

Università degli Studi di Napoli “Federico II”

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

Dipartimento di Fisica “Ettore Pancini”



Laurea triennale in Ottica e Optometria

Utilità delle lenti a supporto accomodativo durante l'utilizzo di tablet e smartphone

Relatore:

Prof. Paolo Carelli

Candidato:

Giovanni Cimmino

M44000392

A.A. 2016/2017

Buona strada Giovanni...

INDICE

INTRODUZIONE	6
CAPITOLO 1: L'occhio come diottro	7
1.1 Il diottro	7
1.2 Il diottro oculare.....	7
1.2.1 Cornea	8
1.2.2 Cristallino.....	8
CAPITOLO 2: Accomodazione	8
2.1 L'accomodazione-reazione per vicino.....	8
2.2 Fisiologia dell'accomodazione	9
2.4 Accomodazione riflessa.....	9
2.5 Accomodazione tonica.....	10
2.6 Accomodazione dinamica e statica.....	10
2.7 Punto prossimo, punto remoto ed ampiezza accomodativa.....	10
2.8 Tono accomodativo basale	11
2.9 Lag accomodativo.....	11
2.10 Anomalie dell'accomodazione	12
2.10.1 Insufficienza accomodativa	12
2.10.2 Paralisi dell'accomodazione	12
2.10.3 Spasmo dell'accomodazione, anisoaccomodazione e astenopia accomodativa	13
2.11 Misura dell'ampiezza accomodativa	13
2.11.1 Metodo del punto prossimo	13
2.11.2 Metodo delle lenti negative	13

2.12 Facilità accomodativa e misura della facilità accomodativa	14
2.13 Sforzo accomodativo	14
CAPITOLO 3: La motilità oculare	15
3.1 Generalità sulla motilità oculare	15
3.2 Punto prossimo di convergenza	16
3.3 Anomalie della motilità oculare.....	16
3.3.1 Insufficienza ed eccesso di convergenza e divergenza.....	17
3.3.2 Forie	17
3.3.3 Tropie.....	19
3.3.4 Fattori che possono causare strabismo	20
3.4 Esame dello stato eteroforico.....	20
3.4.1 Tecniche soggettive per evidenziare forie	21
3.4.1.1 Test di Shober	21
3.4.1.2 Test di Hering	22
3.4.1.3 Cilindro di Maddox.....	22
3.4.1.3 Metodo di Von Graffe	22
3.4.2 Tecniche oggettive per evidenziare forie.....	23
3.4.2.1 Cover/uncover test	23
3.4.2.2 Cover test alternato	23
3.4.3 Misura dell'entità delle forie	24
3.5 Rapporto AC/A.....	24
3.5.1 AC/A gradiente	25
3.5.2 AC/A calcolato	25
CAPITOLO 4: Digital eye strain.....	26
4.1 Affaticamento visivo da dispositivi digitali.....	26

4.2 Sintomi da affaticamento visivo	26
4.2.1 Trattamenti.....	27
4.3 La luce blu	28
4.4 Infanzia digitale e miopia	29
CAPITOLO 5: Lenti a supporto accomodativo.....	29
5.1 Lenti oftalmiche monofocali.....	29
5.1.1 Lenti sferiche	29
5.1.2 Lenti cilindriche e combinazioni sferocilindriche	30
5.1.3 Effetto prismatico delle lenti	30
5.2 Lenti oftalmiche a focale variabile	31
5.2.1 Lenti bifocali.....	31
5.2.2 Lenti progressive	32
5.3 Lenti Eyezen: cosa sono e perché nascono.....	32
5.3.1 Livelli di supporto e zone di visione.....	33
5.3.2 Coating Blue Cut Crizal Previncia.....	33
5.3.3 Lo studio Eurosyn.....	34
CAPITOLO 6: Valutazione sperimentale.....	35
6.1 Premessa	35
6.2 Scelta dei soggetti e anamnesi	36
6.3 Strumentazione utilizzata.....	36
6.4 Test eseguiti	37
6.4.1 Lontano	37
6.4.1.1 Acuità visiva	37
6.4.1.2 Procedura di compensazione dell'ametropia	38
6.4.2 Visione prossimale.....	40

6.4.2.1 Valutazione della foria orizzontale indotta da vicino e del rapporto AC/A.....	40
6.4.2.2 Test della sensibilità al contrasto	40
6.5 Risultati e conclusioni.....	41
BIBLIOGRAFIA E NOTE	47
RINGRAZIAMENTI.....	49

INTRODUZIONE

Con il progressivo sviluppo e miglioramento dei dispositivi digitali come smartphone e tablet non si può prescindere dal possederne uno. Tali dispositivi, oltre ad abbattere le distanze, ci permettono di fare tutto: trasferimenti di denaro, acquisto di oggetti vari, visione di film e tanto altro, semplificando estremamente la vita di ogni individuo.

L'82% della popolazione mondiale possiede uno smartphone, ed in media ogni persona lo utilizza almeno 47 volte al giorno, i consumatori più giovani invece (da 18 a 24 anni) almeno 86 volte al giorno¹.

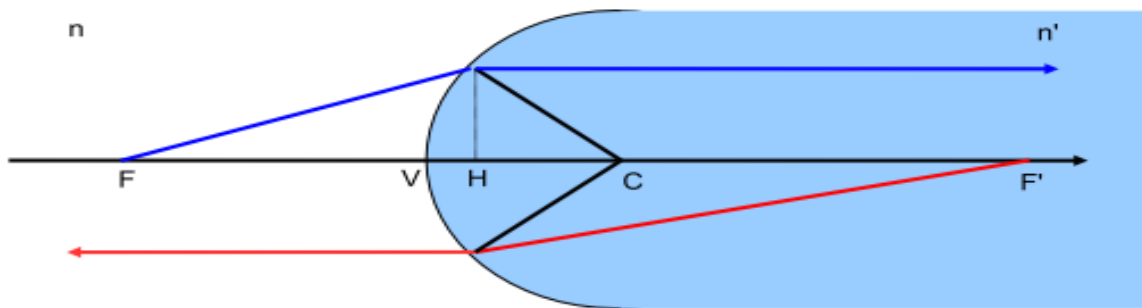
D'altra parte l'elevato utilizzo di tali dispositivi comporta un eccessivo sforzo sia accomodativo che di convergenza che, protratto nel tempo, porta inevitabilmente ad affaticamento oculare e/o posturale. Tali affaticamenti si traducono in dolore agli occhi, bruciore e secchezza oculare, cefalea, dolore al collo e alle spalle. Altro fattore che incide notevolmente su questi fastidi è sicuramente la luce blu emessa dai display di smartphone e tablet, estremamente dannosa per le cellule retiniche. Se tale luce non viene opportunamente filtrata, i suoi effetti cumulativi possono portare alla morte di quest'ultime per apoptosi con conseguente degenerazione maculare legata all'età (DMLE) precoce. Per evitare tutti i problemi legati all'affaticamento visivo e all'esposizione prolungata alla radiazione blu attualmente disponiamo di una nuova e innovativa tipologia di lenti: le lenti a supporto accomodativo. Queste hanno lo stesso "principio di funzionamento" delle lenti progressive, ma l'aumento di potere nella parte bassa delle stesse (addizione) è molto ridotto, consentendo grazie a questo un supporto che si traduce in un extra-comfort nell'uso prolungato di dispositivi digitali sia nella visione prossimale che in quella intermedia. Tale comfort è ottimizzato da un coating blue cut sulle superfici della lente che filtrano opportunamente la luce blu, evitandone quindi la trasmissione all'interno dell'occhio

¹ A. Donato , 2017

CAPITOLO 1: L'occhio come diottro

1.1 Il diottro

Un diottro è una superficie che separa due mezzi trasparenti di diverso indice di rifrazione, tale superficie può essere piana o sferica. Nel caso di diottro sferico, questo ha centro di curvatura C , vertice V e raggio di curvatura R , la congiungente tra C e V è detto asse ottico. Per convenzione il raggio di curvatura R è positivo se il centro C è alla destra del vertice V . Il diottro ha la capacità di variare la vergenza dei raggi luminosi che impattano su di esso. Tale capacità è descritta dal potere rifrattivo P .

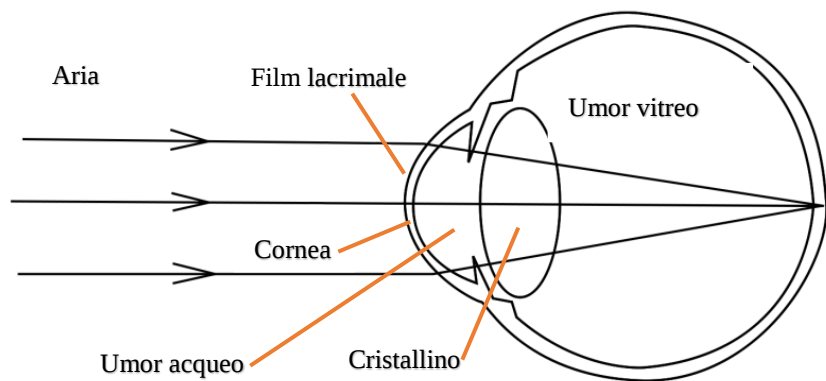


Diottro convergente

1.2 Il diottro oculare

Dal punto di vista fisico, l'occhio è un sistema diotttrico complesso che ha la finalità di focalizzare i raggi sulla retina, dove poi il segnale luminoso viene elaborato.

L'occhio può quindi essere schematizzato



Schematizzazione diottro oculare

come una serie di diottri trasparenti con indici di rifrazione differenti. Un raggio luminoso proveniente dall'esterno prima di essere focalizzato sulla retina attraversa in ordine: aria, film lacrimale, cornea, umor acqueo, cristallino, umor vitreo.

1.2.1 Cornea

Il primo salto d'indice lo si ha nella rifrazione aria- cornea. La cornea è un mezzo trasparente che presenta una superficie anteriore asferica. Il potere totale è di circa 43D.

1.2.2 Cristallino

Il cristallino è un organo trasparente dalla forma di lente biconvessa. Distinguiamo una superficie anteriore di raggio di curvatura 10,00mm, una superficie posteriore di raggio di curvatura -6,00mm con una curvatura più accentuata di quella anteriore. L'indice di rifrazione del cristallino è 1,408. Il potere della superficie anteriore è di circa 7D, quello della superficie posteriore 12D.

Il potere del diottro oculare in toto è quindi dato per la quasi totalità dalla somma dei poteri di cornea e cristallino: circa 62D.

CAPITOLO 2: Accomodazione

2.1 L'accomodazione-reazione per vicino

L'accomodazione è la capacità del cristallino di modificare il proprio potere rifrattivo al fine di adeguare il potere del diottro oculare alla distanza dell'oggetto osservato e quindi la messa a fuoco di oggetti a diverse distanze.

Durante l'accomodazione si attuano delle modificazioni dell'innervazione oculare, per questo, quando l'attenzione passa da un oggetto posto a distanza "infinita" ad un altro posto a distanza finita, avvengono contemporaneamente:

- modificazione del potere del cristallino (accomodazione), che serve a mettere a fuoco l'oggetto osservato;
- convergenza degli assi visivi, che serve a collocare sulla fovea di entrambi gli occhi l'immagine dell'oggetto osservato;
- miosi, che migliora la qualità dell'immagine retinica riducendo l'aberrazione sferica del diottro oculare ed aumentando la profondità di campo.

L'insieme di questi processi prende il nome di *reazione per vicino*.

2.2 Fisiologia dell'accomodazione

La variazione del potere del cristallino avviene grazie al muscolo ciliare e alle fibre zonulari. In sostanza il cristallino, essendo elastico, è capace di aumentare la sua curvatura e quindi convessità e spessore, se non viene più sottoposto a tensione delle fibre zonulari. Esso si avvicina alla cornea diminuendo la profondità della camera anteriore. Queste



Cristallino accomodato

modificazioni fanno sì che il potere diottrico del bulbo oculare aumenti. Il muscolo ciliare è sotto il controllo del sistema nervoso parasimpatico, il sistema simpatico fa quindi da inibitore dello stesso. Il riflesso accomodativo coinvolge sia i centri integratori corticali che sottocorticali (mesencefalo). Le fibre afferenti decorrono nel II nervo cranico (ottico) mentre la via efferente è costituita da fibre parasimpatiche che decorrono nel III nervo cranico (oculomotore) e innervano il muscolo ciliare. Il rilasciamento del muscolo ciliare con conseguente contrazione delle fibre zonulari provoca il processo inverso e cioè l'appiattimento delle superfici del cristallino e la diminuzione del suo spessore (accomodazione negativa). L'innervazione accomodativa, come quella pupillare, può essere attivata monocularmente, ma si distribuisce in entrambi gli occhi, in condizioni normali, in misura esattamente uguale.

2.4 Accomodazione riflessa

Le modificazioni del potere del cristallino si attuano involontariamente senza che se ne abbia coscienza. Gli stimoli che provocano l'accomodazione sono tutti dovuti alla posizione che occupano, o sembrano occupare, gli oggetti che ci circondano. A seconda della natura di questi stimoli l'accomodazione si può dividere in:

- accomodazione da sfocamento: un'immagine sfocata fa da input all'innervazione accomodativa che ha il fine di provocare una ottimizzazione della qualità della stessa. Quando l'immagine smette di essere sfocata questo input cessa ma il cristallino resta in accomodazione. Come vedremo nei prossimi paragrafi l'accomodazione da sfocamento è molto importante ai fini della refrazione;

- accomodazione prossimale: la percezione della prossimità di un oggetto può scaturire l'accomodazione anche se l'immagine retinica non è sfocata. Circa il 60/70% dell'accomodazione messa in gioco nella visione a 30/40cm è di tipo prossimale.

2.5 Accomodazione tonica

Quando gli stimoli accomodativi sono assenti, per esempio al buio o in presenza di campo uniformemente illuminato, il muscolo ciliare è contratto minimamente, condizione tale che il cristallino sia in accomodazione positiva di 1/1,5D, causando miopizzazione. Tale stato accomodativo è detto *accomodazione tonica* o anche *miopia notturna*. E' quindi da escludere che in condizioni di riposo l'accomodazione sia completamente assente.

2.6 Accomodazione dinamica e statica

Con accomodazione dinamica si intendono tutte le modificazioni del potere del cristallino che servono a mettere a fuoco oggetti a diverse distanze. Col termine accomodazione statica si intende invece il mantenimento di un determinato livello accomodativo data la posizione fissa dell'oggetto che si sta osservando. Ciò avviene grazie al mantenimento in tensione del muscolo ciliare senza però farlo affaticare eccessivamente al fine di rispondere a qualsiasi successiva modifica degli stimoli accomodativi. Durante l'accomodazione statica lo stato accomodativo non è stabile ma oscilla di valori da 0,1 a 0,3D.

2.7 Punto prossimo, punto remoto ed ampiezza accomodativa

Il punto prossimo (PP) di un occhio è il fuoco coniugato della sua retina quando questo è in massima accomodazione positiva. La sua distanza dall'occhio è la distanza minima a cui un soggetto può percepire immagini nitide di un oggetto ravvicinato mettendo il gioco tutta l'accomodazione di cui dispone. Il PP si può indicare sia sotto forma di distanza lineare in metri sia in diottrie. Il punto remoto (PR) di un occhio è invece il punto coniugato della sua retina quando questo è in massima accomodazione negativa. Esso si trova sul piano retinico nell'emmetrope, davanti all'occhio nel miope, dietro ad esso nell'ipermetrope. L'ampiezza accomodativa rappresenta il valore massimo di accomodazione ottenibile dalla totale contrazione del muscolo ciliare. Essa per la regola di Donders è la differenza tra il valore diottrico del punto prossimo e quello del punto remoto:

$$AA=PP-PR$$

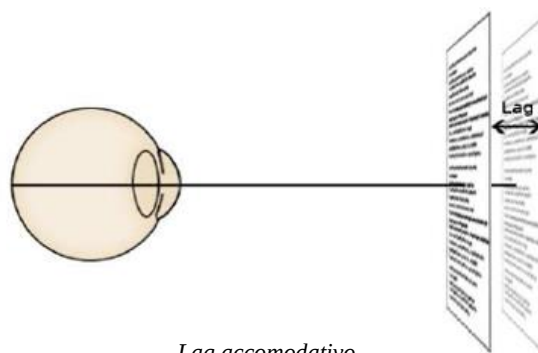
L'ampiezza accomodativa diminuisce progressivamente con l'età, in media in un bambino di 10 anni è di 14D, a 40 anni è di 6D, a 60 anni è di 1D².

2.8 Tono accomodativo basale

La situazione accomodativa in presenza di stimoli che inducono al massimo rilassamento del muscolo ciliare, cioè quando i raggi impattano parallelamente il diottrico oculare, gli assi visivi sono paralleli e gli oggetti sono molto lontani, non è nulla. L'innervazione parasimpatica del muscolo ciliare in condizioni di riposo non è completamente assente, è quindi costante questa minima contrazione che può essere inibita solo attraverso farmaci. Questa condizione prende il nome di *tono accomodativo basale* e non va confusa con l'accomodazione tonica.

2.9 Lag accomodativo

L'accuratezza dell'accomodazione consiste nella corrispondenza tra valore diottrico della distanza in cui si trova l'oggetto osservato e reale accomodazione messa in gioco dal cristallino (considerando un occhio emmetrope o emmetropizzato). Ad esempio un occhio emmetrope, per una visione nitida a 40 cm



Lag accomodativo

deve instaurare una accomodazione pari a $\frac{1}{0,40m}=2,50D$. Ma ciò non avviene!

L'accomodazione messa in gioco per la visione di un oggetto non corrisponde al valore diottrico della distanza alla quale si trova lo stesso, tale discordanza prende il nome di *lag accomodativo*. L'accomodazione lavora per così dire al risparmio e tende a scostarsi in posizione di riposo, per quel tanto che basta ad avere un'immagine retinica sufficientemente nitida per la percezione dei dettagli. Esiste quindi sempre una sorta di ipoaccomodazione fisiologica. L'accuratezza accomodativa può essere esaminata tramite la schiascopia. Ci si mette alla stessa distanza a cui si trova l'oggetto osservato, se si è nel punto neutro (pupilla illuminata uniformemente), l'accomodazione impiegata è accurata. Se l'accomodazione è

² J. L. Aliò Del Barrio e A. Vega Estrada, 2017

insufficiente il movimento della striscia sarà concorde, se è in eccesso il movimento sarà discorde.

2.10 Anomalie dell'accomodazione

La letteratura ha raccolto i principali sintomi delle disfunzioni accomodative. Questi sono: ridotta acuità visiva (AV) e talvolta diplopia al punto prossimo, mal di testa, periodici annebbiamenti da lontano dopo un prolungato lavoro da vicino, eccessivo affaticamento oculare a fine giornata³. Una volta scartate le cause patologiche, il trattamento di tali disturbi viene effettuato con lenti positive per il lavoro da vicino e con il Visual Training (VT) mirato al miglioramento delle funzionalità del meccanismo accomodativo⁴.

2.10.1 Insufficienza accomodativa

Con insufficienza accomodativa si intende l'impossibilità o la difficoltà, perenne o occasionale, di mettere a fuoco oggetti ravvicinati. Ciò può essere causato da insufficienza dell'ampiezza accomodativa o da insufficienza dell'estensione accomodativa.

- Insufficienza dell'ampiezza accomodativa: tale tipo di insufficienza nella maggioranza dei casi è causata da un deficit dell'innervazione del muscolo ciliare. Tale deficit può essere causato da glaucoma o cataratta iniziale. Per far fronte a questa problematica bisogna prescrivere prudentemente lenti positive destinate a compensare la stessa insufficienza.
- Insufficienza dell'estensione accomodativa: si riscontra principalmente quando un soggetto ipermetrope non corretto, pur avendo un'ampiezza accomodativa giusta in rapporto all'età, dissipa gran parte di quest'ultima per correggere la sua ametropia. In questo caso bisogna prescrivere le lenti positive che compensino l'ipermetropia così da permettere al soggetto di utilizzare l'accomodazione esclusivamente per la visione prossimale.

2.10.2 Paralisi dell'accomodazione

La capacità accomodativa può essere fortemente ridotta (paresi) o addirittura totalmente assente (paralisi).

³ L. Hoffman , 1982

⁴ G. Von Noorden et al., 1973

Il principale sintomo della paralisi dell'accomodazione è la micropsia, fenomeno per il quale gli oggetti appaiono rimpiccioliti. Le cause principali di una paralisi accomodativa derivano da affezioni neurologiche che interessano il mesencefalo.

2.10.3 Spasmo dell'accomodazione, anisoaccomodazione e astenopia accomodativa

Lo spasmo dell'accomodazione consiste nella contrazione totale del muscolo ciliare e provoca miopie consistenti. Spesso si accompagna a miosi pupillare e convergenza degli assi visivi.

Con il termine di anisoaccomodazione si intende una diversa ampiezza accomodativa tra i due occhi. Può essere causata da una cattiva ricezione dello stimolo dovuta a: anomalie organiche (es. opacità dei mezzi), disturbi dell'innervazione ciliare, alterazioni dello stesso muscolo ciliare o della plasticità del cristallino.

Per quanto riguarda l'astenopia accomodativa, si designano sotto questo problema tutti i disturbi che causano impossibilità o meglio difficoltà a proseguire per lungo tempo un lavoro da vicino.

2.11 Misura dell'ampiezza accomodativa

2.11.1 Metodo del punto prossimo

Il metodo più semplice e diffuso per determinare l'ampiezza accomodativa è il metodo del punto prossimo. Ma perché conoscendo il PP possiamo conoscere l'ampiezza accomodativa? Precedentemente abbiamo visto la regola di Donders: $AA = PP - PR$ (espressi in diottrie). Se il punto remoto è 0 allora $PP = AA$, e $PR = 0$ quando quest'ultimo è all'infinito. Quindi in conclusione una volta emmetropizzato il soggetto (portato il PR all'infinito), misurando la distanza occhio-PP, conosco l'ampiezza accomodativa dello stesso. Per tale test è consigliata una colonna di lettere stampata su cartoncino, avvicinando quest'ultimo agli occhi del soggetto il quale dovrà arrestare l'avvicinamento ai primi segni di sfocamento. L'inverso della distanza (in metri) tra piano degli occhiali e punto in cui si avverte il primo sfocamento (PP) rappresenta l'ampiezza accomodativa.

2.11.2 Metodo delle lenti negative

L'ampiezza accomodativa può essere misurata monocularmente antepponendo delle lenti negative di potere crescente in visione da lontano. Questo perché il cristallino

accomoderà di una quantità uguale e opposta per compensare l'effetto delle lenti. La lente immediatamente precedente a quella che da un primo sfocamento rappresenterà l'ampiezza accomodativa del soggetto. Anche questo metodo va eseguito dopo l'emmetropizzazione. Questo test può essere eseguito anche da vicino con le stesse condizioni appena descritte, utilizzando un ottotipo per vicino e facendo guardare i caratteri di un paio di decimi inferiori a quelli raggiunti da lontano, e applicando la formula:

$$AA = \frac{1}{x} - P$$

x= distanza dell'ottotipo

P= potere della lente immediatamente precedente a quella che da primo sfocamento.

2.12 Facilità accomodativa e misura della facilità accomodativa

L'effettiva variazione della curvatura del cristallino dopo la presentazione di uno stimolo richiede un certo tempo, questo tempo designa la facilità accomodativa. Nei soggetti che non hanno deficit dell'accomodazione è in media di un secondo. Si fa osservare al soggetto un ottotipo posto a 5 m e un altro posto a 40 cm. Si invita lo stesso a spostare lo sguardo da un ottotipo all'altro solo quando l'immagine risulta perfettamente a fuoco. Il passaggio da visione a fuoco da lontano a vicino o viceversa è detto *ciclo*, nei soggetti giovani si può arrivare anche a 20 cicli al minuto.

2.13 Sforzo accomodativo

A parità di ametropia e di distanza di osservazione miope ed ipermetrope non accomoderanno della stessa quantità. Un ipermetrope corretto a tempiale accomoderà di più di un emmetrope, il miope invece accomoderà di meno. Il contrario avviene con la correzione a contatto, l'ipermetrope accomoderà di meno dell'emmetrope, il miope di più. Questa differenza dipende dalla distanza apice corneale/lente e lo sforzo accomodativo può essere calcolato con la formula:

$$SA = \frac{1+dP}{1-dP} + \frac{1}{x}$$

d= distanza apice corneale/lente

P= potere della lente

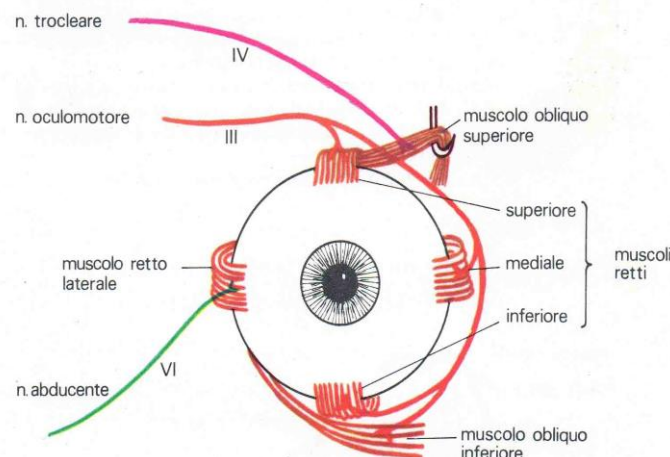
x= distanza di lavoro

La differenza di sforzo accomodativo diventa maggiore di 0,25D con lenti di potere maggiore a 3,50D, è pertanto superfluo l'utilizzo di tale formula per poteri inferiori a tale valore.

CAPITOLO 3: La motilità oculare

3.1 Generalità sulla motilità oculare

I movimenti oculari garantiscono la visione binoculare permettendo la formazione delle immagini retiniche dei due occhi sulle fovee, o quantomeno su punti delle retine accoppiati tra loro (punti retinici corrispondenti). Questi sono possibili grazie a sei muscoli striati divisi in due gruppi : i muscoli retti



Anatomia della muscolatura oculare e della sua innervazione

(superiore, inferiore, laterale e mediale), i muscoli obliqui (superiore e inferiore). I muscoli retti prendono origine da una formazione tendinea che si trova sul fondo dell'orbita: l'anello di Zinn. Questi ultimi sono allungati, più stretti dietro e più larghi avanti e si incurvano nel segmento anteriore dell'occhio.

L'innervazione dei muscoli estrinseci dell'occhio è garantita da tre tipi di nervi: nervo oculomotore, nervo trocleare e nervo abducente. I movimenti oculari possono essere monoculari o binoculari. I movimenti monoculari sono chiamati duzioni, quelli binoculari invece si dividono in:

- versioni: movimenti dei due occhi nella stessa direzione. Si dividono a loro volta in saccadi (movimenti molto frequenti e rapidi eseguiti per portare la zona di fissazione sulla fovea) ed inseguimenti (movimenti che hanno il fine di mantenere fissazione centrale in caso di movimento dell'oggetto che si sta osservando);

- vergenze: movimenti dei due occhi nella direzione opposta. La convergenza può essere positiva (rotazione degli occhi verso l'interno), negativa (rotazione degli occhi verso

l'esterno), detta anche divergenza. La convergenza ha diverse componenti: convergenza tonica (durante il sonno gli occhi si trovano in una lieve posizione di divergenza, che si annulla poi in stato di veglia), convergenza psichica (dovuta alla coscienza degli oggetti nello spazio vicino e che richiamano la nostra attenzione), convergenza fusionale (che si attiva per evitare la diplopia), convergenza accomodativa (strettamente associata all'accomodazione). La convergenza degli assi visivi in diottrie prismatiche si ottiene con buona approssimazione moltiplicando la distanza interpupillare in cm (DAV) e il valore diottrico della distanza a cui si trova l'oggetto fissato (L)

$$C(\Delta) = \text{DAV}(\text{cm}) \times L(D)$$

3.2 Punto prossimo di convergenza

Il punto prossimo di convergenza è il punto più vicino agli occhi in cui si intersecano gli assi visivi. E' quindi il punto più vicino agli occhi in cui è presente visione singola, oltre il soggetto avvertirà diplopia. Il test del PPC consiste nel porre una mira a 50 cm di distanza dagli occhi del soggetto, all'altezza del mento e la si avvicina lentamente alla radice del naso. Tale mira è preferibile abbia un contenuto discriminatorio così da stimolare l'accomodazione e l'attenzione mentre la si avvicina al naso. Una volta che il soggetto, mentre gli si avvicina la mira, avverte diplopia, quello rappresenta il PPC, allontanandola lentamente ci sarà uno spazio prima che la visione ritorni singola, tale spazio prende il nome di *spazio di recupero*. Ripetere il test $\frac{3}{4}$ volte. Soggetti fino a 40/45 anni dovrebbero avere rottura e recupero entro i 7cm dal naso. Valori fino a 10/12cm possono essere trovati in soggetti presbiteri, in quanto il peggioramento della funzionalità accomodativa può portare a ridurre l'efficienza della convergenza. In linea di principio un lavoro a vicina/media distanza può essere eseguito in maniera prolungata e confortevole solo se tale distanza è almeno il triplo della distanza del punto di recupero della binocularità. Ai soggetti che presentano rottura superiore a 13cm andrebbe valutata l'efficienza e la stabilità della visione binoculare prossimale.

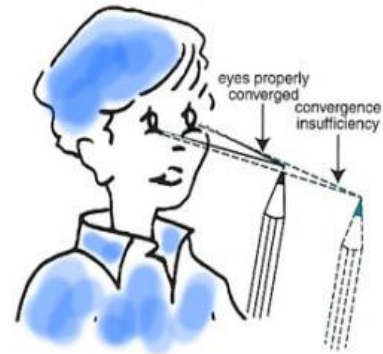
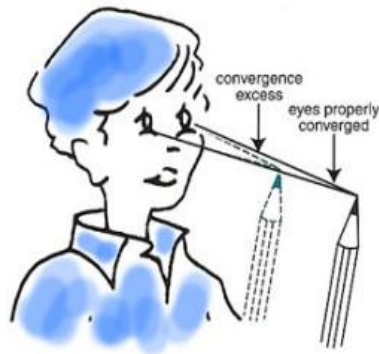
3.3 Anomalie della motilità oculare

Le anomalie della vergenza sono disturbi della visione binoculare che provocano una fusione fallimentare o l'incapacità di sostenere una fissazione bifoveale confortevole.

3.3.1 Insufficienza ed eccesso di convergenza e divergenza

L'insufficienza di convergenza (IC) è l'anomalia binoculare non strabica più comune con stime di 10,3-14,6% nei bambini da 7 a 13 anni e del 19,6% nei bambini tra 13 e 17 anni. Essa consiste nell'incapacità di mantenere la convergenza per molto tempo quando si effettua un lavoro da vicino. I tratti caratteristici dell'insufficienza di convergenza sono: allontanamento del punto prossimo di convergenza, exoforia maggiore da vicino rispetto a lontano, vergenza fusionale positiva per vicino ridotta, basso rapporto AC/A⁵. Al contrario

l'eccesso di convergenza (CE) è un'anomalia binoculare caratterizzata dalla tendenza degli occhi di convergere più del



giusto in visione *Rappresentazione del punto in cui si intersecano gli assi visivi rispetto alla posizione del target in condizioni di eccesso e insufficienza di convergenza* prossimale⁶.

Per quanto riguarda le anomalie relative alla divergenza, l'eccesso di divergenza consiste nel fatto che il soggetto riesce a convergere da vicino, ma quando l'attenzione passa ad un oggetto lontano i suoi assi visivi, invece di mantenersi paralleli, divergono eccessivamente. Un occhio in particolare perde il controllo e devia verso l'esterno. L'insufficienza di divergenza è una condizione molto rara, tipicamente associata a malattie neurologiche, essa si traduce nell'avere ampiezze fusionali di divergenza ridotte o assenti⁷.

3.3.2 Forie

Le forie sono deviazioni latenti dovute a squilibri del sistema motorio, ma che possono essere compensate dal meccanismo di fusione motoria. In base alla direzione della deviazione si distinguono in:

1) forie orizzontali:

⁵ Neeraj Kumar Singh et al., 2017

⁶ S. O Tabor Wajuihian e R. Hansraj, 2015

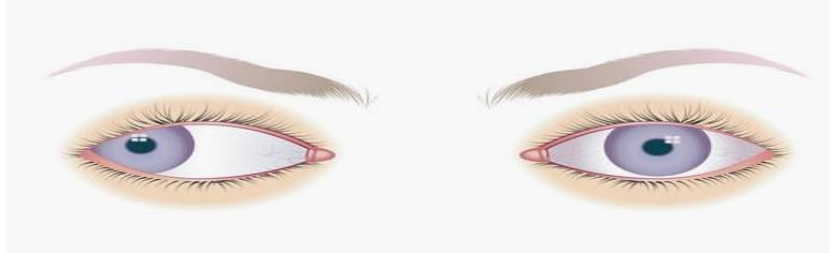
⁷ B. Bowling, 2017

- esoforia: gli occhi convergono verso l'interno e gli assi visivi si incontrano prima del punto di fissazione;



Esoforia: un occhio devia verso l'interno

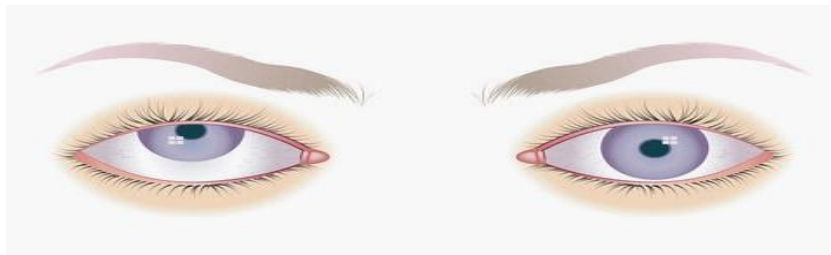
- exoforia: gli occhi divergono verso l'esterno e gli assi visivi si incontrano dopo il punto di fissazione;



Exoforia: un occhio devia verso l'esterno

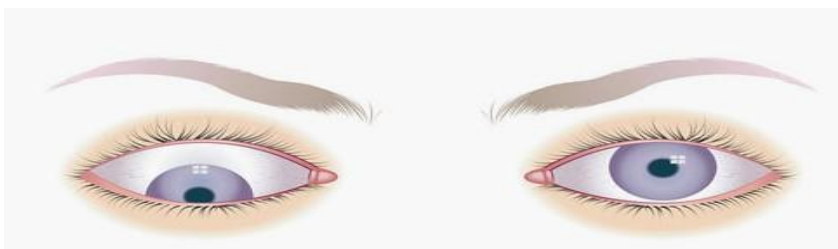
2) forie verticali:

- iperforia destra: l'occhio destro tende a posizionarsi più in alto del sinistro;



Iperforia destra

- iperforia sinistra: l'occhio sinistro tende a posizionarsi più in alto del destro;



Iperforia sinistra

3) forie torsionali:

- incicloforia: tendenza a ruotare gli occhi verso l'interno attorno all'asse visuale;
- excicloforia: tendenza a ruotare gli occhi verso l'esterno attorno all'asse visuale.

3.3.3 Tropie

Le tropie hanno le stesse caratteristiche delle forie, la differenza è che quest'ultime sono latenti, le tropie sono manifeste, cioè il meccanismo della fusione motoria non riesce a compensare tale deviazione. Ciò comporta inevitabilmente il fatto che la radiazione luminosa non verrà focalizzata su punti retinici corrispondenti con conseguente diplopia.

Il sistema nervoso può rispondere a questa diplopia in due modi: soppressione delle informazioni provenienti dall'occhio deviato; instaurando una corrispondenza retinica anomala (il sistema visivo instaura una nuova correlazione tra le due retine, elementi retinici non corrispondenti acquisiscono direzione visiva comune). Ovviamente tali risposte avvengono se la tropia si presenta in età plastica, se invece compare in età adulta il sistema visivo non riuscirà ad ovviare alla diplopia.

La presenza di una delle due deviazioni (foria o tropia) dipende quindi dall'entità della deviazione e dalla capacità delle vergenze fusionali di correggerle. Se la deviazione è lieve il sistema motorio fusionale riuscirà a compensarla senza molte difficoltà, se invece la deviazione è consistente la sua compensazione può nel migliore dei casi provocare disturbiastenopici, oppure assumere caratteristiche di una tropia. Le tropie possono essere classificate in base a diversi aspetti:

- In base alla direzione della deviazione: deviazioni orizzontali (esotropia ed exotropia), deviazioni verticali (ipertropia destra o sinistra, ipotropia destra o sinistra), componenti ciclomotorie (inciclotropia ed exciclotropia) ;
- In base alla variazione dell'angolo di deviazione: strabismi paretici (dovuti alla paralisi di uno o più muscoli oculari, l'angolo di deviazione è diverso nelle diverse posizioni di sguardo ma è maggiore quando l'occhio ruota verso il muscolo paralizzato), strabismi concomitanti (l'angolo di deviazione, entro i limiti fisiologici, cioè 10° , è uguale in tutte le direzioni di sguardo), strabismi incomitanti (l'angolo di deviazione varia nelle diverse posizioni di sguardo nonostante non siano presenti paresi o paralisi dei muscoli oculari) ;
- In base all'occhio fissante: strabismi monolaterali (la fissazione è sempre a carico di un occhio mentre il controlaterale resta sempre deviato), strabismi alternanti (la fissazione è alternata tra i due occhi; può essere essenziale quando gli occhi fissano

in egual misura, oppure preferenziale quando viene utilizzata la fissazione di un occhio maggiormente rispetto all'altro);

- In base alla costanza nel tempo della deviazione: tropie costanti (la deviazione è presente in ogni momento della giornata), tropie intermittenti (la deviazione si manifesta soltanto in alcuni momenti della giornata, come ad esempio quando il soggetto è stanco e le riserve fusionali cessano di compensare la foria e questa diventa manifesta).

3.3.4 Fattori che possono causare strabismo

- Fattori refrattivi e accomodativi: un ipermetrope non corretto dovrà accomodare di una quantità uguale alla sua ametropia per focalizzare i raggi luminosi sulla retina. Questo processo come visto comporta convergenza, che se supera le capacità fusionali darà vita ad uno strabismo manifesto;

- Fattori anatomici: gli strabismi possono essere causati da un'anomalia anatomica delle orbite o della muscolatura estrinseca, quest'ultimi possono presentare delle sproporzioni a livello strutturale, lunghezza o elasticità;

- Fattori neurologici: ad essere interessate in questo caso sono le strutture nervose che regolano il sistema delle vergenze;

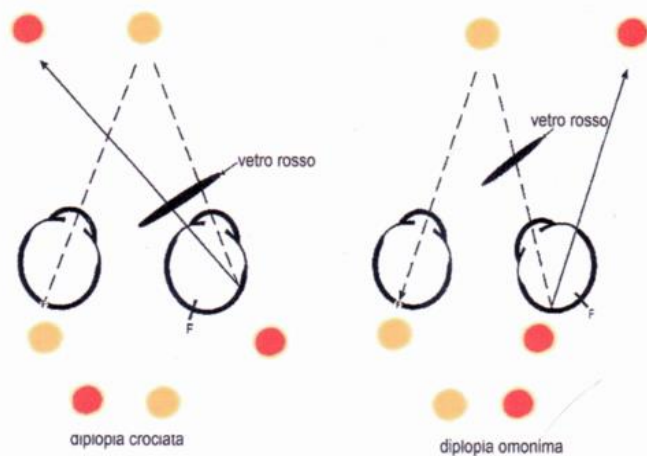
- Fattori patologici: patologie come paralisi della muscolatura oculare, tumori dell'orbita o traumi possono provocare deviazioni manifeste.

3.4 Esame dello stato eteroforico

Alla base delle tecniche optometriche per l'esame dello stato eteroforico sta il fatto che se si dissocia la visione si esclude il meccanismo della fusione motoria e gli occhi assumono la loro posizione fisiologica di riposo (stato di foria). La visione dissociata si può ottenere in diversi modi:

- Filtri polarizzati o filtri rosso-verde: creano due immagini differenti per occhio destro e sinistro;
- Occlusore: un occhio viene escluso dalla visione;
- Prismi dissocianti: dislocano l'immagine retinica di una quantità superiore rispetto alle riserve fusionali.

Se è presente la foria, dopo la dissociazione, le immagini dell'oggetto fissato si andranno a formare su punti retinici non corrispondenti. In caso di esoforia le immagini cadranno nella porzione nasale delle retine dando origine a diplopia omonima: la localizzazione dell'oggetto fissato sarà nello stesso lato dell'occhio che ne ha creato l'immagine. In caso di exoforia le immagini cadranno nella porzione tempiale delle retine causando diplopia crociata: l'oggetto verrà localizzato nel lato opposto all'occhio che ne ha creato l'immagine.



3.4.1 Tecniche soggettive per evidenziare forie

3.4.1.1 Test di Shober

La mira è costituita da una croce rossa all'interno di un cerchio verde. Si antepone davanti all'occhio destro il filtro rosso e davanti all'occhio sinistro il filtro verde, così che l'occhio destro vedrà la croce, il sinistro il cerchio. Se la croce verrà vista perfettamente al centro ci sarà ortoforia, se è spostata sulla destra ci sarà esoforia, a sinistra exoforia, in alto iperforia sinistra, in basso iperforia destra. Il test esiste anche in forma polarizzata e può essere eseguito allo stesso modo anteponendo dei filtri polarizzanti davanti agli occhi, l'occhio destro vedrà la croce, il sinistro il cerchio.

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

Test di Shober

3.4.1.2 Test di Hering

La mira è formata da una croce i quali bracci sono polarizzati su piani ortogonali tra loro. Il soggetto guarderà la mira attraverso filtri polarizzanti, l'occhio destro vedrà il braccio verticale, il sinistro quello orizzontale. Per verificare le forie orizzontali si chiede al soggetto la posizione del braccio verticale rispetto all'orizzontale. Se è spostato a destra ci sarà esoforia, a sinistra exoforia. Per

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

Test di Hering

verificare le forie verticali si chiede la posizione della mira orizzontale rispetto alla verticale. Se questa è spostata sopra ci sarà iperforia destra, sotto iperforia sinistra. Anche questo test può essere eseguito dissociando la visione con filtro rosso-verde.

3.4.1.3 Cilindro di Maddox

Il cilindro di Maddox è una lente cilindrica di potere elevatissimo (circa 300/500D) e di diametro 3mm. Quest'ultima trasforma l'immagine di un punto in una linea ortogonale all'asse dello stesso. La dissociazione si ottiene anteponendo tale cilindro davanti ad un occhio, così che quest'ultimo vedrà una linea e il controlaterale un punto. Per le forie orizzontali la lente va posta con asse orizzontale così da creare una linea verticale. Per le forie verticali con asse verticale. Per risalire alla foria si chiede dove si trova la linea rispetto al punto.

3.4.1.3 Metodo di Von Graefe

Anteponendo un prisma davanti ad un occhio di un soggetto in visione binoculare l'immagine retinica sarà spostata nella direzione della base e l'occhio dovrà ruotare verso l'apice per riportare l'immagine su punti retinici corrispondenti. Questo avviene quando le riserve fusionali sono maggiori del potere del prisma. Quando però l'entità di quest'ultimo è maggiore delle riserve fusionali il soggetto avvertirà diplopia e gli occhi assumeranno posizione di foria.

- Forie orizzontali: la mira è una colonna di lettere. Si antepone un prisma base verticale di $4/6\Delta$. Il soggetto vedrà due colonne, una in alto e l'altra in basso. Se le

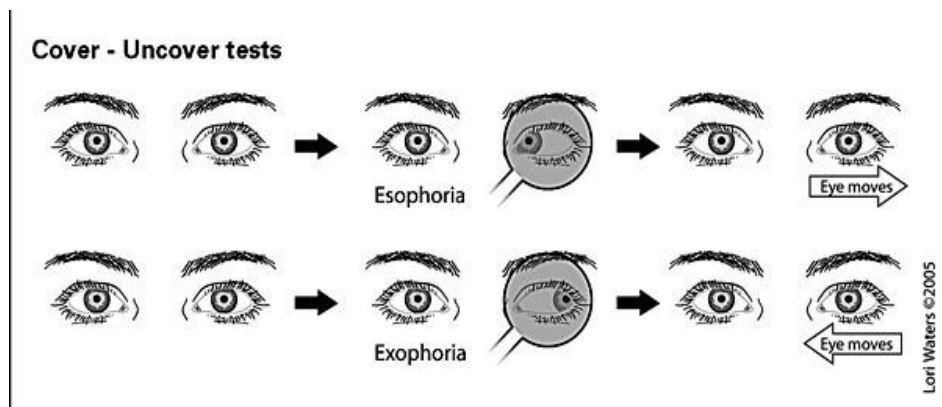
colonne sono allineate ci sarà ortoforia, altrimenti sarà presente foria orizzontale (eso o exo);

- Forie verticali: la mira è una riga di lettere. Il prisma anteposto dovrà avere base orizzontale e potere 10Δ (le riserve fusionali orizzontali sono maggiori delle verticali). Il soggetto vedrà due righe, una a destra e l'altra a sinistra. Se queste sono allineate ci sarà ortoforia, altrimenti sarà presente foria verticale (iper dx o iper sx).

3.4.2 Tecniche oggettive per evidenziare forie

3.4.2.1 Cover/uncover test

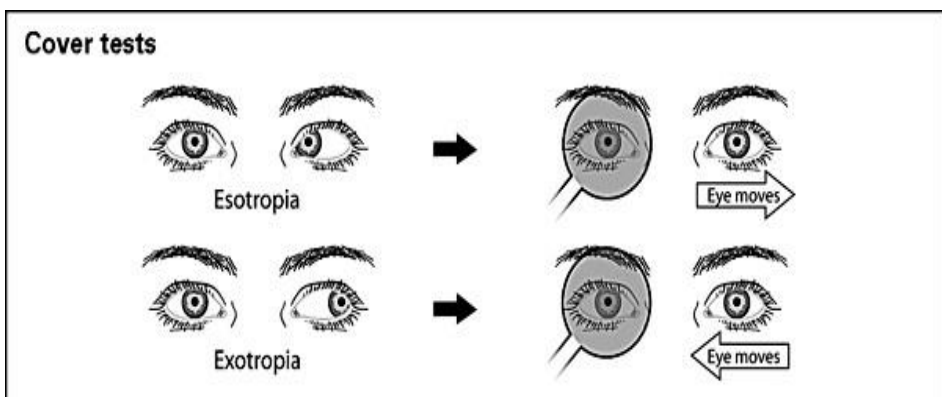
Si invita il soggetto a guardare una mira posta all'infinito o a distanza prossimale (35/40cm). Si



occlude uno dei due occhi così da ottenere la dissociazione. L'occhio occluso assumerà posizione di foria. Scoprendo l'occhio occluso quest'ultimo per ripristinare il corretto allineamento effettuerà un movimento di recupero.

3.4.2.2 Cover test alternato

Si invita il soggetto a guardare la mira. Come appena visto l'occhio occluso



assumerà posizione di foria. Se l'occlusione passerà rapidamente da un occhio all'altro ci

sarà uno scambio di fissazione che ci permetterà di osservare il movimento di recupero che effettuerà l'occhio che diventa fissante. Si ripete lo stesso procedimento per l'altro occhio.

In entrambi i test il movimento di recupero è opposto alla direzione della foria: nessun movimento di recupero (ortoforia), recupero verso l'esterno (esoforia), recupero verso l'interno (exoforia), l'OD recupera verso il basso o l'OS verso l'alto (iperforia dx), l'OS recupera verso il basso o l'OD verso l'alto (iperforia sx).

Molto importante durante il cover test è la valutazione della qualità del movimento di recupero: un recupero rapido ci fa capire che il sistema motorio riesce facilmente ad ottemperare alla deviazione; un recupero lento invece è sintomo di difficoltà da parte dello stesso di compensare tale deviazione.

3.4.3 Misura dell'entità delle forie

Che si tratti di metodi soggettivi o di metodi oggettivi, il metodo più utilizzato per la misurazione dell'entità della deviazione è attraverso l'anteposizione di prismi. Il prisma che devia i raggi luminosi in modo tale che questi vengano focalizzati sulla fovea e non in una zona parafoveale avrà la stessa entità deviazione. ES: test di Shober, il soggetto vede la croce alla destra del cerchio perché l'immagine retinica dell'OD è focalizzata sulla zona nasale della retina. Bisogna quindi anteporre un prisma base tempiale che sposterà l'immagine sulla fovea e che farà quindi in modo che la croce si sposterà al centro del cerchio. Nel cover test la procedura si divide in tre step: per prima cosa bisogna registrare l'entità del prisma che annulla il movimento di recupero, poi si registra il prisma che comporta un recupero contrario al precedente, la media aritmetica tra i due prismi rilevati sarà l'entità della deviazione.

3.5 Rapporto AC/A

Tra le diverse componenti della convergenza totale, la convergenza accomodativa è quella prevalente. In pratica esiste una sincinesia tra stimolo nervoso che determina l'accomodazione e stimolo nervoso che attiva la contrazione dei retti interni. Squilibri nel legame tra questi due elementi chiave della visione binoculare possono causare forie o tropie⁸. La relazione tra convergenza accomodativa e accomodazione si esprime col rapporto

⁸ Schor CM e A. Glenn, 1986

AC/A. Tale rapporto risponde alla domanda: quante diottrie prismatiche di convergenza accomodativa si hanno per ogni diottria di accomodazione?

Il rapporto AC/A è diverso da soggetto a soggetto, ciò che conta è la costanza di tale valore nel tempo. Normalmente si vede che resta costante fino all'insorgenza della presbiopia, poi aumenta. Questa cosa è dovuta a un tentativo di ottenimento di un'adeguata focalizzazione da parte di un cristallino che non risponde più nel modo dovuto, specie nella presbiopia incipiente⁹. Un'altra causa della variazione del rapporto AC/A è l'errore refrattivo, con valori AC/A alti in bambini miopi rispetto agli emmetropi. Il valore aumenta uniformemente raggiungendo il suo punto massimo nell'anno dell'insorgenza della miopia, rimanendo elevato e stabile fino ai 5 anni successivi. Un elevato AC/A è probabilmente responsabile dell'incremento percentuale del valore di foria da vicino nei bambini che diventano miopi¹⁰. Nei casi in cui non vi sono anomalie tale rapporto va da 3,5 a 4,5. I metodi più utilizzati per il calcolo dell' AC/A sono 2: metodo del gradiente e metodo della foria.

3.5.1 AC/A gradiente

L'AC/A gradiente valuta la variazione di foria misurata alla stessa distanza (40cm) ma con correzioni diverse (differenti tra loro di almeno 1D).

$$\frac{AC}{A}^g = \frac{FI-FO}{D}$$

Le esoforie hanno segno +, le exoforie sengno –

FO= foria da vicino misurata con la correzione trovata dopo emmetropizzazione

FI= foria da vicino misurata dopo avere anteposto una lente sferica +1D

D= stimolo accomodativo (in D)

3.5.2 AC/A calcolato

L'AC/A calcolato valuta la variazione di foria misurata con la stessa correzione ma a diverse distanze (lontano e vicino), con la correzione abituale o dopo emmetropizzazione.

$$\frac{AC}{A}^c = DAV + \frac{FV-FL}{ACC}$$

Le esoforie hanno segno +, le exoforie sengno –

⁹ P. Tiagarajan et al., 2010

¹⁰ D. O Mutti et al., 2017

DAV= distanza assi-visuale da lontano (in cm)

FV= foria da vicino

FL= foria da lontano

ACC= accomodazione messa in gioco per la visione del target da vicino (in D)

L'AC/A da prendere in considerazione sarà la media aritmetica tra $AC/A_{\text{gradiente}}$ e $AC/A_{\text{calcolato}}$.

CAPITOLO 4: Digital eye strain

4.1 Affaticamento visivo da dispositivi digitali

Il digital eye strain o affaticamento dell'occhio da dispositivi digitali è diventato negli ultimi anni una priorità per la salute pubblica. Questi ultimi, che si tratti di smartphone, tablet, pc o console di gioco sono ormai utilizzati da tutti noi continuamente, da quando ci svegliamo fino al momento in cui andiamo di nuovo a letto, esponendo gli occhi ai rischi legati alla prolungata esposizione alla luce emessa dagli schermi. In termini concreti oltre il 95% degli adulti americani spende almeno due ore al giorno davanti a uno schermo e quasi 3 su 10 ne spendono più di nove¹¹. Invece un bambino su quattro viene esposto a schermi per almeno tre ore al giorno, questa cosa è dovuta sicuramente alla diminuzione dell'attività fisica, aumento dei consumi e quindi alla globalizzazione. Uno studio recente del Vision Council ha concluso che la maggior parte dei lavoratori che lavorano a pc tutto il giorno presentano cambiamenti fisiologici simili a quelli presenti nella sindrome dell'occhio secco, dato che non ci sorprende vista la presenza di schermi multipli, caratteri piccoli e sistemi di illuminazione LED.

4.2 Sintomi da affaticamento visivo

Persone che svolgono attività prolungate da vicino, come per esempio lavoro a computer, lamentano disagi che possono essere eliminati o ridotti ottimizzando la postazione di lavoro o attraverso una correzione ottica adeguata. Proprio per questo, risolvere i problemi della persona spesso richiede, oltre all'analisi del sistema visivo, anche l'analisi delle condizioni ambientali. I sintomi principali che vengono lamentati si dividono in tre categorie: sintomi visivi (es. sfocatura da vicino, visione doppia), sintomi muscolo-

¹¹ M. Daley et al., 2015

scheletrici (es. dolore al collo e/o alle spalle), sintomi astenopici (es. cefalea, dolore agli occhi).

- Sintomi visivi: i sintomi visivi causati da errore refrattivo sono quelli più semplici da valutare. Anche errori di 0,50DC (diottrie cilindro) possono causare problemi. Nei soggetti presbiti diventa fondamentale la valutazione della distanza di lavoro al fine di prescrivere la quantità di addizione positiva più adatta. La lentezza della messa a fuoco è in genere dovuta a un eccessivo affaticamento dell'accomodazione, in tal caso sono molto utili i test per valutare ampiezza, accuratezza e facilità accomodativa. Sintomo più raro è la diplopia, questa indica problemi relativi alla visione binoculare, analizzare quindi quest'ultima e determinare eventuali forie. Il problema più comune è l'insufficienza di convergenza che causa exotropia intermittente a distanza ravvicinata.
- Sintomi muscolo-scheletrici: dolore al collo e alla schiena sono i sintomi più comuni per chi lavora a computer, spesso causati da un'inappropriata posizione del display o da una correzione inesatta nei presbiti. Per ridurre al massimo il discomfort la parte alta del display deve trovarsi all'altezza degli occhi così che per guardare la zona centrale, gli occhi devono ruotare verso il basso di circa 10°.
- Sintomi astenopici: questi possono essere a loro volta classificati in sintomi esterni e sintomi interni. I sintomi esterni più comuni sono bruciore, irritazione e secchezza oculare, causati dai sistemi di illuminazione e soprattutto da una minore frequenza di ammiccamento, dovuta all'elevata concentrazione durante l'utilizzo di dispositivi digitali (in condizioni normali si ammicca circa 18 volte al minuto). I sintomi interni sono invece dolore agli occhi e/o cefalea, causati principalmente da stress accomodativo e di convergenza oppure da errore refrattivo astigmatico.

4.2.1 Trattamenti

Una volta stabilite le cause dei sintomi, sia refrattive che ambientali, si approccia alla risoluzione degli stessi. Per prima cosa va assemblata in maniera ottimale la postazione di lavoro. Nei presbiti con addizione di circa 1,50D che utilizzano bifocale è consigliabile l'utilizzo di bifocali la cui parte alta sia adibita alla visione intermedia, quella bassa alla visione prossimale. Per i soggetti abituati alle lenti progressive potrebbero essere molto utili le lenti occupazionali, cioè lenti che hanno lo stesso principio delle progressive ma che prediligono la visione intermedia e prossimale. La secchezza oculare può essere ridotta

eliminando abbagliamenti da sistemi di illuminazione, eliminando correnti d'aria, correggendo errori refrattivi e utilizzando lacrime artificiali quando necessario. Problemi di binocularità possono essere gestiti attraverso una correzione ottica mirata: i soggetti con esoforia da vicino possono trovare giovamento con una lieve addizione positiva, che riduce lo stress sul sistema binoculare. Per i sintomi muscolo-scheletrici va valutata per prima cosa la postura, quest'ultima deve essere corretta al fine di mantenere il comfort a lungo termine, gli arti possono essere supportati da braccioli per evitare tensioni sulle spalle¹².

4.3 La luce blu

Oltre all'affaticamento degli occhi da stress accomodativo/convergenza, molto importante è il problema legato alla sovraesposizione ai display digitali che emettono luce blu. La luce blu può essere divisa in due tipi: la luce blu-viola e quella blu-turchese. La ricerca attuale è molto attenta nella determinazione



Spettro della radiazione luminosa che ci indica quale parte della luce blu è dannosa, quale invece è benefica

dell'impatto di questo tipo di luce sugli occhi e sulla vista. Una cosa è certa: la luce blu-viola è particolarmente dannosa. Quella che induce il più alto tasso di mortalità delle cellule retiniche corrisponde ad una banda di 40nm centrata su 435nm. Tale luce è dannosa perché ad altissimo contenuto energetico. Questa penetra profondamente nelle cellule retiniche, con effetti cumulativi e quest'ultime, non potendo essere sostituite, lasciano l'occhio vulnerabile a fattori luminosi e ambientali dannosi, incrementando il rischio di precoci disturbi oftalmici come la degenerazione maculare legata all'età (AMD o DMLE). Ovviamente tali danni sono presenti in tutta la popolazione, a prescindere dall'utilizzo o meno di ausili ottici, ma con maggiore incidenza sui giovani¹³. Nonostante ciò la luce blu-turchese è necessaria per il nostro organismo andando a inficiare sui ritmi circadiani naturali (cicli sonno-veglia) sopprimendo la melatonina (sostanza chimica che regola questi ultimi), stimola la

¹² J. Sheedy, 2014

¹³ M. Safady, 2015

vigilanza e la memoria. Detto ciò bisogna quindi minimizzarne l'esposizione, in particolare per quanto riguarda i dispositivi digitali¹⁴.

4.4 Infanzia digitale e miopia

Gli studi sul digital eye strain si stanno soffermando molto sull'impatto della luce blu sugli occhi dei bambini. Il principale rischio legato ad un prolungato utilizzo di dispositivi digitali è la miopia, questi ultimi infatti stimolano l'occhio ad adattarsi alla visione ad una distanza molto ravvicinata. Il Vision Council consiglia una visita approfondita ogni anno, tale consiglio va però a contrastare col problema principale di questo tema: la maggior parte dei genitori non sono preoccupati degli effetti dannosi da abuso di dispositivi digitali da parte dei loro figli.¹⁵

CAPITOLO 5: Lenti a supporto accomodativo

5.1 Lenti oftalmiche monofocali

5.1.1 Lenti sferiche

Le lenti sferiche sono dei mezzi trasparenti delimitati da due superfici concave o convesse che costituiscono delle calotte sferiche. Il centro della sfera ideale di cui fanno parte le calotte è detto centro di curvatura e il raggio è detto raggio di curvatura. Più corto è il raggio, più curva sarà la superficie. La retta che unisce i centri di curvatura delle due calotte è detta asse ottico. Le lenti, essendo la successione di due diottri, modificano la vergenza dei raggi luminosi che la attraversano, quelle convesse imprimono ai raggi una vergenza positiva e sono per questo dette positive, quelle concave imprimono ai raggi una vergenza negativa e sono dette negative. Subito dopo aver attraversato la lente sferica i raggi avranno vergenza pari alla somma algebrica tra vergenza che avevano a livello della loro incidenza sulla lente e quella indotta dalle superfici della stessa. Il punto su cui convergono o sembrano provenire raggi paralleli dopo aver attraversato una lente si chiama *fuoco principale*. La distanza tra quest'ultimo e superficie della lente rivolta verso l'occhio prende il nome di *distanza frontale*, l'inverso di tale distanza è il *potere frontale posteriore* della lente, con la quale vengono classificate queste ultime.

¹⁴ D. Adamopoulos, 2015

¹⁵ M. Daley e D. Adamopoulos, 2015

5.1.2 Lenti cilindriche e combinazioni sferocilindriche

Le lenti cilindriche sono dei mezzi trasparenti in cui almeno una delle due facce è costituita da una superficie cilindrica concava o convessa. A differenza delle lenti sferiche, quest'ultime sono caratterizzate da un potere non costante ma che varia sui diversi meridiani, nullo lungo l'asse del cilindro, massimo perpendicolarmente a quest'ultimo. Nelle sezioni intermedie il potere varia progressivamente. Un fascio di raggi che attraversa questo tipo di lente non focalizzerà in un punto (come per le lenti sferiche), ma in una linea, detta *linea focale*. Per il fatto che ad un punto oggetto non corrisponda un punto immagine ma una linea, tali lenti prendono anche il nome di lenti astigmatiche. La posizione dell'asse del cilindro viene rappresentata in conformità al sistema TABO in cui l'angolo che forma l'asse col meridiano orizzontale va da 0 a 180° partendo dall'occhio sinistro del soggetto.

Associando a una lente sferica una lente cilindrica otteniamo una lente sferocilindrica. Questa combinazione consiste in una lente in cui il potere su ogni meridiano è pari alla somma algebrica tra potere della sfera (che è costante) e potere del cilindro in quel meridiano. Questa lente avrà quindi potere pari al potere della sfera lungo l'asse del cilindro, potere pari alla somma tra sfera e potere massimo del cilindro lungo il meridiano perpendicolare all'asse. Un fascio di raggi che incide su una lente sferocilindrica sarà focalizzata in due linee perpendicolari tra loro dette *linea focale anteriore* e *linea focale posteriore*. Lo spazio che intercorre tra queste linee prende il nome di *conoide di Sturm*.

5.1.3 Effetto prismatico delle lenti

Se un raggio luminoso attraversa la lente non per il suo centro ottico ma in zona periferica, tale lente si comporterà come un prisma il quale potere dipende dal potere diottrico della lente e dalla distanza che intercorre tra punto di incidenza del raggio e centro ottico della lente. L'effetto prismatico (Δ) di una lente in un punto distante L dal centro si può calcolare con la regola di Prentice:

$$\Delta = D \times L$$

D= potere della lente espresso in diottrie

L= distanza tra punto di incidenza del raggio dal centro ottico della lente (in cm)

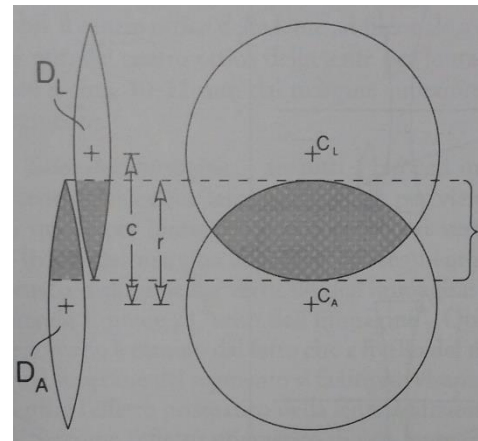
5.2 Lenti oftalmiche a focale variabile

Quando un presbite portatore di occhiali è costretto, per esigenza personali, a spostare continuamente lo sguardo da lontano a vicino e viceversa, gli torna molto comodo l'uso di lenti che contengono sia la correzione per lontano che quella per vicino.

5.2.1 Lenti bifocali

Le lenti bifocali permettono una perfetta messa a fuoco da lontano e da vicino, senza però permettere un'adequata visione a distanza intermedia (quest'ultima è garantita soltanto dalle lenti progressive). Qualsiasi tipo di lente bifocale può essere schematizzata in questo modo:

- Una lente per lontano (D_L);
- Una lente per vicino (D_A);
- Il segmento (in grigio scuro): quella parte di lente formata dalla somma della lente per lontano e della lente addizionale (ha quindi potere pari al potere per lontano + l'addizione). Il margine superiore del segmento, che coincide col margine superiore della lente per vicino, si trova da 2 a 5mm



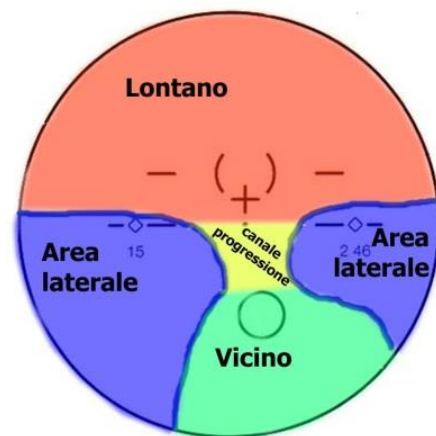
Schematizzazione di una lente bifocale

sotto al centro ottico della lente per lontano. Dato che il segmento ha un potere maggiore in positivo, oggetti lontani visti attraverso questa zona della lente verranno visti sfocati e ingranditi. Per vedere distintamente oggetti lontani ma che cadono nella parte bassa del campo visivo (es. scalini) il portatore di lenti bifocali deve abituarsi a flettere il capo. Per guardare da vicino il soggetto deve abbassare gli occhi quel tanto che gli permette di guardare attraverso la zona del segmento.

In tutti i bifocali, a livello del margine superiore del segmento, si verifica un brusco dislocamento verticale dell'immagine che prende il nome di salto d'immagine. Questo fenomeno è dovuto al fatto che in tal punto si fa improvvisamente sentire l'effetto prismatico della lente addizionale.

5.2.2 Lenti progressive

Nelle lenti progressive la correzione ottica per lontano (in rosso) e quella per vicino (in verde) sono collegate da una zona detta canale di progressione (in giallo) nella quale il potere della lente cambia in modo progressivo così da permettere una visione nitida anche a distanze intermedie (cosa non permessa dalle lenti bifocali). La lunghezza di questo canale di solito va da 10 a 18mm e va scelta a seconda della montatura, delle esigenze del portatore e soprattutto dell'addizione necessaria. Il



Schematizzazione di una lente progressiva

racordo tra la zona della lente utilizzata da lontano e quella della lente utilizzata per la visione prossimale è delimitata da due ampie aree cuneiformi in cui questa presenta degli astigmatismi tanto elevati da ridurre notevolmente l'acutezza visiva (aree blu). Quanto più è elevato il potere dell'addizione per vicino, più sarà stretto il canale di progressione esente da astigmatismo e più è elevato quest'ultimo nelle suddette zone. Con le nuove tecnologie e geometrie queste aree diventano sempre più ridotte. Ovviamente anche le lenti progressive richiedono un adattamento da parte del neoportatore, adattamento che dipende in primis dalla geometria della lente utilizzata e poi dalla motivazione/apertura da parte del portatore nell'adottare piccole ma indispensabili modifiche del proprio atteggiamento posturale.

5.3 Lenti Eyezen: cosa sono e perché nascono

Per questo studio di tesi ci siamo basati sulle caratteristiche delle lenti a supporto accomodativo Eyezen di Essilor. Queste sono la nuova soluzione visiva evoluta che sostituisce nella vita di tutti i giorni la lente monofocale. Adatta agli ametropi, presenta diverse soluzioni per soddisfare le esigenze dei portatori. Nascono perché si è visto che i nuovi dispositivi digitali, specie gli smartphone, non vengono utilizzati alla normale distanza di lavoro prossimale (circa 35cm) ma ad una distanza molto inferiore. Queste lenti hanno lo stesso "principio di funzionamento" delle lenti progressive: nella parte alta presentano il potere che corregge l'ametropia del soggetto, poi hanno un leggero aumento di potere progressivo (con canale di progressione 15mm) nella parte bassa delle stesse (addizione). Questo tipo di lenti consentono, grazie al supporto accomodativo, un extra-comfort nell'uso prolungato di dispositivi digitali sia nella visione prossimale che in quella intermedia.

5.3.1 Livelli di supporto e zone di visione

Esistono diversi tipi di lenti a supporto accomodativo Eyezen, che variano sia per le zone di visione (tale scelta deve rispettare le esigenze del portatore), sia per il tipo di addizione (che dipende dall'età del soggetto). Iniziamo da quest'ultima classificazione:

- 1) Initial, ADD +0,4D: per ragazzi, studenti e giovani adulti da 20 a 34 anni, rendono confortevole l'utilizzo prolungato di smartphone, tablet e pc;
- 2) Active, ADD +0,6D: per pre-presbiteri da 34 a 44 anni, ideale per quando si inizia ad avere una visione non nitidissima nella lettura e nei lavori da vicino;
- 3) Active +, ADD 0,85D: per giovani presbiteri da 45 a 50 anni che non utilizzano correzione da vicino, per chi inizia ad avvertire i primi fastidi della presbiopia. Ideali per introdurli nel mondo delle lenti progressive.

Questi valori di addizione sono stati scelti proprio in base alla diminuzione di ampiezza accomodativa dopo 20 minuti di visione prossimale. Tale diminuzione è di 0,4D da 20 a 34 anni, 0,6D da 35 a 44 anni, 0,85D da 45 a 50 anni¹⁶. Queste lenti presentano inoltre una zona visiva aggiuntiva, la zona Ultra-Near Vision (visione ultra vicina) in cui l'addizione è maggiore. Questa, non andando a infierire sulla zona per vicino, garantisce visione chiara e confortevole in quei casi in cui il target (es. smartphone) è ad una distanza molto inferiore alla normale distanza di visione prossimale. Per quanto riguarda le zone di visione queste lenti si dividono anche a seconda dell'ampiezza di quest'ultime:

- Near: priorità di utilizzo per vicino, consigliate per le attività statiche come smartphone, tablet e libri;
- Mid: priorità di utilizzo per l'intermedio come PC o schermi;
- Room: priorità di utilizzo indoor, consigliate per le attività dinamiche come TV e ufficio.

5.3.2 Coating Blue Cut Crizal Previncia

Come visto nel capitolo precedente la luce blu-viola è estremamente dannosa per le cellule retiniche. Nel breve termine questa porta a fastidi come affaticamento visivo e secchezza oculare, giorno dopo giorno, i suoi effetti cumulativi possono costituire un vero e proprio pericolo per la salute oculare. Il trattamento Crizal Previncia non interferisce col

¹⁶ C. Benolt e M. Jarrousse, 2015

colore della lente, che resta trasparente, ma permette di prevenire gli effetti della luce blu-viola/raggi UVA-UVB. Studi Essilor dimostrano che l'utilizzo di questa tecnologia riduce del 25% la morte delle cellule retiniche per apoptosi. Quest'ultima prevede il blocco da parte della superficie anteriore della luce blu-viola (415-455nm), la luce blu-turchese invece viene trasmessa. La superficie posteriore invece trasmette la luce blu-viola (proveniente da dietro), riducendo raggi dannosi riflessi nell'occhio. La superficie anteriore, sotto certe angolazioni, presenta un riflesso blu-viola, dimostrazione del fatto che tale luce non viene trasmessa ma riflessa. Altri benefici delle lenti Eyezen con trattamento Crizal Prevencia sono: idrorepellenza, antistaticità, resistenza ai graffi, anti-imbrattamento. Questi garantiscono una visione perfetta in tutte le condizioni di utilizzo.

5.3.3 Lo studio Eurosyn

Eurosyn, un istituto di ricerche francese specializzato nell'analisi sensoriale, ha effettuato uno studio coinvolgendo Essilor e stabilendo un protocollo di prova al fine di valutare le prestazioni e quindi i benefici delle lenti Eyezen durante l'uso di dispositivi digitali, su un target di soggetti ametropi. Queste lenti sono state centrate otticamente all'altezza delle pupille di ogni soggetto e utilizzate da quest'ultimi per quattro settimane al posto dei loro occhiali monofocali. Alla fine del periodo di prova i soggetti hanno dovuto rispondere ad un questionario online al fine di valutare il grado di soddisfazione a queste lenti nell'uso quotidiano e soprattutto durante l'utilizzo di dispositivi digitali. I criteri di inclusione sono stati: età compresa tra 20 e 55 anni; essere utenti di dispositivi digitali per almeno 6 ore al giorno; avvertire affaticamento visivo e/o posturale; essere ametrope di $-4 < sf < +4$ / $-2 < cil < +2,75$ corretto con lenti monofocali; non essere portatore di progressive. I criteri di esclusione sono stati: strabismo associato ad ambliopia; anisometropia superiore a 1,50D; diabete, glaucoma o altre malattie oculari. In tutto sono state reclutate 76 persone, divise in tre gruppi:

- 1^ gruppo: persone da 20 a 34 anni che hanno indossato Eyezen Initial;
- 2^ gruppo: persone da 35 a 44 anni che hanno indossato Eyezen Active;
- 3^ gruppo: persone da 45 a 55 anni che hanno indossato Eyezen Active +.

Risultati: Per prima cosa è stato valutato il grado di adattamento a questo tipo di lenti, il 79% dei portatori l'hanno valutato come rapido. Tutti i soggetti prima dello studio avvertivano disagi visivi e posturali, alla fine delle quattro settimane tutti i portatori hanno beneficiato delle lenti, avvertendo un minore disagio visivo e posturale durante l'utilizzo di dispositivi digitali. Il 90% dei portatori ha affermato che i loro occhi erano meno stanchi a fine giornata rispetto al periodo precedente allo studio, cioè quando indossavano lenti monofocali. La stessa percentuale degli utenti ha avuto minore difficoltà a leggere i caratteri piccoli dello smartphone, una migliore sensibilità al contrasto e soprattutto minori disagi dovuti all'esposizione alla radiazione blu. In conclusione il 91% dei portatori ha riferito di essere molto soddisfatto delle lenti Eyezen, con un grado di soddisfazione di 7 su 10¹⁷.

CAPITOLO 6: Valutazione sperimentale

6.1 Premessa

Attraverso questo studio si è voluta valutare l'utilità delle lenti a supporto accomodativo durante l'utilizzo di smartphone e tablet quando questi vengono utilizzati a breve distanza. Queste ultime, come abbiamo visto, sono lenti personalizzate. Esse vanno costruite in base all'età e alle esigenze del portatore, era quindi impossibile poter valutare il comportamento delle suddette nello specifico come impossibile è stato valutare l'efficienza di un trattamento Blue Cut. Ciò che invece è stato possibile è stata la valutazione dei benefici di una aggiunta positiva per quanto riguarda lo stress da accomodazione e da convergenza.

Vista l'età dei soggetti esaminati, un buon compromesso per la valutazione sperimentale è stata l'anteposizione di una sf+0,50 sulla miglior compensazione, lente che quindi meglio poteva simulare il comportamento di una lente a supporto accomodativo. Lo scopo dello studio è stato analizzare un'eventuale variazione della foria da vicino, del rapporto AC/A ed eventuale miglioramento/peggioramento della sensibilità al contrasto da vicino in seguito all'utilizzo delle lenti a supporto accomodativo. Al termine dei test i soggetti sono stati invitati ad utilizzare per 20 minuti lo smartphone alla distanza di 30 cm con l'addizione sferica +0,50 e gli sono state chieste delle impressioni e/o differenze rispetto alle loro condizioni abituali di utilizzo.

¹⁷ B. De Larrard, 2015

6.2 Scelta dei soggetti e anamnesi

Per lo studio sono state esaminate 30 persone dai 23 ai 33 anni i quali hanno riferito durante l'anamnesi un uso giornaliero di smartphone o tablet di almeno 3 ore. Il 47% dei soggetti utilizzava dispositivi dalle 3 alle 5 ore, il 46% dalle 6 alle 10 ore, il 7% utilizzavano smartphone per più di 10 ore al giorno. 25 dei soggetti esaminati presentavano sintomi astenopici, interni e/o esterni. Per questi ultimi, oltre a valutare eventuali miglioramenti della sensibilità al contrasto e eventuale variazione del rapporto AC/A con l'aggiunta positiva, fondamentale è stata l'attenzione posta alle loro impressioni dopo 20 minuti di utilizzo di smartphone per percepire una ottimizzazione dal punto di vista del comfort oculare durante l'utilizzo di quest'ultimo.



6.3 Strumentazione utilizzata

Gli strumenti utilizzati per i test effettuati sono stati:

- frontofocometro elettronico: per la quantificazione della correzione a tempiale utilizzata dai soggetti;
- autorefrattometro: utilizzato in chi non portava correzione per un'esame oggettivo dello stato refrattivo e per la rilevazione della distanza interpupillare da rispettare con l'occhialino di prova;
- ottotipo a proiezione;
- occhialino di prova (oculus);
- cassetta lenti e prismi;
- ottotipi per vicino

6.4 Test eseguiti

6.4.1 Lontano

Su 30 persone analizzate il 100% di queste utilizzava una correzione non ottimale. Per questo motivo è stato effettuato prima di tutto un lavoro di affinamento della correzione dei soggetti da lontano, fondamentale per il proseguimento dei vari test da vicino. Tale lavoro è stato effettuato con una luminanza ambientale media di 30 lux.

6.4.1.1 Acuità visiva

Il termine acuità visiva (A.V.) rimanda alla capacità di un occhio di distinguere dettagli di un oggetto. L'acutezza visiva rappresenta l'inverso delle dimensioni angolari minime che uno stimolo visivo deve possedere per provocare nel soggetto esaminato una risposta che ne segnali la corretta percezione. Quanto più piccole sono le dimensioni dello stimolo, tanto più elevata è l'acutezza visiva. Normale è definito l'occhio capace di riconoscere stimoli sottesi da un angolo visuale di 5' e si attribuisce un valore espresso secondo la frazione di Snellen:

$$AV = \frac{d}{D}$$

d= distanza ottotipo

D= distanza a cui il simbolo sottende 5'

Per la quantificazione dell'acuità visiva i metodi più utilizzati sono i decimi e i logmar: i primi che presentano una progressione incostante, i secondi che presentano una progressione graduale, per cui la riduzione della dimensione tra le righe è costante. Per prima cosa è stata valutata l'acuità visiva monoculare prima, binoculare poi, di ogni soggetto con la correzione abituale. Quest'ultima è stata poi rivalutata dopo la procedura di rilevamento della migliore compensazione.

Acuità visiva logaritmica	Acuità visiva decimale
0	1.0
0.1	0.795
0.2	0.63
0.3	0.5
0.4	0.4
0.5	0.315
0.6	0.25
0.7	0.2
0.8	0.16
0.9	0.125
1.0	0.1

Tabella di conversione dell'acuità visiva dal sistema in decimi a quello logMAR

6.4.1.2 Procedura di compensazione dell'ametropia

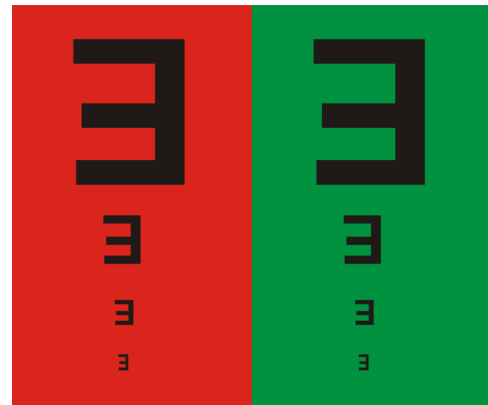
Per chi utilizzava già una correzione è stata inserita quest'ultima nell'oculus, per chi non l'aveva sono stati posti nell'occhialino di prova i valori di sfera e cilindro trovati con l'esame oggettivo (autoref). E' stato poi occluso l'OS e anteposta una sf+2,00 all'OD, diminuendo progressivamente il potere sferico fino al raggiungimento dell'acuità visiva massima.

6.4.1.2.1 Correzione dell'astigmatismo con cilindro crociato di Jackson

Il cilindro crociato di Jackson è una lente particolare ottenuta accoppiando due lenti cilindriche dello stesso potere ma segno opposto, con gli assi ortogonali tra loro. La versione utilizzata per lo studio è stata la $\pm 0,25D$. Tale lente è montata su un anello metallico con un manico posto sulla bisettrice di uno degli angoli formati da asse positivo e asse negativo, riconoscibili attraverso dei trattini rispettivamente neri e rossi nella periferia della lente. Una volta trovata la sfera dell'equivalente sferico (procedura spiegata nel paragrafo sopra) si è proceduto prima con la ricerca dell'asse del cilindro correttore: si è posto il cilindro crociato in modo tale che il manico sia stato parallelo all'asse del cilindro posto nell'occhialino e, attraverso una semplice mira a pallini dell'ottotipo, si è chiesto se era più nitida quella visione o la visione dopo la rotazione del cilindro crociato dall'altro lato. Quando vi era preferenza si è ruotato l'asse del cilindro nella direzione dei trattini rossi, se il cilindro correttore era negativo, nella direzione dei trattini neri, se questo era positivo. Si è ripetuta la procedura fino a quando il soggetto non avvertiva differenze tra le due posizioni. Una volta trovato l'asse del cilindro correttore si è ricercato il potere: è stato posizionato il cilindro crociato in modo tale che gli assi erano paralleli all'asse del correttore, così che la rotazione andava una volta ad aumentare il potere del cilindro, una volta a diminuirlo. Se il soggetto riferiva di preferire la posizione in cui i trattini paralleli all'asse del cilindro correttore erano quelli rossi si andava ad aumentare in negativo il potere del cilindro correttore, al contrario se la preferenza era con l'anteposizione del cilindro positivo, quello correttore è stato aumentato in positivo. La procedura è stata ripetuta fino a che il soggetto non avvertiva differenze tra le due posizioni. Ogni modifica di potere del cilindro correttore prevedeva il ricontrollo dell'asse.

6.4.1.2.2 Rifinitura sferica

Questa procedura consente la perfetta focalizzazione dell'immagine sulla retina. A tal fine è stato utilizzato un test bicromatico, cioè dei simboli neri su uno sfondo rosso-verde. Questo test sfrutta l'aberrazione cromatica dei sistemi diottrici i quali focalizzano prima lunghezze d'onda corte, dopo lunghezze d'onda lunghe. Visto che la massima sensibilità retinica in visione fotopica si ha a 505nm, cioè al colore giallo, nello spettro del visibile rosso e



Test bicromatico

verde sono lunghezze d'onda equidistanti dal giallo. Se il soggetto vedeva meglio i simboli su sfondo rosso stava a significare che la focalizzazione avveniva davanti alla retina (le lenti miopizzavano l'occhio), in tal caso sono state anteposte all'occhio lenti negative di potere crescente fino all'uguaglianza della percezione dei simboli tra i due colori. Al contrario se c'era preferenza sul verde voleva dire che la focalizzazione avveniva dopo la retina (le lenti ipermetropizzavano l'occhio) per cui sono state anteposte lenti positive di potere crescente fino al raggiungimento dell'uguaglianza della percezione dei simboli tra i due colori.

I test eseguiti al paragrafo nei paragrafi 6.4.1.2, 6.4.1.2.1 e 6.4.1.2.2 sono stati effettuati alla stessa maniera per l'occhio sinistro, dopo aver occluso il destro.

6.4.1.2.3 Bilanciamento bioculare

Questa procedura serve ad ottimizzare la visione binoculare. Quest'ultima è iniziata con l'anteposizione ad ambo gli occhi di una lente sferica +0,50D sulla correzione trovata dopo la rifinitura sferica, lo scopo di questo passaggio era scongiurare un eventuale residuo accomodativo da parte dei due occhi. E' stato poi proiettato un ottotipo sotto forma di riga di lettere 7/10. In seguito è stato anteposto un prisma di 6Δ base up all'occhio destro, quest'ultimo vedeva la riga in basso, l'occhio sinistro quella in alto. Quando il soggetto ha riferito di vedere una delle due righe più nitida dell'altra è stata peggiorata l'immagine dell'occhio che vedeva meglio attraverso l'anteposizione di lenti sferiche positive di potere crescente. Una volta raggiunta l'uguaglianza tra le due immagini sono stati tolti i prismi e le lenti sf+0,50 anteposte ad inizio test. La correzione rimasta era quella bilanciata.

6.4.2 Visione prossimale

Al termine della procedura di compensazione dell'ametropia sono stati effettuati diversi test per quanto riguarda la visione prossimale. Tutti i test sono stati effettuati con una luminanza ambientale media di 30 lux e con una luminanza sugli ottotipi da vicino di 210 lux. Per prima cosa è stata quantificata l'ampiezza accomodativa residua del soggetto attraverso il metodo del punto prossimo (spiegato nel paragrafo 2.11.1) e subito dopo rilevata la distanza dagli occhi del punto prossimo di convergenza (procedura spiegata nel sottocapitolo 3.2).

6.4.2.1 Valutazione della foria orizzontale indotta da vicino e del rapporto AC/A

Lo scopo è stato valutare lo stato di foria orizzontale del soggetto durante la visione a 40cm con la correzione che lo emmetropizzava. In altre parole si è andato a valutare lo sforzo a cui erano soggetti i muscoli retti laterali e mediali per mantenere visione singola a distanza prossimale. Sulla correzione trovata con la procedura di compensazione dell'ametropia sono stati anteposti un prisma 9Δ base up all'occhio destro e un prisma 15Δ base nasale all'occhio sinistro. Così facendo il prisma davanti all'occhio destro sdoppiava l'immagine, quello davanti all'occhio sinistro spostava l'immagine superiore alla sinistra di quella inferiore. E' stato poi diminuito gradualmente il potere del prisma a base nasale fino a quando le due mire erano perfettamente sovrapposte. Se il valore di

quest'ultimo era base nasale si trattava di exoforia ed è stata contrassegnata con X, se base tempiale si trattava di esoforia e contrassegnata con S. E' stato poi calcolato il rapporto AC/A con il metodo del gradiente (spiegato nel paragrafo 3.5.1). Le procedure spiegate in questo paragrafo sono state poi ripetute dopo aver anteposto ad ambo gli occhi una lente sf+0,50 (cioè la lente che simulava il comportamento di una lente a supporto accomodativo).

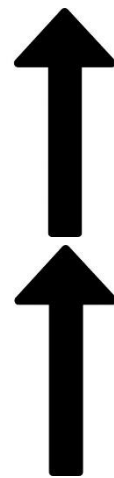


Immagine vista dal soggetto quando il prisma residuo ha corretto la deviazione degli assi visivi

6.4.2.2 Test della sensibilità al contrasto

Prima di parlare di sensibilità al contrasto bisogna introdurre alcuni concetti:

- Contrasto di luminanza: differenza tra luminanza dello stimolo e luminanza dello sfondo rapportata alla luminanza dello sfondo

$$C = \frac{L_o - L_s}{L_s}$$

L_o = luminanza stimolo

L_s = luminanza sfondo

- Soglia differenziale di luminanza: differenza di luminanza minima percepita il 50% delle volte, essa dipende dalla luminanza dell'oggetto e dalla luminanza media dello sfondo;
- Contrasto di soglia: è il contrasto minimo di un oggetto rispetto allo sfondo che può essere percepito il 50% delle volte. Il reciproco del contrasto di soglia è la sensibilità al contrasto.

Per valutare quest'ultima è stata utilizzata un'app chiamata Smart Optometry, scaricabile dal Play Store. Il test è costituito da una sequenza di lettere il quale



Test sensibilità al contrasto dell'app Smart Optometry

contrasto diminuisce sempre più da sinistra verso destra. Dopo la compensazione della ametropia è stato chiesto al soggetto di pronunciare e dopo cliccare sull'ultima lettera percepita. E' stato poi ripetuto il test dopo l'anteposizione della sf +0,50D.

6.5 Risultati e conclusioni

L'obiettivo di questo studio è stato quello di dimostrare l'effettiva utilità delle lenti a supporto accomodativo durante l'utilizzo di smartphone e tablet a breve distanza. Le differenze tra miglior compensazione e miglior compensazione con la lente a supporto accomodativo sono state le seguenti:

- Foria da vicino: in 28 casi la foria da vicino è aumentata, di cui:

Aumento di 1-2Δ	13 casi
Aumento di 3-4Δ	8 casi
Aumento > 4Δ	7 casi

In 2 casi è rimasta invariata.

- Rapporto AC/A: in 16 casi tale rapporto è rimasto invariato, in 11 è diminuito di cui:

Diminuzione di 1-2Δ/D	8 casi
Diminuzione > 2Δ/D	3 casi

In 3 casi il rapporto AC/A è aumentato e tale aumento è stato di 0,5-1Δ/D;

- Sensibilità al contrasto: in 21 casi la SC è rimasta invariata, in 6 casi è aumentata, in 3 invece è diminuita.

Di seguito la tabella riassuntiva dei risultati ottenuti coi test:

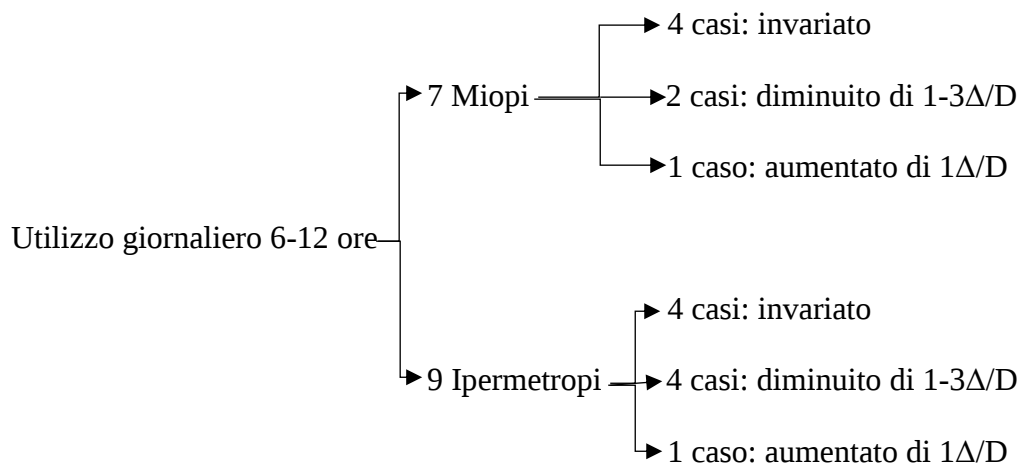
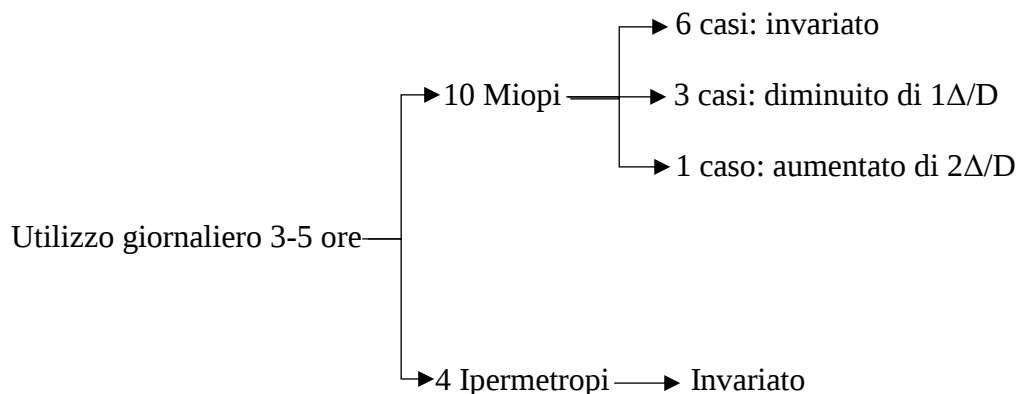
NOME	E T A'	ORE UTILIZZO SMARTPHONE	SINTOMI LAMENTATI	MIGLIOR COMPENSAZIONE	A A (D)	P P C (cm)	FORLA VICINO (Δ)	AC/Ag (Δ/D)	S C (%)	FORLA VICINO (con sf+0,50)	AC/Ag (con sf+0,50)	SC' (con sf+0,50)	IMPRESSIONI (con sf+0,50)
Luigi	27	4	Secchezza oculare	OD sf-0,25 OS cil -0,75 ax170	10,5	7	8X	3	0,591	10X	2	0,591	Maggiore nitidezza caratteri piccoli e colori più saturi
Marco	28	8	Nessuno	OD sf+0,25 cil+0,75 ax175 OS sf+0,50	13	4	5X	4	0,591	9X	5	0,591	Maggiore nitidezza caratteri piccoli
Mery	24	15	Mal di testa e stanchezza oculare	OD sf-3,00 Os sf-2,75 cil-0,25 ax30	8,5	6,5	8X	2	0,787	10X	2	0,797	Minore affaticamento oculare
Michèle	23	9	Nessuno	OD sf+0,50 OS sf+0,35 cil-0,50 ax180	13	4	18	1	0,591	Orto	1	0,591	Colori più saturi
Daniilo	24	8	Affaticamento oculare e irritazione	OD sf-0,25 cil+0,50 ax115 OS sf+0,75	7,5	7,5	10X	3	0,591	12X	1	0,591	Minore affaticamento
Christian	23	8	Rossore e stanchezza oculare	OD sf+0,25 OS sf+0,25	16	4,5	8X	1	0,591	8X	1	0,591	Colori meno saturi
Valentina	26	7	Nessuno	OD sf-1,50 OS sf-1,75 cil-0,25 ax75	13,25	6	Orto	2	0,591	2X	2	0,591	Maggiore nitidezza caratteri piccoli
Mario	24	8	Dolore alle tempie	OD sf-0,25 cil-0,50 ax10 OS cil+0,75 ax100	14,25	6	14X	2	0,591	15X	1	0,591	Nessun miglioramento
Fabio	23	10	Nessuno	OD sf+0,50 OS sf+0,25 cil+0,25 ax90	14	7	7X	4	0,591	12X	2	0,591	Minore affaticamento oculare
Fabrizio	23	3	Affaticamento oculare	OD sf-2,50 OS sf-3,50	9	5	48	2	0,984	4X	2	0,984	Visione più leggera
Serena	23	10	Mal di testa	OD sf+0,50 cil+0,50 ax30 OS sf+0,25 cil+0,25 ax150	14	4,5	10X	4	0,591	9X	2	0,492	Colori più vivi
Carla	26	5	Gonfiore agli occhi ed eccessiva lacrimazione	OD cil-0,25 ax130 OS sf+2,50 cil+0,50 ax135	15	5,5	13X	2	0,591	18X	2	0,591	Maggiore nitidezza caratteri piccoli
Maura	31	3	Nessuno	OD sf-1,25 OS sf-1,50 cil-0,75 ax160	10,5	6	14X	1	0,591	15X	1	0,492	Colori più vivi e maggiore nitidezza generale
Luigi	23	10	Stanchezza oculare	OD sf-7,25 cil-0,50 ax175 OS sf-7,25 cil-1,25 ax175	15	4,5	12X	4	0,591	16X	4	0,689	Minore affaticamento oculare
Francesca	24	10	Dolore agli occhi	OD sf+0,50 cil-0,75 ax100 OS sf+0,25 cil+0,50 ax20	15	5,5	9X	4	0,689	11X	3	0,689	Maggiore nitidezza caratteri piccolo
Tanita	26	5	Affaticamento oculare	OD sf-3,75 cil-0,75 ax105 OS sf-2,00 cil-0,50 ax75	13,25	5	2X	2	0,591	5X	2	0,591	Maggiore nitidezza caratteri piccolo
Mary	24	6	Stanchezza oculare e annebbiamento da vicino	OD cil-1,00 ax110 OS cil-0,75 ax50	11	5,5	5X	5	0,591	11X	2	0,591	Maggiore rilassamento oculare
Carolina	33	3	Nessuno	OD sf-2,50 cil-0,25 ax175 OS sf-2,00 cil-0,50 ax170	10	5,5	Orto	4	0,591	2X	4	0,591	Maggiore nitidezza generale
Alessio	24	5	Stanchezza oculare	OD cil+1,00 ax90 OS sf+1,75 cil+1,50 ax120	10,5	4	7X	3	0,591	10X	3,5	0,591	Minore affaticamento oculare
Alessandra	28	12	Affaticamento oculare	OD sf-4,50 cil-1,00 ax130 OS sf-5,00 cil-1,00 ax75	11	4	13X	2	0,591	14X	2	0,591	Maggiore rilassamento oculare

<i>Domenico</i>	23	5	Dolore agli occhi ed eccessiva lacrimazione	OD sf+0,25 cil-3,25 ax180 OS sf-0,25 cil-3,75 ax 175	11,75	7,5	4X	3	0,787	7X	3	0,886	Maggiore nitidezza caratteri piccoli e colori più saturi
<i>Edoardo</i>	32	10	Mal di testa	OD sf+0,50 OS sf+0,50 cil-1,00 ax180	7,5	6,5	7X	6	0,591	12X	3	0,591	Minore affaticamento oculare
<i>Giulio</i>	29	4	Affaticamento oculare	OD cil-0,50 ax65 OS sf-0,50	12	4,5	3X	7	0,591	8X	2	0,591	Nessun miglioramento
<i>Raffaele</i>	31	4	Talvolta annebbiamento da vicino	OD sf-0,25 OS sf+0,50 cil-1,50 ax180	7	6,5	11X	2	1,08	13X	2	0,886	Maggiore nitidezza caratteri piccoli
<i>Diego</i>	24	8	Secchezza oculare	OD cil-0,25 ax180 OS sf+0,25 cil+1,00 ax100	9	8	7X	3	0,581	11X	2	0,497	Maggiore nitidezza caratteri piccoli
<i>Lorenzo</i>	23	5	Annebbiamento da vicino	OD sf+0,25 OS sf+0,50	12,5	4,5	8X	1	9,591	8X	1	0,591	Nessun miglioramento
<i>Rosa</i>	27	4	Nausea, mal di testa e dolore agli occhi	OD sf+1,00 cil+1,00 ax15 OS sf+0,74	13	4	12X	1	0,591	13X	1	0,492	Colori più saturi e minore affaticamento oculare
<i>Vincenzo</i>	33	3	Dolore agli occhi	OD sf-0,75 cil-2,25 ax20 OS sf-0,74 cil-2,00 ax5	8,5	8	6X	5	0,591	10X	4	0,492	Nessun miglioramento
<i>Chiara</i>	24	6	Stanchezza oculare	OD cil+0,50 ax95 OS cil+0,25 ax85	14	6	11X	2	0,591	12X	2	0,591	Maggiore rilassamento oculare
<i>Roberta</i>	28	3	Dolore agli occhi	OD cil-1,75 ax170 OS cil-1,00 ax140	11	5	1X	2	0,591	4X	2	0,689	Minore affaticamento oculare

Tabella riassuntiva risultati ottenuti

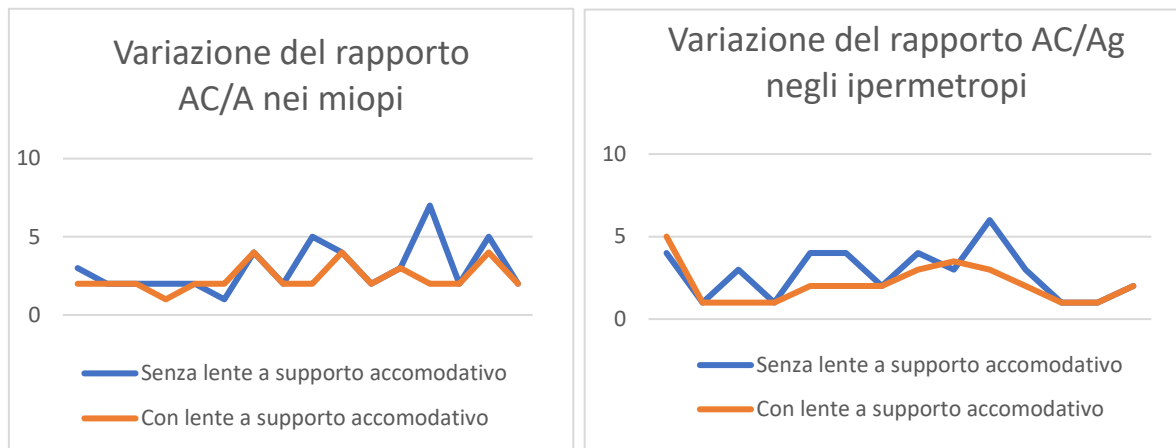
Come spiegato nel sottocapitolo 2.13 lo sforzo accomodativo è differente tra miope e ipermetropi. Per questo motivo è stata effettuata una differenziazione tra miopi e ipermetropi

per quanto riguarda la variazione del rapporto AC/A, dividendo questi ultimi a loro volta sulla base delle ore di utilizzo giornaliero di dispositivi. Per chi utilizzava smartphone 3-5 ore al giorno (14 soggetti) 10 erano miopi, 4 ipermetropi. In 6 dei 10 miopi il rapporto AC/A è rimasto invariato, in 3 è diminuito di $1\Delta/D$, in 1 è aumentato di $2\Delta/D$. Invece nei 4 ipermetropi il rapporto è rimasto invariato. Per chi utilizzava smartphone 6-12 ore al giorno (16 soggetti) 7 erano miopi, 9 invece ipermetropi. In 4 dei 7 miopi l'AC/A è rimasto invariato, in 2 è diminuito di $1-3\Delta/D$, in 1 aumentato di $1\Delta/D$. In 4 dei 9 ipermetropi il rapporto è rimasto invariato, in 4 è diminuito di $1-3\Delta/D$, in 1 è aumentato di $1\Delta/D$.



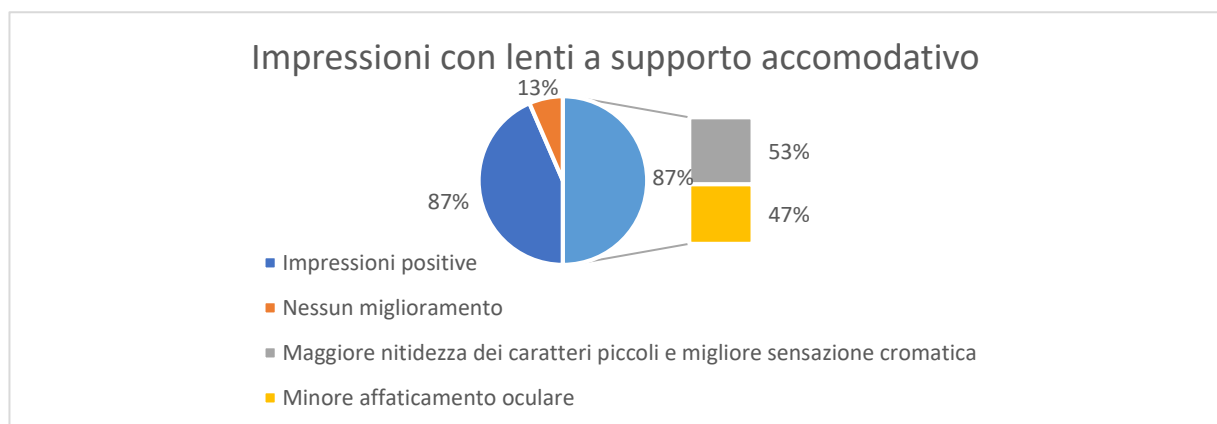
E' stata quindi rilevata una relazione tra ore di utilizzo giornaliero di dispositivi digitali e variazione del rapporto AC/A con le lenti a supporto accomodativo negli ipermetropi, in cui quest'ultimo è variato nel 55% dei casi (diminuito nella quasi totalità dei casi) per gli utenti di smartphone o tablet per 6-12 ore giornaliere. Negli utenti di dispositivi per 3-5 ore giornaliere invece l'AC/A era rimasto invariato in tutti i casi. Questa cosa è probabilmente dovuta al maggiore sforzo accomodativo degli ipermetropi rispetto agli emmetropi. Nei

miopi non è stata riscontrata alcuna relazione tra ore di utilizzo giornaliero di dispositivi e variazione del rapporto AC/A.



Questi grafici ci fanno capire negli ipermetropi la diminuzione del rapporto AC/A con la lente a supporto accomodativo è più tangibile rispetto ai miopi in cui c'è una quasi sovrapposizione tra i grafici.

Per quanto riguarda le impressioni dei soggetti dopo 20 minuti di utilizzo di smartphone con l'aggiunta sf+0,50D sulla migliore compensazione in 26 casi sono stati riscontrati miglioramenti. Tra questi 26 il 53% dei soggetti ha percepito un netto miglioramento della nitidezza dei caratteri piccoli accompagnato da una migliore sensazione cromatica, il 47% invece ha avvertito un minore affaticamento oculare. Solo in 4 casi non vi è stata alcuna sensazione di differenza rispetto alle abituali condizioni di utilizzo di smartphone.



Pertanto alla luce dello studio effettuato possiamo confermare l'utilità delle lenti a supporto accomodativo quando si utilizzano dispositivi a breve distanza (smartphone o tablet) in quanto oltre che comportare una minore quantità di accomodazione messa in gioco (dovuta all'addizione positiva) e in alcuni casi un miglioramento della sensibilità al contrasto, queste lenti possono portare benefici come maggiore nitidezza dei caratteri piccoli, migliore sensazione cromatica e maggior comfort oculare. Tali benefici sono stati evidenziati dopo soli 20 minuti di utilizzo di smartphone. Non abbiamo quindi motivo di non pensare che questi ultimi possano amplificarsi con un utilizzo di dispositivi prolungato nel tempo, tenendo oltretutto conto dei giovamenti che può comportare un coating Blue Cut.

BIBLIOGRAFIA E NOTE

- *I vizi di refrazione*, G. Paliaga, ed. Minerva Medica, 2008
- *L'esame visivo efficace*, L. Giannelli-M. Giannelli-G. Moro, ed. Medical Books, 2012
- *Manuale pratico per l'esecuzione di un esame visivo*, A. Maiocchi, ed. Medical Books, 2007
- Dispense di Optometria, P. Carelli
- *Patologia Testa-Collo*, G. Bonavolontà-L. Califano-G. Cennamo, ed. Idelson Gnocchi, 2011
- *Kanski- Oftalmologia clinica*, B. Bowling, ed. Edra, 2016
- *Adaptive regulation of accommodative vergence and vergence accommodation*, Schor CM-A. Glenn; Am J Optom Physiol opt 1986;63:587-609
- *Effect of vergence adaption and positive fusional vergence training on oculomotor parameters*, P. Tiagarajan-V. Lakshminara-WR Bobier; Optom Vis Sci 2010; 87:487-93
- *The response AC/A Ratio before and after the onset of miopia*, D. Mutti-G. Mitchell- L. Jones Jordan-S. Cotter- R. Kleinstein- R. Manny- J. Twelker- K. Zadnik; Invest Ophthalmol Vis Sci. 2017;58:1594–1602. DOI:10.1167/ iovs.16-19093
- *Accommodative intraocular lenses: where are we and where we are going*, J.L'Aliò Del Barrio- A.Vega Estrada; Eye Vis (Lond) 4, 16.2017
- *The effects of accommodative deficiencies on the development level of perceptual skills*, L. Hoffman; Am J Optom Physiol; 1982
- *Associated convergence and accommodative insufficiency*, G. Von Noorden-D. Brown- M. Parks; Doc Ophthalmol; 1973
- *Visual fatigue*, J. Sheedy; Points de vue magazine, n°70, 2014
- *Digital eye strain in the USA: overview by the Vision Council*, M. Daley- DR D. Adamopoulos- E. Hildreth; Points de vue magazine, International Review of Ophthalmic Optics, n°72, 2015
- *The digital environment and asthenopia*, DR M. Safady; Pointd de vue magazine, International Review of Ophthalmic Optics, n°72, 2015

- *New ophthalmic lenses for a connected life: Eyezen for ametropes and emmetropes, and Varilux Digitime for presbyopes*, C. Benolt- M. Jarrousse; Points de vue, International Review of Ophthalmic Optics, n°72, 2015
- *The new range of Eyezen™ lenses: what are the benefits perceived by wearers during screen use?*, B. De Larrard, Eurosyn (France); Points de vue, International Review of Ophthalmic Optics, n°72, 2015
- *Changes in stimulus and response AC/A Ratio with vision therapy in convergence insufficiency*, N. K. Singh-R. Mani-J. R. Hussaindeen; Journalofoptometry.org, 24/01/17
- *Vergence anomalies in a sample of high school students in South Africa*, S. O Tabor Wajuihan-R. Hansraj; Journalofoptometry.org, 30/12/15
- *Global mobile consumers survey*, A. Donato; Deloitte, 2017

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare innanzitutto il mio relatore di tesi, il Professore Paolo Carelli per la disponibilità, l'attenzione e la gentilezza dimostrata durante la stesura del lavoro.

Grazie alla mia famiglia, a mio padre per aver sempre creduto in me, a mia madre per il sostegno morale e per avermi dato la possibilità di conoscere il meraviglioso mondo dell'Optometria. Grazie alle mie sorelle Maura, Alessandra e Rosa e a mio fratello Enzo che sono, e saranno sempre i miei punti di riferimento. E' soprattutto grazie a voi che ho raggiunto questo traguardo.

Grazie a Maria, il mio sole. Perché la sua pazienza, la sua vicinanza e il suo amore rendono la mia vita ogni giorno più bella.

Grazie ai miei grandissimi amici Alessio, Christian, Mario, Fabio, Renato, Danilo e Luca. Perché grazie alle risate e alla vostra presenza costante nelle mie giornate questo percorso è stato molto più semplice e leggero.

Grazie a Nonna Lia, sempre con me.

Infine Grazie a me, che con tanto impegno e dedizione sono riuscito a sbriciolare le difficoltà iniziali, riuscendo a superare i miei limiti e ad arrivare fino in fondo.

AD MAIORA!

