

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Fisica e Astronomia "Galileo Galilei"

Corso di Laurea in Ottica e Optometria

TESI DI LAUREA

*La capacità accomodativa:
screening in una popolazione di studenti*

Relatore: Dott.ssa Dominga Ortolan

Correlatore: Dott. Luca Stanco

Laureando: Bisa Jacopo

Matricola: 1044531

Anno Accademico: 2015/2016

«Ever tried.

Ever failed.

No matter.

Try again.

Fail again.

Fail better»

INDICE

➤ ABSTRACT	1
➤ CAPITOLO 1 – IL CRISTALLINO	2
1.1. Cos'è il cristallino	
1.2. Il metabolismo	
1.3. La struttura	
1.4. Il corpo ciliare	
1.5. Le funzioni del cristallino	
➤ CAPITOLO 2 – L'ACCOMODAZIONE	8
2.1. Il meccanismo dell'accomodazione e cambiamenti anatomici	
2.2. La via afferente e efferente	
2.3. I fattori per l'accomodazione	
➤ CAPITOLO 3 – CENNI DI STORIA	14
3.1. Scheiner	
3.2. Young	
3.3. Cramer	
3.4. Helmholtz	
3.5. Coleman	
3.6. Schachar	
➤ CAPITOLO 4 – ACCOMODAZIONE E SUA VALUTAZIONE	18
4.1. Tipi di accomodazione	
4.2. Punto remoto, punto prossimo e ampiezza accomodativa	
4.3. Punto prossimo, distanza di lettura e distanza di Harmon	
4.4. Valutazione dell'accomodazione:	
• Ampiezza accomodativa	
• Accomodazioni relative	
• Flessibilità accomodativa	
➤ CAPITOLO 5 – LO STUDIO	36
➤ DISCUSSIONI E CONCLUSIONE	44
➤ BIBLIOGRAFIA	46

ABSTRACT

SCOPO

Questa tesi ha lo scopo di valutare se le norme di flessibilità accomodativa in uso sono confermate da quelle trovate in questo studio.

METODO

Sono stati esaminati 60 soggetti di età 18 ± 2 anni. È stato consegnato un questionario di 10 domande che indaga l'efficacia del sistema visivo durante il lavoro a distanza ravvicinata. Ad ogni soggetto è stato misurato il punto prossimo di accomodazione di rottura e recupero della visione nitida, la distanza di Harmon, la distanza di lettura e la flessibilità accomodativa monocolare e binoculare.

RISULTATI

I risultati sono i seguenti:

- Questionario: 17 ± 5
- Punto prossimo di rottura e recupero: $10.9 \text{ cm} \pm 0.4 \text{ cm}$ e $13.8 \text{ cm} \pm 0.4 \text{ cm}$
- Distanza di lettura: $39.0 \text{ cm} \pm 1.0 \text{ cm}$
- Distanza di Harmon: $41.5 \text{ cm} \pm 0.4 \text{ cm}$
- Flessibilità accomodativa monocolare: OD: 11.1 ± 0.5 cicli/minuto e OS: 11.5 ± 0.5 cicli/minuto
- Flessibilità accomodativa binoculare: OU: 10.9 ± 0.4 cicli/minuto

CONCLUSIONI:

I dati di flessibilità accomodativa monocolare riscontrati nei soggetti sono compatibili con i dati di Burge [1] (OD 1.64, OS 0.12) e Zeller [2] (OD 0.67, OS 0.52) mentre quelli binoculari non sono compatibili [3] (OU 4.97) e [4] (OU 4.97).

CAPITOLO 1: IL CRISTALLINO

1.1 Il cristallino è una struttura avascolare trasparente localizzata nel segmento anteriore dell'occhio tra l'iride e l'umor vitreo (Fig. 1). La faccia anteriore è in contatto con l'epitelio pigmentato dell'iride, mentre quella posteriore con la ialoide anteriore. Il cristallino è collegato al corpo ciliare da un sistema di fibre zonulari; una contrazione del muscolo ciliare determina un aumento della sua convessità e quindi della sua potenza ottica, in modo da portare a fuoco sulla retina le immagini a seconda della loro distanza (3).

Il cristallino presenta le seguenti caratteristiche:

- ha la forma di una lente biconvessa;
- ha un diametro di 9 mm e uno spessore di 5 mm;
- il raggio di curvatura della faccia anteriore e posteriore sono rispettivamente 10 mm e 6 mm;
- il polo anteriore e quello posteriore si trovano rispettivamente a una distanza di 2.5 mm dalla cornea e 16 mm dalla macula (1);
- Il peso è di 60 mg alla nascita e raggiunge i 250 mg all'età di 80 anni (4);

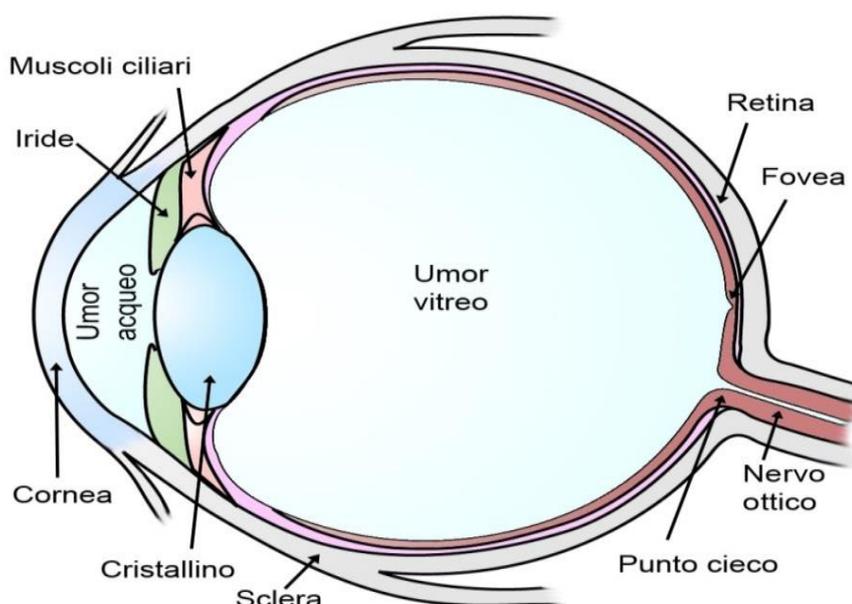


Figura 1. Localizzazione del cristallino all'interno dell'occhio.

1.2 E' composto da 63 % di acqua, 35 % di proteine, 2 % di carboidrati e infine da piccole quantità di lipidi e sostanze inorganiche. Non presenta nè vasi sanguigni nè nervi e viene nutrito solamente dall'umor acqueo, nel quale è immerso (1). Il cristallino ha un'attività metabolica ridotta che si traduce nella sintesi delle proteine e nella pompa sodio potassio. La sintesi delle proteine utilizza amminoacidi prelevati dall'umor acqueo e l'energia per la sintesi viene fornita per l'85 % dal glucosio che viene trasformato in acido piruvico e poi in acido lattico mediante una glicolisi anaerobia; il restante 15 % viene fornito dall'ossigeno mediante un'ossidazione diretta (4).

1.3 Nel cristallino sono presenti (Fig. 2):

- la capsula che lo racchiude, è formata da una membrana trasparente elastica, divisa in una parte anteriore più spessa e da una posteriore; si saldano a livello dell'equatore (1) che rappresenta la zona di congiunzione tra la faccia anteriore e quella posteriore del cristallino. Non contiene fibre elastiche e la sua elasticità è da attribuire alla particolare disposizione delle fibre di cui la capsula è composta (4). Funge da barriera e impedisce a grandi molecole, quali l'emoglobina e l'albumina, di entrare all'interno del cristallino (3).
- l'epitelio germinativo presente sotto la capsula anteriore è formato da un unico strato di cellule cuboidali; è assente nella capsula posteriore perché è stato utilizzato durante la vita embrionale per formare le prime fibre del cristallino (3). Queste cellule hanno un nucleo centrale e un citoplasma provvisto di ribosomi, apparato di Golgi e mitocondri. Si sviluppano per suddivisione mitotica, si allungano e iniziano a spostarsi verso l'equatore. Durante il processo di maturazione, il citoplasma perde la sua forma, il nucleo si frammenta e la cellula acquista l'aspetto di una fibra lenticolare. Le nuove fibre si dispongono più lontane rispetto a quelle precedentemente formate e il risultato che ne deriva è una struttura a strati concentrici, simile ad una cipolla; nel cristallino ci sono circa 2200 fibre disposte in maniera regolare e parallela (4).
- la corteccia è la massa del cristallino, è formata da cellule epiteliali e dal citoplasma allungato a sezione esagonale. Le fibre corticali hanno una

particolare disposizione: l'unione delle terminazioni delle fibre dà origine a suture a forma di Y che si possono vedere in lampada a fessura. L'osservazione è agevole nel feto o nel bambino mentre nell'adulto la sovrapposizione di fibre porta a una difficile distinzione. L'indice di rifrazione è 1.386 (2).

- il nucleo è la parte più interna e rigida. E' formato da fibre della corteccia degenerate e compresse l'una sull'altra. Questo avviene perché le cellule morte non vengono eliminate dal cristallino, in quanto chiuso su se stesso, ma vengono spinte verso il centro, questo causa un aumento della massa nucleare (2). Con l'avanzare dell'età il nucleo aumenta il suo volume, a differenza della corteccia che invece si assottiglia; queste variazioni portano alla sclerosi, ovvero all'indurimento del cristallino. Questo processo fa diminuire gradualmente la capacità del cristallino di modificare il suo potere per la visione da vicino. La progressiva perdita di elasticità si riflette sulla riduzione dell'ampiezza accomodativa, fenomeno che comincia già nell'adolescenza e porta alla presbiopia intorno ai 40 anni (1). L'indice di rifrazione è maggiore di quello della corteccia e varia tra 1.407 e 1.41 (2).

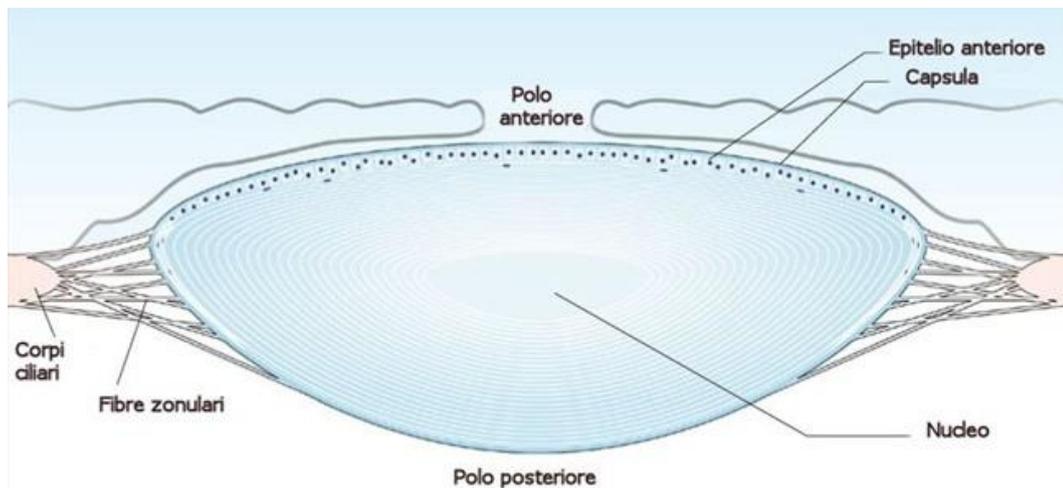


Figura 2. Componenti del cristallino: dall'esterno verso l'interno sono visibili la capsula, l'epitelio germinativo e il nucleo.

Il cristallino è mantenuto in sede da un apparato sospensore chiamato zonula di Zinn, formato da sottilissime microfibrille che si estendono tra l'equatore e il corpo ciliare (4).

1.4 Il corpo ciliare (Fig. 3) è una struttura triangolare che si estende tra l'iride anteriormente e la coroide posteriormente (5). Ha una lunghezza di 6/7 mm con uno spessore variabile: è più sottile nella parte posteriore e si ispessisce man mano (6). Della struttura triangolare si distinguono:

- La base posta anteriormente e rivolta verso la radice dell'iride;
- Il lato esterno a contatto con la sclera;
- Il lato interno a contatto con la camera posteriore e una piccola porzione dell'umor vitreo;
- L'apice localizzato a livello dell'ora serrata;

Il corpo ciliare può essere diviso in due parti: la pars plicata e la pars plana. La pars plicata è la parte anteriore contenente i processi ciliari, se ne contano circa 70/80 e si estendono lungo la camera posteriore. Sono intensamente vascolarizzati, hanno la forma di una piramide triangolare e lo spazio tra i vari processi è chiamato valle di Kuhnt. La pars plana è una zona pianeggiante del corpo ciliare. Si estende dalla parte posteriore della pars plicata fino all'ora serrata che rappresenta la zona di transizione tra il corpo ciliare e la coroide (7).

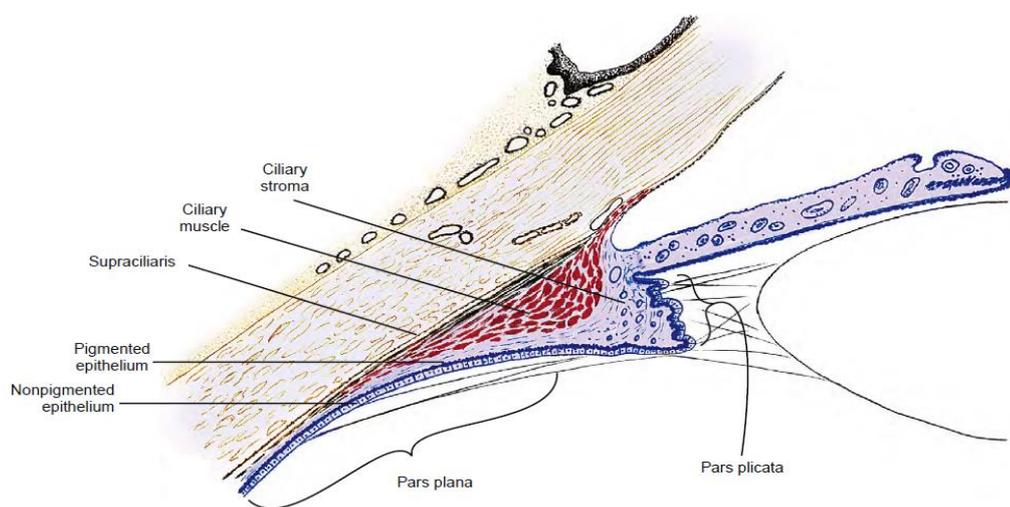


Figura 3. Corpo ciliare e i suoi componenti.

Le fibre della zonula di Zinn nascono dalla membrana limitante interna della retina a livello dell'ora serrata e dall'epitelio dei processi ciliari (1). Si distinguono due sistemi di fibrille: il primo origina in corrispondenza della pars plana posteriore e va a inserirsi nella faccia anteriore del cristallino, mentre il

secondo origina in corrispondenza dei processi ciliari e va a inserirsi nella faccia posteriore. Entrambi si inseriscono a 1.5 mm dall'equatore. Questi due sistemi di fibre si intersecano formando uno spazio triangolare chiamato canale di Petit (4)

1.5 La sua funzione principale è la rifrazione; è fondamentale che il cristallino sia trasparente così da garantire la minima dispersione della luce. La trasparenza è dovuta al fatto che le fibre hanno una disposizione regolare e parallela e che sono a loro volta composte da proteine che hanno una sequenza e disposizione regolare.

Le possibili cause della perdita di trasparenza sono:

- un'idratazione intra o intercellulare delle fibre che comporta la perdita di parallelismo;
- una variazione della conformazione delle proteine che causa una diffusione della luce all'interno del cristallino;
- una diminuzione del potenziale energetico con conseguente alterazione della sintesi delle proteine, del gradiente elettrolitico o della pressione osmotica;
- la presenza di pigmento nelle fibre che agisce come filtro che ostacola la trasmissione della luce;

Il cristallino ha un potere diottrico a riposo di 14 D suddiviso tra la faccia anteriore (5 D) e posteriore (9 D). Per diminuire le aberrazioni dovute alle immagini localizzate nella periferia del campo visivo, il potere diminuisce gradualmente dall'interno verso l'esterno; ciò si verifica grazie all'indice di rifrazione, maggiore per il nucleo e minore per la corteccia (4).

CAPITOLO 2: L'ACCOMODAZIONE

2.1 Con il termine accomodazione si intende la capacità del cristallino di modificare il suo potere diottrico in modo da consentire la messa a fuoco sulla retina di oggetti posti a varie distanze. È un meccanismo neuromuscolare che agisce binocularmente associato a un movimento di convergenza dei bulbi oculari per evitare diplopia e alla miosi per ridurre le aberrazioni sferiche (4).

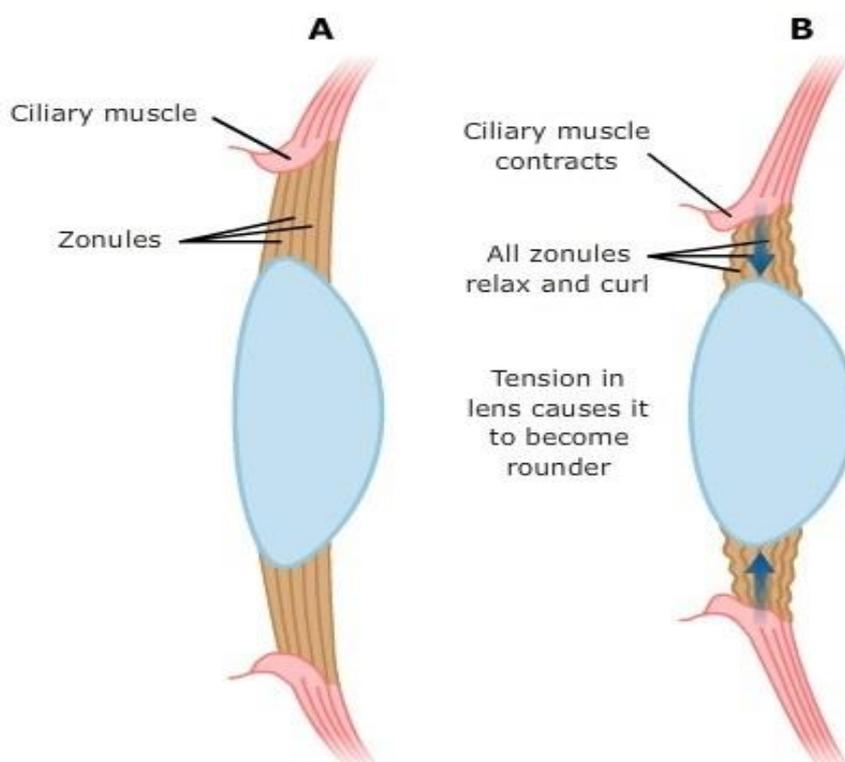


Figura 4. Meccanismo dell'accomodazione.

Nel processo accomodativo (Fig. 4 B) l'unico elemento attivo è il muscolo ciliare. Uno stimolo causa un aumento della frequenza di innervazione del muscolo ciliare e di conseguenza la sua contrazione. Il muscolo ciliare si sposta in avanti, verso il centro dell'occhio e questo spostamento produce un rilassamento delle fibre zonulari. Il cristallino per la sua particolare conformazione (forze elastiche della capsula e proprietà viscoelastiche) ha una tendenza ad assumere una forma più sferica (aumenta la curvatura) e questo si traduce in un aumento del potere complessivo. Quando invece la contrazione del muscolo ciliare (Fig. 4 A) diminuisce, aumenta la tensione che questo applica sulle fibre zonulari facendo diminuire la curvatura del cristallino e quindi anche il potere complessivo. (4,8)

Questa è la teoria di Helmholtz e viene considerata la più esaustiva anche se non spiega alcune caratteristiche fisiopatologiche come le costanti di tempo collegate all'isteresi accomodativa, lo spostamento in avanti del cristallino durante l'accomodazione, la riduzione dell'accomodazione nella presbiopia, la capacità del corpo ciliare di appiattire il cristallino senza l'aiuto dell'umor vitreo e il rapporto tra accomodazione e progressione del glaucoma e della miopia (13).

Durante il processo accomodativo si possono notare le seguenti variazioni (Fig. 5):

- Il diametro equatoriale diminuisce di 0.4 mm, da 10 mm a 9.6 mm;
- Il raggio di curvatura anteriore cambia da 11 a 5.5 mm;
- Il raggio di curvatura posteriore cambia da 5.18 a 5.05 mm;
- Il cristallino si abbassa di 0.3 mm a causa della gravità;
- Lo spessore aumenta passando da 0.36 a 0.58 mm;
- Il polo anteriore avanza verso la cornea di 0.3 mm; (9)
- Il polo posteriore sembra non aver nessun spostamento;
- Il potere refrattivo aumenta;
- La pupilla si restringe, questo fenomeno viene descritto come sincinesia;
- L'ora serrata avanza di 0.05 mm/D di accomodazione; (8)

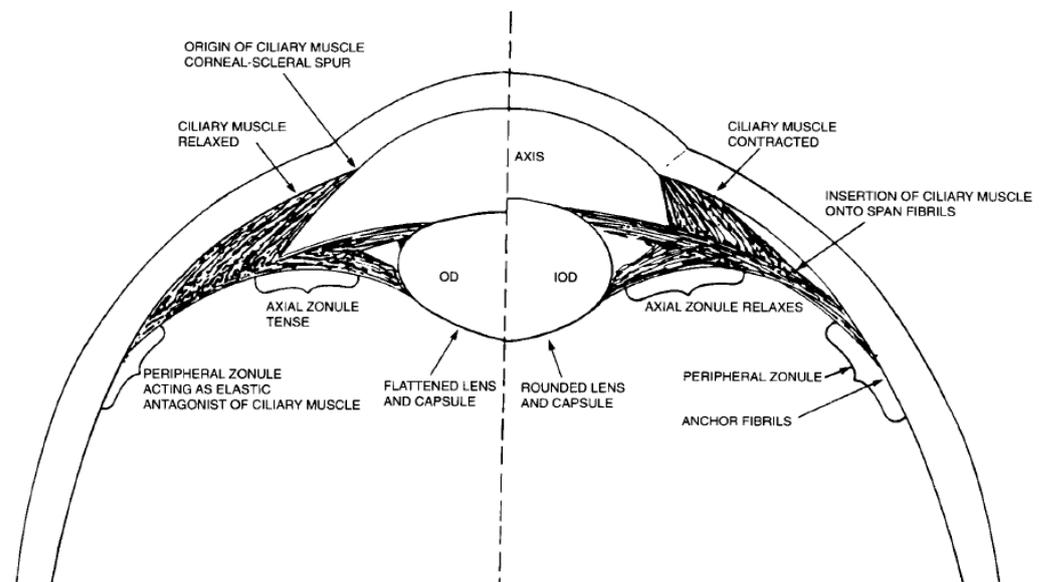


Figura 5. Variazioni anatomiche durante l'accomodazione.

2.2 L'accomodazione è innescata maggiormente dalla percezione di un'immagine sfuocata a livello retinico. Lo sfuocamento stimola i coni e viene poi trasmesso un segnale, attraverso lo strato magnocellulare (minor contributo del parvocellulare) del corpo genicolato laterale, alla corteccia visiva dove viene formulato un segnale sensoriale di sfuocamento dato dalla sommazione delle risposte delle cellule corticali. Questo input viene poi inviato alle zone parieto-temporali della corteccia e al cervelletto per l'elaborazione e la sua propagazione. Il segnale arriva al mesencefalo nel nucleo di Edinger Westphal dove viene formulato un comando motorio che viene trasmesso al muscolo ciliare. Questo comando induce una modifica della contrazione del muscolo ciliare stesso che permette al cristallino di cambiare la sua curvatura per ricalibrare la "messa a fuoco" (9).

L'accomodazione è una risposta riflessa e si suddivide in due vie:

- Via afferente: inizia dalle cellule gangliari retiniche, prosegue lungo il nervo ottico, poi le fibre si dividono a livello del chiasma e continuano fino ai tratti ottici. Le fibre della radiazione ottica, dal corpo genicolato laterale si proiettano alle aree visive corticali, più precisamente all'area 17 di Brodmann e all'area peristriata 19.
- Via efferente parasimpatica (Fig. 6) : dalla corteccia gli stimoli proseguono lungo una via cortico-tettale (ancora non identificata e localizzata) per terminare nel mesencefalo, in corrispondenza del nucleo di Edinger-Westphal. Da qui gli assoni pregangliari parasimpatici afferenti si uniscono all'oculomotore (3° paio dei nervi cranici), penetrano nell'orbita e raggiungono il ganglio ciliare. Da qui le fibre post-gangliari raggiungono l'occhio attraverso i nervi ciliari brevi, perforano la sclera al polo posteriore e terminano sul muscolo costrittore della pupilla e quello ciliare.
- Via efferente simpatica (Fig. 7): dalla corteccia gli stimoli proseguono lungo una via cortico-tettale che giunge a livello del centro ipotalamico di Karpus e Kreidl, scendono lungo il tronco encefalico e midollo e termina a livello del centro di Budge. Le fibre pregangliari lasciano il midollo attraverso la radice anteriore, raggiungono attraverso il ramo

comunicante bianco la catena laterale del simpatico per terminare nel ganglio cervicale superiore. Da qui le fibre postgangliari seguono la carotide interna che lasceranno una volta giunte nella fossa cerebrale media per unirsi alla branca oftalmica del trigemino (5° paio dei nervi cranici), con la quale entrano nell'orbita. Si distaccano infine come nervi ciliari lunghi che si distribuiscono al muscolo dilatatore della pupilla e in parte al muscolo ciliare (10 - 11).

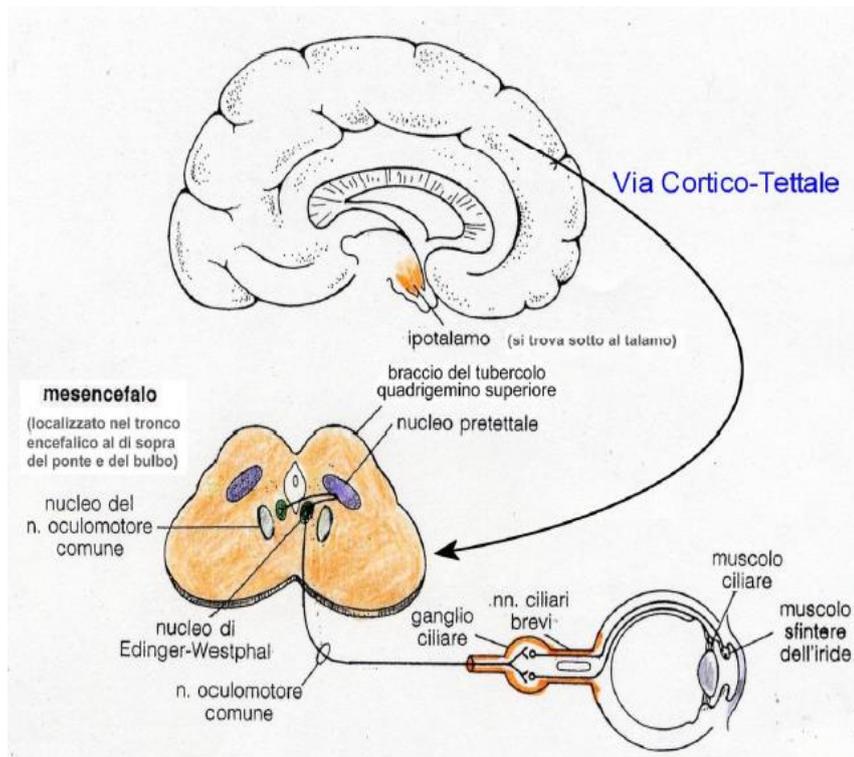


Figura 6. Descrizione della via parasimpatica: le fibre pregangliari vanno dal nucleo di Edinger-Westphal al ganglio ciliare mentre quelle postgangliari vanno dal ganglio ciliare al muscolo sfintere dell'iride.

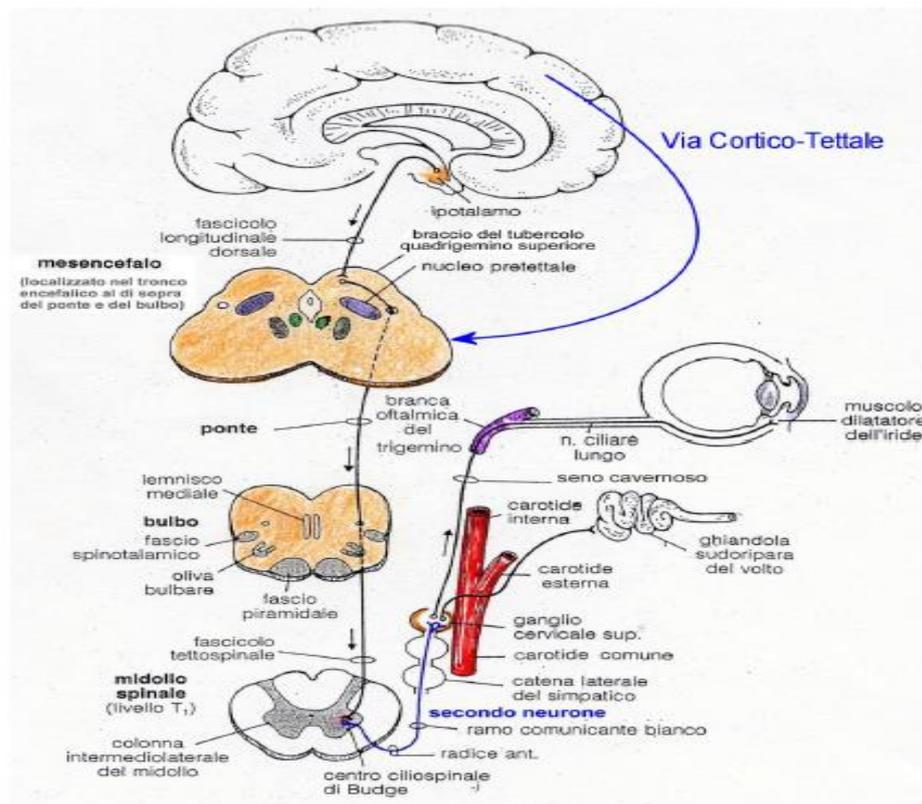


Figura 7. Descrizione della via simpatica: le fibre pregangliari vanno dal centro ciliospinale di Budge al ganglio cervicale superiore mentre quelle postgangliari vanno dal ganglio cervicale superiore al muscolo dilatatore dell'iride.

2.3 E' assodato che lo sfuocamento è lo stimolo che induce l'occhio ad accomodare. Oltre a quest'ultimo, c'è una molteplicità di fattori che possono modificare la risposta accomodativa.

Ci sono fattori che influenzano la risposta accomodativa:

- frequenza spaziale, contrasto, eccentricità, luminanza, grandezza, profondità di fuoco;
- stimolazione dell'apparato vestibolare, umore, training/terapia, sforzo volontario, concentrazione;

Ci sono fattori che forniscono l'input per accomodare:

- Ottici: aberrazione cromatica, aberrazione sferica, astigmatismo;
- Non ottici: grandezza e prossimità dell'oggetto, distanza apparente; (9)

CAPITOLO 3: CENNI DI STORIA

3.1 Christopher Scheiner nel 1619 dimostrò l'esistenza del fenomeno dell'accomodazione utilizzando un disco con un doppio foro stenopeico chiamato disco di Scheiner. Quando un soggetto vi guarda attraverso, un oggetto posto a distanza sarà visto singolo e nitido. Se viene interposto lungo la linea di visione a distanza ravvicinata un piccolo oggetto, come per esempio uno spillo, questo verrà visto sfuocato e doppio. Al contrario se l'attenzione si sposta sullo spillo, questo sarà visto nitido e singolo, mentre l'oggetto posto in distanza risulterà doppio (per effetto della disparità di fissazione, non considerata in questo elaborato) e sfuocato (Fig. 8). L'esperimento di Scheiner dimostra che oggetti distanti e vicini non possono essere visti nitidi contemporaneamente ed è necessario un cambio di potere diottrico dell'occhio per focalizzare oggetti posti a distanze diverse. Nonostante questo, Scheiner non riuscì a comprendere come l'occhio riuscisse a cambiare il suo potere diottrico.

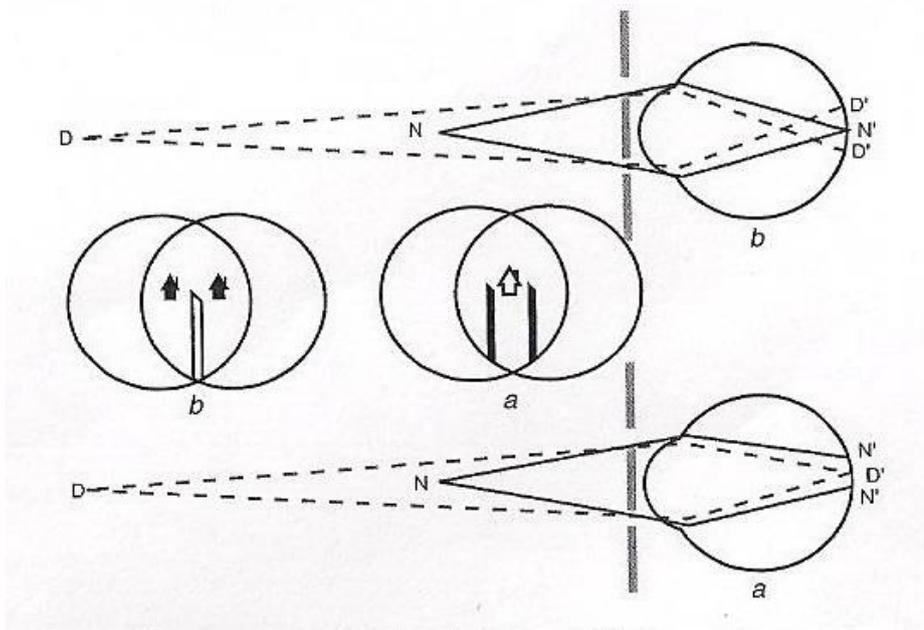


Figura 8. Dimostrazione dell'esistenza dell'accomodazione: quando fissiamo un oggetto a distanza attraverso il disco di Scheiner, un oggetto posto in vicinanza sarà visto sfuocato e doppio (A); quando fissiamo un oggetto a distanza ravvicinata, un oggetto posto a distanza sarà visto sfuocato e doppio (B).

3.2 Nel 1801 fu Thomas Young a documentare che il cristallino era responsabile dell'accomodazione dimostrando che un afachico non poteva vedere nitidamente oggetti posti a distanza ravvicinata (12). Prima di arrivare a questa conclusione aveva però escluso dei fenomeni che potevano spiegare un'ampiezza accomodativa di 10 D, ovvero:

- Una riduzione della curvatura corneale
- Un aumento della lunghezza assiale

Nel primo caso osservò che una riduzione del 19% della curvatura corneale poteva spiegare un'ampiezza accomodativa di 10 D, ma esclude questa ipotesi perché osservando la grandezza della prima immagine di Purkinje durante l'accomodazione, questa non si modificava di dimensione. E esclude anche la lunghezza assiale perché avrebbe dovuto osservare una variazione di 3.43 mm di lunghezza assiale durante l'accomodazione. Negli esperimenti condotti, tuttavia, non notò cambiamenti significativi nella lunghezza dell'occhio (13).

Riguardo al meccanismo dell'accomodazione molti studiosi hanno proposto le loro ipotesi. Di seguito le principali:

- **3.3 Cramer** affermò che la contrazione del muscolo ciliare agisce sulla coroide, che a sua volta comprime l'umor vitreo contro la superficie posteriore del cristallino. L'iride, resistendo alla pressione, induce un aumento di curvatura della superficie anteriore del cristallino a livello dell'area pupillare. Questa teoria sostiene la conclusione di Young che il cristallino è responsabile dell'accomodazione.
- **3.4 Helmholtz** asserì che quando l'occhio è nello stato di riposo (visione per lontano), il muscolo ciliare è rilassato, le fibre zonulari sono in tensione e tirano il cristallino a livello dell'equatore. Durante l'accomodazione, la contrazione del muscolo ciliare causa una riduzione della tensione zonulare che permette: una riduzione del diametro equatoriale, un aumento dello spessore, un aumento della curvatura della superficie anteriore con una piccola variazione di quella posteriore e infine uno spostamento in avanti della superficie anteriore mentre quella posteriore non mostra nessun movimento significativo (13).

A supporto di questa ipotesi, Kasthurirangan e Jones hanno utilizzato entrambi la MRI (Magnetic Resonance Imaging):

- Kasthurirangan: in un campione di 15 giovani (19 - 29 anni) ha riscontrato un aumento dello spessore del cristallino (0.33 ± 0.06 mm), una diminuzione della profondità della camera anteriore (0.31 ± 0.07 mm), una diminuzione del diametro equatoriale (0.32 ± 0.04 mm), una diminuzione del raggio di curvatura della superficie posteriore (0.58 ± 0.30 mm) e una diminuzione del diametro dell'anello ciliare (0.44 ± 0.17 mm) (14);
- Jones: in un campione di 26 soggetti (18 - 33 anni) ha riscontrato una riduzione del diametro di $-0,067$ mm / D con una deviazione standard di $0,030$ mm / D e un aumento dello spessore di $0,050$ mm / D con una deviazione standard di $0,024$ mm / D (15);
- Wilson ha valutato l'attività accomodativa in una donna di 27 anni affetta da albinismo tramite "retro-illumination infrared video photography and pixel unit measurements (pu)". Ha misurato il diametro del cristallino a riposo utilizzando l'1 % di tropicamide ottenendo 524 pu (unità pixel) e poi in accomodazione attiva utilizzando il 2 % di pilocarpina ottenendo 485 pu. Questo conferma che il diametro del cristallino durante l'accomodazione diminuisce (16).
- **3.5 Coleman** descrisse il vitreo come l'applicazione di una forza che produce un cambiamento di forma della faccia posteriore del cristallino, portando variazioni nella faccia anteriore. In un esperimento dimostrò un aumento della pressione nel vitreo quando l'accomodazione veniva stimolata con una conseguente diminuzione della pressione dell'umor acqueo. Ipotizzò che la differenza di pressione tra l'umor vitreo e l'umor acqueo agisce come uno spostamento idraulico del cristallino. Il ruolo del vitreo è stato studiato sia da Fisher che da Martin:
 - Fisher ha misurato 8 volte l'ampiezza accomodativa in una donna di 32 anni che ha subito una vitrectomia nell'occhio destro a causa di una emorragia del vitreo tramite push up e schiascopia dinamica. L'ampiezza accomodativa e lo spostamento del polo anteriore nell'occhio senza umor vitreo sono rispettivamente $9.7 D \pm 1.05 D$ e $0.14 \text{ mm} \pm 0.04$

mm mentre nell'occhio con il vitreo presente sono rispettivamente $8.9 \text{ D} \pm 0.51 \text{ D}$ e $0.15 \text{ mm} \pm 0.04 \text{ mm}$. Fisher ha dedotto che non essendoci differenze significative tra i due occhi, il vitreo non è essenziale né per l'accomodazione né per lo spostamento in avanti del polo anteriore (17).

- Martin: ha voluto confrontare i risultati della teoria di Coleman con quelli della teoria di Helmholtz per determinare quale delle due fosse la più precisa nel descrivere il meccanismo di accomodazione. Ha misurato il potere del cristallino in soggetti di 29 e 45 anni utilizzando delle simulazioni. Il cambiamento di potere del cristallino ottenuto durante l'accomodazione, ha confermato la teoria di Helmholtz e ha smentito quella di Coleman. La simulazione mediante l'applicazione di una pressione sulla superficie posteriore del cristallino, secondo Martin, non ha comportato nessun cambiamento nella struttura e quindi non è risultata essenziale per l'accomodazione, come invece ha sostenuto Coleman. Martin utilizzando la teoria di Helmholtz, ha dimostrato che la simulazione provoca un'ampiezza accomodativa paragonabile a quella misurata in occhi umani. Ha concluso che, date le limitazioni e le ipotesi semplicistiche delle simulazioni, la teoria di Helmholtz dà una descrizione più accurata rispetto alla teoria di Coleman (18).
- **3.6 Schachar:** durante l'accomodazione, la contrazione del muscolo ciliare causa un aumento della tensione a livello dell'equatore che a sua volta determina un aumento della curvatura del cristallino e del diametro antero-posteriore. La curvatura periferica del cristallino invece si appiattisce. In un esperimento ha valutato tramite la topografia gli effetti dovuti all'applicazione di una tensione sulla zonula di Zinn utilizzando 7 cristallini estratti da persone con età compresa tra i 3 e 56 anni. Ha riscontrato che dopo aver aumentato la tensione zonulare in tutti i cristallini, la curvatura centrale del cristallino è aumentata mentre quella periferica si è ridotta (appiattita) lungo il meridiano d'azione. Quando invece la tensione è stata ridotta, la curvatura centrale è diminuita mentre quella periferica è aumentata (più curva). Questi risultati implicano una teoria completamente opposta rispetto a quella proposta da Helmholtz (1855) (19).

CAPITOLO 4: ACCOMODAZIONE E SUA VALUTAZIONE

4.1 Nel 1956 Heath sviluppò una classificazione che divide l'accomodazione in:

- Accomodazione riflessa, che corrisponde a quel cambiamento di potere del cristallino in risposta a un'immagine retinica sfuocata. Questo avviene generalmente per variazioni di potere intorno alle 2 D. L'accomodazione riflessa è la componente più importante dell'accomodazione sia in condizioni monoculari che binoculari (9);
- Accomodazione tonica (AT), che è lo stato di riposo dell'accomodazione e si presenta in assenza di stimoli visibili. Ha un valore intorno alle 0 - 4.00 D, è maggiore negli ipermetropi rispetto ai miopi e diminuisce con l'età. Probabilmente rispecchia l'innervazione neurale di base (8);
- Accomodazione prossimale, causata dalla vicinanza di un oggetto posto a una distanza massima di 3 m dal soggetto;
- Accomodazione di vergenza, stimolata dalla convergenza e quindi legata ai movimenti binoculari di vergenza. È data dal rapporto CA/A [circa 0.40 D / AM (angolo metrico)] ovvero la quantità di accomodazione indotta da una domanda di convergenza (9);

4.2 L'accomodazione è misurata in diottrie (D), rappresenta il reciproco della distanza di fissazione (in metri). Se la distanza di fissazione è 1 m, l'accomodazione è 1.00 D; se è 50 cm, l'accomodazione è 2.00 D, e così via. Il punto remoto (PR) è il punto più distante dove un oggetto può essere visto nitidamente con l'accomodazione al minimo valore. Varia in relazione all'ametropia e si possono distinguere 3 casi:

- emmetropia, il punto remoto è posto all'infinito;
- miopia, il punto remoto è posto a distanza finita. Si trova davanti all'occhio e ha segno positivo;
- ipermetropia, il punto remoto ha una localizzazione virtuale. È come se si trovasse dietro l'occhio e ha segno negativo;

Per esempio:

Miopia $-2.00 \rightarrow PR: 1 / 2.00 = +0.50 \text{ m} = 50 \text{ cm}$

Ipermetropia $+2.00 \rightarrow PR: 1 / -2.00 = -0.50 \text{ m} = -50 \text{ cm}$

Nel primo caso, il PR si trova a 50 cm dall'occhio, mentre nel secondo caso si trova 50 cm dietro l'occhio (posizione virtuale). Il punto prossimo (PP) di accomodazione è il punto più vicino all'occhio che può essere visto nitidamente con l'accomodazione al massimo valore. Varia in relazione all'ametropia e all'età (20). L'ampiezza accomodativa rappresenta il massimo livello di accomodazione che può essere prodotto con uno sforzo volontario da un occhio corretto da eventuali errori refrattivi; corrisponde alla differenza tra il punto più lontano e quello più vicino che può essere visto nitidamente (differenza tra PR e PP). Questo valore varia nel tempo: nell'intervallo di età 5 – 52 anni l'ampiezza accomodativa diminuisce progressivamente di circa 0.30 D / anno. All'età di 10 anni è 13.50 D mentre a 52 anni diventa 0 D (Fig. 9) (21). Oltre i 50 anni, l'ampiezza accomodativa effettiva ha già raggiunto un minimo e la curva perde la sua pendenza: a partire da quest'età l'accomodazione non si riduce ulteriormente. Viene definito presbite, un soggetto che presenta un'ampiezza accomodativa inferiore alle 4 D (8).

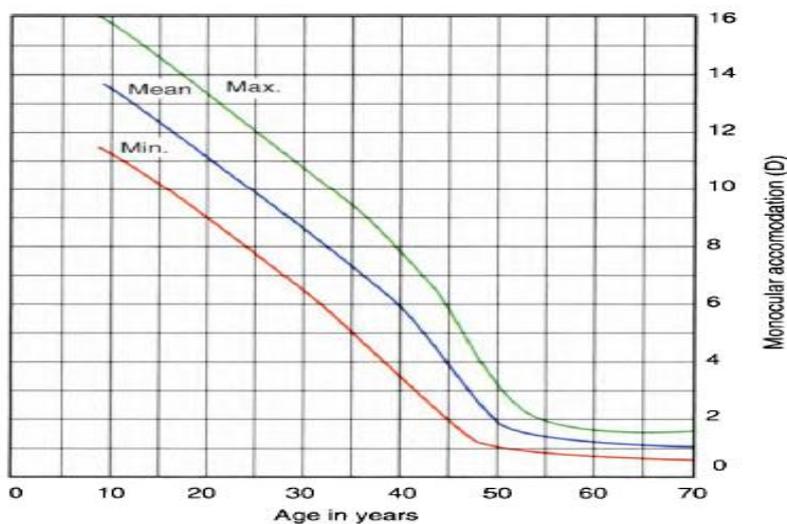


Figura 9. Ampiezza accomodativa in relazione all'età.

4.3 Il punto prossimo di accomodazione può essere valutato sia monocularmente sia binocularmente, nel secondo caso accomodazione e convergenza sono coinvolte. In entrambi, il soggetto osserva una mira al limite dell'acuità che in modo graduale viene avvicinata all'occhio, fino a quando appare sfuocata. Il procedimento viene ripetuto allontanando la mira e chiedendo al soggetto di riferire quando ritorna nitida. I due dati di rottura e di recupero (valutati binocularmente) insieme ai punti di rottura e recupero del punto prossimo di convergenza vengono confrontati con la distanza di lettura e la distanza di Harmon per avere un quadro complessivo di come il soggetto lavora a distanza ravvicinata.

La distanza di lettura (Revip ovvero riflesso visuo – posturale) rappresenta la distanza alla quale il soggetto lavora, dove l'integrazione percettiva è garantita e l'integrazione motoria è sufficiente a soddisfare le sue esigenze con un consumo minimo di energia. Viene valutata facendo posizionare un testo tenuto alla distanza alla quale egli solitamente legge, misurando lo spazio che intercorre tra gli occhi e il brano.

Una riduzione del Revip può essere dovuta a varie cause:

- Stress
- Lente negativa
- Incapacità integrativa, percettiva e motoria
- Ambiente inappropriato

Un aumento del Revip può essere favorito da:

- Rieducazione visiva
- Lente positiva
- Lenti o prismi che diminuiscono o eliminano le difficoltà visuomotorie
- Ambiente adeguato (22)

La distanza di Harmon invece, corrisponde alla distanza ottimale di lavoro, solitamente lettura e scrittura, perché minimizza le tensioni e permette una corretta localizzazione spaziale. In questa postura ottimale la linea (immaginaria) che connette il punto intermedio tra i due occhi (Fig 10. a) alla seconda nocca del

dito medio (Fig 10. b) e al gomito (Fig 10. c), forma pressapoco un triangolo equilatero con la base inclinata di 20 gradi rispetto all'asse orizzontale.

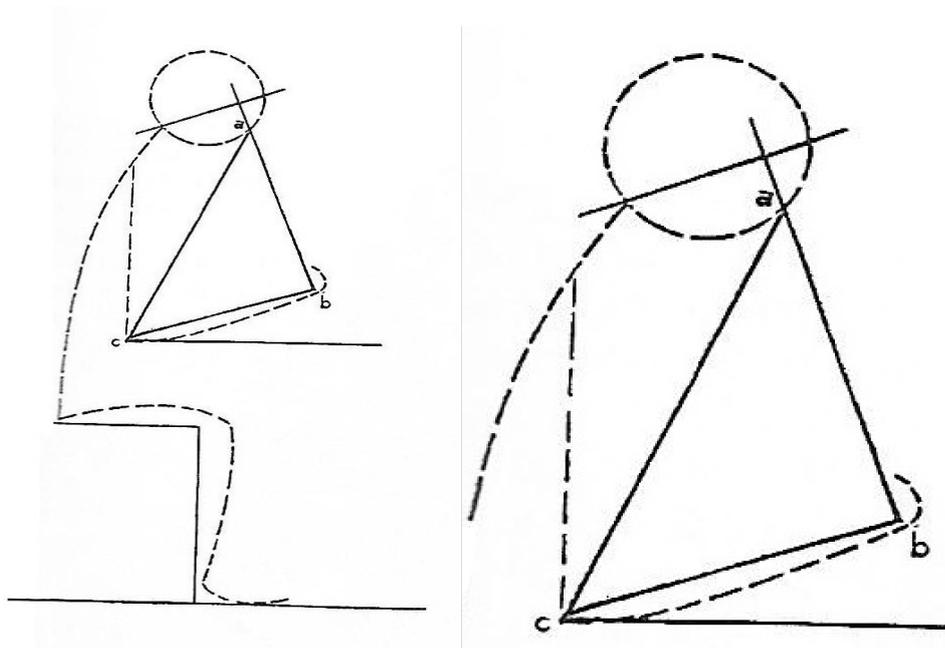
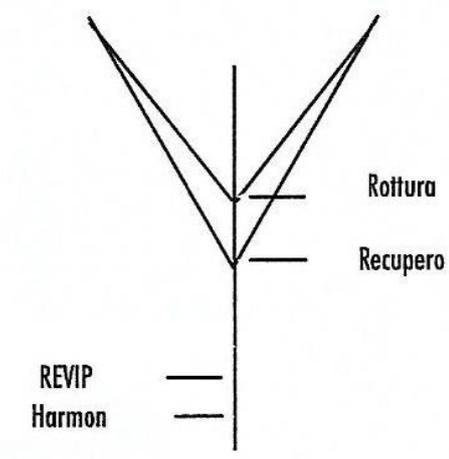


Figura 10. Descrizione della posizione secondo Harmon.

Tenendo questa postura, la distanza che intercorre tra l'occhio e un compito da vicino (lettura, scrittura) è uguale alla distanza tra il gomito e la seconda nocca del dito medio: questa corrisponde proprio alla distanza di Harmon. Questa postura permette di mantenere i due occhi alla stessa distanza dal tavolo facilitando la visione binoculare e orientando il corpo in modo tale che il sistema visivo e quello posturale si trovino il più possibile sullo stesso piano, permettendo una normale localizzazione di ciò che sta intorno, il tutto con un consumo minimo di energia. Nel caso in cui un soggetto lavori a distanza ravvicinata in maniera non consona a quello descritto in precedenza, si possono sviluppare anomalie posturali che richiedono un eccesso di energia per ristabilire le normali condizioni di lavoro. Tutto ciò, protratto nel tempo, può indurre miopia, ipermetropia, anisometropia, astigmatismo e iperforia per compensare le asimmetrie corporee, preservando così le funzioni cognitive di livello superiore (23).

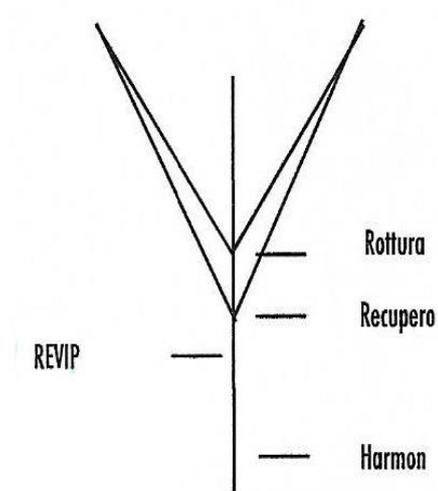
La visione e la postura sono strettamente correlate e spesso i problemi o le distorsioni di una influenzano negativamente l'altra. La condizione ottimale per una corretta distanza di lettura a distanza ravvicinata è rappresentata dalla

distanza di Harmon. In relazione a quest'ultima, la distanza di lettura può essere localizzata in 4 diverse situazioni spaziali:



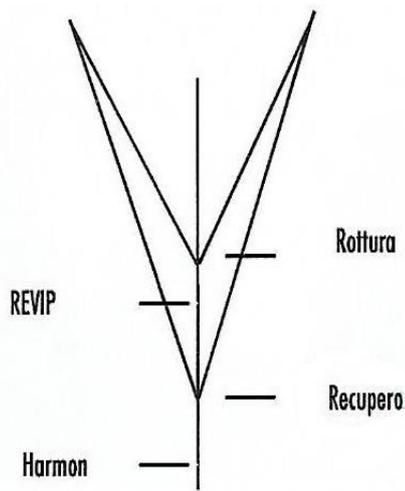
Postura "ottimale" (Fig. 11): la distanza di lettura del soggetto è molto prossima alla distanza di Harmon con una tolleranza di 2.5 cm e la differenza tra queste due distanze e il punto di rottura e recupero deve essere quanto più evidente. In questo caso il soggetto opera con la massima efficacia, facilità e flessibilità.

Figura 11. Postura ottimale.



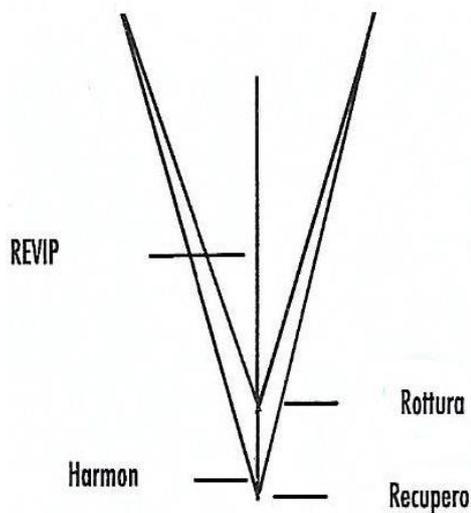
Postura "accettabile" (Fig. 12): la distanza di lettura è inferiore alla distanza di Harmon, ma superiore al punto di recupero. La postura in questo caso può essere considerata adeguata, ma può diventare ottimale nel caso in cui la distanza tra il punto di recupero e la distanza di lettura aumenti. In questa situazione possono essere indicate lenti positive per l'utilizzo prossimale, per evitare un ulteriore deterioramento dell'equilibrio visivo.

Figura 12. Postura "accettabile"



Postura "inaccettabile" (Fig. 13): la distanza di lettura è inferiore alla distanza di Harmon e compresa tra il punto di rottura e quello di recupero. La distanza di lettura si trova in uno spazio critico e il sistema visivo è obbligato a utilizzare tutte le risorse disponibili per evitare la sfuocatura e/o la diplopia. Questa situazione indica un'evidente condizione di stress; il

Figura 13. Postura "inaccettabile" soggetto lamenta sintomi e disturbi perché le sue capacità non riescono a soddisfare il compito visivo sia in situazioni difficili, sia in quelle prolungate. Una prescrizione oftalmica adeguata (lenti positive e / o prismi gemellati) può essere di valido aiuto.



Postura "pessima" (Fig. 14): la distanza di lettura è inferiore alla distanza di Harmon e ai punti di rottura e recupero. In questa situazione il soggetto opera in fissazione monocolare e spesso non sono presenti sintomi, grazie alla soppressione di uno dei due occhi. Molti bambini delle prime classi delle scuole primarie che evidenziano difficoltà a seguire il ritmo della classe, adottano una condizione visiva e posturale

Figura 14. Postura "pessima" di questo genere. La terapia consiste nell'utilizzo di lenti oftalmiche o prismi gemellati associati a un programma di rieducazione visiva (22 - 24).

4.4 La funzionalità accomodativa viene valutata attraverso:

- Ampiezza accomodativa (AA): viene valutata monocolarmente con il metodo del push up (Donders) e con le lenti negative.

Il primo metodo è più veloce e comodo, ma è un po' impreciso: il soggetto osserva una mira al limite dell'acuità e in modo graduale viene avvicinata all'occhio fino a quando appare e rimane sfuocata. L'inverso della distanza in metri dà il valore dell'AA. I risultati dipendono dalla profondità di campo e dalla velocità di avvicinamento della mira (25); per ovviare a questi inconvenienti, Duane e Turner consigliano di anteporre agli occhi lenti di basso potere negativo (-3.00 D, -4.00 D) che poi verrà riconsiderato nel calcolo finale (26).

Il secondo metodo necessita l'utilizzo del forottero: il soggetto osserva a 40 cm una mira al limite della sua acuità. Successivamente si aumenta il potere delle lenti negative oppure si diminuisce il potere di quelle positive fino alla percezione dello sfuocamento della mira. La differenza tra la lente di partenza e la lente finale viene sommata a 2.50 D che rappresenta la distanza di lavoro. Per esempio, se è necessario aggiungere - 4.00 D alla correzione in uso (0.00 D) affinché avvenga lo sfuocamento delle lettere, l'ampiezza accomodativa sarà: $4.00 + 2.50 = 6.50$ D.

Utilizzando il metodo OEP, per determinare l'ampiezza accomodativa, viene utilizzato il carattere 0.62 M posto alla distanza di 33 cm e il risultato viene valutato come se il test fosse fatto a 40 cm (25). La maggiore differenza tra i due metodi è data dalla variazione della grandezza dell'immagine retinica: nel metodo push up la grandezza aumenta proporzionalmente alla diminuzione della distanza tra la mira e l'occhio (fino al 400 %), mentre nel metodo delle lenti negative la grandezza rimane pressochè costante (diminuisce al massimo del 10 %) (21). Quando l'ampiezza accomodativa viene misurata con il metodo del push up, il risultato è maggiore rispetto alle lenti negative. Questo vale maggiormente nelle grandi ampiezze dove l'aumento dell'immagine retinica ne influenza significativamente il valore, mentre nei soggetti presbiteri (da 1.00 a 5.00 D) la differenza tra i due metodi è minore (25). L'ampiezza accomodativa media può essere calcolata tramite la formula di Hofstetter : $18.5 - [0.3 * (\text{età in anni})]$ (26), oppure Carlson afferma che

l'ampiezza accomodativa misurata con il metodo delle lenti negative è inferiore approssimativamente di 2 D rispetto al metodo del push up (27).

- Accomodazioni relative: sono misurate binocularmente a 40 cm utilizzando una mira al limite dell'acuità. L'accomodazione relativa negativa o ARN viene valutata aggiungendo +0.25 D alla volta finché il soggetto riporta un primo leggero sfuocamento persistente. La differenza tra la lente di partenza e quella che dà lo sfuocamento rappresenta l'ARN. L'accomodazione relativa positiva o ARP si svolge nello stesso modo dell'ARN ma vengono aggiunte lenti negative. Utilizzando il metodo OEP, il paziente deve riferire quando lo sfuocamento diventa sostenuto ossia non è in grado di vedere nessuna lettera della mira proposta. Nella batteria dei test proposti dall' OEP, l'accomodazione relativa positiva viene valutata prima dell'accomodazione relativa negativa. (25)

I valori medi dell'ARP sono -2.00/-2.25 D ma possono raggiungere le 7.00 D in soggetti con elevata ampiezza accomodativa, ampia capacità fusionale negativa e AC/A moderato, mentre quelli dell'ARN sono compresi tra +1.75/+2.25 D a causa del lag fisiologico senza oltrepassare però questo valore. (28)

- Flessibilità accomodativa: è la rapidità nel passaggio della messa a fuoco da lontano a vicino e viceversa. Una normale funzionalità accomodativa deve permettere al soggetto di variare la focalizzazione senza apprezzare lo sfuocamento quando varia la distanza di osservazione. Viene misurata utilizzando dei flipper con lenti sferiche positive e negative che producono rispettivamente disaccomodazione e accomodazione (Fig. 15).



Figura 15. Flipper sferico 2D.

Il soggetto, indossando le lenti che permettono l'emmetropizzazione a distanza, osserva a 40 cm un testo che sottende un'acuità visiva di 7/10. Il test dura 60 secondi e l'esaminatore antepone davanti agli occhi un flipper con lenti positive e negative. Solo quando il soggetto riferisce di essere in grado di vedere nitidamente le parole del testo, l'esaminatore ruota lo strumento in modo tale da cambiare lo stimolo accomodativo (29). Ai soggetti adulti risulta facile rispondere al quesito "quando le parole sono nitide?". Ai bambini la risposta non risulta così semplice e in questo caso può essere utilizzata la Accomodative Rock Card (Fig. 16). L'esaminatore può chiedere di leggere ad alta voce i numeri, le figure oppure le lettere dopo ogni cambio di lente. Quando il bambino risponde, significa che è in grado di eseguire l'esercizio perché sta accomodando correttamente (30).



Figura 16. Accommodative Rock Card

Dopo aver eseguito il test, l'esaminatore registra:

- il numero di cicli al minuto che corrisponde a due cambiamenti di lenti (**+2.00, -2.00, +2.00**, quello in grassetto corrisponde a un ciclo);
- eventuali difficoltà a focalizzare attraverso le lenti negative o positive oppure entrambe;
- ogni cambiamento della postura durante il test (avvicinamento o allontanamento);
- ogni sensazione segnalata dal soggetto (diplopia, nausea, lacrimazione, bruciore o tensione);

- una possibile disuguaglianza nella flessibilità accomodativa monoculare tra i due occhi (> 3 cicli / min) (22);

L'utilizzo sistematico di un flipper ± 2.00 D a 40 cm può dare risultati poco attendibili perché ogni soggetto possiede un'ampiezza accomodativa diversa e ne verrebbe stimolata una percentuale differente. Ad esempio, per misurare a 40 cm la flessibilità con un flipper ± 2.00 D a un bambino di 10 anni con ampiezza accomodativa di 12 D e a un adulto di 30 anni con ampiezza accomodativa di 5 D c'è una grande differenza. Nel primo caso la richiesta accomodativa indotta dalla distanza è 2.50 D e corrisponde al 16 % (2.50/12) della sua ampiezza, mentre nel secondo caso la richiesta è sempre 2.50 D ma corrisponde al 50 % (2.50/5). La richiesta indotta dai flipper nel primo caso corrisponde al 33 % (4/12) mentre nel secondo diventa l'80 % (4/5) (30). A tal proposito, Yothers suggerisce di valutare l'ampiezza accomodativa con il metodo del push up e calcolare che la distanza tra gli occhi e il testo stimoli il 45 % dell'ampiezza accomodativa a disposizione del soggetto. Il flipper da utilizzare invece, deve presentare un potere (somma delle lenti positive e negative del flipper) non superiore a un terzo dell'ampiezza accomodativa totale (Fig. 17) (29).

Ampiezza accomodativa binoculare a disposizione al Push-up (D)	Distanza cui eseguire il test (cm)	Valore sferico del flipper (D)
14,25	15,5	+/-2,25
12,50	18	+/-2,00
10,00	22	+/-1,50
8,00	28	+/-1,25
7,00	32	+/-1,00
6,50	34	+/-1,00
6,00	37	+/-1,00
5,50	40,5	+/-0,75
5,00	44,5	+/-0,75
4,50	49,5	+/-0,75

Figura 17. In tabella sono riportati i valori della distanza cui eseguire il test e il potere sferico dei flipper da scegliere in relazione all'ampiezza accomodativa.

Yothers ha valutato la correlazione tra sintomi e flessibilità accomodativa con l'utilizzo di flipper ± 2.00 D e trentasei differenti combinazioni tra distanza di

esecuzione e potenza del flipper. E' stato trovato che la maggior relazione tra sintomi e flessibilità accomodativa si ha con il 75 % di richiesta accomodativa per la distanza e 30 % per la potenza ($p = 0.0216$) mentre con l'utilizzo con i flipper ± 2.00 D non è stata trovata nessuna differenza significativa tra soggetti sintomatici e non ($p = 0.1515$). L'utilizzo del 45% (distanza di esecuzione) e del 30 % (potenza del flipper), descritti in precedenza, forniscono risultati statisticamente significativi ($p = 0.0315$). In conclusione gli autori sostengono l'utilizzo di questo tipo di metodo per valutare la facilità accomodativa durante l'esame visivo (31).

A differenza dell'ampiezza accomodativa e delle accomodazioni relative positive e negative dove lo stimolo viene cambiato gradualmente, la flessibilità accomodativa indaga l'abilità di cambiare la risposta accomodativa in risposta a un cambio di stimolo. Questo test ha un alto valore diagnostico e clinico perché viene svolto nello spazio, simula in modo più reale quanto succede nella vita quotidiana e un'inadeguata performance è indicatore di un problema accomodativo. La flessibilità accomodativa monocolare valuta la capacità di rilassare e stimolare l'accomodazione senza l'utilizzo del sistema di vergenza (27). La flessibilità accomodativa binoculare valuta l'interazione tra l'accomodazione e la vergenza e quindi non è puramente una misura della flessibilità accomodativa. Se a un soggetto vengono anteposte lenti negative, queste inducono accomodazione e a causa del legame accomodazione e convergenza, l'accomodazione induce una convergenza ulteriore che deve essere annullata dalle vergenze fusionali negative (Fig. 18). Quando invece vengono aggiunte lenti positive, il soggetto è costretto a disaccomodare e dalla relazione accomodazione e convergenza, l'accomodazione causa una divergenza eccessiva che deve essere annullata dalle vergenze fusionali positive (Fig. 19) (28).

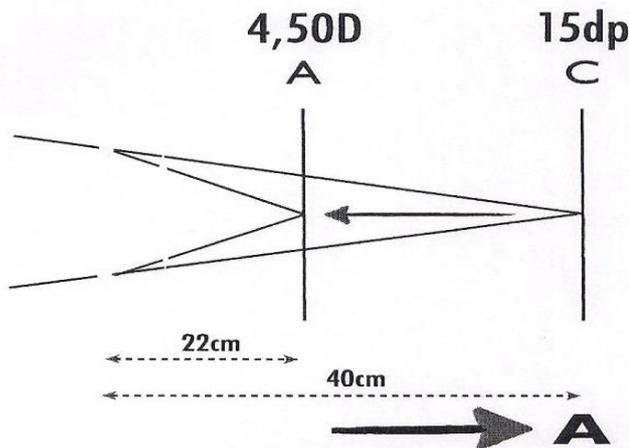


Figura 18. Il soggetto osserva a 40 cm una mira convergendo di 15 dp, supponendo una DI di 60 mm, $[\rightarrow 6 \text{ (cm)} * 1 / 0.40 \text{ (m)} = 15 \text{ dp}]$. Quando gli vengono anteposte lenti -2.00 D, il soggetto utilizza un'accomodazione di $2.50 + 2.00 = 4.50 \text{ D}$ che si sposta a 22 cm ($1 / 4.50$). Oltre allo stimolo accomodativo c'è anche quello di convergenza (AC / A) che andrebbe a posizionarsi a una distanza inferiore di 40 cm inducendo diplopia. Per evitare questo vengono utilizzate le vergenze fusionali negative mantenendo la visione nitida sul testo.

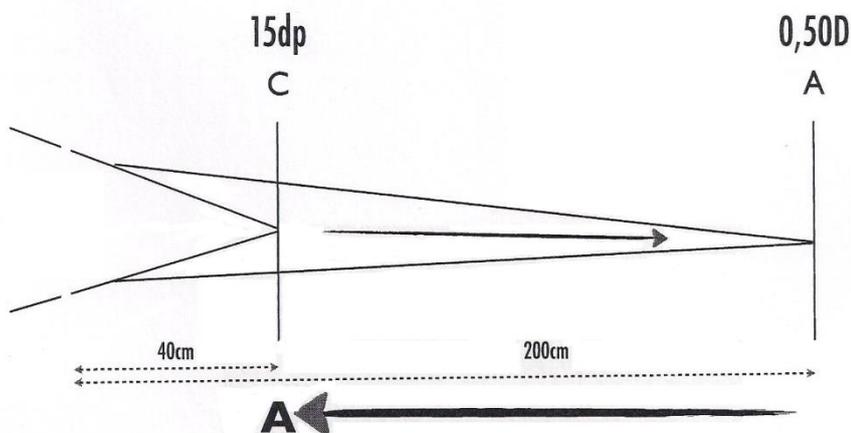


Figura 19. Il soggetto osserva a 40 cm una mira convergendo di 15 dp, supponendo una DI di 60 mm, $[\rightarrow 6 \text{ (cm)} * 1 / 0.40 \text{ (m)} = 15 \text{ dp}]$. Quando gli vengono anteposte lenti +2.00D, il soggetto utilizza un'accomodazione di $2.50 - 2.00 = 0.50 \text{ D}$ che si sposta a 2 m ($1 / 0.50$). Oltre allo stimolo accomodativo c'è anche quello di convergenza (AC / A) che andrebbe a posizionarsi a una distanza superiore di 40 cm inducendo diplopia. Per evitare questo vengono utilizzate le vergenze fusionali positive mantenendo la visione nitida sul testo.

Scheiman e Wick propongono di valutare prima la flessibilità binoculare e una normale risposta suggerisce buone capacità in entrambe le aree (accomodazione

e vergenza); nel caso in cui un soggetto dovesse fallire, allora si valuta la flessibilità monoculare. Un'incapacità di focalizzare attraverso il flipper binoculare o monoculare indica un problema accomodativo. Se il soggetto invece riesce a focalizzare attraverso il flipper monoculare, ma fallisce in quello binoculare, è più probabile che sia presente un problema di visione binoculare. Durante il flipper binoculare è buona norma utilizzare il Vectogram No. 9 di Bernell per monitorare la soppressione (Fig. 20). E' un vectogram polarizzato nel quale una riga di lettere è vista dall'occhio destro, una dall'occhio sinistro e una da entrambi (30).

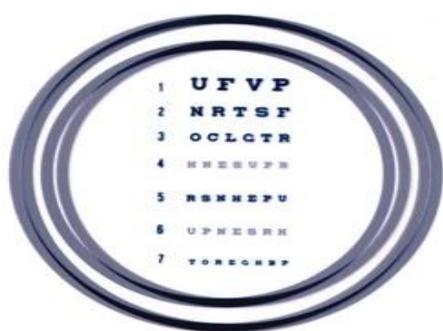


Figura 20. Vectogram No. 9 di Bernell

Una difficoltà a focalizzare attraverso le lenti - 2.00 D del flipper (monoculare o binoculare) può indicare (Fig. 21 - 22):

- eccesso di convergenza, caratterizzato anche da esoforia o tendenza all'esoforia da vicino, riserve fusionali negative basse da vicino, rapporto AC / A alto, accomodazione relativa positiva bassa, difficoltà con BI del flipper prismatico da vicino e lag alto alla schiascopia dinamica e ai cilindri crociati binoculari;
- esoforia di base, caratterizzata anche da esoforia da lontano e vicino, riserve fusionali negative basse sia da lontano che da vicino, rapporto AC / A nella norma, accomodazione relativa positiva bassa, difficoltà con BI del flipper prismatico da lontano e da vicino e lag alto alla schiascopia dinamica e ai cilindri crociati binoculari;
- falsa insufficienza di convergenza, caratterizzata anche da elevata exoforia da vicino, riserve fusionali positive forse basse da vicino, rapporto AC / A basso, accomodazione relativa negativa alta, lag alto alla

schiascopia dinamica e ai cilindri crociati binoculari e punto prossimo di convergenza nella norma;

- insufficienza accomodativa, caratterizzata anche da bassa ampiezza accomodativa, lag alto alla schiascopia dinamica e ai cilindri crociati binoculari e accomodazione relativa positiva bassa;

Una difficoltà a focalizzare attraverso le lenti + 2.00 D del flipper (monoculare o binoculare) può indicare (Fig. 21 - 22):

- vera insufficienza di convergenza, caratterizzata anche da elevata exoforia da vicino, riserve fusionali positive basse da vicino, rapporto AC / A basso, accomodazione relativa negativa bassa, difficoltà con BE del flipper prismatico da vicino, lag basso alla schiascopia dinamica e ai cilindri crociati binoculari e punto prossimo di convergenza anomalo;
- exoforia di base, caratterizzata anche da exoforia da lontano e da vicino, riserve fusionali positive basse da lontano e da vicino, rapporto AC / A normale, difficoltà con BE del flipper prismatico da lontano e da vicino, accomodazione relativa negativa bassa e lag basso alla schiascopia dinamica e ai cilindri crociati binoculari;
- eccesso accomodativo, caratterizzato anche da accomodazione relativa negativa bassa e lag basso o lead alla schiascopia dinamica e ai cilindri crociati binoculari;

Una difficoltà a focalizzare attraverso le lenti + 2.00 D e - 2.00 D del flipper (monoculare o binoculare) può indicare (Fig. 21 - 22):

- inerzia accomodativa, caratterizzata anche da accomodazione relativa negativa e positiva bassa (32 - 33);

Le incidenze delle disfunzioni accomodative e binoculari anche se molto variabili da studio a studio sono le seguenti:

- Insufficienza di convergenza: 2.25 % - 33 %
- Eccesso di convergenza: 1.5 % - 15 %
- Insufficienza di divergenza: 0.1 % - 0.7 %
- Eccesso di divergenza: 0.8 %

- Exoforia di base: 0.3 % - 3.1 %
- Esoforia di base: 0.6 % - 9 %
- Insufficienza accomodativa: 2 % - 61.7 %
- Eccesso accomodativo: 1.8 % - 10.8 %
- Inerzia accomodativa: 0.4 % - 5 % (38)

Il trattamento può avvenire attraverso lenti di basso potere positivo da vicino per l'eccesso di convergenza e l'insufficienza accomodativa, mentre per l'insufficienza di divergenza e l'esoforia di base è consigliato il massimo positivo per la distanza. Le restanti disfunzioni, ovvero l'insufficienza di convergenza, l'eccesso di divergenza, l'exoforia di base, l'eccesso accomodativo e l'inerzia accomodativa, necessitano di un programma di rieducazione visiva che rappresenta l'approccio clinico per la correzione e il trattamento dei problemi visivi per permettere al soggetto di operare al suo massimo livello di rendimento nel lavoro o nella vita quotidiana.

TEST	NORME	ECC. DI CONV	ESO DI BASE	INSUFF CONV.	FALSA INSUFF. CONV	EXO DI BASE
RETINOSCOPIA DINAMICA	LAG>0,50A LAG<0,50B	ALTO	ALTO	BASSO	ALTO	BASSO
FORIA INDOTTA A DISTANZA	0,5 EXO	NORM.	ESO	NORM.	NORM.	EXO
FORIA INDOTTA DA VICINO	6 EXO	VERSO ESO	ESO	ALTA EXO	ALTA EXO	EXO
VFP # 9-10	9/19/10		ALTO			BASSO
VFN # 11	9/5		BASSO			
C.C. BINO	ADD>0,50 A ADD<0,50 B	ALTO		BASSO	ALTO	
C.R.P. # 16	15	ALTO	ALTO	BASSO		BASSO
C.R.N. # 17	15	BASSO	BASSO	ALTO		ALTO
A.R.P. # 20	-2,00/-3,00	BASSO	BASSO	ALTO		ALTO
A.R.N. # 21	+1,75/+2,25	ALTO	ALTO	BASSO		BASSO
P.P.R.		AL NASO	NORM.	ANOMALO	NORM.	NORM.
AC/A	4/1	ALTO	NORM.	BASSO	BASSO	NORM.
FLIPPER MONO	12c/m					
FLIPPER BINO	8c/m	-LENTO	- LENTO	+ LENTO	- LENTO	+LENTO

Figura 21. Flessibilità accomodativa nelle disfunzioni binoculari.

TEST	NORME	INSUFF ACCOM.	ECESSO ACCOM.	INERZIA ACCOM.
RETINOSCOPIA DINAMICA	LAG>+0,50A LAG<+0,50B	ALTO	BASSO	
FORIA INDOTTA A DISTANZA	0,5 EXO			
FORIA INDOTTA DA VICINO	6 EXO			
C.C. BINO	ADD>0,50 A ADD<0,50 B	ALTO	BASSO	
C.R.P.	15	ALTO	BASSO	BASSO
C.R.N.	15	BASSO	ALTO	BASSO
A.R.P.	-2,00/-3,00	BASSO	ALTO	BASSO
A.R.N.	+1,75/+2,25	ALTO	BASSO	
P.P.R.		NORMALE	NORMALE	NORMALE
AC/A		NORMALE	NORMALE	NORMALE
FLIPPER MONO		- LENTO	+ LENTO	+ e - LENTO
FLIPPER BINO		- LENTO	+ LENTO	+ e - LENTO

Figura 22. Flessibilità accomodativa nelle disfunzioni accomodative.

Le norme della flessibilità accomodativa utilizzando flipper ± 2.00 D sono le seguenti:

- Burge (1979) valutò 30 soggetti (6 – 30 anni) e trovò:
 - OD 12.6 ± 4.6 cicli/minuto
 - OS 11.6 ± 4.25 cicli / minuto
 - OU (binocularmente) 7.05 ± 4.25 cicli/minuto
- Zellers (1984) valutò 100 soggetti (18 – 30 anni) e confermò i valori trovati da Burge:
 - OD 11.6 ± 5.0 cicli/minuto
 - OS 11.1 ± 5.3 cicli/minuto
 - OU 7.7 ± 5.2 cicli/minuto (34)
- Hennessey (1984) valutò 60 soggetti (8 – 14 anni) e confermò i dati trovati da Zellers:
 - OD 11.8 ± 6.4 cicli/minuto
 - OS 12.7 ± 7.2 cicli/minuto
 - OU 7.8 ± 8.0 cicli/minuto

Sostenne che i soggetti che presentano una flessibilità accomodativa di 1 deviazione standard inferiore alla media, monolare (6 cicli/minuto) o binolare (3 cicli/minuto) sono predisposti ad avere sintomi astenopici mentre per i casi sospetti monolare (6 – 11 cicli/minuto) e binolare

(3 – 8 cicli/minuto) c'è una alta probabilità che i sintomi siano presenti (35).

- Scheiman (1988) valutò 542 soggetti e divise i dati di flessibilità in classi di età. I valori monoculari:

6 anni	5.5 ± 2.5 cicli/minuto
7 anni	6.5 ± 2.0 cicli/minuto
8 – 12 anni	7.0 ± 2.5 cicli/minuto (36)
13 – 30 anni	11.0 ± 5.0 cicli/minuto (30)

I valori binoculari invece sono:

6 anni	3.0 ± 2.5 cicli/minuto
7 anni	3.5 ± 2.5 cicli/minuto
8 – 12 anni	5.0 ± 2.5 cicli/minuto (36)
13 – 30 anni	10.0 ± 5.0 cicli/minuto (30)

- Rouse (1991) valutò 40 soggetti (10 – 18 anni) e trovò:
 - Monocularmente: 13.72 ± 5.79 cicli/minuto
 - Binocularmente: 10.35 ± 5.65 cicli/minuto
- Jackson and Goss (1991) valutò 244 soggetti (7.9 – 15.9 anni):
 - OD 4.7 ± 2.3 cicli/minuto
 - OS 5.7 ± 2.9 cicli/minuto
 - OU 4.4 ± 2.7 cicli/minuto

I valori sono stati misurati in 30 secondi e non in 60 come comunemente viene fatto.

- Jimenez (2003) valutò 1056 (6 – 12 anni) e li divise in 2 classi:
monoculare

6 – 7 anni	6.2 ± 2.7 cicli/minuto
8 – 12 anni	7.4 ± 3.4 cicli/minuto

Binoculare

6 – 7 anni	2.9 ± 1.8 cicli/minuto
8 – 12 anni	4.1 ± 2.5 cicli/minuto (37)

Nella tabella seguente sono riassunti tutti i dati per autore, anno, numero di soggetti, età, flessibilità monoculare e binoculare (Tabella I).

AUTORE	ANNO	NUMERO SOGGETTI	ETA' anni	MONOCULARE cicli/minuto		BINOCULARE cicli/minuto
				OD	OS	
Burge	1979	30	6 – 30	12.6 ± 4.6	11.6 ± 4.25	7.05 ± 4.25
Zeller	1984	100	18 – 30	11.6 ± 5.0	11.1 ± 5.3	7.7 ± 5.2
Hennessey	1984	60	8 – 14	11.8 ± 6.4	12.7 ± 7.2	7.8 ± 8.0
Scheiman	1988	542	6	5.5 ± 2.5		3.0 ± 2.5
			7	6.5 ± 2.0		3.5 ± 2.5
			8 – 12	7.0 ± 2.5		5.0 ± 2.5
			13 – 30	11.0 ± 5.0		10.0 ± 5.0
Rouse	1991	40	10 – 18	13.72 ± 5.79		10.35 ± 5.65
Jackson e Goss	1991	244	7.9 – 15.9	4.7 ± 2.3	5.7 ± 2.9	4.4 ± 2.7
Jimenez	2003	1056	6 – 7	6.2 ± 2.7		2.9 ± 1.8
			8 - 12	7.4 ± 3.4		4.1 ± 2.5

Tabella I. Dati di studi della flessibilità accomodativa monoculare e binoculare.

NB: I dati di Jackson e Goss sono stati valutati in 30 secondi e non 60 secondi.

CAPITOLO 5: LO STUDIO

Il gruppo di soggetti analizzato è composto da 60 studenti frequentanti le scuole superiori e l'università. L'età è compresa tra i 15 e 23 anni con una media di 18 ± 2 anni. Qui di seguito sono riportate due tabelle (Tab. II e III) contenenti le frequenze assolute e percentuali con i relativi grafici (Graf. 1 e 2) riguardanti la distribuzione dei 60 soggetti secondo l'età e il sesso. Si può notare che 31 soggetti (52 %) hanno un'età compresa tra i 17 e i 19 anni mentre la distribuzione del sesso è abbastanza omogenea: sono presenti 28 maschi (47 %) e 32 femmine (53 %).

ETA'	FREQUENZE ASSOLUTE	FREQUENZE PERCENTUALI
14 – 16	14	23 %
17 – 19	31	52 %
20 – 22	13	22 %
23 – 25	2	3 %

Tabella II. Suddivisione della popolazione secondo l'età. Sono raffigurate le frequenze assolute e frequenza percentuali.

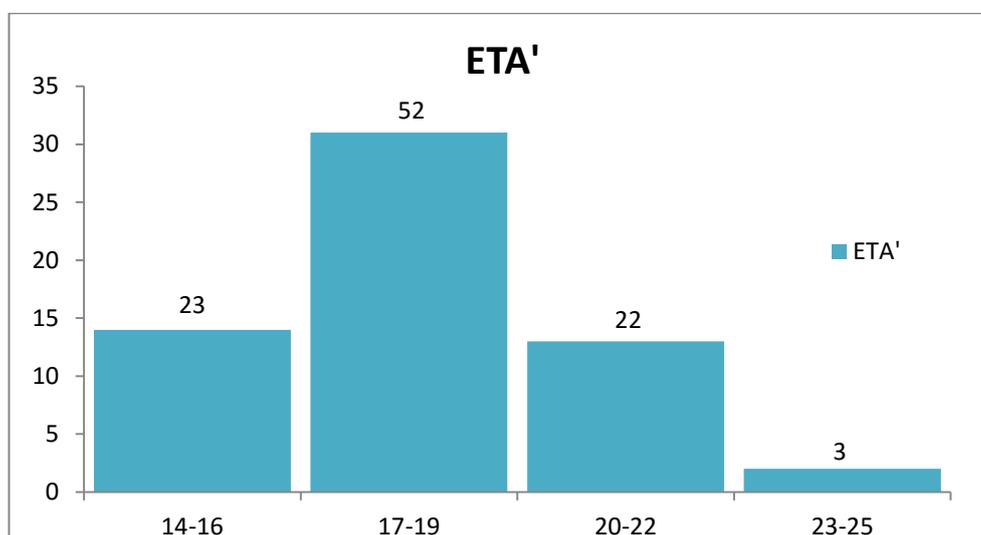


Grafico 1. Distribuzione dei soggetti secondo l'età. Il numero sopra ogni colonna rappresenta la frequenza percentuale.

SESSO	FREQUENZE ASSOLUTE	FREQUENZE PERCENTUALI
MASCHIO	28	47 %
FEMMINA	32	53 %

Tabella III. Suddivisione della popolazione secondo il sesso. Sono raffigurate le frequenze assolute e frequenza percentuali.

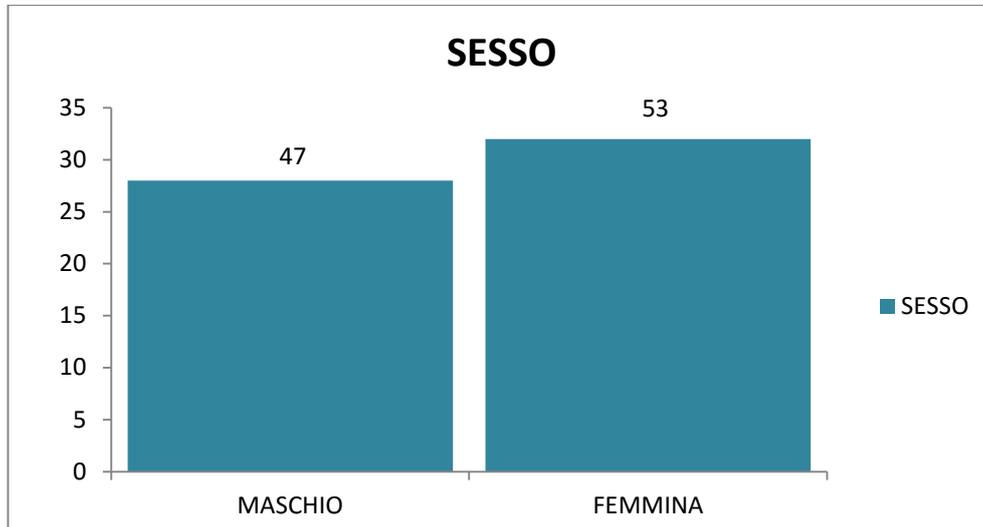


Grafico 2. Distribuzione dei soggetti secondo il sesso. Il numero sopra ogni colonna rappresenta la frequenza percentuale.

Ai soggetti è stato consegnato un questionario di 10 domande da compilare e a ogni quesito dovevano assegnare un valore da 1 (MAI) a 5 (SEMPRE) in base alla gravità dei sintomi. Il punteggio totale poteva variare da un minimo di 10 a un massimo di 50 punti. La media è risultata 17 ± 5 che si colloca nella seconda classe della tabella (Tab. IV) riportata qui sotto. Lo scopo del questionario era di indagare l'efficacia del sistema visivo del soggetto durante il lavoro a distanza ravvicinata.

1 (MAI)	2 (RARAMENTE)	3 (QUALCHE VOLTA)	4 (SPESSE)	5 (SEMPRE)
10	11 – 20	21 – 30	31 – 40	41 – 50

Tabella IV. Suddivisione in classi del punteggio del questionario.

Le domande proposte sono le seguenti:

1. Ha mal di testa durante o dopo il lavoro da vicino?
2. Manifesta sintomi tipo lacrimazione, bruciore, arrossamento?
3. Si strofina gli occhi o li apre / chiude frequentemente?

4. Perde la concentrazione o non mantiene l'attenzione durante il lavoro da vicino?
5. Durante la lettura, vede le parole muoversi, ondeggiare o galleggiare sulla pagina?
6. Si avvicina molto (meno di 30 cm) al libro / quaderno / pc quando studia, legge o lavora?
7. Ha difficoltà di visione nitida da lontano dopo un lungo impegno visivo da vicino?
8. E nel passaggio da lontano a vicino?
9. Vede doppio (due oggetti invece di uno) da vicino?
10. Durante la lettura tende a chiudere o coprire un occhio?

Osservando la tabella e il grafico (Tab. V e Graf. 3), si può notare che 15 soggetti (25 %) hanno un punteggio superiore ai 20 punti e presentano sintomi maggiori. Osservando il grafico (Graf. 4) si può notare che il punteggio della domanda No. 6 [Si avvicina molto (meno di 30 cm) al libro / quaderno / pc quando studia, legge o lavora?]) ha un valore superiore rispetto agli altri. L'avvicinarsi troppo al libro potrebbe causare col passare del tempo difficoltà di visione nitida in distanza (domanda No. 7), perdita della concentrazione per l'eccessiva richiesta di accomodazione e quindi anche di convergenza (domanda No. 4) e sintomi come lacrimazione, bruciore, arrossamento e strofinamento degli occhi (domanda No. 2 e 3). Osservando i valori delle domande No. 5, 9 e 10 si può escludere la presenza di diplopia, anche occasionale. Nonostante questo, la media del punteggio risulta molto bassa e i soggetti selezionati sembrano essere buoni candidati per lo studio.

QUESTIONARIO	FREQUENZE ASSOLUTE	FREQUENZE PERCENTUALI
9 – 11	6	10 %
12 – 14	14	23 %
15 – 17	14	23 %
18 – 20	11	18 %
21 – 23	8	13 %
24 – 26	2	3 %
27 – 29	5	8 %

Tabella V. Suddivisione della popolazione secondo il punteggio del questionario. Sono raffigurate le frequenze assolute e frequenza percentuali.

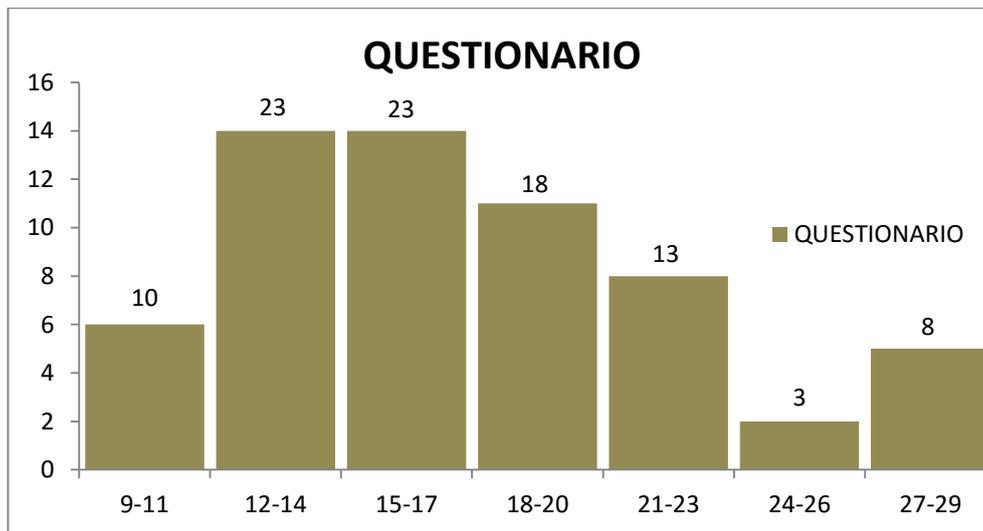


Grafico 3. Distribuzione dei soggetti secondo il punteggio del questionario. Il numero sopra ogni colonna rappresenta la frequenza percentuale.

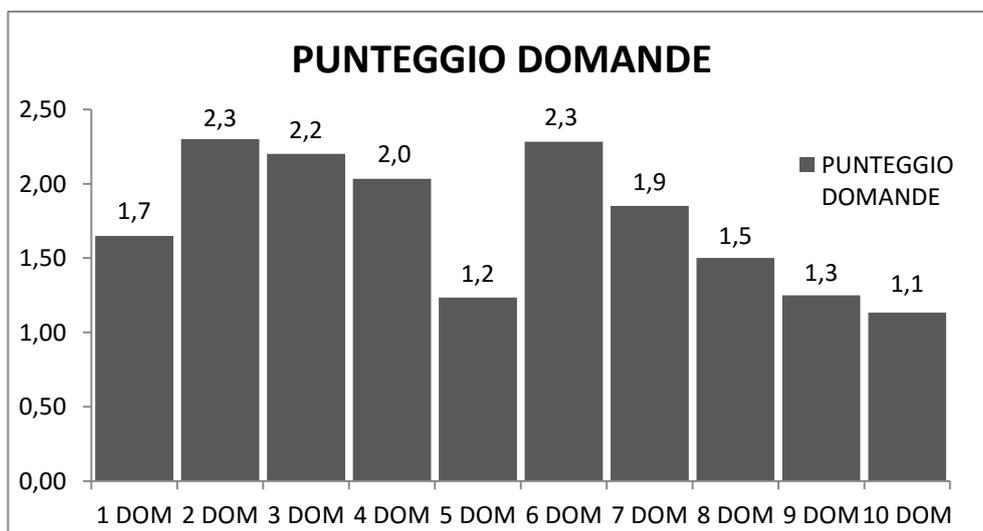


Grafico 4. Punteggio delle singole domande. 1 (MIN) e 5 (MAX)

In seguito sono stati misurati il punto prossimo di accomodazione (valutato binocularmente) di rottura e recupero della visione nitida, la distanza di lettura e la distanza di Harmon. Sono stati utilizzati un metro da sarta, un testo con il carattere 0.62 M e una mira da vicino di piccole dimensioni. Lo scopo era valutare la situazione della postura del soggetto quando opera a distanza ravvicinata ovvero la posizione del punto prossimo di rottura e recupero rispetto alla distanza di lettura e alla distanza di Harmon e la relazione tra queste ultime due. Dal grafico seguente (Graf. 5) si può notare che la distanza di lettura ($39.0 \pm$

1.0 cm) è molto prossima alla distanza di Harmon (41.5 ± 0.4 cm) e lo spazio presente tra la distanza di lettura e il punto di recupero della visione nitida è ampio. Si nota una certa somiglianza tra la postura “ottimale” descritta in precedenza e quella media tenuta dai 60 soggetti testati (Fig. 23).

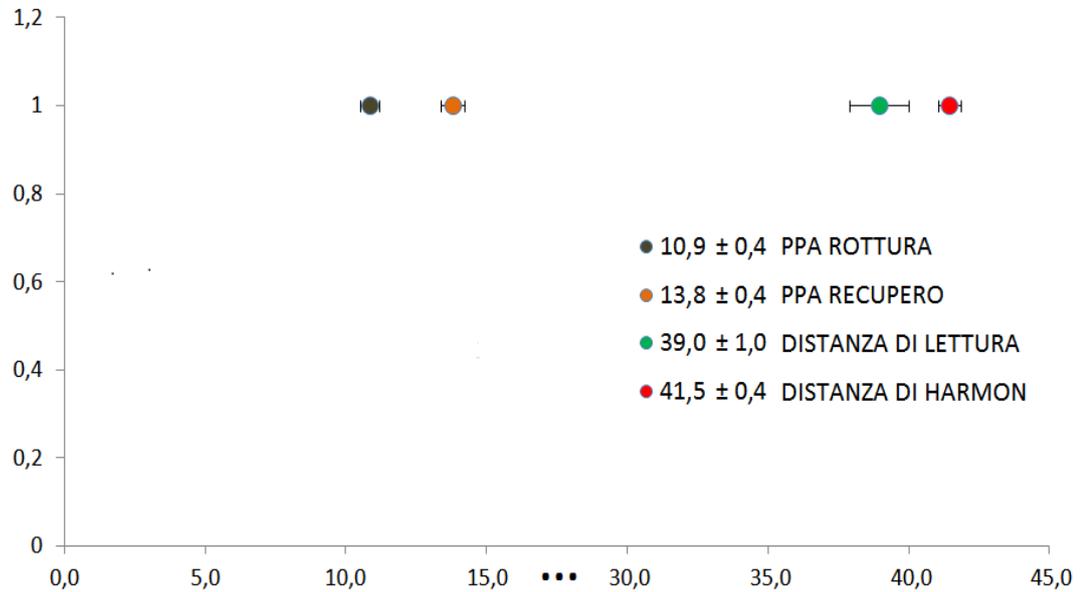


Grafico 5. NB: il disegno è in scala. E' stato tolto parte del grafico per evidenziare meglio i dettagli. L'errore da associare alla media è stato calcolato come δ/\sqrt{N} , dove δ è la deviazione standard e N è il numero di soggetti esaminati. Tutte le misure sono in cm.

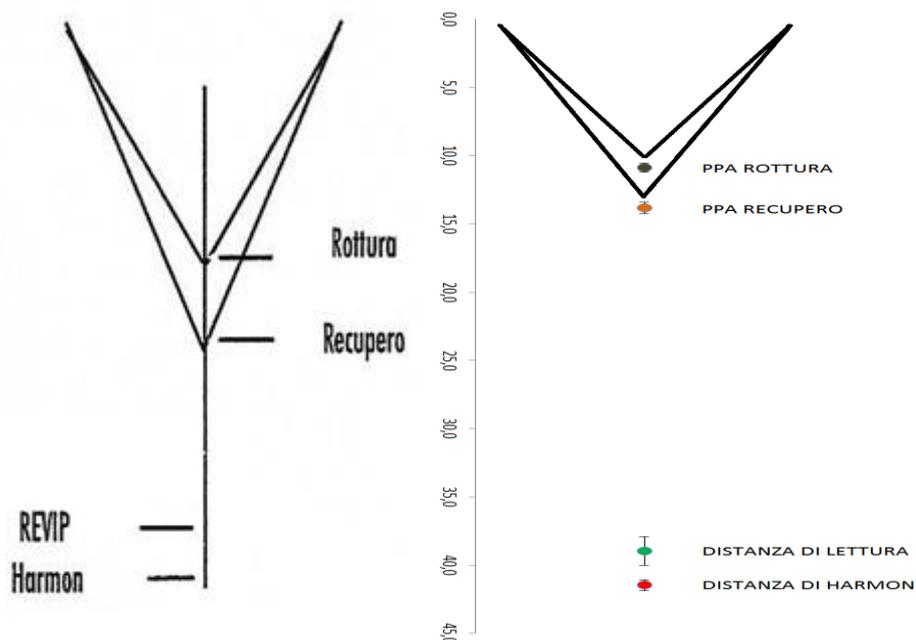


Figura 23. Postura ottimale vs postura media tenuta dai 60 soggetti valutati.

Prima di valutare la flessibilità accomodativa monoculare e binoculare è stato chiesto ai soggetti se riuscissero a leggere il paragrafo 0.62 M o uno più piccolo. In caso affermativo si procedeva alla misura della flessibilità accomodativa utilizzando il testo con il carattere 0.62 M alla distanza di 40 cm. Tutti i soggetti hanno risposto in modo affermativo. Le medie trovate sono state le seguenti, creando quindi un intervallo che comprende il 68 % dei casi:

- OD: 11.1 ± 0.5 cicli/minuto
- OS: 11.5 ± 0.5 cicli/minuto
- OU: 10.9 ± 0.4 cicli/minuto

La compatibilità tra i dati di flessibilità accomodativa monoculare e binoculare è stata valutata tramite il test statistico t – Student, espresso nella seguente formula:

$$|t| = \frac{Xa - Xb}{\sqrt{\frac{(Na - 1) * \delta a^2 + (Nb - 1) * \delta b^2}{Na + Nb - 2} * \left(\frac{1}{Na} + \frac{1}{Nb}\right)}}$$

dove Xa , δa e Na sono rispettivamente il valore della media campionaria, la relativa deviazione standard delle singole misure e il numero totale dei soggetti proposti da questo studio, mentre Xb , δb e Nb sono rispettivamente il valore della media campionaria, la deviazione standard delle singole misure e il numero totale dei soggetti proposti dagli studi di Burge, Zeller e Rouse. Sono stati scelti questi studi perché l'età dei soggetti testati è sovrapponibile. È stato considerato un intervallo di confidenza del 95 % ($\alpha = 0.05$). Se il valore $|t|$ è minore del t critico, in questo caso ± 1.96 , posso assumere che le medie delle due popolazioni da cui sono stati estratti i campioni analizzati possono ritenersi uguali con un errore del primo tipo del 5 %. In tabella VI si può osservare che la flessibilità accomodativa monoculare in questo studio è compatibile con gli studi condotti da Burge e da Zeller, mentre i valori di flessibilità accomodativa binoculare sono confermati dallo studio di Rouse. Una possibile spiegazione del fatto che i valori ottenuti sono maggiori di quelli riscontrati da Burge e Zeller è che i soggetti testati possiedono ampie vergenze fusionali positive e negative. Questo studio non conferma pienamente i

dati di uno studio in particolare rispetto agli altri e quindi sarebbe necessario condurre altri con campioni più numerosi, in modo tale da diminuire possibili errori di valutazione legati al numero ridotto di soggetti testati e cercare di ottenere più conferme di un singolo dato, piuttosto che tanti valori diversi tra loro. Nonostante questo, posso reputare positivi i valori trovati, anche se non completamente compatibili con gli altri studi, perché sono confermati dal basso punteggio del questionario e dal fatto che gli studenti utilizzano una postura molto simile alla postura ottimale descritta in precedenza.

	OCCHIO	Xa Xb	δa δa	Na Nb	α	t	t critico	Decisione
BURGE, 1979	OD	11.1	3.8	60	0.05	1.64	± 1.96	Sono compatibili
		12.6	4.6	30				
	OS	11.5	3.5	60	0.05	0.12	± 1.96	Sono compatibili
11.6		4.25	30					
BINO	10.9	3	60	0.05	4.97	± 1.96	Non sono compatibili	
	7.05	4.25	30					
ZELLER, 1984	OD	11.1	3.8	60	0.05	0.67	± 1.96	Sono compatibili
		11.6	5.0	100				
	OS	11.5	3.5	60	0.05	0.52	± 1.96	Sono compatibili
11.1		5.3	100					
BINO	10.9	3	60	0.05	4.97	± 1.96	Non sono compatibili	
	7.7	5.2	100					
ROUSE, 1991	OD	11.1	3.8	60	0.05	2.73	± 1.96	Non sono compatibili
		13.72	5.79	40				
	OS	11.5	3.5	60	0.05	2.38	± 1.96	Non sono compatibili
13.72		5.79	40					
BINO	10.9	3	60	0.05	0.63	± 1.96	Sono compatibili	
	10.35	5.65	40					

Tabella VI. Compatibilità dei dati di flessibilità accomodativa monoculare e binoculare tra questo studio e quelli proposti da Burge, Zeller e Rouse.

Nella figura e nel grafico sottostante (Fig. 24 e Graf. 7) sono rappresentati due casi scelti tra i soggetti esaminati che studiano utilizzando posture differenti. Il

primo non presenta sintomi (10, il punteggio del questionario rappresenta il minimo), utilizza una postura ottimale e i dati di flessibilità accomodativa, non solo sono nella norma, bensì superiori e ciò gli permette di operare in maniera efficiente anche per periodi prolungati. Il secondo invece, utilizza un postura anomala, ovvero lo spazio di visione nitida disponibile si riduce, i sintomi si aggravano, lamenta perdita di concentrazione, strofinamento agli occhi e difficoltà di visione nitida nel passaggio da lontano a vicino. La flessibilità accomodativa monoculare è bassa e fallisce con la lente negativa. Sarebbe interessante valutare una foria orizzontale da vicino, il lag alla schiascopia dinamica e l'ampiezza accomodativa per avere una conferma di insufficienza accomodativa.

NUMERO	SESSO	ETA	QUESTIONARIO	1 DOM	2 DOM	3 DOM	4 DOM	5 DOM	6 DOM	7 DOM	8 DOM	9 DOM	10 DOM	FLIPPER	FLIPPER	FLIPPER	PPA	PPA	DISTANZA	DISTANZA
														± 2 D OD	± 2 D OS	± 2 D BINO	ROTT	REC	HARMON	LETTURA
24	0	18	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	15	12	11	15	42	43
58	0	21	24	3	2	3	4	2	2	2	4	1	1	3	3	6	10	15	42	25

Figura 24. Due casi a confronto.

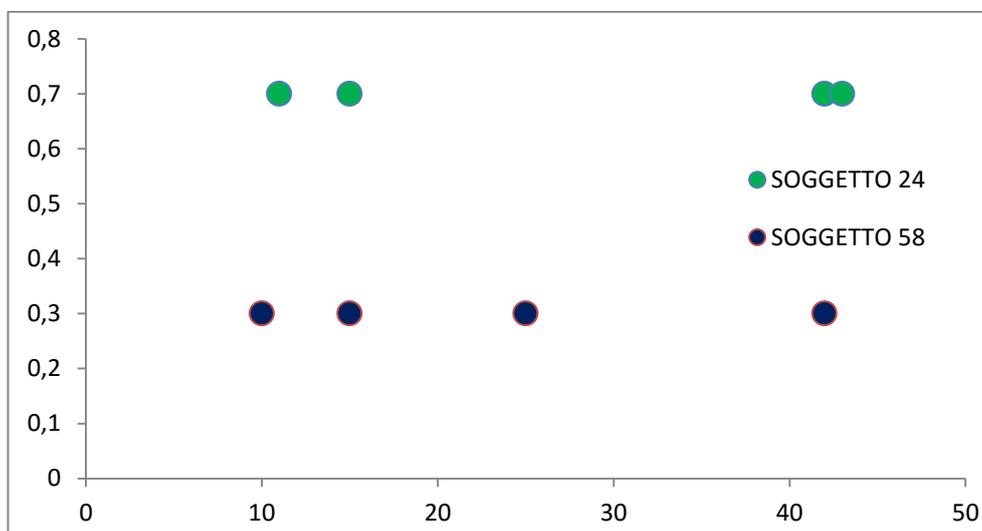


Grafico 7. Sono rappresentati da sinistra verso destra: nel "soggetto 24" il punto prossimo di rottura e recupero della visione nitida, la distanza di Harmon e la distanza di lettura. Nel "soggetto 58" il punto prossimo di rottura e recupero della visione nitida, la distanza di lettura e la distanza di Harmon.

DISCUSSIONI E CONCLUSIONE

Dallo studio condotto in un campione di 60 soggetti si può dedurre che i valori medi della flessibilità accomodativa monoculare (OD: 11.1 ± 0.5 cicli/minuto e OS: 11.5 ± 0.5 cicli/minuto) confermano gli studi condotti da Burge (OD 12.6 ± 4.6 cicli/minuto, OS 11.6 ± 4.25 cicli/minuto) e da Zeller (OD 11.6 ± 5.0 cicli/minuto, OS 11.1 ± 5.3 cicli/minuto). Nella flessibilità accomodativa binoculare invece i dati di questo studio (OU: 10.9 ± 0.4 cicli/minuto) risultano superiori di 4 cicli/minuto rispetto a quelli di Burge e Zeller. Possibili cause di questa differenza potrebbero essere attribuite alle buone vergenze fusionali positive e negative e alla postura simile alla postura "ottimale" tenuta dai soggetti quando lavorano a distanza ravvicinata. Ho ritenuto più opportuno valutare il punto prossimo di accomodazione (binoculare) rispetto al punto prossimo di convergenza per conoscere l'intervallo di visione nitida rispetto a quando il soggetto riferisce la visione doppia, perché prima di vedere doppio si vede sfuocato. In generale il campione valutato non presenta anomalie sia nella parte accomodativa che nella parte binoculare perché le norme rispecchiano o addirittura sono superiori ai valori medi degli studi considerati, questo associato all'ottima postura e all'assenza di sintomi. Per esprimere un giudizio più completo, avrei dovuto valutare anche la motilità oculare che, però, non ho preso in considerazione in questo studio. I limiti dello studio sono il numero ristretto di soggetti esaminati e l'impossibilità di correggere eventuali errori refrattivi e controllare la refrazione dei soggetti portatori di occhiali. Nei due casi posti a confronto (No. 24 e No. 58) si può dedurre che l'utilizzo di una postura adeguata durante la lettura si traduce solitamente in una buona flessibilità accomodativa che permette al soggetto di lavorare in maniera efficace ed efficiente senza la presenza di sintomi. L'adozione di una postura inadeguata, ovvero la riduzione dello spazio di visione "nitida e confortevole" potrebbe causare invece al soggetto sintomi e bassa flessibilità accomodativa. Nel caso del "soggetto 58" la diagnosi potrebbe essere insufficienza accomodativa. Si potrebbe evitare di prescrivere occhiali, procedendo con un programma di terapia visiva con l'utilizzo di flipper di vario

potere (da +2.00/-2.00 a +2.50/-8.00), l'hart chart e il mental minus per aumentare la flessibilità accomodativa monoculare prima e binoculare dopo e migliorare quindi la rapidità di messa a fuoco. A conferma di quanto riportato sopra, uno studio effettuato presso l'università di Padova, ha valutato il training accomodativo in soggetti miopi: alla fine del trattamento i soggetti hanno riportato un miglioramento della flessibilità accomodativa permettendo loro di acquistare maggior padronanza del proprio sistema accomodativo e questo si è riflesso nella visione da lontano (39). La figura dell'optometrista dovrebbe essere un riferimento per la popolazione nella prevenzione delle problematiche legate alla visione. E' evidente che il vedere 10/10 è un ottimo punto di arrivo, ma si potrebbe raggiungere un "massimo" offrendo alla persona delle valutazioni più complessive e approfondite quali la valutazione della visione binoculare, dell'accomodazione e della motilità oculare.

Questo studio, che ho condotto tra gli studenti dell'Istituto E. Fermi di Pieve di Cadore, mi ha fatto ricordare i bei momenti trascorsi in quella scuola. Mi sono rivisto negli sguardi dei ragazzi ancora studente alle prime armi, desideroso di imparare "l'arte e la scienza della visione".

BIBLIOGRAFIA

1. Lupi V.; Lezioni di anatomia e fisiopatologia oculare per studenti di Optometria, Fabiano Editore, 2004, Lez. XXII - Il Cristallino, pp. 57 - 60.
2. Rossetti A.; Gheller P.; Manuale di optometria e contattologia, Seconda Edizione, Zanichelli, 2003, Capitolo 3 - Struttura e funzioni del sistema visivo, pp. 70 - 71.
3. Lee Ann Remington; Clinical Anatomy and Physiology of the Visual System Third Edition, 2012, Capitolo 5 - Crystalline Lens, pp. 93 - 103.
4. Bucci M.G.; Oftalmologia, Prima edizione, Universo, 1993, Capitolo 12. Cristallino, pp. 225 - 230.
5. Bucci M.G.; Oftalmologia, Prima edizione, Universo, 1993, Capitolo 11. Uvea, pp. 187 - 188.
6. Lupi V.; Lezioni di anatomia e fisiopatologia oculare per studenti di Optometria, Fabiano Editore, 2004, Lez. IX - Tonaca Vascolare, pp. 44 - 45.
7. Lee Ann Remington; Clinical Anatomy and Physiology of the Visual System Third Edition, 2012, Capitolo 3 - Uvea, pp. 47 - 48.
8. Rossetti A.; Gheller P.; Manuale di optometria e contattologia, Seconda edizione, Zanichelli, 2003, Capitolo 4 - Motilità oculare e organizzazione neuronale, pp. 83 - 88.
9. William J. Benjamin; Borish's Clinical Refraction, Seconda edizione, Butterworth-Heinemann, 2006, Capitolo 4 - Accommodation, the Pupil and Presbopia, pp 93 - 102.
10. Motolese E.; Ferri L.; Appunti di Fisiopatologia Oculare: Il riflesso accomodazione - miosi - convergenza, 2002.
11. Pazzaglia P.; Clinica Neurologica, VII Edizione, Esculapio, 2008, Capitolo 7 - Le malattie dei nervi cranici, pp 126-128.
12. Grosvenor T.; Primary Care Optometry, Quinta Edizione, 2006, Capitolo 1 - Anomalies of Refraction, pp 6.
13. Godwin Oveneri-Ogbomo; Olalekan A. Oduntan; Mechanism of accommodation: A review of theoretical propositions; *African Vision and Eye Health*; Vol 74, No 1 2015, 6 pages.

14. Kasthurirangan S, Markwell EL, Atchison DA, Pope JM. MRI study of the changes in crystalline lens shape with accommodation and aging in humans. *J Vis.* 2011; 11: 19–35.
15. Jones CE, Atchison DA, Pope JM. Changes in lens dimensions and refractive index with age and accommodation. *Optom Vis Sci.* 2007; 84: 990–995.
16. Wilson RS. Does the lens diameter increase or decrease during accommodation? Human accommodation studies: A new technique using infrared retroillumination video photography and pixel unit measurements. *Trans Am Ophthalmol Soc.* 1997; 95: 261–270.
17. Fisher RF. Is the vitreous necessary for accommodation in man? *Br J Ophthalmol.* 1983; 67:206.
18. Martin H, Guthoff R, Tarwee T, Schmitz K-P. Comparison of accommodation theories of Colman and of Helmholtz by finite element simulations. *Vis Res.* 2005; 45: 2910–2915.
19. Schachar RA. Qualitative effect of zonular tension on freshlyextracted intact human crystalline lenses: Implications for the mechanism of accommodation. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2004; 45: 2691–2695.
20. Rossetti A.; Gheller P.; *Manuale di optometria e contattologia*, Seconda edizione, Zanichelli, 2003, Capitolo 1 – la visione e l’ottica fisiologica, pp. 9 – 10.
21. William J. Benjamin; *Borish’s Clinical Refraction*, Seconda edizione, Butterworth-Heinemann, 2006, Capitolo 4 - Accommodation, the Pupil and Presbopia, pp 128 – 131.
22. Formenti M.; *Dispense corso Tecniche fisiche per l’optometria 2: “L’esame visivo optometrico”*; Università degli Studi di Padova – CdL in Ottica e Optometria; A.A. 2013/2014.
23. Birnbaum M.H.; *Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders*, Butterworth-Heinemann, 1993, Capitolo 5 – Vision, Posture and Spatial Relations, pp 73 – 85.
24. Scoppa F.; Roncagli V.; *Rivista trimestrale di informazione e divulgazione scientifica*, Valutazione della funzione visiva in posturologia, Luglio – Settembre 2002.

25. Grosvenor T.; Primary Care Optometry, Quarta Edizione, 2006, Capitolo 10 – The binocular Vision Examination, pp 285 – 288.
26. Rossetti A.; Gheller P.; Manuale di optometria e contattologia, Seconda edizione, Zanichelli, 2003, Capitolo 13 – L'esame refrattivo soggettivo, pp. 288 – 290.
27. Birnbaum M.H.; Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, Butterworth-Heinemann, 1993, Capitolo 12 – Supplementary Test of Accommodative and Binocular Function, pp 229 – 233.
28. Rossetti A.; Gheller P.; Manuale di optometria e contattologia, Seconda edizione, Zanichelli, 2003, Capitolo 7 – Vedere con due occhi, pp. 171 – 172.
29. Maffioletti S.; Piacentini I.; Le abilità accomodative nell'analisi visiva integrata (AVI), Mondo dell' Ottica.
30. Scheiman M.; Wick B.; Clinical Management of Binocular Vision, Lippincott Williams & Wilkins, Seconda Edizione, 2002, Capitolo 1 – Diagnosis and General Treatment Approach, pp 19 – 24.
31. Yothers T.; Wick B.; Morse S.E.; Clinical testing of accommodative facility: development of an amplitude – scaled test, Optometry 2002, 73(2) : 91-102.
32. Scheiman M.; Wick B.; Clinical Management of Binocular Vision, Lippincott Williams & Wilkins, Seconda Edizione, 2002, Capitolo 1 – Diagnosis and General Treatment Approach, pp 72 - 80.
33. Formenti M.; Dispense corso Tecniche fisiche per l'optometria 2: "Analisi Visiva Integrata"; Università degli Studi di Padova – CdL in Ottica e Optometria; A.A. 2013/2014.
34. García A.; Cacho P.; Lara F.; Megías R.; The relation Between acomodative facility and general binocular dysfunction, Ophthal. Physiol. Opt, 2000, Vol 20, No. 2, pp 98 – 104.
35. Hennessey D.; Iouse R. A.; Rouse M. W.; Relation of Symptoms to Accommodative Infacility of School – Aged Children, American Journal of Optometry & Physiological Optics, 1984, Vol. 61, No. 3, pp 177 – 183.

36. Scheiman M.; Herzberg H.; Frantz K.; Margolies M.; Normative Study of Accommodative Facility in Elementary Schoolchildren, 1988, Vol 65, No. 2, pp 127 – 134.
37. R. Jimenez M. D.; Gonzalez M. A.; Perez and J. A. Garcia; Evolution of accommodative function and development of ocular movements in children, *Ophthal. Physiol. Opt*, 2003, 23: 97–107.
38. Cacho-Martínez P.; García-Muñoz A.; Ruiz-Cantero M. T.; “Do we really know the prevalence of accommodative and nonstrabismic binocular dysfunctions?”, *Journal of Optometry*, Vol. 3 n.4, 2010, pp. 185-197.
39. Costa G.; Tesi di Laurea: Effetti del vision training accomodativo in soggetti miopi, (2014).