



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI FISICA E ASTRONOMIA "GALILEO GALILEI"

CORSO DI LAUREA IN OTTICA E OPTOMETRIA

TESI DI LAUREA

## **OTTICA DELL'OFTALMOSCOPIO DIRETTO**

Relatore: Prof. Michele Merano

Laureanda: Paola Bozzetto

Matricola: 1119520

Anno accademico 2019-2020



# Indice

Introduzione.....pag. 1

## Capitolo I. Introduzione all'oftalmoscopio diretto

- 1.1 Excursus storico sull'oftalmoscopio.....pag. 3
- 1.2 I primi oftalmoscopi.....> 5
- 1.3 L'oftalmoscopio moderno: diretto e indiretto.....> 7
- 1.4 L'impiego dell'oftalmoscopio nell'ambito optometrico..... > 8

## Capitolo II. Funzionamento generale dell'oftalmoscopio diretto

- 2.1 Aspetto generale dell'oftalmoscopio diretto.....pag. 11
- 2.2 I sistemi dell'oftalmoscopio: struttura e funzionamento.....> 14
- 2.3 I fattori che potrebbero condizionare l'oftalmoscopia.....> 17

## Capitolo III. L'occhio come sistema ottico

- 3.1 Il sistema ottico dell'occhio.....pag.19
- 3.2 I punti cardinali dei sistemi ottici.....> 21
- 3.3 L'occhio schematico.....> 22
- 3.4 I difetti visivi.....> 23

## Capitolo IV. Descrizione dell'ottica dell'oftalmoscopio diretto

- 4.1 L'oftalmoscopio diretto e i difetti di rifrazione.....pag. 25
- 4.2 L'oftalmoscopio diretto fra due ametropi.....> 26
- 4.3 L'ingrandimento dell'oftalmoscopio diretto.....> 27
- 4.4 Ruolo della pupilla.....> 32

Conclusioni.....pag. 34

Bibliografia.....pag. 35



# Introduzione

Da sempre mi incuriosisce il meccanismo che si nasconde dietro al funzionamento delle cose, dagli strumenti musicali agli strumenti ottici, passando per i robot da cucina.

Con questa tesi ho potuto cogliere l'opportunità di approfondire il funzionamento dell'oftalmoscopio diretto, strumento essenziale nella primary care odierna, in quanto permette di osservare il fondo oculare.

La tesi inizia percorrendo l'exkursus storico che ha portato alla nascita dell'oftalmoscopio diretto che viene utilizzato attualmente in ambito optometrico. Successivamente, tratta il funzionamento dello strumento con alcuni cenni all'occhio inteso come sistema prettamente ottico e al concetto di occhio schematico. Infine, affronta l'ottica dell'oftalmoscopio diretto con i suoi vantaggi e limiti.

Lo scopo della tesi è quello di analizzare l'ottica dell'oftalmoscopio diretto, prendendo in considerazione anche i diversi fattori che possono compromettere la riuscita dell'esame del fondo oculare. I fattori possono essere legati allo strumento e/o all'occhio.

Trovo che sia utile studiare il procedimento che sta dietro alla funzione di questo strumento, perchè capire com'è fatto permette poi di poter utilizzarlo in modo più opportuno nella pratica optometrica.



# Capitolo I. Introduzione all'oftalmoscopio diretto

## 1.1 Excursus storico sull'oftalmoscopio

L'oftalmoscopio nasce dalla curiosità di scoprire cosa ci fosse al di là delle pupille degli occhi. Questo aspetto particolare suscitava un grande interesse, e tra il XVIII e il XIX secolo venivano condotti diversi studi con l'obiettivo di individuare il motivo per cui le pupille umane appaiono solitamente nere, mentre gli occhi di alcuni animali (per esempio cani e gatti) talvolta sembrano luminosi. Inizialmente, si riteneva che gli occhi di questi animali avessero la facoltà intrinseca di poter generare luce, ma successivamente si è dimostrato che tale capacità è dovuta all'esistenza di uno strato posto dietro la retina <sup>(1)</sup>. Si tratta di un tessuto riflettente che si chiama *tapetum lucidum* e si pensa che rifletta la luce che non è stata assorbita dai fotorecettori, restituendola ai fotorecettori e dando così loro una seconda possibilità di percepire la luce <sup>(2)</sup>.

Gli occhi umani sono sprovvisti di questo particolare strato, e di conseguenza la retina umana risulta meno riflettente. Pertanto, sarebbe necessaria una fonte di luce molto luminosa che penetri nell'occhio per poter vedere abbastanza luce che esce. In secondo luogo, l'occhio (e la testa) dell'osservatore bloccano i raggi di luce che illuminano la parte della retina che si sta cercando di osservare. Cerchiamo di spiegare quest'aspetto nel dettaglio. Innanzitutto, consideriamo l'occhio di un soggetto accomodato su uno schermo ampio e luminoso e supponiamo che l'occhio dell'osservatore non sia presente. Essendo il soggetto accomodato, i raggi di luce dello schermo vengono messi a fuoco sulla retina. Quindi, la retina del soggetto riflette la luce che torna indietro verso lo schermo seguendo lo stesso percorso dei raggi che entrano. Ora, subentra l'osservatore che pone l'occhio in posizione in modo per osservare la retina del soggetto. I raggi dello schermo lungo l'asse di visione saranno bloccati dalla presenza di chi osserva, quindi sarà impossibile vedere la retina perché non è illuminata.

Da queste osservazioni, si riteneva che fosse praticamente remota la

possibilità di poter ispezionare l'occhio al di là della pupilla.



Figura 1. Foto di un occhio normale in condizioni normali e si denota che la pupilla è nera

A metà del XIX secolo, diversi scienziati avevano notato che l'occhio umano può apparire luminoso in determinate circostanze: quando la fonte di luce che illumina l'occhio del soggetto è adiacente all'occhio dell'osservatore e gli occhi del soggetto e quello dell'osservatore sono distanti. Si può spiegare in questo modo: il soggetto che viene osservato è emmetrope e accomodato all'infinito, quindi i raggi di luce riflessi dall'occhio sono paralleli. La maggior parte dei raggi riflessi dall'occhio del soggetto tornerà indietro verso la sorgente luminosa, ma alcuni raggi paralleli entreranno nell'occhio dell'osservatore. Per questa ragione, la retina del soggetto apparirà luminosa nell'occhio dell'osservatore.

Si può osservare questo fenomeno anche scattando fotografie con il flash. Spesso gli occhi di chi viene fotografato appaiono rossi. Il motivo è dovuto al fatto che l'illuminazione (il flash) e il sistema di visualizzazione (gli obiettivi della fotocamera) sono vicini tra loro e relativamente distanti dal soggetto. Questa descrizione esprime chiaramente e immediatamente l'idea che ha portato all'invenzione dell'oftalmoscopio: l'asse di illuminazione e l'asse di osservazione dell'osservatore devono essere il più vicino possibile <sup>(1)(3)</sup>.

Il colore arancio-rosso, che si nota negli occhi, è dovuto alla forte vascolarizzazione della retina <sup>(4)</sup>.



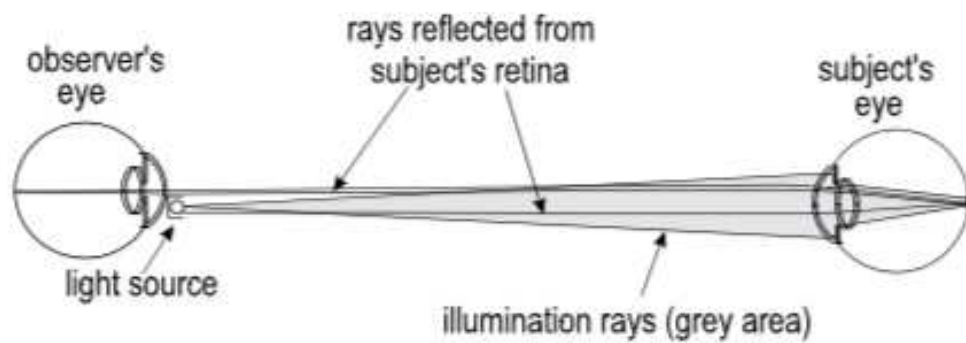


Figura 2. Come un occhio appare luminoso quando l'asse di osservazione è vicino all'asse di illuminazione



Figura 3. Un paio di occhi colpiti da un flash di una macchina fotografica

## 1.2 I primi oftalmoscopi

I primi pratici oftalmoscopi consistevano proprio nell'avere l'asse di osservazione dell'osservatore e l'asse di illuminazione vicini mediante l'ausilio di specchi o lastre di vetro.

L'invenzione dell'oftalmoscopio è attribuita a Charles Babbage (1847), ma la determinazione della tecnica è opera di Hermann von Helmholtz (1851). L'oftalmoscopio di Babbage era semplicemente un pezzo di specchio con un foro centrale d'argento. La luce proveniente da una fonte (una fiamma a gas) viene riflessa dallo specchio verso l'occhio del soggetto. Parte del raggio attraversa il buco nello specchio, ma non penetra nell'occhio dell'osservatore o del soggetto. La luce riflessa dalla retina del soggetto

ritorna lungo l'asse dell'illuminazione, ma attraversa il piccolo foro nello specchio fino all'occhio dell'osservatore. In sostanza, lo specchio con piccolo foro consente l'illuminazione e gli assi di visualizzazione per coincidere. L'immagine della retina del soggetto è formata direttamente sulla retina dell'osservatore (non vi è alcuna immagine intermedia nell'aria) e, per questo motivo, l'oftalmoscopio è stabilito come un oftalmoscopio diretto <sup>(1)</sup> <sup>(5)</sup>.

Da questa descrizione possiamo dedurre come questo oftalmoscopio, così composto, non risulti particolarmente maneggevole.

Nel 1851, il fisico tedesco Hermann von Helmholtz descriveva in dettaglio i principi ottici coinvolti nell'oftalmoscopia e la costruzione di oftalmoscopio pratico (in tedesco *Augen-spiegels*) ed è riconosciuto come l'inventore dell'oftalmoscopio diretto <sup>(6)</sup>.

In seguito, nel 1915 Francis A. Welch e William Noah Allyn inventavano il primo oftalmoscopio a luce diretta portatile al mondo, precursore del dispositivo ora utilizzato dai medici, optometristi, ottici di tutto il mondo.

Il perfezionamento e aggiornamento continuo e costante ha permesso all'oftalmoscopia di diventare una delle tecniche di screening medico (primary care) più diffuse al mondo oggi <sup>(7)</sup>.

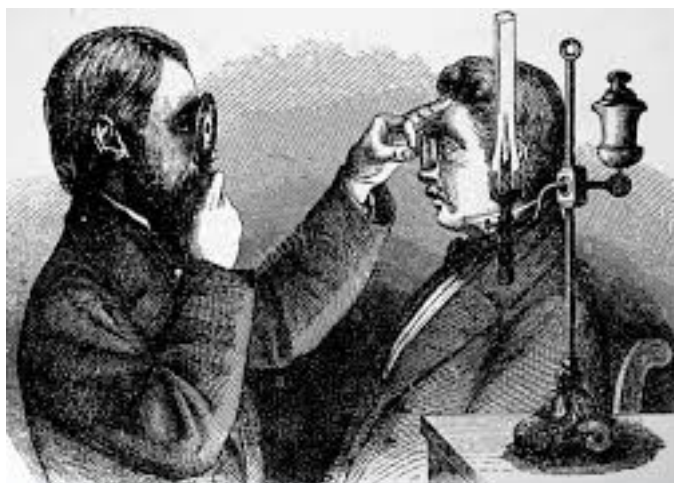


Figura 4. Il primo oftalmoscopio di Helmholtz aveva come fonte di luce una lampada a petrolio, collocata accanto alla testa del paziente. La luce della lampada viene indirizzata verso l'occhio del paziente con uno specchietto forato al centro, per poter consentire all'osservatore di vedere il fondo del paziente.

### 1.3 L'oftalmoscopio moderno: diretto e indiretto

Lo strumento, che permette di vedere l'interno dell'occhio, si chiama oftalmoscopio perché è dato dalla composizione di due parole derivanti dal greco, *ophthalmos*, occhio e *skopion*, un mezzo per vedere che nell'insieme suggerisce "visione dell'occhio" <sup>(8)</sup>.

L'oftalmoscopio si suddivide in due varianti: diretto e indiretto.

L'attuale oftalmoscopio diretto consta in un semplice sistema di illuminazione in grado di permettere l'osservazione dell'area illuminata dalla stessa posizione. È presente un sistema che trasmette la radiazione illuminante all'interno della pupilla attraverso un semplice specchio (piano o concavo) forato al centro, o mediante il prisma di May, che permette l'osservazione appena sopra l'apice del prisma, o ancora con uno specchietto inclinato che permette un'osservazione simile.

In genere, lo strumento dispone di un disco di lenti (negative e positive), detto di Rekoss, per neutralizzare l'ametropia del soggetto e fornire un'immagine nitida del fondo. L'oftalmoscopio diretto permette un notevole ingrandimento (<15x), con un campo di osservazione limitato al centro. L'immagine del fondo oculare da esso ottenuto è diritta, con i lati non invertiti.

Questo strumento può comprendere diversi diaframmi per il controllo dell'illuminazione: il diaframma circolare, adatto per l'osservazione generale, in quanto la sua dimensione approssima quella del disco papillare; e il diaframma del filtro verde (detto "rosso-privo"), accoppiabile con altri diaframmi, il quale permette di osservare i vasi con maggior contrasto. Nel capitolo 2, saranno analizzati nel dettaglio l'oftalmoscopio diretto e i vari elementi che lo compongono e di come nell'insieme permettano di ispezionare il fondo oculare dal punto di vista ottico.

L'oftalmoscopio indiretto, invece, è solitamente strutturato in un caschetto e nella maggior parte delle volte è binoculare e questo permette una maggiore libertà nel movimento e una maggiore percezione di profondità.

Esso è composto da: un sistema d'illuminazione potente, sistema di osservazione coassiale e una lente positiva (da +13D a +20D o +30D) che va posta a pochi centimetri dall'occhio. L'immagine del fondo che si ottiene risulta capovolta e con i lati invertiti. L'ingrandimento è 2-4x, minore rispetto a quello dell'oftalmoscopio diretto. Questo strumento permette di valutare l'intero fondo oculare, compresa la periferia retinica, che non è possibile ispezionare con quello di tipo diretto. Inoltre, per attuare l'oftalmoscopia indiretta la pupilla deve essere in midriasi (ampia apertura), che si ottiene con l'instillazione di un collirio midriatico. Per questo motivo, lo strumento rimane ad esclusivo uso medico <sup>(9)</sup>.

#### 1.4 L'impiego dell'oftalmoscopio nell'ambito optometrico

L'oftalmoscopio è uno strumento essenziale per l'oftalmoscopia, esame del fondo oculare, che dovrebbe essere sempre presente all'interno di un esame optometrico di routine (primary care). Un esame optometrico base è composto da vari steps: anamnesi, esame preliminare e complementare, valutazione oculare, valutazione visiva e all'interno della valutazione oculare troviamo l'oftalmoscopia. Essa permette di individuare diversi aspetti del fondo oculare che sono:

- Colore del fondo oculare: solitamente si presenta sulle gradazioni del rosso-arancio e se il soggetto è di giovane età risulta anche lucente. La colorazione deve essere uniforme e dipende dalla distribuzione della pigmentazione fra cornea e coroide.
- Papilla: deve presentare una forma rotonda di diametro 1,5 mm o ovale. All'interno si trova un'escavazione, ovvero una depressione centrata che solitamente è giallastra o bianca. Essa rappresenta il 20-40% del diametro totale della papilla e i vasi sanguigni che l'attraversano devono essere ben visibili. È importante determinare la profondità e la dimensione dell'escavazione. Non vanno trascurati nemmeno i bordi della papilla, i quali devono essere ben definiti. Si deve ricordare che la papilla rappresenta la testa del nervo ottico.

- **Macula:** si distingue dal fatto che è leggermente scura rispetto al resto del fondo oculare. All'interno di essa troviamo la fovea ed è visibile come un riflesso al centro della macula. Si tratta di una zona avascolare. Il riflesso foveale è molto mobile ed è dato dalla concavità fisiologica della fovea.
- **Vasi:** le arterie hanno una colorazione più chiara e rossa delle vene e sono più sottili delle vene. Il loro decorso non deve essere tortuoso.

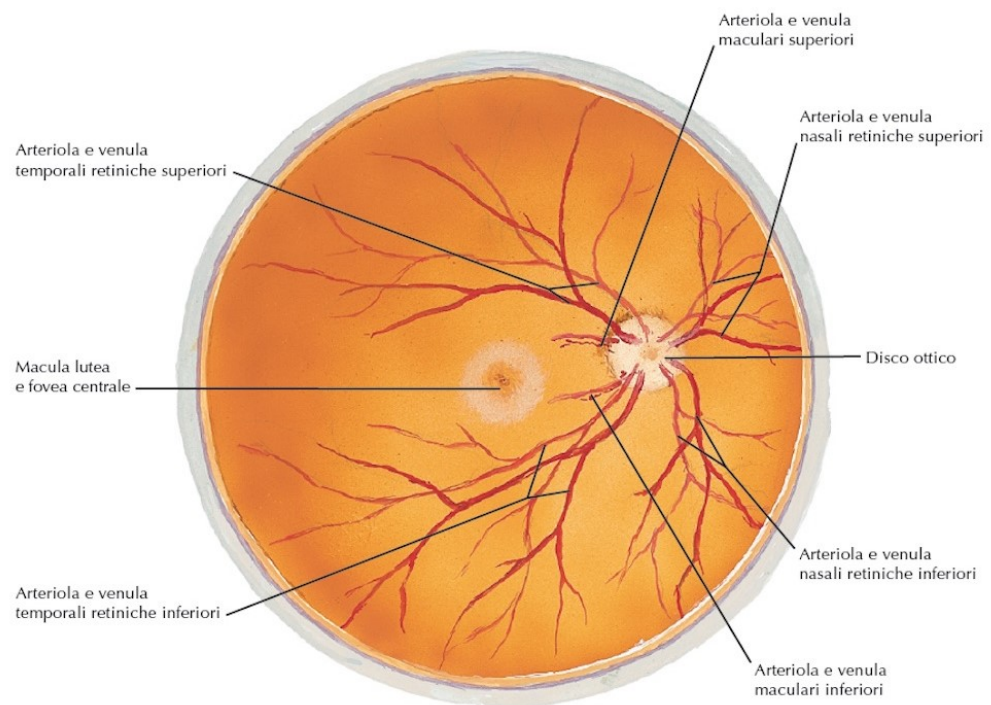


Figura 5. Veduta oftalmoscopica di un fondo oculare

Per quanto riguarda l'oftalmoscopia, l'optometrista è responsabile dell'identificazione di qualsiasi condizione anomala presente nel fondo oculare, ma non della qualificazione e quantificazione. Un'oftalmoscopia è buona, ovvero priva di anomalie, quando i mezzi sono trasparenti, la papilla è ben definita, l'escavazione papillare è fisiologica, il fondo oculare non presenta essudati, lesioni o emorragie e ha una colorazione omogenea, la distribuzione delle vene e arterie è normale come il loro rapporto. Ogni anomalia che viene rilevata va segnalata al medico oculista per un'analisi e diagnosi accurata <sup>(10)</sup> <sup>(11)</sup>.

Non ci si soffermerà su questi aspetti osservabili con l'oftalmoscopio diretto e sull'aspetto diagnostico a carico dell'optometrista, in quanto lo scopo della tesi è la comprensione dell'ottica dell'oftalmoscopio diretto, ovvero come si riesca a vedere tutto ciò che sta all'interno dell'occhio mediante un meccanismo composto da illuminazione e lenti.

## Capitolo II. Funzionamento generale dell'oftalmoscopio diretto

In questo capitolo ci occuperemo del funzionamento generale dell'oftalmoscopio diretto partendo da una descrizione complessiva dello strumento, per poi seguire con una descrizione dei vari elementi all'interno dei sistemi che lo compongono. Successivamente, ci si soffermerà su come questi elementi dell'oftalmoscopio permettano il suo funzionamento.

### 2.1 Aspetto generale dell'oftalmoscopio diretto

L'oftalmoscopio diretto odierno è uno strumento portatile e auto-illuminante che può essere alimentato a batteria o tramite rete elettrica <sup>(8)</sup>.

Come già accennato nel capitolo 1, il funzionamento dell'oftalmoscopio diretto si basa principalmente sul fatto che l'asse di illuminazione e di osservazione sono molto vicini fra loro. Per riuscire a collocare questi due assi vicini, un piccolo specchio inclinato di 45° (o un piccolo prisma) viene posizionato appena sotto e adiacente all'apertura di visualizzazione, costituita da un foro, di circa 3 mm di diametro. Questa sistemazione di specchio e apertura visiva è resa possibile grazie alla presenza di una lampada a incandescenza elettrica che permette alla sorgente di luce di essere fisicamente vicino all'occhio di chi osserva.

Di solito, l'oftalmoscopio è dotato di due rotelle zigriate. Una è generalmente posta orizzontalmente rispetto allo strumento e consente all'optometrista di regolare il diametro, la forma e il colore del raggio di illuminazione. L'altra rotella, detta anche disco di Rekoss, posta verticalmente permette di inserire obiettivi "compensativi" dietro l'apertura di visualizzazione, ma davanti all'occhio di chi osserva. L'oftalmoscopio è, quindi, costituito da due costituenti principali: un sistema di visualizzazione e un sistema di illuminazione <sup>(1)(12)</sup>.

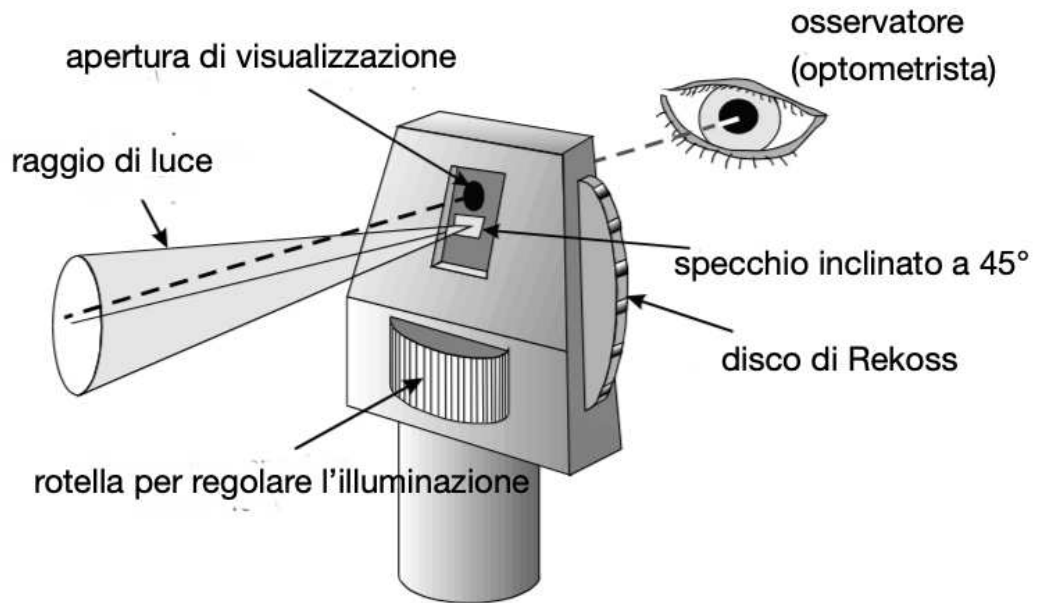


Figura 6. Disegno che mostra le caratteristiche principali di un oftalmoscopio diretto



Figura 7. Foto di un oftalmoscopio ottico diretto alimentato a batteria



1. Brow rest: il “poggia sopracciglia” in genere preme delicatamente contro la fronte o gli occhiali del praticante per consentirgli una migliore visualizzazione
2. Lens Wheel (disco di Rekoss): la rotella permette di inserire la lente per modificare il punto focale al fine correggere un eventuale ametropia del paziente. In genere, un oftalmoscopio offre 17-28 obiettivi lenti, le quali sono positive e negative.
3. Apertura di visualizzazione: consente all'osservatore di guardare l'occhio del paziente
4. Finestra dell'obiettivo illuminato: mostra l'obiettivo del fascio di luce selezionato al professionista.
5. Testa dell'oftalmoscopio: all'interno troviamo una lampadina a illuminazione alogena o a LED per una luce bianca brillante.
6. Power Switch (interruttore di alimentazione): in genere hanno un semplice interruttore di accensione/spegnimento (on/off), ma possono disporre di un interruttore ad alimentazione reostatica per consentire il controllo dell'intensità della luce.
7. Battery handle: lo strumento può essere alimentato a corrente alternata, batteria ricaricabile o alcalina. Le tensioni tipiche sono 2,5 V e 3,5 V.
8. Selezione dell'apertura: una seconda ruota della testa dell'oftalmoscopio posta verticalmente rispetto allo strumento consente di selezionare l'apertura di visualizzazione <sup>(13)</sup><sup>(14)</sup>.

## 2.2 I sistemi dell'oftalmoscopio, struttura e funzionamento

Una volta studiate le componenti, si andrà ad analizzare come esse interagiscono l'una con l'altra. Per semplificare la spiegazione della configurazione dello strumento, le varie componenti saranno raggruppate nei due sistemi cardini dell'oftalmoscopio diretto, ovvero sistema di illuminazione e sistema di osservazione <sup>(9)</sup>.

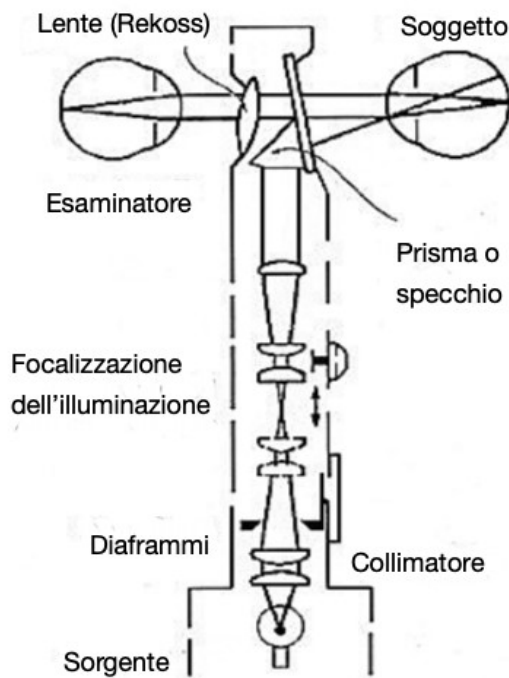


Figura 8. Rappresentazione schematica dell'oftalmoscopio (questo è ciò che troviamo all'interno della testa dell'oftalmoscopio)

La struttura dell'oftalmoscopio ottico diretto è data da due sistemi:

- Sistema di illuminazione che è costituito da una lampada a incandescenza elettrica (sorgente), un'apertura (posta orizzontalmente rispetto allo strumento), due lenti e un piccolo specchio inclinato a  $45^\circ$  (che talvolta può essere sostituito da un prisma). Questo sistema consente di indirizzare la luce all'occhio del paziente.

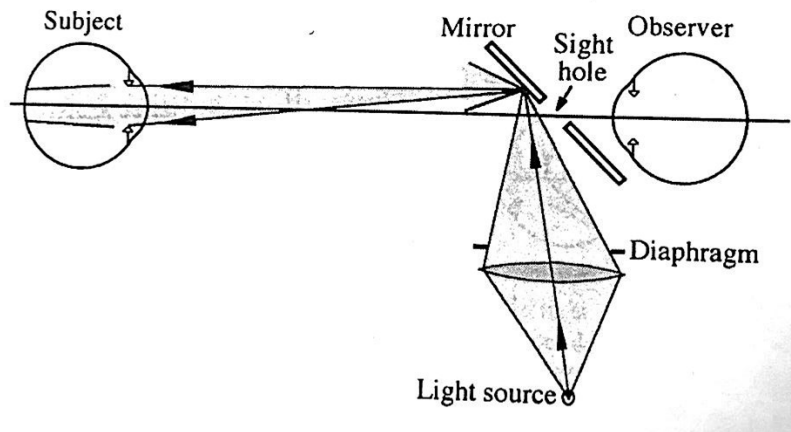


Figura 9. Rappresentazione schematica di un sistema di illuminazione di un oftalmoscopio

- Sistema di osservazione che è determinato da due occhi (occhio dell'osservatore che può essere un medico, un ottico o un optometrista e del paziente di cui si va a ispezionare la retina), un'apertura e lente compensativa montata sul disco di Rekoss, il quale è posto in modo verticale rispetto allo strumento. Questo sistema permette all'osservatore di vedere la luce riflessa dal soggetto e di conseguenza la retina illuminata.

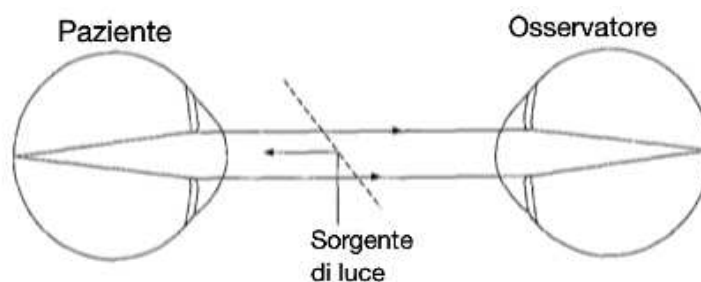


Figura 10. Rappresentazione schematica di un sistema di osservazione di un oftalmoscopio in cui l'osservatore e il paziente sono entrambi emmetropi.

Una volta ben chiaro l'assemblaggio dei due sistemi, possiamo andare a studiare il funzionamento dell'oftalmoscopio osservando con attenzione la figura 11, dove troviamo lo strumento raffigurato in sezione trasversale.

All' interno del sistema di illuminazione, i raggi luminosi vengono emessi dalla lampada. Essi raggiungono la lente 1, dalla quale risultano leggermente convergenti. Questi raggi vengono focalizzati dalla lente 2, in

modo tale che un'immagine del filamento della lampada venga successivamente prodotta sullo specchio. L'apertura posta tra le lente 1 e la lente 2 consente di inserire forme o colori di illuminazione diversi. Essa è posizionata nel fuoco della lente 2, in modo tale che l'apertura sia a fuoco sulla retina del soggetto (almeno per quanto riguarda un emmetrope). Ciò significa che l'osservatore vedrà un disco di luce ben focalizzato sulla retina del paziente quando utilizza una delle aperture circolari. Poiché c'è un'immagine del filamento sullo specchio, è come se il filamento della lampada fosse posto direttamente sullo specchio e possiamo pensare che i raggi di luce provengano da quel punto. I raggi di luce provenienti dallo specchio divergono, formando un fascio di raggi a forma di cono che entra nell'occhio del soggetto. Il fascio di luce attraversa la cornea e la camera anteriore, alcuni raggi vengono fermati dall'iride, mentre altri passano attraverso la pupilla e si dirigono verso la retina.

Il sistema di osservazione è strettamente collegato al fascio di raggi che penetra l'occhio, ovviamente senza il quale non ci può essere alcun esame del fondo oculare. Una volta acceso lo strumento e messo in funzione il sistema di illuminazione, un fascio di raggi entra all'interno dell'occhio e raggiunge una piccola area della retina. La luce proveniente da quest'area illuminata viene riflessa in tutte le direzioni, ma solo alcuni dei raggi riflessi passano attraverso il cristallino, la pupilla e la cornea verso l'esterno. L'occhio del soggetto considerato nella figura 11 è emmetrope, quindi i raggi da qualsiasi punto particolare nell'area illuminata sono paralleli quando escono dalla cornea. Alcuni di questi raggi paralleli intersecano lo specchio dell'oftalmoscopio e si disperdono, mentre altri transitano attraverso l'apertura di visualizzazione. Le lenti di compensazione di piccolo diametro, montate all'interno del disco di Rekoss, sono posizionate proprio dietro l'apertura di visualizzazione. Queste lenti si comportano esattamente come le lenti per occhiali e permettono all'osservatore di mettere a fuoco l'immagine dalla retina del soggetto, qualora non fosse emmetrope. Successivamente studieremo l'ottica del sistema di visualizzazione, ovvero cosa succede quando un paziente è miope <sup>(1)</sup><sup>(12)</sup>.

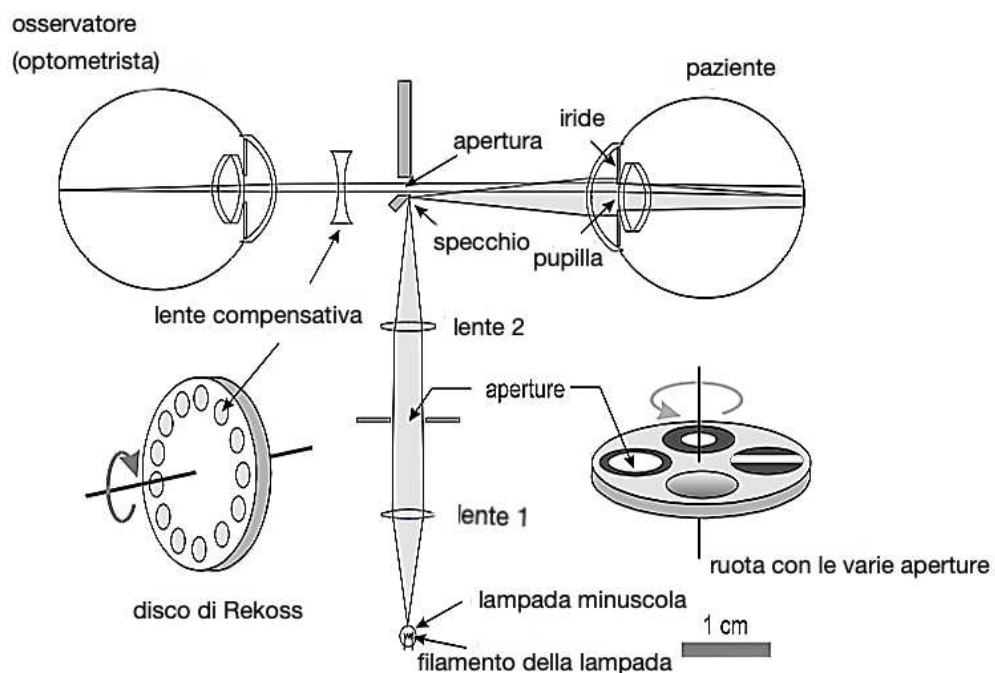


Figura 11. Disegno dettagliato della struttura complessiva dell'oftalmoscopio ottico diretto.

## 2.3 I fattori che potrebbero condizionare l'oftalmoscopia

Dal funzionamento dello strumento si può facilmente dedurre che per riuscire a osservare bene la retina di una persona sono necessarie alcune condizioni:

- ◆ Il fondo oculare di chi viene ispezionato deve essere ben illuminato.
- ◆ La luce proveniente dal fondo illuminato quando esce dall'occhio deve poter entrare nell'occhio dell'osservatore.
- ◆ Deve essere presente un sistema ottico che consenta di focalizzare il fondo del soggetto sulla retina dell'osservatore <sup>(8)</sup>.

Non è sempre possibile osservare il fondo oculare, in quanto si deve tenere conto di alcuni fattori che potrebbero condizionare la mancata riuscita dell'esame dell'oftalmoscopia. Questi fattori possono riguardare lo strumento, per esempio il diametro del cono del fascio di luce o l'intensità

luminosa, oppure l'anatomia dell'occhio del paziente, come il diametro pupillare o eventuale ametropia.

Ora saranno accennati solo alcuni di questi fattori, i quali insieme ad altri saranno esaminati nella loro completezza nel capitolo 4, in cui si tratterà della descrizione dell'ottica dell'oftalmoscopio.

Si dimostrerà che sono principalmente tre i fattori che interferiscono con la dimensione dell'area retinica illuminata. Essi sono il diametro pupillare dell'occhio di colui che viene osservato, la distanza fra oftalmoscopio e occhio e la dimensione del cono del fascio di raggi diffuso dallo strumento. Importante è conoscere l'eventuale ametropia del paziente, solo se il soggetto è emmetrope il sistema di visualizzazione non necessita di alcuna lente compensativa, qualora il soggetto non fosse emmetrope occorre avvalersi dell'uso di una lente compensativa, che nella maggior parte dei casi si ricava dal disco di Rekoss già inserito all'interno dell'oftalmoscopio. Un altro fattore che può comportare qualche disturbo nell'osservazione del fondo oculare è il riflesso corneale. Quest'ultimo rappresenta uno dei limiti dell'oftalmoscopio diretto. Il riflesso corneale può oscurare la porzione di fondo che si sta tentando di osservare. Esso ha origine dai raggi luminosi emessi dall'oftalmoscopio che vengono riflessi dalla cornea. Infatti, quando il cono di illuminazione dell'oftalmoscopio è centrato sulla cornea, una parte della luce viene riflessa dalla cornea, che appare all'osservatore come una luce intensa al centro della pupilla del soggetto <sup>(1)</sup>(6).

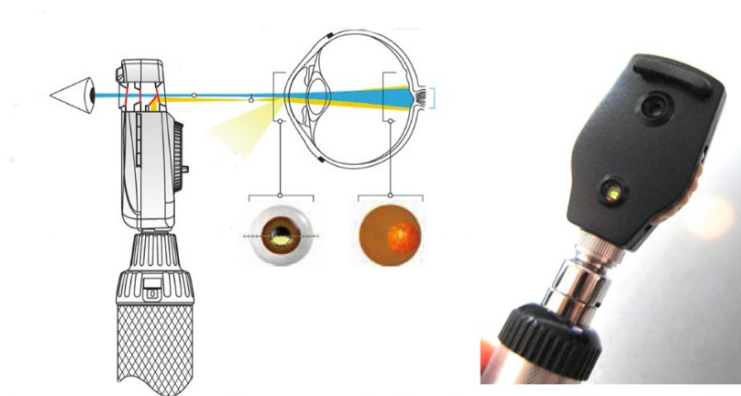


Figura 12. L'oftalmoscopio proietta il fascio di luce all'interno dell'occhio, parte della luce viene riflessa dalla cornea, come viene mostrato in figura.

## Capitolo III. L'occhio come sistema ottico

Prima di affrontare la descrizione dell'ottica dell'oftalmoscopio diretto, è bene descrivere com'è l'occhio inteso come sistema prettamente ottico e quali sono i difetti principali che può presentare.

### 3.1 Il sistema ottico dell'occhio

Un sistema è definito ottico quando è costituito da una serie di superfici rifrangenti (superfici di separazione tra mezzi diversi) e di superfici riflettenti di forma qualsiasi. Quando un sistema ottico è dato solo da superficie rifrangenti è detto diottrico, mentre è denominato catottrico se è formato esclusivamente da superficie riflettenti. Possiamo definire l'occhio come un sistema diottrico oculare, in quanto è costituito da un insieme di strutture trasparenti dalla radiazione luminosa: cornea, umore acqueo, cristallino e corpo vitreo. Esso ha la funzione di dirigere e focalizzare sulla retina le immagini del mondo esterno. Inoltre, il sistema ottico dell'occhio ha la proprietà di essere centrato, e questo significa che le strutture rifrangenti che compongono l'occhio hanno un asse di simmetria, chiamato asse ottico del sistema <sup>(15)</sup> <sup>(16)</sup>.

È possibile paragonare l'occhio a una macchina fotografica in questo modo: nell'occhio le lenti convergenti sono rappresentate dalla cornea (superficie sferica con un potere diottrico di circa 43 diottrie) e dal cristallino (lente biconvessa con un potere diottrico di 14 diottrie), esse possono essere paragonate all'obiettivo di una macchina fotografica che fa convergere i raggi luminosi sulla retina; la pupilla si rimpicciolisce e si dilata in base all'intensità della luce e quindi può essere comparata al diaframma di una macchina fotografica; infine, la retina può essere paragonata allo schermo sul quale si formano le immagini. Pertanto, l'occhio possiede un sistema di messa a fuoco automatico, regola l'intensità luminosa, ha la capacità di seguire le immagini e una sofisticata capacità di analisi.

L'occhio è in grado di mettere a fuoco oggetti posti a distanze diverse grazie all'accomodazione, che è la capacità del cristallino di modificare il suo

potere diottrico in modo da consentire la messa a fuoco sul piano retinico di oggetti posti a diverse distanze. Solitamente un occhio normale è capace di dare immagini nitide di oggetti posti tra l'infinito, punto remoto, e il punto prossimo, posto a circa  $d=25$  cm dall'occhio.

Il punto prossimo dell'occhio è la distanza minima dall'occhio a cui si può trovare un oggetto che forma un'immagine nitida sulla retina. Quando un oggetto si trova nel punto prossimo, i muscoli ciliari sono completamente contratti. Per una persona di giovane età il punto prossimo è posizionato a circa 25 cm dall'occhio. Questa distanza accresce sensibilmente con l'età: diviene di circa 50 cm a quarant'anni e di circa 500 cm a sessant'anni. Invece, il punto remoto dell'occhio è la distanza massima a cui può trovarsi un oggetto per essere messo a fuoco da un occhio completamente a riposo. Le persone con una vista normale riescono a vedere oggetti molto lontani, come i pianeti e le stelle, per questa ragione si dice che il loro punto remoto è posto all'infinito <sup>(11) (17) (18)</sup>.

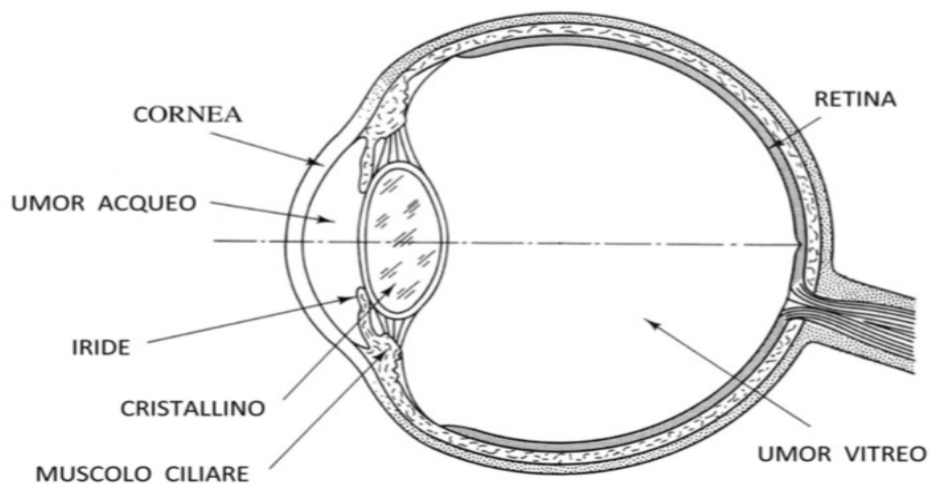


Figura 13. Il sistema diottrico oculare, composto dalla cornea, dall'umore acqueo, dal cristallino e dall'umore vitreo.



### 3.2 I punti cardinali dei sistemi ottici

Un sistema ottico mostra dei punti cardinali, i quali sono i punti focali  $F$  e  $F'$  (detti anche fuochi), i punti principali  $P$  e  $P'$ , e i punti nodali  $N$  e  $N'$ .

Prima di affrontare le caratteristiche di questi punti, ricordiamo la definizione di oggetto e immagine nel contesto dell'ottica geometrica.

Oggetto è quell'elemento da cui divergono o convergono i raggi incidenti sul sistema ottico. Oggetto è reale nel primo caso, mentre è virtuale nel secondo caso. Immagine è quell'elemento da cui divergono o convergono i raggi trasmessi dal sistema ottico.

$F$  e  $F'$  sono i punti focali primo e secondo (della lente. Nell'occhio, la luce che lascia  $F$  passa attraverso le superficie rifrattive e va all'infinito (se non consideriamo la retina). La luce che viaggia parallela all'asse ottico, proveniente dall'infinito, forma l'immagine su  $F'$ , coincidente con la retina.

Prima di definire i punti principali, vanno definiti i piani principali che sono assi ortogonali all'asse ottico, dove immagine e oggetto hanno le stesse dimensioni. I punti principali  $P$  e  $P'$  sono i punti di intersezione dei piani principali con l'asse ottico (punti da cui si misurano le distanze focali).

I raggi diretti verso il primo punto focale  $P$  fuoriescono dalla lente traslati con la stessa direzione da  $P'$ . Per ogni oggetto posto in uno dei due punti principali si formerà un'immagine della stessa dimensione nell'altro punto principale.

Invece, i punti nodali  $N$  e  $N'$  sono quei punti con la caratteristica per cui un raggio passante per il punto nodale anteriore, ad un dato angolo dall'asse ottico, esce dal punto nodale posteriore con lo stesso angolo (raggi paralleli, non deviati), ossia un raggio che passa attraverso  $N$  compare attraverso  $N'$ .

È indispensabile conoscere le distanze fra i vari punti, dette distanze focali per i calcoli ottici. La distanza dal primo fuoco  $F$  al primo punto principale  $P$  è detta prima distanza focale della lente e si indica con  $f$ , mentre a distanza

tra il secondo punto principale  $P'$  e il secondo fuoco  $F'$  è detta seconda distanza focale della lente e si indica con  $f'$  <sup>(19)</sup> <sup>(20)</sup>.

### 3.3 L'occhio schematico

Gli occhi, come il resto del corpo, possono avere molte variabili individuali che tendono nell'insieme a essere armonici. Qualora venga meno quest'armonia tra i vari elementi, vi possono essere delle influenze sulla capacità del sistema visivo. Per questo motivo sono stati adottati dei modelli di occhio "ideale" da prendere come riferimento per lo studio dell'ottica geometrica e oftalmica.

Per i calcoli di ottica geometrica che saranno svolti sarà utilizzato l'occhio schematico ridotto di Emsley, il quale presenta le seguenti caratteristiche:

- Un'unica superficie refrattiva di +60D (si tratta di un occhio emmetrope)
- Assenza di cristallino
- Unico indice di rifrazione interno  $n=1,333$
- Lunghezza assiale di 22,22 mm
- Raggio curvatura corneale di 5,55 mm

Dalla formula  $P = n / f$  ricaviamo  $f$  (focale anteriore) = - 16,67 mm e la focale posteriore  $f' = 22,22$  mm <sup>(21)</sup> <sup>(22)</sup>.

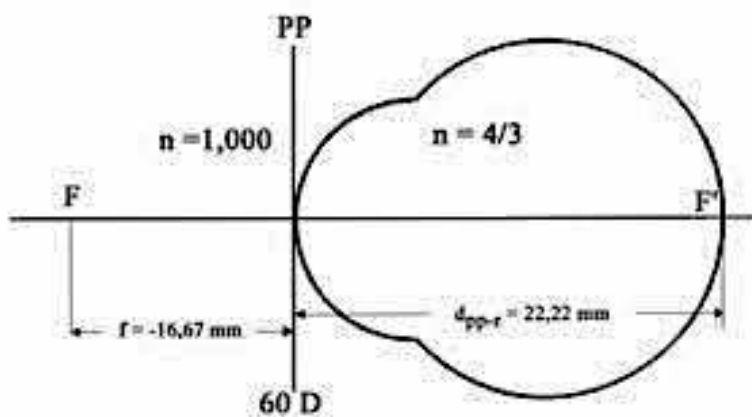


Figura 14.  
Immagine che  
raffigura lo schema  
dell'occhio ridotto di  
Emsley

### 3.4 I difetti visivi

L'occhio schematico rappresenta un modello di occhio emmetrope, che è capace di dare immagini nitide di oggetti posti all'infinito. In un occhio emmetrope, i raggi provenienti da una distanza infinita vanno distintamente a fuoco sulla fovea in condizioni di riposo accomodativo.

Se il punto remoto non è posto all'infinito, l'occhio è ametrope. Le due forme più semplici di ametropia visiva sono la miopia e la ipermetropia. Questi difetti della vista più comuni possono essere dovuti a un'errata correlazione delle varie parti dell'occhio, considerato come sistema ottico.

Nel miope, in condizioni di riposo accomodativo, i raggi luminosi paralleli provenienti da un oggetto posto all'infinito sono focalizzati in un punto anteriore alla retina. La conseguenza è che il punto remoto, cioè il punto più lontano a cui vi è visione nitida senza l'utilizzo di accomodazione è posto a distanza finita. La correzione della miopia prevede l'impiego di lenti divergenti (o negative) che permettono di porre il piano immagine sulla retina.

L'occhio ipermetrope l'occhio è definito "corto" e l'immagine di un oggetto infinitamente distante si forma posteriormente la retina. Con l'adattamento questi raggi paralleli possono essere fatti convergere sulla retina, ma se l'intervallo di adattamento è normale, il punto prossimo sarà più distante di quello relativo di un occhio normale. L'ipermetropia si può correggere con lenti convergenti (o positive) <sup>(19)</sup> <sup>(23)</sup>.

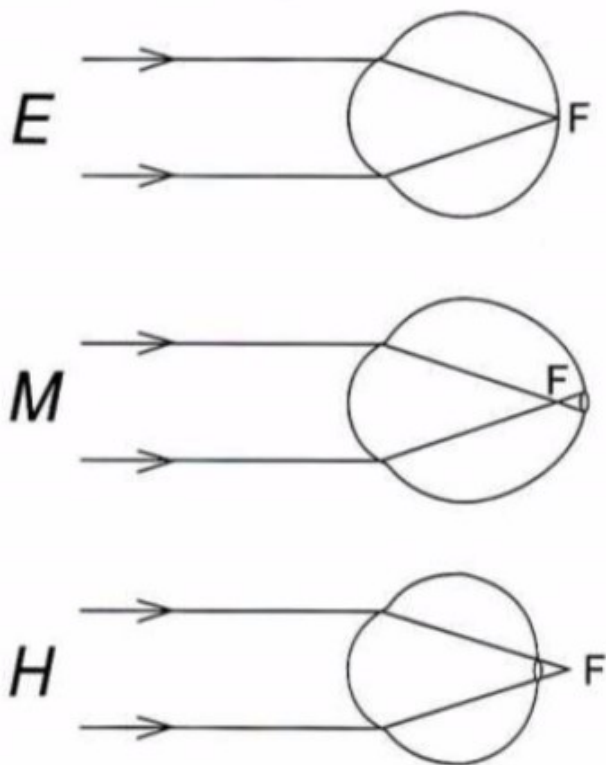


Figura 15. Schematizzazione del punto remoto.

E= emmetrope

M= miope

H= ipermetrope

## Capitolo IV. Descrizione dell'ottica dell'oftalmoscopio diretto

In questo capitolo si illustra l'ottica dell'oftalmoscopio diretto attraverso l'ottica geometrica, branca della fisica che si occupa dei fenomeni ottici in prima approssimazione basandosi su determinate leggi: legge della propagazione rettilinea della radiazione ottica, legge della riflessione e legge della rifrazione. Queste leggi consentono di capire il funzionamento di specchi, prismi e lenti e dei sistemi ottici a essi connessi senza tenere in considerazione l'aspetto ondulatorio della luce (potere di risoluzione e criterio di Rayleigh) <sup>(24)</sup> <sup>(25)</sup>.

Ci concentreremo soprattutto su come funziona l'ottica del sistema di visualizzazione nelle sue variabili.

### 4.1 L'oftalmoscopio diretto e i difetti di rifrazione

Nel capitolo 2, abbiamo detto che la riuscita di una buona oftalmoscopia dipende da una serie di fattori, di cui uno è vincolato dall'eventuale ametropia del paziente. Sappiamo già che colui che viene sotto posto all'esame dell'oftalmoscopio deve essere in condizioni di riposo accomodativo, ovvero con lo sguardo rivolto verso l'infinito (punto remoto). L'esame risulta molto semplice quando sia il paziente e l'optometrista non hanno alcun difetto visivo, ma è frequente che uno o entrambi presentino un difetto di rifrazione. Al fine di facilitare l'esame, l'oftalmoscopio diretto dispone di un disco di lenti per neutralizzare eventuale l'ametropia di colui che viene esaminato. Abbiamo studiato anche che il sistema di visualizzazione dell'oftalmoscopio funziona sulla base di questo meccanismo: i raggi luminosi riflessi dalla retina del soggetto escono paralleli dall'occhio, passano attraverso una lente di compensazione fornita dall'oftalmoscopio ed entrano paralleli nell'occhio dell'osservatore, andando a formare un'immagine della retina del paziente sulla retina dell'osservatore.

Per semplificare la spiegazione ottica del sistema si considera solo un punto sulla retina del paziente, anziché un'area circolare della retina illuminata.

Il disegno in Figura 16 mostra che quando un emmetrope esamina la retina di un emmetrope, non è necessaria alcuna lente di compensazione e che i punti sulla retina del paziente vengono messi a fuoco sulla retina dell'osservatore <sup>(1)</sup>.



Figura 16. Schema ottico del sistema di visualizzazione fra due occhi emmetropi

#### 4.2 L'oftalmoscopio diretto fra due ametropi

Supponiamo, invece, che l'occhio del paziente da esaminare sia ametropo. La luce che arriva all'occhio dell'osservatore, immediatamente dietro la pupilla, sarà convergente o divergente a seconda che il paziente sia miope o ipermetrope. Per neutralizzare l'ametropia del paziente si deve inserire all'interno dell'oftalmoscopio la lente opportuna che non è detto che sia uguale al valore dell'ametropia del paziente, in quanto si deve considerare anche la distanza di osservazione. Infatti, la potenza dell'obiettivo richiesta dall'osservatore dipende dalla distanza  $d$  tra l'occhio del paziente e la lente dell'oftalmoscopio, dall'ametropia del paziente e dall'errore di rifrazione dell'osservatore <sup>(8)</sup>.

Ipotesizziamo che l'occhio del paziente sia vicino alla lente dell'oftalmoscopio, di solito la distanza si aggira sui 2 cm. Presupponiamo anche che l'osservatore sia emmetrope e deve ispezionare la retina di un paziente con miopia. Il sistema di visualizzazione sarà il seguente: i raggi di luce che entrano nell'occhio dell'osservatore vengono messi a fuoco prima di raggiungere la retina, di conseguenza i raggi di luce che escono dall'occhio vengono messi a fuoco in un punto davanti all'occhio noto come "punto remoto". Pertanto, i raggi dell'occhio prima convergono, quindi divergono

una volta oltre il punto remoto. Ciò significa che è necessario utilizzare lenti concave o convesse per rendere i raggi paralleli, a seconda della posizione relativa al punto remoto. Infatti, si è detto che per migliorare questa situazione, il disco di Rekoss dell'oftalmoscopio viene ruotato in modo che davanti all'occhio del soggetto venga posta una lente, così, il fascio di raggi paralleli che esce dall'occhio del paziente, entra nell'occhio emmetrope dell'osservatore e si raccoglie sulla retina, creando un'immagine nitida della retina del paziente <sup>(1)</sup>.

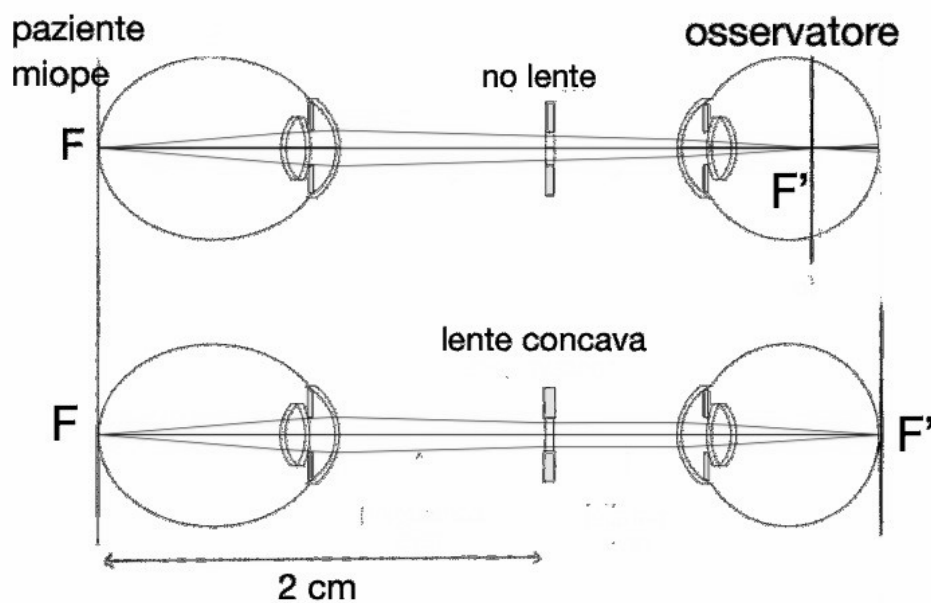


Figura 17. Schema ottico nel caso di un paziente miope, prima senza lente, poi con lente opportuna

### 4.3 Ingrandimento dell'oftalmoscopio diretto

Dalla presentazione iniziale dell'oftalmoscopio ottico diretto sappiamo che il suo ingrandimento ammonta a circa 15X, e ora vediamo come lo strumento riesce a ottenere questo ingrandimento.

Per ingrandimento si intende quel processo che aumenta le dimensioni di un oggetto a livello ottico e non a livello fisico. L'ingrandimento ottico è dato dal rapporto tra la misura apparente e la misura reale di un oggetto, e viene espresso da un numero. Esso si divide in ingrandimento lineare e ingrandimento angolare <sup>(25)</sup>.

Nel caso dell'osservazione della retina, l'ingrandimento viene ricavato confrontando la dimensione dell'area illuminata sulla retina del paziente con la dimensione della sua immagine sulla retina dell'osservatore.

Iniziamo dall'ingrandimento lineare, supponiamo che un osservatore emmetrope osservi la retina di un paziente, anche lui emmetrope. Dallo studio del sistema di visualizzazione sappiamo che l'area illuminata della retina del paziente viene ripresa dalla retina dell'osservatore. In termini ottici, l'area retinica illuminata è l'oggetto corrispondente all'immagine sulla retina dell'osservatore.

Un ingrandimento lineare dell'oggetto e dell'immagine dimostra che sono entrambi alti 1 mm. Esso viene ricavato dal rapporto tra la dimensione dell'immagine e la dimensione dell'oggetto. Troviamo che il rapporto fra l'oggetto e l'immagine è pari a 1.

$$\text{Ingrandimento lineare} = \frac{\text{altezza immagine}}{\text{altezza oggetto}} = \frac{1\text{mm}}{1\text{mm}} = 1$$

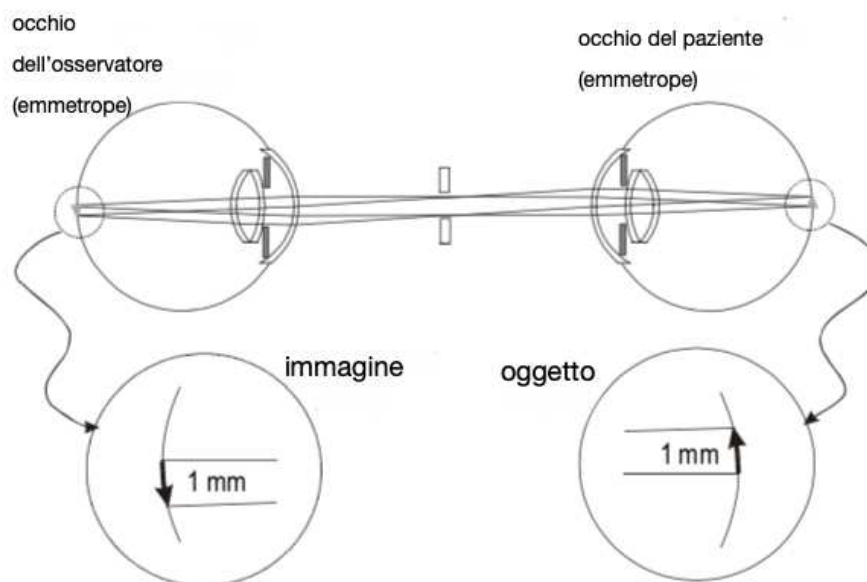


Figura 18. Dimostrazione dell'ingrandimento lineare

Non c'è alcun ingrandimento lineare della retina del soggetto, ma questo è in netto contrasto con l'impressione che si ha quando adoperiamo l'oftalmoscopio diretto. Quando si utilizza questo strumento, le



caratteristiche retiniche sembrano essere notevolmente ingrandite. Per capire la ragione, dobbiamo considerare l'altra tipologia di ingrandimento, quello angolare.

La dimensione apparente di qualsiasi oggetto visto con l'occhio dipende dall'angolo sotteso dall'oggetto. Per esempio quando ci si avvicina a un oggetto, l'angolo sotteso dall'oggetto aumenta così come l'immagine retinica dell'oggetto e la sua dimensione apparente.

Per comprendere al meglio l'ingrandimento angolare dell'oftalmoscopio, dobbiamo prima considerare l'ingrandimento angolare prodotto da una semplice lente d'ingrandimento, in quanto il meccanismo, come vedremo, è più o meno lo stesso <sup>(1)</sup>.

Quando l'occhio vede un oggetto a una certa distanza (ipotizziamo a 25 cm, distanza media del punto prossimo), l'oggetto sottende un angolo  $\theta$  all'occhio. Ora, vicino all'occhio ci posizioniamo una lente di ingrandimento, costituita da una singola lente convessa con lunghezza focale  $f$  minore della distanza fra lente e oggetto. La lente di ingrandimento forma un'immagine virtuale ingrandita dell'oggetto (in figura 20, l'oggetto è indicato dalla freccia verde, l'immagine da quella rossa, mentre la lente è contrassegnata dal colore azzurro) e l'occhio guarda questa immagine virtuale. Con la presenza della lente l'oggetto può essere posto più vicino all'occhio (quindi a una distanza minore di 25 cm), così può sottendere un angolo più grande. L'immagine virtuale ottenuta ha un'altezza maggiore rispetto a quella dell'oggetto e guardando i raggi diretti dall'immagine virtuale alla retina di chi osserva, otteniamo l'angolo sotteso  $\theta'$ . Notiamo che l'angolo sotteso  $\theta'$  è maggiore di  $\theta$ . In questo caso l'ingrandimento angolare, dato dal rapporto fra i due angoli ( $\theta' / \theta$ ) è maggiore di 1, dato che  $\theta' > \theta$ .

Dal punto di vista matematico, l'ingrandimento angolare, quando si analizza l'oggetto con una lente d'ingrandimento è dato dalla seguente formula:

$$M_{\text{ang}} = \frac{\theta'}{\theta}$$

L'ingrandimento angolare viene espresso anche in un altro modo  $M = 25/f$ . La potenza della lente in diottrie (D) è data dall'inverso della focale, ovvero

da  $1 / f$  ( $f$  in metri). Quindi, possiamo scrivere la stessa equazione in un altro modo ancora <sup>(17)</sup> <sup>(19)</sup> <sup>(26)</sup>.

$$M_{\text{ang}} = 0,25 \text{ m} \times D = \frac{25 \text{ cm}}{f}$$

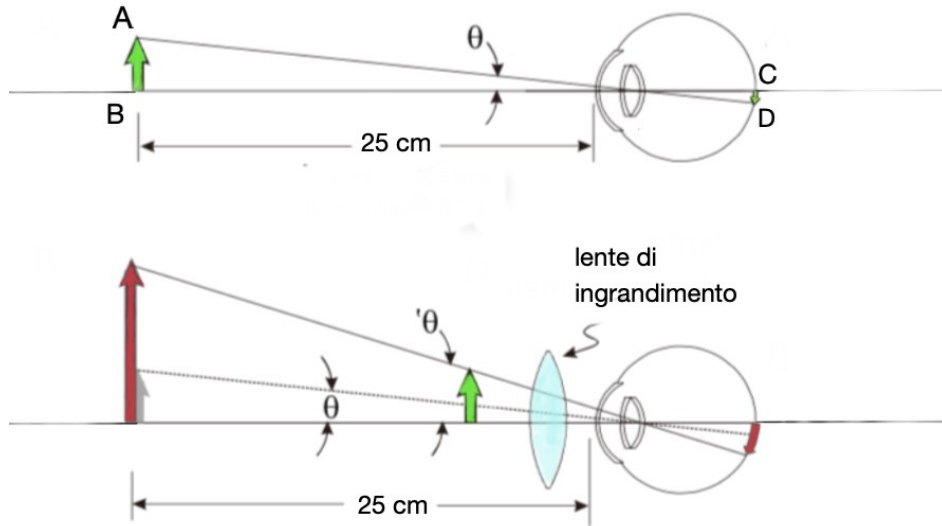


Figura 19. Funzionamento della lente di ingrandimento

Nel caso in alto abbiamo l'occhio senza lente di ingrandimento

Nel caso in basso abbiamo la presenza della lente di ingrandimento

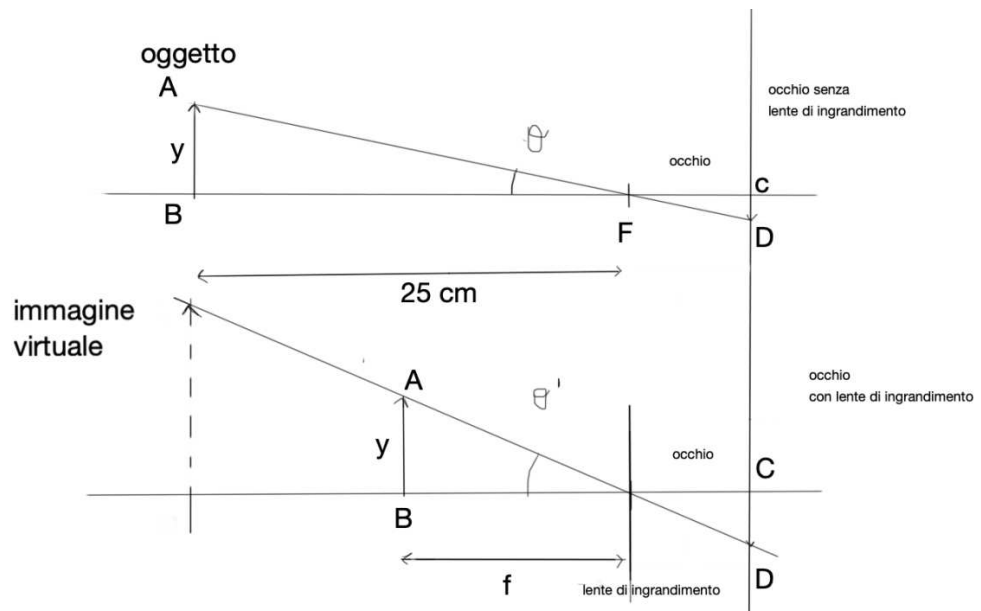


Figura 20. Concetto della lente di ingrandimento schematizzato

Dalla spiegazione della lente di ingrandimento, possiamo affrontare l'ingrandimento angolare dell'oftalmoscopio diretto considerando l'occhio come una lente unica e ora vedremo in che modo.

Prendiamo il sistema ottico dell'occhio (cornea e cristallino, lenti convergenti) come se fosse una singola lente d'ingrandimento con una potenza di 60 D prendendo come riferimento l'occhio schematico ridotto di Emsley presentato nel capitolo 3. In questo modo si può dire che il sistema ottico dell'occhio funge da lente di ingrandimento all'occhio dell'osservatore. Di conseguenza, dal punto di vista dei calcoli, l'equazione per l'ingrandimento dell'oftalmoscopio diretto è derivata dall'analogia con la semplice lente di ingrandimento.

L'ingrandimento angolare data dall'oftalmoscopio diretto è:

$$M_{ang} = 0,25 \text{ m} \times 60 \text{ D} = 15$$

Pertanto, l'oftalmoscopio diretto fornisce un ingrandimento angolare della retina del soggetto di 15 volte, e questo corrisponde appieno con la descrizione dell'oftalmoscopio ottico diretto fornita in partenza.

Tuttavia, l'ingrandimento angolare di 15X è approssimativo, in quanto dipende da un numero di variabili. In questo caso per dimostrare un ingrandimento angolare di 15X abbiamo considerato che sia l'osservatore, sia il paziente fossero entrambi emmetropi con un potere pari a 60D, questo anche perchè il potere totale dell'occhio di un soggetto non perfettamente emmetrope o ametropo è solitamente sconosciuto e molto difficile da rilevare. Nel caso in cui il soggetto o l'osservatore sono ipermetropi o miopi, l'ingrandimento varia. Poi, abbiamo utilizzato la "distanza media della visione più distinta" di 25 cm, ovvero dove si posiziona il punto prossimo per un occhio normale. Nel capitolo 3, abbiamo, infatti, studiato che il punto prossimo varia con in relazione alla rifrazione e all'età dell'osservatore, in quanto entra in merito il fattore dell'accomodazione. Tuttavia, è utile tenere presente un'idea di ingrandimento quando si ispeziona un elemento preciso della retina di un paziente con l'oftalmoscopio diretto <sup>(8)</sup> <sup>(17)</sup> <sup>(27)</sup>.

## 4.4 Ruolo della pupilla

Altri fattori che possono influenzare l'utilizzo dell'oftalmoscopio riguardano la dimensione dell'apertura di illuminazione, il diametro pupillare e l'angolo di illuminazione.

La dimensione dell'area retinica osservabile con l'oftalmoscopio dipende dall'area illuminata perché ovviamente non è possibile analizzare ciò che non è illuminato. Si potrebbe considerare che aumentare le dimensioni dell'apertura dell'illuminazione possa rendere visibile un'area più ampia. Ma ciò non è possibile perché una gran parte dell'illuminazione fornita dal sistema di illuminazione viene fermata dall'iride e non passa attraverso la pupilla per illuminare la retina. Per una pupilla naturale non dilatata, è inutile impiegare il cono di illuminazione grande, in quanto l'area retinica illuminata resta la stessa anche se si utilizzano aperture differenti <sup>(11)</sup>.

Un altro fattore che condiziona l'area retinica illuminata è la distanza dell'occhio dall'oftalmoscopio. Quando l'oftalmoscopio è relativamente lontano (15 cm) da un occhio emmetrope con una pupilla di 2 mm di diametro si può notare che i raggi di illuminazione nell'occhio convergono in una piccola area retinica. Con l'oftalmoscopio così lontano dall'occhio, possiamo vedere solo una parte molto piccola della retina. Quando lo strumento è molto più vicino all'occhio, riusciamo a vedere una zona retinica illuminata molto più grande anche quando le dimensioni della pupilla rimangono invariate. In questo caso, abbiamo la facoltà di ispezionare l'intero disco ottico che ha un diametro di circa 1,5 mm.

Infine, se la pupilla è in midriasi con un diametro di 5 mm, è possibile vedere un'area retinica più estesa, infatti dilatare la pupilla con un midriatico aumenterà la capacità di visualizzare il fondo, ma ciò non è possibile per quanto riguarda l'optometria in Italia <sup>(9)</sup>.

Possiamo vedere solo una porzione molto piccola della retina complessiva, quindi per risolvere questo problema e per poter avere la visione dell'insieme, l'oftalmoscopio deve essere ruotato nelle varie direzioni per poter scansionare il fondo oculare nella sua interezza.

Si ruota l'oftalmoscopio rispetto all'asse ottico dell'occhio diversificando di diverse angolazioni. Questo va fatto, dato che la foveola è leggermente fuori dall'asse ottico dell'occhio ( $\sim 3^\circ$ ). Inoltre, il disco ottico viene trovato se l'oftalmoscopio ruota per via nasale di circa  $10^\circ$  rispetto all'asse ottico. Se viene ruotato temporaneamente di circa  $16^\circ$ , è appena visibile un'area della retina esterna al polo posteriore.

Il campo visivo resta comunque limitato e risulta facile perdersi mentre si esplora il fondo, e questo rappresenta uno dei limiti dell'oftalmoscopio <sup>(1)</sup>.

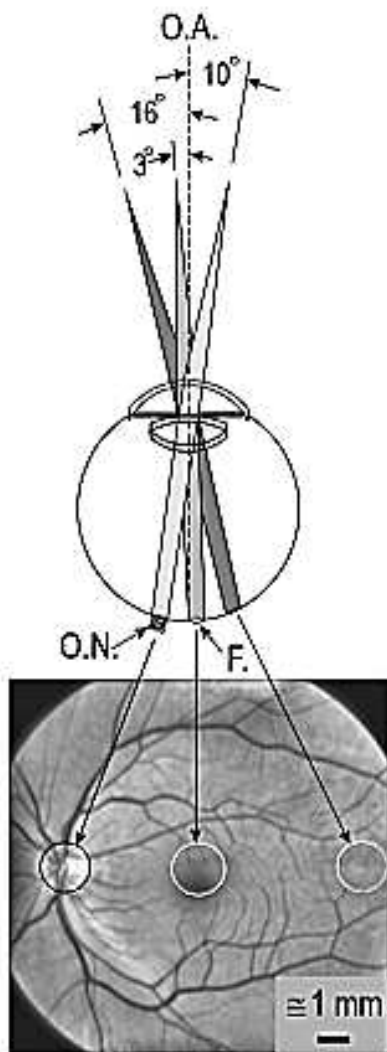


Figura 21. Le varie angolazioni che permettono la visione delle diverse parti che compongono il fondo oculare O.A. sta per asse ottico; mentre O.N. sta nervo ottico.

## Conclusioni

Riuscire a comprendere i meccanismi ottici su cui si basa l'oftalmoscopio diretto consente, di poter utilizzarlo in modo ottimale durante la pratica optometrica.

Abbiamo visto che lo strumento ha il vantaggio di essere pratico perchè utilizza l'occhio del paziente come lente di ingrandimento, allineando l'asse di osservazione con il fascio di illuminazione. Permette di ottenere un'immagine reale, diritta e ingrandita (15X) del fondo oculare. Inoltre, l'oftalmoscopio può essere utilizzato senza l'instillazione di farmaci midriatici.

Tuttavia, abbiamo studiato che l'oftalmoscopio diretto presenta alcuni svantaggi: l'illuminazione contenuta (una luce troppo forte restringerebbe troppo la pupilla del paziente e il riflesso corneale del sistema di illuminazione potrebbe abbagliare l'osservatore), la distanza di lavoro ravvicinata (una distanza di 2 cm fra l'osservatore e il paziente può comportare qualche discomfort nel paziente), l'ingrandimento fisso (fornito dall'occhio dell'osservatore che funge da lente di ingrandimento) e la piccola area osservabile (dovuta all'apertura pupillare).

In conclusione, si può dire che sapere come funziona nel dettaglio uno strumento che viene impiegato nella primary care optometrica permette di agevolare in modo notevole il suo uso.

## Bibliografia

- (1) Timberlake G., Kennedy M.; The direct ophthalmoscope: How it works and how to use it; University of Kansas; 2005
- (2) May S., Hosaka Y., Uehara M.; The fibrous tapetum of horse eye; Journal of anatomy; 2013; 223
- (3) May. A; Fotografia digitale; Apogeo editore; Milano; 2004; pp.23
- (4) Van de Kraats J, Van Norren D.; Directional and non directional spectral reflection from the human fovea; Journal of Biomedical Optics; 2008.
- (5) Snead M.P., Rubinstein M.P., Jacobs P.M.; The Optics of Fundus Examination; Survey of Ophthalmology; 1992; 36; pp. 440
- (6) Parel J-M., Crock W.G, Perici L.J.; The optics of the ophthalmoscope and related instruments; Journal of Physics; 1980; 13
- (7) Al-Amri M, El-Gomati, Zuzairy, M; Optics in Our Time; Springer International Publishing; Cham, Svizzera; 2016; pp.313
- (8) Tunnacliffe A. H.; Introduction to Visual Optics; ABDO College of Education; 1993; pp. 253-255
- (9) Rossetti A., Gheller P.; Manuale di optometria e contattologia; Zanichelli; Bologna; 2003; pp.228 & pp.91
- (10) Formenti M.; Dispense di Tecniche fisiche per l'optometria 2 con laboratorio; Università degli Studi di Padova; anno accademico 2017-2018
- (11) Bucci M. G.; Oftalmologia; SEU; Roma; 1993; pp. 229 & pp. 371
- (12) Smith G., Atchinson D.; The Eye and Visual Optical Instruments; Cambridge University Press; Cambridge; 1997; pp. 565 & pp 219
- (13) <https://www.adctoday.com/products/5112N>
- (14) <http://morancore.utah.edu/basic-ophthalmology-review/how-to-use-the-direct-ophthalmoscope/>
- (15) <http://hep.fi.infn.it/fisichetta1/disp/dispott.pdf>
- (16) Frosini R., Frosini S.; Oftalmopediatria; SEE; Firenze; 1997; pp.76

- (17) Cutnell J. D., Johnson K. W.; Elementi di Fisica; Zanichelli; Bologna; 2010; pp. 410-415
- (18) Mazzoldi P., Nigro M, Voci C.; Elementi di Fisica – Elettromagnetismo Onde; EdiSES; Napoli; 2002; pp. 358
- (19) Sears F. W.; Ottica; Casa Editrice Ambrosiana; Milano; 1982; pp.61, 78, 89-92, 99 & 137 & 141
- (20) Ortolan D.; Dispense di Ottica Oftalmica e Visuale; Università degli Studi di Padova; anno accademico 2016
- (21) Goss D. A, West R. W.; Introduction to the Optics of the Eye; Butterworth-Heinemann; Woburn MA, Stati Uniti d’America; 2002; pp67-68
- (22) Atchinson D. A.; Smith G.; Optics of the Human Eye; Butterworth-Heinemann; Bath, Gran Bretagna; 2000; pp. 45
- (23) Azzolini C., Carta F., Gandolfi S., Marchini G., Menchini U., Simonelli F., Traverso C. E.; Clinica dell’apparato visivo; Edra; Milano; 2010; pp. 59-62
- (24) Ronchi Abbozzo L.; Mugnai D.; Ottica classica – Teoria della visione – Ottica ondulatoria; Istituto di Fisica Applicata “Nello Carrara”; Firenze; 2008; pp.1-2
- (25) <https://it.wikipedia.org/wiki/Ingrandimento>
- (26) Hallyday D., Resnick R., Krane K. S.; Fisica 2; Casa Editrice Ambrosiana; Milano; 1967; pp.975 & pp.1012-1013
- (27) Keating P. M.; Geometric, Physical, and Visual Optics; Butterworths; Stoneham MA (Stati Uniti d’America); 1988; pp.425-426