

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Fisica e Astronomia “Galileo Galilei”

Corso di Laurea in Ottica e Optometria

TESI DI LAUREA

***Bilanciamento accomodativo binoculare per stimoli
visivi isoaccomodativi in condizioni ambientali***

Relatore: Prof. Rossetti Anto

Laureando: Tosolini Gianmarco

Matricola: 1080367

Anno Accademico 2016/2017

*Alla mia famiglia, ai miei amici
ed a chi mi ha sempre sostenuto.*

Indice

Abstract	3
Capitolo 1: Le strutture coinvolte nel processo accomodativo	5
1.1 Cristallino	5
1.2 Corpo ciliare	7
Capitolo 2: L'accomodazione	9
2.1 Componenti dell'accomodazione	9
2.2 Fisiologia del processo accomodativo	10
2.3 Risposta accomodativa per stimoli a distanza e prossimali	12
2.4 Sequenza biomeccanica dell'accomodazione	13
2.5 L'accomodazione durante l'arco vitale	13
Capitolo 3: Fattori di influenza	15
3.1 Fattori patologici di influenza	15
3.2 Fattori di influenza funzionali	15
3.3 Visione in condizione di aniso-accomodazione	17
Capitolo 4: Accomodazione e test clinici	21
4.1 Valutazione della funzione accomodativa	21
4.1.1 Ampiezza accomodativa	21
4.1.2 Flessibilità accomodativa	23
4.2 Valutazione della risposta accomodativa	25
4.2.1 Retinoscopia dinamica	25
4.2.2 Cilindro crociato binoculare	26
4.3 Relazione tra accomodazione e convergenza	27
Capitolo 5: Lo studio	29
5.1 Scopo	29
5.2 La scelta del campione	29
5.3 Materiali e metodi	30
5.4 Risultati	37

5.5 Discussione e Conclusioni	46
Schede	49
Appendice A	49
Scheda di valutazione	49
Appendice B	50
Mira retinoscopia dinamica	50
Appendice C	51
Mira J2 per ampiezza accomodativa	51
Bibliografia	53
Ringraziamenti	59

Abstract

INTRODUZIONE: In condizioni fisiologiche la risposta accomodativa per stimoli equivalenti è considerata uguale nei due occhi. Questo studio ha lo scopo di verificare, in una popolazione di studenti in condizioni fisiologiche se è presente tale equilibrio di risposta, utilizzando stimoli con uguale richiesta accomodativa e test ambientali ovvero che tendono a ricreare condizioni visive il più possibile naturali.

METODI: Sono stati reclutati ed esaminati 41 studenti in condizioni fisiologiche di età compresa tra i 20 e 25 anni. I candidati sono stati sottoposti ad un'anamnesi preliminare. Successivamente è stata verificata la condizione refrattiva, lo stato di bilanciamento della correzione a distanza e la dominanza spaziale. A distanza prossimale invece è stato verificato lo stato di bilanciamento, la percezione soggettiva dei campi monoculari del test di bilanciamento, la risposta accomodativa in retinoscopia dinamica, la dominanza spaziale prossimale e alla fine l'ampiezza accomodativa. Infine, dopo una revisione dei dati raccolti, è stato selezionato un gruppo di 28 persone suddivisi in tre sottogruppi di percezione soggettiva rilevata al test del bilanciamento.

RISULTATI: Nel gruppo selezionato il 46% dei soggetti presenta una focalizzazione asimmetrica di varia entità. Il 71% dei soggetti che presenta una percezione soggettiva uguale mostra un'iso-risposta accomodativa mentre il grosso dei due gruppi con percezione soggettiva preferenziale risponde in modo anomalo ovvero la risposta accomodativa non concorda con la percezione. Inoltre è stato verificato tramite un test di verifica di ipotesi che un soggetto con una percezione soggettiva uguale possiede, in media, una risposta accomodativa significativamente diversa rispetto ad un soggetto che presenta una percezione soggettiva preferenziale. In fine non è stato rilevato il "ruolo guida" nella risposta accomodativa da parte dell'occhio dominante mentre potrebbe esserci una relazione tra percezione soggettiva e dominanza.

CONCLUSIONI: L'accomodazione è un processo dinamico soggetto a fluttuazioni variabili nel tempo e che potrebbe essere influenzato da vari fattori di natura non prettamente visiva. Tuttavia da questo studio è emerso che in alcuni casi potrebbe essere presente una differente risposta accomodativa la quale potrebbe far fronte a varie esigenze. Infine, se è presente una percezione soggettiva preferenziale, essa, non è sempre prova attendibile della risposta accomodativa soggettiva.

CAPITOLO 1

LE STRUTTURE COINVOLTE NEL PROCESSO ACCOMODATIVO

L'accomodazione è definita come “un aggiustamento del potere refrattivo dell'occhio. Questa variazione è generalmente involontaria ed è programmata per mettere a fuoco gli oggetti ad ogni distanza. Negli esseri umani questa variazione di potere è attribuita ad una variazione nella forma del cristallino (Millodot M., 2004).”

Le strutture coinvolte in tale processo sono visibili in Figura 1 ed elencate e descritte in seguito:

- A. Cristallino
- B. Corpo ciliare
- C. Zonula di Zinn

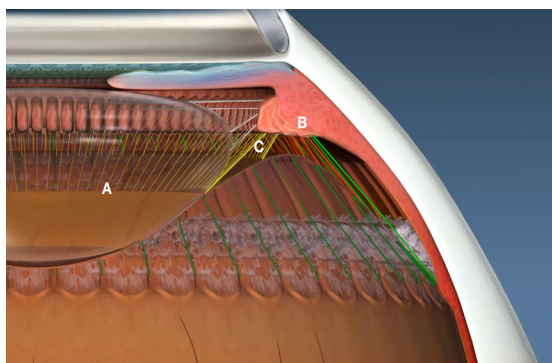


Figura 1

1.1 Cristallino

Il cristallino (Fruscella, 2007) è una lente biconvessa, trasparente ed avascolare, situata tra iride e corpo vitreo. La faccia anteriore del cristallino è in contatto con l'epitelio pigmentato dell'iride e presenta un raggio di curvatura, in condizioni non accomodate, di circa 12,8 mm mentre la faccia posteriore con un raggio di curvatura di 7,7 mm confina con la ialoide anteriore. Il diametro equatoriale è di 6.5mm alla nascita e raggiunge circa i 9 mm all'età di 15 anni mentre il diametro antero-posteriore è di 3.5 mm fino ad arrivare a circa 5 mm in età adulta. Il peso della lente varia dai 60 mg in età natale fino 250 mg all'età di 80 anni. Esso fornisce circa 1/3 del potere totale dell'occhio, circa 20 D in situ e presenta un diverso indice di rifrazione che varia aumentando verso il centro della lente con un indice al nucleo pari a $n_{\text{nucleo}}=1.406$. È possibile schematizzarlo come una lente a gradiente d'indice,

meno rifrangente in periferia. Queste due caratteristiche consentono di moderare l'aberrazione sferica.

Il cristallino lo possiamo suddividere in vari strati, partendo dall'esterno troviamo:

- La *capsula o cristalloide* che lo riveste completamente è formata da una membrana trasparente ed elastica più spessa nella porzione anteriore. Questo strato non contiene fibre elastiche e la sua elasticità è attribuibile alla particolare disposizione delle fibre di cui è composto. Inoltre funge da barriera ed impedisce a grandi molecole, quali emoglobina ed albumina, di penetrare all'interno della lente.
- L'*epitelio germinativo* è costituito da un mono strato di cellule cuboidali posizionate esclusivamente sotto la capsula anteriore. Tali cellule possiedono un nucleo centrale ed un citoplasma provvisto di ribosomi, apparato di Golgi e mitocondri. Proliferano per suddivisione mitotica successivamente si allungano e iniziano a migrare verso l'equatore. Durante questo processo di maturazione, il citoplasma perde la sua forma, il nucleo si frammenta per poi scomparire e la cellula acquista l'aspetto di una fibra lenticolare. Le nuove fibre vengono ad apporsi alle fibre più vecchie costituendo una struttura a strati concentrici.
- Le *fibre lenticolari* originano dall'epitelio germinativo, quelle più interne andranno a formare il nucleo mentre quelle più esterne costituiscono la corticale del cristallino. A seconda del periodo di formazione di queste fibre possiamo distinguere il nucleo embrionale, il nucleo infantile ed il nucleo adulto. In un attento esame con la lampada a fessura è possibile distinguere, nella zona centrale, tre linee raggiate a forma di Y dritta anteriormente e posteriormente una Y rovesciata. Tali linee corrispondono ai punti di inserzione delle fibre lenticolari più vecchie. In un soggetto giovane non esiste una netta differenziazione tra nucleo e la corticale tuttavia con la crescita, diverrà sempre più evidente sino ai 40-50 anni dove inizierà un processo di sclerosi delle fibre nucleari le quali assumeranno gradualmente una colorazione giallastra dovuta all'accumulo di pigmento urocromo.

Il cristallino è mantenuto in sede da un anello sospensorio, detto anche *Zonula di Zinn*, costituito da sottilissime fibrille tese tra il corpo ciliare e l'equatore del cristallino.

1.2 Corpo ciliare

Il corpo ciliare (Pivetti Pezzi P., 2007) è una struttura che si estende tra iride e la coroide, possiede una forma triangolare con base rivolta verso la radice iridea e lo sperone sclerale mentre l'apice è rivolto verso l'ora serrata. Il terzo anteriore di tale struttura definisce la *pars plicata* che si estende per 2 mm e comprende il muscolo ciliare ed i processi ciliari, mentre i due terzi posteriori, circa 4 mm, costituiscono la *pars plana*, un'area di transizione piatta che si estende verso la corioretina.

Nel processo accomodativo la porzione coinvolta maggiormente è quella della *pars plicata*. Il muscolo ciliare è situato tra sclera e processi ciliari ed è formato da fibre muscolari lisce a decorso longitudinale situate esternamente che si inseriscono nello sperone sclerale mentre più internamente troviamo le fibre radiali e circolari. Detto muscolo presenta un'innervazione a maggioranza parasimpatica, le fibre pre-gangliari originano dal mesencefalo più precisamente dal nucleo visceromotorio accessorio parasimpatico mesencefalico di *Edinger-Westphal*. Da qui proseguono fino al ganglio ciliare, localizzato tra il nervo ottico ed il muscolo retto laterale, dove originano i nervi ciliari brevi, fibre post gangliari, che andranno ad innervare il muscolo ciliare ed il muscolo sfintere della pupilla.

I processi ciliari costituiscono una corona radiale costituita da 80 pieghe riccamente vascolarizzate che protrudono per 360° in camera posteriore. A livello degli avvallamenti dei processi ciliari si inseriscono le fibrille zonulari che connettono il muscolo ciliare all'equatore del cristallino. Si possono distinguere due tipologie di fibrille: quelle che originano in corrispondenza della *pars plana* posteriore e si portano in avanti ancorandosi prevalentemente nella faccia anteriore (sino ad 1.5mm dall'equatore) e quelle che originano dai processi ciliari e si inseriscono sulla faccia posteriore sino ad 1.5mm dall'equatore. Tali fibrille si incrociano formando uno spazio triangolare detto canale di Petit.

Il corpo ciliare oltre ad essere una struttura fondamentale implicata nella biomeccanica del processo accomodativo, presenta anche una funzione trofica attraverso la produzione dell'umore acqueo, il quale contribuisce al nutrimento del cristallino.

CAPITOLO 2

L'ACCOMODAZIONE

2.1 Componenti dell'accomodazione

L'accomodazione si può suddividere in unità funzionali, più precisamente in quattro componenti, successivamente elencate in ordine di influenza (Ciuffreda K. J., 2006):

- *Accomodazione riflessa.* È probabilmente la componente più cospicua ed importante, agisce come “un’autofocus” del sistema refrattivo per ottenere e mantenere un’immagine retinica nitida ed a fuoco. Si presenta per stimoli di sfuocamento, mono o binoculari, fino a circa 2D. Contemporaneamente sono presenti dei movimenti micro-saccadici, utili forse a produrre più immagini retiniche a gradiente di luminanza attorno alla fovea da cui l’informazione di sfocatura può essere più facilmente estratta.
- *Accomodazione prossimale.* Questa componente è indotta dalla coscienza di prossimità. È stimolata da target posizionati entro i 3 m dal soggetto. In condizioni di *open-loop* come ad esempio in assenza di stimoli può contribuire per l’80% della risposta accomodativa totale, tuttavia in condizioni di visione normale, *closed-loop*, il contributo si riduce ad un 4% massimo 10% in quanto subentra uno stimolo di vergenza ottica (sfuocamento).
- *Accomodazione di convergenza.* Rappresenta la componente indotta dall’innato collegamento neurologico presente tra convergenza ed accomodazione. Questa componente è misurabile attraverso il rapporto *convergenza accomodativa/convergenza CA/C* il quale risulta essere circa di 0.4Δ per D di accomodazione.
- *Accomodazione Tonica.* Si manifesta in assenza di mira focalizzabile e stimolo di vergenza ottica, quindi si può dire che è innescata quando non c’è uno specifico stimolo che inneschi accomodazione. Probabilmente riflette l’innervazione neurale di base del mesencefalo risultando così relativamente stabile. È possibile quantificarla posizionando il soggetto al centro di una stanza totalmente buia le cui pareti distino almeno 3 m dalla

persona. Il dispositivo di misurazione deve essere posto lontano e non deve essere visibile alla persona così da evitare eventuali stimolazioni date da sensazioni di prossimità che possono alterare la misurazione. Sotto queste condizioni, il livello medio di accomodazione tonica in giovani adulti è approssimativamente di 1.00 D, con un *range* variabile da 0 a 2.00 D. Questa misurazione richiede particolari cautele per le varie influenze che subisce.

2.2 Fisiologia del processo accomodativo

Come precedentemente detto lo scopo del sistema accomodativo è quello di mantenere un'immagine retinica nitida di un oggetto a seconda della distanza di localizzazione. Alcuni studi mostrano come il cervelletto svolga importanti ruoli, come facilitare la previsione della posizione dell'oggetto di interesse ed agire come "calibro" per assicurare una coerenza nella precisione di risposta (Ciuffreda K. J., 2006). Tuttavia il controllo accomodativo origina a livello corticale mediante le funzioni complesse di riconoscimento dell'oggetto d'interesse, della sua posizione e della sua frequenza spaziale. Quest'ultima è di enorme interesse clinico in quanto la presenza di alte frequenze spaziali influenza la precisione di risposta accomodativa.

Il processo accomodativo viene attivato da almeno tre stimoli (Rossetti, 2003):

- *Sfuocamento* dell'immagine retinica, esclusivamente per i coni
- *Aberrazione cromatica oculare* in quanto in assenza di essa la risposta accomodativa si riduce
- *Coscienza di prossimità* dell'oggetto e della sua grandezza

Altri fattori che possono influenzare l'accomodazione sono:

- *L'aberrazione sferica*
- *Microfluttuazioni accomodative* ovvero rapidi e piccoli cambiamenti di potere (0.10-0.50 D) che causano piccoli cambiamenti di defocus retinico rilevati dal sistema di controllo accomodativo sensoriale utili a fornire un feedback negativo al fine di mantenere il livello di risposta accomodativa (Chu R., 2010). In assenza di queste micro oscillazioni come ad esempio in presenza di un'immagine staticamente a fuoco, l'accomodazione risponderebbe andando verso la posizione tonica (Rossetti, 2003)

- Gli *indicatori di tridimensionalità* come la disparità binoculare retinica, texture, la prospettiva, la dimensione retinica, l'altezza relativa, l'occlusione, i movimenti parallattici, l'ombreggiatura.

La sequenza sensorio-motoria dell'accomodazione può essere così semplificata (Ciuffreda K. J., 2006):

- a. Lo sfuocamento dell'immagine retinica stimola i coni
- b. I segnali di sfuocamento vengono sommati e trasmessi al corpo genicolato attraverso lo strato magnocellulare fino alla corteccia visiva
- c. La sommazione delle risposte delle cellule corticali formulano un segnale sensoriale di sfuocamento
- d. Tale segnale viene trasmesso all'area perieto-temporale e al cervelletto per l'elaborazione e la diffusione dell'informazione
- e. I segnali sopra-nucleari giungono al mesencefalo esattamente presso i nuclei oculomotori e al nucleo accessorio di Edinger-Westphal dove viene formulata la stimolazione motoria efferente
- f. Il comando motorio viene trasmesso attraverso il nervo oculomotore (III N. C) passando attraverso il ganglio ciliare e successivamente attraverso i nervi ciliari brevi giunge al muscolo ciliare
- g. A livello del muscolo ciliare avviene una variazione nella contrazione delle fibre muscolari
- h. Il cristallino cambia la sua forma affinché l'immagine retinica venga messa a fuoco
- i. In concomitanza a tale processo avvengono i vari movimenti oculari (fissazione, convergenza), per evitare diplopia.
- j. Segue la miosi pupillare che determina un aumento della profondità di fuoco riducendo le aberrazioni monocromatiche indotte dalla variazione di forma della lente. La miosi pupillare si innesca durante la visione prossimale in quanto lo sfintere pupillare è innervato dall'oculomotore e le fibre pre-gangliari originano, come per l'innervazione del muscolo ciliare, dal nucleo accessorio di Edinger-Westphal.

L'insieme dei processi di accomodazione, convergenza e miosi viene definita triade accomodativa o sincinesia (Fruscella, 2007).

2.3 Risposta accomodativa per stimoli a distanza e prossimali

Convenzionalmente, a livello teorico, la risposta accomodativa è considerata uguale all'inverso della distanza dello stimolo. Tuttavia misurando clinicamente la risposta accomodativa si osserva un errore di focalizzazione proporzionale all'input visivo. Quindi, aumentando la stimolazione prossimale aumenta anche questo errore che tuttavia non viene percepito in quanto cade all'interno dell'intervallo di profondità di campo e di fuoco. Clinicamente si osserva che la risposta è pari al minimo necessario per portare l'immagine retinica appena all'interno della profondità di fuoco dell'occhio, riuscendo ad ottenere un'immagine retinica chiara, nitida e ad alto contrasto. Questa ipo-accomodazione, raffigurata in Figura 2a, è definita *lag accomodativo* (Ciuffreda K. J., 2006).

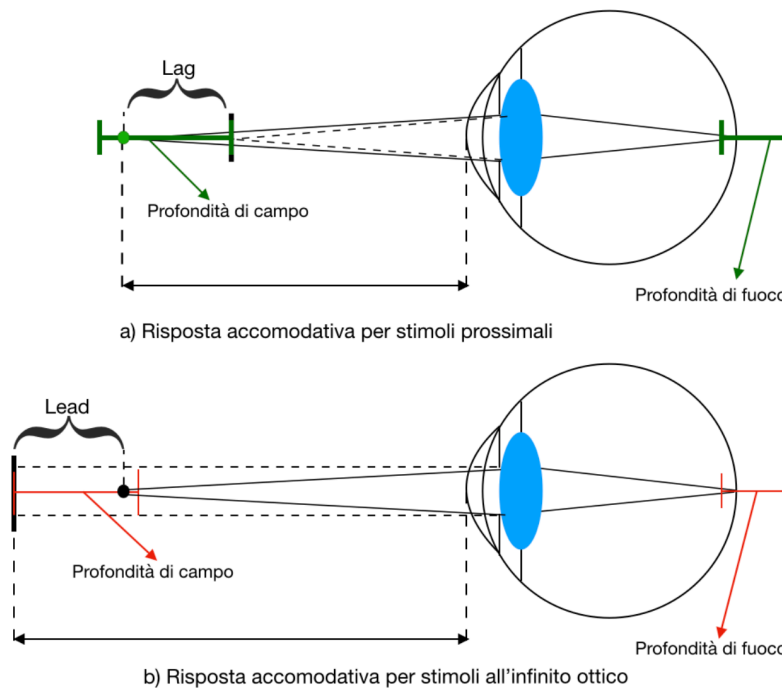


Figura 2: a) risposta accomodativa in visione prossimale

b) risposta accomodativa per stimoli a distanza.

Per stimolazioni a grande distanza invece, la risposta accomodativa risulta essere leggermente superiore di circa 0.25-0.33D. In questo caso il sistema “*disaccomoda*” del minimo necessario per posizionare l'immagine appena all'interno del bordo distale della profondità di fuoco. Tale errore è raffigurato in Figura 2b e definisce il *lead accomodativo* (Ciuffreda K. J., 2006).

2.4 Sequenza biomeccanica dell'accomodazione

Dopo aver visto i vari passaggi che portano al processo accomodativo di seguito verranno descritti i cambiamenti biomeccanico-anatomici delle strutture coinvolte nel processo.

Quando l'impulso neurale giunge al muscolo ciliare avvengono diverse variazioni anatomiche dovute alla contrazione del muscolo stesso. Più nello specifico la contrazione del muscolo comporta uno spostamento anteriore del corpo ciliare il quale si porta verso l'interno diminuendo il proprio diametro. Il cristallino avanza leggermente assieme al muscolo ciliare mentre la coroide si stira per trazione delle fibre zonulari posteriori. I filamenti zonulari anteriori iniziano a diminuire la loro tensione sino a rilassarsi e grazie probabilmente alle proprietà della capsula e del cristallino in sé avviene un aumento della curvatura della lente. In concomitanza a questa variazione di curvatura, diminuisce il diametro equatoriale. Il raggio di curvatura della zona centrale della superficie anteriore, varia sensibilmente a seconda dell'entità della risposta mentre il raggio di curvatura posteriore varia in modo ridotto. Infine lo spessore centrale aumenta e l'intero cristallino, sotto la forza di gravità, si abbassa di poco. Va fatta un'importante osservazione, i cambiamenti sequenziali di base biomeccanici ed anatomici che avvengono durante l'accomodazione vedono come unico elemento attivo il muscolo ciliare, tutti gli altri elementi variano in modo passivo. L'intero meccanismo accomodativo, dall'applicazione dello stimolo alla risposta completa, avviene approssimativamente in 1 secondo (Ciuffreda K. J., 2006).

2.5 L'accomodazione durante l'arco vitale

La capacità accomodativa varia durante l'arco vitale. Durante il primo mese risulta essere relativamente fissa a 5.00 D. Dai tre mesi inizia ad essere sempre più accurata, rapida quasi quanto quella di un adulto e si considera che dal quarto mese sia presente una risposta legata allo sfuocamento dell'immagine retinica dovuta allo sviluppo dell'area maculare. Non sono presenti studi attendibili per quanto riguarda lo sviluppo accomodativo in età compresa tra 1 e 4.5 anni in quanto i bambini in questo range d'età sono difficili da valutare per motivi di scarsa attenzione, collaborazione e comprensione della procedura dei vari test. La maggior parte dell'attività visiva del bambino è a distanza ravvicinata e man mano che si espande

lo spazio di interesse, il bambino sarà in grado di interpretare sempre più precisamente le distanze, migliorando sempre di più la precisione dell'accomodazione (Currie D. C., 1997). Dopo i 5 anni sono stati condotti studi che dimostrano un'ampiezza accomodativa maggiore (la quale decresce progressivamente all'aumentare dell'età), un lag accomodativo che mostra un aumento lento ma progressivo fino ai livelli di un adulto ed infine la flessibilità accomodativa aumenta progressivamente sino ai 12 anni dove i bambini rispondono più o meno allo stesso modo di un adulto. L'ampiezza accomodativa si riduce, gradualmente da 5 anni sino a 52 anni di circa $0.30 D/anno$ sino ad arrivare ad un valore inferiore alle 4D all'età di 40-45 anni dove il soggetto diviene presbite; questa progressiva perdita di ampiezza accomodativa fisiologica è probabilmente dovuta alle limitazioni biomeccaniche del cristallino (Ciuffreda K. J., 2006). Il grafico in Figura 3 rappresenta la variazione di ampiezza accomodativa in funzione dell'età estrapolato dallo studio dell'oftalmologo americano A. Duane che esaminò circa 2000 soggetti di età compresa tra 8 e 72 anni (Duane A., 1922)

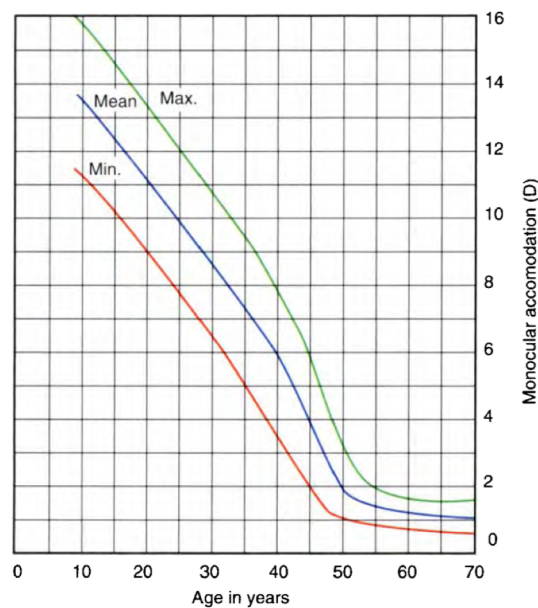


Figura 3: grafico raffigurante la variazione dell'ampiezza accomodativa monolare in funzione dell'età. La misura è stata rilevata dal piano dell'occhiale (Ciuffreda K. J., 2006)

CAPITOLO 3

FATTORI DI INFLUENZA

3.1 Fattori patologici di influenza

Esistono varie patologie causa di alterazioni nella risposta accomodativa come il glaucoma o il diabete (Ball, 1952). Tra le patologie o alterazioni fisiologiche che invece portando ad una differente risposta accomodativa nei due occhi troviamo:

- oftalmoplegia interna causata dalla sifilide (Charman W. M, 1998)
- paralisi del terzo nervo cranico (nervo oculomotore), è una rara condizione nel quale l'accomodazione non risponde alla stimolazione e può essere causata da molteplici fattori come traumi malattie sistemiche intossicazioni (Burns C. R., 2011) (Millodot M., 2004)
- danni alla porzione cervicale del sistema nervoso simpatico (Ball, 1952)
- paralisi cerebrali (Saunders, 2009)
- ambliopia funzionale (Scheiman M., 2014)
- una non uniforme sclerosi del cristallino (Marran L., 1999)

Oltre a queste condizioni è possibile rilevare una risposta accomodativa alterata da farmaci di utilizzo più o meno frequente. Tra queste sostanze troviamo (Smith J. L., 1999):

- alcune molecole utilizzate per farmaci antipsicotici
- alcune molecole utilizzate per farmaci antidepressivi
- farmaci anticolinergici

3.2 Fattori di influenza funzionali

Di interesse optometrico invece, sono presenti dei disordini di tipo funzionale che possono presentarsi in assenza di patologie proprie e che sono caratterizzati da un'alterata risposta accomodativa come ad esempio:

- *eccesso accomodativo*, caratterizzato da un eccesso nella risposta accomodativa rispetto alla stimolazione e successivamente da una difficoltà nel rilassamento dell'accomodazione. L'eccesso accomodativo è la forma più lieve di sovra stimolazione la quale può evolvere in una forma più

severa chiamato spasmo accomodativo (Scheiman M., 2014).

- *insufficienza accomodativa*, presente quando l'ampiezza accomodativa risulta essere inferiore al valore atteso per l'età del soggetto calcolabile con la formula di Hofstetter $15 - (0.25 \times \text{età})$ (Scheiman M., 2014). Uno stadio primitivo, secondo Duane (Duane A., 1915), di insufficienza accomodativa è definito come "accomodazione mal sostenuta" caratterizzato da un'ampiezza accomodativa normale rilevata durante i test che tuttavia deteriora nel tempo.
- *inerzia accomodativa*, si verifica quando vi è un ritardo di messa a fuoco o un rallentamento nella messa a fuoco al variare della distanza di osservazione (Burns C R., 2011).

Alterare la visione può dare risposte massicciamente anomale in qualche soggetto. In letteratura sono stati evidenziati due casi. Nel primo, il soggetto presentava un quadro normale in visione binoculare ma, non appena questa veniva meno, si manifestava uno spasmo accomodativo. Dall'anamnesi non è stato rilevato alcun tipo di trauma o patologia oculare o sistemica pregressa e dopo un'accurata indagine visiva si è stabilito che tale spasmo veniva innescato ogni volta che uno dei due occhi veniva sottoposto ad annebbiamento ottenuto sia con lenti positive sia con filtri che riducevano la trasmissione luminosa (Faucher C., 2004). Il secondo caso evidenziato in letteratura riporta la storia di una bambina di otto anni che presentava mal di testa e un'acuità prossimale alterata. Dall'anamnesi non è stato evidenziato alcun tipo di trauma o patologia sistemica o oculare presente o pregressa. La bambina inoltre presentava deficit stereoscopici, nella percezione del colore ed una scadente acuità prossimale nonostante la giovane età. Dopo varie analisi le è stata diagnosticata la sindrome di Streff. Questa sindrome si presenta come un'ambliopia involontaria che colpisce i giovani e che è appunto caratterizzata da un'acutezza visiva ridotta da vicino, anche in assenza di errori refrattivi o patologie e si crede che sia causata da uno stress dovuto al lavoro prossimale e/o da problemi di tipo familiare (Frenkel B., 2016).

3.3 Visione in condizione di aniso-accomodazione

Considerando che i muscoli intra-oculari di entrambi gli occhi siano stimolati da segnali provenienti dal mesencefalo ed assumendo che l'innervazione dei muscoli ciliari sia simmetrica, ogni variazione accomodativa che si verifica risulterà equivalente in entrambi gli occhi (Chen C., 2015). A sostegno di questa simmetria di stimolazione e della presenza di un centro di controllo comune responsabile dell'eguale innervazione neurale dei muscoli ciliari di entrambi gli occhi, sono presenti delle evidenze che dimostrano (Marran L., 1998) :

- la presenza di microfluttuazioni accomodative nei due occhi, correlate in fase ed ampiezza che si verificano durante una stimolazione accomodativa stazionaria
- in assenza di stimoli, lo stato di riposo del sistema accomodativo dei due occhi è strettamente collegato.
- la risposta accomodativa in condizioni di monoculari è strettamente collegata a quella dell'occhio vedente.

Tuttavia in letteratura sono presenti studi che evidenziano delle piccole differenze nella risposta accomodativa, maggiore nell'occhio dominante, di circa 0.12 D a (Chen C., 2015). Sono state avanzate delle ipotesi sulla co-esistenza di un'innervazione indipendente utile ad un controllo accomodativo autonomo nei due occhi (Rosenfield M., 2009).

Questa capacità aniso-accomodativa consentirebbe una maggior precisione di messa a fuoco da vicino o a distanze intermedie in condizioni binoculari dove è presente una stimolazione accomodativa differente per i due occhi.

Una condizione nella quale è presente una diversa stimolazione accomodativa è la presenza di anisometropia non corretta, ovvero quando i due occhi possiedono un potere refrattivo diverso. Infatti in presenza di anisometropie abbiamo (Rabbets R.B, 2007):

- difetti prismatici diversi nei due occhi se il soggetto è corretto con l'occhiale
- differenti ingrandimenti nell'immagine retinica
- differente ammontare di accomodazione teoricamente richiesta

La differenza della risposta accomodativa nei due occhi per diottria di

anisometropia non corretta varia da 0.05 D nel caso di miopia elevata a 0.12 nell'ipermetropia ma i valori più frequentemente rilevati sono dell'ordine di 0.07-0.08 D per diottria di anisometropia. Questo vuol dire che per 3D di anisometropia è presente una differenza accomodativa dell'ordine di 0.25 D (Rabbets R.B, 2007). Sono stati effettuati studi che dimostrano una diminuzione non lineare di stereoacuità in presenza di anisometropia indotta da lenti (Lovasik J. V., 1985). In questi casi, una capacità del soggetto di aniso-accomodare potrebbe essere utile per compensare piccoli valori di errori refrattivi anisotropici al fine di mantenere una raffinata stereoacuità altrimenti compromessa (Brooks S. E., 1996) (Marran L., 1998) e nel caso in cui sia presente una condizione refrattiva anisotropica in bambini neonati, questa capacità potrebbe risultare un appropriato ed efficace segnale di feedback efferente che potrebbe essere sfruttato per portare all'isotropizzare il sistema (Marran L., 1998).

Oltre al caso dell'anisometropia non corretta, si ha una differente stimolazione accomodativa (aniso-stimolazione) durante la lettura o in qualsiasi altra attività che porti il soggetto ad un diverso grado di asimmetria di convergenza. Vari studi hanno ipotizzato che posture scorrette ed asimmetriche nella lettura e scrittura portano ad una differente domanda accomodativa nei due occhi e si ipotizza che l'errore di messa a fuoco che ne consegue possa essere un'importante contributo per la sfuocatura dell'immagine retinica e quindi un probabile fattore di progressione miopica (Charman W. N, 2004). Per fare un esempio concreto si prenda in considerazione un testo scritto su di un normale foglio A4. Ponendo il testo su di un piano posto a distanza di lettura e considerando una postura corretta, la domanda accomodativa e di convergenza risulterà identica (iso-stimolazione), mentre ai lati la domanda accomodativa risulta differente a seconda: della posizione di sguardo rispetto alla linea mediana del foglio (aniso-stimolazione), della distanza degli assi visivi del soggetto e dalla distanza di lettura (Charman W. N, 2004). Si può affermare che più la posizione di sguardo è asimmetrica, maggiore sarà la stimolazione aniso-accomodativa la quale, aumenterà proporzionalmente aumentando l'eccentricità e diminuendo la distanza di lettura (Marran L., 1998).

In uno studio (Marran L., 1998) è stata verificata la capacità di aniso-accomodare inducendo una stimolazione asimmetrica attraverso l'apposizione di lenti negative di diverso potere nei due occhi. Per il valore massimo di 3 D di aniso-stimolazione, è stata rilevata una risposta media aniso-accomodativa di 0.75 D. Tuttavia in questo

studio il campione di soggetti esaminato era stato prima selezionato e poi successivamente allenato a questa tipologia di compito infatti la capacità di aniso-accomodare si è manifestata dopo un periodo di latenza di circa 11 s a confronto ad un periodo di latenza di 1-1.5 s per una normale risposta accomodativa. I dati di questo studio suggeriscono che l'aniso-accomodazione è possibile per qualche soggetto, successivamente ad un training o ad una visione asimmetricamente sfuocata e protratta nel tempo oppure in soggetti con posture anomale. Mentre in linea di massima si è osservato che in presenza di uno stimolo aniso-accomodativo, la risposta di entrambi gli occhi si avvicina ad un valore più appropriato per lo stimolo più lontano (Charman W. M, 1998). Anche se fosse possibile aniso-accomodare in presenza di stimolazioni differenti nei due occhi, come potrebbe avvenire durante le attività prossimali come la lettura e la scrittura, non sarebbe utile in quanto ci sarebbe un periodo di latenza troppo lungo rispetto al tempo necessario a svolgere l'attività (Charman W. M, 1998).

I vari articoli citati tendono a valutare la presenza di una capacità dei soggetti di aniso-accomodare inducendo una stimolazione asimmetrica tramite l'utilizzo di lenti o altri sistemi misti di specchi e lenti. Nello studio che seguirà gli stimoli risulteranno di pari vergenza ottica e soprattutto in condizioni ecologico-ambientali.

CAPITOLO 4

ACCOMODAZIONE E TEST CLINICI

Prima della valutazione clinica quantitativa dell'accomodazione un ruolo di fondamentale importanza è occupato dall'indagine anamnestica dove oltre alla storia pregressa oculare è importante indagare le abitudini visive del soggetto prestando particolare attenzione ad eventuali disturbi riferiti che potrebbero rilevarsi fondamentali per la comprensione successiva dei dati clinici.

Per quanto riguarda la valutazione della capacità accomodativa del soggetto possiamo suddividere i test di interesse in tre categorie:

- Valutazione della funzione accomodativa
- Valutazione della risposta accomodativa
- Relazione tra accomodazione e convergenza

4.1 Valutazione della funzione accomodativa

In questa categoria è stato scelto di inserire due tipologie di test che valutano:

- Ampiezza accomodativa
- Flessibilità accomodativa

4.1.1 Ampiezza accomodativa

Per ampiezza accomodativa (AA) si intende la quantificazione della massima capacità accomodativa monoculare in un soggetto corretto da eventuali ametropie. È possibile sia calcolarla a livello teorico che misurarla concretamente.

L'ampiezza accomodativa, come già precedentemente detto, si riduce gradualmente con l'aumentare dell'età, circa 0.30 D all'anno, sino alla completa perdita della capacità accomodativa (inserire grafico secondo Duane).

Hofstetter propose delle formule per calcolare l'ampiezza accomodativa di un soggetto in funzione dell'età in modo tale da confrontare il valore teorico con quello rilevato durante l'analisi visiva.

Tramite le seguenti formule è possibile calcolare la capacità massima, media e minima in funzione dell'età:

- *Ampiezza massima* = $25 - (0.4 \times \text{età})$
- *Ampiezza media* = $18 - (0.3 \times \text{età})$
- *Ampiezza minima* = $15 - (0.25 \times \text{età})$

È possibile, con un altro metodo, calcolare l'ampiezza accomodativa calcolando la differenza in diottrie tra il reciproco del punto prossimo di accomodazione (PPA) e del punto remoto (PR) tenendo conto anche dell'eventuale ametropia non corretta.

Per PR si intende il punto coniugato alla retina quando l'accomodazione è al minimo valore. Varia in relazione all'ametropia:

- In caso di emmetropia il PR corrisponde all'infinito
- Nel soggetto miope il PR è posto a distanza finita, tra infinito ottico e soggetto e possiede segno positivo
- Nel soggetto ipermetrope il PR ha una posizione virtuale, teoricamente posto dietro la retina e possiede segno negativo

Il punto prossimo di accomodazione (PPA) ovvero il punto coniugato alla retina ad accomodazione massima, quindi il punto più vicino per la quale un oggetto è visto nitido. A differenza del PR il punto prossimo di accomodazione varia in relazione sia dell'ametropia sia dell'età del soggetto.

Successivamente sono riportati i metodi pratici utilizzati in ambito clinico per la quantificazione dell'AA:

- *Metodo Push-up*. Questo test soggettivo è tipicamente quello più usato per la quantificazione dell'AA. Dopo l'eventuale correzione per la distanza, e dopo aver occluso un occhio si chiede al soggetto di avvicinare un testo, costituito da caratteri prossimi all'acuità, fino al raggiungimento della prima sensazione di sfuocamento. Una volta raggiunto il punto di sfuocamento si misura la distanza tra apice corneale e testo e la si converte in diottrie. Il metodo push-up è molto comodo e pratico tuttavia i risultati tendono ad essere sovrastimati in quanto influenzata dalla profondità di fuoco data dalla miosi pupillare e dall'aumentare della grandezza angolare delle lettere al diminuire della distanza (Glasser A., 2005).
- *Metodo Pull-away*. Test simile al precedente consiste prima nell'avvicinare la mira accomodativa sino a percepire lo sfuocamento per allontanarla sino a visione completamente nitida. In letteratura sono presenti studi

contrastanti sull'accuratezza di misura utilizzando questo metodo piuttosto che il Push-up, tuttavia i più recenti studi hanno constatato che non sono presenti differenze apprezzabili nell'utilizzo del metodo Push-up ed il metodo Pull-away (Taub M. B., 2012).

- *Metodo con lenti negative.* Dopo aver effettuato la correzione a distanza si occlude un occhio e dinnanzi all'occhio vedente si pone una mira con caratteri prossimi all'acuità. Successivamente si introducono lenti negative di potere crescente a *step* di 0.25D sino a quando il soggetto non riesce più a mantenere nitida la mira presa in considerazione. La somma del potere delle lenti e dell'inverso della distanza in metri della mira dà il punto prossimo che in condizioni di soggetto emmetropizzato a distanza coincide con l'ampiezza accomodativa (Rossetti, 2003). I valori misurati tendono ad essere sottostimati rispetto ai metodi precedenti in quanto è presente una riduzione dell'immagine dovuta all'osservazione con lenti negative (Rosenfield M., 2009). Per limitare questo errore il test viene svolto alla distanza di 0.33 m al posto dei 0.40 m solitamente utilizzati nei test prossimali.

Utile ai fini pratici è la comparazione dei dati ricavati mediante la misura clinica e i dati teorici dell'ampiezza accomodativa per verificare eventuali eccessi o insufficienze.

4.1.2 Flessibilità accomodativa

Per flessibilità accomodativa si intende la capacità di variare la messa a fuoco senza che il soggetto apprezzi lo sfuocamento ad esempio variando la distanza di osservazione.

Per effettuare il test si utilizza un testo scritto o un ottotipo prossimale posto ad una data distanza, in genere 0.40m ed un dispositivo chiamato flipper dotato di due coppie di lenti sferiche generalmente di potere $\pm 2.00D$. Secondo taluni metodi, il potere delle lenti del flipper è stabilito a seconda dell'ampiezza accomodativa del soggetto; il test di flessibilità con flipper $\pm 2.00D$ effettuato alla distanza di 0.40m stimolerebbe una percentuale di accomodazione in un bambino nettamente differente rispetto a quella di un soggetto adulto, con la possibilità di produrre eventuali falsi positivi (Yothers T., 2002). Nello stesso studio precedentemente

citato pubblicato nella rivista statunitense “Optometry” è stato suggerito di valutare prima l’ampiezza accomodativa con il metodo push-up per poi posizionare il target ad una distanza che stimoli il 45% dell’ampiezza a disposizione mentre il potere delle lenti non deve essere superiore ad un terzo dell’ampiezza accomodativa totale (somma delle lenti negative e positive). Una volta stabilito il potere della lente e la distanza al soggetto si chiede di leggere un testo e di cambiare lente non appena l’immagine risulti nitida. Mentre il soggetto effettua i cambi lente, l’operatore ha il compito di contare il numero cicli effettuati in un minuto. Un ciclo corrisponde alla visione attraverso lente positiva e negativa.

Il test può essere svolto:

- *Monocularmente.* Effettuando il test in condizione monolare si valuta la velocità e la capacità di mantenere una visione nitida durante la stimolazione e l’inibizione dell’accomodazione non che di valutare la resistenza all’affaticamento del muscolo ciliare quindi la presenza di un’eventuale inerzia accomodativa. Monocularmente i valori medi si aggirano circa sui 12 cicli per minuto (Saladin J. J., 2006).
- *Binocularmente.* In condizioni binoculari la convergenza rimane ferma al piano di osservazione mentre varia l’accomodazione ed affinché la visione rimanga nitida e singola subentra il sistema di vergenze. Ad esempio le lenti positive causano un rilassamento della convergenza accomodativa la quale viene ripristinata immediatamente dal sistema di vergenza positiva la quale evita la diplopia. Quindi un risultato anomalo in questo test può essere il risultato di un problema di tipo accomodativo o di vergenza infatti in sede clinica viene effettuato prima binocularmente ed in caso di anomalia si passa al monolare. I valori attesi in condizioni binoculari sono di almeno 10 cicli per minuto mentre i bambini piccoli sono un po’ più lenti (Saladin J. J., 2006).

Per la selezione dei soggetti è stato effettuato solamente il test che valuta l’ampiezza accomodativa e non è stata valutata la flessibilità in quanto risulta essere un dato aggiuntivo non di particolare interesse per lo scopo dello studio

4.2 Valutazione della risposta accomodativa

La valutazione della risposta accomodativa può essere misurata clinicamente mediante due test:

- Retinoscopia o schiascopia dinamica
- Cilindri crociati binoculari

4.2.1 Retinoscopia dinamica

La retinoscopia dinamica è un test refrattivo oggettivo, dove il soggetto si limita esclusivamente a seguire le istruzioni. A differenza della retinoscopia “statica” dove l’accomodazione risulta essere rilassata, nella retinoscopia dinamica l’accomodazione è attiva, infatti tramite questa tecnica oggettiva è possibile quantificare, quasi simultaneamente, la risposta accomodativa misurando l’eventuale *lag* o *lead* accomodativo ad una determinata distanza e verificare l’eventuale stato di bilanciamento prossimale dei due occhi (Benjamin W. J., 2006). Viene effettuata con l’eventuale correzione, se presente, successivamente al soggetto si chiede di osservare una mira ad una data distanza prossimale, solitamente 0,40m. Osservando il riflesso dello schiascopio si dovrebbe osservare una figura concorde che caratterizza il lag accomodativo. L’esaminatore tramite l’apposizione di lenti positive o variando la distanza di osservazione dovrebbe giungere al punto definito come “primo neutro” o “neutro inferiore” e continuando ad aggiungere lenti o aumentando ancora la distanza si dovrebbe raggiungere il “neutro superiore” distinto dal primo in quanto un ulteriore spostamento o aumento di potere positivo invertirebbe l’immagine retinoscopica diventando marcatamente discorde. Di seguito sono elencate le tecniche più utilizzate per effettuare la schiascopia dinamica che si differenziano in base all’esecuzione ed al punto di neutralità (Grosvenor T., 2007).

- *Tecnica di Sheard*. Il test viene effettuato alla distanza abituale di lettura, e consiste nella neutralizzazione del lag accomodativo, più precisamente del primo neutro, tramite l’apposizione di lenti.
- *Tecnica di Nott*. Il test viene effettuato solitamente a 0. Invece di utilizzare lenti in questa tecnica è l’esaminatore in caso di riflesso concorde, quindi di lag accomodativo, si sposta all’indietro sino al raggiungimento della neutralità di risposta viceversa in caso di lead accomodativo l’esaminatore

si avvicinerà al soggetto. La differenza di vergenza tra il test ed l'inverso della distanza del primo neutro da il valore del lag.

- *Monocular Estimate Method (MEM)*. In questa tecnica la distanza di fissazione non è stabilita arbitrariamente ma a seconda della distanza di lettura del soggetto oppure alla distanza di Harmon ovvero la distanza che intercorre tra gomito e prima nocca del dito medio mentre nel caso di bambini a 20-25 cm. Il target di fissazione è attaccato al retinoscopio e presenta un foro centrale di circa 1.5 cm dove esce l'illuminazione del retinoscopio ed attorno a questo cartoncino si possono osservare lettere, parole o figure a seconda dell'età del paziente.

L'esaminatore è seduto su uno sgabello e posizionato leggermente sotto la linea di sguardo del soggetto il quale è leggermente rivolto verso il basso mentre osserva lo stimolo in modo da simulare la posizione di lettura. Mentre l'osservatore valuta il riflesso retinoscopico il soggetto ha il compito di leggere ad alta voce le lettere, parole oppure nel caso fosse un bambino di riconoscere le figure. L'osservatore utilizzando lenti di prova avrà il compito di neutralizzare il riflesso interponendo e togliendo le lenti rapidamente. La valutazione va fatta per i due meridiani principali.

4.2.2 Cilindro crociato binoculare

Il test del cilindro crociato può essere svolto sia monocolarmente che binocularmente alla distanza di 0.40 m. È un test soggettivo utilizzato per trarre informazioni sul lag accomodativo nei soggetti non presbiteri, individuando soggetti con ipermetropia latente e quei soggetti che trarrebbero beneficio da una correzione prossimale. In caso di soggetti presbiteri è un test rapido ed efficace per la stima dell'addizione prossimale. La mira utilizzata è detta *carta di Jaques*, l'illuminazione per lo svolgimento di questo test deve essere ridotta in caso contrario la profondità di fuoco data dalla miosi pupillare che si associa alla convergenza ed accomodazione renderà il risultato privo di senso. Si antepone al soggetto un cilindro crociato di Jackson posizionando l'asse del cilindro negativo a 90° inducendo un astigmatismo misto secondo regola dopodiché si inseriscono delle lenti di potere positivo binocularmente sino a quando entrambe le focali si posizionano dinanzi alla retina a questo punto il soggetto noterà le linee verticali

più nitide delle orizzontali dopodiché l'operatore gradualmente diminuisce il potere positivo. Nella procedura OEP si annota la prima lente che rende le linee orizzontali più nitide (Grosvenor T., 2007). Questa tecnica può essere utilizzata sia monocularmente che biocularmente tramite dissociazione prismatica ma poiché quando si effettua questo test la visione risulta essere già bilanciata da lontano non si riscontra, solitamente, una differenza di risposta tra i due occhi (Rossetti A., 2003).

4.3 Relazione tra accomodazione e convergenza

Il rapporto AC/A, dall'inglese “*accommodative convergence/accommodation*”, esprime la quantità di convergenza accomodativa indotta da una quantità di accomodazione⁽²⁴⁾. Rappresenta un dato nella diagnosi optometrica ed è uno dei dati per determinare la gestione di qualsiasi condizione. Ci sono due metodi (Scheiman M.) per la quantificazione del rapporto AC/A.

Il primo metodo è chiamato *AC/A calcolato* ed è determinato dalla seguente formula:

$$AC/A = DP \text{ (cm)} + DF \text{ (m)} (F_p - F_d)$$

dove DP è la distanza interpupillare, DF è la distanza di fissazione, F_p e F_d sono rispettivamente la foria prossimale e la foria a distanza (in caso di esoforia si utilizza il segno “+” e nel caso di exoforia il segno “-”).

Il secondo metodo è denominato *AC/A gradiente*, ed è determinato da una prima misura della foria ed una seconda misura di foria utilizzando una lente ad esempio -1.00D. Il cambiamento del valore di foria con la lente anteposta determinerà il rapporto AC/A.

Generalmente il rapporto AC/A utilizzando il metodo calcolato è più elevato rispetto al metodo a gradiente in quanto è influenzato dalla vergenza prossimale che modifica la foria da vicino. Ciò non accade nel rapporto AC/A gradiente in quanto la vergenza prossimale è mantenuta costante e quindi non dovrebbe alterare il risultato.

Il rapporto CA/C, dall'inglese “*convergence accommodation/ convergence*”, rappresenta la variazione accomodativa indotta da un certo ammontare di convergenza. Questo dato, similmente al rapporto AC/A, può essere utile per la

diagnosi e gestione di alcune disfunzioni binoculari tuttavia generalmente non rientra nella normale valutazione clinica (Scheiman M.).

CAPITOLO 5

LO STUDIO

5.1 Scopo

Lo scopo di questo studio è di verificare - in una popolazione di studenti in condizioni fisiologiche e privi di anomalie a carico del sistema visivo binoculare - l'equilibrio nella risposta accomodativa sottoponendo i candidati a stimoli isoaccomodativi, ovvero con la stessa richiesta accomodativa, utilizzando test che tendono riprodurre condizioni visive ambientali.

5.2 La scelta del campione

I test sono stati svolti presso i laboratori del Corso di Laurea in Ottica ed Optometria nel periodo tra settembre ed ottobre 2017 su appuntamento durante la settimana accademica.

I soggetti che hanno partecipato allo studio hanno aderito volontariamente e sono stati selezionati secondo i seguenti criteri:

- Sono stati scelti esclusivamente studenti iscritti all'Università degli Studi di Padova in quanto la somministrazione dei test è stata effettuata presso laboratori universitari.
- Di età compresa tra i 20 ed i 25 anni di modo che le caratteristiche del sistema accomodativo fossero similari.
- Che non presentassero patologie correnti o pregresse a carico del sistema oculare, né patologie sistemiche che potessero influenzare le capacità visive, né ambliopie, né deviazioni manifeste note ed in fine soggetti che, in passato, siano stati sottoposti a trattamenti di rieducazione visiva.
- Soggetti ametropi con correzione abituale, lenti a contatto od occhiali e soggetti non portatori di correzione.

Il campione è costituito da 42 studenti di cui 16 maschi e 26 donne di età compresa tra i 20 e 25 anni suddivisi a loro volta in due sottogruppi:

- Gruppo isometropi composti da 34 persone di cui 21 ragazze e 13 ragazzi; ridotto a 28 dopo verifiche di cui si dice più avanti.

- Gruppo anisotropi composti da 7 persone di cui 5 ragazze e 2 ragazzi successivamente escluso dalla valutazione per scarsità di soggetti.

5.3 Materiali e metodi

Lo studio prevede una breve e mirata anamnesi iniziale dove l'operatore riporta la presenza dei prerequisiti essenziali per lo studio precedentemente elencati ovvero:

- salute oculare e sistemica
- assenza di deviazioni manifeste
- assenza ambliopie
- nessuna esperienza di rieducazione visiva.

La scheda utilizzata per l'anamnesi è comprensiva anche di tutta la raccolta dei dati ed è riportata di seguito nell'appendice A.

Dopo aver completato la parte anamnestica è stato effettuato il *cover test (CT)*, inserito esclusivamente per valutare qualitativamente e non quantitativamente, l'allineamento dei due occhi e per determinare la presenza ed il tipo eventuali eterotropie tramite il *cover-uncover* o *CT monolaterale* ed eventuali eteroforie marcate con il cover alternato. Questo test è considerato il test più importante per la visione binoculare (Evans B. J., 2009) ed è stato svolto con illuminazione normale a distanza di 5.60 m, facendo osservare una lettera di acuità, ed a distanza prossimale utilizzando come target lettere di grandezza 0.62 M con un illuminamento aggiuntivo. Il procedimento per svolgere il *CT monolaterale* prevede l'apposizione di un oclusore opaco dinnanzi ad un occhio mentre l'esaminatore osserva l'occhio controlaterale. Se l'occhio detto "scoperto" dovesse effettuare un movimento per recuperare la fissazione saremmo di fronte ad una deviazione manifesta definita eterotropia mentre se non effettua alcun movimento e quindi mantiene la fissazione non è presente strabismo. Lo stesso procedimento si ripete per l'occhio controlaterale.

Il procedimento invece per il *CT alternato*, utile per valutare deviazioni latenti definite eteroforie, consiste nell'osservazione del movimento di recupero dell'occhio occluso se presente. A differenza del *CT unilaterale* l'operatore sposta l'occlusore opaco da un occhio all'altro. Questa copertura alternata dei due occhi la si ripete più volte per osservare al meglio eventuali movimenti. A seconda dei

movimenti dell'occhio che si scopre si può stabilire la tipologia dell'eteroforia che potrà essere:

- Ortoforia, se non è presente alcun movimento di recupero.
- Exoforia, qual ora sia presente un movimento di recupero dall'esterno verso il punto di fissazione.
- Esoforia, qual ora sia presente un movimento di recupero dall'interno verso il punto di fissazione.

L'intero procedimento del *CT* lo si ripete successivamente in distanza prossimale a 0.40 m con le condizioni precedentemente descritte. Questo test presenta un certo grado di tolleranza legata all'abilità dell'esaminatore di 2-3Δ in quanto deviazioni di queste entità sono quasi impercettibili tuttavia il test è stato utilizzato non per quantificare la deviazione ma esclusivamente per escludere eventuali stati di eterotropie ed eteroforie marcate.

Successivamente è stata rilevata la dominanza oculare rappresentata dall'occhio che predomina nella funzione visiva binoculare che non necessariamente è rappresentato dall'occhio con maggior acutezza visiva. Per la rilevazione della dominanza è stato utilizzato a distanza il test "*hole in the card*". Questo test è considerato il test più frequentemente utilizzato in letteratura (Faria-Ribeiro M., 2013) per la rilevazione della dominanza di puntamento o spaziale. Il materiale utilizzato consiste in un cartoncino di forma rettangolare di lati 20x30 cm che presenta un foro centrale di diametro 2.5 cm. Al soggetto è stato chiesto di stendere le mani davanti a sé sorreggendo il cartoncino e di allineare il foro, con entrambi gli occhi aperti, al target visibile sul monitor posto a 5.60 m. Il target utilizzato per questo test è un semplice punto nero su sfondo bianco. L'esaminatore, mentre il candidato mantiene l'allineamento, oclude prima l'occhio sinistro e successivamente il destro, annotando successivamente, se presente, l'occhio dominante che sarà l'occhio con la quale la visione del punto è mantenuta. Per la rilevazione della dominanza spaziale prossimale alla distanza di 0.40 m è stato utilizzato un test simile al precedente costituito però da specchio di 4 cm diametro sul quale è presente un punto nero centrale. Al soggetto, con entrambi gli occhi aperti, è stato chiesto di allineare il punto centrale all'immagine del naso riflessa sullo specchietto. Come nel test precedente l'esaminatore ha effettuato un'occlusione prima di un occhio e successivamente del contro laterale annotando,

se presente, come dominante l'occhio che mantiene l'allineamento tra il punto e l'immagine riflessa della punta del naso.

Dopo aver annotato la dominanza oculare è stata effettuata una fotorefrazione, visibile in Figura 4, alla distanza di 1 m utilizzando il fotorefrattometro binoculare 2WIN prodotto dall'azienda padovana Adaptica e distribuito dall'azienda veronese Esavision Technology.

La fotorefrazione è una tecnica oggettiva fotografica che fornisce una rapida misurazione dell'errore refrattivo di entrambi gli occhi simultaneamente e in condizioni naturali. Della radiazione infrarossa viene emessa da piccoli led posti attorno all'obiettivo, la quale viene riflessa dal fondo



Figura 4: dati di fotorefrazione

oculare (schiasopia eccentrica ad infrarossi o foto-retinoscopia) per poi essere ricatturata dall'obiettivo della camera dove viene processata (Millodot M., 2004). Effettuata la misurazione è stato calcolato l'equivalente sferico mediante la formula:

$$\text{Equivalente sferico} = \text{Valore sferico} + \frac{1}{2} \text{valore cilindrico}$$

Da studi effettuati recentemente, l'equivalente sferico, presenta un buon grado di coerenza rispetto ad altre misurazioni oggettive effettuate con altri strumenti (Pallikaris I. G., 2016). Il dato è stato utilizzato per definire il gruppo di appartenenza:

- Gruppo anisotropi, soggetti con differenza > 0.25 D nei valori equivalenti sferici dei due occhi
- Gruppo isotropi, soggetti con differenza di equivalente sferico ≤ 0.25 .

Questo test oggettivo è stato effettuato, secondo quanto indicato dalla ditta costruttrice, alla distanza di 1 m con un'illuminazione soffusa ai fini di garantire dimensioni sufficienti della pupilla, per ridurre l'accomodazione e per limitare eventuali riflessi che potessero interferire con la misurazione. La misura è stata fatta tre volte ripetendo il settaggio.

Dopo aver rilevato la refrazione o l'eventuale sovra-refrazione, se portatori di correzione, si è passati alla verifica dello stato di bilanciamento binoculare utilizzando uno dei test soggettivi presenti nella batteria dell'*i.Polatest* dell'azienda tedesca *Zeiss*. Per valutare lo stato di bilanciamento quindi, è stata utilizzata la tecnica dei filtri polarizzati incrociati per produrre una dissociazione parziale dei due occhi. Quando il soggetto guarda attraverso i filtri polarizzati incrociati (45° e 135°), posti sopra la sua correzione, la porzione sinistra della tavola ottotipica è visibile dall'occhio sinistro mentre dall'occhio destro è visibile solo la porzione di destra. Centralmente è posta una la colonna che viene percepita da entrambi gli occhi fungendo così da blocco fusionale utile a mantenere una visione binoculare singola come visibile in Figura 5. L'AV è stata quindi misurata prima con correzione abituale e successivamente antepoendo un *flipper* di +0.75D

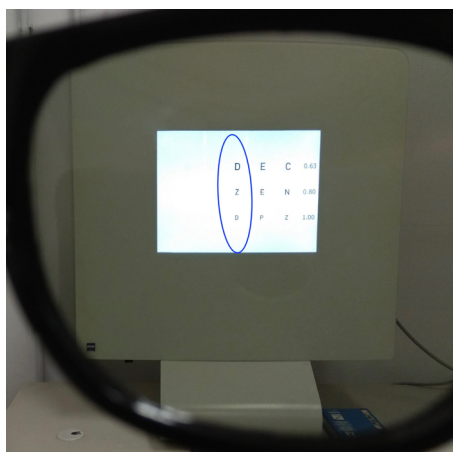


Figura 5: i.Polatest test bilanciamento binoculare. Visuale OD. La colonna cerchiata rappresenta il blocco fusionale.

binocularmente per limitare l'attività accomodativa e moderare le oscillazioni di acuità. Le mire sono state rappresentate in scala discendente partendo dai 0.63 decimi corrispondenti ad un angolo di risoluzione (MAR) di 1.67' fino ad arrivare ad un fondo scala rappresentato da lettere corrispondenti ai 2.0 decimi equivalenti ad un angolo di risoluzione 0.50'.

Dopo aver verificato il corretto bilanciamento della correzione, a sostegno di ciò, è stata misurata l'acuità stereoscopica locale sempre utilizzando l'*i.Polatest*. La misurazione della stereoacuità locale, ovvero la stereopsi indotta da una coppia di mire simili a margini definiti, è considerata nel protocollo MKH, o sequenza di Haase, come un valido indicatore di un corretto bilanciamento refrattivo (Ianese G. A., 2013) in quanto tutti i fattori ottico, neurale e motorio dei due occhi devono essere attivi. Se quindi fosse presente un'acuità stereoscopica grossolana, quindi un elevato valore angolare, potrebbe essere indice di una differenza di acuità visiva dei due occhi, presenza di deviazioni angolari non ben compensate che possono portare ad una difficoltà nel processo integrativo delle immagini binoculari. Il test è composto da sei righe di simboli presentati in due tavole costituite da tre righe cadauna ove per

ogni riga è presente un target visibile in tridimensione. Al soggetto è stato chiesto di indossare, sopra la correzione se presente, gli occhiali con filtri polarizzati incrociati e successivamente è stata rilevata l'acutezza stereoscopica. Gli stimoli stereoscopici sono stati rappresentati in scala discendente e rispettivamente sottendevano un angolo di 5'/arco, 4'/arco, 3'/arco, 2'/arco, 1'/arco e per finire 0.5'/arco.

Dopo aver effettuato i test a distanza si è passati ad una valutazione prossimale. *In primis* è stato verificato lo stato di bilanciamento prossimale e la stereoacuità. Per effettuare queste due valutazioni è stato utilizzato il *tablet* 3D della ditta milanese *Real Vision* che utilizza il sistema di visione KIWI 3D a barriera di parallasse ed un secondo *tablet* utilizzato dall'esaminatore utilizzato per la somministrazione dei test e per il controllo delle risposte. Lo schermo del dispositivo utilizzato dal candidato, fa parte della famiglia dei *display* autostereoscopici in quanto forniscono un'immagine in 3D senza indossare alcuna tipologia di filtro aggiuntivo (Dogson N. A., 2005) e come riportano i costruttori, grazie a questa caratteristica, la visione risulta naturale in quanto il diametro pupillare non varia di conseguenza la profondità di fuoco e la convergenza non vengono alterate.

Per verificare lo stato di bilanciamento prossimale è stato utilizzato un costituito da stimoli alfabetici maiuscoli singoli e spaziatissimi suddivisi in tre campi distinti

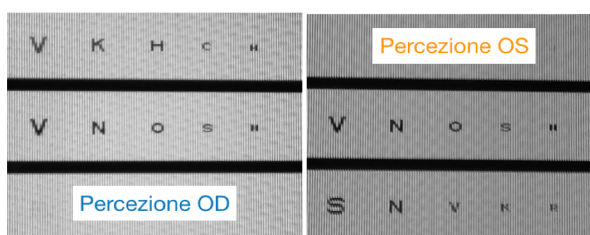


Figura 5: visuale del soggetto durante lo svolgimento del test di bilanciamento bioculare con il tablet 3D. Si notano i due campi percepiti separatamente ed il campo centrale che costituisce il blocco fusionale

posizionati uno sopra l'altro contenenti cinque lettere di acuità corrispondente ai 0.32, 0.4, 0.5, 0.63 e 0.8 decimi. I campi esterni erano percepiti monocolarmente mentre il campo centrale fungeva da blocco fusionale ed era visto binocularmente come visibile nella Figura 5. Prima di iniziare il

test è stata verificata la distanza utilizzando un metro e di seguito è stato tarata la posizione del *tablet* per assicurare una visione dissociata dei campi esterni. Sullo schermo del candidato, situati in alto sopra gli stimoli, erano presenti due pallini neri. Durante il processo di taratura il compito dell'esaminatore è stato quello di occludere uno dei due occhi mentre il candidato, mantenendo sempre la stessa

distanza, effettuava dei piccoli movimenti fino a quando percepiva solo uno dei due *spot* neri. Di seguito al soggetto è stato chiesto di leggere le lettere partendo da sinistra a destra, dal primo campo in alto ed a seguire gli altri due campi.

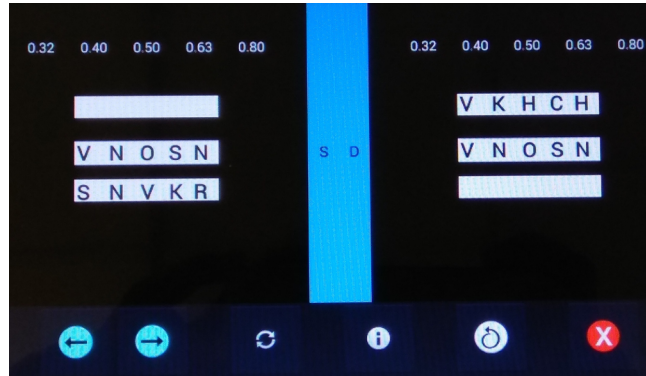


Figura 6: Schermata del tablet dell'operatore con i tre campi ed i valori di acuità espressi in decimi.

Infine è stato chiesto di comparare la percezione visiva

soggettiva confrontando nitidezza, luminosità e contrasto dei campi dissociati per acquisire un'ulteriore dato qualitativo sulla visione prossimale. Compito dell'esaminatore è stato quello di controllare sul *tablet* in suo possesso (Figura 6) la correttezza della risposta e di verificare eventuali cambiamenti di postura del candidato.

Dopo la verifica dello stato di bilanciamento, sempre alla stessa distanza e utilizzando il medesimo dispositivo, è stato effettuato il test per la valutazione della stereoacuità locale. Prima di iniziare il test è stato tarato nuovamente il controllando nuovamente la distanza di esecuzione. Analogamente al test effettuato a distanza, il soggetto doveva comunicare all'operatore la posizione dello stimolo percepito tridimensionale mentre l'operatore come nel test precedente controllava la correttezza di risposta controllando anche la postura del soggetto. Gli stimoli di stereoacuità erano rappresentati in due schermate contenenti tre righe con cinque anelli di cui solo per riga risultava essere tridimensionale. Gli stimoli sono stati presentati in scala discendente e corrispondevano rispettivamente ad una stereoacuità di 5', 4', 3', 2' 1', e 30".

Di seguito è stata misurata la risposta accomodativa utilizzando la tecnica oggettiva di retinoscopia dinamica secondo Nott. È stato utilizzato questo metodo e non la retinoscopia MEM (Monocular Estimate Method), considerata da alcuni "gold standard", in quanto è una tecnica ambientale nella quale non si antepongono lenti che potrebbero modificare la risposta accomodativa dando risultati più positivi, quindi lag maggiori (Chacho P., 1999) (Chacho P., 2002). Il punto di neutralità dovrebbe combaciare per entrambi gli occhi a meno che non sia presente uno

sbilanciamento della correzione a distanza, un anisometropia o un'accomodazione asimmetrica (Rabbetts R. B., 2007). Durante lo svolgimento del test al soggetto è stato fatto leggere un testo, visibile nell'appendice B, che utilizza come tipologia di carattere "Times New Roman" di grandezza 6-8 punti, definiti dalla lettera N, corrispondenti ai 0.5 e 0.4 decimi (Schwiegerling J., 2004). È stato scelto di utilizzare questa tipologia di mira e non con di grandezza a soglia di acuità o pari agli stimoli utilizzati nel test di bilanciamento prossimale per i seguenti motivi:

- Lo scopo era misurare la risposta accomodativa in condizioni naturali e non per stimoli di soglia
- Gli stimoli utilizzati per rilevare lo stato di bilanciamento prossimale risultano essere ben spaziati e costituiti da singole lettere maiuscole la cui soglia risulta essere inferiore rispetto alle lettere minuscole (Arditi A., 2007) inoltre i caratteri singoli risultano essere più leggibili, a parità di grandezza rispetto ad un testo in quanto in quest'ultimo è presente il fenomeno definito "effetto crowding" dato dalla vicinanza delle singole lettere (Hayes J. R., 2005)
- Un aumento dell'impegno cognitivo, rappresentato dalla lettura di un testo rispetto alla risoluzione di singoli caratteri spaziati, incrementa la richiesta accomodativa (Kruger P. B., 1980)
- Tutela della riserva di acuità ovvero il rapporto tra dimensione del carattere che si intende leggere e la soglia di acuità del soggetto. Per una condizione consueta di lettura si ingrandisce lo stimolo con di 2-3 X.

L'operatore tenendo il retinoscopio a fianco alla mira ed allineato sullo stesso piano analizza il riflesso che compare all'interno della pupilla. A seconda della direzione del movimento dell'immagine retinoscopica l'operatore si allontana se il movimento è concorde al movimento effettuato mentre si avvicina al soggetto nel caso in cui il riflesso sia discorde al movimento effettuato (Figura

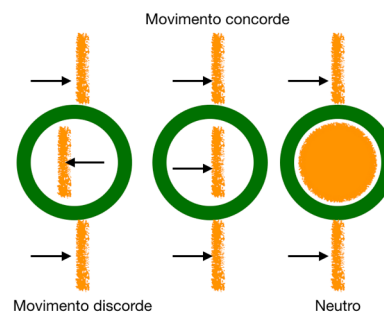


Figura 7: movimenti immagini retinoscopiche

7), sempre mantenendo a distanza fissa il target osservato. Trovata la distanza di neutralità del riflesso, è stato immediatamente analizzato l'occhio controlaterale

mantenendo la stessa distanza effettuando così una misurazione della risposta quasi simultanea. In fine come ultima rilevazione è stata misurata l'ampiezza accomodativa monoculare. Per questioni di praticità è stato utilizzato il metodo *push-up* e come mira è stato utilizzato un testo di grandezza 0.37 M corrispondente circa ai 10/10, visibile nell'appendice C. La mira è stata avvicinata al soggetto partendo da 0.50 m e posizionata a 20/30° sotto la linea primaria di sguardo fino ad arrivare all'altezza degli occhi, chiedendo al candidato di riferire quando il testo iniziava ad annebbiarsi. I risultati sono stati poi confrontati con i dati teorici.

5.4 Risultati

In *primis* è stata fatta la suddivisione in due gruppi basandosi sul calcolo dell'equivalente sferico in quanto i candidati, se portatori di occhiali o lenti a contatto, non hanno tutti fornito i dati di correzione. Inoltre il gruppo degli anisotropi è stato scartato in quanto rappresentato da un gruppo troppo piccolo. È stato scartato subito un soggetto portatore di lenti a contatto ortokeratologiche le quali possono influenzare la risposta accomodativa diminuendo il *lag* accomodativo in quanto inducono aberrazione sferica positiva (Liu Y., 2009) inoltre, con questa tipologia di lente, è presente un aumento nell'ampiezza delle microfluttuazioni accomodative (Lin H., 2014).

Il gruppo isotropi è costituito da 34 persone di cui 21 ragazze e 13 ragazzi per l'analisi dei dati prossimali sono stati a loro volta suddivisi in 3 sottogruppi in base alla percezione soggettiva rilevata durante il test di bilanciamento prossimale:

- Uguale: 17 soggetti
- OD>OS: 9 soggetti
- OS>OD: 8 soggetti

Dopo un'analisi dei dati sono stati scartati 6 soggetti di cui 3 dal Gruppo OD>OS e 3 dal Gruppo OS>OD in quanto presentavano valori di retinoscopia dinamica a segni opposti e quindi questi soggetti avrebbero potuto scegliere potenzialmente un diverso piano (*prevalente*) di messa a fuoco mostrando un errore a carico di un occhio oppure dell'altro invece che suddiviso quasi equamente in entrambi gli occhi rispetto al piano "0" di schiascopia dinamica. Questo problema non ci è parso risolvibile perché dipende dalle condizioni della visione nel suo complesso pertanto li escludiamo da questo campione.

Il gruppo isometropi finale è rappresentato da 28 persone di cui 19 femmine e 9 maschi come visibile nel Grafico 1

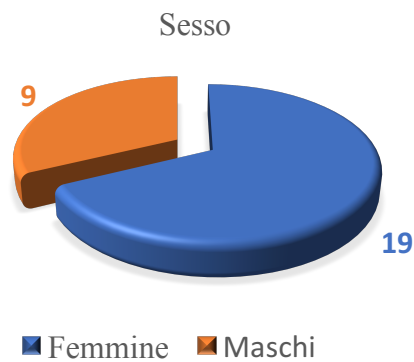


Grafico 1

Nel Grafico 2 è rappresentata la divisione per sottoclassi in base alla risposta di percezione soggettiva registrata durante lo svolgimento del test di bilanciamento prossimale:

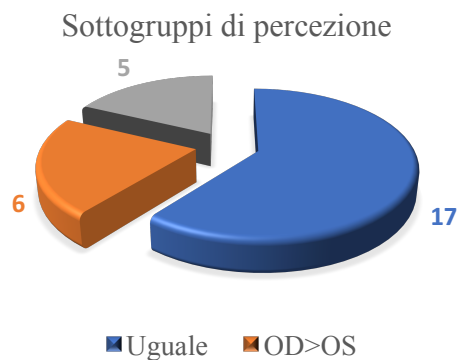


Grafico 2

Tutti i soggetti presenti nel gruppo considerato presentano una correzione, se presente, bilanciata a distanza verificata tramite i test di bilanciamento e stereopsi descritti precedentemente.

Nel Grafico 3 è possibile osservare le ampiezze accomodative dei candidati presi in considerazione in funzione dell'età confrontando i valori con le ampiezze accomodative teoriche calcolate secondo le formule di Hofstetter riportate nel Capitolo 4.

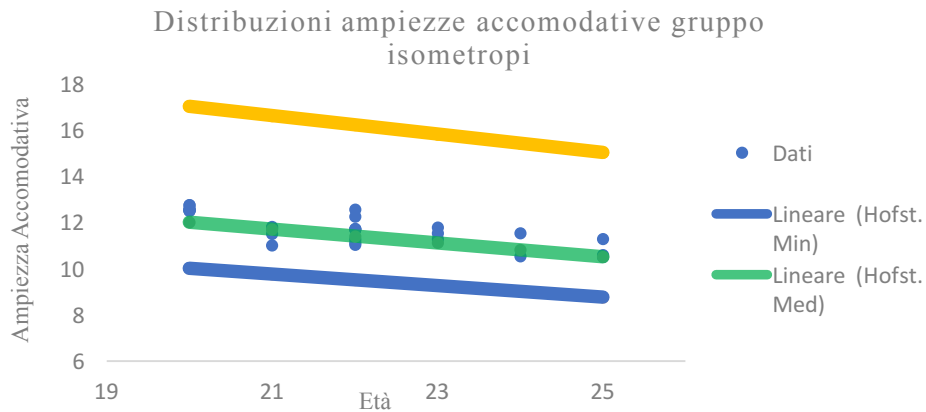


Grafico 3

Di seguito, nel Grafico 4, sono stati correlati i dati medi di acutezza visiva misurata alla distanza di 5,60 m e successivamente convertita in unità angolare espressa in primi d'arco definita minimo angolo di risoluzione (MAR) con i dati di stereoacuità locale espressa in secondi d'arco. Di seguito sono stati interpolati i dati ottenendo una retta di equazione $Y = mx + q$ con i seguenti valori:

- Pendenza della retta $m = 0,041 \pm 0,0007$
- Intercetta $q = 0,6962 \pm 0,0546$
- Coefficiente di correlazione $R = 0,9862 \pm 0,0446$

da cui si denota una relazione quasi lineare tra le due variabili.

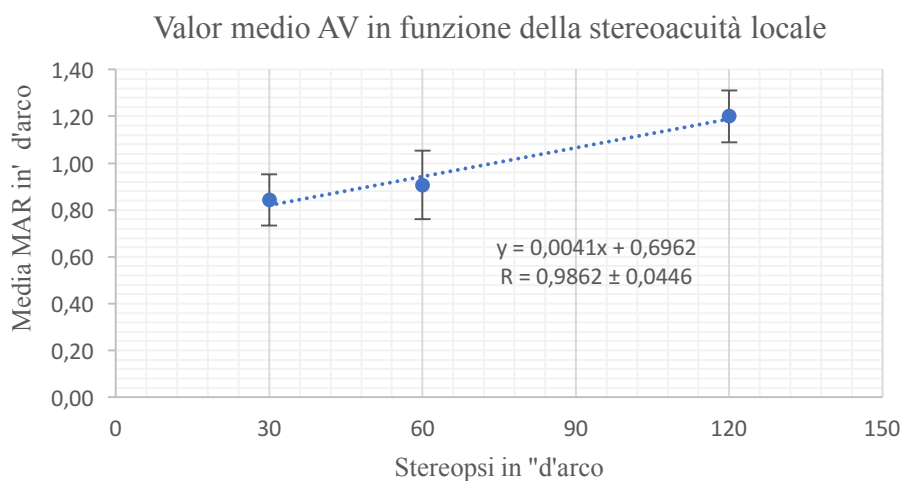


Grafico 4

Nel Grafico 5 sono rappresentate le frequenze relative della differenza in modulo dei due valori di retinoscopia dinamica dove si osserva che il 46% dei soggetti selezionati, quindi 13 persone su 28, presenta una differenza di focalizzazione nei due occhi.

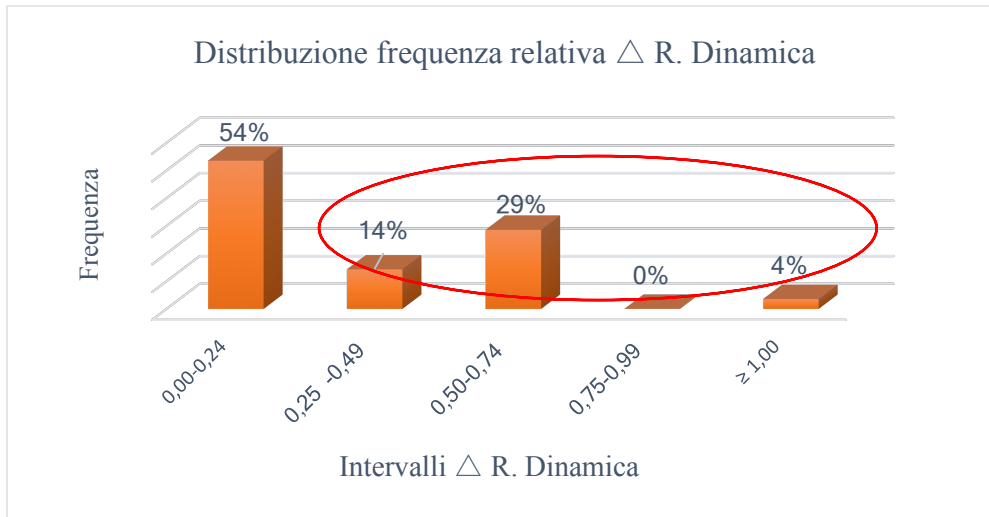


Grafico 5 – In evidenza, il 46% mostra differenza di risposta accomodativa

Nel grafico 6 è stata effettuata la stessa valutazione precedente ma per i diversi sottogruppi di percezione calcolando le rispettive percentuali. Si può osservare che l'iso-risposta accomodativa è prevalente nel gruppo dei soggetti con percezione uguale mentre per gli altri due gruppi i soggetti mostrano una variabilità nella risposta.

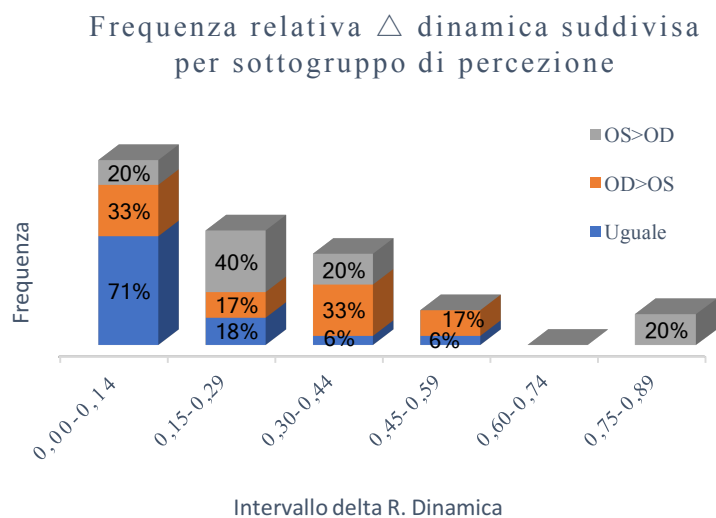


Grafico 6

È stata esaminata singolarmente, quindi soggetto per soggetto, la coerenza tra la percezione soggettiva e risposta accomodativa in relazione al piano dello stimolo. Nella maggior parte dei casi ci si aspetta che la posizione di focalizzazione dei due occhi concordi con la percezione soggettiva. Tuttavia, come visibile nel grafico 7, il 61% dei candidati risponde coerentemente mentre restante 39% candidati si comporta in modo anomalo ovvero presenta una differenza in retinoscopia dinamica che non è coerente con la percezione soggettiva.

Relazione tra percezione soggettiva e risposta accomodativa

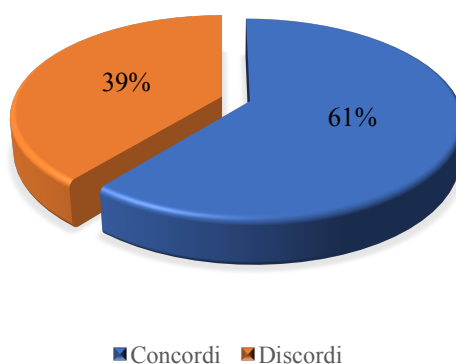


Grafico 7

Nel Grafico 8 la stessa valutazione è stata fatta per ogni sottogruppo di percezione soggettiva.

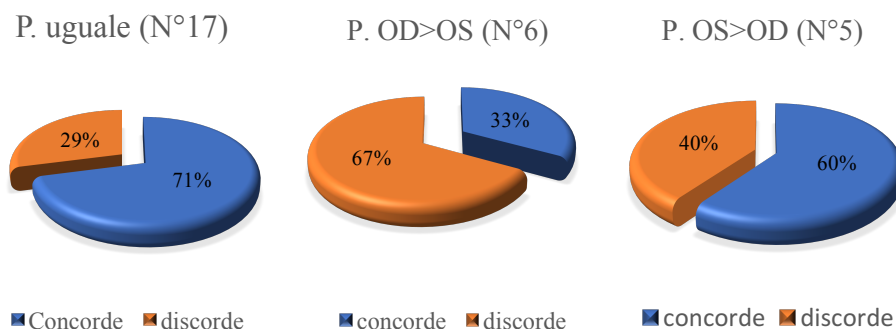


Grafico 8

I soggetti con percezione soggettiva uguale mostrano frequentemente coerenza tra percezione soggettiva e risposta accomodativa, esattamente 14 soggetti su 17 quindi circa il 71%, per tanto si può dire che è presente un comportamento prevalente per questo gruppo.

Per gli altri due gruppi di percezione ovvero OD>OS ed OS>OD, il grosso dei soggetti risponde in modo anomalo ovvero le percezioni soggettive non concordano con la postura della retinoscopia dinamica. Il 67% del gruppo OD>OS quindi 4 persone su 6 presenta una discordanza tra percezione e delta dinamica. Per il gruppo OS>OD il 40%, 2 persone su 5, presenta discordanza tra percezione soggettiva e risposta accomodativa.

Per scarsità di soggetti e quindi per migliorare la valutazione statistica sono stati uniti i due gruppi con percezione diversa tra i due occhi formando un gruppo con percezione soggettiva diversa. È stata calcolata la media di valori di Δ Dinamica dei due gruppi con il relativo errore:

- $\mu_{OD=OS} \pm \frac{\sigma_{OD=OS}}{\sqrt{N^o}} = 0.09 \pm 0.04$
- $\mu_{OD \neq OS} \pm \frac{\sigma_{OD \neq OS}}{\sqrt{N^o}} = 0.29 \pm 0.08$

Nel Grafico 9 sottostante sono stati rappresentati i dati medi di Δ dinamica dei due gruppi con i rispettivi errori.

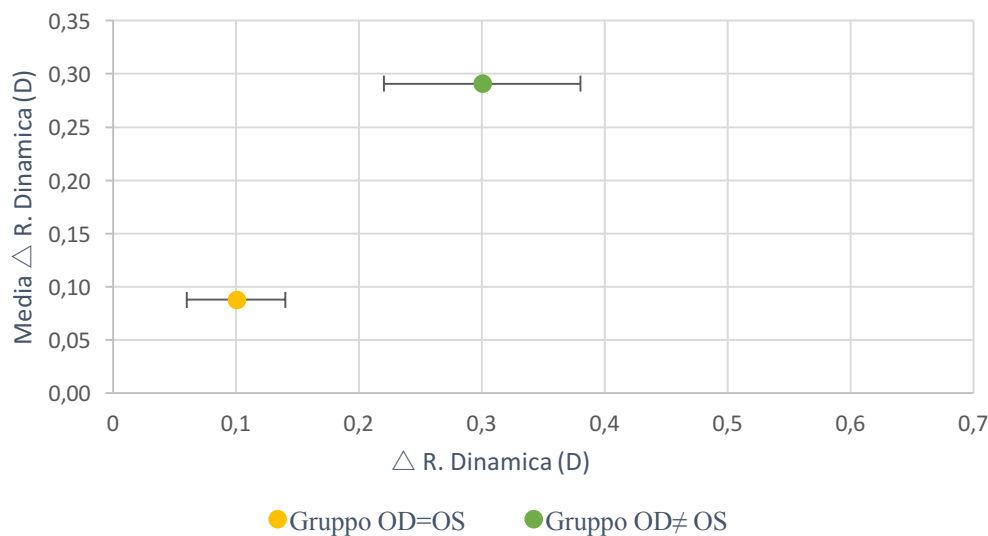


Grafico 9

Per verificare la significatività della differenza tra le due medie è stato svolto il test-Z. Il valore del test osservato è stato $2,41\sigma_{eq}$ con $P\text{-Value} = 0,02$. Questo risultato ci porta a rifiutare l'ipotesi nulla, ovvero che le due medie siano uguali, con una probabilità del 98% e che esiste una differenza significativa in media tra i due gruppi. Quindi si può concludere che nel gruppo esaminato è provato con un livello di confidenza del 98% che un soggetto con percezione soggettiva uguale abbia in

media una differenza nella risposta accomodativa diversa rispetto ad un soggetto che presenta una percezione visiva differente.

Di seguito è stata presa in considerazione la dominanza spaziale prossimale e sono stati realizzati degli istogrammi suddivisi per gruppo di percezione rappresentanti la risposta accomodativa rilevata in retinoscopia dinamica per ogni singolo occhio in relazione alla dominanza oculare prossimale per verificare se l'occhio dominante poteva possedere un ruolo guida e quindi un'eventuale risposta maggiore nella risposta prossimale.

Il grafico 10a rappresenta la risposta accomodativa dei due occhi del gruppo con percezione soggettiva uguale e che possiede una dominanza spaziale prossimale destra.

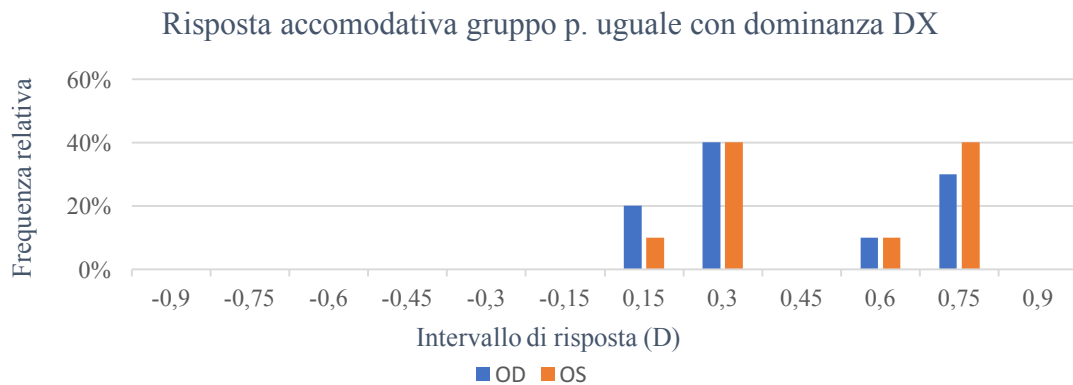


Grafico 10a

Grafico 10b rappresenta la risposta dinamica dei due occhi del gruppo con percezione soggettiva uguale che possiede una dominanza spaziale prossimale sinistra.

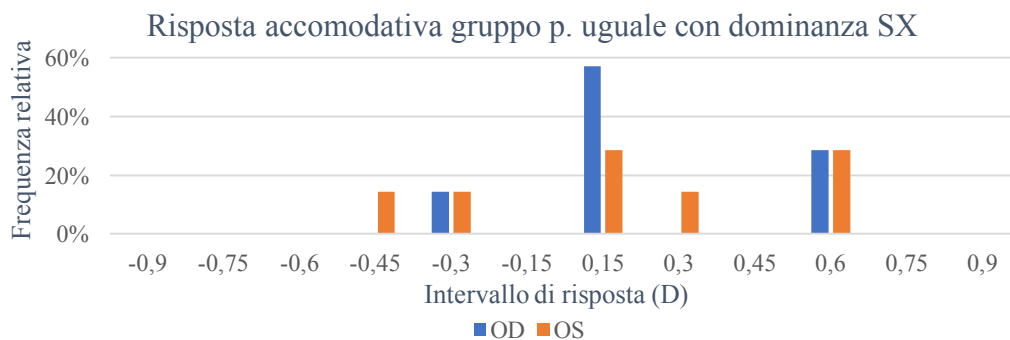


Grafico 10b

Grafico 10c rappresenta la risposta dinamica dei due occhi del gruppo con percezione soggettiva OD>OS che possiede una dominanza spaziale prossimale destra.

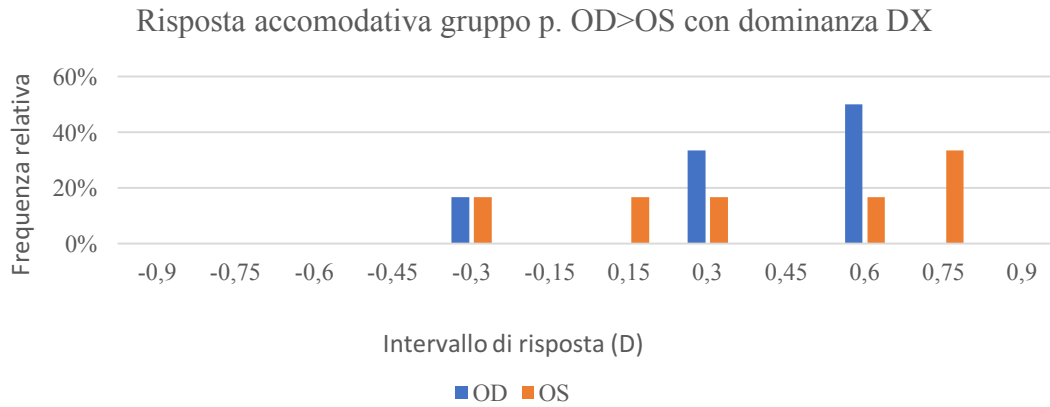


Grafico 10c

Grafico 10d rappresenta la risposta dinamica dei due occhi del gruppo con percezione soggettiva uguale che possiede una dominanza spaziale prossimale sinistra.

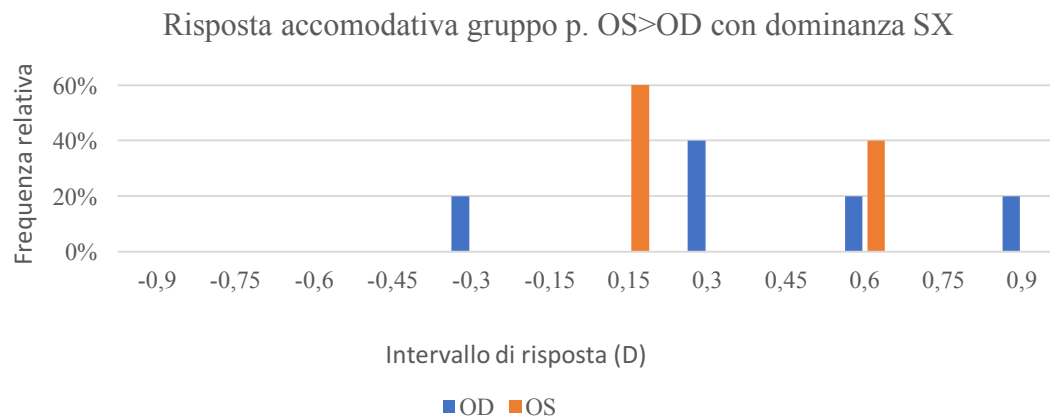


Grafico 10d

Da questi istogrammi si evince che nel campione preso in considerazione la posizione dell'occhio dominante è casuale e quindi, *non* si evidenzia l'effetto di "occhio guida" da parte dell'occhio dominante. In letteratura sono presenti ulteriori differenziazioni: nella risposta statica ovvero durante l'osservazione di stimoli prossimali (Chen C., 2015) e nella risposta dinamica durante il cambio di focalizzazione da visione distale a prossimale (Ibi K., 1997). Pertanto la risposta osservata risulta essere parzialmente diversa rispetto a ciò che è riportato in letteratura.

Dato che non è stata osservata una risposta maggiore dell'occhio dominante è stato relazionata la qualità di immagine percepita e la dominanza spaziale tramite un istogramma visibile nel Grafico 11.

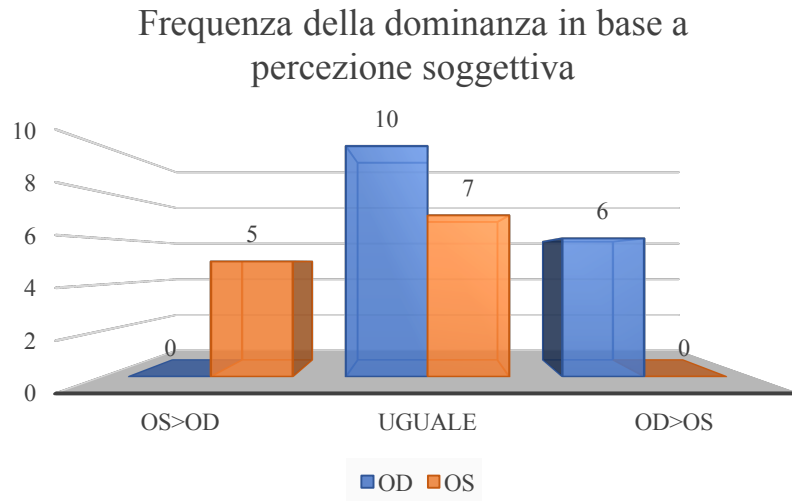


Grafico 11

Dal grafico si può evincere che nel gruppo selezionato qualora sia presente una percezione preferenziale essa presenta una relazione tra qualità dell'immagine percepita e dominanza spaziale prossimale.

5.5 Discussione e Conclusioni

Questo studio ha cercato di rispondere alla domanda: “in condizioni visive fisiologiche binoculari e il più possibile ecologico-ambientali, è possibile si presenti una differenza di risposta accomodativa nei due occhi per stimoli che presentano la medesima richiesta accomodativa?” A tal fine è stata svolta un’indagine per verificare se, in presenza di una condizione refrattiva bilanciata a distanza, in assenza di disfunzioni binoculari rilevabili e sintomatiche, in assenza di patologie che potessero inficiare il sistema visivo, possa essere presente un’asimmetria accomodativa. Questa valutazione è stata effettuata su 41 studenti volontari di età compresa tra i 20 e 25 anni di cui sono stati selezionati 28 studenti. I risultati ricavati dall’indagine clinica hanno mostrato che:

- La maggioranza dei soggetti presenta una risposta simmetrica tuttavia una parte invece mostra una differente risposta tra i due occhi. Relazionando i dati di percezione soggettiva ai dati della risposta accomodativa si è potuto osservare frequentemente un comportamento coerente tra il gruppo con percezione soggettiva uguale e la risposta accomodativa nei due occhi.
- Differentemente, chi possedeva percezioni soggettive preferenziali di uno dei due occhi mostrava con maggior frequenza comportamenti non coerenti, ovvero visione uguale tra i due occhi o visione differente in senso opposto rispetto alle risposte accomodative.

Complessivamente, si è osservato, con un livello di confidenza del 98%, che nel gruppo esaminato, chi presenta una percezione preferenziale presenta in media una differente risposta accomodativa nei due occhi.

Concettualmente, si potrebbe pensare che se fosse presente un’asimmetria nelle due risposte accomodative, ne dovrebbe discendere una differenza in termini di acutezza visiva. Tuttavia, si pensa che questa mancata differenza quantitativa non sia stata rilevata in quanto, fisiologicamente, il sistema visivo può tollerare un certo ammontare di *defocus* ottico senza percepire uno sfuocamento nell’immagine retinica. Tale spazio di tolleranza è la profondità di campo/fuoco, la quale è influenzata dalla luminanza, dal contrasto dello stimolo e anche dal diametro pupillare, parametri che non sono stati considerati.

Inoltre le valutazioni cliniche effettuate sono di tipo statico ovvero rappresentate da un singolo valore a fronte di un fenomeno, l'accomodazione, che risulta essere dinamico e variabile nel tempo pertanto idealmente sarebbe utile una rilevazione continua per osservare il comportamento dei due occhi nel tempo. Tale dinamicità del sistema accomodativo rappresentate da rapide micro-fluttuazioni di potere le quali aumentano in ampiezza all'aumentare dello stimolo accomodativo (Chu R., 2010). Tuttavia la capacità del sistema di compensare eventuali errori non giustifica la differenza di risposta accomodativa in quanto, come si è potuto constatare nei capitoli precedenti, la stimolazione accomodativa dovrebbe essere di *egual entità* nei due occhi.

È importante tenere presente che questo studio è incentrato esclusivamente su alcuni parametri visivi, i quali risultano essere elementi insufficienti per formulare un'ipotesi concreta sulla causa di tale fenomeno considerato complesso, in quanto potenzialmente influenzato da molti fattori di natura non esclusivamente visiva. Tuttavia per giustificare la reale presenza di una focalizzazione asimmetrica si potrebbe ipotizzare, che questa possa avvenire per far fronte a esigenze visive particolari e pertanto sia una differenza di tipo funzionale in quanto la visione – nel suo complesso – risulta essere stabile. In letteratura sono presenti delle ipotesi che suggeriscono che questa capacità di aniso-accomodare possa verificarsi in soggetti con una visione asimmetricamente sfuocata e protratta nel tempo oppure in soggetti con posture anomale (Marran L., 1998). Inoltre tale capacità potrebbe essere sfruttata per compensare piccoli errori refrattivi anisometropici al fine di mantenere una raffinata stereoacuità altrimenti compromessa (Brooks S. E., 1996) (Marran L., 1998) e nel caso in cui sia presente una condizione refrattiva anisometropica in bambini neonati, questa capacità potrebbe risultare un appropriato ed efficace segnale di segnale efferente che potrebbe essere sfruttato per portare all'isometropizzazione del soggetto (Marran L., 1998).

In conclusione, si osserva una precisazione riguardo la condizione di osservazione a breve distanza in soggetti giovani. In presenza di visione simile tra i due occhi solitamente la risposta accomodativa frequentemente è simile. Tuttavia la risposta può anche essere diversa. Da questo studio si può quindi affermare che può essere presente una differenza nelle due risposte accomodative e che la sensazione visiva non è prova della risposta accomodativa oggettiva, ovvero da una non si può dedurre

l'altra, ma vanno verificate entrambe. Infine nel campione esaminato chi presentava una percezione soggettiva preferenziale in media possedeva una differenza nella risposta accomodativa statisticamente significante.

SCHEDE

Appendice A

Scheda di valutazione

Università degli studi di Padova
CdL Ottica ed Optometria
Scheda Test

Cognome	Nome	Ddn	M <input type="radio"/> F <input type="radio"/>
---------	------	-----	---

Anamnesi

Salute oculare	Tipo correzione: Lac <input type="radio"/> OO <input type="radio"/>
Ambliopie	Gruppo:
Deviazioni manifeste	• Anisotropi <input type="radio"/>
Training accomodativi	• Isotropi <input type="radio"/>

Test preliminari

	Lontano	Vicino
Cover test		
Dominanza		
Stereopsi		

Dati

Rx in uso			AV Bio	Av bio +0.75	Note
L	OD				
	OS				
V	OD				
	OS				
S. R. 2WIN	OD				
	OS				

	R. Nott	A.V. Tablet	Qualità visiva	Ampiezza Accom.	AA teorica
OD					
OS					

Appendice B

Mira retinoscopia dinamica

N4	<p>Quando dite "io vedo il significato di tale affermazione è ben è più vasto. In realtà non solo vedete ma anche comprendete. La visione non è solo capacità di vedere; è anche la capacità di comprendere. Visione, intelligenza comprensione sono da sempre sinonimi. Ciò non è casuale: la Visione e l'intelligenza sono</p>
N5	<p>strettamente collegate. La maggior parte di quanto apprendiamo ci proviene dalle immagini captate dagli occhi che, integrate dalle informazioni degli altri sensi e da quelle precedentemente acquisite ci permettono di attribuire un significato. Senza che ciò si verifichi ci</p>
N6	<p>sarà "vista" e non "visione". L'optometria è la scienza della visione. Essa è molto più di un "paio di occhiali" o di un "esame della vista". È un servizio dedicato all'analisi scientifica ed al miglioramento della visione intesa come processo di apprendimento</p>
N8	<p>e quale fenomeno fondamentale per il miglior adattamento dell'individuo al mondo che lo circonda.</p>

Appendice C

Mira J2 per ampiezza accomodativa

OTTOTIPO PER LETTURA SECONDO SNELLEN

0,37 M	Quando dite « io vedo » il significato di tale affermazione è ben più vasto. In realtà non solo vedete ma anche comprendete. La Visione non è solo capacità di vedere; è anche capacità di comprendere. Visione, intelligenza, comprensione sono, da sempre, sinonimi. Ciò non è casuale: la Visione e l'intelligenza sono	J 2
0,50 M	strettamente collegate. La maggior parte di quanto apprendiamo ci proviene dalle immagini captate dagli occhi che, integrate dalle informazioni provenienti dagli altri sensi e da quelle precedentemente acquisite, ci permettono di attribuire alle immagini un significato. Senza che ciò si verifichi ci	J 3
0,62 M	sarà « vista » ma non « Visione ». L'Optometria è la scienza della Visione. Essa è molto di più di un « paio di occhiali » o di un « esame della vista ». E' un servizio dedicato all'analisi scientifica ed al miglioramento della visione intesa quale processo di apprendimento	J 4
0,75 M	e quale fenomeno fondamentale per il miglior adattamento dell'individuo al mondo che lo circonda. E' un servizio professionale di alta responsabilità e per esercitare la professione gli Optometristi hanno seguito corsi di alto livello e superato rigidi esami. L'Optome-	J 5
1,00 M	trista sia tramite la prescrizione di lenti che tramite la rieducazione visiva persegue lo scopo di ripristinare, condizionare, equilibrare i processi cerebrali al fine di porre il sistema	J 7
1,25 M	visivo in condizioni di massima affidabilità. La Visione è, per l'umanità, dopo la vita stessa, il dono più prezioso.	J 8

I caratteri di questa tavola sono dimensionati secondo Snellen alla indicata distanza in metri. A destra l'indicazione secondo Jaeger.

BIBLIOGRAFIA

Arditi A., Cho J.; Letter case and text legibility in normal and low vision; Vision Research; Elsevier; 2007; Vol. 47; pp. 2499-2505.

Ball A.; Study of Consensual Accommodation; Optometry and Vision Science; American Accademy of Optometry; 1952; Vol. 29; pp. 561-574.

Benjamin W. J. Campbell C. E., Howland H. C.; Objective Refraction: Retinoscopy, Autorefraction, and Photorefraction; Borish's Clinical Refraction; Benjamin W. J; Butterworth Einemann Elsevier; 2006; Vol. 18; pp.683-764.

Brooks S. E. Fischer N., Johnson D.; Anisometropia and Binocularity; Ophtalmology; 1996; Vol. 103; pp. 1139-1143.

Burns C R. Cooper J. S., Cotter S. A., Daum K. M., Griffin J. R., Scheiman M. M.; Optometric Clinical Practice Guideline Care of the Patient with Accommodative and Vergence Dysfunction; USA; American Optometric Association, 2011.

Burns C. R. Cooper J. S., Cotter S. A., Daum K. M., Griffin J. R., Scheiman M. M. Optometric Clinical Practice Guideline Care of Patient with Accommodative and Vergence Dysfunction; American Optometric Association; 2011.

Chacho P. Garcia A.; MEM dynamic retinoscopy in patients with disorders of vergence and accommodation; Ophtalmic and Physiological Optics; 2002; Vol. 22; pp. 175-270.

Chacho P. Garcia J., Lopez A.; Comparsion between MEM and Nott dynamic retinoscopy; Optometry and Vision Science; 1999; Vol. 46; pp. 650- 655.

Charman W. M Koh L. H.; Accommodative response to anisoaccommodative targets; Ophtalmic and Physiological Optics; 1998; Vol. 18; pp. 254-252.

Charman W. N; Aniso-accommofation as a possible factor in myopia development; Ophtalmic and Physiological Optics; 2004; Vol. 24; pp. 471-479.

Chen C., Collins M. J., Gosh A., Lam A., Read S. A., Sahota S., Vincent S. J., Vo R.; The short-term accommodation response to aniso-accommodative stimuli in isometropia; *Ophthalmic and Physiological Optics*; 2015; Vol. 35; pp. 552-561.

Chen C. Collins M. J., Gosh A., Lam., Read S. A., Sahota S., Vincent S. J., Vo R.; The short-term accommodation response to aniso-accommodative stimuli in isometropia; *Ophthalmic and Physiological Optics*; 2015; 35; pp. 552-561.

Chu R. Huang J., Jang B., Lin H., Yao P.; Objective depth-of-focus is different from subjective depth-of-focus and correlated with accommodative microfluctuations; *Vision Research*; Elsevier; 2010; Vol. 50; pp. 1266-1273.

Ciuffreda K. J.; Accommodation, the Pupil, and Presbyopia; *Borish' Clinical Refraction*; J. Benjamin W.; China; Butterworth Heinemann Elsevier; 2006; pp. 93-144.

Currie D. C. Manny R. E.; *The Development of Accommodation*; *Vision Research*; 1997; Vol. 37; pp. 1525-1533.

Dogson N. A.; Autostereoscopic 3D display ; *Computer*; 2005; Vol. 38; pp. 31-36.

Duane A.; *Anomalies of the accommodation clinically considered*; American Ophthalmological Society; 1915; pp. 386-402.

Duane A.; *Studies in monocular and binocular accommodation, with their clinical application*; Transaction of the American Ophthalmological Society; New York City; 1922; Vol. 20; pp. 865-877.

Evans B. J.; *Binocular Vision Assessment*; *Optometry Science, Tecnique and Clinical Management*; Logan N. Rosenfield M; 2009; Vol. 16; pp. 241-256.

Faria-Ribeiro M., Gonzalez-Méijome J. M., Lopes-Ferreira D., Neves H., Peixotode-Matos S. C., Queiros A.; *Ocular Dominance and Visual Function Testing*; *BioMed Research International*; 2013.

Faucher C. De Guise D.; Case Report: Spasm of the Near Reflex Triggered by Distruption of Normal Binocular Vision; *Optometry and Vision Science*; 2004; Vol. 81; pp. 178-181.

Frenkel B. Smith R.; Streff Syndrome: a Case Report ; American Academy of Optometry; 2016.

Fruscella S.; Cristallino; Oftalmologia; Bucci M. G.; Roma; Società Editore Universo; 2007; pp. 225-256.

Glasser A. Ostrin L. A.; Accommodation measurements in a presbyopic population; Journal of Cataract & Refractive Surgery; 2005; Vol. 31; pp. 865-866.

Grosvenor T.; Objective refraction; Primary Care Optometry; Butterworth Heinemann Elsevier; 2007; Vol. 9; pp.183-208.

Grosvenor T.; The binocular vision examination; Primary care optometry; Butterworth Heinemann Elsevier; 2007; Vol. 11; pp. 224-250.

Hayes J. R. Sheedy J. E., Subbaram M. V., Zimmerman A. B.; Text Legibility and the Letter Superiority Effect; Human Factors; 2005; Vol. 47; pp. 795-815.

Ianese G. A.; MKH Mess und Korrekturmethodik von Haase; Professional Optometry; 2013; pp. 46-50.

Ibi K.; Characteristics of dynamic accommodation responses: comparison between the dominant and non-dominant eyes; Ophthalmic & physiological optics; Elsevier; 1997; Vol. 17; pp. 44-54.

Kruger P. B.; The effect of cognitive demand on accommodation; American Journal of Optometry & Physiological Optics; 1980; Vol. 58; pp. 440-445.

Lin H. Wu C., Mao X.; Accommodative microfluctuations and accommodative lag after orthokeratology; Investigative Ophthalmology & Visual Science; 2014; Vol. 55; pp. 4655.

Liu Y. Tarrant J., Wildsoet C. F.; Orthokeratology Can Decrease the Accommodative Lag in Myopes; Investigative Ophthalmology & Vision Science; 2009; Vol. 50; pp. 4294.

Lovasik J. V. Szymkiw M.; Effects of aniseikonia, anisometropia, accommodation, retinal illuminance and pupil size on stereopsis; Investigative Ophthalmology & Visual Science; 1985.; Vol. 26; pp. 741-750.

Marran L. Schor C. M.; The effect of target proximity on aniso-accommodative response; *Ophthalmic and Physiological Optics*; 1999; Vol. 19; pp. 376-392.

Marran L. Schor C. M.; The effect of target proximity on aniso-accommodative response; *Ophthalmic and Physiological Optics*; 1999; pp. 376-392.

Marran L. Schor C.; Lens induced aniso-accommodation; *Vision Research*; 1998; pp. 3601-3619.

Millodot M.; Accommodation; *Dictionary of Optometry and Visual Science*; M. Millodot; Boston; Butterworth Einemann; 2004.

Millodot M. Aniso-accommodation; *Dictionary of Optometry And Visual Science*; M. Millodot; Boston; Butterworth Heinemann; 2004.

Millodot M.; *Dictionary of optometry and visual science*; Boston; Butterworth Einemann; 2004.

Pallikaris I. G. Sultan P., Yalcin E., Yalmaz S.; A comparison of refraction defects in childhood measured using Plusoptix S09, 2WIN photorefractometer, Benchtop autorefractometer, and cycloplegic retinoscopy; *Seminars in Ophthalmology*; 2016; Vol. 32; pp. 422-427.

Pivetti Pezzi P.; Uvea; *Oftalmologia*; Bucci M. G.; Roma; Società Editrice Universo; 2007; pp. 186-224.

Rabbets R.B.; Anisometropia and aniseikonia; *Clinical Visual Optics*; R.B Rabbets; Butterworth Heinemann Elsevier; 2007; Vol. 14.

Rabbets R. B. Retinoscopy (schiascopy); *Clinical Visual Optics*; Butterworth Heinemann Elsevier; 2007; Vol. 17.

Rosenfield M. Clinical assessment of accommodation; *Optometry Science, Tecnique and Clinical Management*; Logan N. Rosenfield M.; Butterworth Heinemann Elsevier; 2009; Vol. 15.

Rossetti A.; L'esame della visione binoculare; *Manuale di Optometria e Contattologia* ; Gheller P. Rossetti A.; Bologna; Zannichelli; 2003; Vol. 14.

Rossetti A.; L'esame refrattivo soggettivo; Manuale di Optometria e Contattologia; Gheller P. Rossetti A.; Bologna; Zanichelli; 2003; Vol. 13.

Rossetti A.; Accomodazione e Presbiopia; Ottica Visuale; Calossi A. Fossetti A., Rossetti A., Zeri F.; Roma; Società Editrice Universo; 2012; Vol. 7.

Rossetti A.; Motilità Oculare e Organizzazione Neuronale; Manuale di Optometria e Contattologia; Gheller P. Rossetti A.; Bologna; Zannichelli; 2003; Vol. 4.

Saladin J. J.; Phorometry and Stereopsis; Borish' Clinical Refraction; J. Benjamin W.; Butterworth Heinemann Elsevier; 2006; Vol. 21; pp.899-962.

Saunders; Optometric assesment and management of patients with developmental disability; Optometry Science, Tecnique and Clinical Management; Rosenfield L. N. M.; Butterworth Heinemann Elsevier; 2009; Vol. 32; pp. 513-530.

Scheiman M. Wick B.; Accommodative Dysfunction; Clinical Managment of Binocular Vision Heterophoric, Accommodative, and Eye Movement Disorder; Wolter Kluwer Lippincot Williams & Wilkins; China; 2014;Vol. 12;

Scheiman M. Wick B.; Diagnostic testing; Clinical Management of Binocular Vision Heterophoric, Accommodative, and Eye Movement Disorder; Wolter Kluwer Lippincott Williams & Wilkins; China; 2014; Vol. 1.

Schwiegerling J.; Field Guide to Visual and Ophtalmic Optics; International Society for Optical Engineering; 2004; pp. 20.

Smith J. L. Bucic J. R.; Drugs Which Can Affect Near Vision: A Useful List; American Orthoptic Journal; 1999; Vol 49; pp. 180-190.

Taub M. B. Shallo H. J.; A comparsion of three clinical tests of accommodation amplitude to Hofstetter's norms to guide diagnosis and treatment; Optometry & Vision Development; 2012; Vol. 43; pp. 180-190.

Yothers T. Morse S. E., Wick B.; Clinical testing of accommodative facility: part II. Development of an amplitude-scaled test; Optometry; 2002; Vol. 73; pp. 91-102.

RINGRAZIAMENTI

In primis ci tengo a ringraziare gli studenti che si sono prestati come volontari per lo studio e ringrazio tutti i Professori che mi hanno aiutato nello svolgimento della tesi per il tempo, le competenze ma soprattutto la pazienza che hanno dimostrato.

Ringrazio i miei amici che mi hanno sopportato in questo percorso e con il quale ho condiviso gioie e dolori e che mi hanno insegnato che nei momenti più bui l'unione fa la forza.

Colgo l'occasione per ringraziare i miei amici e compagni di Università ed in particolare Alessandro e Matteo, coinquilini, compagni di corso ma soprattutto amici coi quali ho condiviso questo percorso in tutte le sue sfumature e con cui spero di condividere ancora molte esperienze.

Infine il ringraziamento più importante va ai miei genitori, Laura e Giorgio ed a mia sorella Chiara che hanno dimostrato una pazienza infinita nonostante tutto ciò che hanno passato per causa mia ma nonostante tutto non hanno mai smesso di credere in me.