

Giuseppe Costantino BUDETTA

SVILUPPO E RIDUZIONE ASIMMETRICA DEL CERVELLO UMANO

Key words: Human brain evolution, brain asymmetry, grey and white matter.

Premessa.

a) I voluminosi cervelli di Delfino e d'Elefante hanno per supporto una circolazione sanguigna con estese reti mirabili, fraposte tra cuore ed encefalo. Queste reti mirabili annullano quasi del tutto la pressione sistolica cardiaca ed arrecano un afflusso continuo di sangue, con basse pressioni. Dal punto di vista evolutivo, una circolazione arteriosa costante, ma con pressioni molto basse potrebbe aver favorito lo sviluppo di una grande quantità di sostanza bianca, ma non sarebbe stata idonea a far fronte all'esigenze metaboliche di una altrettanto estesa sostanza grigia. Pur avendo un cervello molto pesante, Delfino ed Elefante hanno una bassa densità neuronale. Nell'Uomo, il flusso sanguigno cerebrale normale è circa 50 ml/100 g/min; la sostanza grigia ha 80 ml/100 g/min e la sostanza bianca 20ml/100g/min. Quindi, la sostanza grigia necessita di quote metaboliche e di ossigeno che in proporzione sono mediamente quattro volte superiori ai normali bisogni della materia bianca. Nel cervello umano, c'è una grande quantità di materia grigia cerebrale, in particolare nell'emisfero dominante sinistro. L'irrorazione cerebrale umana avviene tramite le arterie carotidi interne di volume superiore all'esterne, al contrario della maggior parte dei mammiferi. Inoltre solo nell'Uomo, la carotide comune di sinistra da cui si origina quella interna, si stacca direttamente dall'arco aortico. Di conseguenza, il flusso sanguigno che i vasi arteriosi cerebrali trasportano ha una velocità ed una pressione sistolica elevate, all'opposto di ciò che avviene nelle reti mirabili encefaliche dei cetacei e dell'Elefante. Altre specie con volume cerebrale ridotto come i ruminanti hanno anch'esse vaste reti mirabili encefaliche a servire una esigua materia cerebrale grigia, rispetto alla preponderante sostanza bianca. Nell'Uomo, come detto, la circolazione cerebrale è data dalle carotidi interne di destra e di sinistra, dirette continuazioni delle rispettive carotidi comuni. Sia le carotidi interne che le comuni, nel loro percorso extracranico, non hanno anastomosi, questo per preservare una elevata pressione sistolica. Si tratta di caratteristiche circolatorie che sono l'opposto della circolazione encefalica dell'Elefante, del Delfino e dei ruminanti. Per la precisione nell'Uomo, la velocità media del flusso sanguigno nella cerebrale media di sinistra (diretta continuazione della carotide interna omolaterale) è di **58,6 ml/sec** ed in quella di destra di **55,5 ml/sec**: Ide K. et al., (2000). I parametri si riferiscono ai soggetti sani e normali. La velocità di flusso più elevata a sinistra corrisponderebbe alla dominanza emisferica sinistra.

Nell'Uomo di Neanderthal, male si conciliavano un voluminoso encefalo ed una elevata velocità sistolica nelle cerebrali medie, verosimilmente di calibro superiore a quelle di *Homo sapiens sapiens*: il volume cerebrale essendo superiore nell'Uomo di Neanderthal. Come si sa, la velocità di flusso è inversamente proporzionale al calibro del condotto in cui scorre.

b) Nel cervello umano, il numero di connessioni interneuronali è circa 10 alla quattordicesima, cioè centomila miliardi. I computer sono già in grado di eseguire compiti meglio di un cervello umano, come giocare a scacchi, ma la maggior parte dei neuro scienziati dubita che la crescita della capacità del calcolo computerizzato comporti l'avvento di macchine più intelligenti dell'Uomo. Non esiste una crescita esponenziale che possa andare avanti all'infinito e non è detto che una maggiore capacità di calcolo comporti un incremento d'intelligenza. La materia cerebrale vivente è in costante cambiamento, in particolare dopo la nascita: minimi processi d'apprendimento implicano il rinforzo di alcune connessioni sinaptiche e di minuscole ramificazioni dendritiche, mentre altre s'indeboliscono. E' un processo continuo che sta alla base del dinamismo cerebrale.

Kandel E., (1994, 2007) dimostrò che l'apprendimento si combina con una modificazione biochimica: sotto stimolazione, i neuroni sono in grado di mutare e di assumere dimensioni maggiori.

c) Nel 1984, Julian Jaynes formulò la teoria della cosiddetta *mente bicamerale* secondo cui in un passato remoto, la mente degli esseri umani sarebbe stata caratterizzata da una preponderanza dell'emisfero destro che avrebbe prodotto *comandi interiori* indotti dalle libere associazioni, quasi oniriche ed avrebbe dato più spazio alle visioni, alla dimensione magica ed al divino. Una tale ipotesi era stata suffragata da Torrey E. & Peterson M., (1974) e più recentemente da Bogerts B., (1997). Quest'ultimo Autore più degli altri, si è ricollegato alla teoria della *mente bicamerale* di Julian Jaynes, rilevando l'influsso del sistema limbico nell'insorgenza di alcune patologie mentali come la schizofrenia nella quale non esisterebbe alcuna dominanza dell'emisfero sinistro sul destro. Gainotti G.(1983) e Gordon H.W., in collaborazione con Giedd G.N. (1986), ipotizzano che alcuni tipi di comportamenti cognitivi incongrui, normali, o patologici (schizofrenia), possano collegarsi ad una dominanza emisferica imperfetta, temporanea, stabile, o stabilizzata. Sandu-Anca-Larisa et all. (2008) affermano un analogo concetto: l'incremento della sostanza bianca nel cervello degli schizofrenici avrebbe caratteristiche simili a specie di mammiferi con alto volume cerebrale e con una quantità molto preponderante di materia cerebrale bianca, rispetto alla massa grigia periferica, come per esempio il Delfino e l'Elefante. Una esagerata crescita del cervello si verifica anche tra i bambini con disordine dello spettro autistico (ASD). Nel complesso, la corteccia cerebrale dei bambini con ASD è più accelerata della corteccia cerebrale dei bambini di controllo, in particolare nei primi due anni di vita, Hazlett H.C. et all., (2001). Anche la materia bianca del lobo temporale, rispetto ai bambini sani ha un significativo aumento negli ASD, Cheng Y, Chou KH, YT Fan, e Lin CP, (2001). Altri Autori come Mell Chang Josua et all. (2006), hanno descritto aspetti simili in menti altamente creative, ma con discrepanza rispetto alla norma, circa la quantità delle due materie, grigia e bianca nei due emisferi cerebrali.

d) Nel corso dell'evoluzione, il ruolo dominante acquisito dall'emisfero sinistro avrebbe spostato le attività coscienti verso la logica e la razionalità. Negli ultimi duecentomila anni, è stata documentata una riduzione volumetrica della cavità cranica in Homo sapiens *sapiens* con il conseguente restringimento della massa cerebrale. Nel presente saggio scientifico, ho esposto gli aspetti positivi di questo fenomeno evolutivo, verificatosi anche in specie di delfini dell'Eocene, ma con differente valenza, essendo nei cetacei la materia bianca cerebrale molto preponderante rispetto alla grigia.

Alcuni Autori come Campbell I. (2009), Epstein H.T. (1999), hanno elencato e descritto le analogie tra lo sviluppo encefalico del bambino, la ristrutturazione morfo - funzionale delle materie grigia e bianca cerebrale nell'età adolescenziale e gli aspetti evolutivi del cervello umano che lo hanno differenziato dai primati. Giorgio A. et all, (2010) affermano ch'esistono aree di espansione nella corteccia umana durante l'infanzia e l'adolescenza che minuziosamente ripercorrono gli stadi evolutivi del cervello umano, differenziandolo da quello di Scimmia. Ian Campbell della University of California, (2009) afferma che osservare il cervello di bambino crescere è un poco come guardare l'evoluzione in atto.

Finalità della ricerca. Questa ricerca scientifica di anatomia comparata e di fisiologia descrive gli aspetti evolutivi del cervello umano, in paragone con quello di altre specie di mammiferi in particolare gli scimpanzè, i delfini e gli elefanti. Ho riportato dati già esposti in precedenti studi col fine di approfondire alcune conclusioni e di avanzarne nuove. La riduzione volumetrica del cranio umano evidenziata con certezza a partire dagli ultimi duecentomila anni non è un evento prettamente umano perché specie di delfini dell'Eocene, attualmente estinte avevano un volume cranico molto superiore alle attuali. Sembra che il rimpicciolimento volumetrico del cervello sia un

evento evolutivo, verificatosi in specie che avevano raggiunto una grossa massa encefalica come l'umana e la cetacea.

Le peculiarità del cervello umano descritte nel presente saggio verosimilmente favorirono l'efficienza dell'emisfero sinistro che acquisì alcune funzioni, proprie del controlaterale. Al contrario, l'emisfero destro ha avuto una riduzione volumetrica, ma più lenta del sinistro. Di conseguenza, l'emisfero destro sarebbe per alcuni aspetti abbastanza somigliante all'omologo di un Uomo di Neanderthal e mostrerebbe una minore diversificazione dagli scimpanzè. La presente ricerca scientifica è divisa in paragrafi che ho cercato di unificare, secondo uno schema omogeneo ed unico. I paragrafi sono così intitolati:

- 1. Generalità delle asimmetrie encefaliche in *Homo sapiens sapiens*.**
- 2. Volumi cranici in alcune specie di mammiferi, Uomo compreso.**
- 3. Dimensione frattale.**
- 4. Asimmetrica irrorazione cerebrale in *Homo sapiens sapiens*.**
- 5. Cervello diviso e dominanza emisferica.**
- 6. Masticazione degli alimenti.**
- 7. Prenzione degli alimenti e stazione eretta.**
- 8. Particolarità della circolazione encefalica, della sostanza grigia e bianca cerebrale in *Homo sapiens sapiens*.**
- 9. Reti neuronali in *Homo* ed in alcune specie di mammiferi con elevato volume cerebrale.**
- 10. Differenze tra Uomo di Neanderthal ed *Homo sapiens sapiens* in relazione al volume cranico.**
- 11. Sviluppo asimmetrico della materia bianca umana, in riferimento al sesso.**
- 12. Diversa evoluzione cerebrale in *Homo sapiens sapiens* ed in Uomo di Neanderthal.**
- 13. Aspetti comparativi tra il cervello di Uomo, di Scimpanzè e di Elefante.**
- 14. Conclusioni**
- 15. Riassunto.**

1 – Generalità delle asimmetrie encefaliche in *Homo sapiens sapiens*.

In *Homo sapiens sapiens*, numerose asimmetrie encefaliche distinguono l'emisfero cerebrale sinistro dominante dal controlaterale. In particolare:

- L'emisfero sinistro ha un peso specifico più elevato, una maggiore quantità di materia grigia e una maggiore densità cellulare. Esistono altre differenze che sono locali e cioè:
- Fessura silviana laterale più lunga.
- Insula più ampia.
- Planum temporale più ampio ed area dello stesso Planum più vasta.
- Lobulo parietale inferiore più ampio.
- Opercolo frontale con superficie totale maggiore.
- Nucleo posteriore laterale più ampio.
- Cono occipitale del ventricolo laterale più lungo.
- Lobo occipitale più largo e giro cingolato doppio.

L'emisfero destro ha queste caratteristiche differenziali rispetto al sinistro.

- E' in genere più globoso, più esteso in superficie, ma ha una minore densità cellulare.

- La parete destra della cavità cranica è più lunga.
- Il Giro di Heschl (corteccia uditiva primaria) è doppio.
- Il Nucleo genicolato è più lungo che a sinistra ed il lobo frontale è più ampio.

Sembra che il lobo cerebrale sinistro abbia una più elevata concentrazione neuronale in tutti i mammiferi. Ciò è stato accertato in particolare nei primati, nel Gatto, nel Cavallo, nei ruminanti, nell'Elefante e nel Delfino. Il cervello umano non fa eccezione a questa caratteristica per cui è da presumere che circa sette milioni di anni fa, quando secondo molti, avvenne la differenziazione degli ominidi dagli scimpanzé, questo aspetto interspecifico si sia conservato. Sherwood R.J. et all. (2002) dimostrano che le ossa craniche hanno asimmetrie più o meno marcate. Avendo il lobo destro del cervello maggiore area di superficie rispetto al sinistro, anche la cavità cranica del lato corrispondente è più ampia.

2 - Volumi cranici in alcune specie di mammiferi, Uomo compreso.

Come gli uomini di Neanderthal con un volume cranico superiore a quello di *Homo sapiens sapiens*, così alcune razze di delfini dell'Eocene ebbero un volume cranico superiore a razze di delfini attuali. Qui di seguito ho riportato lo schema preso da una ricerca di Marino L. et all., (2000) che mostra come razze di delfini attualmente estinte di *Dorodun atrox* avessero raggiunto un elevato sviluppo encefalico, verosimilmente non favorevole per l'affermazione a lungo termine di questa specie ancestrale in un habitat in via di trasformazione più o meno rapida.

Dorodun atrox	Volume endocranico	Estensione della rete mirabile
NHML M9265	800,0	135,8
NHML M10173	785,0	153,1
UM 93235	1046,0	245,2
UM 93234	780,0	126,3
UM 94795	1170,0	245,1
UM 94796	1225,0	246,7
UM 97506	-	
UM 1000139	-	
UM 101222	-	

Un'altra specie di Delfino vissuta nell'Eocene raggiunse il volume cranico di circa 2800 cm³ contro i circa 2400 cm³ di un delfino odierno. Nell'Uomo moderno, il volume cranico è mediamente di 1230 cm³.

- **B. isis (Eocene):** **2800 cm³ (circa)**
- **Delphinus delphis (moderno):** **2400 cm³ (circa)**
- **Uomo:** **1230 cm³**

L'estinzione di *B. isis* (vol. cranico di 2800cc) e di Neanderthal (vol. cranico di oltre 1400cc.) indica che l'incremento volumetrico del cervello non è di per sé un valido mezzo di sopravvivenza.

Si è accertato che per oltre 60.000 anni l'Uomo di Neanderthal e l'uomo anatomicamente moderno siano convissuti. L'importanza delle iperconnessioni di reti neuronali sembra che abbia fatto la differenza tra due cervelli alquanto simili, come quello di Neanderthal e di *Homo sapiens sapiens*, a favore di quest'ultimo. In modo indiretto, lo attestano gli studi di Pinker Steven, (1994) Pinker Steven & Bloom Paul, (1990). Gli Autori affermarono che il linguaggio articolato fu reso possibile dall'estrema precisione dei micro - circuiti cerebrali e non tanto dal volume del cervello, o dalla sua

forma. Semendeferi K. e Damasio H. (2000), hanno fatto studi su crani di uomini moderni, di ominidi e scimmie con la metodica MRI. Gli Autori affermano che a differenza del cervello, 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 quadrumani, con vita arboricola.

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

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

Horrobin D.F. (1998) portò le prove che dimostravano come per oltre due milioni di anni lo sviluppo cerebrale di Homo sapiens (arcaico) fosse stato stabile, conseguenza di un lungo ristagno evolutivo. Alla fine di questa stasi, l'avvento del linguaggio aprì un abisso tra Homo sapiens sapiens ed il resto del mondo naturale. La capacità umana di produrre suoni distinti, o fonemi, è di poco superiore a quella delle antropomorfe: noi possediamo l'uso di una cinquantina di fonemi e le antropomorfe di una dozzina circa. Nonostante ciò, l'uso che gli esseri umani fanno di questi suoni è teoricamente infinito. Possono essere variamente disposti per dotare l'uomo medio di un vocabolario di centomila parole, potendo quelle parole essere combinate nella formazione di una grande quantità di frasi diverse. Ne consegue che la nostra capacità di comunicare con sfumature talvolta minime e la nostra ricchezza di pensiero non hanno paragone in natura. Crow T.J. (1997), sostiene che il linguaggio umano potrebbe essere interpretato come un evento coinvolgente entrambi gli emisferi cerebrali, ma con una sequenza lineare di produzione confinata nell'emisfero dominante ed una seconda in parallelo, distribuita in prevalenza nell'emisfero non dominante, (il destro).

Quindi, un evento evolutivo per alcuni aspetti simile a quello descritto nei delfini da Marino L. et all. (2000) e da Rappoport S.I. (1999), si verificò intorno a duecentomila anni fa, coinvolgendo la specie umana. Infatti, negli ultimi 200.000 anni, è risultato che la cavità cranica umana si è rimpicciolita in toto. Questo rimpicciolimento è avvenuto in modo omogeneo, riguardando l'intero volume cranico. Essendo la cavità cranica asimmetrica con una parte destra leggermente più ampia della controlaterale, la sua riduzione volumetrica ha mantenuto questa peculiare asimmetria, comune tra l'altro presso tutti i mammiferi, oltre che nell'Uomo. Il cervello umano come quello di Scimmia visto dall'alto rassomigliano ad un parallelepipedo obliquo con il lobo frontale destro più largo del sinistro ed un lobo occipitale sinistro più ampio del destro. Questo aspetto è evidente anche nelle scimmie del Vecchio e del Nuovo mondo come affermato da Hopkins W.D., (2006). Il disegno qui di seguito, (fig. 3) è stato fatto da me medesimo e mostra l'aspetto asimmetrico dei due lobi cerebrali, visti dall'alto. Ho colorato di nero il lobo destro che è mediamente più ampio del sinistro. La scissura interemisferica è colorata in bianco. Questo tipo di asimmetria cerebrale è presente sia nella specie umana che nelle scimmie. E' da notare un altro particolare: il lobo frontale sinistro (appartenente all'emisfero dominante) ha minore estensione del controlaterale, ma ha maggiore densità neuronale. Inserito nell'emisfero non dominante, il lobo frontale destro ha una estensione quasi doppia dell'omologo di sinistra. Un tipo di asimmetria così accentuata non si verifica coi restanti lobi (parietali, temporali, occipitali).

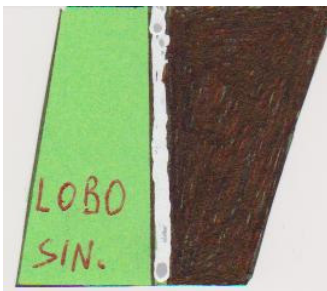


Fig. 3

Nonostante la riduzione volumetrica verificatasi negli ultimi duecentomila anni, i due emisferi cerebrali conservano le caratteristiche proprie: quello destro più ampio, ma meno ricco di cellule nervose ed il sinistro con maggiore densità cellulare e con più

materia grigia. Da un punto di vista generale, il rimpicciolimento cerebrale di *Homo sapiens sapiens* non ha implicato una riduzione delle capacità intellettive perché riducendosi la massa encefalica, è aumentato sicuramente il numero delle sinapsi tra i neuroni; è migliorata l'organizzazione dei centri corticali; c'è stata una ottimale irrorazione sanguigna della stessa massa cerebrale ed un più efficiente apporto di sostanze nutritive, veicolate dal sangue. Nelle sue molteplici connessioni, il tessuto nervoso centrale assomiglia ad una rete (rete neuronale) con le caratteristiche di un sistema a geometria ripetitiva, cioè frattale. L'aumento della complessità in un simile sistema è collegato spesso alle sue parti minuscole come l'alto numero delle giunzioni sinaptiche. Ne risulta che il volume in cui il cervello è contenuto – per esempio la scatola cranica – può restare costante, oppure rimpicciolirsi, sia pure di poco (Isaeva, V.V. et al., 2004). In conseguenza di questa riduzione volumetrica, è migliorata tuttavia l'efficienza del sistema. In ultima analisi, la funzione frattale del cervello dipende in massima parte dalla morfologia dei singoli neuroni. Qui di seguito, tre esempi esplicativi sul miglioramento funzionale della rete nervosa cerebrale, relazionata ad una sua eventuale riduzione volumetrica:

- Verosimilmente, in *Homo Sapiens sapiens* si sono verificate più strette ed efficienti connessioni col sistema circolatorio, così come l'organismo intero trae vantaggio – per esempio – dal sistema frattale dei microvilli intestinali. Ipotizziamo che alcune cellule assorbenti intestinali abbiano i microvilli più lunghi della media. Queste cellule occuperebbero lo stesso volume, ma avrebbero una maggiore superficie assorbente. Se indichiamo con C, C1, C2, C3 ... la complessità della rete nervosa cerebrale dell'Uomo nel corso della sua evoluzione biologica, man mano che questa procede in avanti lungo la *freccia del tempo* T, con l'avvento di *Homo Sapiens sapiens* si è avuto in contemporanea alla riduzione volumetrica della cavità cranica, un aumento della dimensione frattale cerebrale (DF), una ottimale irrorazione sanguigna ed il miglioramento dell'efficienza delle reti neuronali.
- La superficie laterale di una rete nervosa omogenea, compatta e con scarse o nulle fessurizzazioni ha una estensione molto minore di una frammentata in piccole unità. L'efficienza di una rete altamente fessurizzata risulta in genere molto efficiente.

La relazione diretta tra attività neuronale e densità vascolare encefalica fu messa in evidenza tra l'altro da Lovick T.A. et al., (1999). La riduzione volumetrica della massa cerebrale verificatasi in *Homo sapiens sapiens* negli ultimi duecentomila anni, ha di certo migliorato queste connessioni sanguigne. Inoltre, ci sarebbe un rapporto biunivoco tra la potatura sinaptica e quella vascolare, cioè:

POTATURA SINAPTICA ↔ POTATURA VASCOLARE

3 - Dimensione frattale.

Avendo il cervello umano la maggiore concentrazione neuronale, in particolare nella neocortex, la dimensione frattale si è accresciuta di complessità con la riduzione volumetrica del cervello umano, negli ultimi duecentomila anni. Avendo il lobo sinistro una maggiore concentrazione neuronale, la dimensione frattale in questa metà di cervello si è incrementata, migliorandone la dominanza sul destro. Le connessioni vascolari che sottendono una complessa dimensione frattale neuronale hanno un ricco corredo arteriolare con alte velocità e pressioni sistoliche, accentuate dall'assenza di anastomosi (rami terminali).

L'Uomo di Neanderthal vissuto circa 100.000 anni fa, in contemporanea con *Homo sapiens* (arcaico), aveva una capacità cranica tra i 1400 ed i 1487 cm³, superiore a quella di *Homo Sapiens* arcaico ed a quella dell'odierno *Homo sapiens sapiens* (1230). Leakey afferma che i neanderthalliani vissero approssimativamente fra i 135.000 ed i 34.000 anni or sono ed occuparono un'area che si estende dall'Europa occidentale, fino al Medio – Oriente e parte dell'Asia.

L'inesistenza del rapporto diretto tra volume cerebrale medio ed intelligenza umana in genere, tra il quoziente intellettivo ed altre attività cognitive, è stato rilevato in un esteso lavoro di Wickett J. e coll. (2000), basato su dati statistici oltre che su metodiche d'indagine dirette come la MRI. Ritornando al rimpicciolimento cranico avutosi negli ultimi duecentomila anni in *Homo sapiens sapiens*, questo fenomeno è partito da una iniziale asimmetria, essendo la parte destra della cavità cranica più ampia della sinistra. Ciò è evidente sia nei reperti fossili degli ominidi, sia in *Homo sapiens* che in *Homo sapiens sapiens*. Anche nei primati si osserva questa caratteristica asimmetria, tra l'altro comune come si è detto in tutti i mammiferi. Per quanto riguarda il lobo cerebrale sinistro, questa riduzione evolutiva ha verosimilmente accentuato la dominanza sul controlaterale.

4 – Asimmetrica irrorazione cerebrale in *Homo sapiens sapiens*.

Dal punto di vista anatomico, l'emisfero cerebrale sinistro è servito dall'arteria carotide comune di sinistra che solo nell'Uomo si stacca direttamente dall'arco aortico. Inoltre, l'emisfero sinistro ha una maggiore stabilità di flusso sanguigno. Il sistema nervoso simpatico, in particolare *il nucleo stellato* che stabilizza il flusso sanguigno cerebrale ha un più intenso controllo sui vasi arteriosi che irrorano il lobo destro, essendoci maggiore turbolenza. Nell'Uomo, per quanto riguarda la circolazione cerebrale nel versante di destra ed in quello di sinistra c'è da precisare che la persistenza di differenze quantitative di flusso nelle cerebrali medie, dirette continuazioni delle carotidi interne dipendono dai seguenti particolari:

1. Il poligono di Willis non equilibra, né stabilizza le pressioni sanguigne alla base del cervello. La comunicante posteriore del poligono di Willis ha scarsa importanza nel rendere omogeneo il flusso sanguigno arterioso cerebrale.
2. La mancanza di dirette comunicazioni tra le carotidi interne dei due lati (assenza di rami intercarotici, presenti invece per esempio nel Cavallo).
3. Nell'Uomo, le cerebrali medie nelle parti iniziali hanno calibro identico a quello delle carotidi interne da cui si originano. Di conseguenza, preservano significative differenze di flusso sanguigno. La velocità media del flusso sanguigno nella cerebrale media di sinistra è di **58,6 ml/sec** ed in quella di destra di **55,5 ml/sec**. Questi parametri sono stati ricavati da Ide K. et al. (2000), in soggetti sani e normali.
4. La tecnica dell'amythal sodico è un'altra dimostrazione della relativa indipendenza dei due flussi cerebrali di destra e di sinistra, nell'Uomo. Iniettato nella carotide interna, un anestetico come l'amythal sodico agisce sul corrispondente emisfero ipsilaterale per breve tempo, mentre il controlaterale funziona normalmente. C'è afasia motoria che dura per più di un minuto primo, cioè il paziente non è in grado di proseguire la conta. Se l'amythal è stato iniettato nell'emisfero non dominante (il destro), il disturbo di parola compare, ma è fugace. Nonostante l'esistenza del poligono di Willis, l'anestetico dalla carotide interna di sinistra si diffonde solo nella cerebrale media omolaterale.

5 - Cervello diviso e dominanza emisferica.

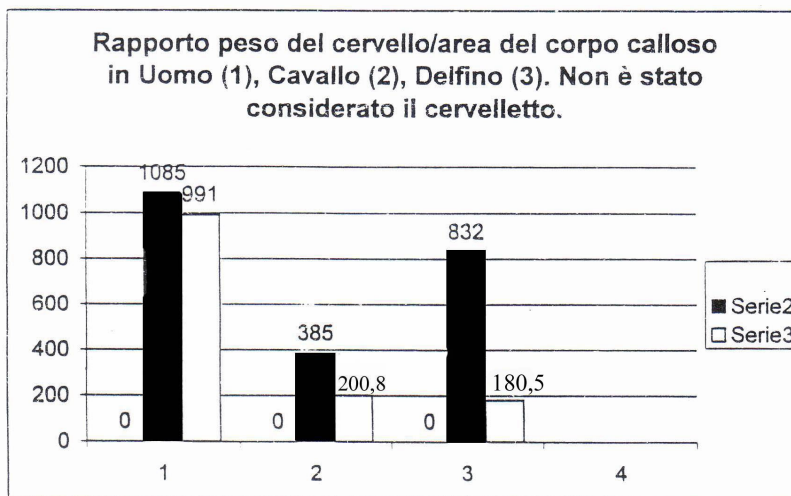
I cetacei hanno il cervello diviso nel senso che esso ha una elevata specializzazione con indipendenza tra i due emisferi. Questa interdipendenza sembra avvantaggiare il lobo destro che parrebbe dominante sul controlaterale, al contrario di quanto accade in *Homo sapiens sapiens*. Un fatto analogo potrebbe essere accaduto in altre specie di mammiferi dove l'emisfero dominante potrebbe essere il destro. Si può ipotizzare che anche negli ominidi fosse accaduto un fatto analogo. Nel corso evolutivo umano, ci sarebbe stata dapprima una dominanza emisferica a destra e successivamente a sinistra. Questa dominanza del lobo sinistro si sarebbe accentuata con la riduzione volumetrica encefalica negli ultimi duecentomila anni.

Le implicazioni negative circa il difettoso funzionamento del corpo calloso nella fisiologia cerebrale appaiono evidenti anche nelle ricerche di Quartini A. et al., (2004). In alcune patologie gravi come la schizofrenia, gli Autori hanno rilevato un ridotto rapporto tra la massa cerebrale totale e l'estensione del corpo calloso. Quest'ultimo presentava la riduzione dell'area totale ed un minore

diametro antero – posteriore. E' significativo che il corretto sviluppo del corpo calloso sia collegato a quello di altre strutture cerebrali come il fornice, la commissura ippocampale, il setto pellucido ed il giro del cingolo. Il corpo calloso renderebbe omogenea l'omeostasi funzionale tra i due lobi cerebrali e quindi termica, mediante il suo sistema di connessione nervosa. Collegando in modo ottimale i due emisferi cerebrali ed esaltandone la funzionalità, il corpo calloso stabilizza il sistema nervoso centrale, rafforza l'omeostasi cerebrale ed allontana l'incremento di entropia, nel tempo inevitabile. Negli schizofrenici in genere, questa funzione stabilizzante sarebbe ridotta, o gravemente compromessa.

Nei mammiferi superiori e specialmente nei Primati, le dimensioni del corpo calloso superano largamente quelle di tutti gli altri tratti del cervello. Nell'Uomo, il corpo calloso contiene circa 200 milioni di fibre, la maggioranza delle quali non supera i due micron di diametro, ma nel Gatto il numero delle fibre non supera i due milioni. Nel Ratto e nel Coniglio, il numero delle fibre è rispettivamente di cinque e di sei milioni. Nel Cane, le fibre sono 22 milioni. Una recente ed accreditata ripartizione del corpo calloso, semplificata in termini anatomo - funzionali, è stata proposta da Witelson S.F., (1973, 1985, 1989). Secondo tale autore, il 3° anteriore del corpo calloso o *genu*, contiene proiezioni provenienti da zone motorie somato-sensitive ed uditive. Infine, il 3° posteriore è a sua volta suddiviso in due: l'istmo che sembra contenere fibre connettenti regioni superiori temporali e regioni parietali – le aree pre - silviane in relazione col linguaggio – ed il quinto posteriore o splenio, che contiene fibre temporali, parietali ed occipitali (visive).

Tab. 8



Ho elaborato la tab 8 secondo i dati raccolti da Franklin M.S. (2000). C'è un rapporto diretto tra l'area del corpo calloso e quella cerebrale.

I delfini hanno una preferenza nell'uso dell'occhio destro, durante l'osservazione di stimoli nuovi o sconosciuti. Il chiasma ottico è completamente incrociato in tutti i cetacei e ciò comporta l'assenza di fibre chiasmatiche non crociate (unidirezionali) e quindi un grado d'indipendenza nel controllo ed uso di dati provenienti dai due occhi. Questo sarebbe indice di elevata autonomia e specializzazione emisferica. Nei delfini, il corpo calloso è relativamente molto piccolo. Nella comparazione con l'Uomo, si hanno i seguenti dati:

Cervello Delfino (media, senza il cervelletto) -----Area callosale del cervello di Delfino

832 g

180,5 mm²

Cervello Uomo (media, senza il cervelletto) -----Area callosale del cervello umano

1085 g

991 mm²

I volumi dei due cervelli di Delfino e di Uomo sono espressi in grammi e sono stati considerati sottraendo ad essi le rispettive aree callosali.

Comunque, la questione della dominanza emisferica sembra essere più complessa perché il corpo calloso è una struttura evolutasi di recente e non c'è in animali come gli uccelli, dove nonostante ciò sono stati osservati fenomeni di coordinazione tra i due emisferi, Schmidt M.F., (2008).

6 - Masticazione degli alimenti.

Sherwood R.J. et all. (2002), effettuarono ricerche morfometriche, rilevando la differente disposizione della fossa mandibolare nelle grosse scimmie rispetto all'Uomo. Gli Autori studiarono 12 uomini adulti, 12 scimpanzè, 15 gorilla e 8 orangutan. La fossa mandibolare nell'Uomo risulta essere mediale, ma laterale nelle grosse scimmie. Negli ominidi, si ha la stessa ubicazione dell'Uomo moderno e la fossa mandibolare è in entrambi ampia. Leakey R. (1961), afferma che negli Australopitechi ci sono aspetti della fossa mandibolare simili a quelli delle grosse scimmie.

Per questi ed altri particolari anatomici, gli Australopitechi sarebbero più vicini alle scimmie che agli ominidi. Secondo gli autori, queste differenze sono rapportabili alla funzione masticatoria ed allo sviluppo cranico in senso laterale (Fig. B, da Sherwood R.J.). Sia la funzione masticatoria che lo sviluppo cranico furono agevolati dalla prensione degli alimenti che nella specie umana avveniva quasi esclusivamente cogli arti superiori.

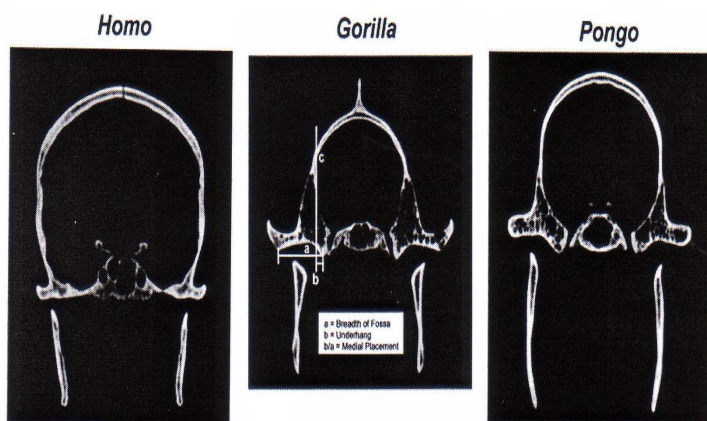


Fig. B

Dalla comparazione tra Homo, Gorilla e Pongo, emergono alcuni importanti particolari, evidenti nella figura B. In Homo, i due rami mandibolari sono convergenti in basso. Al contrario, in Gorilla e Pongo sono divergenti (Gorilla), o perpendicolari verso il basso (Pongo). Lo spessore trasversale dei processi zigomatici dei temporali ed il volume della stessa articolazione temporo – mandibolare sono in proporzione più accentuati nell'ordine:

1. Gorilla
2. Pongo
3. Homo.

Invece, il volume cranico è decisamente superiore in Homo.

Nel 1978, un gruppo di studiosi guidato da Leakey scoprì nel sito di Laertoli in Tanzania una straordinaria serie d'impronte lasciate 3.6 milioni di anni fa da tre individui di Australopithecus che camminavano su cenere vulcanica umida. La maggior parte degli studiosi è convinta che Australopithecus afarensis che era bipede, avesse la propensione ad arrampicarsi sugli alberi. I

fossili di questa specie comprendono varie strutture ossee ed articolari, tipiche degli animali arrampicatori. Questi aspetti starebbero ad indicare che gli Australopitechi del sito di Laertoli avessero trascorso almeno una parte del tempo sugli alberi e che fossero vissuti in folte boscaglie. Australopithecus *afarensis* aveva gambe corte e braccia lunghe con mani in grado di estrarre una forte presa, molto efficace nella raccolta di alimenti dagli alberi. Dai rilievi morfometrici eseguiti da numerosi studiosi, tra i quali Voisin J. L., (2001) e Lovejoy C. O. (2007), risulta che anche Homo *habilis* avesse avuto un aspetto più scimmiesco di quanto si pensi poiché la lunghezza dell'omero di questi ominidi era simile a quella di un gorilla e non a quella di un Uomo moderno. Schema riassuntivo da me medesimo elaborato e riportato in un precedente lavoro di ricerca:

PRENSIONE DEGLI ALIMENTI

UOMO: ARTO SUPERIORE (DESTRO), DELFINI: BOCCA, ELEFANTE: PROBOSCID



DIETA



MASTICAZIONE RIDOTTA



RIDUZIONE VOLUMETRICA DEI DENTI PRE-MOLARI E MOLARI



**E
RIDUZIONE DELLA LUNGHEZZA DELLA MANDIBOLA E DELL'OSSO MASCELLARE**



LEVA DI SECONDO TIPO PIÙ VANTAGGIOSA



RIDUZIONE DEI MUSCOLI TEMPORALI E DELLA FOSSA PARIETO-TEMPORALE



RIDUZIONE DELLA VASCOLARIZZAZIONE DELLA FACCIA

7 - Prensione degli alimenti e stazione eretta.

Si rafforzerebbe un'ipotesi singolare che sposterebbe l'inizio dell'evoluzione umana molto indietro nel tempo, forse intorno ai sette milioni di anni fa. È provato che gli ominidi arboricoli fossero vissuti per alcuni milioni di anni insieme cogli scimpanzè sugli stessi alberi, nella foresta pluviale primaria. Verosimilmente, quest'individui si reggevano ai rami di preferenza con l'arto superiore sinistro, usando il destro per la *prensione* degli alimenti. Non sarebbe importante se fosse avvenuto il contrario. Importante è la diversificazione funzionale tra i due arti superiori, più accentuata negli ominidi rispetto agli scimpanzè collegata forse, all'asimmetria delle arterie succlavie e carotidi comuni. Nell'Uomo, la succlavia sinistra ha direzione verticale nella parte intratoracica, la destra invece curva subito all'esterno. La posizione del braccio sinistro che poggia in alto sul tronco di un albero è compatibile con la geometria in perpendicolare della succlavia di sinistra, rispetto all'arco aortico da cui si origina. Nella Scimmia, la succlavia di sinistra si origina come l'Uomo, direttamente dall'arco aortico, ma subito piega verso l'esterno, come la controlaterale di destra. C'è da fare questa considerazione. In genere, nei mammiferi la prensione degli alimenti avviene mediante un unico prolungamento: di solito la protuberanza dello splancnocranio che contiene la bocca. Nel Delfino e nel Pipistrello, la prensione degli alimenti avviene direttamente con la bocca. Equini e ruminanti si servono dell'ausilio di labbra e lingua – appendici buccali – per prelevare erba, foglie e rami, portarli in bocca e masticarli. Negli ominidi arboricoli, la prensione degli alimenti avveniva mediante l'utilizzo di un unico arto, di solito il superiore destro, mentre la sinistra sorreggeva il corpo sull'albero. Il rapporto era quindi di due ad uno. Le scimmie che sono quadrumani, possono effettuare la prensione degli alimenti con un solo

arto, usando gli altri per reggersi sull'albero. Il rapporto è di uno a quattro. Nell'Uomo, ci fu maggiore diversificazione funzionale tra i due arti superiori come mostra il disegno da me medesimo eseguito, (Fig R1).

CINQUE DITA PER ARTO:
MAGGIORE OSCILLAZIONE
DEL SEGMENTO AC.

UN SOLO DITO PER ARTO:
MINORE OSCILLAZIONE
DEL SEGMENTO AC.

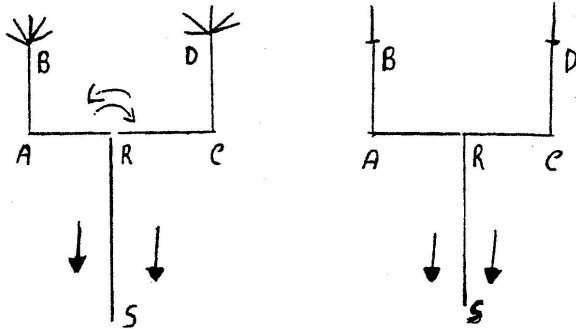


Fig. R1

Nei reperti fossili più remoti ascrivibili al genere *Homo*, sono state trovate alcune caratteristiche dei canali semicirculari dell'orecchio interno e deputati all'equilibrio statico. I tre canali semicirculari avevano un chiaro orientamento: due erano verticali rispetto al suolo ed uno orizzontale. Questa caratteristica è propria del genere *Homo* e

non delle scimmie, o degli Australopithecini. Secondo i più, questi aspetti anatomici sarebbero riconducibili ad una speciale popolazione di scimmie.

Secondo Leakey R. (1961), questi modelli anatomici (presa degli alimenti cogli arti superiori, stazione prevalentemente eretta e condotti semicirculari con una disposizione spaziale, propria del genere *Homo* e compatibile con la stazione eretta) indicano che al tempo dei più antichi rappresentanti di *Homo erectus* certe caratteristiche biologiche dei progenitori dell'Uomo si stavano già evolvendo verso quelle degli esseri umani odierni e soprattutto, stavano divergendo dal modello proprio delle scimmie antropomorfe, mentre le australopithecine continuavano ad aderire al modello di queste ultime. Nella specie umana, la clavicola ha un importante ruolo nei movimenti degli arti superiori.

Leakey dà più importanza alla deambulazione cogli arti inferiori. Sostiene che la trasformazione evolutiva collegata al bipedismo nei primi ominidi fosse stato un evento di basilare importanza. Secondo Leakey, il bipedismo fu un mutamento anatomico straordinario che implicò numerose trasformazioni, scheletriche e muscolari. Per esempio, in correlazione con la stazione eretta, la pelvi umana ha l'osso dell'anca (ileo) che si è espanso in senso trasversale. Invece negli scimpanzè, lo stesso osso si è espanso trasversalmente. Altre differenze riguardano gli arti ed il tronco. Secondo Leakey, il fenomeno del bipedismo da solo permette di conferire attributi umani a tutte le grandi antropomorfe bipedi che vissero dai cinque ai sette milioni di anni fa. Ciò non vuol dire che le prime grandi scimmie bipedi possedessero già capacità tecnologiche, facoltà intellettive complesse od altri attributi culturali, tipici dell'Uomo. Leakey dice che il passaggio al bipedismo ebbe in sé un tale potenziale evolutivo da far meritare a chi lo adottò il riconoscimento di una distinzione terminologica. Questi *esseri umani* ancestrali non erano come noi, ma senza il raggiungimento del bipedismo non sarebbero diventati una specie appartenente al genere *Homo*.

8 - Particolarità della circolazione encefalica, della sostanza grigia e bianca cerebrale in *Homo sapiens sapiens*.

In *Homo sapiens sapiens*, il flusso sanguigno cerebrale è ragguardevole. Gwinnett C.L. & Saha B. (2005), valutarono quantitativamente il flusso sanguigno arterioso destinato al cervello. Videro che sebbene il volume cerebrale sanguigno fosse piccolo, il flusso sanguigno cerebrale (CBF) era invece alto, comparato con quello di altri organi. Il flusso sanguigno cerebrale normale è circa 50 ml/100 g/min; la sostanza grigia riceve 80 ml/100 g/min e la sostanza bianca 20ml/100g/min. Ciò corrisponde a 700 ml/min, oppure al 15% della gittata cardiaca, quando per un solo organo è di solito sul 2% rispetto al peso corporeo. Nel cervello di Delfino e nell'Elefante, è preponderante la

sostanza bianca rispetto alla circostante grigia. Di conseguenza, l'irrorazione arteriosa cerebrale che dovrebbe servire una massa encefalica imponente rispetto all'umana sarebbe destinata a supportare non tanto la sostanza grigia, relativamente poco estesa, ma in particolare quella bianca che mediamente necessita di un minore contributo sanguigno. Nei cetacei e nell'Elefante, esistono estese reti mirabili, fraposte tra cuore e cervello. La loro presenza rende costante l'apporto sanguigno alle regioni encefaliche, ma con pressione e velocità ridotte. Ciò facilita l'irrorazione dell'abbondante sostanza bianca che necessita di un minore contributo sanguigno a parità di massa, rispetto alla grigia.

Asimmetriche sono le numerose reti mirabili dei delfini nei due versanti di destra e di sinistra. Quelle di destra sono nel complesso meno estese e voluminose, ma forniscono il sangue ad un lobo destro più esteso. La rete mirabile di destra è circa 1/3 della controlaterale. La rete mirabile di sinistra che sottende il corrispondente lobo, ha al suo interno una pressione sistolica mediamente minore della controlaterale. Come detto, in tutti i mammiferi studiati al riguardo, il lobo sinistro ha una maggiore concentrazione neuronale.

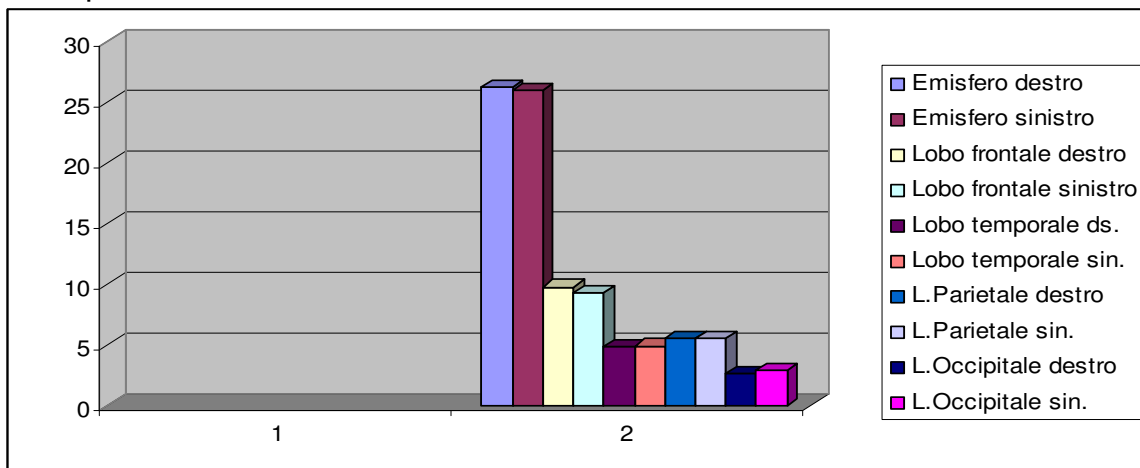
Nella specie umana, la sostanza bianca cerebrale ha un lento sviluppo, come dimostra lo studio di Paus T., (2001). L'autore osservò che la materia grigia cerebrale aveva il massimo sviluppo intorno ai cinque anni. La materia bianca aveva una crescita più lenta e completava la sua maturazione intorno al ventesimo anno. Paus aveva effettuato un approfondito studio con la MRI, su un gruppo di infanti, ragazzi ed adolescenti. Vide che la sostanza bianca si espandeva dopo la nascita a partire dal ponte e dai peduncoli cerebellari. Intorno al 1° mese fino al 3°, il processo di mielinizzazione riguardava la parte posteriore limbica della capsula interna, il ginocchio del corpo calloso ed infine verso gli 8-12 mesi, appariva la sostanza bianca dei **due lobi frontali**, parietali ed occipitali. A proposito dei lobi frontali, occorre precisare che queste aree sono asimmetriche fin dalla nascita e differenti a seconda del sesso. In media, i lobi frontali sono più ampi in individui di sesso maschile:

Donna: **200,1** cm³ (sinistro) - **216** cm³ (destro).

Uomo: **224,4** cm³ (sinistro) - **235,5** cm³ (destro).

Semendeferi e Damasio affermano che il lobo frontale in Homo e nelle grosse scimmie ha un aspetto simile, 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.

Tab. ψ



Ho effettuato l'istogramma qui sopra (tabella ψ) usando i dati di Nopoulos P. et all. (2000, 2001), sui volumi dei due emisferi cerebrali e delle sue parti (lobi frontali, parietali, temporali ed occipitali) di destra e di sinistra. L'emisfero destro ha un maggiore volume, come anche il lobo frontale destro. Dalla tabella ψ , si evince che i lobi frontali di destra e di sinistra abbiano seguito lo stesso sviluppo volumetrico, in stretto rapporto con quello dei rispettivi emisferi cerebrali. Invece, c'è una variabilità volumetrica, dipendente anche dal sesso in riferimento ai restanti lobi: Jayasundar R. e Raghunatan P., (1997), Kulynyck J.J. et all. (1994), Vikingstad E.M. et all. (2000), Le May M. (1985), Hugdahl K. et all. (1998, 2000, 2003), Good C. et all., (2001).

I lobi frontali sono stati gli ultimi a svilupparsi nell'evoluzione del cervello umano e ne costituiscono più del 40% del volume totale. I lobi frontali sono anche gli ultimi a connettersi col resto della materia cerebrale, nell'individuo giovane. Di fatto, tale connessione si completa intorno al ventesimo anno di vita. Nel maschio, la maggiore ampiezza ed asimmetria dei **lobi frontali** potrebbe incrementare la predisposizione verso la malattia schizofrenica, nel senso che uno squilibrio dei mediatori chimici, o di circolazione sanguigna o un alterato rapporto sostanza grigia/bianca in questa regione anatomica, troverebbero condizioni di amplificazione patologica negli asimmetrici parametri morfo - strutturali. Il diretto rapporto tra lo sviluppo della sostanza bianca cerebrale e la conseguente riduzione di quella grigia è stato evidenziato tra l'altro dalle ricerche di Giorgio A. et all, (2010) su un gruppo di 24 adolescenti sani, di varia età. La sostanza grigia cerebrale ha un ruolo dinamico nel periodo dello sviluppo adolescenziale, mostrando un quasi uniforme decremento in tutta la corteccia cerebrale. La perdita volumetrica di sostanza grigia e l'incremento di quella bianca era evidente in tutti i soggetti esaminati. L'incremento della sostanza bianca legato all'età, si accompagnava all'aumento dell'anisotropia frattale (**FA**) più alta nelle parti terminali delle fibre nervose, rispetto alle basali. Nell'adolescenza, il processo di mielinizzazione ed espansione del diametro trasversale assonale che porta all'incremento della sostanza bianca è molto intenso in alcune parti come a livello del fascicolo arcuato e bilateralmente, i lobi frontali sono quelli con maggiore aumento durante il periodo adolescenziale. I lobi frontali hanno altre importanti particolarità durante l'adolescenza, presentando una uniforme maturazione nelle aree fronto - parietali. Nei soggetti dagli otto ai diciotto anni, c'è una consistente relazione spaziale tra le variazioni volumetriche della sostanza grigia nel lobo fronto - parietale e la **FA** dell'adiacente sostanza bianca. Kuschinsky W. et all. (2002), hanno dimostrato:

- L'esistenza di una specifica densità capillare nelle varie aree cerebrali.
- L'esistenza di una stretta relazione tra il flusso sanguigno cerebrale e la densità capillare.
- Le aree con maggiore incremento di flusso sanguigno e maggiore densità capillare sono il collicolo superiore e la **corteccia frontale**.

Giorgio A. et all. hanno rilevato anche un significativo decremento volumetrico della sostanza grigia nella corteccia pre-frontale dorso laterale che risulta la struttura del lobo frontale con una più tardiva maturazione e con riduzione di sostanza grigia, solo alla fine dell'adolescenza. Ciò coincide con una tardiva mielinizzazione, suggerendo che la mielinizzazione e la *potatura sinaptica* siano fenomeni coincidenti. I dati esposti da Giorgio A. et all. si possono così sintetizzare:

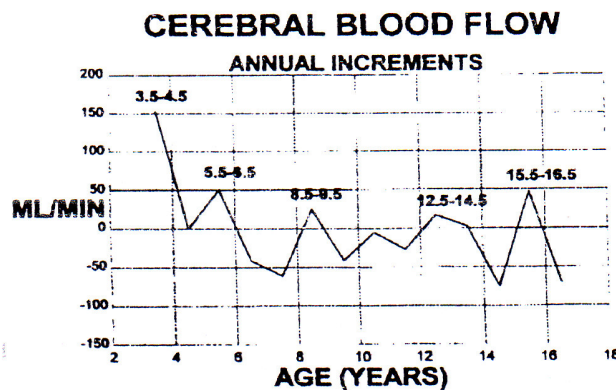
1. **Sostanza grigia.** Riduzione significativa della sostanza grigia durante tutta l'adolescenza nei lobi:
 - Frontali
 - Parietali
 - Temporo - occipitali.

Nella transizione verso l'età giovanile – adulta, questa riduzione volumetrica continua, specialmente nella corteccia pre - frontale dorsolaterale. Il decremento era dovuto alla *potatura sinaptica* che comporta la riduzione delle interconnessioni sinaptiche e delle ramificazioni dendritiche. In questo modo, il cervello conserva solo le reti neuronali con maggiore frequenza di utilizzo. Le connessioni che raramente sono attivate sono ritenute superflue ed eliminate.

Il fenomeno della *potatura* incrementa il raccordo fine interneuronale, migliorando la connettività generale. L'ottimizzazione della connettività interneuronale sarebbe dovuto alla sostanza bianca, avvolgente la grigia ed inciderebbe direttamente sul Q.I. individuale. Zilles K. et all. (1996) rilevarono lo stretto rapporto tra volume cerebrale e Q.I. Ci sarebbe un diretto rapporto tra il numero delle aree cerebrali, la loro estensione, la densità neuronale ed il Q.I. Dallo stadio di *Homo erectus*, ad *Homo habilis* e ad *Homo sapiens*, è venuto aumentando il volume cranico ed in parallelo il cervello si è evoluto fino a comprendere le funzioni attuali, proprie di *Homo sapiens sapiens*. Qui di seguito i dati di Giorgio A. sulla sostanza bianca.

2. **Sostanza bianca.** Negli adolescenti, il maggiore incremento era:

- tratto cortico – spinale
- rete intertalamica
- corpo calloso
- fascicolo arcuato
- lobo frontale (ragazzi tra i cinque e giovani fino ai 19 anni). Nella specie umana, il lobo frontale ha il suo maggiore incremento durante l'adolescenza.



← Tab. C.

La tabella C proviene dal lavoro di Epstein H.T., (1999) e mostra i decrementi gradualmente del flusso sanguigno cerebrale a cominciare dagli adolescenti di 3, 5, 4,5 anni, fino ai diciotto anni circa. Il numero degli anni è sull'asse dell'ascissa. **Il decremento potrebbe collegarsi alla riduzione volumetrica della sostanza grigia che richiede mediamente molto più ossigeno metabolico della bianca.**

Nello stesso periodo, la sostanza bianca ha un graduale aumento. A tal proposito, Bulla – Helwig M. et all., (1996) avevano già dimostrato con molti dati sperimentali lo stretto rapporto tra le variazioni del flusso sanguigno cerebrale e la fisiologia neocorticale.

Negli autistici, ci sarebbero ritardi di maturazione in riguardo sia alla materia grigia che alla bianca. Aspetti simili si riscontrano nella schizofrenia. Sandu Anca-Larisa et all., (2008) dimostrano la presenza d'irregolarità strutturali cerebrali in pazienti schizofrenici, a livello dell'emisfero destro. Negli schizofrenici, tutta la materia bianca cerebrale aveva un significativo incremento. C'è da presumere che in *Homo sapiens sapiens* la riduzione volumetrica cerebrale abbia favorito in particolare il lobo sinistro più ricco della sostanza grigia (corteccia), accentuandone la dominanza sul destro. Il fenomeno migliorò l'efficienza cerebrale, in genere anche se sembra che l'incidenza del Q.I. individuale dipenda soprattutto dall'ottimale organizzazione della sostanza bianca. In stati patologici come la schizofrenia, la dominanza a sinistra sarebbe meno accentuata ed in alcuni casi, addirittura invertita. C'è da tenere presente un particolare, unico tra i mammiferi. Solo in *Homo sapiens sapiens*, l'emisfero sinistro è il più ricco

di sostanza grigia a parità di massa corporea. Esso è servito dall'arteria carotide comune di sinistra, con origine diretta dall'arco aortico. Anche questa origine è una peculiarità della nostra specie.

**CAROTIDE COMUNE DI SINISTRA CON PRESSIONE E VELOCITÀ DI FLUSSO
ELEVATE**



**EMISFERO SINISTRO CON UNA MAGGIORE QUANTITÀ DI SOSTANZA GRIGIA A
PARITÀ DI MASSA CORPOREA**

Gli studi recenti di Cheng Y, Chou KH, YT Fan, e Lin CP, (2011) e di Courchesne E, K Campbell, Solso S. (2011), concordano in una crescita eccessiva del cervello tra i bambini con disordine dello spettro autistico (ASD). In questi soggetti, si verificherebbe una rapida, ma eccessiva crescita cerebrale nei primi due anni di vita. In particolare, rispetto ai gruppi di controllo, gli ASD presentavano:

- Maggiore volume della corteccia cerebrale.
- Sviluppo accelerato della corteccia cerebrale (sostanza grigia) nei primi due anni di età.
- **Allargamento trasversale** del cervello in *toto* (con la dilatazione del raggio della calotta cranica). Questo fenomeno rassomiglia molto allo sviluppo trasversale del cervello dei Neanderthal.
- Aumento della **materia bianca** del lobo temporale, rispetto ai bambini normali di controllo.

Il cervello dei bambini che sarà diagnosticato con ASD alla nascita ha un volume mediamente inferiore alla norma, ma si verifica una crescita accelerata nel primo anno di vita. La crescita del cervello tende successivamente a rallentare, per cui il volume cerebrale degli ASD non è molto diverso dai controlli, nell'adolescenza e nell'età adulta. Nell'Uomo, lo sviluppo del volume cerebrale avviene in modo particolare nell'adolescenza. Qui di seguito ci sono i dati che confrontano il volume cerebrale di un adulto normale e di un neonato umano normale:

Adulto: 1300 – 1400 cc

Neonato : 350 – 400 cc

C'è infine da segnalare il lavoro di Villablanca J.R. et al. (2000) nel Gatto a proposito della crescita delle due sostanze grigia e bianca. In una ricerca sull'encefalo di 64 gatti, gli Autori hanno osservato un più rapido accrescimento della neocortex (sostanza grigia) nei primi trenta giorni di vita. Dopo i trenta giorni, neocortex e sostanza bianca telencefalica mostravano uno incremento da sinistra verso destra, con visibili asimmetrie, divenendo l'emisfero destro più ampio del controlaterale.

9 - Reti neuronali in *Homo* ed in alcune specie di mammiferi con elevato volume cerebrale.

Dal punto di vista strutturale e funzionale, in paragone con specie ad elevato volume cerebrale come l'Elefante ed il Delfino, nell'Uomo e nelle grandi scimmie c'è una ottimale connessione tra i neuroni corticali che ricevono e trasmettono input di breve durata. La grande quantità di connessioni brevi si evidenzia nella concentrazione elevata di neuroni incapsulati in un singolo modulo, formanti i circuiti neuronali locali (LCNs) i quali hanno strette connessioni coi gruppi neuronali modulari adiacenti. Kaas J. H. (2007) ha rilevato che dagli scimpanzè all'Uomo, c'è un incremento del volume corticale ed una LCNs che va dal 93% al 98%. Viceversa, dall'Elefante all'Uomo, la LCNs decresce dal 98% al 91%.

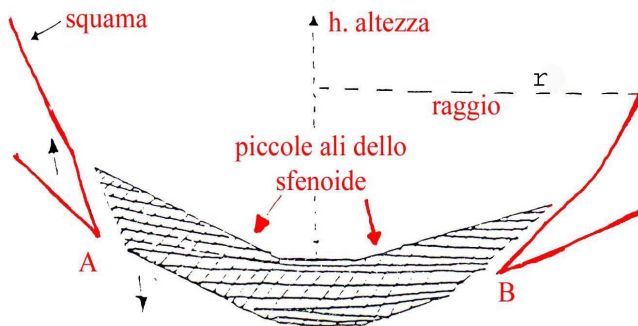
Nei delfini, Poth C. et all. (2005) studiarono il rapporto tra numero neuronale e relative unità corticali nella corteccia uditiva primaria, corteccia visiva e somatosensitiva, di entrambi gli emisferi cerebrali. La ricerca fu effettuata su sei specie di odontoceti, incluso i delfini comuni (*Delphinus delphis*), la balena pigmea (*Kogia breviceps*) ed il delfino naso di bottiglia (*Tursiops truncatus*). Partendo da un cervello con peso di 834 grammi fino ad uno di 6052 grammi, nelle aree corticali esaminate, c'era la riduzione della concentrazione neuronale, ma un incremento della massa cerebrale. In particolare nel delfino adulto, l'aumento in *toto* del peso **non era** collegabile alla densità cellulare per unità corticale. Aspetti simili sarebbero presenti nelle strutture cerebrali di Elefante, dimostrando l'eccessiva preponderanza della interna materia bianca cerebrale sulla grigia.

Nella specie umana, è stato visto che alcune malattie potrebbero essere causate da un disturbo di rete (connessioni inter neuronali) come per esempio la schizofrenia. Chamberlain S.R., Bullmore E.T. ed all., (2011) hanno dimostrato che il cervello di soggetti schizofrenici ha un tasso di sincronizzazione stranamente più elevato rispetto alle persone normali e sane. L'elevata sincronizzazione non era dovuta al miglioramento funzionale della rete d'interconnessione neuronale cerebrale, ma al contrario dipendeva da una sua diffusa riduzione. In un cervello normale, la densa rete di connessioni ha alcuni HUB di connessione o semplicemente *nodì di connessione*, attraversati da numerosi collegamenti intra ed inter emisferici. Queste reti sono state indicate anche come *small world* ed il loro funzionamento ha come cardine i molti HUB. Le reti *small world* permetterebbero al cervello la rapida elaborazione delle informazioni e l'efficiente conservazione della propria integrità morfo - strutturale e funzionale.

10 - Differenze tra Uomo di Neanderthal ed Homo sapiens sapiens in relazione al volume cranico.

Ho trattato questo argomento in un precedente saggio dal titolo *Correlazioni tra bipedismo, stazione eretta, prensione degli alimenti, sviluppo cranico ed asimmetrie cerebrali*.

Fig. 5.



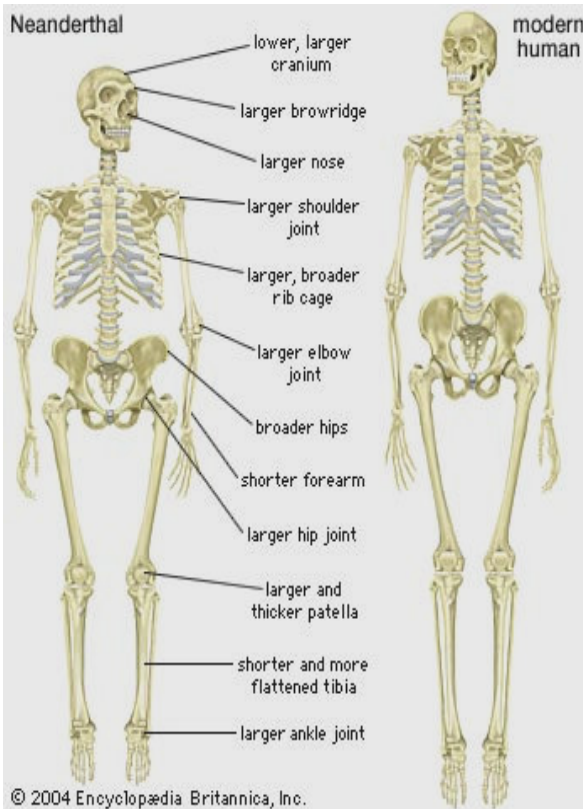
Ho ripreso ed elaborato lo stesso tema per dimostrare il differente sviluppo delle materie grigia e bianca cerebrale tra Uomo di Neanderthal ed Homo sapiens sapiens, correlato ad eventuali vantaggi o svantaggi oggettivi. Dallo studio di fossili e di calchi cranici, risulta come il cervello Homo di Neanderthal si fosse sviluppato prevalentemente in senso trasversale e che avesse raggiunto un maggior volume totale rispetto a quello di Homo sapiens

sapiens. Tuttavia, solo in quest'ultima specie a partire dagli ultimi duecentomila anni, è stata dimostrata una significativa riduzione volumetrica del cervello con le implicazioni positive, sopra elencate. E' da presumere che in Homo di Neanderthal la materia bianca cerebrale (sottostante alla grigia) sia stata molto espansa e che questa espansione abbia in un modo o nell'altro, impedito la riduzione volumetrica cerebrale, verificatasi in Homo sapiens sapiens. Il disegno (fig. 5) è stato eseguito da me medesimo. In riguardo al volume cranico, in Homo di Neanderthal ci fu un maggiore incremento di **r** che portò all'allontanamento tra loro delle superfici interne delle ossa temporali.

Il maggiore incremento di **r** è coincidente con la superficie delle ossa parietali più espansa trasversalmente in Homo di Neanderthal che in Homo sapiens sapiens. In Homo sapiens sapiens, ci fu un maggiore allungamento di **h**, con allontanamento del corpo del basisfenoide dalle superfici interne delle ossa parietali. In Homo di Neanderthal, il volume cerebrale raggiunse i 1487 cc come

valori massimi, superiore a quello di *Homo sapiens sapiens* che è mediamente di circa 1230 cc. L'incremento in senso trasversale del cervello di Neanderthal favorì l'**espansione della sostanza bianca, situata internamente alla grigia**. L'incremento avvenne in maggior misura che in *Homo sapiens sapiens*. Viceversa, l'incidenza di **h** avutosi in *Homo sapiens sapiens* favorì l'espansione della sostanza grigia, esterna alla bianca. Queste modificazioni morfometriche avvengono seguendo l'aumento del segmento sferico ad una sola base che racchiude l'encefalo (calotta cranica). Più in particolare, l'incremento riguarda il diametro ed il volume totale della calotta cranica. Questo segmento sferico ha per base una circonferenza con diametro **AB**, (fig. 5). Il volume di tale segmento di sfera con una base è dato dalla seguente formula: **$V = 1/6 \pi h (h^2 + 3r^2)$** .

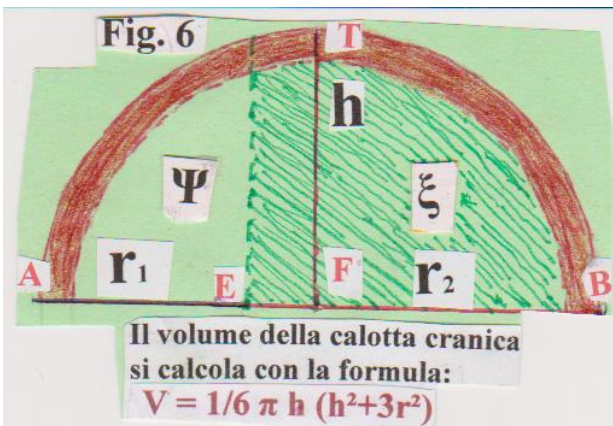
L'aumento volumetrico del segmento sferico dipende, oltre che dall'altezza - distanza tra le ossa parietali e base cranica - dal **quadrato del raggio moltiplicato per tre, cioè $(3r)^2$** . La sutura



© 2004 Encyclopædia Britannica, Inc.

squamosa tra piccole ali dello sfenoide e faccia interna dei temporali avviene tra superfici ossee tagliate a sbieco, una della superficie interna (squama del temporale) ed una della superficie esterna (ali temporali o piccole ali dello sfenoide): l'allungamento dell'estremità di A e di B, appartenenti al diametro AB, comporta aumento in altezza (**h**) della cavità cranica, essendo i parametri di altezza e raggio strettamente relazionati. Nel corso dell'evoluzione umana, si sono verificati incrementi sia di **h** che di **r**. Dai reperti fossili, risulta che in *Homo* di Neanderthal, ci fu un maggiore incremento di **r**, (con allargamento trasversale delle ossa parietali) ma in *Homo sapiens* ed *Homo sapiens sapiens*, l'incremento maggiore riguardò di più **h**. Cioè, tra *Homo* di Neanderthal ed *Homo sapiens sapiens*, ci fu una inversione di parametri: nel primo un maggiore e più rapido allungamento di **r** e nel secondo un lento aumento di **r** ed un più rapido allungamento di **h**. Verosimilmente, l'incremento di **r** fu accompagnato dall'espansione della sostanza bianca e quello di **h** da un maggiore aumento di

sostanza grigia cerebrale. E' probabile che l'avvento di una mutazione genetica, sostenuta da numerosi autori tra i quali Llewellyn Sue, (2009) sia stata relazionata all'aumento del raggio e dell'altezza della calotta cranica, insieme con una maggiore concentrazione neuronale, a livello



neocorticale. Ho copiato l'immagine a lato da un disegno dell'Enciclopedia Britannica. Mostra le differenze scheletriche tra *Homo* di Neanderthal ed *Homo sapiens sapiens*. *Homo* di Neanderthal ebbe un cranio più largo. La riduzione volumetrica avvenuta nel cervello di *Homo sapiens sapiens* negli ultimi duecentomila anni, migliorò le funzioni cerebrali complessive. Dal punto di vista evolutivo, lo stesso non sarebbe potuto accadere in *Homo* di Neanderthal perché la riduzione volumetrica del cervello ne avrebbe sminuito le prestazioni, incrementando ancora

di più lo squilibrio tra la preponderante sostanza bianca e la grigia.

La figura 6 è lo schema di una calotta cranica ad unica base il cui volume è dato dalla formula generale: $V = 1/6 \pi h (h^2 + 3r^2)$. L' aumento del volume di una calotta ad una sola base è collegato in particolare alla tripla lunghezza del suo raggio, elevato al quadrato. Nell'Uomo, l'emisfero destro (ξ) tratteggiato col verde, corrisponde alla semicalotta che ha per base il segmento **FB**. Il raggio (r_2) di questa semicalotta è leggermente maggiore di r_1 che è il raggio dell'emisfero sinistro, indicato col simbolo ψ . Cioè, r_2 ha come lunghezza il segmento FB ed r_1 corrisponde al segmento AE. Nella fig. 6, la sostanza grigia (neocortex) dei due emisferi cerebrali è stata colorata in rosso e quella bianca è la sottostante verde (per l'emisfero sinistro ed è stata anche tratteggiata per l'emisfero destro). La calotta cranica non ha un volume omogeneo, pur avendo la stessa altezza (h), rappresentata dal segmento TF. La semicalotta cranica ha un volume ed un raggio minore nell'emisfero sinistro, rispetto al controlaterale. In Homo di Neanderthal, avvenne un maggiore allungamento complessivo della base di tale calotta cranica e ciò comportò un grande incremento della sostanza bianca, in particolare nell'emisfero destro. In Homo sapiens *sapiens*, ci fu un maggiore allungamento di **h** (altezza della calotta cranica e quindi dei due emisferi cerebrali) con incremento della esterna sostanza grigia. L'aumento di sostanza grigia fu molto superiore rispetto a quello registrato nella sottostante materia bianca. Per questo in Homo di Neanderthal, ci fu un rapporto spropositato tra sostanza grigia e bianca cerebrale a favore di quest'ultima. Questo rapporto fu diverso in homo sapiens *sapiens*, dove l'aumento di **h** (altezza della calotta cranica) riguardò principalmente l'espansione della sostanza grigia ed in minor misura quella bianca.

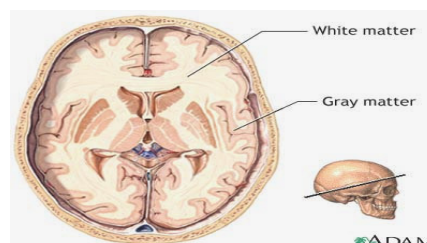
La riduzione volumetrica verificatasi negli ultimi duecentomila anni è avvenuta verosimilmente in modo asimmetrico, partendo da una asimmetria iniziale dei due emisferi cerebrali con un emisfero sinistro meno voluminoso del destro. Come si è detto, questa asimmetria è comune in tutti i mammiferi. E' ipotizzabile che la netta dominanza dell'emisfero sinistro sul controlaterale abbia dato inizio e regolato la riduzione volumetrica encefalica in Homo sapiens *sapiens*.

11 - Diversa evoluzione cerebrale in Homo sapiens *sapiens* ed in Homo di Neanderthal.

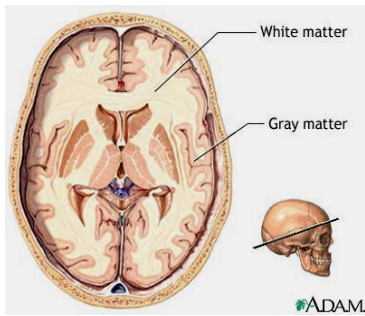
Tenendo presente lo schema precedente (Fig. 6), nella sua evoluzione, il cervello di Homo sapiens *sapiens* ebbe un incremento soprattutto in altezza, ma Homo di Neanderthal ebbe un aumento in larghezza. Di conseguenza, la sostanza grigia cerebrale, colorata di rosso, si espanse in Homo di Neanderthal, seguendo l'allungamento della base della calotta cranica, ma in Homo sapiens *sapiens* ci fu un maggiore incremento dell'altezza h. Verosimilmente, in Homo di Neanderthal, fu molto problematica la connessione inter emisferica, tramite il corpo calloso.

Secondo Oishi M. et all. (1999), stretti rapporti esistono tra l'atrofia del **corpo calloso** e la riduzione del flusso sanguigno cerebrale. E' da presumere che in Homo di Neanderthal, la circolazione sanguigna cerebrale dovrebbe essere stata per forza molto più complessa, avendo dovuto servire un cervello più voluminoso, più pesante di Homo sapiens *sapiens* e con difficili interconnessioni tra i due emisferi. Specie di mammiferi con grosso volume cranico come l'Elefante ed il Delfino hanno il Poligono di Willis fiancheggiato da una speciale circolazione encefalica con estese reti mirabili, frapposte tra cuore e cervello. Verosimilmente, per un volume encefalico di 1400 o più cc come quello dei Neanderthal, il solo poligono di Willis alla base cranica poteva non essere adatto per l'ottimale irrorazione del cervello. Hutsler J. J. and Ralf A.W. Galuske, (2003), Lovick T.A. et all., (1999) hanno chiaramente dimostrato le dirette implicazioni sull'intero processo della corticogenesi del flusso sanguigno cerebrale in particolare per quanto riguarda i parametri costanti, espressi dal Numero di Reynolds, dalla Legge di Darcy e dall'Equazione di Poiseuille.

A



B



Conformazione del cervello in *Homo sapiens sapiens*, (A). La stessa figura deformata in senso trasversale (aumento eccessivo del raggio della calotta cranica), come si presume sia avvenuto nell'evoluzione di Homo di Neanderthal, (B). Questo sviluppo trasversale del cervello (Uomo di Neanderthal) rese più problematica l'interconnessione tra i due lobi cerebrali e non agevolò di certo la dominanza del lobo sinistro. Anche i lobi frontali dovettero essere meno espansi ed efficienti che in *Homo sapiens sapiens*. Homo di Neanderthal aveva la fronte sfuggente.

- La sostanza bianca è costituita da fibre mieliniche, oligodendrociti, astrociti fibrosi e cellule di microglia. Il colore bianco è dato dalla mielina.
- Col suo sviluppo volumetrico, la sostanza bianca *gonfia* come un pallone l'intero cervello, circondato dal mantello della neocortex (grigia).
- La sostanza grigia contiene il soma (corpo cellulare neuronale), fibre amieliniche e mieliniche, astrociti protoplasmatici, oligodendrociti e cellule di microglia.

Luders et al., (2009) affermano che il rapporto ottimale tra i volumi di sostanza grigia e bianca sia in stretta correlazione con un alto quoziente intellettuale, Q.I. L'elaborazione delle informazioni a livello corticale sembra procedere più lentamente nel cervello di Elefante, rispetto ai primati. Questa capacità di elaborare informazioni dipenderebbe da:

- Numero dei neuroni neocorticali.
- Disposizione spaziale degli stessi neuroni.
- Tipo d'interconnessione neuronale.
- Distanza tra i neuroni intercollegati.
- In linea generale, un cervello con scarsa connettività corticale ha lenti processi di elaborazione delle informazioni.

Studi recenti hanno dimostrato che i Neanderthaliani si siano evoluti dai primi Homo, staccandosi da un ramo in parte simile a quello di *Homo sapiens* (arcaico). Sia *Homo sapiens* (arcaico) che Neanderthal derivarono da un antenato comune simile agli scimpanzè, tra i cinque ed i dieci milioni di anni fa. Entrambe le specie di *Homo sapiens* (arcaico) e di Neanderthal avevano il volume cranico molto sviluppato, ricollegabile probabilmente ad un unico antenato con una tale morfologia encefalica. Sia *Homo sapiens* (arcaico) che *Homo* di Neanderthal erano strettamente relazionati con *Australopithecus*, con *Homo habilis* ed *Homo ergaster*.

E' stato visto che la pelvi di una donna di Neanderthal era più ampia di quella una donna moderna. Ciò corrispondeva al volume cranico dei neonati di Neanderthal che avevano un cospicuo volume cranico, particolarmente sviluppato in senso trasversale. Dopo la nascita, i volumi cranici dei Neanderthal crescevano più rapidamente di quelli di un uomo moderno, raggiungendo una notevole ampiezza in età adulta. Questa rapidità di crescita volumetrica in età adolescenziale, non implica un ottimale sviluppo intellettuale. Si suppone che le differenze circa la durata della gestazione, il raggiungimento della maturità sessuale e la durata della vita media, oltre che il volume cranico siano stati decisivi per l'affermazione di *Homo sapiens*, all'opposto dei Neanderthal. Inoltre, e' probabile che i Neanderthal non avessero posseduto la complessità cognitiva degli uomini moderni. Jennifer Viegas (2011), ha effettuato numerose ricerche sul

cervello dei Neanderthal. Dice: *Neanderthal brains matured rapidly, with a smaller cortex than modern humans. Neanderthals probably did not possess the cognitive complexities of modern humans so did not suffer from schizophrenia and certain other mental disorders, according to a new theory.*

Cioè: i cervelli di Neanderthal maturavano velocemente, con una **corteccia più piccola** rispetto a quella degli uomini moderni. Non avevano le nostre complesse conoscenze e per questo non soffrivano di Schizofrenia e di altri disordini.

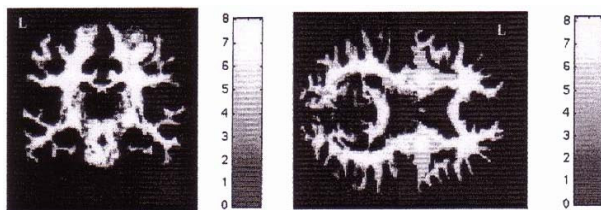
C'è da puntualizzare che numerose ricerche contraddicono queste affermazioni, in particolare sulla malattia schizofrenica. Sembra che gli schizofrenici abbiano un'abbondante sostanza bianca nei due emisferi.

Il biologo evoluzionista Jonathan K. Pritchard, (2010) si dice certo che negli ultimi 60.000 anni sia accaduto raramente negli esseri umani il classico scenario della selezione naturale, dove una singola mutazione vantaggiosa si possa diffondere come un incendio in una popolazione. Al contrario, questo meccanismo di cambiamento evolutivo sembra esigere una pressione ambientale costante per decine di migliaia di anni: condizione poco comune, avendo i nostri antenati cominciato a viaggiare per il mondo ad ogni latitudine e longitudine con il ritmo dell'innovazione tecnologica che andò di pari passo accelerandosi. La spiegazione di queste apparenti incongruenze potrebbe essere data dalla riduzione del cervello umano che ne migliorò notevolmente l'efficienza, senza la necessità di una improvvisa mutazione genetica.

11 - Sviluppo asimmetrico della materia bianca umana, in riferimento al sesso.

Good C. et all. (2001), hanno usato la tecnica voxel – connessa alla morfometria (VBM) per esaminare l'asimmetria della materia bianca negli emisferi cerebrali umani, rapportata al sesso e all'uso preferenziale di una delle due mani. La ricerca fu fatta su 465 adulti normali. C'era una significativa asimmetria – riferita ai petalia – nelle sostanze bianca e grigia cerebrali dei lobi temporali, occipitali, frontali, includendo il Gyro di Heschl, il Planum temporale (PT) e la formazione ippocampale. Gli uomini avevano un incremento asimmetrico a sinistra tra Gyro di Heschl e PT, rispetto alle donne. Non c'era una chiara interazione tra asimmetria e uso preferenziale di una delle mani, ma una significativa differenza riferita al sesso. Le donne avevano un incremento volumetrico della sostanza grigia nelle adiacenze di entrambi i solchi centrali e in quello temporale superiore sinistro. C'era incremento volumetrico della sostanza grigia nel Gyro di Heschl destro e nel Planum temporale, nei Gyri inferiori frontali e fronto marginali, oltre che nel cingolato. Le donne avevano anche un incremento significativo della concentrazione della sostanza grigia in modo esteso e quasi simmetrico nel manto corticale, nel Gyro paraippocampale, e nei solchi cingolato e calcarino. I maschi avevano un aumento volumetrico bilaterale della sostanza grigia nei mesia dei lobi temporali, nella corteccia endorinale e peririnale, oltre che nei lobi anteriori del cervelletto, (Fig. 3, a-b).

FIG. 3 (a-b)



a) Volume della sostanza bianca nelle femmine rispetto ai maschi. Le regioni d'incremento volumetrico della materia bianca sono in sopra impressione rispetto alla media normale riferita all'immagine della materia bianca. Significativi VOXEL sono visibili lateralmente alla materia frontale posteriore, nel peduncolo temporale sinistro e nella radiazione ottica.

b) Concentrazione della sostanza bianca: incremento nelle femmine rispetto ai maschi. Regioni con incremento di concentrazione della sostanza bianca – dati modulari – sono in sopra impressione

rispetto all'immagine media della sostanza bianca normale. Significativi punti di VOXEL sono visibili lateralmente nelle capsule interne, esterne e nelle radiazioni ottiche. Un numero di VOXEL è visibile anche nel globus pallidus, putamen di entrambi i siti, forse mescolati ai VOXEL derivanti dallo scarso tessuto di contrasto.

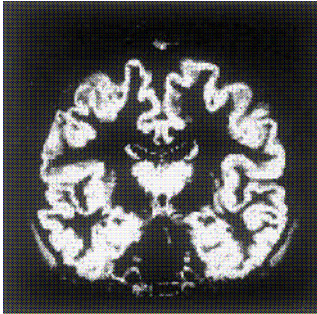
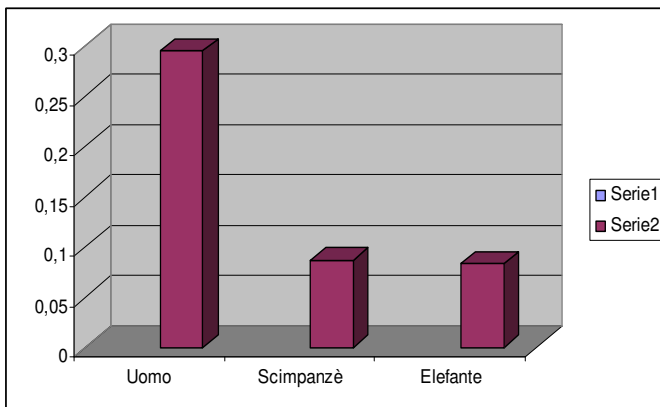


Fig. 3 – C. Anche l'immagine a lato è stata estrapolata dal lavoro di Good C. D. et all. (2001) e mostra la sostanza grigia cerebrale durante il suo sviluppo, nell'individuo di sesso maschile. Gli Autori concludono che nei maschi, era evidente un generale declino (con riduzione volumetrica) della sostanza grigia cerebrale, collegata all'età adulta. Questo declino non era però evidente nelle singole regioni, ma solo a livello globale. La ricerca di Good C.D. et all. era stata eseguita su un vasto gruppo di persone sane di entrambi i sessi: per la precisione su 465 adulti normali.

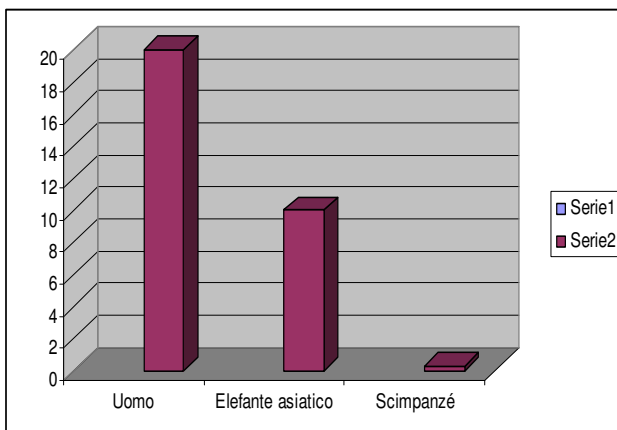
12 – Aspetti comparativi tra il cervello di Uomo, Scimpanzè ed Elefante.

I seguenti grafici da me medesimo elaborati, chiariscono alcuni rapporti quali/quantitativi tra le masse encefaliche di tre specie tra cui l'umana. Il primo grafico riguarda il quoziente di encefalizzazione (Q.E.) che è la risultante del rapporto tra la massa cerebrale ed il peso corporeo. Questo rapporto è molto più alto nell'Uomo. Il secondo grafico riporta il numero complessivo dei neuroni cerebrali che anche in questo caso è molto elevato nell'Uomo, tale da distanziare di parecchio le altre due specie considerate. Nel cervello umano ed in quello di Scimmia, sono molto

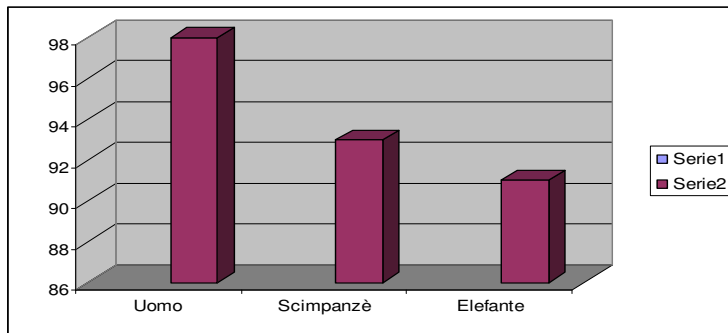


numerose le interconnessioni brevi, formanti i circuiti neuronali locali (LCNs). Com'è stato detto, dagli scimpanzè all'Uomo, c'è un incremento del volume corticale ed una LCNs che va dal 93% al 98%. Viceversa, dall'Elefante all'Uomo, la LCNs decresce dal 98% al 91%.

Quoziente di encefalizzazione (Q.E.) tra Uomo (7,5), Scimpanzè (2,5) ed Elefante (2,00).



Numero dei neuroni cerebrali: Uomo (20 bilioni), Elefante asiatico (10 bilioni), scimpanzè (6,5 bilioni).



LCNs (percentuale dei circuiti neuronali locali): Uomo (98%), Scimpanzè (93%), Elefante (91%).

Dai tre grafici risulta il grande distacco tra l'Uomo e le due altre specie considerate, l'Elefante e lo Scimpanzè in riguardo alla LCNs, alla Q.E. ed alla **densità neuronale cerebrale**. Nell'Elefante, la massa cerebrale è data soprattutto dalla spropositata quantità di sostanza bianca che tra l'altro necessita di un contributo sanguigno molto inferiore all'esigenze metaboliche della grigia.

13 - Conclusioni.

L'evoluzione della scatola cranica risponde a leggi selettive, riconducibili a teorie evuzionistiche. Il cervello umano è contenuto nelle ossa del neurocranio e dal punto di vista strutturale ha molte caratteristiche simili a quello degli scimpanzè. Tuttavia, sembra che il funzionamento cerebrale umano abbia aspetti che vanno oltre la teoria darwiniana. Mentre il cervello come organo fisico è il prodotto dell'evoluzione come oggi la s'intende, il *cervello culturale* e la *Mente* potrebbero essere un mezzo di trasformazione del cervello, evolutosi secondo principi non spiegabili in termini evuzionistici. Per esempio, potrebbero esistere forme di creatività diverse dalle leggi che regolano la selezione naturale. Mc Shea D. & Brandon R. (2010), affermano che la crescita della complessità nei sistemi biologici – sistema nervoso compreso – sarebbe una tendenza universale, un principio unificante di fondo, prevalente sempre se non ci sono altri tipi di vincoli e influenze contrarie. Secondo i due scienziati, la diversità di livello inferiore misura la complessità dell'adiacente livello superiore.

Dal punto di vista evolutivo, circa sette milioni di anni fa avvenne la divaricazione tra Uomo e Scimmia. Nell'evoluzione umana, bisognerebbe tener conto di due principali gradi di differenziazione. Un grado arcaico che comprende l'Uomo di Neandethal con encefalo superiore mediamente al nostro ed a quello di *Homo sapiens*. Il grado moderno riguarda l'avvento di *Homo sapiens sapiens* col quale ebbe origine la vera Storia umana, accompagnata dalle prime grandi civiltà.

Il volume cranico di *Homo* di Neanderthal fu superiore a quello di un uomo moderno con un forte incremento di **r** (raggio della calotta cranica) che comportò sia l'allontanamento tra loro delle superfici interne delle ossa temporali, sia l'espansione trasversale delle ossa parietali. Considerando la cavità cranica come un segmento sferico ad una sola base (calotta cranica), l'incremento del suo volume avviene secondo la formula: **$V = 1/6 \pi h (h^2 + 3r^2)$** . 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, cioè $(3r)^2$** . E' stato altresì osservato che la massa cerebrale di *Homo sapiens sapiens* s'è andata rimpicciolendo negli ultimi duecentomila anni, mentre le facoltà intellettive si sono senza dubbio incrementate. Riducendosi la massa encefalica, è aumentato sicuramente il numero e la funzionalità delle sinapsi tra i neuroni; è migliorata l'organizzazione dei centri corticali; si è avuto una ottimale irrorazione sanguigna della stessa massa encefalica ed un più efficiente apporto di sostanze nutritive. Nelle sue molteplici connessioni, il tessuto nervoso centrale assomiglia ad una rete (rete neuronale) che ha caratteristiche di un sistema a geometria ripetitiva, cioè frattale. L'aumento della complessità in un simile sistema dipende dalle sue parti minuscole

come l'elevato numero delle sinapsi. Per questo, il volume della scatola cranica contenente la complessità cerebrale può restare costante o rimpicciolirsi, sia pure di poco (Isaeva, V.V. et all., 2004). L'Uomo di Neanderthal vissuto circa 100.000 anni fa, in contemporanea con Homo sapiens (arcaico), poteva raggiungere una capacità cranica tra i 1260 cm³ ed i 1487 cm³, superiore a quella di Homo Sapiens sapiens (1230). Però Homo Sapiens sapiens si giovò in modo ottimale delle strette connessioni col sistema circolatorio, così come l'organismo intero trae vantaggio – per esempio – dal sistema frattale dei microvilli intestinali. Se alcune cellule assorbenti intestinali avessero i microvilli un po' più lunghi, occuperebbero lo stesso volume, pur avendo una maggiore superficie assorbente. Negli ultimi duecentomila anni con la riduzione volumetrica del cranio, sarebbe migliorata l'efficienza della rete nervosa cerebrale (in particolare della neocortex). La risultante di questo fenomeno evolutivo ha migliorato l'efficienza in particolare della neocortex ed ha accentuato la dominanza del lobo sinistro sul controlaterale. Wickett e coll., (2000) hanno visto che non c'è un rapporto diretto tra il volume cerebrale, l'intelligenza media umana, il quoziente intellettivo e le funzioni cognitive in generale. La riduzione del volume cranico umano trova un significativo parallelismo coi delfini dell'Eocene (Dorotun atrox e B. isis) e quelli attuali. **B. isis** ebbe un volume cranico di circa 2800 cc., superiore agli odierni delfini con volume di circa 2400cc.

Le ricerche di Rappoport (1999) e di Marino Lori, (2000) evidenziano questi tipi di discrepanze volumetriche a livello cranico, nei cetacei. In termini generali, la riduzione volumetrica del cervello è un evento evolutivo verificatosi in specie che avevano raggiunto una grossa massa encefalica come l'umana e la cetacea. L'evoluzione dei delfini come della specie umana non passa certamente per un incremento spropositato della massa cerebrale in *toto*, ma piuttosto dipende da un tipo di organizzazione ed interconnessione neuronale. Barkataki I. et all. (2006), rilevano come nell'Uomo l'incremento volumetrico del cervello in *toto* possa indicarne un impoverimento ed una scarsa qualità funzionale. Pazienti schizofrenici e persone altamente antisociali mostrano un incremento volumetrico cerebrale generalizzato ed in molti casi, l'emisfero dominante risulta essere il destro, più abbondante di sostanza bianca, ma con minore concentrazione neuronale. Queste affermazioni sembrano contraddire quelle di Jennifer Viegas secondo la quale i Neanderthalliani non dovevano soffrire di schizofrenia, avendo una massa encefalica molto ricca di sostanza bianca ed una scarsa neocortex.

Negli psicotici anti – sociali, c'è anche un significativo aumento volumetrico dello striato, oltre all'aumento della sostanza bianca in modo spropositato. Secondo Glenn A. L. et all., (2010) ciò è indice di un grave deficit d'input nel *rinforzo di apprendimento* che coinvolge lo striato, l'amygdala e la corteccia frontale ventro – mediale.

14 – RIASSUNTO

Alcuni ritengono che l'avvento del pensiero, della coscienza e del linguaggio prettamente umani siano stati eventi molto rapidi e quasi improvvisi. Una eccezione nel regno animale che non trova paragoni validi in altre specie, sia pur dotate di elevate facoltà cerebrali. Invece, altri Autori non hanno difficoltà nel relazionare strettamente l'Uomo col resto del mondo animale e sostengono una evoluzione lenta e spesso discontinua delle sue capacità intellettive. Altri ancora non accettano pienamente l'ipotesi evolucionistica, ritenendo l'Uomo una specie a se stante, molto distaccata dagli altri mammiferi, avendo avuto uno sviluppo molto particolare della sua parte encefalica.

Il biologo evolucionista Jonathan K. Pritchard, (2010) si dice certo che negli ultimi 60.000 anni sia accaduto raramente negli esseri umani il classico scenario della selezione naturale, dove una singola mutazione vantaggiosa si possa diffondere come un incendio in una popolazione. Al contrario, questo meccanismo di cambiamento evolutivo sembra esigere una pressione ambientale costante per decine di migliaia di anni: condizione poco comune, avendo i nostri antenati cominciato a viaggiare per il mondo ad ogni latitudine e longitudine con il ritmo dell'innovazione tecnologica che andò di pari passo accelerandosi. La spiegazione di queste apparenti incongruenze

potrebbe essere data dalla riduzione del cervello umano che ne migliorò notevolmente l'efficienza, senza la necessità di una improvvisa mutazione genetica.

In Homo di Neanderthal, il volume cerebrale delimitato superiormente dai parietali molto espansi trasversalmente, oltrepassò in molti casi i 1400 cc, superiore a quello di Homo sapiens sapiens che è mediamente di circa 1230 cc. L'incremento in senso trasversale del cervello di Neanderthal favorì l'espansione della sostanza bianca in maggior misura che in Homo sapiens sapiens. Viceversa, l'incremento della distanza tra base cranica (basi sfenoide e basio – occipitale) e volta (superficie interna delle ossa parietali) avutosi in Homo sapiens sapiens favorì l'espansione della sostanza grigia, distribuita esternamente alla bianca. La riduzione volumetrica avvenuta nel cervello di Homo sapiens sapiens negli ultimi duecentomila anni migliorò le funzioni cerebrali complessive, in particolare in riguardo alle prestazioni della sostanza grigia. Dal punto di vista evolutivo, lo stesso non sarebbe potuto accadere in Homo di Neanderthal perché la riduzione volumetrica del cervello ne avrebbe ridotto le prestazioni, incrementando lo squilibrio tra la prevalente ed eccessiva sostanza bianca e la sovrastante grigia.

Questo aspetto sembra confermare le affermazioni di Pinker Steven (1994) e di Pinker Steven & Bloom Paul (1990) secondo i quali il linguaggio articolato era reso possibile dall'estrema precisione dei microcircuiti cerebrali e non dal volume del cervello, o dalla sua forma. Anche Barkataki I. et al., (2006) concordano nel fatto che l'incremento volumetrico generalizzato ed eccessivo del cervello umano ne possa indicare un impoverimento ed una scarsa qualità funzionale. Pazienti schizofrenici e persone altamente antisociali mostrano un aumento volumetrico cerebrale generalizzato, rispetto alla norma.

E' da presumere che in Homo di Neanderthal, la circolazione sanguigna cerebrale dovesse per forza essere molto più complessa, dovendo servire un cervello più voluminoso di Homo sapiens sapiens. Specie di mammiferi con grosso volume cranico come l'Elefante ed il Delfino hanno il Poligono di Willis fiancheggiato da una speciale circolazione encefalica con estese reti mirabili, frapposte tra cuore e cervello. Verosimilmente, per un volume encefalico di circa 1400 o più cc come quello dei Neanderthal, il solo poligono di Willis alla base cranica poteva non essere sufficiente per l'ottimale irrorazione cerebrale. Hutsler J. J. & Ralf A.W. Galuske, (2003), Lovick T.A. et al., (1999) hanno chiaramente dimostrato le dirette implicazioni sull'intero processo della corticogenesi delle caratteristiche fisiche del flusso sanguigno cerebrale, in particolare per quanto riguarda i parametri espressi dal Numero di Reynolds, dalla Legge di Darcy e dall'equazione di Poiseuille.

Tra i primati, solo in Homo sapiens sapiens, l'emisfero sinistro è il più ricco di sostanza grigia a parità di massa corporea. E' servito dall'arteria carotide comune di sinistra, con origine diretta dall'arco aortico e senz'anastomosi collaterali. Anche questa origine è una peculiarità della nostra specie.

**CAROTIDE COMUNE DI SINISTRA CON PRESSIONE E VELOCITA DI FLUSSO
ELEVATE**



**EMISFERO SINISTRO CON MAGGIORE QUANTITA DI SOSTANZA GRIGIA A
PARITA DI MASSA CORPOREA**

Come detto nella premessa, nell'Uomo di Neanderthal male si conciliavano un encefalo voluminoso ed una elevata velocità sistolica nelle cerebrali medie, verosimilmente di calibro superiore a quelle di Homo sapiens sapiens: il volume cerebrale essendo superiore in Homo di Neanderthal. Com'è noto, la velocità di flusso è inversamente proporzionale al calibro del condotto in cui scorre.

Nei primi anni di vita, eccessivi incrementi del volume cerebrale con aumento oltre alla norma della sostanza grigia e bianca sono stati descritti di recente tra i bambini con disordine dello spettro autistico (ASD). In particolare, l'allargamento trasversale del cervello in *toto* (con la dilatazione del raggio della calotta cranica) negli ASD rassomiglia molto allo sviluppo trasversale del cervello dei Neanderthal. In questi bambini, erano anche evidenti alterazioni del flusso sanguigno cerebrale.

BIBLIOGRAFIA

- Barkataki I, Kumari V, Das M, Taylor P, Sharma T.: *Volumetric structural brain abnormalities in men with schizophrenia or antisocial personality disorder*. Behavioral Brain Research. 169 (2): 239-47, (2006).
- Bogerts, B.: *The temporolimbic system theory of positive schizophrenic symptoms*. Schizophrenia Bulletin, 23: 423-435, (1997).
- 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).
- Chamberlain SR, Blackwell AD, Nathan PJ, Hammond G, Robbins TW, Hodges JR, Michael A, Semple JM, Bullmore ET, Sahakian BJ: *Differential Cognitive Deterioration in Dementia: A Two Year Longitudinal Study*. J. Alzheimers Dis [Details.](#), (2011).
- Campbell Ian: *Teen Brains Clear Out Childhood Thoughts*, LiveScience, (2009).
- Cantalupo C. & Hopkins D.: *Asymmetric Broca's area in Great Apes*. Nature, 414: 120 – 125, (2001).
- Cheng Y, Chou KH, YT Fan, e Lin CP: *Aberrant Neurodevelopment of the Social Cognition Network in Adolescents with Autism Spectrum Disorders*. PloS one, 6 (4) PMID: [21541322](#), (2011).
- Crow T.J: *Sexual selection, Machiavellian intelligence, and the origins of psychosis*. Lancet. 342: 594-598, (1993).
- Courchesne E, K Campbell, Solso S.: *Brain growth across the life span in autism: age-specific changes in anatomical pathology*. Brain research, 1380 , 138-45 PMID: [20920490](#) C, (2011).
- Epstein HT.: *Stages of increased cerebral blood flow accompany stages of rapid brain growth*. Brain Dev 21(8): 535-539, (1999).
- Erren Thomas C.: *Neanderthal, Chimp and Human Genomes: hypotheses wanted for research onto brain evolution*. Medical Hypotheses, 70: 4 – 7, (2008).
- 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).
- Gainotti G.: *Laterality of affect: The emotional behavior of right- and left-braindamaged patients*. In: Myslobodsky M.S.(ed): Hemisyndromes. Academic Press, New York, pagg. 175-192, (1983).
- Giedd JN, Castellanos FX, Rajapakse JC, Kaysen D, Vautuzis AC, VaussYC, Hamburger SD, Gordon H.W., Corbin E.D., P.A. Lee: *Changes in specialised cognitive function following changes in hormone levels*. Cortex , 22: 399-415, (1986).
- Giorgio A. et all.: *Longitudinal changes in grey and white matter during adolescence*. NeuroImage, 49 : 94 – 103, (2010).
- Glenn Andrea L: et all.: *Increased Volume of the Striatum in Psychopathic Individuals*. Biol. Psychiatry; 67: 52 – 58, (2010).

- Good C, Johnsrude IS, Ashburner J, Henson RNA, Friston KJ, Frackowiak RSJ.: *A voxel-based morphometric study of ageing in 465 normal adult human brains*. *Neuroimage* 14:21-36, (2001).
- Hazlett HC, Poe MD, Gerig G, Styner M, C Chappell, RG Smith, Vachet C, J & Piven: *Early brain overgrowth in autism associated with an increase in cortical surface area before age 2 years*. *Archives of general psychiatry*, 68 (5), 467-76 PMID: 21536976, (2011).
- Hopkins WD: *Comparative and familial analysis of handedness in great apes*. *Psychological bulletin*, 132: 538 – 559, (2006).
- Hugdahl K. : *Handbook of dichotic listening : Theory, methods, and research*. New York : Wiley, (1998).
- Hugdahl K., Heiervang E, Ersland L, Lundervold A, Steinmetz H, Smievoll AI: *Significant relation between MR measures of planum temporale area and dichotic processing of syllables in dyslexic children*. *Neuropsychologia* 41:666-675, (2003).
- Hugdahl, K. : *Lateralization of cognitive processes in the brain*. *Acta Psychol (Amst)*, 105 (2-3), 211 – 235. Review, (2000).
- 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).
- 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).
- Isaeva VV, Pushchina EV, Karetin Yu A.: *The quasi – fractal structure of fish brain neurons*. *Russian Journal of Marine Biology* 30(2) (2004).
- Kaas Jon H. and Collins Christine E.: *The organization of sensory cortex*. *Current Opinion in Neurobiology*, 11: 498 – 504, (2001).
- Kandel Eric R., (2007): *In Search of Memory - The Emergence of a New Science of Mind*. WW Norton & Company, New York.
- Kandel *et al* : *Principles of Neural Science* Elsevier. Trad. it. *Principi di Neuroscienze*. Prima ed. C.E.Ambrosiana, Milano, (1994). ISBN 978-88-408-0798-0.
- Kandel: *Psichiatria, Psicoanalisi e Nuova Biologia della Mente*; Milano: Raffaello Cortina Editore, (2007). ISBN 978-88-6030-105-5.
- Kuschinsky W, Vogel J.: *Control of flow on the microvascular level*. *International Congress Series* 1235:501-507, (2002).
- Kulynych JJ, Vldar K, Jones DW, Weinberger DR.: *Gender differences in the normal lateralization of the supratemporal cortex: MRI surface-rendering morphometry of Heschl's gyrus and the planum temporale*. *Cerebr Cortex* 4(2): 107-118, (1994).
- Jayasundar R, Raghunathan P.: *Evidence for left-right asymmetries in the proton MRS of brain in normal volunteers*. *Magn Reson Imaging* 15(2), (1997).
- Jaynes J.: *Il crollo della mente bicamerale e l'origine della coscienza*. Adelphi – Milano, (1984).
- Leakey LSB.: *The progress and evolution of man in Africa*. Univ. press, Oxford, (1961).
- Le May M. : *Asymmetries of the brains and skulls of nonhuman primates*. New York Accademic Press 2:223-245, (1985).
- Leonard CM, Lombardino LJ, Walsh K, Eckert MA, Mockler JL, Rowe LA, Williams S, Debose CB.: *Anatomical risk factors that distinguish dyslexia from SLI predict reading skill in normal children*. *J Comunic. Disorders* 35:501-531, (2002).

- Llewellyn Sue: *In two minds? Is schizophrenia a state “trapped” between waking and dreaming?* Medical Hypotheses, 73, 572-579, (2009).
- 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).
- Luders, Eileen, Narr, Katherine L.; Thompson, Paul M.; Toga, Arthur W.: *Neuroanatomical correlates of intelligence.* Intelligence 37 (2): 156–163, (2009).
- MacLeod CE, Zilles K, Schleicher A, Rilling JK, Gibson KR.: *Expansion of the neocerebellum in Hominoidea.* J Hum Evol 44(4):401-429, (2003).
- Marino L, Ubsen MD, Frohlich B, Aldag JM, Blane C, Bohaska D, Whitmore Jr C.: *Endocranial volume of Mid-late Eocene Archaeocetes (order : Cetacea) revealed by computed tomography : implications for Cetacean brain evolution.* J Mammalian Evolution N. 7, Nov., (2000).
- Martin RD.: *Dimensioni del cervello ed evoluzione umana.* Le Scienze 3(19) :35-41 (1995).
- Mell Chang Joshua, Howard Sara M. and Miller Bruce L.: *The influence of frontotemporal dementia on an accomplished artist.* ART AND THE BRAIN, 25: 1182 - 1183, (2003).
- Marino L, Ubsen MD, Frohlich B, Aldag JM, Blane C, Bohaska D, Whitmore Jr C.: *Endocranial volume of Mid-late Eocene Archaeocetes (order : Cetacea) revealed by computed tomography : implications for Cetacean brain evolution.* J Mammalian Evolution N. 7, Nov., (2000).
- Nopoulos P, Flaum M, O’Leary D, Andreasen N.: *Sexual dimorphism in human brain : evaluation 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).
- Oishi M, Mochizuki Y, Shikata E. : *Corpus callosum atrophy and cerebral blood flow in chronic alcoholics.* J. Neurol. Sci 162(1) : 51-55, (1999).
- 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).
- Pinker Steven : *The language instinct.* William Morrow, New York, (1994).
- Pinker Steven & Bloom Paul : *Natural language and natural selection.* Behavioural and Brain. Sciences, n. 13 : 707 – 784, (1990).
- Pritchard, Jonathan K.: *Come ci stiamo evolvendo.* Le Scienze (Milano). Dicembre, (2010).
- Polka L, Bohn OS.: *Asymmetries in vowel perception.* Speech Communication 41(1):221-231, (2003).
- Poth C. et all.: *Neuron numbers in sensory cortices of five delphinids compared to a physeterid, the pygmysperm wale.* Brain Res. Bulletin, 66: 357 – 360, (2005).
- Quartini A. et all.: *Ridotto Corpus Callosum Brain Ratio (CCBR) in pazienti schizofrenici in assenza di una correlazione con le misure lineari del corpo calloso: studio di Risonanza Magnetica Nucleare.* Rivista di psichiatria, 166 – 170: 39 (3), (2004).
- Rappoport SI.: *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).
- Rilling JK, Seligman RA.: *A quantitative morphometric comparative analysis of the primate temporal lobe.* J Hum Evol 42(5): 505-533, (2002).
- Sandu Anca-Larisa, et all.: *Fractal dimension analysis of MR images reveals grey matter structure irregularities in schizophrenia.* ScienceDirect. Computerized Medical Imaging and Graphics, 32, 150 – 158, (2008).

- Schmidt M.F.: *Using Both Sides of Your Brain: The Case for Rapid Interhemispheric Switching*. PLoS Biol 6(10): 269, (2008).
- Sherwood RJ, Rowley RB, Ward SC.: *Relative placement of the mandibular fossa in great apes and humans*. J Hum Evol 43(1): 57-66, (2002).
- Torrey, E. & Peterson, M.: *Schizophrenia and the limbic system*. Lancet, ii, 942-946, (1974).
- Viegas Jennifer: *Elephants smart as Chimps, Dolphins*. New in Sciences, 35: 257, (2011).
- Vikingstad EM, George KP, Johnson AF, Cao Y.: *Cortical language lateralization in right handed normal subjects using functional magnetic resonance imaging*. J Neurol Sci 175(1): 17-27, (2000).
- Villablanca JR, Schmanke TD, Lekht V, Crutcher HA.: *The growth of the feline brain from late fetal into adult life. I. A morphometric study of the neocortex and white matter*. Brain Res Dev Brain Res 122(1):11-20, (2000).
- Voisin JL.: *Évolution de la morphologie claviculaire au sein du genre Homo. Conséquences architecturales et fonctionnelles sur la ceinture scapulaire*. L'Anthropologie 105:449-468, (2001).
- 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).
- Wickett J, Philip A, Vernon, Donald H, Lee: *Relationships between factors of intelligence and brain volume*. Pers Individ Dif 29:1095-1122, (2000).
- Witelson SF.: *The brain connection: the corpus callosum is larger in left-handers*. Science 229:665-668 (1985).
- Witelson SF, Pallie W.: *Left hemisphere specialization for language in the newborn. Neuroanatomical evidence of asymmetry*. Brain 96:641-646 (1973).
- Witelson SF.: *Hand and sex differences in the isthmus and genu of the human corpus callosum. A postmortem morphological study*. Brain 112:799-835 (1989).

F I N E

