

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*

## **Miopia notturna: teoria e valutazione sperimentale.**

**Relatori:**  
Prof. Paolo Carelli

**Candidato:**  
Arianna Giovenale  
M44000412

A.A. 2016/2017

*Gli ostacoli sono quelle cose spaventose che  
vedi quando togli gli occhi dalla meta.*

*{Henry Ford}*

*"Daltonici, presbiti, mendicanti di vista,  
il mercante di luce, il vostro oculista,  
ora vuole soltanto clienti speciali  
che non sanno che farne di occhi normali.*

*Non più ottico ma spacciatore di lenti  
per improvvisare occhi contenti,  
perché le pupille abituate a copiare  
inventino i mondi sui quali guardare.  
Seguite con me questi occhi sognare,  
fuggire dall'orbita e non voler ritornare."*

*Fabrizio De Andrè*

# Indice

<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>5</b>
<b>CAPITOLO 1 : L'occhio.....</b>	<b>6</b>
1.1 Anatomia dell'iride.....	6
1.2 Miosi e Midriasi.....	7
1.3 Anatomia del cristallino .....	8
1.4 Il meccanismo accomodativo.....	9
<b>CAPITOLO 2 : La percezione visiva.....</b>	<b>12</b>
2.1 La retina.....	12
2.2 La fototrasduzione.....	13
<b>CAPITOLO 3 : La miopia.....</b>	<b>15</b>
3.1 Etiologia e classificazione della miopia.....	15
3.2 Correzione della miopia.....	16
<b>CAPITOLO 4: La luce i suoi effetti a livello oculare.....</b>	<b>18</b>
4.1 La luce.....	18
4.2 Le aberrazioni ottiche.....	20
<b>CAPITOLO 5: Miopia notturna.....</b>	<b>23</b>
5.1 Miopia notturna.....	23

5.2	Guida notturna.....	24
-----	---------------------	----

**CAPITOLO 6: Valutazione sperimentale della miopia notturna.....26**

6.1	Introduzione.....	26
6.2	Strumentazione.....	26
6.3	Rilevazione e ottimizzazione del visus, senza o con correzione abituale, in condizioni fotopiche.....	27
6.4	Valutazione della miopia notturna, in condizioni scotopiche e con pupilla midriatica.....	29
6.5	Valutazione della miopia notturna, in condizioni scotopiche e con pupilla miotica.....	31

**CONCLUSIONI.....33**

**BIBLIOGRAFIA.....34**

**RINGRAZIAMENTI.....35**

## Introduzione

Questo elaborato di tesi nasce dal voler capire come cambia la visione nelle varie illuminazioni ambientali, le cause e le conseguenze, attraverso l'analisi sperimentale.

I coni di luce, una visione limitata, i riflessi, i bassi contrasti e tutte le altre condizioni visive avverse che irritano e affaticano gli occhi e il sistema sensoriale umano, sono fenomeni che, non solo hanno un impatto negativo sulla qualità della visione, ma incrementano anche il rischio di incidenti stradali. Se si vuole dare uno sguardo alle statistiche sugli incidenti stradali, in Italia, solo il 20% di tutte le auto circolano di notte, ma il 40% di tutti gli incidenti gravi, avviene di sera.

Il modo per ovviare a tale riduzione del visus è l'utilizzo di lenti di circa -0,25 D, o -0,50 D, lenti sferiche negative di basso potere che spostano l'immagine dell'oggetto, visto in lontananza, da una zona anteriore alla retina, sulla retina stessa; oppure può essere adoperato un filtro foto-selettivo giallo 450 nm, che accresce il contrasto di notte, utile negli spazi scuri e nella guida notturna, ma viene maggiormente prescritto a persone con gravi patologie oculari.

Prima di esaminare tutto ciò, è utile fare un excursus della anatomia e fisiologia oculare, in particolare dell'iride, del cristallino e della retina e dei vari fattori che influenzano il meccanismo della visione, per poi giungere alla stessa miopia notturna.

Verranno poi elencati gli strumenti necessari per la valutazione della miopia notturna: tavola optometrica in plastica, sorgente luminosa, cassetta lenti. Conseguentemente è stato previsto l'utilizzo di un'altra sorgente luminosa, che è servita per fornire una stimolazione intensa, provocando la miosi pupillare, e verificare in che modo varia l'acuità visiva senza e con l'anteposizione delle lenti. Infine per avere sempre le stesse condizioni luminose, è stato adoperato un luxometro, per verificare la quantità di lumen sull'ottotipo, sulla persona e sull'occhio del soggetto, nelle varie condizioni.

Si discuteranno i dati relativi alle visite degli esaminati, prestando maggiore attenzione ai risultati ottenuti in visione scotopica.

# Capitolo 1

## L'occhio.

### 1.1 Anatomia dell'iride.

L'**iride** è l'unica struttura visibile attraverso la cornea; fa parte dell'uvea anteriore, continua con il corpo ciliare ed è posta tra cristallino e cornea, dividendo l'umore acqueo in camera anteriore e camera posteriore.

È un sottile diaframma, dalla forma di un disco circolare, con diametro di

circa 12 mm e uno spessore medio di 0,3 mm, con al centro un foro circolare, la pupilla.

Costituito da vari strati sovrapposti, che in senso antero-posteriore sono:

epitelio (riveste la faccia anteriore ed è in continuità con l'omologo strato corneale, presenta depressioni o cripte),

stroma (costituito da tessuto connettivo fibrillare) ed

endotelio (formato da uno strato interno di cellule poliedriche pigmentate che ne

danno un colorito scuro, e uno strato esterno che continua

con lo strato esterno della parte ciliare retinica).

L'iride è dotato di una rilevante attività muscolare, infatti si riconoscono due muscoli antagonisti: **muscolo sfintere**, o **costrittore della pupilla**, e **muscolo radiale**, o **dilatatore della pupilla**.

Il primo è controllato dalle fibre parasimpatiche del terzo paio di nervi cranici; è un muscolo liscio anulare, costituito da fasci di miocellule paralleli fra loro e all'orifizio centrale. Il secondo è controllato dal sistema nervoso simpatico; contenuto nello strato esterno dell'epitelio ed è formato da cellule mioepiteliali di aspetto fusiforme, e da fasci muscolari a decorso longitudinale, che partono dalla periferia dell'iride e convergono verso il margine pupillare.

La colorazione è determinata da due fattori: la pigmentazione del suo strato profondo, costituita dalla parte iridea della retina, ed il pigmento che può esistere negli strati più superficiali. Il pigmento dello strato profondo conferisce un colore nerissimo, ma i raggi luminosi che investono l'iride, e che ne vengono in parte riflessi, subiscono, nell'attraversare gli strati superficiali, fenomeni di diffrazione. Ne risulta un colore che va dall'azzurro al grigio scuro, che prende il nome di colore fondamentale dell'iride;

La colorazione è determinata da due fattori: la pigmentazione del suo strato profondo, costituita dalla parte iridea della retina, ed il pigmento che può esistere negli strati più superficiali. Il pigmento dello strato profondo conferisce un colore nerissimo, ma i raggi luminosi che investono l'iride, e che ne vengono in parte riflessi, subiscono, nell'attraversare gli strati superficiali, fenomeni di diffrazione. Ne risulta un colore che va dall'azzurro al grigio scuro, che prende il nome di colore fondamentale dell'iride;

La colorazione è determinata da due fattori: la pigmentazione del suo strato profondo, costituita dalla parte iridea della retina, ed il pigmento che può esistere negli strati più superficiali. Il pigmento dello strato profondo conferisce un colore nerissimo, ma i raggi luminosi che investono l'iride, e che ne vengono in parte riflessi, subiscono, nell'attraversare gli strati superficiali, fenomeni di diffrazione. Ne risulta un colore che va dall'azzurro al grigio scuro, che prende il nome di colore fondamentale dell'iride;

La colorazione è determinata da due fattori: la pigmentazione del suo strato profondo, costituita dalla parte iridea della retina, ed il pigmento che può esistere negli strati più superficiali. Il pigmento dello strato profondo conferisce un colore nerissimo, ma i raggi luminosi che investono l'iride, e che ne vengono in parte riflessi, subiscono, nell'attraversare gli strati superficiali, fenomeni di diffrazione. Ne risulta un colore che va dall'azzurro al grigio scuro, che prende il nome di colore fondamentale dell'iride;

La colorazione è determinata da due fattori: la pigmentazione del suo strato profondo, costituita dalla parte iridea della retina, ed il pigmento che può esistere negli strati più superficiali. Il pigmento dello strato profondo conferisce un colore nerissimo, ma i raggi luminosi che investono l'iride, e che ne vengono in parte riflessi, subiscono, nell'attraversare gli strati superficiali, fenomeni di diffrazione. Ne risulta un colore che va dall'azzurro al grigio scuro, che prende il nome di colore fondamentale dell'iride;

La colorazione è determinata da due fattori: la pigmentazione del suo strato profondo, costituita dalla parte iridea della retina, ed il pigmento che può esistere negli strati più superficiali. Il pigmento dello strato profondo conferisce un colore nerissimo, ma i raggi luminosi che investono l'iride, e che ne vengono in parte riflessi, subiscono, nell'attraversare gli strati superficiali, fenomeni di diffrazione. Ne risulta un colore che va dall'azzurro al grigio scuro, che prende il nome di colore fondamentale dell'iride;

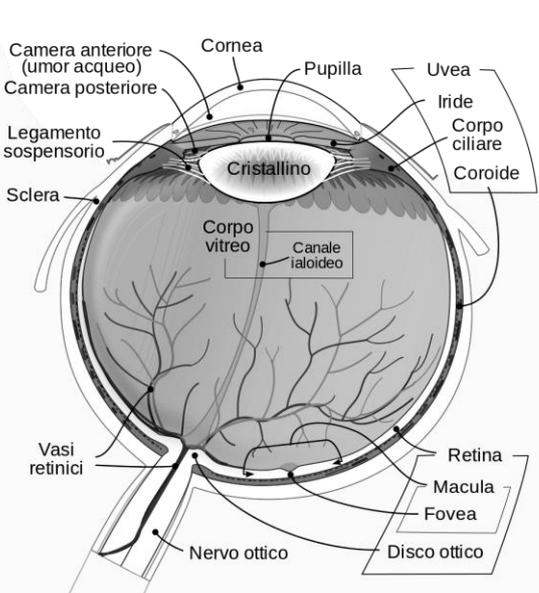


Figura 1. Struttura schematica dell'occhio.

quest'ultimo può essere occultato, facendo apparire gli occhi neri, o modificato, e avere come risultato occhi chiari.

La **pupilla**, che etimologicamente significa "bambolina", è nera, e questo è attribuito ai raggi di luce in entrata che, o sono direttamente assorbiti dai tessuti, o sono assorbiti, dopo una riflessione diffusa, all'interno dell'occhio, per una mancata uscita della luce stessa. Solitamente, le pupille sono decentrate verso il lato nasale, di circa 0,5 mm rispetto all'asse ottico dell'occhio. In questo modo viene indotta una maggiore aberrazione cromatica e una riduzione dell'acuità visiva, poiché la posizione della pupilla controlla la direzione del percorso di un fascio luminoso nell'occhio, incidendo sulla quantità e il tipo di aberrazioni, e quindi sulla qualità dell'immagine retinica.

È un diaframma naturale di diametro variabile, simile a quello contenuto in una macchina fotografica, il cui compito è modulare la quantità di luce che va a colpire la retina, e di variare il diametro anche in base all'accomodazione e alla convergenza posta in gioco.

Un'altra caratteristica importante della pupilla è quella che viene definita percezione di profondità, o **profondità di campo**; questa deriva dalla contrazione della pupilla che permette l'ingresso nell'occhio, solo di un piccolo fascio di raggi luminosi: più grande è la pupilla, più è bassa la profondità di campo percepita. Se invece, il forame pupillare è piuttosto piccolo, viene focalizzata sulla retina una parte maggiore della profondità dell'immagine. Si può anche dire che la profondità di campo diminuisce con la vicinanza dell'oggetto, e aumenta con l'aumentare della distanza focale.

## 1.2 Miosi e midriasi.

L'occhio umano funziona su livelli di intensità luminosa che possono variare fino a 100 000 volte. La fonte di questa capacità sta principalmente nella sensibilità dei fotorecettori, ma anche la pupilla vi contribuisce, regolando la quantità di luce che raggiunge la retina.

In presenza di forti stimoli luminosi, la pupilla si restringe fino a un diametro di circa 1,5 mm, **miosi**, per azione del sistema parasimpatico che

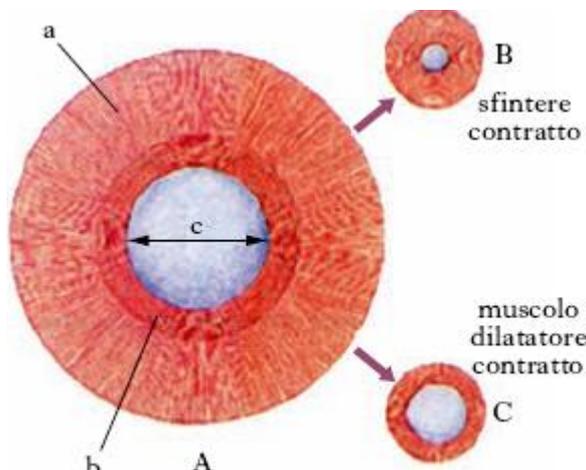


Figura 2. Rappresentazione schematica di iride e pupilla in condizioni normali (A), in miosi (B) e in midriasi (C).

fa contrarre il muscolo sfintere o costrittore della pupilla, che è il muscolo circolare che la circonda. Prima che comincia la costrizione, vi è un tempo di latenza di circa 0,2-0,3 s. Questo fenomeno fisiologico è importante perché consente l'ingresso di una piccola quantità di luce, per evitare l'abbagliamento. Con la contrazione della pupilla,

inoltre, si ha un incremento, non solo della profondità di fuoco, che di conseguenza aumenta l'acuità visiva e riduce il minimo angolo di confusione (MAR), ma si ha una migliore visione a distanza ravvicinata, un minore sfuocamento delle immagini e una riduzione delle aberrazioni oculari totali.

In assenza di stimoli luminosi la pupilla si dilata fino a 8 mm, **midriasi**, aumentando la propria area di 16 volte; in questo caso, prima che avvenga la midriasi, si ha un tempo di latenza di 0,5 s. La dilatazione si ha quando il muscolo radiale, disposto perpendicolarmente a quello circolare, si contrae per azione del sistema simpatico. È anch'essa un fenomeno fisiologico, che dà la possibilità a una maggiore quantità di luce di raggiungere la retina. Con essa, accadono fenomeni inversi a quelli che seguono la miosi; infatti, si riscontra una riduzione della profondità di campo, un maggiore sfocamento delle immagini a cui segue un aumento, seppure minimo, delle aberrazioni oculari totali, in particolare dell'aberrazione sferica e cromatica.

L'entità della risposta pupillare dipende dalla distribuzione della luce nell'ambiente, infatti la risposta ad un incremento del livello di luce si completa, in genere, in qualche secondo, mentre la risposta ad una riduzione luminosa richiede qualche minuto per essere portata a termine.

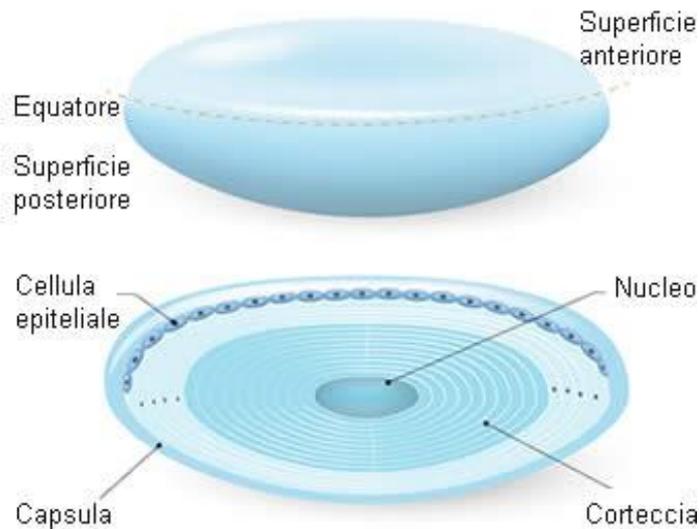
Le dimensioni pupillari e le reazioni ai vari livelli luminosi tendono a diminuire con l'aumentare dell'età.

Da non considerare irrilevante è il **riflesso pupillare** alla luce, o riflesso fotomotore, che controlla il diametro pupillare in seguito ad una intensa stimolazione luminosa, regolandone anche la quantità di energia luminosa che penetra negli occhi. È il risultato dell'incrocio di alcune fibre del nervo ottico nel chiasma ottico, e del fatto che queste raggiungono bilateralmente i nuclei pretettali. Nel caso del restringimento del foro pupillare dell'occhio illuminato, il riflesso è denominato **diretto**; se invece, il restringimento riguarda il foro pupillare dell'altro occhio, non illuminato, cioè il controlaterale, il riflesso è denominato **consensuale**, o indiretto. In condizioni normali, i diametri di entrambe le pupille variano della stessa entità.

### 1.3 Anatomia del cristallino.

Il **cristallino** è uno dei mezzi rifrangenti dell'occhio. È un corpo fisiologicamente trasparente ed elastico, situato dietro l'iride e davanti al corpo vitreo. Ha la forma di una lente biconvessa, con un diametro di 10 mm e uno spessore di 3,6 mm, che in seguito al processo di accomodazione, raggiunge i 4 mm. Il cristallino manca di nervi, vasi sanguigni e linfatici, infatti, alla sua nutrizione provvede l'umore acqueo. Topograficamente vengono indicate una **faccia anteriore** e una **faccia posteriore**, che differiscono per curvatura, poiché la prima è paragonabile ad un ellissoide, quindi una curvatura minore rispetto alla seconda, che invece la si può paragonare ad un paraboloide; sono separate da un margine arrotondato detto **equatore**. L'equatore rappresenta la

circonferenza maggiore del cristallino, e anche la zona di contatto tra le due facce. I punti centrali sono chiamati polo anteriore, a 3,5 mm dal vertice corneale, e polo posteriore, a 16 mm dalla fovea, e sono uniti da una linea ideale, l'asse.



**Figura 3. Grafica esterna e interna del cristallino. La prima evidenzia la superficie anteriore e posteriore, e l'equatore. La seconda mostra la composizione interna del cristallino, che dall'interno verso l'esterno sono: nucleo, seguito dalla corteccia, dalle cellule epiteliali e dalla capsula.**

Al suo interno vengono riconosciute diverse strutture importanti.

Il **nucleo** è una struttura rigida fibrosa, che viene differenziato in embrionale, fetale e dell'adulto; siccome è molto rigido, non partecipa al processo accomodativo.

La **capsula del cristallino**, o cristalloide, è una membrana continua che circonda da ogni

lato il cristallino; è trasparente, elastica e friabile. Questa dà inserzione alle fibre della **zonula di Zinn**, o apparato sospensore del cristallino; un sistema complicato di fibre, le fibre zonulari, tese fra il corpo ciliare ed il cristallino. È un anello a forma di prisma triangolare, che serve a fissare il cristallino. L'**epitelio del cristallino** è uno strato semplice di cellule chiare, di contorno poligonale. La **sostanza del cristallino** rappresenta la quasi totalità dell'organo; è formata da fibre cristalline e cellule epiteliali, unite fra loro da una sostanza cementante.

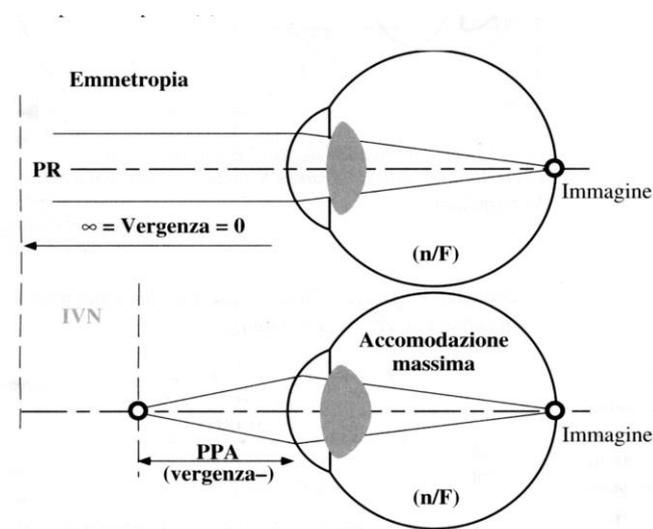
A carico dell'invecchiamento del cristallino, si evidenziano due condizioni visive: presbiopia e cataratta. Invecchiando quest'organo riduce progressivamente la sua elasticità, rendendo difficile la messa a fuoco da vicino, **presbiopia**; questa comincia durante l'adolescenza e raggiunge l'apice dopo i 40 anni. La **cataratta**, invece, è il risultato finale dell'invecchiamento del cristallino, poiché quest'ultimo perde la sua trasparenza; oltretutto con la cataratta, si ha una pessima visione sia da vicino, a causa della presbiopia, ma anche da lontano.

#### 1.4 Il meccanismo accomodativo.

L'accomodazione è la proprietà di variare il potere refrattivo del cristallino, che è compreso tra le 17, in condizioni di riposo, e le 22 diottrie, in piena accomodazione.

Ne è responsabile il muscolo ciliare, in particolare le sue fibre circolari ad innervazione colinergica.

Per effetto della loro contrazione, la zonula di Zinn si rilaccia, e si ha:



**Figura 4. Azione del cristallino durante l'accomodazione, in un occhio emmetrope. Nella figura superiore, lo sguardo, come si evince dalla rappresentazione dei raggi, è all'infinito, e il cristallino è in stato di riposo. Nella figura inferiore, se si osservano i raggi, lo sguardo è a distanza ravvicinata, e il cristallino è in piena accomodazione.**

aumento della curvatura della faccia anteriore, spostamento del polo anteriore verso la cornea, avanzamento dell'ora serrata, aumento dello spessore centrale del cristallino, diminuzione del suo diametro (assume una forma pressoché sferica), e aumento del potere diottrico. Queste variazioni sono uguali su tutti i meridiani, e avvengono consensualmente e contemporaneamente in entrambi gli occhi. Inoltre, con l'accomodazione

massima il cristallino, oltre che spostarsi leggermente in avanti, si sposta anche verso il basso, probabilmente per gravità, a causa dello spostamento del corpo ciliare che supera la capacità elastica di questa lente.

Mediante l'accomodazione è possibile mettere a fuoco, sulla retina, immagini che si formano su piani anteriori o posteriori ad essa. I giovani riescono fino ad una distanza di 8 cm, ma con l'avanzare dell'età, il riflesso dell'accomodazione diminuisce.

In condizioni di emmetropia, allo stato di riposo accomodativo, il sistema diottrico focalizza sulla retina le immagini degli oggetti posti all'infinito (punto remoto). Avvicinando gli oggetti, le loro immagini si formano su piani posteriori; però questo processo riporta a fuoco le immagini sulla retina, aumentando la refrazione del sistema diottrico. Il tutto, avviene entro un determinato limite, (punto prossimo), oltre il quale il compenso non è più possibile.

La latenza di reazione è di 0,36 s da vicino a lontano, e leggermente inferiore da lontano a vicino, ma comunque l'intera risposta impiega circa un secondo.

In conclusione, gli stimoli che servono per innescare il processo di accomodazione sono:

- vicinanza dell'oggetto;
- sfocatura dell'immagine retinica;
- aberrazione cromatica.

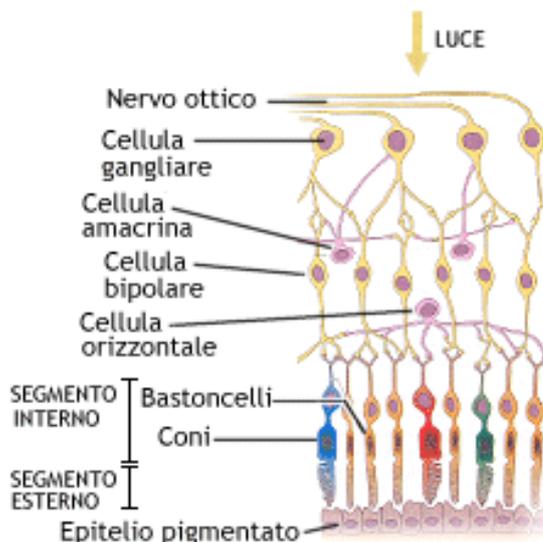
Con l'accomodazione entrano in gioco altri due fenomeni che nell'individuo normale avvengono bilateralmente e consensualmente, e sono: convergenza e miosi. Pertanto accomodazione, miosi e convergenza formano la cosiddetta **triade accomodativa**. Questa risposta è chiamata **sincinesia**, in quanto l'attività dei muscoli ciliare, sfintere e retti, si presentano contemporaneamente, ma non necessariamente un'azione può causare l'altra. Il compito di questo meccanismo è quello di rendere chiara la percezione degli oggetti vicini, poiché: la convergenza porta gli assi visivi dei due occhi sul punto di fissazione, la miosi elimina l'eccesso di aberrazione sferica e aumenta la profondità di campo, mentre l'accomodazione mette a fuoco gli oggetti a breve distanza.

## Capitolo 2

### La percezione visiva.

#### 2.1 La retina.

La trasduzione dell'energia luminosa in energia elettrica, ed infine in potenziali d'azione, ha luogo quando la luce colpisce la retina, che è la struttura sensoriale dell'occhio; in realtà solo una piccola parte della luce



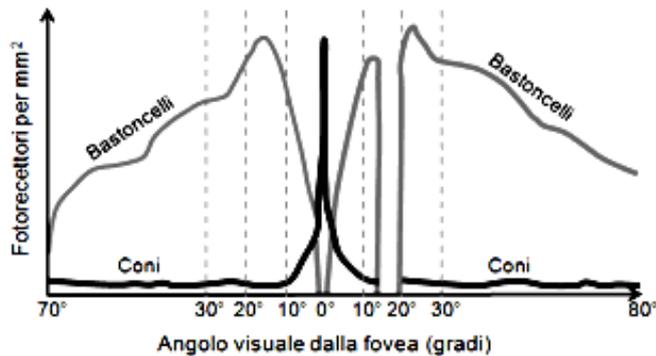
**Figura 5. Disegno delle cellule retiniche.** Dall'interno dell'occhio verso l'esterno si trovano: cellule gangliari, trasportano l'impulso alla retina; cellule amacrine, legano le bipolari con le gangliari; cellule bipolari, ricevono l'impulso dai fotorecettori; cellule orizzontali, collega i fotorecettori con le bipolari; fotorecettori; epitelio pigmentato.

totale, viene percepita dal nostro sistema nervoso. La retina comprende sia neuroni sensoriali che rispondono alla luce, che circuiti neurali intricati, che eseguono la prima fase di elaborazione delle immagini. Il messaggio elettrico, poi, viaggia dal nervo ottico al cervello per un'ulteriore elaborazione e percezione visiva.

La porzione fotosensibile è rivestita da uno strato epiteliale di colore nero, detto **epitelio pigmentato**, all'interno del quale risiede la melanina, la cui funzione è quella di assorbire la luce che attraversa la retina, impedendo che sia riflessa, o si diffonda all'interno dell'occhio.

I **fotorecettori**, rappresentano lo strato più importante della

retina caratterizzato dalla presenza di coni e bastoncelli, cellule che prendono il nome dalla forma del loro segmento e deputate alla trasduzione dell'energia luminosa in potenziali elettrici. I **coni** sono responsabili della visione fotopica, cioè diurna, della visione dei colori e dei dettagli fini; sono circa 7 milioni e si trovano maggiormente nella fovea, che è il centro del campo visivo che ha maggiore acuità, e tendono a diminuire allontanandosi da essa, diminuendo così anche la capacità di distinguere i dettagli e i colori. Questo tipo di fotorecettore contiene diversi tipi di pigmenti visivi che vengono eccitati da luce di differente lunghezza d'onda. Dei coni conosciamo i coni: long, o L, che hanno un picco di assorbimento a 564 nm, ovvero nel rosso; medium, o M, con un picco di assorbimento massimo a 533 nm, ovvero nel verde; short, o S, il cui assorbimento è a 437 nm, cioè nel blu. Ovviamente questi non sono colorati, ma il nome gli è



**Figura 6.** Concentrazione dei bastoncelli (tratto grigio), maggiormente presenti a livello periferico, e dei coni (tratto nero), presenti solo a livello foveale. Tra i 10° e i 20° non vi è nessuno dei due, perché quella è la zona di inserzione del nervo ottico, detta “macchia cieca”.

visione scotopica, cioè notturna, e monocromatica. Estremamente sensibili al movimento; sono circa 120 milioni a livello periferico e hanno una concentrazione massima a 15°-20° dalla fovea, e se ne riconosce un solo tipo.

L'informazione sensoriale sullo stimolo luminoso, passa dai fotorecettori alle **cellule bipolari**, e di conseguenza alle **cellule gangliari**. Gli **assoni delle cellule gangliari** formano il nervo ottico, che lascia l'occhio a livello del disco ottico; quest'ultimo è privo di fotorecettori, di conseguenza le immagini non vengono percepite, dando vita alla cosiddetta **macchia cieca**. L'elaborazione retinica viene compiuta anche grazie alla presenza di **cellule orizzontali**, che fanno sinapsi sui fotorecettori e sulle cellule bipolari, e le **cellule amacrine** che mettono in comunicazione le cellule bipolari con le gangliari.

Una rilevante caratteristica dell'elaborazione del segnale nella retina è la convergenza, cioè molti neuroni fanno sinapsi su un'unica cellula postsinaptica.

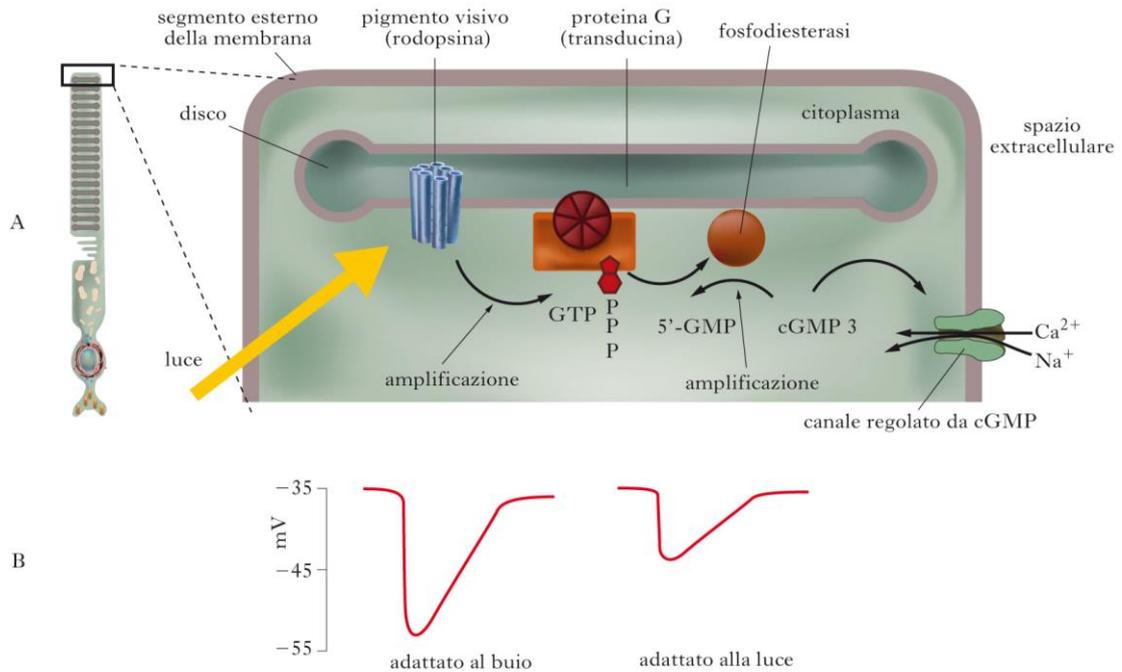
## 2.2 La fototrasduzione.

La fototrasduzione è il processo attraverso il quale i fotorecettori della retina convertono l'assorbimento delle onde elettromagnetiche in segnali nervosi. È simile sia per i bastoncelli che per i coni, all'interno dei quali si trovano dei fotopigmenti, composti da una parte proteica, detta **opsina**, presente nei dischi (di un solo tipo nei bastoncelli, e di tre tipi differenti per i coni) e da un cromoforo, il **retinale**, un derivato della vitamina A, che costituisce la porzione del pigmento che assorbe effettivamente la luce.

In assenza di luce il retinale si lega all'opsina; nel momento in cui viene attivato, anche da un solo fotone, il retinale assume una configurazione diversa, cioè passa dalla forma 11-cis, alla forma trans, e viene rilasciato dall'opsina in un processo detto sbiancamento.

stato associato in base alla sensazione corrispondente alla loro massima sensibilità. Il sistema nervoso quindi riesce a riconoscere i colori degli oggetti interpretando la combinazione dei segnali provenienti dai coni sensibili ai tre differenti colori. I **bastoncelli** sono responsabili della

**Figura 7. Fototrasduzione nei bastoncelli. Il procedimento è simile anche nei coni.**



I fotorecettori presentano molti canali ionici aperti e permeabili al Na<sup>+</sup> e al Ca<sup>2+</sup>, che ne provocano un continuo flusso di ioni, corrente di buio. Quando i bastoncelli sono al buio e la rodopsina, fotopigmento dei bastoncelli, (invece la iodopsina è per i coni), è attiva, i livelli di GMP ciclico, GMPc, nel bastoncello sono elevati, i canali sono aperti. L'ingresso di ione sodio è maggiore rispetto a quello in uscita, così si mantiene depolarizzato il bastoncello su un potenziale di membrana di -40 mV, anziché di -70 mV. A questo potenziale di membrana si verifica un rilascio tonico, cioè continuo, di neurotrasmettitore, il glutammato, sulla cellula bipolare. Quando la luce attiva la rodopsina, viene innescata una cascata di secondi messaggeri a opera della transducina, che a sua volta attiva un enzima, la fosfodiesterasi, che fa ridurre la concentrazione intracellulare di GMPc. Di conseguenza i canali per il Na<sup>+</sup> e per il Ca<sup>2+</sup> si chiudono, determinando l'iperpolarizzazione della cellula.

Dopo essere stato attivato, il retinale diffonde all'esterno del bastoncello, migrando verso l'epitelio pigmentato. Qui viene ridotto in forma inattiva, prima di tornare di nuovo al bastoncello ed essere di nuovo legato all'opsina.

Il recupero della rodopsina dallo stato di sbiancamento, è un processo piuttosto lento, ed è importante nel tempo richiesto dagli occhi per adattarsi alla nuova intensità luminosa, ovvero dalla luce al buio.

## Capitolo 3

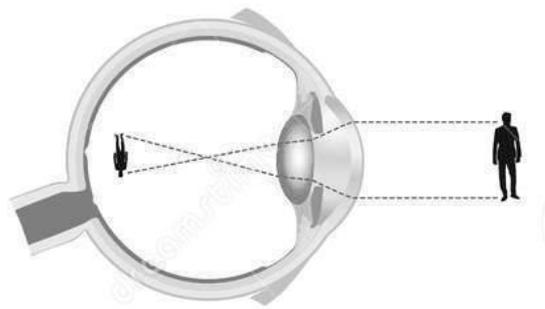
### La miopia.

#### 3.1 Eziologia e classificazione della miopia.

*“Il termine Miopia deriva dalla parola greca myopos che significa “socchiudere gli occhi”, un espediente effettivamente adottato dal miope per migliorare la nitidezza di ciò che sta osservando; le palpebre, se “strizzate”, funzionano come un diaframma naturale permettendo un aumento della profondità di campo.”<sup>1</sup>*

La miopia è un errore refrattivo dovuto o ad un diametro antero-posteriore del bulbo maggiore rispetto alla norma, o ad una curvatura corneale più accentuata, ed un eccessivo potere diottrico. Di conseguenza la luce proveniente dall'infinito, quando attraversa i vari mezzi diottrici oculari, converge in una zona anteriore alla retina, facendo sì che gli oggetti visti a distanza appaiono sfocati.

Ogni millimetro in più del bulbo, corrispondono a 2,50-3,00 D.



**Figura 9.** L'immagine dell'oggetto osservato, in un occhio miope, si focalizzerà in una zona anteriore alla retina e capovolta. Sarà poi il cervello a capovolgere nuovamente l'immagine.

I fattori che concorrono all'insorgenza della miopia non sono ben noti, anche se ne può essere associato uno in particolare. Si può pensare ad un fattore ereditario, cioè se si ha uno o entrambi genitori miopi, vi è una maggiore probabilità che i figli possano esserlo; ma se questa è la causa principale, lo sviluppo di questa condizione viene influenzata soprattutto da come si usano gli occhi. Infatti le persone che lavorano per un

tempo prolungato a breve distanza, o che non trascorrono molto tempo all'aria aperta, sono maggiormente esposti. In quest'ultimo caso, la luce naturale, molto più brillante delle lampadine, protegge la forma del bulbo, stimolando nella retina la produzione di dopamina, un neurotrasmettitore che svolge, tra l'altro, la funzione di limitare la crescita del bulbo oculare; non solo, ma stimola anche la produzione di vitamina D. Altri studi ritengono che possa influire anche l'alimentazione, ad esempio le variazioni di zucchero nel sangue.

<sup>1</sup> <http://www.garzolino.it/locchio/miopia/>

Si riducono a tre le forme base della miopia: **fisiologica**, entro le 3,00 D e senza alcuna variazione evidente del bulbo; **intermedia**, compresa tra le 5,00 e le 8,00 D a cui seguono variazioni dimensionali del bulbo e lievi alterazioni retiniche; **patologica**, maggiore di 8,00 D in cui le alterazioni sono molto più evidenti.

Ad ogni modo c'è anche una classificazione dell'insorgenza di questa: **precoce**, se si sviluppa nella preadolescenza o prima dei 16 anni di età, o **tardiva**, se insorge dopo i 16 anni.

I sintomi che maggiormente lamenta un miope sono: visione sfocata da lontano, affaticamento degli occhi, e più raramente astenopia da vicino, dovuta ad un eventuale squilibrio tra accomodazione e convergenza che causa quindi astenopia.

Questa ametropia è variabile con l'età e con la localizzazione geografica. Può verificarsi dalla prima infanzia, o dopo i 30 anni, e in ogni caso può stabilizzarsi o progredire. I paesi industrializzati hanno la percentuale più alta di persone miopi: negli USA ne soffre circa il 35% della popolazione, in Asia circa l'85%, e in Italia, una persona su quattro.

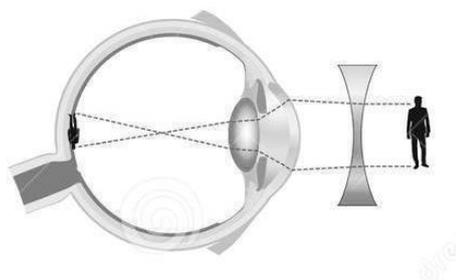
### 3.2 Correzione della miopia.

Di notevole importanza è l'**intervallo di visione nitida**, cioè la zona compresa tra il **punto prossimo**, ovvero il punto più vicino in cui si ha una buona messa a fuoco, e il **punto remoto**, cioè quello più lontano. Quest'intervallo nel miope è molto più limitato rispetto ad un emmetrope, in quanto il punto remoto si sposta dall'infinito, ad un punto finito.

Per conoscere la posizione del punto remoto di un miope basta semplicemente utilizzare la formula:

$$P = 1 / f$$

cioè il potere è inversamente proporzionale al punto di messa a fuoco da lontano del soggetto, e deriva dalla formula dei punti coniugati. Per esempio, se il punto remoto è a 0,8 m, il potere diottrico in eccesso del soggetto è  $P = 1 / 0,8 = 1,25$  D.



**Figura 10. Miopia corretta con lente divergente.**

Il trattamento di questa ametropia consiste nel migliorare l'acuità visiva per lontano, e a questo scopo ci si può avvalere di diversi tipi di correzione. Quello più utilizzato è l'uso di una lente divergente, o concava, cioè di potere negativo, mediante lenti oftalmiche o a contatto, in modo da far coincidere il fuoco con la fovea. Sono di uno spessore maggiore ai bordi e più sottili al centro.

Un ulteriore metodo previsto è la chirurgia refrattiva, attraverso il trattamento PRK o LASIK. Il primo rimuove un sottile strato di tessuto della superficie corneale, per modificarne la forma; il secondo rimuove il tessuto

interno dagli strati della cornea. In entrambi i casi c'è un limite sulla quantità di tessuto rimovibile.

Se, infine, non si vuole andare incontro alla chirurgia, appare efficace il trattamento con l'ortocheratologia, ovvero lenti a contatto che vengono indossate la notte, ed esercitano una pressione, creata dal film lacrimale tra lente e occhio, sull'epitelio corneale, cosicché il giorno successivo il miope presenta una buona acuità visiva, senza l'ausilio di altri sistemi compensativi.

## Capitolo 4

### La luce e i suoi effetti a livello oculare.

#### 4.1 La luce.

Secondo l'ottica ondulatoria, la luce, dal latino lux, è una piccola porzione dello spettro elettromagnetico compresa tra i 380 e i 760 nm di lunghezza d'onda, e di frequenza compresa rispettivamente tra  $8 \times 10^{14}$  e  $4 \times 10^{14}$  Hz. Questa energia luminosa, appare bianca, anche se composta da colori che vanno dal violetto al rosso, perché data dalla somma di tutte le frequenze che compongono lo spettro del visibile; inoltre rappresenta uno stimolo adeguato capace di attivare i fotorecettori retinici.

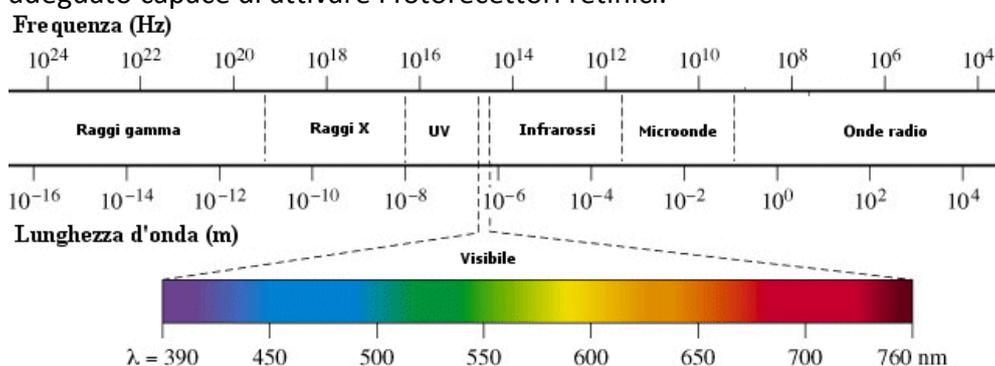


Figura 11. Spettro elettromagnetico.

Ad essa si associano: lunghezza d'onda e frequenza, inversamente proporzionali tra loro, a cui corrisponde la sensazione del colore; e le grandezze fotometriche, cioè la quantità di energia posseduta, a cui corrisponde la brillantezza e il contrasto. D'altronde, in essa, si riconosce anche una certa pericolosità che aumenta con l'aumentare dell'energia e con il decrescere della lunghezza d'onda.

La luce è in grado di interagire con la materia, e i fenomeni più ricorrenti, che possono verificarsi anche all'interno degli occhi sono: riflessione, rifrazione, assorbimento, diffrazione e trasmissione.

Il confine tra una condizione percettiva e l'altra è definita soglia, e ad essa viene affiancato il concetto di sensibilità: maggiore è la soglia, minore è la sensibilità.

Si può dire che lo stimolo luminoso viene diviso, in base all'energia posseduta e in base al lavoro dei fotorecettori, in: **fotopico**, in piena luce, il cui lavoro è mediato dai coni, con una luminanza che va da  $4 \times 10^4$  a  $10$   $\text{cd}/\text{m}^2$ ; **mesopico**, al crepuscolo, in questo caso lavorano sia i coni che i bastoncelli, la cui luminanza è compresa tra  $10$  e  $10^{-3}$   $\text{cd}/\text{m}^2$ ; **scotopico**, cioè la notte, dove la luminanza è compresa tra  $10^{-3}$  e  $10^{-6}$   $\text{cd}/\text{m}^2$ , e il lavoro viene effettuato dai bastoncelli.

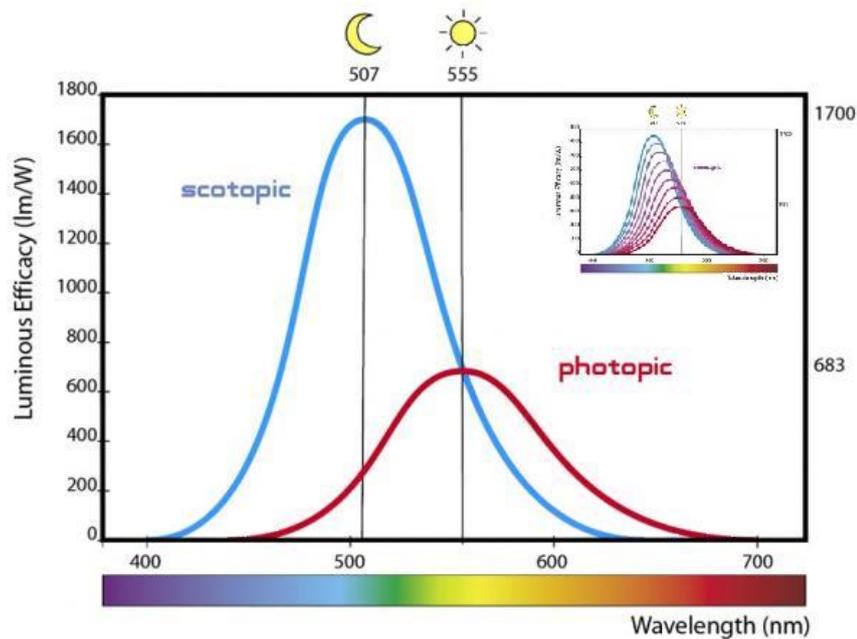


Figura 12. Grafico dell'efficacia luminosa in funzione delle lunghezze d'onda. Per la visione fotopica e scotopica il picco di massima sensibilità è diverso: 555 nm per la prima e 507 nm per la seconda.

Ovviamente la sensibilità dei coni e dei bastoncelli, lavorando su livelli di luminanza completamente diversi, è differente. I coni hanno una sensibilità massima a 555 nm, in visione fotopica; durante la visione scotopica la sensibilità dei fotorecettori si sposta verso lunghezze d'onda minori, infatti i bastoncelli hanno una sensibilità massima a 507 nm. Lo spostamento della sensibilità spettrale verso le lunghezze d'onda corte, quando si passa dalla visione fotopica a quella scotopica, si chiama **effetto Purkinje**.

Si parla di adattamento, il tempo necessario affinché l'occhio si adatti alle nuove condizioni di luminanza, quando si passa da un livello di luminosità all'altro. Se ne riconoscono due, quello alla luce e quello al buio.

L'**adattamento al buio** si verifica quando si passa da un ambiente intensamente illuminato ad uno poco illuminato, cosicché le retine di entrambi gli occhi diventano più sensibili alla luce. Questo processo si articola in due eventi successivi:

- una prima caduta della soglia visiva, rapida ma di piccola ampiezza, dovuta all'adattamento dei coni;
- un'ulteriore caduta della soglia, meno rapida e più ampia, causata dall'adattamento dei bastoncelli.

In piena visione scotopica, alcuni bastoncelli sono così sensibili che basta anche un solo fotone per stimolarli. Il tempo necessario richiesto per l'adattamento al buio è molto lungo, circa 30 minuti, ma può essere portato a termine entro un'ora. Se non si riesce ad adattare la propria visione al buio, si è in presenza di emeralopia.

L'**adattamento alla luce** è molto più rapido, infatti ci vogliono circa 5 minuti, poiché i fotorecettori, per affrontare questa luminosità, si saturano e diminuiscono la loro sensibilità, consentendo una buona percezione

visiva. Si parla di nictalopia quando una persona ha difficoltà ad adattarsi alla luce.

## 4.2 Le aberrazioni.

Molto spesso si pensa all'occhio come un qualcosa di perfetto, ma in realtà non lo è, per una serie di difetti fisici.

Un occhio è "stigmatico" se ad un punto oggetto corrisponde un punto immagine. Questo è possibile se la distanza ottica tra i due è la stessa per tutti i punti che attraversano la pupilla, se i raggi luminosi compiono lo stesso numero di oscillazioni e se sono in fase, cosicché l'immagine retinica appare perfetta.

Questo comportamento si discosta di parecchio da un sistema ottico, o da un occhio, aberrato, di conseguenza l'immagine che si forma non è un punto unico, bensì corrisponde ad uno spazio tridimensionale che prende il nome di **conoide di Sturm**, o **caustica**.

Le aberrazioni sono di basso ordine, quali miopia, ipermetropia e astigmatismo, compensabili con lenti sferiche e/o cilindriche opportunamente orientate, e aberrazioni di alto ordine, non compensabili facilmente, che interferiscono nella visione poiché influenzate principalmente dal diametro pupillare, a sua volta condizionato da molteplici fattori.

Un'aberrazione che tendenzialmente si verifica a livello oculare è quella sferica. L'**aberrazione sferica**, è di natura assiale; si divide in positiva e

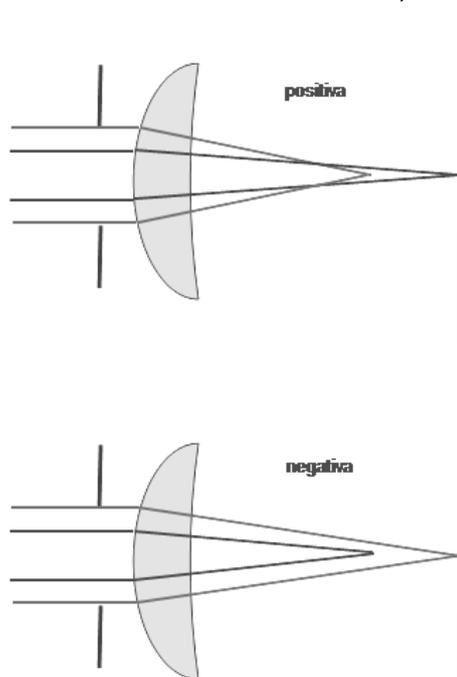


Figura 13. In alto, Aberrazione sferica positiva: i raggi marginali focalizzano prima rispetto a quelli parassiali. In basso, aberrazione sferica negativa: i raggi parassiali focalizzano prima rispetto a quelli periferici.

negativa. Quando un fascio di luce attraversa una calotta sferica, come il bulbo oculare, i raggi periferici focalizzano prima rispetto ai parassiali, positiva, e di conseguenza il fuoco non sarà un punto unico; di contro quella negativa è l'opposto.

Questa si verifica qualora l'apertura angolare della sorgente non è abbastanza piccola, cosicché i raggi emergenti non involuppano in un punto unico, ma in una superficie.

Con essa insorgono due fenomeni fondamentali: diminuzione della sensibilità al contrasto, poiché la dispersione del fuoco riduce la concentrazione luminosa, e aumento della profondità di campo.

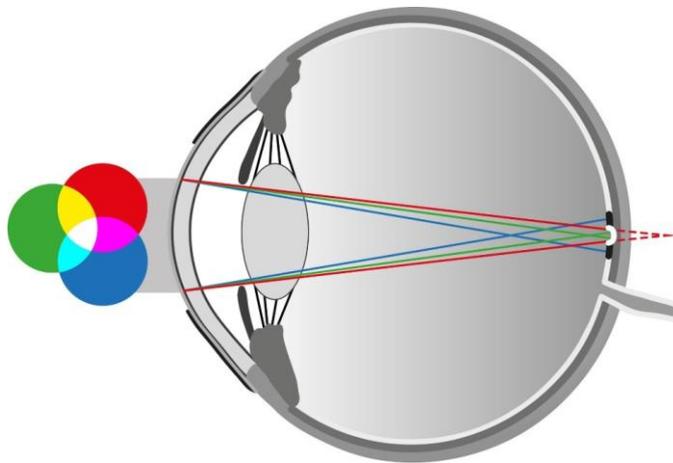
L'entità dell'aberrazione sferica che si produce in un occhio, dipende dal diametro pupillare, che consente di utilizzare solo i raggi luminosi che la attraversano nella zona centrale,

poiché la periferia corneale è più piatta rispetto alla porzione centrale, e il nucleo del cristallino ha un indice di rifrazione maggiore della corteccia. L'accomodazione riduce l'aberrazione sferica e potrebbe anche invertire la posizione del fuoco dei raggi parassiali.

Questo tipo di aberrazione può essere misurata in diottrie, longitudinale, o in base all'ampiezza del disco di confusione, trasversale.

In un occhio giovane, la cornea produce un'aberrazione sferica positiva, ma allo stesso tempo, la sua curvatura è in parte capace di eliminarla; la parte residua viene compensata dal cristallino, che a sua volta genera un'aberrazione sferica negativa, per questo l'occhio non dovrebbe presentare alcun tipo di aberrazione. Questo discorso non vale quando avanza l'età, perché, la cornea mantiene sempre la sua forma, mentre il cristallino perde gradualmente l'aberrazione sferica negativa, fino ad annullarsi, per poi diventare positiva, andandosi a sommare con quella corneale. Viene facilmente corretta con delle lenti asferiche.

Invece l'**aberrazione cromatica**, si verifica ogniqualvolta la sorgente non è monocromatica.



**Figura 14. Aberrazione cromatica.** La luce quando attraversa gli occhi focalizza prima le lunghezze d'onda minori e poi quelle maggiori; in successione: blu, verde e rosso.

Consiste nella focalizzazione dei raggi luminosi, in funzione della lunghezza d'onda, su piani diversi rispetto alla retina; in particolare: le lunghezze d'onda minori, blu-violetto, vengono rifratte maggiormente rispetto alle lunghezze d'onda elevate, rosso. Tipicamente si

manifesta come un alone attorno all'oggetto osservato: rosso da un lato e blu dall'altro. Tale fenomeno può stimolare o rilasciare l'accomodazione, più precisamente: un'aberrazione cromatica con anello periferico blu determinerebbe il rilascio dell'accomodazione, mentre un'aberrazione cromatica con anello periferico rosso scatena il meccanismo accomodativo. Ciò si genera perché, il cristallino riesce ad assorbire tutte le lunghezze al di sotto dei 350 nm, ma nel caso di visione a colori, poiché affetto da aberrazione cromatica, mette a fuoco una sola lunghezza d'onda, mentre le altre appaiono sfocate. Nonostante la presenza di questo difetto, l'acuità visiva rimane sempre ottima.

Il problema viene risolto utilizzando un doppietto acromatico o un tripletto acromatico, cioè più lenti con materiali e dispersione diversa, uniti tra loro, così la differenza tra i diversi angoli di rifrazione, per una stessa lunghezza d'onda si elimina; in questo modo il difetto potrà essere ridotto ma non

eliminato. Si possono anche utilizzare delle lenti con materiali a bassa dispersione, come la fluorite.

## Capitolo 5

### Miopia notturna.

#### 5.1 Miopia notturna.

Gli astronomi sono stati i primi a scoprire gli effetti della miopia notturna, con il bisogno di utilizzare lenti correttive di potere negativo per migliorare l'osservazione delle stelle. Questa scoperta ha poi riscontrato maggiore successo durante il periodo della seconda guerra mondiale, per la necessità di rilevare luci in mare o nel cielo. Solo recentemente è stata deputata come uno dei principali ostacoli per la guida in condizioni mesopiche e scotopiche.

La miopia notturna si manifesta in tutti i soggetti, seppur di entità differente, in condizioni di scarsa luminosità ambientale. Le cause per la quale si manifesta sono:

- aberrazione cromatica ed effetto Purkinje: cioè l'occhio in condizioni scotopiche diventa maggiormente sensibile alle lunghezze d'onda corte, che verranno rifratte di più rispetto a quelle elevate;
- midriasi pupillare, con conseguente avanzamento del cristallino, aumento dell'aberrazione sferica e diminuzione della profondità di fuoco;
- insorgenza dell'accomodazione tonica dovuta all'assenza di stimoli adeguati, detta anche miopia da campo vuoto.

Generalmente, le persone di età inferiore ai 40 - 45 anni, grazie al processo accomodativo, sono in grado di mettere a fuoco oggetti a breve e a lunga distanza, in modo volontario; tuttavia, al buio questo sistema si rompe e il fuoco si deposita ad una distanza costante, solitamente ad 1 m.

Pertanto, con la miopia notturna i sintomi sono:

- sensazione di disagio pur mantenendo la fissazione a bassi livelli di luminanza;
- visione blu, solo in condizioni scotopiche, perché la visione è attribuita alla zona parafoveale;
- riduzione della sensibilità al contrasto;
- difficoltà nella guida notturna.

Come è stato già detto, la visione, con livelli di luminanza bassi, è mediata dai bastoncelli, dunque le informazioni vengono catturate dalla periferia della fovea, in particolare dai coni S, ovvero quelli sensibili alla lunghezza d'onda corrispondente al blu, e soprattutto diminuisce anche la sensibilità al contrasto.

## 5.2 Guida notturna.

La guida è diventata l'attività più frequente dell'uomo; si guida a qualsiasi ora e con qualsiasi condizione meteorologica, ma si sa che guidare di notte è più difficoltoso, impegnativo e stressante, che guidare di giorno, per via di tutti i fattori finora citati.

È un dato di fatto che gli incidenti stradali avvengono maggiormente di notte, perché sono molte le condizioni avverse.

Innanzitutto, l'illuminazione stradale non è sempre favorevole, e per questo mentre si guida e si incontrano altri veicoli provenienti dalla direzione opposta, i fanali producono forte sensazione di disagio, o perché creano abbagliamento, (in merito a ciò, è consigliabile non osservarli), o perché, se si ha un parabrezza sporco, si generano aloni e fenomeni di riflessione, di conseguenza il conducente non può vedere con largo anticipo gli oggetti scarsamente illuminati che gli si possono presentare davanti.

Per quanto già detto, (cioè che la visione notturna è resa possibile grazie alla zona parafoveale, di conseguenza saranno i coni S ad essere più sensibili), alcuni studi hanno dimostrato come una luce, con forte componente blu, può apportare un abbagliamento maggiore. Se si indossano gli occhiali, questi aumentano i riflessi interni alla lente; infatti è consigliabile procurarsi delle lenti con il trattamento antiriflesso, che non bloccano la luce, bensì, oltre che trasmetterne una maggiore quantità, migliorano la visione notturna. Infine, ai soggetti che presentano particolari



Figura 15. Night cover multilens o filtro foto-selettivo giallo 450 nm.

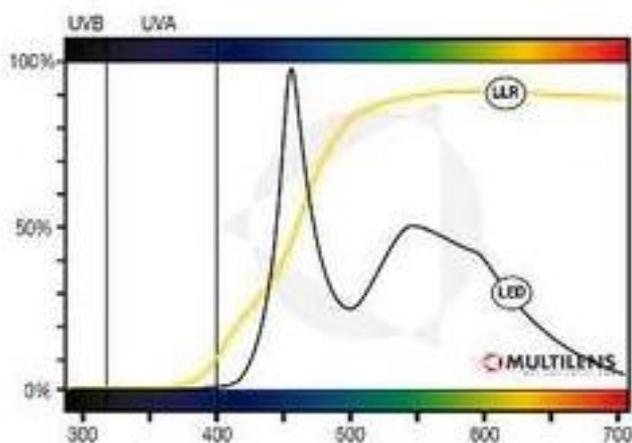


Figura 16. Percentuale di luce trasmessa in funzione delle lunghezze d'onda

patologie come la retinite pigmentosa, o la degenerazione maculare, o le neuriti ottiche, vengono prescritti dei **filtri foto-selettivi gialli 450 nm** in grado di aumentare il contrasto e di rendere più confortevole la visione e la guida notturna. Tuttavia questi stessi filtri non possono essere utilizzati da persone con occhi sani perché, oltre che aumentare il contrasto, facilitano l'abbagliamento. Queste lenti filtranti con colorazione specifica riducono i riflessi, grazie allo stesso trattamento antiriflesso che, in

modo più specifico, taglia la lunghezza d'onda corrispondente al blu dei riverberi delle auto provenienti dalla direzione opposta, in modo tale da avere sempre la stessa quantità di luce che arriva alla retina. Per facilitare la guida notturna, a questi filtri sono stati abbinati dei poteri correttivi, pari a  $-0,25$  D e  $-0,50$  D, che compensano questo problema, così da poterli comodamente indossare anche sopra un'eventuale correzione.

Se si vuole dare uno sguardo alle statistiche sugli incidenti stradali, in Italia, solo il 20% di tutte le auto circolano di notte, ma il 40% di tutti gli incidenti gravi, avviene di sera.

Ovviamente, una persona con una buona acuità visiva, naturale o con compensazione, può sviluppare, sempre in condizioni di scarsa luminosità ambientale, una miopia di  $-0,25$  o  $-0,50$  D, e a tal proposito è necessario controllare assiduamente lo stato refrattivo dell'occhio al fine di migliorarne l'A.V.

Anche gli aviatori devono avere ottimi requisiti visivi. I piloti, durante un volo, mantengono lo sguardo sull'aereo, conservando così una distanza fissa di osservazione, si tratta proprio della miopia da campo vuoto. In queste circostanze, anche se l'illuminazione è fioca, viene comunque rifratta, per questo è consigliabile prescrivere la correzione miope per voli notturni. Ciò che ulteriormente può insorgere è la presbiopia notturna, che si constata nella cabina di pilotaggio aerei, mentre gli stessi piloti cercano di leggere uno strumento in luce rossa, durante il funzionamento aereo.

## Capitolo 6

### Valutazione sperimentale della miopia notturna.

#### 6.1 Introduzione.

Questa attività di sperimentazione è stata effettuata su persone di età compresa tra i 18 e i 70 anni, e di sesso:

- maschile: 11
- femminile: 11

Tra queste persone ci sono:

- emmetropi: 5
- miopi, con o senza astigmatismo: 10
- ipermetropi, con o senza astigmatismo: 7

di cui:

- gli emmetropi, con un'aggiunta di +0,50 o +1,00 D, peggiorano il visus, e ciò sta a significare che non accomodano;
- dei miopi: 5 non portano occhiali, 2 anche se portano occhiali necessitano di un'ulteriore compensazione, ed i 3 rimanenti hanno un buon visus con la correzione attuale;
- degli ipermetropi: 2 portano occhiali e non hanno necessità di un'ulteriore compensazione, 3 non portano occhiali ma ne hanno bisogno per ottimizzare il visus, gli altri 2 portano occhiali ma va modificato il potere delle lenti.

Da questa analisi si è potuto rilevare l'effettiva esistenza della miopia notturna, che finora la si pensava solo come una teoria.

#### 6.2 Strumentazione.

La strumentazione utilizzata è la seguente:

- ottotipo decimale di plastica, sfondo bianco e anelli di Landolt neri, posti ad una distanza di 5 m dall'esaminato;
- occhiali di prova, o oculus;
- cassetta lenti di prova;
- righello millimetrato;
- lampada da tavolo puntata sull'ottotipo, necessaria per illuminarlo durante le condizioni scotopiche;
- sorgente luminosa per provocare la miosi pupillare;
- luxometro, per misurare l'illuminamento ambientale, sulla tavola optometrica e sulla persona in esame.

### 6.3 Rilevazione e ottimizzazione del visus, senza o con correzione abituale, in condizioni fotopiche.

Con o senza l'ausilio delle prescrizioni oculistiche, è stato valutato il visus degli esaminati, tramite l'utilizzo di una cassetta lenti di prova e un ottotipo con gli anelli di Landolt, posto ad una distanza di 5 m, per poi misurare l'acutezza visiva in decimi. Questo esame refrattivo è stato fatto in un ambiente le cui condizioni fotopiche erano sempre le stesse, ovvero con un illuminamento ambientale, dell'ottotipo e sull'occhio del soggetto esaminato, di 50 lux circa.

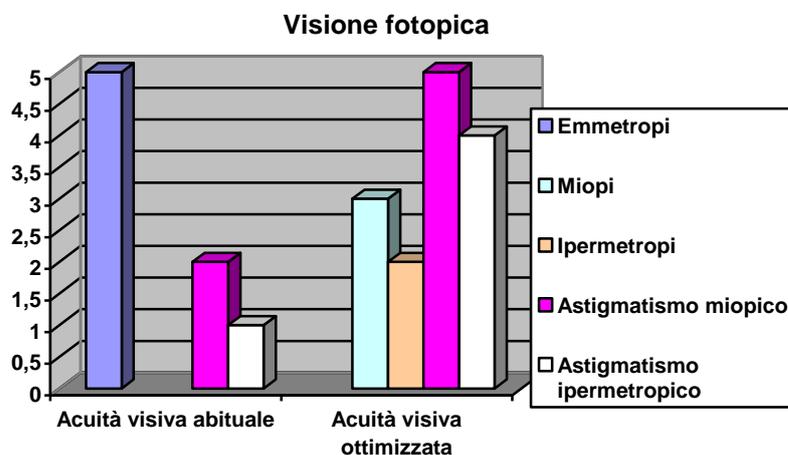
I dati rilevati sono i seguenti:

#### VISIONE FOTOPICA

NOME	SESSO	ETA'	Ø IN mm	CORREZIONE IN USO			OTTIMIZZAZIONE DEL VISUS			
						A.V.				A.V.
1)M.L.G.	F	47	4	OD		12/10	OD +0,50 +0,50 135°		13/10	
				OS	ASSENTE	9/10	OS +0,75 +0,25 30°		14/10	
				OO		12/10	OO		15/10	
2)A.G.	F	22	5	OD		15/10	OD			
				OS	ASSENTE	15/10	OS			
				OO		15/10	OO			
3)M.M.	F	27	4	OD		6/10	OD -0,25 -0,25 30°		10/10	
				OS	ASSENTE	8/10	OS -0,25 -0,25 140°		11/10	
				OO		10/10	OO		11/10	
4)S.F.	M	33	4	OD	-4,75 -0,50 180°	11/10	OD			
				OS	-4,00 -0,50 50°	11/10	OS			
				OO		12/10	OO			
5)S.G.	M	19	5	OD		15/10	OD			
				OS	ASSENTE	15/10	OS			
				OO		15/10	OO			
6)A.T.	M	25	5	OD	-4,50	11/10	OD -5,00		15/10	
				OS	-4,50	12/10	OS -5,00		15/10	
				OO		12/10	OO		15/10	
7)A.F.	M	67	4	OD		8/10	OD			
				OS		8/10	OS			
				OO		10/10	OO			
8)L.G.	F	63	3	OD		6/10	OD +0,75		9/10	
				OS		6/10	OS +0,75		9/10	
				OO		7/10	OO		10/10	
9)A.R.	F	54	2,5	OD	+1,25 +0,75 90°	4/10	OD +2,00 +0,75 90°		11/10	
				OS	+1,25 +0,75 90°	5/10	OS +2,00 +0,75 90°		11/10	
				OO		6/10	OO		13/10	
10)V.D.C.	M	54	3	OD		9/10	OD -0,25		10/10	
				OS	ASSENTE	7/10	OS -0,50		10/10	
				OO		10/10	OO		10/10	
11)V.C.	M	26	3	OD	-1,75 -0,75 90°	13/10	OD -1,75 -0,75 90°		13/10	
				OS	-2,00 -0,75 30°	12/10	OS -2,50 -0,75 30°		13/10	
				OO		13/10	OO		14/10	
				OD	+0,50 +0,50 90°	11/10	OD			

12)G.G.	M	25	4	OS +0,25 +0,50 110° OO	11/10 12/10	OS OO
13)F.S.L.	M	22	4	OD OS ASSENTE OO	9/10 8/10 10/10	OD -0,25 11/10 OS -0,50 10/10 OO 12/10
14)A.P.	M	23	5	OD OS ASSENTE OO	4/10 4/10 6/10	OD -1,00 -0,25 135° 15/10 OS -0,75 -0,25 85° 15/10 OO 15/10
15)A.G.	M	50	5	OD OS ASSENTE OO	7/10 8/10 9/10	OD +0,75 +0,25 150° 10/10 OS +0,50 10/10 OO 11/10
16)C.A.	F	45	4	OD OS ASSENTE OO	15/10 15/10 15/10	OD OS OO
17)A.F.	F	70	4	OD OS ASSENTE OO	6/10 5/10 7/10	OD +0,25 7/10 OS +0,25 6/10 OO 7/10
18)M.F.	F	66	3	OD OS ASSENTE OO	2/10 2/10 3/10	OD -1,50 -0,25 70° 7/10 OS -1,50 7/10 OO 7/10
19)I.D.C.	F	20	3	OD -3,00 -0,50 180° OS -3,00 -1,50 180° OO	14/10 14/10 14/10	OD OS OO
20)A.D.C.	F	18	4	OD -1,25 -0,25 180° OS -1,50 -0,25 10° OO	5/10 5/10 6/10	OD -2,75 -0,75 180° 12/10 OS -2,75 -0,75 10° 12/10 OO 13/10
21)R.G.	M	55	3	OD +0,75 +0,25 30° OS +1,25 OO	9/10 7/10 9/10	OD +0,75 +0,50 30° 10/10 OS +1,00 +0,25 90° 10/10 OO 11/10
22)T.G.	F	44	4	OD OS ASSENTE OO	13/10 11/10 13/10	OD OS OO

Questi dati ricavati, possono essere riportati su di un istogramma, in modo tale da verificare quanti sono i soggetti emmetropi e/o ametropi, e chi è stato ottimizzato:



Istogramma 1.

## 6.4 Valutazione della miopia notturna, in condizioni scotopiche e con pupilla midriatica.

Una volta valutata l'acuità visiva si è passati alle condizioni scotopiche, e per quanto già detto, quando si passa dalla condizione fotopica a quella scotopica è necessario aspettare che gli occhi si abituino alla nuova condizione. Pertanto, nella sperimentazione si è aspettato un tempo di circa 2 minuti.

Questa seconda fase consiste nella valutazione della miopia notturna con visus ottimizzato e in condizioni scotopiche. Anche in questo caso la rilevazione dei dati è stata fatta sempre nello stesso ambiente e con la stessa strumentazione, solo che in più è stata adoperata una lampada da tavolo, in cui una piccola quantità di luce giungeva all'ottotipo. Grazie all'aiuto del luxometro, si è misurato il flusso luminoso, così da poterlo avere sempre costante. Tale illuminamento è di 8 lux sull'ottotipo, mentre nell'ambiente e all'altezza della persona, 2 lux. Di conseguenza sono state anteposte lenti sferiche negative, o divergenti di -0,25, -0,50 e -0,75 D, prima in monoculare e poi in binoculare.

I dati rilevati riguardo la miopia notturna sono riportati di seguito:

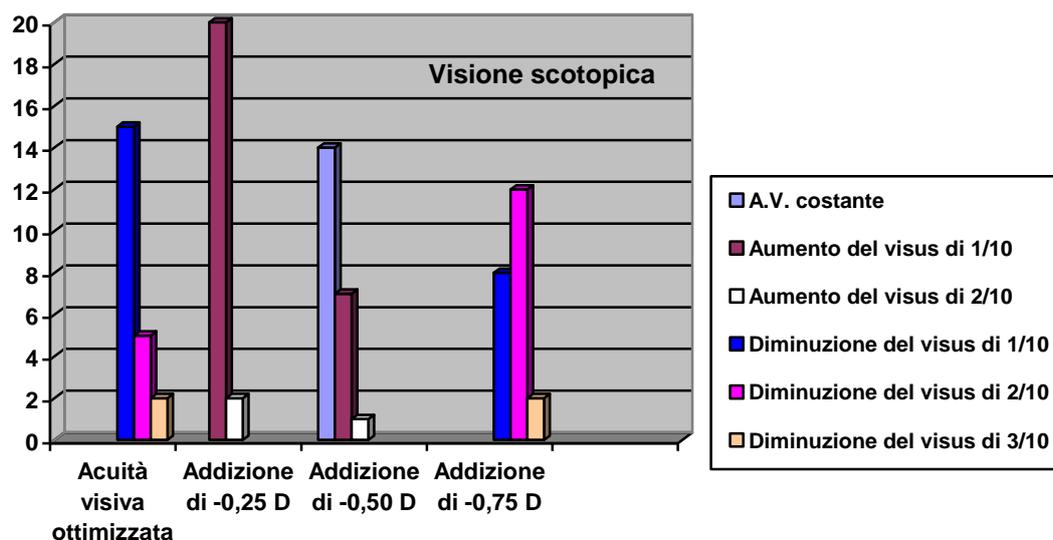
### VISIONE SCOTOPICA

NOME	Ø IN mm	VISUS OTTIMIZZATO->R		ADD. -0,25->V/R		ADD. -0,50->V/R		ADD. -0,75->V	
			A.V.		A.V.		A.V.		A.V.
1)M.L.G.	6	OD	12/10	OD	13/10	OD	14/10	OD	12/10
		OS	13/10	OS	14/10	OS	14/10	OS	12/10
		OO	14/10	OO	15/10	OO	15/10	OO	14/10
2)A.G.	7	OD	14/10	OD	15/10	OD	15/10	OD	13/10
		OS	14/10	OS	15/10	OS	15/10	OS	13/10
		OO	14/10	OO	15/10	OO	15/10	OO	14/10
3)M.M.	7	OD	9/10	OD	10/10	OD	11/10	OD	9/10
		OS	10/10	OS	11/10	OS	11/10	OS	9/10
		OO	10/10	OO	11/10	OO	11/10	OO	10/10
4)S.F.	6	OD	10/10	OD	11/10	OD	11/10	OD	9/10
		OS	10/10	OS	11/10	OS	12/10	OS	9/10
		OO	11/10	OO	12/10	OO	12/10	OO	10/10
5)S.G.	7	OD	14/10	OD	15/10	OD	15/10	OD	14/10
		OS	14/10	OS	15/10	OS	15/10	OS	14/10
		OO	14/10	OO	15/10	OO	15/10	OO	14/10
6)A.T.	7	OD	13/10	OD	14/10	OD	15/10	OD	14/10
		OS	13/10	OS	14/10	OS	15/10	OS	14/10
		OO	14/10	OO	15/10	OO	15/10	OO	14/10
7)A.F.	6	OD	7/10	OD	8/10	OD	8/10	OD	6/10
		OS	7/10	OS	8/10	OS	8/10	OS	6/10
		OO	8/10	OO	9/10	OO	10/10	OO	7/10
8)L.G.	5	OD	6/10	OD	8/10	OD	9/10	OD	7/10
		OS	6/10	OS	8/10	OS	9/10	OS	7/10
		OO	7/10	OO	9/10	OO	10/10	OO	8/10
		OD	10/10	OD	11/10	OD	11/10	OD	9/10

9)A.R.	5	OS OO	10/10 11/10	OS OO	11/10 12/10	OS OO	11/10 13/10	OS OO	9/10 10/10
10)V.D.C.	5	OD OS OO	9/10 9/10 9/10	OD OS OO	10/10 10/10 10/10	OD OS OO	10/10 10/10 10/10	OD OS OO	8/10 8/10 8/10
11)V.C.	5,5	OD OS OO	10/10 10/10 11/10	OD OS OO	11/10 11/10 12/10	OD OS OO	13/10 13/10 14/10	OD OS OO	10/10 10/10 11/10
12)G.G.	6	OD OS OO	9/10 9/10 10/10	OD OS OO	10/10 10/10 11/10	OD OS OO	11/10 11/10 12/10	OD OS OO	10/10 10/10 11/10
13)F.S.L.	6	OD OS OO	10/10 9/10 11/10	OD OS OO	11/10 10/10 12/10	OD OS OO	11/10 10/10 12/10	OD OS OO	10/10 9/10 11/10
14)A.P.	7	OD OS OO	14/10 13/10 14/10	OD OS OO	15/10 14/10 15/10	OD OS OO	15/10 15/10 15/10	OD OS OO	13/10 13/10 14/10
15)A.G.	7	OD OS OO	8/10 8/10 9/10	OD OS OO	9/10 9/10 10/10	OD OS OO	10/10 10/10 11/10	OD OS OO	8/10 8/10 9/10
16)C.A.	7	OD OS OO	14/10 14/10 14/10	OD OS OO	15/10 15/10 15/10	OD OS OO	15/10 15/10 15/10	OD OS OO	12/10 12/10 13/10
17)A.F.	6	OD OS OO	5/10 4/10 6/10	OD OS OO	7/10 6/10 7/10	OD OS OO	7/10 6/10 7/10	OD OS OO	6/10 5/10 5/10
18)M.F.	5	OD OS OO	6/10 6/10 6/10	OD OS OO	7/10 7/10 7/10	OD OS OO	7/10 7/10 7/10	OD OS OO	5/10 5/10 6/10
19)I.D.C.	5	OD OS OO	13/10 13/10 13/10	OD OS OO	14/10 14/10 14/10	OD OS OO	14/10 14/10 14/10	OD OS OO	12/10 12/10 12/10
20)A.D.C.	5	OD OS OO	11/10 11/10 11/10	OD OS OO	12/10 12/10 13/10	OD OS OO	12/10 12/10 13/10	OD OS OO	11/10 11/10 12/10
21)R.G.	6	OD OS OO	8/10 8/10 9/10	OD OS OO	9/10 9/10 10/10	OD OS OO	10/10 10/10 11/10	OD OS OO	9/10 9/10 9/10
22)T.G.	6	OD OS OO	12/10 9/10 12/10	OD OS OO	13/10 10/10 12/10	OD OS OO	13/10 11/10 13/10	OD OS OO	12/10 10/10 12/10

Dalla valutazione fatta finora, si è potuto riscontrare un effettivo calo del visus, di 1-2/10 in tutti i soggetti, nonostante fosse stato ottimizzato. Con l'anteposizione delle lenti di -0,25 e -0,50 D, l'acutezza visiva viene ripristinata, ma con la lente di -0,75 D, gli occhi, essendo stati ipercorretti, subivano nuovamente un calo visivo.

I dati ottenuti possono essere riportati, anche in questo caso, su di un istogramma:



Istogramma 2.

## 6.5 Valutazione della miopia notturna, in condizioni scotopiche e con pupilla miotica.

La terza ed ultima fase consiste nella valutazione della miopia notturna, mantenendo sempre le stesse condizioni scotopiche, ovvero 8 lux all'ottotipo e 2 sugli occhi esaminati; ma per provocare la miosi pupillare è stata adoperata un'altra sorgente luminosa, il cui illuminamento a livello oculare corrisponde a 170 lux. La modalità con la quale è stata svolta quest'ultima fase di lavoro è: occludere un occhio e puntare la luce su esso, così da innescare il riflesso pupillare, e valutare il controlaterale. La misura, la cui procedura è uguale alla precedente, è stata fatta solo monocolarmente.

I dati rilevati sono i seguenti:

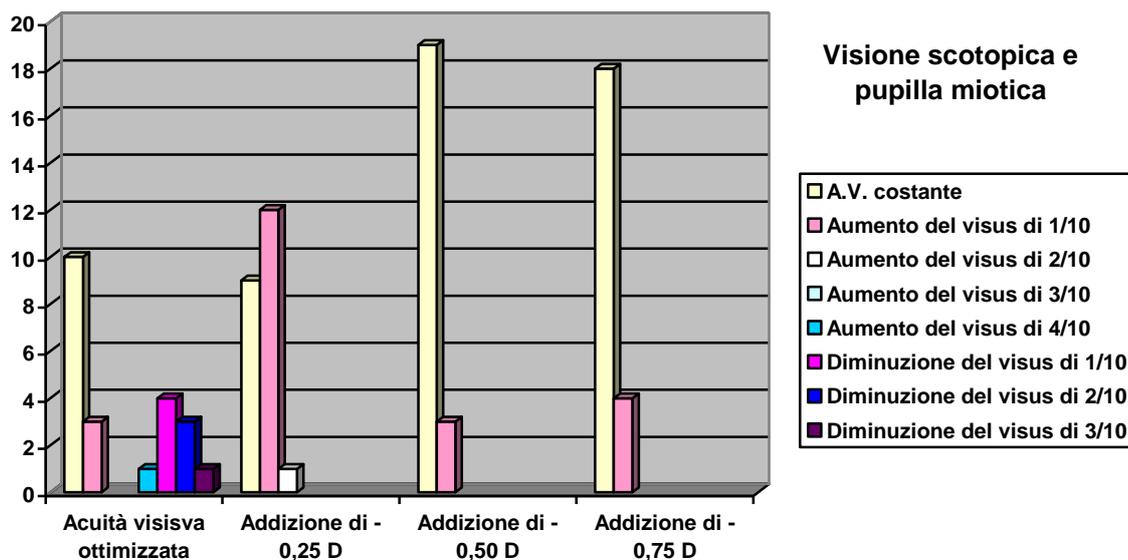
### VISIONE SCOTOPICA E PUPILLA MIOTICA

NOME	Ø IN mm	VISUS OTTIMIZZATO->R		ADD. -0,25->V/R		ADD. -0,50->V/R		ADD. -0,75->V/R	
		OD	A.V.	OD	A.V.	OD	A.V.	OD	A.V.
1)M.L.G.	3	OD	15/10	OD	15/10	OD	15/10	OD	15/10
		OS	15/10	OS	15/10	OS	15/10	OS	15/10
2)A.G.	1,5	OD	15/10	OD	15/10	OD	15/10	OD	15/10
		OS	15/10	OS	15/10	OS	15/10	OS	15/10
3)M.M.	2	OD	15/10	OD	15/10	OD	15/10	OD	15/10
		OS	15/10	OS	15/10	OS	15/10	OS	15/10
4)S.F.	2,5	OD	9/10	OD	10/10	OD	10/10	OD	11/10
		OS	10/10	OS	11/10	OS	11/10	OS	12/10
5)S.G.	2	OD	15/10	OD	15/10	OD	15/10	OD	15/10
		OS	15/10	OS	15/10	OS	15/10	OS	15/10
6)A.T.	2,5	OD	13/10	OD	14/10	OD	14/10	OD	15/10
		OS	13/10	OS	14/10	OS	14/10	OS	15/10

7)A.F.	3	OD OS	7/10 7/10	OD OS	7/10 7/10	OD OS	8/10 8/10	OD OS	9/10 9/10
8)L.G.	2	OD OS	6/10 6/10	OD OS	8/10 8/10	OD OS	9/10 9/10	OD OS	9/10 9/10
9)A.R.	2	OD OS	10/10 10/10	OD OS	11/10 11/10	OD OS	11/10 11/10	OD OS	11/10 11/10
10)V.D.C.	1,5	OD OS	9/10 10/10	OD OS	10/10 10/10	OD OS	10/10 10/10	OD OS	10/10 10/10
11)V.C.	2,5	OD OS	13/10 13/10	OD OS	13/10 13/10	OD OS	13/10 13/10	OD OS	13/10 13/10
12)G.G.	2	OD OS	11/10 11/10	OD OS	12/10 12/10	OD OS	12/10 12/10	OD OS	12/10 12/10
13)F.S.L.	3	OD OS	11/10 10/10	OD OS	12/10 11/10	OD OS	12/10 11/10	OD OS	12/10 11/10
14)A.P.	3	OD OS	15/10 14/10	OD OS	15/10 15/10	OD OS	15/10 15/10	OD OS	15/10 15/10
15)A.G.	3	OD OS	11/10 10/10	OD OS	11/10 10/10	OD OS	11/10 11/10	OD OS	11/10 11/10
16)C.A.	2	OD OS	14/10 14/10	OD OS	15/10 15/10	OD OS	15/10 15/10	OD OS	15/10 15/10
17)A.F.	3	OD OS	6/10 6/10	OD OS	7/10 7/10	OD OS	7/10 7/10	OD OS	7/10 7/10
18)M.F.	3	OD OS	7/10 7/10	OD OS	8/10 8/10	OD OS	8/10 8/10	OD OS	9/10 9/10
19)I.D.C.	1,5	OD OS	12/10 12/10	OD OS	13/10 13/10	OD OS	14/10 14/10	OD OS	15/10 15/10
20)A.D.C.	2	OD OS	12/10 12/10	OD OS	13/10 13/10	OD OS	13/10 13/10	OD OS	13/10 13/10
21)R.G.	2	OD OS	10/10 10/10	OD OS	11/10 11/10	OD OS	11/10 11/10	OD OS	11/10 11/10
22)T.G.	2	OD OS	13/10 12/10	OD OS	14/10 12/10	OD OS	14/10 12/10	OD OS	14/10 12/10

In quest'ultima sperimentazione si nota che, con la forte stimolazione luminosa, alcuni soggetti migliorano molto la loro performance visiva, e questo è dovuto al fatto che diminuendo il diametro pupillare si riducono anche tutte le aberrazioni e i fenomeni che possono condizionare la visione. Inoltre si può notare che tutti, migliorano il visus con l'anteposizione delle lenti -0,25, -0,50 e -0,75 D, ma alcuni con quest'ultima lente addirittura migliorano l'acutezza visiva.

I dati verranno riportati nel seguente istogramma:



Istogramma 3.

## Conclusioni.

L'obiettivo di questo studio è stato quello di dimostrare l'effettiva esistenza della miopia notturna, in soggetti con qualsiasi tipo di ametropia.

I risultati ottenuti hanno evidenziato che, in condizioni scotopiche, si ha un'effettiva miopizzazione degli occhi, che riduce l'acuità visiva mediamente di 1-2/10, come dimostrano i dati riportati sopra. Come già è stato detto l'utilizzo di queste lenti serve a ripristinare l'acuità visiva in condizioni di bassa luminosità ambientale, e aumentarne allo stesso tempo anche la sensibilità al contrasto, che va a diminuire con la diminuzione dell'intensità luminosa.

Dai casi presi in esame, nella seconda fase della sperimentazione, coloro che hanno indossato le lenti di -0,25 e/o -0,50 D hanno recuperato la loro acuità visiva; di contro, quando sono state anteposte invece le lenti di -0,75 D il visus è calato nuovamente. Pertanto l'utilizzo delle prime lenti negative di basso potere diottrico possono aumentare il comfort visivo con la bassa illuminazione, ma non potrebbero essere utilizzate di giorno perché ipocorreggono, gli ipermetropi, o ipercorreggono, i miopi, portando così ad un eccessivo sforzo lavorativo dal parte del sistema visivo.

Infine, quando si è passati alla valutazione della miopia notturna, stimolando il riflesso fotomotore, tramite una luce intensa, il visus è addirittura aumentato più di quando è stato ottimizzato. Questa non è altro che una conseguenza della riduzione del diametro pupillare, che comporta a sua volta una riduzione sia dell'aberrazione sferica, che cromatica, e un aumento della sensibilità al contrasto.

## **Bibliografia.**

- 1- *Fisiologia umana, un approccio integrato*; Dee U. Silverthorn; 2013; Pearson.
- 2- *Dispense corso tecniche fisiche per l'optometria I, II, III*; P. Carelli; Università Federico II
- 3- <https://www.amedeolucente.it/pdf/Dispensa-anatomia.pdf>.
- 4- [http://www.treccani.it/enciclopedia/fototrasduzione\\_\(Dizionario-di-Medicina\)/](http://www.treccani.it/enciclopedia/fototrasduzione_(Dizionario-di-Medicina)/).
- 5- *Optometria A-Z, dizionario di scienza, tecnica e clinica della visione*; L. Lupelli; 2014; Medical Books.
- 6- *Optics of the human eye*; D. Atchison e G. Smith; 2000; Butterworth Heinemann.
- 7- *Manuale di optometria e contattologia*; A. Rossetti e P. Gheller; II ediz; 2003; Zanichelli.
- 8- [http://www.repubblica.it/salute/medicina/2011/10/26/news/miopia\\_aperto-23869200/](http://www.repubblica.it/salute/medicina/2011/10/26/news/miopia_aperto-23869200/).
- 9- [http://www.optikon.com/files/files/articles/2013/aberrazioni\\_ottiche.pdf](http://www.optikon.com/files/files/articles/2013/aberrazioni_ottiche.pdf)
- 10- <http://www.ejournalofophthalmology.com/ejo/ejo61.html>
- 11- <http://jov.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2191990>

## **Ringraziamenti.**

In primis vorrei ringraziare il mio relatore di tesi, il professore Paolo Carelli, una persona da stimare e da imitare, per il lavoro che svolge con tanta professionalità e soprattutto con grande passione, le stesse che trasmette quando è a contatto con noi studenti; senza la sua pazienza e la costanza con la quale mi ha seguito in questo lavoro non avrei saputo andare incontro alle mille difficoltà di questo percorso.

In seguito i ringraziamenti più importanti vanno alle persone più care, in particolare ai miei genitori, Roberto e Maria Luisa, e ai miei fratelli, Giusy e Salvatore, che mi hanno sempre spronato a dare il meglio in qualsiasi occasione e che hanno sempre creduto in me, anche quando le circostanze mi hanno portato a non farlo... è soprattutto a voi che dedico questo traguardo!

Ringrazio tutti i colleghi conosciuti in sede universitaria, poiché l'università senza di loro non sarebbe stata la stessa... grazie a voi per tutte le esperienze condivise!

Un doveroso ringraziamento va, infine, a colleghi, amici e parenti, che con grande pazienza hanno accettato di sottoporsi alla sperimentazione che ha portato alla redazione di questo elaborato.

A VOI TUTTI... GRAZIE!