

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*

# **Differenza nella valutazione delle forie con prismi di Risley e luce polarizzata**

**Relatori:**  
Prof. Michele Gagliardi

**Candidato:**  
Anna Clelia Dipineto  
Matricola M44000599

A.A. 2021/2022

*Alla mia famiglia*

# Indice

<b>Introduzione</b>	<b>4</b>
<b>Capitolo 1 Introduzione alla visione binoculare</b>	<b>5</b>
1.1 Fisiologia della visione binoculare . . . . .	5
1.2 Corrispondenza dei punti retinici. . . . .	5
1.3 Fusione sensoriale. . . . .	6
1.4 I 3 gradi della visione binoculare . . . . .	7
1.5 Sistema motorio e le sue anomalie. . . . .	9
<b>Capitolo 2 Squilibri del sistema motorio</b>	<b>11</b>
2.1 Cenni sulla muscolatura estrinseca dell'occhio. . . . .	11
2.2 Squilibri del sistema motorio: deviazioni. . . . .	14
2.3 Classificazioni delle forie e delle tropie . . . . .	15
<b>Capitolo 3 Valutazione dello stato eteroforico</b>	<b>18</b>
3.1 Tecniche di valutazione delle forie. . . . .	18
3.2 Prismi di Risley. . . . .	20
3.3 Luce polarizzata. . . . .	21
<b>Capitolo 4 Studio</b>	<b>24</b>
4.1 Scopo e strumentazione utilizzata. . . . .	24
4.1.1 Forottero. . . . .	25
4.2 Esecuzione pratica. . . . .	26
4.2.1 Valutazione delle forie. . . . .	26
4.3 Analisi statistica . . . . .	27
<b>Conclusioni</b>	<b>35</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>36</b>
<b>Sitografia</b>	<b>36</b>
<b>Ringraziamenti</b>	<b>38</b>

## INTRODUZIONE

Alla nascita il sistema visivo è ancora incompleto. Questa condizione anatomica, fisiologica ma soprattutto funzionale tende a migliorare verso i 10-14 anni, età in cui avviene lo sviluppo completo del sistema visivo attraverso un lungo e articolato processo. Certamente un fattore da tenere in considerazione è la genetica, la quale svolge un ruolo guida, ma per il raggiungimento pieno delle capacità visive, svolge un ruolo fondamentale il rapporto del soggetto con l'ambiente esterno. Tale sviluppo è, dunque, legato all'esperienza visiva di quest'ultimo e avviene attraverso dei meccanismi regolati dall'attività neuronale in seguito ad una stimolazione sensoriale. In relazione a questo sviluppo, è necessario prendere in considerazione due aspetti importanti. Il primo è quello del riconoscimento del viso effettuata già alla nascita dal bambino, probabilmente perché tali meccanismi sono già presenti. Il secondo invece è quello legato allo sviluppo della visione binoculare, in quanto alla nascita la visione è monoculare alternata, e solo più avanti si svilupperà la visione binoculare fino ad ottenere una visione stereoscopica tipica di un adulto verso i 5-6 anni.[7] La visione binoculare è un aspetto fondamentale per il soggetto in quanto determina la capacità di relazionarsi all'ambiente esterno e problemi legati a quest'ultima possono creare forti disagi emotivi e relazionali. È importante, quindi valutarne l'efficienza e le capacità del sistema visivo stesso, tenendo in considerazione che in molti casi possono verificarsi delle situazioni anomale che possono ostacolare o meno la normale visione. A tal proposito in questo studio si vanno a valutare gli squilibri del sistema visivo dovuti al mancato allineamento degli assi visivi, comunemente definite deviazioni oculari, in particolare le deviazioni latenti, in quanto non sono disturbanti ai fini della visione e nella maggior parte dei casi non necessitano di una correzione prismatica .

Lo studio presentato, però, non si basa semplicemente sul riconoscimento di una foria nei soggetti coinvolti ma vuole evidenziare le eventuali differenze che si possono presentare utilizzando due metodi diversi, nello specifico i prismi di Risley e la luce polarizzata.

Per la raccolta dati, è stata necessaria la collaborazione di 30 soggetti, esaminati presso i laboratori di optometria, dove è stato possibile utilizzare tutti gli strumenti messi a disposizione dall'ateneo, come autorefrattometro, frontofocometro e forottero, grazie ai quali sono state praticate le misurazioni. Inoltre al gruppo di ragazzi (età compresa tra i 20 e i 28 anni) esaminato è stato chiesto, se portassero già correzioni o se ci fossero precise problematiche prima di iniziare la valutazione optometrica, per rendere le misurazioni attendibili e certamente riproducibili.

# CAPITOLO 1- INTRODUZIONE ALLA VISIONE BINOCULARE

## 1.1 FISIOLOGIA DELLA VISIONE BINOCULARE

La visione binoculare è quella funzione del sistema visivo che permette di percepire la tridimensionalità del mondo circostante, di identificare un oggetto nello spazio e valutarne la posizione. Il corretto funzionamento del sistema visivo dipende in gran parte dalla visione binoculare, ossia la capacità di fondere in una singola percezione gli impulsi provenienti dai due occhi. Quando si osserva il mondo esterno, ogni elemento retinico riceve le informazioni da una precisa regione di spazio, trasformando le radiazioni elettromagnetiche in impulsi nervosi che vengono poi elaborati e veicolati ai centri superiori, fino ad ottenere l'immagine dell'oggetto.

Considerando tutti gli elementi retinici, infatti, è possibile immaginare un mosaico caratterizzato dall'insieme delle percezioni visive, ognuna delle quali occuperà una precisa regione di spazio, in quanto la stimolazione di ogni area retinica genera una singola percezione visiva che si differenzia dalle altre non solo per forma, colore e luminosità ma soprattutto per la diversa localizzazione spaziale.[2]

Per localizzazione spaziale si intende la direzione in cui viene proiettata la percezione visiva in seguito alla stimolazione dell'area retinica. Questa direzione è data dalla retta che congiunge l'elemento retinico e il punto nodale dell'occhio. Si può quindi notare che ogni recettore retinico possiede una propria direzione, quindi una propria localizzazione spaziale e che tra queste, la direzione visiva corrispondente alla fovea viene assunta dal sistema come quella principale, mentre tutte le altre possono essere descritte come direzioni visive soggettive secondarie. Inoltre i rapporti esistenti tra le direzioni secondarie e la direzione primaria si possono definire costanti per qualunque posizione assunta dall'occhio.

## 1.2 CORRISPONDENZA DEI PUNTI RETINICI

Affinchè ci sia una visione binoculare, però, è necessario che si verifichi la cosiddetta Teoria dei punti retinici corrispondenti. Appurato che ciascun elemento retinico localizza lo stimolo sotto forma di percezione in una precisa direzione, questa teoria afferma che ciascun elemento retinico di un occhio ha nella retina del controlaterale un recettore corrispondente avente la stessa localizzazione spaziale. Questi punti prendono il nome di "punti retinici corrispondenti".

Tali proprietà appartengono ad entrambi gli occhi, quindi se le immagini di un oggetto cadono su punti retinici corrispondenti, ossia elementi retinici che hanno la stessa direzione visiva soggettiva, allora il sistema visivo percepirà un unico oggetto, nonostante le due differenti immagini retiniche in qualsiasi movimento e in qualsiasi posizione di sguardo. Proprio per questo si dice che, in condizioni normali, gli occhi percepiscono le immagini come se fossero uniti a formare un unico occhio, "l'occhio ciclopico di Helmholtz", posizionato al centro tra i due singoli occhi, alla stessa altezza ma leggermente più indietro e responsabile della visione stereoscopica.

### 1.3 FUSIONE SENSORIALE

L'eccitazione di elementi retinici corrispondenti è quindi una condizione necessaria per una corretta visione binoculare, ma non unica, in quanto le stesse immagini devono essere sufficientemente simili in grandezza, colore, luminosità e nitidezza. Tale fusione avviene a livello della corteccia visiva occipitale.

Ovviamente questa condizione si verifica per ogni elemento retinico, quindi nello stesso momento ci saranno più punti nello spazio che proietteranno le immagini su punti retinici corrispondenti. Si può, infatti, immaginare una linea virtuale passante per tutti i punti oggetto visti singolarmente le cui immagini cadono su punti retinici corrispondenti. Tale linea prende il nome di **oroptero**. [8]

Vari studi, in particolare quelli condotti da Hering e Hillebrand, hanno contribuito a fornire una descrizione della forma dell'oroptero empirico, per la quale quest'ultimo varia a seconda della distanza di fissazione, assumendo la forma di una curva con concavità verso l'osservatore per piccole distanze, per arrivare ad assumere la forma di una retta alla distanza adiabatica o di Libermann (circa 1 metro), e tornare ad essere una curva, stavolta con convessità verso l'osservatore per grandi distanze .

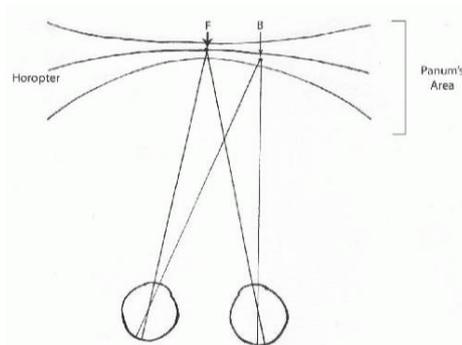
Si sostiene che tutti gli oggetti posti su di esso vengono percepiti come singoli, mentre quelli al di fuori come doppi, in quanto stimolano elementi retinici disparati. In quest'ultimo caso si parla di diplopia, ossia visione doppia, che nella maggior parte dei casi è fisiologica in quanto non disturbante ai fini della visione, mentre in casi più gravi è detta patologica, spesso associata a deviazioni degli assi visivi, ossia al mancato allineamento degli stessi, rivelando così uno strabismo.

Si può effettuare un'ulteriore divisione della diplopia, in base alla posizione delle immagini, in diplopia omonima e crociata. Nella prima le immagini cadranno sulla porzione nasale di entrambe le retine, quindi l'oggetto verrà localizzato dallo stesso lato dell'occhio che ne ha fornito l'immagine mentre nella seconda le immagini cadranno sulla porzione tempiale delle retine, quindi l'oggetto verrà localizzato dal lato opposto all'occhio che ne ha fornito l'immagine.

In realtà quando si determina sperimentalmente l'oroptero, la diplopia fisiologica non compare immediatamente per tutti i punti al di fuori dell'oroptero in quanto esiste un'area, detta **area fusionale di Panum** (Figura 1), in cui è possibile spostare gli oggetti senza necessariamente percepirla doppi. Questa regione di spazio ha ampiezza variabile, minore a livello del punto di fissazione e via via maggiore verso la periferia; ciò è dovuto a una maggiore dimensione dei campi recettivi.

L'area fusionale di Panum è una caratteristica del sistema visivo per cui si riesce ad ottenere ancora fusione sensoriale anche in seguito alla stimolazione di elementi retinici disparati, in quanto ogni elemento retinico ha nel controlaterale un'area corrispondente, all'interno della quale è posizionato effettivamente l'elemento retinico corrispondente.

Questa caratteristica del sistema visivo è alla base del concetto di *stereopsi*, ossia la capacità di percepire la tridimensionalità del mondo circostante grazie alla disparità delle immagini retiniche dei due occhi. Si ha difatti una visione stereoscopica quando le immagini cadono su punti retinici non corrispondenti ma pur sempre all'interno dell'area fusionale di Panum, e in base alla posizione delle immagini, più avanti o più dietro rispetto al punto fissato, si riesce a percepire la profondità.



**Figura 1:** oroptero empirico e area fusionale di Panum

## 1.4 I 3 GRADI DELLA VISIONE BINOCULARE

In relazione a quanto detto, secondo il modello di Claude Worth nel 1915, la visione binoculare è basata su tre punti che vengono definiti come i 3 gradi della visione binoculare:

- percezione simultanea
- fusione
- stereopsi

Per **percezione simultanea** si intende la capacità di vedere contemporaneamente due immagini non sovrapponibili che si formano sulle retine. In tal modo si valuta la *biocularità*, ossia visione singola ma contemporanea dei due occhi mediante l'anteposizione di un prisma di una quantità tale da non poter essere compensata dal sistema visivo. Per verificarlo, infatti, bisogna mostrare al soggetto una mira puntiforme all'ottotipo, indurre diplopia utilizzando un prisma di  $6 \Delta$  base up su un occhio e verificare se effettivamente l'immagine si separa in due mire verticali, una percepita in basso, precisamente dall'occhio a cui è stato anteposto il prisma base alta, e una percepita in alto dal controlaterale. Se il soggetto, in dissociazione, percepisce queste due immagini allora c'è visione simultanea, se ne percepisce una allora visione singola con soppressione dell'occhio che non percepisce l'immagine.[3]

Per **fusione** invece si intende la capacità di vedere due immagini simili in una percezione singola. Si esamina quindi la visione contemporanea dei due occhi senza eliminare la fusione. Per la valutazione si può anteporre un filtro rosso a un occhio, in genere il destro e mostrare al soggetto la stessa mira puntiforme, utilizzata nel test precedente. Se c'è fusione, la mira sarà percepita di colore rosa, in caso contrario si evidenzierà un problema nella fusione.

La **stereopsi** si può definire invece come il più alto grado di visione binoculare, in quanto capace di consentire la percezione della profondità. Questa condizione avviene a causa della naturale disparità delle singole immagini retiniche dovute a una fisiologica distanza tra i centri di rotazione dei due occhi.

Tale caratteristica del sistema visivo permette, quindi, di avere una visione tridimensionale del mondo esterno, favorendo così l'orientamento nello spazio e la percezione delle relative distanze.

Per valutare il 3° grado della visione binoculare è possibile utilizzare il test delle **4 luci di Worth** presenti all'interno dell'ottotipo, anteporre al soggetto dei filtri rosso-verde e analizzarne le risposte. La mira infatti è formata da 4 luci dislocate a rombo, quelle in orizzontali rappresentano due croci di colore verde mentre quelle in verticale sono una rossa, percepita dall'occhio a cui abbiamo

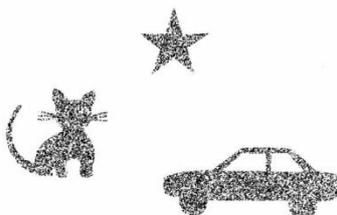
anteposto il filtro rosso e l'altra bianca, posizionata in basso e percepita da entrambi gli occhi, in quanto rappresenta lo stimolo fusionale.

A questo punto le risposte del soggetto potrebbero essere diverse:

- Se vengono percepite due mire rosse in verticale allora potrebbe trattarsi di una soppressione e visione monoculare, la visione è a carico dell'occhio a cui è stato anteposto il filtro rosso.
- Se il soggetto percepisce tre mire verdi, anche in questo caso potrebbe trattarsi di soppressione e visione monoculare, ma stavolta l'occhio che presenta visione è quello con il filtro verde.
- Se vengono percepite quattro mire, tra cui quella in basso di colore giallastro o rosacea dovuto alla fusione delle immagini monoculari, allora vi è assenza di soppressione e il soggetto presenta visione binoculare.
- Se ne percepisce cinque, due rosse e tre verdi, allora il soggetto non sopprime ma presenta diplopia, magari a causa di una deviazione, in quanto le immagini non si fondono.

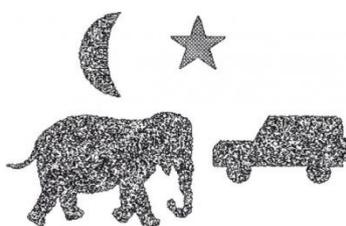
Altro test utile per valutare la stereopsi è il **lang stereotest 1 e 2**. [1] In particolare per la verifica della visione stereoscopica il primo viene utilizzato nel seguente modo: (figura 2)

- posizionarsi di fronte al soggetto e mostrargli il test in posizione verticale a 40 cm di distanza e osservare i movimenti oculari.
- chiedere al soggetto se riesce a vedere qualcosa sul test ed eventualmente distinguere le immagini presenti.



**Figura 2** :langstereotest2

Lo stesso procedimento si attua per il Lang stereotest 2. (figura3)



**Figura 3:** Lang stereotest 2

I risultati dei due test possono essere:

- Positivo: si ha una corretta localizzazione e un corretto riconoscimento degli oggetti osservati, con rapidi movimenti oculari tra gli oggetti in esame.
- Negativo: si ha un mancato riconoscimento degli oggetti con movimenti oculari incerti. In questo caso il soggetto necessita di un esame più approfondito.
- Dubbio: si ha il riconoscimento di un unico oggetto, e assenza degli altri. In questo caso così come nel precedente, è necessario un esame più approfondito.

Ulteriore test per esaminare la visione stereoscopica è il **Titmus fly stereotest** (Figura 4).

Si tratta di un test polarizzato, che si effettua indossando gli occhiali polarizzati. Si esegue a 40 cm ed è possibile suddividerlo in tre parti:

- La mosca, le cui ali sono in rilievo rispetto al resto del corpo. Tale capacità viene identificata in circa 3600" d'arco. Si chiede in questo caso al soggetto di afferrare le ali della mosca per capirne la profondità.
- Il test degli animali, caratterizzato da tre linee rappresentanti animali. Per ogni riga un solo animale appare in rilievo con angoli di disparità di 400" nella prima riga, 200" per la seconda e 100" per la terza. Anche qui l'esito positivo del test si ha quando il soggetto riconosce l'animale in rilievo.
- Il test dei cerchi, caratterizzato da nove elementi con quattro cerchi. In ognuno di essi ci sarà un cerchio in rilievo rispetto agli altri. Man mano che si passa dall'elemento 1 al 9 cambia l'angolo di disparità da 800 a 40" d'arco, a 40 cm. Ovviamente il soggetto deve essere in grado di riconoscere quanti più cerchi in rilievo possibili.



**Figura 4:** Titmus fly stereotest

## 1.5 SISTEMA MOTORIO E LE SUE ANOMALIE

Affinchè si possano verificare le condizioni sopra citate, alla base della visione binoculare, è necessaria l'azione del sistema motorio, composto dalla muscolatura estrinseca dell'occhio e dall'insieme di tutte le strutture nervose centrali e periferiche da cui riceve gli impulsi. Questo complesso muscolare ha infatti il compito di mantenere le immagini sulla fovea di entrambi gli occhi e garantire così il corretto allineamento degli assi visivi, al fine di ottenere la percezione singola dell'oggetto osservato.

Per qualsiasi motivo può accadere che l'allineamento degli assi visivi si perda e che le immagini cadano su punti retinici disparati, violando così le condizioni necessarie per una visione singola.

Bisogna infatti prestare molta attenzione ad eventuali squilibri del sistema motorio in quanto possono produrre diplopia, la quale potrebbe certamente ostacolare la normale visione del soggetto. Essendo quest'ultima molto fastidiosa in genere induce il sistema visivo a correggere in qualche modo la posizione degli occhi, fino ad ottenere una visione singola. Tale meccanismo correttivo prende il nome di fusione motoria e lo si può descrivere come un complesso di movimenti riflessi di vergenza, il cui scopo è quello di riallineare gli assi visivi in seguito al mancato allineamento o anche detto parallelismo degli assi visivi nelle varie posizioni di sguardo.

## CAPITOLO 2: SQUILIBRI DEL SISTEMA MOTORIO

### 2.1 CENNI SULLA MUSCOLATURA ESTRINSECA DELL'OCCHIO

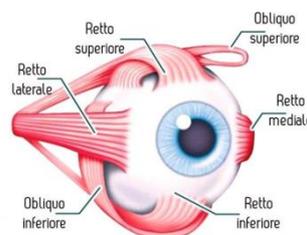
L'occhio è un organo di senso paragonabile a una sfera capace di compiere dei movimenti intorno a un centro di rotazione virtuale. Questo è indicato a 13,5 mm dietro la superficie anteriore dell'occhio e 10,5 mm più avanti rispetto al polo posteriore.

Lo studio delle strutture oculari risulta semplificato se si utilizzano degli assi immaginari come sistema di riferimento. Questi vengono individuati in:

- Asse ottico, che va dal centro geometrico della cornea fino a quello del fondo oculare ed è considerato l'asse immaginario passante per i centri di curvatura dei diottri oculari. Ovviamente questa è una considerazione puramente astratta in quanto i centri dei diottri oculari non sono allineati, siccome il sistema oculare non è perfetto.
- Asse pupillare, considerato come la linea normale alla cornea passante per la pupilla. Essendo quest'ultima leggermente decentrata nasalmente, l'asse pupillare risulta inclinato rispetto all'asse ottico, con il quale si incontra a livello del punto nodale dell'occhio.
- Asse di fissazione, passante per il centro di rotazione dell'occhio e per il punto di fissazione. Proprio attorno a questo centro di rotazione avvengono i movimenti oculari.
- Asse visivo, che congiunge l'oggetto fissato alla fovea, passando per il punto nodale dell'occhio. Questo è considerato l'asse più importante in quanto la luce, compiendo questa traiettoria, arriva diretta alla fovea, la regione centrale della retina deputata alla visione dei dettagli degli oggetti osservati, quindi responsabile della visione.

L'occhio è dotato di sei muscoli estrinseci di tipo striato (Figura 5), grazie ai quali è possibile compiere tutti i movimenti volontari e involontari necessari a una visione normale e confortevole. È possibile dividere questi muscoli in:

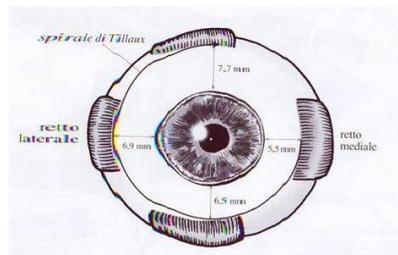
- 4 retti: mediale, laterale, superiore e inferiore.
- 2 obliqui: superiore e inferiore.



**Figura 5:** Muscolatura estrinseca dell'occhio

I quattro muscoli retti hanno un'origine comune, in quanto si sviluppano a partire da un tendine posto sul fondo dell'orbita, detto anello tendineo di Zinn, a forma di imbuto, che contorna la parte mediale e superiore del margine del forame ottico e lateralmente si attacca a una sporgenza della faccia orbitaria. Questo tendine è unito intimamente alla guaina durale dell'occhio e alla membrana resistente e il suo margine anteriore si prolunga nei tendini di origine dei muscoli retti.

Tali muscoli presentano caratteristiche comuni, in particolare sono nastriformi, allungati, più stretti verso il fondo dell'orbita e tendono ad allargarsi verso l'equatore dell'occhio fino ad arrivare alla superficie anteriore, dove si incurvano e si agganciano alla sclera per mezzo di un tendine sottile lungo e appiattito. Le inserzioni di tali muscoli hanno la caratteristica di formare una spirale quando si distanziano dal limbus, detta "Spirale di Tillaux" (figura 6). L'inserzione più vicina è quella del retto mediale con 5,5 mm, poi il retto inferiore con 6,5 mm, successivamente il retto laterale con 6,9 mm e infine il retto superiore con 7,7 mm che è il più distante. [1]



**Figura 6:** Inserzioni dei muscoli oculari

Il muscolo obliquo superiore è il più sottile e lungo dei muscoli oculari. Ha origine per mezzo di un breve tendine sul contorno mediale del forame ottico e in prossimità della base dell'orbita si trasforma in un tendine cilindrico che si immette in un anello fibrocartilagineo, chiamato troclea per poi riflettersi su di essa, tornare indietro verso il bulbo oculare, terminando sulla sclera nella parte superiore e laterale dell'occhio.

Il muscolo obliquo inferiore, invece, è il più corto tra i muscoli. Ha origine nella parte inferiore dell'orbita, poco più sotto della fossa del sacco lacrimale, si dirige lateralmente e nella parte inferiore dell'occhio, incrociando obliquamente il muscolo retto inferiore fino a legarsi al bulbo.

L'innervazione di questi muscoli avviene grazie a tre paia di nervi cranici:

- Il nervo oculomotore comune (3° nervo cranico)
- Il nervo trocleare (4° nervo cranico)
- Il nervo abducente (6° nervo cranico)

Il primo è un nervo motore somatico, che innerva l'elevatore della palpebra superiore e tutti i muscoli estrinseci tranne l'obliquo superiore e il retto laterale. Il nervo oculomotore comune attraversa la fessura orbitaria superiore e l'anello di Zinn, penetra nella cavità orbitaria e si divide in un ramo superiore, che va ad innervare il muscolo elevatore della palpebra superiore e il retto superiore, e un ramo inferiore che si dirama ulteriormente per andare ad innervare il retto inferiore l'obliquo inferiore e il retto mediale.

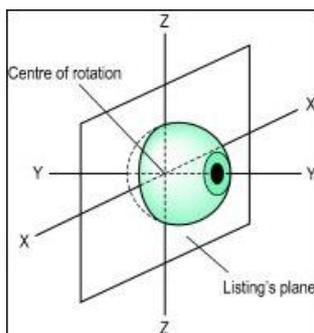
Il nervo trocleare, invece, innerva il muscolo obliquo superiore e il nervo abducente il muscolo retto laterale.

Ogni muscolo agisce sull'occhio in modo tale che quest'ultimo sia capace di compiere tutti i movimenti possibili nelle varie direzioni. Tali movimenti avvengono attorno al centro di rotazione

(prima menzionato) che è possibile descrivere attraverso un modello di assi cartesiani, chiamati “**assi di Fick**” e attraverso un piano definito “**Piano di Listing**” (figura 7), un piano frontale che passa per l’equatore dell’occhio e il centro di rotazione e che taglia il bulbo perpendicolarmente.

Gli assi di Fick si differenziano in:

- Asse x o asse orizzontale, per permettere la rotazione del bulbo verso l’alto e verso il basso.
- Asse z o asse verticale, permette la rotazione del bulbo verso l’esterno(abduzione) e verso l’interno (adduzione).
- Asse y o asse antero-posteriore, in quanto perpendicolare al piano di Listing. La rotazione attorno all’asse y implica movimenti torsionali del bulbo.



**Figura 7:** Assi di Fick e piano di Listing

Ogni muscolo ha un’azione diversa intorno ad ogni asse, proprio per questo è possibile distinguere l’azione dei muscoli in primaria, secondaria e terziaria a seconda dell’importanza che ha in relazione al preciso movimento da compiere (tabella 1)

LE AZIONI DEI SINGOLI MUSCOLI OCULOMOTORI ESTRINSECI			
Muscolo	Movimento oculare (a partire dalla posizione primaria)		
	Primario	Secondario	Terziario
Retto mediale	Adduzione	-	-
Retto laterale	Abduzione	-	-
Retto superiore	Innalzamento	Inciclorotazione	Adduzione
Retto inferiore	Abbassamento	Exciclorotazione	Adduzione
Obliquo superiore	Inciclorotazione	Abbassamento	Abduzione
Obliquo inferiore	Exciclorotazione	Innalzamento	Abduzione

**Tabella 1:** Azioni dei muscoli estrinseci

Più in generale i movimenti si differenziano in:

- Duzioni: movimenti dei singoli occhi
- Versioni: movimenti binoculari congiunti, per cui gli assi visivi si muovono nella stessa direzione
- Vergenze: movimenti binoculari disgiunti, ossia gli occhi si muovono in direzioni diverse. Si parla infatti di convergenza quando il loro movimento è verso l’interno e divergenza quando il movimento è verso l’esterno. In particolare i movimenti di vergenza sono utili per mantenere la fissazione di un oggetto osservato nelle varie distanze, la convergenza per oggetti più vicini e la divergenza per quelli più lontani.

Inoltre è necessario classificare ulteriormente i movimenti in base alla loro azione, in:

- Saccadi: movimenti rapidi degli occhi che consentono di portare la fovea verso il bersaglio visivo. Possono essere sia movimenti volontari che involontari e sono di grande importanza perché insieme ai movimenti di inseguimento lento sono i principali responsabili della lettura, quindi un'azione che il soggetto compie quotidianamente.
- Movimenti di inseguimento lento: capaci di far rimanere l'immagine di un oggetto fissato sulla fovea durante i movimenti lenti.
- Movimenti di vergenza: permettono di mantenere l'immagine fissa dell'oggetto anche durante gli spostamenti, quindi per quelli più vicini o più lontani.
- Movimento vestibolo-oculare: ha la caratteristica di correggere i movimenti del capo, permette quindi di mantenere l'immagine fissata sulla fovea attraverso dei movimenti oculari opposti a quelli del capo.
- Nistagmo optocinetico: utile per tenere la fissazione durante i movimenti lunghi del capo, quindi per oggetti in movimento continuo.
- Movimento di fissazione: inibisce i movimenti oculari nel momento in cui si osserva un oggetto fermo, per evitare che i due occhi cambino direzione di sguardo, mantenendo così l'immagine fissa in fovea.

I movimenti appena descritti sono governati da alcune leggi fondamentali tra cui:

1. La legge di Hering, anche detta legge della corrispondenza motoria, la quale afferma che all'invio di un impulso necessario alla contrazione o rilassamento di un muscolo in un occhio, corrisponde una stessa innervazione del muscolo sinergista nel controlaterale.
2. La legge di Sherrington, anche detta legge dell'innervazione reciproca, secondo la quale alla contrazione di un muscolo corrisponde il rilassamento del muscolo antagonista dello stesso occhio.
3. Legge di Donders, la quale stabilisce che per ogni posizione dell'occhio è possibile un unico orientamento dei meridiani della retina, in modo da evitare movimenti casuali dell'occhio intorno agli assi di sguardo.
4. Legge di Listing, per cui ogni movimento necessario a spostare l'occhio dalla sua posizione iniziale deve avvenire secondo i meridiani retinici, quindi senza torsione.

## 2.2 SQUILIBRI DEL SISTEMA MOTORIO: DEVIAZIONI

Come accennato in precedenza, per qualche motivo, può accadere che il sistema visivo presenti uno squilibrio motorio e si verifichi un mancato allineamento degli assi visivi che porta alla formazione delle cosiddette **deviazioni oculari**. In questo caso il sistema visivo cerca di compensare il deficit attraverso una serie di movimenti di vergenza atti a riallineare gli assi visivi e l'insieme di questi movimenti prende il nome di fusione motoria.

Proprio in base a questa capacità compensativa è possibile dividere le deviazioni in due grandi categorie:

- deviazioni latenti o eteroforie: squilibri del sistema motorio facilmente compensabili dalla fusione motoria. Si definiscono latenti proprio perché il soggetto in condizioni normali non si accorge di averle fino a quando non si induce diplopia attraverso i metodi di dissociazione soggettivi e/o oggettivi.

- deviazioni manifeste o eterotropie: questi squilibri motori prendono anche il nome di strabismo; non possono essere compensati dalla fusione motoria e per tale motivo che sono immediatamente visibili all'osservatore. Gli assi visivi non si incontrano nel punto di fissazione e il soggetto non presenta mai fissazione bifoveale. Nella maggior parte dei casi è necessaria una correzione prismatica affinché non si manifestino disturbi e difficoltà durante la visione.

Eventuali conseguenze delle eterotropie dipendono dall'età in cui si manifesta, in quanto in età plastica molto probabilmente il soggetto tenderà a compensare questa difficoltà attraverso una soppressione o corrispondenza retinica anomala, evitando nella maggior parte dei casi la diplopia. Se compare in età adulta, invece, è più difficile eliminare la condizione di visione doppia e quindi la persona in esame sarà costretta a convivere con tale disturbo, alternando alla diplopia anche un'eventuale astenopia dovuta a uno sforzo eccessivo nel tentativo di correggere la problematica. In casi come questi, quando il sistema visivo non riesce a compensare tali squilibri, è necessaria una correzione prismatica.

## 2.3 CLASSIFICAZIONE DELLE FORIE E DELLE TROPIE

Le eteroforie si differenziano principalmente in base alla direzione della deviazione:

Le eteroforie orizzontali:

- esoforia: si ha la convergenza degli occhi verso l'interno, quindi gli assi visivi si incontreranno prima del punto di fissazione
- exoforia: gli occhi deviano verso l'esterno e gli assi visivi si incontrano dopo il punto di fissazione.

Le eteroforie verticali:

- iperforia destra: l'occhio destro è posizionato più in alto rispetto al sinistro
- iperforia sinistra: l'occhio sinistro si posiziona più in alto rispetto al destro. Equivale a una ipoforia destra.

Le eteroforie torsionali:

- incicloforia: rotazione dell'occhio verso l'interno rispetto all'asse visuale.
- excicloforia: rotazione dell'occhio verso l'esterno intorno all'asse visuale.

Le forie sono a carico di entrambi gli occhi anche se spesso nella pratica clinica si tende ad attribuire la problematica a un singolo occhio, soprattutto per le forie verticali. Proprio per questo nella terminologia comune si parla esclusivamente di iperforie destra e sinistra, pur essendo equivalenti alle ipoforie dell'occhio controlaterale.

Anche per le deviazioni manifeste è possibile effettuare una classificazione simile, ma in questo caso si differenziano in base ad alcune caratteristiche precise:

1. Classificazione in base alla direzione della deviazione:

Deviazioni orizzontali:

- esotropia: è il caso di uno strabismo convergente, quindi gli occhi si posizionano verso la porzione nasale.
- exotropia: gli occhi deviano verso l'esterno.

Deviazioni verticali:

- ipertropia destra: occhio destro deviato verso l'alto
- ipertropia sinistra: occhio sinistro deviato verso l'alto
- ipotropia destra: occhio destro verso il basso
- ipotropia sinistra: occhio sinistro localizzato più in basso

Deviazioni torsionali:

- inciclotropia: rotazione verso l'interno dell'occhio
- exciclotropia: rotazione dell'occhio verso l'esterno

## 2. Classificazione in base alla variazione dell'angolo di deviazione:

In questo caso ci si riferisce alla variazione dell'angolo di deviazione nelle varie posizioni di sguardo da distinguere come:

- Strabismi paretici: dovuto alla paresi di uno o più muscoli, per cui l'angolo di deviazione cambia nelle varie posizioni di sguardo ed è maggiore nella direzione d'azione del muscolo coinvolto dalla paresi.
- Strabismi comitanti o concomitanti: l'angolo di deviazione in questo caso è sempre lo stesso in ogni posizione di sguardo.
- Strabismi incomitanti: è una situazione intermedia tra le due precedenti, in quanto l'angolo di deviazione cambia in ogni posizione di sguardo ma questo effetto non è dovuto alla paresi di uno o più muscoli.

## 3. Classificazione in base all'occhio fissante:

- Strabismi monolaterali: la fissazione è sempre a carico di un solo occhio, mentre l'altro rimane sempre deviato.
- Strabismi alternanti: la fissazione si alterna nei due occhi. Si divide ulteriormente in essenziale, quando i due occhi fissano allo stesso modo e preferenziale se c'è un occhio che fissa per un tempo maggiore rispetto all'altro.

## 4. Classificazione in base alla costanza nel tempo della deviazione:

- Tropie costanti: la deviazione risulta essere fissa, ossia presente in ogni momento della giornata.
- Tropie intermittenti: presenti solo in alcuni momenti della giornata, in situazioni di forte stress, stanchezza, astenopia. Questa situazione è anche detta foria-tropia in quanto ci sono momenti in cui il soggetto riesce ancora a compensare tale deviazione, mentre in altri casi lo strabismo diventa manifesto.

Le cause alla base delle tropie possono essere diverse, si può trattare di problemi di natura refrattiva oppure riguardanti l'accomodazione, per cui è preferibile fare molta attenzione durante l'esame refrattivo a non apportare variazioni allo stato eteroforico, per esempio con un'ipercorrezione, a volte anche a discapito del visus stesso.[5]

Lo strabismo può trovare origine in fattori anatomici, neurologici o addirittura patologici.

In questo studio, sono state prese in esame solo le forie, in quanto si parla di squilibri che il sistema visivo riesce a compensare attraverso la fusione motoria; se non in casi di mancata compensazione da parte del sistema fusionale, non sempre è necessario correggere queste deviazioni con lenti prismatiche. In taluni casi, ad esempio, basta anche un piccolo decentramento delle lenti correttive a compensare tale problema. [4]

In particolare, sono state analizzate le forie sul piano orizzontale escludendo quelle verticali in quanto le riserve fusionali in orizzontale sono più ampie di quelle verticali e quindi di più facile compensazione. Al contrario la capacità di fusione in verticale è estremamente ridotta, di conseguenza anche un minimo squilibrio può generare grossi fastidi e fenomeni quali astenopia, diplopia, visione confusa e soppressione.

## CAPITOLO 3 – VALUTAZIONE DELLO STATO ETEROFORICO

### 3.1 TECNICHE DI VALUTAZIONE DELLE FORIE

L'esame dello stato eteroforico si effettua inibendo la fusione sensoriale. Questo avviene mediante tecniche specifiche di dissociazione il cui scopo è quello di bloccare il meccanismo correttivo della fusione motoria, portando gli occhi nella cosiddetta "posizione di foria", ossia nella posizione fisiologica di riposo. Tale dissociazione può avvenire :

1. Fornendo immagini diverse ai due occhi, mediante l'utilizzo di filtri polarizzatori, filtri rosso-verde o un setto separatore.
2. Utilizzando dei prismi dissocianti, capaci di dislocare le immagini retiniche generando diplopia.
3. Utilizzando un occlusore, in modo tale da eliminare un occhio nella visione .

Lo scopo finale della dissociazione è quello di generare diplopia, e a tal fine si adottano tecniche oggettive e soggettive distinguibili in:

#### Tecniche oggettive

- **Cover/uncover test** : Si invita il soggetto a osservare una mira posta all'infinito o a distanza prossimale ( circa 35/40 cm) e si copre un occhio mediante l'utilizzo di un occlusore, preferibilmente traslucido (figura 8). Il meccanismo alla base del test è quello di coprire e scoprire l'occhio del soggetto esaminato in modo tale da evidenziare durante il movimento un cambiamento di posizione dell'occhio occluso. Nello specifico, si copre un occhio e nel momento in cui si scopre avviene l'osservazione del movimento di recupero, opposto a quello di un'eventuale foria, che l'occhio stesso attua a causa del meccanismo di fusione motoria tipica del sistema visivo.
- **Cover test alternato**: Si sposta l'occlusore da un occhio all'altro e si osserva il movimento di recupero. Anche in questo caso il soggetto è invitato ad osservare una mira. Si occlude prima un occhio , il quale assumerà una posizione di foria, e velocemente si copre l'occhio controlaterale, osservando il movimento di recupero (figura 9) .

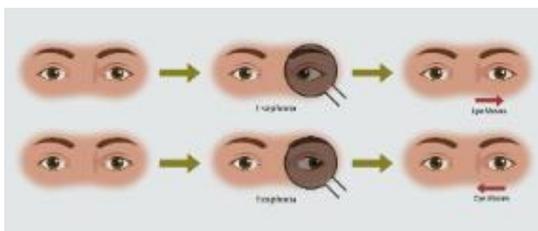


Figura 8: Rappresentazione del cover/uncover test

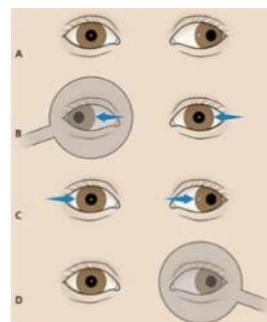


Figura 9: Rappresentazione del cover test alternato

## Tecniche soggettive

Per queste tecniche è necessaria la risposta del soggetto, dunque la sua collaborazione . Tali metodi sono da dividere anche in funzione del tipo di dissociazione utilizzata .Si ha:

- **Test di Schober:** Viene utilizzata una mira costituita da una croce rossa al centro di un cerchio verde e filtri rosso-verde da anteporre agli occhi del soggetto. In questo modo sarà possibile l'osservazione della croce con l'occhio a cui è stato anteposto il filtro rosso e il cerchio con il controlaterale a cui è stato anteposto il filtro verde. Durante l'esame si chiede al soggetto in che posizione si trova la croce rossa rispetto al cerchio verde e si annota la risposta . In condizioni di ortoforia la croce sarà posizionata perfettamente al centro del cerchio, in caso contrario, evidenzierà una foria. In particolare se la croce appare alla destra del cerchio si parla di esoforia, alla sinistra exoforia, in alto iperforia sinistra e in basso iperforia destra (Figura 10).

Visione del soggetto	Tipo di foria
	Ortoforia
	Esoforia
	Exoforia
	Iperforia sinistra
	Iperforia destra

Figura 10: Test di Schober

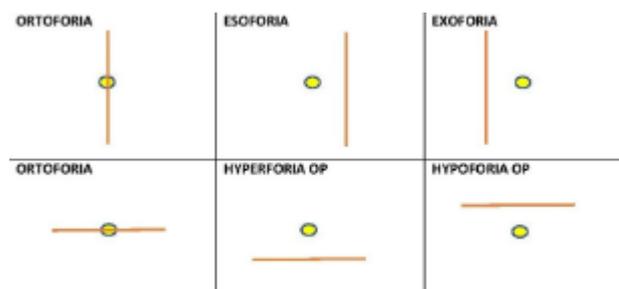
- **Test di Hering:** Si basa sull'osservazione di una mira a bracci polarizzati perpendicolarmente tra essi. Il soggetto è invitato a guardare la mira attraverso dei filtri polarizzatori, il cui scopo è quello di far percepire con un occhio il braccio verticale e con l'altro quello orizzontale. Il test consiste nel capire come viene percepito il braccio verticale rispetto a quello orizzontale. Nel caso in cui sono perfettamente allineati si tratta di ortoforia, se quello verticale è spostato a destra allora è certamente un'esoforia, oppure a sinistra exoforia. Se invece è posizionato più in basso è un'iperforia sinistra, più in alto iperforia destra (Figura 11) .

Visione del soggetto	Tipo di foria
	Ortoforia
	Esoforia
	Exoforia
	Iperforia sinistra
	Iperforia destra

Figura 11: Test di Hering

- **Test del cilindro di Maddox:** Questo cilindro in origine era costituito da una lente cilindrica avente un diametro di 3 mm e formato da una sezione neutra e una ad elevata potenza. Se si osserva una mira puntiforme attraverso questa lente, essa apparirà come una linea ortogonale al suo asse. L'occhio a cui non è stato anteposto il cilindro invece continuerà a percepire una mira puntiforme. Lo scopo dell'esame è quello di capire come il soggetto vede la linea rispetto al pallino. Per le forie sul piano orizzontale si posiziona il cilindro con asse orizzontale, in modo tale che si possa formare una linea verticale. Al contrario per quelle sul piano verticale, si posiziona l'asse in verticale formando una linea orizzontale (Figura12).

Essendo il cilindro in questione di ridotte dimensioni, aveva come unico svantaggio quello di dover essere posizionato perfettamente sulla pupilla e proprio per questo motivo è stato sostituito dalla cosiddetta "grata di Maddox" costituita da una serie di lenti cilindriche, che producono lo stesso effetto e non richiedono un posizionamento così sofisticato.



**Figura 12:** Test del cilindro di Maddox

- **Prismi dissocianti di Von Graefe :** Hanno la funzione di dislocare l'immagine retinica producendo uno spostamento verso la base del prisma di una quantità superiore a quella compensabile dal sistema visivo. In questo caso si utilizza una carta di Sheard verticale per la valutazione delle forie sul piano orizzontale. Si antepone un prisma di 4/6 diottrie, sufficiente a interrompere la fusione, in modo tale che il soggetto possa vedere due mire, e capire se queste ultime appaiono allineate o meno. Per le forie in verticale si utilizza invece una carta di Sheard orizzontale, un prisma di circa 10 diottrie e si procede alla stessa maniera del caso precedente.

### 3.2 PRISMI DI RISLEY

Sono dei prismi rotanti, presenti all'interno dei comuni forotteri e sono particolarmente utili, per la loro capacità di ruotare e spaziare tra le varie diottrie, spesso da 0 a 20 diottrie prismatiche, nella valutazione delle forie (Figura 13).



**Figura 13:** Prismi di Risley al forottero

L'esame dello stato eteroforico mediante l'utilizzo di tali prismi avviene mostrando al soggetto una mira puntiforme all'ottotipo o comunque una mira che consenta la migliore acuità visiva. Successivamente si antepone all'occhio destro un prisma di Risley di 6 dtp base alta come dissociatore, in quanto nella maggior parte dei casi tale quantità è sufficiente ad interrompere la fusione sensoriale e generare visione doppia. Per effetto del prisma, l'occhio destro vedrà la mira posta in basso, mentre il sinistro quella posta in alto. In base alla posizione delle mire apparirà evidente che:

- Se le mire sono allineate si parla di ortoforia.
- Se la mira in basso è spostata a destra rispetto a quella in alto allora il soggetto è esoforico.
- Se la mira in basso tende a spostarsi verso sinistra, il soggetto è exoforico.

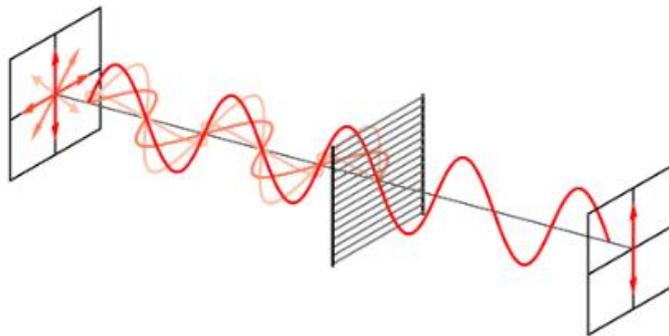
Per quantificare un'eventuale deviazione presente si antepone, invece, all'occhio sinistro un altro prisma di Risley di 12 dtp base nasale o tempiale a seconda della foria riscontrata. Più precisamente un prisma base nasale in caso di exoforia e base tempiale in caso di esoforia. Quindi si ruoterà il prisma "misuratore" all'occhio sinistro fino al perfetto riallineamento delle due mire, ottenendo così una misura quantitativa della deviazione.

Risulta evidente che tale metodo di valutazione sfrutta il concetto di base del prisma come metodo di dissociazione, in quanto provoca una dislocazione dell'immagine retinica, ossia uno spostamento della stessa, dovuto al fatto che il prisma devia il raggio luminoso verso la sua base e di conseguenza l'immagine sarà deviata verso l'apice. In questo modo si induce diplopia, portando gli occhi nella condizione di riposo, o anche detta di foria. Il test con i prismi di Risley è utile, quindi, nella valutazione del lavoro effettuato dalla muscolatura in visione distale. È necessario, però, fare molta attenzione alle risposte del soggetto, in quanto potrebbero verificarsi anche situazioni anomale, come mancata dissociazione, oppure un disallineamento subito dopo l'allineamento, o visione non perfettamente nitida delle mire, peggio se diversa tra i due occhi, magari dovuta a un errato bilanciamento binoculare. Si consiglia infatti di controllare la correzione abituale al fine di evitare tali disturbi.

### 3.3 LUCE POLARIZZATA

La luce emessa dalle comuni sorgenti quali lampadine, il sole, si propaga sotto forma di onde elettromagnetiche, costituite da un campo elettrico  $\vec{E}$  e un campo magnetico  $\vec{B}$ , rigorosamente perpendicolari tra loro. Queste hanno la caratteristica di oscillare in ogni direzione dello spazio

tridimensionale, pur mantenendo la condizione di trasversalità dei campi e proprio per questo motivo la luce naturale si dice non polarizzata. La si definisce in questo modo perché la luce naturale è possibile immaginarla come la sovrapposizione di onde elettromagnetiche orientate casualmente, quindi un treno d'onde ognuno con una certa direzione. L'occhio umano, come molti rivelatori, non è sensibile alla polarizzazione della luce, però la retina è costituita da coni e bastoncelli che si comportano come mezzi anisotropi.[6] Gli oggetti otticamente anisotropi sono sensibili ai fenomeni di polarizzazione, questo vuol dire che l'occhio non riesce a riconoscerla ma i sistemi che fanno parte della struttura stessa dell'occhio influenzano in qualche modo la polarizzazione. A causa di questa condizione la radiazione viene definita "non polarizzata". Al contrario si parla di "luce polarizzata" quando si predilige una direzione tra tutte quelle possibili, spesso si aggiunge anche il termine lineare che sta ad indicare che si propaga lungo una direzione costante nel tempo (Figura 14).



**Figura 14:** Fenomeno di polarizzazione della luce

Per polarizzazione, più in generale, si definisce la direzione di oscillazione del campo elettrico  $\vec{E}$ , ben diversa da quella di propagazione ed è possibile dividere gli stati di polarizzazione in :

- Lineare: La radiazione si propaga lungo una direzione precisa, ed è costante nel tempo.
- Circolare : La luce percorre una traiettoria circolare, quindi varia nel tempo. Lo si può rappresentare come un vettore il cui estremo libero percorre questa ipotetica circonferenza, assumendo così particolari valori.
- Ellittica: La radiazione percorre una traiettoria ellittica, anche qui varia nel tempo.

Nel caso più generale possibile, lo stato di polarizzazione della luce è ellittico, mentre nei casi più particolari si può definire lineare, quando si riduce a una retta e circolare, quando si riduce a una circonferenza.

Esistono degli oggetti in natura capaci di trasformare l'ordinaria luce non polarizzata, in luce polarizzata. Questi dispositivi prendono il nome di filtri polarizzatori. Tali filtri permettono di bloccare le onde elettromagnetiche in base allo stato di polarizzazione. Tipicamente sono costituiti da una serie di fibre allineate e disposte in una certa direzione, in modo tale che quando la luce incide sul filtro riesce a passare solo la componente della radiazione perpendicolare al piano contenente le fibre, mentre la componente parallela viene assorbita. La luce così risulta polarizzata. Filtri di questo tipo vengono utilizzati molto spesso negli occhiali da sole per eliminare il fastidioso riverbero e le comuni riflessioni che la luce genera nel momento in cui va ad urtare superfici piane e lisce, come per esempio un vetro, uno specchio d'acqua o la neve. Riducendo la componente di luce

che genera abbagliamento e fastidi, la sensazione sarà quella di una visione più chiara, nitida, in cui i colori risultano più netti e definiti.

Una delle tecniche utilizzate per l'esame dello stato eteroforico che sfrutta proprio il principio della luce polarizzata è quella di Hering.

Il test di Hering (figura 11) si effettua facendo indossare al soggetto occhiali polarizzati, o anche i filtri polarizzatori presenti all'interno di qualunque forottero e utilizzando un ottotipo rigorosamente polarizzato. È necessario che ottotipo e filtri polarizzatori siano in perfetto sincronismo, in modo tale che si possa verificare il fenomeno alla base della misurazione. È quindi importante che i filtri siano ruotati correttamente affinché passi solo la radiazione avente direzione perpendicolare alle fibre del filtro e, di conseguenza, permettere al soggetto di percepire con l'occhio destro il braccio verticale della mira proposta all'ottotipo e con l'occhio sinistro il braccio orizzontale.

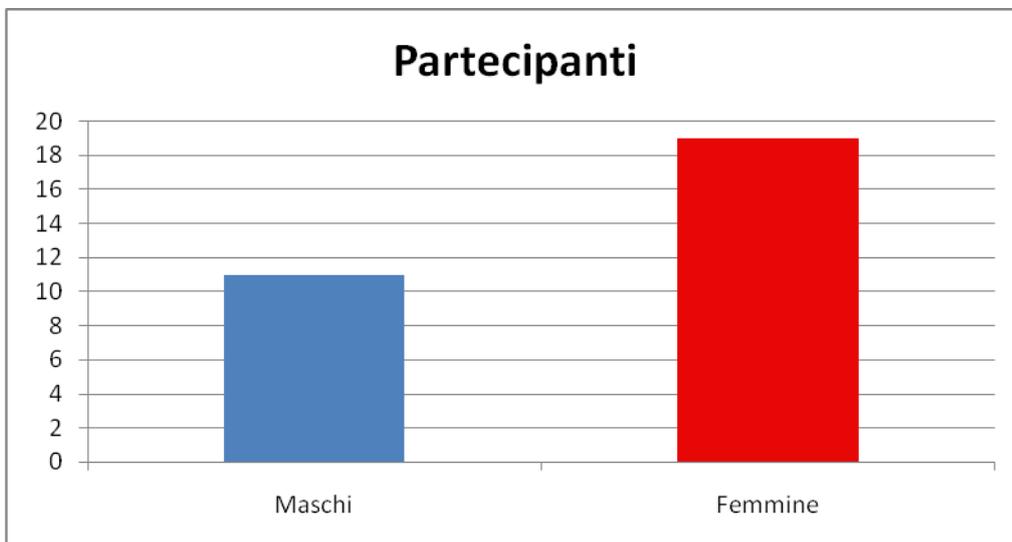
La scelta di utilizzare tale tecnica, e non altre, e soprattutto la scelta di paragonarla a quella dei primi di Risley è stata dettata dalla volontà di capire se due metodi diversi riuscissero a dare lo stesso risultato. Pertanto era necessario comparare due metodi che si basassero su principi diversi. Più precisamente la luce polarizzata viene utilizzata per fornire immagini diverse ai due occhi, grazie all'utilizzo di filtri polarizzatori posizionati in un certo modo e associati a un ottotipo anch'esso polarizzato.

I primi di Risley sono, invece, utili a dislocare l'immagine retinica e permettere al soggetto di vedere una stessa mira sdoppiata, quindi sempre immagini diverse per i due occhi ma applicando un meccanismo diverso, ossia quello tipico del prisma.

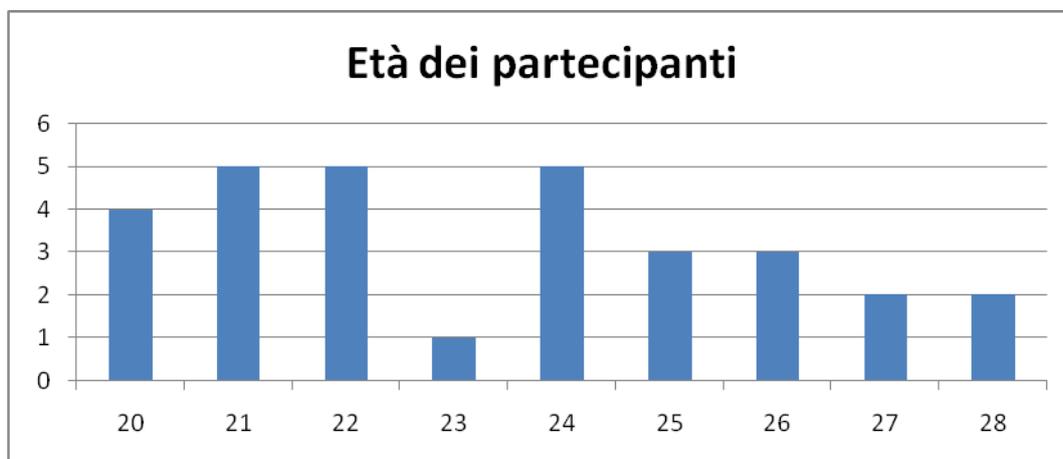
## CAPITOLO 4 - STUDIO

### 4.1 SCOPO E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'obiettivo dello studio effettuato è quello di evidenziare ,qualora presenti, le differenze nella valutazione delle forie mediante l'utilizzo dei prismi di Risley e della luce polarizzata. A tal proposito sono stati sottoposti ad un'attenta valutazione e analisi, presso i laboratori di optometria dell'Università degli studi di Napoli Federico II, 30 soggetti volontari, di cui 19 femmine e 11 maschi (grafico 1) di età compresa tra i 20 e i 28 anni (grafico 2).



**Grafico 1:** Numero dei partecipanti



**Grafico 2:** Età dei partecipanti

Per l'esecuzione pratica sono stati utilizzati :

- Autorefrattometro: per la valutazione oggettiva dello stato refrattivo, utile soprattutto per chi non utilizzava alcun tipo di correzione ma avvertiva comunque delle difficoltà nella visione, e per la misura della distanza interpupillare da inserire al forottero.
- Frontofocometro automatico: per quantificare e annotare la correzione abituale dei soggetti esaminati.
- Ottotipo
- Forottero con i vari accessori: Per la valutazione soggettiva

#### 4.1.1 FOROTTERO

Il forottero (figura 15) è uno strumento oftalmico che permette di effettuare tutte le procedure di controllo della pratica refrattiva come l'analisi dei difetti visivi e delle funzioni binoculari.[9] La scelta di utilizzare quest'ultimo e non l'occhiale di prova è dovuta a una questione di semplicità nelle misurazioni, dovute soprattutto alla velocità con la quale si riescono ad utilizzare tutti gli accessori ad esso annessi e rendere così l'esame più confortevole. Esso è costituito da:

- Lenti sferiche (positive e negative) da + 16,75 a -19 diottrie
- Lenti cilindriche fino a -6 diottrie con scatti da 0,25
- Asse del cilindro ruotabile da 0 a 180°
- Prismi rotanti di Risley da 0 a 20 dtp
- Lenti accessorie, quali occlusore, filtri polarizzatori, filtri rosso-verde, prisma 6 dtp base alta ed altri
- Cilindro crociato di +/- 0,25



Figura 15: Forottero

## 4.2 ESECUZIONE PRATICA

La procedura effettuata consta di diverse fasi. In primo luogo i soggetti sono stati sottoposti a un'attenta anamnesi, al fine di rendere la misurazione quanto più precisa e attendibile possibile, quindi sono state valutate le condizioni oculari generali e lo stato refrattivo in essere, annotando anche quello pregresso qualora fosse presente. A tal proposito è stata praticata un'autorefrattometria, seguita poi dal controllo di un'eventuale correzione a tempiale al frontofocometro automatico. Successivamente è stato effettuato un esame soggettivo facendo accomodare il soggetto al forottero e, dopo aver inserito distanza interpupillare e messo in bolla lo strumento, l'esame è iniziato valutando l'acuità visiva monocolarmente per entrambi gli occhi. In particolare partendo dall'occhio destro con l'occlusione del sinistro per poi procedere con il controlaterale. In alcuni casi è stata modificata la correzione, in quanto quella in essere non comportava un'acutezza visiva effettiva della persona, dovuta per la maggior parte delle volte a un mancato controllo negli anni precedenti. Una volta inserita la correzione ritenuta più opportuna, è stata verificata anche l'acuità visiva in visione binoculare e la facilità nella visione distale.

### 4.2.1 VALUTAZIONE DELLE FORIE

La parte centrale dello studio, ossia quella necessaria per la raccolta dati, è stata la valutazione dello stato eteroforico. Come accennato nei capitoli precedenti il primo test effettuato è quello dei Prismi di Risley, quindi utilizzando all'occhio destro il prisma presente al forottero di 6 dtp base alta e mostrando una mira puntiforme all'ottotipo. Nei casi in cui il soggetto riferiva un mancato allineamento delle mire è stato poi aggiunto all'occhio sinistro il prisma "misuratore" di 12 dtp, per la valutazione quantitativa della deviazione.

Successivamente è avvenuta l'esecuzione del test di Hering, inserendo al forottero le lenti accessorie polarizzate a entrambi gli occhi e mostrando la mira a bracci verticali all'ottotipo. Anche qui in base alle risposte del soggetto si è ritenuto opportuno procedere, in caso di deviazioni, con la misura quantitativa della stessa, utilizzando sempre il prisma "misuratore" di 12 dtp all'occhio sinistro.

Sono state realizzate queste misure con e senza un'eventuale correzione.

### 4.3 ANALISI STATISTICA

I risultati ottenuti dai due test effettuati sono riportati nella seguente tabella:

N°	Soggetto	Età	Sesso	Correzione	Visus binoculare	Foria P.R. (*)	Foria L.P. (*)	Foria P.R. (**)	Foria L.P. (**)
1	F.C.	24	F	OD: sf-1,50 OS: sf-1,25cyl-0,25Ax 10°	12/10	5 S	8 S	5 S	8 S
2	M.R.	24	F	OD: sf 0 cyl-0,75 Ax110° OS: sf 0 cyl-0,75 Ax65°	12/10	3 X	4 X	3X	3 X
3	L.U.	24	M	OD: sf +0,75 cyl-0,75 Ax 180° OS:sf +0,75 cyl-0,75 Ax 180°	12/10	6 X	4 X	6 X	4 X
4	A.T.	22	F	OD:+0,50 cyl-0,25 Ax 30° OS:+2,25	12/10	10X	10X	9X	9X
5	S.R.	22	F	OD: sf+1,75 cyl-1,50 Ax 70° OS: sf+0,50 cyl -1,25 Ax 10°	12/10	orto	orto	orto	orto
6	M.D.	25	F	OD:sf-0,50	12/10	1 X	1X	1 X	Orto
7	M.L.	22	M	nessuna	12/10	1 X	1 X	/	/
8	A.A.	28	F	OD: sf -1,00 cyl -0,75Ax180° OS: sf-0,75 cyl-0,75 Ax175°	10/10	orto	orto	orto	orto

9	F.D.	28	F	OD: sf-0,75 cyl -0,50Ax 6°  OS:sf-1,00cyl - 0,75 Ax180°	11/10	orto	orto	orto	Orto
10	M.F.	21	F	OD:sf+0,75cyl- 0,50 Ax 180°  OS: sf+3,25	11/10	4 S	orto	3 S	orto
11	L.F.	22	F	OD:sf-1,00cyl- 0,75Ax170°  OS:sf-1,00cyl- 0,50Ax170°	12/10	2 X	orto	2X	orto
12	A.R.	21	F	nessuna	11/10	4 S	3 S	/	/
13	S.C.	20	F	OD:sf-4,00cyl- 0,50Ax 120°  OS:-2,50cyl- 1,75Ax75°	11/10	2X	orto	orto	orto
14	A.B.	23	F	OD:sf-0,25	12/10	orto	orto	orto	orto
15	M.M.	24	F	OD:sf-7,00cyl- 1,00Ax170°  OS:sf-7,50cyl- 0,75Ax180°	11/10	2 X	orto	1 X	orto
16	S.C.	26	F	OD:sf-0,25cyl- 0,25Ax 180°	11/10	2 S	orto	1S	orto
17	C.C.	21	M	OD:sf-1,50cyl- 0,50Ax175°  OS:sf-3,00cyl- 0,50Ax170°	11/10	1X	orto	1 X	orto
18	S.L.	20	F	OD:sf -0,25cyl- 0,25Ax5°  OS:sf 0 cyl-0,25 Ax175°	12/10	orto	orto	orto	orto

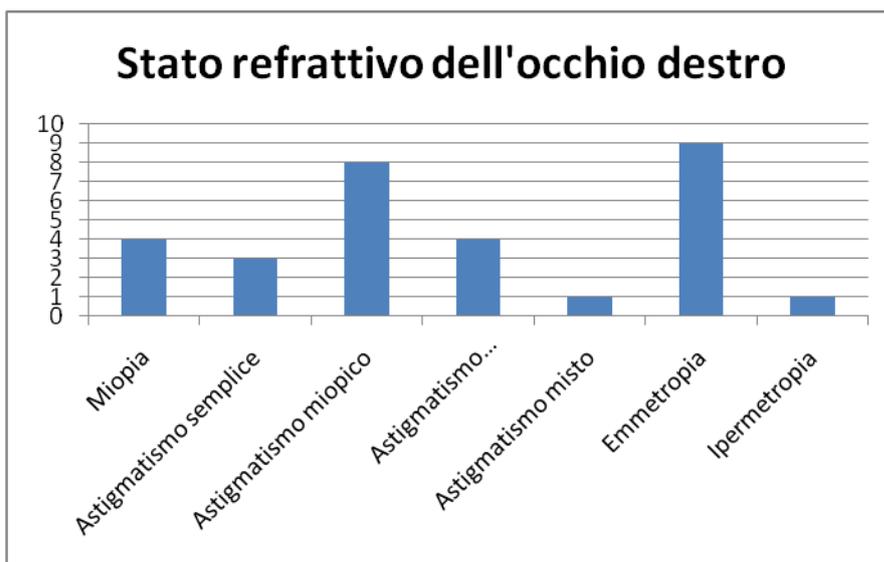
19	C.P.	20	F	OD:sf-2,50 OS: sf-2,25	12/10	orto	orto	orto	orto
20	R.M.	21	F	nessuna	12/10	orto	orto	/	/
21	G.S.	21	F	OS:sf 0cyl- 0,25Ax15°	12/10	3 X	3 X	3X	orto
22	D.V.	25	M	OD:sf 0 cyl- 0,25Ax180°  OS:sf 0 cyl-0,50 Ax15°	12/10	1 X	1 X	1 X	orto
23	P.D.	20	M	OD:sf+0,25cyl- 0,50Ax120°  OS:sf0cyl- 0,25Ax70°	12/10	1 X	orto	1X	orto
24	L.V.	26	M	nessuna	12/10	1S	orto	/	/
25	M.S.	26	M	nessuna	12/10	2 X	orto	/	/
26	L.D.	25	M	nessuna	11/10	1 S	orto	/	/
27	C.D.	22	F	OD:sf 0 cyl- 0,50Ax90°  OS:sf 0 cyl- 0,50Ax90°	11/10	2 X	1X	1 X	1 X
28	M.D.	24	M	nessuna	12/10	orto	orto	/	/
29	G.M.	27	M	OD:sf+0,75	11/10	1 S	orto	orto	orto
30	R.C.	27	M	nessuna	12/10	2 X	1X	orto	orto

Da notare che con la seguente terminologia si vuole indicare:

- Foria P.R. (\*) : La foria misurata attraverso i prismi di Risley senza correzione
- Foria L.P. (\*) : La foria misurata con la luce polarizzata senza correzione
- Foria P.R. (\*\*) : La foria riscontrata con l'utilizzo dei prismi di Risley con la correzione
- Foria L.P. (\*\*) : La foria trovata con la luce polarizzata con la correzione .

Inoltre vengono indicate con la X le exoforie e con la S le esoforie, mentre con il termine orto si fa riferimento alla condizione di ortoforia.

Come si può evincere dalla tabella in alto, per questo tipo di studio sono stati esaminati soggetti con ametropie diverse, tali da poter essere divisi in base allo stato refrattivo dell'occhio destro (grafico 3) e quello dell'occhio sinistro (figura 4) :



**Grafico 3:** Rappresentazione dello stato refrattivo relativo all'occhio destro



**Grafico 4:** Rappresentazione dello stato refrattivo dell'occhio sinistro.

Per quanto riguarda le forie in assenza di correzione, i dati evidenziano una distribuzione particolare (grafico 5), che possiamo riassumere nel seguente modo:

- 15 soggetti su 30 presentano un'exoforia
- 7 soggetti su 30 presentano un'esoforia .
- 8 soggetti su 30 sono ortoforici e con un visus naturale che varia dai 10 ai 12/10.

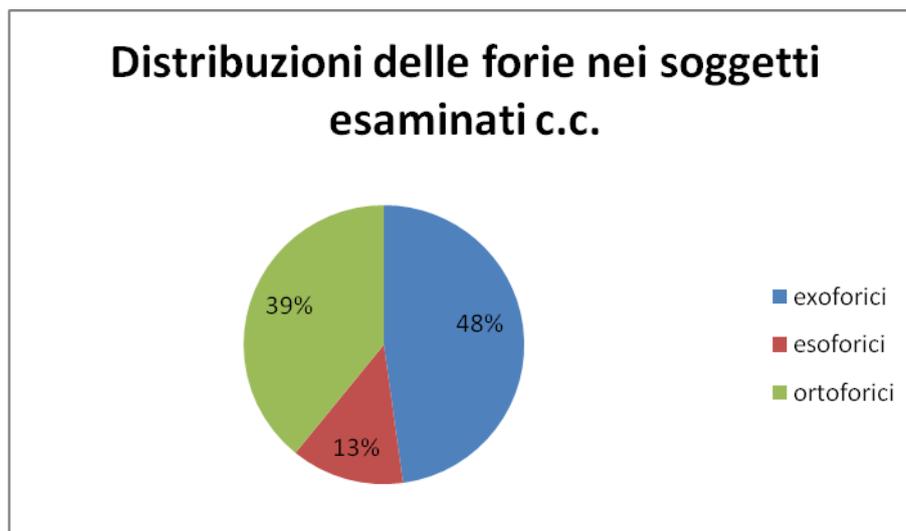


**Grafico 5:** distribuzione delle forie nei soggetti esaminati senza correzione

Lo stesso ragionamento è possibile effettuarlo tenendo in considerazione la correzione inserita al forottero ( grafico 6). In questo caso solo 23 soggetti su 30 presentano una correzione, per cui la distribuzione diventa :

- 11 soggetti su 23 sono exoforici .
- 3 soggetti su 23 sono esoforici.
- 9 soggetti su 23 sono ortoforici.

Gli altri 7 non presentavano correzione, dunque non sono stati considerati e inseriti nel grafico che segue.



**Grafico 6:** Distribuzione delle forie nei soggetti con correzione

In tutti i campioni presi in esame è stato di fondamentale attenzione la scelta di apportare una correzione tale da avere un buon visus, senza però alterare lo stato eteroforico, se non per ridurre l'entità della deviazione stessa. Risulta infatti evidente che nella maggior parte dei casi, la foria diminuisce con la correzione a tempiale, o nei casi estremi rimane invariata. Questo è infatti possibile vederlo anche dai grafici presentati.

Tale meccanismo, come già accennato, è fondamentale affinché non si verifichi un eccessivo lavoro da parte della muscolatura estrinseca dell'occhio che potrebbe portare a disturbi astenopici e fastidi nella visione, rompendo così l'equilibrio messo in atto dal sistema visivo per compensare anche una piccola deviazione latente.

Inoltre se si focalizza l'attenzione sui metodi di valutazione delle deviazioni appena descritte, appare evidente che tra la valutazione attraverso i prismi di Risley e quella con il metodo di Hering della luce polarizzata sono presenti, nella maggior parte dei casi, delle differenze .

Anche in questo caso dobbiamo considerare due gruppi:

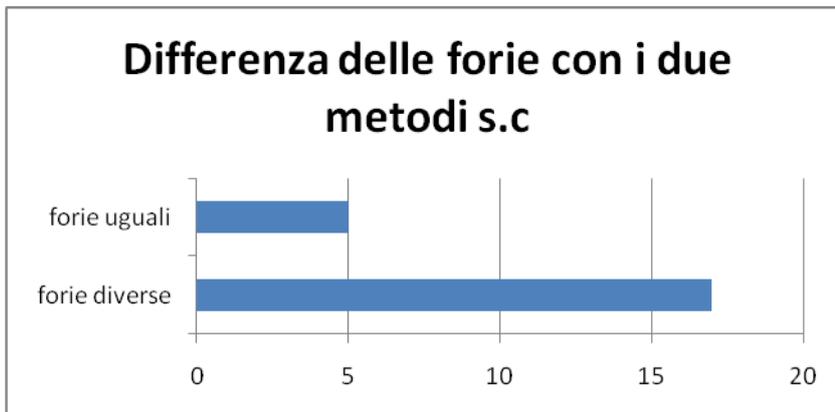
- Senza correzione

Su 30 soggetti, come già mostrato nel grafico 5, 22 presentano una foria e 8 sono ortoforici. L'aspetto interessante è che, di questi 22, in 17 soggetti è stata riscontrata una foria quantitativamente diversa tra i due metodi mentre in 5 soggetti compare della stessa quantità (grafico 7).

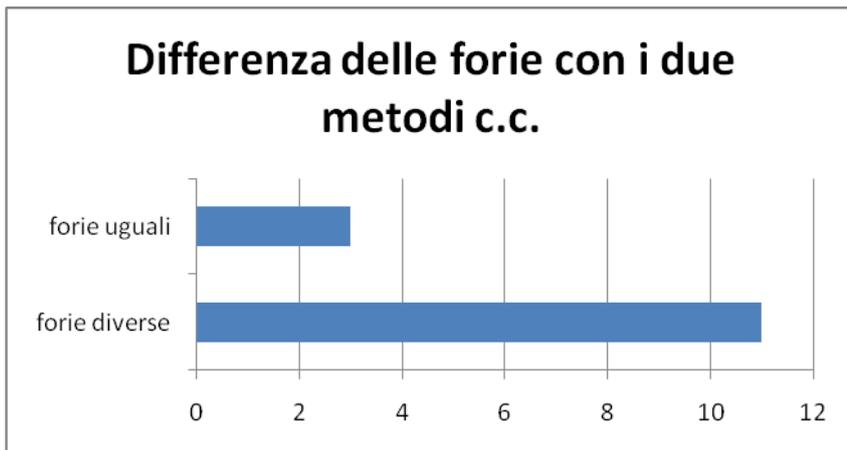
- Con correzione

Su 23 soggetti corretti, mostrato nel grafico 6, 14 presentano una foria e 9 sono ortoforici.

Di 14 , 11 presentano una foria quantitativamente diversa con i due metodi e solo 3 hanno una stessa deviazione (grafico 8).



**Grafico 7:** differenza delle forie con i due metodi senza correzione



**Grafico 8:** differenza delle forie con i due metodi con correzione

Tali grafici mostrano che, nella maggior parte dei casi, i due metodi danno valori diversi di forie, quindi bisogna fare attenzione al metodo da utilizzare.

Altro aspetto da tenere in considerazione è che oltre ad esserci delle discrepanze oggettive, in molti casi, con la luce polarizzata, si riscontrano ortoforie nonostante il metodo dei prismi di Risley, applicato precedentemente, abbia dato un certo valore diottrico diverso. Questa situazione si è presentata in 9 soggetti su 11, ossia quasi tutti.

## CONCLUSIONI

Il sistema visivo è molto complesso, in quanto caratterizzato da una serie di meccanismi atti a mantenere un corretto equilibrio, al fine di evitare che eventuali squilibri possano provocare fastidi rendendo la visione instabile e poco confortevole.

Uno di questi è proprio quello della fusione motoria che, come descritto nei capitoli precedenti, è fondamentale per ristabilire un corretto allineamento degli assi, evitando disturbi della visione binoculare. A tal fine si è ritenuto opportuno considerare le deviazioni oculari e capire se, in qualche modo, utilizzare dei metodi diversi può portare a un risultato diverso, ma soprattutto se uno di questi risulta essere più efficace.

Dai dati ottenuti in questo studio e riportati nelle tabelle precedenti è stato dimostrato che effettivamente esistono per la maggior parte dei casi delle differenze nella valutazione delle forie utilizzando i prismi di Risley e la luce polarizzata. Tra i valori è addirittura emerso che in molti casi la luce polarizzata non evidenzia forie, anche minime, mentre con i prismi di Risley sono evidenti e di più facile individuazione. A tutti i soggetti è stato inoltre chiesto se riuscissero a percepire meglio il disallineamento delle mire con uno un metodo piuttosto che con l'altro e in tutti i casi è apparsa più marcata la differenza con i prismi di Risley, e più difficile da capire con la luce polarizzata. Pertanto, questo studio vuole mettere in risalto le differenze riscontrate utilizzando i due test al fine di trovare il metodo che potrebbe essere più efficiente e dare risultati magari più attendibili. Dai dati ottenuti, seppur ridotti, si evince che in tutti i casi i prismi generano una dissociazione più marcata che permette di rilevare anche poche dtp, al contrario la luce polarizzata crea questa difficile percezione della dissociazione. Dunque, per quanto detto fino ad ora, i prismi di Risley sembrerebbero più utili per la valutazione dello stato eteroforico, non solo perché riescono a rilevare anche piccole deviazioni ma soprattutto per la maggiore sensibilità del soggetto, durante l'esame al forottero, nel riconoscere il disallineamento delle mire.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] “Ottica, refrazione e occhiali nell’adulto e nel bambino dalla teoria alla pratica” di Luigi Mele, Andrea Piantanida e Mario Bifani
- [2] Dispense del corso di ottica e optometria, prof, Paolo Carelli
- [3] Manuale di optometria e contattologia di Anto Rossetti e Pietro Gheller
- [4] Appunti laboratorio di optometria con il prof. Michele Gagliardi
- [5] Appunti corso di optometria avanzata a cura del prof. Salvatore Abys
- [6] Appunti del corso di proprietà ottiche dei materiali, Bruno Piccirillo
- [7] Ottica Visuale di Fabrizio Zeri, Anto Rossetti, Alessandro Fossetti, Antonio Calossi

## SITOGRAFIA

- [ 8 ] <https://www.otticaosiride.it/ortottica/come-guardano-i-nostri-occhi-la-visione-binoculare/#:~:text=Altri%20elementi%20che%20stanno%20alla%20base%20della%20visione,che%20intercetta%20tutti%20i%20punti%20oggetto%20visti%20singolarmente.>
- [9] <https://manualzilla.com/doc/6122522/manuale-di-istruzioni----forottero-i->
  - <https://entokey.com/wp-content/uploads/2016/06/C7-FF2-5.gif>
  - <https://www.medplus24.de/media/image/product/10095/lg/lang-stereotest-i-sehtest-fuer-raeumliches-sehen~2.jpg>
  - <https://i0.wp.com/www.scandurrasrl.com/wp-content/uploads/2020/04/STEREOTEST-II.jpg?fit=600%2C600&ssl=1>
  - [https://dcdn.de/www.doccheckshop.at/media/image/bc/7d/83/112326-trusetal-titmus-test-fliege-neu\\_430x430@2x.jpg](https://dcdn.de/www.doccheckshop.at/media/image/bc/7d/83/112326-trusetal-titmus-test-fliege-neu_430x430@2x.jpg)
  - <https://www.studiooculisticoemanuelli.com/wordpress/wp-content/uploads/2018/04/studio-oculistico-emanuelli-muscoli-occhio-300x250.png>
- [https://www.scienzefn.unisalento.it/c/document\\_library/get\\_file?folderId=2859636&name=DLFE-304164.pdf](https://www.scienzefn.unisalento.it/c/document_library/get_file?folderId=2859636&name=DLFE-304164.pdf)
- <http://img.tfd.com/ElMill/thumb/FOP-11-S2958.jpg>

- <https://digilander.libero.it/ortottica1969/images/Tabella.jpg>
  - <https://geekymedics.com/wp-content/uploads/2020/05/Cover-uncover-test.jpg>
  - [https://adst.mp.pl/img/articles/www/okulistyka/Przypadki/wzrok\\_47\\_ryc4.jpg](https://adst.mp.pl/img/articles/www/okulistyka/Przypadki/wzrok_47_ryc4.jpg)
  - <https://medicalequipment-msl.com/upload/img/20200201/202002011507082900.jpg>
  - <https://i0.wp.com/physicsopenlab.org/wp-content/uploads/2016/03/wavePolarization.png>
- [https://elearning.unimib.it/pluginfile.php/954636/mod\\_resource/content/1/15.Analisi%20al%20forottero.pdf](https://elearning.unimib.it/pluginfile.php/954636/mod_resource/content/1/15.Analisi%20al%20forottero.pdf)
- <https://manualzilla.com/doc/6122522/manuale-di-istruzioni----forottero-i->
  - [https://rom-nidek.com/wp-content/uploads/2014/12/Nidek\\_rt\\_600.jpg](https://rom-nidek.com/wp-content/uploads/2014/12/Nidek_rt_600.jpg)

## RINGRAZIAMENTI

Giunta alla fine di questo percorso bellissimo, a tratti un po' faticoso, sento di dover ringraziare tutte le persone che mi hanno aiutata e supportata.

Ringrazio in primo luogo il prof. Michele Gagliardi, mio relatore, per tutta la pazienza e l'amore che mette nel suo lavoro, per l'attenzione e il supporto riservatomi durante la stesura della tesi e per tutti i consigli preziosi che mi ha donato in laboratorio, sia come professore che come essere umano. Grazie davvero.

Ringrazio mia sorella Carmen, il mio porto sicuro, la mia "Treccani". Ti ringrazio per essermi stata vicina in ogni momento, per avermi ascoltata durante le ripetizioni prima degli esami, anche a tarda notte. Ti ringrazio per avermi regalato sempre un sorriso nei momenti bui e di aver creduto sempre in me anche quando io non ci credevo più, ma tu sai già tutto Cinghi.

Ringrazio i miei genitori Lella e Ludovico, il mio punto di riferimento. È grazie a voi, ai vostri sacrifici uniti ai miei, al vostro supporto, al vostro esserci senza mai essere invadenti, ai vostri consigli e al vostro esempio, che ho raggiunto questo traguardo tanto atteso. A voi devo tutto!

Ringrazio i miei nonni Carmela, Salvatore, Luigi ma soprattutto mia nonna Anna, perché è grazie alle sue "preghierine", alle nostre chiacchierate al telefono prima e dopo ogni esame ed è grazie al suo "come va, va" che ho avuto sempre il coraggio di andare avanti e non mollare. Ebbene nonna ora posso dirti che questa laurea è finalmente NOSTRA. Vi ringrazio infinitamente, siete preziosi.

Ringrazio Federica, anzi Dina, perché è stata la mia "compagna di viaggio". Insieme abbiamo iniziato questo percorso universitario che poi si è trasformato in un percorso di vita. A te che piano piano sei entrata a far parte della mia vita in punta di piedi, mi sei stata sempre vicina nei momenti belli e in quelli brutti. Non posso fare altro che ringraziarti, per le risate, la spensieratezza, i pianti, i momenti condivisi, le "convivenze", le ore al computer, le ansie condivise. Per me sei stata e sarai sempre una sorella. Grazie!

Ringrazio la mia Urciuolina, perché anche a km di distanza non è mai mancato il tuo supporto. Siamo cresciute insieme e non sono mai servite troppe parole per capirci, forse anche adesso sarebbero superflue e inutili a spiegare il bene che ci lega. Ringrazio le mie "amiche di danza" Fabi, Delia, Auri e Fede per aver ascoltato i miei lamenti e per aver subito tutte le mie ansie, come del resto succede da sempre. Vi voglio bene.

Ringrazio i mie amici dell'università, tutta la gang. In particolare ringrazio Simone, Giuseppe, Roberto e tutti coloro che nel loro piccolo mi hanno lasciato qualcosa, grazie davvero! Un ringraziamento speciale va però a Laura, l'amica più pazza che ho (o forse), tu sei un uragano di follia e gioia e questo percorso senza te e Fede non sarebbe stato lo stesso. Ti voglio bene. Ringrazio tutti i miei amici dell'aula studio Banach, Lucio, Claudia e ringrazio soprattutto Davide per avermi supportata e sopportata quando l'ansia mi faceva vedere tutto nero, il vostro incoraggiamento è stato prezioso e anche i momenti di studio, con molte molte pause saranno per sempre un ricordo bellissimo. Grazie. In ultimo ringrazio me stessa, per averci creduto fino in fondo. Questo è solo un punto di partenza.