursus malayanus* ha il più elevato EQ. Per quanto riguarda il volume cranico umano, negli ultimi tre milioni di anni si è passati da circa 450 cc (*Australopithecus*) a circa 1300 cc di *Homo sapiens sapiens*. Jerison (1985) afferma che negli ultimi due milioni di anni il cervello umano ha avuto un forte incremento volumetrico, preceduto secondo Liégeois-Cauel, C. et all., (2001) da un alto incremento di densità dendritica.

Tab. 1: sulla retta delle ascisse i milioni di anni, su quella delle ordinate il vol. cranico, da Jerison, (1985).

Tab.1

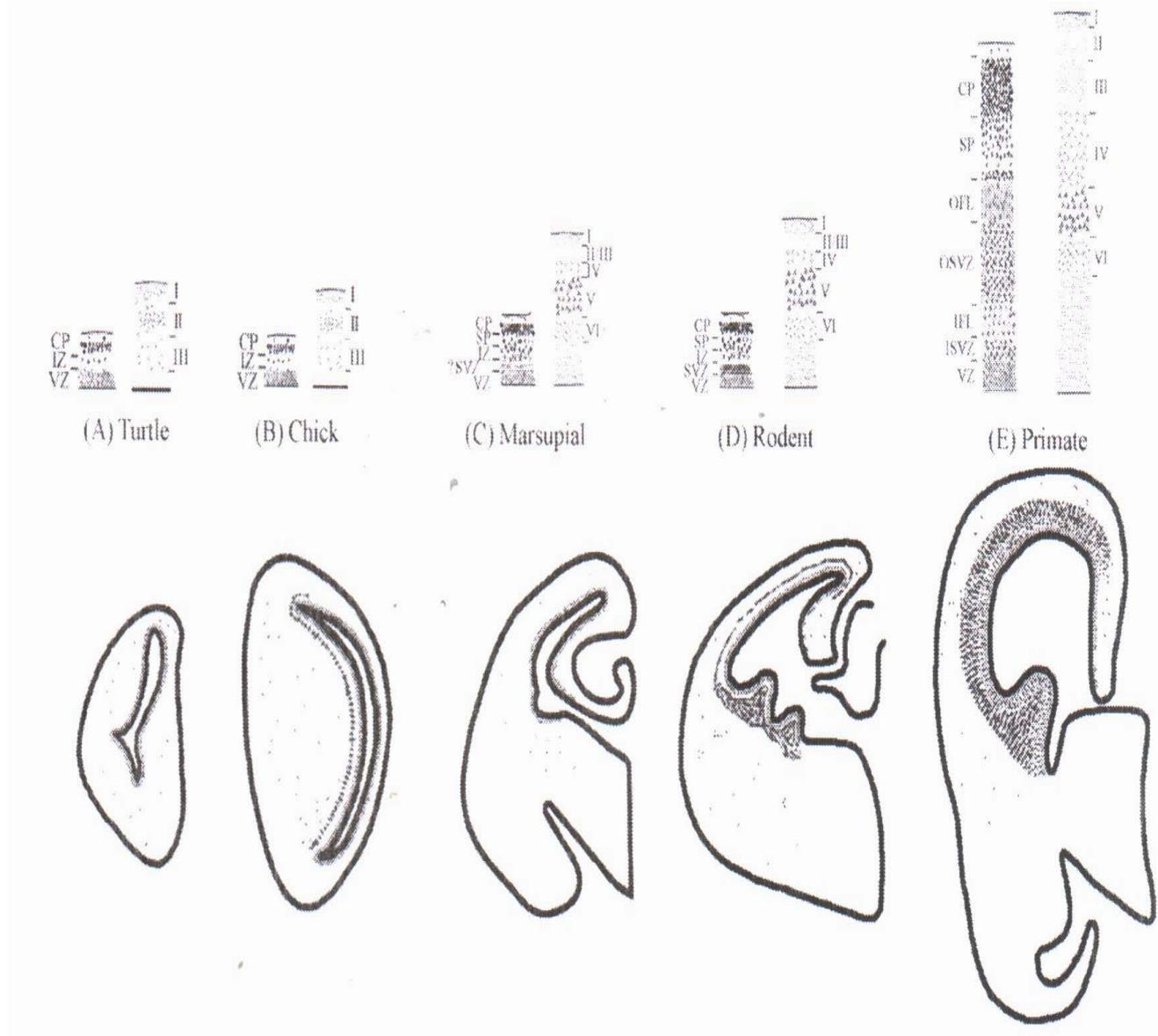


Secondo Kaas J.H. (2008), i calchi endocranici dei primi mammiferi indicano piccoli cervelli con scarsa neocortex. Dati da studi comparativi sulla organizzazione corticale delle sei maggiori branche evolutive dei mammiferi attestano che i mammiferi primordiali ebbero ridotta neocortex, divisa in 20 – 25 grossolane aree corticali, inclusi i campi sensoriali primari e secondari. La loro neocortex fu dominata da un bulbo olfattivo (corteccia olfattiva piriforme), relativamente estesa rispetto alla rimanente (neocortex). La conformazione delle depressioni endocraniche dei reperti fossili, riferiti ai primi mammiferi essendo relazionata all’organizzazione delle aree corticali può fornire indizi sulla collocazione di alcune aree cerebrali, o di aree somato-topiche della corteccia somato-sensitiva, Liégeois-Cauel, C. et all., (2001). Inoltre, i rapporti relativi tra regioni frontali, temporali, parietali ed occipitali possono dare indicazioni su quali dei sistemi corticali fossero maggiormente sviluppati. Nei primati primordiali, il senso dominante fu la visione e le aree corticali associate ad essa ebbero una significativa espansione nelle corteccie temporale ed occipitale. Studi comparativi indicano che i primati primordiali ebbero dieci o più aree visive ed aree somato – sensoriali con rappresentazioni espansse delle zampe anteriori. Appena si furono sviluppati grossi cervelli nelle prime razze di scimmie e nei nostri predecessori ominidi, il numero delle aree corticali andò incrementandosi, emergendo la specializzazione emisferica. L’ampio cervello si accrebbe all’inizio con l’incremento del numero neuronale e in un secondo tempo con l’incremento medio del volume cellulare degli stessi neuroni. L’elevata densità neuronale ampliò le capacità d’immagazzinamento e di selezione dei dati sensoriali. Nell’arco di due milioni di anni, il cervello umano si ampliò notevolmente e ciò solo parzialmente sembra collegato alle umane abilità così come l’organizzazione del cervello umano cambiò molto nel tempo rispetto ai primi mammiferi. Auroux (1998) dice che nei pongidi è stata notata la quasi assenza di determinate aree cerebrali. L’Australopiteco presenta solo un leggero rigonfiamento al posto dell’area di Broca che comincia a svilupparsi in *Homo habilis* ed in *Homo erectus*, per raggiungere probabilmente in Homo di *Neanderthal* la misura e la collocazione riconoscibili in *Homo sapiens*. Esisterebbe una gradualità nell’evoluzione anatomica di tale area del linguaggio, messa però in discussione da Premack (1976) secondo il quale non abbiamo una serie di sistemi che ci consenta di arrivare attraverso una scala continua fino al linguaggio umano. Poi, alcuni dati sembrano contraddirre le affermazioni di Auroux.

Gli scimpanzè addestrati sono in grado di emettere suoni e parole e di comprendere entro certi limiti, il linguaggio umano. Inoltre, i pappagalli che hanno diversa organizzazione cerebrale rispetto ai mammiferi sono in grado di produrre parole. Auroux dice che la pratica linguistica facilita la capacità di categorizzazione e di generalizzazione. L'autore riferisce del seguente esperimento. Dopo aver insegnato ai bambini a scegliere il più lento tra due dischi ruotanti, si mostrano luci a differente intermittenza, quindi alcuni oggetti in movimento più o meno rapido. I bambini sordi a 11-12 anni, non riescono ad astrarre il concetto di velocità, cosa che fanno facilmente i bambini udenti di otto anni. Lo sperimentatore spiega questi insuccessi con la difficoltà dei bambini sordi a staccarsi dalle diverse modalità concrete di movimento (intermittenza, movimento lineare e rotazione) osservati per applicare il termine generale di velocità. I bambini udenti apprendono immediatamente questi concetti attraverso la pratica della lingua orale. Interessanti osservazioni sulla dominanza emisferica sono emerse da indagini su soggetti umani con resezione del corpo calloso (con integrità del chiasma), per la cura dell'epilessia. Se si pone nella mano destra di un individuo andato incontro ad un'operazione del genere un determinato oggetto senza che lo veda, la relativa sensazione è raccolta, per effetto della decussazione sottocorticale delle vie nervose, dall'emisfero sinistro che è quello dominante. In questo caso, l'individuo fa un resoconto verbale dell'esperienza. Se al contrario l'oggetto è messo nella mano sinistra, è l'emisfero destro a ricevere i messaggi sensitivi, ma poiché esso non possiede i centri del linguaggio, il paziente non è in grado di riferire che tipo di oggetto abbia ricevuto in mano, Aguggini G et all., (1992). K.E. Stephan et all. (2007), ritengono che le asimmetrie cerebrali – nell'Uomo ed in altre specie di mammiferi - siano collegate alla connettività encefalica ed abbiano un ruolo chiave nella specializzazione emisferica. Esistono differenze di connettività intra ed inter regionali come substrato funzionale dei vari processi informativi, elaborati da ogni emisfero cerebrale. Shapleske et al. (1999), asseriscono che nel cervello umano le asimmetrie del Planum temporale si stabiliscono a partire dalla 31° settimana di gestazione. Wada T. (1991), ha dimostrato che l'asimmetria del Planum temporale sinistro è rilevabile anche nel feto umano, sostenendo che l'allargamento del piano temporale sinistro non è collegato allo sviluppo delle abilità linguistiche. Posto sulla parte anteriore della scissura di Rolando, il settore perisilviano anteriore ha strutture responsabili del ritmo e della grammatica del parlato. I nuclei basali sinistri fanno parte integrante di questo settore, come del settore perisilviano posteriore. L'intero settore appare fortemente associato al cervelletto. Sia i nuclei basali, sia il cervelletto, hanno proiezioni da un'ampia gamma di regioni sensoriali della corteccia e restituiscono proiezioni dalle aree motorie. Queste aree sono spesso asimmetriche verso sinistra nell'Uomo e nei primati, Franklin et all. (1996). Gli stessi autori affermano che la forma *in toto* del cervello è similare in *Homo* e grosse scimmie, ma il quoziente di encefalizzazione è molto diverso. Franklin et al. (1996), forniscono anche l'area dell'amygdala nelle scimmie che è di 1,7 cm² nei maschi e 1,8 cm² nelle femmine. Gli autori dichiarano che non ci sono differenze sostanziali riferite all'età ed al sesso. Questo dato è confrontabile con quello nella specie umana (Matockik, 2000), dove l'amygdala non subisce evidenti variazioni con l'età e non presenta differenze riferite al sesso. Nei mammiferi, i neuroni della neocortex sono organizzati in sei lamine. Al contrario, nei rettili ed uccelli, le cortece dorsali hanno solo tre strati che si ritiene siano equivalenti agli strati dei mammiferi I, V e VI. Nei mammiferi, il maggiore incremento di proliferazione cellulare è avvenuto nella zona ventricolare (VZ) e sub-ventricolare (SVZ). Studi di morfologia comparata suggeriscono che la zona SVZ coincida con la espansione laminare della corteccia in sei strati, come affermato da Mannan O.A. et all. (2008). La tabella 2 è stata presa dal lavoro di Mannan O.A. et all., e riporta alcuni aspetti della corticogenesi nella:

Tartaruga (A) – Gallina (B) – Marsupiale (C) – Roditore (D) – Primate (E).

Tabella 2



La tabella 2 mostra la stratificazione della corteccia dorsale in differenti vertebrati. (A) Nella tartaruga è presente una certa divisione cellulare in VZ, ma è assente la zona SVZ. Nella gallina (B) la zona SVZ è presente nel telencefalo ventrale, ma assente nell'*Iperpallio*. Nei marsupiali (C), c'è proliferazione cellulare in VZ, ma non appare la zona SVZ. Nel topo e nei primati (D, E), una zona SVZ è presente nella corteccia dorsale e nelle eminenze ganglionari. Nei primati, la SVZ è molto vasta e più stratificata che nel topo (e roditori): vedere D ed E – colonna di sinistra. Nei primati, gli strati sopragranulosi sono più ampi e complessi, E: colonna di destra.

In sintesi, il cervello dell'Uomo deriva da una triplice sovrapposizione di strati: ad un cervello primordiale rettiliano (400 milioni di anni fa) si aggiunse quello tipico dei mammiferi (circa 250 milioni di anni fa) cui si sovrappose l'attuale, evolutosi negli ultimi cinque milioni di anni.

3 – Analogie e differenze Uomo-Scimmia a livello di corteccia temporale inferiore. Descrizione di altre analogie cerebrali e cerebellari.

E' risaputo che il cervello umano è tre – quattro volte più grosso del volume cerebrale degli altri primati, come affermato tra l'altro da Falk D., (1980) e da Rilling J.K. & Insel T.R., (1999).

Kriegeskorte N. et all., (2008) hanno studiato in modo approfondito la rappresentazione degli oggetti del mondo esterno a livello della corteccia temporale inferiore, nell'Uomo e nella Scimmia. Gli autori concludono che al di là del limite di specie, scimmie ed umani esibiscono lo stesso codice che fornisce una rappresentazione di oggetti in modo continuo e specifica. Indagini allometriche con la MRI su 44 primati viventi di 11 diverse specie in comparazione con l'Uomo hanno effettuato Rilling e Seligman (2002), come più avanti sarà meglio esposto. I dati riguardavano il volume *in toto* del cervello, i lobi temporali, il giro temporale superiore, la sostanza bianca del lobo temporale, l'area superficiale sul giro temporale superiore e sul giro temporale corticale di entrambi i lobi temporali. Le ricerche hanno evidenziato che il volume *in toto* dei lobi temporali è superiore nell'Uomo, seguito da Pongo e Gorilla. Però tracciando la *ratio*, la classifica s'inverte e l'Uomo insieme con Pongo e Gorilla sono ultimi. Incrementandosi il volume cerebrale in particolare a livello corticale, le asimmetrie dei lobi temporali sembrano ridursi, in linea generale. Nota bene, il paragone va fatto in individui della stessa specie. Ad esempio, tra lobo temporale di sinistra e lobo temporale di destra, nell'Uomo. Tra lobo temporale di sinistra e di destra nel Gorilla ecc.

Con la metodica MRI, Semendeferi e Damasio (2000) hanno fatto studi su crani di uomini moderni, di ominidi e scimmie. Gli autori affermano che il cervelletto umano è più piccolo rispetto a quello delle grosse scimmie, avendo avuto un piccolo incremento volumetrico durante l'evoluzione. Ciò suggerisce che ci sia stato poco differenziamento cerebellare tra Uomo e grosse scimmie. L'incremento cerebellare delle scimmie può essere connesso al fatto che sono specie quadrupedi, con vita arboricola.

Homo erectus → andatura plantigrada → bipede → non arboricolo → sviluppo del cervello.

Scimpanzè → andatura clinograda → quadrupede arboricolo → sviluppo del cervelletto.

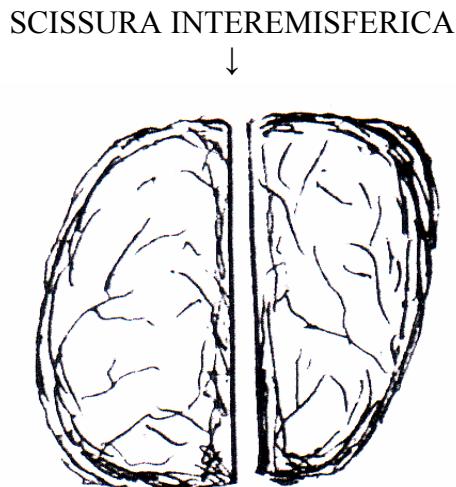
Gli autori affermano che il lobo frontale in *Homo* e nelle grosse scimmie ha aspetto similare, non essendosi diversificato molto e che pur essendoci variabilità intra- ed interspecifica, non si capisce quali siano state le differenze primarie tra cervelli di ominidi e scimpanzè. Qui di seguito c'è lo schema con la media del volume assoluto del cervello e sue maggiori suddivisioni, da Semendeferi e Damasio, (2000).

	volume cranico	cervelletto	emisferi	frontali	temporali
UOMO	1230	155	1233	454	223
BONOBO	336	45	290	101	48
SCIMPANZE	320	41	279	97	48
GORILLA	425	69	355	124	49
ORANGO	443	52	391	142	65
GIBBONE	82	10	71	20	13

La figura **b** illustra la forma del cervello umano (*Homo sapiens*), di *Homo* di *Neanderthal* e di quello delle grosse scimmie. C'è un'unica forma, ma con differenze legate al volume cerebrale e piccole differenze legate al maggior sviluppo in senso trasversale del cervello in *Homo* di

Neanderthal e nelle grosse scimmie. In *Homo sapiens*, si è avuto un maggior incremento della distanza tra parietali e sfenoide (incremento in altezza).

FIG. b



Nell’Uomo e nelle Scimmie, i lobi frontale dx ed occipitale sinistro sono più espansi dei corrispettivi controlaterali come il disegno qui sopra mostra (fig. b). C’è una forma complessiva asimmetrica, sia in riferimento all’Uomo, sia alle scimmie.

Nakamura K. and Kubota K. (1996) affermano che nelle scimmie la corteccia aVMT, o corteccia anteriore ventromediale temporale riceve gli stimoli primari dalla TE e pochi impulsi secondari dalle altre aree corticali. La corteccia TE è detta anche corteccia perinale, comprendente le aree 35 e 36. Connessioni laminari suggeriscono che *aVMT corteccia* è l’area di ordine superiore rispetto a TE. Lesioni di questa zona corticale causano deficit cognitivo e menomazioni della memoria visiva. Nell’Uomo, lesioni di aVMT causano deficienza nel riconoscimento di oggetti familiari e delle facce. E’ una delle aree più vulnerabili nel morbo di Alzheimer. I dati indicano strette analogie tra Uomo e Scimmia per quanto riguarda le funzioni di aVMT, area superiore collegata ai processi di riconoscimento e di memoria visiva. TE avrebbe funzioni omologhe ad aVMT. Questo aspetto è presente sia nell’Uomo che nelle scimmie.

Nei primati, il lobo temporale ha numerose funzioni anche se la disposizione anatomica è differente rispetto all’Uomo. Sia nell’Uomo che nei primati, le strutture del lobo temporale mediale includono l’amygdala, l’ippocampo, la corteccia rinale (endo e peririnale), il giro paraippocampale. Tutte queste strutture sono implicate nella formazione della memoria dichiarativa come affermato da Squire & Zola (1996) e da Murray E.A., (2000). L’amygdala ha anche un ruolo addizionale negli stati emotivi, in particolare negli episodi di paura e negli stimoli dolorosi, Dolan R.J., (2000). Similare sembra l’organizzazione funzionale della parte media del lobo temporale nell’Uomo e nei primati non umani, Zola S.M. et all., (2000); Murray & Bussey, (1999).

Schenker N.M. et all., (2005) effettuarono una ricerca su alcuni substrati corticali in *Homo* e in alcune razze di grosse scimmie, esaminando dieci cervelli umani e 17 cervelli di Scimmia. La sostanza bianca cerebrale dei lobi frontali e temporali fu divisa in due grossi settori: la sostanza bianca del Gyrum subito sottostante la corteccia e la parte profonda (core) della stessa sostanza bianca (dei lobi frontali e temporali). Il lobo frontale fu suddiviso in parte dorsale, mesia e parte orbitale col fine di analizzare il rapporto tra corteccia cerebrale e Gyrum, all’interno di ciascuna suddivisione. Nel loro studio, gli Autori hanno seguito l’idea secondo cui alcuni sistemi neuronali si siano maggiormente espansi nell’Uomo e che alcune specie di scimmie abbiano specializzazioni

cerebrali indipendenti dal volume del cervello. Le conclusioni di Schenker N.M. et all. si possono così riassumere:

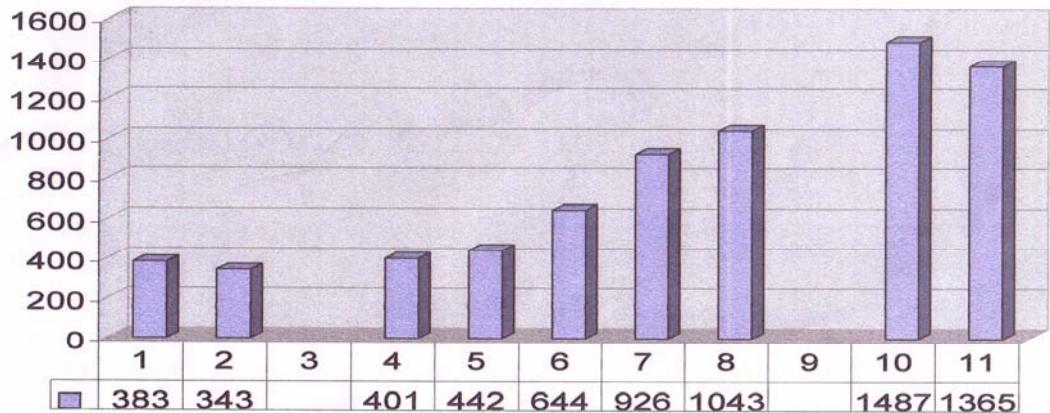
- La *ratio* della sostanza bianca del Gyrum rapportata alla neocortex, nell'ambito della suddivisione frontale, era più ampia in Pan rispetto a Gorilla ed a Pongo.
- Nell'Uomo, la sostanza bianca del Gyrum era relativamente più ampia di quanto ci si aspettasse, non solo rispetto alla estensione della cortex, ma anche in relazione alla parte profonda della sostanza bianca stessa. Ciò indicherebbe una migliore elaborazione delle informazioni ed ampliamento dei processi cognitivi nell'Uomo, dovuta ad ottimali coordinazioni intraemisferiche di fibre cortico – corticali.
- Gli oranghi avevano una corteccia orbitale frontale più ridotta che le altre grandi scimmie. Questo aspetto potrebbe riflettere differenti pressioni evolutive.

4 - Scimmie. Nelle scimmie macaco, le funzioni di assemblaggio coinvolgono 30 – 40 aree in prevalenza visive, 15 – 20 aree uditive, 15 – 20 somato-sensitive e 10 o più aree motrici (Hubel D.H. and Wiesel, T.N., 1962; Seldon, H.L. 1981, seconda parte; Buxoheveden, D.P. et all. 2001, Hayes, T.L. et all. 1995; Van Essen D.C., 2007). Il loro numero esatto non è certo così come può essere difficoltoso identificare a livello sperimentale le aree corticali, in particolare quelle di ordine superiore. C'è ampio accordo solo sulla identificazione di poche aree omologhe.

È stato notato che nelle scimmie la escissione dell'area 6 comporta una risposta di prensione al solo stimolo tattile, mentre l'ablazione dell'area 4 e 6 non comporta alcuna risposta. Le aree Brodmann 44 e 45 descritte nell'Uomo, sarebbero presenti anche nel macaco. Aboitiz e Garcia (1997), Goldman-Rakic et al. (2000), affermano che solo l'area 45 esiste nel macaco in prossimità del solco arcuato inferiore. Al contrario, Barbas e Pandya (1989) non descrivono un'area 45 nel macaco, forse considerata facente parte delle aree pre-motorie 6 e 8. Nell'Uomo, le aree pre-motorie 6 e 8 sono adiacenti alle 44 e 45; inoltre l'area di Broca – area ventrale 6 nella scimmia – è considerata una differenziazione della regione ventrale. Queste ricerche confermano quelle sui neuroni a specchio e sull'area 44 di Brodmann che nel Gorilla sono molto simili a quelle dell'Uomo.

Nella scimmia macaca, Gannon P.J. et all., (2008) affermano che l'asimmetria interemisferica del lobo temporale – omologa a quella umana dei centri del linguaggio - è evidente microscopicamente nella citoarchitettura, non come grossa anatomia. Questa citoarchitettura è caratterizzata dalla presenza di grossi neuroni piramidali del III strato. Gli Autori dicono che sia nell'Uomo che nelle grosse scimmie c'è un'area cerebrale di associazione multisensoriale in prossimità del giro temporale superiore. Questa regione corticale nell'Uomo è detta Planum temporale, è parte dell'area 22 di Brodmann ed ha una citoarchitettura simile a quella dell'area Tpt delle scimmie del Vecchio Mondo. Gannon P.J. et all. dicono che la topografia dell'area Tpt delle scimmie è molto più varia di quanto ci si potesse aspettare. Per questo, le aree del linguaggio umane asimmetriche a sinistra avrebbero un substrato funzionale, frutto di una lunga storia evolutiva. L'asimmetrica citoarchitettura verso sinistra e la grande varietà topografica dell'area Tpt indicano l'esistenza di funzioni multisensoriali soggette a lunghi e complessi fenomeni evolutivi.

Volume endocranico nei pongidi (1,2), ominidi (4-8), Neanderthal (10) ed Homo sapiens (11).

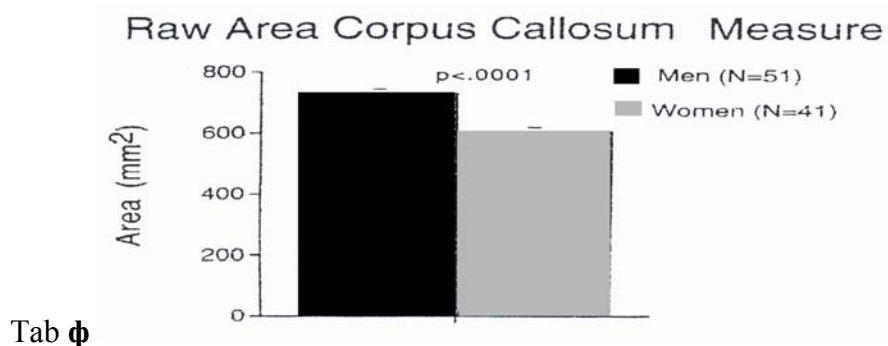


Tab. 4

Ho elaborato la tabella (**tab. 4**) qui sopra sul volume endocranico nei pongidi, ominidi, neanderthal ed *Homo sapiens* da dati di Franklin et al. (2000) e di Rappoport et al. (1999).

5 - Corpo calloso. Dimorfismo sessuale nella specie umana e nelle scimmie.

Sullivan et al. (2001) sostengono un evidente dimorfismo sessuale tra uomini e donne per quanto riguarda lo sviluppo del corpo calloso. Aspetti similari di dimorfismo sessuale si osservano nelle scimmie come affermato da Franklin, (2000). La seguente tabella è riportata dal lavoro di Sullivan (tab. **Φ**).



Franklin et al. (2000), con la metodica MRI nelle scimmie (*Rhesus monkey*) mostrarono un incremento del corpo calloso dall'età di 8 mesi a 7,2 anni. L'incremento era differente a seconda del sesso. Nei maschi l'area del corpo calloso era di $0,56 \text{ cm}^2$ a otto mesi e di $0,93 \text{ cm}^2$ a 7,2 anni. Nella femmina si passava da $0,45 \text{ cm}^2$ a $0,66 \text{ cm}^2$. La tab. **Φ** è tratta dal lavoro di Franklin et all., (2000).

Figura sotto (fig. **II**). Tracciati del corpo calloso di Resus monkey dall'età di sette mesi a 4,5 anni. Mostrano le differenze di forma tra maschi e femmine. Lo splenio (dx) è più largo e bulboso nelle femmine che nei maschi.

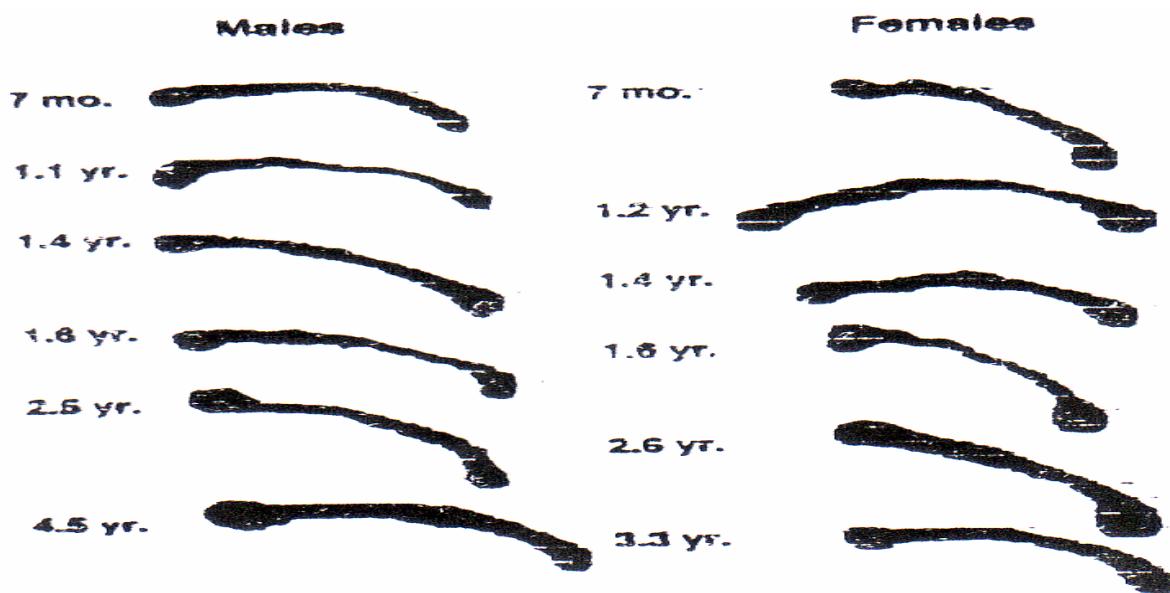
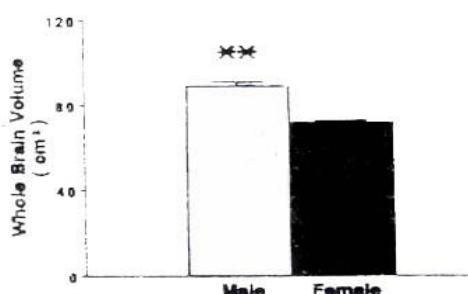


Fig. **II**

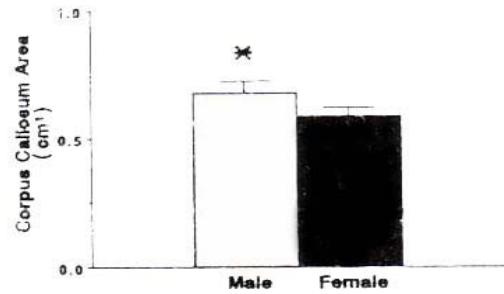
Nelle scimmie, Franklin et al. (1996) riferiscono che la superficie del corpo calloso è del 20% più ampia nel maschio; aumenta tra gli otto mesi ed i 4,5 anni d'età, sia nei maschi che nelle femmine. Lo splenio del corpo calloso è invece in media il 52% più ampio nelle femmine. Splenio del corpo calloso: $0,184 \text{ cm}^2$ (maschi) e $0,280 \text{ cm}^2$ (femmine). L'area superficiale dell'amigdala nelle scimmie non subisce variazioni con l'età senza presentare sostanziali differenze di sesso. Misura $1,7 \text{ cm}^2$ (maschi) e $1,8 \text{ cm}^2$ (femmine).

Tab. 3 (A)



A comparison showing male ($n = 11$) rhesus monkeys whole brain volume (cm^3) is significantly larger ($p < 0.0001$) than females ($n = 9$).

Tab. 3 (B)



A comparison showing male rhesus monkeys ($n = 7$) mid-sagittal area of the corpus callosum is significantly larger ($p < 0.04$) than females ($n = 8$).

Tab 3, A – La comparazione mostra il volume cerebrale di Resus monkey (in cm^3) più ampio rispetto al corrispondente femminile, da Franklin et all., (1996).

Tab 3, B – Il rapporto evidenzia l'area callosale mediana significativamente più ampia in Resus monkey maschio rispetto alla femmina, da Franklin et all., (1996).

6 - Funzioni lateralizzate in specie di primati non umani. Nei primati non umani, la base neurobiologica per le funzioni della vocalizzazione è formata dalle aree primarie e superiori uditive della corteccia temporale, inclusa l'area temporo – parietale in prossimità della giunzione temporo – parietale (Kaas J.H. et all ,1998). Queste aree contengono neuroni che rispondono a differenti classi di specie-specifici suoni (Rauschecker, J.P. et all 1995) e lesioni in questa regione comportano l'immediata assenza di percezione di questi tipi di suoni. Heffner, H.E., and Heffner R.S., (1984); Hupfer, K. et all., (1977). Nei primati, esisterebbero differenze a livello delle corteccie temporali di destra e di sinistra, con un piano temporale che appare più ampio in alcune specie di primati non umani come scimpanzè, gorilla e macachi (Gannon, P.J. et all., 1998; Le May, M. and Geschwind, N, 1975) oltre alle scimmie del Nuovo Mondo (Falk, D. et all., 1986, Heilbronner, P.L. et all., 1988). Rappoport (1999) sostiene che da un punto di vista neurologico, già circa quattro milioni di anni fa esistevano cervelli con organizzazione prettamente umana. L'autore sostiene che il *solco lunato*, la fessura che segna i limiti tra corteccia occipitale e parietale, nell'*Australopithecus* era molto più ingrandito che non nella media dei pongidi. Sembrerebbe verosimile la seguente ipotesi. Nel passare da un cervello di 400 cm³ proprio di uno scimpanzè a quello di 440 cm³, proprio di *Australopithecus africanus*, determinante sia stato il raggiungimento della stazione eretta che avrebbe favorito lo sviluppo *in toto* del cervello. In una ricerca su 29 bonobi (*Pan paniscus*), Chapelain A.S. et all. (2009) dichiarano che i *bonobo* hanno strette preferenze nell'uso di una delle due mani, sia per quanto riguarda i mancini che i destrimani. Cioè, ci sono gruppi di bonobo chiaramente destrimani e gruppi chiaramente mancini. Ciò indicherebbe che il cervello dei bonobo è lateralizzato in riguardo alle funzioni manuali. Nell'Uomo , il 90% degl'individui preferisce usare la destra per una vasta gamma di funzioni: Annett, M., (1985); Fagard J. Droitiers, (1998). Nell'Uomo, l'uso preferenziale della destra si rifletterebbe nella specializzazione dell'emisfero sinistro in riguardo a manuali funzioni, Corballis, M.C., (2003). I *bonobo* esibiscono abilità linguistiche che potrebbero essere superiori a quelle delle altre scimmie, Savage-Rumbaugh S., (1986). Vallortigara e biscazza, (1997) sostengono che la lateralizzazione cerebrale non sarebbe associata al linguaggio umano ed alla dominanza manuale. L'asimmetria cerebrale è presente in una varietà di specie diverse come rane, uccelli canori, rettili, topi, macachi, ecc. Tutte queste specie compreso l'Uomo, mostrano dominanza delle strutture cerebrali di sinistra nel controllo della produzione di specifiche vocalizzazioni. Gli autori dichiararono non essere il possesso del linguaggio verbale a determinare asimmetria tra i lobi cerebrali, ma forse aspetti di elaborazione temporale di sequenze motorie comuni a forme di comunicazione, anche molto diverse tra loro. Gli Autori affermano che numerose specie di uccelli mostrano uso preferenziale di un arto, paragonabile alla dominanza manuale umana. La gran parte dei pappagalli usa la zampa sinistra per reggere il cibo che becca. La preferenza nell'uso dell'arto sinistro stimata in una specie di pappagalli, si aggira sul 90% degli individui di una popolazione.

Vallortigara e Bisazza (1997), affermano che su 110 scimpanzè studiati per l'esecuzione di un determinato compito: estrarre burro di arachidi da un tubo di vetro, la maggioranza reggeva il tubo con la zampa sinistra, usando l'indice della destra per estrarre il contenuto. Ricerche sul cervello delle scimmie sembrano avvalorare l'ipotesi di Vallortigara e di Bisazza. Nei bambini che effettuano medesimi compiti (estrarre un fazzoletto da un tubo di vetro), ci sono analogie: molti cercano di estrarre il fazzoletto con la destra.

7 - Cervello umano. Con circa 100 bilioni di neuroni e un peso di 1.2 – 1.8 Kg., il cervello umano è quasi sempre più grosso dei 0.09 Kg di una scimmia macaca che conta 6.4 bilioni di neuroni, Iming T.G. and Brugge T.F., (1978). Ciò indica che la complessità del cervello umano eccelle di molto quella di un macaco. Qualcuno stima che il cervello umano abbia oltre 200 aree corticali.

L'evoluzione delle aree (cerebrali) avvantaggiò il linguaggio secondo Rivier, F. and Clarke, S. (1997), il riconoscimento visivo di facce ed oggetti (Reale, R.A. 1983), la specializzazione emisferica e lo sviluppo di asimmetrie (Rockland K.S. and Lund J.S., 1983). Ciò che risalta è il grande sviluppo del cervello umano in rapporto alla massa corporea, paragonato a quello delle prime scimmie predecessori degli ominidi (Hutsler J.J. & Cazzaniga, M.S., 1996). Al presente, scimpanzè con corpo similare all'umano e i gorilla con massa corporea di molto superiore all'umana hanno volume cerebrale di 300 – 400 cc., simile al volume cerebrale dei primi ominidi – genere Australopithecus – vissuti circa tre milioni di anni fa. Negli ultimi due milioni di anni, i cervelli dei nostri antenati ebbero rapidi incrementi volumetrici, fino ad arrivare agli attuali di 1300 – 1500 cc. Un così elevato incremento di volume cranico implicò un aumento del numero dei neuroni e del potere di assemblaggio dati. I cervelli umani possono avere sui 100 bilioni di neuroni, comparati ai 6.4 bilioni presenti nelle scimmie macaco: Iming T.G. and Brugge T.F., (1978). Al contrario, nei roditori e specie similari di mammiferi, la media del volume cerebrale e densità neuronale sono rimaste piuttosto costanti rispetto al grande incremento volumetrico dei primati. Quindi, il cervello umano ha ampio volume ed anche un elevato numero di neuroni, rapportato ad un ipotetico roditore che avesse sviluppato un altrettanto voluminoso cervello. Nel cervello umano, l'elevato numero cellulare permise ottimali interconnessioni, più brevi e locali con la conseguente riduzione di quelle lunghe. Il cervello divenne più modulare; le vaste aree primarie cessarono di ampliarsi e si distinsero piccole aree corticali che secondo alcuni assommerebbero – al presente – intorno alle duecento. Ci fu forse la stabilizzazione delle aree corticali più vaste, ognuna delle quali cominciò ad includere specifiche funzioni, mediate al massimo grado. Il risultato sarebbe stato che piccole aree - interconnesse in modo ottimale – sono le migliori nelle funzioni di comparazione globale; le ampie aree sensoriali sono invece ottimali per le comparazioni dei dettagli locali.

Hutsler J. and Ralf A.W. Galuske, (2003) affermano che strutture colonnari e di connessione tra corteccia uditiva ed aree preposte alla produzione del linguaggio nell'emisfero sinistro siano distinte dal punto di vista anatomico e funzionale dalle omologhe di destra. Un principio generale di micro struttura anatomica e funzionale di corteccia cerebrale è dato dalla sua organizzazione modulare. Questi moduli sembrano attraversare verticalmente tutti gli strati corticali, secondo un ordine simil colonnare. Le micro-colonne anatomiche hanno un diametro di 20 – 50 μm , dipendono dalla specie e dall'area corticale considerata e sono formate da cellule piramidali dalle lunghe connessioni: Buxhoeveden D.P. & Casanova M.F., (2002). Secondo Jones E.G. (2000), formerebbero piccole unità di assemblaggio all'interno della corteccia cerebrale. Invece, le macro colonne anatomiche possono ritenersi zone di terminazione assoniche formate da fasci di connessione talamo-corticali (Levay, S. et all., 1978), cortico – corticali (Innocenti, G. M., 1986) ed intrinseche (Rockland K.S. and Lund J.S., 1983). La maggior parte dei ricercatori afferma che le macro – colonne hanno un diametro di 200 – 700 μm . Il tipo di asimmetria colonnare trova un correlativo aspetto nella circolazione sanguigna cerebrale. Con metodiche di sonografia trans cranica Doppler simultanea e bilaterale, Bulla – Helwig M. et all., (1996) rilevano variazioni di flusso sanguigno in entrambi i lobi cerebrali. Gli Autori dimostrano che i parametri dell'attività corticale sono in stretta correlazione con variazioni di velocità sanguigna nelle arterie cerebrali medie e posteriori. Nel 2000, Ide K. et all. hanno dimostrato che esiste un più intenso controllo simpatico sulle arterie che irrorano il lobo cerebrale di destra e significa che il flusso sanguigno a livello della corteccia media di sinistra è più costante e stabile, mancando il bisogno di un intenso controllo simpatico da parte del ganglio stellato. Aspetti della forte e chiara dominanza emisferica sinistra in prove di abilità verbale sarebbero registrabili sia a livello corticale, sia a livello dell'arteria cerebrale di sinistra che ha un incremento di flusso sanguigno di quasi il doppio che nella controlaterale. Hutsler J. and Ralf A.W. Galuske, (2003) dimostrano che la concentrazione dei campi colonnari sopra descritti è

maggiori nell'emisfero sinistro che nel destro. Ci sarebbe correlazione tra flusso sanguigno nell'arteria cerebrale media e concentrazione dei campi colonnari corticali. Il numero di Reynolds, la legge di Darcy e l'equazione di Poiseuille dipendenti dalla frequenza cardiaca, dal diametro vasale e dalla viscosità del sangue potrebbero giocare il ruolo di attrattori per la regolarità di flusso sanguigno nel sistema circolatorio cerebrale. I tre parametri forniti dal numero di Reynolds, dalla legge di Darcy e dall'equazione di Poiseuille influiscono sul corretto funzionamento non solo del sistema circolatorio sanguigno, ma hanno dirette correlazioni nella corticogenesi, Hutsler J. and Ralf A.W. Galuske, (2003), Lovick et all., (1999).

Seldon H.L., (1981, 1982) trovò che il tipo di asimmetria connessa alla distanza inter-colonnare era presente in diverse regioni uditive, ma assente nella corteccia uditiva primaria.

Andreson B, et all., (1999) rilevarono che piccole cellule piramidali con ramificazioni afferenti lunghe avevano anche un incremento di branchie ed un maggior numero di spine dendritiche nell'emisfero sinistro. Dando per scontato che il numero delle cellule gliali sia similare nelle due regioni, il diverso grado di asimmetria deriverebbe da connessioni corte e lunghe tra adiacenti campi colonnari, formate dai dendriti di base. Hutsler J. and Ralf A.W. Galuske (2003) indicano che l'emisfero sinistro contiene un gran numero di sistemi macro-colonnari selettivamente interconnessi che non il destro. La differente organizzazione e connettività macro e microcolonnare potrebbe essere un importante vantaggio per l'emisfero sinistro nella estrapolazione di cruciali informazioni temporali tra una gamma di stimoli uditivi, analizzandoli in condizioni diverse (in un diverso contesto anatomico e funzionale), rispetto all'emisfero destro.

Hart, B.L. et all., (2008) descrivono la citoarchitettura neuronale corticale nell'Elefante, nelle grandi scimmie e nell'Uomo e affermano che la densità cellulare in queste aree cerebrali è molto maggiore nell'Uomo rispetto alle scimmie e all'Elefante. I primati – Uomo compreso – hanno maggiore densità neuronale, mentre l'Elefante sebbene abbia un cervello molto pesante, ha una densità neuronale molto bassa. Nell'Uomo, le interazioni tra neuroni corticali sembrano essere più estese e determinate aree hanno una maggiore densità cellulare. Inoltre, l'elaborazione delle informazioni a livello corticale sembra procedere più lentamente nel cervello di Elefante rispetto ai Primi. Specialità accentuate nell'Uomo. Nei cervelli con superiori prestazioni, la capacità di elaborare informazioni dipende dal numero dei neuroni, dalla loro disposizione spaziale, dalle prestazioni e tipo d'interconnessione, oltre che dalla distanza tra neuroni interagenti. In linea generale, un cervello con minore connettività corticale ha lenti processi di elaborazione delle informazioni. Nel Delfino, avvengono fenomeni analoghi a quelli della corteccia cerebrale di Elefante. Nel Delfino, ci sarebbero numerose aree silenti (silent areas) prive di connessioni, o con scarsi collegamenti con altre aree corticali funzionanti (Hopkins & Lori Marino, 2000).

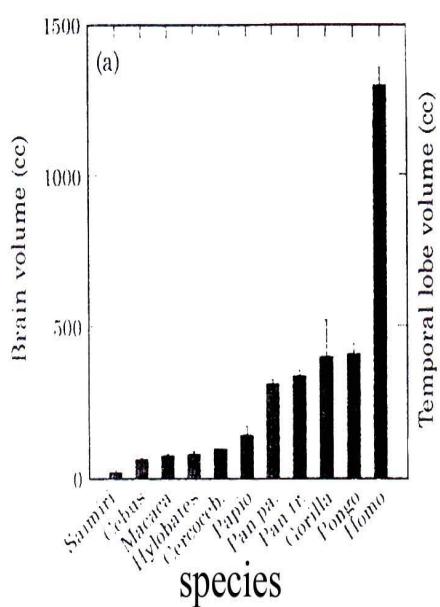
Nell'Uomo, Jayasundar R. e Raghunathan P., (1997) hanno osservato in quasi tutte le regioni del cervello – frontale, parietale, temporale, occipitale, talamica e del cervelletto, l'esistenza di asimmetrie strutturali e funzionali. Con la STEAM (spettroscopia ad emissione di positroni), la risonanza magnetica nucleare (MRS) e la tomografia Doppler trans cranica, gli stessi Autori esaminarono 100 volontari umani destrimani, rilevando questi dati.

1. Marcata differenza tra i lobi cerebrali, in particolare nelle aree temporali.
2. La MRS ha evidenziato la zona del Gyrum più ampia a sinistra.
3. Il *Planum temporale* è abbondantemente più largo nell'emisfero sinistro.
4. Il lobo occipitale sinistro è più ampio del destro.
5. C'è maggiore densità di cellule nelle aree dell'emisfero sinistro che è anche più fessurizzato.

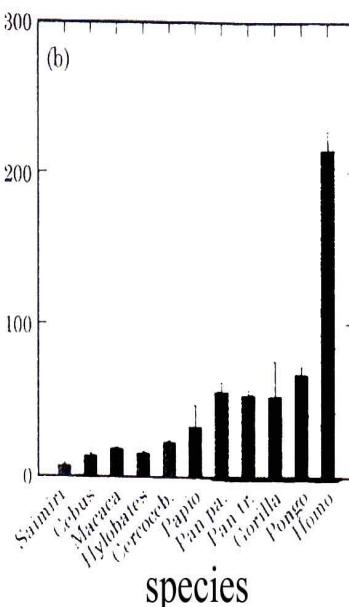
8 - Cervello Uomo – Scimmia. Differenze. Rilling e Seligman (2002), hanno fatto indagini allometriche con la MRI su 44 primati viventi di 11 diverse specie, in comparazione con l'Uomo. Gli esami riguardavano il volume *in toto* del cervello, i lobi temporali, il giro temporale superiore,

la sostanza bianca del lobo temporale, l'area superficiale sul giro temporale superiore e il giro temporale corticale di entrambi i lobi temporali. Dalle indagini risulta il volume *in toto* dei lobi temporali essere superiore nell'Uomo, seguito da Pongo e Gorilla. Però tracciando la *ratio*, la classifica s'inverte e l'Uomo insieme con Pongo e Gorilla sono ultimi. Si evince che aumentando il volume cerebrale in particolare a livello corticale, le asimmetrie tra i due lobi temporali si riducono, in linea generale. Cioè, il paragone va fatto in individui della stessa specie. Ad esempio, tra lobo temporale di sinistra e lobo temporale di destra, nell'Uomo. Tra lobo temporale di sinistra e di destra nel Gorilla ecc. Il cervello umano avrebbe grosso volume e ampie asimmetrie, sia nel lobo destro che nel sinistro. Nell'Uomo, il rapporto complessivo delle asimmetrie tra lobo destro e lobo sinistro è più accentuato che in tutte le altre specie di mammiferi compreso le grosse scimmie. La specie umana ha il più alto coefficiente di lateralizzazione cerebrale. A livello di Planum temporale di sinistra nell'Uomo destrimane, altri A.a. evidenziano asimmetrie molto più marcate rispetto ai primati. Le tre tabelle di seguito sono di Rilling e Seligman (2002).

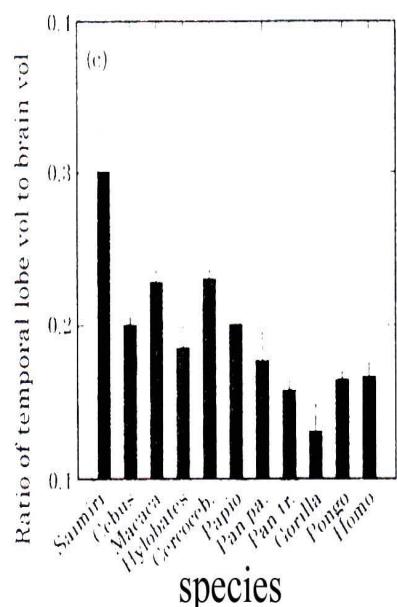
TAB. 4 A



TAB 4 B



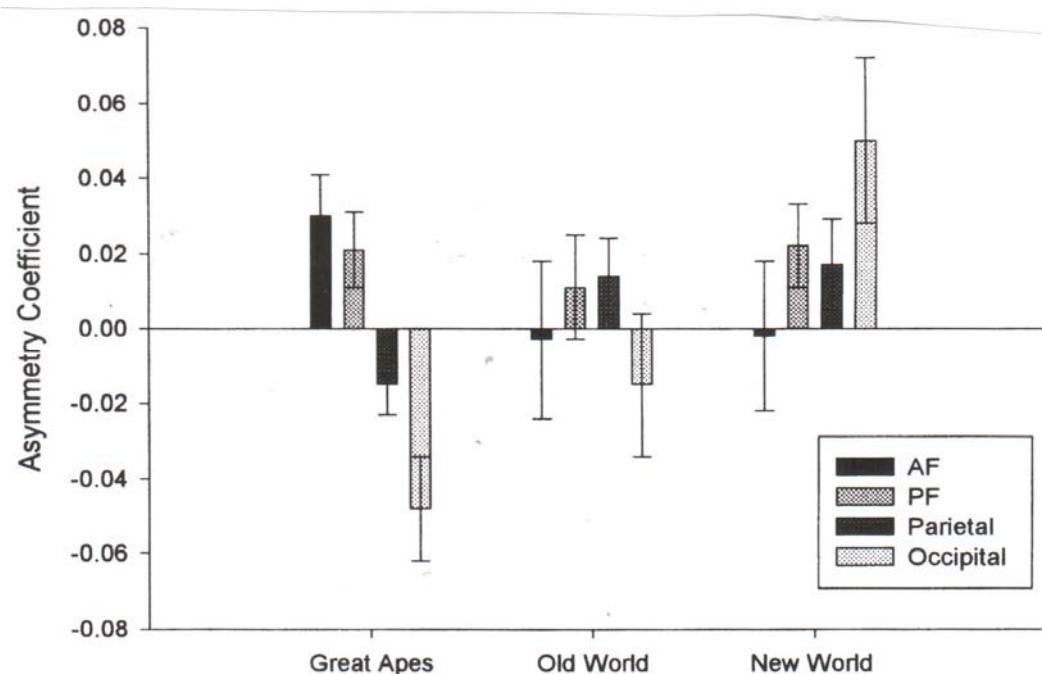
TAB 4 C



Tab. 4 (a) che mostra sulle ordinate il volume cranico espresso in centimetri cubici e sull'asse delle ascisse le varie specie di primati e l'Uomo con quest'ordine: Samuri, Cebus, Macaca, Hylobates, Cercoceb., Papio, Pan paniscus, Gorilla, Pongo, Homo. Nella specie umana, il volume cranico è di gran lunga superiore. Tab. 4 (b): mostra come il volume del lobo temporale sia nettamente superiore nella specie umana rispetto alle specie (ascissa) di primati. Tab. 4 (c): La *ratio* calcolata facendo il rapporto tra volume cerebrale *in toto* e quello dei lobi temporali di entrambi i lati. Sull'ascissa sono riportate le varie specie, Uomo compreso. Questo rapporto è molto basso nella specie umana ed alto per esempio, nei macachi e cercopitechi. Il rapporto proporzionale tra il volume cerebrale e quello relativo ai lobi temporali è più alto nelle specie con cervello piccolo ad esempio, il Samuri con una *ratio* di 0.30. Questo valore va decrescendo in specie con cervelli grossi. Di conseguenza, la *ratio* media tra ciascuna delle quattro specie di grandi scimmie è inferiore che in ciascuna delle piccole specie di scimmie, compreso *Hylobates*. Tuttavia, la ratio media di Homo (0.17) supera quella delle grandi scimmie (valori tra 0.13 – 0.18) perché il cervello umano è tre – quattro volte più grosso. Per questo, la *ratio* in Homo è più alta di quanto ci si aspetti in rapporto al volume cerebrale. Gli stessi autori ritengono le loro osservazioni in accordo con l'anatomia funzionale dei lobi temporali che è differente tra Uomo e scimmie pur essendoci molti aspetti in comune. Infatti, porzioni del giro temporale superiore (STG) sono devolute alle

elaborazioni vocali specie-specifiche. Studi funzionali di neuro immagine e neurologici di funzioni linguistiche umane implicano l'esistenza di estese aree temporali corticali ventrali al giro temporale. Per esempio, rilevamenti di neuro immagine per la comprensione verbale, riportano la consistente attivazione bilaterale delle aree Brodman 21 e 22 – giri temporali medio e superiore – e a volte di BA 38 nei poli temporali. Studi neurologici su pazienti con lesioni cerebrali suggeriscono che i nomi retrogradi per oggetti coinvolgono il lobo temporale sinistro – quando la classe di oggetti sono persone – e la parte inferiore del lobo temporale sinistro, quando la classe di oggetti riguarda animali o cose. Ciò suggerisce che l'espansione della corteccia relativa al linguaggio, sulla superficie laterale del lobo temporale umano, essere più ventrale e caudale rispetto alle scimmie nelle quali è sulla superficie laterale del lobo temporale, in prossimità del giro temporale inferiore. Per questo, l'espansione extra allometrica del lobo temporale umano riportata da Rilling e Seligman, potrebbe collegarsi specificamente allo sviluppo corticale del linguaggio, in special modo allo sviluppo della sostanza bianca di supporto (alle funzioni linguistiche). Questa specializzazione del cervello umano deriva dal significato aggiuntivo dato dai recenti studi di neuro anatomicia sulle asimmetrie cerebrali a livello d'area Brodman 44 – area di Broca – ed a livello di Planum temporale (area di Wernicke). Le due aree ritenute rappresentare le funzioni specifiche del linguaggio umano, sono presenti anche nelle grandi scimmie. Gli autori affermano che data la diversa disposizione funzionale del lobo temporale, non si possano escludere altre spiegazioni circa la spropositata larghezza del lobo temporale umano. Secondo gli autori, anche il giro temporale superiore (STG) è similare tra Uomo e grosse scimmie, ma analisi più accurate suggeriscono essere molto più ampio nell'Uomo. Cantalupo C. ed Hopkins W., (2001) affermano che l'area 44 di Brodmann – più ampia nell'emisfero sinistro – è una regione molto importante per la produzione del linguaggio umano. Gli A.a. affermano che un'asimmetria similare – compresa la dominanza emisferica sinistra è presente in tre specie di grandi scimmie: *Pan troglodytes*, *Pan paniscus* e *Gorilla gorilla*. La seguente tabella (**tab 5**) è tratta dal lavoro di Hopkins W.D., Marino L. (2000).

Tab. 5



La tabella di Hopkins e Marino indica la media di AQ (quoziente di asimmetria), ricavato con la formula generale:

$$AQ = \frac{(R - L)}{(R + L)} \cdot 0,5$$

R = asimmetria verso destra, L = asimmetria verso sinistra. I valori positivi di AQ riguardano le asimmetrie lobo destro > lobo sinistro. I valori negativi sono le asimmetrie inverse: lobo sinistro > lobo destro. **AF** = lobo frontale anteriore. **PF** = lobo frontale posteriore. Dal grafico si evince che le grosse scimmie hanno un lobo frontale più ampio a destra che a sinistra ed un lobo occipitale più ampio a sinistra che a destra. Cantalupo C. e Hopkins W. (2001) suggeriscono che i substrati anatomici per la dominanza dell'emisfero sinistro nella produzione di parole fossero già evidenti oltre i cinque milioni di anni fa e non riguarderebbero solo la specie umana. MacLeod et al. (2003) - con rilievi morfometrici supportati dalla risonanza magnetica a scansione e metodiche istologiche su 97 specie, compreso l'Uomo - hanno rilevato incremento delle parti laterali del cervelletto, in ominidi e Uomo. L'incremento cerebellare - in particolare la parte laterale di esso - è cominciato in epoche remote ed è stato graduale ed uniforme. Secondo gli autori, ciò dimostra che un unico ominide precursore avesse avuto già queste peculiarità cerebellari che lo differenziavano dai primati, in particolare le grosse scimmie. Le zone laterali del cervelletto - affermano gli autori - hanno ruolo primario nelle funzioni visivo spaziali, nella discriminazione sensoriale e nella manipolazione degli oggetti. Ciò spiegherebbe la differenza a livello evolutivo di quest'organo tra Uomo e scimmie. MacLeod et al., dimostrano l'esistenza di un rapporto volumetrico omologo cervello/cervelletto tra Uomo e scimmie del Vecchio Mondo, il cui valore oscilla tra 0,82-0,83. È questa un'altra analogia a livello encefalico tra Uomo e scimmie. Zilles et al. (1996) diedero alcuni dati interessanti qui ricapitolati.

- Uomo. Emisferi cerebrali, corteccia e materia bianca erano asimmetrici e più sviluppati a sinistra, nei destrimani. Nei mancini, erano in genere simmetrici.
- Gorilla. Asimmetrie in proporzione, meno marcate che nell'Uomo. Queste si riscontrano in particolare nella parte terminale della scissura silvana.
- Orango. Si osservano le stesse caratteristiche del cervello di Gorilla.
- Scimpanzè. Poche asimmetrie cerebrali. Anche i *petalia* cioè le protuberanze frontali ed occipitali, non hanno differenze di rilievo.

Riportandoci al lavoro di Zilles e al. (1996), possiamo avanzare le seguenti considerazioni. Dal punto di vista filogenetico, lo Scimpanzè è il primate più vicino all'Uomo. Cioè si ha: Uomo, Scimpanzè, Gorilla e Orango. Se consideriamo lo sviluppo di alcune aree cerebrali come il Planum temporale e Planum parietale, viene fuori questa classificazione (fig. **a**).

Fig. a

Capacità cranica, Uomo: 1230 cm³, Gorilla: 535 cm³, Orango: 425 cm³, Scimpanzè: 400 cm³.



UOMO



GORILLA E ORANGO



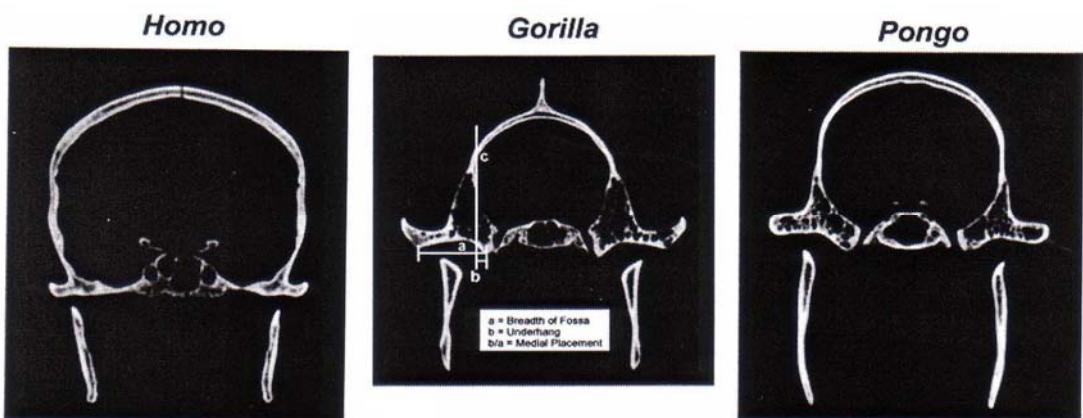
SCIMPANZE'

Sembra che lo sviluppo asimmetrico di PT e PP nelle rispettive specie, sia dovuto al volume cerebrale *in toto*. In una specie, maggiore è il volume del cervello e più marcate asimmetrie

presenta. Dal punto di vista filogenetico, Scimpanzè è vicino alla specie umana. Nel suo insieme però il cervello di Scimpanzè (vol. 400 cm³) è quasi simmetrico. Nell’Uomo e grosse scimmie, nella maggioranza dei casi, il cervello è *in toto* asimmetrico verso sinistra. Anche lo sviluppo del PT e del PP sembra collegato al maggior volume del cervello *in toto* proprio di ciascuna delle quattro specie qui considerate (Uomo, Scimpanzè, Gorilla e Orango).

Sherwood et al. (2002), effettuarono 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 è laterale nelle grosse scimmie. Negli ominidi, si ha la stessa ubicazione dell’Uomo moderno e la fossa mandibolare è in entrambi ampia. Secondo gli autori, queste differenze sono rapportabili alla funzione masticatoria ed allo sviluppo cranico in senso laterale (Fig. 10, da Sherwood).

FIG. 10



Nel corso dell’evoluzione umana, l’aumento volumetrico del cranio ha comportato lo spostamento in senso laterale della squama del temporale sulle piccole ali dello sfenoide. Come la fig. 8 mostra, lo spostamento laterale dei punti A e B consequenziale a quello tra le due ossa squamose dei temporali, comporta aumento di diametro e volumetrico del segmento sferico ad una sola base che racchiuse l’encefalo (calotta cranica). Questo segmento sferico ha per base una circonferenza con diametro AB. Il volume di tale segmento di sfera con base la circonferenza per diametro AB è dato dalla seguente formula:

$$V = 1/6 h (h^2 + 3r^2).$$

L’aumento volumetrico del segmento sferico dipende, oltre che dall’altezza - distanza tra le ossa parietali e base cranica - dal quadrato del raggio moltiplicato per tre. Questo tipo di articolazione – sutura squamosa – avviene tra superfici ossee tagliate a sbieco, una a livello della superficie interna (squama del temporale) ed una a livello della superficie esterna (ali temporali o piccole ali dello sfenoide): lo spostamento laterale dei punti A e B comporta aumento in altezza (**h**) della cavità cranica. Nell’Uomo, si sono verificati incrementi di **h** e di **r** nel corso dell’evoluzione. In *Homo* di *Neanderthal* si ebbe maggiore incremento di **r** ed in *Homo sapiens* ed *Homo sapiens sapiens*, un

incremento di **h**. Fatto analogo si ebbe nei delfini dell'Eocene con massa cerebrale superiore agli attuali: Rappoport, (1999). Nel Gorilla e nel Pongo, su scala evolutiva, si è avuta scarsa elevazione (e scivolamento) tra ali dello sfenoide e squama del temporale.

Fig. 8



9 - Asimmetrie cerebrali connesse in modo stretto alla produzione del linguaggio umano. Poeppel e Hickok (2004), sottolineano il coinvolgimento di diverse aree cerebrali corticali, di nuclei della base e del cervelletto nella produzione del linguaggio umano la cui complessità è collegata a fenomeni evolutivi, altrettanto peculiari. Bosman, C. and Garcia, R.R., (2004) indicano asimmetria sinistra > destra riferita ad alcuni tipi di neuroni ricchi di acetilcolinesterasi nell'area Brodman 45, collegata alla lateralizzazione funzionale del linguaggio umano. Vernoij, M.W., et all., (2007) affermano che l'asimmetria della sostanza bianca a livello di aree nervose specializzate nelle capacità di eloquio sarebbe da collegarsi all'asimmetria strutturale del fascicolo arcuato. Esisterebbero asimmetrie strutturali del cervello umano sotto vari aspetti e a differenti scale. La comparazione di regioni omotopiche all'interno dei due emisferi encefalici ha ampliato le conoscenze ed ha permesso la classificazione, qui riportata. Differenze dell'arborizzazione dendritica: Vermooij et all., (2007), Dogil et all. (2002), Lovick et all. (1999); ubicazione peculiare di cellule neuronali: Hutsler, J.J. and Gazzaniga, M.S. (1996); oppure di citoarchiettura: Amunts et all. (1999, 2000), Jenner et all. (1999); differenze nella disposizione, aspetti e volumi di aree cerebrali, di solchi, di gyri oppure dei lobi nel loro insieme: Toga and Thompson, (2003). Alcuni studi hanno evidenziato asimmetrie cerebrali di struttura in termini di gyricizzazione, di volumi regionali o in riferimento alla microstruttura della sostanza bianca, espressioni di stadi tardivi dell'ontogenesi umana: Chi, J.D., Dooling, E.C., and Gilles, F.H. (1977); de Lacoste, M.C., Horvath, D.S., and Woodward, D.J. (1991); Galaburda, Le May, Kemper and Geschwind (1978); Gupta et all. (2005). Wilkins e Wakefield (1995), desumono che *Homo habilis* (2,5-2 milioni di anni fa) siano stati i primi ominidi con configurazione neuro-anatomica di supporto, adatta ad elaborare elementi concettuali. Per Lieberman (1984, 1985, 1989), ci sarebbe stato un pre-adattamento per l'emersione della sintassi e fonologia, in risposta a pressioni selettive legate al controllo motorio e all'articolazione del linguaggio. La competenza linguistica richiede la cooperazione di molte aree corticali. Se una parola è udita, la corteccia uditiva primaria riceve la sensazione dagli orecchi, ma la parola non è compresa fino a che il segnale non è elaborato dalla vicina area di Wernicke. Se si vuole pronunciare una parola, l'area di Wernicke trasmette una sua rappresentazione all'area di Broca attraverso un fascio di fibre nervose chiamato fascicolo arcuato. Nell'area di Broca, la parola evoca un dettagliato programma di articolazione, che sarà trasmesso alla regione facciale della corteccia motoria. A sua volta, la corteccia motoria attiva i muscoli delle labbra, lingua, laringe e così via. Se si legge una parola scritta, la sensazione è registrata dalla corteccia visiva primaria. Si pensa che la successiva elaborazione intervenga a livello della circonvoluzione angolare che associa la forma

visiva della parola con la rappresentazione uditiva corrispondente all'area di Wernicke. La parola è pronunciata poi con il meccanismo descritto. Secondo Christiansen MH e coll. (2003), il linguaggio umano sarebbe nato dalla interazione di tre distinti sistemi di adattamento: apprendimento individuale, trasmissione culturale ed evoluzione biologica. Nopoulos et al. (2001), hanno effettuato minuziose misurazioni del cervello umano per trovare differenze tra i sessi. Gli autori affermano che nei due sessi l'emisfero destro ha volume superiore. Nopoulos et al., hanno fatto la loro ricerca con la metodica MRI su un vasto gruppo di persone sane (42 maschi e 42 femmine) dai due anni d'età ai trentuno, tutte destrimani. Le misurazioni riguardavano i seguenti parametri: il volume del tessuto cerebrale, il rapporto quantitativo tra materia grigia e bianca nei due sessi e la superficie corticale. Gli autori riportavano questi dati:

1. Volume intracranico maschile maggiore rispetto a quello femminile (circa 7-10%).
2. Emisfero cerebrale destro più grande del sinistro, sia negli uomini che nelle donne.
3. Il volume cerebrale non presentava differenze riferite al sesso.
4. Maggiore distribuzione nell'emisfero destro della materia grigia in entrambi i sessi.
5. Piccole differenze regionali nella distribuzione della materia grigia nei due sessi.

I dati di Nopoulos sono sovrapponibili a quelli ricavati in razze di scimmie da Cantalupo C. ed Hopkins W. (2001), Franklin et all., (2000), Sullivan et al. (2001), Rilling e Seligman (2002), Zola S.M. et all., (2000); Murray & Bussey, (1999).

10 - Evoluzione cerebrale Uomo – Scimmia. Differenze. I dati scientifici più recenti riportano che la scissione tra ominidi, Scimpanzè e Gorilla avvenne intorno ai sette milioni di anni fa. Il bipedismo si sarebbe verificato nell'Uomo in un'epoca molto vicina alla differenziazione di due specie di primati: quella degli scimpanzè e quella degli ominidi. B.G. Richmond e William L. Jungers (2008) ritengono che *Orrion* avesse una postura simile a quella degli australopitechi e dei parantropi, i due generi che domineranno il nostro albero genealogico fino a due milioni di anni fa. I due scienziati affermano che nell'evoluzione umana gli adattamenti più importanti si sono presentati in modo episodico, in concomitanza con la nascita di nuove specie di ominidi, come punteggiature incastionate in lunghi periodi di stabilità. *Orrion* avrebbe però mani e arti superiori molto sviluppati come uno scimpanzè quadruman che si arrampica sugli alberi per nutrirsi e difendersi dai predatori. L'andatura bipede si sarebbe affermata in *Homo* per due motivi.

1. Un repertorio di locomozione flessibile come poter correre, nuotare ed arrampicarsi sugli alberi in caso di necessità.
2. Una minore esposizione della superficie corporea ai raggi solari.

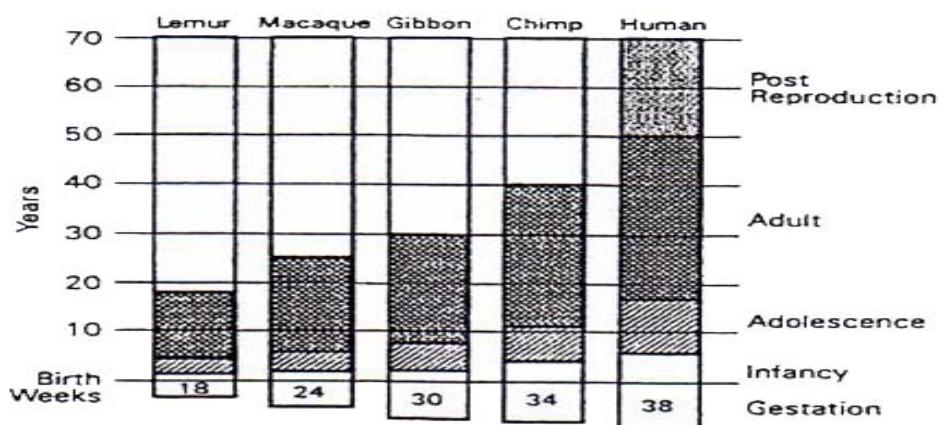
B. G. Richmond e William L. Jungers (2008) sono convinti che per sopravvivere *Orrion* fosse stato costretto a spostarsi da una zona divenuta torrida ad una più amena. *Orrion* si trovava infatti in una parte del continente africano ad oriente della Rift Valley che si stava inaridendo. Se per sopravvivere devi attraversare ampi spazi aperti sotto un sole tropicale, portando forse in braccio un cucciolo e cercando di avvistare i predatori acquattati tra l'erba alta, il bipedismo è soluzione efficace ancor più se lo hai sviluppato occasionalmente sugli alberi per cibarti. Pickford M. et all. (2002) rilevarono che *Orrion tugenensis* era abitualmente bipede con aspetti morfologici simili agli Australopitechi ed al genere *Homo*, distinguendosi nettamente dai primati del genere *Pan* e *Gorilla*. Il femore di *Orrion* è morfologicamente più vicino a quello dei moderni umani che a quello degli Australopitechi. Senut B., (2006) è convinta che nell'evoluzione umana il bipedismo sia stato uno degli aspetti distintivi e che fosse già presente a fine Miocene presso gli ominidi arboricoli nella savana dell'odierno Kenia. *Orrion tugenensis* visse in quell'epoca, in quelle zone e fu bipede.

Nella specie umana in confronto con la Scimmia, ci sono differenze notevoli connesse allo sviluppo fetale del cervello, alla sua densità neuronale e sinaptica.

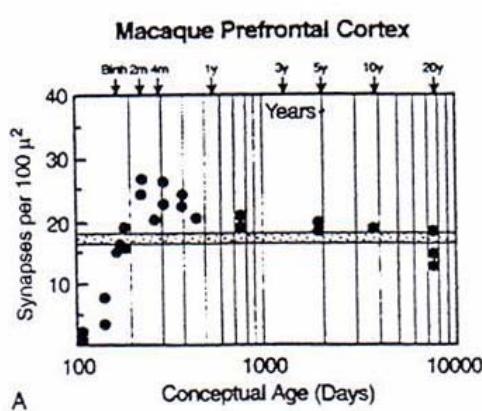
Le tabelle 6 e 7 sono tratte da uno studio di Rappoport (1999) sull'evoluzione del cervello umano. La prima tabella evidenzia la durata dello sviluppo pre-natale nell'Uomo che appare superiore a quello di altri primati. La seconda tabella, la no 6 (A e B) evidenzia la differente densità sinaptica tra Scimmia e Uomo, in alcune aree del cervello. Nell'Uomo, la densità sinaptica della corteccia frontale raggiunge l'apice verso i cinque anni di vita. Nella scimmia, questa densità è in aumento negli ultimi periodi di vita intrauterina e primi mesi dopo la nascita.

Tab. 6 – Rapporto proporzionale tra ciclo vitale e gestazione in primati in ordine alla differenziazione tra le specie ed all'evoluzione del cervello.

Tab 6

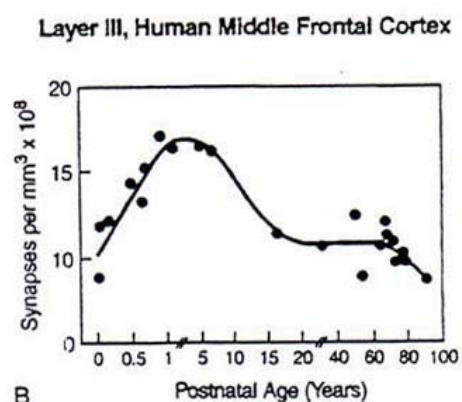


Proportionality of life phases and gestation in primates in relation to order of speciation. From [121].



A

TAB 7 A



B

TAB 7 B

Tab. 7 **A** – Densità sinaptica durante la maturazione cerebrale. Densità sinaptica a livello della corteccia cerebrale di Macaco in varie età. La linea orizzontale - asse delle ascisse - indica la densità media sinaptica in animale adulto.

Tab.7 **B** – Uomo. L’indice di età - in giorni – dopo il concepimento è mostrato su scala logaritmica: la densità sinaptica nel giro mediale frontale in relazione all’età, nell’Uomo. Sull’asse delle ordinate è espressa questa densità sinaptica per millimetro cubico.

Analoghi risultati furono riportati da Paus, (2001). Con la metodica MRI, in uno studio su un gruppo di infanti, ragazzi ed adolescenti, Paus (2001) ha osservato che la materia grigia cerebrale ha il massimo sviluppo intorno ai cinque anni. La materia bianca ha cresciuta più lenta e completa la sua maturazione intorno al ventesimo anno.

Kimberley A. Phillips e William D. Hopkins (2007), hanno effettuato uno studio comparativo sull’asimmetria cerebellare e le implicazioni dell’uso preferenziale di una delle mani, in scimpanzè (*Pan troglodytes*) e scimmie cappuccine (*Cebus apella*). Gli autori hanno ricavato dati comportamentali sulla coordinazione bimanuale in un gruppo di 16 scimpanzé e 11 cappuccine. Gli scimpanzè avevano maggiore protuberanza a livello del cervelletto posteriore e le cappuccine una più spiccata protuberanza della parte cerebellare anteriore: le asimmetrie cerebellari associate all’uso preferenziale di una delle mani nelle cappuccine, ma non negli scimpanzè. Questo aspetto era più pronunciato nelle cappuccine destrimani. Nelle grandi scimmie, Le May (1985) trovò la scissura silvana più lunga a sinistra. Nei babbuini, il polo frontale destro era più ampio in sei cervelli su sette; nel settimo c’era uguale lunghezza. Le misurazioni sarebbero equiparabili alle umane, dove il polo frontale destro protrude in avanti. Rosen et all., (1996) hanno trovato che negli scimpanzè la scissura silvana è più lunga nell’80% degli animali esaminati, il 12% priva di asimmetrie e l’8% con asimmetria inversa. La percentuale sarebbe molto vicina a quella riscontrata nell’Uomo. Zilles et al. (1996), hanno segnalato asimmetrie meno marcate rispetto a quelle dell’Uomo. Nello Scimpanzè, gli stessi Autori affermano la presenza di poche asimmetrie non sempre evidenti. La forma *in toto* del cervello è similare in *Homo* e grosse scimmie, ma il quoziente di encefalizzazione è molto diverso. Wisco J. J. et all., (2008) hanno effettuato uno studio sull’intera corteccia cerebrale con tecniche TDS di segmentazione automatica ed ECO immagini DE - SE in ausilio al MRI su un gruppo di scimmie: otto giovani (5 – 12 anni), sei di media età (16 – 19 anni) ed otto vecchi (24 – 36 anni). Gli Autori hanno analizzato gli standard dei volumi medi in diciotto regioni cerebrali definite in automatica, trovando un generale decremento volumetrico nel passare dalla giovane età alla vecchiaia. In particolare, c’erano queste percentuali di decremento volumetrico:

- 5.01 % nella parte anteriore.
- 5.24 % parenchima cerebrale.
- 11.53 % materia bianca cerebrale anteriore
- 2.08 % materia grigia cerebrale anteriore
- 11.79 % nucleo caudato
- 18.26 % globus pallidus.

Gli autori affermano che non era statisticamente rilevante il generale decremento volumetrico corticale in funzione dell’età, nel gruppo di scimmie esaminato ($P = 0,4800$), né c’era un evidente declino cognitivo. Le regioni esaminate erano state: terzo ventricolo, regioni talamiche ed ipotalamiche, ventricoli laterali, cervelletto, quarto ventricolo, cavità cranica, cervello anteriore, parenchima cerebrale anteriore, sostanza bianca anteriore, sostanza grigia anteriore, corteccia cerebrale, nucleo caudato, putamen, globus pallidus, claustrum.

Tab. χ

Famiglia	volume endocranico in cm ³	tempo di appartenenza in milioni di anni fa
PONGIDI		
Pan troglodytes	383	7.05
Pan panicus	343	3.01
OMINIDI		
Australopithecus afarensis	401	4-2.5
Australopithecus africanus	442	3.2-2.2
Homo habilis	644	2.05
Homo erectus javanicus	926	1.3-0.6
Homo erectus pekinensis	1043	0.7-0.5
Homo sapiens		
(neanderthalis	1487	>0.22
Homo sapiens sapiens	1365	0.02

Ho prodotto la tabella χ dai dati di Liégeois-Cauel, C. et all., (2001), Jerison (2001), Kaas J.H. (2008), Rilling e Seligman (2002) e riferisce volume endocranico e peso corporeo in ominidi e scimpanzè. Ad eccezione del moderno *Homo sapiens* e Pan, i restanti parametri si riferiscono a specie viventi. Il vol. endocranico di *Homo neanderthalis* (1487 cc) è superiore a quello di *Homo sapiens sapiens* (1365 cc). Fenomeno analogo si osserva in specie di delfini dell'Eocene il cui volume endocranico era nettamente superiore alle contemporanee specie di cetacei. Rappoport (1999) sostiene che da un punto di vista neurologico, già circa quattro milioni di anni fa esistevano cervelli con organizzazione prettamente umana. L'autore sostiene che il *solco lunato*, la fessura che segna i limiti tra corteccia occipitale e parietale, nell'*Australopithecus* era molto più ingrandito che non nella media dei pongidi. Sembra che nel passare da un cervello di 400 cm³ proprio di uno scimpanzè a quello di 440 cm³, proprio di *Australopithecus africanus*, determinante sia stato il raggiungimento della stazione eretta che avrebbe favorito lo sviluppo *in toto* del cervello. Ad una più approfondita indagine emergono fatti contraddittori: in alcune razze di delfini dell'Eocene (Doruton atrox) la massa cerebrale era superiore a quella dei delfini attuali, Marino et all., (2000). Tra le due razze, non c'erano differenze di postura: nuotavano in acqua ed avevano la conformazione corporea similare, propria di un cetaceo. In *Homo neandethallianus* – vedere sopra la tab. χ - la massa cerebrale era superiore all'attuale, ma la stazione eretta più accentuata in *Homo sapiens* ed in *Homo sapiens sapiens*. Sembra che il modellamento cranico con un maggiore sviluppo del neurocranio, abbia importanza se paragonato tra specie diverse di mammiferi come per esempio, tra elefante e bovino. Invece, nella stessa specie nel corso evolutivo, si sono affermate a volte, razze con volume endocranico leggermente o decisamente superiori a razze più recenti (come tra *Homo sapiens* e *Neanderthalis*, oppure tra alcune razze di delfini dell'Eocene).

Fig. **π**

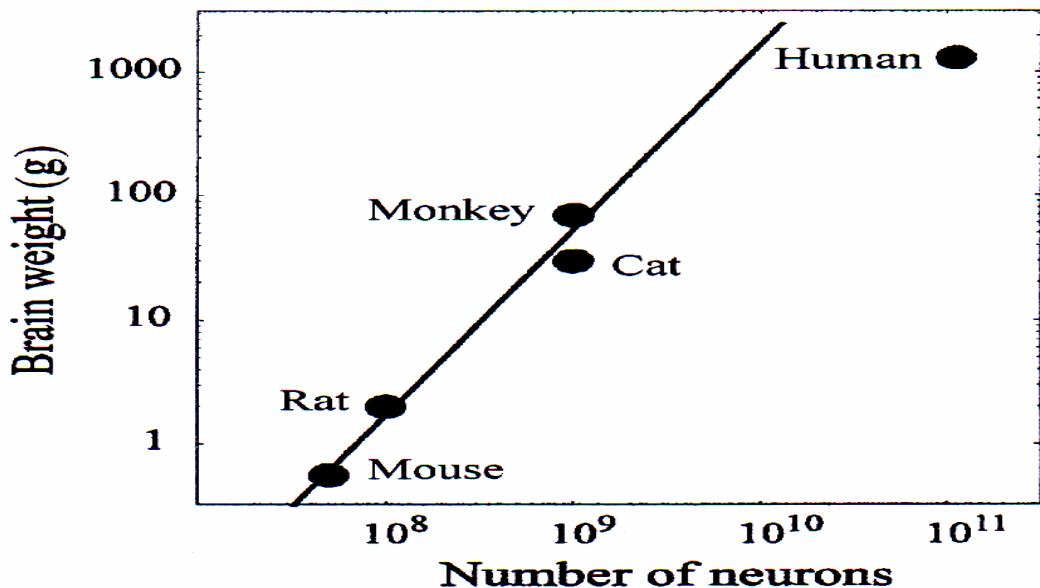


Fig. **π** – Peso cerebrale tracciato sul numero totale di neuroni per cinque specie di mammiferi; le specie esaminate sono: Topo e Ratto, Gatto, Scimmia, Uomo. Tranne che per il cervelletto umano, le altre specie presentano rapporti proporzionali tra volume e la 3/2 parte del numero neuronale totale. Il numero dei neuroni fu ricavato dalla densità neuronale e dal volume corticale, moltiplicati per il fattore di 4 per aggiustamento sulla quantità neuronale dei gangli basali del peduncolo cerebrale e specialmente della corteccia cerebrale la cui concentrazione gli Autori ritengono essere nell'insieme tre volte superiore rispetto a quella corticale. I dati derivano da Sholl (1956), Blinkov e Glezer (1968), Cragg (1967), Frahm et al. (1984) e Braitenberg (2001).

CONCLUSIONI

- *Uomo – Scimmia, analogie.* Nei mammiferi, sono numerosi gli aspetti morfostrutturali e biochimici distribuiti in modo diseguale nell'encefalo, centri nervosi, nuclei basali ed aree corticali. In particolare, il cervello delle grosse scimmie sia del Vecchio che del Nuovo Mondo ha aspetti comuni con quello umano come nelle asimmetrie del corpo calloso, talamo, ippocampo, di tutti i restanti nuclei basali, del Planum temporale sinistro e del sito che accoglie l'area di Broca. La maggiore estensione del lobo frontale destro e del lobo occipitale sinistro si rinvengono sia nell'Uomo che nella Scimmia. Similmente, per quanto riguarda la morfologia complessiva del cervelletto. Similare è nell'Uomo e nei primati la tendenza allo sviluppo di asimmetrie in ampie aree neuronali, nel cervello e nel cervelletto. Queste asimmetrie sono più numerose ed accentuate nell'Uomo. Jayasundar R. e Raghunathan P. (1997), hanno osservato in quasi tutte le regioni del cervello umano – frontale, parietale, temporale, occipitale, talamica e del cervelletto - l'esistenza di asimmetrie strutturali e funzionali.
- *Uomo – Scimmia, differenze.* Rappoport (1999) afferma l'esistenza di significative differenze tra Uomo e Scimmia. La densità sinaptica della corteccia frontale ha il suo apice verso i cinque anni nell'Uomo, ma nella Scimmia aumenta negli ultimi periodi di vita intrauterina e primi mesi dopo la nascita. Solo nella specie umana si è sviluppata l'area di Wernicke vero centro del linguaggio che nel sesso maschile è in corrispondenza

dell'emergenza del Planum temporale sinistro.

- *Cito architettura neuronale corticale.* A livello evolutivo, l'efficienza cerebrale legata al predominio della specie umana rispetto ai primati ed ai mammiferi in genere non sembra dipendere dal numero e dalla posizione spazio temporale delle asimmetrie cerebrali. Hart, B.L. et all. (2008) descrivono la cito architettura neuronale corticale nell'Elefante, nelle grandi scimmie e nell'Uomo affermando che la densità cellulare in queste aree cerebrali è molto maggiore nell'Uomo rispetto alle scimmie ed all'Elefante. I primati – Uomo compreso – hanno maggiore densità neuronale, mentre l'Elefante sebbene abbia un cervello molto pesante, ha densità neuronale molto bassa. Nell'Uomo, le interazioni tra neuroni corticali sembrano essere più estese con alcune aree provviste di una maggiore densità cellulare. A livello corticale, l'elaborazione delle informazioni sembra procedere più lentamente nel cervello di Elefante rispetto ai Primati. Specialità accentuate nell'Uomo. Nei cervelli con superiori prestazioni, la capacità di elaborare informazioni dipende dal numero dei neuroni, dalla loro disposizione spaziale, dalle prestazioni e tipo di interconnessione, oltre che dalla distanza tra i neuroni interagenti. In genere, un cervello con minore connettività corticale ha lenti processi nel processo di elaborazione delle informazioni. Nel Delfino, avvengono fenomeni analoghi a quelli della corteccia cerebrale di Elefante. Inoltre nel Delfino, ci sarebbero numerose aree silenti (silent areas) prive o con scarsi collegamenti con aree corticali funzionanti.
- *Corticogenesi.* Nei mammiferi, i neuroni della neocortex sono organizzati in sei lamine. Al contrario, nei rettili ed uccelli, le cortece dorsali hanno solo tre strati che si ritiene siano equivalenti agli strati dei mammiferi I, V e VI. Nei mammiferi, il maggiore incremento di proliferazione cellulare è avvenuto nella zona ventricolare (VZ) e sub-ventricolare (SVZ). Studi di morfologia comparata suggeriscono che la zona SVZ coincide con la espansione laminare della corteccia in sei strati, come affermato da Mannan O.A. et all. (2008). Nel topo e nei primati, una zona SVZ è presente nella corteccia dorsale e nelle eminenze ganglionari. Nei primati, la SVZ è molto vasta e più stratificata che nel topo (e roditori). Nei primati, gli strati sopragranulosi sono più ampi e complessi, Mannan O.A. et all. (2008).
- *Ontogenesi.* Negli ultimi due milioni di anni, i cervelli dei nostri antenati ebbero rapidi incrementi volumetrici, fino ad arrivare agli attuali di 1300 – 1500 cc. Un così elevato incremento di volume cranico implicò un aumento del numero dei neuroni e del potere di assemblaggio dati. I cervelli umani possono avere sui 100 bilioni di neuroni, comparati ai 6.4 bilioni presenti nelle scimmie macaco (Iming T.G. and Brugge T.F , 1978). Al contrario, nei roditori e specie similari di mammiferi, le medie del volume e densità neuronale sono rimaste piuttosto costanti rispetto al grande incremento volumetrico dei primati. Quindi, il cervello umano ha ampio volume ed anche un elevato numero di neuroni, rapportato ad un ipotetico roditore che avesse sviluppato un altrettanto voluminoso cervello. Nel cervello umano, l'elevato numero cellulare permise ottimali interconnessioni, più brevi e locali con la conseguente riduzione di quelle lunghe. Il cervello divenne più modulare; le vaste aree primarie cessarono di ampliarsi e si distinsero piccole aree corticali che secondo alcuni assommerebbero – al presente – intorno alle duecento. Ci fu forse la stabilizzazione delle aree corticali più vaste, ognuna delle quali cominciò ad includere specifiche funzioni mediate al massimo grado. Il risultato sarebbe stato che piccole aree - interconnesse in modo ottimale – sono le migliori nelle funzioni di comparazione globale; le ampie aree sensoriali sono invece ottimali per le comparazioni dei dettagli locali. Sembra esserci un valore costante che è di **0, 35**. Ho ottenuto questo valore medio applicando la formula del coefficiente di asimmetria al volume endocranico di alcuni ominidi, come spiegato nel primo paragrafo del presente studio di anatomia e fisiologia comparata. Darwin ipotizzò che la conformazione geologica del pianeta fosse soggetta a graduali cambiamenti e che lo

stesso principio era applicabile agli organismi nel corso della loro evoluzione biologica. L'ipotesi darwiniana di una evoluzione lenta e costante della specie umana troverebbe nel valore costante di **0,35** un valido riscontro.

- *Corpo calloso. Similare dimorfismo sessuale in Homo e Scimmia.* Sullivan et al. (2001) sostennero un evidente dimorfismo sessuale tra uomini e donne per quanto riguarda lo sviluppo del corpo calloso. Aspetti similari si osservano nelle scimmie come affermato da Franklin et all., (2000) che con la metodica MRI nelle scimmie (*Rhesus monkey*) mostrarono un incremento del corpo calloso dall'età di 8 mesi a 7,2 anni. L'incremento era differente a seconda del sesso. Nelle scimmie di sesso maschile, l'area del corpo calloso era di $0,56 \text{ cm}^2$ a otto mesi e di $0,93 \text{ cm}^2$ a 7,2 anni. Nelle scimmie femmine, si passava da $0,45 \text{ cm}^2$ a $0,66 \text{ cm}^2$.
- *Parte cefalica.* Sembra che nel passare da un cervello di 400 cm^3 proprio di uno scimpanzè a quello di 440 cm^3 , proprio di *Australopithecus africanus*, determinante sia stato il raggiungimento della stazione eretta che avrebbe favorito lo sviluppo *in toto* del cervello. Ad una più approfondita indagine emergono fatti contraddittori: in alcune razze di delfini dell'Eocene (Doruton atrox) la massa cerebrale fu superiore a quella dei delfini attuali, Marino et all., (2000). Tra le due razze di cetacei, non c'erano differenze di postura: nuotavano in acqua. In *Homo neandethallianus* la massa cerebrale era superiore all'attuale, ma la stazione eretta più accentuata in *Homo sapiens* ed in *Homo sapiens sapiens*. Sembra che il modellamento cranico con un maggiore sviluppo del neurocranio, abbia importanza se paragonato tra specie e specie di mammiferi come per esempio, tra elefante e bovino. Invece, nella stessa specie nel corso evolutivo, si sono affermate a volte, razze con volume endocranico leggermente o decisamente superiori a razze più recenti (come tra *Homo sapiens* e *Neanderthalis* e tra alcune razze di delfini dell'Eocene).
- *Asimmetrici aspetti del flusso sanguigno cerebrale.* Con metodiche di sonografia trans cranica Doppler simultanea e bilaterale, Bulla – Helwig M. et all., (1996) rilevano variazioni di flusso sanguigno in entrambi i lobi cerebrali. Gli Autori dimostrano che i parametri dell'attività corticale sono in stretta correlazione con variazioni di velocità sanguigna nelle arterie cerebrali medie e posteriori. Nel 2000, Ide K. et all. hanno dimostrato che esiste un più intenso controllo simpatico sulle arterie che irrorano il lobo cerebrale di destra e significa che il flusso sanguigno a livello della cerebrale media di sinistra è più costante e stabile, mancando il bisogno di un intenso controllo simpatico da parte del ganglio stellato. Aspetti della forte e chiara dominanza emisferica sinistra in prove di abilità verbale sarebbero registrabili sia a livello corticale, sia a livello dell'arteria cerebrale di sinistra che ha un incremento di flusso sanguigno di quasi il doppio che nella controlaterale. Hutsler J. and Ralf A.W. Galuske, (2003) dimostrano che la concentrazione dei campi colonnari sopra descritti è maggiore nell'emisfero sinistro che nel destro. Ci sarebbe correlazione tra flusso sanguigno nell'arteria cerebrale media e concentrazione dei campi colonnari corticali.
- *Importanza dell'emodinamica in alcuni tipi di asimmetrie cerebrali.* Il numero di Reynolds, la legge di Darcy e l'equazione di Poiseuille dipendenti dalla frequenza cardiaca, dal diametro vasale e dalla viscosità del sangue potrebbero giocare il ruolo di attrattori per la regolarità di flusso sanguigno nel sistema circolatorio cerebrale. I tre parametri forniti dal numero di Reynolds, dalla legge di Darcy e dall'equazione di Poiseuille influiscono sul corretto funzionamento non solo del sistema circolatorio sanguigno, ma hanno dirette correlazioni nella corticogenesi, Hutsler J. and Ralf A.W. Galuske, (2003), Lovick et all., (1999).

RIASSUNTO

In riguardo al cervello dei mammiferi, la corteccia cerebrale è la più vasta struttura con uniforme organizzazione di base. Grosso modo, vi si riscontrano due maggiori tipi di cellule corticali. Le cellule piramidali densamente spinose, rilascianti aminoacidi eccitatori in funzione di trasmettitori. Il secondo maggior tipo cellulare è dato dalle cellule detritiche lisce GABA. In tutti i mammiferi, sono numerosi gli aspetti morfostrutturali e biochimici distribuiti in modo diseguale nell'encefalo, centri nervosi, nuclei basali ed aree corticali. Si tratta di asimmetrie morfo-strutturali e funzionali molto diffuse. In particolare, il cervello delle grosse scimmie sia del Vecchio che del Nuovo Mondo ha aspetti comuni con quello umano come nelle asimmetrie del corpo calloso, talamo, ippocampo, di tutti i restanti nuclei basali, del Planum temporale sinistro e del sito che accoglie l'area di Broca. La maggiore estensione del lobo frontale destro e del lobo occipitale sinistro si rinvengono sia nell'Uomo che nelle scimmie. Similmente per quanto riguarda la morfologia complessiva del cervelletto. Similare è nell'Uomo e nei primati la tendenza del cervello e del cervelletto allo sviluppo di asimmetrie in ampie aree neuronali. Esiste un dimorfismo sessuale che riguarda lo sviluppo del corpo calloso, similare nell'Uomo e nelle scimmie sottolineato da alcuni autori. Sullivan et al. (2001) sostengono un evidente dimorfismo sessuale tra uomini e donne per quanto riguarda lo sviluppo del corpo calloso. Aspetti simili si osservano nelle scimmie come affermato da Franklin et all., (2000) che con la metodica MRI nelle scimmie (*Rhesus monkey*) mostraronon un incremento del corpo calloso dall'età di 8 mesi a 7,2 anni. L'incremento era differente a seconda del sesso. Nelle scimmie di sesso maschile, l'area del corpo calloso era di $0,56 \text{ cm}^2$ a otto mesi e di $0,93 \text{ cm}^2$ a 7,2 anni. Nelle scimmie femmine, si passava da $0,45 \text{ cm}^2$ a $0,66 \text{ cm}^2$.

Però, come sottolineato da Rappoport, esistono significative differenze tra Uomo e Scimmia. La densità sinaptica della corteccia frontale ha il suo apice verso i cinque anni nell'Uomo, ma nella Scimmia aumenta negli ultimi periodi di vita intrauterina e primi mesi dopo la nascita. Solo nella specie umana si è sviluppata l'area di Wernicke vero centro del linguaggio che nel sesso maschile è in corrispondenza dell'emergenza del Planum temporale sinistro. Un'altra significativa differenza tra Uomo e Scimmia è che le grosse scimmie hanno cervelletto più ampio rispetto alle comuni scimmie ed all'Uomo. Le funzioni lateralizzate del cervello potrebbero essere finalizzate all'incremento delle sue molteplici funzioni, evitando la competizione inter-emisferica. Nell'Uomo, nei primati non umani ed in altri mammiferi, è evidente che la lateralizzazione cerebrale ne migliora l'efficienza. Nei primati non umani, si dovrebbero approfondire i numerosi fattori che hanno favorito l'affermazione delle asimmetrie del cervello: uso degli utensili, funzioni balistiche, bipedismo, comunicazione gestuale, oppure l'emergere di forme linguistiche ancestrali. Tenendo presente la ricerca di Zilles et all., possiamo avanzare altre considerazioni. Cioè, dal punto di vista filogenetico, lo Scimpanzè è il primate più vicino all'Uomo. Questa è la classificazione:

1. Uomo.
2. Scimpanzè.
3. Gorilla e Orango.

Se consideriamo lo sviluppo di alcune aree cerebrali come il Planum temporale e Planum parietale, viene fuori un'altra classificazione:

1. Uomo.
2. Gorilla e Orango.
3. Scimpanzè.

Sembra che lo sviluppo asimmetrico di PT e di PP sia dovuto al volume cerebrale in *toto*. Ci sarebbe un rapporto direttamente proporzionale tra incremento cerebrale e asimmetrie a livello dei planum temporali e parietali, in una data specie. Questo aspetto si verifica in particolare nell'Uomo ed in alcuni tipi di scimmie. Si può estrapolare la seguente formula generale:

$$\frac{V}{PT + PP} = K$$

PT = Planum temporale (di sinistra); PP = Planum parietale (di sinistra); V = Volume cerebrale.

Nella specie umana, il cervello femminile è circa il 10% meno voluminoso del corrispondente maschile ed è anche meno asimmetrico.

Infine, sembra esserci un valore costante che è di **0,35** ricavato applicando la formula del coefficiente di asimmetria al volume endocranico di alcuni ominidi, come spiegato nel primo paragrafo del presente studio di anatomia e fisiologia comparata. Darwin ipotizzò che la conformazione geologica del pianeta fosse soggetta a graduali cambiamenti. Secondo Darwin, lo stesso principio era applicabile agli organismi nel corso della loro evoluzione biologica. L'ipotesi darwiniana di una evoluzione lenta e costante della specie umana troverebbe riscontro nel valore della costante **0,35**.

Bibliografia

- Aboitiz F, Garcia RV. : *The evolutionary origin of the language areas in the human brain. A neuroanatomical perspective*. Res Reviews 25:381-396, (1997).
- Aguggini G, Beghelli V, Giulio LF.: *Fisiologia degli animali domestici con elementi di etologia*. UTET-Torino, (1992).
- Amunts K., Schleicher A., Bürgel U., Mohlberg H., Uyling H.B., & Zilles, K. : *Broca's region revisited : Cytoarchitecture and intersubject variability*. Journal of Comparative Neurology. 412 : 319 – 341, (1999).
- Amunts K, Jäncke L, Mohlberg H, Steinmetz H, & Zilles K.: *Interhemispheric asymmetry of the human motor cortex related to handedness and gender*. Neuropsychologia 38 :304-312, (2000).
- Andreson B, et all.: *Anatomic asymmetries of the posterior superior temporal lobes: a post mortem study*. Neuropsychiatry Neuropsychol. Beav. Evol.: 57, 349 – 358, (1999).
- Annett M.: *Left, right, hand and brain: the rigth shift theory*. London: lawrence Erlbaum Associates, (1985).
- Auroux S.: *La filosofia dei linguaggio*. Editori Riuniti, Roma, (1998).
- Barbas H, Pandya DN.: *Architecture and intrinsic connections of the prefrontal cortex in the rhesus monkey*. J Comp Neurol 286,:353-375, (1989).
- Blinkov SM, Glezer II.: *The human brain in figures and tables: a quantitative handbook*. Plenum (1968).
- Bosman C, García R, Aboitiz F.: *FOXP2 and the language working-memory system*. Trends Cogn Sci 8(6):251-252, (2004).
- Braitenberg V.: J Comp Neurosci 10:71-72 (2001).
- Bulla – Hellwig M, Vollmer J, Götzen A, Skreczek W, and Hartje W.: *Hemispheric asymmetry of arterial blood flow velocity changes during verbal and visuospatial tasks*. Neuropsychologia, Vol. 34; 10: 987 – 991, (1996).
- Buxhoeveden D.P. et all.: *Lateralization of minicolumns in human planum temporale is absent in nonhuman primate cortex*. Brain Behav. Evol., 57: 349 – 358, (2001).
- Buxhoeveden D.P. & Casanova M:F.: *The microcolumn and evolution of the brain*. Brain Behav. Evol., 60: 125 – 151, (2002).
- Cantalupo C. & Hopkins D.: *Asymmetric Broca's area in Great Apes*. Nature, 414: 120 – 125, (2001).
- Chapelain, A.S. and Hogervorst E.: *Hand preferences for bimanual coordination in 29 bonobos (Pan paniscus)*. Behavioural Brain Res., 196: 15-29, (2009).
- Chi, J.G., Dooling, E.C., & Gilles, F.H.: *Left – rigth asymmetries of the temporal speech areas of the human fetus*. Archives of Neurology, 34: 346 – 348, (1977).

- Christansen MH & Kirby S. : *Language evolution : consensus and controversies*. TRENDS in Cognitive Sciences ; 300 – 307 Vol. 7 No 7 – July, (2003).
- Corballis M.C.: *Evolution of hemispheric specialization of the human brain*. Vol. 4, Elsevier. London, pp 379 – 393, (2007).
- Corballis M.C.: *From mouth toh hand: gesture, speech, and the evolution of rigth-handedness*. Beav. Brain Sci., 26: 199 – 260, (2003).
- Cragg BG, Downer J de C. : *Behavioral evidence for cortical involvement in manual temperature discrimination in the monkey*. Exp Neurology 19(4) :433-442 (1967).
- Damasio, H. & Damasio A.: *Lesion analysis in neuropsychology*. New York; Oxford University Press, (1989).
- Damasio R, Damasio H.: *Cervello e linguaggio*. Le Scienze N.29 - 1 (1992).
- Damasio R.: *Mente, coscienza e cervello*. Le Scienze 376, Dicembre, (1999).
- Deacon T.W.: *The evolution of language systems in the human brain*. Vol. 4, Elsevier. London, pp 529 – 548 (2007).
- de Lacoste, M.C., Horvath, D.S., & Woodward, D.J.: *Possible sex differences in the developing human fetal brain*. Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 13: 831 – 846 (1991).
- Dogil G, Ackermann W, Grood H, Haider H, Kamp H, Mayer J, Reicker A, Wildgruber D.: *The speaking brain : a tutorial introduction to fMRI experiments in the production of speech, prosody and syntax*. J. Neurolin., 15:59-90, (2002).
- Dolan, R.J. : *Emotional processing in the human brain revealed through functional neuroimaging*. In (M.S. Gazzaniga, Ed.) : *The New Cognitive Neurosciences*, pp. 1115 – 1131. Champaign, Illinois : MIT Press, (2000).
- Erren T.C. et all. : *Neanderthal, Chimp and Human : Hypotheses wanted for research into brain evolution*. Medical Hypotheses, 70 : 4 – 7, (2008).
- Fagard J. Droiters/Gauchers: *Des asymétries dans tous les sens*. Marseille: Solal (2004).
- Falk, D. et all.: *Advanced computer graphics technology reveals cortical asymmetry in endocasts of resus monkey*. Folia Primatol. 46: 98 – 103, (1986).
- Falk, D.: *Hominid brain evolution: the aproach from paleoneurology*. Yearb. Phys.Anthrop., 23: 93 – 107, (1980).
- Felleman D.J. et all.: *Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex*. Cereb. Cortex, 1: 1 – 47, (1991).
- Frahm HD, Stephan H, Baron G.: *Comparison of brain structure volumes in insectivora and primates. V. Area striata (AS)*. J Hirnforsch 25(5):537-557 (1984).
- Franklin DL, Luther F, Curzon ME. : *The prevalence of malocclusion in children with cerebral paisy*. Eur J Orthod 18(6):637-643, (1996).
- Franklin MS, Kraemer GW, Shelton SE, Baker E, Kalin NH, Uno H.: *Gender differences in brain volume and size of corpus callosum and amygdala of rhesus monkey measured from MRI images*. Brain Res 852 :263-267, (2000).
- Galaburda, A.M., LeMay, M., Kemper, T.L., & Geschwind, N. : *Rigth – left asymmetries in the brain*. Science, 199 : 852 – 856, (1978).
- Gannon, P.J. et all.: *Asymmetry of chimpanzeeplanum temporale: humanlike pattern of Wernicke's brain language area homolog*. Science. 279: 220 – 222, (1998).
- Gannon P.J. et all.: Leftward interhemispheric asymmetry of macaque monkey temporal lobe language area homolog is evident at the cytoarchitectural, but not gross anatomic level. Brain Research, 1199: 62 – 73, (2008).
- Goldman-Rakic PS, Castner S, Williams G.: *Clinical implications of the inverted U-shaped curve relating D1 stimulation and behavior*. Biol Psychiatry 47(8 Suppl 1):S62 (2000).
- Green R.E., et all.: *Analysis of one million base pairs of Neanderthal DNA*. Nature, 444: 330 – 336, (2006).

- Gupta R.K., Hasan K.M., Trivedi, R., Pradhan M., Das V., Parikh, N.A., et all. : *Diffusion tensor imaging of the developing human cerebrum*. Journal of Neuroscience Research, 81 : 172 – 178, (2005).
- Hart BL, Hart LA, Pinter-Wollman N.: *Large brains and cognition: where do elephans fit in?* Neurosci. Biobehav. Rev.: 32 (1): 86 – 98, (2008).
- Hayes T.L. and Lewis D.A.: *Anatomical specialization of the anterior motor speech area: hemispheric differences in magnopyramidal neurons*. Brain Lang., 49: 289 – 308 (1995).
- Heffner, H.E., and Heffner R.S.: *Temporal lobe lesions and perception of species-specific vocalizations by macaques*. Science, 226: 75 – 76, (1984).
- Heilbronner, P.L. and Holloway, R.L.: *Anatomical brain asymmetries in new and old world monkeys: stages of temporal lobe development in primate evolution*. Am. J. Phys. Anthropol. 16: 38 – 48, (1988).
- Herculano-Houzel, et all.: *Cellular scaling rules for primate brains*. Proc. Natl. Acad.Sci. U.S.A., 104: 3562 – 3567, (2007).
- Hoffman K.L., I. Gautier: *Evolutionary specializations for processing faces and objects*. vol. 4, Elsevier. London, pp 437- 445, (2007).
- Hopkins WD, Lori Marino: *Asymmetries in cerebral width in nonhuman primate brains as revealed by magnetic resonance imaging (MRI)*. Neuropsychologia 38: 493-499, (2000).
- Hubel D.H. and Wiesel, T.N.: *Receptive fields, binocular interaction and functional archiecture in the cat's visual cortex*. J. Physiol. (London), 160: 106 – 154, (1962).
- Hupfer, K. et all.: The effect of superior temporal lesions on the recognition of species calls in the squirrel monkey. Exp. Brain Res. 30: 75 – 87 (1977).
- Hutsler J.J. & Cazzaniga, M.S. : *Acetylcholinesterase staining in human auditory and language cortices : Regional variation of structural features*. Cerebral Cortex, 6 : 260 – 270, (1996).
- Hutsler J.J.: *The specialized structure of human language cortex : pyramidal cell size asymmetries within auditory and language - associated regions of the temporal lobes*. Brain & Language. 86:226-242, (2003).
- Hutsler J. and Ralf A.W. Galuske: *Hemispheric asymmetries in cerebral cortical networks*. Trends in Neuroscience, Vol. 26, no. 8, August, (2003).
- Hutsler J.J. & Cazzaniga, M.S. : *Acetylcholinesterase staining in human auditory and language cortices : Regional variation of structural features*. Cerebral Cortex, 6 : 260 – 270, (1996).
- Ide K, Bouschel R, Sørensen HM, Fernandes A, Cai Y, Pott F, Secher NH : *Middle cerebral artery blood velocity during exercise with β -1 adrenergic and unilateral stellate ganglion blockade in humans*. Acta Physiol Scand 170:33-38, (2000).
- Iming T.G. and Brugge T.F.: *Sources and terminations of callosal axons related to binaural and frequency maps in primari auditory cortex of the cat*. J. Comp. Neurol. 182: 637 – 660, (1978).
- Innocenti, G.M.: *General organization of callosal connections in the cerebral cortex*. In Cerebral Cortex, Volume V, pp. 291 – 353 - Plenum Press, (1986).
- Jayasundar R, Raghunathan P.: *Evidence for left-right asymmetries in the proton MRS of brain in normal volunteers*. Magn Reson Imaging 15 (2), (1997).
- Jenner, A.R., Rosen, G.D., and Galaburda, A.M. : *Neuronal asymmetries in primary visual cortex of dyslexic and nondyslexic brains*. Annals of Neurology, 46 : 189 – 196 (1999).
- Jerison HJ. : *Animal intelligence as encephalization*. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci 308(1135):21-35, (1985).
- Jones E.G.: *Microcolumns in the cerebral cortex*. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 97: 5019 – 5021, (2000).

- Kaas J.H. et all.: *Subdivisions of auditory cortex levels of processing in primates*. Audiol. Neurootol. 3: 73 – 85, (1998).
- Kaas J.H. et all.: *Subdivisions of auditory cortex and processing streams in primates*. Proc. Nat. Accad. Sci. U.S.A., 97: 11793 – 11799, (2000).
- Kaas J.H, T.M. Preuss: *Human brain evolution*. Accademy Press, San Diego, pp 1147 – 1166, (2003).
- Kaas J.H.: *The evolution of sensory and motor systems in primates*. Vol 4, Elsevier, London, pp 35 – 57, (2007).
- Kaas J.H: *The evolution of the complex sensory and motor systems of the human brain*. Brain Res. Bullettin, 75, 384 – 390, (2008).
- Kimberley A. Phillips, William D. Hopkins: *Exploring the relationship between cerebellar asymmetry and handedness in chimpanzees (Pan troglodytes) and capuchins (Cebus apella)*. Neuropsychologia, 45: 2333-2339, (2007).
- Kriegeskorte N. et all.: *Matching categorical object representations in inferior temporal cortex of man and monkey*. Neuron, 60: 1126 – 1141, (2008).
- Leavy S. et all.: *Ocular dominance columns and their development in layer IV of the cat's visual cortex*. J. Comp. Neurol. 179: 223 – 224, (1978).
- Le May, M. and Geschwind, N.: *Hemispheric differences in the brains of great apes*. Brain Behav. Evol. 11: 48 – 52, (1975).
- Le May M. : *Asymmetries of the brains and skulls of nonhuman primates*. New York Accademy Press 2:223-245, (1985).
- Lieberman P.: *The biology and evolution of language*. Cambridge, Mass., Harvard, Univ. Press, (1984).
- Lieberman P.: *On the evolution of human syntactic ability. Its pre-adaptive bases-motor control and speech*. J Hum Evol 14:657-668, (1985).
- Lieberman P.: *The origins of some aspects of human language and cognition. In the human revolution: Behavioral and biological perspectives of the origins of modern humans*. Pagg. 391-414, Edinburg, Univ. Press., (1989).
- Liégeois-Cauel, C. et all.: *Intracerebral evoked potentials in pitch perception reveal a functional asymmetry of the human auditory cortex*. Ann. N. Y. Acad. Sci., 930: 117 – 132, (2001).
- Lovejoy, C.O.: *The natural history of human gait and posture*. Part 3. The knee. ScienceDirect – Gait & Posture, 25, 325-341, (2007).
- Lovick TA, Brown LA, Key BJ.: *Neurovascular relationships in hippocampal slices: physiological and anatomical studies of mechanisms underlying flow-metabolism coupling in intraparenchymal microvessels*. Neurosci 92(1):47-60, (1999).
- MacLeod CE, Zilles K, Schleicher A, Rilling JK, Gibson KR.: *Expansion of the neocerebellum in Hominoidea*. J Hum Evol 44(4):401-429, (2003).
- Mannan O.A. et all.: *Evolution of cortical neurogenesis*. Brain Res. Bulletin, 75: 398 – 404, (2008).
- Matochik J.A, Chefer SI, Lane MA, Woolf RI, Morris ED, Ingram DK, Roth GS, London ED.: *Age-related decline in striatal volume in monkeys as measured by magnetic resonance imaging*. Neurobiol of Aging 21(4):591-598, (2000).
- Murray E.A & Bussey T.J.: *Perceptual mnemonic functions of the perirhinal cortex*. Trends in Cognitive Sciences.3: 142 – 151, (1999).
- Murray E.A.: *Memory for objects in nonhuman primates*. In (M.S. Gazzaniga Ed.): *The New Cognitive Neurosciences*, pp. 753 – 763, Champaign, Illinois: MIT Press, (2000).
- Nakamura K. and Kubota K.: *The primate temporal pole: its putative role in object recognition and memory*. Behavioral Brain Res., 77: 53 – 77, (1996).

- Nopoulos P, Flaum M, O'Leary D, Andreasen N.: *Sexual dimorphism in human brain : evalutation of tissue volume, tissue composition and surface anatomy using magnetic resonance imaging*. Psychiatry Res 98,(1) :1-13, (2000).
- Nopoulos PC, Rideout D, Crespo-Facorro B, Andreasen NC.: *Sex Differences in the absence of massa intermedia in patients with schizophrenia versus healthy controls*. Schizophr Res 48(2-3):177-185, (2001).
- Paus T, Collins DL, Evans AC, Leonard G, Pike B, Zijdenbos A.: *Maturation of white matter in the human brain : a review of magnetic resonance studies*. Res Bull 54(3) :255-266, (2001).
- Pickford M., Senut B., Gommery D., Treil l.: *Bipedalism in *Orrorion tugenensis* reevaluated by its femora*. C.R. Palevol. 1, 191 – 203, (2002).
- Pinker S.: *L'istinto del linguaggio*. Mondadori, Milano, (1998).
- Premack D.: *Intelligence in apes and man*. Laurence Erlbaum Associates, (1976).
- 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).
- Rauschecker, J.P. et all.: *Processing of complex sounds in the macaque nonprimary auditory cortex*. Science, 268: 111 – 114, (1995).
- Reale, R.A. et all.: *Geometry and orientation of neuronal processes in cat primari auditory cortex (A1) related to characteristic-frequency maps*: Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 80: 5449-5453, (1983).
- Richmond B.O. and Lunders W.L.: *Orrorion tugenensis femoral morphology and the evolution of hominid bipedalism*. Science, vo!. 319, n° 5870, pp 1662 - 1665, 21 March, (2008).
- Rilling J.K. & Insel T.R.: *Evolution of the cerebellum in primates: differences in relative volume among monkeys, apes and humans*. Brain Behavior & Evolution, 52: 308 – 314, (1998).
- Rilling J.K. & Insel T.R: *The primate neocortex in comparative perspective using magnetic resonance imaging*. J. Hum. Evol. 37: 191 – 223, (1999).
- Rilling JK, Seligman RA.: *A quantitative morphometric comparative analysis of the primate temporal lobe*. J Hum Evol 42(5): 505-533, (2002).
- Rivier, F. and Clarke, S.: *Cytocrome oxidase, acetylcholinesterase and NADPH – diaphorase staining in human supratemporal and insular cortex: evidence for multiple auditory areas*. Neuroimage, 6: 288 – 304, (1997).
- Rockland K.S. and Lund J.S.: *Intrinsic laminar lattice connections in primate visual cortex*. J. Comp. Neurol. 216: 303 – 318, (1983).
- Rosen GD.: *Cellular, morphometric, ontogenetic and connectional substrates of anatomical asymmetry*. Neurosci Biobehav Rev 4:607-615, (1996).
- Savage-Rumbaugh S. ete all.: *Sponteneous symbol acquisition and comunicative use by pygmy chimpanzees (*Pan paniscus*)*. J. Exp. Psychol. Gen., 115 (3): 211 – 235, (1986).
- Schenker N.M. et all.: *Neural connectivity and cortical substrates of cognition in hominoids*. Journal of Human Evolution, 49: 547 – 569 (2005).
- Seldon, H.L.: *Structure of human auditory cortex I. cytoarchitectonics and dendritic distributions*. Brain Res. 229, 277 – 294, (1981).
- Seldon, H.L.: *Structure of human auditory cortex II. Axon distributions and morphological correlates of speech perception*. Brain Res., 229, 295 – 310, (1981).
- Seldon H.L.: *Structure of human auditory cortex III. Statistical analysis of dendritic trees*. Brain Res. 249, 211 – 221, (1982).
- Semendeferi K, Damasio H.: *the brain and its main anatomical subdivisions in living hominoids using magnetic resonance imaging*. J Human Evol 38(2): 317-332 (2000).
- Senut B.: *Bipéde et climat*. e.R. Palevol, 5, 89 – 98, (2006).

- Shapleske J, Rosell SL, Woodruff, PWR, David AS.: *The planum temporale: a systematic, quantitative review of its structural, functional and clinical significance*. Brain Res Reviews 29:26-49, (1999).
- Sherwood RJ, Rowley RB, Ward SC.: *Relative polacement of the mandibular fossa in great apes and humans*. J Hum Evol 43(1): 57-66 (2002).
- Squire, I.R. & Zola, S.M.: *Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems*. Proc. Natn. Acad. Sci. U.S.A., 93: 13515 – 13522, (1996).
- Sholl DA.: *The measurable parameters of the cerebral cortex and their significance in its organization*. Prog Neurobiol (2):324-333 (1956).
- Stephan KE, Kink G R, Marshall JC: *Mechanism of hemispheric specialization: Insights from analyses of connectivity*. Neuropsychologia, 45: 209 – 228, (2007).
- Sullivan EV, Marsh L, Mathalon DH, Lim KO, Pfefferbaum A.: *Age-related decline in MRI volumes of temporal lobe Gray matter but not hippocampus*. Neurobiology of Aging 16(4):591-606 (1995).
- Sullivan EV, Rosenbloom MJ, Desmond JE, Pfefferbaum A. *Sex differences in corpus callosum size: relationship to age and intracranial size*. Neurobiol Aging 22(4):603-611 (2001).
- Sultan F, Braitenberg V. : *Shapes and sizes of different mammalian cerebella. A study in quantitative comparative neuroanatomy*. J Hirnforsch 34(1) :79-92, (1993).
- Toga, A.W., Thompson P.M.: *Mapping brain asymmetry*. Nature Reviews Neuroscience, vol 4 – January, (2003).
- Vallortigara G., Bisazza A.: *L 'asimmetria nel cervello nei vertebrati*. Le Scienze 42:56-83, (1997).
- Van Essen D.C.: *Cerebral cortical folding patterns in primates: why they vary and what they signify*. In J.H. Kaas (Ed.): Evolution of Nervous System, vol. 4, Elsevier, London, pp 267 – 276, (2007).
- Voisin J.L.: *Évolution de la morphologie claviculaire au sein du genre Homo. Conséquences architecturales et fonctionnelles sur la ceinture scapulaire*. L'Anthropologie 105:449-468, (2001).
- Wada T, Kodaira K, Fujishiro K, Okamura T.: *Correlation of common carotid flow volume measured by ultrasonic quantitative flowmeter with pathological findings*. Stroke 22:319-323, (1991).
- Wilkins, WK, Wakefield J.: *Brain evolution and neurolinguistic preconditions*. Behav Brain Sci 18(1): 161-126, (1995).
- Wisco J. J. et all: *An MRI study age-related white and gray matter volume changes in the rhesus monkey*. Neurobiology of aging, 29: 1563 – 1575, (2008).
- Witelson SF.: *The brain connection: the corpus callosum is larger in left-handers*. Science 229:665-66,8 (1985).
- Zilles K, Dabringhaus A, Geyer S, Amunts K, Qu M, Schleicher A, Gilissen E, Schlaug G, Steinmetz H.: *Structural asymmetries in the human forebrain and the forebrain of nonhuman primates and rats*. Neurosci Biobehav Rev 20(4):593-605, (1996).
- Zola S.M. et all.: *Impaired recognition memory in monkeys after damage limited to the hippocampal region*. J. Neurosci. 20: 451 – 463, (2000).

F I N E