



FATTORI INNATI E ACQUISITI NELLA PERCEZIONE VISIVA

**COME PERCEPISCE IL MONDO CHI VEDE PER LA PRIMA VOLTA?
ANALISI DEI PAZIENTI COINVOLTI NEL PROGETTO PRAKASH**

Dott. Riccardo Pavonello

ANNO 2016-2017



INDICE DEI CONTENUTI

INTRODUZIONE	vii
Capitolo I	1
1 <i>Fondamenti neurofisiologici del sistema visivo e correlati cognitivi</i>	1
1.1 <i>Sistema base dell'elaborazione dell'informazione retinica</i>	1
1.2 <i>Le vie visive superiori</i>	4
1.3 <i>Dalla visione alla cognizione</i>	6
1.4 <i>La cataratta congenita e il trattamento chirurgico</i>	11
1.4.1 <i>Cataratta congenita</i>	11
1.4.2 <i>Tecnica chirurgica</i>	13
Capitolo II	16
2 <i>Introduzione ai processi percettivi, "Nature vs Nurture" nello sviluppo del sistema visivo</i>	16
2.1 <i>Introduzione ai processi percettivi</i>	16
2.2 <i>"Nature vs Nurture"</i>	18
Capitolo III	26
3 <i>La percezione nei soggetti riabilitati – analisi dei risultati</i>	26
3.1 <i>Progetto Prakash</i>	26
3.2 <i>Studio del contrasto</i>	29
3.3 <i>Illusioni ottiche</i>	30
3.4 <i>Riconoscimento facciale</i>	33
3.5 <i>Acuità visiva</i>	36
3.6 <i>Capacità di analisi visiva</i>	38
3.7 <i>Percezione degli oggetti "cross-modale", vista e tatto</i>	41
3.8 <i>Percezione della profondità</i>	44
CONCLUSIONI	ix
Bibliografia	xiii

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 1 - Spettro della radiazione solare	1
Fig. 2 - Via dorsale (in verde) – via ventrale (in porpora)	6
Fig. 3 - Cataratta congenita lenticolare.....	12
Fig. 4 - Cataratta nucleare densa in un neonato con pupilla miotica.....	12
Fig. 5 - Immagine schematica della cataratta.....	13
Fig. 6 - Schema dell'intervento chirurgico.....	14
Fig. 3 - Misurazione dell'acuità visiva nei neonati	23
Fig. 4 - Sensibilità al contrasto rispetto all'età di sviluppo	24
Fig. 9 - Illusione di Ponzo	31
Fig. 10 - Illusione di Muller – Lyer.....	31
Fig. 11 - Risultati dei test sulle illusioni ottiche	32
Fig. 12 - Immagini utilizzate durante il test di riconoscimento facciale.	34
Fig. 13 - Risultati dei test e pre e post intervento - acuità visiva	36
Fig. 14 - Influenza dei 5 fattori sull'acuità visiva	37
Fig. 15 - Acuità visiva pre e post operatoria(6 settimane)	38
Fig. 16 - Risultati dei test.....	39
Fig. 17 - Ulteriori risultati dei test.....	40
Fig. 18 - Esempio di oggetti utilizzati nei test "cross-modali"	42
Fig. 19 - Prestazioni dei pazienti	42
Fig. 20 - Comparazione dei risultati post-operatori.....	43

INTRODUZIONE

Possiamo intendere l'evoluzione come una continua e costante assimilazione d'informazioni dal mondo circostante? Del resto, qualsiasi organismo vivente deve poter trarre input dall'esterno per sopravvivere. Più l'organismo è complesso, più dovrà avere dati necessari all'adattamento evolutivo e quindi maggiore deve essere la sua capacità di processare le informazioni necessarie.

Tra tutti gli organismi viventi, l'uomo è sicuramente tra i più complessi, capace di tradurre i suoi pensieri attraverso il linguaggio, acquisendo così una sua unicità. In effetti, la percezione si definisce proprio come l'atto di raccogliere ed elaborare le informazioni provenienti dall'ambiente circostante. I processi percettivi traggono informazioni dai nostri organi di senso, l'udito, l'olfatto, il gusto, il tatto e la vista.

L'evoluzione ha adattato le aree del cervello, assegnando differenti risorse alle parti dedicate ai sensi, in base all'efficienza di queste, ai fini della sopravvivenza.

Il sistema visivo e i processi neurali, legati alla percezione visiva, occupano ampie aree del nostro cervello, quasi un quarto dell'intera corteccia cerebrale. Ciò è indice della predominanza del canale visivo nei processi percettivi umani.

L'obiettivo del presente lavoro di tesi è analizzare gli effetti sulle capacità percettive della deprivazione visiva, nei primi mesi di vita, in bambini soggetti a cataratta congenita. Come vedremo più in dettaglio durante la trattazione, la cataratta congenita non è altro che l'opacizzazione di una parte dell'occhio, che si chiama cristallino. L'opacizzazione, se congenita e binoculare, comporta una visione come attraverso un vetro opalino, quindi senza possibile discriminazione del dettaglio.

Nel mondo industrializzato, dove l'assistenza pediatrica è presente per la quasi totalità dei soggetti, l'asportazione chirurgica dei cristallini opacizzati e il successivo ripristino di una visione nitida, avviene nei primissimi mesi o anni di vita. Purtroppo in alcune parti del mondo questo non avviene; ci sono aree geografiche ove la situazione politico-economica del Paese e le condizioni di vita delle popolazioni, precludono l'accesso all'assistenza sanitaria. In Paesi, come ad esempio l'India, troviamo moltissimi bambini affetti da questa patologia; essendo di fatto preclusa loro la possibilità d'intervento, questi soggetti vanno incontro a una cecità totale o parziale, per una consistente parte della loro vita.

Negli ultimi tempi, si stanno sviluppando dei programmi di aiuto per queste popolazioni, che rendono disponibile l'intervento di cataratta anche in soggetti con età compresa tra i 4 e gli 8 anni, in una fase quindi ove normalmente il sistema visivo è già sviluppato ed efficiente. Una di queste iniziative è il *Progetto Prakash*. Lo stesso

progetto, si sviluppa in India attraverso un'organizzazione molto articolata, con obiettivi umanitari e scientifici. Il Progetto vede la collaborazione di Università Internazionali, medici, psicologi, operatori del settore oculistico, strutture ospedaliere e istituti di ricerca.

L'obiettivo di tale progetto è quello di coniugare l'aiuto sanitario a popolazioni povere, abbinando la ricerca scientifica su pazienti con caratteristiche molto particolari, rarissime nel mondo industrializzato. Il *Progetto Prakash*, oltre ai fini umanitari, offre ai ricercatori la possibilità di studiare la percezione in persone alle quali è stato precluso lo sviluppo dello stimolo visivo, che in soggetti normovedenti avviene nei primi mesi e anni di vita. Il protocollo prevede di intervenire su bambini con cataratta congenita, ciechi dalla nascita, con età superiore ai quattro anni. L'intervento, seppur tardivo, oltre a donare la vista ai bambini coinvolti nel progetto, offre preziose informazioni circa le caratteristiche della percezione visiva, in soggetti sottoposti a deprivazione della vista dalla nascita.

Il punto focale, che rappresenta anche il tema specifico del presente lavoro di tesi, è che in tali pazienti è possibile studiare quanto l'apprendimento nei primi anni di vita sia importante per sviluppare le funzioni percettive normali. I pazienti, coinvolti nel *Progetto Prakash*, sono infatti persone che non hanno potuto "apprendere" a percepire nei primi anni di vita. In questi pazienti, nei quali il normale apprendimento percettivo non è potuto avvenire, è stato possibile analizzare i fattori innati della percezione e quelli appresi, studiando le caratteristiche dei processi successivi all'intervento di sostituzione del cristallino. In sintesi, ciò che i pazienti del *Progetto Prakash* sembrerebbero indicare, sembra più il frutto di fattori innati, che di quelli appresi.

Il presente lavoro sarà strutturato, nella prima parte, con una descrizione anatomo-fisiologica dei processi della visione. In questa sezione si seguirà il percorso dell'informazione visiva, dal momento in cui entra nell'occhio fino all'elaborazione cerebrale, che porta alla percezione. Nell'ambito di questo percorso ci si soffermerà sugli aspetti funzionali, fino ai risultati degli studi condotti sui bambini sottoposti al trattamento chirurgico.

In seguito, saranno trattati i processi della percezione visiva, con particolare riferimento ai processi innati versus i processi appresi.

Tramite una disamina critica della letteratura scientifica, si tenterà di capire se, nel processo percettivo, sia fondamentale una buona funzionalità visiva, tale da sviluppare correttamente le aree cerebrali implicate nella percezione visiva.

Nell'ambito della corposa ed estesa raccolta di dati del *Progetto Prakash*, nel presente lavoro di rassegna si è cercato di estrapolare gli studi che interessano gli

aspetti cognitivi della percezione. Nello specifico, saranno trattati dettagliatamente e separatamente diversi aspetti della percezione visiva: il contrasto, le illusioni ottiche, il riconoscimento facciale, l'acuità visiva, l'analisi visiva e i rapporti percettivi vista - tatto. Si tenterà di capire come il ripristino del segnale visivo influisca sulle prestazioni percettive nel tempo.

Le conclusioni, oltre a una "summa" dei risultati posti in rassegna, non potranno definire con certezza un'univoca prospettiva, poiché ci si trova in un campo dove il cervello e la sua incredibile plasticità riservano sempre delle eccezionali sorprese. Del resto, non è raro vedere teorie consolidate messe in crisi da scoperte inaspettate, anche grazie a iniziative di grande importanza umanitaria e scientifica, quali il *Progetto Prakash*.

Capitolo I

1 Fondamenti neurofisiologici del sistema visivo e correlati cognitivi

1.1 Sistema base dell'elaborazione dell'informazione retinica

Il nostro occhio, attraverso un sistema ottico di lenti organiche, concentra la luce sulla retina. Le radiazioni luminose che colpiscono il nostro occhio, in condizioni normali, vanno da circa 250 a 1600 nanometri (nm); una parte di esse, più precisamente dai 400 ai 700 nm, viene comunemente chiamata "banda del visibile" ed è effettivamente quello che l'uomo, attraverso la retina, è in grado di tradurre in segnali diretti al cervello.

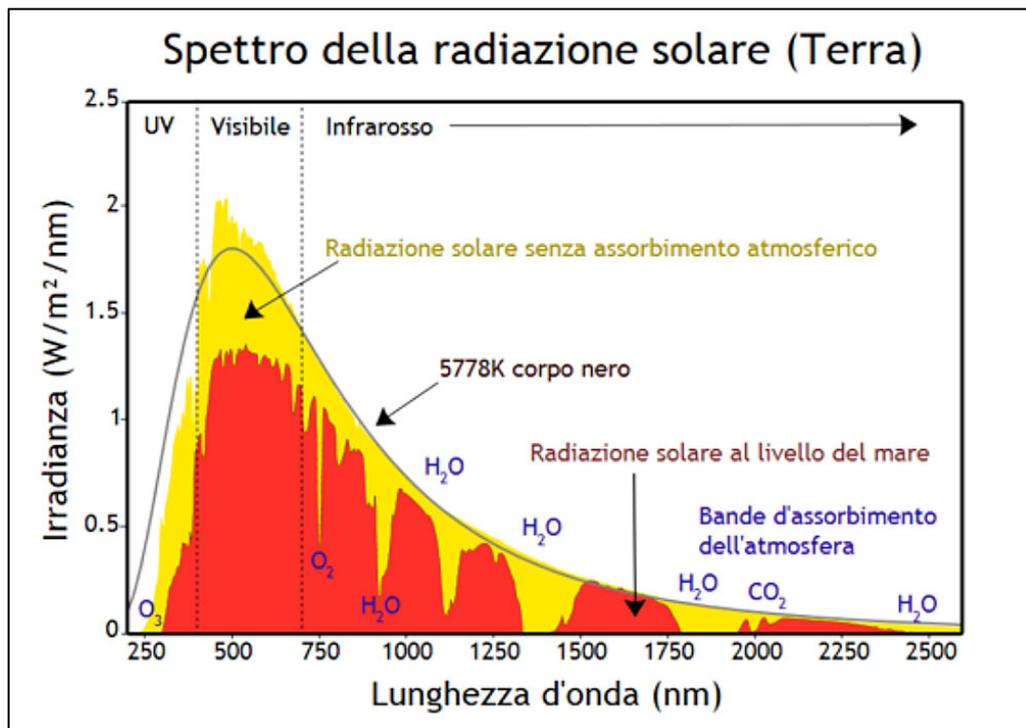


Fig. 1 - Spettro della radiazione solare

L'architettura cellulare, alla base della trasduzione retinica, è attraversata dalla luce nel suo flusso in quest'ordine: fasci assennici delle cellule gangliari, cellule

gangliari, strati nucleari (bipolari, amacrine e orizzontali) e fotorecettori. Nella retina la luce eccita dei fotorecettori

sensibili a date lunghezze d'onda, con specifiche intensità. I fotorecettori sono le uniche cellule sensibili alla luce, tutte le altre sono influenzate nella loro risposta alla luce, indirettamente, attraverso interazioni sinaptiche dirette o indirette. La luce genera un flusso d'informazioni, che lascia la retina attraverso delle cellule specializzate: le cellule gangliari e i loro assoni. Questo processo di conversione si chiama trasduzione. I fotorecettori retinici sono due, coni e bastoncelli. Questi ultimi, nella retina umana, superano i coni con un rapporto di 1 a 20.

Le differenze strutturali di questi recettori sono indicative d'importanti differenze funzionali. La dualità della retina fa sì che i bastoncelli funzionino in condizioni scotopiche, cioè con bassi valori di luminanza, essendo circa 1000 volte più sensibili dei coni, che funzionano in condizioni fotopiche. Il meccanismo attraverso il quale l'assorbimento dell'energia luminosa è trasdotta in una modificazione del potenziale di membrana, avviene attraverso la rodopsina, che può essere considerata come una proteina recettrice legata ad un antagonista chimico.

Anche infinitesimali intensità luminose attivano il processo recettivo; questo ci suggerisce che nei casi di deprivazione visiva, come la cataratta congenita, ove è presente una certa quantità di energia che colpisce la retina, il funzionamento di trasduzione nei bastoncelli e in certi casi dei coni, è mantenuto. Per poter "vedere" anche con livelli di luminanza elevati, entra in gioco il secondo tipo di fotorecettori, i coni, che per essere attivati hanno bisogno di maggiori quantità di energia rispetto ai bastoncelli. Il processo di attivazione, fatto salvo il valore soglia, è pressoché identico a quello dei bastoncelli, ma con una sostanziale differenza. I coni inviano tre informazioni di diverso livello che, in seguito, sono elaborate per generare la percezione del colore ⁽¹⁾.

Già duecento anni fa lo scienziato Thomas Young, (1773-1829), famoso per le ricerche sulla luce, descrisse la sua teoria tricromatica nella Bakerian Lecture, tenuta alla Royal Society di Londra il 12 novembre 1801, dimostrando che tutti i colori dell'arcobaleno possono essere generati mescolando i tre colori base. Successivamente il fisiologo Helmholtz riprese questi studi, prospettando la teoria tricromatica di Young – Helmholtz.

¹. BEAR M. F., CONNORS B. W., PARADISO M. A., *Neuroscience. Exploring the brain*, Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2007.

Tutte le cellule retiniche, a parte qualche amacrina, generano informazioni sulle modificazioni gradualmente del potenziale di membrana.

Quello che ci serve per trasmettere informazioni al cervello è dato dai *potenziali d'azione*. Questa funzione è svolta dalle cellule gangliari. Le cellule gangliari sono divise dai fotorecettori per mezzo di tre classi di inter-neuroni: le cellule bipolari, le orizzontali e le amacrine. Ogni cellula bipolare riceve afferenze sinaptiche dirette da gruppi di fotorecettori delle cellule orizzontali e dalle amacrine. Le interazioni sinaptiche delle gangliari con le cellule bipolari, elaborano il potenziale d'azione che, attraverso i percorsi assonici, alimenterà le reti neurali. Il numero dei fotorecettori varia da una connessione diretta uno a uno, nel centro della fovea (coni), a migliaia nella periferia (bastoncelli). Le afferenze dei fotorecettori verso le cellule bipolari, sia di singoli o di gruppi di recettori, genera un campo recettivo. Il campo recettivo non è altro che un esposimetro che, al variare della luce, provoca una differenza di potenziale di membrana.

Il campo recettivo di una cellula ha due importanti caratteristiche, la prima è quella di essere grossomodo circolare, la seconda è che ogni campo recettivo è diviso in due parti: una zona circolare interna e una periferica. La zona centrale e la periferica si attivano in modo antagonista. Se la luce è presente al centro, provoca una depolarizzazione della cellula bipolare (risposta ON), diversamente, se avviene in periferia, avremo una iperpolarizzazione (risposta OFF). Questo meccanismo è utile per aumentare i contrasti e come vedremo nel prossimo capitolo è un elemento principalmente acquisito.

Le cellule gangliari sono di due tipi e si differenziano per aspetto, connessioni e caratteristiche elettrofisiologiche: le *Magnocellulari* (M) e le *Parvocellulari* (P). Le gangliari, di tipo M, rappresentano circa il 5% del totale, il 90% è costituito invece da cellule tipo P, mentre il rimanente 5% da gangliari, di una varietà "non M e non P".

Le risposte di questi due tipi di cellula si differenziano a loro volta per ampiezza del campo recettivo. Il tipo M è più ampio, risponde alla stimolazione del centro recettivo con una scarica del potenziale d'azione transiente, gode di una maggiore sensibilità agli stimoli di basso contrasto e di maggiore velocità di segnali negli assoni. Il tipo P risponde invece a una scarica sostenuta e prolungata per tutta la durata dello stimolo. Ancor prima che il segnale inizi il suo percorso assonico gangliare verso il cervello, ci troviamo in presenza di una elaborazione del segnale primitivo che separa diversi canali, tra cui le forme, il colore, il movimento, etc..

1.2 Le vie visive superiori

La visione del mondo esterno racchiude l'elaborazione di molte informazioni, che portano a una visione unificata. Gli oggetti che vediamo hanno forma, colore e una posizione nello spazio; il tutto si muove costantemente. L'informazione estratta dalla retina è processata dal sistema nervoso centrale. La retinofuga, che permette la percezione visiva, comprende vari distretti, tra i quali il nucleo genicolato laterale (NGL) del talamo, la corteccia visiva primaria, le vie genicolo-corticali e un'altra dozzina di aree extrastriate nei lobi temporali e parietali.

Il potenziale d'azione, presente negli assoni gangliari, attraversa diverse strutture. I nervi ottici, dati dai fasci assonici, escono dai bulbi oculari, s'incontrano e si uniscono, formando il chiasma ottico che è posizionato sulla base del cervello, appena prima la ghiandola pituitaria.

Nel chiasma ottico avviene un incrocio di fibre, denominato decussazione parziale, poiché solo una parte di esse si incrocia, creando due emicampi completi, il destro e il sinistro. Dopo questo processo le fibre prendono il nome di tratti ottici destro e sinistro, con la particolarità che il tratto ottico destro vedrà l'emicampo sinistro.

Un piccolo numero di assoni del tratto ottico si allontana, creando delle sinapsi con l'ipotalamo. Queste reti neurali sono implicate nei cicli sonno - veglia. Un altro 10% di fibre proietta verso un'area del tetto mesencefalico, detta *collicolo superiore*. Tale elaborazione è necessaria per il tracking foveale. I riflessi pupillari ⁽²⁾ alla luce sono gestiti da proiezioni assoniche gangliari verso la regione pretettale, localizzata rostralmente rispetto al *collicolo superiore*. Le rimanenti fibre del tratto ottico arrivano al nucleo genicolato laterale. Lo stesso, situato nel talamo dorsale destro e sinistro, è frutto di un ripiegamento sul tratto in arrivo di sei strati di cellule.

Il NGL riceve anche sinapsi non retiniche, nella misura stimata del 20%. In questo 20% rientrano segnali provenienti dal tronco encefalico, la cui attività si collega ai fenomeni di allerta e attenzione. Allo stesso tempo il NGL entra in connessione con altre reti neurali, con meccanismi non determinati. Questo fa sì che il NGL non sia solo un relè tra la retina e la corteccia.

L'NGL rappresenta un primo stadio, dove ciò che "vediamo" è influenzato da ciò che "sentiamo", si tratta infatti di un primo step di "processing" essenzialmente inconsapevole. Il NGL ha un bersaglio preciso, proiettando i suoi assoni verso la

² KANDEL E. R., SCHWARTZ J. H., JESSELL T. M., *Principles of neural science*, Maidenhead, McGraw-Hill, 2010.

corteccia striata, chiamata anche V1 o area 17 di Brodmann. Localizzata nel lobo occipitale della corteccia cerebrale, gran parte dell'area 17 giace sulla superficie mediale dell'emisfero, circondando la scissura calcarina. Come accade nel NGL, l'organizzazione generale del sistema visivo indirizza gli assoni caratteristici di certe aree nelle zone corrispondenti, mettendo un certo grado di separazione. Questa caratteristica organizzazione è detta *retinotopica*. Schematicamente possiamo dividere la corteccia striata in 8 strati sovrapposti, anche se per convenzione gli strati vengono considerati solo 6. Agli stessi si assegnano numeri romani dal I al VI, in quanto si è mantenuta la prima suddivisione degli strati eseguita da Brodmann. Lo strato IV, scoperto in seguito agli studi Brodmann, nelle sue specifiche funzioni è suddiviso in tre molto importanti sub strati: IVa-IVb-IVc. A sua volta l'IVc è distinto in due livelli, alfa e beta.

Dal NGL arrivano, in separazione, degli input magno e parvo cellulari, per l'occhio destro e sinistro. Questa separazione è mantenuta nell'area 17, nei livelli alfa (magnocellulari) e beta (parvocellulari) del IVc.

La corteccia visiva primaria organizza le afferenze retiniche in blocchi elementari, dai quali poi traggono origine le immagini visive. Questo spiega le colonne di dominanza oculare, che possono essere visualizzate nello strato IVc, con l'autoradiografia.

Negli strati più superficiali IVc, i neuroni hanno per la maggior parte campi recettivi binoculari. Grazie a questo tipo di neurone, presente nell'uomo e in molti animali, è possibile fondere l'immagine di ciascun occhio in una. Come vedremo nel prossimo capitolo, lo sviluppo delle capacità stereoscopiche è frutto sia di fattori innati che acquisiti. I primi sono correlati alle prime fasi dello sviluppo, mentre gli elementi acquisiti subentrano successivamente.

La V1 elabora le informazioni principalmente in tre modi:

- *Il primo passo è la discriminazione delle forme.*
- *Le informazioni relative ai colori, che vengono elaborate in particolari formazioni dette blob.*
- *Le afferenze vengono riunite nei neuroni binoculari che elaborano la percezione della profondità tramite la disparità binoculare.*

L'elaborazione della forma è deputata a neuroni specifici, detti *interblob*, presenti negli strati I-II-II, che sono sensibili all'orientamento. Sono disposti in colonne, dette *colonne di orientamento*. All'interno di queste colonne ci sono altri neuroni, che hanno la funzione di elaborare la percezione dei colori. Questi neuroni prendono il

nome di blob ⁽³⁾. Le colonne di orientamento elaborano i dati separatamente e in parallelo e, scomponendo le forme in linee, riescono a determinare la differenza di grandezza dell'immagine dei due occhi.

Questa caratteristica, denominata disparità retinica, è l'elemento che permette la percezione della profondità.

1.3 Dalla visione alla cognizione

Vi è ancora un acceso dibattito su come le aree extrastriate contribuiscano alla visione. Da un primo quadro emerge che esistono due flussi che si estendono nella corteccia, uno che si propaga dorsalmente verso il lobo parietale e un altro che proietta ventralmente verso il lobo temporale. Queste due vie sono chiamate la *via dorsale* e la *via ventrale*. *Le stesse sono state* descritte nell'ipotesi delle due correnti, definita per la prima volta da Ungerleider and Mishkin all'interno di *Analysis of Visual Behavior*, a cura di Ingle D.J., Goodale M.A. e Mansfield R.J.W. del 1982.

Leslie Ungerleider e Mortimer Mishkin ⁽⁴⁾ hanno affrontato questo aspetto, chiamando la *corrente dorsale via del dove* (where pathway) e la *corrente ventrale via del cosa* (what pathway).

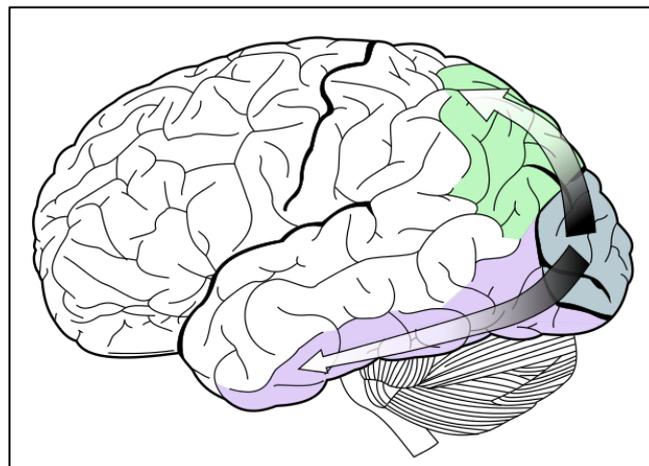


Fig. 2 - via dorsale (in verde), via ventrale (in porpora)

³ BEAR M. F., CONNORS B. W., PARADISO M. A., *Neuroscience. Exploring the brain*, Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2007.

⁴ KANDEL E. R., SCHWARTZ J. H., JESSELL T. M., *Principles of neural science*, Maidenhead, McGraw-Hill, 2010.

Esiste una relazione anatomica neuronale-funzionale nella differenziazione delle due vie. I neuroni delle vie dorsali si relazionano con le *magnocellulari* e hanno proprietà simili, mentre le vie ventrali hanno proprietà che combinano caratteristiche delle *parvocellulari* e *interblob* e *blob* in V1 ⁽⁵⁾.

Il flusso dorsale, si sviluppa dalla V1 verso le aree V2 e V3 e per ognuna di queste ci sono delle interconnessioni verso la V5 o MT ⁽⁶⁾. Qui ha luogo un'elaborazione specializzata relativa al movimento degli oggetti. Riceve input dalle aree corticali V2 e V3 ed è direttamente innervata dalle cellule dello sub-strato IVB della striata, dotate di campi recettivi di grandi dimensioni e con risposte alla direzione.

La stessa conformazione della MT denota la forte specializzazione dei suoi neuroni per diversi tipi di movimento, come ad esempio lo spostamento di punti luminosi disposti in colonne direzione-movimento, come analogamente avviene nella V1.

W. Newsome ⁽⁷⁾ e colleghi hanno dimostrato come un debole stimolo elettrico nell'area MT delle scimmie alteri la percezione della direzione di punti luminosi in movimento. Le vie dorsali sembrano deputate all'elaborazione del movimento. Vi sono infatti altre risposte specializzate al movimento, come la MST, per i movimenti radiali e circolari e collegamenti cross-modali ad integrazione del flusso. Le informazioni processate diventano sostanziali per la determinazione della navigazione, cioè come ci muoviamo nell'ambiente, per dirigere i movimenti oculari e per la percezione del movimento. A dimostrazione di queste intuizioni nel 1983 Josef Zihl ⁽⁸⁾ e colleghi studiarono un caso di *achinetopsia* in una donna che, avendo danneggiato la corteccia striata e le vie dorsali, non percepiva più il movimento degli oggetti ed il mondo le appariva come una sequenza d'istantanee. Le aree danneggiate erano coerenti con le sue ipotesi.

La corrente ventrale, parallelamente alla dorsale, si proietta dalla V1, V2, V3 verso il lobo temporale e sembra specializzata per l'analisi degli attributi visivi. A ricoprire una notevole importanza è l'area V4, benché non sia ancora chiarita la sua esatta funzione, sembra sia sostanziale per la determinazione della forma e dei colori. Come spesso accade, queste convinzioni prevalgono dall'osservazione di soggetti con lesioni funzionali dei lobi occipitali e temporali. Fortunatamente anomalie di

⁵ BEAR M. F., CONNORS B. W., PARADISO M. A., *Neuroscience. Exploring the brain*, Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2007.

⁶ ZEKY S., *A vision of the Brain*, Oxford, Blackwell Scientific, 1993.

⁷ RORIE A. E., GAO J., MCCLELLAND J. L., NEWSOME W. T., *Integration of Sensory and Reward Information during Perceptual Decision-Making in Lateral Intraparietal Cortex (LIP) of the Macaque Monkey*, in PLoS One, n, 5, San Francisco, PLoS, 2010.

⁸ BEAR M. F., CONNORS B. W., PARADISO M. A., *Neuroscience. Exploring the brain*, Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2007.

questo tipo, denominate acromatopsie, sono rare nell'uomo. L'acromatopsia è caratterizzata dalla perdita parziale o completa dei colori, senza lesioni alla V1 e nel NGL. La via ventrale è caratterizzata anche dall'elaborazione dei flussi nell'area IT, inviati dalla V4. In quest'area una grande varietà di forme e colori stimola i neuroni specifici, che diventano importanti per la costruzione del percelto e per la registrazione mnemonica. Un'altra importante caratteristica, che racchiude questa rete neurale, è il riconoscimento delle facce ⁽⁹⁾. La risposta è particolarmente vigorosa per alcune facce rispetto ad altre, come dimostrato da analisi delle immagini fMRI ⁽¹⁰⁾.

I due flussi, dorsale e ventrale, procedono parallelamente verso le aree del cervello deputate all'elaborazione cognitiva del percelto. Per completare il quadro di un percelto complesso, come la rappresentazione ambientale, il cervello richiede un'integrazione cross-modale. I nostri organi di senso trasmettono una moltitudine di stimoli che convergono in differenti strade, verso le così dette *aree di convergenza*, come la corteccia parietale, temporale e frontale ⁽¹¹⁾. Nella costruzione del percelto le risposte multimodali sono più rapide e più accurate, rispetto alle unimodali. Questo fenomeno di miglioramento è chiamato "multisensoriale" (multisensory enhancement) ⁽¹²⁾; *lo stesso* è dovuto alla ridondanza, alla ripetizione ed alla reciproca conferma degli stimoli. Un esempio di sinestesia sono gli stimoli uditivo visivi, fenomeno per il quale la stimolazione di una certa parte sensoriale comporta il coinvolgimento di una seconda, rivelando evidenti relazioni cross-modali. Le sensazioni, date dalla brillantezza delle immagini, crescono all'aumentare della tonalità dello stimolo acustico. Questo accade anche in tenera età; i bambini individuano corrispondenza tra brillantezza/intensità, luminosità e tonalità ⁽¹³⁾, il che fa pensare ad una componente innata.

Hughling Jackson, uno scienziato Inglese padre della neurologia moderna, si pose la domanda di come tutte queste informazioni unimodali si collegassero, integrandosi, e dove questo si realizzasse. Profeticamente nel 1870 indicò l'esistenza di aree di livello superiore, non sensitive né motorie, ma puramente *associative*. Si

⁹ BEAR M. F., CONNORS B. W., PARADISO M. A., *Neuroscience. Exploring the brain*, Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2007.

¹⁰ GAUTHIER I., TARR M. J., ANDERSON A. W., SKUDLARSKI P., GORE J. C., *Activation of the middle fusiform 'face area' increases with expertise in recognizing novel objects*, in Nature Neuroscience, n. 402, London, Macmillan Publishers Ltd, 1999, pag. 568 - 573.

¹¹ FOXE J.J., SCHROEDER C. E., *Multisensory Processing*, in Cognitive Brain Research, n.14, vol.1, Edinburgh, Elseiver, 2002, pag. 187-198.

¹² CALVERT G. A., SPENCE C., STEIN B. E., *The handbook of multisensory process*, Cambridge, The MIT Press, 2004, pag. 49 - 61.

¹³ CALVERT G. A., SPENCE C., STEIN B. E., *The handbook of multisensory process*, Cambridge, The MIT Press, 2004, pag. 69 - 81.

pensa che in queste aree avvengono le costruzioni percettive, che integrano le informazioni sensoriali, le esperienze pregresse, meccanismi attentivi e l'esplorazione dell'ambiente.⁽¹⁴⁾

In questo contesto entriamo nel concetto di processi cognitivi, ovvero di tutte quelle funzioni mentali astratte, come il ragionamento, l'intelligenza, la capacità di prendere decisioni, l'apprendimento, la memoria, etc.. Questi processi possono essere sia inconsci (si pensi all'NGL), che consci.

In ambito psicologico, i processi cognitivi sono intesi come un'elaborazione d'informazioni ambientali, si basano sulle proprie conoscenze e caratteristiche neurofisiologiche. Come già anticipato in questo capitolo, le informazioni, che sono rilevate dal sistema visivo subiscono una prima divisione già a livello retinico. Si pensi ai canali tipici dei sistemi magno e parvo cellulare, dai quali derivano, tramite una selezione neurofisiologica, delle informazioni. Tale separazione è mantenuta anche a livello delle corteccie visive dove, tuttavia, molte informazioni cominciano a mescolarsi. Nella via verso i lobi frontali i dati inizialmente separati si fondono in un unico flusso d'informazioni, arricchendosi in seguito da altre informazioni sensoriali. Seguendo questa via le informazioni giungeranno alla coscienza.

In questa parte della computazione dei dati subentrano i processi cognitivi, i quali ricevono informazioni sensoriali, le integrano, le elaborano e le portano alla consapevolezza.

I processi cognitivi trovano i loro correlati neurali in moltissime aree cerebrali, seppur alcune funzioni principali risultino collocate nei lobi frontali. Molti processi cognitivi superiori come il pensiero, il ragionamento e l'apprendimento, sono tra l'altro legati a due altri elementi del pensiero astratto: la memoria e l'attenzione.

L'attenzione è il processo che ci permette di selezionare le informazioni in ingresso, discriminare quelle rilevanti per il compito da eseguire, scartare quindi le altre.

Le informazioni, cui si presta attenzione, entrano nei processi della memoria e sono quindi portate a coscienza; le altre non raggiungono la consapevolezza. L'attenzione non è un singolo processo, ma si tratta di una serie di processi, che interagiscono tra loro. Il livello di attenzione è legato alle risorse disponibili ed è noto come *arousal*; si tratta del livello di attivazione dell'organismo e può andare da stati di calma a stati d'ansia. I processi coinvolti controllano anche tutta una serie di elementi neurofisiologici, legati alle emissioni di particolari neurotrasmettitori, deputati al

¹⁴ KANDEL E. R., SCHWARTZ J. H., JESSELL T. M., *Principles of neural science*, Maidenhead, McGraw-Hill, 2010.

controllo dello stato di attivazione di alcune funzioni fisiologiche caratteristiche. Esistono diverse tipologie di attenzione. L'efficienza delle stesse può dipendere dalle strategie personali e dall'addestramento. Ci sono tuttavia dei principi generali che sono utili alla progettazione di compiti, al fine di renderli più compatibili con le caratteristiche del sistema attentivo.

Tra le più importanti funzioni cognitive c'è la memoria. La memoria è una funzione attraverso la quale oggetti ed eventi sono elaborati all'interno di tutti e tre i processi mnesici principali: *codifica*, *ritenzione* e *recupero*. Il processo di codifica permette il passaggio dalla memoria a breve termine a quella a lungo termine. La memoria a breve termine non comporta la sintesi di nuove proteine, ma le modifica, per mettere poi in relazione tra di loro le attività cognitive. La memoria a lungo termine invece sintetizza nuove proteine, finalizzate alla modifica strutturale delle sinapsi, le quali permettono la ritenzione e il recupero delle informazioni. Queste due funzioni inducono modifiche nell'espressione genica, che comportano cambiamenti nell'anatomia cerebrale. La memoria a breve termine, come dimostrato da Bradley, è formata da diversi magazzini. Nel modello definitivo, il terzo, l'Autore sostiene che la memoria a breve termine è composta da due elementi, l'*esecutivo centrale* e il *buffer episodico*.

L'*esecutivo centrale* a sua volta è suddiviso in *loop fonologico* e *taccuino visio-spaziale*. L'*esecutivo centrale* ha un ruolo di coordinamento tra le funzioni ed è responsabile di spostare l'attenzione. Il *loop fonologico* è legato all'apprendimento e memorizzazione dei suoni e in particolare al linguaggio. Il *taccuino visio-spaziale* asserve i processi percettivi, in termini d'informazioni visive e ai processi attentivi, in termini d'informazioni spaziali. Le attività del *taccuino visio-spaziale* sembrano essere mediate dalla corteccia prefrontale. L'encoding delle informazioni è sia di tipo top-down, che di tipo bottom-up. Nel prossimo capitolo approfondiremo questo concetto.

Il *buffer episodico* rappresenta uno degli elementi cognitivi più rilevanti per quanto riguarda la formazione di una rappresentazione unitaria. Il buffer episodico è passivo; le informazioni arrivano dai vari sistemi cognitivi già integrate.

Le funzioni cognitive della memoria possono essere assimilate a quelle di omeostasi cellulare, dove sono discriminate le sostanze tossiche da quelle nutritive. La mente potrebbe avere un principio di funzionamento simile; info e concetti "nutritivi" vengono acquisiti ed elaborati, mentre gli elementi "nocivi" vengono scartati. La memoria a breve termine ha una funzione primaria in questo procedimento, facilitando l'attenzione su aspetti rilevanti dell'esperienza.

La formazione delle funzioni mnesiche e quindi di quelle cognitive sembra svilupparsi con un modello legato agli stimoli; vedremo nel V capitolo come tale

approccio può essere determinante nella percezione visiva, in soggetti che non hanno ricevuto stimoli adeguati in età di sviluppo.

1.4 La cataratta congenita e il trattamento chirurgico

1.4.1 Cataratta congenita

La cataratta è una progressiva opacizzazione del cristallino. Il processo di opacizzazione può considerarsi fisiologico nella seconda parte della vita, perché il cristallino è un elemento "sacrificale" nel sistema di protezione retinico dagli ultravioletti. Quando invece l'opacizzazione è presente nel primo anno di vita prende il nome di cataratta congenita. Ha un'incidenza di 1/6 casi su 10000 nuovi nati ⁽¹⁵⁾, se non trattata precocemente rappresenta una seria causa di cecità nel mondo.

L'eziologia della cataratta congenita è molteplice ⁽¹⁶⁾. Per un terzo è ereditaria, per un terzo è associata ad altre patologie, per il rimanente terzo è idiopatica. Il termine deriva da ἴδιος (idios), sè stesso, e πάθος (pathos), sofferenza; indica una malattia non dovuta a cause esterne note, ovvero senza causa apparente o primitiva., il che significa approssimativamente "una malattia nel suo genere". Tale evoluzione è associata a mutazioni di specifici geni, che codificano le proteine chaperone-like importanti per la trasparenza del cristallino nel 50% dei casi e nel 25% per connessine. La Connexina Proteina (peso molecolare 28.000 - 32.000) è la principale costituente della regione di collegamento fra le cellule, chiamata giunzione discontinua o comunicante (gap junction). Per il restante 25% per altre proteine quali le HSF4, le AQP0 e le BFSP2.

Tra le altre possibili cause della cataratta congenita citiamo le anomalie cromosomiche, in particolare la sindrome di Down, l'infezione da rosolia e i disturbi del metabolismo ⁽¹⁷⁾.

¹⁵ FOSTER A, GILBERT C., *Epidemiology of childhood blindness*, London, Eye, 1992.

¹⁶ HAARGAARD B., WOHLFAHRT J., FLEDELIUS H.C., *A nationwide Danish study of 1027 cases of congenital/infantile cataracts: etiological and clinical classifications*, in *Ophthalmology*, N. 111, Edinburgh, Elsevier, 2004.

¹⁷ KANSKI J. J., *Clinical ophthalmology: A systematic approach*, Edinburgh, Elsevier, 2007.

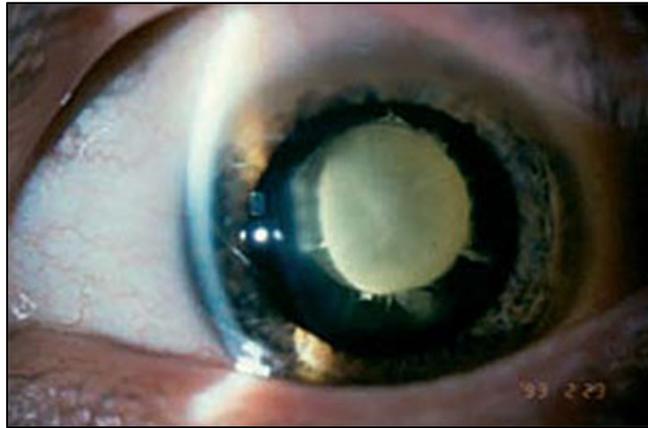


Fig. 3 – Cataratta congenita lenticolare.



Fig. 4 – Cataratta nucleare densa in un neonato con pupilla miotica.

La cataratta congenita ha sempre un'evoluzione da cataratta congenita polare, in cui l'estensione dell'opacità è molto variabile, a cataratta congenita subtotale o totale. La cataratta può presentarsi mono o bilateralmente; quest'ultima è la condizione che ci interessa, per quanto riguarda la deprivazione sensoriale dalla nascita. Questa condizione si manifesta nei due terzi dei casi totali ⁽¹⁸⁾.

I primi mesi di vita sono molto importanti per lo sviluppo di funzionalità fondamentali del sistema visivo. Una mancanza di questi input distali binoculari, causati dall'opacizzazione del cristallino, porta a vari livelli di nistagmo o a possibili riduzioni dei neuroni nei corpi genicolati laterali e nella corteccia visiva ⁽¹⁹⁾.

¹⁸ HEJTMANCIK J.F., *Congenital cataracts and their molecular genetics*, in *Seminars in Cell & Developmental Biology*, n.19, Edinburgh, Elsevier, 2008.

¹⁹ CRAWFORD M.L.J., *The visual deprivation syndrome*, in *Ophthalmology*, n. 85, Edinburgh, Elsevier, 1978, pag. 465-477.

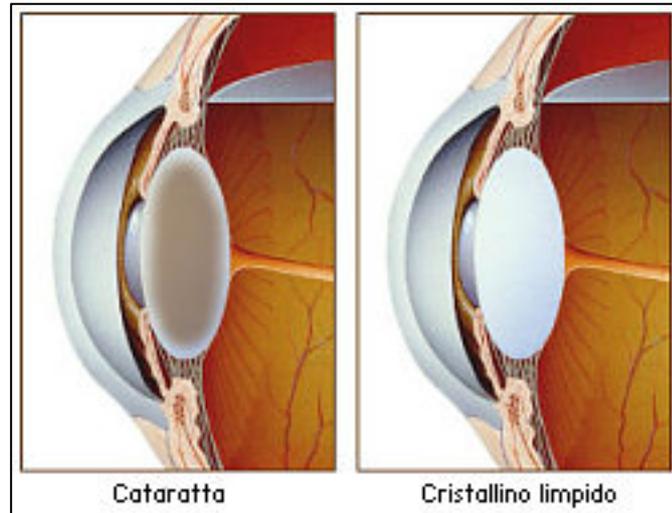


Fig. 5 - Immagine schematica della Cataratta

È opinione condivisa che il massimo decremento dell'acuità visiva si verifichi nelle prime settimane di vita. Se il trattamento chirurgico è effettuato in questo intervallo, è possibile incorrere in una grave complicazione che è il glaucoma secondario.

La sua prevalenza è del 15.4%-19.5% entro i 10 anni successivi all'intervento. Nei bambini operati prima dei nove mesi di età, il glaucoma insorge dalle tre alle otto volte più spesso ⁽²⁰⁾.

Oltre a questo rischio l'asportazione del cristallino in questa fascia d'età e il successivo impianto di una lente intraoculare IOL è sicuramente più complesso che su un bambino più grande ⁽²¹⁾. Le IOL sono lenti artificiali che vanno a sostituire il cristallino naturale e sono disponibili in vari materiali, il più comune è l'acrilico, che non induce reazioni infiammatorie. La lente va calcolata in base alle esigenze del paziente, attraverso esami biometrici pre intervento.

1.4.2 Tecnica chirurgica

Le tecniche chirurgiche dipendono da vari fattori, in primis dall'età del paziente e non ultima la curva di apprendimento raggiunta dal chirurgo. Una prima distinzione importante è la decisione di impiantare una IOL, che va a sostituire il cristallino,

²⁰ CHAN W.H., BISWAS S., ASHWORTH J.L., LLOYD I.C., *Congenital and infantile cataract: aetiology and management*, in European Journal of Pediatrics, n. 171 vol. 4, Cham, Springer, 2012, pag. 625–630.

²¹ TOSELLI C., MIGLIOR M., *Oftalmologia clinica*, Milano, Monduzzi Editoriale, 1979.

oppure operare questa sostituzione in un secondo tempo, rendendo così il paziente afachico per il periodo relativo. Per afachia si intende l'assenza del cristallino; la mancanza di questa lente introduce un difetto diottrico importante, correggibile con lente a contatto positiva o occhiali. L'intervento primario è quando si impianta la IOL nella stessa seduta operatoria, mentre viene denominato secondario quando viene eseguito dopo un certo periodo di visione con lente a contatto o occhiale. La tecnica operatoria standard prevede l'aspirazione del cristallino, la capsulectomia posteriore primaria e la vitrectomia anteriore ⁽²²⁾.

L'aspirazione del cristallino è resa possibile tramite la tecnica della facoemulsificazione a radiofrequenza, che frantuma la massa interna del cristallino, nel contempo aspirata da un ago cannula con ricircolo di liquido. Con questa tecnica l'invasività dell'intervento è molto ridotta, poiché il taglio di entrata è molto piccolo e richiede un solo punto di sutura o addirittura nessuno. L'accesso chirurgico avviene, attraverso il *limbus* corneale o la *pars plana*, con una piccola incisione, che varia da 1,5 mm ai 3 mm, in funzione dell'età.

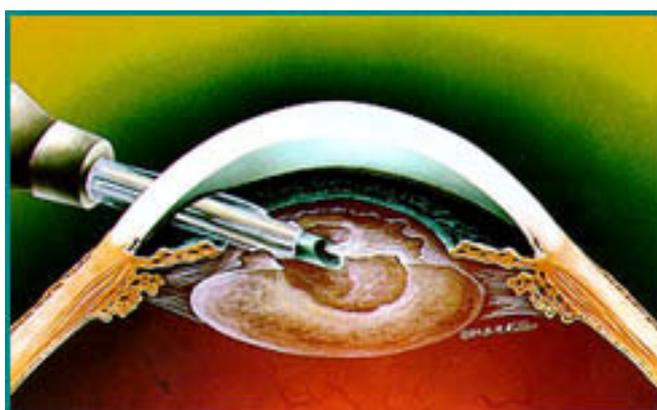


Fig. 6 - Schema dell'intervento chirurgico

Dopo questa fase, nella quale è stato rimosso il tessuto opacizzato, il chirurgo dovrà decidere se lasciare il bambino afachico, oppure impiantare una IOL. L'impianto o meno della IOL rimane ancora controverso ed è fonte di discussione e studi. Alcuni studi propendono per un trattamento primario nei casi di cataratta congenita monolaterale e secondario, cioè con impianto IOL, nei casi bilaterali ⁽²³⁾. In questa fase la capsula posteriore del cristallino è ancora presente; questa membrana tende a

²² LAMBERT S.R., DRACK A.V., *Infantile cataracts*, in Survey of Ophthalmology, n. 40, Edinburgh, Elsevier, 1996.

²³ LAMBERT S.R., DRACK A.V., *Infantile cataracts*, in Survey of Ophthalmology, n. 40, Edinburgh, Elsevier, 1996.

degenerare causando una successiva opacizzazione. Questa complicazione, sempre presente in questo tipo d'intervento, diventa molto più frequente nei bambini.

Studi della dottoressa Allison Jensen, consigliano che bambini di età inferiore ai 6 anni debbano essere sottoposti a capsulotomia primaria posteriore nella stessa seduta operatoria, mentre nei bambini dai 6 ai 14 si possa attuare un atteggiamento conservativo. L'opacizzazione della capsula posteriore (PCO), quando è lasciata il loco, ha un'incidenza del 100% dei casi entro 18 mesi, anche se con livelli differenziati di opacità.

Capitolo II

2 Introduzione ai processi percettivi, “Nature vs Nurture” nello sviluppo del sistema visivo

2.1 Introduzione ai processi percettivi

Tradizionalmente, la letteratura della percezione coincide con lo studio dei singoli sensi, anche se in realtà il mondo in cui viviamo ci investe d'informazioni da molti canali sensoriali. Conoscere i meccanismi con cui si processano le informazioni di ogni canale sensoriale è fondamentale per capire come queste informazioni si fondano in un processo associativo, inserito in una prospettiva più ampia: l'approccio multisensoriale. Ci sono varie tracce filosofiche che indagano questo dominio. Aristotele contava sei sensi, oltre i cinque tradizionali, affermando esistere il *senso comune* ⁽¹⁾. Secondo *il libro dell'ignoranza* ⁽²⁾ i sensi sono nove. Si aggiungono il senso della temperatura, dell'equilibrio, del dolore e della consapevolezza del corpo. Divagazioni filosofiche a parte, un'apertura multisensoriale nello studio della percezione può indicare la strada per spiegare molti comportamenti cognitivi. Costateremo questo aspetto nei successivi capitoli relativi alle illusioni, al riconoscimento facciale, all'analisi visiva e non solo. Gemma Calvert ad Oxford ha dimostrato come aree, per definizione unisensoriali come le aree visive, siano soggette a importanti integrazioni multi sensoriali. Attraverso tecniche di neuroimmagine, ha registrato come la semplice visione di movimenti delle labbra che articolano delle parole, attivi la corteccia uditiva primaria ⁽³⁾, senza che venga prodotto nessun suono.

Le informazioni, che ci pervengono dal mondo, non hanno elementi che specificano le caratteristiche univoche dell'oggetto. Uno dei compiti che si deve eseguire è l'individuazione delle disomogeneità e omogeneità della scena. Questo è possibile se si riesce a determinare rispettivamente i *contorni* dell'oggetto e le

⁽¹⁾ GREGORIC P., *Aristotle on the common sense*, Oxford, Oxford University, 2011.

⁽²⁾ LLOYD J., MITCHINSON J., *The book of general ignorance*, New York, Harmony Books, 2006.

⁽³⁾ CALVERT G.A., BRAMMER M.J., BULMORE E.T., CAMPBELL R., IVERSEN S.D., DAVID A.S., *Response amplification in sensory specific cortices during crossmodal binding*, in *Neuroreport*, n. 10, London, Wolters Kluwer Health, 1999.

rimanenti zone come *regioni* ⁽⁴⁾. I contorni e le regioni sono raggruppati (grouping) in unità percettive (Unit formation).

Il merito dell'aver messo a fuoco i principi che regolano questi processi è stato attribuito al Gestaltista Max Wertheimer (1923). Secondo Wertheimer la formazione delle unità percettive risponde a delle regole, note oggi come *principi organizzativi*, quali:

- *Prossimità*
- *Somiglianza*
- *Destino comune*
- *Impostazione oggettiva*
- *Buona continuazione*
- *Chiusura*
- *Esperienze passate*

Si pensa che i primi sei fattori siano indipendenti dall'esperienza e dalla memoria degli eventi e siano automatici ed obbligatori nella costruzione del percetto. Le esperienze passate fanno parte dell'apprendimento che riesce a creare delle euristiche, che facilitano enormemente il riconoscimento degli oggetti.

Un cacciatore riesce a vedere un animale mimetizzato nella foresta molto prima di una persona alla prima esperienza.

Si delinea sempre di più sia la percezione che la "fusione" delle informazioni, che provengono da vari canali sensoriali. Helmholtz (1867) già il secolo scorso sosteneva l'idea, ripresa da Rock ⁽⁵⁾ e altri in chiave più attuale, che il processo percettivo consistesse nella scelta dell'interpretazione più probabile delle informazioni, disponibili in un dato momento. Nella formulazione contemporanea di quest'approccio Bayesiano, l'informazione disponibile si chiama *verosimiglianza*, che non è altro che quello che ci aspettiamo di ricevere in una determinata condizione. Le conoscenze che abbiamo già appreso si dicono invece *probabilità a priori*. Queste regole Bayesiane cercano di risolvere le ambiguità con euristiche di tipo statistico come, ad esempio, la predisposizione illusoria alle convessità/concavità degli oggetti, in base alla *probabilità a priori* che siano illuminati dal sole, cioè dall'alto ⁽⁶⁾.

⁽⁴⁾ PALMER S., ROCK I., *Rethinking perceptual organization: the role of uniform connectedness*, in *Psychonomic Bulletin & Review*, n.1, Cham, Springer, 1994, pag. 29–55.

⁽⁵⁾ ROCK I., *The logic of perception*, Cambridge, MIT Press, 1985.

⁽⁶⁾ ADAM W.J., GRAF E.W., ERNST M.O., *Experience can change the "ligh-from-above" prior*, in *Nature Neuroscience*, n. 7, London, Macmillan Publishers Ltd, 2004.

2.2 “Nature vs Nurture”

Il concetto di *Nature vs Nurture* è stato introdotto da *Sir. Francis Galton* nel 1874 ⁽⁷⁾; in accordo con l'Autore, la frase “Nature and Nurture”, separa sotto due distinti domini gli innumerevoli elementi di cui è composta la personalità. Il concetto di *Nature* è inteso come gli elementi innati dell'uomo, citando l'Autore: *tutto ciò che l'uomo porta con sé nel mondo*. Il concetto di *Nurture* si riferisce, invece, agli elementi acquisiti: *ogni influenza che colpisce l'uomo dopo la nascita* ⁽⁸⁾.

Sir. Galton è stato cautelativamente prudente nell'affermare che nessuno di questi due concetti implica qualche teoria in merito a quali elementi siano innati e quali acquisiti ⁽⁹⁾. L'Autore si sbilancia dicendo che - [...] *nella competizione tra innato e acquisito quando le differenze, in entrambi i casi, non eccedono quello che distingue gli individui della stessa razza e che vivono nello stesso posto, in condizioni normali, la natura ha certamente la meglio.*- ⁽¹⁰⁾. Tuttavia, i recenti sviluppi in merito hanno dimostrato che l'Autore ha erroneamente assunto che le influenze dei due elementi sono separate. Vedremo tra poco le motivazioni per cui tale assunzione a oggi è considerata errata.

Il dibattito *Nature vs Nurture* è controverso. I sostenitori degli elementi innati ritengono che tramite il DNA e i genotipi venga determinato chi siamo e le caratteristiche della nostra personalità. Dall'altra parte, invece, chi propende verso gli elementi acquisiti sostiene che alla nascita la nostra mente è completamente libera e può essere formata in qualunque modo. In particolare, il riferimento è rivolto all'apprendimento e alle interazioni con il mondo che ci circonda, il quale ci fornisce gli elementi per comprendere la vita e i suoi differenti attributi.

Gli approcci scientifici più recenti sono più ponderati, considerando che molti elementi dell'essere umano sono innati e molti altri acquisiti. Quando al famoso psicologo Donald Hebb fu chiesto quale dei due elementi contribuisce di più nella personalità, egli rispose: *“nell'area di un rettangolo quale elemento contribuisce di più, l'altezza o la lunghezza?”* - ⁽¹¹⁾.

⁽⁷⁾ GALTON F., *English Man of Science: Their Nature and Nurture*, Londra, Macmillan, 1874.

⁽⁸⁾ GALTON F., *English Man of Science: Their Nature and Nurture*, Londra, Macmillan, 1874, pag. 12.

⁽⁹⁾ GALTON F., *English Man of Science: Their Nature and Nurture*, Londra, Macmillan, 1874, pag. 13.

⁽¹⁰⁾ GALTON F., *English Man of Science: Their Nature and Nurture*, Londra, Macmillan, 1874, pag. 16.

⁽¹¹⁾ BADCOCK C. R., *Nature-Nurture Controversy, History of*, in *International Encyclopedia of the Social e Behavioeal Sciences*, Edinburgh, Elsevier, 2015, pag. 341.

Noi assumiamo che il dibattito moderno parta dalla pubblicazione di *Sir Galton*, tuttavia già in epoche passate gli elementi di *Nature* e *Nurture* erano in discussione.

Durante il periodo della Grecia Classica Platone, per esempio, era legato agli elementi innati *mentre* Aristotele era maggiormente rivolto a ciò che si poteva acquisire.

“mi sai dire Socrate se la virtù è acquisita attraverso gli insegnamenti o la pratica; oppure né attraverso gli insegnamenti né attraverso la pratica, quindi se si tratta di qualcosa che arriva all'uomo dalla natura, o in qualche altro modo?”

PLATO: MENO

L'introduzione all'epoca moderna del dibattito e quindi a una visione più ponderata degli elementi avviene in epoca illuministica, in particolare con Emanuel Kant e John Locke, i quali cercano di collocare i diversi aspetti dell'essere umano in uno o nell'altro insieme ⁽¹²⁾.

Procedendo quindi con l'approccio moderno al dibattito, possiamo affermare ⁽¹³⁾ che esistono degli elementi, come ad esempio le caratteristiche morfologiche, che sono molto probabilmente legati a fattori genetici e quindi innati, mentre altri elementi, quali il comportamento, sono legati all'ambiente e quindi acquisiti.

La comunità scientifica sta cercando risposte per attribuire quanti più elementi possibili a uno o all'altro insieme. Lo studio dei bambini è un pilastro di partenza per questo argomento, in quanto rappresentano i riferimenti, sui quali si possono basare alcuni degli assunti relativi alle evoluzioni del dibattito.

Come anticipato nel paragrafo precedente, esistono storicamente degli elementi che sono attribuiti a uno piuttosto che all'altro insieme, con una ragionevole armonia della comunità scientifica, quali ad esempio alcuni elementi caratteristici del Comportamentismo.

Uno dei suoi padri fondatori, J. B. Watson ⁽¹⁴⁾, sostenitore degli elementi acquisiti, affermava che, se gli fossero stati dati in affido una dozzina di infanti, lui li avrebbe fatti diventare un qualsiasi tipo di specialista, dottore, avvocato, manager, etc., indistintamente dai loro talenti naturali e dalle loro vocazioni. La posizione di Watson era volutamente provocatoria nei confronti degli “innatisti”. Considerati i

⁽¹²⁾ BADCOCK C. R., *Nature-Nurture Controversy, History of*, in *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences*, Edinburgh, Elsevier, 2015, pag. 342 - 343.

⁽¹³⁾ PENDERSEN N. L., GERRISTEN L., *Genetics of brain and cognitive aging: introduction to the special issue of neuropsychology review*, in *Neuropsychology Review*, n. 25, New York, Springer Science e Business Media, 2015.

⁽¹⁴⁾ WATSON J., *Behaviorism*, Chicago, University of Chicago Press, 1930, pag. 82.

risultati ottenuti da scienziati, quali Ivan Pavlov piuttosto che Burrhus Skinner, in merito alle diverse tipologie di condizionamento ⁽¹⁵⁾, la comunità scientifica riconosce che molti elementi legati al comportamento sono appresi piuttosto che innati.

La sfida è capire quali elementi dei processi percettivi possano essere legati all'uno o all'altro dominio. Come abbiamo visto all'inizio di questo capitolo, la percezione è formata da processi complessi, che partono dal livello sensoriale per poi giungere a quello cognitivo. I fattori che influenzano la percezione sono sia di natura fisiologica, che psicologica. Il sistema visivo è certamente uno di quegli elementi che rappresenta al meglio i processi percettivi. Il mondo fisico è rilevato da una serie di elementi che la comunità scientifica attribuisce alla genetica, per poi essere processato a livello cognitivo superiore e giungere quindi alla consapevolezza. Il passaggio tra i dati sensoriali e i livelli cognitivi superiori è l'oggetto di questa rassegna.

Gli elementi d'indagine sono basati sulle differenze percettive misurabili tra un individuo sano e un individuo che è cresciuto con una deficienza visiva poi risolta. Il secondo individuo come percepisce la realtà? Ci sono delle differenze rispetto a uno sviluppo normale?

Dovendo quindi comparare dei percetti provenienti da individui che hanno avuto uno sviluppo normale del sistema visivo con altri provenienti da individui che hanno avuto delle deficienze, procederemo analizzando quali siano le modalità di sviluppo normali degli elementi, legati al sistema visivo. Nei prossimi capitoli, parleremo invece della deficienza specifica, relativa agli individui oggetto di questo trattato. Cercheremo di evidenziare le fasi caratteristiche dello sviluppo dei singoli elementi anatomici e caratterizzarle in base alle influenze degli elementi innati, rispetto a quelli acquisiti ⁽¹⁶⁾.

La visione umana richiede una precisa collaborazione tra diverse strutture neuroanatomiche e cerebrali, nonché una capacità di natura cognitiva. Partendo dall'occhio fino alla corteccia cerebrale, gli elementi maturano in parallelo, influenzandosi a vicenda. Alcuni processi di sviluppo seguono un percorso naturale e geneticamente programmato, altri dipendono invece dagli stimoli neuronali che ricevono. L'anatomia del sistema visivo umano è certamente uno di quei sistemi complessi, definito sia da elementi innati sia acquisiti.

Nello sviluppo dell'esperienza visiva individuale, le strutture neurali sono adattate in base all'ambiente al quale sono esposte. Combinando questo concetto con

⁽¹⁵⁾ FREEDHEIM D. K., WEINER I. B., *Handbook of psychology*, Vol. 1, History of Psychology, Cleveland, John Wiley & Sons Inc., 2003, pag. 110 -119.

⁽¹⁶⁾ ADAMS D. L., *Normal and abnormal visual development*, San Francisco, University of California, 2014, pag. 9.

le proprietà genetiche innate del sistema visivo, si ottiene un alto livello di efficienza funzionale, basata sulla politica “*use it or loose it*”⁽¹⁷⁾, la quale fa in modo di mantenere solo le funzioni più utili rispetto al contesto ambientale, scartando le altre. Il sistema visivo, per via di questa duttilità di sviluppo, non è molto resiliente. Per resiliente intendiamo la proprietà del sistema di resistere a eventi esterni che lo disturbano. In altre parole potremmo dire che il sistema visivo, durante la sua fase di sviluppo, è piuttosto vulnerabile; se si presentano anomalie nell’esperienza visiva in fase di sviluppo, il sistema non si svilupperà correttamente.

Un esempio scientificamente valido è legato alla deprivazione monoculare⁽¹⁸⁾. In caso di cataratta congenita a un solo occhio, è stato dimostrato che le cortecce visive, legate all’occhio non funzionante, sono di dimensioni inferiori rispetto all’altro. La menomazione cerebrale, legata allo sviluppo anomalo, può portare a cecità permanente, anche se la cataratta è poi rimossa.

Tutti gli elementi del sistema visivo si devono sviluppare in modo adeguato, se anche un solo elemento è soggetto ad anomalie, tutto il sistema ne risentirà. Analizzeremo di seguito lo sviluppo dei singoli elementi del sistema visivo.

L’occhio si differenzia molto presto dalla placca neurale. La cornea nasce dall’ectoderma superficiale, mentre la retina, l’epitelio pigmentato e il nervo ottico nascono dall’ectoderma neurale. A tre mesi di gestazione la maggior parte delle strutture anatomiche dell’occhio sono formate. Alla nascita l’occhio raggiunge circa il 74% della dimensione che avrà da adulto e completerà il suo sviluppo entro il tredicesimo anno di età. Se ci sono problemi nello sviluppo degli elementi anatomici nei primi tre mesi di gestazione, il successivo sviluppo neurale ne risentirà⁽¹⁹⁾.

La retina alla nascita è piuttosto immatura. L’area foveale si sviluppa prima di quella periferica; per uno sviluppo completo dell’area foveale e quindi della migrazione cellulare, che comporta la differenziazione degli strati cellulari, dei coni e dei bastoncelli, sono necessari circa 45 mesi. Nello sviluppo dell’area foveale, gli elementi ambientali possono influire sulle proporzioni tra le differenti cellule che compongono quest’area, ma sembra non possano influire sul loro funzionamento⁽²⁰⁾.

⁽¹⁷⁾ ADAMS D. L., *Normal and abnormal visual development*, San Francisco, University of California, 2014, pag. 11.

⁽¹⁸⁾ DAW N.W., FOX K., SATO H., CZEPITA D., *Critical period for monocular deprivation in the cat visual cortex*, in *Journal of Neurophysiology*, n. 67, Bethesda, The American Physiological Society, 1992, Pag. 197 – 202.

⁽¹⁹⁾ ADAMS D. L., *Normal and abnormal visual development*, San Francisco, University of California, 2014, pag. 9.

⁽²⁰⁾ ADAMS D. L., *Normal and abnormal visual development*, San Francisco, University of California, 2014, pag. 10.

Le cellule gangliari retiniche cominciano a migrare, per formare il *chiasma ottico*, intorno alla sesta settimana di gestazione. Tramite un meccanismo di repulsione e attrazione, gli assoni delle cellule gangliari raggiungono l'area del chiasma ottico. Nei primati, la proporzione di cellule gangliari che raggiunge il chiasma ottico è legato alla dimensione del campo di vista binoculare. Si evince che una deprivazione anatomica, che porta a uno sviluppo monoculare congenito, potrebbe comportare un anomalo sviluppo del chiasma ottico ⁽²¹⁾.

Nei primati, il 90% delle cellule gangliari retiniche proietta al *Corpo Genicolato Laterale*, il quale è formato da sei strati cellulari, di cui quattro sono dedicati alla gestione dei sistemi *parvocellulari* e *magnocellulari*. Gli strati sono presenti dalla nascita e sono un buon esempio d'interazione tra sviluppo attività-dipendente ed elementi innati. Il processo di sviluppo avviene tramite un'eliminazione selettiva delle cellule, finalizzata a ridurre le connessioni assoniche inappropriate. L'eliminazione selettiva contribuisce alla differenziazione utile allo sviluppo della visione binoculare. Il processo di eliminazione è legato a stimoli ambientali, mentre la differenziazione tra il sistema parvo e *magnocellulare* avviene prima dell'eliminazione selettiva e sembra non essere affetto da elementi esterni ⁽²²⁾.

Un punto di riferimento per studiare lo sviluppo del sistema visivo, inteso anche come percezione degli elementi, è la visione dei neonati. I neonati sono attratti dai volti, riescono a discriminare i movimenti della bocca e presto riusciranno a imitarli. Inizialmente gli infanti sono capaci di riconoscere scene con un elevato contrasto, mentre solo in seguito potranno distinguere i dettagli più fini. Tramite opportune tecniche di misura, sono state indagate alcune delle principali caratteristiche della percezione visiva, quali l'acuità, la sensibilità al contrasto, la visione binoculare, l'orientamento selettivo e la sensibilità al movimento. Lo scopo ultimo dell'indagine è stato di tracciare le caratteristiche di sviluppo di questi elementi dall'infanzia fino all'età adulta.

Come potremo vedere nel grafico che segue, utilizzando diversi metodi di misura e interpolando i risultati di diversi ricercatori, è possibile affermare che l'acuità visiva giunge a maturazione intorno al dodicesimo mese di età e cresce con una sua curva caratteristica.

⁽²¹⁾ ADAMS D. L., *Normal and abnormal visual development*, San Francisco, University of California, 2014, pag. 11.

⁽²²⁾ ADAMS D. L., *Normal and abnormal visual development*, San Francisco, University of California, 2014, pag. 9.

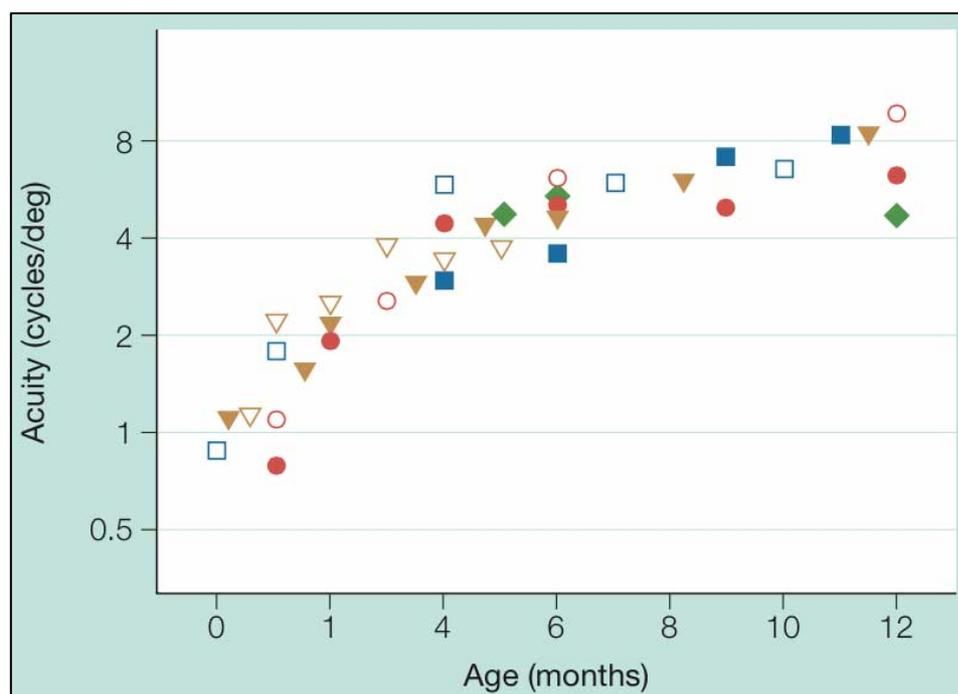


Fig. 7 - Misurazione dell'acuità visiva nei neonati ⁽²³⁾

L'acuità visiva è legata all'area foveale ed in particolar modo al concetto di campi recettivi; come anticipato nel capitolo riguardante la neuroanatomia del sistema visivo, dove il rapporto tra fotorecettori e cellule gangliari è più basso, si avrà una acuità visiva maggiore. La maggior parte dello sviluppo dell'area foveale avviene entro i primi quindici mesi, anche se poi la maturazione completa, come già anticipato, arriva intorno ai 45 mesi di vita. Il grafico riportato in figura 7 è verosimilmente coerente con lo sviluppo anatomico dell'area foveale.

Le misure di sensibilità al contrasto ci portano invece verso una direzione di sviluppo legata a elementi acquisiti. Nel grafico seguente è possibile apprezzare come la sensibilità al contrasto di un adulto è significativamente superiore di quella di un neonato.

Il contrasto è uno di quegli elementi che vengono gestiti dai sistemi *magno* e *parvocellulari*, in particolare dalla funzione *centro-on* e *centro-off* delle cellule gangliari. Come anticipato in precedenza, i sistemi *magno* e *parvocellulari*, così come la funzione *centro-on* e *centro-off* delle cellule gangliari, sono soggetti ad uno sviluppo precoce non influenzato da fattori ambientali. Lo sviluppo anatomico di questi sistemi raggiunge una buona maturità intorno al terzo mese di vita. Il successivo sviluppo

⁽²³⁾ ADAMS D. L., *Normal and abnormal visual development*, San Francisco, University of California, 2014, pag. 9.

funzionale del sistema, legato al contrasto, fino all'età adulta, è di natura corticale, ovvero legato all'aumento di connessioni sinaptiche.

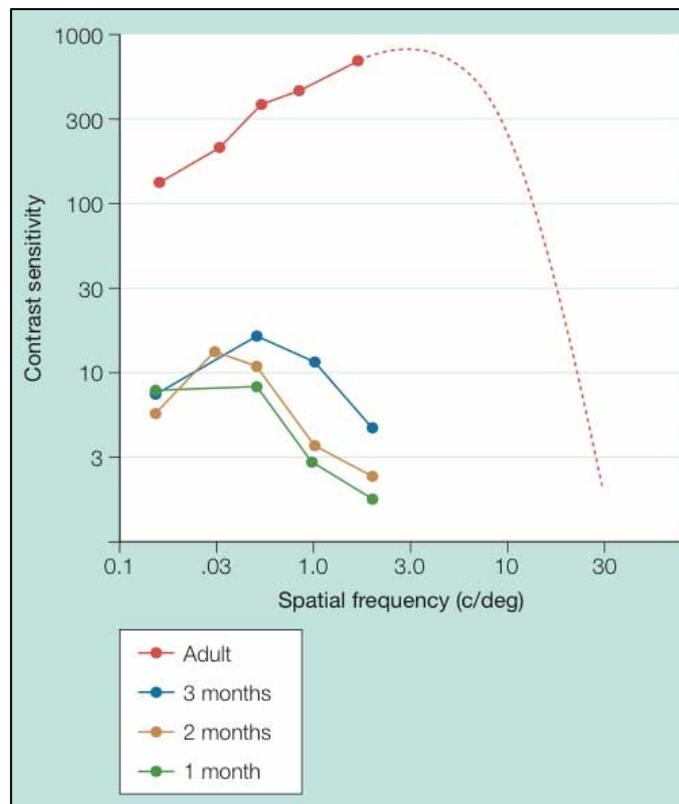


Fig. 8 - Sensibilità al contrasto rispetto all'età di sviluppo ⁽²⁴⁾

Per quanto dimostrato dalle teorie comportamentiste legate all'apprendimento ⁽²⁵⁾, possiamo affermare che gran parte dello sviluppo di connessioni sinaptiche è legato a fattori appresi.

Gli indici binoculari sono frutto di un'elaborazione neuronale. Tramite opportuni test è stato possibile determinare che la visione stereoscopica comincia a essere funzionale tra i 3 e i 6 mesi di vita. Il completo sviluppo avviene intorno al ventiquattresimo mese di vita. La prima fase di sviluppo, quella fino ai sei mesi, è molto probabilmente di natura genetica; è stato verificato che le funzionalità basiche degli indici binoculari sono legate al proliferarsi di un particolare tipologia di cellule nella corteccia striata.

⁽²⁴⁾ ADAMS D. L., *Normal and abnormal visual development*, San Francisco, University of California, 2014, pag. 13.

⁽²⁵⁾ FREEDHEIM D. K., WEINER I. B., *Handbook of psychology*, Vol. 1, History of Psychology, Cleveland, John Wiley & Sons Inc., 2003, pag. 110 -119.

Lo sviluppo funzionale fino a età adulta comporta, invece, un aumento di connessioni sinaptiche nelle aree extrastriate. Per quanto già espresso relativamente alla sensibilità al contrasto, è verosimile che tali sviluppi siano maggiormente correlati al fattore *Nurture*.

Osservando la corteccia striata di un neonato è stato possibile determinare che non ci sono neuroni sensibili ai diversi orientamenti. Tale capacità è sviluppata molto rapidamente nelle prime tre settimane di vita ⁽²⁶⁾. Dopo tre settimane di vita, la risposta neuronale agli orientamenti è molto simile a quella di un adulto. Il breve periodo di sviluppo di questa funzione lascia presupporre che le componenti maggiormente implicate siano di natura genetica, innescate da probabili fattori ambientali.

La percezione del movimento si sviluppa quasi completamente intorno alla quindicesima settimana di vita ⁽²⁷⁾; come per le cellule sensibili agli orientamenti lo sviluppo è molto rapido, è legato a fattori genetici ed in particolare alla maturazione dei correlati neurali: il IV strato "B" della corteccia striata e la V5 della corteccia extrastriata.

⁽²⁶⁾ ADAMS D. L., *Normal and abnormal visual development*, San Francisco, University of California, 2014, pag. 14.

⁽²⁷⁾ ADAMS D. L., *Normal and abnormal visual development*, San Francisco, University of California, 2014, pag. 14.

Capitolo III

3 La percezione nei soggetti riabilitati – analisi dei risultati

3.1 Progetto Prakash

In quelle zone del mondo dove, per ragioni politico-economiche, l'accesso sanitario non è accessibile per grandi fasce della popolazione, la cataratta è una delle maggiori cause di cecità. In particolar modo quando si tratta di bambini affetti da cataratta congenita.

In queste zone del mondo sono nate delle iniziative umanitarie per cercare di contrastare e, nello stesso tempo, sensibilizzare le società industrializzate a questo problema. Una di queste iniziative, come detto, è il *Progetto Prakash*, termine che, in sanscrito, vuol dire *luce*, sviluppato in India. Il progetto si propone di creare una struttura sanitaria sul territorio, che comprenda personale medico, infermieristico e studiosi di varie università, con l'obiettivo di selezionare dei bambini con problematiche visive importanti, ai quali è stato precluso il trattamento medico, in particolare pazienti con cataratta congenita, che in India, purtroppo, conta numeri importanti.

Questo approccio coglie due aspetti importanti: permette di curare bambini che altrimenti sarebbero condannati a rimanere ciechi, perseguendo un aspetto fortemente umanitario e nel contempo permette di raccogliere un insieme di dati che possono essere usati in seguito, per indagare questioni fondamentali sulla plasticità del cervello.

Ad oggi, tramite il *Progetto Prakash* ⁽¹⁾, è stato operato uno screening ad oltre 40000 bambini, fornendo trattamento chirurgico ad oltre 400 piccoli pazienti e curato con ausili alternativi oltre 1400 casi.

Il lavoro scientifico del progetto si propone di indagare vari aspetti, quali la determinazione degli aspetti negativi che comportano una deprivazione visiva dalla nascita fino a oltre la finestra critica di sviluppo, ma soprattutto la risposta post operatoria dei soggetti trattati, quali l'acquisizione e, in certi casi, il ripristino delle abilità visive, come la sensibilità al contrasto, l'acuità, nonché funzioni di alto livello

⁽¹⁾ SINHA P., CHATTERJEE G., GANDHI T., KALIA A., *Restoring Vision through "Project Prakash": The Opportunities for Merging Science and Service*, in PLoS Biology, San Francisco, PLoS, 2013.

come il riconoscimento degli oggetti e dei volti. Tali informazioni hanno contribuito ad aumentare la conoscenza sui meccanismi innati e acquisiti del nostro cervello e ci hanno dato la possibilità di indagare nuove euristiche, che possono attenuare i disagi dell'handicap. Utilizzando la tecnologia di neuroimaging fMRI si sono indagati i collegamenti e i cambiamenti corticali, che accompagnano lo sviluppo del sistema cognitivo e di come l'informazione sensoriale visiva irrompe nelle reti neurali di un paziente, che non ha mai visto dalla nascita e per il successivo primo decennio, nonché la sfida cross-modale che il cervello si trova a dover risolvere, ricreando connessioni somato-uditive con nuovi stimoli visivi.

Si è cercato finalmente di rispondere al quesito che, più di tre secoli fa, filosofi come Locke e Molyneux si ponevano su come si forma l'oggetto nella nostra mente. Nel 1728 un famoso chirurgo di Londra, William Cheselden, opera di cataratta un ragazzo di 14 anni, cieco dalla nascita, ridandogli la vista. Il resoconto dell'intervento, apparso sulla rivista della *Royal Society*, suscita un enorme interesse e riaccende la discussione su un quesito sorto nel 1688, quando lo studioso irlandese di ottica William Molyneux pose all'amico filosofo John Locke il seguente interrogativo: un cieco dalla nascita, al quale si sia insegnato a distinguere mediante il tatto un cubo da una sfera, ove recuperi improvvisamente la vista, sarà in grado di distinguere il cubo dalla sfera senza far ricorso al tatto?

Una possibile risposta a questo quesito è fornita dai bambini selezionati nel *Progetto Prakash*, i quali non sono in grado di riconoscere un oggetto se non lo toccano con le mani. Pur non essendoci nessuna evidenza di un legame innato tra vista e tatto, in poche settimane quest'abilità è raggiunta. Lo sviluppo così rapido di questa capacità indica una forte plasticità nei processi di apprendimento.

I dati raccolti hanno permesso di approfondire la conoscenza in diversi domini, tra i quali *il contrasto, le illusioni ottiche, il riconoscimento facciale, la percezione degli oggetti, acuità e capacità di analisi visiva*.

Queste capacità sono state indagate in una serie di studi condotti all'interno del *Progetto Prakash* ⁽²⁾, presso l'ospedale del dott. Shroff Charity Eye Nuova Delhi (SHEH) ed in collaborazione con il Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Prenderemo in esame il quadriennio gennaio 2008 - dicembre 2011; la selezione dei candidati ha, in primis, identificato dei bambini affetti da cataratta bilaterale densa. Sono stati selezionati 53 pazienti, di età superiore a 8 anni, su oltre 20.000 bambini, appartenenti alle classi rurali; in tutti era presente un nistagmo di

⁽²⁾ SINHA P., CHATTERJEE G., GANDHI T., KALIA A., *Restoring Vision through "Project Prakash": The Opportunities for Merging Science and Service*, in PLoS Biology, San Francisco, PLoS, 2013.

notevole ampiezza. Questo disturbo, dal greco sonnolenza, si riferisce a dei movimenti involontari oscillatori e ritmici dei globi oculari, definito infantile, come nel nostro caso, se presente prima dei sei mesi di vita.

Questa condizione ci riporta alla descrizione del primo capitolo, dove abbiamo visto che nel NGL si diramano delle connessioni che vanno verso un'area situata nel tetto del mesencefalo: il *collicolo superiore*, zona di elaborazione necessaria per il tracking foveale. La visione come attraverso un vetro opalino, caratteristica della cataratta, fa mancare di definizione l'informazione da parte dei recettori retinici, rendendo impossibile il corretto tracking che, di conseguenza, causa il nistagmo.

I pazienti sono stati sottoposti a intervento di cataratta bilaterale, con impianto di lenti intraoculari. A ogni bambino selezionato è stata fatta un'attenta anamnesi, dove sono state valutate:

- *La storia dettagliata per quanto riguarda la durata e la gravità della perdita visiva.*
- *Storia familiare, ricerca di trasmissioni genetiche.*
- *Migliore acuità visiva corretta (BCVA).*
- *Valutazione segmento anteriore.*
- *Presenza di strabismo o nistagmo.*
- *Valutazione densità e tipologia della cataratta con esame al biomicroscopio.*
- *Valutazione attraverso scansioni laser OCT segmento posteriore.*

A seguito di questi esami sono stati elaborati dei criteri di esclusione:

- *Età inferiore agli 8 anni*
- *BCVA(best-corrected-visual-acuity) oltre conta dito da 1,5 metri di distanza in entrambi gli occhi*
- *Cataratta asimmetrica o parziale*
- *Presenza di patologie retiniche o traumi.*

L'importanza di questo studio sta nel fatto che i bambini sono passati da una condizione di cecità di terzo livello a un improvviso ripristino di un'immagine definita a livello retinico. Secondo la classificazione internazionale i livelli indicano: livello 0 lieve o nessuna disabilità visiva (acuità meglio di 6/18 o 20/70) , livello 1 minorazione visiva moderata (acutezza che va da 6/18 a 6/60 (20 / 70-20 / 200), livello 2 grave disabilità visiva (acuità che vanno dal 6 / 60-3 / 60 (20 / 200-20 / 400), livello 3 la cecità

(acutezza che vanno dal 3 / 60-1 / 60 (20 / 400-20 / 1200) o il dito contando ad 1 m), livello 4 la cecità (acutezza che va da 1/60 (20/1200) o il dito contare da 1 m di percezione della luce) e livello 5 la cecità (non percezione della luce). La condizione pre-operatoria è tale da impedire il riconoscimento degli oggetti. Il follow-up postoperatorio è previsto dopo sei settimane dall'intervento al secondo occhio; la rivalutazione è effettuata con simboli LEA grafico log-MAR, a una distanza di 6 piedi (182 cm), con la migliore correzione. Si procederà con una breve analisi dei risultati riguardanti i domini funzionali indagati. Le tavole LEA sono rappresentate da immagini a simboli, tipo cuore, casetta, quadrato ecc., equiparabili ai parametri MAR. Il minimo risolvibile dipende dalla salute della retina e dalla bontà e precisione del sistema ottico oculare. La più piccola distanza, cui due linee sono percepite come separate, è chiamato minimo angolo di risoluzione (M.A.R., Minimal Angle of Resolution). Solitamente il MAR è misurato in secondi di arco. La minima risoluzione angolare è intesa come l'inverso dell'angolo di minima risoluzione, considerando solo lo spessore della linea.

3.2 Studio del contrasto ⁽³⁾

La sensibilità al contrasto è uno degli elementi fondamentali che determina il corretto sviluppo visivo. Studi neurofisiologici eseguiti su animali, ai quali è stata indotta una precoce deprivazione visiva, indicano una notevole riduzione della sensibilità al contrasto dei neuroni nella corteccia visiva, deficit che permane anche dopo il ripristino della visione. Sono stati anche esaminati un gruppo di pazienti umani, ove la riduzione di sensibilità limita il completamento di molti compiti, come il riconoscimento delle facce di oggetti, il movimento spaziale e la lettura. Definiamo due elementi: l'età d'insorgenza della cecità e la durata della stessa.

Consideriamo *precoce* quando si instaura entro il primo anno di età, *estesa* quando dura almeno fino alla prima infanzia (circa sette anni). Il paziente MM, cieco dall'età di 3 anni fino ai 43, dopo l'intervento ed il recupero della vista, non ha mostrato miglioramenti della sensibilità al contrasto per i successivi due anni. Questo porterebbe a pensare che i meccanismi neurali a supporto di questa caratteristica non siano innati e si sviluppino solo in una determinata finestra temporale. I risultati ottenuti con i bambini del *Progetto Prakash* smentiscono questa supposizione. Si è

⁽³⁾ KALIA A., LESMES L. A., DORR M., GANDHI T., CHATTERJEE G., GANESH S., BEX P. J., SINHA P., *Development of pattern vision following early and extended blindness*, Washington, PNAS, 2013.

notato infatti un miglioramento della sensibilità al contrasto già 10 giorni dopo l'intervento, con continui progressi fino all'anno successivo. Una spiegazione plausibile sta nel cambiamento corticale dato dalla nuova acquisizione dello stimolo.

Studi sugli animali hanno dimostrato che una manipolazione artificiale sui meccanismi di plasticità molecolare può ritardare il periodo critico. La maturazione dei circuiti inibitori, modulati dal GABA, è legata allo stimolo ricevuto, quindi la maturazione potrebbe ritardare in mancanza di stimoli (allevamento al buio). Questi dati, ricavati da studi sui ratti, sembrerebbero poter essere estesi anche all'uomo. Semplificando, sembra che i circuiti neurali, coinvolti nella percezione del contrasto, rimangano in una sorta di stand by, pronti a riattivarsi quando lo stimolo ritorna ad essere presente.

Secondo queste considerazioni, possiamo pensare che questo sia un *processo innato*, presente e pronto a evolversi, che di fatto estende il periodo critico e la collegata plasticità del sistema.

L'età critica classica biologica, considerata limite fino a circa sette anni, non è più tale, dovendo considerare anche l'esperienza visiva.

3.3 Illusioni ottiche ⁽⁴⁾

Le illusioni ottiche, perché abbiano luogo, devono essere supportate da un'esperienza visiva. Per confermare o smentire questa deduzione, bisognerebbe tuttavia verificare se le illusioni ottiche vengano percepite dagli individui sin dalla nascita o meno. Determinare questa condizione è molto difficile, perché il neonato non è in grado di dare risposte affidabili. All'interno del *Progetto Prakash* si apre questa possibilità, poiché l'età dei bambini consente di determinare se nello specifico l'illusione esista o meno.

Prendiamo in considerazione due illusioni molto note, l'illusione geometrica di Ponzo e quella di Muller Lyer ⁽⁵⁾ (figure 9 e 10). L'illusione di Ponzo propone un'immagine prospettica in due dimensioni, che riproduce un'esperienza reale. In questa illusione si utilizza un'immagine di rotaie di un treno che si allontanano all'infinito; le due linee, che intersecano le rotaie, sono percepite come di diversa lunghezza, anche se uguali. Questo è dovuto all'esperienza che ci ha insegnato che se la linea fosse più lontana sarebbe più piccola.

⁽⁴⁾ GANDHI T., KALI A., GANESH S., SINHA P., *Immediate susceptibility to visual illusions after sight onset*, in *Current Biology*, n. 25, Edinburgh, Elsevier, 2015.

⁽⁵⁾ MÜLLER-LYER F.C., *Optische Urteilstauschungen*, Archiv für Anatomie und Physiologie Physiologische Abteilung, Berlin, Im verlag von g. Eichler 1889, pag. 263–270.

Una simile illusione, data da una linea più lunga dell'altra anche se uguale, è presente nell'illusione di Müller Lyer. In questo caso gli elementi che fanno la differenza sono delle linee inclinate a 45° , che formano un angolo acuto.

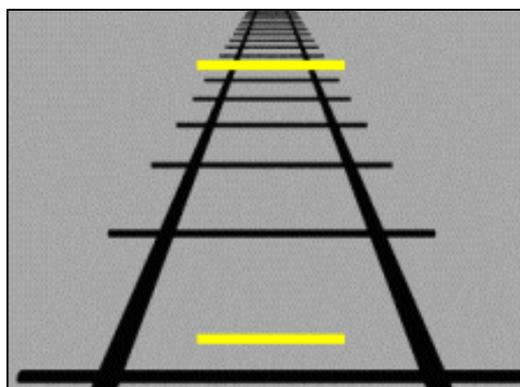


Fig. 9 - Illusione di Ponzo

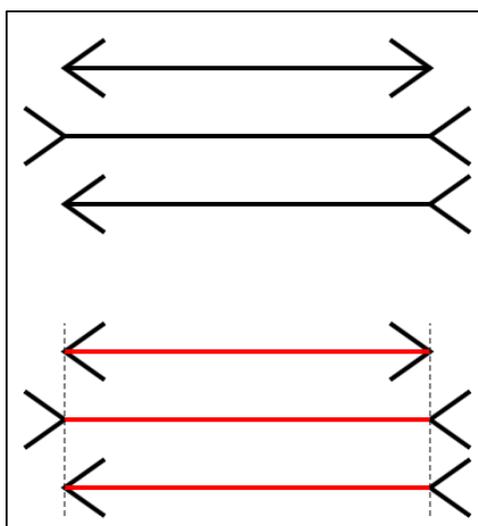


Fig. 10 - Illusione di Muller – Lyer

I bambini analizzati non avevano nessun tipo d'illusione nella fase preoperatoria, poiché non avevano potere discriminante. Sono stati selezionati nove di questi, con un'età media di 12.2 anni, affetti da cataratta binoculare densa; la capacità visiva era di percezione della mano mossa davanti alla faccia. Sono stati operati, con inserimento della lente intraoculare, e i primi test sono stati eseguiti dopo quarantotto ore dall'intervento. Fin dai primi test si è notato che la sensibilità alle due illusioni si attivava immediatamente dopo l'intervento.

Ciò porta a pensare che le illusioni di Ponzo e Muller-Lyer non richiedano una completa percezione spaziale delle scene, dato che quest'ultima non è del tutto presente subito dopo l'intervento. Un'altra spiegazione, a questa inaspettata risposta alle illusioni, è la possibilità che la sensibilità possa essere generata da precedenti esperienze tattili. Questa scoperta comporta delle valutazioni che vanno oltre la spiegazione del meccanismo dell'illusione e quindi, più in generale, anche sulle considerazioni nature - nurture del nostro sistema cognitivo.

I risultati ⁽⁶⁾ ci portano a considerare che la sensibilità a queste due illusioni non sia legata a fattori contingenti individuali e appresi, ma più probabilmente a fattori legati al processo neurale di codifica visiva, il quale non dipende dall'esperienza visiva maturata, bensì dalla struttura intrinseca delle aree neurali deputate all'organizzazione percettiva.

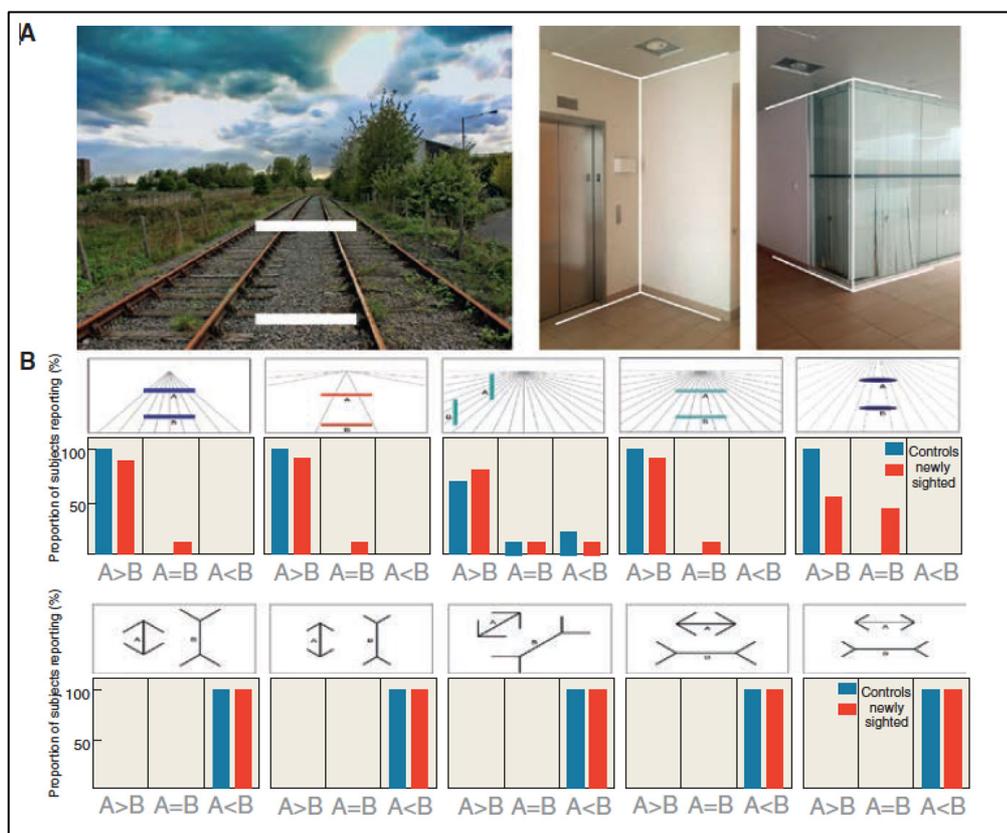


Fig. 11 - Risultati dei test sulle illusioni ottiche

⁽⁶⁾ SINHA P., HELD R., *Sight-restoration*, in F1000 Medicine Reports, n. 4, London, Faculty of 1000, 2012.

3.4 Riconoscimento facciale ⁽⁷⁾

Circa lo sviluppo dei circuiti neurali e la successiva associazione cognitiva, che porta al riconoscimento dei volti, non si dispone di dati sperimentali sufficienti a chiarire il processo nella sua completezza. Alcuni studi riportano che la deprivazione visiva comporta profonde alterazioni nel riconoscimento dei visi e sostengono che la stessa alteri profondamente il riconoscimento del volto ⁽⁸⁾. Brevi periodi di privazione nei primi 2/6 mesi di vita hanno compromesso la capacità di riconoscimento dei volti ⁽⁹⁾.

Riportiamo dei dati che si riferiscono all'analisi su due bambini, SB e KK, che hanno sofferto entrambi di cecità congenita nei primi sette anni di vita. SB è un bambino di 10 anni con cataratta densa; la sua visione era pessima, riusciva a distinguere due dita su fondo chiaro a 6 pollici di distanza. Un soggetto considerato legalmente cieco dall'OMS sarebbe in grado di riconoscere le due dita a 36 pollici.

KK è una bambina di 11 anni con cataratta bilaterale densa; la sua visione risultava molto compromessa; nella sua storia familiare, il padre soffriva dello stesso problema, mai affrontato dal punto di vista medico. Post intervento, una volta restaurata la visione, sono state valutate le loro capacità di riconoscere i volti. La valutazione è stata fatta in due momenti diversi; per SB dopo un mese e mezzo dall'intervento; per KK dopo quattro anni. Si è cercato di appurare la capacità, per entrambi, di riconoscere le facce/non facce, all'interno di una scena contaminata con elementi distrattori.

⁽⁷⁾ GANDHI T., KALI A., GANESH S., SINHA P., *Immediate susceptibility to visual illusions after sight onset*, in Current Biology, n. 25, Edinburgh, Elsevier, 2015.

⁽⁸⁾ Gregory (1963); Valvo, (1971);

⁽⁹⁾ LE GRAND R., MONDLOCH C. J., MAURER D., BRENT H. P., *Early visual experience and face processing*. in Nature Neuroscience, n. 410, London, Macmillan Publishers Ltd, 2001.



Fig. 12 - Immagini utilizzate durante il test di riconoscimento facciale.

È stato utilizzato un set di stimolazione in bianco e nero, con immagini di facce/non facce, di entrambi i sessi, in diverse condizioni di luce. Il compito consisteva nel toccare con il dito la faccia, all'interno della scena proposta, registrando le risposte corrette e quelle mancate, cioè *falsi allarmi*.

SB e KK hanno mostrato un elevato tasso di riconoscimento dei volti e un basso livello di falsi allarmi, ottenendo risultati simili a quelli del gruppo di controllo. La privazione, alla quale sono stati sottoposti per anni, non ha annullato la capacità di riconoscimento, che si è riattivata pressoché immediatamente; a SB, infatti, i test sono stati somministrati sei settimane dopo l'intervento. Elemento importante è la natura delle informazioni utilizzate. Le Grand nel 2001⁽¹⁰⁾ suggerisce che i soggetti, che sono ciechi per lunghi periodi dalla nascita, affrontano il problema in modo olistico, non come apparati sensoriali singoli, quali occhi, bocca, tatto etc.

Si è voluto verificare anche questa possibilità somministrando un test, che tiene conto delle componenti olistiche nel riconoscimento. Sostanzialmente questa batteria di test presenta tre immagini con una parte di dettagli cancellata, la prima preservando la configurazione del viso, la seconda l'inversione delle immagini alto/basso e la terza con mantenimento dei soli particolari essenziali, come occhi, naso e bocca. Nei primi due il compito era determinare faccia/non faccia, nel terzo era indicare ciò che l'immagine raffigurava. I risultati di SB e KK sono stati scadenti nei test con immagine invertita, così come nel terzo test con caratteristiche isolate. Si deduce che le singole informazioni isolate non sono sufficienti al riconoscimento del volto per questi pazienti.

Nel loro insieme, i risultati portano a pensare che la condizione di deprivazione visiva prolungata non infici completamente il riconoscimento dei volti. Il ripristino avviene inaspettatamente e molto velocemente. Il basso visus dei pazienti sembra infatti potenziare le capacità olistiche, apprese durante i lunghi anni di visione sfuocata e lattiginosa conseguenti alla cataratta.

Questo risultato è molto interessante peraltro per lo studio di modelli computazionali, che mirano al riconoscimento dei volti. In questo momento i modelli computazionali prevedono un riconoscimento attraverso la percezione delle singole parti⁽¹¹⁾ mentre, come abbiamo visto dai risultati sperimentali, la strada giusta sembra essere un "montaggio cognitivo" di tipo olistico.

⁽¹⁰⁾ LE GRAND R., MONDLOCH C. J., MAURER D., BRENT H. P., *Early visual experience and face processing*. in Nature Neuroscience, n. 410, London, Macmillan Publishers Ltd, 2001.

⁽¹¹⁾ LEE D., SEUNG. H. S., *Learning the parts of objects by non-negative matrix factorization*, in Nature Neuroscience, n.401, London, Macmillan Publishers Ltd, 1999, pag. 788-791.

3.5 Acuità visiva ⁽¹²⁾

L'acuità visiva post intervento è un'altra importante priorità, che il trattamento mira a raggiungere. Un sufficiente visus è necessario per la lettura e il completamento del dettaglio cognitivo dell'intero percepito. Una volta tolto l'ostacolo ottico, dato da un cristallino opacizzato, alla retina arrivano raggi luminosi molto più definiti, non più soggetti a fenomeni di diffusione dati dall'opacità.

A sei settimane dall'intervento del secondo occhio, i pazienti sono stati rivalutati, attraverso i simboli LEA log MAR a sei piedi di distanza, già definiti nel sotto capitolo introduttivo. Una seconda registrazione è avvenuta dopo sei mesi, valutando la BCVA, da lontano e da vicino, a una distanza di 30 cm., sempre con simboli LEA.

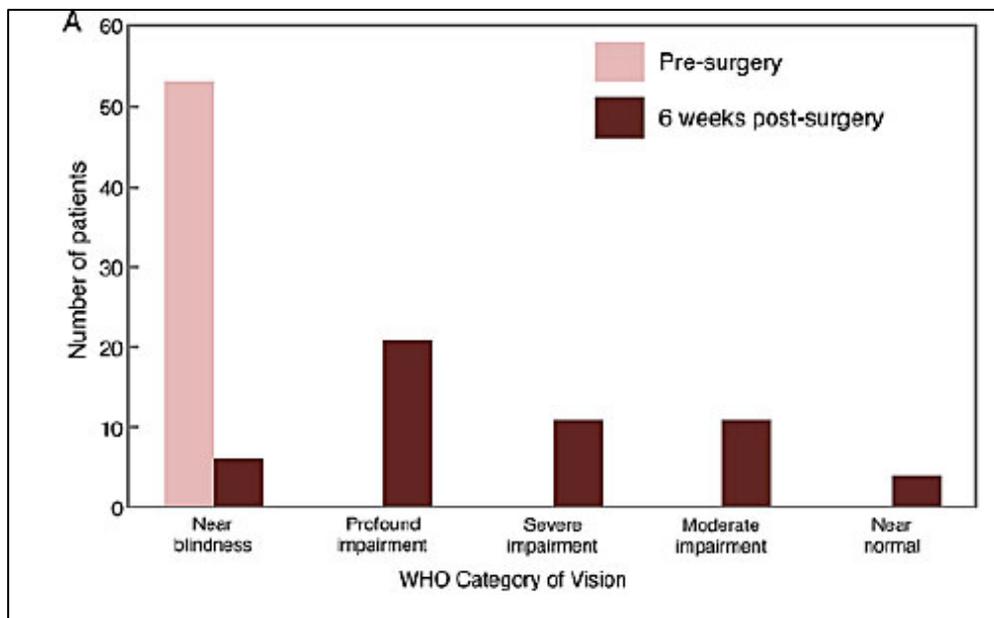


Fig. 13 - Risultati dei test e pre e post intervento - acuità visiva

Una prima analisi ci dice che l'intervento ha cambiato la condizione dei piccoli pazienti, transando dallo stato di quasi cecità, indicata nel grafico come *near blindness*, a una visione sensibilmente migliorata. Dopo l'intervento, il 90,6% (48 su 53) dei bambini ha avuto una transazione a stadi successivi.

Per comprendere meglio i dati statistici, l'acuità visiva preoperatoria media si attestava, per la visione da lontano, a logMAR 2,19. Questo valore indica una visione

⁽¹²⁾ GANESH S., ARORA P., SETHI S., GANDHI T. K., KALIA A., CHATTERJEE G., SINHA P., *Results of late surgical intervention in children with early-onset bilateral cataracts*, in British Journal of Ophthalmology, Manchester, BMJ Publishing Group Ltd, 2014.

pessima, che non permette il riconoscimento degli oggetti e contribuisce alla percezione spaziale in maniera minimale. Il miglioramento medio, per tali condizioni, è stato notevole. Il 95% dei pazienti è passato da un'acuità di logMAR di 1,19 a 1,45. Questo livello di acuità permette una migliore localizzazione spaziale, anche se il potere discriminante rimane ancora molto basso.

I dati, concernenti la visione da vicino, vanno da una condizione pre-operatoria di logMAR di 1,09 al successivo 0,41; un ottimo risultato. Questo livello di acuità permette al paziente (76%) un riconoscimento attivo del tratto, nel disegno e nella lettura, anche se con caratteri particolarmente grandi. I risultati ottenuti hanno permesso al 61% dei bambini di leggere, tramite una correzione all'occhiale opportuna. Il 24% richiedeva ausili visivi ingrandenti. L'impatto post-operatorio ha aperto la strada a opportunità educative di livello superiore; 9 bambini su 23, che andavano a scuola in strutture dedicate ai ciechi, sono potuti essere reintegrati nelle scuole normali, anche se seguiti da operatori di sostegno.

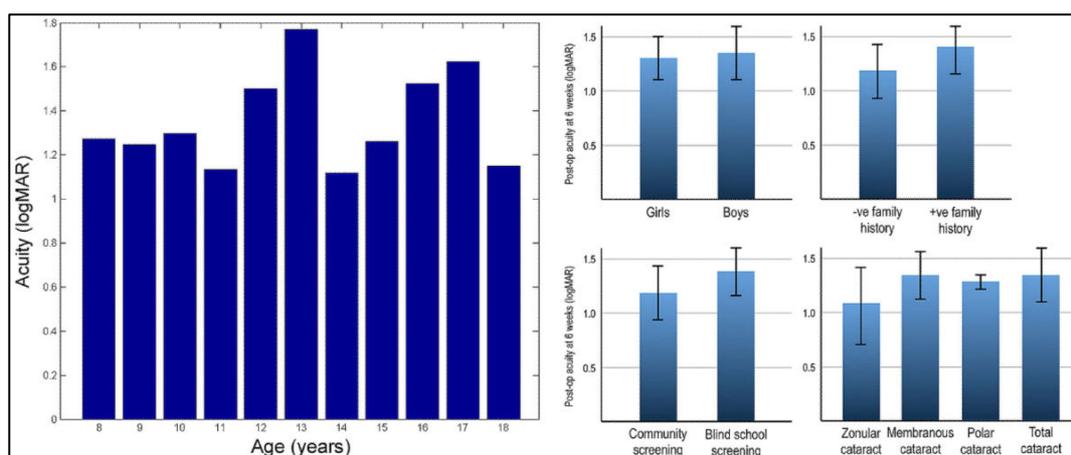


Fig. 14 – Influenza dei 5 fattori sull'acuità visiva (età-sesso-storia familiare-screening-tipo di cataratta)

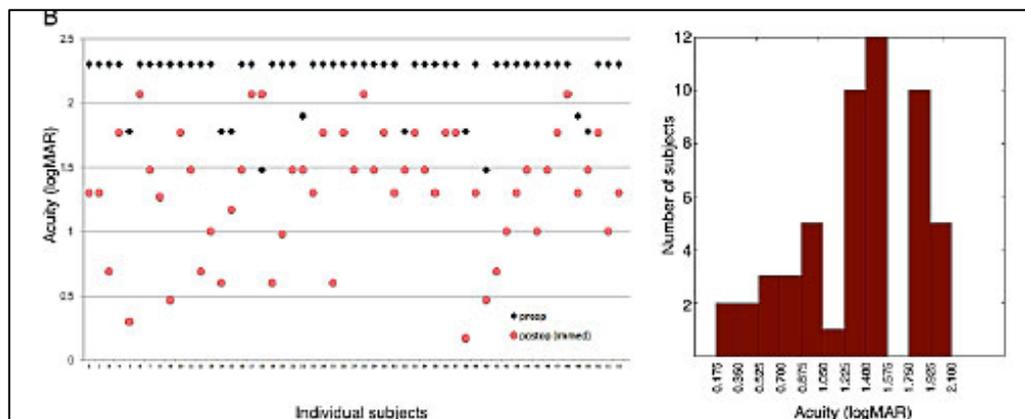


Fig. 15 –Acuità visiva pre e post operatoria (6 settimane)

3.6 Capacità di analisi visiva⁽¹³⁾

Anche in questo studio, il Progetto Prakash ha fornito un’opportunità unica per l’analisi delle prime fasi del loro recupero visivo. I processi che portano a “legare “ insieme i dettagli di una scena, in un unico percetto, sono stati studiati, analizzando gli elementi dell’organizzazione come il raggruppamento e la segregazione.

La selezione ha portato alla scelta di un gruppo di pazienti: SK maschio di 29 anni, per la prima volta esaminato da un oculista a 12 anni. Per motivi finanziari, legati alla condizione della sua famiglia, non era stato trattato, rimanendo quindi nella sua condizione, frequentando una scuola per ciechi. Nel 2000 si è trasferito in un ostello per non vedenti a Nuova Delhi, dove nel 2004 il personale del Progetto Prakash ha avuto occasione di visitarlo. Gli è stata diagnosticata un’afachia bilaterale congenita, con percorso ottico fino alla retina, limpido, ma ovviamente molto sfuocato, a causa della notevole mancanza diottrica del cristallino. Sino a quel momento non aveva potuto permettersi l’uso di occhiali; i primi gli sono stati donati nel 2004. Da una condizione visiva pre-correzione di 20/900, cioè pessima, con l’ausilio delle lenti si è ottenuto il miglioramento fino a 20/120.

Sono stati selezionati altri due ragazzi, PB e JA, che abbiamo seguito dopo l’intervento di cataratta. PB è stato operato all’età di sette anni, mentre JA all’età di tredici. È stato costruito un test che comprendeva sette prove, costituite da un compito di riconoscimento di forme semplici. Le stesse sono state somministrate a SK dopo l’inizio dell’uso degli occhiali, a PB dopo un mese dall’intervento e a JA dopo tre mesi dallo stesso. Il compito consisteva nel riconoscere gli oggetti, il numero assegnato

⁽¹³⁾ OSTROVSKY Y., MEYERS E., GANESH S., MATHUR U., SINHA P., *Visual Parsing After Recovery From Blindness*, in *Psychological Science*, n. 20, Washington, Association for Psychological Science, 2009.

loro nelle foto, indicando dove si trovavano e, ove possibile, il nome dell'oggetto stesso.

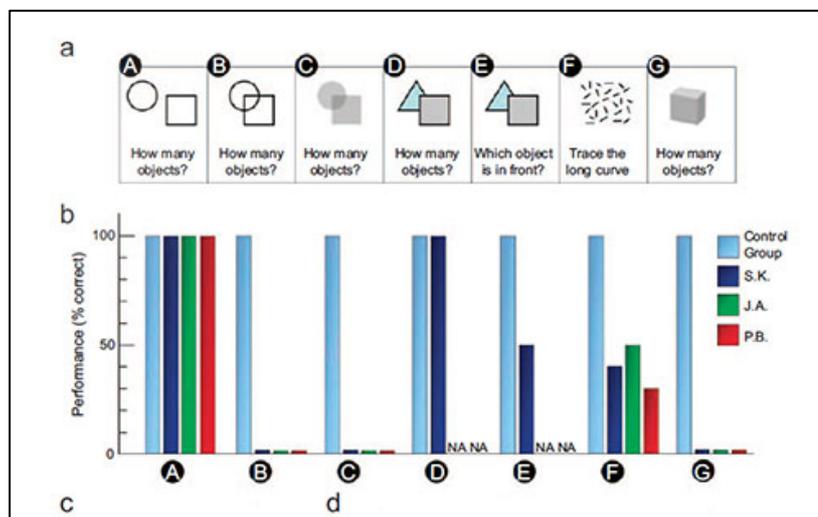


Fig. 16 - Risultati dei test

Le prestazioni dei soggetti, come si può vedere dal grafico, evidenziano delle grandi difficoltà nel percepire i contorni, la struttura di giunzione e la simmetria per tutti i soggetti, fatta eccezione per il paziente SK, che nel compito D ha eguagliato il paziente di controllo. La percezione dei soggetti è caratterizzata da una frammentazione del segnale, che possiamo evidenziare dal test C, anche con figure semplici.

In seguito i ricercatori hanno pensato di riproporre altri test. La nuova batteria di test partiva dal presupposto che l'ambiente reale è dinamico e si arricchisce di un elemento: il movimento. Il compito dei soggetti esaminati era identico a quello dei precedenti test statici. I risultati sono stati notevolmente diversi; tutti i pazienti hanno migliorato la prestazione; Il movimento sembra un elemento fondamentale per il riconoscimento degli oggetti, in pazienti che tornano a vedere dopo un lungo periodo di cecità. Il movimento ha permesso anche a SK di migliorare la sua prestazione nei test con rumore di fondo (prove C-D).

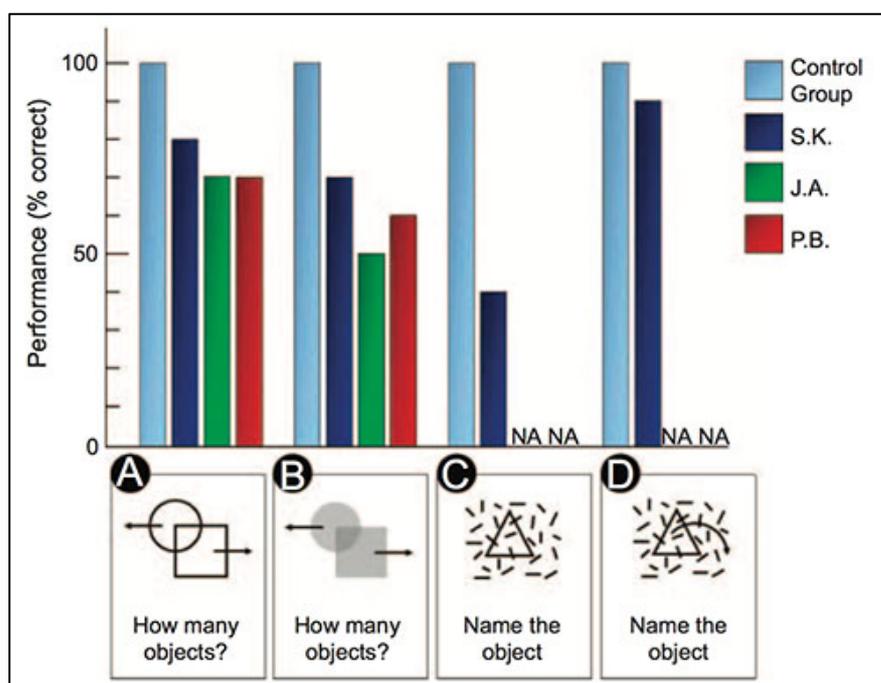


Fig. 17 - Ulteriori risultati dei test

Una possibile spiegazione a questi risultati è che il movimento aiuta ad attivare delle regioni neurali, che generano delle rappresentazioni mentali, atte al riconoscimento degli oggetti. Lo studio ha anche evidenziato un incremento delle prestazioni nel tempo. Nel caso del paziente SK, il primo test è stato somministrato tra i 6 e i 12 mesi successivi e risultava inalterato. Questo dato era in linea con le previsioni, poiché SK aveva un'età matura al momento dell'intervento; contrariamente, un test eseguito 18 mesi dopo, ha fatto riscontrare un notevole miglioramento. Stessa cosa è stata riscontrata per i pazienti PB e JA, testati 10 mesi e 12 mesi dopo. Questi dati ci dicono che le capacità relative all'analisi visiva possono svilupparsi anche molto dopo la riacquisizione della vista. Il movimento integra efficacemente le difficoltà di riconoscimento statico, che nel tempo tendono a riattivarsi. È possibile, come afferma Kiorpes & Movshon con degli studi nel cervello dei primati (2003 2004), che esista un'innata predisposizione neurale alla sensibilità del movimento, che fornisce le competenze necessarie, creando un'impalcatura utile all'analisi visiva di scene statiche. Una risposta importante che questo studio ha prodotto è che l'idea di un periodo critico, non deve essere considerata troppo rigidamente; al contrario è opportuno assumere un atteggiamento ottimistico sui possibili risultati dei trattamenti tardivi.

3.7 Percezione degli oggetti “cross-modale”, vista e tatto ⁽¹⁴⁾

In questa parte di studi, contestualizzati sempre all'interno del *Progetto Prakash*, vengono affrontati gli aspetti del riconoscimento percettivo. In pratica, si è analizzato come avviene il riconoscimento di un oggetto che non si è mai visto e che non è mai stato possibile toccare. Molyneux si poneva questa domanda già tre secoli fa e ancora oggi, nonostante le tecnologie a disposizione, il relativo meccanismo non è stato del tutto chiarito. Una delle difficoltà incontrate dai ricercatori è quella riguardante la difficile reperibilità dei pazienti adatti alla ricerca. I soggetti infatti dovrebbero essere ciechi dalla nascita, affetti da una patologia curabile e maturi ad un livello tale da fornire risposte attendibili ai test, elementi non riscontrabili nei bambini molto piccoli.

La “finestra” dei possibili pazienti da sottoporre ai test, nel mondo industrializzato, è quasi nulla. Nei nostri Paesi, infatti, quando nei primi mesi di vita si accerta una patologia pediatrica, l'assistenza medica moderna interviene immediatamente. Questo ovviamente non accade in Paesi con problemi assistenziali e situazioni di povertà. La selezione dei pazienti del Progetto Prakash, a causa della sfortunata situazione sociale che sono costretti a vivere, risponde alle caratteristiche necessarie allo studio. Questi bambini con cataratta congenita sono stati costretti infatti ad utilizzare il tatto, come principale senso per l'esplorazione del mondo lungo tutti gli anni di deprivazione.

Nell'ambito del *Progetto Prakash* sono stati selezionati cinque soggetti, il paziente YS maschio di 8 anni, BG maschio di 17 anni, SK maschio di 12 anni e PS maschio di 14 anni, tutti con cataratta bilaterale congenita densa; a questi si aggiunge la paziente PK, femmina di 16 anni, con opacità corneale bilaterale. In tutti i soggetti le condizioni preoperatorie erano tali da permettere di discriminare la differenza tra luce e buio, ad eccezione dei pazienti BG e PK, che riuscivano a determinare anche la direzione di una luce brillante, mossa davanti al viso. Sono stati tutti operati di cataratta, eccetto la ragazza PK, alla quale è stato eseguito un trapianto di cornea. Il test al quale sono stati sottoposti si sviluppava attraverso la presentazione di venti forme tridimensionali grandi (da 6 a 20 gradi di angolo visivo e 30 cm di distanza), prese da un set di giochi per bambini. Tali forme sono state presentate su sfondo bianco, al fine di contrastare il più possibile la figura dal fondo.

⁽¹⁴⁾ HELD R., OSTROVSKY Y., DE GELDER B., GANDHI T., GANESH S., MATHUR U., SINHA P., *The newly sighted fail to match seen with felt*, in Nature Neuroscience, 2011. |

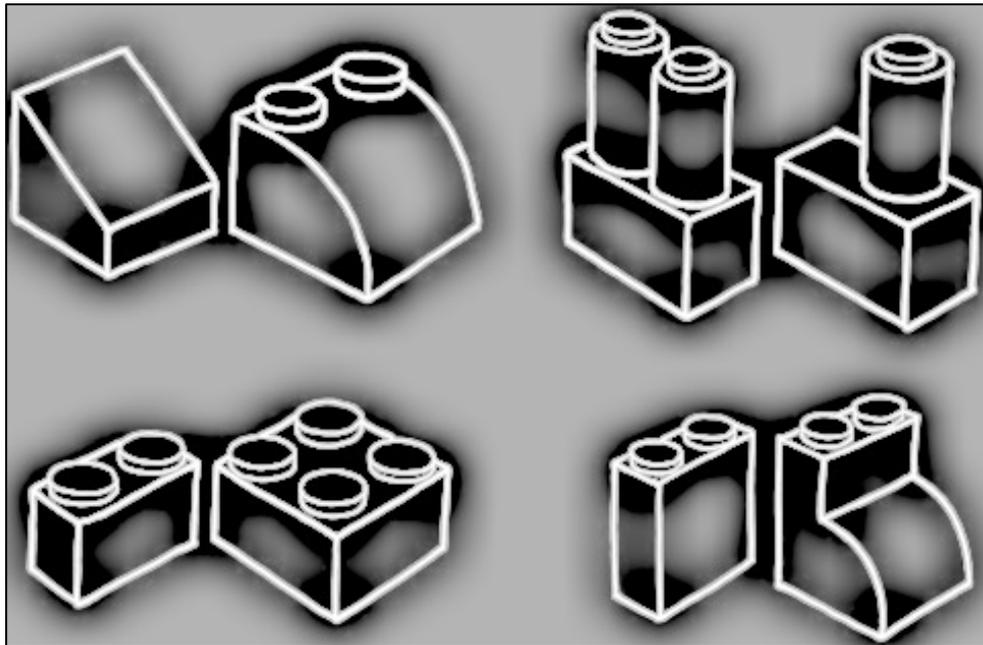


Fig. 18 - esempio di oggetti utilizzati nei test "cross-modal"

Tali test sono stati somministrati dopo l'intervento, in tempi diversi a seconda dei casi, ma comunque per tutti entro le 48 ore dal trattamento. È stato utilizzato un test, con applicazione nota come "corrispondenza dei campioni". Tale procedura prevede tre modalità operative.

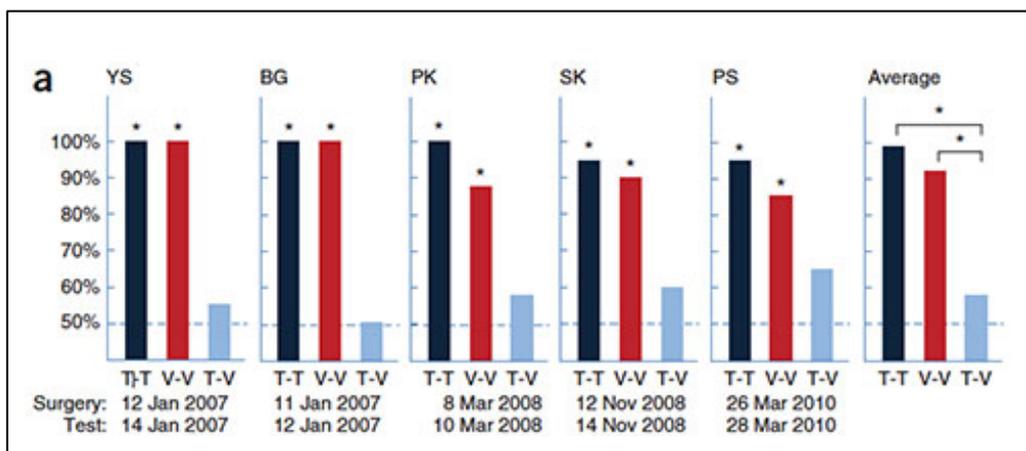


Fig. 19 – prestazioni dei pazienti nelle tre modalità di somministrazione test.

Nella prima modalità, *visione-visione*, si fa osservare al soggetto un campione per poi chiedergli di riconoscerlo tra altri due oggetti; uno di questi è noto come

oggetto *distrattore*, mentre l'altro corrisponde al campione presentato inizialmente. In questa prima modalità, i soggetti hanno ottenuto il 98% di corrispondenza.

Nella seconda modalità, *tatto-tatto*, il procedimento è il medesimo, ma il campione e gli oggetti da riconoscere vengono analizzati dal soggetto solo tramite il tatto e non la vista. In questa seconda modalità, i soggetti hanno ottenuto il 92% di corrispondenza.

Nella terza modalità, il campione viene fatto vedere, ma il riconoscimento tra i due oggetti proposti in seguito è tattile. In questa modalità viene utilizzato anche il metodo contrario; ovvero il campione viene proposto in modo tattile ed in seguito viene chiesto di riconoscere l'oggetto tra quelli proposti tramite la vista. In questa modalità i soggetti non hanno superato il 58% di corrispondenza.

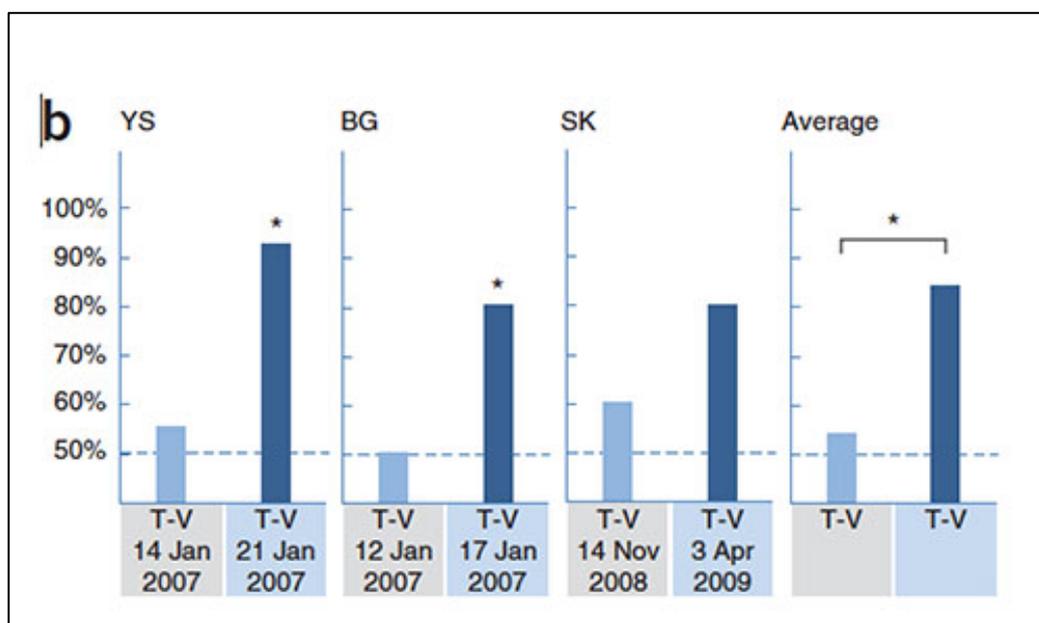


Fig. 20 – Comparazione dei risultati post-operatori rilevati in due periodi diversi

I risultati portano a pensare che non ci sia un meccanismo innato di collegamento tra vista ed esperienza tattile. Dalle risposte dei pazienti appare che la rappresentazione tattile, formatasi nel periodo di cecità, non sia trasferita al dominio visivo. Nella terza modalità di somministrazione del set, infatti, c'è un netto decadimento del riconoscimento. I dati portano però a riflettere su due punti: in primis si nota che in un brevissimo tempo, massimo 48 ore, c'è stata comunque una evidente, sebbene parziale, riattivazione della funzione cross-modale tatto-visiva; le risposte corrette ai test sono state infatti del 58%. Si può quindi immaginare che a monte esista una rete di collegamenti attivabili e questa, per certi versi, può essere

considerata una componente innata. La seconda riflessione è che tale risultato contrasta con le funzioni di analisi visiva, che sembrano invece richiedere molto tempo, addirittura mesi.

Una possibile spiegazione a questa apparente dualità è da ricercare nei substrati neuronali preesistenti, che interconnettono le modalità sensoriali prima ancora che esse vengano stimulate in modo incrociato. Sembra quindi che le mappe cognitive, legate alle modalità incrociate di tatto e vista, siano frutto di una struttura fisiologica innata, unita ad un modellamento dovuto all'apprendimento, scaturito dalla nuova sorgente di stimoli visivi. Questa plasticità neuronale gioca un ruolo importante ed è molto efficiente in giovane età; nei soggetti adulti i fattori acquisiti vista-tatto si sviluppano più lentamente.

3.8 Percezione della profondità ⁽¹⁵⁾

Nell'ambito del progetto Prakash non sono state condotte particolari indagini sulla percezione della profondità. Tuttavia, considerato il quadro percettivo degli elementi innati e acquisiti che fino ad ora abbiamo descritto, riporteremo di seguito alcune considerazioni sulla percezione della profondità.

Questo aspetto è stato indagato da Eleanor J. Gibson, presso la Cornell University negli Stati Uniti.

La Gibson notò che anche bambini molto piccoli manifestavano reazioni di difesa rispetto a situazioni spaziali, nelle quali c'era pericolo di caduta. Viste le precoci azioni comportamentali ci si domanda se, in effetti, tali comportamenti siano frutto dell'esperienza, fondati su un meccanismo di supporto neurofisiologico innato, oppure una combinazione delle due cose, per le quali la struttura neurofisiologica porta ad un apprendimento comportamentale molto rapido.

La risposta a questa domanda è stata ricercata tramite l'esperimento del "baratro visivo". Questo esperimento prevede che siano posti due tavoli, in modo tale che si crei uno spazio tra l'uno e l'altro. Sui tavoli è poi appoggiata una lastra di materiale trasparente (plexiglass), che li unisce, così da creare l'illusione di un "baratro" tra i due tavoli.

L'esperimento consiste nel posizionare su uno dei due tavoli un bambino o un animale e stimolarli a raggiungere l'altro tavolo, attraversando il baratro. Questo test è stato provato su diverse specie, in età minima in cui riuscivano a muoversi

⁽¹⁵⁾ GIBSON E. J., WALK, R. D., *The "visual cliff"*, in Scientific American, n. 202, London, Nature Publishing Group, 1960 pag. 67-71.

autonomamente, trattando bambini, tartarughe, maiali, pecore, polli, gatti, cani, topi, etc..

I comportamenti osservati sono diversi e specie-dipendenti. Gli stessi sono legati a istinti di sopravvivenza innati e correlati alle modalità sensoriali principali, con cui la specie indagata percepisce il mondo esterno.

Nel caso dei bambini, essendo l'altezza una variante percettiva della profondità, il senso principalmente coinvolto è la vista. Si è potuto osservare come la maggior parte dei bambini (di età tra i 6 e 14 mesi), si ferma davanti al baratro, dimostrando un'innata, o meglio, rapidissimo sviluppo della sensibilità all'altezza. Stessa risposta si è ottenuta per cani e pecore. Con altri animali, quali i gatti o i topi, che si sono sviluppati per affrontare attività notturne, il senso principalmente utilizzato è stato il tatto. Sentendo la continuità data dalla lastra di plexiglass, questi animali hanno infatti attraversato il "baratro" senza esitare. Altre specie, come ad esempio i polli, hanno rilevato il baratro ma non si sono fermati, in quanto il loro istinto li ha portati a saltarlo o sorvolarlo goffamente. Tramite questo esperimento è stato possibile indagare inoltre le reazioni dei soggetti, ponendoli direttamente sopra il baratro. Anche in questo caso, le reazioni osservate sono piuttosto legate alla specie. Si sono potuti vedere blocchi completi dovuti al panico, fuga verso un luogo sicuro, pianto, rientro nella zona sicura senza esitazioni e passività.

La configurazione dell'esperimento ha cercato, inoltre, di capire quali sensazioni visive fossero primariamente implicate nella valutazione della profondità nel "baratro visivo". Negli umani è risultato che gli indici binoculari sono determinanti. Come abbiamo avuto modi di vedere nel progetto Prakash la visione binoculare post intervento difficilmente porta a una fusione binoculare, con un'efficienza tale da creare inferenze neurali significative. Nistagmo residuo, visus scarso o forti ambliopie rappresentano un ostacolo a questo meccanismo. Non si può escludere tuttavia che ci possa essere un ripristino di plasticità neurale delle zone della corteccia, deputate all'orientamento e alla percezione della profondità, anche con informazioni incomplete.

CONCLUSIONI

A oggi, il dibattito *nature vs nurture* nella percezione è ancora controverso e sicuramente aperto. I sostenitori dell'elemento genetico e quelli dell'apprendimento sono da tempi antichi contrapposti.

Le recenti scoperte scientifiche, realizzate tramite l'utilizzo delle tecnologie di studio del cervello in vivo, hanno portato più chiarezza anatomica e funzionale su alcune delle strutture neurali, alla base della percezione.

È stato possibile osservare che alcune di queste strutture neuro-anatomiche sono frutto del patrimonio genetico. A livello cognitivo, e quindi di connessioni sinaptiche superiori, anche le più recenti tecnologie d'indagine del cervello non consentono di ottenere osservazioni scientificamente valide. Le strutture superiori sono quelle che comunemente sono impiegate nei processi cognitivi, i quali a oggi possono essere indagati solamente in modo empirico, con utilizzo solo parziale del "neuroimaging". Per indagine empirica, sui fattori appresi nella percezione visiva nel presente lavoro di rassegna, si intende una ricerca basata sulla confutazione di differenze tra soggetti normodotati e soggetti con specifici deficit nella visione.

Nel caso dei percetti visivi, la ricerca orientata a comprendere i fattori innati e acquisiti, ha trovato terreno fertile in India, nell'ambito del citato Progetto Prakash, iniziativa volta essenzialmente a portare supporto medico ai bambini ciechi dalla nascita. Una delle patologie maggiormente trattata è stata la cataratta congenita. Comparando gruppi di controllo, pre e post-test sui soggetti, si è riuscito ad ottenere un quadro più chiaro su quali sono i fattori innati e quali quelli acquisiti, nell'ambito della percezione visiva.

A livello anatomico si è osservato che la deprivazione visiva può influire sul rapporto numerico tra coni e bastoncelli, ma non incide sul loro funzionamento. Deprivazioni visive monoculari comportano uno sviluppo anomalo del chiasma ottico. Le funzioni legate alla visione stereoscopica si sviluppano nel NGL, tramite eliminazione selettiva, la quale sembra essere soggetta a fattori ambientali. Il movimento e la sensibilità all'orientamento sembrano svilupparsi, per la maggior parte dei casi, in modo indipendente dai fattori ambientali.

Oltre un secolo fa, filosofi come *Locke e Molyneux* hanno posto il quesito su come si formano gli oggetti nella nostra mente. Gli studi sui pazienti trattati nel Progetto Prakash hanno offerto alcune risposte a questo complesso quesito. I soggetti sono stati trattati chirurgicamente con impianto di lenti intra-oculari.

Oltre agli aspetti sociali del Progetto, l'interesse scientifico si è focalizzato sulla comprensione di come l'informazione sensoriale visiva sia elaborata da un paziente, non vedente dalla nascita fino a dieci anni di età. Si è cercato di capire come il cervello affronti la sfida di dover risolvere l'attività "cross-modale" con connessioni somato-uditive, fino a quel momento mai stimulate.

Nell'ambito della sensibilità al contrasto è stato possibile osservare che i correlati neurali sono per la maggior parte innati e che la plasticità neurale di queste strutture permane fino all'adolescenza, dando la possibilità ai soggetti trattati chirurgicamente di ripristinare la sensibilità al contrasto, anche dopo lunghi periodi di deprivazione visiva.

Nell'ambito delle illusioni ottiche, i risultati ci portano a dedurre che la sensibilità a questi particolari percetti non è legata a fattori contingenti individuali o appresi, ma, più probabilmente, a fattori legati al processo neurale di codifica visiva, il quale non dipende dall'esperienza visiva maturata, ma dalla struttura intrinseca delle aree neurali deputate all'organizzazione e al raggruppamento figurale.

L'insieme dei risultati ottenuti, riguardo al riconoscimento facciale, ha evidenziato che la capacità di riconoscere i volti è efficace anche subito dopo l'intervento, purché il volto venga proposto nella sua integrità e in modo olistico. I soggetti trattati hanno dimostrato delle difficoltà a riconoscere i singoli elementi del volto presentati in modo isolato, per i quali sembra essere necessaria una forma di apprendimento.

L'acuità visiva dei soggetti è stata recuperata in gran parte subito dopo l'intervento, avvalorando l'ipotesi che tale capacità faccia parte del patrimonio genetico, che si sviluppa per la maggior parte senza l'intervento di fattori ambientali.

Nei test effettuati per determinare le capacità nell'analisi visiva, si è visto come la componente dinamica incida in modo importante sulle prestazioni. Sembra che il movimento degli oggetti aiuti ad attivare particolari regioni neurali, che permettono la costruzione del percetto.

Il gruppo di ricerca di Ostrovsky ⁽¹⁾ ha sperimentalmente identificato che il periodo critico di sviluppo di queste funzionalità è compreso nei primi cinque anni di età.

I risultati del progetto Prakash dimostrano invece che è possibile ottenere un incremento delle capacità di analisi visiva, anche se i circuiti neurali correlati vengono stimolati in un'età al di fuori del periodo critico.

⁽¹⁾ OSTROVSKY Y., MEYERS E., GANESH S., MATHUR U., SINHA P., *Visual Parsing After Recovery From Blindness*, in *Psychological Science*, n. 20, Washington, Association for Psychological Science, 2009.

Alla luce di questi risultati è possibile quindi riconsiderare alcune convinzioni sul periodo critico dello sviluppo visivo, ridando così speranza a molti pazienti, che potranno affrontare le cure con maggior ottimismo.

In merito alle capacità di integrare le informazioni tattili con quelle visive sembra, invece, che le mappe cognitive di tatto e vista siano frutto di una struttura fisiologica innata, assieme ad un modellamento dovuto all'apprendimento, scaturito dalla nuova sorgente di stimoli visivi. Questa plasticità neuronale gioca un ruolo importante ed è molto efficiente in giovane età. Diversamente nei soggetti adulti i fattori acquisiti vista-tatto si sviluppano più lentamente.

Quando stimolati, molti di questi domini neurali e cognitivi sembrano riprendere adeguatamente le loro funzionalità. Si propende nel pensare che esistano delle strutture neurali e sinaptiche predefinite, cioè innate, e che la stimolazione sensoriale ne completi lo sviluppo, sia nelle connessioni dell'area specifica, sia nei collegamenti cross-modalità con altre aree associative. Si può quindi concludere che molte strutture neurali legate al sistema visivo, anche se sottostimate durante l'infanzia, si possano sviluppare correttamente, dato il mantenimento di una spiccata plasticità.

In conclusione, il presente lavoro di rassegna indica che le abilità percettive siano sostanzialmente innate e che sia possibile acquisire le capacità percettive, anche dopo il periodo critico del primo anno di vita. I pazienti del progetto Prakash mostrano infatti che il sistema può, data la sua natura plastica, recuperare almeno in parte le funzioni cognitive, anche a seguito di una prolungata deprivazione sensoriale.

Bibliografia

ADAMS D. L., *Normal and abnormal visual development*, San Francisco, University of California, 2014.

ADAM W.J., GRAF E.W., ERNST M.O., *Experience can change the "light-from-above" prior*, in *Nature Neuroscience*, n. 7, London, Macmillan Publishers Ltd, 2004.

BADCOCK C. R., *Nature-Nurture Controversy, History of*, in *International Encyclopedia of the Social e Behavioeal Sciences*, Edinburgh, Elsevier, 2015.

BEAR M. F., CONNORS B. W., PARADISO M. A., *Neuroscience. Exploring the brain*, Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2007.

CALVERT G.A., BRAMMER M.J., BULMORE E.T., CAMPBELL R., IVERSEN S.D., DAVID A.S., *Response amplification in sensory specific cortices during crossmodal binding*, in *Neuroreport*, n. 10, London, Wolters Kluwer Health, 1999.

CALVERT G. A., SPENCE C., STEIN B. E., *The handbook of multisensory process*, Cambridge, The MIT Press, 2004.

CHAN W.H., BISWAS S., ASHWORTH J.L., LLOYD I.C., *Congenital and infantile cataract: aetiology and management*, in *European Journal of Pediatrics*, n. 171 vol. 4, Cham, Springer, 2012, pag. 625–630.

COLLIGNON O., DORMAL G., ALBOUY G., VAN DE WALLE G., VOSS P., PHILLIPS C., LEPORE F., *Impact of blindness onset on the functional organization and the connectivity of the occipital cortex*, *Brain a Journal of neurology*, Oxford, Oxford University Press, 2016.

CRAWFORD M.L.J., *The visual deprivation syndrome*, in *Ophthalmology*, n. 85, Edinburgh, Elseiver, 1978, pag. 465-477.

DAW N.W., FOX K., SATO H., CZEPITA D., *Critical period for monocular deprivation in the cat visual cortex*, in *Journal of Neurophysiology*, n. 67, Bethesda, The American Physiological Society, 1992, Pag. 197–202.

FOSTER A, GILBERT C., *Epidemiology of childhood blindness*, London, Eye, 1992.

FOX E. J., SCHROEDER C. E., *Multisensory Processing*, in *Cognitive Brain Research*, n.14, vol.1, Edinburgh, Elsevier, 2002, pag. 187-198.

FREEDHEIM D. K., WEINER I. B., *Handbook of psychology*, Vol. 1, History of Psychology, Cleveland, John Wiley & Sons Inc., 2003, pag. 110 -119.

GALTON F., *English Men of Science: Their Nature and Nurture*, Londra, Macmillan, 1874.

GANDHI T., KALIA A., GANESH S., SINHA P., *Immediate susceptibility to visual illusions after sight onset*, in *Current Biology*, n. 25, Edinburgh, Elsevier, 2015.

GANESH S., ARORA P., SETHI S., GANDHI T. K., KALIA A., CHATTERJEE G., SINHA P., *Results of late surgical intervention in children with early-onset bilateral cataracts*, in *British Journal of Ophthalmology*, Manchester, BMJ Publishing Group Ltd, 2014.

GAUTHIER I., TARR M. J., ANDERSON A. W., SKUDLARSKI P., GORE J. C., *Activation of the middle fusiform 'face area' increases with expertise in recognizing novel objects*, in *Nature Neuroscience*, n. 402, London, Macmillan Publishers Ltd, 1999, pag. 568 - 573.

GIBSON E. J., WALK, R. D., *The "visual cliff"*, in *Scientific American*, n. 202, London, Nature Publishing Group, 1960 pag. 67-71.

GREGORIC P., *Aristotle on the common sense*, Oxford, Oxford University, 2011.

HAARGAARD B., WOHLFAHRT J., FLEDELIUS H.C., *A nationwide Danish study of 1027 cases of congenital/infantile cataracts: etiological and clinical classifications*, in *Ophthalmology*, n. 111, Edinburgh, Elsevier, 2004.

HEJTMANCIK J.F., *Congenital cataracts and their molecular genetics*, in *Seminars in Cell & Developmental Biology*, n.19, Edinburgh, Elsevier, 2008.

HELD R., OSTROVSKY Y., DE GELDER B., GANDHI T., GANESH S., MATHUR U., SINHA P., *The newly sighted fail to match seen with felt*, in Nature Neuroscience, 2011.

KALIA A., LESMES L. A., DORR M., GANDHI T., CHATTERJEE G., GANESH S., BEX P. J., SINHA P., *Development of pattern vision following early and extended blindness*, Washington, PNAS, 2013.

KANDEL E. R., SCHWARTZ J. H., Jessell T. M., *Principles of neural science*, Maidenhead, McGraw-Hill, 2010.

KANSKI J. J., *Clinical ophthalmology: A systematic approach*, Edinburgh, Elsevier, 2007.

LAMBERT S.R., DRACK A.V., *Infantile cataracts*, in Survey of Ophthalmology, n. 40, Edinburgh, Elsevier, 1996.

LE GRAND R., MONDLOCH C. J., MAURER D., BRENT H. P., *Early visual experience and face processing*. in Nature Neuroscience, n. 410, London, Macmillan Publishers Ltd, 2001.

LEE D., SEUNG. H. S., *Learning the parts of objects by non-negative matrix factorization*, in Nature Neuroscience, n.401, London, Macmillan Publishers Ltd, 1999, pag. 788-791.

LLOYD J., MITCHINSON J., *The book of general ignorance*, New York, Harmony Books, 2006.

MAGLI A., PIOZZI E., MASELLI E., MARSICO G., MATARAZZO F., ROMBETTO L., *Cataratta congenita iter terapeutico*, Pisa, Pacini Editore, 2012, pag. 37-42.

MASLAND R. H., *The fundamental plan of the retina*, in Nature Neuroscience, n. 4, London, Macmillan Publishers Ltd, 2001, pag. 877-886.

MÜLLER-LYER F.C., *Optische Urteilstäuschungen*, Archiv für Anatomie und Physiologie Physiologische Abteilung, Berlin, Im verlag von g. Eichler 1889, pag. 263–270.

OSTROVSKY Y., MEYERS E., GANESH S., MATHUR U., SINHA P., *Visual Parsing After Recovery From Blindness*, in Psychological Science, n. 20, Washington, Association for Psychological Science, 2009.

PALMER S., ROCK I., *Rethinking perceptual organization: the role of uniform connectedness*, in Psychonomic Bulletin & Review, n.1, Cham, Springer, 1994, pag. 29–55.

PEDERSEN N. L., GERRITSEN L., GENETICS OF BRAIN AND COGNITIVE AGING: INTRODUCTION TO THE SPECIAL ISSUE OF NEUROPSYCHOLOGY REVIEW, IN NEUROPSYCHOLOGY REVIEW, N. 25, NEW YORK, SPRINGER SCIENCE E BUSINESS MEDIA, 2015.

ROCK I., *The logic of perception*, Cambridge, MIT Press, 1985.

RORIE A. E., GAO J., MCCLELLAND J. L., NEWSOME W. T., *Integration of Sensory and Reward Information during Perceptual Decision-Making in Lateral Intraparietal Cortex (LIP) of the Macaque Monkey*, in PLoS One, n. 5, San Francisco, PLoS, 2010.

SINHA P., HELD R., *Sight-restoration*, in F1000 Medicine Reports, n. 4, London, Faculty of 1000, 2012.

SINHA P., CHATTERJEE G., GANDHI T., KALIA A., *Restoring Vision through “Project Prakash”: The Opportunities for Merging Science and Service*, in PLoS Biology, San Francisco, PLoS, 2013.

TOSELLI C., MIGLIOR M., *Oftalmologia clinica*, Milano, Monduzzi Editoriale, 1979.

TREISMAN A. M., GELADE G., *A feature integration theory of attention*, in Cognitive Psychology, n. 12, Nashville, G.D. Logan, 1980, pag. 97-136.

WATSON J., *Behaviorism*, Chicago, University of Chicago Press, 1930, pag. 82.

WELCH R. B., WARREN D. H., *Intersensory interactions*, in Handbook of Perception and Human Performance, n. 1, New York, Wiley-Interscience, 1986.