

SENSAZIONE - PERCEZIONE - CONSAPEVOLEZZA

Giuseppe Costantino Budetta

Key words. Sensation, perception, awareness.

Abstract

La presente ricerca di neuro – anatomia comparata e di fisiologia approfondisce alcuni temi sulla sensazione, sui processi percettivi, spaziando sulle ipotesi e considerazioni inerenti la Mente umana.

I concetti di stimolazione, sensazione e percezione sono stati chiariti solo di recente in seguito a numerose ricerche di neurologia e neuro-fisiologia, sia nel mondo animale che nell’Uomo. Viviamo circondati da stimoli di varia natura. Onde elettromagnetiche ci piovono addosso da ogni parte e l’aria respirata è messa in vibrazione di continuo. La stessa aria è piena di molecole organiche ed inorganiche. Alcune specie di animali percepiscono segnali agli umani preclusi come le onde elettromagnetiche ed infrarosse. Stimoli differenti necessitano di diversi mezzi di rilevamento, perfezionatisi nel lungo corso dell’evoluzione genetica. Sensi altamente specializzati hanno gli artisti, i musicisti, gli atleti ed anche i cuochi.

Una delle funzioni principali della Mente, sia nella nostra vita quotidiana sia nel lungo percorso evolutivo, è di relazionarsi col mondo circostante, tramite la percezione. Con la percezione, si hanno informazioni ben coordinate relative al mondo, sia coscientemente, sia inconsciamente. Alla fine è possibile prendere decisioni e concepire intenzioni che producano azioni con cui affrontare la realtà. Dal punto di vista prettamente scientifico, le terminazioni dei nervi periferici sono stimulate dagli oggetti del mondo esterno e dai tessuti corporei. La stimolazione delle terminazioni nervose provoca l’invio di segnali al sistema nervoso centrale ed infine al cervello, dove l’insieme complessivo dei processi neurobiologici causa un’esperienza percettiva. Tuttavia, l’unico oggetto effettivo della consapevolezza è questa esperienza nel cervello. Non potremmo mai avere accesso diretto al mondo esterno. Tutto ciò a cui possiamo accedere in modo diretto è la ripercussione del mondo esterno sul nostro sistema nervoso.

L’apprendimento percettivo avviene quando il cervello comprende come percepire con maggiore acutezza o, come accade per i nomadi del mare, con modalità nuove. In questo processo, il cervello sviluppa mappe e strutture nuove. L’apprendimento percettivo è anche implicato nei cambiamenti strutturali basati sulla plasticità dei bambini con problemi di discriminazione uditiva. Con speciali metodiche, questi bambini sono stimolati a sviluppare mappe cerebrali più raffinate, consentendo loro di udire per la prima volta il linguaggio normale. Di recente, è stato visto che la cultura determina ampiamente ciò che possiamo e non possiamo percepire. Le funzioni mentali fondamentali come l’elaborazione visiva, e le capacità mnemoniche sono in qualche misura

neuroplastiche. Il presente studio evidenzia l'importanza delle connessioni interneuroniche ed i diversi meccanismi implicati nella solidarietà anatomica e funzionale tra gli apparati sensitivi dell'organismo vivente, cioè nella loro spiccata integrazione. Ciascuno di questi meccanismi si scompone in sottordini di sistemi neuronali, gerarchicamente organizzati fino a compenetrare i campi della consapevolezza.

La base di partenza di questo saggio è la trattazione anatomica dei fasci nervosi che regolano la sensibilità e la percezione. Le vie che trasportano i tre tipi di sensibilità si originano ciascuna da uno dei tre foglietti embrionali primitivi: ectoblasto (rivestimento cutaneo), mesoblasto (scheletro), endoblasto (visceri). A queste tre modalità sensitive, cosciente, incosciente e viscerale corrispondono tre tipi di motilità. Dalla corteccia cerebrale, parte la via della motilità volontaria, quindi cosciente o via piramidale cortico-spinale che trasmette i comandi ed assicura l'esecuzione degli atti motori. Un secondo tipo di motilità, incosciente, serve a regolare i movimenti volontari ed assicura il loro automatismo; sono queste le vie extrapiramidali. Infine, la motilità dei visceri è data da vie motrici proprie. Nell'Uomo, è molto sviluppato il piano terminale che è quello delle attività coscienti, rispetto ai piani sottostanti che sono aree di regolazione e di smistamento sia la sensibilità che la motilità inconscie sarebbero parte dell'io corporeo e della relativa coscienza extra.

Alcuni autori pensano all'esistenza di una completa identificazione tra sensazione dolorifica e processo nervoso. Searle contraddice quest'affermazione. Egli sostiene che se il dolore fosse realmente identico alla stimolazione delle C-fibre, allora l'asserzione "dolore = stimolazione delle C-fibre" dovrebbe essere vera, se fosse vera. Tuttavia, non è necessariamente vera perché pur essendoci stretta correlazione tra dolore e stimolazione delle C-fibre, è comunque facile immaginare che un dolore possa esistere senza stimolazione delle C-fibre e viceversa, che possa esistere una stimolazione delle C-fibre senza un corrispondente dolore. Ma se è così, allora l'asserzione d'identità non è necessariamente vera, e se non è necessariamente vera, non può essere per niente vera. Dunque, è falsa. Quanto testé detto per l'identificazione del dolore con eventi neurologici vale per qualsiasi identificazione di stati mentali coscienti con eventi fisici.

La risposta degli antichi è che c'è un dio dentro di noi e che questo dio parla.

Harold Bloom, (Il Genio).

Premessa. Sembra, che man mano che si passi dalla sensazione alla percezione fino alla Mente umana, tutto sfumi nell'indeterminatezza. Humphrey Nicolas (2007), inserisce la sensazione nella sfera d'azione della Mente e delle produzioni mentali, invece di considerarla nell'ambito meccanico della ricezione di stimoli del mondo esterno o delle parti interne dell'organismo. In questo modo, la sensazione sarebbe una componente attiva del controllo centrale *su ciò che accade*. Humphrey dice che uno stimolo può avere una rappresentazione mentale in modi diversi ed in tempi diversi. Lo stesso messaggio può essere modulato in un momento di depressione, di malinconia, o sotto l'influenza di droghe ed allora la risposta allo stimolo sarà regolata in dipendenza dello stato mentale che c'è al momento. Lo stimolo sensoriale sarebbe soggetto alle influenze dall'alto al basso (influenze corticali, o dei nuclei della base...) più di quanto lo sia la percezione del mondo esterno. La sensazione sarebbe influenzata dai cambiamenti di umore che alterano la Mente. Humphrey dice che a volte la sensazione è interamente autogenerata, al centro di una immaginazione vivida come nel caso dei sogni o delle visioni. Ci sono persone soggette ad allucinazioni nello stato di veglia, ma la ricchezza fenomenica delle sensazioni fabbricate in alcuni sogni ha una casistica elevata. La sensazione avrebbe anche la capacità di simulare gli stati mentali altrui anzi, sembrerebbe che come espressione corporea sia molto adatta per i fenomeni dell'*empatia proiettiva*.

La percezione pone anch'essa alcuni quesiti di difficile interpretazione. Per esempio, c'è una stretta correlazione funzionale tra la percezione dei colori e l'olfatto. La mescolanza di due colori in

movimento rassomiglia alla percezione di un odore, derivante dalla fusione di più molecole odorifere in un insieme molecolare in movimento all'interno dell'aria inspirata. Ci sono casi d'individui affetti da visione cieca e con un tipo particolare di percezione, indicata come **percezione subliminale**. Nell'atto di osservare un oggetto che sta al di fuori del loro campo visivo, quest'individui con lesioni nelle corteccia visiva, non hanno la sensazione di cosa vedano, ma riescono a percepirne la presenza e ne forniscono giudizi percettivi accurati. Si tratta di eventi che fanno sospettare come la percezione sia un fenomeno molto complesso e di difficile determinazione, più di quanto sembri.

Per la presente ricerca di anatomia comparata e di fisiologia incentrata sul sistema sensoriale e percettivo, ho utilizzato alcuni libri qui di seguito elencati, oltre ad una folta bibliografia dei più recenti studi in materia. Nelle pagine che trattano dei sensi, ho aggiunto alcune microfotografie, allestite da preparati istologici da me medesimo effettuati e colorati in laboratorio. L'ultima parte del saggio tratta dei fenomeni della consapevolezza e dell'autocoscienza, mentre le prime due approfondiscono l'origine dei sensi e la percezione nell'Uomo ed in alcune specie di animali. Nell'ultima parte, ho affrontato l'ampio problema del dualismo tra processi fisici e mentali. Da anni, studiosi del settore si chiedono: gli eterei ed indefiniti processi mentali come possono ripercuotersi sul mondo fisico, reale e tangibile? Il mondo fisico che ci circonda è casualmente chiuso, nel senso che nulla di esterno ad esso può incidere sulle sue interne strutture? Inoltre, c'è il mondo mentale come entità autonoma, con una oscura energia di trasformazione, ma indefinito. Nella Mente, sembra che il tempo così come lo intendiamo in fisica, abbia diversa valenza, caratterizzato dalla contemporaneità assoluta degli eventi.

Tutto ciò costituisce l'indeterminatezza della Mente che si rende esplicita sotto vari aspetti. Addirittura, nel lavoro di trasduzione di un romanzo l'indeterminatezza della Mente è palese. Un'opera letteraria non può essere divisa in parti, oppure essere svolta da individui diversi che lavorino in stretta collaborazione con un autore. La stabilità del punto di vista e dello stile sono troppo importanti. Ciò che è davvero strano è che gli esseri umani producono molta arte a volte non più ripetibile, o interpretabile in modo definitivo neanche dallo stesso autore. Ci sono alcuni romanzi televisivi a puntate, scritti di volta in volta da autori diversi. In alcuni di questi romanzi in serie, è chiara la perdita di qualcosa d'intangibile, dovuta alla scomparsa di una entità molto tangibile: l'autore unico. Rami d'interazioni umane non fanno una relazione umana. Idem, per cinquanta trefoli, cinquanta speed date, o cinquanta trasferimenti di chiamata nel dedalo burocratico. Idem, per cinquanta arbusti di quercia legati insieme non fanno una quercia. L'umanità frammentaria non è umanità.

Per Brian C. (2012), essere *umani* vuol dire essere un umano, una persona specifica con la sua storia di vita, idiosincrasie, punti di vista e sensibilità. L'intelligenza artificiale indica che la differenza tra le macchine intelligenti e le persone è meno nitida, dove c'è un miscuglio d'identità.

Non proprio analizzabile in modo diretto sembra anche la realtà circostante. Senza la mediazione di processi inferenziali, percepibili sembrano solo le interne esperienze. Gli oggetti materiali non sono percepibili: lo sono i dati sensoriali che arrivano al cervello. Queste discussioni restano abbastanza interessanti e meritano approfondimenti.

Nel presente saggio, ho inserito alcune microfotografie da me medesimo effettuate sull'innervazione delle papille linguali e dello smalto dei denti incisivi.

Libri consultati, nelle tematiche di questo saggio:

- Henshaw J.M.: *A tour of the senses* (How the brain interpretes the world), The Johns Hopkins University Press . Baltimore, (2012).
- Rucker Rudy: *La quarta dimensione*. GLI ADELPHI – Milano, (2011).

- Searle J.R.: *La mente*. Scienza e Idee. Raffaello Cortina Editore, (2005).
- Stephen Jay Gould: *Il sorriso del fenicottero*. Feltrinelli - Milano, (2009).
- Laing Ronald D.: *L'io diviso* – Corriere Della Sera – Milano, (2011).
- Barone R.: *Anatomia Comp. dei Mammiferi Domestici*. – Edagricole, (1983).
- Doidge Norman: *Il cervello infinito*. Ed. Ponte delle Grazie – Milano, (2007).

1. Recenti ricerche di neurofisiologia sul cervello e sulle implicazioni sul mondo fisico.

Fino a qualche decennio fa, l'atto di pensare sembrava una funzione molto complessa, relegata nel profondo della persona umana e spiegabile soltanto quando nel momento in cui si manifesta agli altri. Gli psicologi escludono a priori il ricorso al metodo sperimentale, cercando di migliorare le tecniche di auto-osservazione, l'unico strumento utile anche agli scrittori ed ai filosofi. Invece, le recenti scoperte scientifiche hanno evidenziato che se è poco indagare sulla Mente umana per isolare ed analizzare pezzi di ricordi e frammenti di sogni. La vita mentale è inavvicinabile per le vie dirette, essendo molto più profonda ed inconscia di quanto avesse sospettato lo stesso Freud. In realtà, l'inconscio freudiano è una minima parte di una estesa vita mentale fatta per lo più da inferenze inconse. Il cervello umano esegue una grande quantità di computazioni in breve tempo, operazioni simili a calcoli matematici, relegate nella sfera definita inconscia. Alcuni neuropsichiatri ritengono che l'invenzione del computer sia stata di grande aiuto nell'indagine sul fine funzionamento della mente umana. Il computer realizza dettagliate simulazioni dei processi mentali. Il computer esegue operazioni che assomigliano al modo di procedere della Mente umana: dedurre, indurre, trarre analogie e conservare dati in un'ampia memoria a lungo termine.

In qualche modo, una vaga forma di coscienza potrebbe essere presente anche in un organismo pluricellulare come i sifonofori, fatti di un ammasso organico (colonie) di distinti tessuti. Sia pure organismi inferiori e privi di un cervello, i sifonofori hanno un comportamento visivo ed adattivo, comparabile sotto alcuni aspetti con un individuo affetto da visione cieca, o ad una persona con cervello diviso. L'argomento è materia di trattazione nell'ultima parte del saggio. Nell'Uomo, l'atto cosciente sembra pervadere anche la sensazione, la percezione e le numerose inferenze cosiddette inconse. E' da chiarire il modo in cui gli stimoli in entrata causino i fenomeni mentali ed in che modo questi determinino il comportamento in uscita. I processi mentali avvengono nel cervello senza una manifestazione conscia. Sarebbero nello stesso tempo mentali ed inconsci. Si potrebbe pensare all'esistenza di una specie di **coscienza extra**, estesa nella fisicità della sostanza organica. Il seguente schema evidenzia la centralità della coscienza extra nelle funzioni mentali umane.

ATTIVAZIONE DELLE TERMINAZIONI NERVOSE SENSITIVE



SENSAZIONE (INPUT SENSORIALI)



PROCESSI COMPUTAZIONALI LOCALI INCONSCI



INFERENZE INCONSCIE E PERCEZIONE

↓
PROCESSI COMPUTAZIONALI DI II LIVELLO

↓
MENTE COSCIENTE E SFERA DELLA CONSAPEVOLEZZA COSCIENTE

Essendo strettamente legata alle funzioni di un organismo vivente ed al sé corporeo, la coscienza extra è presente nei vari livelli del processo sensitivo e percettivo.

Prinz J. (2010) si chiede quali dei nostri stati psicologici rientri nella sfera della consapevolezza. Le recenti vedute in materia si scindono tra due direzioni. C'è chi pensa che la consapevolezza sia limitata solo alla sensazione e chi invece è certo che gli stati cognitivi come i pensieri ed i concetti, sono esperienze coscienti, non riconducibili ad associazioni di eventi sensoriali. Prinz afferma che la consapevolezza è riconducibile ai soli sensi, nascendo da un livello abbastanza basso del processo sensoriale. Prinz fa l'esempio della funzione visiva. Si dice d'accordo con le principali scoperte delle neuroscienze che descrivono il processo visivo organizzato in modo gerarchico. Però, all'interno di una struttura di questo tipo, la consapevolezza (e la coscienza) emergerebbe nei livelli inferiori, come nelle aree sensoriali visive **V2 – V7**.

Mondo fisico e stati mentali. L'impossibilità della fisica teorica di definire i basilari aspetti della realtà, le scale minime dell'universo in un sistema generale di parametri lascia spazio a nuove ipotesi sulla struttura intima della materia con implicazioni anche in biologia. L'esperimento del fisico teorico Michael Moyer che aderisce alla teoria di Hogan C.J., (2012) dovrebbe evidenziare i rapporti tra informazione, materia e spazio-tempo. La riuscita dell'esperimento comporterebbe la riformulazione delle principali leggi del mondo fisico. Secondo alcuni, la funzione ultima dell'universo sarebbe l'informazione, contenuta in uno stato bidimensionale e collegata agli **0** ed agli **1** dell'infinito fisico. Negli ultimi venti anni, gli studiosi di fisica teorica hanno capito molto di come l'universo immagazzini informazione, arrivando ad ipotizzare che sia l'informazione e non siano la materia (la massa) e l'energia, l'unità fondamentale del mondo. L'informazione potrebbe trasmettersi in minuscoli frammenti da cui si genera lo spazio fisico.

Moyer M. et al. (2012), sospettano che un substrato invisibile permei l'universo. A questi livelli minimi della realtà fisica, la meccanica quantistica e la relatività generale non esistono più. Si tratterebbe di una regione speciale dove l'informazione avverrebbe come **BIT**, senza mai disperdersi. Sebbene il mondo circostante sembra avere tre dimensioni, tutta l'informazione che lo riguarda potrebbe essere contenuta in superfici con solo due dimensioni. Sembrerebbe che l'universo funzioni come una specie di computer e che l'informazione ci mostri il mondo sensibile. Lo spazio stesso è quantistico, emergendo da **bit** discreti e quantizzati alla scala di Planck. La bidimensionalità delle immagini mentali, la coscienza umana e molte altre funzioni mentali prive di uno spazio-tempo specifico, avrebbero analogie con uno spazio quantistico, fatto di **bit** discreti.

Al presente, le equazioni di meccanica quantistica e le ripercussioni pratiche sono usate di *routine* dai fisici, dagli ingegneri, dai chimici e dai biologi. Tuttavia, sono in sostanza ancora misteriose: non descrivono cos' accade ad un sistema fisico, ma solo il modo in cui il sistema fisico di rilevamento è percepito da un altro sistema fisico. Sembra allora che la realtà ultima delle cose sia fatta solo da un'interazione di elementi ed entità spesso virtuali. Secondo i fiscalisti, tutto ciò che esiste è di natura fisica. In campo neurologico, ci sarebbe identità tra gli stati mentali e quelli neurofisiologici. Di conseguenza, la Mente s'identificherebbe con le sottostanti strutture cerebrali. Cervello e Mente individuale sarebbero lo stesso. Invece, Chalmers D., (2011, 2010) afferma che l'identità fisica non implica quella mentale perché gli esseri umani non agiscono come gli zombi, o i robot umanoidi. Zombi e robot non hanno stati neurofisiologici come i nostri, comportandosi come se vedessero i colori, sentissero dolore e gustassero i sapori, senza in realtà provare, apprezzare e vedere alcunché. Secondo i fiscalisti, l'identità cervello-Mente implica un'unica ed inscindibile entità. La Mente non si manifesta senza il substrato cerebrale.

Obiezioni al fiscalismo. La Mente può scegliere tra due stati mentali in contemporanea, pur essendo sottintesa in contemporanea da un unico ed identico substrato neuronale. Per esempio, la parola

cassa può intendersi come formata da quattro o da cinque lettere, a seconda che si voglia conferire il valore di **uno**, o di **due** alla lettera **s**. Questa improvvisa decisione mentale non è correlata o preceduta da una variazione di strutture neuronali, sia pur minime. Alcune neurochimica cerebrale cambia a seconda dell'una o dell'altra decisione: decidere che **cassa** è di quattro, o di cinque lettere. L'enunciato: *cassa è di cinque lettere* può essere vero o falso e ciò non implica alcuna variazione cerebrale in chi lo esprime. Semmai, sarà la persona che ascolta la decisione presa dall'interlocutore ad esprimere giudizi di verità o di falsità. Si può fare un secondo esempio che riguarda la percezione del dolore. Secondo i fiscalisti, tutte le sensazioni dolorifiche sono la manifestazione di specifici stati neurofisiologici. Però, si dia il caso di un polipo che provi dolore. Questa **sensazione** del polipo non si sovrappone agli eventi neurofisiologici umani, corrispondenti alla stessa sensazione dolorifica. Cioè: la sensazione di dolore del polipo ed il conseguente stato neurofisiologico sono diversi dallo stato neurofisiologico, collegato al dolore percepito da un essere umano. Si può esprimere il seguente enunciato:

Non c'è identità tra un ipotetico stato fisiologico universale ed la generica sensazione dolorifica, in un dato istante.

2. STIMOLAZIONE, SENSAZIONE E PERCEZIONE.

I concetti di stimolazione, sensazione e percezione sono stati chiariti solo di recente in seguito a numerose ricerche di neurologia e neuro-fisiologia, sia nel mondo animale che nell'Uomo.

Stimolo. Viviamo circondati da stimoli di varia natura. Onde elettromagnetiche ci piovono addosso da ogni parte e l'aria respirata è messa in vibrazione di continuo. La stessa aria è piena di molecole organiche ed inorganiche. Alcune specie di animali percepiscono segnali agli umani preclusi, come le onde elettromagnetiche ed infrarosse.

Sensazione. Stimoli differenti necessitano di diversi mezzi di rilevamento, perfezionatisi nel lungo corso dell'evoluzione genetica. Sensi altamente specializzati hanno gli artisti, i musicisti, gli atleti ed anche i cuochi.

Gli studi sulla natura e funzione degli input sensoriali convergono su punti di base qui elencati.

- Gli input sensoriali provenienti dalle dita delle mani sono regolarmente disposti gli uni accanto agli altri in una mappa della corteccia somato-sensitiva.
- Il sistema uditivo è organizzato per la ricezione delle onde sonore in base alla frequenza.
- A seconda della specializzazione, le papille linguali hanno proiezioni in rispettive aree della corteccia gustativa.
- Mappe similari avrebbe il sistema olfattivo. Sostanze chimiche odorifere come amine, chetoni, esteri, eccitano cellule disposte vicine le une alle altre, in piccoli ammassi.

Si stanno descrivendo altri tipi di sensazioni che ci rendono consapevoli di parti interne del corpo. Per esempio: con la mano dietro la schiena si faccia col dito il numero uno. La certezza che si è indicato l'uno e non il due (due dita in estensione), o il tre...è conferita alla Mente dalle sensazioni propriocettive della mano.

Questa consapevolezza di alcuni stati corporei è fondamentale anche in molte specie di animali, ma può anche mancare. La doccia esofagea è un dispositivo presente nei ruminanti. Chiudendosi a pieno canale, permette alle sostanze liquide come il latte o l'acqua di passare direttamente nel quarto stomaco (abomaso). I corpuscoli sensoriali del Ruffini, specializzati nel rilevamento del calore, sono numerosi nelle parti profonde della doccia esofagea nei ruminanti, (Pelagalli et all., 1974). Quando dall'esofago transitano sostanze solide come l'erba masticata, la doccia esofagea si apre e lascia cadere il bolo alimentare nel ruminale dove fermenterà. La percezione di una sostanza solida o liquida di transito nell'esofago e nella doccia esofagea è automatica, non coinvolgendo la

neocortex dell'animale. Il Coniglio, erbivoro monogastrico, ha una grande quantità di corpuscoli del Pacini nello spessore della mucosa intestinale, in particolare nel crasso. Questi corpuscoli veicolano sensazioni, rapportate allo stato di compressione e di distensione del tessuto in cui sono indovati. Queste sensazioni fanno parte di percezioni enterocettive che spesso non coinvolgono gli strati corticali.

Un altro senso importante che è nascosto nel nostro corpo è il sistema vestibolare. La sua funzione è basilare per poter vivere: ci mantiene in equilibrio e fornisce alla Mente la nozione spaziale del corpo, in particolare della testa.

Elenco dei principali sensi:

- visione
- udito
- gusto
- odorato
- tatto
- temperatura
- dolore
- equilibrio statico
- consapevolezza corporea (sensazione propriocettiva).

3. SENSAZIONE.

I sensi possono differenziarsi nelle varie specie e nell'Uomo, per intensità discriminativa e per tipologia. Per esempio, i cani hanno un olfatto più sensibile dell'Uomo. L'ecolocazione è l'abilità che hanno i cetacei nel localizzare gli oggetti con le onde sonore, riflesse dagli echi. Si tratta di un tipo di sensibilità assente negli esseri umani. La determinazione del campo magnetico terrestre è un senso proprio dei piccioni, tartarughe marine ed aragoste. Questo senso funziona come una bussola interna, indispensabile nella navigazione.

Serpenti come il boa costrittore sembrano le uniche creature in grado di percepire sia la radiazione infrarossa, sia le onde caloriche. Sono funzioni non espletate tramite gli occhi, ma con uno speciale organo, chiamato *organo cavo*. Tramite l'*organo cavo*, questi rettili possono percepire la presenza di un corpo caldo nel buio.

Il **dente del Narvalo**. Un cetaceo che vive di solito negli oceani, è stato oggetto di numerosi studi. La superficie e la radice del dente di Narvalo hanno milioni di terminazioni nervose. La lunga zanna è in effetti il dente frontale sinistro. La zanna frontale destra rimane quasi sempre all'interno del cavo orale. La zanna a forma di lancia è molto comune nei maschi, sebbene possano averla alcune femmine. Maschi con due grosse zanne sono rari, ma sono stati visti.

E' stato osservato che le terminazioni nervose sul dente di Narvalo rilevano le variazioni di salinità degli oceani. L'informazione può indicare all'animale che la superficie oceanica sta ghiacciandosi. Quando l'acqua marina si fa troppo fredda, quasi tutto il sale resta nell'acqua liquida, non essendo intrappolato nel ghiaccio. Per questo, l'acqua in vicinanza dei ghiacciai è più salata.

Si è anche ipotizzato che le numerose e diverse terminazioni nervose sul dente di Narvalo possano rilevare variazioni della temperatura esterna, della pressione marina e tanti altri dati. Il Narvalo ha l'abitudine di nuotare sulle superfici oceaniche, posizionando la testa in modo che la lunga zanna ondeggi in aria come un'antenna.

L'orecchio medio di alcune specie ittiche è molto sensibile alle variazioni della pressione idrostatica dell'acqua ed alle onde causate dai predatori che nuotano nelle vicinanze. Queste vibrazioni attivano una coppia di cellule giganti ai lati del cervello, detti *neuroni di Mautner*. Gli assoni di queste cellule trasportano input verso il lato opposto del corpo. Di conseguenza, un rumore, o un minimo movimento ondoso dal lato sinistro stimola i motoneuroni del lato destro che provocano una energica contrazione muscolare in questo lato del corpo. I neuroni inibitori della parte sinistra bloccano la contrazione muscolare di questo lato, evitando l'interferenza col movimento opposto. Il risultato è una fuga molto veloce che mette in salvo il pesce.

Gli **stimoli sensoriali** comprendono la luce visibile, i raggi ultravioletti ed infrarossi. Sono stimoli del mondo circostante anche le vibrazioni con una specifica frequenza dell'aria, le molecole odorifere, le variazioni di temperatura ed il tipo di movimento corporeo in una data direzione. Tramite la percezione, il cervello elabora i differenti tipi di sensazioni che possono essere originate da stimoli di natura chimica, meccanica, o elettromagnetica.

C'è da dire che le piastre motrici, punto di contatto tra le ultime ramificazioni di un nervo motore ed il muscolo scheletrico hanno la stessa funzione in tutti i mammiferi: la contrazione muscolare scheletrica. Tuttavia, hanno morfologia diversa a seconda della specie. Negli equini, hanno aspetto di grappoli d'uva ben definiti e nei ruminanti sono più raccolte in una forma punteggiata ovoidale, come la ciambella di una scarpa. Sono molto numerose negli equini, in particolare nei muscoli abduttori e propulsori della coscia. C'è una certa differenza anche nella stessa specie, in particolare in riferimento alla densità. Differenze di numero (ma non di morfologia) si verificano anche tra individuo ed individuo della stessa specie. Ciò indica che in una funzione unificata come la contrazione volontaria od involontaria (automatica) di un muscolo scheletrico esistono nella trasmissione motoria, difformità individuali, più o meno accentuate. Allo stesso modo, la sensazione è un fenomeno non uniforme, con sfumature diverse, anche a livello individuale. Il primo livello sensoriale, come quello visivo, non può fare altro che rilevare questi differenti tipi di sensazione in modo grezzo. La sensazione comincia ad essere un fenomeno individuale e specifico nei livelli intermedi ed alti, dove le minime sfumature sensoriali registrate nel livello basso sono rielaborate ed analizzate più finemente in un contesto non modulare. Nel primo livello sensoriale, avverrebbero processi computazionali locali, ma nel livello intermedio ci sarebbero processi computazionali, improntati sull'astrazione e sull'ideazione.

3. OLFATTO.

Henshaw John M. (2012), dice che non sappiamo come gli odori si manifestino. Non possiamo predire se una molecola è più odorifera di un'altra. L'olfatto è il più remoto dei sensi, ma resta un mistero. A livello basso, è possibile comprenderne i meccanismi. Molecole diffuse nell'aria stimolano i recettori olfattivi. È necessario un certo intervallo di tempo per percepire il fumo di una sigaretta in una stanza. Questo intervallo di tempo è indispensabile perché le molecole del fumo fluttuanti in aria, seguendo le deboli correnti nella stanza, arrivino fino alle cavità nasali, stimolando quindi i recettori della mucosa olfattiva. Mentre sotto la luce, la visione è immediata e l'udito segue la rapidità delle onde sonore, l'olfatto in comparazione è molto più lento. Per esempio, questa sensazione dipende dalle correnti d'aria in una stanza che trasportano dal punto A a B le molecole odorifere, fino a che esse non abbiano raggiunto la mucosa olfattiva, nelle parti profonde del naso. Numerose ricerche hanno cercato di evidenziare gli attributi di una molecola odorifera. Esisterebbero due punti di vista principali, espressi nella teoria della struttura spaziale (fisica) delle molecole e delle vibrazioni atomiche all'interno di una molecola.

- Teoria fisica. Sarebbe la struttura fisica di una molecola a determinarne l'odore, avendo i suoi atomi una specifica angolazione. Questa teoria ha dei limiti perché si basa sul fatto che un unico recettore sia associato ad una specifica molecola odorifera percettibile. L'olfatto umano può rilevare fino a 10.000 differenti odori, ma il numero dei recettori olfattivi si aggirerebbe sui 350. Altro problema insoluto della teoria fisica degli odori è che alcune molecole strutturalmente simili, hanno odori molto diversi.
- Teoria delle vibrazioni molecolari. Secondo questa teoria, i recettori olfattivi funzionerebbero come uno spettrometro analizzatore delle vibrazioni molecolari da cui partirebbero input al cervello. Sopra lo zero assoluto, tutti gli atomi sono in costante oscillazione. Gli atomi di una molecola hanno oscillazioni caotiche. I tre atomi dell'acqua possono oscillare in tre differenti modi. L'etanolo ($C_6H_{10}O_5$) ha nove atomi e ventuno differenti modi di oscillazione. Per una semplice molecola come H_2O , è relativamente facile distinguere l'uno o l'altro micro-movimento. In commercio, esistono diversi strumenti di rilevamento delle oscillazioni molecolari, come lo spettrometro elettromagnetico all'infrarosso. La teoria delle vibrazioni molecolari ritiene che il naso funzioni proprio come uno spettrometro all'infrarosso che identifica le molecole odorifere in base al grado di oscillazione, inviando input consequenziali al cervello.

Secondo le recenti vedute, la teoria dell'origine chimica delle sensazioni olfattive non sembra del tutto veritiera perché non sarebbe importante la struttura chimica di una molecola odorifera per la discriminazione di un odore. Interverrebbe un insieme di fattori oltre alla conformazione spaziale della molecola odorifera. Quest'insieme sarebbe dato dall'associazione con il cibo, o con altri tipi d'informazioni molecolari, altrettanto rilevanti. In base ad uno specifico odore, i recettori olfattivi inviano input al cervello. Questi recettori si trovano nella mucosa olfattiva che riveste la parti profonde delle cavità nasali. Ogni volta che una molecola odorifera interagisce con uno specifico recettore, il segnale elettrico conseguente raggiunge i glomeruli del bulbo olfattivo. Ogni glomerulo ha input da neuroni dell'olfatto, espressioni di un unico tipo di recettore. L'intera attivazione glomerulare nell'ambito del bulbo olfattivo potrebbe rappresentare specifici odori. Invece, la moderna tecnologia e nuovi dati sperimentali suggeriscono che l'ipotesi chimica viene meno di fronte ad un modello più valido e più sofisticato. Nel contesto di alcuni odori, l'attivazione dell'intero contingente di un glomerulo comporta la consequenziale attivazione di una specifica area del bulbo olfattivo, ma successivi input che raggiungono il glomerulo si estendono per l'intera mappa olfattiva. Sembra che i glomeruli non si siano evoluti per la determinazione chimica di una singola molecola odorifera. Molti odori possono essere percepiti per la prima volta, ed alcuni per la prima ed ultima volta. Per questo, il sistema olfattivo deve poter riconoscere gli odori in base ad uno speciale codice interno. Ammettendo che i glomeruli non abbiano preferenza per la struttura e la disposizione spaziale di alcune molecole, come invece suggeriva la precedente teoria chimica, c'è da precisare da dove derivi la loro affinità funzionale. Accurate ricerche scientifiche hanno evidenziato che i singoli recettori olfattivi si siano sincronizzati nel corso evolutivo non in base al riconoscimento di un unico tipo di odore, ma per una varietà di molecole odorifere. Nell'insieme, questi recettori possono rispondere a milioni di odori. Glomeruli con proprietà similari e similare taratura tendono a trovarsi vicini gli uni agli altri. Questa disposizione esalta il contrasto tra odori similari. Pertanto, l'evoluzione di questi recettori non è avvenuta sul riconoscimento della struttura chimica degli odori. L'ipotesi della calibratura o taratura degli accordi può aiutare a comprendere anche la fisiologia della visione, dei meccanismi uditivi e somato-sensitivi. L'olfatto aiuta gli animali nella fine discriminazione degli odori, come in un'orchestra, i differenti suoni dei vari strumenti musicali si raccordano in una specifica melodia ed armonia. Un unico strumento produce una varietà limitata di suoni, ma un insieme di strumenti produce una più ricca e varia melodia. I recettori olfattivi segnalano al cervello uno specifico odore, formato dalla miscelazione di diversi tipi di molecole odorifere. L'olfatto non rileva la struttura chimica di una specifica molecola

odorifera (amina, chetone, estere ecc.), ma la mescolanza di molecole odorifere che compongono uno specifico odore.

Vie olfattive. Il bulbo olfattivo è la sede dei glomeruli olfattivi. Ad esso segue il peduncolo che termina posteriormente nel trigono olfattivo. Nell'Uomo, questo si divide in tre radici: la mediale, la laterale e la media. Ogni radice raggiunge la rispettiva area corticale.

1. Radice mediale. S'incurva medialmente ed in alto, formando l'area settale. Questa è divisa in area paraolfattiva e circonvoluzione sottocallosa.
2. Radice laterale. Si porta lateralmente tra *limen* ed *uncus*. Termina nei gyri *ambiens* e *semilunaris*. In realtà, *limen* ed *uncus* sono il *lobo piriforme* che è chiamato anche *area entorinale*.
3. Radice media. Termina nello spazio perforato anteriore, formando il *tubercolo olfattivo*.

A differenza di altre vie sensitive centrali, tutte queste vie olfattive raggiungono la corteccia senza interruzioni di nuclei di relé diencefalici.

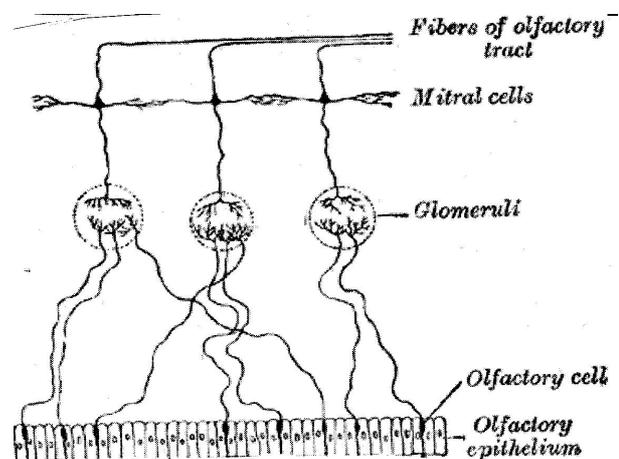
Intercalato tra le cellule epiteliali della mucosa olfattiva, verso le parti profonde delle cavità nasali, c'è il protoneurone della via olfattiva che è una cellula bipolare. Il suo prolungamento citoplasmatico cellulipeto ha l'aspetto di un ciglio. Il cilindrase di questa cellula raggiunge il bulbo olfattivo, avendo attraversato la lamina cribrosa dell'etmoide. Nell'insieme, questi cilindrassi formano il nervo olfattivo.

In ciascun bulbo olfattivo, ci sono minuscole formazioni definite come glomeruli dove avviene l'articolazione tra il proto-neurone ed il deuto-neurone (cellula mitrale). I cilindrassi delle cellule mitrali sono all'interno del peduncolo olfattivo, raggiungendo i centri corticali che sono due: un'area sensoriale (lobo piriforme) ed una di associazione (area settale):

- Area olfattiva sensoriale: detta anche lobo piriforme o area entorinale. Si trova nel lobo temporale.
- Area di associazione e di centri riflessi: comprende l'area settale e lo spazio perforato anteriore. Si trova nel lobo frontale.

Il lobo piriforme e l'area settale sono anche collegati con l'archicortex dell'ippocampo e del nucleo amigdaloido. Queste formazioni non hanno però un vero significato olfattivo. Infatti, sono sia centri associativi intra o interemisferici, sia centri di proiezione verso centri sottostanti. Ciò ne dimostra la complessità, potendo per via riflessa, originarsi dalle vie olfattive, meccanismi generali di natura vegetativa.

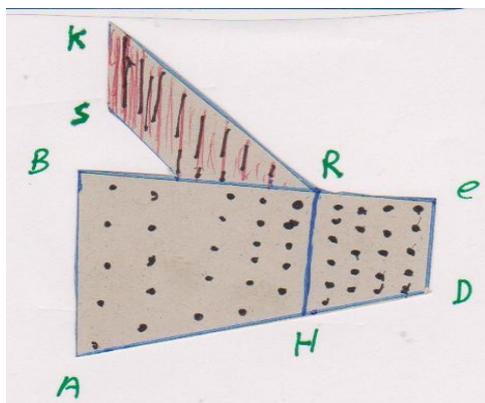
Il cervello olfattivo si è andato riducendo, mentre il visivo si è incrementato per una migliore funzionalità nel passaggio da uno stile di vita notturno, tipico delle proscimmie, alla vita diurna acquisita dagli ominidi quando abbandonarono l'oscurità della foresta pluviale, dove la sopravvivenza dipendeva in gran parte dall'olfatto. Lo sviluppo della neocorteccia, con centri cognitivi acustici e visivi ben sviluppati, avrebbe liberato gli ominidi dalla dipendenza dalla comunicazione tramite i mezzi chimici. Stoddart M.D., (1990) afferma che negli insettivori i bulbi olfattivi occupano l'8,88% circa del volume totale dell'encefalo, mentre per l'Uomo sono circa lo 0,01% e nelle scimmie superiori circa lo 0,07%. Al progressivo sviluppo dell'encefalo e delle funzioni cognitive



superiori, corrispose una minore necessità di ricorrere all'olfatto per la sopravvivenza. Tuttavia, il ridimensionamento anatomico delle strutture olfattive nelle scimmie superiori ed il conseguente primato della vista e dell'udito non hanno diminuito l'importanza dell'odorato nei primati, Uomo compreso. La mucosa olfattiva ha un preciso orientamento, in direzione del flusso dell'aria inspirata. I fotoni possono attraversare il tappeto retinico senza interferire con le cellule gangliari, raggiungendo per la via inversa i coni ed i bastoncelli. Per questo, non è importante l'orientamento spaziale rispetto agli stimoli che devono ricevere ed elaborare. Ciò non vale per l'olfatto. La corteccia olfattiva (rinencefalo) è molto espansa nei vertebrati inferiori macrosomatici dove ha funzioni olfattive, accompagnate dai relativi riflessi. Nei vertebrati superiori, solo le formazioni paleocorticali sono ancora connesse all'olfatto, mentre le archicorticali hanno perso i nessi con l'odorato. I cetacei (mammiferi marini anosmatici) sono privi di formazioni olfattive e di paleocortex, mentre l'archicortex è molto sviluppato. Nei vertebrati, archicortex e paleocortex olfattiva sono confinanti. L'archicortex è la parte fondamentale del cervello, regolando il comportamento generale e l'istinto. L'archicortex è collegata con l'ipotalamo, il tronco cerebrale ed il neopallium della propinqua corteccia cerebrale. Infatti, il neopallium controlla l'archipallium, potendo però essere a sua volta da questo condizionato. Nell'Uomo, le aree di proiezione olfattiva sono molto ridotte ed in esse, le sensazioni olfattive diventano coscienti. Si distinguono due parti:

- Il sistema olfattivo, le sue proiezioni ed i rispettivi centri paleocorticali.
- Archicortex o cervello comportamentale, rappresentato per la gran parte dall'ippocampo.

La mucosa olfattiva. Dal punto di vista anatomico, La mucosa olfattiva circonda le masse laterali dell'etmoide, al fondo delle cavità nasali. Queste strutture di osso papiraceo sono avvolte da un tipo di mucosa giallastra, detta mucosa olfattiva. A lato, il disegno schematico da me medesimo eseguito. Il poligono **ABCD** indica la lamina trasversale che è crivellata di fori per il passaggio dei nervi olfattivi. Questa lamina è divisa in due metà dall'apofisi cristagalli (RH). La lamina perpendicolare (KSRH) si continua anteriormente col setto nasale cartilagineo. Sia la lamina perpendicolare dell'etmoide, sia il setto nasale cartilagineo dividono in due i condotti nasali. Questa divisione avviene a livello del piano sagittale mediano. La mucosa olfattiva è limitata alle parti caudo dorsali delle caità nasali, ricoprendo gli etmoturbinati e la zona caudale **adiacente** al cornetto dorsale.



Il disegno schematico da me medesimo eseguito. Il poligono **ABCD** indica la lamina trasversale che è crivellata di fori per il passaggio dei nervi olfattivi. Questa lamina è divisa in due metà dall'apofisi cristagalli (RH). La lamina perpendicolare (KSRH) si continua anteriormente col setto nasale cartilagineo. Sia la lamina perpendicolare dell'etmoide, sia il setto nasale cartilagineo dividono in due i condotti nasali. Questa divisione avviene a livello del piano sagittale mediano. La mucosa olfattiva è limitata alle parti caudo dorsali delle caità nasali, ricoprendo gli etmoturbinati e la zona caudale **adiacente** al cornetto

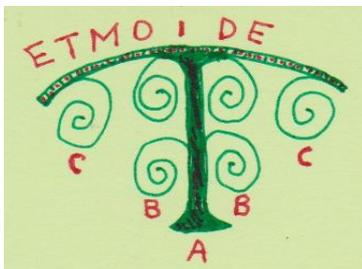
dorsale. Il nervo implicato nel senso dell'olfatto è il primo nervo cranico, o olfattivo. Ogni nervo olfattivo contiene circa venti fasci di fibre nervose, formate dagli assoni non mielinizzati dei neuroni olfattivi primari (cellule olfattive) della mucosa. Le cellule olfattive nell'epitelio dell'**organo Vomeronasale** contribuiscono alla formazione dei nervi olfattivi. L'olfatto è una delle funzioni del naso. Gli animali dipendono dall'olfatto molto più dell'Uomo e per alcuni di essi, questo senso è indispensabile per la sopravvivenza. L'estensione dell'area olfattiva è variabile e correlato all'estensione, numero e geometria degli etmoturbinati. Gli etmoturbinati si possono estendere anche nei seni frontali e/o negli sfenoidali. In alcune specie, l'aria circolante normalmente raggiunge solo la parte anteriore dell'area olfattiva. Se la velocità della corrente d'aria aumenta, per esempio se si annusa qualcosa, il flusso aerifero può raggiungere anche la parte caudale. Nell'area nasale, esistono in genere sei strati di cellule nervose così indicate:

1. Strato dei recettori olfattivi.
2. Strato glomerulare.
3. Strato plessiforme esterno.

4. Strato delle cellule mitrali.
5. Strato plessiforme interno.
6. Strato glanulare.

Nell'Equino, i recettori olfattivi sono intercalati nella mucosa omologa che riveste le masse laterali dell'etmoide, nella parte profonda delle cavità nasali. Queste masse laterali sono fatte di osso papiraceo (sottile come le pagine di un libro) la cui disposizione spaziale arrotolata su se stessa, forma gli ecto e gli endo – turbinati. I recettori olfattivi sono collegati ai nervi olfattivi che terminano nei due bulbi gemelli del rinencefalo. Il Cavallo avrebbe due sistemi olfattivi. Uno che comprende i recettori olfattivi della mucosa etmoidale ed uno più esterno dato dall'**organo Vomero – Nasale di Jacobson**. Il primo sistema, quello etmoidale, capterebbe i messaggi chimici dispersi nell'aria circostante. Il secondo sarebbe deputato all'analisi fine dei ferormoni, di altri segnali chimici sessuali liberati dagli altri cavalli ed occasionalmente da un essere umano. Per questo, si dice che i cavalli sono dipendenti dell'olfatto, mentre noi esseri umani dal linguaggio (eloquio).

Schema di etmoide di un equino. All'interno delle masse laterali, sono presenti alcune formazioni

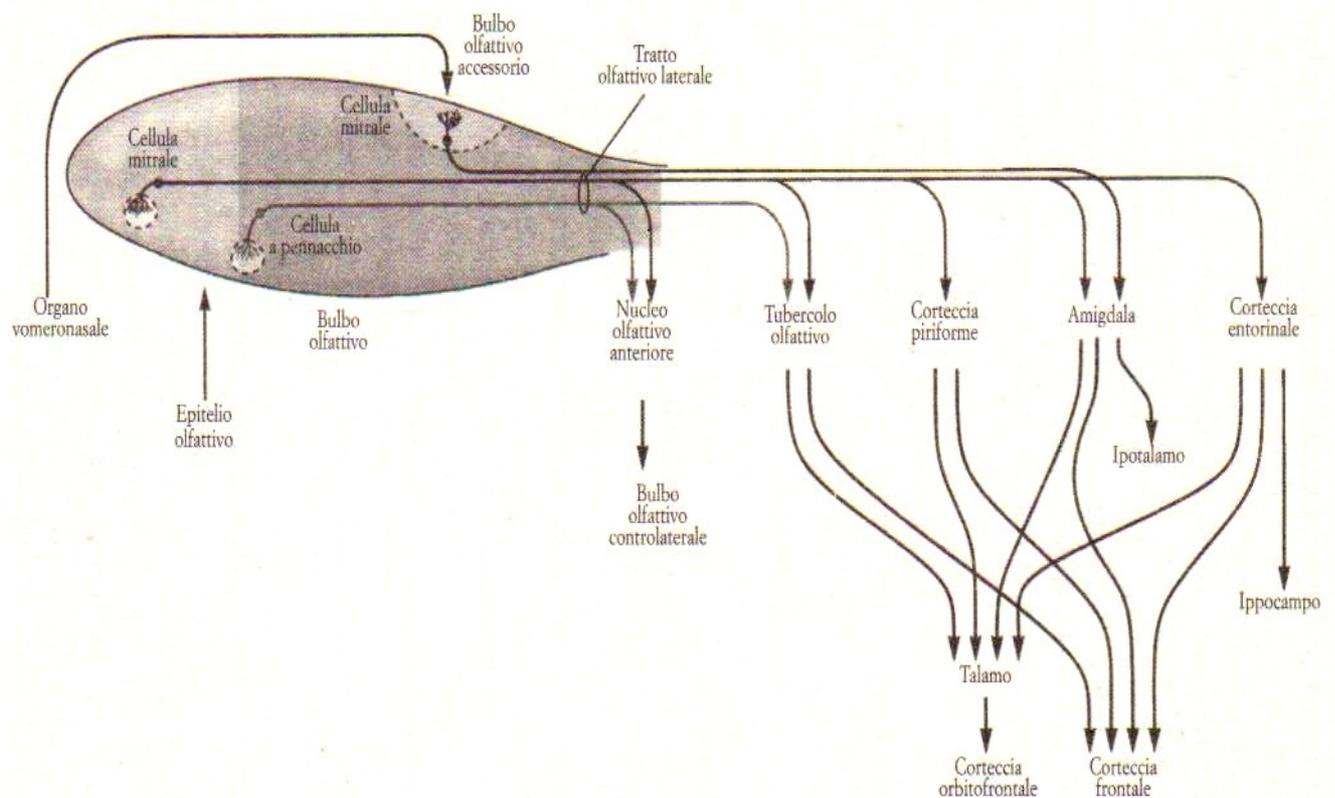


di osso papiraceo, definite come endo turbinati ed ectoturbinati. Gli endoturbinati indicati con la lettera **B**, sono vicini alla lamina perpendicolare (**A**) ed hanno andamento centripeto, nel senso che l'osso papiraceo rivestito di mucosa olfattiva, si arrotola in senso centripeto, appunto. Gli ectoturbinati (**C**) si differenziano dai precedenti perché sono più lontani dalla lamina perpendicolare dell'etmoide ed hanno andamento opposto ai precedenti. Sia gli ecto che gli endo turbinati permettono il passaggio dei nervi olfattivi che

successivamente attraversano la lamina cribrosa dell'etmoide e terminano nei rispettivi bulbi olfattivi del rinencefalo. L'orientamento opposto dei turbinati etmoidali avrebbe la funzione di far ruotare il flusso di aria inspirata nel senso centripeto se vicino alla lamina perpendicolare e nel senso opposto se lontano da esso. In questo modo, una maggiore quantità di molecole odorifere entrerebbero in contatto con la mucosa olfattiva: come un cucchiaino che mescola zucchero in una tazzina di acqua, ruotato prima in un senso e poi nell'altro. La disposizione geometrica dei turbinati etmoidali rifletterebbe quella funzionale dei nervi olfattivi. Nel Gatto, Miller M. A. et al. (2010) hanno trovato una precisa correlazione topografica tra la disposizione dell'epitelio olfattivo attorno ai turbinati etmoidali e l'organizzazione nervosa dei bulbi olfattivi rinencefalici. Inoltre, i neuroni olfattivi mostrerebbero una tipica fascicolazione, strutturata in modo gerarchico. Come accennato, questa lamina cribrosa dell'etmoide ha disposizione trasversale rispetto all'altra lamina, detta appunto perpendicolare e che si trova sul piano sagittale. Divisa in due metà, la lamina cribrosa ha due facce: la endocranica e la esocranica. La prima è concava (fossa etmoidale) e riceve il bulbo olfattivo del cervello. I suoi fori servono per il passaggio dei nervi olfattivi. Nella lamina cribrosa, esistono circa due-trecento fori raggruppati in sei-dieci, ciascuno isolato dall'altro da lamelle ossee più sviluppate. Questi fori non hanno grandezza omogenea ed al loro fondo, si aprono minuscoli orifizi multipli. Per cui, i fori superiori sarebbero fossette contenenti orifizi secondari. La faccia anteriore della lamina cribrosa (faccia esocranica) dà impianto alle masse laterali, un ammasso di foglietti ossei arrotolati su se stessi dal lato mediale, mentre lateralmente sono avvolti da una lamina ossea comune (lamina papiracea) a cui si attaccano. Medialmente, la lamina papiracea raggiunge la perpendicolare a cui è ancorata. La lamina papiracea forma una specie di galleria, chiusa posteriormente dalla lamina cribrosa, aprendosi dalla parte opposta, nelle cavità nasali. Gli etmoturbinati sono lamine ossee, arrotolate su se stesse a cornetto. Con la base, sono inseriti sulla lamina cribrosa, lateralmente sulla superficie interna della lamina papiracea. Il loro margine mediale e l'estremità rostrale sono libere. Dalla lamina principale possono derivare lamelle secondarie ed anche terziarie, formanti volute più piccole. L'arrotolamento della lamina principale avviene verso il basso. A volte, c'è una robusta lamina secondaria attaccata alla convessità della lamina principale

ed arrotolata in senso inverso. In questo caso, la voluta etmoidale si presenta sdoppiata dal lato mediale: una parte si arrotola ventralmente e l'altra, dorsalmente. Da qui, la denominazione di ecto ed endoturbinati. Gli stretti spazi tra le volute sono i meati etmoidali che nell'insieme formano una struttura labirintica: labirinto etmoidale o olfattivo, comunicante con lo stretto spazio tra massa laterale e lamina perpendicolare e che in effetti è il fondo del meato comune della fossa nasale. Le volute etmoidali hanno una specifica disposizione spaziale: si riconoscono delle volute endoturbinati, in genere più voluminose e delle volute ectoturbinati, più laterali e più piccole. Le formazioni più dorsali sono le più sviluppate. Le volute endoturbinati sono quelle che si portano medialmente fino in vicinanza della lamina perpendicolare. La prima di queste, cioè la più dorsale, è sempre la più grande di tutte e prende perciò nome di grande voluta; penetra più o meno nella fossa nasale tra il cornetto dorsale e il cornetto ventrale ed è per questo denominata anche cornetto medio o *Concha nasalis media*. Il cornetto medio non è tutto arrotolato su se stesso come gli altri endoturbinati. E' globoso e con una definita cavità che si apre nel naso (cornetto medio). Le volute ectoturbinati sono più piccole e più numerose delle precedenti. Sono più laterali e nascoste da quest'ultime. Perciò, non sono visibili su sezioni sagittali della testa. Formano una fila più o meno serrata ed in certe specie (Cavallo) si sovrappongono in modo da formare due piani.

Le vie olfattive centrali



Vie olfattive. La figura sulle vie olfattive centrali è stata estrapolata dal lavoro di Buck L.B., (2000). Come si vede, la corteccia olfattiva è strettamente collegata con lo strato più arcaico del cervello, il sistema limbico. L'olfatto è il senso più diretto e potente in comparazione cogli altri sistemi sensoriali ed ha un privilegiato accesso al sistema limbico, la parte del cervello che controlla l'emozioni. Per questo, la percezione di un odore scatena reazioni emotive, ricordi sommersi e risposte immediate, piuttosto che tentativi di elaborarlo e di definirlo. A causa delle molteplici diramazioni e connessioni con altre strutture cerebrali, il percorso degli stimoli olfattivi è di difficile definizione. La corteccia olfattiva primaria comprende un gruppo eterogeneo di centri e vie nervose: il nucleo olfattivo anteriore, il tubercolo olfattivo, varie regioni della corteccia ed altre aree corticali

del lobo infero-temporale come la corteccia piriforme, o paleocorteccia olfattiva (posta al limite tra i lobi frontale e temporale), la corteccia orbitofrontale e la entorinale. La corteccia olfattiva primaria è anche collegata col talamo e con ampi nodi del sistema limbico come l'amigdala, l'ippocampo e l'ipotalamo. Per questo, la percezione di sostanze odorose influenza comportamenti sia razionali, sia emotivi. L'olfatto è un senso viscerale, con strette connessioni con l'inconscio ed è anche stato definito il senso più antico. Di conseguenza, le aree del cervello che elaborano le sensazioni olfattive si sono evolute per prima. Può essere che altri sensi, specie la visione e l'udito, evolvendosi a loro volta più tardivamente abbiano determinato la progressiva riduzione dell'olfatto. Tuttavia, le connessioni tra i prolungamenti dei recettori olfattivi e le parti del sistema nervoso centrale che processano per le emozioni e le motivazioni, dimostrano che il senso dell'olfatto conserva un ruolo primario nella specificazione dell'individuo e nel comportamento umano.

Recettori olfattivi. Le molecole odorifere arrivano alla mucosa olfattiva da due direzioni. Davanti c'è il naso e dietro alle coane (condotto retronasale), c'è una via che connette il centro olfattivo alla bocca. Per questo, è possibile percepire l'odore del cibo in bocca, mentre questa è aperta. Un singolo recettore odorifero può reagire con più di un odore e singoli odori possono attivare numerosi recettori. Ciò aiuta a distinguere un grande numero di odori, circa 10.000, mentre nel naso ci sono circa **350** differenti tipi di recettori odoriferi. Sono circa trenta i diversi tipi di odori, corrispondenti ad altrettante molecole odorifere, riconoscibili da ciascun recettore. Fa contrasto il gran numero di differenti recettori olfattivi coi quattro diversi tipi di recettori retinici tramite i è possibile distinguere milioni di colori. Il perché l'olfatto necessita di così tanti recettori è un mistero. E' anche strano che i nervi olfattivi a cui si connettono i recettori omologhi, debbano sottendere una specie di etichettatura degli odori fino a che il contributo di ciascun recettore olfattivo resta saldamente unito a questo odore o a quell'odore. C'è un'analogia con le fotografie. Singoli nervi olfattivi possono essere paragonati ai pixel di una fotografia digitale. Ogni nervo fornisce una piccola parte all'intera immagine. In questo caso, è una parte dell'odore annusato. Questi *pixel* devono in qualche modo essere assemblati in un insieme odorifero, attraverso un processo che sembra aver luogo nel bulbo olfattivo del cervello. Tuttavia, il mistero s'infittisce perché manca una convincente teoria sulla vera natura dello stimolo olfattivo. Infatti, non si può stabilire a priori quale sarà l'odore di una singola molecola, né si può preferire odorarne una al posto dell'altra. I recettori odoriferi si trovano nella mucosa olfattiva che sta al fondo delle cavità nasali e nell'Uomo, le molecole odorifere devono percorrere un tratto anfrattoso di circa 7 cm prima di arrivarvi. I circa **tre milioni** di recettori olfattivi indovati nella mucosa omologa hanno il medesimo significato funzionale di quelli retinici per la visione e l'*organo del Corti* per l'udito. Un singolo recettore odorifero contiene un ciuffo di prolungamenti citoplasmatici detti ciglia ed emergenti dal polo libero della cellula, verso l'interno delle cavità nasali. Queste ciglia hanno delle analogie con i coni ed i bastoncelli retinici. Quando un singolo ciglio è stimolato da una molecola odorifera a cui è sensibile, inizia una cascata di reazioni chimiche il cui risultato finale è il cambiamento di voltaggio della membrana cellulare. Come per la retina nel processo visivo, questo cambiamento di voltaggio sta alla base della sensazione olfattiva. I tre tipi di coni retinici sono specializzati per le onde luminose corte, medie e lunghe, ma può esserci una sovrapposizione di onde luminose che tutti e tre i coni assorbono. Idem, per i recettori olfattivi. Un singolo recettore olfattivo riceve stimoli da un insieme confuso di odori. Differenti l'uno dall'altro sono i recettori stimolati dagli odori e possono esserci recettori che reagiscono a più odori. Una volta che un recettore olfattivo è attivato, il conseguente segnale elettrico dà l'avvio ad un complesso iter verso le regioni olfattive del cervello, dove l'odore è percepito.

5. L'UDITO.

Il suono mette in vibrazione l'aria intorno ad esso. Queste vibrazioni s'allontanano dalla fronte sonora in modo concentrico, come le increspature in uno stagno provocate da una pietra cadutavi. Quando le onde sonore raggiungono l'orecchio, ha inizio l'elaborazione della sensazione acustica. Il fenomeno è indicato come ascolto. Le onde sonore viaggiano in un mezzo che di solito è l'aria. Attraversano bene anche l'acqua, i solidi come il legno, i metalli ed il tessuto osseo. I suoni ascoltati raggiungono l'orecchio interno in vario modo. L'aria mette in vibrazione il nostro timpano, ed alcune ossa craniche. Queste ultime trasmettono vibrazioni direttamente all'orecchio interno, baipassando il timpano. Molti particolari di ciò che udiamo quando parliamo, arrivano all'orecchio interno con la conduzione ossea. Invece, l'ascolto tramite altoparlante di una voce registrata proviene da suoni originatisi in aria e non avviene in alcun modo tramite conduzione ossea. A causa di alterazioni di conduzione ossea, a volte la propria voce registrata non è riconoscibile. La direzione di vibrazione dell'aria è parallela a quella di propagazione dell'onda sonora. Un fenomeno analogo si verifica con una nave che sta in mare. Le onde marine si muovono in orizzontale, ma cullano la nave che beccheggia dall'alto verso il basso, con moto verticale. Il vento può influire sul moto delle onde sonore. Un rumore sopravvento non è facilmente percepibile da chi sta sottovento ed a una certa distanza. Le onde sonore che attraversino un qualsiasi mezzo hanno alcune proprietà, una delle quali è la frequenza, misurabile in HERTZ. La frequenza di un'onda sonora è la quantità delle oscillazioni da un punto A a B in un dato lasso di tempo. Il più comune DIAPASON produce suoni con una frequenza di 440 Hertz, o 440 cicli, o onde al secondo.

Vie acustiche. L'ultimo tratto della via cocleare si origina dal Nucleo Genicolato Mediale (N.G.M.), la cui distruzione bilaterale comporta sordità completa. Dal N.G.M., partono fibre nervose per l'area corticale **41**, indicata anche come area acustica, o acustico sensoriale. L'area 41 è sul versante silviano, nella parte superiore della prima circonvoluzione temporale. E' divisa in un segmento profondo ed uno superficiale. La percezione dei suoni acuti corrisponde alla parte profonda della circonvoluzione temporale traversa. La percezione dei suoni più bassi avviene nella parte più laterale della stessa circonvoluzione temporale traversa. L'area 41 conterrebbe una zona di percezione ed una gnostica con tre funzioni:

- Registrazione dei suoni che formano una parola.
- Identificazione della parola stessa in quanto tale.
- Interpretazione dell'idea di cui questa parola è espressione.

Nel caso in cui la parola udita appartiene ad una lingua sconosciuta, non sarà possibile raggiungere il III stadio interpretativo.

Non chiaro è il fenomeno corticale della percezione ed interpretazione dei suoni come elementi del linguaggio musicale. Alcuni soggetti, con capacità uditiva normale, non sono in grado di distinguere i vari suoni; altri, sia come cantanti sia come uditori, non sono capaci di collegarli nell'ordine, nella durata e nel ritmo che sono alla base di una melodia; altri ancora non comprendono la musica nel suo significato simbolico e cioè nel senso in cui è intesa dai musicisti. Le lesioni patologiche hanno prodotto in questo campo dissociazioni così varie e specifiche da consentire l'identificazione dei vari elementi che sono alla base della ricezione, comprensione ed espressione del linguaggio musicale.

La vocalizzazione (cioè l'emissione di vocali e di suoni) può essere provocata stimolando sia nell'emisfero destro come nel sinistro, i centri delle labbra, della mandibola e della lingua, tanto in corrispondenza della zona motoria, quindi davanti al solco di Rolando, come in corrispondenza della zona sensitiva, cioè dietro il solco di Rolando.

L'orecchio umano. L'orecchio umano è una meraviglia d'ingegneria elettromeccanica. Nell'orecchio umano c'è: la meccanica dei solidi, quella dei fluidi, le proprietà della vibrazione, l'idraulica, i circuiti elettrici ed elettrochimici, compreso le proprietà dei materiali. La termodinamica, la scienza del ricambio energetico, è molto coinvolta nel meccanismo uditivo. L'energia molecolare di vibrazione in aria (da cui dipende il suono) è minima. Al limite inferiore dell'udito, l'intensità delle onde sonore si aggira intorno ad un **milionesimo di watt** per metro quadrato. In comparazione, la luce solare può essere un bilione di volte più forte a livello del suolo, producendo mille watts per metro quadrato. La minuscola quantità di energia meccanica contenuta nelle molecole vibranti in aria può essere convertita nell'orecchio dalle strutture anatomiche preposte in energia meccanica, elettromeccanica ed elettrica. Gl'input elettrici saranno infine spediti al cervello. La specificità di questi segnali elettrici è intensa, tant'è che è riconoscibile all'istante la differenza di suono tra una varietà di strumenti meccanici che percuotono in contemporanea la stessa nota, come un flauto, un clarinetto, un'oboe: per telefono ci capita di riconoscere subito la voce di un amico.

L'orecchio ha un'ampia scala di frequenze per l'elaborazione sonora. Nell'Uomo, la gamma di frequenze di ascolto va dai **20 Hz** ai **20.000 Hz**. In alcuni animali, l'ampiezza uditiva è alquanto differente. Gatti e cani possono percepire frequenze molto più alte: per i cani si va oltre 45.000 Hz e per i gatti oltre le 60.000 Hz. Alcuni fischi uditi dai cani non lo sono dall'Uomo. I gatti possono ascoltare frequenze sopra le 90.000 Hz, ma non sotto i mille Hertz. I pipistrelli possono udire suoni lontani, intorno ai 100.000 Hz. Questi mammiferi volanti emettono alte frequenze sonore di circa 200 oscillazioni al secondo. I suoni rimbalzano contro gli ostacoli, mentre i pipistrelli volano e l'eco torna verso di loro. I pipistrelli usano questa tecnica conosciuta come ecolocazione, talmente sensibile ed efficace da permettere la distinzione tra un insetto volante (preda) ed una piccola foglia cadente. L'orecchio umano può anche ricevere suoni a qualsiasi frequenza, purchè di grossa ampiezza ed intensità. La frequenza sonora intensa è quella percepibile come più forte. L'intensità sonora è determinabile anche con la scala Decibel (**dB**).

L'orecchio umano può determinare l'intensità sonora al di sopra di una gamma sui 120 **dB** che non è poi così sorprendente. Ciò significa che il livello energetico del più forte suono udibile è su $(10)^{12}$ volte (un milione di un milione di volte più energetico del suono più forte). L'orecchio può anche compensare le variazioni pressorie dell'atmosfera e la temperatura. Funziona sia in acqua che in aria. Può anche aiutarci non solo nella determinazione, ma anche nella localizzazione dei suoni, tramite le due orecchie insieme. L'orecchio espleta tutte queste funzioni uditive con una minima riduzione di prestazioni nel corso dell'intera vita.

Orecchio esterno. Nell'Uomo, è sprovvisto di un supporto osseo. Comprende il padiglione auricolare ed il condotto uditivo esterno. Nel padiglione auricolare, esiste la componente cartilaginea elastica, avvolta dal pericondrio e dal tessuto cutaneo. L'auricola o pinna, è la parte visibile dell'orecchio. Il condotto uditivo esterno è lungo circa 2,5 cm ed è 1 cm di diametro. Nel suo percorso, s'incurva verso l'interno, fino a raggiungere il timpano che lo chiude.

La membrana timpanica funziona come la pelle di un tamburo, trasmettendo le vibrazioni meccaniche delle molecole in aria verso l'orecchio medio e quello profondo.

Orecchio medio. Comprende la cavità timpanica con le formazioni in esso contenute (ossicini dell'udito), la tuba di Eustachio e la membrana del timpano che chiude esternamente la cavità timpanica. Comunque, l'orecchio medio comunica con l'esterno attraverso la tuba uditiva di Eustachio, riequilibrando così le pressioni su entrambi i lati della membrana timpanica. Quando la pressione atmosferica cambia anche di poco, come quando si modifica la temperatura dell'aria, o quando si sale in montagna, le trombe di Eustachio si adeguano a queste variazioni e la pressione rimane la stessa su entrambi i lati della membrana timpanica. Quando la pressione sul timpano cambia rapidamente, come quando si sta sopra un auto che sale e scende lungo un sentiero montagnoso, o all'interno di un aereo che va in alta quota e poi discende verso terra, le trombe di

Eustacchio non sono in grado di regolarsi bene, non essendosi evolute per un certo tipo di trasporto rapido. Se la tromba è parzialmente o del tutto bloccata, e ciò può accadere se fa molto freddo e si viaggia in aereo, ci sono molte conseguenze. Uno strisciante mal di testa si accompagna ad una chiara riduzione uditiva. Le trombe di Eustachio prevengono fino ad un certo limite quest'inconvenienti, ma la loro principale funzione è di equilibrare le pressioni atmosferiche su entrambi i lati della superficie timpanica. Se questo bilanciamento non è ottimale, le prestazioni timpaniche di trasmissione delle vibrazioni all'orecchio interno si riducono. Il timpano si trova dunque tra orecchio medio ed esterno. Se la pressione atmosferica è la stessa su entrambi i lati, la membrana timpanica vibra come la pelle di un tamburo non appena le onde sonore ne raggiungono la superficie. Sulla parte opposta di questa superficie, c'è un piccolo osso chiamato **martello**, collegato per diartrosi all'**incudine** e mediante un esile prolungamento con il muscoletto tensore del timpano. A sua volta, l'incudine si articola con la **staffa**, lunga solo pochi millimetri. Nella parte terminale, gli ossicini dell'udito sono collegati con la coclea. La loro funzione è di trasmettere all'orecchio interno tutte le frequenze e le intensità di vibrazione che hanno raggiunto il timpano, amplificandole. I tre ossicini sono un amplificatore meccanico con un ruolo fondamentale. L'insieme dell'energia contenuta nelle onde sonore è minuscola, come i corrispondenti movimenti di vibrazione che si ripercuotono sul timpano. Per suoni con frequenze molto alte, appena udibili, la membrana timpanica ha vibrazioni di soli **0,5 nanometri**, quanto una frazione del diametro dell'atomo d'idrogeno. Comunque, gl'impercettibili movimenti sono trasmessi all'orecchio interno dove c'è la trasduzione in segnali elettrici da inviare al cervello. In senso stretto, le vere capacità uditive avvengono solo nell'orecchio interno, mentre il medio e quello esterno funzionano da mezzi di trasmissione dei suoni. Le vibrazioni dell'aria devono quindi essere trasmesse al fluido cocleare tramite sia il timpano, sia i tre ossicini. Nel fluido cocleare, queste vibrazioni si trasformano in oscillazioni liquide, secondo lo schema:

ONDE SONORE IN ARIA ↔ OSCILLAZIONI NEL MEZZO LIQUIDO

Ciò non è una impresa eccezionale perché le minuscole forze di vibrazione timpanica possono essere amplificate molte volte, man mano che si scaricano sul fluido cocleare. L'orecchio medio ed i tre ossicini dell'udito rendono possibile tutto ciò. Senza di essi, per le creature viventi sulla terraferma, l'udito non sarebbe possibile. Il sistema uditivo proviene da un antico meccanismo acquatico, perfezionatosi quando i primi esseri viventi cominciarono ad uscire dall'acqua e colonizzarono la terraferma. L'evoluzione dell'udito ebbe dunque inizio dagli organismi marini. L'udito in acqua necessita di una struttura meno compessa che di quello nell'aria. Infatti, le onde sonore in acqua sono trasmissibili più facilmente sull'apparato liquido dell'orecchio interno. L'aria è un gas altamente comprimibile, ma l'acqua è centinaia di volte più densa ed è incompressibile. L'udito in acqua è più semplice. Le onde sonore che viaggiano in acqua possono passare direttamente nel fluido cocleare, senza la necessità dell'amplificazione nell'orecchio medio. Quando gli organismi marini cominciarono a vivere sulla terraferma, l'orecchio medio cominciò ad evolversi. Nei mammiferi, l'evoluzione dell'orecchio medio ed in particolare degli ossicini dell'udito, è considerata un classico esempio della teoria evolucionista, come dimostrano i numerosi reperti fossili. L'evoluzione dei tre ossicini dell'udito nell'effettivo ruolo del meccanismo timpanico e nel contesto dell'orecchio medio, è una forma di estrapolazione: una struttura anatomica che a seconda delle necessità, può evolversi in un ruolo diverso dall'originario. Un altro esempio, sono le penne degli uccelli che avevano l'originario ruolo di termoregolazione, assumendo poi funzioni aerodinamiche, adatte per il volo aviario. Idem, per gli ossicini dell'orecchio medio. Un indizio del cambiamento evolutivo è rimasto in alcuni rettili, dove il timpano è connesso all'orecchio medio tramite un singolo ossicino, la staffa. La parte superiore e l'inferiore delle ossa mascellari di questi animali contengono ciascuno un osso accessorio che nei mammiferi ha originato i restanti due ossicini. Senza orecchio medio, le onde sonore in aria arriverebbero direttamente sulla struttura liquida dell'orecchio interno. Una sostanza comprimibile, l'aria sarebbe utilizzata per il transito

dell'energia in un mezzo incompressibile, il fluido cocleare. Gli ingegneri definiscono il fenomeno come *impedenza cattiva*. Come risultato, si avrebbe la trasmissione di minime vibrazioni all'orecchio interno che sarebbero in gran parte deflesse nell'urto contro le pareti e rimbalzerebbero via. La *cattiva impedenza* tra aria ed acqua è così alta che la percentuale dell'energia acustica vibrante in aria, trasmessa come onde in acqua, è quasi zero. Senza uno stratagemma evolutivo, l'udito in aria non sarebbe stato possibile. Lo stratagemma è dato dai tre ossicini (martello, incudine e staffa) che amplificano l'energia acustica pervenuta al timpano per le due vie: delle ossa craniche e del meato acustico esterno. Il fenomeno dell'amplificazione è dato da alcuni fattori.

Primo: l'effetto leva. Con delicatezza, i tre ossicini amplificano la forza pulsatile dell'aria che arriva sulla membrana timpanica. Il fenomeno assicura un vantaggio meccanico, difficile da calcolare perché i tre ossicini funzionano alla fine come un'unica leva anche se si tratta di un sistema di leve. La forza premente sul sistema di leve dei tre ossicini è generata dalle vibrazioni sonore in aria che colpiscono il timpano a cui è collegato il martello. La forza risultante, moltiplicata dal fattore leva per quasi $1/3$, si scarica sulla finestra ovale che funge da organo di stimolazione cocleare. In particolare, l'intensità della forza per unità di area della finestra ovale non è proprio $1/3$, come quella che si scarica sul timpano. Per unità di area, questa forza, o pressione, è **22** volte superiore sulla finestra ovale. Ciò dipende dalla distanza dal timpano. In aggiunta all'effetto leva, c'è un moltiplicatore di forza (pressoria). La *finestra ovale* è una piccola fessura scavata nel labirinto osseo del temporale ed aperta nell'orecchio interno. A parte l'importante eccezione del suono che penetra nell'orecchio interno mediante la conduzione delle ossa craniche, virtualmente, tutti gli stimoli uditivi, cioè ogni cosa che è possibile ascoltare, attraversa la **finestra ovale**. Questa struttura è tutto pressata dall'impronta ossea della staffa che è grande quanto la metà di un granello di riso. La finestra ovale è piccola, ma fondamentale per il meccanismo uditivo.

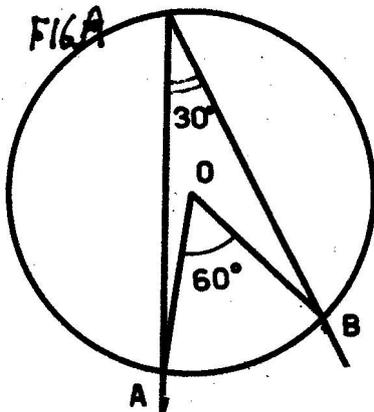
Nel processo uditivo, dalla finestra ovale, si sprigiona verso l'orecchio interno una specifica quantità di energia per unità di tempo, molto simile a ciò che a livello atomico, è definita *energia intrinseca della massa unitaria*. L'energia intrinseca della massa unitaria proviene da un singolo atomo, mentre l'energia che si sprigiona sulla finestra ovale è quella delle onde acustiche in un dato lasso di tempo. Però, secondo me, il paragone potrebbe reggere.

Il timpano ha un'area superficiale di circa 16 volte più ampia della finestra ovale. Tutte le forze pressorie scaricate sulla gigantesca (in comparazione di scala) membrana timpanica finiscono sulla minuscola finestra ovale (grande quanto l'impronta della staffa, cioè come un mezzo granello di riso). Si faccia l'esempio di un piccolo chiodo, con una punta ed all'altra estremità lo slargo della testa. Questa ha il diametro di $3/8$ di un centimetro quadrato. Una pressione sulla testa di circa 10 Pounds diventa di 75 pounds per cm^2 (i dieci Pounds diviso l'area della testa del chiodo). Però, sulla punta, la forza pressoria dev'essere moltiplicata per 500, quanto è il diametro della punta. Di conseguenza, la pressione sulla punta del chiodo è di 40.000 Pounds per cm^2 .

Per questo, la pressione sulla finestra ovale è **17** volte l'area timpanica come conseguenza dell'effetto di differenza d'area, o di punta di chiodo. Il vantaggio di 17 volte si deve moltiplicare per 1,3 grazie all'*azione moltiplicatrice di leva* dei tre ossicini. Per cui, 1,3 volte 17 è uguale a 22, che è l'incremento pressorio dal timpano alla finestra ovale. Tuttavia, l'orecchio medio è qualcosa di più di un trucco preconstituito. La pressione moltiplicata per 22 è sufficiente per la trasmissione dell'esigua energia sonora contenuta nell'aria e che sarà trasmessa nel fluido del condotto interno.

Il timpano è in vibrazione. Le forze pressorie cominciano ad essere trasmesse dai tre ossicini sulla finestra ovale, verso l'orecchio interno. E' un processo complicato. Le onde pressorie attraversano il liquido cocleare, dove saranno trasformate in segnali elettrici e spediti al cervello dai nervi acustici. E' nella coclea che l'esatte azioni meccaniche dell'orecchio esterno e medio sono replicate con l'elettrochimica. Un trasduttore, come quello del processo visivo, del gusto e dell'olfatto, è un congegno che trasforma qualsiasi tipo d'energia in un'altra. I trasduttori possono essere naturali od artificiali. Il clacson di un'auto, o un altoparlante stereo trasformano l'energia elettrica in acustica. Un microfono lavora in senso opposto: trasforma il suono in elettricità. La coclea può essere

considerata come una specie di microfono, convertendo le onde acustiche liquide in segnali elettrici. Tuttavia, è un paragone che mal si adatta alla sorprendente complessità del corpo umano, in genere.



La fig. A mostra due angoli, quello alla circonferenza e quello al centro del cerchio. **L'angolo alla circonferenza è la metà dell'angolo al centro.** Il sistema di ampliamento delle onde sonore che impattano sul timpano, avviene secondo uno schema abbastanza simile. Alla fine, l'energia cinetica convogliata dalla finestra ovale sull'orecchio interno sarà trasmessa in impulsi elettrici, in particolare dalle cellule capillate dell'organo del Corti. Il cerchio rappresenta l'intensità del suono. Quanto più intense sono le onde sonore sul timpano, tanto più la circonferenza del cerchio qui disegnato è maggiore. Di conseguenza, aumenta l'amplificazione che si scarica sulla finestra ovale.

Orecchio interno. L'orecchio interno è una serie di sacchi e tubuli, pieni di liquido. Vi si distingue il vestibolo che accoglie il sacco, l'utricolo ed antero-medialmente la chiocciola o coclea che contiene l'organo del Corti. La coclea è un tubo arrotolato su se stesso, simile ad un guscio di lumaca. Si tratta di un condotto, stipato nell'osso petroso del temporale. Le pareti cocleari sono provviste di una membrana flessibile al di sopra della quale, verso la superficie interna, ci sono migliaia di esili *cellule capillate*. Quando la membrana cambia forma in conseguenza di un'onda che la percorre in lunghezza, il movimento delle *cellule capillate* segue la direzionalità dell'onda stessa. Una cellula capillata ha una estremità libera, delimitata da una membrana flessibile, messa in movimento dalle variazioni della pressione idrostatica del liquido cocleare. L'estremità opposta della stessa cellula è strettamente ancorata alla membrana basale, sovrastante la membrana flessibile. Questo polo basale della cellula capillata è immobile. L'onda idrostatica passando lungo la membrana elastica (flessibile), stira e fa pressione sulle cellule capillate. Il fenomeno è basilare per la trasmissione degli input dall'orecchio interno al cervello. Un aspetto singolare dell'intero processo è quello che permette la differenziazione precisa delle frequenze e dell'intensità sonora. La *membrana flessibile* ha una struttura complicata, potendosi modificare di spessore e potendosi distendere per tutta la lunghezza del canale cocleare. Nelle vicinanze della fessura ovale (o finestra ovale), nelle parti terminali della coclea, la membrana si assottiglia e si restringe, ma nel suo versante esterno s'ispessisce e si slarga. E' stato visto che il versante esterno di questa membrana trasmette meglio i suoni ad alte frequenze. Al contrario, la superficie interna è ottimizzata per le basse frequenze. La coclea è divisa in tre scomparti pieni di fluidi:

1. Un condotto superiore che accoglie le onde pressorie all'entrata della coclea: la scala vestibolare.
2. Un condotto inferiore per le onde di partenza: la scala timpanica.
3. L'organo del Corti con le rispettive *cellule capillate*.

Attraverso la *finestra ovale*, le onde pressorie entrano nel liquido cocleare, percorrendo la membrana flessibile per l'intera lunghezza ed iniziando il processo di trasduzione. L'energia delle curve di pressione idrostatica va a finire sulla parte terminale della membrana flessibile, esternamente alla finestra ovale. Infatti, le onde pressorie si disperdono sulla sottile membrana, conosciuta come *finestra rotonda*, la parte terminale della *scala timpanica*. Con questa maniera efficiente di dissipazione delle onde pressorie, la coclea assicura che le successive onde di pressione

non siano acusticamente contaminate dalle deflessioni e scontri con le precedenti. Ci sono analogie con la funzione oculare, dove la quantità di luce eccedente, non assorbita dai coni e dai bastoncelli è impregnata dalla parte posteriore del mantello retinico, evitando l'effetto rimbalzo dentro ed intorno alla retina. Le *cellule capellute*, fissate con la base alla *membrana flessibile*, si trovano all'interno del condotto cocleare e formano l'organo del Corti, una struttura complessa, chiusa in uno spazio ristretto. L'organo del Corti è anche chiamato il *perno delle funzioni uditive*. E' qui che le vibrazioni meccaniche della *membrana flessibile* sono convertite in segnali elettrici. L'intera coclea, arrotolata su se stessa a spirale, assomiglia ad un minuscolo cucchiaino che contiene del liquido. A sua volta, il dotto cocleare occupa circa 1/6 del volume cocleare, anche se contiene circa 650 segmenti mobili. La squisita delicatezza dell'organo del Corti necessita della massima protezione che l'organismo possa fornire. All'interno del dotto cocleare, l'organo del Corti è racchiuso nella spirale ossea della coclea, a sua volta scavata nella struttura più resistente dello scheletro: la parte petrosa dell'osso temporale. Nell'intero processo uditivo, l'organo del Corti funge da trasduttore. Al di fuori dell'organo del Corti, tutta l'energia è meccanica. Infatti, le onde sonore provocano le vibrazioni della membrana timpanica (energia di vibrazione) che mette in movimento (energia di movimento) i tre ossicini (martello incudine e staffa), l'ultimo dei quali genera onde di vibrazione (onde pressorie) sul liquido cocleare con conseguenti ondulazioni della sottile *membrana flessibile*. Nell'organo del Corti, tutte le funzioni sono di natura elettrochimica. In questo modo, uno dietro l'altro, i segnali arrivano al cervello spediti dall'organo del Corti. Con una straordinaria funzione, le *cellule capellute* trasformano tutta l'energia meccanica in elettrica.

Le cellule capellute. All'interno della coclea, l'onda pressoria deforma lievemente la *membrana flessibile* il cui movimento agita le cellule capellute. Una cellula capelluta è alta circa 30 μ ed ha 5 μ di diametro. E' formata da uno spesso tronco da cui sottili fibre, dette stereociglia, sporgono nella sua parte apicale. Quando una cellula capelluta viene ad essere piegata o stirata, il fascio dell'esili fibrille (stereociglia) si piega e si stira a sua volta. Il movimento sincrono delle stereociglia, ricorda un campo di grano mosso dal vento. Però, c'è una fondamentale differenza. Un singolo ciglio è collegato al successivo da una sottile fibrilla, indicata col nome di *catenina*. Come se ciascun gambo dell'ondeggiante frumento fosse legato a quello vicino dall'esile filo di una ragnatela. Nell'orecchio interno, non appena le cellule capellute si piegano come effetto dei movimenti della membrana flessibile, il sottile legame tra una ciglia e l'altra si stira, aprendo microscopici spazi sulla membrana cellulare che avvolge le ciglia. All'apertura di questi cancelli, ioni positivi presenti nel liquido cocleare, in particolare ioni K^+ , penetrano nel citoplasma delle cellule capellute, modificando il voltaggio di membrana. Quindi, l'onda pressoria deflette la membrana di fibrille tra un ciglio e l'altro; questa piega le ciglia (o stereociglia) che stanno all'apice delle cellule capellute. Lo stiramento delle fibrille trasversali agisce sul movimento sincrono delle stereociglia che meccanicamente apre i canali di membrana: inizia il processo elettrochimico che invia segnali al cervello. Le *cellule capellute* sono le unità recettoriali all'interno del processo uditivo, in analogia con le funzioni dei coni e dei bastoncelli retinici, o di quelle dei recettori dell'odorato nel naso. A differenza della retina che contiene 100 milioni o più di cellule recettoriali, ci sono solo circa 20.000 cellule capellute nella coclea, delle quali solo 3500 circa sono le cellule capellute interne, mentre tutte le altre sono elementi esterni. Tutte le cellule capellute, esterne ed interne, si trovano nell'organo del Corti, ma con opposta ubicazione spaziale e con differenti ruoli nel processo uditivo. Queste 3500 cellule capellute interne per ogni coclea sono responsabili del processo uditivo. Sono cellule sensoriali. Le esterne, più numerose, funzionano da amplificatori. Le cellule capellute interne sono collegate al cervello da rami nervosi. Trasmettono informazioni circa la frequenza e l'amplificazione dei suoni in arrivo al cervello. Tuttavia, da sole, le *cellule capellute* interne non sono abbastanza attive nella trasmissione massimale dei suoni circa la normale scala uditiva. I segnali prodotti dalla membrana flessibile devono essere amplificati a loro volta prima di essere intercettati dalle cellule capellute interne. Questo ruolo di amplificazione spetta alle *cellule capellute esterne* che non recepiscono alcunché e non trasmettono alcun segnale al cervello. Il

movimento di una cellula capelluta esterna non fa altro che incrementare quello della membrana flessibile che a sua volta amplifica l'intensità dello stimolo meccanico sulle *cellule capellute interne*, che si attivano col cambiamento del voltaggio di membrana. **Il meccanismo di amplificazione** è cruciale per un udito funzionante in modo ottimale. Senza di esso, nel caso di una distruzione chimica delle cellule capellute esterne, come può avvenire nei tossici (drogati), la capacità uditiva si riduce di 60 – 80 decibel. Oltre alla membrana timpanica ed agli ossicini dell'udito, ci sarebbero fenomeni di amplificazione, attuati dalla membrana flessibile e dalle cellule capellute esterne.

Schema.

Energia meccanica (onde acustiche nell'aria) che genera onde di vibrazione sulla membrana timpanica → fenomeni di amplificazione di leva dei tre ossicini (martello, incudine e staffa) sulla finestra ovale → generazione di onde pressorie sui liquidi cocleari → fenomeni di amplificazione nei liquidi cocleari da parte della membrana flessibile e delle cellule capellute esterne → trasduzione dell'energia meccanica in energia elettrica nelle cellule capellute interne dell'organo del Corti → input ai centri del cervello.

Breve commento al precedente schema. E' strano come tutto ciò assomigli alle operazioni di alcuni computer che riescono a fare solo una cosa: la matematica. Addirittura, si può tradurre in matematica una buona percentuale della vita di una persona. La musica è rappresentata dal valore della pressione dell'aria fratto il tempo, l'immagine video è rappresentata dall'intensità del rosso, del blu e del verde fratto il tempo e una scacchiera è solo un reticolato (in gergo informatico è una rete) di numeri che rappresentano quale pezzo (se presente) si trova su quel quadrato. Tutto ciò avverrebbe in termini di fattori ipotetici del tipo: se **S** allora **T**. Nei fenomeni acustici di trasformazione energetica e di trasduzione delle onde sonore, i vari passaggi avverrebbero secondo lo schema: se si verifica una determinata condizione, seguirà una determinata modificazione strutturale, accompagnata dall'emissione di una corrispondente forma energetica fino all'origine dell'input elettrico da inviare al cervello, per mezzo dei nervi acustici. Nel cervello, questi segnali sensoriali, non solo acustici subiscono una complessa elaborazione inconscia, definita come *inferenza inconscia*. Lin, Z. (2008) e da Lin, Z. ed He S., (2009) dimostrano che la sensazione (uditiva, visiva ecc.) e la conseguente percezione, sono fenomeni inconsci e deduttivi, spiegabili con algoritmi, in aggiunta alla quotidiana esperienza. In matematica, un algoritmo è un metodo per la soluzione di problemi con una precisa gradualità. I gradini devono essere in numero finito e se eseguiti con correttezza, garantiscono la soluzione del problema. Per questo, gli algoritmi sono anche detti *procedure effettive*. Ne sono esempio i metodi utilizzati per risolvere problemi aritmetici come l'addizione e la sottrazione. Se i vari gradi (operazioni matematiche) sono stati eseguiti in modo corretto, si arriverà alla soluzione. Le funzioni computazionali del cervello umano rientrerebbero nell'ambito degli algoritmi e della macchina di Turing. Lin, Z., ed He S., concordano sul fatto che la quotidiana esperienza sensoriale del mondo circostante è possibile solo dopo una molteplice e grande quantità di computazioni che avvengono nella sfera inconscia. Queste computazioni hanno come risultato finale la rappresentazione fenomenica del mondo che ci circonda e che arricchiscono una entità superiore indicata come *Mente*, o io-cosciente (o strutture cerebrali superiori). Perciò, sembrerebbe ch'esistano due tipi di stati cerebrali in due livelli: uno inferiore con proprietà fisiche, dove avvengono le inferenze inconscie e che si estende anche ai processi indicati coi termini di sensazione e di percezione. Ci potrebbe essere un livello superiore che comprende gli stati mentali, fatte solamente d'immagini mentali. I due livelli sarebbero dipendenti l'un l'altro, ma basilari per la piena consapevolezza. Infatti, i pazienti con gravi danni cerebrali, col cervello che non funziona bene, dimostrano che l'interazione col mondo è confusa. L'interazione col mondo sembra strana se il cervello sbaglia nella corretta interpretazione delle informazioni sensoriali ricevute, o se le operazioni computazionali d'*inferenza inconscia* sono compromesse ed erronee. Ciò non accade a chi ha il cervello sano, dove l'omeostasi cerebrale potrebbe riunire in un unico sistema i due livelli, il livello fisico cerebrale e quello mentale.

Le operazioni computazionali d'inferenza inconscia avvengono in tutti i mammiferi, in particolare nei primati e nell'Uomo. Si può scrivere la seguente equazione:

$$(I) \cdot t : M = C : QE$$

Dove:

I = inferenze inconse in un dato lasso di tempo **t**.

t = tempo.

M = mente umana (complessità della mente umana).

C = volume complessivo della neocortex.

Q.E. = quoziente di encefalizzazione. Il quoziente di encefalizzazione (EQ), è dato dalle relazioni allometriche tra cervello e massa corporea.

Sarebbe la complessità dell'inferenza inconscia a determinare parte della vastità ed acutezza mentale, fino ad un certo limite. Oltre questo limite individuale, la Mente si collegherebbe con una realtà multipla al di là dello spazio, del tempo e forse oltre la scala di Plank.

7. IL TATTO.

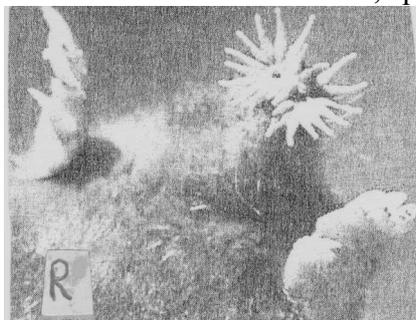
La pressione di uno o più dita sulla superficie di un oggetto può rilevarne alcune proprietà fisiche. Per una superficie ruvida, basta premere la punta di un dito, senza muoverlo. Invece, occorre far scorrere le dita su una superficie per rilevarne la levigatezza. Col tatto, è possibile recepire altri aspetti fisici degli oggetti come la durezza, l'umidità, l'untuosità, la temperatura e la presenza di eventuali vibrazioni. Spesso, oltre ai recettori tattili sono attivati anche altre terminazioni nervose, come i termocettori, quelle per la determinazione della posizione corporea ed i nocicettori (dolore). I recettori del tatto, come i corpuscoli del Pacini e del Golgi, rilevano solo la deformazione locale tissutale che si verifica per esempio, strofinando o premendo la punta del dito su una superficie dura. Idem, quando i peli del dorso della mano sono piegati in seguito ad una carezza. Alla radice dei peli cutanei, c'è un avvolgimento di fibre mieliniche che trasmette al cervello le modificazioni di direzionalità del fusto pilifero. Gatti ed altri animali sono molto sensibili a questi tipi di sensazioni trasmesse dai peli, in particolare dalle vibrisse. Ritornando ai pressocettori, c'è da precisare che i corpuscoli del Golgi raccolgono le pressioni leggere, mentre i grossi corpuscoli del Pacini rilevano le pressioni forti. Le fibre afferenti di questi corpuscoli sensitivi raggiungono i gangli spinali da cui si dipartono fibre che entrano nel midollo spinale come fibre radicolari posteriori e confluendo nel fascio spino talamico anteriore.

Tuttavia, la consapevolezza del grado di movimento (se di uno, due o cinque millimetri) di un dito, strofinato su una superficie, richiede l'apporto della sensazione propriocettiva, detta anche sensazione di posizione, mediata dai propriocettori come i corpuscoli muscolo-tendinei ed i fusi neuro-muscolari. Si può affermare che gli organi in diretto contatto cogli stimoli esterni come la pelle e la lingua, sono provvisti di recettori multipli. La pelle contiene una grande quantità di nocicettori, di pressocettori, di termocettori, di recettori per il freddo ed altri. La lingua ha diversi tipi di papille, oltre a nocicettori, termocettori ecc.

Solo la pelle ha numerosi tipi di recettori, associati a sensazioni specifiche per:

- il tatto
- la temperatura
- il dolore
- la consapevolezza corporea.

Il naso di una talpa che vive nel nord-est del Canada e della parte nord degli Stati Uniti, è uno degli organi sensoriali più strani, oltre al dente di Narvalo. Questa razza di talpe dal naso a stella, passa la gran parte del tempo scavando nei terreni fangosi alla ricerca d'insetti e vermi. Come altri tipi di talpe, questi animali hanno forti zampe anteriori, adatte a scavare e smuovere la terra. Hanno un *naso a stella* con tentacoli carnei che s'irradiano lungo i bordi esterni delle narici. Il *naso a stella* protrude tra gli occhi piccoli e dalla debole vista. Ogni narice è prolungata da una rosa di undici tentacoli, simili ad escrescenze carnose. Ogni tentacolo ha una lunghezza di circa mezzo centimetro, ma nei soggetti adulti alcuni di essi possono arrivare fino a due centimetri. Per un animale di piccola taglia, quel tipo di naso è davvero prominente e può essere coinvolto in funzioni gustative ed odorifere. Tuttavia, la vera funzione di quei tentacoli nasali è di fornire una spiccata sensibilità tattile, più di un dito umano. Sembrano fatti per sentire la fisicità del terreno che la talpa scava, ma non per gustarla, o per odorarla. I tentacoli non afferrano oggetti, o eseguono funzioni simili alle dita. Sono solo organi tattili altamente specializzati che vibrano sul terreno con una frequenza di circa **10 Hz** mentre la talpa è in cerca di vermi. Gli undici tentacoli contengono circa 50.000 terminazioni nervose, specializzate per la sensazione tattile. In comparazione, la mano di un



uomo che è molto più grossa, contiene solo circa 17.000 corpuscoli sensitivi per il tatto. Coi loro cento milioni di recettori olfattivi, i cani hanno capacità odorifere di gran lunga superiori all'Uomo. In base alla quantità di terminazioni nervose contenute nel *naso a stella* della talpa del nord America, si può concludere che questa struttura è tra i migliori organi sensoriali tattili nei mammiferi. In modo indiretto, esperimenti sulla mano umana sembrano confermare questa ipotesi. La sensibilità tattile può essere quantificata in base alla distanza tra due punti di

stimolazione, appena siano riconosciuti come punti separati. A tal proposito, le ricerche scientifiche hanno trovato che la *distanza minima di separazione* nelle palme delle mani è non meno di otto millimetri. Questa distanza permette di percepire come distinti due punti di stimolazione. Al di sotto di questa distanza si sente un'unica stimolazione e non due. Le punta delle dita sono molto più sensibili, essendo la distanza di separazione meno di due millimetri. I risultati degli esperimenti sul tatto si raccordano molto bene con la distribuzione degli esterocettori nella pelle. Sulla punta di un dito, ci sono più di duecento recettori sensoriali per cm², due volte di più che nelle parti centrali della mano. Duecento recettori per cm² vuol dire che sulla superficie di un dito, in un'area come la testa di uno spillo, ci sono quasi sei recettori tattili. la foto indicata con la lettera R ritrae una talpa dal naso a stella. Al centro di una delle due formazioni si vede l'apertura della narice destra. In primo piano sono anche evidenti le forti zampe anteriori, usate per scavare nel terreno. La foto è tratta dal libro di Henshaw J.M., *A tour of the senses* (2012).

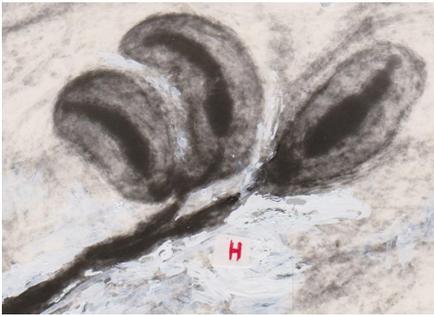
Nella pelle, sembrerebbe esserci un *continuum* di tanti altri tipi di recettori oltre al tatto, come quelli termici e quelli per il dolore. E' ipotizzabile che tutti questi corpuscoli nervosi sensoriali abbiano distribuzione uniforme. Gli esperimenti sulla sensibilità tattile dimostrano che ciò non è vero. Piuttosto che un avvolgimento uniforme nella pelle, i recettori o esterocettori, pur mischiati tra loro, sono addensati in alcune zone. Le parti di tessuto cutaneo meno sensibili (al tatto, al dolore, al calore ecc.) sono le più distanti dagli addensamenti sensoriali puntiformi.

Questi aspetti evidenziano l'esistenza di una sensibilità cutanea, tattile in particolare, che è differente da individuo ad individuo.

La via tattile protopatica, o fascio spino-talamico anteriore, si origina dalla testa del corno posteriore, attraversa la commessura grigia anteriore e situandosi davanti al fascio spino-talamico laterale, raggiunge il talamo. Al di sopra del bulbo, le sue fibre si affiancano a quelle della sensibilità epicritica e cranialmente al bulbo, le due vie tattili: nocicettiva ed epicritica si fondono.

I due fasci: spino-talamico laterale (sensibilità termica e dolorifica) e spino-talamico anteriore (sensibilità tattile protopatica) sono nel cordone laterale, con quest'ordine: anteriormente il fascio

della sensibilità tattile e dietro quello della sensibilità dolorifica. Ancora posteriormente, c'è il fascio della sensibilità termica. Nell'insieme, formano il fascio « en croissant » di Déjerine.



Dunque, il fascio spinotalamico anteriore termina nel nucleo ventrale posteriore del talamo. Da qui, partono le fibre talamo corticali, formanti la radiazione sensitiva che percorre la metà posteriore del braccio posteriore della capsula interna. La radiazione sensitiva termina nella corteccia cerebrale della circonvoluzione post-centrale del lobo parietale dell'emisfero cerebrale, sede dell'area sensitiva primaria (area 3,1,2).

La foto indicata dalla lettera **H** indica una triplice terminazione nervosa tattile. Si vedono tre espansioni di tipo Pacini, sostenute da un'unica fibra nervosa afferente. Il tratto pre terminale della fibra, diventa amielinica prima d'immettersi nella spessa capsula del corpuscolo. A livello dello strozzamento pre-terminale, avviene l'attivazione elettrica con l'apertura dei canali sodio. **Ingr. 120 x – Impregnazione aurica del Ruffini.**

8. IL GUSTO.

Le molecole dell'olfatto sono disperse nell'aria e quelle del gusto sono sciolte in acqua. L'insieme delle labbra, arcate dentali, ghiandole salivari e lingua forma tra l'altro, una recipiente acquoso in cui sono immerse le papille gustative. Mentre il fenomeno dell'olfatto è legato ai gas (aria), il gusto è correlato alla fase acquosa. Al di là dei risultati, le cose da gustare sono limitate in comparazione alle centinaia di differenti odori percettibili. Nel gusto, è possibile fare distinzioni di tipo: dolce il contrario di salato. Non è possibile la discriminazione gustativa in base al grado: molto, o poco dolce. Si conoscono bene le papille gustative per il dolce, il salato, l'acido e l'amaro.

Nel Gatto e nei carnivori in genere, le papille filiformi sono molto diffuse sulla superficie dorsale della lingua e rassomigliano a piccoli peli, infissi perpendicolarmente nella mucosa. La base di queste papille è circondata da terminazioni nervose che rilevano la ruvidezza di un alimento o di un oggetto, per esempio un osso. I gatti hanno l'abitudine di leccarsi il pelo e questi tipi di papille potrebbero collegarsi alla sensibilità propriocettiva invece che a quella del gusto in senso stretto. C'è da aggiungere che le papille gustative per il dolce recepiscono questo sapore, non distinguendolo se di derivazione naturale, o artificiale.

Il gusto è il senso che si origina dalle papille gustative linguali. Come per l'olfatto, i vari tipi di recettori per il gusto, sulla lingua e parti propinque, sono ottimizzati per le ricezione di specifici stimoli chimici. Recettori per il sale, rispondono al cloruro di sodio, ma anche ad altri sali come il cloruro di potassio. I recettori per il dolce sono stimolati dagli zuccheri naturali ed artificiali. C'è una grande varietà d'individui che sono sensibili a molteplici gusti diversi. Ciò dipende dal fatto che alcuni hanno un numero più elevato di papille gustative sulla lingua. Esistono quattro tipi di papille linguali specializzate per il senso del dolce, l'amaro, l'aspro ed il salato. Secondo alcuni, esisterebbe una quarta categoria sensibile per un particolare gusto: il saporito. I recettori gustativi umani rispondono bene alle sostanze chimiche, definite glutammati. In natura, i glutammati si trovano in cibi come i pomodori, le carni ed i formaggi. Il più comune additivo per esaltare il sapore dei cibi è il glutammato monossido. Alcuni studi rilevano che i recettori gustativi sono selettivi per certi sapori, mentre ce ne sono altri selettivi solo per il sapore del grasso. Ci sarebbe una logica in questa specificità. Per esempio, molti cibi amarognoli sono anche nocivi per la salute. Tuttavia, una sostanza nervina ed amarognola come il caffè, non è di per sé dannoso.

E'errato come si credeva, che la lingua sia divisa in regioni a seconda della sensibilità gustativa come afferma Henshaw J.M. (2012). Invece, è vero che alcune aree sono più sensibili al sapore dolce rispetto ad altre, ma è anche vero che tutta la superficie dorsale della lingua ha la sensibilità per i vari tipi di gusto (Henshaw J.M. (2012)). La lingua umana è piena di rilievi, di solchi e di fossette. Alcuni di questi solchi delimitati da rilievi possono contenere fino a 250 recettori gustativi.

Ogni papilla gustativa contiene circa 100 cellule recettoriali gustative. Essendoci circa 5000 papille gustative sulla lingua umana, le cellule recettoriali per il gusto indovate nei vari tipi di papille (cellule gustative) sono intorno al mezzo milione. In comparazione coi circa tre milioni di cellule recettoriali olfattive nel naso e cogli oltre 100 milioni di coni e di bastoncelli retinici, queste cellule gustative sono relativamente poche, ma riccamente innervate come la microfotografia da me medesimo eseguita mostra (fig. 1). Le cellule gustative delle papille linguali sono sensibili alle molecole che conferiscono il sapore del dolce, del salato, dell'asprigno, dell'amaro e di quel particolare gusto, indicato come *saporito*. Le cellule recettoriali del gusto rassomigliano ai coni ed ai bastoncelli retinici. Queste cellule trasformano lo stimolo che intercettano in un segnale elettrico da inviare al cervello, ma la natura di questo input che arriva al cervello dipende dal tipo di recettore gustativo attivato. Consideriamo una molecola salata, come il cloruro di sodio. La saliva buccale scioglie il sale, formando una soluzione con ioni Na^+ e Cl^- .

Gli ioni sodio attraversano la membrana cellulare dei recettori, ne cambiano il voltaggio e danno inizio ad una serie di reazioni chimiche che stanno alla base dell'input sensoriale elettrico, inviato a specifici centri del sistema nervoso centrale. C'è un'analogia di base con altri sensi, come nella visione e nell'olfatto. Lo stimolo sensoriale per altri tipi di molecole gustative è spesso più complicato di quello che si origina col sale (cloruro di sodio). L'aspro sapore di una sostanza acida comporta un'alterazione di pH, recepita dalle cellule gustative specializzate per queste sensazioni. Importante è anche il grado di pH acido nel processo di eccitamento delle cellule gustative. Un'acre soluzione di acido acetico dà una sensazione di maggiore asprezza rispetto ad una di HCl (acido cloridrico). Alla base di queste differenti percezioni gustative, ci sono particolari meccanismi di trasduzione, relazionati ai vari acidi da parte delle cellule recettoriali, sensibili al pH acido.

Vie gustative. Gli stimoli gustativi raccolti dalla superficie dorsale della lingua nella sua parte posteriore, oltre che dai recessi sottolinguali, viaggiano lungo le fibre linguali del glossofaringeo. Queste fibre raggiungono il midollo spinale per mezzo del IX paio e terminano in sinapsi coi neuroni della parte mediana del nucleo del tratto solitario, o *nucleo gustativo*. Da qui, nascono fibre che seguono il lemnisco mediale e raggiungono il talamo ottico. Dopo un ultimo relè nel **nucleo semilunare**, dal talamo gli impulsi si proiettano nell'area gustativa della neocortex. Provenienti dalla regione della punta e dai margini della lingua, altre fibre gustative seguono il nervo linguale, la corda del timpano ed il **nervo intermediario di Wrisberg**, portandosi anch'esse nel nucleo del tratto solitario. Seguendo il tracciato del nervo linguale, altre fibre vanno verso l'alto insieme col nervo mandibolare e terminano sulla lunga colonna della radice discendente del V nervo cranico. Dopo sinapsi, la via raggiunge con il **nastro di Reil**, il nucleo arcuato del talamo, da cui partono fibre che terminano nella corteccia neopalliale della **via parietale ascendente**. Esisterebbe quindi un'area linguale-gustativa, posta al di sopra della scissura laterale di Silvio. L'area linguale-gustativa sarebbe una zona sensitiva che unisce alla sensibilità generale della lingua, trasportata dal V paio. Invece, quella gustativa propriamente detta è trasportata dalle fibre del X e del XI nervo cranico e dall'**intermediario**.

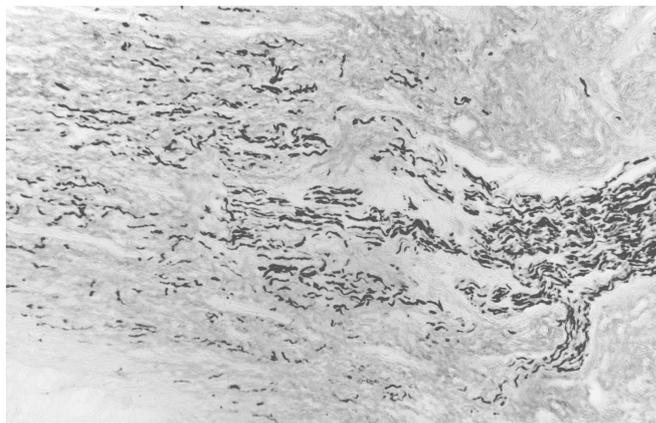


Fig. 1

La microfotografia qui di lato (fig. 1), è stata effettuata da me medesimo. È una sezione di 4 μ di spessore in paraplasm. Ingrandimento di 250X. La microfotografia evidenzia la ricca innervazione di una papilla vallata della lingua di bufalo (*Bubalus bubalus*). Il vasto contingente nervoso afferente, fatto di filuzzi di fibre sensitive mielinizzate, è colorato in nero col metodo citochimico di Linder – modificato.

9. LA SENSIBILITÀ PROPRIOCETTIVA, O DI POSIZIONE CORPOREA.

Il corpo umano può percepire la disposizione spaziale di ogni sua parte e come queste parti si muovono. La sensibilità propriocettiva è molto precisa, in particolare nel determinare il movimento della testa. La tecnologia ha progettato alcuni tipi di sensori il cui funzionamento somiglia ai propriocettori del corpo umano: i sismografi che rilevano le intensità dei terremoti, i rilevatori della direzionalità e dell'accelerazione negli aerei e missili. Sacks Oliver (2004) dice che la sensibilità propriocettiva è correlata all'accortezza ed alla percezione della propria massa corporea. Gli stimoli propriocettivi sono diversi da tutti gli altri: non sono onde fisiche, né derivanti dalla posizione, conformazione, o vibrazione molecolare. La sensibilità propriocettiva dipende dalla posizione, velocità ed accelerazione del corpo intero, o delle sue parti. Velocità ed accelerazione sono nozioni di fisica pura. L'accelerazione di un corpo è sempre lineare, sia che proceda in avanti, di lato o in alto. Il corpo umano su un'auto in movimento ne sente l'accelerazione che cambia velocità, procedendo in direzione rettilinea. Il corpo umano può anche percepire l'accelerazione angolare, per esempio, il cambio di velocità di un'auto in curva. Nello scendere la scalinata di casa, si avverte la propria massa corporea, gradino per gradino. La scalinata funziona come uno strumento generatore di stimoli propriocettivi. Alcuni di questi stimoli sono recepiti dai fusi neuro-muscolari e dai corpuscoli muscolo tendinei del Golgi. Sensori di accelerazione corporea si trovano nell'orecchio interno, vicino alla coclea. Non c'è consapevolezza della loro esistenza, ma ce se n'accorge subito se non funzionano più.

Alcuni esempi dell'importanza di questo senso.

- Chiudere gli occhi, alzare una mano e mettere in estensione due dita: la consapevolezza che sono in estensione due e non uno o tre, o quattro dita è una capacità propriocettiva.
- Si stia al centro di una stanza di casa, senza finestre ed al buio. Si cerchi l'interruttore della luce. Di solito, è un'operazione che avviene con relativa facilità grazie ai sensi propriocettivi.

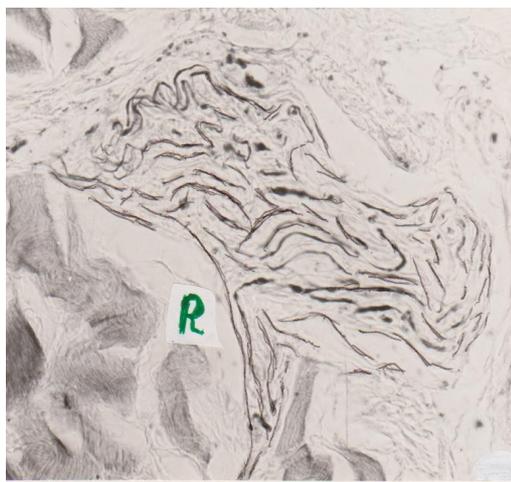


Alcuni definiscono la sensibilità propriocettiva come la normale consapevolezza della postura corporea, dei propri movimenti, dall'equilibrio e disposizione spaziale, determinati dalle sensazioni specifiche dei propriocettori. Forse per questo, sia nell'Uomo che negli animali domestici e forse in tante altre specie, i muscoli lunghi del collo contengono una grande quantità di fusi neuro muscolari multipli e di corpuscoli muscoli tendinei, provvisti di una estesa inflorescenza mielinica. La microfotografia indicata con la lettera **Z** illustra una terminazione muscolo-tendinea del Golgi nel capo di origine del muscolo sternocleido – mastoideo di Pecora. Il corpuscolo sensitivo colorato di nero, è ricco d'inflorescenze ed è avvolto da una spessa capsula connettivale. Ingrandimento 120 x – Impregnazione aurica del Ruffini.

Gli stimoli che attivano i propriocettori sono del tutto diversi dagli altri. Non somigliano alle vibrazioni come le onde luminose della visione, o alle onde acustiche, o a molecole odorifere. Molti degli stimoli propriocettivi sono collegati alle leggi fisiche della gravità e dell'accelerazione. In numerosi animali domestici, come nel Cavallo e nei ruminanti, a livello delle ossa carpiche le pressioni dall'alto in basso, dirette al suolo e dovute al peso corporeo sono frazionate in pressioni laterali. I legamenti carpali comuni o lunghi avvolgono a manico tutte le ossa carpiche e sono ricchi di terminazioni propriocettive, del tipo corpuscoli del Pacini. C'è da precisare che i corpuscoli del Pacini a livello cutaneo fanno parte della sensibilità tattile, mentre nelle parti profonde come nell'intestino o nei legamenti del carpo, partecipano alla sensibilità propriocettiva ed i loro prolungamenti afferenti fanno parte di questa via nervosa.

Camminare, correre, fare sport, digitare su una tastiera, scrivere, mangiare, nuotare, allacciarsi le scarpe, tutto ciò che la quotidianità umana compie è collegata alla propriocezione, un tipo di sensibilità molto più importante di quanto sembri. Senza la sensibilità propriocettiva, l'atto di afferrare un bicchiere con la mano e di berne il contenuto è molto difficile ed è carico di tensione. Ci si può fidare solo della visione. Attivare i muscoli per una simile prestazione significa seguire il movimento di distensione delle falangi della mano, la giusta flessione del gomito e di altre articolazioni brachiali. Una volta raggiunta la superficie del bicchiere, occorre afferrarlo con forza altrimenti può scivolare di mano. Anche questo movimento è difficile da controllare perché una presa troppo forte rischia di frantumare il vetro, o rompere la carta se il bicchiere è di carta.

La propriocezione è conosciuta come conoscenza corporea. Anestesia significa assenza di sensazione ed è un'appropriata descrizione di ciò che avviene se si anestetizza un arto, per esempio un intero arto superiore. In questo caso, va persa non solo la propriocezione o conoscenza di una parte del corpo, ma anche la capacità del controllo muscolare ed il conseguente movimento dell'arto. La perdita di conoscenza parziale corporea proviene dalla mancanza di sensibilità propriocettiva nella parte anestetizzata. Per cui, senza propriocezione, un essere umano diviene gravemente e profondamente disabilitato. La propriocezione misura la posizione spaziale, il giusto movimento muscolare ed articolare, durante una specifica funzione. Come per la pelle, il tessuto muscolare striato è pieno di terminazioni nervose libere il cui ruolo non è del tutto chiaro. Ci sono recettori per il dolore ed altri che rilevano le variazioni chimiche dei liquidi all'interno delle cellule muscolari. Nei muscoli e nei tendini, la sensibilità propriocettiva è effettuata da recettori come i fusi neuro-muscolari, le fibre anulo spirali ed i corpuscoli muscolo-tendinei del Golgi. I fusi neuro-muscolari si attivano con la distensione delle fibrocellule muscolari striate. Un muscolo in contrazione ed in tensione corruga questi recettori che fanno aprire meccanicamente canali, modificando il potenziale di membrana. I fusi neuro-muscolari hanno una morfologia con numerose sfumature. Alcuni misurano il grado di contrazione muscolare e possono rilevarne la lunghezza in ogni istante. Altri sono sensibili alle variazioni di contrazione e di rilasciamento di un muscolo scheletrico lungo, agendo meglio di un normale accelerometro. I fusi neuro muscolari compiono un continuo lavoro di monitoraggio sulla distensione e flessione, in particolare dei muscoli lunghi. Invece, gli organi muscolo tendinei avvertono il grado di tensione muscolare quando si sollevano dei pesi. Le fibre anulo spirali sono formazioni connettivali che meccanicamente aiutano a mantenere il giusto tono muscolare, evitando un eccessivo rilasciamento di fibrocellule striate. Le fibre anulo spirali trasmettono sensibilità in modo indiretto, essendo collegate agli organi muscolo-tendinei, ma in modo lasso. Gli organi muscolo tendinei del Golgi si trovano nei tendini, in prossimità delle giunzioni tendine-muscolo. Si tratta di corpuscoli molto sensibili alle tensioni muscolari, come per esempio quando si maneggia un oggetto molto delicato, evitando di frantumarlo, o nel sollevamento di oggetti pesanti. Nelle giunture, cioè nelle diartrosi, esiste una varietà di strutture recettoriali che effettuano monitoraggi di posizione e di movimento. Si tratta di recettori importanti della sensibilità propriocettiva, ma non così come si credeva. Per esempio, una persona con la sostituzione chirurgica di un'articolazione può ancora sentire la posizione di questa giuntura, anche se i relativi recettori non ci sono più. Nell'insieme, i recettori nei muscoli, quelli nelle giunture e nei tendini formano la cosiddetta sensibilità propriocettiva che aiuta a farci capire le azioni che il corpo compie in un dato momento.



La microfotografia indicata con la lettera R, è una sezione istologica (4 μ di spessore) di un tratto di muscolo sternocleidomastoideo di Capra. L'ingrandimento è di 120 x. La colorazione è la metodica di Linfer modificata. L'immagine mostra una tipica terminazione muscolo

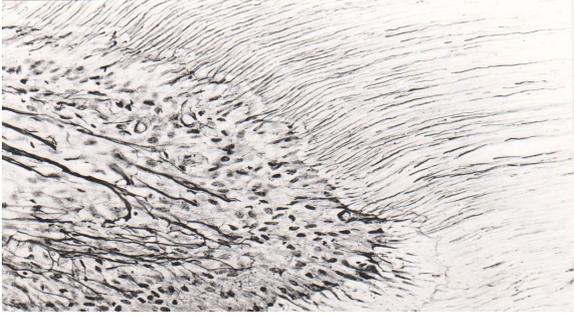
tendinea con una spessa capsula connettivale. E' evidente lo sfioccamento sinuoso dei filuzzi nervosi sensitivi, colorati di nero.

I sensi meccanici. I sensori responsabili per la propriocizione sono dei meccanocettori, effettuando monitoraggi sulla lunghezza, la tensione muscolare e la posizione di una giuntura.

In generale, gl'input dei sensi meccanici si originano dall'energia meccanica, in contrasto con l'energie elettromagnetica e chimica. L'energia meccanica si presenta sotto varie forme, ma i meccanocettori sono quasi sempre stimolati dall'energia del movimento, cioè dall'energia cinetica. Le molecole che vibrano nell'aria contengono energia cinetica, proprio per le loro vibrazioni. L'energia di movimento insita nelle vibrazioni molecolari nell'aria è trasformata in segnali elettrici dal sorprendente hardware dell'orecchio. Il movimento della testa, o più propriamente l'energia cinetica della testa, oppure i movimenti del resto del corpo, sono recepiti dal nostro sistema propriocettivo e da quello dei sensi dell'equilibrio statico. Inoltre, i sensi del tatto rilevano il movimento tra due superfici contrapposte. Un esempio tipico è quella di un non vedente che legge un sistema di scrittura e di lettura a rilievi, tipo Braille, strisciando e muovendo il proprio dito.

Vie propriocettive. La sensibilità propriocettiva può essere *cosciente* ed *incosciente*. Nel midollo spinale, gli stimoli propriocettivi dapprima indifferenziati, sono proiettati, per mezzo del prolungamento centrale del protoneurone, verso il cordone posteriore del midollo spinale. All'altezza della regione del collo del corno posteriore, il comportamento di tali fibre è duplice: le une dette mielopete raggiungano il nucleo di Bechterew o la colonna di Clarke, situati nel collo del corno posteriore; le altre, dette bulbopete, salgono senza interruzione nel cordone posteriore fino ai nuclei gracile e cuneato posti nel bulbo. Quindi, ci sono due vie preposte alla trasmissione degli impulsi propriocettivi, coscienti e incoscienti. I deutoneuroni articolati con i protoneuroni mielopeti trasportano la sensibilità propriocettiva incosciente. I deutoneuroni articolati con i protoneuroni bulbopeti trasportano la sensibilità propriocettiva cosciente. Il deutoneurone della colonna di Clarke emette un neurite che, per la via più breve, restando nella stessa metà del midollo spinale, si porta alla superficie del cordone laterale, anteriormente alla zona di penetrazione della radice posteriore. Queste fibre costituiscono il fascio spinocerebellare dorsale, o fascio diretto di Flechsig. Tale fascio raggiunge il cervelletto per la via più diretta e cioè per mezzo del peduncolo cerebellare inferiore. Il deutoneurone del nucleo di Bechterew, con il suo cilindrase decussa la linea mediana, attraversando la commessura grigia anteriore e raggiunge il cordone laterale della metà opposta. Si forma così, anteriormente al fascio precedente, il fascio spinocerebellare ventrale o crociato di Gowers che raggiunge anche il cervelletto, percorrendo però una via lunga, per mezzo del peduncolo cerebellare superiore. Nonostante la differenza d'origine e di decorso, i due fasci spinocerebellari terminano entrambi nella porzione filogeneticamente più antica del cervelletto, o paleocerebellum. Trasportano impulsi propriocettivi incoscienti e precisamente il fascio spinocerebellare dorsale per gl'impulsi propriocettivi del tronco ed il fascio spinocerebellare ventrale, per quelli degli arti.

Le fibre bulbopete veicolano la sensibilità profonda e formano le vie propriocettive coscienti. Come le fibre della sensibilità epicritica, attraversano tutto il midollo spinale senza interrompersi in nuclei di relé, salvo che per mezzo di rami collaterali. L'insieme di tali fibre, nel percorso intramidollare, costituisce la maggior parte dei cordoni posteriori, e cioè i funicoli gracile e cuneato. Le fibre più mediali formano il funicolo gracile e le più esterne il funicolo cuneato. Queste fibre si articolano coi loro deutoneuroni a livello della parte inferiore del bulbo, nei due nuclei, detti gracile e cuneato. Da questi nuclei, si origina il fascio bulbotalamico o lemnisco mediale (nastro di Reil) che raggiunge, dopo incrociamiento, il talamo ottico. Da qui, inizia la via che va alla corteccia parietale, dove le sensazioni in essa contenute diventano coscienti. Non è chiaro perché il primo relé di questa via avvenga nel bulbo.



La microfotografia a lato è stata eseguita da me medesimo. Si tratta di una sezione in paraplast di dente di bovino. Ingrandimento 250 x, metodo di colorazione: Linder - modificato. La microfotografia evidenzia il contingente nervoso sensitivo mielinico che appare colorato di nero e si sfocchia all'interno dei canalicoli dello smalto. Le sottili sezioni istologiche di 5 μ di spessore sono state ottenute previa demineralizzazione del duro tessuto osseo. I

ramuscoli sensitivi mielinizzati all'interno dello smalto si diramano a ventaglio verso le superfici periferiche della corona dentale e veicolano sensazioni termiche, ma fanno parte della sensibilità propriocettiva.

10. L'EQUILIBRIO STATICO.

Il filosofo e matematico Poincaré ebbe l'intuito d'anticipare alcuni concetti sul sé – corporeo affermando: *lo strumento al quale rapportiamo tutto, non è altro che il nostro corpo (sé – corporeo). E' in rapporto col corpo che situiamo gli oggetti del mondo circostante, e le uniche relazioni spaziali di questi oggetti che ci possiamo rappresentare sono le relazioni col nostro corpo. E' il nostro corpo che ci serve, per così dire, da sistema di assi di coordinate.*

E' opportuno analizzare come per gli altri sensi, l'equilibrio statico nelle sue varie componenti. Il *mal di mare* è causato da una combinazione di stimoli visivi (l'innalzamento ed abbassamento del ponte della nave ed il barcollamento dell'albero maestro) e di stimoli meccanici, venendo stratonati dall'onde del maroso. Entrambi gli stimoli, visivi e quelli connessi con l'accelerazione meccanica del corpo, sono inclusi nel fenomeno del bilanciamento statico, indispensabile al pari della visione e dell'udito. Questo senso è inserito nell'orecchio interno, ma molti non ne hanno indizi. Ciò dipenderebbe dal fatto che tra i vari organi di senso, il sistema vestibolare preposto alla percezione delle accelerazioni lineari e rotazionali della testa, è del tutto interno. Gli occhi, gli orecchi, il naso, la pelle e la lingua sono visibili. Tuttavia, la vita come la si conosce, sarebbe impossibile senza gli organi dell'equilibrio statico, indicati anche come sistema vestibolare. Esso include alcuni accelerometri che rilevano sia il movimento lineare e la posizione statica della testa, sia la sua rotazione. I sensori preposti al rilevamento della rotazione della testa sono chiamati canali semicircolari, hanno la forma di un semicerchio cavo, sono pieni di liquido e tra loro perpendicolari. Ogni canale è inclinato in avanti di circa 30° rispetto al piano orizzontale. Permettono la percezione della rotazione intorno ad uno dei tre assi cartesiani (X, Y, Z) e non importa come stia ruotando la testa perché almeno uno dei tre canali di ogni orecchio viene a trovarsi sempre orientato in modo ottimale, avvertendone il movimento e la direzionalità. Ruotando la testa verso destra o verso sinistra, il fluido all'interno dei tre canali non ne segue il movimento. Questo fluido è libero di percorrere tutte le direzioni per 360°, tranne che in un punto dov'è ubicata una speciale formazione chiamata **ampolla** per la sua conformazione. Tesa lungo i bordi dell'ampolla, c'è una membrana flessibile che impedisce il passaggio del suo fluido nel canale semicircolare. Ruotando la testa, i canali semicircolari ne seguono il movimento. Il liquido interno va nella direzione opposta, scivolando sul rivestimento membranoso che si deforma di conseguenza. E' questa deformazione che il cervello percepisce, perché la membrana flessibile contiene cellule capellute funzionanti come quelle della coclea. Il riflusso di liquido nel canale semicircolare dice al cervello che la testa sta cominciando a ruotare. Ruotando la testa solo di 30° e poi fermandosi all'istante, il fluido di

riflusso nei canali semicircolari rimbalza sulla membrana, cominciando a spostarsi nella stessa direzione. Quando la testa e relativi canali non si muovono più, il fluido continua a proseguire in avanti, continuando a scivolare sulla membrana flessibile. Ciò avverte il cervello che la testa ha cessato il movimento di rotazione. Queste fluttuazioni del fluido cocleare, conseguenza del moto dei canali semicircolari, inviano al cervello input relativi ai numerosi spostamenti ed ai successivi blocchi della testa. Al contrario, i canali semicircolari sono poco sensibili al movimento di una continua rotazione, come quando si sta sopra una giostra. Alcuni che vanno a cavallo possono avere un senso di disorientamento e di nausea. Sembrerebbe che il sistema di equilibrio corporeo (sistema vestibolare) sia lento, poco preciso e reagisca tardivamente. Invece, è uno dei più veloci ed esatti sensi. Per esempio, scuotendo rapidamente la testa mentre si legge una frase, gli occhi non riescono a metterne a fuoco le parole. Si tratta del riflesso oculo-vestibolare ed implica la collaborazione tra il sistema di equilibrio vestibolare e la visione. Questo riflesso comporta che le connessioni nervose coinvolte siano semplici e dirette. Invece, i movimenti oculari e la messa a fuoco degli occhi restano indietro, rispetto al sistema vestibolare con un intervallo di circa **dieci millisecondi**. Da qui, la mancata messa a fuoco. Come abbiamo due occhi e due orecchi, così esistono due sistemi vestibolari, ciascuno nel rispettivo orecchio interno. Ognuno contiene un gruppo di tre canali semicircolari. Questo sistema è coinvolto nel fenomeno della ridondanza, ancor più di occhi ed orecchie. Ogni gruppo di tre canali funziona come un congegno conosciuto col termine di PREMI - TIRA. Di conseguenza, quando un canale, per esempio il sinistro, è stimolato dai movimenti della testa, la controparte di destra è inibita e viceversa. Gli altri due organi sensoriali all'interno del sistema vestibolare sono l'**utricolo** ed il **sacculo**, strutture sensibili all'accelerazione lineare della testa e del suo posizionamento statico. L'utricolo ed il sacculo sono conosciuti anche come **organi otolitici**. Queste piccole strutture hanno alcune funzioni in comune coi canali semicircolari, ma se ne differenziano per altre. Sia l'utricolo che il sacculo sono minuscole sacche, contenenti poche gocce di liquido. Entrambi sono provvisti di cellule capellute che inviano segnali, se stimolate dal movimento del liquido che le avvolge. Il gruppo di cellule capellute dell'utricolo e quello del sacculo si trovano su due piani tra loro perpendicolari. Le cellule capellute dell'utricolo si estendono verticalmente come piccoli fili d'erba, quando la testa è nella sua normale posizione eretta. L'utricolo è molto sensibile ai movimenti verso destra e di ritorno verso sinistra. Le cellule capellute del sacculo sono orientate con un'angolazione di 90° rispetto a quelle dell'utricolo e sono molto sensibili ai movimenti di SU - GIU, o a quelli DAVANTI - INDIETRO della testa. Una differenza importante tra i canali semicircolari e l'utricolo ed il sacculo è che questi ultimi percepiscono la posizione, non tanto l'accelerazione. Piegando la testa in giù per guardare i piedi, l'utricolo ed il sacculo (insieme coi canali semicircolari) ne recepiscono il movimento. Tuttavia, finché si resta fermi nella posizione di guardarsi i piedi e per quanto a lungo si è fermi, i canali semicircolari non recepiscono alcunché. Aspettano solo di rilevare il prossimo movimento della testa. Grazie alla disposizione spaziale, l'utricolo ed il sacculo **ricordano** la nuova ubicazione che sta assumendo la testa. Non solo seguono le tracce dell'accelerazione che sta avvenendo, ma possono prevedere dove terminerà il movimento della testa. Nel linguaggio dei sensi, ci sono alcuni fatti conosciuti come **prolungamento degli stimoli**, quando alcuni input sensoriali persistono per un certo periodo di tempo. Per esempio, se ti fissi su un'immagine per parecchio, essa può restare impressa nel cervello e guardando altrove, un tenue ricordo come di un fantasma rimane. La maggior parte dei recettori ha modalità di adattamento e di conservazione dello stimolo, lo stesso vale per l'utricolo ed il sacculo. Il liquido che è nell'utricolo e nel sacculo è lo stesso che sta nei canali semicircolari. Tuttavia, le membrane dell'utricolo e del sacculo su cui poggiano le cellule capellute sono diverse da quella che rivestono la superficie interna dei canali semicircolari, quasi interamente elastica e simile nella sua dinamica, ad una bendarella di gomma. Nei movimenti della testa, il liquido all'interno dei canali fa ondeggiare la membrana nell'una o nell'altra direzione come un nastro di gomma. Però, quando l'energia cinetica del fluido finisce, la membrana torna nella normale posizione, proprio come fa un nastro di gomma quando termina la forza che lo deforma. Invece, le membrane dell'utricolo e del sacculo non sono del tutto elastiche. Queste

membrane, come quelle che rivestono i tre canali semicircolari, sono immerse in una sostanza gelatinosa. Tuttavia, è questo è l'aspetto più importante, il materiale gelatinoso dell'utricolo e del sacco contiene sottili particelle solide, chiamate **otoliti**. Le membrane all'interno dell'utricolo e del sacco si comportano come uno strato di erba artificiale in fondo ad un ruscello. Il flusso d'acqua che scende piega i fili d'erba nella stessa direzione. Nel caso in cui l'acqua non fluisca più, i fili d'erba tornano nella precedente posizione. I fili d'erba rappresentano le cellule capellute ed in questo caso non hanno *memoria* delle loro posizioni. Affinché ciò avvenga, a fornire memoria, si aggiunge ai fili d'erba un rivestimento di granelli sabbiosi. In questo caso, quando l'acqua scorre in una direzione, i fili d'erba si piegano e le granulazioni fanno da scudo contro il flusso acquoso. Però, quando l'acqua del torrente non fluisce più, i fili d'erba non possono riprendere subito l'originaria posizione, perché vincolati nella deformazione dai grani di sabbia. Quindi, i fili d'erba *ricordano* la loro posizione e l'area cerebrale preposta alla ricezione della direzionalità della testa ne riceve il segnale prolungato. Il segnale prolungato potrebbe dire:

“Bene, la testa sta piegata in giù, verso i piedi. Sta ancora piegata in avanti. Adesso, va di nuovo indietro...”

La sostanza gelatinosa farcita di particelle, si comporta a volte come un fluido ed a volte quasi come un solido. I materiali che hanno questo tipo di comportamento si chiamano liquidi di BINGHAM. I fluidi di Bingham sono detti possedere un forte rendimento, relativamente raro nel mondo dei liquidi. Si prendano due vetrini istologici tra i quali c'è dell'acqua, o dell'olio. Il vetrino sovrastante si sposta facilmente, slittando di lato. Ciò non accade per un liquido di Bingham che ha un comportamento simile alla pasta di un dentifricio, essendo molto viscoso. Per far scivolare i due vetrini tra i quali c'è un liquido di Bingham ci vuole l'aggiunta di una forza, definita come *stress da rendimento*. La fanghiglia è un fluido con un'alta percentuale di particelle solide in sospensione. Un liquido simile è nell'utricolo e nel sacco.

Coi suoi dieci accelerometri specializzati: i sei canali semicircolari che misurano il movimento di rotazione ed i quattro organi otolitici per tracciare il movimento lineare, il sistema vestibolare rileva l'accelerazione e la posizione della testa con grande esattezza. Nel fenomeno della traduzione, si verifica che l'energia meccanica che stimola la maggior parte delle terminazioni nervose sensitive, è trasformata in energia elettrica da inviare al cervello come input sensoriale.

Movimenti della testa → energia cinetica che mette in movimento i liquidi vestibolari e cocleari → movimenti delle cellule capellute interne → input elettrici al cervello ed innesco del meccanismo di controllo e di rilevazione.

Precisazione. Il concetto dello spazio circostante tridimensionale non deriverebbe solo dai canali semicircolari dell'orecchio interno, o dall'utricolo e sacco. Questi condotti e piccole cavità con una specifica disposizione spaziale, sono presenti in tutti i mammiferi ed indispensabili per l'equilibrio statico. Il corpo di un essere umano, o di un animale si rapporta con lo spazio fisico circostante anche tramite il sistema vestibolare, ma non solo con esso. Un cervo, uno stambecco, o una capra potrà arrampicarsi anche velocemente e discendere rapidamente lungo i declivi impervi di una montagna. I condotti semicircolari impediscono che l'animale o una persona possa cadere mentre cammina. Al di là della sensazione dell'equilibrio statico, nelle aree cerebrali superiori, il sistema di coordinate spazio temporali dipende da reti neuronali preposte alla discriminazione della direzionalità e della profondità. Questo sistema speciale è relazionato col sistema vestibolare, ma è in ultima analisi la risultante di un'astrazione mentale. I recenti studi sulle funzioni dei canali sodio dimostrano che il cervello funziona come una specie di potente macchina pensante. I canali sodio trasporterebbero stimoli con informazione di tipo digitale, cioè relazionata a precisi valori numerici. Di conseguenza, la conservazione dei dati mnemonici all'interno delle strutture cerebrali avverrebbe secondo specifiche direzionalità spaziali e sarebbe di natura numerica. Nella concezione classica invece, la memoria dei dati sarebbe distribuita all'interno della rete neuronale, senza una precisa

direzionalità. Il *concetto di direzione spaziale* di un oggetto, come quello di successione temporale di una serie di oggetti o cose, è radicata oggettivamente nel funzionamento delle reti cerebrali.

Utricolo, sacco ed ampolle. Riporto alcuni concetti di anatomia, riguardanti l'apparato vestibolare. L'utricolo è di forma allungata e sta nel vestibolo, superiormente e posteriormente al sacco. Questo è quasi sferico e comunica per mezzo di cinque orifizi coi tre canali semicircolari e le rispettive ampolle. *I canali semicircolari membranosi* sono disposti eccentricamente rispetto a quelli ossei e sono rivestiti da un epitelio pavimentoso semplice. Ciascuna ampolla ha un pavimento appiattito ed un tetto emisferico, che protrude sul lato concavo del canale. Medialmente, dall'utricolo e dal sacco si originano due condottini, che congiungendosi formano il sottile condotto endolinfatico. Questo passa al di sotto dell'utricolo, decorre medialmente all'interno dell'acquedotto del vestibolo e termina sulla superficie postero-superiore della rocca petrosa del temporale con un piccolo rigonfiamento, denominato sacco endolinfatico. Quest'ultimo è contenuto nello spessore delle meningi, circondato da abbondanti vasi sanguigni e da tessuto connettivo. L'epitelio di rivestimento delle strutture membranose vestibolari è pavimentoso semplice, simile a quello dei canali semicircolari membranosi, tranne in vicinanza delle aree sensoriali dove ci sono cellule specializzate.



Tra fenomeno percettivo e sensitivo non c'è un limite netto. Invece, c'è una chiara linea di demarcazione tra alcuni fenomeni meccanici della sensazione e l'origine del conseguenziale impulso elettrico che arriva al cervello.

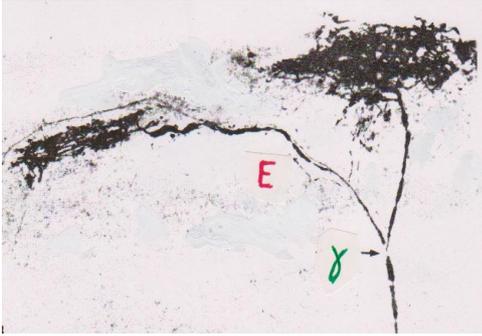
Creste ampollari e macule. Sul pavimento delle tre ampolle, l'epitelio si solleva a formare una cresta trasversale, coperta da epitelio sensoriale e circondata alle due estremità dalle cellule del piano semilunato. Quest'ultimo è perpendicolare all'asse maggiore della cresta. L'epitelio sensoriale delle creste è simile a quello delle macule dell'utricolo e del sacco. La differenza sarebbe nel numero relativo dei differenti tipi cellulari. Negli epitelii sensoriali della porzione vestibolare dell'orecchio interno, si distinguono due tipi di elementi: cellule capellute e cellule di sostegno.

11. LA SENSIBILITÀ TERMICA.

La sensibilità termica è connessa alla fisica della temperatura e della trasmissione calorica. L'energia termica mette in rapida vibrazione gli atomi degli oggetti ed è avvertita da speciali recettori cutanei. In base a questa sensazione, toccando un oggetto molto caldo, ritiriamo subito la mano. Non sentiamo la temperatura come tale, essendo il caldo ed il freddo la risultante di un insieme di elementi che sono:

- La temperatura della sostanza che tocchiamo.
- La capacità della stessa sostanza di trasmettere il calore ai recettori della nostra pelle.

I principali recettori termici sono i corpuscoli del Ruffini (calore) e le clave di Krause (freddo).



I termocettori sono come i nocicettori delle terminazioni libere, prive di una qualche struttura specializzata e dalla morfologia indefinita. Rispondono alle variazioni di temperatura, aprendo o chiudendo canali ionici a livello delle loro terminazioni. Nell'Uomo, alcune ricerche rivelano la presenza di sei tipi di recettori termici, attivati in base ai seguenti gradi di calore: 10°C – 15°C – 35°C – 40°C – 45°C – 60°C. I primi due termocettori sono specializzati per la sensibilità contro il freddo. I due intermedi sono recettori per il calore corporeo e gli ultimi per il calore molto forte.

La soglia media per il calore è sui 45°C. Gli stessi canali ionici aperti per il calore lo sono anche per alcuni cibi ritenuti piccanti come il peperoncino rosso e quelli rinfrescanti come la menta. Non c'è coincidenza tra le parole che indicano le sensazioni provenienti da questi cibi e gli effetti termici sul corpo. In ogni caso, sono coinvolti gli stessi recettori. Ciò fa intendere che spesso non c'è una precisa linea di demarcazione tra i vari tipi di sensibilità, in particolare per quella termica, dolorifica e tattile. I modi e le vie che possono ingannare i sensi includono la sensibilità termica. Alcuni tipi di comprensioni percettive sono alterate e modificate dallo stesso cervello, come la macchia cieca della retina. Sugli inganni della sensibilità termica ci sono vari esempi. Per un minuto, si tengano immerse in contemporanea la mano sinistra in una bacinella d'acqua calda e la destra in una d'acqua fredda. Si tuffino poi le mani in un lavandino, pieno di acqua tiepida. C'è l'impressione che le due mani trasportino sensazioni di calore molto differenti. Le nostre mani sono piene di recettori che veicolano sensazioni al cervello, ma in questo caso sembrerebbe che la mano destra trasporti sensazioni diverse dalla sinistra. La microfoto con la lettera E mostra un corpuscolo del Ruffini, specializzato per la sensibilità termica. Nella doccia esofagea dei ruminanti, sono numerosi pesti tipi di corpuscoli sensitivi. L'infiorescenza nervosa è colorata di nero con questo metodo istologico. L'infiorescenza comincia dallo strozzamento pre-terminale della fibra nervosa afferente (**lettera γ**), dove si attivano i canali di sodio che danno inizio all'impulso elettrico diretto al cervello. La foto successiva (indicata con la lettera **B**) mostra un corpuscolo ultra-espansionale di tipo Ruffini, la cui



fibra che lo sostiene termina con una formazione bottoniforme oltre la quale inizia il gambo nervoso del corpuscolo vedro e proprio. Tra terminazione bottoniforme e gambo corpuscolare c'è un breve tratto amielinico, indicato come strozzatura pre-terminale. Impregnazione aurica del Ruffini, ingr. 120 x.

12. LA SENSIBILITA DOLORIFICA.

In genere, i recettori sensoriali sono cellule specializzate che convertono gli stimoli esterni in segnali elettrici. Ci sono vari criteri per classificarli. Una delle classificazioni più comuni li distingue in base alla risposta ad uno stimolo. Ci sono fotocettori (visione), chemiocettori (olfatto e gusto), termocettori (temperatura) e meccanocettori (tatto, equilibrio, udito, propriocizione...). Si tratta di una classificazione che va bene finchè non si passa a descrivere le sensazioni legate al dolore corporeo. L'input cui uno specifico recettore risponde meglio è definito stimolo adeguato. Per esempio, i recettori che meglio rispondono agli stimoli tattili, non rispondono bene a quelli termici. I recettori del dolore sono detti anche nocicettori. Però, il senso del dolore in una parte del corpo può essere causato da una varietà di stimoli. Uno stimolo causato da un oggetto troppo caldo,

o troppo freddo, può essere percepito come un dolore. I recettori nocicettivi sono diversi da quelli termici, ma il senso del dolore fisico è indipendente dal tipo di recettore. Infatti, eccessive stimolazioni di alcuni recettori generano il senso del dolore. Un suono troppo forte, una luce troppo intensa, una eccessiva pressione sulla pelle ecc., possono far parte della sfera dolorifica, comprendente una moltitudine di fattori. Tuttavia, esisterebbero recettori solo per il dolore, indicati come terminazioni libere, distribuite come esili ramificazioni negli strati più superficiali della pelle.

Vie esteroceettive della sensibilità termica e dolorifica. Tramite un protoneurone sensitivo, gli stimoli raccolti a livello cutaneo raggiungono lo strato zonale, la sostanza gelatinosa ed i nuclei della testa del corno posteriore. Qui c'è l'articolazione sinaptica del protoneurone con il secondo neurone (deutoneurone), quest'ultimo intrassiale. Il deutoneurone connette la testa del corno posteriore con quella formazione grigia intraencefalica da considerarsi come la zona di arrivo di tutte le vie ascendenti sensitive: il talamo ottico.

Le vie della sensibilità termica e dolorifica si originano dalla testa del corno posteriore, percorrono tutto il corno posteriore, passano per la commessura grigia anteriore e raggiungono il cordone laterale della metà opposta del midollo spinale, davanti al fascio piramidale crociato. S'incurvano ad angolo retto facendosi ascendenti, risalgono il midollo spinale, il bulbo, il ponte ed il peduncolo cerebrale fino al talamo ottico. Da questa zona, dopo relé, raggiungono la corteccia cerebrale. Il decorso della sensibilità termica e dolorifica fino al talamo è indicato come la *via, o fascio spinotalamico laterale*.

La pelle e le parti ad essa prospicienti brulicano di recettori sensoriali in particolare di terminazioni libere, specializzate nel senso del dolore. Queste terminazioni libere si sfoccano superficialmente fino all'interno delle parti basali degli epitelii cutanei e sono spesso frammiste con altre terminazioni nervose. Per esempio, la sensazione che si riceve immergendo un dito in acqua bollente è sia di calore che di dolore. I recettori del dolore (nocicettori) sono differenti dagli altri tipi di corpuscoli sensitivi per almeno un aspetto. Le stimolazioni non percepite come dolore, lo possono diventare nel caso in cui l'area colpita sia dolorante ed in un certo modo invalidata. Digitare su una tastiera non è un'esperienza dolorosa, a meno che non si abbiano all'estremità delle dita delle bruciature, o dei tagli o infiammazioni di vario tipo. I recettori del dolore sembrano avere una memoria circa l'area del corpo che è stata danneggiata, potendo spedire informazioni al cervello e nello stesso tempo riceverle. Quando il corpo è ammalato, numerosi processi si attivano, finalizzati alla guarigione ed i nocicettori vi hanno un importante ruolo. Il fenomeno che si verifica in conseguenza di una piccola bruciatura sulla pelle è stato ben studiato. Le cellule dei tessuti danneggiati dalla bruciatura rilasciano sostanze chimiche (istamina, bradichinina ecc.) che ipersensibilizzano le terminazioni nervose di zona per il dolore. Ciò spiega perché l'area circostante la bruciatura è dolorante per un periodo prolungato di tempo. I recettori dolorifici sono anche coinvolti attivamente nei processi vasodilatatori che rendono la parte dolorante rossa e gonfia. La maggior parte dei coni e dei bastoncelli retinici o le cellule capellute dell'orecchio interno, sono altamente specializzate e con una struttura anatomica complessa. Invece, i nocicettori ed i termocettori sono per lo più terminazioni nervose libere che rispondono a differenti tipi di stimoli. Non è chiaro quali delle strutture tissutali che li circondano, o li avvolgono, rendano differenti le loro risposte. I nocicettori possono rispondere ai vari gradi del dolore, in particolare per quanto riguarda il calore od il freddo. Si attivano in risposta a:

1. Stimoli meccanici dolorosi, come ad un taglio, ad una puntura o ad un pizzico.
2. Alle sostanze chimiche che si liberano in un tessuto danneggiato.

Alcuni nocicettori si attivano in conseguenza di tutti questi stimoli, altri solo in presenza di alcuni di essi. C'è un altro fattore che differenzia i vari nocicettori. Quando l'infermiere ti punge il dito per un esame clinico, percepisci per prima una puntura a cui segue un vago e prolungato dolore. Queste due sensazioni dolorifiche dipendono da due tipi di recettori, quelli del dolore

lento e quelli del dolore pungente. Entrambi sono neutralizzabili con anestetici speciali. L'esistenza del dolore che alcuni vorrebbero eliminare del tutto, ha risvolti positivi, qui elencati:

1. Il dolore è un valido sistema d'allarme corporeo. Persone poco sensibili al dolore tendono a soffrire per ingiurie che guariscono più lentamente della norma e spesso non del tutto.
2. I nocicettori spediscono entrambi i tipi d'input al cervello: quelli del dolore acuto, ma breve e quelli del dolore prolungato, attivando in specifiche aree cerebrali sostanze che accelerano la guarigione.
3. C'è un continuo feedback tra cervello-nocicettori e viceversa. Questo continuo scambio d'informazioni tra centro e periferia tende a combattere eventuali traumi tissutali.

Precisazione. Secondo alcuni autori, non c'è completa identificazione tra sensazione dolorifica e processo nervoso. Invece, Searle J.R. (2012) dice che se il dolore fosse realmente identico alla stimolazione delle C-fibre, allora l'asserzione "dolore = stimolazione delle C-fibre" dovrebbe essere vera, se fosse vera. Tuttavia, non è necessariamente vera perché pur essendoci stretta correlazione tra dolore e stimolazione delle C-fibre, è comunque facile immaginare che un dolore possa esistere senza stimolazione delle C-fibre e viceversa, che possa esistere una stimolazione delle C-fibre senza un corrispondente dolore. Ma se è così, allora l'asserzione d'identità non è necessariamente vera, e se non è necessariamente vera, non può essere per niente vera. Dunque, è falsa. Quanto testé detto per l'identificazione del dolore con eventi neurologici vale per qualsiasi identificazione di stati mentali coscienti con eventi fisici.

13. LA VISIONE.

L'orecchio umano non percepisce tutte le frequenze delle onde sonore ed i nostri occhi non intercettano tutte le frequenze dello spettro elettromagnetico. Non siamo sensibili neanche a tutte le frequenze della luce solare. Le onde elettromagnetiche più lunghe di 700 nanometri e quelle più corte di 400 nm sono invisibili all'Uomo. Ciò non esclude che alcuni animali percepiscano le radiazioni solari al di là dell'arco visibile. Alcuni serpenti avvertono la radiazione infrarossa che ha una frequenza di circa 400 volte maggiore della radiazione visibile. Per questi rettili, sentire è meglio che vedere. Al posto degli occhi che hanno e sono funzionanti, questi rettili usano uno speciale strumento sensoriale indicato come **organo cavo**, una minuscola depressione ovoidale di circa **1 mm** di diametro ed **1 mm** di profondità. Le cellule di questa struttura sono sensibili alla radiazione infrarossa, potendo determinare le differenze di temperatura nell'ordine delle migliaia di CELTIUS. La depressione ovale, o **organo cavo**, dei serpenti funziona come una camera oscura con un forellino ad una estremità. Questo forellino non è più grande di una testa di spillo.

Omologhe camere forate sono in uso da secoli presso molti popoli. Nel 1021, un arabo le descrisse nel suo *Libro di ottica* e sono state adoperate di recente da numerosi artisti. Questi strumenti hanno una piccola camera oscura e ben sigillata. Un minuscolo foro, non più grande della punta di una penna, è l'unica apertura per dove può entrare un fascio luminoso. La luce attraversa la camera e poiché questa è poco profonda, si focalizza su un punto preciso del fondo, dove si stampa l'immagine invertita, come le pellicole dei film. Il forellino corrisponde ad una immagine chiara e ben definita. Tuttavia, piccoli buchi fanno entrare poca luce. E' necessaria una lunga esposizione perché si abbia un'immagine ben definita. Per questo, la camera oscura con un piccolo foro è utilizzabile solo per ritrarre nature morte. Questo tipo di camera oscura con forellino è un grosso problema per i serpenti che usano cacciare le prede nel buio. La preda si muove, non sta ferma. Per un'accurata valutazione degli oggetti, questa camera oscura con forellino deve poter determinare il passaggio di un ratto solo se si trova davanti al forellino, o a poca di stanza dal esso. Si tratta di un organo di senso che deve risolvere problemi conflittuali. Da una parte, deve intercettare abbastanza

bene la radiazione infrarossa, in modo che il serpente avverta la presenza del ratto in movimento. Ciò necessita di un'apertura del forellino abbastanza ampia. Però, l'immagine infrarossa (IR) necessita di essere ben focalizzata perché il serpente colpisca con esattezza la preda. In questo secondo caso, l'apertura dell'*organo cavo* dev'essere piccola. L'apertura ottimale dell'*organo cavo* dovrebbe avere un diametro di circa 1% della distanza tra forellino e l'immagine sul fondo. Per questo, una camera di forma cilindrica e di circa 125 mm di diametro deve avere un'apertura di 1,25 mm di diametro. Solo così, l'immagine si forma sulla parete opposta al forellino ad una distanza di 5 mm. Un boa costrittore ha una camera ovale, o organo cavo, con un diametro di circa un millimetro e la distanza buco – fondo (dove si stampa l'immagine) è anch'essa di circa un millimetro. Ciò fa in modo che l'immagine ad IR formata sull'*organo cavo* sia molto sfocata, ma rilevabile e riconoscibile all'istante dal predatore.

Sebbene molto più sofisticato, l'occhio umano si comporta come una vera camera oscura con forellino. Di fronte ad una luminosità molto intensa, l'iride si restringe in modo da far penetrare poca luce attraverso il forellino della pupilla. E' l'effetto camera oscura. L'iride fa aggiustare il fuoco più di quanto le lenti flessibili degli occhi possano fare da sole. Una camera oscura con forellino, ottimizzata per formare una immagine completa agli infrarossi, sarebbe di scarso uso per il serpente che utilizza una scarsa quantità di radiazioni all'infrarosso. Al serpente predatore, basta avere un'immagine sfuocata, ma contenente informazioni caloriche del corpo del topo che girovaga nel buio. Al serpente, non interessa osservare il mondo circostante in tutti i minimi particolari, ma avere qualcosa da mangiare, ogni tanto. Può anche essere che l'immagine sfuocata all'infrarosso riportata dalla piccola camera oscura dell'**organo cavo** avvii un complicato *processo di riconoscimento* dell'immagine nel cervello del rettile. La moderna tecnologia può ricostruire facilmente l'immagine di un oggetto da pochi e sfuocati particolari, mediante l'uso di un sofisticato software. Un gruppo di ricercatori tedeschi guidati da Sichert A.B. (2005, 2006, 2009), ha creato un modello plausibile che permette di ricostruirte immagini limpide da forme sfuocate come fanno i comuni serpenti predatori, provvisti dell'**organo cavo**. In aggiunta, un serpente ha gli occhi che come quelli umani, sono sensibili alla luce solare. Finchè l'oscurità non è molto profonda, il serpente usa gli occhi per accrescere l'informazione ottenuta tramite la fossa ovale ad infrarossi. La combinazione dell'immagine sfuocata agli infrarossi con quella visiva degli occhi, è un ottimo mezzo per localizzare in modo preciso la preda.

La visione nell'Uomo. L'occhio è strutturato per trasformare le onde luminose in segnali elettrici, pronti per essere processati dal cervello. E' questo che l'occhio fa. Quando la luce colpisce l'occhio, l'occhio stesso regola quanta luce possa entrarvi e quindi la focalizza verso l'interno, nella parte opposta al globo oculare. Esistono dei piccoli muscoli che controllano il meccanismo di focalizzazione, mentre altri sincretizzano la direzionalità dei due occhi all'unisono. All'interno dell'occhio, la luce è assorbita da quattro differenti tipi di recettori, tarati a seconda della lunghezza d'onda e l'intensità luminosa. I recettori della luce trasformano l'energia luminosa in segnali, da trasportare al cervello. E' questa la percezione visiva. Apposite lenti (cornea) focalizzano in automatica la visione sui dettagli sott'osservazione. Spesso, l'occhio è paragonato ad una camera oscura e ciò può essere vero sotto molti aspetti. Come una fotocamera, l'occhio ha un meccanismo intrinseco di regolazione luminosa. Questo meccanismo permette alla luce l'entrata dalla parte anteriore dell'occhio. Il forellino preposto è chiamato pupilla e la quantità di luce che vi passa è controllata dall'iride. Nell'occhio umano, le lenti corneali variano il proprio fuoco, cambiando forma. Al contrario, in una fotocamera fissa, le lenti si aprono e si chiudono a seconda del tipo d'immagine, oppure, in una camera digitale, a seconda del fotosensore. Alcuni animali come i pesci, hanno per esempio gli occhi che focalizzano le lenti ad immagine fissa, come una fotocamera oggi alla moda. Per lo stesso motivo, ci sono molte strutture dell'orecchio atte a stimolare il movimento delle cellule acustiche della coclea nell'orecchio interno. Molti componenti dell'occhio esistono per focalizzare la luce sulla retina. Senza retina, l'occhio diventa un deviatore condizionato di segnali. L'occhio umano è quasi sferico e con un diametro di circa 25 mm, nell'adulto. Il suo peso medio è

di circa 8 gr ed è in gran parte pieno di gelatina. Inoltre, c'è uno strato fibroso, fatto di connettivo denso a protezione del delicato apparato al suo interno e mantenendo la forma quasi sferica. Al di sotto dello strato fibroso, c'è quello vascolare che apporta ossigeno e trasporta via i cataboliti. Lo strato nervoso, suddiviso in tre lamine, forma il tappeto retinico. Su quest'ultimo, si focalizzano le immagini ed è paragonabile ad un moderno fotosensore.

La cornea e le lenti corneali. In una camera oscura fotografica, la luce è focalizzata con apposite lenti su di una pellicola, dove una reazione chimica fissa l'immagine. Nell'occhio, l'immagine dev'essere focalizzata sulla retina, dove avviene il miracoloso processo di trasformazione del segnale luminoso in segnale elettrico. La cornea ha due ruoli principali: permettere a tutta la luce la giusta inclinazione (o rifrazione) in modo che i raggi luminosi si focalizzino sulla retina. Nell'altra funzione, deviando la direzione della luce, la cornea lavora di concerto con le lenti flessibili, disposte dietro di essa. Nell'attraversamento dei vari strati, dall'aria al mezzo acquoso (quest'ultimo fatto di strati gelatinosi), le onde luminose vengono ad essere inclinate a causa della differenza fisica dei due mezzi in cui viaggia. Questo fenomeno è indicato come *rifrazione*. La cornea può deviare i raggi luminosi in modo da focalizzarli nella parte opposta a quella di entrata. I muscoli ciliari modificano la forma delle lenti, estendendo o piegando la cornea e variando i suoi raggi di curvatura e quindi la direzione dei raggi luminosi. Quando i muscoli ciliari si rilassano, le lenti si appiattiscono, focalizzando gli oggetti lontani. Quando si contraggono, le lenti diventano più tonde e la cornea protrude all'esterno, focalizzando gli oggetti vicini. La cornea è la finestra davanti agli occhi e se ne è compromessa la trasparenza, ogni cosa diventa sfuocata. Con l'età, le lenti perdono elasticità e di conseguenza si riduce la capacità visiva.

Il LASIK è un intervento medico combinato con la microchirurgia ed il laser. Il Lasik corregge la miopia che è la difficoltà di mettere a fuoco immagini lontane. L'intervento consiste nell'uso di un laser ad eccimeri con cui rimuovere il tessuto al centro della cornea, correggendo il difetto visivo.

Retina. L'occhio non è un organo cavo. Oltre all'iride che è la parte colorata dell'occhio e che regola l'ampiezza della pupilla ed oltre alle lenti corneali, la parte interna dell'occhio è piena di una sostanza simil-gelatinosa, conosciuta come corpo vitreo. La luce attraversa le lenti corneali ed è focalizzata nella superficie interna della parte opposta del globo oculare. La superficie dove si focalizzano le onde luminose è il tappeto retinico, o retina. L'organo del Corti nell'orecchio è a volte indicato come la base dell'udito. In modo analogo, la retina lo è per la visione. A livello retinico, l'energia elettromagnetica, sotto forma di onde luminose, è trasformata in segnali elettrici ed è convogliata al cervello. La retina ricopre circa $\frac{3}{4}$ della superficie oculare interna, ma non è del tutto liscia ed uniforme. Ci sono due regioni retiniche, indicate come Disco ottico e Fovea. Il Disco ottico è la ristretta zona dove s'inserisce il nervo ottico. È una zona priva di fotorecettori ed è letteralmente cieca, essendo cancellata in automatico dal cervello mediante una congettura logica: come se nel disco ottico ci fosse qualcosa che lo riempia. Questa compensazione percettiva ha profonde implicazioni, non solo circa la rielaborazione cerebrale visiva, ma anche degli altri sensi.

L'altra regione atipica della retina è nella sua zona centrale, dalla parte opposta alla cornea. In questo punto, c'è una piccola depressione del tappeto retinico, indicata come FOVEA. In essa, migliaia di fotorecettori (coni) sono stipati con la massima densità, favorendo la fine visione dei colori. La fovea ha un diametro di circa 9 mm ed è indicata come la parte speciale della retina. La fovea è la parte centrale di una zona indicata come **macula**. Quest'ultima è così stipata di fotorecettori da non poter fare posto ai vasi sanguiferi di supporto. Quando la luce è troppo forte, la *macula* è sottoposta ad intenso lavoro ed opera in condizioni d'ipossia. Dei due tipi di degenerazione maculare, la secca e la umida, la seconda è correlata ad un carente apporto sanguigno. Alcuni organi annessi agli occhi come i muscoli oculo estrinseci, hanno la funzione di mettere in rotazione i globi oculari. Ruotando in modo concentrico ed in contemporanea i globi oculari, qualsiasi immagine che il cervello stia osservando viene ad essere concentrata sulle fovee di ciascun occhio.

Fototrasduzione. Si è visto che gli occhi umani trasmettono al cervello informazioni che si aggirerebbero sui nove milioni di MEGABYTE al secondo. Uno dei meccanismi fondamentali di questa funzione è la fototrasduzione, il fenomeno per cui la luce è trasformata in segnali elettrici. La fototrasduzione avviene nella retina, contenente milioni di fotorecettori. Queste cellule hanno la funzione di assorbire la luce, iniziando il processo di trasmissione dell'informazione luminosa al cervello, in base al colore ed alla brillantezza della luce stessa. I fotorecettori retinici sono di due tipi: i coni ed i bastoncelli. I coni sono molto numerosi nella *fovea*, avendo il compito d'intercettare la luce fioca. Se ne conoscono di tre tipi, in base alla capacità di assorbimento delle onde luminose: coni S (onde corte), M (onde medie) ed L (onde lunghe). A volte, sono collegati alla sensibilità per il blu, per grigio, o per il rosso, sebbene questi attributi non siano esatti. I coni S hanno la massima sensibilità per le onde luminose con frequenza di circa 440 nm (blu-violetto), gli M per le frequenze intorno ai 540 nm (giallo-verde) e gli L per quelle intorno ai 580 nm (arancione – giallo).

Questi tre tipi di coni, ognuno ottimizzato per la luce a differente frequenza d'onda, rende possibile la visualizzazione dei colori. Mescolando i diversi raggi luminosi tra loro, possiamo avere un ampio spettro di milioni di differenti colori. La base fisica della visione dei colori è nel fatto che abbiamo tre tipi di coni, ognuno dei quali assorbe una specifica porzione dello spettro luminoso.

I bastoncelli sono di un unico tipo. Sono specializzati nell'assorbimento delle frequenze luminose blu-grigio, intorno ai 500 nm. Poiché c'è un solo tipo di bastoncello, viene a mancare l'effetto mescolanza di colori, come per i coni. Tuttavia, i bastoncelli sono oltre un migliaio di volte più sensibili alla luce che i coni L, o M e quasi mille volte di più rispetto agli S. Un singolo fotone riesce a stimolare un bastoncello.

Poiché i coni **S** sono poco sensibili alla luce, rispetto agli **L** ed agli **M**, la luce blu non è ben percepita in una scarsa luminosità. Quando l'intensità luminosa diventa sfolgorante o si attenua, cambia la percezione dei colori. Un fenomeno di questo tipo avviene alla fine del giorno, verso il tramonto ed il crepuscolo, quando sembra che i colori dei fiori sbiadiscono. Lo spessore retinico è solo 200 – 300 μ , ma è sufficiente per contenerci lo strato dei coni e dei bastoncelli. La luce che raggiunge la retina deve attraversare otto strati prima di arrivare ai coni ed ai bastoncelli. Quindi, ciascun raggio luminoso assorbito dai coni e dai bastoncelli, deve aver raggiunto in modo efficiente l'ultimo strato. Gli strati che stanno al di sopra dei coni e dei bastoncelli hanno la funzione di raccogliere i segnali elettrici, prodotti nei coni e nei bastoncelli. Quest'input saranno inviati fuori dall'occhio, verso il cervello. Questa complessa funzione rimane in parte sconosciuta. La trasduzione è il processo in base al quale una forma di energia è convertita in un'altra. **Per ciascuno dei vari tipi di senso, l'energia contenuta nello stimolo è convertita in energia elettrica.** Quest'attività dipende dal tipo di stimolo che la origina. Nel processo visivo, l'energia luminosa è trasformata in corrente elettrica nelle numerose reazioni chimiche all'interno delle cellule dei coni e dei bastoncelli. Nella retina, un massa di reazioni chimiche cicliche avviene sia in presenza che in assenza di luce. L'inizio delle reazioni cicliche dipende alla quantità di luce. Reazioni cicliche differenti operano a seconda della luminosità intensa, media o bassa. Di conseguenza, differenti sono le reazioni chimiche all'interno di ciascun tipo di cono. Un ciclo di reazioni chimiche differente avviene in condizioni di buio profondo. Ciò permette l'adattamento dell'occhio al buio. Nella retina, il combustibile per le reazioni chimiche è dato dai normali processi metabolici dell'organismo, con un'unica eccezione. La retina necessita di molta vitamina A, che proviene dai cibi, in particolare le carote ed i broccoli. Elevate concentrazioni di questa vitamina sono state trovate anche nel fegato dei ruminanti e dei suini. Nella retina, avviene che una molecola si trasformi in un'altra. Questa reazione chimica ha come fulcro la vitamina A.

La vitamina A è un poliene (questa vitamina è in effetti un alcool primario) e consta di un anello ciclico (la forma attiva) e di una catena laterale. La rodopsina è un pigmento fotosensibile che deriva dalla molecola della vitamina A. Sotto l'azione della luce, la rodopsina si scinde in opsina e retinene, ma il processo fotochimico che determina l'eccitamento dei bastoncelli precede la scissione. Poiché il retinene è l'aldeide della vit. A, in assenza di esso, o in mancanza di essa la rodopsina non si forma e si verifica la emeralopia. Nell'oscurità, la opsina si ricombina con il

retinene e si riforma la porpora visiva (rodopsina). D'altra parte la vit. A si trasforma in retinene, sua aldeide come si è detto, in presenza di un particolare enzima, la retinene riduttasi: catalizza anche la trasformazione il difosforidin-nucleotide (DPN):

Vit. A + DPN - Retinene + DPNH + H

Poichè l'equilibrio della reazione è fortemente spostato verso sinistra, affinché si formi retinene nella quantità necessaria, occorre che questo sia fissato dalla opsina, cosa che avviene nell'oscurità. Questa trasformazione molecolare innesca una cascata di reazioni chimiche la cui varietà dipende dall'intensità e dalla lunghezza d'onda della luce, oltre che dal tipo di fotorecettore coinvolto. In condizioni di bassa luminosità, sono attivi solo i bastoncelli. Con una luminosità meno flebile, come sotto la luna piena, si attivano sia i coni che i bastoncelli. Quando la luce si fa più forte, la visione è dominata dai coni. Tuttavia, questa rapida descrizione non chiarisce la sorprendente capacità della retina di originare la visione in una vasta gamma di radiazioni luminose. Studi dettagliati sui singoli coni e sui singoli bastoncelli sotto varie condizioni di luminosità, evidenziano che i coni sono molto meno sensibili dei bastoncelli. I coni producono un voltaggio inferiore dei bastoncelli, ogni volta che sono sottoposti ad un fascio luminoso migliaia di volte più intenso del normale. Tuttavia, alcuni studi dimostrano che davanti ad un FLASH di luce, il voltaggio dei coni aumenta rapidamente, ritornando normale molto più lentamente rispetto ai bastoncelli. La chimica che sottende le funzioni dei tre tipi di coni è molto diversificata. La visione dei colori dipende dai differenti tipi di recettori, dai tre tipi di coni e dai bastoncelli, ottimizzati per la luce a differenti lunghezze d'onda. Esistono differenti tipi di molecole per i quattro tipi di recettori retinici. I cambiamenti di voltaggio nei singoli coni e nei singoli bastoncelli sono input che danno inizio alla percezione cerebrale. In qualche modo, il cervello assembla, organizza ed interpetra in pochi secondi la moltitudine dei segnali elettrici ricevuti da milioni di cellule fotorecetrici. Il risultato è la visione. La fovea, al centro della retina e dell'immagine visiva, non focalizza ogni particolare per un lungo intervallo di tempo. Rapidi movimenti dei muscoli ocululo estrinseci rifocalizzano di continuo la fovea. Si tratta di movimenti così rapidi che l'occhio è di continuo messo in uno stato di vibrazione con una frequenza tra 30 e 70 Hertz (cicli al secondo). Ogni movimento individuale riposiziona la fovea su qualsiasi particolare che può essere importante per l'immagine visiva. Quindi, la fovea voltegga di qua e di là, senza fissarsi su qualcosa per non più di una frazione di secondo. La sua frenetica attività è inavvertita dal soggetto.

Visione dei colori. La fotografia monocromatica (in bianco e nero) precedette quella a colori, idem per la televisione. Allo stesso modo, si ritiene che la visione dei colori si sia evoluta molto tardivamente, a partire da una visione monocromatica. La visione dei colori fu un importante salto evolutivo all'interno delle varie specie con immediati vantaggi biologici circa il procacciamento del cibo, la deterrenza contro i nemici e la funzione riproduttiva. Alcuni batteri hanno una rudimentale abilità nella determinazione dei colori. La luce visibile al di sopra di una specifica lunghezza d'onda attrae i batteri, mentre la luce al di sotto di una data lunghezza d'onda la respinge. I batteri hanno due caratteristiche importanti per la discriminazione dei colori ed infine, due diversi meccanismi di assorbimento della luce, ognuno ottimizzato su una differente lunghezza d'onda, oltre all'abilità di regolarsi sulla quantità di luce è possibile assorbire. L'Uomo e gli altri primati hanno sviluppato un sistema d'intermedia complessità di fotorecettori sensibili ai colori, in comparazione con altre specie di mammiferi e di uccelli. Con tre diversi recettori per il colore, l'Uomo ha meno recettori di una gallina che ne possiede cinque e più di un gatto che ne ha due. I recettori umani per la visione dei colori, i tre tipi di coni, sono specializzati per le lunghezze d'onda luminosa di 440, 540 e di 580 μ . Si pensa che circa 30-40 milioni di anni fa, nei primati esisteva un unico fotorecettore sensibile alle lunghezze d'onda luminose intorno ai 500 μ . La sensibilità per la radiazione rosso- grigia, presente in entrambi i coni di 540 e di 580 μ sarebbe un indizio alle ipotesi genetiche sull'esistenza nei primati di un unico fotorecettore ancestrale.

Le reti mirabili oftalmiche. Si è detto che le parti centrali della retina (la fovea e la macula) sono scarsamente irrorate nell'Uomo. In alcuni animali domestici, come nei ruminanti, intorno alla parte iniziale del nervo ottico, dietro il globo oculare, tra questo e la cavità ossea (cavità orbitaria), frammentata al corpo adiposo dell'orbita, c'è una speciale rete mirabile arteriosa, definita rete mirabile oftalmica. Questa rete mirabile mantiene costante il flusso sanguigno, destinato in prevalenza al vasto tappeto retinico e con una bassa pressione idrostatica.

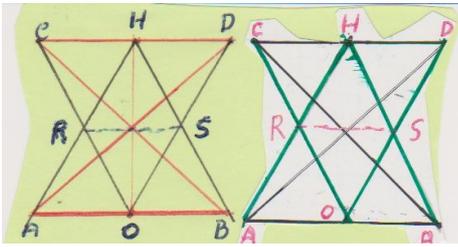
Nei ruminanti, l'arteria oftalmica interna attraversa la periorbita, passa tra i muscoli oculomotorio laterale e retto dorsale originando una piccola rete mirabile, la rete mirabile oftalmica dopo la quale si ricostituisce come arteria unica. In vicinanza dei fori etmoidali, l'arteria originatasi dalla rete mirabile si divide in due rami: l'arteria etmoidale che si comporta come negli equini e l'arteria frontale che si distribuisce alla mucosa del seno frontale ed alla pelle della stessa regione. La rete mirabile oftalmica è presente oltre che nei ruminanti anche nel Suino e da essa derivano rami per il bulbo oculare e la retina (arteria centrale della retina). Posteriormente, la rete mirabile encefalica del Bovino si ricollega ad un'altra rete arteriosa, alimentata sia dall'arteria condilare, sia dal ramo spinale dell'arteria vertebrale. Questa rete è situata nella doccia basilare dell'atlante ed è la rete mirabile epidurale caudale. I due triangoli contrapposti, sopra disegnati, sarebbero la parte inconscia della visione ed avrebbero in realtà, un'area minore degli altri due affiancati. Ciò dipenderebbe dalla meno estesa rete neuronale che rappresentano.

Vie visive. Circa la metà della massa del corpo genicolato laterale e della corteccia visiva primaria rappresenta la fovea e le circostanti parti. Pur essendo molto estesa rispetto alla parte centrale (fovea e macula), la periferia retinica ha minore rappresentazione. La sproporzione di questo tipo d'innervazione è collegata alla forma geometrica dell'occhio, un bulbo sferico che ruota in un involucro cavo. La forma sferica del globo oculare fa sì che il tappeto retinico abbia un'area ristretta al centro e maggiore espansione in periferia. Per supplire a questa limitazione geometrica, la densità delle cellule gangliari aumenta nella fovea e zone circostanti. La limitazione geometrica non esiste in altre aree visive come nel corpo genicolato laterale e nella corteccia visiva primaria dove la densità neuronale è uniforme. Le numerose proiezioni della fovea occuperanno un'area molto più estesa. Il rapporto tra area del corpo genicolato laterale (e della corteccia visiva primaria) e l'area retinica è indicato come fattore di amplificazione.

Snyder A. W. (2003) afferma che nel cervello di un bambino normale le aree visive inferiori creino sofisticate rappresentazioni tridimensionali, per esempio di un cavallo o di un altro oggetto. Incrementando le sue nozioni sul mondo, le aree corticali superiori del bambino generano descrizioni più astratte e teoriche del cavallo: un animale con un lungo muso, quattro zampe ed una coda... Col tempo, la visione che il bambino ha del cavallo è dominata da queste astrazioni superiori. Egli è maggiormente motivato dai concetti ed ha meno accesso alle precedenti, più visive rappresentazioni. In un bambino autistico, le aree superiori non si sviluppano. Ciò permette l'accesso alle rappresentazioni precedenti in un modo che alla gente comune è precluso. Di qui, il suo incredibile talento artistico. Snyder fa per i savants matematici un ragionamento analogo.

Nell'osservazione visiva di una scena, il cervello risolve in continuazione ambiguità, verifica ipotesi, cerca pattern e confronta le informazioni attuali con i ricordi e le aspettative. Secondo una teoria ingenua, la visione consisterebbe nell'elaborazione gerarchica seriale dell'immagine. I dati grezzi arriverebbero sotto forma di unità dell'informazione visiva, o pixel. Attraverso una successione di aree visive come i secchi che una volta erano passati di pompieri in pompieri, i pixel subirebbero un'analisi sempre più sofisticata, fino al riconoscimento finale dell'oggetto. Questo modello di visione ignora le massicce proiezioni di feedback che ogni area visiva superiore rinvia alle inferiori. Le proiezioni retrograde sono così massicce che è fuorviante parlare di una gerarchia. Invece, sembrerebbe che ad ogni stadio dell'elaborazione visiva si generi un'ipotesi parziale, o congettura più probabile, sui dati in arrivo e che questa (ipotesi) sia rinviata alle aree inferiori per imporre una piccola tendenza all'elaborazione successiva. Parecchie congetture magari

competono per il predominio, ma alla fine, attraverso queste iterazioni successive, emerge la soluzione percettiva finale. È come se la visione funzionasse dall'alto verso il basso, anziché dal basso verso l'alto.



Anche l'organizzazione del tappeto retinico è invertita perché l'estremità anteriori dei coni e dei bastoncelli non sono rivolte verso l'esterno, ma al contrario, verso la cavità ossea, contenente l'intero bulbo oculare. Come se l'intero il processo visivo avvenisse in senso retrogrado e dopo aver percorso le normali vie di elaborazione sempre più complesse ritornerebbe indietro per una definitiva e più sofisticata elaborazione. Il disegno geometrico a lato evidenzia due triangoli opposti su uno sfondo verde; uno ha la base **AB** e l'apice in **H** e l'altro la base in **CD** e l'apice in **O**. Questi due triangoli indicano la via visiva che comprende la corteccia visiva ed è quella conscia. L'elaborazione visiva inizia a livello del tappeto retinico e culmina nelle aree corticali visive. Nella zona intermedia indicata col segmento **RS**, avviene la formazione dell'immagine di un dato oggetto e la implicazione conscia. Il triangolo inverso con base **CD** ed apice in **O** è la via retrograda, formata dagli input rientranti, ricorsivi. La figura geometrica affianco ha come sfondo il colore grigio e mostra gli stessi triangoli, ma indica la via visiva inconscia, quella che va dalla retina ed arriva ai lobi parietali. Anche nella via visiva inconscia, a livello del segmento **RS**, c'è il completamento della visione riferita ad un oggetto osservato. Però, questo tipo di visione non affiora alla coscienza. Le due vie sarebbero omologhe, ma la prima comporta una visione conscia, al contrario dell'altra. In realtà, i triangoli contrapposti indicanti la via inconscia occupano un'area minore dei precedenti di conseguenza, anche **RS** è minore della precedente.

La macchia cieca della retina. Nel XVII secolo, lo scienziato francese Edmé Mariotte, sezionando un occhio umano, scoprì la papilla ottica che è la zona dove il nervo ottico entra nel bulbo oculare e si espande a formare la retina. Mariotte vide che la papilla ottica era insensibile alla luce, al contrario delle restanti parti del tappeto retinico. In base alle proprie conoscenze di ottica e di anatomia, giunse alla conclusione che ogni occhio, in una piccola porzione del campo visivo ha una macchia cieca. La scoperta dello scienziato francese può essere confermata da chiunque abbia una buona vista. Per esempio, si osservi un piccolo disco su uno fondo colorato. Si facciano questi movimenti:

- Chiudere l'occhio destro.
- Tenere la pagina col disco a circa 30 centimetri dalla faccia.
- Concentrare lo sguardo su un quadratino a 10 cm dal disco, mentre si avvicina il foglio all'occhio sinistro.

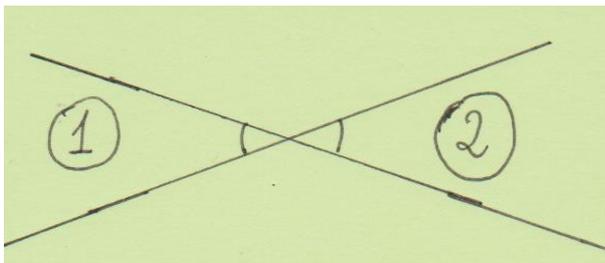
Ad una distanza critica, il disco viene a cadere nella macchia cieca e sparisce del tutto. In realtà, il cervello percepisce quella parte come se fosse stata ricoperta (riempita) dal colore del fondo. Questo processo visivo è noto come riempimento (filling in).

Nelle aree visive cerebrali, quando un individuo guarda un oggetto, si forma una rappresentazione percettiva dell'oggetto stesso. Invece, cogli oggetti che al di fuori del campo visivo (per esempio, situati dietro la testa), il cervello ricorre ad uno stratagemma per non perderne il contatto. In questi casi, il cervello crea ciò che, in senso lato, potrebbe definirsi una rappresentazione concettuale: qualcosa di analogo a una deduzione logica. La distinzione non è solo semantica. Le rappresentazioni percettive e concettuali si generano in aree corticali distinte e possono essere elaborate in modi molto diversi.

Gli esperimenti di neuro-fisiologia in particolare di Vilayamur S. Ramachandran (1992) hanno evidenziato i seguenti aspetti.

1. Le cellule della retina sensibili alla luce trasducono l'intensità luminosa ed il colore in impulsi elettrici.
2. Gli input arrivano alla corteccia visiva primaria tramite il nervo ottico.
3. Nel nervo ottico, i neuroni smistano l'informazione visiva.
4. L'informazione visiva è spedita a parecchie altre aree, ciascuna delle quali sembra essere specializzata per un tipo di elaborazione, riguardante per esempio il colore, il movimento e la forma.
5. Il fenomeno del riempimento retinico si verifica nelle parti iniziali del processo visivo e comporta la generazione di una rappresentazione percettiva, senza la quale non avverrebbe.
6. L'area visiva per il riempimento del colore è diversa da quella responsabile del riempimento del movimento.

Speciali illusioni ottiche. Alcune illusioni ottiche rimangono dopo che un fenomeno illusorio è stato dimostrato. La conseguenza è un senso d'incredulità che mette in discussione una **serie di assunti**, utilizzati dal cervello per capire la realtà del mondo circostante. Questi assunti non si riferiscono solo alle immagini visive. C'è interazione tra sensazioni visive ed uditive, indicata come



effetto Harry McGurk, (Nature, 1976). L'effetto McGurk dimostra il predominio del sistema visivo sull'uditivo. Per esempio, l'osservazione di un video dove le labbra di una persona formulano la parola *casa*, mentre l'audio riproduce la parola *cosa*. Il cervello corregge l'audio facendoci udire il fonema legato alla immagine visiva: *casa*. Riascoltando l'audio senza guardare l'immagine,

udiamo invece l'esatta parola contenuta nella traccia sonora: *cosa*. **Sembra che siano le immagini visive quelle che fungono da guida e le altre seguono il flusso immaginifico delle antecedenti.** L'effetto McGurk dimostra che il riconoscimento linguistico è multimodale, coinvolgendo informazioni da numerose sorgenti sensoriali. Prinz J. (2010), segnala dei fenomeni legati alle immagini verbali in cui una parola ripetuta di continuo per un certo tempo fa sfumare nella coscienza la relativa immagine mentale.

Per esempio, dicendo: *la vacca pascola nei campi*, la Mente è portata a formare una immagine visiva di una vacca. Ripetendo *vacca* più volte, avverrà nella nostra Mente l'offuscamento dell'immagine relativa ad una *vacca*, mentre l'attenzione si focalizzerà sul suono della parola *vacca*. Il fenomeno potrebbe relazionarsi all'*unicità di azione* descritta da Sherrington C.S. (1950) per il sistema motore: l'attenzione può mettere a fuoco solo una parte delle immagini, ma il resto deve sfumare nello sfondo. Nel disegno in alto, ci sono due angoli uguali ed opposti. L'intensità dell'immagine visiva della vacca (numero uno), si riduce man mano che la stessa persona ripete il fonema *vacca*. Di conseguenza, aumenta l'angolo opposto (2). Tra intensità visiva ed immagini verbali, sembra esserci un rapporto costante, come se i due fenomeni neuronali fossero inversamente proporzionali, all'interno di specifici processi computazionali. La riduzione dell'intensità dell'uno comporta l'aumento dell'intensità dell'altro fenomeno e viceversa. Sembra che un evento analogo avvenga nell'ippocampo, dove si avrebbero addirittura delle variazioni strutturali e volumetriche, legate alla funzionalità regionale.

Variazioni volumetriche ippocampali. L'ippocampo ha un ruolo centrale, sia nella fissazione dei ricordi, che nel loro recupero. La sua struttura e volume spesso cambiano in parallelo con le capacità mnemoniche: si rimpicciolisce in malattie come la demenza ed il declino senile, mentre

crece per esempio, nei tassisti londinesi, in risposta allo sforzo di memorizzare decine di migliaia di strade al fine di ottenere la licenza, Poppenk Jordan & Moscovitch Morris, (2011).

In condizioni normali, la relazione *incremento volumetrico/variazione strutturale* sembra non esistere perché non è stato mai trovato un nesso diretto tra le dimensioni volumetriche dell'ippocampo di un adulto normale e la sua capacità di richiamare alla Mente un ricordo. Però, gli studi sui tassisti mostrano che a crescere non è l'intero ippocampo. La regione che si sviluppa è la posteriore, mentre l'anteriore addirittura si rimpicciolisce. Da queste ricerche, è emerso che sia le connessioni delle due regioni alle altre aree cerebrali, sia le circostanze in cui si attivano, sia gli aspetti della circolazione arteriosa sono piuttosto diverse. Quindi, è facile ipotizzare che le zone ippocampali anteriori svolgano funzioni distinte dalle posteriori. Poppenk J. e Moscovitch M., dell'Università di Toronto in Canada, le hanno studiate singolarmente. Con la MRI, hanno misurato le dimensioni e l'attivazione degli ippocampi di 18 giovani adulti che dovevano memorizzare e poi ricordare proverbi familiari e proverbi ignoti. Inoltre, hanno approfondito i dati di tre studi analoghi pubblicati da altri gruppi. Hanno così verificato che i più abili a ricordare quanto appreso erano le persone con l'ippocampo posteriore più grande e l'anteriore più piccolo. Il miglior indice di misurazione dell'abilità mnemonica è proprio il rapporto tra le dimensioni delle due regioni, come se lo sviluppo dell'una avvenisse a spese dell'altra. Poppenk afferma: "Per questo, in riguardo all'ippocampo, non si è mai trovata una relazione tra i singoli segmenti e le dimensioni totali."

L'aumento di un'area ippocampale è compensato dalla riduzione dell'altra. La relazione è tanto più forte quanto più l'ippocampo posteriore si è attivato nell'intervallo tra l'esposizione allo stimolo ed il successivo ricordo, interagendo con le altre aree cerebrali. La relazione quasi scompare se il richiamo alla Mente avviene dopo pochi secondi, anziché decine di minuti dopo. Il beneficio sembra quindi derivare dal fatto che un ippocampo posteriore più grosso è più efficiente nel consolidamento del ricordo.

Modelli di reti visive. Gli schemi seguenti di Harvey provengono da un mio precedente lavoro intitolato *La visione*, (2010). R.J. Harvey (2008) ha elaborato un diagramma sull'organizzazione neuronale del sistema visivo umano. Vedere qui di seguito gli schemi α , β , γ .

Schema α : contingente nervoso necessario per estrapolare aspetti da una singola immagine. Ognuno dei quattro strati (foto recettori, cellule gangliari, neuroni del nucleo genicolato laterale e corteccia visiva) ha disposizione bi-dimensionale e le interconnessioni (tutte ascendenti) sono state mappate con precisione. Un punto disposto (in un determinato spazio) a livello degli strati della corteccia visiva contiene 32 elementi neuronali. Ogni strato risponde con la massima intensità all'immagine di un orlo con un preciso orientamento spaziale.

Schema β : contingente nervoso idoneo all'estrapolazione di figure e di dissomiglianze da un paio d'immagini, mediante l'algoritmo riferito al processo d'*accoppiamento d'immagine*. Questo contingente nervoso è fatto di due componenti, ognuno simile a quello dello schema α , in grado di estrapolare figure, separatamente da ciascuna immagine. Le immagini estrapolate sono quindi comparate in un contesto di dissomiglianze con diversa gradualità, tramite immissione di figure elaborate in un contingente nervoso indipendente.

Schema γ : contingente nervoso che estrapola immagini e dissomiglianze da un paio d'immagini, secondo l'*algoritmo d'immissione d'immagine*. Questo tipo d'algoritmo consiste di due contingenti nervosi omologhi, ognuno dei quali è simile a quello dello schema α . I contingenti nervosi omologhi si trovano al di là del nucleo genicolato laterale. Gli impulsi nervosi provenienti da questi strati sono messi in correlazione (e comparazione) con una certa quantità di dissomiglianze e le aree d'immissione sono quindi ammassate (e memorizzate). Le immagini vengono infine estratte da queste aree d'immissione che contengono i dati visivi memorizzati.

Fig.1

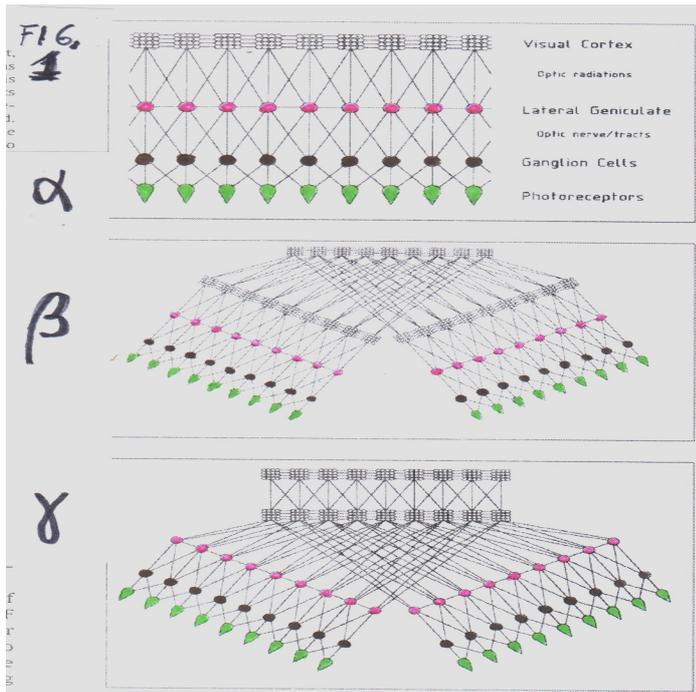


Fig. 1. I fotorecettori sono stati colorati in verde, le cellule gangliari in nero e quelle del nucleo genicolato laterale in rosa. Gli strati della corteccia visiva sono stati disegnati come ammassi regolari di piccoli cerchi. Il graduale processamento degli stimoli visivi è stato trovato anche da Saalman Yuri B. & Kastner Sabine, (2009). Alcuni stimoli visivi finirebbero col far parte dei numerosi livelli rientranti e diventano segnali di se stessi. La trasduzione dei segnali visivi in immagini fedeli alla realtà dipenderebbe in gran parte da questi tipi di segnali rientranti che in ultima analisi dovrebbero rafforzare la consapevolezza. Al culmine della visione, ci sarebbe un anello di retroazione formato e rinforzato da un accoppiamento molto preciso di segnali in ingresso ed in uscita.

Queste funzioni rientrano nel contesto

della percezione.

14. LA PERCEZIONE.

Le sensazioni sono come dati circostanziali sul mondo raccolti dai sensi, ma non sono di uso pratico, senza un grande lavoro elaborativo sugli stessi dati. Nell’Uomo, vaste aree cerebrali sono preposte all’elaborazione sensoriale, mediante i gradi di:

- acquisizione
- filtraggio
- trasformazione
- ricostruzione
- integrazione
- organizzazione.

Tutte quest’elaborazioni sensoriali avvengono in lassi di tempo molto brevi e sono inconse. S’ignora come avvengano nei particolari, però se ci sono alterazioni della materia cerebrale, il corretto rapporto col mondo esterno si modifica. L’ausilio di algoritmi e della quotidiana esperienza ci dimostra che la percezione è un processo deduttivo, ciò che alcuni definiscono *inferenza inconscia*. La consapevole quotidiana rappresentazione del mondo che ci circonda avviene solo dopo una grande quantità di computazioni inconse (coscienza extra). Con questi processi computazionali, l’informazione raccolta dai sensi è recepita dal sistema nervoso centrale. La percezione ci permette per esempio, di distinguere e localizzare la voce di nostro figlio piccolo che piange tra la cacofonia di una stazione ferroviaria affollata.

Nel sistema percettivo, c’è correlazione funzionale tra i colori e l’olfatto. La mescolanza di due colori in movimento rassomiglia alla percezione di un odore derivante dalla fusione di più molecole odorifere in un insieme molecolare in movimento all’interno del flusso dell’aria inspirata. Questi eventi mentali fanno sospettare che la percezione sia un fenomeno molto complesso e di difficile determinazione, più di quanto sembri. Una delle funzioni principali della Mente, sia nella nostra vita quotidiana sia nel lungo percorso evolutivo, è di relazionarsi col mondo circostante, tramite la

percezione. Con la percezione, assorbiamo informazione relativa al mondo, coordiniamo tale informazione, sia coscientemente, sia inconsciamente. Alla fine, è possibile prendere decisioni e concepire intenzioni che producano azioni con cui affrontare la realtà. Dal punto di vista prettamente scientifico, il fenomeno percettivo non riguarda le terminazioni dei nervi periferici. stimulate dagli oggetti del mondo. Una volta che questi corpuscoli sensitivi sono stati stimolati, c'è l'invio di segnali al sistema nervoso centrale. E' qui che l'insieme complessivo dei processi neurobiologici causa un'esperienza percettiva. Tuttavia, l'unico oggetto effettivo della consapevolezza è questa esperienza nel cervello. Non potremo mai avere accesso diretto al mondo esterno. Tutto ciò che è accessibile direttamente è l'effetto del mondo esterno sul nostro sistema nervoso. Il fenomeno sembra presupporre i modi in cui gli oggetti del mondo causano la stimolazione delle nostre terminazioni nervose, comportino la percezione effettiva del mondo reale; di fatto, la percezione effettiva è impossibile. Per queste contraddizioni di base, il problema della percezione è complesso e di difficile determinazione. Per esempio, la linea di confine tra percezione ed allucinazione è ambigua a livello sperimentale. Anzi, l'osservazione del mondo esterno è una vera allucinazione e la **percezione** non è altro che l'atto di scegliere l'allucinazione che meglio si adatti ai dati in arrivo, spesso frammentari ed effimeri. Sia le allucinazioni, sia le vere percezioni emergono dalla stessa serie di processi: la differenza effettiva dipende dalla veridicità degli oggetti ed eventi esterni che la percezione stabilizza nella coscienza. Nell'allucinazione, come nel sogno o in una vasca di deprivazione sensoriale, gli oggetti e gli eventi fluttuano senza precise direzionalità. Possiamo vedere immagini del mondo reale sullo schermo del cinema, ma non possiamo mai uscire dal cinema per osservare il mondo reale. Il cinema è tutto nella nostra Mente.

Affermare che i nostri dati sensoriali assomigliano agli oggetti e dunque li rappresentano come il filmato di una scena che rappresenta quella reale, significa che il fenomeno percettivo non conferisce alcun significato chiaro alla *nozione di somiglianza*, e quindi alla nozione di rappresentazione mentale. Come possiamo dire che i dati sensoriali percepiti come in un cinema, assomigliano all'oggetto reale che non vediamo, essendo l'oggetto in ultima analisi invisibile alla Mente? La stranezza è che ciò che si percepisce è così come lo si percepisce. Non si tratta di artifici, ma di un **aspetto immediato** che la Mente coglie con la percezione. Anzi, è così immediata alla Mente l'apparizione di un oggetto che è come se il processo percettivo non avvenisse.

Secondo Merriam Webster, un organo di senso è un corpuscolo che riceve uno stimolo per esempio, onde sonore o caloriche e dà origine ad un'onda eccitatoria in associazione con fibre nervose sensoriali. Queste inviano impulsi specifici al S.N.C., dove sono interpretati come sensazioni consequenziali attraverso i processi di elaborazione sopra descritti (acquisizione, filtraggio, trasformazione...). Le sensazioni sono il prodotto dei sensi. Quasi sempre lo stimolo sensoriale come l'onda sonora, è trasformato in un segnale elettrico e processato dal cervello. Invece, per i sensori prodotti dalla tecnica umana, quasi sempre è il computer ad avere queste mansioni. Gli stimoli delle sensazioni corporee esistono per intero qui ed ora. Le onde sonore che rimbalzano sulla membrana timpanica, le onde luminose focalizzate sulla retina dopo aver attraversato i globi oculari, le molecole penetrate nel naso, o fissatesi sulla mucosa linguale, le sensazioni nel movimento della testa, o quelle derivanti dagli arti in estensione o in flessione, sono tutti fugaci stimoli. Le sensazioni derivanti da questi stimoli, insieme con i conseguenti cambiamenti elettrochimici esistono tutte per un brevissimo istante. In aperto contrasto con questi fenomeni, la **percezione** non è mai per intero nel presente. Dipende non solo dagli stimoli del presente, elaborati dai recettori sensitivi, ma anche dalle pregresse esperienze a cui un individuo si è sottoposto. Generate da uno stesso stimolo, le percezioni di due individui possono essere molto differenti. Alcune di queste difformità dipendono dagli strumenti sensoriali, se di un giovane, o di un vecchio. Tuttavia, il punto focale che cambia la percezione dipende dall'esperienze pregresse di ciascun individuo. La percezione è anche un fatto culturale. Il senso dell'olfatto, la base sensoriale di esso, è lo stesso di un americano, di un africano o di un asiatico. Tuttavia, la percezione odorifera per esempio, cambia da una all'altra cultura. Alcuni tipi di fiori sono piacevoli per alcune tribù

dell'Angola, ma nauseanti per alcuni popoli del sud-est asiatico. Le differenze culturali incidono anche per altri sensi come per il gusto, i suoni ed altri segnali.

Difficile è dire dove i sensi finiscano, iniziando la percezione. I due processi sono interconnessi. Secondo il Merriam – Webster Dictionary, la percezione è la consapevolezza degli elementi dell'ambiente circostante ottenuta attraverso la sensazione fisica.

Secondo l'American Heritage Dictionary, la percezione è il riconoscimento e l'interpretazione degli stimoli sensoriali, basati principalmente sui ricordi.

Da Wikipedia, la percezione è definita come un processo psichico che opera la sintesi dei dati sensoriali in una forma tale che acquistino un significato.

In sintesi, la **sensazione** deriverebbe dal contatto e dall'attivazione dei recettori sensoriali rispetto alle indicazioni immediate del mondo esterno. Invece, la **percezione** sarebbe l'organizzazione dei dati sensoriali, riuniti in un'esperienza complessa, come prodotto finale dell'elaborazione dell'informazione sensoriale proveniente dalle diverse parti dell'organismo. E' da tener presente che uno degli attributi della coscienza è la **percezione** della realtà del mondo come a se stante.

Per Humphrey N. (2007), la sensazione relaziona il soggetto col mondo esterno e dà all'esperienza del presente il senso peculiare del sé, del qui e dell'ora. Prova ne sarebbe che individui affetti da *vista cieca* avrebbero la visione di un oggetto, ma questa sarebbe priva dell'importante sensazione. Priva della sensazione, la **percezione** diventa un processo anaffettivo. Nella visione cieca, il soggetto ha gravi lesioni alla corteccia visiva, ma può percepire ed indovinare alcuni aspetti del mondo esterno, inclusi i colori. Nella visione cieca, manca la sensazione visiva, anche se s'indovina la posizione, la forma ed il colore degli oggetti. Per questo, Humphrey dice che la percezione può non coinvolgere la sensazione. Percezione e sensazione avrebbero percorsi indipendenti.

Ci sarebbe una percezione attiva ed una passiva. La distinzione non sarebbe netta perché esiste un elemento volontaristico nella percezione ed esistono componenti passive nell'azione volontaria. Questa differenza fu supposta da Penfield W. (1991), che fece ricerche sulle attività intenzionali volontarie e sull'esperienza della percezione passiva. Per esempio, c'è differenza tra sollevare un braccio di proposito, nell'ambito di un atto cosciente ed alzare un braccio perché qualcun altro stimola le relative connessioni nervose corticali. Penfield scoprì che stimolando la corteccia motoria dei suoi pazienti poteva far muovere i loro arti. Il paziente diceva: *Non sono stato io, è stato lei*. Il paziente dimostrava di avere la percezione del movimento del braccio, ma non aveva l'esperienza dell'azione volontaria. La distinzione basilare era: nel caso della percezione (vedere il bicchiere davanti a me, sentire la camicia sul collo) c'è la sensazione di: *Sto percependo questo* e, in tal senso, questo *sta succedendo a me*. Nel caso dell'azione di sollevare il braccio, o di attraversare la stanza, c'è la sensazione *Sto facendo questo* e in tal senso, *sono io che faccio accadere questo*. È soprattutto l'esperienza dell'azione volontaria a darci la convinzione del libero arbitrio. Qualunque tentativo di spiegare la Mente dovrebbe prendere in esame tale esperienza.

La **percezione** sembra essere un processo lineare dove segnali elettrici derivanti da uno stimolo raggiungono una serie di stazioni cerebrali. In queste stazioni del sistema nervoso centrale, i segnali (input) sono estrapolati ed elaborati. Si tratta di processi cerebrali vasti, paralleli, in parte lineari, ma in parte non lineari. Nell'elaborazioni dei dati in parallelo, il cervello processa simultaneamente gli stimoli in entrata. Questi stimoli sono qualitativamente diversi e possono correlarsi con la visione degli oggetti (colore, forma, movimento, profondità, sfondo), con l'olfatto, con l'udito, il gusto ecc.

Il cervello umano è continuamente bombardato dagli stimoli sensoriali di qualsiasi natura, alcuni dei quali implicano uno stretto legame tra sensazione ed apprendimento percettivo. Per esempio, apprendere a camminare è molto di più di un controllo muscolare, necessitando anche dei sensi, della propriocezione e dell'equilibrio.

Ci sono molti modi di pensare a come l'informazione sensoriale sia elaborata dal sistema nervoso centrale. Di recente, sono stati descritti i fenomeni cerebrali del Giù – Su e del Su – Giù. Le parti

geneticamente più antiche del cervello filtrano e dividono i flussi dei dati sensoriali, secondo lo schema del Giù – Su. Nello stesso tempo, le parti geneticamente più recenti del cervello elaborano ed interpretano le informazioni dal Su – Giù. Si pensa che l'intero processo di filtraggio e di elaborazione cerebrale vada nelle due direzioni del Giù – Su e del Su – Giù.

Per quanto riguarda la via del Giù – Su, segnali non filtrati dai recettori sensoriali sono scomposti in singoli pacchetti, o flussi d'informazione. Input delle *cellule capellute* dell'Organo del Corti, per esempio, sono spezzati in pacchetti d'informazione in base all'intensità, al timbro, durata e localizzazione spaziale e selezionati tra tante altre cose. Questi dati separabili sono organizzati nel cervello ed elaborati di conseguenza.

Dal Su – Giù, parte un ulteriore flusso di *elaborazione – dati*, consistente nell'estrazione di aspetti come il tono, l'intensità e la distanza spaziale della fonte sonora (nel caso dell'udito). I processi Su – Giù sono molto integrativi. S'immagini che le frasi che si stanno leggendo da un libro siano state scritte in un linguaggio sconosciuto. E' presumibile che le frasi siano state scritte in una lingua che come l'inglese usi l'alfabeto latino, come per esempio, il tedesco o l'italiano. Gli occhi focalizzano la luce riflessa dalla pagina ed inviata sulla retina. Qui si originano segnali elettrici diretti ai centri cerebrali. Quindi, il livello Giù – Su detto livello basso di elaborazione, potrebbe differenziare i colori (bianchi o neri) delle lettere e degli spazi tra le lettere, il numero e la disposizione delle lettere scritte con l'inchiostro nero, i punti e da capo ecc. Dato per scontato che ciò che si sta osservando sono lettere nel familiare alfabeto latino, potrebbero essere riconosciute come singoli segni alfabetici. A questo punto, è necessario un più sofisticato processo Su – Giù per convertire (trasformare) un insieme di neri, familiari segni alfabetici stampati su una pagina bianca, in qualcosa di comprensibile, che è ciò che in ultima analisi definiamo linguaggio. Le superiori elaborazioni Su – Giù aggiungono il significato a gruppi di lettere o di frasi. Queste elaborazioni superiori aggiungono il significato alle parole e possono anticipare il concetto della frase successiva. L'atto di leggere qualcosa è un buon esempio di come i processi cerebrali del Giù – Su e del Su – Giù lavorano nella **percezione**. Processi similari Giù – Su e Su – Giù avvengono se si ascolta qualcuno che parla. Ascoltare qualcuno mentre parla implica un filtraggio su altri tipi d'informazioni uditive in arrivo nello stesso tempo. Per esempio, questo filtraggio si rende necessario se vogliamo ascoltare qualcuno che ci parla in una festa tra amici dove c'è un ronzio di fondo di altri che discutono tra loro. Può accadere che chi ci parla tra tanto frastuono (c'è anche l'orchestrina di Jazz da sfondo) non pronunci bene qualche sillaba o una parola intera, oppure che non udiamo bene qualche nome. In questo caso, il cervello può riempire le parti mancanti. L'atto di riempire i dati mancanti dell'informazione sensitiva, in specie di quella uditiva e visiva come per la macchia cieca della retina, è molto importante per il completamento percettivo.

Nel processo visivo Giù – Su, esisterebbe una organizzazione neurale ripetitiva dove cellule retiniche contigue spediscono input alle cellule gangliari più contigue e queste a quelle del **NGL** (Nucleo Genicolato Laterale), tra loro contigue. Di conseguenza, la superficie bidimensionale della retina sarebbe schematizzata come una mappa in altre aree per esempio, nel collicolo superiore. Si è visto che i principi fondamentali dell'organizzazione retinotopica valgono anche per il nucleo genicolato laterale (NGL) e la corteccia visiva primaria come affermato da Bear M.F., Connors BW, Paradiso MC, (2005). L'organizzazione anatomica del **NGL** conferma l'idea che la retina origini correnti d'informazione Giù – Su, analizzate in parallelo ed i principi fondamentali dell'organizzazione retinotopica valgano sia per il **NGL**, sia per la corteccia visiva primaria (Bear M. et al., 2005).

Negli anni Settanta del Novecento, mappe somatotopiche in cervelli di topi furono rilevati da Woolsey T, e Wan der Loos H. (1970, 1975), della Johns Hopkins University. La mappa somatotopica delle vibrisse nei roditori è visibile in sezioni istologiche dello strato corticale **S1**, con le cinque fila di cilindretti corticali corrispondenti alle cinque fila di vibrisse facciali. Secondo Bear MF, Connors BW, Paradiso MC (2005), analogamente al sistema visivo ch'elabora mappe

retinotopiche, quello somatosensitivo ha diverse mappe del corpo. Sembrerebbe che il sistema **Giù – Su** avrebbe come base funzionale i principi della similitudine geometrica qui esposti.

SIMILITUDINE GEOMETRICA. Due o più figure geometriche sono da considerarsi simili dal punto di vista geometrico se c'è corrispondenza biunivoca tra loro. Nella conseguente elaborazione percettiva, questo presupposto comporta che il rapporto di segmenti omologhi abbia un valore costante **L** che è preso come rapporto di similitudine geometrica, o scala di riduzione delle lunghezze. Il verificarsi di tale ipotesi conduce all'uguaglianza di segmenti omologhi, di angoli omologhi, ad un rapporto tra aree omologhe e ad un rapporto tra volumi omologhi. Tra le mappe somatotopiche retiniche, del NGL e delle aree visive primarie, si verificherebbe un rapporto costante indicato con **L**, secondo la similitudine geometrica.

A livello di attività neuronale, i processi cerebrali non sono la coscienza. L'attività neuronale al livello più basso causa la proprietà di livello più alto o di sistema: la coscienza. Se ciò è vero - e tutto ciò che sappiamo sul cervello fa pensare che lo sia - allora il concetto di sopravvenienza non aggiunge nulla a quelli già noti:

- di causalità, inclusa la via “dal basso verso l'alto”;
- di livelli più alti e più bassi di descrizione;
- di realizzazione delle caratteristiche di ordine più alto nel sistema composto dagli elementi di ordine più basso.

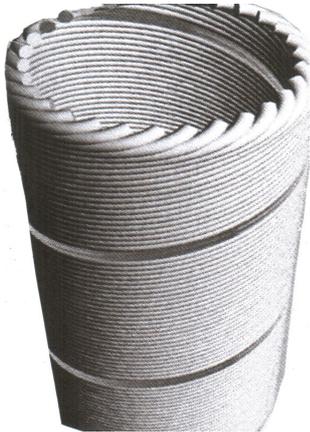
Nell'elaborazioni **Giù – Su**, le informazioni visive trasmesse nei vari segmenti neuronali, a partire dal tappeto retinico fino alle aree visive corticali superiori, avverrebbero secondo criteri di similitudine geometrica (tra segmenti, angoli, orientamento spaziale di contorni...). Idem, per le informazioni visive riferite ai colori ed al movimento. Fenomeni fisici - sensoriali trasformati in input elettrici lungo i vari segmenti neuronali coinvolti nel meccanismo della visione, si dicono simili se, dimensionando ciascuna delle grandezze fisiche di riferimento omogenee e costanti, le relazioni matematiche che li descrivono sono identiche, in un lasso di tempo fisico **t**.

Aspetti omologhi del **Giù – Su** riguarderebbero tutti gli altri processi percettivi (acustici, olfattivi, propriocettivi, gustativi ecc.). Pur avendo un comportamento probablistico, il funzionamento d'insiemi neuronali nelle vie **Giù – Su**, potrebbe seguire i principi della similitudine geometrica, purchè avvengano in un lasso di tempo molto breve. Gli stessi algoritmi di base del **Giù – Su** e forse anche quelli opposti del **Su – Giù**, sarebbero adattabili alla costruzione di figure geometriche.

Un algoritmo è dato da regole procedurali applicate in modo ripetitivo ad un insieme di dati al fine di ottenere un risultato collocabile nell'insieme di partenza. L'operazione ricorsiva può fermarsi quando si raggiunge il risultato voluto. Nel caso in cui non lo si raggiunga, l'operazione ricorsiva può continuare virtualmente all'infinito nel tentativo di arrivare ad un risultato sempre più approssimativo. Un algoritmo può operare su un insieme di dati reali o simbolici in corrispondenza biunivoca coi dati di un altro algoritmo. Se tra i due algoritmi si verificano risultati sovrapponibili si dice che il primo *ha interpretato* l'altro e tra i due c'è correlazione diretta, come *tra due figure geometriche simili*. Un algoritmo con elevata complessità ne interpreta di simili, o di più semplici. Un algoritmo molto complesso può interpretare qualsiasi altro algoritmo. Nella logica matematica, l'aritmetica è un algoritmo universale e le procedure prettamente geometriche purchè interpretate, sono riconducibili a semplici calcoli aritmetici. Nobili R. e Paravento U. (1996) ritengono che per i motivi su esposti, il cervello effettui processi ricorsivi.

Si sarebbe portati pensare che la soluzione migliore per un sistema di calcolo parallelo sia la costruzione di un complesso estesamente integrato d'unità di calcolo, riccamente dotato di connessioni interne prestabilite. Le aree periferiche del sistema nervoso centrale, preposte al filtraggio ed alla riorganizzazione dei flussi dell'informazione sensoriale, sembrano soddisfare questo requisito. Se così fosse per tutte le aree ed i nuclei cerebrali, il cervello non sarebbe altro che un grande filtro d'informazione. Questo aspetto sembra verosimile almeno per il lobo sinistro.

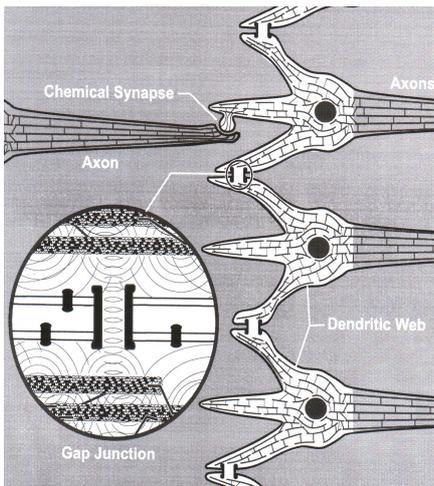
Una fisiologia cerebrale che filtra di continuo le informazioni comporterebbe l'assenza di processi ricorsivi che necessitano d'incessanti riorganizzazioni di programma e quindi dell'architettura intrinseca. La plasticità delle connessioni neuronali ha un ruolo basilare nella generazione di tali processi. Il cervello deve eseguire processi ricorsivi, non solo perché indispensabili per le capacità introspettive, ma anche, e in primo luogo, perché l'organizzazione dell'apprendimento e quella del comportamento hanno per fondamento la ricorsività. Lo stesso *circuito* sensomotorio con cui avviene l'interazione col mondo esterno obbliga il cervello alla ricorsività. Di fatto, il cervello ha formidabili circuiti paralleli deputati al processamento ricorsivo dell'informazione come il circuito di Papez e quello extrapiramidale.



La figura qui di lato illustra i microtubuli del sistema neuronale. la successiva invece mostra le gap-junctions. Sia a livello dei microtubuli che tra le gap-junctions avverrebbero fenomeni quantistici.

Infatti, Stuart R. Hameroff, (2007, in Libet) ipotizza che negli stessi microtubuli del citoscheletro neuronale avvengano calcoli non deterministici. Nella rete dendritica corticale ricca di microtubuli, la consapevolezza deriverebbe dalla sincronizzazione di sequenze elettriche, rilevabili con EEG. Sarebbero eventi elettrici causati dalla computazione quantistica discreta, in integrazione di fase con cicli neurocomputazionali.

Stuart R. Hameroff è convinto che l'architettura neurocomputazionale del cervello esegue calcoli di tipo quantistico. Queste funzioni avverrebbero principalmente nei microtubuli contenuti nei dendriti corticali, tra loro congiunti da speciali giunzioni (GAP – JUNCTIONS), ma presenti solo nel cervello. Peculiarità dei dendriti neuronali sarebbe la *polarità mista* con corti microtubuli interconnessi (con direzione antiparallela) ad un contingente ordinato di altre microfibre intracellulari ed extracellulari. Le due figure di lato sono state da me estrapolate dal lavoro di Hameroff e mostrano i dendriti ed i corpi neuronali connessi da GAP-Junctions dendritiche – dendritiche, all'interno dell'architettura neurocomputazionale. Queste GAP – Junctions collegherebbero con flussi elettrici i microtubuli all'interno di neuroni contigui. La figura precedente mostra i microtubuli avvolgenti un prolungamento dendritico.



← **Schema ψ** - Questo schema rappresenta una gap-junction tra neuroni contigui. E' uno schema da me medesimo utilizzato in un precedente saggio dal titolo: *Termodinamica, campi quantici e funzioni mentali*, (2010). C'è da precisare che la metodica EEG rileva i riflessi elettrici cerebrali, ma non evidenzia il fenomeno mentale nella sua intima essenza.

La *Gestalt* considera la percezione come una serie di fenomeni collegati alla fisiologia corporea e basata su costanti, o **leggi percettive**. Queste costanti percettive travalicherebbero la sfera individuale, sarebbero trascendenti (presenti fin dalla nascita) ed indipendenti dall'esperienza.

Sono leggi universali ed analizzano l'organizzazione figurale, valutando lo scorporo della figura dallo sfondo (attraverso il colore, la densità, la trama, il contorno). Il fondatore della psicologia Gestalt, Wolfgang, Köhler ipotizzò le seguenti leggi che sotto una nuova prospettiva sembrano tutte correlate con le similitudini geometrica, oltre che con quella cinematica e dinamica:

1. *La legge della sovrapposizione.* Le forme **sopra** sono figure. Perché si verifichi una sovrapposizione, ci devono essere indizi di profondità.
2. *La legge dell'area occupata.* La zona distinta che occupa un'estensione minore tende ad essere colta come figura, ma la più estesa è lo sfondo. È importante anche l'orientamento dell'area occupata. Questo meccanismo identificativo degli oggetti sullo sfondo funziona anche se la chiusura è incompleta.
3. *Legge dell'organizzazione percettiva in base al destino comune.* Tale meccanismo di vicinanza è saliente non solo a livello di modificazioni dello spazio, ma anche del tempo.

A queste leggi si sovrappongono altre tre, finalizzate all'inserimento di più elementi sensoriali in una percezione globale.

1. La legge della Gestalt, sintetizza l'intera logica della percezione. La prima legge è quella della semplicità o della *buona forma*: i dati sono organizzati nel modo più semplice e più coerente possibile, rispetto all'esperienze pregresse.
2. La legge del raggruppamento per somiglianza: in elementi disposti disordinatamente, quelli che si somigliano tendono ad essere percepiti come forma, staccati dallo sfondo. Questi elementi distaccati dallo sfondo tendono a trasformarsi in una figura. La percezione della figura è tanto più forte quanto più stretta è la somiglianza con tali elementi.
3. Legge della buona continuazione (o continuità della direzione): s'impone come unità percettiva quella che dà il minor numero d'irregolarità od interruzioni, a parità di altre proprietà.

Ulteriori studi hanno specificato gli elementi figurali, utilizzati nella percezione della terza dimensione che sarebbe connessa alla percezione del movimento. I principali indicatori sono:

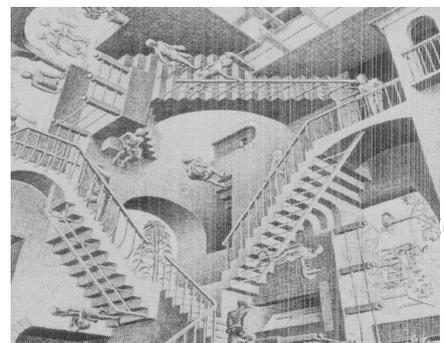
- la grandezza relativa (l'oggetto più grande è il più vicino),
- la luminosità,
- la prospettiva aerea e quella lineare.

A livello cerebrale, il processamento della terza dimensione avverrebbe secondo le similitudini cinematica, e dinamica. Le leggi della percezione sono definite autoctone perché innate e non frutto dell'apprendimento. Tuttavia, c'è una progressione evolutiva nell'elaborazione delle percezioni. Dai primi mesi, il neonato riconosce i colori e le forme (in particolare la figura umana), ma solo più tardi acquisterà la **costanza percettiva**: la capacità di collegare una forma o una figura già conosciuta, con una diversa in cui riconosce caratteristiche di somiglianza (ad es. una statua è associata ad una persona).

Gli psicologi della *Gestalt* hanno scoperto dei fenomeni interessanti. Uno è che il cervello ha la capacità di trattare stimoli generici, organizzandoli in totalità coerenti. Inoltre, può trattare uno stimolo costante in modo da ricavarne ora una percezione, ora un'altra. Così, nel famoso esempio dell'anatra/coniglio l'input percettivo è costante, ma elaborato ora come anatra, ora come coniglio.

La compagine gestaltica, non comporta solo l'organizzazione delle percezioni in totalità coerenti, ma in ambito cosciente, anche la distinzione tra le figure percepite e lo sfondo su cui sono inserite. Così, per esempio, vedo la penna sullo sfondo del libro, il libro sullo sfondo della scrivania, la scrivania sullo sfondo del pavimento ed il pavimento sullo sfondo del resto della stanza, finché non arrivo all'orizzonte del mio campo percettivo complessivo. In conclusione, la struttura gestaltica ha almeno due aspetti. Il primo è la capacità del cervello di organizzare le percezioni in totalità coerenti; il secondo è la capacità del cervello di discriminare tra figura e sfondo.

Le ricerche di Deutsch Diana, (1992) evidenziano aspetti della percezione sonora umana. Nell'infanzia, gl'individui acquisiscono gradualmente una rappresentazione dei suoni peculiare per ogni lingua o per un dialetto. Pertanto, una



persona nata in California sentirà una specifica successione di suoni in un modo diverso da un nativo dell'Inghilterra meridionale. Nei diversi individui, c'è una correlazione tra la percezione del parlato e quella sonora musicale: il brano musicale è riconoscibile anche se traslato su in una tonalità diversa da quella in cui è stato ascoltato originariamente. Tuttavia, non è un principio valido sempre. Può accadere che il cervello reinterpreti le relazioni tra le varie note musicali, trasposte su una diversa tonalità. Il fenomeno paradossale somiglia molto ad alcune metamorfosi visive quando una forma o un'immagine è traslata su una differente situazione spaziale come la scala senza fine dipinta da Escher M.C. A lato, la Scala di Escher.

Tutto ciò dimostra che nel processo percettivo, la Mente umana tende a stabilire legami anche sonori, tra elementi che si trovano in prossimità piuttosto che tra elementi lontani. Nella visione, tendiamo a raggruppare punti vicini l'uno all'altro ed a percepire come un flusso luminoso in movimento l'intermittenza regolare tra piccole luci vicine tra loro.

Jevis afferma: la Mente umana non è auto-trasparente e dei suoi procedimenti non sappiamo praticamente nulla. Ciò che avviene è che registriamo nell'autocoscienza sono i suoi prodotti, e sporadicamente costruiamo ipotesi su come essi nascano, chiamando queste ipotesi introspezione (Jevis, G. 1993 e Jevis G., 1999). Nell'ippocampo, sono state evidenziate speciali cellule indicate come *cellule grid* che facilitano il riconoscimento di posizione spaziale. Queste cellule indicherebbero la distribuzione degli oggetti del mondo esterno, rispetto al posizionamento dell'individuo. Le *cellule grid* entrano nella costituzione di mappe ambientali, basate sul movimento del soggetto, essendo ancorate a punti di riferimento esterni, ma persistenti all'oscurità.

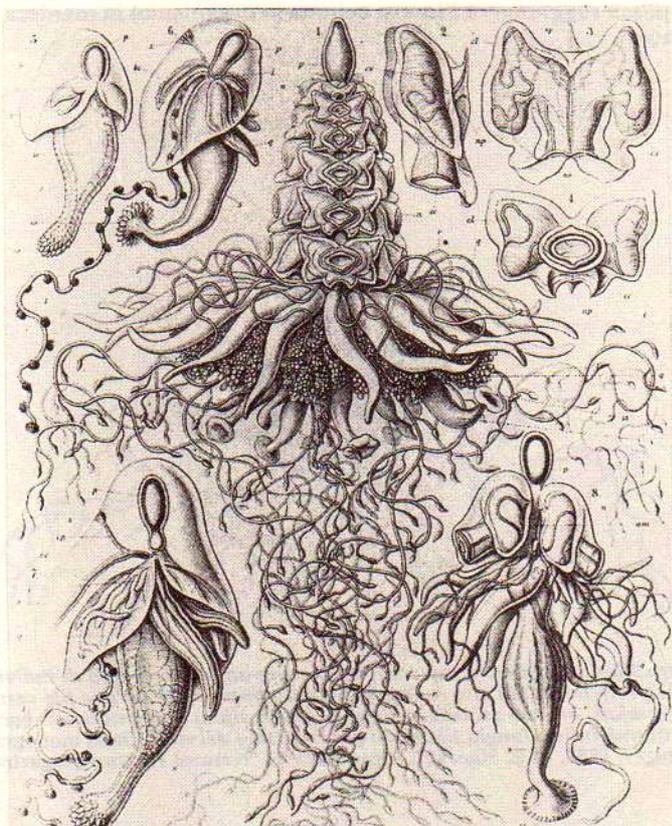
15. COSCIENZA E CONSAPEVOLEZZA.

DA WIKIPEDIA. *La psicologia tradizionale indica col termine di coscienza una funzione generale propria della capacità umana di assimilare la conoscenza. All'inizio del processo c'è consapevolezza, cioè constatazione attiva della nuova conoscenza; quando a questa segue la permeazione definitiva del nuovo come parte integrante del vecchio, si può parlare di coscienza. Questa funzione, applicata al susseguirsi di fenomeni di conoscenza (non solo sensoriali) genera il fenomeno della coscienza. Come fenomeno dinamico che si protrae nel tempo può essere identificata come un vero e proprio processo.*

All'interno dei progressi delle neuroscienze, numerosi aspetti anatomici del corpo umano e degli animali possono essere osservati in una nuova prospettiva che apre scenari inesplorati. Non è vero che l'anatomia umana ed animale non ha più nulla da rivelare. I sifonofori sono organismi (tipi di meduse tropicali) e sono formati da insiemi (colonie) di varie strutture deputate:

1. al nuoto,
2. al galleggiamento,
3. alla protezione,
4. all'alimentazione,
5. alla cattura delle prede come individui, veri e propri.

Ogni struttura di un sifonoforo si comporta come un singolo organo polipoide o medusoide. In realtà, i sifonofori sono colonie, essendosi evoluti da aggregazioni più semplici di organismi ben distinti, ciascuno completo ed in grado di eseguire una serie autonoma di funzioni (come nelle moderne colonie di coralli). Ma la colonia costituente un sifonoforo si è integrata molto bene, per cui i differenti individui si sono specializzati nella forma e subordinati al tutto. Per questo, l'intero aggregato funziona come singolo individuo, o superorganismo. I componenti che strutturano un



sifonoforo non conservano più individualità funzionale. Infatti, si specializzano nell'espletare un unico compito, comportandosi come se fossero organi di una entità superiore. Non sembrano più organismi singoli e non potrebbero sopravvivere come animali separati. L'intera colonia opera come se fosse una singola entità e le sue parti (individui) hanno movimenti coordinati col tutto. Ogni nectoforo (o ombrello natante) conserva il proprio sistema nervoso, ma oltre a questo, c'è un sistema nervoso cordonale che è comune all'intera struttura e connette l'insieme.

La figura a lato mostra un sifonoforo completo e complesso. La colonia annovera i seguenti individui modificati, dall'alto in basso: il singolo galleggiante, o pneumatoforo (p); file di organi natanti, o nectofori (n); i lungamenti sensoriali digitiformi, o palpi (q); ammassi di parti riproduttive (g); sifoni

alimentari con bocche a forma d'ibuto (s); infine, lunghi cordoni intrecciati di filamenti che servono per catturare il cibo (t). Le altre figure sono parti della complessa colonia, o stadi precoci di sviluppo. (Dalla monografia Challenger, 1888, di E. Haeckel. Riprodotto da "Natura History Magazine"). Per Fredkin E. (2003) e Zuse K. (1990), il calcolo computazionale può descrivere qualsiasi fenomeno: eventi fisici e biologici, ma anche ogni teoria, ogni opera letteraria, ogni forma di pensiero ed ogni evento umano. Tutto sarebbe soggetto a calcoli computazionali: qualsiasi componente fisica e psichica potrebbe fungere da sostrato a processi di calcolo. Omologhi operazioni computazionali avvengono tra elementi nervosi al di fuori del cervello, come nei gangli lungo il percorso di fibre nervose del sistema nervoso vegetativo. Idem, per l'asse nervoso cordonale di un sifonoforo. Si tratta di calcoli computazionali che hanno un modello algoritmico simile, sia nel sistema nervoso centrale dell'Uomo, sia nell'asse nervoso di un sifonoforo.

La principale funzione del sistema nervoso centrale sarebbe l'elaborazione degli input ottici, acustici, olfattivi, gustativi ecc. provenienti per lo più dagli organi sensoriali, in particolare gli impulsi interocettivi e propriocettivi derivanti dai muscoli scheletrici e dal tubo digerente.

Nel sifonoforo completo ci può essere sé corporeo, non un io-cosciente come lo intendiamo. Per esempio, un ragno che tesse la tela non può conoscere la legge di Hooke, relativa alle forze di tensione su una molla. Il ragno in qualche modo non deve ignorare questa importante legge, fondamentale per la tessitura della sua ragnatela. In caso contrario, la ragnatela si spezzerebbe. È forse più esatto dire che il cervello del ragno ha una conoscenza implicita, anziché esplicita, della legge di Hooke? Benché il ragno si comporti come se la conoscesse e l'esistenza stessa della ragnatela lo dimostra, il suo cervello (il Ragno ha un vero cervello) non ne ha alcuna

rappresentazione esplicita. Può usare la legge per nessun altro scopo che tessere ragnatele e di fatto, può solo tesserle secondo una sequenza motoria fissa. Questo non vale per un ingegnere che usa consciamente la legge di Hooke, appresa sui libri di fisica. L'utilizzo umano della legge di Hooke è flessibile ed aperto, disponibile per un infinito numero di applicazioni. Al contrario del ragno, l'ingegnere ha in *Mente* una rappresentazione esplicita della legge: quella che chiamiamo *conoscenza*. Gran parte della nostra conoscenza del mondo sta a metà tra questi due estremi: la conoscenza istintiva del ragno e quella astratta del fisico.

Che cosa intendiamo con *conoscenza* e *comprensione*? In che modo miliardi di neuroni le conseguono? È un mistero assoluto. Bisogna dare atto che le neuroscienze cognitive sono ancora molto vaghe nello spiegare con esattezza termini come *comprensione*, *pensiero* e *significato*. E' della scienza trovare risposte passo dopo passo, attraverso la speculazione e gli esperimenti. La questione è risolvibile a livello sperimentale?

Per una sommaria spiegazione delle differenze Uomo – Ragno in relazione alla Legge di Hooke, si può avanzare la seguente equazione:

$$U : R = SC : S'C'$$

U = Uomo (cervello umano)
 R = Ragno (cervello di Ragno)
 SC = sé corporeo umano
 S'C' = sé corporeo di Ragno.

Si può affermare che il risultato è lo stesso, perché il Ragno tesse la ragnatela come se conoscesse bene la legge di Hooke e la sua applicazione pratica. Ci potrebbe essere una biunivoca relazione tra cervello e sé corporeo in relazione alla specie, alla razza ed all'individuo.

Questa relazione biunivoca sarebbe possibile se e solo se il sé corporeo di un individuo e di qualsiasi altro essere vivente (a cui si può attribuire un vero sé corporeo, compreso un sifonoforo) è rapportabile ad una specifica immagine bidimensionale, simbolica come una figura geometrica che preveda solo due dimensioni. Si può scrivere la doppia implicazione materiale:

$$SC \leftrightarrow FGB$$

SC = Sé corporeo

FGB = Figura Geometrica Bidimensionale.

L'equazione viene a corrispondere ad una similitudine geometrica, obbedendo alla relativa legge che si può così enunciare: due sistemi (o due figure geometriche) sono simili dal punto di vista geometrico se c'è corrispondenza biunivoca tra gli elementi dei due sistemi. Di conseguenza, il rapporto di segmenti omologhi ha un valore costante **L** che è il rapporto di similitudine geometrica, o scala di riduzione delle lunghezze. Se questa ipotesi è vera, ci sarà uguaglianza di segmenti omologhi, di angoli omologhi, un rapporto tra aree omologhe e ad un rapporto tra volumi omologhi. Ciò premesso, il sé corporeo di un qualunque organismo vivente, Uomo compreso, potrebbe corrispondere alle caratteristiche della propria figura bidimensionale. Nel caso della specie umana, questa figura bidimensionale sarebbe oggetto di valutazioni più o meno accurate, o di valutazioni abnormi da parte della coscienza propria o dell'altrui.

Nell'Uomo, la nozione d'identità personale (compresa la coscienza del sé corporeo) comporta almeno cinque condizioni.

- Continuità spazio-temporale dell'organismo vivente. Il corpo di un individuo adulto ha continuità nello spazio e nel tempo con quello di un bambino nato molti anni addietro,

a condizione che siano la stessa persona. Più di ogni altra cosa, è su questa continuità spazio-temporale che si basa l'opinione generale per cui l'individuo A ed il bambino B siamo la stessa persona.

- Le microparti non sono sempre correlate con l'identità. La continuità spazio-temporale non implica quella delle microparti di cui il corpo di un uomo è composto. A livello molecolare, le parti del corpo sono sostituite di continuo. Nessuna delle molecole che adesso compongono un organismo umano vivente c'era quando è iniziata la sua vita, ma è la stessa individualità perché c'è un continuum spazio – temporale tra l'attuale esistenza e quella di un remoto passato.
- Relativa continuità temporale della struttura. Un essere umano cresce fisicamente e poi invecchia, ma continua ad esistere come un essere umano, con una figura bidimensionale specifica.
- L'esistenza di una continua sequenza tra gli stati coscienti attuali e le coscienti esperienze, accadute in un passato più o meno remoto. Questa continuità proviene alla Mente da un insieme di precisi ricordi.
- La continuità della personalità che dà la certezza di vivere una esistenza propria. Nella vita di una persona, c'è continuità reattiva tra personalità e le sostanziali disposizioni. Può accadere che alcuni abbiano l'impressione di avere una duplice personalità. Questa impressione non è assillante, ma resta appunto, una semplice impressione che alle volte si manifesta, in particolare durante la pubertà. A volte, quest'individui avvertono la presenza di un sé, mentre altre volte questo sé ha una diversa identità, come si fosse sostituito al precedente. Il fatto interessante è che non c'è sovrapposizione di due personalità contemporaneamente in un unico corpo, ma a volte appare l'una ed a volte l'altra. il fenomeno potrebbe correlarsi all'offuscamento del nesso tra figura bidimensionale individuale e sé corporeo.

Stabilizzazione del sé corporeo. Nella vita di ognuno, numerosi fattori con una definita geometria contribuiscono alla stabilizzazione dell'omeostasi interna, rinforzando il sé corporeo. Altri tipi di strutture corporali avrebbero funzioni omologhe anche in un organismo privo di un vero sistema nervoso centrale, come il sifonoforo. Questi fattori rientrano nei principi generali della funzionalità organica. Ho elencato alcuni di essi, dividendoli in due gruppi. L'elenco potrebbe essere molto più lungo, coinvolgendo tutti gli organi ed apparati:

1. **Cono venoso con apice nell'atrio di destra. Là dove il flusso sanguigno venoso deve vincere la forza di gravità il cono venoso è provvisto di sistemi antigravitazione come le valvole semilunari venose.**
2. **Cono arterioso → principio di base → distribuzione dell'energia sistolica cardiaca (forza centrifuga) → arterie di tipo elastico (grosse arterie) ed arterie di tipo muscolare (piccole e medie) → lo stesso concetto di base vale sia per le arterie intestinali che per le bronchiali.**
3. **Rapporti costanti tra il volume della cavità cranica, il CFS (fluido cerebro-spinale) ed il volume del flusso sanguigno intracranici totale.**
4. **Autoregolazione cerebrale. L'effettiva pressione di perfusione cerebrale è data dalla differenza tra pressione arteriosa media (MAP) e ICP (pressione intracranica). Il termine usato è pressione di perfusione cerebrale (CPP): $CPP = MAP - ICP$**

Esempi di principi di funzionalità.

- **Principio generale di funzionalità:** omeostasi cerebrale ↔ rafforzamento del sé

corporeo.

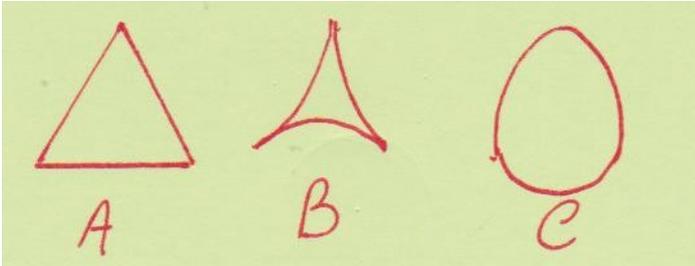
- **Principio generale di funzionalità circolatoria sanguigna:**

omeostasi vascolare ↔ geometria autosimilare dei coni arteriosi e venosi ↔ rafforzamento del sé corporeo.

Esempi di principi generali di funzionalità articolare, correlati con la sensibilità propriocettiva che rafforzano il sé corporeo (od io-corporeo):

1. **Artrodie: spazio piano euclideo ↔ superfici articolari piate e poco estese ↔ brevi movimenti di scivolamento di un osso sull'altro ↔ ammortizzamento delle pressioni corporee.**
 2. **Enartrosi: spazio sferico ↔ superfici articolari a forma di una semisfera. Nella semisfera, i meridiani che escono dal polo si allontanano e raggiungono la massima separazione all'equatore ↔ movimenti di rotazione, circonduzione, lateralità, adduzione ed abduzione.**
 3. **Condilartrosi: spazio sferico ↔ superfici ellissoidali ↔ movimenti intorno agli assi maggiori e minori dell'ellissi. Nella doppia condilartrosi, si hanno solo i movimenti intorno agli assi minori dell'ellissi.**
 4. **Ginglimi: spazio sferico ↔ movimenti di rotazione parziale intorno all'asse maggiore del cilindro.**
 5. **Articolazione a sella (simile al ginglimo) ↔ spazio iperbolico ↔ movimenti di flessione ed estensione, mai movimenti di lateralità molto limitati. Spesso esistono delle ossa sesamoidi di ampliamento di superficie iperbolica. Quanto più la parte centrale articolare è rilevata tanto più sono limitati i movimenti di lateralità, avendosi solo movimenti di flesso-estensione. In questo caso, dal punto di vista funzionale, l'articolazione a sella è simile ad un ginglimo angolare.**
- **A.** Spazio euclideo ↔ artrodie ↔ principio generale di funzionalità ↔ brevi movimenti di scivolamento tra superfici articolari piane ↔ ammortamento delle pressioni causate dal peso corporeo.
 - **B.** Spazio iperbolico ↔ articolazione a sella ↔ movimenti di estensione e flessione con limitati movimenti di lateralità. Articolazioni localizzate in prevalenza nelle estremità degli arti: tra la seconda e la terza falange negli equini, il rilievo intermedio è molto accentuato, ma tutti i movimenti sono limitati perché l'articolazione tra la seconda e la terza falange è compresa nella scatola cornea dello zoccolo.
 - **C.** Spazio sferico:
 1. Enartrosi ↔ principio generale di funzionalità ↔ movimenti ampi di circonduzione, abduzione, adduzione e di lateralità dell'arto. Principio generale di funzionalità ↔ quanto più la superficie semisferica è ampia tanto maggiori sono i movimenti articolari conseguenti.
 2. Ginglimi angolari ↔ principio generale di funzionalità ↔ movimenti di flessione ed estensione intorno all'asse maggiore del cilindro pieno. Principio generale di funzionalità: quanto più la superficie articolare è globosa, tanto più i movimenti di estensione e di flessione sono ampi.

3. Condilartrosi doppia ↔ principio generale di funzionalità ↔ movimenti di estensione e di flessione di un segmento di arto. I movimenti avvengono intorno agli assi minori delle ellissi. Principio generale di funzionalità: quanto più la superficie ellissoidale è globosa tanto maggiori sono i movimenti di estensione e di flessione.



In base alla configurazione spaziale bidimensionale della superficie articolare, se movimento c'è, avviene secondo specifiche modalità direzionali, indipendenti dal cervello. Comunque, questi movimenti sono parte integrante del sé – corporeo.

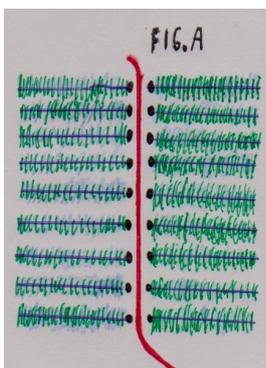
1. Livello → struttura e funzioni generali.
2. Livello → geometria bidimensionale.
3. Livello → movimento.
4. Livello → rafforzamento del sé corporeo.

In questi casi, il rafforzamento del sé corporeo avverrebbe secondo i seguenti stadi:

Geometria della superficie articolare → trasduzione da parte della materia cerebrale di specifici movimenti → Immagine mentale e rafforzamento del sé corporeo.

Ulteriori esempi di strutture organiche definite che oltre alle usuali funzioni meccaniche rafforzano il sé corporeo.

A). La matrice cartilaginea contiene cellule (condrociti), fibre collagene, elastiche, reticolari e proteoclicani: macromolecole glicoproteiche a struttura ramificata. Un proteoclicano (Fig. A) ha un lungo filamento polisaccaridico centrale (colorato di rosso), a cui si legano collateralmente centinaia di proteine filamentose (GAG) o glicosaminoglicani, disegnate nella **fig. A**, col colore verde-azzurro. Queste proteine si agganciano al filamento centrale, tramite un corpuscolo basale (corpuscolo rotondeggiante di colore nero). La disposizione a pettine dei glicosaminoglicani comporta un grande ampliamento di superficie che può assorbire, o liberare l'acqua interstiziale. Di conseguenza, la cartilagine articolare funziona come una spugna che si adegua alle necessità del carico meccanico. Quando si scendono le scale, l'ammortamento del peso corporeo è un gran parte dovuto ai proteroglicani delle cartilagini articolari.



B). Nella sostanza intercellulare ci sono anche fibre collagene, reticolari ed elastiche (**fig. B**). Le prime hanno elevata resistenza alle tensioni. Le seconde formano una struttura reticolare di sostegno e le terze sono composte da elastina, disposta a gomitollo, deformabile fino al 100-150% della sua dimensione. Le fibre delle cartilagini articolari assicurano elasticità e resistenza alla struttura che le contiene. In particolare, le fibre collagene hanno una specifica disposizione spaziale all'interno della cartilagine articolare definita ad arcata: le basi dell'arcata sono perpendicolari all'asse dell'osso che la cartilagine articolare riveste, mentre le parti superiori ricurve (convesse) sono tangenti alla superficie libera della cartilagine stessa. In questo modo, l'intera struttura diventa relativamente elastica, potendo scaricare le pressioni dovute al peso del corpo. Durante il movimento articolare, le arcate fibrillari si piegano come molle, si

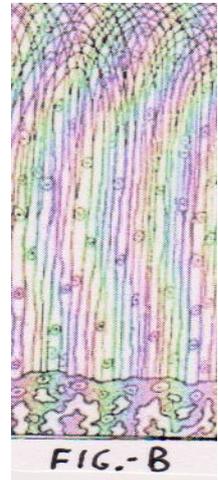
deformano elasticamente allargando le arcate ed ammortizzano gli urti tra gli opposti segmenti ossei.

Principi generali di funzionalità della cartilagine articolare. Assorbe i traumi della pressione meccanica e permette gli scorrimenti dei capi articolari. Non ha vasi e nervi. Si nutre per diffusione. Il carico intermittente permette la penetrazione dei nutrimenti e la rimozione dei cataboliti. Quando le forze pressorie agiscono sulla sua superficie, c'è cessione di acqua e deformazione. Se il carico meccanico diminuisce c'è assorbimento di acqua e ripristino della forma precedentemente modificata.

Osteoni. Principio generale di funzionalità ↔ quanto più la pressione di gravità su una determinata parte di osso è elevata, tanto più in quella zona ci sono osteoni completi. Di conseguenza, lo scheletro ha interne variazioni strutturali nell'arco dell'esistenza e man mano, diventa strutturalmente peculiare di quell'individuo, rafforzandone col tempo l'identità corporea **attraverso un tipo di apprendimento automatico** del cervello.

Correlati neuronali della coscienza. Secondo Nagel T. (1986), la parte davvero difficile del problema mente-corpo è quello inerente la coscienza. Supponiamo di disporre di una spiegazione soddisfacente in termini funzionalistici, materialistici, neurobiologici, di vari stati mentali: credenze, desideri, speranze, paure, ecc. Essa non basterebbe a spiegare la coscienza. Nagel lo illustra con l'esempio del pipistrello. I pipistrelli hanno uno stile di vita diverso dal nostro. Dormono tutto il giorno, appesi alle travi a testa in giù e di notte volano in giro. Si orientano recependo gli echi dei segnali sonar che fanno rimbalzare sugli oggetti solidi. Ora, dice Nagel, qualcuno potrebbe avere una conoscenza completa della neurofisiologia dei pipistrelli; potrebbe avere una conoscenza completa di tutti i meccanismi funzionali che permettono ai pipistrelli di vivere e di orientarsi in volo; mancherebbe comunque qualcosa alla conoscenza di costui: cosa si prova ad essere un pipistrello? Quali sensazioni si avrebbero? E questa è l'essenza della coscienza. Per ogni essere cosciente, c'è un aspetto *cosa si prova* della sua esistenza. Lo stesso potrebbe valere per un organismo come un sifonoforo. Ciò è fuori da qualsiasi spiegazione oggettiva della coscienza, perché una spiegazione oggettiva non può spiegare il carattere soggettivo della coscienza. Ammesso che l'output sia più ricco dell'input, deve intervenire una forma d'interna elaborazione che implichi la trasformazione dello stimolo. Una sorta di cambiamento nello stato mentale, interposto tra la stimolazione degli organi di senso e l'emissione della risposta. La Mente sarebbe concepita come un centro di elaborazione interna. L'individuale figurazione della realtà non è pura registrazione del mondo circostante, ma proviene da una costruzione mentale attiva attuata mediante processi di riduzione e d'integrazione. La nostra capacità di attenzione è limitata a un numero ristretto di stimoli fisici, di cui ricordiamo poco. È possibile che parte dell'informazione in ingresso vada perduta. In questo, caso c'è un processo di riduzione.

Il fenomeno della visione cieca dà spunti nell'indagine sulla natura della coscienza umana ed i possibili correlati neuronali. I pazienti affetti da questa sindrome hanno una lesione all'area visiva primaria (VI), nella parte posteriore del cervello. Possono vedere nella maggior parte del campo visivo, ma in una sua porzione sono ciechi pur dimostrando di sapere cos'accade nell'area di campo visivo non vista: da cui l'espressione "visione cieca". Un individuo con visione cieca può riferire che c'è una X o una 0 sullo schermo, però dice di non vederla. Dice di limitarsi a "tirare ad indovinare". Il fatto strano è che il paziente indovina ciò che non può vedere in una percentuale altissima di casi. Non è fortuna. In un caso del genere, sembra che, se potessimo trovare il punto del cervello in cui l'esperienza cosciente di una X si distingue dall'equivalente esperienza in visione cieca, potremmo scoprire il **correlato neuronale della coscienza**, relativa a quel tipo di esperienza visiva. Una seconda linea di ricerca si occupa della cosiddetta rivalità binoculare e della commutazione gestaltica. Se ad un occhio è presentata una serie di linee orizzontali ed all'altro delle



linee verticali, il soggetto non avrà l'esperienza visiva di una griglia, oscillando tra la visione delle linee orizzontali e la visione delle verticali. Essendo costante lo stimolo percettivo mentre l'esperienza cambia, occorrerebbe trovare il punto del cervello in cui lo stesso stimolo costante commuta dalla produzione dell'esperienza di linee orizzontali a quella dell'esperienza di linee verticali. Ciò fornirebbe il **correlato neuronale** di queste forme di coscienza.

C'è da precisare una cosa importante. Nel caso delle linee orizzontali e verticali, l'oscillazione dell'indagine visiva potrebbe collegarsi all'incapacità di alcune aree cerebrali dell'osservatore di effettuare le computazioni relative alla similitudine geometrica. Potrebbe darsi che l'accesso a questi tipi di processi nel caso delle linee orizzontali e verticali sia problematica, mancando la preferenza tra l'una o l'altra. Dare la preferenza per un tipo di attenzione seguirebbe i fenomeni legati alla similitudine geometrica, per cui il correlato neuronale della coscienza in questo tipo di operazioni cerebrali seguirebbe quello connesso con le inferenze della similitudine geometrica.

CONSAPEVOLEZZA OSCILLANTE TRA DUE FIGURE



ASSENZA DEL CORRELATO NEURONALE PER LA SIMILITUDINE GEOMETRICA



ASSENZA DEL CORRELATO NEURONALE DELLA PIENA CONSAPEVOLEZZA

La consapevolezza oscillante (o coscienza oscillante) potrebbe riguardare anche il sé corporeo, come nei casi di alcuni individui che hanno l'impressione di avere due personalità. C'è da ripetere un concetto: le allucinazioni e le percezioni emergono dalla stessa serie di processi. L'effettiva differenza tra i due fenomeni dipende dalla stabilità degli oggetti ed eventi esterni che la percezione stabilizza nella coscienza. Nell'allucinazione, come nel sogno, o in una vasca di deprivazione sensoriale, gli oggetti e gli eventi fluttuano senza una precisa direzionalità ed una forma definita.

Nel caso della consapevolezza oscillante tra due aspetti (linee orizzontali e verticali), il processo percettivo è ambiguo per mancanza della similitudine geometrica che non può avvenire. Alcuni architetti ed artisti figurativi producono immagini volutamente difficili da decifrare, o complessi arredi architettonici, provocando negli osservatori, in modo indiretto, il fenomeno della consapevolezza visiva oscillante.

La coscienza extra. In alcuni casi, sembra esistere un tipo di coscienza diversa per intensità dalla consapevolezza, rispetto a quella che normalmente conosciamo.

La si metta in questi termini. Ci svegliamo in una stanza buia. C'è la piena consapevolezza della situazione, pur essendo minimi gli input sensoriali. Non ci sono stimoli visivi e sonori. Non si vede e non si sente niente. L'unico input percettivo è quello conseguente al peso del proprio corpo sul letto e la percezione di essere sotto le coperte. E' possibile stare consapevoli e vigili in una situazione d'input percettivo minimo: comunque, il cervello elabora un campo cosciente completo.

Potrebbe invece trattarsi di un prolungamento dello stato cosciente, di coscienza extra che non è chiaro dove si produca e come. Immaginiamo ora che nella stanza buia ci alziamo, accendiamo la luce e cominciamo a muoverci. Stiamo forse creando coscienza? Beh, in un certo senso sì, perché ora ci sono degli stati coscienti che prima non c'erano. Ma è preferibile pensarla così: non si sta creando nuova coscienza; si sta modificando il campo di coscienza preesistente. Da uno stato di coscienza ridotto, si sta passando ad uno di coscienza pieno. Per il modello del campo unificato, non dovremmo considerare gli input percettivi come qualcosa che crea i singoli blocchi da costruzione della coscienza, ma come qualcosa che modifica un campo di coscienza preesistente alle percezioni, con picchi, avvallamenti ed aggiunte.

Input sensoriali → campo di coscienza normale

Input sensoriali minimi → campo di coscienza extra.

L'esistenza di un insieme di processi extra di livello inferiore o superiore, all'interno di un più vasto campo unificato della consapevolezza potrebbe avere più probabilità dell'approccio particolaristico nel tentativo di fornire una soluzione al problema della coscienza. Blocchi da costruzione minimi, o di diversa densità, o **quantità di coscienza** formerebbero la coscienza extra e blocchi da costruzione massimi e pesanti sagomerebbero la coscienza normale di un essere umano. Blocchi da costruzione leggeri sarebbero la base anche dell'io-onirico.

Blocchi di costruzione di diversa valenza, derivanti dalle sensazioni del mondo circostante, o dall'interno del corpo (sensibilità interocettiva) non creano coscienza, ma modificano il campo preesistente della coscienza individuale. Solo se c'è questo campo uniforme nell'io corporeo (o sé corporeo), c'è coscienza normale ed extra. Secondo Prinz J. (2010), la coscienza visiva sarebbe localizzata nello strato intermedio (V2-V7). Partendo dall'ipotesi di Prinz, la coscienza visiva extra avverrebbe invece nella V1, ma anche in livelli alti, tranne che negli intermedi.

L'argomento che segue sulle ipotesi di Prinz, è stato in parte già trattato in un mio precedente lavoro col titolo "Fisica quantistica e funzioni mentali superiori".

Le ipotesi di Prinz J. (2010). Prinz descrive tre livelli: un livello della visione basso, uno intermedio ed uno alto.

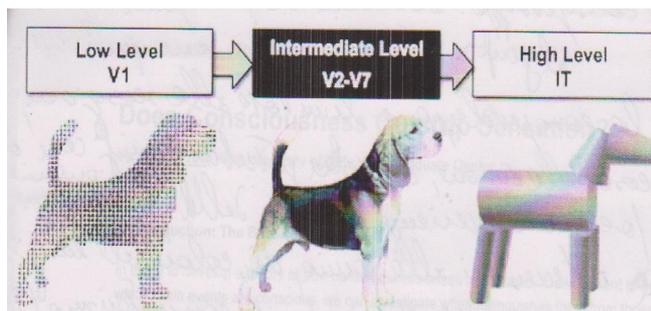
1. Livello basso della visione. E' connesso all'elaborazioni della corteccia visiva primaria (V1) ed ha la funzione di registrare numerosi particolari locali, come piccoli bordi e frammenti di colore.
2. Livello intermedio della visione. E' distribuito lungo una serie di aree cerebrali da V2 a V7. In queste stazioni, l'attivazione neuronale integra aspetti locali in un insieme coerente. Allo stesso tempo, queste aree visive conservano la componente strutturale (fisica) dello stimolo. Il livello intermedio rappresenta figurazioni viste da particolari punti vantaggiosi, separate da uno sfondo e localizzate in specifiche posizioni del campo visivo.
3. Livello alto. C'è astrazione dalle precedenti forme. Si originano rappresentazioni invariante da una gamma di differenti posizioni circa l'oggetto osservato. Alcune delle rappresentazioni invariante facilitano il riconoscimento dell'oggetto osservato. Vista da diverse angolazioni, in una mutevole luminosità, una rosa induce lo stesso livello di risposta, riconoscendola come la medesima. Per esempio, c'è l'individuazione (la determinazione) come *il medesimo* circa il fiore che stiamo osservando sotto differenti luminosità ed angolazioni. Le funzioni del livello alto presuppongono l'esistenza di circuiti neuronali fissi, all'interno dei quali c'è l'incapsulamento informativo. E' probabile che nel livello alto, le immagini visive bidimensionali siano inserite in un contesto tridimensionale. Nel livello alto, forse avviene anche la definizione della corretta relazione tra gli elementi dell'espressione linguistica (sintassi), già in parte determinata nel livello medio.

Prinz è certo che la consapevolezza provenga dal livello intermedio. L'esperienza del mondo si forma dall'osservazione di una ristretta serie di oggetti, sotto un particolare punto di vista. Vediamo gli oggetti non come disgiunti, grezzi, appuntiti, ma come astrazioni costanti, come pure idee. Per una migliore comprensione, Prinz considera alcuni elementi dei livelli bassi e di quelli alti, insiti nel processo visivo.

- I contenuti del livello basso non sembrano raccordarsi con l'esperienza del mondo circostante. Per esempio, nel caso di due distinti colori messi in rotazione o in vibrazione, noi facciamo esperienza solo di un unico colore, quello che risulta dalla fusione cromatica dei precedenti (colore derivato). Invece, il livello visivo basso tratta i colori in movimento rapido come disgiunti. Nel livello intermedio

avviene la fusione cromatica, Jiang Y. et all, (2007). Il livello basso sembra non registrare la percezione immediata dei contorni che sono rilevati presso aree adiacenti, Schira M. et all., (2004). C'è un altro particolare. Il riflesso oculare non perviene al livello intermedio V3. L'attività V1 non si espande oltre perché il riflesso oculare non è percepibile, (Bristow D. et all., 2005). Le ricerche di Ruckl, J.G. et all. (1989) hanno ben evidenziato come l'apprendimento sia più rapido ed efficiente quando le parti di un compito sono distribuite tra due sottoreti che hanno in comune solo le unità d'input. Nel sistema nervoso, lo sdoppiamento di una stessa funzione è più efficiente dal punto di vista computazionale. Invece, alcune importanti attività visive restano localizzate alla V1.

- Il livello visivo alto ha maggiori funzioni di quello basso, ma è carente di altri attributi indispensabili per addivenire alla consapevolezza. Molti neuroni della sfera alta sono del tutto indifferenti alla dimensione degli oggetti, al loro posizionamento ed orientamento. Il livello neuronale alto può anche essere indifferente alla preferenza per una delle due mani, attivandosi allo stesso modo, sia che un oggetto arrivi da destra o da sinistra. Inoltre, i neuroni del livello alto spesso rappresentano un insieme di forme, ma si comportano allo stesso modo di un solo neurone, come se un unico neurone possa corrispondere alla rappresentazione di una faccia per intero, pur essendo le facce conformazioni molto strutturate, con particolarità visibili in modo chiaro. Al contrario, i correlati della consapevolezza visiva non sono codificabili in modo sparso. Così come è possibile focalizzarsi su parti differenti di una stessa faccia, possiamo anche rilevare in modo selettivo l'attivazione di corrispondenti neuroni, a partire da una faccia, piuttosto che avere un unico neurone che corrisponda al tutto. Prinz dice che nel processo visivo, le uniche cellule che s'identificano con l'esperienza sono quelle del livello intermedio. Ciò potrebbe essere vero anche per gli altri sensi. Per esempio, nel declamare una sentenza, le parole e le frasi si uniscono in un contenuto coerente, come avviene nel livello basso del processo uditivo. Nei sensi, il livello intermedio sarebbe l'unico nel quale la percezione è consapevolezza.



L'illustrazione qui a fianco mostra tre figure di uno stesso cane. Secondo Prinz, solo nel secondo livello del processo visivo, quello che si sviluppa nelle aree che vanno da V2 a V7 c'è consapevolezza. Nei livelli bassi ed alti, ci sarebbe la prevalenza della coscienza extra.

La coscienza extra, o stadio di coscienza lassa, avrebbe il correlato neuronale scoperto

da Carly J.L. & Yu-Chin Chiu (2007). Gli autori riferiscono di una serie di computazioni neurali inconsce nella corteccia pre-frontale, atte al controllo della corretta attività cognitiva. Questi processi s'innescerebbero quando la percezione cosciente è vaga ed ondulante.

Stimolando con microelettrodi i neuroni della corteccia motoria, il neurochirurgo Wilder Penfield (1991), scoprì che i suoi pazienti muovevano un braccio. I pazienti dicevano:

“Non sono io che l'ho fatto, è stato lei.”

Questa esperienza è diversa dall'azione volontaria di alzare il braccio. Di norma, quando si alza il braccio intenzionalmente, si ha esperienza dell'efficacia causale dell'intenzione in azione cosciente che produce il movimento corporeo. Invece, se qualcuno ci urta, abbiamo una percezione che non avvertiamo come prodotta da noi stessi. L'avvertiamo come causata dall'urto contro di noi del corpo di quella persona. In entrambi i casi, azione e percezione sono connesse da una relazione di causa-

effetto all'interno di uno specifico campo cosciente. Nel caso dell'azione, c'è la consapevolezza che i nostri movimenti corporei sono determinati dall'intenzione cosciente di causarli. Nel caso della percezione, c'è esperienza della causazione in noi di esperienze percettive da parte di oggetti e stati di cose del mondo.

Secondo Prinz J. (2010) le immagini verbali sarebbero il vero veicolo del pensiero e quest'ultimo avrebbe influenza sulla fenomenologia. Il pensiero agisce sul comportamento individuale tramite le immagini verbali, l'emozioni e le immagini visive. Solo la trasposizione in immagini mentali, o in parole con un chiaro significato, o in emozioni rende il pensiero oggetto di attenzione e raggiunge la consapevolezza. I fenomeni della consapevolezza sarebbero costruzioni di rappresentazioni mentali, formatesi nel secondo livello sensoriale (visivo, acustico ecc.). Pur contenendo rappresentazioni di pochi oggetti, questi fenomeni non sarebbero concettuali senza consapevolezza. L'inserimento di concetti nell'esperienza non serve.

Riflesso della prensione. Nel riflesso della prensione, anche se si tratta di un atto automatico ed involontario, c'è un minimo d'esperienza cosciente (coscienza extra), essendoci un sottile campo di coscienza (quanti di coscienza) che la sottende. Il riflesso della prensione è presente anche in bambini anencefali ed in questi casi non esiste alcun campo di coscienza, così come intesa negli esseri umani. Ricerche di oltre cinquant'anni fa dimostrarono che si tratta di un atto involontario, presente nell'Uomo e nei primati. Secondo Giordano G.G. (1955), quando un bambino normale può camminare da solo, il riflesso della prensione scompare del tutto. Ciò implicherebbe il pieno controllo volontario dei piedi.

Per Bollea G, Ederli A. (1949), dopo i dodici mesi nel bambino, si realizza la prensione volontaria che da quest'età diventa sinergica per la collaborazione dei muscoli agonisti ed antagonisti. Il riflesso della prensione diventa anche pluricettivo con attivazione degli esterocettori e propriocettori, espressione dell'atto corticale. La comparsa della prensione volontaria nel bambino ha un significato più ampio di un semplice atto motorio. Fino a questo punto, il bambino portava tutto alla bocca, perciò la ricca innervazione labiale e linguale gli forniva informazioni sul mondo esterno. In un secondo tempo, si servirà delle dita nell'esplorazione delle forme, della consistenza e delle superfici e calore delle cose. Secondo alcuni, il manifestarsi nel bambino dei fenomeni della prensione implica il coinvolgimento dei lobi frontali. Sembra che abbiano queste funzioni la parte interna dell'area 6, detta area motoria supplementare e la prima circonvoluzione limbica.

In rapporto con le scimmie antropomorfe, lo sviluppo motorio del bambino è più lento. Nel bambino, il riflesso – automatico ed involontario – di questo tipo di prensione tende a scomparire intorno al decimo mese di vita. Altri autori studiarono il riflesso della prensione sotto la pianta del piede, vedendolo scomparire quando il soggetto imparava a camminare, diventando un atto volontario.

RIFLESSO DELLA PRENSIONE INVOLONTARIO → COSCIENZA EXTRA

RIFLESSO DELLA PRENSIONE VOLONTARIO → COSCIENZA NORMALE

C'è da dire che la sensibilità mentale è diversa dalla sensibilità neuronale perché è costituita dalla dinamica di altre interazioni senzienti. È una sensibilità di ordine superiore emergente da una base di sensibilità neuronale, inserita nello stato omeostatico dell'intero organismo. In tal modo, la sensibilità soggettiva è più complessa nella sua organizzazione dinamica e quindi esemplifica delle proprietà emergenti che non trovano corrispondenza nei livelli inferiori. Nei bambini anencefali che hanno il riflesso della prensione, c'è solo la sensibilità nel midollo spinale, parte minima del *continuum di coscienza*, Searle J.R. (2012). Questo continuum sarebbe un riverbero comunque di coscienza extra. Si può scrivere:

RIFLESSO DELLA PRENSIONE INVOLONTARIO → SENSIBILITÀ NEURONALE

Hines M. (1942 e 1947), esaminò il riflesso della prensione in 24 scimmie, scegliendole tra differenti famiglie. L'autore concluse che il riflesso della prensione era provocabile nelle prime fasi dell'età evolutiva. È molto valido nei primi mesi di vita, poi va diminuendo d'intensità fino a scomparire. In alcuni gorilla, questo tipo di riflesso era ancora presente, sia alle mani sia ai piedi intorno ai 14 mesi di vita. In altri tipi di scimmie, scompariva verso i 16 mesi ed in altre si protraeva, ma appena evidente, fino ai due anni. Tali osservazioni autorizzano ad affermare che nelle scimmie come nell'Uomo, il riflesso della prensione si manifesta nelle prime fasi dell'età evolutiva scomparendo gradualmente.

SCIMMIE. RIFLESSO DELLA PRENSIONE INVOLONTARIO



COSCIENZA EXTRA

SCIMMIE. RIFLESSO DELLA PRENSIONE VOLONTARIO (intorno ai 14 mesi di vita)



COSCIENZA NORMALE PER UN PRIMATE

Trevarthen C. (1996), sostiene che i feti abbiano meccanismi d'integrazione e di espressione motoria del cervello, sviluppati attraverso interazioni con persone del mondo esterno. La definitiva dominanza di una delle due mani si stabilirebbe dal primo anno di vita extrauterina. Inoltre, l'autore riferisce che nella seconda metà del 5° anno, i bambini si dimostrano capaci di manipolare gli oggetti.

FETI UMANI. ESPRESSIONI MOTORIE → COSCIENZA EXTRA.

L'automatismo cardiaco non sarebbe solo un fatto meccanico. L'automatismo cardiaco comporta la regolare contrazione miocardica; è dato dal nodo del seno, da quello atrio-ventricolare, dal fascio di Hiss e dalla rete di Purkinie. Il nodo del seno non sarebbe solo un pace-maker. Da quanto argomentato, si può scrivere:

FASCIO DI HIS → CONTRAZIONE CARDIACA → COSCIENZA EXTRA

Nel caso di un infarto cardiaco avvertito dal soggetto, c'è sensibilità mentale collegata ad uno stato di pienezza cosciente. Si può scrivere:

CONTRAZIONE CARDIACA ANOMALA O BLOCCO DI ESSA



PERCEZIONE COSCIENTE

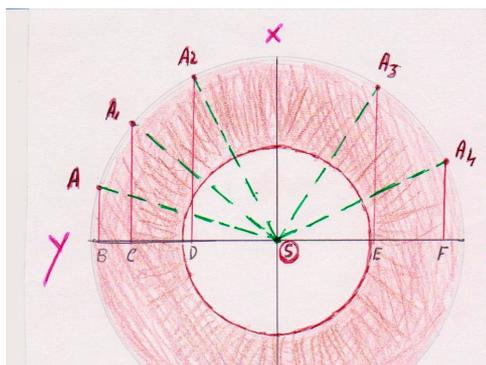
Il limite tra coscienza piena e coscienza extra non è definibile, perché nelle rispettive espansioni, l'una può invadere il campo dell'altra. Si tratta di un limite dinamico. Lo stato cosciente pone diversi problemi per lo più connessi con la materia cerebrale che lo sottende. C'è un corpo fisico che comunque ha una sequenza di eventi mentali, di stati coscienti e di processi cerebrali non coscienti, o quasi coscienti (coscienza extra). Il punto focale è se al di là degli stati mentali esista un'entità a sé stante, indicata come coscienza (compreso la coscienza extra). L'esperienze individuali non avvengono in una sequenza disordinata e caotica. Searle dice che tutte l'esperienze che abbiamo in un dato momento sono tali in quanto parte di un singolo campo di coscienza

unificato. Questo campo di coscienza unificato potrebbe comprendere anche la marginale coscienza extra. Searle dice che il possessore del campo di coscienza unificato ha esperienza della continuazione del campo nel tempo come prosieguo della propria coscienza. Cioè, non esperisco la mia coscienza di cinque minuti fa, o di cinque anni fa, come scollegata dall'attuale. Invece, ho l'esperienza di una coscienza continua, interrotta da fasi di sonno. Searle dice che c'è la sensazione del passaggio del tempo anche durante il sonno, perlomeno nel senso che, quando ci si alza, si ha la sensazione che sia passato un periodo di tempo più o meno lungo mentre si dormiva. Questo, invece, non c'è nelle persone che abbiano perso coscienza in seguito a un trauma o a un'anestesia. Metzinger T. (2010) dice che c'è un robusto e cosciente sé anche in uno stato privo d'emozione, in atti privi di volontà ed anche in assenza di pensiero. Emozioni, volontà e pensieri e forse anche le sensazioni e le percezioni non sarebbero necessari per il senso fondamentale del sé. Chiunque è abituato alla meditazione può confermare che si può entrare in uno stato di calma emotivamente neutro, essere molto rilassati e nello stesso tempo vigili, in una condizione di pura osservazione, senza alcun pensiero, pur conservando una certa forma elementare di auto coscienza corporea. Metzinger definisce questo speciale stato come *ipseità incarnata*. Ciò che Metzinger indica come *ipseità incarnata* potrebbe rassomigliare all'assenza di un *io vero corporeo* come nel riflesso della prensione descritto da Hines M. (1947), già attivo nell'Uomo e nelle scimmie, durante i primi periodi di vita. La coscienza extra è la parte di autoconsapevolezza (consapevolezza automatica involontaria, o consapevolezza in potenza), strettamente connessa col corpo e con la sua omeostasi generale.

La **coscienza extra** è chiaramente dimostrabile in individui soggetti allo sdoppiamento, o alla traslocazione dall'io – corporeo, o sé corporeo. Metzinger T. (2010), espone i dati sperimentali di persone sottoposte allo sdoppiamento ed alla traslocazione dell'io dal proprio corpo. Con la stimolazione elettrica con elettrodi piantati in specifiche aree cerebrali, l'Autore dice di aver prodotto diverse forme di sensazione di presenza del proprio sé al di fuori del corpo, allucinazioni autoscopiche, euatoscopia (il vedere se stessi di fronte) ed esperienze extra corporee. La stimolazione del giro angolare sinistro induceva nel paziente la percezione di una persona - ombra nascosta dietro di sé. La stimolazione elettrica del giro angolare destro dava l'esperienza extra corporea, come se il paziente fluttuasse sotto il soffitto e guardasse giù, verso di sé.

Tutto ciò indica l'esistenza di una continuità della coscienza, sia pure extra, in fenomeni come lo sdoppiamento e la traslocazione della propria identità, così come nel sonno profondo. Le coscienze normale ed extra sono di solito strettamente connesse con qualsiasi tipo di esperienza corporea.

Io – onirico ed io corporeo (sé corporeo). Nell'io onirico, i parametri spazio – temporali tendono ad uniformarsi e quasi scompaiono, come se si fosse arrivati a livello della scala di Plank. Di conseguenza, i nessi logici del flusso immaginifico propri del sogno non esistono e persone da tempo morte possono continuare a vivere senza che l'io – onirico si spaventi, o si meravigli. La circonferenza in bianco col centro in S, circondato dalla corona circolare in rosa (fig. ξ), rappresenta l'io – onirico. L'io - onirico corrisponde all'io immaginifico dei sogni, mentre l'io – corporeo si ricollega al mito dell'**anima - corpo** di molti popoli primitivi e trova riscontro nel



concetto moderno di **Io – desto e di Io – cosciente**. Nel *Timeo*, Platone dice che nei sogni l'anima si muove in una maniera diversa, secondo lo stile della *phantasia*, seguendo urgenze non legate alla logica ed alla razionalità. Questo sfondo di *phantasia* che accompagna il flusso (Fig. ξ) continuo della coscienza, presente anche nel sonno

fig. ξ - (Searle J.S., 2012), potrebbe essere ciò che è stato definito nel presente saggio, come *coscienza extra*.

Nella fig. ξ , l'io – corporeo comprende la corona radiata in rosa, avente come diametro il segmento BF. L'io –

corporeo (o sé corporeo) sarebbe presente nell'individuo durante lo stato di veglia come espansione dell'io – onirico. Nella veglia, quest'ultimo si riduce e s'assottiglia in uno stato latente, in potenza, volendo usare un termine aristotelico. La funzione principale dell'io corporeo sarebbe quella di relazionarsi nel modo più diretto ed immediato col mondo circostante e col proprio corpo vivente. Questo tipo di relazionarsi dell'io – corporeo con l'ambiente circostante e con quello interno avviene comunque ad un livello immaginifico, dove però i parametri di spazio e di tempo sono ben delimitati, secondo logica. Le immagini dell'io – onirico possono rappresentarsi come una sequenza non ordinata di triangoli come nella figura ξ cioè: ASB, A₃SE, A₂SD.... Le immagini dell'io – corporeo avvengono secondo una sequenza spazio temporale il più esatta possibile, almeno a livello mentale: ASB, A₁SC, A₂SD...Tra le singole immagini mentali, sia dell'io onirico che di quello corporeo, ci sarebbero rapporti costanti di durata (aree omologhe) sequenziale. Ogni rappresentazione mentale avrebbe una specifica durata, sia nella sfera dell'io – desto che di quella dell'io – onirico. Questa rappresentazione mentale è fatta di quanti di coscienza ed è definibile come entità figurale di durata. Potrebbe esserci un rapporto costante di durata tra l'entità figurale dell'io desto (io corporeo) e quelle dell'io-onirico.

Nel sonno, c'è uno stato esistenziale che sotto certi aspetti rassomiglia alla vita fetale. Per questo, l'io fetale e l'io onirico sembrano avere molti aspetti in comune. Nel sonno, il dominio immaginifico dell'io- onirico s'espande, mentre l'io-corporeo finisce col divenire una propagine dell'io onirico. Le immagini del sogno partono dal corpo, ma poi veleggiano nel mare squisitamente immaginifico della fantasia, dei ricordi e delle sensazioni trasmutate in immagini.

Il flusso delle immagini mentali (fatte di quanti di coscienza) è continuo sia nell'io sveglio che nell'io-onirico. La differenza è che da svegli c'è la piena consapevolezza (coscienza piena) e nel sonno c'è coscienza extra (con pochi quanti di coscienza). Nei mammiferi, esistono differenze importanti in riferimento alla massa cerebrale in *toto*, alla sua micro-struttura ed al rapporto sostanza bianca/sostanza grigia. Le differenze morfo – strutturali e funzionali si ripercuotono sull'adattamento all'ambiente, in base all'elaborazione consequenziale di una specifica coscienza, dove quella extra sembra molto espansa, anche nell'animale sveglio.

Ritardi di consapevolezza. Gli esperimenti di Libet B. (1981) dimostrerebbero l'importanza e la vastità della coscienza extra, nell'Uomo. In una sequenza d'esperimenti, i soggetti erano stimolati con deboli correnti tramite elettrodi inseriti in zone circoscritte della corteccia coinvolte nella sensazione cutanea. Libet rilevò in essi un intervallo di tempo di circa 0,5 sec. tra la sollecitazione e la relativa esperienza, avvertita in modo cosciente. La sollecitazione con una durata inferiore, non era percepita coscientemente dal soggetto. La ricerca mirava all'individuazione di un rapporto diretto tra intenzione cosciente - la volontà del soggetto - di compiere determinati movimenti ed attivazione di specifici gruppi neuronali, segnalata da potenziali elettrici e misurati con elettrodi posti sul cranio. Libet trasse le seguenti conclusioni:

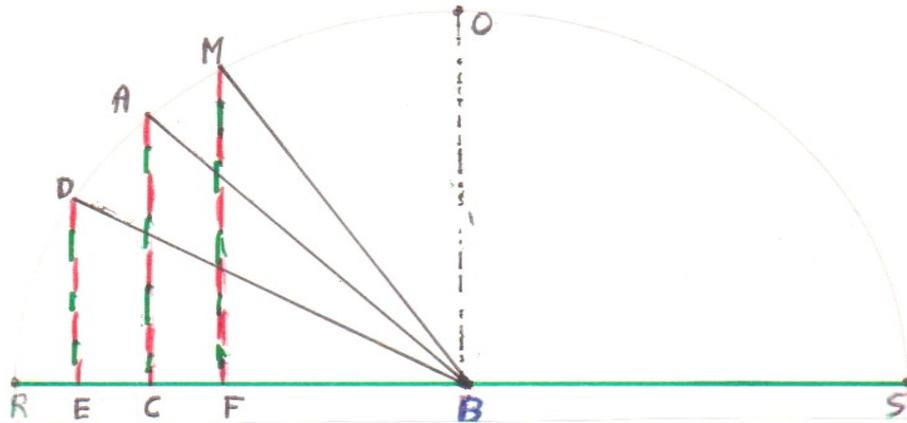
- Le azioni volontarie incominciano a livello neurale, come segnalato dal potenziale di preparazione, ma solo dopo (almeno 300-350 msec. dopo) il soggetto è consapevole dell'intenzione di agire.
- Tuttavia, se l'attività cerebrale preposta all'azione volontaria si manifesta *prima* del risveglio della volontà di agire, questa appare piuttosto una conseguenza dell'attività stessa e non il fattore che la determina. In tale prospettiva, la concezione di un soggetto che agisca in maniera autonoma è compromessa.

In lavori successivi, Libet B. (1996 e 1999) dà al **libero arbitrio** un ruolo minore rispetto a quello riconosciuto di norma: il libero arbitrio non sarebbe la capacità di avviare l'azione. Invece, il libero arbitrio sarebbe la possibilità di decidere se dar corso all'azione, o se inibirla. Nel preciso momento in cui si manifesta l'intenzione cosciente (300-350 mil. sec. dopo l'inizio del potenziale di preparazione, ma 150-200 mil. sec. prima dell'effettivo inizio dell'azione), il ruolo della volontà – cioè il libero arbitrio - si svolgerebbe solo nel senso del controllo e dell'inibizione, nei confronti di

azioni predisposte in maniera del tutto inconscia, a livello neuronale. I dati di Libet potrebbero essere la dimostrazione di una coscienza extra che precede di 300-350 msec. l'atto cosciente ed a volte lo segue o lo ingloba. Le cose dovrebbero stare così: in un organismo vivente, un organismo complesso come l'Uomo, negli stati di assenza o di riduzione di consapevolezza piena (coscienza), subentra quella extra. All'io desto, si sostituisce a volte, l'ombra della coscienza extra.

Le tesi di Libet facevano intendere che la volontà soggettiva fosse un correlato secondario all'atto motorio e sensitivo. Libet afferma che solo una *funzione cosciente* sia sufficientemente adatta per la mediazione sui pro e sui contro del veto decisionale, per esempio di sollevare un braccio in un determinato momento. Dennett D.C. (1991, a), parla del *riferimento all'indietro nel Tempo di Libet della coscienza*. Sulla base di questa ipotesi una persona decide per davvero di dare una frustata in aria effettivamente quando lo mostra l'RP (readiness potential o potenziale di prontezza) nel suo cervello, senza alcun ritardo. Tuttavia, non non si può confrontare la decisione cosciente col risultato computazionale proveniente dal centro della visione, se non dopo l'intervallo di 300 millisecondi o più, che è il tempo necessario perché quella decisione maturi prima di entrare nella camera del confronto. Gli esperimenti recenti di Sinigaglia C. e coll. (2011), tramite metodiche più raffinate di neuro immagine hanno evidenziato il seguente fenomeno, nell'Uomo. Esistono aree corticali motorie e zone del cervelletto, attive già dai sei ai dieci millisecondi prima che arrivi la consapevolezza di eseguire uno specifico movimento. Esisterebbe l'attivazione inconscia di alcuni muscoli della mano destra nell'attimo in cui si vede un oggetto (ad esempio un bicchiere pieno di acqua) che si può afferrare (e berne l'acqua), purchè si posizioni l'oggetto ad una distanza accessibile. Al contrario, la vista dello stesso oggetto ad una distanza non raggiungibile, o impendibile (come un albero, o lo stesso bicchiere di acqua, ma molto lontano) gli stessi muscoli della mano restano inattivi. L'evento avverrebbe senza la partecipazione della consapevolezza e lascia intendere che possa esistere un tipo di *IO* sconnesso a volte dall'io corporeo. Invece, questo tipo di *Io* sarebbe in relazione col flusso delle immagini mentali della coscienza extra. In via teorica, ci si può riferire al pensiero di Whitehead A.N. & Russell B., (1977). I due scienziati e filosofi dicono che qualsiasi cosa si riferisca ad una totalità non può essere essa stessa parte di questa totalità, cioè non può riferirsi a se stessa senza cadere nei paradossi dell'autoreferenzialità. Per questo forse, l'*Io corporeo* non può comprendere del tutto se stesso. Dev'essere una entità che può separarsi dal corpo, non identificabile interamente con l'*Io corporeo* ed esistente come realtà immaginifica extra, o coscienza extra.

Concentrazione neuronale e coscienza umana. Quest'ultimo paragrafo è incentrato sulla descrizione delle differenze di concentrazione neuronale tra Uomo ed altre specie di mammiferi, come base di una coscienza più complessa. Il segmento **AB** indica un sistema di reti neuronali in serie. Tali reti producono vere rappresentazioni mentali. Il segmento **AB** oscilla all'interno di un sistema frattale di reti neuronali. Negli scimpanzè, il segmento **DB** non è molto distante da **RS** (base di partenza dell'evoluzione cerebrale nei primati) e di conseguenza, DE è minore di AC e di MF. AB è in una distanza più o meno intermedia da DB ed MB e quindi AC è maggiore di DE ed è minore di MF. Il segmento MB (*Homo sapiens sapiens*) produce la perpendicolare **MF** che è maggiore dei precedenti AC e DE. I segmenti DE, AC ed MB indicano sia il Q.E. che la complessità della corteccia cerebrale, nell'Uomo. Hart B.L. et al. (2008) hanno dimostrato molto bene le differenze di concentrazione neuronale corticale nell'Uomo, Scimmia ed Elefante. Nell'Uomo, questa concentrazione è molto più elevata. Nell'Elefante, è molto espansa la sostanza bianca con numerose fibre mielinizzate di connessione a largo raggio. Al contrario, la concentrazione neuronale cerebrale è bassa, sia nella Scimmia che nell'Elefante, in paragone con *Homo sapiens sapiens*. In definitiva, perché si sviluppi una Mente di tipo umano sono importanti i parametri qui di seguito elencati elencati:



Il segmento **RB** indica il volume del cervello rettiliano: va riducendosi dagli scimpanzè (EB), agli ominidi (CB), fino ad Homo sapiens *sapiens* (FB). Invece, la complessità cerebrale ed E.Q. (il quoziente di encefalizzazione) aumentano da **DE** (corteccia cerebrale degli scimpanzè), ad **AC** (corteccia cerebrale di Homo habilis), fino ad **MF** (corteccia cerebrale di Homo sapiens sapiens).

- Volume cranico elevato, ma non in modo eccessivo. *Homo di Neanderthal* aveva una capacità cranica maggiore di Homo sapiens *sapiens*, ma ciò non implicò una maggiore capacità intellettiva. Specie di delfini dell'Eocene, attualmente estinti, avevano una capacità cranica superiore a quella dei comuni delfini attuali.
- Alta densità neuronale, in particolare a livello corticale, con un elevato **FD** (coefficiente di dimensione frattale). Un frattale è un sistema ad invarianza di scala, sospeso tra Chaos ed Ordine. Nei sistemi naturali, la struttura dell'intero sistema è spesso riflessa in ogni sua parte. La spiegazione potrebbe essere che le forze modellanti l'intero sistema somigliano a quelle che ne modellano una singola parte. Infatti, un sistema è autosomigliante se forze simili operano a vari livelli di scala.
- Il semicerchio con il centro in B e che passa per i punti D - A - M - O sarebbe la costante temporale evolutiva, riguardante tutte le specie viventi.

La coscienza extra, collegata per lo più all'io corporeo, sarebbe molto consistente in animali con elevato volume cerebrale e con una grande quantità di sostanza bianca, rispetto alla grigia, come gli elefanti ed i cetacei. Viceversa, nell'Uomo, sarebbe accentuata la coscienza densa, o autocoscienza, o psiche, o approfondita consapevolezza di sé e del mondo circostante.

**VOLUME CRANICO ELEVATO ED ESTESA SOSTANZA BIANCA
(Elefante, cetacei)**



**COSCIENZA EXTRA COLLEGATA ALL'IO-CORPOREO INFERIORE
ALLA PIENA CONSAPEVOLEZZA**

**VOLUME CRANICO ELEVATO E MARCATO SVILUPPO DELLA SOSTANZA GRIGIA
CEREBRALE**



**COSCIENZA Densa (IO PSICHICO) COLLEGATA ALL'IO - MENTALE
(Uomo).**

COSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nell'accezione più elementare, la sensazione è la capacità di elaborare input sensoriali. Essa ha la sua radice in processi più elementari, somiglianti all'esperienza mentale, ma alla lontana. Gli organismi viventi sono sensibili alle influenze dell'ambiente, ma non solo nel modo in cui la maggior parte degli oggetti materiali possono essere modificati dall'interazione con altri oggetti e forze. Gli organismi viventi sono sistemi dinamici e non si limitano a reagire alle perturbazioni in termini meccanici e termodinamici, ma sono per lo più organizzati per avviare cambiamenti della propria dinamica interna, compensando attivamente modifiche estrinseche, o interne carenze. In questo senso così elementare, la sensazione non è passiva, ma attiva ed è conseguenza diretta di una organizzazione dinamica con precise finalità. In un organismo vivente come l'umano, esistono processi dinamici di ordine superiore emergenti da processi dinamici di ordine inferiore. Per cui non sarebbe sorprendente l'esistenza di forme emergenti di ordine superiore anche di sensibilità, al di là di quella dei più semplici componenti cellulari del corpo e del sistema nervoso. Queste forme emergenti, ai confini dello stato cosciente normale, farebbero parte della coscienza extra. Una delle ipotesi avanzate nel presente saggio è che in un organismo vivente, tutti i fenomeni dinamici necessariamente dipendano ed emergano, da più semplici processi dinamici. Ciò implica che le complesse caratteristiche intenzionali che caratterizzano pensieri ed esperienze soggettive debbano emergere da un retroterra di processi dinamici, in accordo con lo stato di omeostasi cerebrale. Inoltre, i fenomeni dinamici di ordine inferiore collegati alla sensazione ed alla percezione devono formare aspetti indicativi della vita mentale. Terrence W. Deacon (2012) dice che non ci si può avvicinare alla questione della sensazione e della percezione senza tener conto dei necessari contributi offerti dalla dinamica dell'esperienza mentale e della funzione cerebrale.

Così, il rapporto *Mente/corpo* acquista una diversa valenza.

Le neuroscienze non riescono a spiegare le soggettive differenze nella percezione di eventi esterni ed interni al proprio corpo e non aiutano nella comprensione della personale sensibilità verso il mondo circostante. In particolare, le differenze soggettive nel processo visivo, nell'uditivo e nella cinestesia del proprio corpo non chiariscono il problema della loro intrinseca, od estrinseca derivazione.

Mentali computazioni correlate all'analisi delle onde elettriche provenienti dal processo visivo, gl'input acustici derivanti dagli orecchi e quelli odoriferi dalla mucosa olfattiva avvengono sulla base delle tre similitudini: geometrica, cinematica e dinamica. Per esempio, le cellule della mucosa uditiva sono sensibili sia alla posizione del suono che a quella degli occhi. Avendo come base la similitudine geometrica nei processi di computazione, queste speciali cellule possono sottrarre la posizione degli occhi rispetto alla posizione del suono (codificata in coordinate centrate sul capo). Si ricava così la posizione del suono in coordinate, centrate sulla retina.

C'è la consapevolezza umana di essere di carne, di sangue e di ossa, oltre ad essere biologicamente vivi e reali. Il senso della nostra continuità nel tempo proviene dall'essere intercalati in un proprio corpo. Ci si sentirà esposti a tutti i pericoli cui va soggetto il corpo: lesioni, mutilazioni, malattie, decadimento e morte. Ci si sentirà suscettibili ai desideri, ai piaceri ed alle frustrazioni corporali. L'individuo parte dall'esperienza del corpo e su questa base diventa una persona come le altre. Ricerche su pazienti con il dolore e la paralisi dell'arto fantasma, hanno evidenziato relazioni importanti tra **sensazione dolorifica ed immagine corporea**. Esami con la fMRI (risonanza magnetica nucleare funzionale) mostrano che appena questi pazienti migliorano, le mappe motorie relative ai loro arti fantasmi si estendono ed il restringimento della mappa che accompagna l'amputazione diventa reversibile: le mappe sensoriali e motorie si normalizzano.

La **scatola di Ramachandran** cura queste distorsioni. Questa speciale scatola è munita di uno specchio in cui è riflessa la propria immagine corporea. Lo strumento cura il dolore, alterando la percezione che il paziente ha della propria immagine corporea. Si tratta di una importante scoperta perchè spiega come funziona la *Mente* e come si abbia esperienza del dolore. Percezione dolorifica ed immagine corporea (o figura corporea bidimensionale) sono strettamente correlate. Abbiamo

sempre esperienza del dolore come proiettato nel corpo. Quando ci pieghiamo ed avvertiamo un forte dolore alla schiena, diciamo:

La schiena mi sta uccidendo!

Non diciamo: *Il sistema del dolore mi sta uccidendo.*

Come mostrano gli arti fantasmici, non abbiamo bisogno di una parte del corpo e neppure di recettori specifici per sentire dolore. È sufficiente un'immagine corporea (figura corporea), prodotta dalle mappe cerebrali. Di solito, chi non ha avuto amputazioni non ne è consapevole perché l'immagine corporea degli arti è proiettata sugli arti stessi, rendendo impossibile distinguere l'immagine corporea dal vero corpo. Dice Ramachandran V.S. (1996) che il corpo stesso è un fantasma, qualcosa che il cervello ha costruito per pura convenienza. La distorsione dell'immagine corporea è un problema comune e dimostra che c'è differenza tra l'immagine ed il corpo. Le anoressiche credono di essere in sovrappeso anche quando sono al limite della fame. Chi ha una distorsione della propria immagine corporea e soffre perciò di una condizione chiamata *disturbo da dismorfismo corporeo*, avverte come imperfetta una parte del proprio corpo, pur essendo del tutto nella norma. Questi pazienti pensano che le loro orecchie, il naso, le labbra, il seno, il pene, la vagina o le cosce siano troppo grandi o troppo piccoli, o semplicemente *sbagliati*, e provano molta vergogna. Spesso, queste persone si sottopongono a chirurgia plastica, ma dopo gli interventi si sentono ancora imperfetti. Ciò di cui hanno bisogno è invece *una chirurgia neuroplastica* che ne modifichi l'immagine corporea. Il successo nella configurazione degli arti fantasmici suggerì a Ramachandran la possibilità d'intervento anche sulla distorsione dell'immagine corporea. Ramachandran riteneva che ci fosse una netta divisione tra immagine corporea (che è un costrutto mentale) ed il corpo materiale. Lo psichiatra Doidge N. (2007), volle sottoporsi personalmente all'esperimento di Ramachandran. Egli riferisce la sua esperienza:

“Dopo aver tirato fuori una di quelle mani finte di gomma che si vendono nei negozi di oggetti curiosi, mi fece sedere a un tavolo e vi appoggiò la mano finta, con le dita parallele al bordo del tavolo davanti a me, a circa due centimetri dal bordo. La mia mano e quella finta erano perfettamente allineate e disposte nella medesima direzione. Poi, Ramachandran mise uno schermo di cartone tra la mano finta e la mia, in modo che potessi vedere solo quella finta. Quindi, mentre osservavo, Ramachandran toccava con la sua mano quella finta. Contemporaneamente, con l'altra toccava la mia, nascosta dietro lo schermo. Quando toccava il pollice della mano finta, toccava il pollice della mia. Quando dava tre colpetti al mignolo della mano finta, ne dava altrettanti al mignolo della mia, con lo stesso ritmo. Quando toccava il dito medio finto, toccava anche il mio dito medio. In poch'istanti, la sensazione che fosse la mia mano a essere toccata scomparve, e iniziai ad avvertire le sensazioni tattili come se queste provenissero dalla mano finta. La mano finta era diventata parte della mia immagine corporea.”

Quest'illusione si basa sullo stesso principio per cui crediamo che i pupazzi dei ventriloqui, i cartoni animati o gli attori di un film stiano realmente parlando perché le labbra sono sincronizzate con ciò che sentiamo.

Norman Doidge riferisce: “Ramachandran eseguì un trucco ancora più semplice. Mi disse di mettere la mano destra sotto il tavolo, in modo che non fosse visibile. Quindi diede dei colpetti al tavolo con una mano, mentre con l'altra faceva lo stesso con la mia mano sotto il tavolo, dove non potevo vederla, con lo stesso ritmo. Mentre spostava la mano in punti diversi del tavolo, un po' più a destra o a sinistra, allo stesso modo muoveva la mano sotto il tavolo. Dopo qualche minuto smisi di sentire che toccava la mia mano sotto il tavolo e - per quanto sorprendente possa sembrare - iniziai a sentire che l'immagine corporea della mia mano era un tutt'uno con la superficie del tavolo, da dove sembrava provenire la sensazione tattile. Ramachandran aveva creato un'illusione in cui la mia immagine corporea sensoriale era stata ampliata fino a includere un pezzo dell'arredamento.”

Sono così state ribaltate alcuni principi di neuro-fisiologia: il dolore, come l'immagine corporea, è prodotto dalla Mente e proiettato nel corpo. Tale asserzione va contro il senso comune e la prospettiva neurologica tradizionale secondo cui, quando ci provochiamo una ferita, i recettori del dolore inviano un segnale a del tipo Giù - su al centro del dolore nel cervello e l'intensità del dolore percepito è proporzionale alla gravità della ferita. Cioè, si assume che il dolore registri sempre un rapporto accurato del danno. Questa visione tradizionale risale a Cartesio, il quale considerava il cervello come il soggetto passivo del dolore. Questo punto di vista fu rovesciato a partire dagli anni Sessanta da alcune ricerche come quelle di Ronald -Melzack (che studiava gli arti fantasma e il dolore) e di Patrick Wall (che si occupava di dolore e plasticità cerebrale). La teoria di Melzack e Wall sosteneva che il sistema del dolore è diffuso in tutto il midollo spinale e nel cervello, il quale, ben lungi dall'essere un recettore passivo, controlla sempre i segnali dolorosi che avvertiamo.

La coscienza extra, collegata per lo più all'io corporeo, sarebbe molto consistente in animali con elevato volume cerebrale e con una grande quantità di sostanza bianca, rispetto alla grigia, come gli elefanti ed i cetacei. Viceversa, nell'Uomo, sarebbe preponderante la coscienza densa, o autocoscienza, o psiche, o approfondita consapevolezza di sé e del mondo circostante.

BIBLIOGRAFIA

- Amunts V.V.: *Individual variability in the structural asymmetry of the dorsomedial nucleus of the thalamus in men and women*. Neuroscience and Behavioral Physiology. Vol. 38, No. 7, (2008).
- Amunts K, Schulaug G, Scleicher A, Steinmetz H, Dabringhaus A, Roland PE, Zilles K.: *Asymmetry in the human motor cortex and handedness*. Neuroimage 4 : 216-222, (1996).
- Barkataki I. et al.: *Volumetric structural brain abnormalities in men with schizofrenia or antisocial personality disorder*. Behav. Brain Res., 15 : 239 – 247, (2006).
- Bates, E. et al.: *Linguistic and nonlinguistic priming in aphasia*. Brain and Language, 76 : 62 – 69, (2000).
- Bear MF, Connors BW, Paradiso MC: *Neuroscienze. Esplorando il cervello*. Masson S.p.a. editore, Milano, (2005).
- Ben-Shachar M, Hendler T, Kahn I, Ben-Bashat D, Grodzinsky Y.: *The neural reality of syntactic transformations*. Psychol Sci 14(5):433-440, (2003).
- Bishop, D.V.: *The underlying nature of specific language impairment*. Journal of Child Psychology and Psychiatry, 33: 3 – 66, (1992).
- Bollea G, Ederli A.: *Il riflesso di Gonda e il riflesso tonico del piede nell'età infantile*. Riv Neurol 29, Fasc. 5., (1949).
- Brian Christian: *Essere umani*. La biblioteca delle Scienze, ed. Ariccia – Roma, (2012).
- Bristow, M. et al.: *Blinking suppresses the neural response to unchanging retinal stimulation*. Current Biology, 15: R554-R556, (2005).
- Brugger P, Mohr C: *The paranormal mind: How the study of anomalous experiences and beliefs may inform cognitive neuroscience*. Cortex, 44, 1291-1298, (2008).
- Bruner J.: *La mente a più dimensioni*. Editori Laterza Bari, (2009).
- Buck L.B.: *I sensi chimici: olfatto e gusto*, in E.R. Kandel et al. Principi di Neuroscienze, trad. it. Ambrosiana – Milano, (2000).

- Budetta G.C.: *Immagini mentali, creatività e schizofrenia*, ArcheoMedia, Torino, (2011).
- Carly J.L. & Yu-Chin Chiu: *What you set is not what you see: unconscious activation of cognitive control*. *The Journal of Neuroscience*, 27 (42): 11170 – 11171, (2007).
- Carter, R.: *Exploring Consciousness*. Berkeley, University of California Press, (2003).
- Chalmers, D.: *Propositions and Attitude Ascriptions: A Fewegean Account*, *Nous*, vol. 45, no. 4, pp. 595-639, (2011).
- Chalmers, D.: *The Character of consciousness*, Oxford University Press, Oxford UK, (2010).
- Churchland, P.& Sejnowski T.: *The computational Brain*. Cambridge, MA: MIT Press, (1992).
- Cosmides, L. & Tooby, J.: *The cognitive neuroscience of social reasoning*. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The New Cognitive Neurosciences, Second Edition*. Cambridge, MA: MIT Press. (Chapter 87, pp. 1259-1270, (2000).
- Crick, F.: *La scienza e l'anima*. Milano – Rizzoli, (1994).
- Cureau M. de la Chambre: *Quale sia la conoscenza degli animali e fin dove possa estendersi*. Felici Editore, Ghezzano - Pisa, (2011).
- Damasio, H. & Damasio A.: *Lesion analysis in neuropsychology*. New York; Oxford University Press, (1989).
- Damasio R, Damasio H.: *Cervello e linguaggio*. *Le Scienze* N.29 - 1 (1992).
- Damasio R.: *Mente, coscienza e cervello*. *Le Scienze* 376, Dicembre, (1999).
- Davidson D.: *Azioni ed eventi*. Il Mulino, (1992).
- Delmas A.: *Vie e centri nervosi*. UTET – Torino, (1997).
- Dennet, D.C.: *Coscienza*. Tr.it. Rizzoli – Milano, (1993).
- Dennett D.C.: *L'evoluzione della libertà*. Raffaele Cortina Editore – Milano, (2004).
- Deutsch D.: *Paradossi della percezione negli intervalli musicali*. *Le Scienze*, n. 290, pagg. 46 – 53, ottobre, (1992).
- Doidge N. : *Il cervello infinito*. Ed. Ponte delle Grazie – Milano, (2007).
- Fodor J.A.: *The Mind Doesn't Work That Way*. MIT Press, Cambridge, (MA), (2000).
- 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).
- Franosch, JM, Sichert, AB, Suttner, MD, and van Hemmen, JL: *Estimating position and velocity of a submerged moving object by the clawed frog *Xenopus* and by fish-a cybernetic approach*. *Biological cybernetics* 93 (4): 231-238, (2005).
- Fredkin, E.: *An Introduction to Digital Philosophy*, *International Journal of Theoretical Physics*, Vol. 42, No. 2: 189 – 247, (2003).
- Getty R.: *Anatomia degli animali domestici*. Piccin Editore – Padova, (1982).
- Giordano GG.: *I fenomeni della prensione*. *Acta Neurobiologica-Policlinico-Napoli*, (1955).
- Glenn A.L. et al.: *Increased volume of the striatum in Psychopathic Individuals*. *Biol. Psychiatry*, 67: 52 – 58, (2010).
- Goodman Nelson: *Vedere e costruire il mondo* - (Biblioteca universale Laterza), Roma, (2008).
- Gray, C.M., Goodell, AB. and Lear, A.T.: *A Multi-Channel Micromanipulator and Chamber System for Recording Multi-Neuronal Activity in Alert, Non-Human Primates*. *J. Neurophysiol.*, 98:527-536, (2007).

- Gunawan, L.T.: *Research Assignment Virtual Reality Exposure Therapy "Fear of Flying"*. Research Assignment. Master Programme Media & Knowledge Engineering Delft University of Technology, (2003).
- Hart BL, Hart LA, Pinter-Wollman N.: *Large brains and cognition: where do elephants fit in* Neurosci. Biobehav. Rev.: 32 (1): 86 – 98, (2008).
- Harvey R.J.: *The extraction of features and disparities from images by a model based on the neurological organisation of the visual system*. Vision Res. 48: 1297 – 1306, (2008).
- Henshaw John M.: *A Tour of senses*. The Johns Hopkins Univ. Press. – Baltimore, (2012).
- Hepper PG, McCartney GR, Shannon EA: *Lateralised behaviour in first trimester human foetuses*. Neuropsychologia 36(6):531-534, (1998).
- Hillman James: *Il sogno ed il mondo infero*. Adelphi, (2003).
- Hines M.: *The development and regression of reflex, postures and regression in the young macaque*. Carnery Inst Wasch Publ 153:541 (1942).
- Hines M.: *Motor areas*. Fed. Proc., 6: 441, (1947).
- Hogan C.J.: *Interferometers as probes of Planckian Quantum Geometry*. arxiv.org/abs/1002.4880, (2012).
- Humphrey Nicholas: *Rosso*. Edizioni Indice (2007).
- Jiang, Y, Zhou, K. & He, S.: *Human visual cortex responds to invisible chromatic flicker*. Nature Neuroscience, 10, 657-662, (2007).
- Jäncke L, Steinmetz H.: *Hand performance asymmetries in adult*. Neuroreport 5: 169-172, (1993).
- Jäncke L, Peters M, Schlaug G, Posse S, Steinmetz H, Muller-Gartner HG.: *Differential magnetic resonance signal change in human sensorimotor cortex to finger movements of different rate of the dominant and subdominant hand*. Brain Res Cogn Brain Res 6 :279-284, (1998).
- Jäncke L, Schlaug G, Huang Y, Steinmetz H.: *Asymmetry of the planum parietale*. Neuroreport 5:1161-1163, (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).
- Kadosh R. C. et all.: *Double dissociation of format-dependent and number-specific neurons in human Parietal Cortex*. Cerebral cortex, doi: 10.1093 - 5 Januar, (2010).
- Karbe H, Herholz G, Weber-Luxemburger G, Ghaemi M, Heiss WD.: *Cerebral networks and functional brain asymmetry: evidence from regional metabolic changes during word repetition*. Brain Lang 63(1):108-121, (1998).
- Kenneth C. Catania: *Natural born killer*. Le Scienze - Milano, giugno, (2011).
- Kilian, A., et all.: *Lateralization of visuospatial processing in the bottlenose dolphin (Tursiops truncatus)*. Behav. Brain. Res.: 116, 211-215, (2000).
- Kilian A., von FERSEN LORENZO, GÜNTÜRKÜN: *Lefth hemispheric advantage for numerical abilities in the bottlenose dolphin*. Behavioural Processes: 68, 179 – 184, (2005).
- Jenkin, P.M.: *The filter feeding and food of flamingos (Phoenicopteri)*, in Philosophical Transactions of the royal Society of London, serie B, 240: 401 – 493, (1957).
- Jevis G.: *Fondamenti di psicologia dinamica*. Feltrinelli – Milano, (1993).
- Jevis G.: *Prime lezioni di psicologia*. Laterza, Roma – Bari, (1999).
- Lange N, Giedd JN, Castellanos FX, Vaituzis AC, Rapoport JF.: *Variability of human brain structure size: ages 4 – 20 years*. Psychiatry Res 74:1-12, (1997).

- Lazar RM, Marshall RS, Pile-Spellman J, Duong HC, Mohr JP, Young WL, Solomon RL, Perera GM, DeLaPaz RL: *Interhemispheric transfer of language in patients with left frontal cerebral arteriovenous malformation*. *Neuropsychologia* 38:1325-1332 (2000).
- 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).
- Lever, C., Burton, S., Jeewajee, A., Wills, T. J., Cacucci, F., Burgess, N., O'keefe, J.: *Environmental novelty elicits a later theta phase of firing in CA1 but not subiculum..* *Hippocampus* 20(2), 229-234, (2010).
- Lévi-Strauss C.: *Da vicino e da lontano*. Rizzoli, (1998).
- Libet B.: *The Experimental Evidence for Subjective Referral of a Sensory Experience Backwards in Time: Reply to P. S. Churchland*, in *Philosophy of Science*, 48: 182-197, (1981).
- Libet B.: *Neural Time Factors in Conscious and Inconscious Mental Events*. in S. R. Hameroff - A. Kaszniak - A. Scott (a cura di), *Towards a Science of Consciousness*, MIT Press, Cambridge, (1996).
- Libet B. - A. Freeman - K. Sutherland: *The Volitional Brain: Towards a Neuroscience of Free Will*, Imprint Academic Thoverton, (1999).
- Lin, Z.: *Unconscious inference and conscious representation: why primary visual cortex (V1) is directly involved in visual awareness*. *Behavioral and Brain Sciences*, 31: 209 – 210, (2008).
- Lin, Z. and He S. *Seeing the invisible: the scope and limits of unconscious processing in binocular rivalry*. *Progress in Neurobiology*, 87: 195 – 211, (2009).
- Llewellyn Sue: *In two minds? Is schizophrenia a state “trapped” between waking and dreaming?* *Medical Hypotheses*, 73, 572-579, (2009).
- McGurk, Il & Maclonald, J: *Hearing lips and seeing voices*. *Nature*, Vol. 264, (5588), pp. 746-748, (1976).
- Marzano C., Ferrara M., Sforza E., De Gennaro L.. *Quantitative electroencephalogram (EEG) in insomnia: a new window on pathophysiological mechanisms*. *Current Pharmaceutical Design*. 14: 3446-3455, (2008).
- Massimini Marcello: *Awareness*. Science DOI: 10.1126/science.1202043, (maggio 2011).
- Matochik J.A, Chefer SI, Lane MA, Woolf RI, Morris ED, Ingram DK, Roth GS, London ED.: *Age-related decline in striatal volume in monkeys as measured by magnetic resonance imaging*. *Neurobiol of Aging* 21(4):591-598, (2000).
- Miller A.M. et all.: *Axon fasciculation in the developing olfactory nerve*. *Neural development*, 5:20, (2010).
- Metzinger Thomas: *Il tunnel dell'io*. Raffaello Cortina Editore – Milano, (2010).
- Moyeger Michael: *Is Space Digital?* – *Scientific American Magazine*, 41, (2012).
- Nagel T.: *Cosa si prova ad essere un pipistrello?*, Il Saggiatore – Milano, (1986).
- Nobili, R. e Paravento, U.: *Generalized von Neumann Automata*. In *Artificial Worlds and Urban Studies*, Besussi e Cecchini Ed.s. Convegno DAEST, Dipartimento di Analisi Economica e Sociale del Territorio, Venezia, (1996).
- Pelagalli G.V. et all.: *Sulla innervazione della doccia esofagea nei grossi ruminanti*. *Atti Soc. It. Sci. Vet.*, Vol. 28, (1974).
- Penfield W.: *Il mistero della mente: studio critico sulla coscienza e sul cervello umano*. Vallecchi – Firenze, (1991).
- Penrose R. : *The Large, the Small and the Human Mind*. Cambridge, University Press, Cambridge, (1997).

- Pinker S.: *L'istinto del linguaggio*. Mondadori, Milano, (1998).
- Poeppel D.: *The analysis of speech in different temporal integration windows: cerebral lateralization as asymmetric sampling in time*. *Speech Communication*. 41: 245-255, (2003).
- Poeppel D, Hickok G.: *Towards a new functional anatomy of language*. *Cognition* 92(1-2):1-12, (2004).
- Polka L, Bohn OS.: *Asymmetries in vowel perception*. *Speech Communication* 41(1):221-231, (2003).
- Poppenk J., Moscovitch, M.: *A hippocampal marker of recollection memory ability among healthy young adults: contributions of posterior and anterior segments*. *Neuron*, 72 (6): 931 – 937, (2011).
- Prinz Jesse: *The conscious Brain*. New York – Oxford Univ. Press, (2010).
- Putnam Hilary: *Mente, corpo, mondo*. Il Mulino, saggi – Bologna, (2003).
- Radanovic M, Scaff M.: *Speech and language disturbances due to subcortical lesions*. *Brain Lang* 84(3): 337-352, (2003).
- Ramachandran Vilayanur S. & Ramachandran D.R.: *Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors*. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 263 (1369): 377 – 386, (1996).
- Ramachandran Vilayanur S.: *Che cosa sappiamo della mente*. Oscar Mondadori - Milano, (2010).
- Ramachandran V.S.: *L'uomo che credeva di essere morto*. Mondadori - Milano, (2012).
- Rilling JK, Seligman RA.: *A quantitative morphometric comparative analysis of the primate temporal lobe*. *J Hum Evol* 42(5): 505-533, (2002).
- Rilling JK, Sanfey AG, Aronson JA, Nystrom LE, Cohen JD.: *The neural correlates of theory of mind within interpersonal interactions*. *Neuroimage* 22(4):1694-1703, (2004).
- Robertson, I.: *Mind Sculpture*. New York, Bantam, (2000).
- Ruckebusch, Y, Gajuoux, M., Eghbali, B.: *Sleep cycles and kinesis in the fetal lamb*. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 42:226-237, (1977).
- Rueckl, J.G., Cave, KR, Kosslyn, S.M.: *Why are "what" and "where" processed by separate cortical visual systems? A computational investigation*. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1, pp. 171-186, (1989).
- Saalmann Yuri B. and Kastner Sabine: *Gain control in the visual thalamus during perception and cognition*. *Current Opinion in Neurobiology*, 19: 408 – 414, (2009).
- Sakai K.L., Hashimoto R, Homae F.: *Sentence processing in the cerebral cortex*. *Neurosci Res* 39(1) : 1-10, (2001).
- Saks Oliver : *L'occhio della mente*. Adelphi – Milano, (2004).
- Schira, M., Fahle, M., Donner, T., Kraft, A., & Brandt, S.: *Differential contribution of early visual areas to the perceptual process of contour processing*. *Journal of Neurophysiology*, 91, 1716-1721, (2004).
- Schuemie, M.J.: *Human-Computer Interaction and Presence in Virtual Reality Exposure Therapy*. PhD report, (2003).
- Searle J.R.: *La mente*. Scienza e Idee. Raffaello Cortina Editore, (2005).
- Seung, H.K. & Chapman, R.S.: *Digit span in individuals with Down syndrome and typically developing children: Temporal aspects*. *Journal of Speech, Language, and Hearing Res.*, 43: 609 - 620, (2000).
- Shapleske J, Rosell SL, Woodruff, PWR, David AS.: *The planum temporale: a systematic, quantitative review of its structural, functional and clinical significance*. *Brain Res Reviews* 29:26-49, (1999).

- Sherrington CS, Laslett, P: Introductory. In: Laslett P, editor. *The physical basis of mind*. Oxford: Basil Blackwell; p. 1-4, (1950).
- Sichert, AB, Bamler, R, and van Hemmen, JL: *Hydrodynamic object recognition: when multipoles count*. Phys Rev Lett 102 (5): 058104-058104. (Abstract), (2009).
- Sichert, AB, Friedel, P, and van Hemmen, JL: *Snake's perspective on heat: reconstruction of input using an imperfect detection system*. Phys Rev Lett 97 (6): 068105-068105., (2006).
- Sinigaglia C., Brozzo C.: *The enactive Constitution of Space*. New Trends in Geometry: the role in Natural and Life Sciences. Imperial College Press, London (in press), (2011).
- Snyder, A. W , Mulcahy, E., Taylor, J.L., Mitchell, DJ., Sachdev, P e Gandevia, S.C.: *Savant-like skills exposed in normal people by suppressing the left frontotemporal lobe*, in «Journal of Integrative Neuroscience», 2 (2), pp.149-158, (2003).
- Sperber D.: *In defense of massive modularity*, in Dupoux I. (a cura di), *Language, Brain and Cognitive*, (2002).
- Steinmetz H, Rademacher J, Jäncke L, Huang YX, Thron A, Zilles K.: *Total surface of temporoparietal intrasylvian cortex: diverging left – right asymmetries*. Brain Lang 39:357-372, (1990).
- Steinmetz H, Volkman, J, Jäncke L, Freud HJ.: *Anatomical left – right asymmetry of language-related temporal cortex is different in left and right-handers*. Ann Neurol 29:315-319, (1991). Steinmetz H, Hergoz A, Schlaug G, Huang Y, Jäncke L.: *Brain (a)symmetry in monozygotic twins*. Cerebr Cortex 5:296-300, (1995).
- Steinmetz H.: *Structure, function and cerebral asymmetry: in vivo morphometry of the Planum temporale*. Neurosci. Biobehav Rev 20(4): 587-591, (1996).
- Steinmetz H, Herzog A, Huang Y, Hacklander T.: *Discordant brain-surface anatomy in monozygotic twins*. N Engl J Med 331(14): 951-952, (1994).
- Steinmetz H.: *Structural asymmetries in the human forebrain and the forebrain of nonhuman primates and rats*. Neurosci Biobehav Rev 20(4):593-605, (1996).
- Sternberg, R.J.: *Intelligence, Race, and Genetics*. - Am. Psychologist, Vol. 60 (1), pagg. 46 – 59, (2005).
- Stippich C, Mohammed J, Kress B, Hahnel S, Gunther J, Konrad F, Sartor K.: *Robust localization and lateralization of human language function: an optimized clinical functional magnetic resonance imaging protocol*. Neurosci Lett 346(1-2): 109-113, (2003).
- Stoddart M.D.: *La scimmia profumata. Biologia e cultura dell'odore umano*, trad. it. CIC. Edizioni Internazionali – Roma, (1990).
- Tallal, P. et all.: *Are developmental disorders like cases of adult brain damage? Implications from connectionist modelling*. Behavioural and Brain Sciences, Vol. 25, No 6: 727 – 788, (2002).
- Terrence W. Deacon: *Natura incompleta*. Le Scienze. Ariccia – Roma, (2012).
- Trevarthen C.: *Lateral asymmetries in infancy: implications for the development of the hemispheres*. Neurosci Biobehav Rev 20(4):571-586, (1996).
- Uttal, W.R.: *The new phrenology: The limits of localizing cognitive processes in the brain*. Cambridge, MA: MIT Press, (2001).
- Vilayamur S. Ramachandran: *La macchia cieca della retina*. Le Scienze 287, pagg. 56-61, (luglio 1992).
- Wada T, Kodaira K, Fujishiro K, Okamura T.: *Correlation of common carotid flow volume measured by ultrasonic quantitative flowmeter with pathological findings*. Stroke 22:319-323, (1991).
- Whithead, A.N. & Russell B.: *Introduzione ai Principia Mathematica*. La Nuova Italia, Firenze, (1977).

- Wills, T. J., Cacucci, F., Burgess, N., O'Keefe, J.: *Development of the hippocampal cognitive map in preweanling rats.* Science 328(5985), 1573-1576, (2010).
- Wolfram S.: *Cellular automata and complexity.* Collected papers by Wolfram S. – Cambridge Univ. Press., (1994).
- X. Wang, M. L. Veruki, N. V. Bukoreshtliev, E. Hartveit, H.-H. Gerdes. *Animal cells connected by nanotubes can be electrically coupled through interposed gap-junction channels.* Proceedings of the National Academy of Sciences, 107 (40): 17194 DOI: 10.1073/Pnas.1006785107, (2010).
- Woolsey T.A. et al.: *Mouse Sm1 cortex: qualitative and quantitative classification of golgi-impregnated barriell neurons.* Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., June; 72 (6): 2165 – 2169 (1975).
- Woolsey TA, e Wan der Loos H.: *Fine structure of cortical barrels in the mouse.* Australian Journal of Zoology, 25(1) 1 – 7, (1970).
- Wolf, S.L., Winstein, C.J., Miller, J.P., Taub, E., Uswatte, G., Morris, D. et al.: *Effect of constraint-induced movement therapy on upper extremity function 3 to 9 months after stroke.* The ExerrE randomized clinical trial, in «Journal of the American Medical Association», 296, pp. 2095-2104, (2006).
- Woolsey T.A. et al.: *Mouse Sm1 cortex: qualitative and quantitative classification of golgi-impregnated barriell neurons.* Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., June; 72 (6): 2165 – 2169 (1975).
- Woolsey TA, e Wan der Loos H.: *Fine structure of cortical barrels in the mouse.* Australian Journal of Zoology, 25(1) 1 – 7, (1970)
- Zeki S.: *Splendori e miserie del cervello.* Le Scienze, Milano, (2011).
- 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).
- Zuse K.: *The Way from the Computers Z1, Z3 and Z4 to Plankalkül.* ICCA Journal, Vol. 13, No. 2, pp. 55-68, (1990).

F I N E

