

Università degli Studi di Napoli
“Federico II”

Scuola Politecnica e delle Scienze di Base
Area Didattica di Scienze Matematiche Fisiche e
Naturali

Dipartimento di Fisica “Ettore Pancini”



Laurea triennale in Ottica e Optometria

**La stereopsi nell’ambito della
funzionalità visiva**

Relatore: Prof. Paolo Carelli
Correlatore: Prof. Michele Gagliardi

Candidato:
Antonio Mascolo
Matricola M44/260

A.A. 2016/2017

Indice

INTRODUZIONE.....	1
CAPITOLO I : LA STEREOPSI.....	2
1.1 Stereopsi: caratteristiche generali	3
1.2 Percezione simultanea	3
1.2.1 Valutazione	4
1.3 Fusione	4
1.3.1 Diplopia fisiologica	6
1.3.2 Area di Panum	7
1.3.3 Valutazione del grado di fusione	7
1.4 Stereopsi.....	8
1.5 Dominanza oculare	11
1.6 Muscolatura estrinseca oculare	12
CAPITOLO II: CARENZE ED ANOMALIE DELLA VISIONE BINOCULARE.....	13
2.1 Insufficienza muscolari	14
2.2 Eteroforie e eterotropie.....	15
2.3 Difetti refrattivi.....	17
2.4 Anisometropie	18
2.5 Ambliopia	19
2.6 Afachia.....	20
CAPITOLO III: TEST E VALUTAZIONE DELLA STEREOPSI.....	22
3.1 Stereopsi locale e globale	24
3.2 Stereogrammi.....	25
3.2.1 Tipologie di stereogramma	25
3.3 Misurazione della stereopsi	29
3.4 Test valutativi	31

CAPITOLO VI: RICERCA E RISULTATI OTTENUTI.....	35
4.1 L'obbiettivo	36
4.2 Soggetti	37
4.3 Test valutativo	37
4.4 Risultati e valutazione	37
CONCLUSIONI.....	40
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	41

Introduzione

La vista ricopre un ruolo importante nella vita dell'uomo, basti pensare che circa l'80% delle informazioni sull'ambiente che ci circonda, vengono captate dal sistema visivo, veicolate al sistema cerebrale e tradotte in movimenti. Durante le attività quotidiane, infatti, orientarsi nello spazio e rispondere a stimoli esterni ha permesso all'uomo di sviluppare meccanismi visivi sempre più complessi e la percezione spaziale della tridimensionalità è uno di questi. Ogni elemento assume così una precisa collocazione spaziale in base alla distanza dall'osservatore e dagli altri oggetti presenti nella scena. Infine il cervello ha il compito di ricostruire una rappresentazione dello spazio abbastanza fedele alla realtà. Se così non fosse, meccanismi adattivi fondamentali come l'attenzione non potrebbero consentire un efficace orientamento nella realtà circostante. Anche alla guida di un veicolo o nello svolgimento di professioni da vicino sfruttiamo la componente stereoscopica per elaborare i continui mutamenti nello spazio, evitando eventuali rischi. Lo scopo iniziale del lavoro di tesi è stato simulare la percezione di profondità tramite lo stereo test, avvalendosi di diverse informazioni influenti, suggerite nell'analisi stereoscopica come incidenti stradali o sul lavoro, porto lenti. La ricerca, seppur con un numero limitato di casi, ha reso possibile evidenziare come la visione tridimensionale garantisca prontezza nel rispondere a stimoli provenienti da varie direzioni e distanze. Pertanto, la posizione spaziale stessa dell'impulso gioca un ruolo determinante.

CAPITOLO I

LA STEREOPSI

1.1 Stereopsi: caratteristiche generali

« *Stereopsi, capacità visiva dei mammiferi superiori e dei primati di percepire la profondità dello spazio tramite meccanismi binoculari »*». ¹

La binocularità è uno dei più alti gradi di specializzazione raggiunti dagli esseri viventi nel loro percorso evolutivo. È rappresentata dalla capacità di utilizzare cerebralmente le immagini dei due occhi per produrne una unica di grado superiore. La visione binoculare è un fenomeno molto complesso in cui intervengono diverse componenti: un adeguato sviluppo neuro-anatomico delle strutture adibite alla visione e all'apprendimento, una buona capacità visiva di entrambi gli occhi e una matura esperienza visiva. Per questi motivi, si deduce che la binocularità non è una capacità presente alla nascita, ma una dote che dovrà essere acquisita, imparata e sviluppata durante la vita, soprattutto tra gli 0-8 anni di vita. Dopo questa età, tutto ciò che non si è maturato viene irrimediabilmente perso. Secondo il modello di Claude Worth nel 1915, la visione binoculare è basata su tre punti definiti come *i tre gradi della binocularità*:

1. Percezione simultanea ;
2. Fusione ;
3. Stereopsi .

1.2 Percezione Simultanea

Nei primi mesi di vita, la visione è di tipo monoculare alternata. Ciò significa che, a livello cerebrale, viene utilizzata una sola delle due immagini provenienti dagli occhi, mentre l'altra viene soppressa. Questa fase viene superata intorno al sesto mese di vita, dove il fenomeno di

¹ www.treccani.it/vocabolario

soppressione dell'immagine tende a ridursi fino a scomparire. Le immagini vengono percepite ed elaborate in modo da essere viste simultaneamente nel campo visivo, generando il fenomeno della diplopia. Con lo sviluppo delle capacità psichiche, il soggetto impara ad adoperare le due immagini e a fornirne un utilizzo importante. Uno dei presupposti fondamentali è che la visione delle due immagini deve essere qualitativamente buona, altrimenti il processo di fusione non è stimolato ad avvenire.

1.2.1 Valutazione

Per valutare se un soggetto esercita la capacità di percezione simultanea, basta indurre artificialmente la condizione di diplopia. Si invita il soggetto a fissare una mira luminosa, quindi si applica un prisma di 6Δ a base verticale davanti ad un occhio. Ci si aspetta che la visione si sdoppi in quanto, tale valore prismatico, non può essere compensato dal sistema visivo. Se il soggetto risponde di vedere una sola mira, significa che una delle due immagini è soppressa. In questo caso non è presente visione simultanea.

1.3 Fusione

La fusione è il 2° grado della visione binoculare. Essa si verifica quando il sistema psico-visivo impara a coordinarsi, affinché le due immagini cadano su aree retiniche corrispondenti. Per far sì che ciò avvenga, il campo visivo, a livello retinico, deve essere adeguatamente organizzato. In termini spaziali, le due fovee rappresentano il punto zero dell'intero sistema. I campi retinici sono legati tra di loro in modo che ad un'area circoscritta dell'occhio destro, corrisponde un'area identica nell'occhio sinistro e nella medesima posizione. Tutti i punti-oggetto che stimolano aree retiniche uguali in entrambi gli occhi saranno fusi in un'unica immagine. Le due fovee rappresentano i due punti

corrispondenti principali. Oltre ai punti-oggetto che stimolano le fovee, esistono punti secondari che agiscono similmente su aree corrispondenti. L'unione di tutti questi punti mostra una linea immaginaria che prende il nome di 'oroptero'. Sinteticamente, per brevi distanze di osservazione, esso assume la forma di un cerchio con la concavità rivolta verso l'osservatore. All'aumentare della distanza di fissazione, la concavità si riduce gradualmente fino a diventare una retta, per poi assumere una concavità che andrà verso il punto osservato (figura 1.3a).

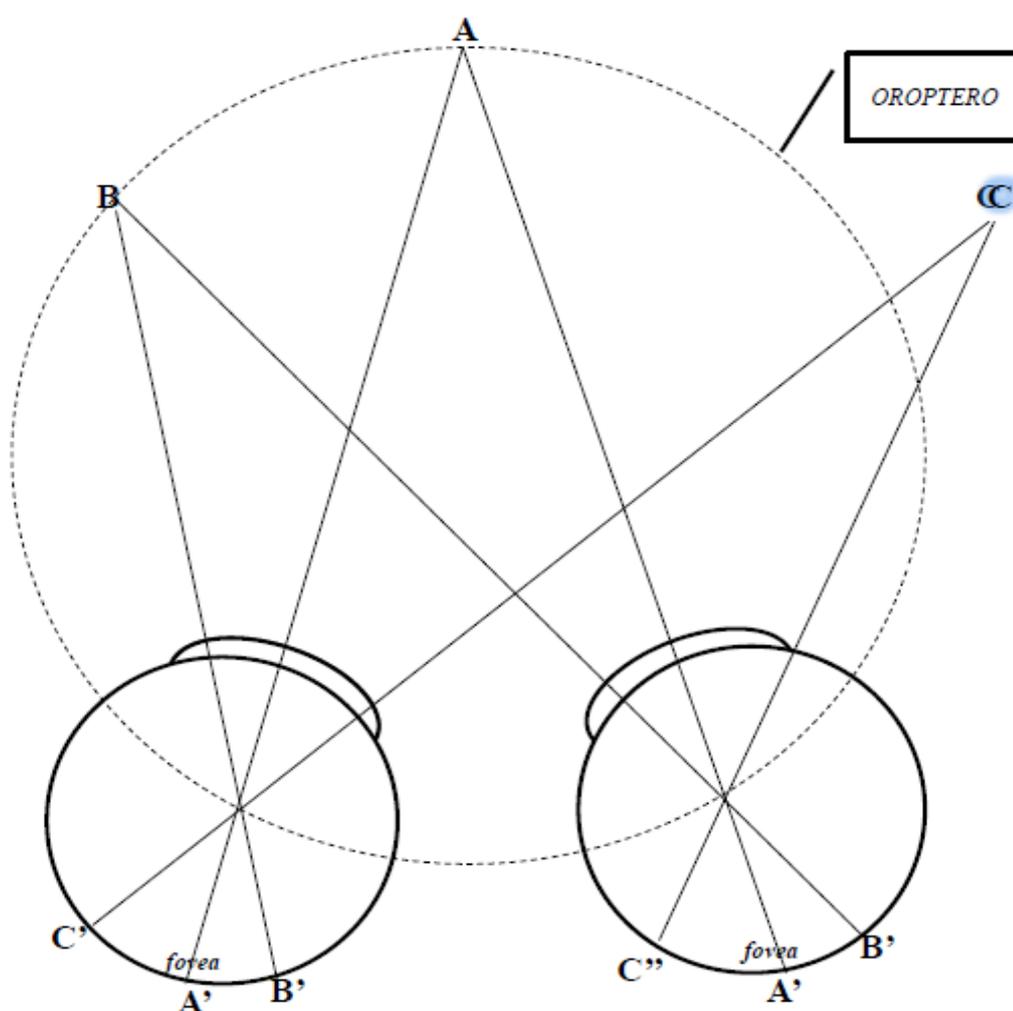


Fig. 1.3b : Rappresentazione grafica dell'oroptero

Nella figura 1.3b il vertice **A** è il punto di fissazione. L'immagine cade sulle due fovee che sono i due punti corrispondenti principali. **B** è un punto non fissato del campo visivo che stimola aree retiniche corrispondenti e quindi

viene visto singolo. **C** è un punto non fissato del campo visivo che stimola aree retiniche non corrispondenti e perciò viene visto doppio.

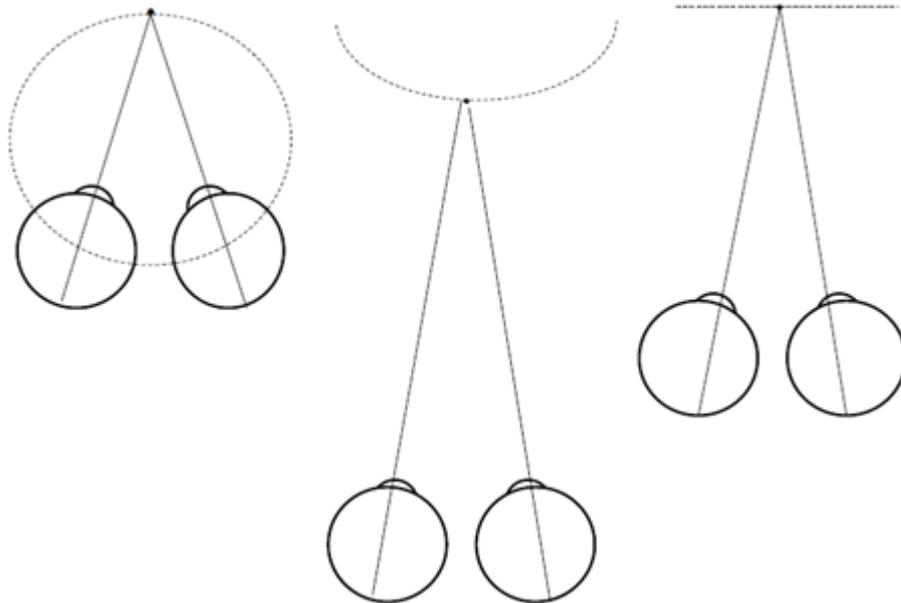


Fig. 1.3a : Variazione dell'oropectero in base alla distanza di osservazione

1.3.1 Diplopia Fisiologica

Tutti i punti-oggetto del campo visivo che non fanno parte dell'oropectero stimoleranno aree retiniche differenti, generando la diplopia. Questo fenomeno assume caratteristiche diverse a seconda della posizione del punto-oggetto rispetto all'oropectero e all'osservatore (figura 1.3c).

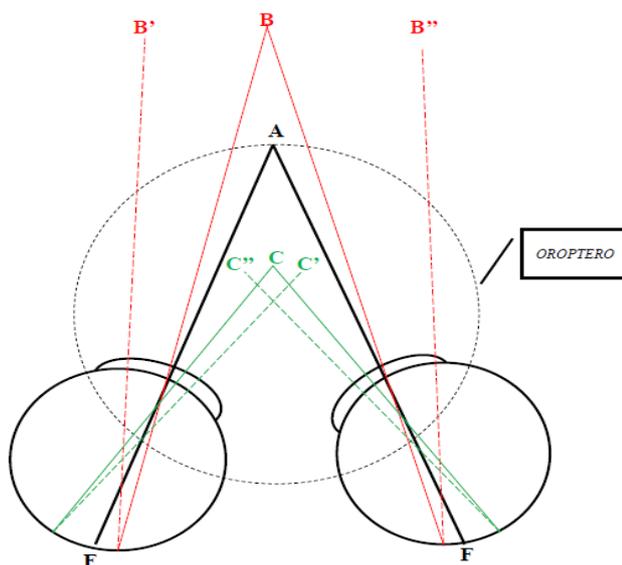


Fig. 1.3c : I punti B e C sono visti doppi perché non formano immagini su aree retiniche corrispondenti

I punti che si trovano al di là dell'oroptero stimolano aree retiniche nasali in ambo gli occhi. Giacché la proiezione psichica delle immagini avviene sempre in aree opposte a quelle di stimolazione retinica, le immagini saranno percepite nelle parti tempiali degli occhi. Questo fenomeno viene detto 'diplopia omonima'. Al contrario, gli oggetti posti prima dell'oroptero stimolano aree retiniche tempiali e la proiezione delle immagini avviene in zone nasali; in questo modo esse si trovano in una parte del campo visivo opposta all'occhio che le ha generate. Tale diplopia è detta 'crociata'. Questa condizione descrive una normale componente nel processo visivo, ragion per cui viene definita 'diplopia fisiologica'. Di fatto non risulta essere un elemento ostacolante per l'intero sistema visivo.

1.3.2 Area di Panum

La definizione di oroptero implica che ogni punto-oggetto al di fuori di esso venga percepito diplopico. In realtà Panum (1858) dimostrò l'esistenza di un intorno volumetrico dell'oroptero entro il quale gli oggetti, pur non stimolando aree retiniche non perfettamente identiche, generavano visione singola. Questo volume risulta variabile intorno all'oroptero: minore al livello del punto di fissazione fino a crescere in periferia a causa dell'aumento delle dimensioni dei campi recettivi. Tale volume viene definito 'area di Panum' ed è alla base della visione stereoscopica.

1.3.3 Valutazione del grado di fusione

Per valutare la presenza della capacità fusionale si utilizza frequentemente il *Test delle luci di Worth*. La mira è costituita da un disco bianco nella parte inferiore, un rombo rosso in quella superiore e due croci verdi nei lati. Al soggetto esaminato vengono anteposti due filtri di diverso colore in modo che

ciascun occhio vedrà le mire del medesimo colore del filtro e, in aggiunta, il disco bianco. Il test provoca una visione parzialmente dissociata, in quanto il disco bianco funge da stimolo per fondere le due immagini. In condizioni di buona visione binoculare, il soggetto risponderà di vedere perfettamente le quattro mire e con lo stesso colore.

1.4 Stereopsi

Viene definito come il 3° grado della visione binoculare, in quanto esso dipende direttamente dalla visione simultanea e dalla capacità fusionale. A causa della differente posizione spaziale dei centri di rotazione dei due occhi, tra i quali intercorre una distanza di 60-80 mm, le immagini monoculari (occhio destro OD e occhio sinistro OS) risultano leggermente differenti (figura 1.4a). Ciononostante, esse vengono fuse in una visione singola e, inoltre, detta disparità, serve alla psiche per trarre informazioni sulla profondità dell'oggetto e sulla sua posizione spaziale (3D). Ciò che potrebbe sembrare il comune intervento della fusione sensoriale a correggere un difetto visivo, costituisce una grandissima risorsa per il sistema binoculare. La distanza che intercorre tra l'immagine del punto fissato e l'immagine dell'altro punto prende il nome di 'disparità retinica'; il sistema visivo è capace di calcolare tale disparità e di assegnare un senso maggiore o minore di profondità agli oggetti dello spazio visivo.

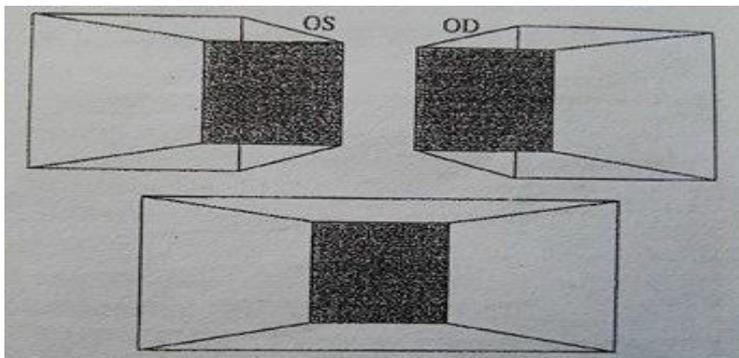


Fig. 1.4a : Visione stereoscopica

Questo processo non deve essere inteso come una semplice sommazione di due immagini bidimensionali in una tridimensionale; le componenti che si trovano dietro alla visione stereoscopica sono molte e difficili da comprendere nella loro totalità.

Galeno di Pergamo, importante medico greco, già nel secondo secolo d.C. sosteneva che i ventricoli cerebrali pieni di fluido erano il luogo di incontro con un flusso, proveniente dal sistema visivo. Le sue tesi ebbero grande importanza fino al Rinascimento, epoca in cui gli studiosi si resero conto che il trasferimento di informazioni avvenga dal mondo esterno all'occhio. In seguito Renè Descartes (1600) propose uno schema in cui si aveva l'unione delle fibre nervose provenienti dai due occhi. La svolta si ebbe con Isaac Newton (1704) il quale propose un modello in cui si aveva uno scambio di fibre dei nervi ottici al livello del chiasma ottico. Le tesi di Newton, al contrario di quelle di Galeno e di Descartes, sono state ampiamente verificate: il numero di fibre che non si incrociano al livello del chiasma ottico dipende dal grado di sovrapposizione dei campi visivi monoculari. Il coniglio, che ha soltanto un ridotto campo binoculare, possiede uno scarso numero di fibre ipsilaterali (non incrociate) nel chiasma ottico, mentre in ciascun emisfero cerebrale c'è una marcata dominanza di fibre contro laterali (incrociate) del lato opposto. Con l'aumento del campo binoculare si ha un aumento anche delle fibre ipsilaterali. Nell'uomo c'è una sovrapposizione quasi completa dei campi e il 50% delle fibre non sono incrociate.

Per lungo tempo ci sono state molte controversie sul fatto se ci fosse una decussazione delle fibre del nervo ottico nella sua unione al cervello. Nei numerosi studi fatti, alla prima stazione delle fibre ottiche nel cervello, cioè al corpo genicolato laterale, le vie afferenti dai due occhi sono ben separate in strati. Questa stratificazione è più marcata quando l'animale possiede una visione binoculare marcata. Sperimentalmente si verifica che i neuroni di un determinato strato sono eccitabili solo da stimoli monoculari. Al livello della corteccia visiva cerebrale, ogni singolo neurone riceve stimoli

eccitatori da entrambi gli occhi. Nel 1959 David Hubel e Torsten Wiesel dimostrarono per la prima volta questo effetto: i due neuroscienziati registrarono stimoli sui singoli neuroni della corteccia visiva di un gatto. Per ogni cellula nervosa studiata, esistono due zone dove gli stimoli evocano una risposta, ognuna associata ad un occhio. La quantità di neuroni che hanno una risposta binoculare è aumentata con il perfezionamento degli strumenti di studio; ricerche effettuate da P. O. Bishop, Geoffrey Henry e John Coombs hanno messo in evidenza che tutte le cellule dell'area striata corticale del gatto ricevono impulsi da entrambi gli occhi. Ciò si può interpretare come se ogni neurone della corteccia striata "guardasse" contemporaneamente in due direzioni, cioè attraverso i due occhi. La corteccia striata viene definita come 'occhio ciclopico' degli animali binoculari. Il termine *occhio ciclopico* venne usato da Hering nel 19° secolo per descrivere il ruolo della corteccia nell'azione visiva. Essa, oltre a valutare la direzione visiva, deve riconoscere i diversi stimoli provenienti dagli occhi ed interpretarli in un'unica visione. Si può ben capire come la componente stereoscopica sia un processo difficile e contornato di svariati elementi che ne possano inficiare la sua evoluzione; infatti viene acquisita alla nascita e poi affinata durante i primi anni di vita. Questa capacità è un processo imparato che viene perso irrimediabilmente se non sviluppato in gioventù. Come detto in precedenza, la stereopsi dipende principalmente dalla distanza tra gli occhi e ciò fa intuire come essa sia importante nelle esperienze da vicino. Ciò detto, farebbe intuire che per la visione da lontano, ossia dove le due immagini sono del tutto simili, essa non sia una componente utile alla visione e che quindi il mondo "del lontano" sia percepito bidimensionale. Anche se funzionalmente dovrebbe essere così, ciò non avviene. In effetti la visione in rilievo, nella zona da vicino, viene esaltata dalla disparità spaziale. Ciò insegna che oltre al "mondo prossimale tridimensionale", non possa esistere un mondo bidimensionale. Pertanto, possiamo dire che l'esperienza acquisita nel vicino, ci permette di interpretare correttamente il mondo in forma tridimensionale.

Alla base della stereopsi, oltre ai due gradi della binocularità, bisogna tener conto di due aspetti molto importanti:

- *Dominanza oculare* ;
- *Apparato muscolare estrinseco oculare* .

1.5 Dominanza Oculare

Durante la visione binoculare, un occhio partecipa particolarmente alla performance visiva. L'occhio che viene "usato" maggiormente diventa l'occhio dominante. La dominanza viene classificata in 3 tipologie:

- *Spaziale o di sguardo*, l'occhio meno incline alla suspensopia binoculare.
- *Visiva o percettiva*, l'occhio maggiormente vedente, con miglior acuità.
- *Motoria*, l'occhio con maggior attività motoria nella fissazione di un oggetto e miglior focalizzazione.

L'occhio (spazialmente) dominante è, per così dire, preferito nelle attività visive monoculari in condizioni binoculari, ad esempio mirare a un centro. Le dominanze si stabilizzano dopo alcuni anni di vita (prima del terzo) e una volta consolidate, cambiano difficilmente; possono cambiare in relazione alle necessità visive, ad esempio per lavori particolari, per traumi e anche in base alla distanza di visione. Tuttavia la dominanza non è legata e non dipende necessariamente dalla miglior visione di un occhio: essa si presenta precocemente nella vita ed è relativamente stabile, mentre, in seguito, la refrazione può variare ampiamente e modificare radicalmente la visione.

L'occhio dominante è usualmente associato alla dominanza manuale, quindi è il destro nei destrimani e il sinistro nei mancini.

La determinazione della dominanza e la sua tutela risulta utile sia durante le valutazioni cliniche che per l'approntamento della correzione ottica.

1.6 Muscolatura estrinseca oculare

I muscoli oculari estrinseci sono sei per ciascun occhio, quattro muscoli retti e due obliqui. I muscoli retti si inseriscono posteriormente sul contorno del canale ottico e sull'anello di Zinn con il compito di direzionare gli occhi sull'oggetto di stimolo. I movimenti dei due occhi sono dovuti alla sinergia che intercorre tra le diverse componenti muscolari: all'azione di un muscolo si affianca la reazione degli altri tre. I muscoli obliqui non hanno un ruolo motorio, ma servono ai processi oculari interni. I muscoli oculari servono al sistema cerebrale di veicolare il sistema visivo, e più precisamente le fovee, verso l'oggetto di interesse.

CAPITOLO II

CARENZE ED ANOMALIE DELLA VISIONE BINOCULARE

La visione binoculare non è presente sin alla nascita ma si sviluppa progressivamente con la crescita. I movimenti oculari del neonato non sono infatti coordinati e le deviazioni che si notano non hanno carattere patologico. Si evince che la visione binoculare si struttura per gradi attraverso apprendimenti continui e successivi mediante l'attività di processi sensoriali e processi centrali che agiscono a vari livelli.

Una visione binoculare assente o deficitaria si radica molto presto. Le alterazioni responsabili di questa condizione sono:

- *Insufficienze muscolari ;*
- *Eteroforie ed eterotropie ;*
- *Difetti rifrattivi ;*
- *Anisometropie ;*
- *Ambliopie ;*
- *Afachia .*

2.1 Insufficienze muscolari

I muscoli estrinseci oculari hanno il compito di orientare gli occhi, o per meglio dire le fovee, verso l'oggetto d'interesse. In questo modo le immagini retiniche si formano su aree corrispondenti, generando (a livello cerebrale) la visione stereoscopica. Questa condizione deve essere garantita in ogni posizione di sguardo. Quando i movimenti dei due occhi sono solidali e sincroni si ha una condizione definita 'ortoforica'.

Se il sistema visivo presenta uno squilibrio motorio, le immagini dello stesso oggetto si formano su aree retiniche diverse. In questo caso abbiamo la presenza di una deviazione oculare che va ad inficiare la performance visiva, generando uno stato di diplopia. La condizione diplopica induce il sistema visivo a correggere la posizione degli occhi per ottenere una visione

binoculare singola: questo meccanismo prende il nome di ‘fusione motoria’. La *fusione motoria* è un complesso di movimenti di vergenza (movimenti disgiunti) necessari a mantenere il corretto allineamento degli assi visivi per garantire il desiderio di visione binoculare.

2.2. Eteroforie e Eterotropie

Le deviazioni che vengono compensate dal meccanismo di fusione motoria vengono definite ‘forie’ o ‘deviazioni latenti’. Nel momento in cui lo squilibrio assume un aspetto più marcato, esso non può essere compensato dalla fusione motoria e quindi si ha una deviazione manifesta che prende il nome di ‘tropia’.

In breve come si evince dalla figura 2.2, forie e tropie si classificano in tre gruppi principali:

a) *Deviazioni orizzontali:*

- Eso- , condizione in cui gli occhi tendono a fissare un punto più vicino di quello di riferimento (ossia “ruotano verso l’interno”);
- Exo- , condizione in cui gli occhi tendono a fissare un punto più lontano di quello di riferimento (ossia “ruotano verso l’esterno”);

b) *Deviazioni verticali:*

- Iper- destra o Ipo- sinistra, l’occhio destro tende a fissare in una posizione verso l’alto rispetto al sinistro o viceversa;
- Iper- sinistra o Ipo- destra, l’occhio sinistro tende a fissare in una posizione verso l’alto rispetto al destro o viceversa;

c) *Deviazioni torsionali:*

- Inciclo- , gli occhi (considerando la parte superiore di questi, come alle ore 12) durante la fissazione sono ruotati attorno all’asse anteroposteriore, verso il naso;

- Exociclo- , gli occhi (considerando la parte superiore di questi, come alle ore 12) durante la fissazione sono ruotati attorno all'asse anteroposteriore, verso le tempie;

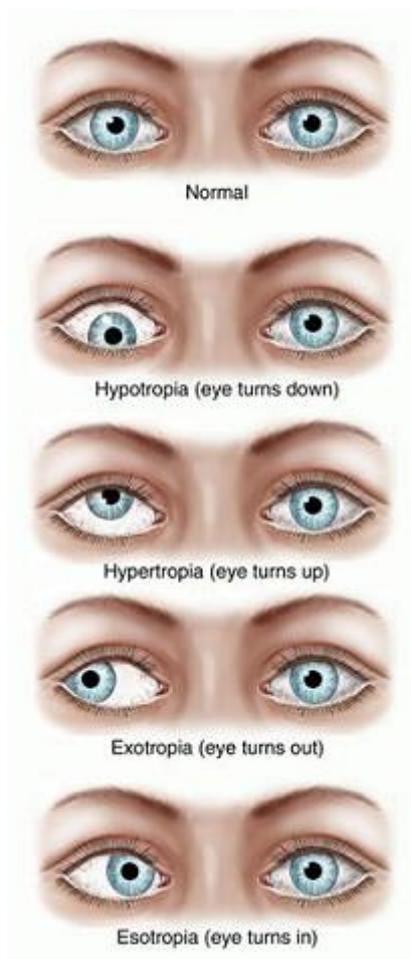


Fig. 2.2 : Rappresentazione delle deviazioni oculari

Le conseguenze di quest'ultima dipendono dall'età in cui si manifestano: se avviene in età plastica, il bambino risponderà alla diplopia tramite un meccanismo cerebrale di soppressione dello stimolo proveniente da un occhio, oppure instaurando una corrispondenza retinica anomala. Se l'insorgenza della deviazione compare in età adulta, il soggetto dovrà imparare a convivere con la diplopia. Nel caso limite in cui la capacità fusionale riesce a sopperire una forte disparità retinica, il soggetto avverte

uno stress visivo dovuto a sintomi astenopici. Se questa situazione si avverte nel periodo plastico, il bambino ricorrerà alla tropia come mezzo di soppressione, rischiando di adattarsi a questa situazione che pone rimedio ai sintomi astenopici dovuti ad una visione binoculare critica.

Il meccanismo di soppressione è il mezzo usato dai centri superiori cerebrali che inibiscono le informazioni disturbanti, provenienti dall'occhio deviato. Questo adattamento sensoriale è presente solo in visione binoculare, in quanto solo in queste condizioni visive si rende necessario. L'intervento della soppressione è possibile solo nei bambini, in quanto la visione binoculare non ha raggiunto ancora la completa maturazione sensoriale.

Le anomalie che interessano la muscolatura estrinseca dell'occhio sono tante e di diversa origine. In molti casi l'anomalia è dovuta ad una errata inserzione di un muscolo nell'occhio; altre volte è dato un cattivo sviluppo di una componente muscolare; oppure la paresi di qualche muscolo dovuta a traumi o a problemi neurologici.

2.3 Difetti rifrattivi

I problemi che compromettono la visione binoculare non sono esclusivamente di natura muscolare, in quanto le cause deficitarie possono essere anche legate a fattori refrattivi o cerebrali.

La quantità di accomodazione esercitata dal cristallino gioca un ruolo significativo nell'insorgenza e dello strabismo e delle ametropie. L'atto di convergere gli assi visivi in un unico punto di fissazione dipende dal rapporto AC/A, ossia dalla convergenza accomodativa impiegata sull'accomodazione stessa. Nel momento in cui viene meno quest'attività, possiamo essere di fronte ad un caso di ipermetropia non corretta. In questa circostanza il soggetto dovrà accomodare anche a distanza distale richiamando convergenza accomodativa, se non che quest'ultima generi una deviazione che superi le capacità di fusione motoria delle orbite oculari con la comparsa

di strabismo manifesto. Tuttavia, per la visione a distanza ravvicinata, se il rapporto AC/A è alto avremo una deviazione degli occhi verso l'interno, se è basso verso l'esterno.

2.4 Anisometropie

Tenendo conto della dominanza oculare, il vizio refrattivo può essere di diversa entità nel sistema visivo. Parliamo di *anisometropia* quando la differenza di stato refrattivo tra i due occhi è maggiore di 1,50-2,00 Dt. Più la differenza di potere è marcata, maggiore sarà la difficoltà ad avere una visione binoculare singola.

Le cause dell'anisometropia possono essere di natura anatomico-diottrica:

- Differenza di lunghezza assiale ;
- Differenza di potere diottrico della cornea o del cristallino ;
- Differenza di profondità della camera anteriore .

Si hanno anche cause patologiche:

- Tumori orbitali o palpebrali ;
- Cheratocono (soprattutto monolaterale) ;
- Cataratte monolaterali .

L'anisometropia si classifica in base al vizio refrattivo e alla differenza di potere dei due occhi:

- *Anisomiopia*, quando entrambi gli occhi sono miopi ma con potere diverso;
- *Anisoipometropia*, quando gli occhi sono ipermetropi con potere diverso;
- *Antiametropia*, quando un occhio è miope e un altro ipermetrope.

Con entità basse di anisometropia, il soggetto può incorrere in un processo errato della visione, ovvero usare un occhio per la visione distale e un altro occhio per la visione prossimale; in un soggetto antiemetropo l'occhio ipermetropo viene usato per lontano e quello miope per vicino.

Anche se il difetto anisometropico venisse corretto perfettamente con lenti oftalmiche, le immagini retiniche potrebbero rivelarsi qualitativamente differenti (colore, grandezza, forma ecc.). causata dal diverso cammino ottico nei due occhi: questo fenomeno è detto 'aniseconia'. Trascurando i problemi che si possono avere con un occhiale non centrato o con una correzione errata, anche se gli occhi sono in una posizione di ortoforia ma le immagini dello stesso oggetto sono di diversa dimensione, i processi psico-visivi non riescono ad unificare le due immagini monoculari generando uno stato di confusione.

Essendo la stereopsi un processo cerebrale, le anomalie binoculari possono essere anche di natura neuronale.

2.5 Ambliopia

È una condizione del sistema visivo in cui si ha una diminuzione di acuità visiva non giustificata da una reale lesione organica o da un vizio refrattivo non corretto. A differenza di una tropia o di un'anisometropia, in questa stato gli occhi sono in asse e apparentemente normali dal punto di vista refrattivo.

È la forma più subdola perché spesso, chi ne è affetto, ignora questo deficit. Molte volte si viene a conoscenza del problema con qualche visita occasionale (visita per la patente o per il servizio militare). Ciò è comprensibile, perché, fin dalla tenera età, l'ambliope si adatta inconsapevolmente alla visione monoculare non avendo termini di paragone. Data la complessità della funzionalità visiva, la natura dell'ambliopia può essere di due tipi:

- *Sensoriale*, ostacoli impercettibili che si presentano al livello della retina, del corpo genicolato o dell'area striata. Per esempio, un problema di stimolazione della retina è dovuto ad opacizzazioni dei mezzi diottrici come le cataratte congenite e le opacizzazioni corneali ;
- *Corticale*, quando il problema si presenta a livello dei centri visivi superiori .

A differenza della soppressione che si manifesta solo in visione binoculare, l'*ambliopia* è un'anomalia sensoriale che si manifesta sia in visione monoculare che in binoculare. La sua risoluzione si basa essenzialmente sul tempestivo riconoscimento dello stato ambliope e di compensare otticamente l'occhio indiziato. Praticamente si indica come ambliope l'occhio che presenta un'acutezza visiva inferiore di due righe rispetto all'altro occhio. Dunque bisognerebbe dare all'occhio ambliope le condizioni più normali per far sì che si abbia un miglioramento dell'occhio e recuperare il meccanismo di visione binoculare.

2.6 Afachia

La parola deriva dal greco *phakòs*, ossia 'lente', col prefisso *a-* (alfa privativo) ed esprime lo status in cui l'occhio è privo di cristallino e quindi non si ha un contributo refrattivo nella formazione dell'immagine retinica. Questa situazione refrattiva si può avere anche in caso di posizione sbagliata del cristallino nel sistema diottrico oculare; questo significa che, anche in presenza del mezzo diottrico, l'errata posizione compromette il suo "lavoro". L'*afachia* si classifica secondo la sua natura eziologica in :

1. *Congenita*: conseguente ad un'anomalia che si verifica durante lo sviluppo fetale, spesso associata ad aniridia (assenza di iride),

2. *Traumatica*: causata da un trauma che provoca una lussazione o sublussazione del cristallino,
3. *Chirurgica*: causa più frequente, dovuta all'asportazione del cristallino per varie ragioni:
 - per effetto della cataratta ;
 - per l'asportazione nel correggere un vizio refrattivo ;
 - per la rimozione in conseguenza ad una lussazione .

Vi sono anche condizioni particolari come la *Sindrome di Marfan*, patologia sistemica alla sublussazione del cristallino.

L'assenza del cristallino comporta una notevole carenza di potere refrattivo, quindi l'occhio si presenta con un'ipermetropia elevata.

Nel caso in cui ci si sottopone ad un intervento di estrazione della cataratta e poi corretto con lente artificiale, l'occhio è definito 'pseudoafachico'. Lo stato refrattivo dell'occhio operato dipende dal potere della IOL (lente intraoculare) impiantata. In queste operazioni si incorre in un astigmatismo postoperatorio che va ad inficiare sulla qualità dell'immagine retinica.

CAPITOLO III

TEST E VALUTAZIONE DELLA STEREOPSI

Lo sviluppo e l'interesse nel campo della visione stereoscopica avviene intorno alla metà dell'800, quando Charles Wheatstone realizzò i primi esperimenti stereoscopici con coppie di disegni affiancati al punto da riprodurre due immagini leggermente differenti come quelle percepite dall'occhio umano. Per la visualizzazione di questi disegni "stereografici", Wheatstone (1838) inventò uno strumento costituito da specchi e prismi che denominò *stereoscopio* (figura 3). Se il sistema visivo era in condizioni di vedere entrambe le immagini, si generava un senso di profondità a livello cerebrale. Fu il primo ad enunciare che la capacità di vedere figure complesse solide, scaturisce da una rappresentazione nella nostra mente di immagini bidimensionali.

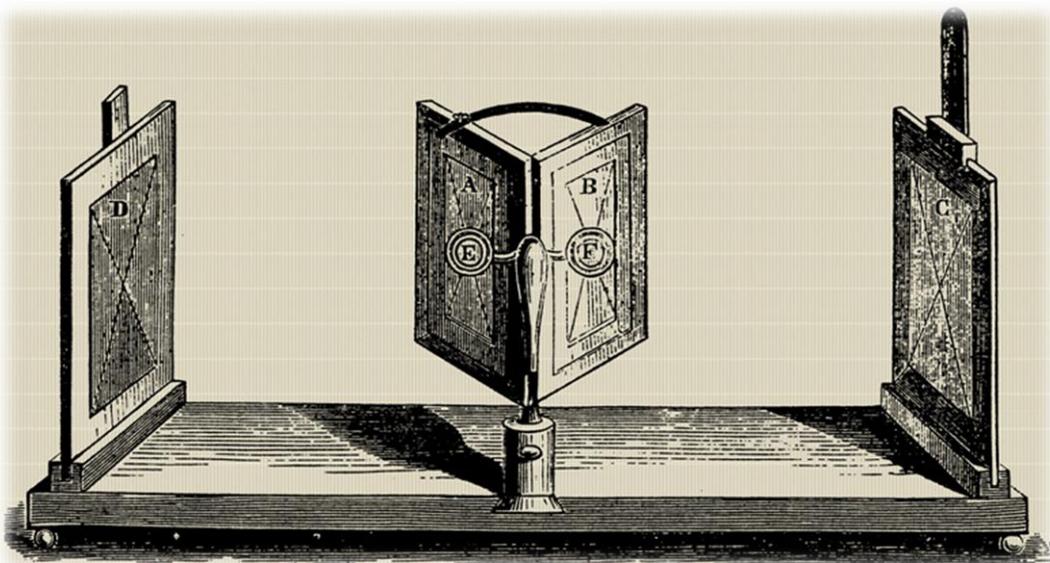


Fig.3 : Stereoscopio di Wheatstone

Nel 1849 si ebbe una nuova versione dello stereoscopio che riscontrò notevole successo: si trattava di un binocolino dotato di lenti attraverso cui guardare una coppia di fotografie. Grazie agli studi di B. Julesz (1971) si è arrivati ad una classificazione della stereopsi e, soprattutto, ad una possibilità di quantificazione con l'uso di test specifici.

3.1 Stereopsi locale e globale

La stereopsi può essere suddivisa in due tipologie che agiscono su livelli differenti:

- ❖ Stereopsi locale ;
- ❖ Stereopsi globale .

La stereopsi locale è indotta da stimoli, o dettagli di stimoli, che presentano un grado variabile di disparità orizzontale, ovvero risultano spostati l'uno rispetto all'altro. Questo è il tipo di stereopsi che presenta normalmente la visione binoculare dello spazio.

La stereopsi globale, invece, è indotta da stimoli privi di dettagli monoculari evidenti; si tratta di matrici di punti pseudocasuali costituiti con una certa disparità laterale, ovvero spostati l'uno rispetto all'altro e stimolano coppie di punti corrispondenti.

La stereopsi locale viene indotta tramite coppie di mire simili, con immagini chiare spostate orizzontalmente l'una rispetto all'altra e proposte in visione separata ai due occhi mediante stereoscopi oppure tramite filtri polarizzanti o anaglifici.

La stereopsi globale viene, invece, richiede una capacità più fine al soggetto esaminato; essa fa riferimento alla stimolazione dei soli punti retinici corrispondenti, senza chiari punti di riferimento figurali capaci di definire e rendere riconoscibile le immagini monoculari.

I soggetti che non presentano capacità stereoscopica possono comunque manifestare una parziale risposta ai test della stereopsi locale, soprattutto con stimoli ad elevata stereo acuità. I test effettuati per analizzare la stereopsi globale non presentano indizi monoculari e possono avere esito positivo soltanto da soggetti con normale capacità stereoscopica.

3.2 Stereogrammi

Il termine *stereogramma* indica una coppia di immagini capaci di indurre una visione tridimensionale. Generalmente si tratta di due immagini piane che devono essere viste separatamente dai due occhi, dato che i punti di vista sono spostati orizzontalmente di 6 cm. Applicando queste regole si possono effettuare due fotografie che, viste separatamente dai due occhi, inducono la sensazione di profondità.

Le tecniche adoperate per creare gli stereogrammi mirano ad includere in una sola immagine le parti complementari dell'immagine-risultato. Mediante l'ausilio di strumenti o tecniche ad occhio nudo si richiede alla visione di riseparare le due parti in modo che possano essere percepite come due immagini complementari dello stesso oggetto che normalmente gli giungerebbero tramite i due occhi. Così facendo il cervello restituirà la percezione di un'unica immagine associata ad una sensazione di tridimensionalità.

3.2.1 Tipologie di stereogramma

- **Immagine stereoscopica parallela** : prima forma di stereogramma creata dall'uomo destinata alla visione con stereoscopio. Può essere tuttavia osservata anche ad occhio nudo attraverso la libera visione stereoscopica (immagine destra vista dall'occhio destro, immagine sinistra vista dall'occhio sinistro), imponendo agli occhi di convergere in un punto posteriore al piano dell'immagine stessa (figura 3.2a).

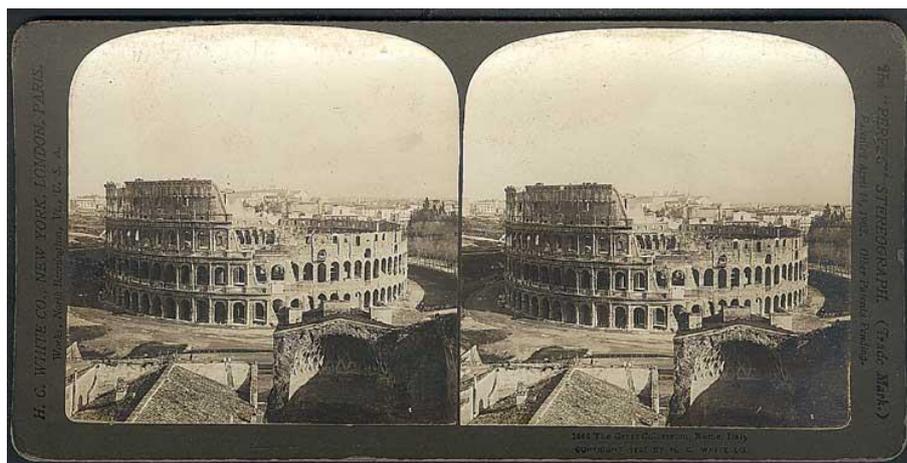


Fig. 3.2a : Esempio di immagine stereoscopica parallela

- **Immagine stereoscopica cross-eyed** : anche in questo caso si osserva un'immagine parallela a occhio nudo, ma imponendo agli occhi di convergere su un punto anteriore al piano dello stereogramma. Pertanto l'immagine destra viene visualizzata dall'occhio sinistro e l'immagine sinistra, viceversa, dall'occhio destro (figura 3.2b).



Fig. 3.2b : Esempio di immagine stereoscopica cross-eyed

- **Anàglifo** : immagine stereoscopica piana composta da due differenti immagini e osservata mediante appositi occhiali dotati di due filtri di colore complementare l'uno rispetto all'altro (solitamente ciano-rosso, rispettivamente come colori sottrattivo-additivo, uniti a formare una componente risultante bianca). Dunque ad ogni occhio giunge una sola immagine in modo tale da creare l'illusione di tridimensionalità (figura 3.2.c).



Fig. 3.2c : Esempio di anàglifo

- **Stereogramma a punti casuali** : creato a computer, è costituito da una coppia di mire formate da punti di ordine casuale, alcuni dei quali sono simmetricamente spostati per formare una figura. Visualizzando l'immagine con la tecnica di *wall-eyed* tramite stereoscopio o a occhio nudo, il disegno viene percepito tridimensionale (figura 3.2d).



Fig.3.2d : Esempio di stereogramma a punti casuali

- **Autostereogramma** : singola immagine stereoscopica a punti casuali, formata da “due” immagini già parzialmente sovrapposte che inducono un’illusione di profondità. Similmente alle immagini stereoscopiche parallela e cross-eyed, gli autostereogrammi vengono osservate con la tecnica a convergenza, quando gli occhi convergono su un punto anteriore al piano del disegno; e la tecnica a divergenza, quando gli occhi divergono rispetto al piano del disegno e si sdoppia, così, il contenuto per far percepire l’immagine tridimensionale.

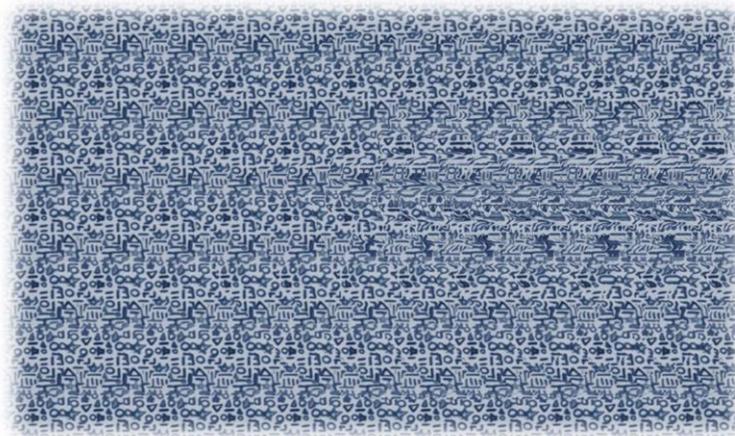


Fig. 3.2e : Esempio di autostereogramma

3.3 Misurazione della stereopsi

Quando la fissazione si sposta da un punto all'altro, il movimento attivo è la vergenza orizzontale. La convergenza verso un oggetto vicino è un movimento estremamente frequente e fondamentale per l'osservazione prossimale. L'unità usata per le vergenze orizzontali è l'angolo metrico (simbolo A_m). Il suo valore è dato dal reciproco della distanza di fissazione in metri ed esprime la quantità di convergenza necessaria perché gli assi visivi convergano ad una certa distanza.

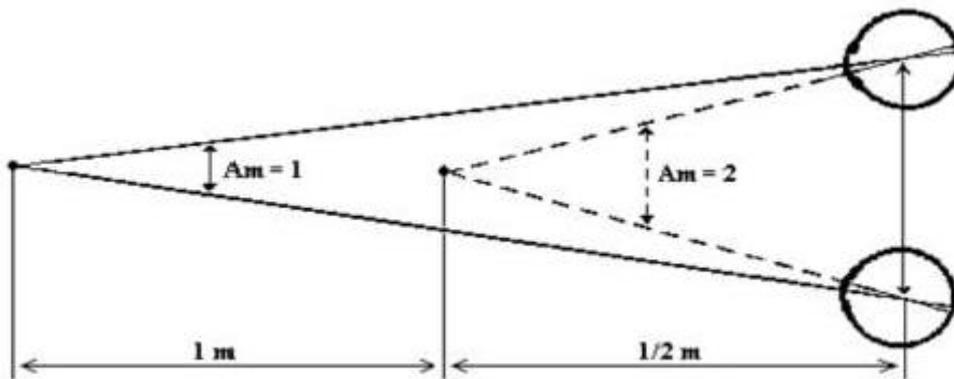


Fig. 3.3a : Rappresentazione dell'angolo metrico (A_m)

Si osserva dalla figura 3.3a che per una distanza $d = 1\text{ m}$, l' A_m è uguale ad 1; per una distanza $d = \frac{1}{2}\text{ m}$, l' A_m è uguale a 2. Per ricavare la vergenza in diottrie prismatiche è sufficiente moltiplicare l' A_m per la distanza tra i centri di rotazione oculare o, per comodità, la distanza pupillare (simbolo PD).

$$\text{Convergenza} = A_m \cdot \text{PD}$$

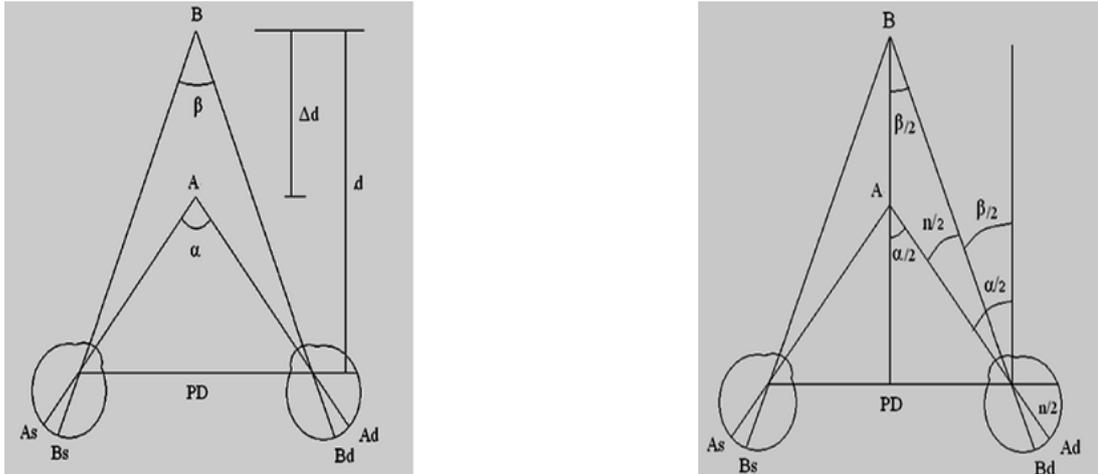


Fig. 3.3b : Misura quantitativa della stereopsi

La misura della stereopsi η è conferita dalla differenza di convergenza tra il punto di fissazione **A** e il punto massimo di tollerabilità di disparità retinica **B** (figura 3.3b).

Sperimentalmente si dimostra :

$$\eta = \alpha - \beta$$

$$\alpha = \frac{PD}{d - PD}$$

$$\beta = \frac{PD}{d}$$

$$\eta = \frac{\Delta d \cdot PD}{d^2}$$

Se applichiamo l'equazione ad un esempio pratico, supponendo che la distanza $d = 40$ cm, la disparità $\Delta d = 2$ mm e la distanza pupillare $DP = 64$ mm , avremo che :

$$\eta = 2 \cdot 64 / 160000 = 0,0008 \text{ rad} \rightarrow \eta = 0,0008 \cdot 206256 = 165 \text{ ''}$$

L'efficacia della stereopsi dipende dalla distanza tra i due occhi (PD) e cioè dalla disparità orizzontale che si verifica tra le due immagini. La disparità tra le immagini non può superare i 2° o essere inferiore a 5 ", in modo quasi indipendente dalla distanza.

3.4 Test valutativi

Nella pratica quotidiana i test di maggior uso per la valutazione della stereopsi vengono solitamente valutati a distanza prossimale. I soggetti con ridotta stereopsi possono evidenziare una riduzione dell'acuità visiva oppure una deviazione latente o manifesta.

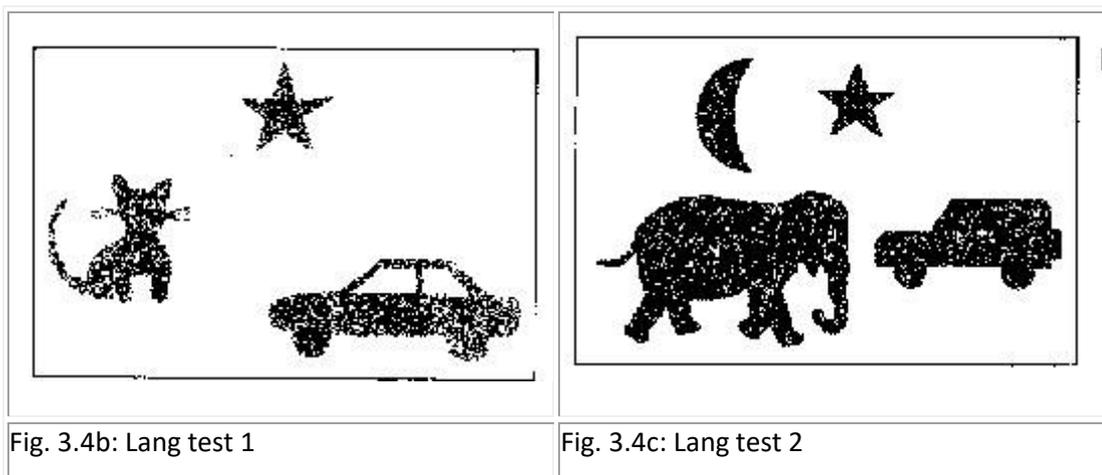
Il test più conosciuto è il *Test di Wirth o Titmus*, anche detto *Test della mosca*. Il test sfrutta le caratteristiche dei filtri polarizzati e viene posto ad una distanza di 40 cm. La prima figura proposta (3.4a) rappresenta infatti una grossa mosca scelta propriamente per i suoi particolari morfologici, atti ad indurre stereopsi. Viene chiesto al soggetto di "prendere le ali della mosca"; se esiste la sensazione di tridimensionalità, il soggetto cercherà di prendere le ali sopra il piano della figura osservata. In questo caso si considera una stereopsi di grado normale. Dopo questo test iniziale, si procede con altre figure che sono tarate per misurare una stereopsi da 800" a 40". Per un soggetto con buona acuità visiva il valor medio della stereopsi è all'in circa di 40".



Fig.3.4a : Test di Titmus o della mosca

Lo *Stereotest Lang – 1* rappresenta una tavola costituita da immagini situate dietro una serie di piccoli cilindri trasparenti che funzionano a guisa di doppi prismi sostenuti per la base in modo da deviare verso il corrispettivo occhio la parte della figura ad esso destinata. Questo test può essere usato già in età preverbale per facilitare l'esame del senso stereoscopico dei bambini e è fondato su due principi: le configurazioni a "randomdot" (senza occhiali) e il reticolo di lenti cilindriche parallele. In visione monoculare questi stereogrammi non rivelano alcun contorno, mentre in visione binoculare le aree che producono una disparità orizzontale vengono viste in rilievo. Essendo un test rivolto nella maggior parte delle volte ai bambini, le forme degli oggetti scelti rientrano abitualmente nella visione quotidiana, come gatto, stella e automobile. I tre oggetti (figura 3.4b) vengono localizzati a distanze differenti: il gatto appare più vicino all'osservatore (1200"), mentre l'automobile appare più lontana (550").

Lo *Stereotest Lang – 2* è il completamento del precedente stereotest 1 (gatto, stella, automobile), in quanto si fonda sugli stessi principi ottici. Vengono presentate al soggetto tre immagini (elefante, auto e quarto di luna) visibili solo in visione binoculare ed una stella che può essere percepita anche monocolarmente, ma che risulta essere in rilievo solamente se l'osservatore utilizza la visione binoculare normale (figura 3.4c). La stella visibile in visione monoculare serve oltre ad attirare l'attenzione dei pazienti più piccoli alla quale è rivolto maggiormente il test, anche a procurare soddisfazione nel riconoscere almeno una figura nei soggetti che non possiedono visione stereoscopica. L'analisi della stereoacuità assume valori dai 600" dell'elefante ai 200" del quarto di luna, invece il camion a 400".



In ambito optometrico è, inoltre, di notevole interesse valutare la stereoacuità a distanza mediante l'uso di alcuni test:

Il *Test di Frisby* è formato da figure disposte in ordine casuale e di dimensioni maggiori rispetto a quelle consuete, al fine di aumentare la funzionalità in caso di ridotta acuità visiva. Il test riporta parte dell'immagine spostata dal piano mediante lo spessore di una lastra in plexiglas, la quale

conferisce il senso di profondità. Non richiede l'uso di occhiali o dispositivi particolari.

Il *Test di Howard-Dohlman* è lo strumento più rappresentativo per la misurazione a distanza e richiede che il soggetto ponga sullo stesso piano due barrette nere verticali su uno sfondo bianco privo di riferimenti.

CAPITOLO IV

RICERCA E RISULTATI OTTENUTI

In questo capitolo verranno esaminati i dati sperimentali svolti su un campione di soggetti.

4.1 L'obbiettivo :

L'obbiettivo dello studio è stato valutare la presenza di una correlazione tra la componente stereoscopica della visione binoculare e alcune attività quotidiane, come la guida di un veicolo o la professione lavorativa. Quest'ultime richiedono non solo una regolare conoscenza della profondità nella quale si opera, ma anche la capacità di godere di riflessi pronti in presenza di imprevisti. Alla guida di un mezzo sono prese in considerazione diverse abilità:

- Consapevolezza delle dimensioni dell' auto e l'uso del proprio ampliamento per il movimento nello spazio (es. passaggio dell'auto tra due ostacoli) ;
- Essere coscienti della posizione spaziale di alcuni oggetti importanti nelle manovre, soprattutto in casi di pericolo (es. cambio, specchietti retrovisori, indicatori di direzione, ecc.) ;
- Modulare i cambi di posizione spaziale tramite il volante in base alle esigenze ;
- Percezione spaziale di alcuni oggetti sul manto stradale (es. marciapiedi, guardrail ecc.).

L'aspetto della stereopsi non deve essere sottovalutato in molti lavori prossimali, dove si utilizzano strumenti pericolosi:

- Macellaio (coltelli, tritacarne ecc.) ;
- Fabbro (martelli, smerigliatrici, saldatrici e sagomatrici) ;
- Falegname (scalpelli, pialle, seghe circolari e torni).

In queste professioni, prettamente manuali, avere una buona percezione della profondità è fondamentale per maneggiare con cura e precisione questi

utensili e per riuscire ad intervenire, in maniera tempestiva, in caso di situazioni difficili.

4.2 Soggetti

I soggetti esaminati per lo studio sperimentale sono 100 e con un'età compresa tra i 19 e i 62 anni. Tutti hanno conseguito la patente di guida di tipo B e godono di visione binoculare. Tra di essi, 10 sono i soggetti che portano correzione oftalmica da lontano, mentre 90 non indossano occhiali da vista, perché emmetropi.

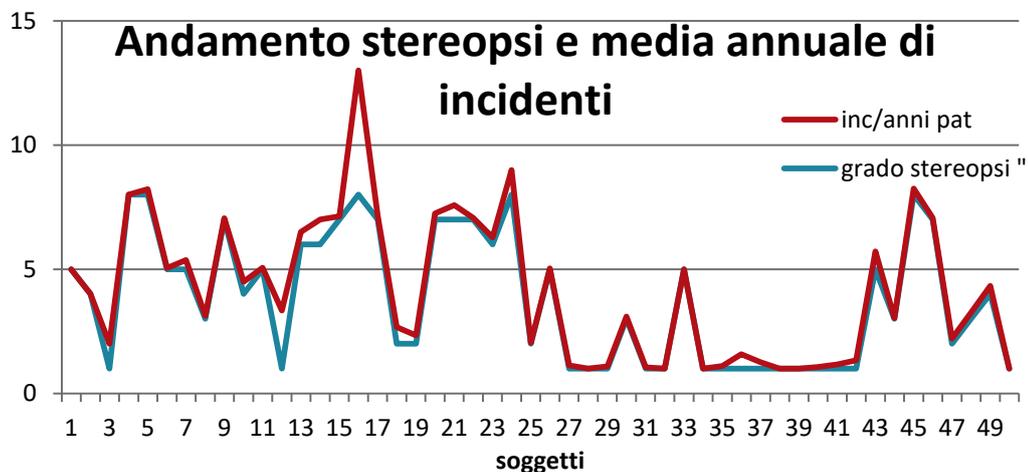
4.3 La procedura

Per la procedura dell'analisi stereoscopica è stato adoperato il *Test di Titmus o della mosca* (§ 3.4, fig. 3.4a) per due motivi:

- Capire se i soggetti fossero in possesso di visione binoculare, poiché, in caso contrario, il test sarebbe stato compromesso ;
- Quantificare il grado stereoscopico dei soggetti.

4.4 Risultati e valutazione

L'indagine effettuata è stata suddivisa in due studi.



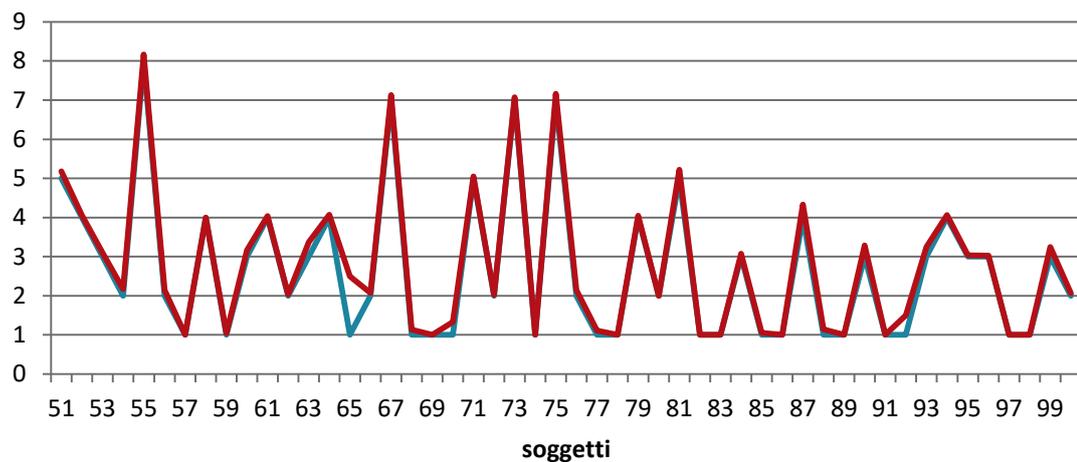


Fig. 4.3a: Grafico dell'andamento medio annuo di incidenti stradali e grado di stereopsi

Nel grafico in fig. 4.3a sono riportati, per ogni soggetto, la media annua di incidenti stradali e il grado di stereopsi. In questo primo studio, il grado stereoscopico è stato valutato dando un punteggio da 1 a 8 in base all'angolo di disparità riconosciuto:

stereopsi (")	40	50	60	80	100	140	200	400
punteggio	1	2	3	4	5	6	7	8

Tab. 1 punteggio in base alla stereopsi

Dall'associazione si evince che un alto grado di disparità angolare corrisponde al massimo del punteggio. Quindi, per la maggior parte dei casi, un valore basso di stereopsi coincide con una media tollerabile di incidenti. In questo modo, le curve della componente stereoscopica e della media degli incidenti, hanno un andamento molto simile. Nel grafico si individuano diversi punti in cui le due linee sono sovrapposte e, quindi, si può presupporre ad una correlazione tra le due componenti. Tenendo conto che i soggetti esaminati sono stati 100, pochi sono stati coloro che hanno dimostrato una marcata differenza tra i due aspetti.

Nel secondo studio è stata svolta un'indagine sugli incidenti avvenuti in sede lavorativa e il grado di stereopsi:

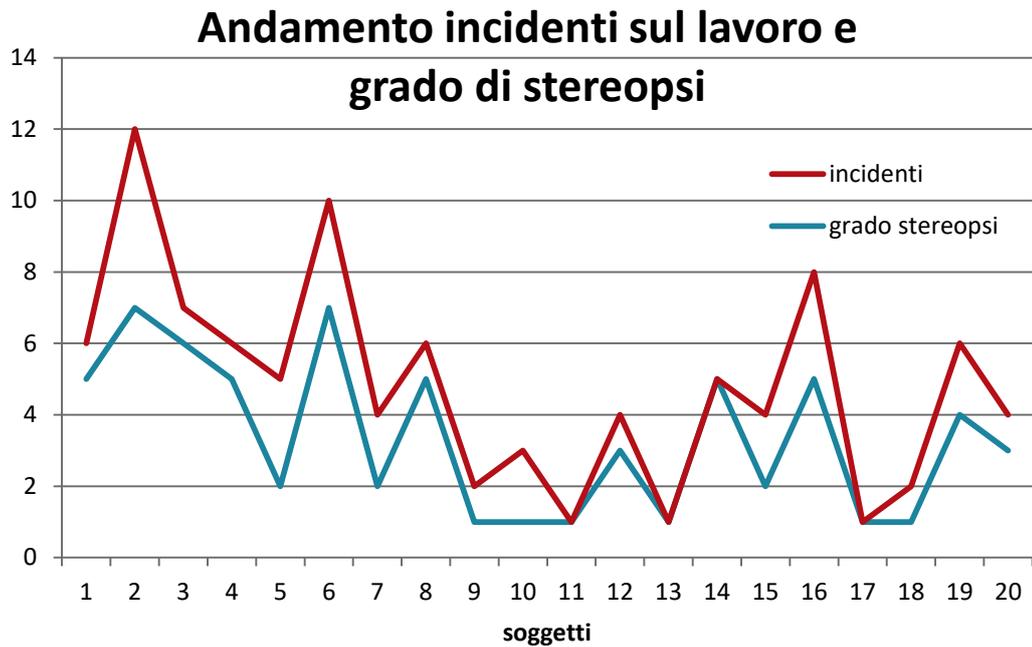


Fig. 4.3b: Grafico dell'andamento incidenti lavorativi rispetto al grado di stereopsi

Nel secondo studio sono stati presi in considerazione 20 soggetti che lavorano come fabbro, falegname e macellaio. Nel grafico vengono mostrati, per ogni persona, il grado di stereopsi con lo stesso punteggio (Tab. 1) e il numero di incidenti avuti nella propria attività lavorativa. Si intravede come le due componenti variano in modo simile: soggetti con una bassa capacità stereoscopica risultano essere protagonisti di numerosi incidenti lavorativi. Solo in un unico caso si può notare che, nonostante il punteggio stereoscopico di 1 (40"), il soggetto ha avuto 3 incidenti.

CONCLUSIONI

Dagli studi effettuati possiamo dedurre che esiste una forte connessione tra il grado di stereopsi e la visione prossimale. Infatti, l'oggetto di analisi è stato improntato su diverse attività che fanno parte della quotidianità e che ricoprono un aspetto importante nella vita di un soggetto, quali lavoro e guida di un veicolo. In entrambe le ricerche, i soggetti che non hanno mostrato una relazione tra i diversi aspetti sono stati numericamente pochi, ragion per cui possono essere anche trascurati.

In ultima analisi è importante sottolineare, dai risultati ottenuti, che la componente stereoscopica riveste un'influenza notevole sia durante la guida di un veicolo (evitare incidenti che mettono a repentaglio la propria vita e quella altrui) sia durante lo svolgimento di lavori che richiedono l'utilizzo di utensili pericolosi. Infatti, tra gli incidenti avvenuti in ambito lavorativo, ci sono stati 6 incidenti che hanno comportato la perdita di falangi delle dita. Detto ciò, la stereopsi dovrebbe ricoprire un aspetto importante nelle visite periodiche fatte ai dipendenti che svolgono lavori rischiosi (autista, macellaio, ecc.). Infine è importante sottolineare che, questo lavoro di tesi, è servito a far capire l'importanza della visione stereoscopica; ciò non deve essere travisato come un messaggio invalidante verso le persone che non possiedono visione binoculare. Nella visione binoculare, gli indici di profondità bidimensionali (sovrapposizione di oggetti, illuminazione e ombre, altezza sull'orizzonte, ecc.) rivestono un ruolo fondamentale, in quanto la visione è una funzione molto complessa e che ricopre un ruolo importante nella vita di un soggetto.

Bibliografia

- Contino F., Gorgone G., (1991). *Ottica Fisiopatologica*. Florio, Napoli.
- Grannelli L., Grannelli M., Moro G., (2012). *L'esame visivo efficace*. Medical Books, Palermo.
- Kaschke M., Karl-heinz, Rill D., Stefan M., (2014). *Optical Devices in ophthalmology and optometry*. Vch Pub.
- Lupelli L., (2014). *Optometria A-Z Dizionario di Scienza, Tecnica e Clinica della Visione*. Medical Books, Palermo.
- Maiocchi A., (2007). *Manuale Pratico per l'esecuzione di un esame visivo*. Medical Books, Palermo.
- Paliaga G., (1991). *L'esame del visus*. Minerva Medica, Roma.
- Rosenfield M., Logan N., (2009). *Optometry: Science, Techniques and Clinical Management*. Elsevier.
- Rossetti A., Gheller P., (2003). *Manuale di optometria e contattologia*. Zanichelli, Bologna.(pag. 153-166, pag. 296-303)
- Zeri F., Rossetti A., Fossetti A., Calossi A., (2012). *Ottica Visuale*. Società Editrice Universo, Roma.

Sitografia

- <http://www.treccani.it/enciclopedia/>
- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page