

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

Aniseiconia: cause, difficoltà visive, test optometrici e possibili soluzioni

Relatore:

Prof. Paolo Carelli

Candidato:

Daniela Napolitano

Matricola M44/232

A.A. 2017/2018

INDICE

INTRODUZIONE.....	4
--------------------------	----------

1. SISTEMA VISIVO

1.1 SISTEMA OTTICO OCULARE.....	5
1.2 IMMAGINE RETINICA.....	7

2. VISIONE BINOCULARE

2.1 GENERALITA'.....	9
2.2 CARATTERISTICHE DELLA VISIONE BINOCULARE.....	13
2.3 ACCERTAMENTO DELLA VISIONE BINOCULARE.....	14

3. ANISEICONIA

3.1 DEFINIZIONE E CLASSIFICAZIONE ANISEICONIA.....	20
3.2 ACCERTAMENTI E QUANTIFICAZIONE DELL'ANISEICONIA.....	24
3.2.1 Eiconometro a comparazione diretta.....	24
3.2.2 Tipi di aniseiconia utilizzando eiconometro a comparazione diretta.....	25
3.2.3 Quantificazione dell'aniseiconia con eiconometro a comparazione diretta..	27
3.2.4 Valutazione aniseiconia con eiconometro a biprisma e test di Becher.....	29
3.2.5 Quantificazione dell'aniseiconia utilizzando l'eiconometria spaziale.....	30
3.2.6 Test di Miles.....	32
3.2.7 Test di Turville.....	32
3.2.8 New aniseikonia test.....	33
3.2.9 Aniseikoniainspector.....	33
3.2.10 Test a coincidenza verticale.....	34
3.3 DISTORSIONE NELLA PERCEZIONE DELLO SPAZIO.....	35
3.4 ANISOMETROPIA.....	36
3.4.1 Problematiche rilevate nella neutralizzazione dell'anisometropia.....	37

4. METODI COMPENSATIVI DELL'ANISEICONIA

4.1 COMPENSAZIONE CON LENTI OFTALMICHE.....	39
---	----

4.1.1 Modifica distanza apice corneale-lente, caso reale.....	40
4.1.2 Cambiamento bisello, caso reale.....	41
4.1.3 Modifica della curvatura della lente, caso reale.....	42
4.1.4 Modifica dello spessore della lente, caso reale.....	43
4.2 COMPENSAZIONE CON LENTI A CONTATTO.....	46
CONCLUSIONI.....	47
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	49

INTRODUZIONE

Lo scopo di questo lavoro è di evidenziare le origini, le alterazioni e la metodologia di rilevazione e di compensazione dell'aniseiconia. In tale condizione il soggetto percepirà immagini differenti in entrambi gli occhi.

Nel primo capitolo vi è un'illustrazione di come si formano le immagini nel bulbo oculare.

Successivamente, nel secondo capitolo, viene descritta la funzione della visione binoculare. Vengono illustrate le caratteristiche di una buona visione binoculare, quello che dovrebbe essere la visione di ogni singolo soggetto, ma anche le anomalie che possono insorgere nel sistema binoculare, nelle quali rientra l'aniseiconia.

Nel terzo capitolo oltre ad una descrizione sull'aniseiconia, con la classificazione delle cause, vengono descritti i test utilizzati per la rivelazione.

Nel quarto ed ultimo capitolo vengono analizzati i metodi compensativi basati sull'analisi di alcuni casi reali.

1. SISTEMA VISIVO

Un sistema visivo è una struttura che è in grado di trasformare la luce in immagini. Il nostro sistema visivo è costituito dall'occhio, che cattura la luce e la converte in messaggi nervosi; le vie visive, necessarie al trasporto dei messaggi dall'occhio al cervello; infine vi sono le aree visive del cervello, che decodificano i messaggi.

1.1 SISTEMA OTTICO OCULARE

L'occhio umano viene associato ad un sistema diottrico positivo di 60 D, capace di realizzare delle immagini reali, capovolte e con i lati invertiti.

È un susseguirsi di mezzi trasparenti, definiti diottri, con indici di rifrazione che variano da 1,3 a 1,4 molto simile a quello dell'acqua (1,33).

Per avere una visione nitida è necessario che le immagini riprodotte vengano messe a fuoco. Il fuoco si trova sul piano retinico, ossia la zona foveale. Per facilitare lo studio del sistema oculare è stato ideato un occhio schematico, ossia un occhio che potesse essere un modello teorico per riuscire a comprendere il suo comportamento rifrangente. Il modello più riconosciuto è quello di Gullstrand (1911).

Successivamente sono stati proposti altri tre livelli semplificati dell'occhio umano:

1. Occhio schematico esatto: modello costituito da sei superfici rifrangenti, due riferite alla cornea e quattro per il cristallino.

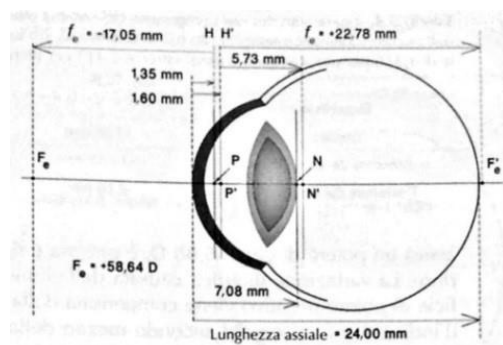


Figura 1. Occhio schematico n°1 di Gullstrand.

La cornea è costituita da due superfici rifrangenti che delimitano una struttura omogenea il cui indice di rifrazione è 1,376. Il cristallino, a causa della sua natura eterogenea, è costituito da quattro superfici

rifrattive ed è suddiviso in due parti: una centrale, il nucleo, con un indice di 1,406 e una periferica, la corteccia, con indice 1,386.

Nella figura 1 sono indicati anche i punti notevoli del sistema ottico oculare: punti principali, punti nodali e fuochi. Il secondo fuoco del sistema ottico oculare non si trova sulla retina, ma oltre a essa, esattamente a 0,38 mm. Perciò l'occhio esatto di Gullstrand non è emmetrope. Inoltre il potere dell'occhio schematico esatto è di + 58,64 D.

2. Occhio schematico semplificato: costituito da tre superfici rifrangenti, la cornea rappresentata con un'unica superficie e due per il cristallino. La cornea è costituita da un'unica superficie rifrangente con raggio di

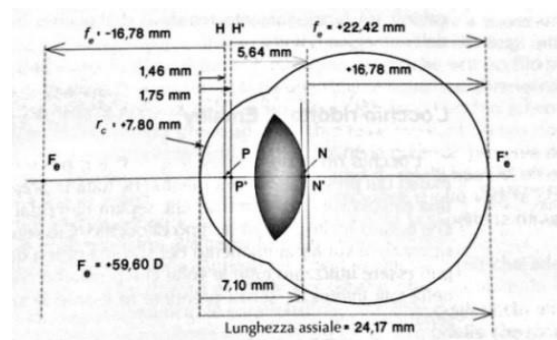


Figura 2. Occhio schematico n°2 di Gullstrand.

curvatura 7,80 mm. Il cristallino è formato da due superfici convesse che delimitano una struttura omogenea il cui indice di rifrazione è di 1,413. Gli indici di rifrazione sono due: uno

per il cristallino (1,413), e uno per l'umor acqueo e il corpo vitreo (1,336). Considerando le costanti indicate nell'occhio schematico semplificato, figura 2, il potere dell'occhio è di 59,75 D. In questo caso il secondo fuoco coincide con il piano retinico. I due punti principali sono spostati verso la cornea mentre i due punti nodali sono spostati dalla parte del mezzo con indice di rifrazione maggiore.

3. Occhio ridotto: è un modello matematico che ha una sola superficie rifrangente, un unico indice di rifrazione per tutti i mezzi trasparenti, un solo punto nodale e un solo punto principale, figura 3. La potenza oculare totale (60 D) è rappresentata da una singola superficie rifrangente sferica e l'unico indice di rifrazione del mezzo è pari a 1,333.

I due punti nodali e i due punti principali sono stati uniti in un singolo punto nodale e un singolo punto principale rispettivamente; il punto principale diventa anche il vertice della superficie rifrangente e il punto

nodale è il centro di curvatura di detta superficie. La pupilla d'entrata è situata sul piano della superficie ridotta.

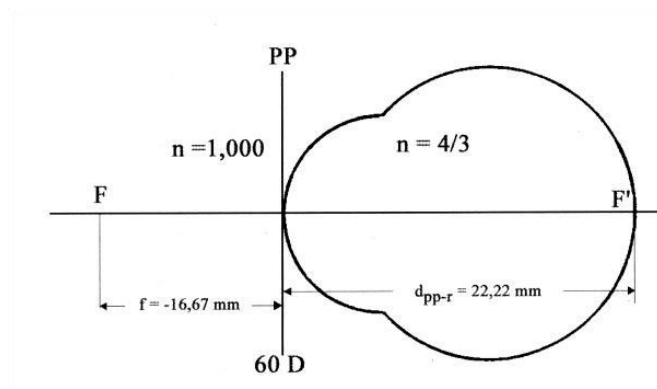


Figura 3. Occhio esatto n°1 di Gullstrand.

1.2 IMMAGINE RETINICA

Per riuscire a comprendere come avviene la formazione delle immagini nel diottro oculare è necessario fare un cenno all'ottica geometrica.

L'ottica geometrica, approssimazione dell'onda ondulatoria, considera la luce con un movimento di propagazione rettilineo.

L'occhio può essere paragonato ad un diottro in quanto riproduce delle immagini capovolte, vedremo quindi come si realizza un'immagine in un diottro convesso.

Assumiamo che l'oggetto si trovi in un piano ortogonale all'asse ottico, come

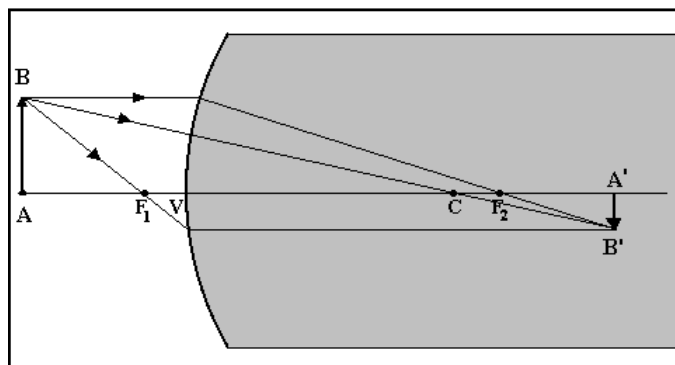


Figura 4. Formazione di un'immagine in un diottro convesso.

in figura 4. Da B tracciamo un raggio parallelo all'asse ottico fino al diottro, dopo averlo attraversato convergerà nel fuoco F_2 . Tracciamo un

secondo raggio che passerà per C il centro del diottro, dove il raggio non subirà rifrazioni poiché la sua direzione è ortogonale alla superficie del diottro nel punto di attraversamento. Il terzo raggio convergerà nel primo fuoco F_1 fino al diottro

dove verrà rifratto e proseguirà in modo parallelo all'asse ottico fino ad incontrare gli altri raggi. Nel punto in cui si intersecano i tre raggi avremo il punto-immagine B' e per avere il punto immagine A' basterà tracciare la normale all'asse ottico.

In riferimento all'occhio umano avremo sempre un'immagine capovolta e curvata a causa della forma sferoidale del bulbo oculare, figura 5. Nell'occhio umano si possono instaurare delle anomalie refrattive associate ad una lunghezza anomala del bulbo oculare. Si definisce soggetto miopico, un soggetto che ha un errore refrattivo imputabile ad una lunghezza del bulbo oculare maggiore stabilendo così un sistema diottrico più potente. È definito soggetto ipermetropico, un soggetto che ha una lunghezza del bulbo oculare minore e di conseguenza sistema diottrico meno potente.

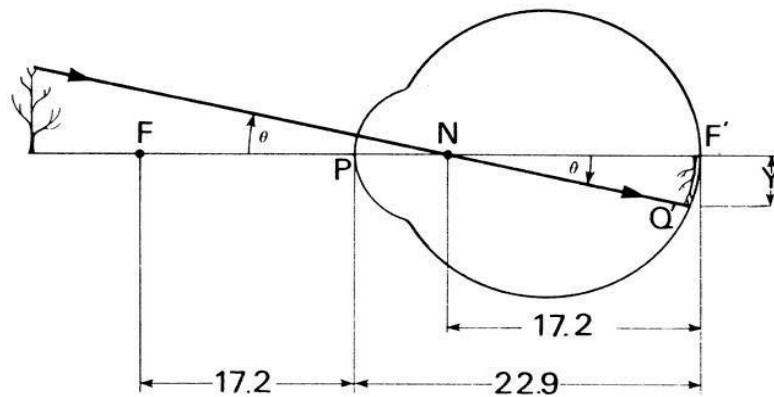


Figura 5. Formazione immagine retinica mediante un raggio passante per il punto nodale.

2. LA VISIONE BINOCULARE

2.1 GENERALITA'

Nell'uomo gli occhi collaborano per formare una sola immagine, come risultato dell'unione delle due immagini prodotte monocularmente.

Con la presenza della visione binoculare siamo in grado di percepire la tridimensionalità del mondo circostante.

La visione binoculare nell'uomo si basa su tre fondamenti principali:

Campo visivo comune: insieme di punti presenti nello spazio percepiti dall'occhio.

Corrispondenza retinica: elementi retinici che hanno la stessa direzione visiva e quando stimolati creano una percezione localizzata nella stessa direzione.

Fusione sensoriale: unificazione di sensazioni visive provenienti da elementi retinici corrispondenti. Questa però non è una condizione sufficiente affinché ci sia fusione, ma è necessario che le immagini siano simili in grandezza, luminosità, colore e nitidezza.

Quindi una delle condizioni necessarie per la formazione di una singola immagine è che gli occhi osservino una stessa area dello spazio e non ci sia deviazione degli assi visivi.

Il campo visivo di un occhio è legato con quello dell'altro occhio; un'area retinica di un occhio corrisponde all'area retinica dell'altro e si trova nella posizione omologa.

La fovea di entrambi gli occhi caratterizza i punti corrispondenti principali e tutta l'area retinica viene organizzata per aree corrispondenti. I due occhi cooperano come se fossero un solo occhio posizionato al centro, chiamato

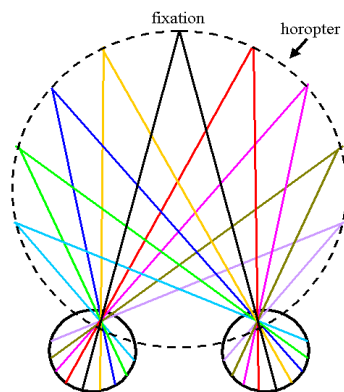


Figura 6. Oroptero.

occhio ciclopico.

Nel momento in cui gli occhi fissano un punto nello spazio, ci saranno dei punti che formano un'immagine su delle aree retiniche corrispondenti e vengono visti singolarmente; l'insieme di questi punti forma l'oroptero, raffigurato in figura 6. La forma dell'oroptero varia in funzione della

distanza di fissazione: con distanze brevi si avrà una curva con concavità verso l'osservatore, aumentando la distanza diventerà rettilinea fino alla distanza di Libermann, circa 1m (chiamata anche distanza di adiabatica), superata questa distanza assume forma circolare con convessità verso l'osservatore.

Quando ci sono dei punti che non cadono sull'oroptero, ma si trovano all'esterno o all'interno di esso, si genera diplopia che viene considerata fisiologica, la quale non interferisce con l'attività della visione binoculare. La diplopia fisiologica è considerata utile per la formazione della nostra percezione della profondità.

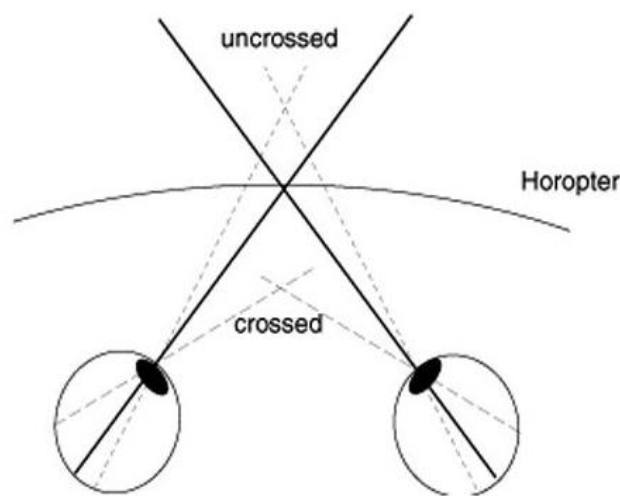


Figura 7. Punti esterni all'oroptero.

In figura 7, il punto che si trova dopo quello di fissazione genera diplopia di tipo omonimo, cioè ogni oggetto viene percepito dallo stesso occhio che l'ha originato. Il punto che invece si trova tra il soggetto e quello di

fissazione va a stimolare aree retiniche non corrispondenti e genera diplopia crociata, cioè gli oggetti vengono percepiti nella posizione opposta rispetto all'occhio che li ha originati.

Andando a determinare l'oroptero sperimentalmente noteremo che la diplopia fisiologica non è verificata quando gli oggetti si trovano al di fuori di quest'area.

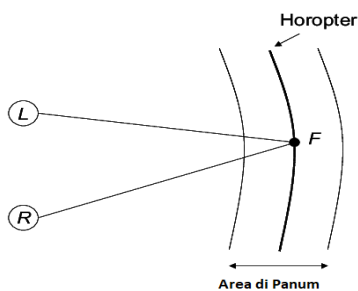


Figura 8. Area di Panum.

Esiste infatti una regione dello spazio che è chiamata area di Panum, in figura 8. Grazie ad una proprietà del nostro sistema visivo riusciamo ad ottenere comunque la fusione sensoriale di oggetti che stimolano elementi retinici disparati.

Worth nel 1925 ha proposto una suddivisione in tre gradi della visione binoculare:

1. Percezione simultanea e sovrapposizione: le immagini dei singoli occhi vengono percepite contemporaneamente dal soggetto, cadendo su aree retiniche corrispondenti parlando così di sovrapposizione. Con la valutazione di questo grado della visione binoculare non ancora possiamo parlare di binocularità ma di biocularità. Si verifica se entrambi gli occhi percepiscono le due immagini in modo nitido. Il test che solitamente si effettua è quello che prevede l'utilizzo del prisma verticale, anche chiamato test della diplopia. Il prisma verticale può essere base alta o base bassa, di 6 diottrie prismatiche, viene posizionato avanti l'occhio dominante. Il soggetto può percepire le immagini in tre modi differenti; può vedere una sola immagine, quindi non è presente percezione simultanea ma soppressione; può percepire due immagini ma non sono allineate, il soggetto avrà percezione simultanea ma con una foria associata; può vedere due immagini allineate verticalmente ed è questo che conferma la presenza di percezione simultanea.

2. Fusione: la capacità di fondere due immagini simili in una sola immagine. Nella fusione possiamo riconoscere due aspetti, fusione motoria e fusione sensoriale. La fusione motoria prevede la funzione dell'apparato muscolare che deve posizionare su zone corrispondenti le immagini dell'oggetto fissato.

La fusione sensoriale, chiamata anche fusione piatta, è la capacità psichica di fondere due immagini simili in una singola. Tale capacità si acquisisce nell'infanzia e data la sua natura di tipo neurale se non acquisita in tempo viene persa definitivamente. L'attività della fusione viene determinata con il test del filtro rosso: si antepone il filtro rosso all'occhio dominante, utilizzando visione binoculare, viene chiesto al soggetto di osservare una mira luminosa bianca. Il soggetto dovrà dire di che colore percepisce la mira: tutta rossa o bianca allora non è presente fusione e il soggetto presenta visione monoculare; rosata per cui il soggetto presenta fusione delle due percezioni; alternativamente rossa o bianca il soggetto presenta fusione e

una buona rivalità retinica che alterna la predominanza tra i due occhi. Quando avviene la sovrapposizione di due immagini differenti, l'immagine risultante oscilla percettivamente tra le due con una frequenza di circa 30Hz, l'oscillazione delle due immagini è chiamata rivalità binoculare o rivalità retinica. Nel caso in cui una delle due percezioni prevale sull'altra, il soggetto va incontro a soppressione dell'occhio non dominante e si instaura visione monoculare.

3. Stereopsi: percezione del mondo tridimensionale con l'utilizzo della visione binoculare. I nostri occhi occupano posizione diversa lungo l'asse orizzontale, quando fissiamo un oggetto le immagini retiniche che si formano avranno posizioni leggermente differenti. Tra le due immagini esiste uno spostamento considerato fisiologico, chiamato disparità retinica binoculare orizzontale. Tale disparità viene utilizzata a nostro vantaggio, in quanto la psiche la utilizza per ottenere le informazioni necessarie a riprodurre la profondità e la posizione spaziale degli oggetti. Affinché la stereopsi si possa manifestare è necessario che nel soggetto siano presenti alcune condizioni: fissazione bifoveale, fusione, sufficiente acuità spaziale, visione simile tra i due occhi.

2.2 CARATTERISTICHE DELLA VISIONE BINOCULARE

L'uomo, così come molti animali evoluti, possiede visione binoculare. In base alla posizione frontale e ravvicinata di entrambi gli occhi, la qualità della visione è sicuramente più raffinata in termini di fusione binoculare. L'utilizzo della visione binoculare crea dei vantaggi rispetto all'utilizzo della visione monoculare in quanto si ha una qualità dell'immagine migliore rispetto a quella singola. Utilizzando al meglio la visione binoculare siamo in grado di ottenere informazioni utili come la distanza tra oggetto e soggetto. I due occhi ci permettono di triangolare la posizione da due informazioni visive differenti e trasmettere la posizione ai meccanorecettori dei muscoli lisci percependo l'oggetto, in questo modo ci consentono, ad esempio, di muovere il braccio per afferrare qualcosa. Oltretutto con l'acquisizione della visione binoculare abbiamo sicuramente: una visione binoculare superiore a quella monoculare, la percezione stereoscopica dello spazio, la sovrapposizione dei due campi visivi che elimina lo scotoma di ciascun occhio in corrispondenza del punto di emergenza del nervo ottico (punto cieco), il campo visivo binoculare è più ampio rispetto a quello di qualsiasi altra specie.

Il campo visivo centrale è di 120°, dove entrambi gli occhi percepiscono e mandano informazioni al talamo, quello periferico destro e sinistro invece sono visti solo rispettivamente da occhio destro e sinistro: il campo visivo di ogni occhio è di 110°, 60° partendo dal naso sono visti da entrambi gli occhi, gli

ultimi 40°
sono visti
solo
dall'occhio
rispettivo.

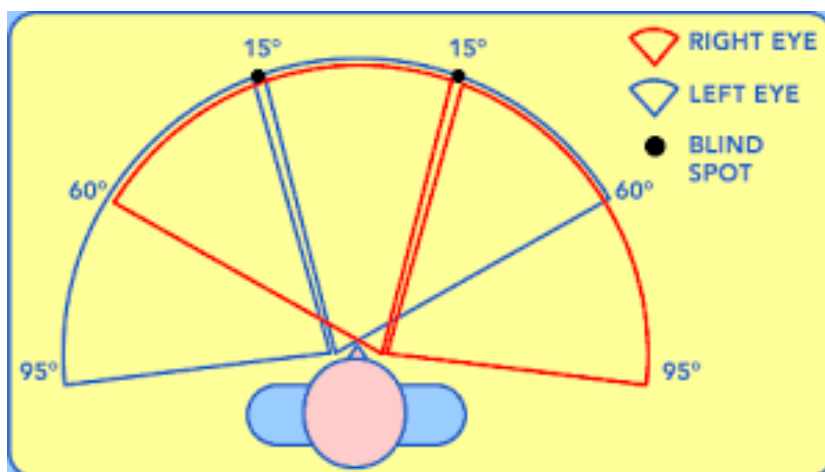


Figura 9. Campo visivo.

2.3 ACCERTAMENTO DELLA VISIONE BINOCULARE

L'apparato muscolare estrinseco ha il compito principale di orientare gli occhi verso l'oggetto d'interesse. La fovea deve essere orientata verso un determinato oggetto e le immagini dell'oggetto si formeranno su aree corrispondenti, tale condizione è chiamata ortoforia.

Non sempre però la sinergia tra i due occhi è perfetta: quando fissiamo un oggetto, l'occhio dominante fissa l'oggetto e l'altro è leggermente spostato, tale condizione è definita disparità di fissazione fisiologica; diversa dalla disparità di fissazione patologica.

Sappiamo che durante la visione binoculare i nostri occhi non sono perfettamente allineati provocando così una disparità di fissazione, se però i due punti oggetti rientrano nell'area di Panum si ottiene comunque un'unica percezione, nonostante la stimolazione avvenga su due aree retiniche non corrispondenti. L'area di Panum, che in realtà è un volume, descrive uno spazio attorno all'oroptero, con tolleranze che variano dal centro, dove sono inferiori, alla periferia, dove sono più ampie. Superata l'area di Panum la disparità di fissazione viene considerata patologica e si instaura diplopia. La disparità di fissazione può avere varie origini, un problema al sistema di vergenza o a causa d'instabilità di fissazione. La disparità di fissazione viene riscontrata frequentemente in soggetti che presentano astenopia, ovvero affaticamento oculare e appare legata alle vergenze fusionali, in quanto all'aumentare delle vergenze la disparità si riduce.

Alla disparità di fissazione viene associata una deviazione chiamata foria. La foria o eteroforia, chiamato anche strabismo latente, è rilevabile nel soggetto solo quando viene annullata la fusione, quando il soggetto si trova in visione binoculare non presenta alcuna deviazione. L'eteroforia è una deviazione a carico di entrambi gli occhi, nel maggior parte interessa l'occhio non dominante. Il soggetto eteroforico quando effettua un cambio di fissazione, con l'occhio dominante raggiunge la posizione velocemente, invece con quello non dominante raggiunge la posizione con un lieve ritardo. Le eteroforie vengono suddivise in tre gruppi principali, a seconda dell'asse in cui sono misurate: eteroforie orizzontali, verticali e torsionali.

La visione binoculare, nonostante le deviazioni eteroforiche cerca comunque di raggiungere un equilibrio. Le forie vengono considerate fisiologiche se sono di modesta entità e potrebbe essere difficile identificare una vera e propria causa; la quale può ritrovarsi in un problema legato all'innervazione relativa alla convergenza e quella dell'accomodazione o all'inserzione anatomica dell'apparato muscolare. Tracciando un'analisi eziologica si riscontrano tre cause, dove le prima due risultano essere le più frequenti:

- Cause refrattive, la condizione dell'ametropia e l'attività dell'accomodazione sono legate ai vizi refrattivi.
- Cause innervative, anomalie nella percezione visiva, anomalie nella relazione tra convergenza e accomodazione.
- Cause anatomiche, una variazione nella posizione dei muscoli, della loro inserzione e della struttura ossea dell'orbita.

La foria è detta dissociata, quando è rilevata solo in visione bioculare, oppure associata se è rilevata in visione binoculare.

La presenza di foria in un soggetto provoca astenopia e affaticamento in quanto rappresenta un disallineamento visivo, viene infatti associata a problemi di convergenza. La convergenza viene valutata in unione all'accomodazione e alla miosi pupillare, tale triade è definita triade prossimale. L'accomodazione è un processo fisiologico dell'apparato visivo, attraverso la contrazione del muscolo ciliare la superficie anteriore del cristallino aumenta, consentendoci di adattare la propria visione in relazione alle diverse distanze di fissazione. Tale variazione di potere insieme alla convergenza dei bulbi e alla miosi crea, come sopradetto, la triade accomodativa; utile alla formazione di immagini nitide e singole sul piano prossimale. Uno degli elementi fondamentali per la valutazione dell'accomodazione, di conseguenza della visione binoculare, è il rapporto convergenza accomodativa/accomodazione (AC/A).

Le forie sono delle deviazioni oculari considerate latenti, proprio perché si manifestano quando viene dissociata la visione binoculare.

Esistono però altri tipi di deviazioni che sono considerate manifeste perché il nostro sistema visivo non riesce a compensarle. Tale deviazione è chiamata tropia o strabismo manifesto, è caratterizzata da un'assenza di fissazione

bifoveale, per cui gli assi visivi del soggetto non si incontrano nel punto di fissazione. Il soggetto strabico quando fissa un oggetto non riesce a fare in modo che le immagini si formino contemporaneamente sulle fovee.

Sono numerosi i fattori che contribuiscono contemporaneamente e in misura diversa alla comparsa di una tropia. Il rapporto convergenza accomodativa/accomodazione influisce sulla manifestazione di una tropia, per una visione a distanza ravvicinata la convergenza accomodativa utilizzata dipende dal rapporto AC/A e se è alto avremo una deviazione verso l'interno, se bassa la deviazione sarà verso l'esterno. Il manifestarsi di uno strabismo dipenderà anche dal rapporto tra l'entità della deviazione e la capacità del sistema di compensarla.

Quando ci troviamo in presenza di uno strabismo manifesto il soggetto presenza assi visuali non allineati sull'oggetto fissato e di conseguenza si manifestano fenomeni che disturbano l'equilibrio della visione binoculare. Il soggetto visualizza oggetti diversi localizzati nella stessa direzione, c'è quindi sovrapposizione, perché le immagini di oggetti diversi si formano sulle fovee che sono punti retinici corrispondenti, le quali proiettano la loro percezione nella stessa parte dello spazio. Un oggetto fissato viene visto doppio perché le sue immagini si formano su punti retinici non corrispondenti. Per cui una deviazione degli assi visivi provoca confusione e diplopia e di conseguenza il sistema visivo ricerca un adattamento sensoriale. Per ovviare alla diplopia il sistema visivo va incontro a soppressione di una delle due immagini retiniche. La soppressione consiste nell'eliminazione di una delle due afferenze oculari, generalmente i centri superiori inibiscono le informazioni che provengono dall'occhio deviato.

La soppressione coinvolge solo le zone retiniche dell'occhio deviato che causano maggior disturbo, possiamo infatti riconoscere uno scotoma anti-diplopico dove si ha inibizione dell'impulso che proviene dalla parte di retina in cui si forma l'immagine dell'oggetto fissato, e uno scotoma anti-confusionale dove viene inibito l'impulso proveniente dalla fovea nella quale si forma un'immagine diversa dall'oggetto fissato. A volte però la soppressione è talmente profonda che i due scotomi possono unirsi. Tale adattamento

sensoriale è presente solo in visione binoculare in quanto solo in tale condizione è necessario eliminare la confusione e la diplopia. La soppressione si verifica solo in età infantile in quanto il loro sistema binoculare non è ancora stabile; per cui se tale condizione è protratta nel tempo lo sviluppo del sistema visivo è impedito, andando in contro ad ambliopia. Un soggetto, nella pratica clinica, presenta ambliopia quando è presente una differenza tra il visus dei due occhi superiore ai 3/10 o un visus inferiore a 3/10. Con il termine ambliopia s'intende una riduzione dell'acuità visiva, deriva infatti dal greco e ha il significato di visione fioca. L'ambliopia può avere duplice natura: organica e funzionale. Si parla di forma organica quando l'alterazione è dovuta ad un'alterazione delle vie ottiche, come ad esempio l'ambliopia recettoriale dove la riduzione di acuità visiva è associata ad un errato orientamento dei recettori retinici. La forma funzionale si presenta quando non ci sono variazioni morfologiche, ma si ha un'anomalia funzionale che impedisce il normale sviluppo del sistema visivo. L'ambliopia di tipo funzionale può essere una conseguenza di una deviazione, definita ambliopia strabica, come nello strabismo monolaterale dove la soppressione nella zona foveale dell'occhio deviato si protrae nel tempo. Questo non avviene negli strabismi alternanti, nei quali la soppressione si alterna nei due occhi e il sistema visivo è in grado di svilupparsi. Può però manifestarsi in seguito alla presenza di anisometropia, chiamata ambliopia anisometropica, generalmente questa condizione è associata allo strabismo monolaterale per cui è difficile capire quale sia la causa tra le due. In un soggetto che presenta anisometropia il sistema visivo non è in grado di fondere le immagini quindi viene soppressa l'immagine peggiore, ciò può verificarsi anche quando l'anisometropia è corretta, in quanto l'utilizzo di lenti oftalmiche provocano aniseiconia. La soppressione che si ha in conseguenza a tali cause protratta nel tempo genera ambliopia. L'anomalia sensoriale come l'ambliopia può svilupparsi sia in visione monoculare che in visione binoculare, a differenza della soppressione che si verifica solo binocularmente.

Per ovviare al problema di confusione e diplopia il sistema può cercare di instaurare una nuova corrispondenza retinica. Come già detto in precedenza, le

aree corrispondenti principali sono le fovee di entrambi gli occhi. La diplopia patologica si crea perché l'immagine prodotta dall'occhio deviato si forma in una zona periferica della retina, non corrisponde però alla fovea dell'occhio fissante. Nel caso in cui ci troviamo in presenza di uno strabismo ad angolo costante i centri superiori riescono ad assegnare alla zona di retina periferica la stessa direzione visiva della fovea dell'occhio fissante. La psiche, quindi cerca di ristabilire una corrispondenza retinica generando una nuova fovea chiamata pseudofovea, stabilendo una corrispondenza retinica anomala. La corrispondenza retina anomala non si limita solo ai due elementi principali ma si estende a tutte le aree retiniche equidistanti dai due nuovi elementi principali. La corrispondenza tra due elementi retinici ha però un funzionamento diverso tra loro, avendo un'acuità visiva differente; infatti anche se la binocularità è recuperata presenta comunque una scarsa capacità di stereopsi e una limitata gestione dei movimenti fusionali.

La corrispondenza retinica anomala è un'anomalia binoculare, ciò vuol dire che se si occlude l'occhio fissante lo scotoma centrale scompare e l'occhio deviato riprende la posizione corretta di fissazione. Nei casi in cui non si interviene tempestivamente al trattamento dello strabismo, la soppressione centrale è talmente radicata, nonostante l'occlusione dell'occhio fissante, l'occhio deviato non riprende la posizione corretta di fissazione. In questa condizione il soggetto in visione monoculare è costretto a scegliere un punto retinico eccentrico, che gli consente di avere un visus migliore rispetto a quello maculare, ormai depresso dalla persistenza della soppressione.

Questa condizione chiamata fissazione eccentrica, che coinvolge la visione monoculare sembra essere collegata, anche se non ancora verificato, con la corrispondenza retinica anomala, che si manifesta in visione binoculare; nel senso che la fissazione eccentrica sembrerebbe essere un'involuzione monoculare della corrispondenza retina anomala instaurata in precedenza. Con l'occlusione dell'occhio fissante di un soggetto con fissazione eccentrica si possono verificare due condizioni che riguardano l'occhio deviato:

- L'occhio deviato risponde parzialmente allo stimolo, si muove e riduce l'angolo di deviazione, ma non lo annulla. Se dovesse verificarsi questa

condizione allora si sono formate due pseudofovee una legata alla corrispondenza retina anomala e l'altra alla fissazione eccentrica.

- Rimane immobile. Con tale condizione la pseudofovea che si è formata risulta essere la stessa sia per la corrispondenza retinica anomala che per la fissazione eccentrica.

3. ANISEICONIA

3.1 DEFINIZIONE E CLASSIFICAZIONE ANISEICONIA

Come già detto in precedenza, in condizioni di visione binoculare ottimale quando fissiamo un oggetto, entrambi gli occhi producono un'immagine. Le due immagini retiniche prodotte risultano essere molto simili tra loro, la dimensione è praticamente identica. Delle piccole differenze sono causate dalla diversa prospettiva di ciascun occhio, ma tale condizione facilita il processo di fusione e la percezione binoculare dell'oggetto fissato. Delle volte succede che le immagini retiniche prodotte dall'occhio destro e dall'occhio sinistro possano risultare alterate, presentando una disuguaglianza, la quale comporta difficoltà nella fusione. Può anche succedere che le immagini retiniche siano identiche ma l'informazione retinica viene alterata durante la sua trasmissione, dando origine ad una percezione di diverse dimensioni per l'occhio destro e l'occhio sinistro; avendo anche in questo caso problemi nella fusione.

Pertanto possiamo definire due immagini differenti:

- Immagine retinica: è un'immagine ottica reale formata sulla retina, basata su un concetto fisico.
- Immagine oculare: è la percezione ottenuta dall'immagine retinica che è stata trasmessa alla corteccia visiva e successivamente elaborata, basata su un concetto fisiologico percettivo.

Questa particolare anomalia della visione binoculare prende il nome di aniseiconia. Con il termine aniseiconia, quindi indichiamo una particolare condizione della visione binoculare dove le immagini formate sui piani retinici dei due occhi non hanno la stessa dimensione, in uno oppure in entrambi i meridiani. Il termine aniseiconia significa letteralmente immagini non eguali, proposto da Lancaster (1938), la condizione invece fisiologica e contraria a questa è chiamata iseiconia.

La differenza di grandezza delle immagini retiniche è solitamente quantificata in percentuale:

- Per percentuali basse dello 0-0,75%, il soggetto non lamenta sintomi.
- Per percentuali tra l'1% e il 3%, la fusione delle due immagini può risultare difficile e causare astenopia.

- Per percentuali oltre il 4% è difficile che si verifichi una sufficiente fusione delle immagini; pertanto la visione binoculare è impossibile, e il soggetto lamenta diplopia o si verifica la soppressione.

La pratica clinica evidenzia che il valore 4% è molto teorico e che spesso, valori inferiori al 4% possono influenzare la stabilità fusionale, inducendo nel soggetto:

- Astenopia: pesantezza e bruciore oculare.
- Cefalea: in genere si manifesta a livello nucale e si porta a livello sopraorbitario e/o frontale. Le motivazioni che inducono il dolore cefalico sono molteplici, ma come fattore principale del dolore nucale riscontriamo uno sforzo da parte della zona cervicale, in quanto è in continuo adattamento per ricercare una posizione corretta degli occhi nel tentativo di ridurre la componente aniseiconia prodotta da una correzione oftalmica.
- Sensazione di disagio percettivo: il soggetto ha un'alterazione delle distanze, manifestandosi in atti di vita quotidiana come la guida di un veicolo o difficoltà nel salire le scale.
- Effetto swimming: si manifesta con un ondeggiamento del mondo circostante, a volte è associato alla sensazione di vertigine.

Altri sintomi riscontrati ma in maniera meno frequente sono: fotofobia, difficoltà nella lettura, nausea, nervosismo, vertigini, affaticamento generale, distorsione spaziale.

Quando ci troviamo in presenza di soggetti con un grado di aniseiconia elevato riscontriamo diplopia, se il soggetto è di giovane età anche soppressione.

L'aniseiconia, come detto in precedenza può essere associata a due tipi di immagini e possiamo suddividere l'aniseiconia in tre gruppi:

- a. Aniseiconia ottica: aniseiconia prodotta dalla differenza nelle dimensioni delle immagini retiniche.
- b. Aniseiconia neurale: è un'aniseiconia non prodotta dalla differenza delle immagini retiniche, ma è una conseguenza della differenza nella trasmissione e nell'elaborazione neurale tra i percorsi visivi fino alla corteccia visiva.

- c. Aniseiconia acquisita: è un'aniseiconia causata dalle lenti correttrici. La differenza delle immagini è creata dalla potenza delle lenti, dalla posizione rispetto gli occhi, dalla curvatura e dal loro spessore.

Nonostante in alcuni casi sia presente una notevole differenza nelle immagini retiniche come risultato finale potrebbe capitare di avere un'assenza di aniseiconia. In questa condizione, sulla base delle nostre conoscenze, ci aspetteremo un'aniseiconia ottica, ma in realtà l'assenza di aniseiconia è giustificata da un compenso fisiologico il quale avviene attraverso un'anestesia neurale di tipo inverso, originando così due immagini oculari identiche. Questo fenomeno si potrebbe paragonare all'astigmatismo totale, il quale corrisponde all'associazione di astigmatismo corneale con l'astigmatismo interno, ci sono dei casi dove è presente astigmatismo corneale ma nella rifrazione finale non è necessaria una correzione poiché è compensato da quello interno, il quale risulta essere tipo inverso a quello corneale. L'aniseiconia può verificarsi solo in alcuni meridiani dell'occhio, o essere di gradi diversi in ciascun meridiano. Inoltre può essere classificata in funzione delle differenze delle due immagini, secondo la forma o la dimensione. Utilizzando quest'approccio classifichiamo l'aniseiconia in altre due tipologie:

1. Aniseiconia simmetrica: in questa condizione le immagini sono differenti per dimensione e non per forma, la differenza di immagini in genere interessa uno o più meridiani e a sua volta viene suddivisa in:
 - Aniseiconia globale: la differenza di dimensione tra le due immagini oculari ha lo stesso valore su tutti i meridiani.
 - Aniseiconia meridionale: la differenza di dimensione tra le due immagini oculari si ha su un solo meridiano e non su quello perpendicolare ad esso.

In base all'orientamento del meridiano si distinguono: aniseiconia meridionale orizzontale ($0^\circ \pm 22,5^\circ$), aniseiconia meridionale verticale ($90^\circ \pm 22,5^\circ$), aniseiconia meridionale obliqua ($45^\circ \pm 22,5^\circ$). Generalmente l'aniseiconia meridionale è causata dalla correzione di anisometropie astigmatiche.

- Aniseiconia mista: la differenza di dimensione tra le due immagini oculari è presente in tutti i meridiani, ma in uno è maggiore rispetto al resto. Questo tipo di aniseiconia ha quindi una componente globale ed una componente meridionale.
2. Aniseiconia asimmetrica: le immagini sono differenti per forma e non per dimensione, e le variazioni non sono uguali nelle diverse parti del campo visivo.

Criteri di classificazione	Tipi di aniseiconia	
In base alla provenienza dell'immagine	Aniseiconia ottica	
	Aniseiconia neurale	
In base al meridiano interessato	Aniseiconia globale	
	Aniseiconia meridionale	Verticale
		Orizzontale
		Obliqua
	Aniseiconia mista	

Tabella 1. Tabella riassuntiva della classificazione dell'aniseiconia

3.2 ACCERTAMENTI E QUANTIFICAZIONE DELL'ANISEICONIA

L'aniseiconia viene solitamente quantificata in percentuale e prevede l'utilizzo di numerosi test: i quali risultano essere: eiconometri a comparazione diretta, eiconometri spaziali, eiconometro a biprisma e test di Becher, Test di Miles, Test di Turville, New aniseikonia test, AniseikoniaInspector, Test a coincidenza verticale.

Con l'utilizzo dei vari test siamo in grado di determinare sia il tipo, sia di misurare il grado di aniseiconia che presenta un sistema binoculare. È necessario stabilire delle condizioni per le quali il sistema binoculare di un soggetto presenta aniseiconia, l'occhio che presenta aniseiconia è quello che ha l'immagine oculare più grande; il valore di aniseiconia deve essere espresso in percentuale, con un rapporto tra la dimensione dell'immagine più grande e l'immagine più piccola, per cui:

$$ANI (\%) = \left(\frac{I_G}{I_P} - 1 \right) * 100$$

dove I_G e I_P rappresentano le immagini grandi e piccole dell'occhio.

3.2.1 Eiconometro a comparazione diretta

È uno strumento che presenta un test diverso ad ogni occhio, ogni test presenta elementi comuni che consentono la loro fusione, e altri elementi le cui posizioni dovrebbero essere confrontate per misurare l'aniseiconia. In particolare viene utilizzato il test di Ames, mostrato in figura 10.

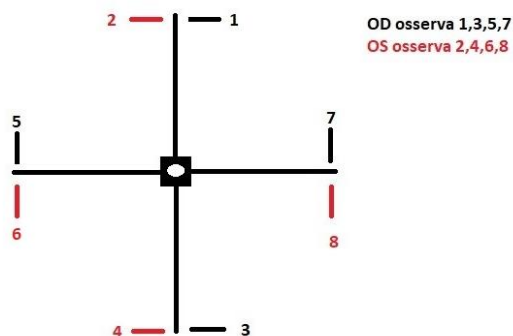


Figura 10. Test per eiconometro a comparazione diretta.

È un test proiettato su uno schermo metallico, si utilizza luce polarizzata a 45° e 135° e il soggetto utilizza occhiali polarizzati, in modo da avere due percezioni distinte. Al centro della mira è presente una figura che viene vista

da entrambi gli occhi, rappresentando il cosiddetto blocco di fusione o richiamo alla fusione.

I segmenti dispari sono visualizzati dall'occhio destro e quelli pari sono visti dall'occhio sinistro.

3.2.2 Tipi di aniseiconia utilizzando eiconometro a comparazione diretta

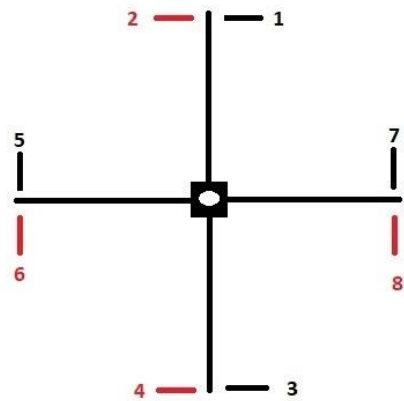


Figura 11. Assenza di aniseiconia.

In caso di assenza di aniseiconia, la percezione corrisponderebbe alla figura 11, dove i segmenti 1 e 2, 3 e 4, 5 e 6, 7 e 8 risultano perfettamente allineati.

Se c'è un'aniseiconia globale dell'occhio sinistro, l'immagine prodotta da tale occhio sarà più in alto di tutti i meridiani, e della stessa quantità per tutti.

Ciò significa che i segmenti 2 e 4 saranno più separati l'uno dall'altro, come i segmenti 6 e 8 e di conseguenza i segmenti 1 e 3, 5 e 7, risulteranno più vicini.

Poiché si tratta di un confronto relativo è equivalente dire che i segmenti 1 e 3 saranno più vicini tra loro rispetto ai segmenti 2 e 4, e i segmenti 5 e 7 saranno più vicini tra loro rispetto ai segmenti 6 e 8, come appare nella figura 12.

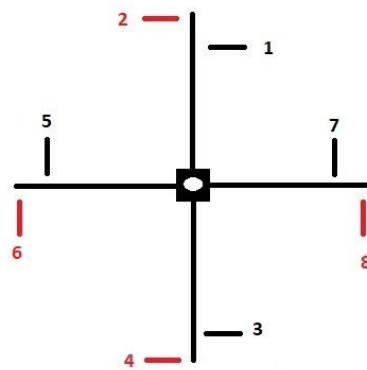


Figura 12. Aniseiconia globale dell'occhio sinistro.

Se si presume che ci sia un'aniseiconia meridionale orizzontale dell'occhio destro, nel meridiano verticale non ci sarà alcun tipo di disallineamento tra i segmenti 1 e 2, 3 e 4, la separazione che sarà presente tra i segmenti 2 e 4 sarà

identica a quella tra i segmenti 1 e 3; il disallineamento si verificherà nei segmenti posizionati sul meridiano orizzontale.

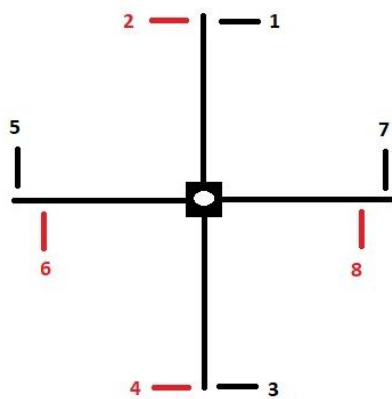


Figura 13. Aniseiconia meridionale orizzontale dell'occhio destro.

Nel particolare, la separazione tra i segmenti 5 e 7 sarà maggiore rispetto ai segmenti 6 e 8, come mostrato in figura 13.

Nella figura 14 si mostra la percezione che il soggetto avrebbe in presenza di un'aniseiconia meridionale verticale dell'occhio sinistro.

Nella figura 15 viene evidenziata la percezione di una persona con

aniseiconia mista, la quale presenta una componente globale dell'occhio destro e componente verticale sempre riferita all'occhio destro. Per la presenza di un'aniseiconia globale dell'occhio destro i segmenti 1 e 3, 5 e 7 saranno più separati dei segmenti 2 e 4, 6 e 8. Dato che è presente anche aniseiconia meridionale verticale dell'occhio destro allora la separazione dei segmenti in quel meridiano sarà ancora più marcata, infatti il disallineamento tra i segmenti 1 e 2 risulterà maggiore di quello tra i segmenti 5 e 6.

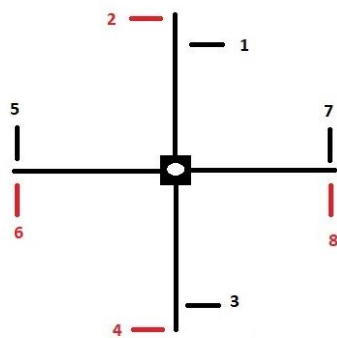


Figura 14. Aniseiconia meridionale verticale dell'occhio sinistro.

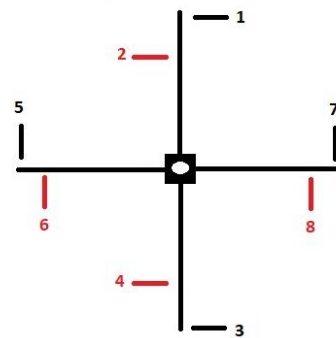


Figura 15. Aniseiconia mista con componente globale dell'occhio destro e aniseiconia meridionale verticale dell'occhio destro.

Con lo stesso ragionamento possiamo spiegare la figura 16, dove è presente un'aniseiconia mista ma più complessa, costituita da tre componenti diverse:

- ✓ aniseiconia globale dell'occhio sinistro e aniseiconia meridionale orizzontale dell'occhio destro.
- ✓ Aniseiconia globale dell'occhio destro e aniseiconia meridionale verticale dell'occhio sinistro.
- ✓ Aniseiconia meridionale verticale dell'occhio sinistro e aniseiconia meridionale orizzontale dell'occhio destro.

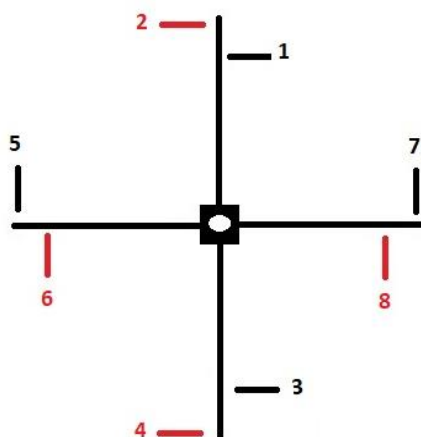


Figura 14. Aniseiconia mista con tre componenti.

Nel caso di aniseiconie meridionali oblique si fa ruotare il test fino a quando uno dei meridiani coincide con quelli dove è presente aniseiconia.

3.2.3 Quantificazione dell'aniseiconia con eiconometro a comparazione diretta.

Fino ad ora abbiamo dato una descrizione dello strumento e per questo siamo in grado di riconoscere solo il tipo di aniseiconia che presenta il soggetto. Per la quantificazione dell'aniseiconia si può procedere in due modi diversi.

Possiamo utilizzare delle lenti da aniseiconia, cioè lenti afocali o lenti iseiconiche, con un potere neutro ma capaci di variare l'ingrandimento. Tali lenti vanno posizionate avanti uno degli occhi del soggetto fino al raggiungimento dell'allineamento desiderato. Il valore dell'aniseiconia sarà determinato dall'aumento della lente iseiconica utilizzata per raggiungere l'allineamento:

$$ANI (\%) = (\beta - 1) * 100$$

dove β rappresenta l'aumento della lente iseiconica utilizzata, assumendo che $\beta > 1$.

Un altro metodo utilizzato più comunemente è quello che prevede l'utilizzo di prismi per ottenere l'allineamento necessario dei segmenti.

Con l'utilizzo di prismi a base nasale e base temporale si potrebbero allineare i segmenti del meridiano orizzontale, trovandoci ad esempio, in presenza di un'aniseiconia meridionale orizzontale dell'occhio destro, figura 13.

Per raggiungere l'allineamento si procede in tre fasi:

1. I segmenti 5 e 6 devono essere allineati, annotando poi la potenza prismatica necessaria all'allineamento.
2. Successivamente anche i segmenti 7 e 8 vengono allineati, annotando il potere prismatico necessario.
3. Quello che conta ai fini della quantificazione dell'aniseiconia è la differenza di potere prismatico, che si ottiene tra i due prismi utilizzati per l'allineamento; questa differenza sarà poi aggiunta alle diottrie prismatiche dei prismi base nasale e base temporale.

$$\Delta = |\Delta_1| + |\Delta_2|$$

Per la quantificazione dell'aniseiconia facciamo riferimento ad una formula già usata in precedenza, ma tenendo conto delle dimensioni apparenti prodotte dal test utilizzato.

$$ANI(\%) = \frac{T_G - T_P}{T_P} * 100$$

dove T_G e T_P sono le dimensioni apparenti dell'occhio, la cui immagine risulta essere una maggiore ed una minore. Di conseguenza si ottiene:

$$T_G - T_P = \frac{T_P * ANI}{100}$$

Il potere prismatico è poi ottenuto:

$$\Delta = 100 T_G \delta$$

dove δ è la differenza tra i due angoli sottesi alle dimensioni apparenti delle immagini del test. Sostituendo $T_G \delta$:

$$\Delta = 100 * T_G = 100 * \frac{T_G - T_P}{d}$$

d è la distanza tra la posizione del test e la posizione degli occhi del soggetto.

Unendo le formule precedenti otteniamo quella a noi necessaria:

$$ANI(\%) = \frac{\Delta d}{T_P}$$

Il valore di aniseiconia, è ottenuto quindi dal prodotto del potere prismatico necessario all'allineamento per la distanza tra il soggetto e il test, dividendo tutto per la dimensione apparente del test, la quale corrisponde alla percezione più piccola dell'occhio. Quest'ultimo, per convenzione, è considerata uguale alla dimensione effettiva del test.

3.2.4 Valutazione aniseiconia con eiconometro a biprisma e test di Becher.

Nella montatura di prova vengono inseriti due biprismi di Fresnel, figura 17,

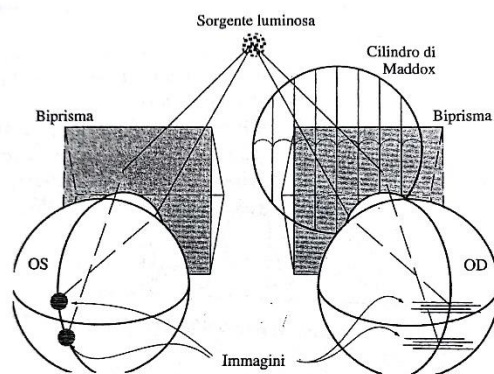


Figura 15. Eiconometro a biprisma.

necessari a duplicare la sorgente luminosa, e un cilindro di Maddox posizionato in corrispondenza di uno dei due occhi. Si osserva una sorgente di piccole dimensioni e la percezione che ha il soggetto è mostrata nella figura 18. Per la valutazione dell'aniseiconia si

fa riferimento all'inclinazione controllata del biprisma.

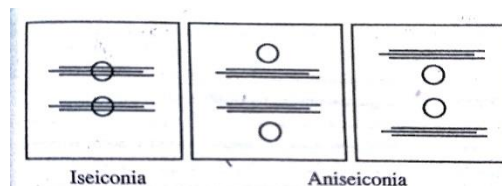


Figura 16. Percezione con l'eiconometro a biprisma.

Nel caso nel soggetto sia presente aniseiconia, il biprisma di uno dei due occhi viene ruotato fino a quando non si ottiene la sovrapposizione delle due immagini. L'aniseiconia può essere dedotta in questo modo:

$$A = (1 - \cos \alpha) \cdot 100$$

Supponendo che ci sia stata una rotazione del biprisma di $\alpha = 9^\circ$, l'aniseiconia risulterà:

$$A = (1 - \cos 9^\circ) \cdot 100 = 1,2\%$$

Questa tecnica risulta però poco pratica in quanto il posizionamento del biprisma potrebbe risultare critico e la valutazione della rotazione potrebbe risultare poco accurata. La forma originale del test ideato da Brecher, 1951 non permette di valutare l'entità dell'aniseiconia, ma è più semplice da utilizzare. È costituito da due piccole sorgenti e di un solo cilindro di Maddox. Il cilindro è posizionato avanti ad un occhio per cui il soggetto vedrà due linee luminose con un occhio, il cui orientamento dipenderà dalla posizione del cilindro di Maddox, e con l'altro percepirà due punti luminosi. Il soggetto dovrà indicare

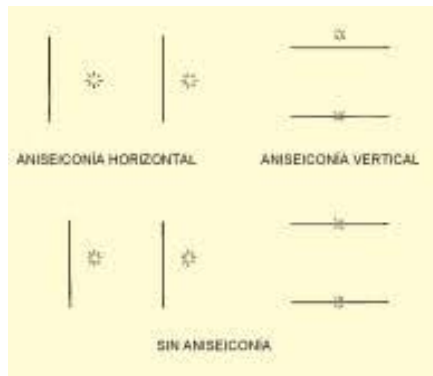


Figura 17. Test di Becher.

se la distanza tra le luci puntiformi è la stessa della distanza tra le linee luminose. Una separazione uguale indicherebbe aniseiconia, se è presente una differenza ci sarà aniseiconia, figura 19. Un ulteriore metodo di Becher prevede l'occlusione alternata degli occhi e una comparazione soggettiva.

3.2.5 Quantificazione dell'aniseiconia usando l'eiconometria spaziale.

L'eiconometro spaziale ci permette di determinare l'aniseiconia a partire dalle distorsioni che si verificano nella percezione dello spazio. L'eiconometria

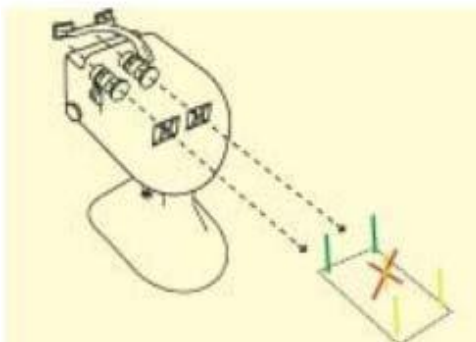


Figura 18. Eiconometro spaziale.

spaziale risulta poco efficace se il soggetto presenta un'aniseiconia elevata, in quanto sarebbe impossibile ottenere fusione, si avrebbero due percezioni monoculari simultanee, invalidando l'efficacia del metodo.

L'eiconometro spaziale è costituito da due linee verdi posizionate avanti ad un croce rossa e dietro la croce ci sono due linee gialle, le linee rosse e gialle sono orientate verticalmente e le linee rosse che compongono la croce si intersecano diagonalmente, come in figura 20. Tutte le linee sono viste dal soggetto attraverso un diaframma rettangolare, ma non consente la visione delle estremità. Soggetti privi di stereopsi percepiranno un'immagine piatta.

Quando siamo in presenza di aniseiconia meridionale orizzontale la percezione delle due barre risultano essere più distanti o più vicine di quelle a sinistra e viceversa. Attraverso un sistema di potenziamento si fanno ritornare le coppie di linee al giusto allineamento. Il valore di questo aumento consentirà di quantificare l'aniseiconia orizzontale che il soggetto presenta.

Quando l'aniseiconia meridionale orizzontale è neutralizzata, se è presente un'aniseiconia meridionale verticale si avrà una percezione distorta delle barre incrociate, con il sistema di potenziamento è necessario che nella percezione finale le barre incrociate siano posizionate su un piano frontale. Come avviene per l'aniseiconia meridionale orizzontale anche in questo caso, il valore di aumento di questo sistema indicherà l'aniseiconia meridionale verticale del soggetto. Infine, con le componenti orizzontali e verticali neutralizzate, la presenza di aniseiconie meridionali oblique dà origine a percezioni distorte del piano contenente le aste trasversali, figura 21. Anche in questa occasione si utilizza un sistema di potenziamento utile per eliminare quella percezione. In

tutti e tre i casi l'aumento verrà effettuato solo in uno dei suoi meridiani.

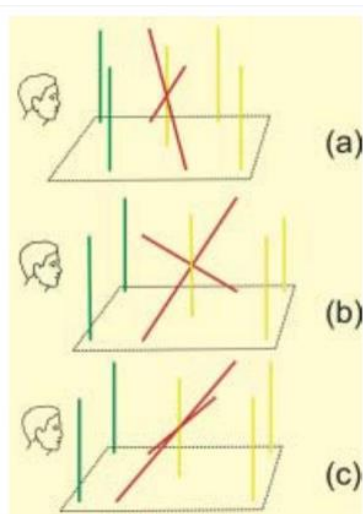


Figura 19. Percezione con eiconometro spaziale.

- a) aniseiconia orizzontale
- b) aniseiconia verticale
- c) aniseiconia obliqua.

3.2.6 Test di Miles

Si tratta di un metodo stereoscopico che utilizza due piccole luci osservate attraverso due cilindri di Maddox, uno per ciascun occhio. I cilindri vengono

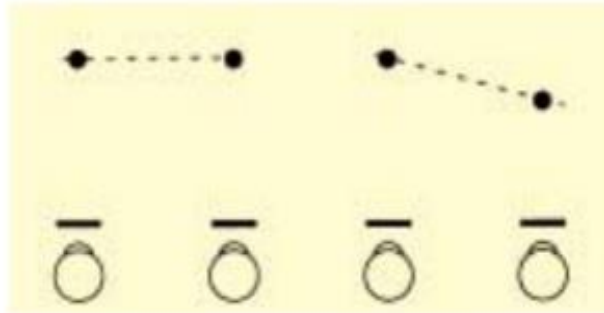


Figura 20. Test di Miles

orientati orizzontalmente per produrre due linee orientate verticalmente in ogni occhio (Figura 22). Il soggetto vede due linee verticali come risultato della fusione delle due coppie di linee percepite, se percepisce una linea più

vicina ad esso allora il soggetto presenta aniseiconia.

3.2.7 Test di Turville

In genere viene utilizzato per un'aniseiconia del meridiano verticale, si utilizza una mira costituita da due linee parallele orizzontali e da una linea verticale centrale, sviluppato da Morgan, mostrato in figura 23. Si utilizza un separatore posizionato in modo tale che il soggetto, utilizzando la sua compensazione ottica, veda la metà destra della mira con l'occhio destro e la metà sinistro con l'occhio sinistro. Il soggetto esaminato deve indicare l'eventuale separazione che c'è tra i due segmenti appartenenti alla stessa riga orizzontale. In tal modo è possibile individuare un'eventuale aniseiconia verticale, stimando la quantità di ingrandimento da prescrivere.



Figura 21. Test di Turville.

3.2.8 New aniseikonia test

Per l'esecuzione di questo test si utilizza un libro composto da un certo numero di coppie di semicerchi di colore rosso-verde e occhiali anaglifici, antepo-

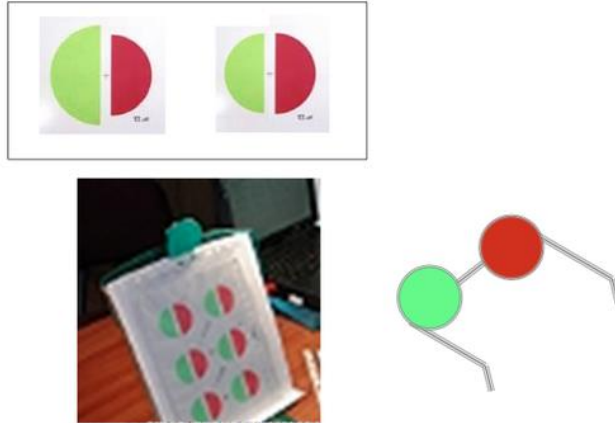


Figura 22. New aniseikonia test

all'occhio destro il filtro rosso e all'occhio sinistro il filtro verde. In tal modo il soggetto vede con ciascun occhio un semicerchio e il compito è di indicare la coppia di semicerchi che percepisce di uguale dimensione, se la

dimensione dei semicerchi è in realtà differente allora è presente aniseiconia. Ci sono serie di semicerchi, nelle quali la gamma delle differenze nel formato varia da 0% a 24%. Anche se questo test è facile da eseguire e interpreta la quantità di aniseiconia è significativamente sottovalutato.

3.2.9 AniseikoniaInspector

Questo test è sviluppato sulla base del new aniseikonia, si svolge però al

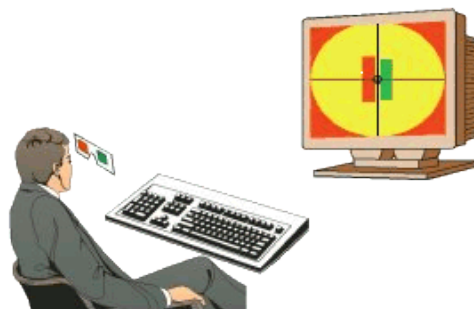


Figura 23. AniseikoniaInspector

computer e la persona indossa il filtro rosso-verde. Sul monitor vengono mostrate coppie di barrette rosse e verdi; il soggetto è invitato ad indicare, mediante l'utilizzo di tastiera o mouse, quale coppia di barrette ha la stessa altezza. È utile anche a determinare

e verificare l'efficacia della correzione aniseiconica.

3.2.10 Test a coincidenza verticale

Il test mostrato in figura 26 è inserito nei proiettori di ottotipi ed è il test a

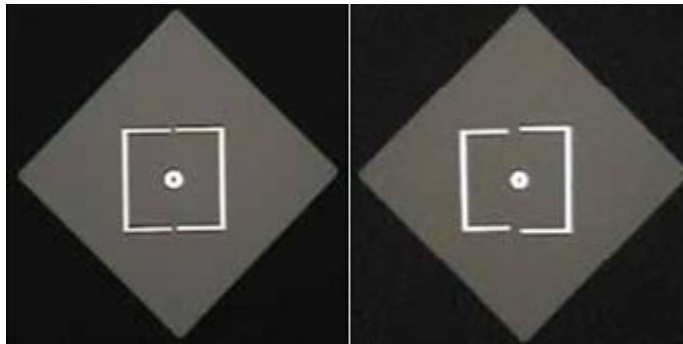


Figura 24. Test a coincidenza verticale.

coincidenza verticale.

Si esegue utilizzando le lenti correttive del soggetto introdotte nell'occhialino di prova e due filtri polarizzati/ anaglifici aggiunti. È un test

molto veloce da effettuare ed identifica subito il problema aniseiconico. Pertanto, in presenza di aniseiconia, il test risulta positivo se una delle immagini monoculari è di grandezza diversa.

3.3 DISTORSIONE NELLA PERCEZIONE DELLO SPAZIO

La presenza di aniseiconia origina una percezione dello spazio distorto, per riuscire a comprenderne il motivo analizziamo la percezione di una retta su un piano frontale in presenza di aniseiconia.

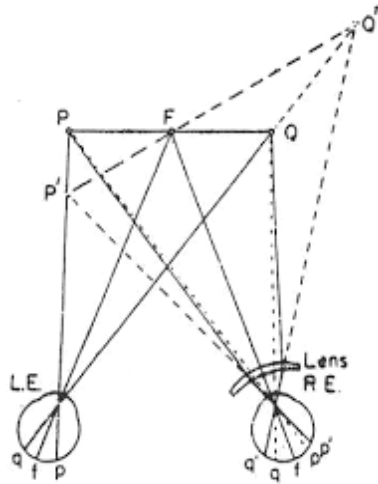


Figura 25. Distorsione spaziale.

Prendiamo in considerazione una retta PQ contenuta in un piano frontale, il punto F, posto al centro, corrisponde al punto di fissazione della visione binoculare. Sulle retine di entrambi gli occhi si formeranno due immagini, rappresentate dai segmenti pq, e il punto medio f sarà localizzato sulla fovea, in figura 27.

La percezione di P e Q si troverà dove le percezioni monoculari di p e q si incrociano.

Supponendo non sia presente aniseiconia, e quindi si tratti di un sistema iseiconico, le percezioni si troveranno proprio dove si trovano i punti P e Q.

Con un sistema ottico posizionato in questo caso all'occhio destro si avrà un aumento dell'immagine retinica destra. La nuova immagine retinica dell'occhio destro è rappresentata dal segmento p' e q' . Le proiezioni monoculari di entrambi gli occhi porteranno alla percezione della retta iniziale nei nuovi punti P' e Q' . Si ha quindi una rotazione del segmento in senso antiorario.

Esiste una correlazione tra aniseiconia, percezione dello spazio ed oroptero, come mostrato nella tabella 2. Il soggetto avrà una rotazione dell'oroptero, in senso opposto a quello della percezione, per cercare di compensare la

ANISEICONIA	PERCEZIONE	OROPTERO
Aniseiconia occhio destro	Percezione nel senso antiorario	Oroptero ruotato in senso orario
Aniseiconia occhio sinistro	Percezione nel senso orario	Oroptero ruotato in senso antiorario

distorsione dello spazio che percepisce. Ad esempio, in presenza di aniseiconia dell'occhio destro la percezione dello spazio sarà spostata in senso antiorario, con lo scopo di compensare la distorsione,

Tabella 2. Tabella riassuntiva della distorsione spaziale. l'oroptero ruoterà in senso orario.

3.4 ANISOMETROPIA

Quando un soggetto presenta diversa ametropia in entrambi gli occhi, nel momento in cui viene compensato, si avranno due immagini retiniche di dimensioni differenti, per cui si verifica aniseiconia acquisita.

La differenza di ametropia in entrambi gli occhi è una delle maggiori cause di insorgenza di aniseiconia. Una condizione refrattiva differente tra i due occhi è definita anisometropia e tale condizione richiede per ogni occhio una compensazione differente. Affidandoci a quest'unica definizione, ogni rifrazione che presenti una differenza tra i due occhi verrebbe catalogata come anisometropia.

Tuttavia solo le condizioni nelle quali la differenza di ametropia tra i due occhi è di almeno 2 D è definita anisometropia. La condizione che presenta una rifrazione simile viene definita isometropia, in tale situazione le conseguenze che derivano da piccole differenze sono di solito poco problematiche, consentendo una visione binoculare completamente normale.

L'anisometropia può essere suddivisa in tre gruppi principale:

- a) Sferica: ci sono differenze solo nel valore della sfera dell'ametropie.

Questa allo stesso modo può essere classificata in:

- a.1) Ipermetropia semplice: un occhio ipermetrope ed uno emmetrope.
- a.2) Ipermetropia composta: entrambi gli occhi ipermetropi, chiamata anche anisoipermetropia.
- a.3) Miopia semplice: un occhio è emmetrope e l'altro è miope.
- a.4) Miopia composta: entrambi gli occhi miopi, chiamata anisomiopia.
- a.5) Mista: un occhio miope e l'altro ipermetrope, chiamata antiametropia.

- b) Astigmatica: la differenza è presente solo nel valore dell'astigmatismo. Può essere suddivisa in:

- b.1) Semplice: un occhio presenta astigmatismo e l'altro no.
- b.2) Composta: entrambi gli occhi presentano astigmatismo.

- c) Sferocilindrica: un occhio presenta componente astigmatica e l'altro occhio una componente sferica.

Le anisometropie sferiche, di solito, danno luogo ad aniseiconia di tipo globale, quelle astigmatiche originano aniseiconia meridionale, le sferocilindriche producono aniseiconia mista.

Ogni ametropia può avere origini diverse, per cui l'anisometropia può essere classificata anche in base alle cause:

- Assiale: entrambi gli occhi presentano la stessa curvatura, ma le loro lunghezze assiali non sono uguali.
- Di curvatura: le lunghezze assiali sono le stesse, ma è differente le curvature delle loro diottrie.
- Mista: vi è la presenza di una componente assiale ed una di curvatura.

Criterio di classificazione	Tipo di Anisometropia	
Secondo la rifrazione	Anisometropia sferica	Ipermetropia semplice
		Ipermetropia composta
		Miopia semplice
		Miopia composta
		Mista
	Anisometropia astigmatica	Semplice
		Composta
	Anisometropia sferocilindrica	
Secondo la natura dell' ametropia	Anisometropia assiale	
	Anisometropia da curvatura	
	Anisometropia mista	

Tabella 3. Tabella riassuntiva dei tipi di anisometropia.

3.4.1 Problematiche rilevate nella neutralizzazione dell'anisometropia.

Utilizzando delle lenti per la correzione dell'anisometropia si generano tre problemi principali per il soggetto:

1. Asimmetria nella richiesta di accomodazione: l'anisometropia influenza l'accomodazione secondo questa formula:

$$A_n = A_0 (1 + \delta_v R)^2$$

dalla formula possiamo dedurre che nel caso esista la correzione con lenti a contatto ($\delta_v = 0$) la differenza accomodativa non è presente. Quando la differenza di rifrazione è superiore a 3D, la differenza della richiesta accomodativa sarà superiore o uguale a 0,25D.

2. Aniseiconia prodotta dalla lente, provocando astenopia e errori di localizzazione spaziale. Le lenti utilizzate per la compensazione hanno potere diverso, per cui producono due immagini retiniche di diverse dimensioni.
3. Anisoforia ottica. Tale termine indica una condizione nella quale il soggetto utilizza le vergenze fusionali di entità diversa nelle varie posizioni di sguardo, per ottenere visione binoculare, tutto ciò a causa della correzione ottenuta con lenti di potere differente. Le lenti con potere differente inducono effetti prismatici in punti equidistanti dai rispettivi centri ottici. Negli spostamenti orizzontali la differenza fra gli effetti prismatici realizza l'effetto di un prisma base nasale o temporale che impegna la convergenza o la divergenza fusionale. L'ampiezza di queste vergenze consiste nel superare l'ostacolo senza nessun inconveniente. Nella lettura o nei movimenti verticali, gli assi visivi attraversano le lenti inferiormente ai centri ottici. Si realizza l'effetto di un prisma a base superiore o inferiore, provocando diplopia verticale la quale può essere compensata da un movimento di divergenza fusionale verticale. Ovviamente, un effetto prismatico il sistema non riesce a compensarlo, per cui si genera una diplopia verticale. In riferimento all'ottica geometrica tutti i raggi che non passano per il centro ottico della lente subiscono una deviazione prismatica, la deviazione è stabilita dalla legge di Prentice:

$$\Delta = h * \varphi$$

dove h (espressa in cm) è la distanza tra raggio e centro ottico e φ è il potere della lente espresso in diottrie.

Per riuscire a compensare all'effetto prismatico indotto dalla lente l'occhio ruota verso l'apice del prisma. La rotazione effettuata dell'occhio può essere misurata in diottrie prismatiche e prende il nome di prisma effettivo, diverso dalla formula di Prentice in quanto viene considerata la distanza di fissazione e la distanza tra la lente e il centro di rotazione oculare: $\Delta' = \frac{\Delta}{1-d(L+\varphi)}$ dove Δ è la formula di Prentice, L è l'inverso della distanza dell'oggetto dal vertice della lente $\frac{1}{x}$, d è la distanza tra vertice della lente e centro di rotazione.

4. METODI COMPENSATIVI DELL'ANISEICONIA

4.1 COMPENSAZIONE CON LENTI OFTALMICHE

Una lente correttiva per essere efficace la si deve valutare anche in funzione della sua posizione rispetto all'occhio e il suo potere cambia se la sua posizione varia. La lente correttiva è data da:

$$f_c = DAC \pm f_a$$

dove f_c è la focale della lente correttiva e f_a è la posizione del PR, DAC è la distanza apice corneale lente; l'inverso delle focali dà il potere:

$$\frac{1}{F_c} = \frac{(1 + A * DAC)}{A}$$

dove F_c è il potere della lente correttrice e A è l'ametropia in diottrie, cioè il potere considerando la lente a contatto con l'occhio, ossia quando DAC = 0.

La formula invertita sarà:

$$F_c = \frac{A}{(1 + A * DAC)}$$

La correzione con lenti oftalmiche porta ad una variazione della dimensione dell'immagine retinica che viene messa a fuoco rispetto a quella sfuocata.

L'ingrandimento dell'immagine può essere calcolato nel seguente modo:

$$I_L = \left\{ \frac{1}{[1 - (t/n)F_1]} \right\} * \left\{ \frac{1}{[1 - (a * F_L)]} \right\}$$

dove F_1 è il potere della superficie anteriore, F_L è il potere frontale posteriore della lente, t è lo spessore centrale della lente, n è l'indice di rifrazione della lente e a è la distanza tra la superficie posteriore lente e la pupilla d'entrata (DAC + 3 mm). Il valore della prima parte della formula è chiamato fattore di forma, a causa della presenza di spessore e curvatura, in genere viene trascurato perché prossimo a 1; il valore della seconda componente è chiamato fattore di potenza.

In una lente oftalmica possiamo controllare il suo spessore volontariamente e riuscire a controllare la dimensione delle immagini oculari prodotte dalla lente, controllando in questo modo la differenza che si produce tra le due immagini oculari.

La compensazione della differenza di grandezza delle immagini può essere ottenuta in diversi modi:

1. Utilizzando una lente iseiconica, ovvero una lente di potenza diottrica nulla, ma che al tempo stesso produce un ingrandimento dell'immagine retinica. Questa lente ha un certo spessore ed è molto curva (a forma di menisco con la convessità sulla faccia anteriore). Con lenti così costruite si può arrivare facilmente ad ingrandimenti di circa il 10%.
2. Quando all'aniseiconia si associa un'ametropia, la potenza della lente dovrà essere diversa da zero, ma con il potere ingrandente richiesto ovvero una lente che, a parità di potere, abbia spessori, materiali e curvature tali da produrre una variazione d'ingrandimento.
3. Utilizzando una lente asferica che, a parità di potere, è costruita con una base frontale più piatta. Più la base si approssima ad 1 (più è piatta) e minore sarà l'effetto ingrandente della lente.
4. Mediante un opportuno montaggio e la scelta di una corretta montatura per sfruttare le variazioni dovute alla distanza apice corneale-lente.

4.1.1 Modifica distanza apice corneale-lente, caso reale.

Consideriamo un soggetto con la seguente rifrazione:

OD: 6,00 D

OS: 2,00 D

d (distanza apice corneale-lente): 14,5 mm

Tra i due occhi è presente una differenza di 4 D di anisometropia, abbiamo quindi una differenza di immagine del 4% (4D di anisometropia per 1%), andiamo a compensare la differenza variando la distanza apice corneale-lente.

In generale sappiamo che in base alla lente utilizzata e se viene avvicina o allontanata all'occhio avremo un effetto diverso:

- Lente negativa: se riduco la distanza l'ingrandimento aumenta, se aumento la distanza l'ingrandimento diminuisce.
- Lente positiva: se riduco la distanza l'ingrandimento diminuisce, se aumento la distanza l'ingrandimento aumenta.

L'ingrandimento in percentuale viene calcolato con la seguente formula:

$$m \% \equiv \frac{V_0(d)}{10}$$

m% è la percentuale d'ingrandimento, V_0 è il potere della lente, d la distanza apice corneale-lente, 10 si ottiene convertendo i metri in millimetri e esprimendo l'ingrandimento in percentuale.

La tabella 4, mostra una percentuale approssimativa dell'ingrandimento, positivo o negativo, in base alla variazione della distanza apice corneale-lente.

	Potere lente (D)					
Distanza apice corneale-lente	1D	2D	4D	6D	8D	10D
1mm	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
2mm	0.2	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0
3mm	0.3	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0
4mm	0.4	0.8	1.6	2.4	3.2	4.0
5mm	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0

Tabella 4. Percentuali approssimative d'ingrandimento, ottenuto con il cambiamento della distanza apice corneale-lente.

Posso ridurre l'ingrandimento portandolo ad un valore di 1,2% e compensare la differenza di immagini retiniche. Modifico, ad esempio, la curvatura della superficie della lente, riducendo la distanza di 3mm, avendo un ingrandimento pari a +1,8% per l'occhio destro e +0,6% per l'occhio sinistro, in riferimento alla tabella 4.

Perciò la differenza è pari a $[+1,8 - (+0,6)] = +1,2$ in riferimento all'occhio destro, proprio come volevamo.

4.1.2 Cambiamento bisello, caso reale

Un soggetto ha la seguente rifrazione:

OD: -8.00 D con bisello centrale OS: -8.00 D, vogliamo compensare la differenza d'ingrandimento variando il bisello. Cambiando il bisello da centrale a $\frac{1}{3} - \frac{2}{3}$ oppure a $\frac{2}{3} - \frac{1}{3}$ si ottiene una variazione dell'ingrandimento.

Un bisello $\frac{1}{3} - \frac{2}{3}$ avvicina la lente all'occhio, mentre un bisello anteriore $\frac{2}{3} - \frac{1}{3}$ allontana la lente dall'occhio, tabella 5.

	Potere D					
Calibro lente mm	-1D	-2D	-4D	-6D	-8D	-10D
36	0.03	0.10	0.22	0.37	0.56	0.77
38	0.03	0.10	0.23	0.40	0.61	0.84
40	0.04	0.10	0.24	0.43	0.67	0.92
42	0.04	0.10	0.25	0.46	0.72	1.05
44	0.04	0.10	0.26	0.49	0.78	1.13
46	0.04	0.11	0.28	0.52	0.82	1.19
48	0.04	0.11	0.29	0.54	0.87	1.26
50	0.05	0.11	0.30	0.57	0.92	1.36
52	0.05	0.11	0.31	0.60	0.96	1.44

Tabella 5. Cambiamento di ingrandimento con la variazione del bisello.

A parità di potere diottrico, regolo il bisello in modo tale che la lente destra sia più vicina all'occhio e la lente sinistra più lontana ottenendo una variazione di ingrandimento del 2% per una montatura con calibro 52mm. L'ingrandimento in percentuale viene calcolato con la seguente formula:

$$m \% \equiv \frac{V_0(d)}{10}$$

Per calcolare lo spessore al bordo si utilizza la seguente formula:

$$2.1 = - \frac{V_{02}h_2}{2(tn)}$$

2.1 è lo spessore al centro della lente misurato in mm, V_0 è il potere della lente al vertice in diottrie, h è il raggio della lente in mm, n è l'indice di rifrazione del materiale della lente meno l'indice di rifrazione dell'aria.

Per una lente negativa la montatura più grande permette di variare il bidello potendo determinare un aumento o una riduzione dell'effetto d'ingrandimento, cosa contraria avviene in una lente positiva.

4.1.3 Modifica della curvatura della lente, caso reale

Un soggetto con la seguente correzione:

OD: +3.00 D la curvatura anteriore della lente è di +7.50mm

OS: +5.00D la curvatura anteriore della lente è di +9.50mm

Per l'occhio destro è necessario un ingrandimento dell'1,5%

	Potere (D)											
Variazione curva base	-10 t=2.1	-8 t=2.1	-6 t=2.1	-4 t=2.1	-2 t=2.1	-1 t=2.1	0 t=2.1	+1 t=2.6	+2 t=3.1	+4 t=4.1	+6 t=5.1	+8 t=7.1
-4	+1.46	+1.04	+0.64	+0.24	-0.16	-0.36	-0.56	-0.90	-1.23	-1.90	-2.56	-3.24
-2	+0.72	+0.52	+0.32	+0.12	-0.08	-0.18	-0.28	-0.45	-0.61	-0.95	-1.28	-1.62
+2	-0.72	-0.52	-0.32	-0.12	+0.08	+0.18	+0.28	+0.45	+0.61	+0.95	+1.28	+1.62
+4	-1.46	-1.04	-0.64	-0.24	+0.16	+0.36	+0.56	+0.90	+1.23	+1.90	+2.56	+3.24
+6	-2.18	-1.56	-0.96	-0.36	+0.24	+0.54	+0.84	+1.35	+1.84	+2.85	+3.84	+4.86
+8	-2.92	-2.08	-1.28	-0.48	+0.32	+0.72	+1.12	+1.80	+2.46	+3.80	+5.12	+6.48

Tabella 6. Variazione dell'ingrandimento in percentuale, con il cambiamento della curvatura della superficie anteriore per vari poteri.

Nella tabella 6 è mostrato di quanto varia l'ingrandimento in percentuale, in funzione del cambio di curvatura e dei vari poteri. Avendo bisogno di un ingrandimento del 1,5% possiamo aumentare la curvatura della lente dell'occhio destro di +4mm, dove l'ingrandimento risulta essere molto prossimo a quello necessario.

In generale per una lente negativa, con gli altri parametri invariati, un aumento della curvatura causa una diminuzione dell'ingrandimento, in quanto il vertice della lente viene allontanato dall'occhio; per una lente positiva un aumento della curvatura anteriore della lente comporta un incremento dell'ingrandimento che viene compensato dal decremento dell'ingrandimento, causato dall'aumento della distanza del vertice.

4.1.4 Modifica dello spessore della lente, caso reale

Un soggetto con una correzione:

OD: plano/ +6.25 mm curva anteriore / 2.1 mm spessore lente

OS: - 2.00D / + 4.50 mm curva anteriore / 2.1 mm spessore lente

Si potrebbe variare l'ingrandimento apportando una modifica allo spessore di una lente con una determinata curvatura anteriore e potere, lasciando gli altri fattori invariati.

Con l'aumento dello spessore della lente si ottiene anche uno spostamento del vertice. Nel nostro caso per l'occhio sinistro è richiesto un ingrandimento

dell'0.75%, e per aumentare l'ingrandimento è necessario aumentare lo spessore.

	Curva base													
Spessore mm	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
-1.5	-0.05	-0.15	-0.25	-0.35	-0.45	-0.55	-0.65	-0.75	-0.85	-0.95	-1.05	-1.15	-1.25	-1.35
-1.0	-0.03	-0.10	-0.17	-0.23	-0.30	-0.37	-0.43	-0.50	-0.57	-0.63	-0.70	-0.77	-0.83	-0.90
-0.5	-0.02	-0.05	-0.08	-0.17	-0.15	-0.18	-0.22	-0.25	-0.28	-0.32	-0.35	-0.38	-0.42	-0.45
+0.5	+0.02	+0.05	+0.08	+0.17	+0.15	+0.18	+0.22	+0.25	+0.28	+0.32	+0.35	+0.38	+0.42	+0.45
+1.0	+0.03	+0.10	+0.17	+0.23	+0.30	+0.37	+0.43	+0.50	+0.57	+0.63	+0.70	+0.77	+0.83	+0.90
+1.5	+0.05	+0.15	+0.25	+0.35	+0.45	+0.55	+0.65	+0.75	+0.85	+0.95	+1.05	+1.15	+1.25	+1.35
+2.0	+0.06	+0.20	+0.33	+0.47	+0.60	+0.72	+0.87	+1.00	+1.13	+1.26	+1.40	+1.52	+1.66	+1.80
+2.5	+0.08	+0.25	+0.42	+0.58	+0.75	+0.92	+1.08	+1.25	+1.41	+1.58	+1.75	+1.92	+2.08	+2.25
+3.0	+0.10	+0.30	+0.50	+0.70	+0.90	+1.10	+1.30	+1.50	+1.70	+1.90	+2.10	+2.30	+2.50	+2.69
+3.5	+0.11	+0.35	+0.58	+0.82	+1.05	+1.28	+1.52	+1.75	+1.98	+2.21	+2.45	+2.68	+2.91	+3.14
+4.0	+0.13	+0.40	+0.67	+0.92	+1.20	+1.46	+1.73	+2.00	+2.26	+2.52	+2.80	+3.06	+3.33	+3.59
+4.5	+0.14	+0.45	+0.84	+1.03	+1.35	+1.65	+1.95	+2.25	+2.54	+2.84	+3.15	+3.48	+3.74	+4.03

Tabella 7. Ingrandimento ottenuto con l'aumento dello spessore in funzione di una specifica curva anteriore.

	Potere della lente (D)										
Spessore (mm)	-10	-8	-6	-4	-2	0	+2	+4	+6	+8	+10
-1.5	+0.75	+0.60	+0.45	+0.30	+0.15	0.0	-0.15	-0.30	-0.45	-0.60	-0.75
-1.0	+0.50	+0.40	+0.30	+0.20	+0.10	0.0	-0.10	-0.20	-0.30	-0.40	-0.50
-0.5	+0.25	+0.20	+0.15	+0.10	+0.05	0.0	-0.05	-0.10	-0.15	-0.20	-0.25
+0.5	-0.25	-0.20	-0.15	-0.10	-0.05	0.0	+0.05	+0.10	+0.15	+0.20	+0.25
+1.0	-0.50	-0.40	-0.30	-0.20	-0.10	0.0	+0.10	+0.20	+0.30	+0.40	+0.50
+1.5	-0.75	-0.60	-0.45	-0.30	-0.15	0.0	+0.15	+0.30	+0.45	+0.60	+0.75
+2.0	-1.00	-0.80	-0.60	-0.40	-0.20	0.0	+0.20	+0.40	+0.60	+0.80	+1.00
+2.5	-1.25	-1.00	-0.75	-0.50	-0.25	0.0	+0.25	+0.50	+0.75	+1.00	+1.25
+3.0	-1.50	-1.20	-0.90	-0.60	-0.30	0.0	+0.30	+0.60	+0.90	+1.20	+1.50
+3.5	-1.75	-1.40	-1.05	-0.70	-0.35	0.0	+0.35	+0.70	+1.05	+1.40	+1.75
+4.0	-2.00	-1.60	-1.20	-0.80	-0.40	0.0	+0.40	+0.80	+1.20	+1.60	+2.00
+4.5	-2.25	-1.80	-1.35	-0.90	-0.45	0.0	+0.45	+0.90	+1.35	+1.80	+2.25

Tabella 8. Ingrandimento ottenuto con l'aumento dello spessore in funzione di un determinato potere.

Attenendoci alle tabelle 7 e 8 sappiamo che per un aumento di +2.00 mm di spessore, su una curva di +4.50mm, si avrà approssimativamente un ingrandimento di + 0.60% e l'aumento di +2.00mm di spessore per una lente di -2.00D di potere, crea un ingrandimento di -0.20%.

Effettuando la differenza tra i due valori di ingrandimento $[+0.60 - (-0.20)] = 0.80\%$, otteniamo un valore di ingrandimento quasi uguale a quello che cercavamo.

L'aumento dello spessore può creare riflessione interna indesiderata, per cui è utilizzato un trattamento antiriflesso, soprattutto in spessori che vanno da 2.6 mm a 3.1 mm, avendo un notevole miglioramento della lente iseiconica. Considerando anche un fattore estetico, dove la differenza di spessore può risultare un problema, si consiglia una montatura in acetato di cellulosa che permettono di nascondere la differenza di spessore delle due lenti.

Nella tabella 9 sono indicati tutti gli effetti prodotti dalle variazioni dei parametri sull'ingrandimento dell'immagine.

	Lente negativa forte	Lente negativa debole	Lente positiva debole	Lente positiva forte
Distanza vertice				
Più lontano	Diminuisce	Piccolo effetto	Piccolo effetto	Aumenta
Più vicino	Aumenta	Piccolo effetto	Piccolo effetto	Diminuisce
Bisello				
Avanti	Aumenta	Piccolo effetto	Piccolo effetto	Diminuisce
Indietro	Diminuisce	Piccolo effetto	Piccolo effetto	Aumenta
Superficie frontale				
Più curva	Piccola diminuzione	Aumenta	Aumenta	Aumenta
Più piatta	Piccolo aumento	Diminuisce	Diminuisce	Diminuisce
Spessore				
Più spesso	Aumenta	Aumenta	Aumenta	Aumenta
Più sottile	Diminuisce	Diminuisce	Diminuisce	Diminuisce

Tabella 9. La tabella mostra come le variazioni dei parametri delle lenti influenzano l'ingrandimento dell'immagine.

4.2 COMPENSAZIONE CON LENTI A CONTATTO

Le lenti a contatto sono mezzi ottici in materiale plastico, hanno la forma di una calotta trasparente e vengono applicati sulla superficie oculare. Come già detto in precedenza l'ingrandimento di potenza dipende dalla distanza apice corneale-lente e dal potere del vertice posteriore della lente:

$$I_p = \frac{1}{(1 - dF_l)}$$

Con l'utilizzo delle lenti a contatto si ha l'azzeramento della distanza apice corneale-lente, riportando alla normalità la grandezza delle immagini retiniche di entrambi gli occhi.

Inoltre le lenti a contatto riduce la differenza di effetto prismatico prodotto dalle lenti oftalmiche in quanto l'asse visivo delle lenti coincide sempre con il centro ottico della lente a contatto. Utilizzando lenti a contatto possiamo avere un miglioramento dell'efficacia correttiva, minimi effetti prismatici e un maggior campo visivo.

CONCLUSIONI

L'aniseiconia risulta essere una delle cause più frequenti dell'anisometropia, per cui il metodo correttivo ha due scopi principali: indurre una minima aniseiconia, ossia arrivare alla percezione di immagini corticali, non solo retiniche, simili; e moderare la differenza tra le correzioni tra i due occhi, per riuscire a ridurre gli effetti indotti dalle lenti, come effetti prismatici, differenza forma lenti o la loro posizione.

Come visto nell'elaborato, la correzione dell'aniseiconia può avvenire con l'utilizzo di lenti oftalmiche, lenti a contatto, o con lenti iseiconiche con la funzione di modificare le dimensioni dell'immagine retinica, la scelta sul tipo di sistema correttivo dipende dalla natura dell'aniseiconia.

Secondo la legge di Knapp quando l'aniseiconia è prodotta da una differenza ametropia di tipo assiale con la correzione con occhiali riesce a realizzare due immagini simili. Le lenti riescono ad ingrandire o ridurre le immagini, più piccole per l'ipermetropia assiale e più grandi per la miopia assiale. L'ametropia assiale è probabile se la curvatura corneale dei due occhi è simili ma si ha una differenza di ametropia di almeno 4D.

Se la causa dell'aniseiconia è refrattiva la lente correttiva va posizionata più vicino possibile ai punti nodali per evitare variazioni dell'immagine retinica, le lenti correttive più utilizzate in questi casi sono le lenti a contatto.

La correzione con occhiali di un'anisometropia refrattiva causa una differenza teorica nelle immagini retiniche del 1,4%, se invece è di tipo assiale l'aniseiconia è di 0,25%.

La legge di Knapp ha però dei limiti, in quanto l'ametropia può essere sia assiale che refrattiva, quindi mista, e nell'anisomiopia di tipo assiale corretta con occhiali rimane un'aniseiconia residua, che risulta essere minore con l'utilizzo di lenti a contatto.

In conclusione, tramite la valutazione di alcuni esempi pratici, le lenti a contatto risultano essere la soluzione efficace per ridurre l'effettiva differenza di dimensione delle immagini retiniche, consentendo la fusione e di conseguenza una buona funzionalità della visione binoculare.

Non sempre però le lenti a contatto possono essere utilizzate, infatti nell'elaborato sono riportati casi su come adattare le lenti correttive, apportando le dovute modifiche.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

1. Carelli P., *Dispense lezioni di tecniche fisiche per l'optometria*
2. Merola L., *Sperimentazione di fisica: ottica*, Napoli, Liguori editore, 2004
3. Lupelli L., et al., *Contattologia. Una guida clinica*, Palermo, Medical Books, 2004
4. Rossetti A., Gheller P., *Manuale di optometria e contattologia*, Zanichelli
5. Paliaga G.P., *I vizi di refrazione*, Torino, Minerva medica, 2008
6. https://www.researchgate.net/publication/309642271_II_ANISEICONIA_DETECCION_Y_MEDIDA_Aniseiconia_II
7. <https://ocw.upc.edu/sites/all/modules/ocw/estadistiques/download.php?file=37015/2010/1/52899/35173-4331.pdf>
8. http://boccignone.di.unimi.it/PMP_2014_files/Lez10PMP_Occhio.key.pdf