



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Fisica e Astronomia "Galileo Galilei"

Corso di Laurea Triennale in Ottica e Optometria

Tesi di Laurea

***Confronto tra sistemi telescopici come
ausili correttivi in supporto alla
condizione visiva del soggetto ipovedente***

Relatore: prof. Mirko Chinellato

Studente: Enrico Sagui

Matricola: 1170653

Anno Accademico 2021/2022

INDICE

Abstract	p. 1
Introduzione	p. 2
CAPITOLO 1:	
1.1 Definizione Ipovisione	p. 5
1.2 Epidemiologia	p. 8
1.3 Cause	p. 10
1.3.1 Cataratta	p. 11
1.3.2 Degenerazione maculare legata all'età	p. 12
1.3.3 Glaucoma	p. 13
1.3.4 Retinopatia Diabetica	p. 14
1.3.5 Vizi di Refrazione mal corretti	p. 15
CAPITOLO 2:	
2.1 Il Telescopio Ottico	p. 17
2.2 Telescopio Galileiano e Kepleriano	p. 18
2.3 Caratteristiche del Telescopio	p. 20
2.3.1 Accomodazione	p. 20
2.3.2 Campo visivo	p. 20
2.3.3 Aberrazioni	p. 21
2.3.4 Correzione dell'ametropia	p. 21
2.3.5 Ingrandimento	p. 21

CAPITOLO 3:

3.1 Telescopio montato su occhiali o tenuto a mano	p. 24
3.1.1 Presentazione del sistema	p. 24
3.1.2 Applicazione del sistema	p. 25
3.1.3 Movimenti della testa e campo visivo	p. 26
3.1.4 Percezione della profondità	p. 26
3.1.5 Il telescopio biottico	p. 28
3.2 Lenti a contatto telescopiche	p. 31
3.2.1 Presentazione del sistema	p. 31
3.2.2 Applicazione del sistema	p. 31
3.2.3 Amplificazione delle vergenze	p. 32
3.2.4 Campo visivo	p. 32
3.2.5 Limiti e svantaggi	p. 33
3.2.6 Selezione del paziente e procedure cliniche	p. 33
3.2.7 Applicazioni future	p. 35
3.3 Lenti intraoculari telescopiche	p. 37
3.3.1 Presentazione del sistema	p. 37
3.3.2 Applicazione del sistema	p. 38
3.3.3 Campo visivo	p. 39
3.3.4 Movimenti della testa e degli occhi	p. 40
3.3.5 Compressione della profondità	p. 42
Conclusioni	p. 44
Bibliografia	p. 47

ABSTRACT

OBIETTIVO: il fine di questo elaborato è quello di ricercare attraverso un'analisi comparativa, analogie e differenze tra diversi dispositivi telescopici a disposizione del soggetto ipovedente, che nel corso degli anni hanno subito continue modificazioni e perfezionamenti. Successivamente, è stato importante valutare per ogni singolo sistema telescopico analizzato l'influenza e i cambiamenti che comporta in termini di campo visivo, acuità visiva, accomodazione, movimenti della testa e percezione della profondità.

MATERIALI E METODI: per lo svolgimento di questo lavoro è stata condotta una ricerca bibliografica sul portale scientifico PubMed, per ogni dispositivo telescopico studiato sono stati revisionati 4-5 articoli, i quali rimandavano successivamente ad altre pubblicazioni, che una volta revisionate, hanno reso l'elaborato maggiormente completo e ricco di spunti. I testi selezionati sono compresi in uno spazio temporale che inizia nei primi anni 90' e arriva fino ad oggi. Per ogni studio analizzato, la ricerca si è concentrata principalmente sui seguenti parametri: descrizione del sistema telescopico, applicazione del sistema, restrizione del campo visivo, difficoltà nell'utilizzo a distanza ravvicinata, movimenti della testa e degli occhi.

DISCUSSIONE: ogni sistema telescopico fornisce benefici al soggetto ipovedente in quanto, a seconda dell'ingrandimento utilizzato, permette un miglioramento dell'acuità visiva e lo svolgimento di normali attività della vita quotidiana. Il compromesso principale affinché si concretizzi questo beneficio, però, è una netta riduzione del campo visivo, notevole in ogni tipo di sistema telescopico analizzato. Al soggetto, inoltre, risulterà difficile l'utilizzo di questo ausilio ottico per la visione prossimale, perché la richiesta accomodativa è notevolmente più elevata nel telescopio rispetto agli occhiali. Infine, nello svolgimento del terzo capitolo sono emersi altri svantaggi riguardanti i movimenti della testa e degli occhi e la percezione della profondità: questi limiti del dispositivo cambiano a seconda della tipologia dello stesso.

CONCLUSIONI: si evince chiaramente che la preparazione e collaborazione del paziente sono elementi fondamentali per il corretto utilizzo del sistema telescopico, che lo stesso deve essere al corrente degli svantaggi relativi al campo visivo, all'accomodazione, ai movimenti della testa e alla percezione della profondità. È importante, inoltre, proseguire il trattamento dell'ipovedente con percorsi di follow-up anche dopo la prescrizione del dispositivo telescopico, con lo scopo di perfezionare l'applicazione. È importante anche valutare con il soggetto i miglioramenti che il sistema ingrandente porta nella quotidianità, confrontandoli con i compromessi necessari da accettare affinché il dispositivo svolga la sua funzione.

INTRODUZIONE

Per questo lavoro di tesi, ho deciso di affrontare un argomento, che rientra in quello più ampio dell'ipovisione, analizzato durante l'ultimo corso del terzo anno accademico e che ha stimolato il mio interesse e la mia curiosità. Mi è capitato spesso di domandarmi: che tipo di servizio possiamo fornire noi futuri optometristi a queste persone che soffrono di un importante deficit visivo? Quale può essere l'ausilio visivo migliore per risolvere, almeno parzialmente, i problemi degli ipovedenti? Come può essere la collaborazione con altri specialisti del settore? Mi è piaciuta subito l'idea di trattare questa problematica perché, a mio avviso, va a toccare l'essenza di quello che sarà, poi, l'obiettivo del nostro lavoro: essere d'aiuto agli altri.

Mentre ero alle prese con la ricerca di materiale e di un approfondimento all'interno di questo macro-argomento, ho avuto l'occasione e il piacere di incontrare M. una mia compagna di classe delle elementari. M. è ipovedente dalla nascita e il ricordo che ho di lei, è quello di una bambina con problematiche a scuola e di interazione con i propri coetanei. Ora è una giovane donna, con la quale ho trascorso del tempo piacevole con il desiderio di comprendere lo stile di vita che conduce, quali obiettivi si pone e come ha abbattuto le barriere che tanto la opprimevano durante l'infanzia. È stato interessante e molto utile conoscere gli aspetti della quotidianità di un ipovedente: dalle difficoltà che cercano di prendere il sopravvento mentre prova a portare a termine i suoi studi universitari, al forte disagio che l'assale durante gli spostamenti con i mezzi pubblici (specialmente quando si deve muovere nelle città caotiche). La voglia di rivalsa e indipendenza, però, hanno vinto sul suo deficit visivo ed è riuscita così, negli anni, a diventare una ragazza sicura e intraprendente, che ha voglia di conoscere il mondo e di farsi conoscere per quella che è. La nostra conversazione è stata davvero utile per lo svolgimento di questo lavoro perché mi ha permesso di immedesimarmi in quella che è la vita di un ipovedente e di capire, almeno un po', che è bello sentirsi accettati dagli altri.

In seguito a ricerche di materiale su PubMed e libri di testo, ho deciso di focalizzare questo scritto su un tipo di ausilio ottico per ipovedenti: il sistema telescopico. Il telescopio è uno strumento, utile a chi soffre di forte minorazione visiva, specialmente durante le attività da lontano. Si tratta di un sistema molto utilizzato e che, nel corso degli anni ha avuto numerose modificazioni e perfezionamenti, a tal punto da presentarsi sotto varie forme. Ho trovato interessante fare un confronto tra i vari sistemi telescopici ad oggi in commercio: il telescopio tradizionale (citando anche il telescopio biottico), le lenti a contatto telescopiche e la lente intraoculare telescopica. Analizzando qualità e svantaggi per ognuno di questi e cercando di capire fino a dove questo ausilio può fornire un aiuto al soggetto ipovedente.

La tesi è stata suddivisa in tre capitoli: il primo dedicato alla presentazione dell'argomento ipovisione, ricercando sul web e su libri una definizione appropriata del concetto, l'incidenza che ha nel mondo e nel nostro Paese e andando a definire quelle che sono le principali cause che portano poi il soggetto all'ipovisione. Successivamente, ho condotto una ricerca su articoli e libri di testo di fisica, per trovare del materiale utile a presentare il telescopio ottico,

il suo funzionamento, la suddivisione nei sistemi galileiano e kepleriano e le caratteristiche che ha in relazione agli aspetti visivi: accomodazione, campo visivo, aberrazioni, correzione dell'ametropia, ingrandimento. Queste tematiche sono state affrontate nel secondo capitolo. Il terzo capitolo, invece, rappresenta il fulcro del mio lavoro: vengono presentati, analizzati e confrontati i vari sistemi telescopici ad oggi in commercio, cercando di integrare le informazioni riguardanti l'uno o l'altro sistema e capire se i limiti che presenta un tipo di telescopio possono essere superati dall'altro e viceversa. Per lo sviluppo di questo capitolo mi sono basato principalmente su pubblicazione scientifiche tratte dal portale PubMed.

In conclusione, lo scopo di questo lavoro è quello di stimolare l'interesse del lettore riguardo ad un tipo di correzione ottica all'ipovisione, ricercando un continuo confronto tra i sistemi telescopici, cercando di capire tramite studi e indagini specialistiche svolte negli anni, quale potrebbe essere il tipo di telescopio che fornisce maggiori garanzie e permette di migliorare l'attività visiva da lontano.

CAPITOLO 1

1.1 DEFINIZIONE IPOVISIONE

L'handicap visivo, così come molti altri, va documentato e regolamentato in modo da favorire un'integrazione dell'individuo ipovedente nel tessuto sociale, a tal proposito esiste una legge approvata dalla Camera dei Deputati e dal Senato della Repubblica, promulgata dal Presidente della Repubblica; si tratta della Legge del 3 aprile 2001, n°138, titolata nel seguente modo "*Classificazione e quantificazione delle minorazioni visive e norme in materia di accertamenti oculistici*" e composta dai seguenti articoli:

Art. 1.

(Campo di applicazione).

1. La presente legge definisce le varie forme di minorazioni visive meritevoli di riconoscimento giuridico, allo scopo di disciplinare adeguatamente la quantificazione dell'ipovisione e della cecità secondo i parametri accettati dalla medicina oculistica internazionale. Tale classificazione, di natura tecnico-scientifica, non modifica la vigente normativa in materia di prestazioni economiche e sociali in campo assistenziale.

Art. 2.

(Definizione di ciechi totali).

1. Ai fini della presente legge, si definiscono ciechi totali:
 - a) coloro che sono colpiti da totale mancanza della vista in entrambi gli occhi;
 - b) coloro che hanno la mera percezione dell'ombra e della luce o del moto della mano in entrambi gli occhi o nell'occhio migliore;
 - c) coloro il cui residuo perimetrico binoculare è inferiore al 3 per cento.

Art. 3.

(Definizione di ciechi parziali).

1. Si definiscono ciechi parziali:
 - a) coloro che hanno un residuo visivo non superiore a 1/20 in entrambi gli occhi o nell'occhio migliore, anche con eventuale correzione;
 - b) coloro il cui residuo perimetrico binoculare è inferiore al 10 per cento.

Art. 4.

(Definizione di ipovedenti gravi).

1. Si definiscono ipovedenti gravi:

- a) coloro che hanno un residuo visivo non superiore a 1/10 in entrambi gli occhi o nell'occhio migliore, anche con eventuale correzione;
- b) coloro il cui residuo perimetrico binoculare è inferiore al 30 per cento.

Art. 5.

(Definizione di ipovedenti medio-gravi).

1. Ai fini della presente legge, si definiscono ipovedenti medio-gravi:

- a) coloro che hanno un residuo visivo non superiore a 2/10 in entrambi gli occhi o nell'occhio migliore, anche con eventuale correzione;
- b) coloro il cui residuo perimetrico binoculare è inferiore al 50 per cento.

Art. 6.

(Definizione di ipovedenti lievi).

1. Si definiscono ipovedenti lievi:

- a) coloro che hanno un residuo visivo non superiore a 3/10 in entrambi gli occhi o nell'occhio migliore, anche con eventuale correzione;
- b) coloro il cui residuo perimetrico binoculare è inferiore al 60 per cento.

Art. 7.

(Accertamenti oculistici per la patente di guida).

1. Gli accertamenti oculistici avanti agli organi sanitari periferici delle Ferrovie dello Stato, previsti dall'articolo 119 del decreto legislativo 30 aprile 1992, n. 285, e successive modificazioni, sono impugnabili, ai sensi dell'articolo 442 del codice di procedura civile, avanti al magistrato ordinario.^[1] (Tab. I)

Minorazione visiva - Legge 3 aprile 2001 n. 138					
Centrale			Periferica		
Gravità	Virus residuo	Grado	Gravità	Residuo perimetrico	Grado
Normale	> 3/10	0	Normale	> 60%	0
Ipovedente lieve	< 3/10 - > 2/10	1	Ipovedente lieve	59% - 50%	1
Ipovedente medio-grave	< 2/10 - > 1/10	2	Ipovedente medio-grave	49% - 30%	2
Ipovedente grave	< 1/10 - > 1/20	3	Ipovedente grave	29% - 10%	3
Cieco parziale	< 1/20 > 1/200 (1/200 = conta dita)	4	Cieco parziale	9% - 3%	4
Cieco totale	moto della mano ombra e luce - spento	5	Cieco totale	< 3%	5

Tabella I: situazioni di minorazione visiva previste dalla legge 138/2001

Pertanto, con il termine ipovisione s'intende una condizione oculare di ridotta capacità visiva, bilaterale ed irreversibile, che non permette al soggetto di svolgere le comuni attività della vita quotidiana nonostante sia stata adottata la migliore correzione con occhiali, lenti a contatto, farmaci o chirurgia, e che necessita di speciali ausili ottici, non ottici o di appropriati consigli per l'esecuzione di compiti visivi ordinari [2]. Come scritto nella legge sopracitata la condizione oculare del paziente ipovedente non va confusa con la condizione di cecità: in quest'ultimo caso si distingue una mancata percezione della luce. Tuttavia, nonostante le leggi tra i vari paesi siano diverse, esiste una cecità, definita come cecità legale, per cui l'acuità visiva da lontano è minore o uguale a 1/10 per entrambi gli occhi. L'ipovisione, invece, si definisce come la visione di circa 3/10, pertanto di poco superiore alla cecità legale; tale condizione di deficit visivo è dovuta principalmente come conseguenza a danni retinici, e comporta una perdita importante della capacità visiva con diverse modalità: visione sfocata, restrizione del campo visivo, presenza di zone scure che coprono le immagini e altro; perciò, nel contesto dell'ipovisione, gli occhiali aiutano relativamente il paziente, in tal caso risulta necessario l'utilizzo di sistemi ottici ausiliari che richiedono un lungo periodo d'apprendimento.

Le cause che portano il soggetto all'ipovisione sono molteplici: si comincia dalle maculopatie che principalmente portano alla marcata perdita di visione, riferendosi a una importante riduzione della capacità visiva centrale, successivamente citiamo la retinite pigmentosa ereditaria, che porta alla cecità notturna e a una progressiva riduzione del campo visivo centrale; il glaucoma, che invece comporta una progressiva perdita della visione periferica; la miopia patologica, la cui progressione nel tempo porterà successivamente al danneggiamento di vaste aree retiniche; infine anche il diabete provoca danni alla retina.

La condizione visiva dell'ipovedente si può descrivere nel seguente modo: il soggetto non percepisce immagini definite o complete nel loro insieme né da lontano né da vicino, per cui difficilmente riesce a leggere, scrivere, seguire le immagini della televisione. Risulta così necessario, affinché tali persone possano svolgere le normali attività (almeno parzialmente) stimolare un maggior numero di cellule ancora attive; ciò è realizzabile mediante l'utilizzo di ausili particolari in relazione all'obiettivo che si vuole ottenere: ad esempio, dispositivi ottici ingrandenti per aumentare l'acuità visiva, o altri sistemi ottici per migliorare

l'ampiezza del campo visivo. Il contesto in cui lavoriamo è complicato poiché se si cerca di ampliare il campo visivo, si ottiene conseguentemente una riduzione delle immagini; viceversa, aumentando l'ingrandimento si riduce il campo visivo; questo rapporto di proporzionalità inversa spiega come nella pratica clinica si raggiunga maggior efficacia con dispositivi ingrandenti per le attività a distanza ravvicinata, per contro è praticamente impossibile poter utilizzare una lente ingrandente nella mobilità quotidiana ^[3].

1.2 EPIDEMIOLOGIA

Riportando le ultime stime della Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), *Vision impairment and blindness, WHO, Fact Sheet, October 2017*, pubblicate nella giornata mondiale della vista, nel mondo si contano 36 milioni di non vedenti e 217 milioni di ipovedenti moderati o gravi, su una popolazione di 7,3 miliardi di persone. Lo studio di riferimento che riporta questi dati è stato condotto dalla rivista "The Lancet", secondo il quale il trend del numero di ciechi e ipovedenti è in aumento.

Complessivamente, si nota una diminuzione della compromissione visiva rispetto a stime riportate agli inizi degli anni '90; un calo dovuto allo sviluppo socioeconomico generale, ad un'azione concentrata di sanità pubblica, ad un aumento dei servizi disponibili per la cura dell'occhio e ad una maggiore conoscenza della popolazione riguardo le soluzioni ai problemi riguardanti la disabilità visiva (chirurgia, dispositivi di refrazione, ecc.). Tuttavia, ad oggi, nei paesi industrializzati si assiste ad un aumento, in termini di prevalenza e incidenza, di patologie degenerative oculari invalidanti legate all'invecchiamento e al progredire dell'età, a tal punto che si stima che il numero delle persone con problemi di vista potrebbe triplicare nei prossimi decenni. Concretamente, si calcola che entro il 2050, in parallelo alla crescita della popolazione, potrebbero esserci 115 milioni di persone cieche, rispetto ai 38,5 milioni del 2020.

Secondo il rapporto ISTAT "*Condizioni di salute e ricorso ai servizi sanitari in Italia e nell'Unione Europea*", mediamente il 2,1% della popolazione europea, a partire dai 15 anni, presenta gravi limitazioni visive, mentre per gli over 65 anni la percentuale sale al 6,5% e all' 8,7% per coloro che hanno 75 o più anni. In Italia oltre un terzo degli anziani soffre di limitazioni visive almeno moderate, pertanto si parla di 4,5 milioni di persone, le percentuali d'incidenza del nostro Paese riguardo alle limitazioni visive sono in linea con quelle riguardanti gli altri paesi europei; la situazione si complica se ai deficit visivi gravi si sommano quelli più moderati: in tal caso dai 75 anni sono colpite il 43% delle persone, il 33,4% a partire dai 65 anni e, infine il 17,6% delle persone dai 15 anni in su.

Esistono numerose cause alla base dell'incremento dei soggetti affetti da ipovisione: in primis c'è da citare il progressivo aumento della speranza di vita, che ha portato alla crescita esponenziale di malattie oculari legate all'invecchiamento, come ad esempio cataratta, glaucoma, degenerazione maculare senile e vasculopatie retiniche. A questi dati si aggiunge

il fatto che le innovazioni scientifiche nell'ambito dell'oftalmologia, registrate negli ultimi decenni, hanno ridotto il numero dei pazienti destinati alla cecità, ma ha aumentato quello dei soggetti ipovedenti, quindi con un residuo visivo parziale non in grado di mantenere una completa autonomia.

Ci sono conseguenze, associate alla perdita della vista, che non si limitano a quanto riguarda la salute oculare ma si estendono ben oltre; ad esempio, la disabilità visiva condiziona l'apprendimento e lo sviluppo neuropsicomotorio nell'età evolutiva, e, allo stesso tempo, incide sulla qualità della vita, compromettendo indipendenza, mobilità e autonomia dell'adulto. C'è, inoltre, da sottolineare che la perdita della vista aumenta il rischio di mortalità, cadute, lesioni, porta all'isolamento sociale, alla depressione e ad altri problemi psicologici.

Da quanto citato fino a questo momento, è evidente che impegnare risorse nella prevenzione all'ipovisione e la riabilitazione visiva sia fondamentale in ambito di sanità pubblica. È importante, specialmente nel campo visivo, riuscire ad equilibrare prevenzione, cura e riabilitazione affinché si possa portare a termine con successo un intervento sanitario; inoltre, non bisogna dimenticare che dopo il completamento delle cure mediche possibili, resta un elevato bisogno di riabilitazione e di supporto per il miglior adattamento del paziente alla vita quotidiana.

Nel mondo le principali cause di ipovisione sono: gli errori di rifrazione mal corretti (53%), la cataratta non operata (25%), degenerazione maculare legata all'età (4%), glaucoma (2%), retinopatia diabetica (1%). È da sottolineare il fatto che nel mondo più dell'80% dei deficit visivi può essere curato o prevenuto. Si stima che 19 milioni di bambini siano ipovedenti, di questi 12 milioni hanno disabilità visiva in seguito a un vizio di refrazione non corretto adeguatamente. Circa 1,4 milioni hanno cecità irreversibile. ^[4]

1.3 CAUSE

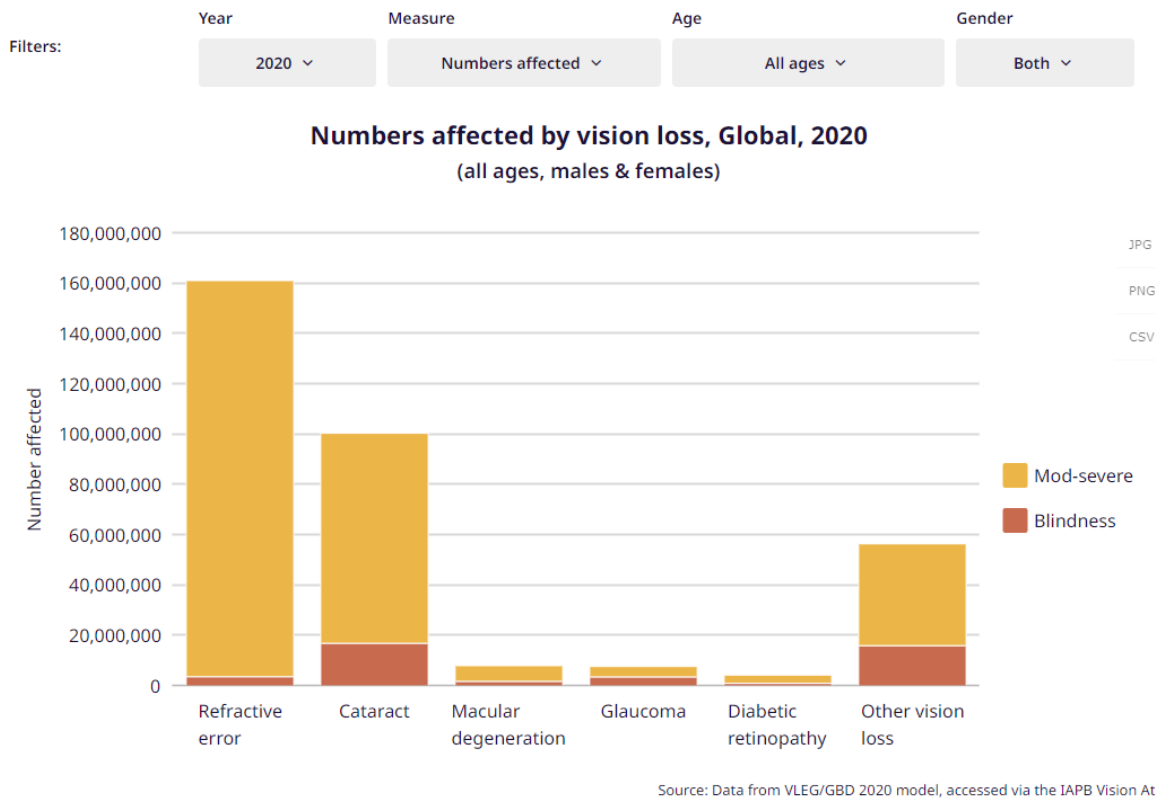


GRAFICO 1: mostra il numero di popolazione globale colpita da ipovisione e cecità, e l'incidenza che le varie patologie hanno sulla perdita visiva
FONTE: [The International Agency for the Prevention of Blindness \(iapb.org\)](http://The International Agency for the Prevention of Blindness (iapb.org))

Diversi studi, in particolare quello condotto dal Vision Loss Expert Group e il Global Burden of Disease Study (GRAFICO 1), hanno individuato principalmente 6 cause che stanno alla base della perdita visiva nella popolazione. Si tratta di: Cataratta, Degenerazione Maculare legata all'età, Glaucoma, Retinopatia Diabetica, Errori Refrattivi mal corretti, altre cause (Tracoma, Retinite Pigmentosa, Opacità Corneali, ecc.). Queste patologie sono state analizzate su scala globale; ovviamente, però, andando a vedere la loro incidenza area per area si possono notare delle differenze: ad esempio, analizzando il deficit visivo dovuto alla cataratta, è possibile notare come sia maggiormente elevato nei paesi a basso-medio reddito rispetto a quelli a elevato reddito. Mentre nei paesi industrializzati è evidente la maggior presenza di ipovisione causata da degenerazione maculare legata all'età, glaucoma e retinopatia diabetica. ^[5]

In seguito verranno presentate le sopra elencate patologie che stanno alla base di ipovisione e cecità.

1.3.1 CATARATTA

Per cataratta s'intende un'opacizzazione totale o parziale del cristallino, indipendentemente dall'eziologia, dal grado di modificazione visiva o dal tipo di trattamento necessario per curarla (IMMAGINE 1). Queste opacità del cristallino, tranne nei casi in cui siano periferiche e quindi fuori dal campo pupillare, si manifestano soggettivamente con un progressivo offuscamento della vista e, oggettivamente, con un progressivo grigiore della pupilla che può raggiungere il colore biancastro negli stadi più avanzati.

È possibile fare una macro distinzione tra cataratte congenite e cataratte acquisite, tra quelle acquisite citiamo la cataratta senile, ovvero la forma più frequente di opacizzazione del cristallino: si tratta di un processo degenerativo del cristallino che avviene in soggetti di età superiore a 50 anni; è quasi sempre bilaterale, anche se il grado di opacità può essere maggiore in un occhio rispetto all'altro. L'opacità può risiedere nella corteccia del cristallino, e allora si parla di cataratta corticale anteriore o posteriore o antero-posteriore, oppure nella porzione nucleare della lente andando a formare la cataratta nucleare, o in entrambe le sedi in caso della cataratta cortico-nucleare.

L'avvento di una cataratta non è accompagnato da dolore o segni di flogosi, mentre l'acuità visiva e la sensibilità al contrasto si riducono progressivamente fino a raggiungere, nella fase della opacità completa, la semplice percezione di luce.

L'unica soluzione contro la cataratta è quella del trattamento chirurgico, con la quale si asporta l'intero cristallino introducendo al suo posto una lente intraoculare; questa tecnica prende il nome di Facoemulsificazione, a cui talvolta segue una complicanza post-operatoria che prende il nome di cataratta secondaria. [6]



IMMAGINE 1: opacizzazione del cristallino visualizzata in lampada a fessura
FONTE: [cataratta_fig_vol1_014910_002.jpg \(1280×960\) \(treccani.it\)](#)

1.3.2 DEGENERAZIONE MACULARE LEGATA ALL'ETA'

Si tratta della principale tra le forme degenerative della retina (anche dal punto di vista epidemiologico). Questa patologia è dovuta a una progressiva degenerazione dell'epitelio pigmentato della retina con conseguente atrofia delle cellule neurosensoriali maculari contigue (IMMAGINE 2); allo stato iniziale, si notano solamente alterazioni dell'epitelio pigmentato che prendono il nome di Drusen, successivamente evolve in due forme: una neovascolare (o essudativa) e una atrofica. Nella forma neovascolare il processo degenerativo provoca fissurazioni della lamina di Bruch, nella quale vasi sanguigni provenienti dalla coroide si sviluppano sotto la retina; questa forma si definisce anche essudativa perché dai vasi neoformati giunge materiale plasmatico nel tessuto retinico, con conseguente formazione di edema ed essudati duri costituiti da lipidi e mucopolisaccaridi. La forma neovascolare si conclude con la formazione di una cicatrice in regione maculare. La forma atrofica, comporta la completa atrofia dell'epitelio pigmentato e della retina sovrastante, senza però la comparsa di neovascolarizzazione. La perdita della capacità visiva è irreversibile. [7]



IMMAGINE 2: fundus oculare, in area maculare si nota atrofia cellulare
FONTE: [degenerazione maculare senile - Bing images](#)

1.3.3 GLAUCOMA

Il glaucoma è una patologia generalmente correlata ad una pressione oculare troppo elevata; si tratta della seconda causa di cecità, dopo la cataratta, che diventa prima causa nel caso si analizzino malattie a carattere irreversibile. La disabilità visiva provocata dal glaucoma si può prevenire purché la malattia venga diagnosticata e curata in maniera tempestiva. È una patologia che colpisce generalmente le persone sopra i 40 anni.

L'indice che valuta la pressione oculare è l'umor acqueo che viene continuamente prodotto e riassorbito; se la via di deflusso è ostruita si avrà una maggiore pressione intraoculare e questo provoca un danneggiamento a livello della testa del nervo ottico. Il soggetto affetto di glaucoma subisce un'alterazione relativa alla periferia del campo visivo, cioè continua a vedere l'oggetto di fissazione ma non si accorge che l'area visiva periferica si sta riducendo progressivamente (con perdita della visione laterale).

È possibile distinguere principalmente due tipi di glaucoma: il glaucoma ad angolo aperto, la forma più frequente, si verifica in seguito ad un ostacolo presente a livello del trabecolato sclerocorneale che impedisce il deflusso dell'umor acqueo (IMMAGINE 3); è un'affezione subdola che si sviluppa lentamente e in genere è priva di sintomi, per cui ci si può rendere conto solamente quando il danno al nervo ottico è già giunto a uno stadio avanzato. Il glaucoma ad angolo chiuso, invece, si presenta in seguito a un'occlusione dell'angolo irido-corneale causando un rapido aumento della pressione intraoculare nella forma che prende il nome "ad angolo stretto"; si ha un improvviso incremento pressorio, chiamato attacco acuto di glaucoma, che è molto grave: infatti se non curato tempestivamente può portare alla cecità in breve tempo.

Uno tra i fattori principali che sono indicatori del glaucoma è la riduzione della profondità della camera anteriore, come nel caso dell'ipermetropia elevata. [8]

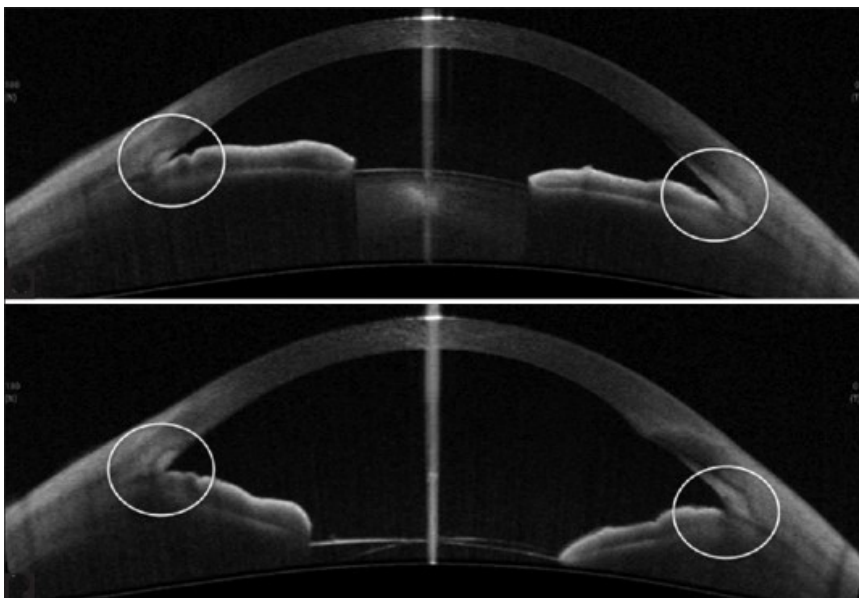


IMMAGINE 3: sezione di angolo irido-corneale FONTE: [glucoma-angolo-emc.jpg \(535x370\) \(evemedicalcenter.it\)](#)

1.3.4 RETINOPATIA DIABETICA

Il diabete è un'anomalia del metabolismo del glucosio che causa una riduzione nella produzione dell'insulina cioè un enzima fondamentale per il mantenimento del glucosio stesso, e come conseguenza di ciò si ha la comparsa di iperglicemia (aumento di glucosio nel sangue) e glicosuria (aumento di glucosio nelle urine). La malattia diabetica appare, nei paesi ad elevato sviluppo, in costante e continuo aumento nella popolazione. Con la terapia insulinica si è verificato un aumento della vita media del paziente diabetico ma, contemporaneamente, anche un incremento delle complicanze della malattia, in particolare di quelle riguardanti i vasi sanguigni.

La retinopatia diabetica si manifesta nel 35% dei pazienti affetti da diabete, si tratta di una malattia bilaterale e caratterizzata dalla presenza di microaneurismi, emorragie, noduli cotonosi, essudati duri e edema retinico. Principalmente si presenta in due forme una proliferante e una non proliferante, la seconda è caratterizzata da una dilatazione del circolo capillare paramaculare (IMMAGINE 4); mentre la forma proliferante è determinata dallo sviluppo di neovascolarizzazione, questi nuovi vasi che si vengono a formare sono estremamente fragili, sanguinano facilmente e le emorragie costituiscono uno stimolo allo sviluppo di nuove proliferazioni fibrovascolari.

I sintomi sono direttamente proporzionali allo stadio in cui si trova la malattia e dalla regione della retina che è interessata: in uno stadio iniziale la malattia coinvolge aree medio-periferiche della retina pertanto il soggetto affetto non presenta particolari sintomi, quando la malattia si sviluppa e viene coinvolta anche l'area maculare, si verificano disturbi visivi con modalità variabile a seconda della gravità della malattia. ^[9]



Retinopatia Diabetica nella forma non proliferante

IMMAGINE 4:

FONTE: [retinopatia diabetica proliferante - Bing images](#)

1.3.5 ERRORI REFRAATTIVI MAL CORRETTI

I vizi di rifrazione non adeguatamente corretti sono un'importante causa di disturbi della vista, ma possono essere facilmente trattati con occhiali, lenti a contatto o chirurgia refrattiva. Miopia, ipermetropia e astigmatismo sono tra le principali cause di compromissione visiva a distanza. In particolare, la prevalenza di miopia è in rapido aumento, specialmente nelle aree urbane; per questo motivo esistono programmi mirati nelle scuole, a tutela della salute oculare. Inoltre lo sviluppo dei servizi di rifrazione, compresa la fornitura di occhiali a prezzi accessibili, sono importanti strategie che contrastano gli errori di rifrazione non corretti. Inoltre, la comparsa sempre più crescente di degenerazione maculare legata ad elevata miopia (Fricke et al., 2018) è un'altra importante causa di compromissione visiva che richiederà, negli anni, stime sempre migliori per consentire strategie di pianificazione e prevenzione. ^[10]

La miopia è un'anomalia refrattiva in cui il piano focale dell'immagine costruita dal sistema ottico oculare si trova prima del piano anatomico della retina; questa valutazione viene fatta con un occhio in condizione statica, cioè con accomodazione rilassata, e considerando l'osservazione di un oggetto posto all'infinito. Il principale sintomo è rappresentato dalla ridotta acuità visiva a grande distanza, successivamente si può verificare nel soggetto astenopia da vicino causato da uno squilibrio tra accomodazione e convergenza.

L'ipermetropia è la condizione in cui il sistema ottico forma l'immagine di un oggetto all'infinito posteriormente al piano retinico; idealmente, l'immagine nitida si forma dietro la retina mentre su questa si forma un'immagine sfocata. L'ipermetropia lieve non presenta particolari sintomi perché può essere agevolmente corretta con l'accomodazione, questo vale principalmente per i soggetti giovani; con il passare degli anni, però, si verifica una fisiologica riduzione della capacità accomodativa e appaiono sintomi come astenopia e difficoltà a focalizzare da vicino. La visione da lontano può rimanere invariata o dare astenopia.

L'astigmatismo si presenta quando il sistema ottico fatica a formare un'immagine puntiforme di un oggetto puntiforme; in questo caso è presente differente potere nei vari meridiani considerati. Nella maggior parte dei casi i meridiani che presentano potere massimo e minimo si trovano in posizione ortogonale e l'astigmatismo è detto regolare: i seguenti meridiani sono detti principali. La persona con astigmatismo percepisce un'immagine distorta, allungata degli oggetti che osserva. Sebbene non siano causa di notevoli disturbi visivi, gli astigmatismi di modesta entità inducono sintomi di tipo astenopeico. È possibile classificare l'astigmatismo come: a. secondo regola, a. contro regola, a. obliquo. ^[11]

CAPITOLO 2

2.1 IL TELESCOPIO OTTICO

Il telescopio è uno strumento ottico utilizzato per ingrandire la dimensione apparente di un oggetto distante; è composto, principalmente, da un obiettivo – una lente convergente o uno specchio – che ha la funzione di formare un'immagine reale dell'oggetto visualizzato, e da un oculare che ha il compito di ingrandire l'immagine formata dall'obiettivo. Quando oculare e obiettivo sono separati dalla somma algebrica delle due lunghezze focali, il telescopio si dice afocale: in questo caso se i raggi di luce che incidono sull'obiettivo sono paralleli, allora anche quelli emergenti dall'oculare lo sono, pertanto è possibile affermare che sia l'oggetto che l'immagine si trovano all'infinito. Il telescopio, inoltre, può anche avere distanza focale finita se viene modificata la distanza tra oculare e obiettivo, ciò viene eseguito per due possibili ragioni: per correggere la componente sferica dell'ametropia del paziente e per avere una visione distinta anche di oggetti posti a distanza ravvicinata.

I sistemi telescopici, sono sistemi composti e caratterizzati da almeno due elementi ottici separati. Genericamente, vengono suddivisi in due famiglie: i telescopi diottrici (o rifrattori) il cui obiettivo è una lente convergente, e i telescopi catadiottrici (o riflettori) che impiegano uno specchio concavo come obiettivo. I primi sono quelli principalmente utilizzati nel trattamento del soggetto ipovedente. La composizione dell'oculare rende possibile un'ulteriore suddivisione: quella in telescopio galileiano, quando è una lente divergente, e in telescopio kepleriano quando, invece, è una lente convergente a comporlo. L'obiettivo è, invece, formato da una lente convergente, di potere inferiore a quello dell'oculare e ha lo scopo di permettere l'entrata di una quantità elevata di energia luminosa.

Il telescopio deve essere un ausilio ottico che rechi il maggior comfort possibile al paziente, per questo motivo, specialmente nel caso venga assemblato con un occhiale, il suo peso ha un valore determinante nella buona riuscita dell'applicazione. La sua leggerezza è data da: il tipo di telescopio utilizzato, se galileiano o kepleriano (a parità di ingrandimento, il secondo è più pesante perché contiene prismi utili al raddrizzamento dell'immagine capovolta); dal diametro dell'oculare; infine, dal tipo di materiale delle lenti (i materiali organici riducono il peso).

Quando è possibile, è consigliabile adottare un sistema telescopico che favorisca la visione binoculare rispetto a quella monoculare, in ogni caso la pratica clinica ha insegnato che per il raggiungimento di risultati soddisfacenti sono necessari: un valore di acuità visiva che sia almeno di 4/50, una differenza di acuità tra i due occhi che non superi le due linee della tavola optometrica (in LogMAR) e che sia presente almeno un qualche grado di binocularità.^[12]

2.2 IL TELESCOPIO GALILEIANO

Definito anche telescopio terrestre, è costituito da una lente concava che funge da oculare e da una lente convessa che, invece, va a formare l'obiettivo. In questo sistema l'energia luminosa proveniente dall'obiettivo è resa così parallela dall'oculare formando un'immagine ingrandita, dritta e virtuale sulla retina dell'occhio. La lunghezza del telescopio galileiano (d) è uguale alla somma algebrica della lunghezza focale dell'obiettivo (f_{ob}) e dell'oculare (f_{oc}) (IMMAGINE 5):

$$d = f_{ob} + f_{oc}$$

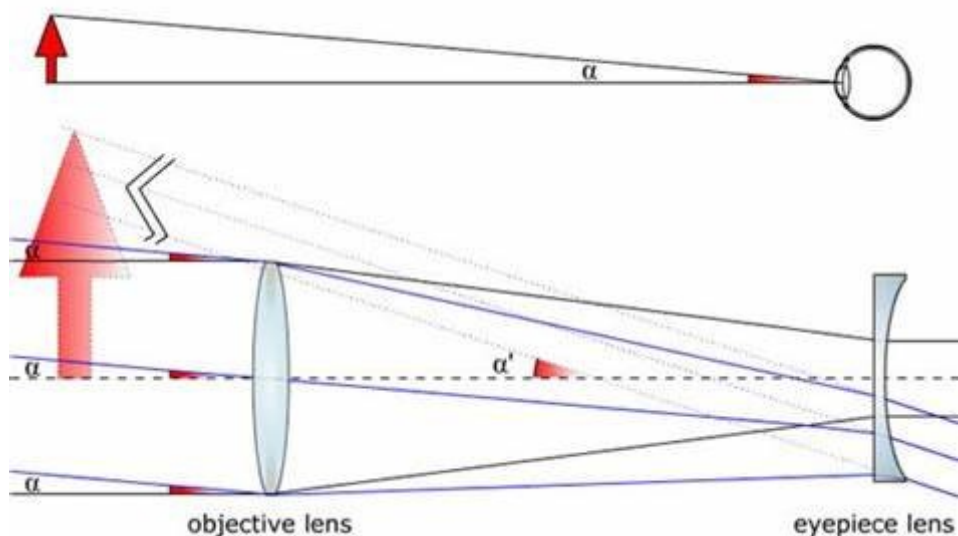
Dato che il potere dell'oculare è negativo la lunghezza del telescopio è più corta della focale dell'obiettivo.

Per calcolare l'ingrandimento angolare (I_a) del telescopio bisogna eseguire un rapporto tra la distanza focale dell'obiettivo e la distanza focale dell'oculare o anche il rapporto tra il potere dell'oculare (F_{oc}) e il potere dell'obiettivo (F_{ob}):

$$I_a = \frac{f_{ob}}{f_{oc}} = \frac{F_{oc}}{F_{ob}}$$

Questa regola vale solamente se il telescopio è afocale. Se, invece, l'oggetto è posto a distanza finita, l'ingrandimento deve essere calcolato separatamente per l'obiettivo e per l'oculare tramite il prodotto dei risultati.

La pupilla d'uscita nel telescopio galileiano è virtuale: si tratta dell'immagine dell'obiettivo vista attraverso l'oculare e che, solitamente, si trova dentro al telescopio. La grandezza e il posizionamento della pupilla d'uscita sono fattori rilevanti nel determinare la trasmissione dell'energia luminosa e l'ampiezza del campo di visibilità del telescopio.^[13]



TELESCOPIO KEPLERIANO

A differenza di quello galileiano, il telescopio kepleriano (o astronomico) è un sistema costituito da una coppia di lenti convergenti: un obiettivo a distanza focale relativamente lunga e un oculare di breve distanza focale, la cui distanza è tale affinché i due fuochi interni coincidano. Anche per questo tipo di telescopio la lunghezza si calcola sommando algebricamente le due distanze focali, che sono entrambe positive, perciò, a parità di ingrandimento e potere dell'obiettivo, il telescopio kepleriano è più lungo di quello galileiano (IMMAGINE 6).

Con l'oggetto posto all'infinito l'immagine è ingrandita, virtuale e capovolta; è necessario, quindi, affinché possa essere utilizzato nel campo dell'ipovisione, aggiungere dei prismi per raddrizzare l'immagine. L'ingrandimento angolare si calcola mediante la stessa formula utilizzata per il telescopio galileiano. ^[14]

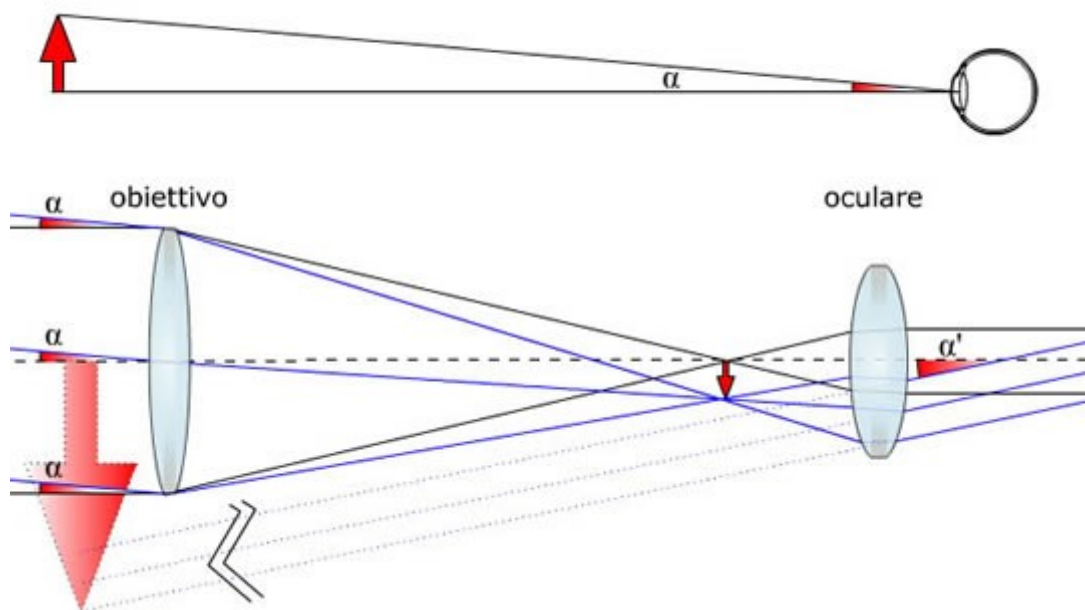


IMMAGINE 6: il funzionamento del telescopio kepleriano

FONTE: [02_ita.jpg \(540×338\) \(imss.fi.it\)](#)

2.3 CARATTERISTICHE DEL TELESCOPIO

ACCOMODAZIONE

In genere, chi applica ausili per ipovisione si chiede come mai sia difficoltoso utilizzare un sistema telescopico anche per la correzione a distanza ravvicinata come si fa con gli occhiali. Le problematiche che si incontrano, si possono ricondurre ad una richiesta accomodativa che è diversa, notevolmente più elevata nei telescopi rispetto agli occhiali. Prendiamo come esempio un telescopio con ingrandimento 2X e poniamo un oggetto a distanza 33 cm dall'obiettivo, la vergenza dei raggi emergenti dall'oculare è di -10,71 D per cui l'accomodazione richiesta è di quasi 10,75 D per una visione nitida a quella distanza. Per calcolare la quantità di accomodazione (A_{oc}) necessaria con un telescopio, è possibile rivolgersi all'equazione formulata da Freid (1977):

$$A_{oc} = \frac{I^2 L}{(1 - d) I L}$$

dove I è l'ingrandimento, L è la vergenza dei raggi sull'obiettivo e d è la distanza tra oculare e obiettivo espressa in metri. Molto spesso è possibile usare la formula approssimata:

$$A_{oc} = I^2 L$$

si tratta di una formula poco accurata ma che è sufficiente per far capire la quantità di accomodazione richiesta dal telescopio.^[15]

CAMPO VISIVO

È maggiore con ingrandimento basso, diametro dell'obiettivo ampio, distanza tra oculare e obiettivo ridotta e con oculare il più vicino possibile all'occhio. Per la valutazione del campo visivo è rilevante la posizione e il diametro della pupilla d'uscita. Quest'ultimo è possibile calcolarlo:

$$\text{diametro pupilla d'uscita} = \frac{\text{diametro lente dell'obiettivo}}{\text{ingrandimento del telescopio}}$$

Nei telescopi kepleriani la pupilla d'uscita è collocata all'esterno dell'oculare, perciò è più facilmente visibile e misurabile. Il diametro della pupilla d'uscita del telescopio, secondo teoria, dovrebbe essere un po' più grande della pupilla del soggetto ipovedente in modo da amplificare l'illuminamento retinico (flusso luminoso incidente sulla retina, dipende dalla quantità di energia luminosa trasmessa attraverso il telescopio e dal diametro della pupilla dell'utente). In caso di diametro ridotto, si va incontro a una criticità nell'allineamento, ciò può avere effetti negativi sul campo visivo.^[16]

ABERRAZIONI

Il crescere delle aberrazioni è direttamente proporzionale all'aumento dell'ingrandimento. L'aberrazione cromatica viene ridotta se si utilizzano obiettivo e oculare sottoforma di doppietto, tale sistema però aumenta sia il peso del telescopio che il costo. L'aberrazione sferica, invece, non rappresenta un vero e proprio problema poiché l'oculare ha un diametro ridotto. Infine, l'astigmatismo e la curvatura di campo sono in relazione con l'indice di rifrazione e i poteri di oculare e obiettivo.

CORREZIONE DELL'AMETROPIA

L'ametropia del soggetto ipovedente può essere corretta in tre modi: cambiando il potere dell'oculare, cambiando il potere dell'obiettivo oppure modificando la distanza tra i due. I primi due modi sono quelli più frequentemente utilizzati: quando viene modificato il potere a livello dell'oculare, il vantaggio è che non si altera il valore dell'ingrandimento. Sempre dietro l'oculare, è dove si aggiungono lenti toriche per la correzione di un eventuale astigmatismo sopra 1 D.

Cambiamenti relativi alla distanza obiettivo-oculare incidono in questa maniera sulla correzione dell'ametropia: se si riduce la distanza tra i due, i raggi provenienti dall'infinito emergono divergenti dall'oculare, pertanto si può correggere la miopia; mentre, se si aumenta la distanza tra obiettivo e oculare, i raggi emergeranno convergenti post oculare con conseguente correzione dell'ipermetropia.^[17]

INGRANDIMENTO

L'ingrandimento deve essere scelto sempre del valore più basso possibile: lo scopo è quello di limitare il più possibile problematiche legate a un ingrandimento elevato come il restringimento del campo visivo, l'aumento delle aberrazioni, il movimento apparente. Ovviamente, seppur basso, deve poter soddisfare le aspettative del paziente. Alcuni studi confermano questa teoria andando a dimostrare che si hanno maggiori probabilità di successo, se il telescopio per il lontano è caratterizzato da un basso ingrandimento (Demer e coll., 1991; Lowe e Rubinstein, 2000).

È possibile scegliere l'ingrandimento seguendo due approcci: il primo che fa riferimento a formule precise, il secondo che consiste nel procedere tramite prove ed errori con vari ausili e vari ingrandimenti. Solitamente i due metodi vengono integrati.

L'ingrandimento richiesto si ottiene eseguendo il rapporto tra l'acuità visiva (AV) desiderata e quella attuale del paziente:

$$\text{Ingrandimento richiesto} = \frac{AV \text{ desiderata}}{AV \text{ attuale}}$$

Questa equazione vale se l'acutezza visiva è espressa in valori decimali; utilizzando la formula inversa è possibile dedurre quale acuità si possa raggiungere utilizzando uno

specifico ingrandimento. AV desiderata dipende dalle richieste del paziente e dalle attività che egli privilegia. In genere, l'obiettivo che si prefissa lo specialista insieme al soggetto ipovedente è quello di raggiungere un'acuità visiva di 5/10 che permette di soddisfare la maggior parte delle comuni richieste visive. ^[18]

CAPITOLO 3

La prescrizione di un sistema telescopico è uno dei possibili approcci che contribuiscono al miglioramento della condizione visiva del soggetto ipovedente. È il sistema più usato per la correzione della visione a distanza, e può essere accompagnato anche da altri ausili ottici e non ottici. Per il corretto funzionamento del sistema telescopico è fondamentale una scelta adeguata dell'ingrandimento necessario al paziente per svolgere le attività che richiede. In questo capitolo verranno presentate le diverse tipologie telescopiche ad oggi sul mercato e verrà svolta un'analisi comparativa tra di esse, cercando di illustrarne i pregi e i difetti per ciascuna.

3.1 TELESCOPIO MONTATO SUGLI OCCHIALI O TENUTO A MANO



IMMAGINE 7: esempio di telescopio montato su occhiali

FONTE: [ipovisione.jpg \(400x226\) \(otticarcidiacono.it\)](#)

3.1.1 PRESENTAZIONE DEL SISTEMA

Il sistema telescopico tradizionale presenta tutte le caratteristiche elencate nel Capitolo 2. Per la visione a distanza si possono usare sia quelli a fuoco fisso che quelli a fuoco variabile; i secondi hanno il vantaggio di poter essere usati anche per le distanze minori, con la variabilità di fuoco che viene gestita manualmente dal paziente, tranne per particolari eccezioni. I telescopi, tendenzialmente, sono di tipo galileiano, quando il valore dell'ingrandimento è basso (1,5x-3x) e vengono montati sugli occhiali sia ad utilizzo monolare che binolare. Quando, invece, risulta necessario un ingrandimento maggiore, si sceglie il sistema kepleriano che viene generalmente tenuto manualmente, questo perché la necessità di utilizzo di un prisma per il raddrizzamento dell'immagine, renderebbe il telescopio molto pesante al soggetto che lo indosserebbe sulla montatura.^[12]

È evidente che gli occhiali telescopici (IMMAGINE 7), sono più adatti durante le attività visive prolungate da lontano, come durante la proiezione di un film, mentre quelli tenuti a mano risultano efficaci quando bisogna svolgere attività per tempi brevi. Può essere utile per il soggetto ipovedente possedere entrambe le modalità: l'occhiale telescopico, da utilizzare a casa o in ufficio, preferibile per la visione binoculare e a basso ingrandimento, il telescopio tenuto a mano, invece, usato monocularmente e utilizzato per attività specifiche come la visualizzazione delle insegne stradali, oppure del numero dei mezzi pubblici, ecc. Riguardo ai telescopi manuali, non c'è necessità che siano di piccole dimensioni, pertanto è consigliabile l'utilizzo dei sistemi kepleriani che beneficiano di una migliore qualità ottica e di un campo visivo più ampio. Esiste in commercio un telescopio con doppia funzione: può essere applicato sugli occhiali correttivi del soggetto ipovedente oppure tenuto a mano, si tratta del telescopio a clip; ha il vantaggio di essere versatile, quindi utilizzabile in ogni occasione, ed economico ma ha lo svantaggio di avere una pupilla d'uscita che è molto distante dalla pupilla della persona e questo va ad influire negativamente sul campo di visibilità; inoltre, c'è il rischio di danneggiamento sulle lenti oftalmiche durante la procedura di applicazione e rimozione del telescopio. Infine bisogna anche considerare, il difficoltoso mantenimento dell'allineamento tra oculare e pupilla.^[19]

3.1.2 APPLICAZIONE DEL SISTEMA

I modi per fissare il telescopio all'occhiale cambiano in base ai diversi produttori presenti nel mercato, la regola base conferma che bisogna rispettare dei canoni estetici e funzionali per evitare disagi al portatore. Quelli principalmente utilizzati sono: gli anelli filettati che vengono incollati sulle lenti oftalmiche, dove successivamente verrà avvitato il telescopio; dei supporti trasparenti forati circolarmente o in maniera ovale, che vengono molati per poi essere assemblati sugli occhiali. Il telescopio verrà poi montato tramite una ghiera che si avvita nella parte posteriore dello strumento ottico ingrandente.



IMMAGINE 8: rappresentazione di come il telescopio viene montato sugli occhiali

FONTE: [ipovisione.jpg \(1039x862\) \(centrootticoreppucci.it\)](#)

3.1.3 MOVIMENTI DELLA TESTA E CAMPO VISIVO

Sfortunatamente, i telescopi presentano spesso anche degli effetti negativi sul paziente ipovedente che vanno a compromettere i miglioramenti che il soggetto otterrebbe con l'ausilio ottico. Ad esempio, gli effetti visivi sulla persona, che hanno i movimenti involontari della testa, vengono amplificati quando si indossa un telescopio tradizionale, addirittura in alcuni pazienti questi movimenti possono annullare i benefici del telescopio [20]. Un'altra, ormai ben nota, conseguenza all'uso di un telescopio è la restrizione del campo visivo: i portatori hanno limitazioni nella visione periferica e sono costretti a fare movimenti di scansione con la testa per poter esaminare il campo visivo per esteso. Questi movimenti, combinati all'ingrandimento del telescopio, creano segnali di comunicazione discordante tra il sistema vestibolare e il sistema visivo. Ciò può provocare disagio o chinetosi, anche se nel tempo si verificherà un certo adattamento [19].

3.1.4 PERCEZIONE DELLA PROFONDITA'

Un altro effetto dell'ingrandimento telescopico è quello di modificare le relazioni spaziali geometricamente: analizzando le conseguenze dell'ingrandimento sulle informazioni visive monoculari tridimensionali, si noterà che la dimensione della profondità (ovvero la dimensione parallela all'asse del telescopio) viene compressa in relazione al potere dell'ingrandimento [21]. Ciò solleva numerose domande circa la distorsione che percepirà il paziente ipovedente nel momento in cui va ad indossare il sistema telescopico.

A tal proposito esiste uno studio condotto nel 2004 da Shah e Sedgwick su individui con visione normale, con lo scopo di valutare gli effetti sulla visione monoculare di un telescopio galileiano da due pollici; i partecipanti indossavano gli occhiali, il telescopio veniva montato su una lente mentre l'occhio controlaterale veniva occluso. Lo scopo era quello di misurare la loro percezione della distanza: per fare ciò ai partecipanti è stato chiesto di visualizzare un obiettivo posto a distanze diverse lungo un corridoio. Un gruppo di confronto indossava occhiali e vi ponevano davanti un tubo che aveva lo stesso campo visivo del telescopio ma che, ovviamente, era privo di ingrandimento. I risultati hanno evidenziato poca compressione della distanza in entrambi i gruppi e nessuna differenza significativa tra loro. Shah e Sedgwick ipotizzarono che la libertà dei partecipanti di poter compiere i movimenti con la testa, li aiutasse a scansionare gli angoli visivi e a percepirli in maniera più corretta e che questo, a sua volta, consentisse loro di ridurre in maniera significativa la compressione della distanza prodotta dall'ingrandimento del telescopio. Pertanto l'ipotesi di questo studio, ha suggerito la possibilità per cui la compressione della profondità, tipica del telescopio fisso, potrebbe essere più evidente con movimenti limitati della testa. [22]

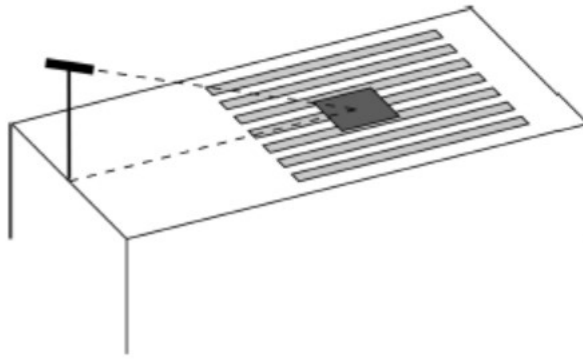


IMMAGINE 9: visione schematica dell'apparato che mostra l'allineamento del dispositivo di visualizzazione per includere lo stimolo al centro del campo visivo

FONTE: Tran G.; Sedgwick HA: (2008); Spatial Compression produced by a stationary low-vision telescope.; Illinois College of Optometry, Chicago

Nel 2008 è stato condotto un altro studio a riguardo: Tran e Sedgwick, hanno voluto riproporre lo studio condotto nel 2004, quindi verificare se la compressione della profondità dovuta all'ingrandimento potesse essere trovata o meno, però facendo alcune correzioni all'esperimento precedente. Anzitutto, gli esperti non hanno voluto testare direttamente l'ipotesi del movimento della testa, pertanto non hanno testato la situazione in cui i partecipanti fanno liberi movimenti; poi a differenza del 2004, il cui studio era stato condotto in ambiente normale con visione libera, Tran e Sedgwick hanno stabilito un ambiente visivo altamente controllato: l'esperimento è stato condotto su un tavolo (distante 100 cm dai soggetti), rispetto a una situazione a larga scala come era successo nel 2004, dove si è svolto un compito di percezione della forma (forme rettangolari perché forniscono informazioni prospettiche, attraverso la convergenza prospettica dei loro lati) (IMMAGINE 9). Tutti i partecipanti sono stati testati in due condizioni: con il telescopio (kepleriano, ingrandimento 2,75x, campo visivo 11,6°) e con il tubo (forniva lo stesso campo visivo del telescopio senza fornire ingrandimenti); in ogni condizione, i partecipanti hanno visualizzato lo stesso set di 13 forme rettangolari, tutte della stessa larghezza ma di lunghezza variabile. Durante ogni prova, i soggetti hanno osservato monocolarmente: le forme sono state presentate due volte, in maniera casuale, in entrambe le condizioni, per un totale di 52 prove. Le risposte fornite dai partecipanti sono state utilizzate per calcolare la quantità di compressione (o espansione) percepita lungo la direzione della profondità, durante la visualizzazione attraverso il tubo o il telescopio (GRAFICO 2). La compressione percettiva della forma è stata calcolata dividendo la proporzione percepita dai partecipanti (lunghezza/larghezza) per la proporzione effettiva: sia il telescopio sia il tubo hanno prodotto una compressione della profondità significativa, ma la percezione è stata decisamente più compressa attraverso il telescopio. In conclusione è possibile affermare che: l'ingrandimento prodotto da un sistema telescopico stazionario per ipovedenti genera una compressione della profondità percepita dai pazienti; inoltre, altre caratteristiche della visione telescopica, come la visione monoculare, i movimenti limitati della testa e un campo visivo ristretto, possono, nel complesso, contribuire in maniera sostanziale a tale compressione. ^[23]

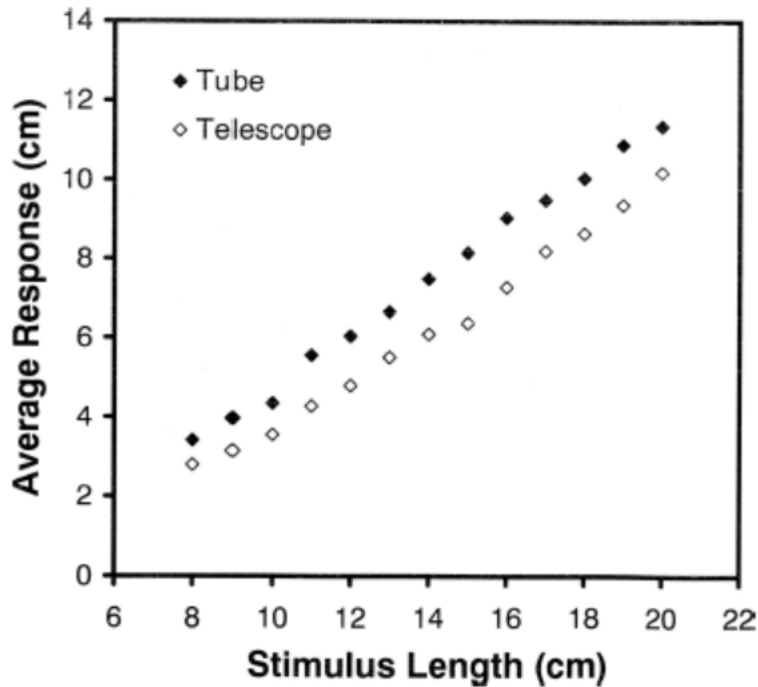


GRAFICO 2: un grafico a dispersione che mostra la relazione tra la lunghezza dello stimolo in centimetri (asse x) e la risposta percettiva media non normalizzata (asse y), quando si usa il tubo o il telescopio. Le risposte medie del tubo sono indicate con i rombi pieni, le risposte medie del telescopio con quelli vuoti. Gli errori standard medi sono 0,379 per il tubo e 0,523 per il telescopio.

FONTE: Tran G.; Sedgwick HA: (2008); Spatial Compression produced by a stationary low-vision telescope.; Illinois College of Optometry, Chicago

3.1.5 IL TELESCOPIO BIOTTICO

I telescopi biottici sono piccoli telescopi montati sulle lenti oftalmiche, utili al paziente ipovedente con perdita della vista centrale. Sono pensati per la guida, la loro posizione sull'occhiale permette al soggetto di utilizzarli occasionalmente piegando leggermente la testa verso il basso; tali dispositivi telescopici sono consentiti in 45 stati degli USA, nei Paesi Bassi e nella regione del Quebec, in Canada. Negli Stati Uniti, il livello di acuità visiva minimo per poter accedere alla patente di guida è 20/40 (5/10), tuttavia molti stati consentono la guida anche a coloro che possiedono acuità inferiore al valore richiesto purché dimostrino competenza nell'utilizzo del telescopio biottico durante la guida e soddisfino determinati requisiti inseriti in uno specifico programma utile per ottenere la licenza di guida. ^[24]

I telescopi biottici vengono generalmente posti davanti all'occhio con acuità visiva più elevata e montati nella metà superiore della lente oftalmica, al di sopra del punto in cui passa l'asse visivo con lo sguardo in posizione primaria. L'inclinazione in basso della testa, affinché si possa vedere attraverso il telescopio, dovrebbe essere di 10-20° (IMMAGINE 10). I conducenti che indossano il telescopio, guardano per la maggior parte del tempo attraverso le lenti portanti (lente oftalmica che corregge l'errore refrattivo). Quando è necessario un ingrandimento, ad esempio per leggere un cartello stradale o per vedere pedoni, ciclisti o un potenziale pericolo, chi lo indossa inclina leggermente la testa verso il

basso – per circa 2 s – per vedere attraverso il telescopio. Gli sguardi attraverso il telescopio sono generalmente brevi e poco frequenti. L'ingrandimento del dispositivo comunemente è di 2x e 4x i quali forniscono un campo visivo compreso tra i 6° e i 16°. [25]

C'è la possibilità di utilizzare telescopi biottici in maniera binoculare, però molti guidatori ipovedenti riferiscono difficoltà nell'allineamento. Una ulteriore possibilità è quella rappresentata dall'utilizzo del telescopio biottico in monovisione: cioè l'impianto del dispositivo in entrambi gli occhi, uno per la visione a distanza e l'altro per la visione del quadro dei comandi [26]. Come per ogni sistema telescopico, quando si guarda all'interno dello strumento si forma inevitabilmente uno scotoma ad anello; si predilige l'utilizzo del dispositivo in maniera monoculare così la zona cieca dell'occhio con il sistema ingrandente può essere vista con il controlaterale. [27]

Alla base della prescrizione e della funzionalità del telescopio biottico c'è il seguente criterio: durante la guida ci sono molte attività che non richiedono una elevata acuità visiva, si parla, ad esempio, dell'orientamento nella strada, della visualizzazione di altre auto, di pedoni o della segnaletica orizzontale sull'asfalto. Altre attività, invece, richiedono una maggiore capacità risolutiva, come il riconoscimento della segnaletica verticale e il controllo degli incroci; si tratta di situazioni occasionali durante un percorso in macchina, pertanto solamente in quel caso è necessario utilizzare il telescopio biottico, per circa 1-3 secondi (IMMAGINE 11). Il comportamento visivo che adotta la persona ipovedente in queste occasioni, è paragonabile a quello che mette in atto un normovedente nel momento in cui ruota gli occhi per osservare le immagini negli specchietti retrovisori. L'utilizzo del dispositivo telescopico, inoltre, è variabile anche a seconda della viabilità: in quella urbana sarà necessariamente maggiore rispetto a quella extraurbana. [28]



IMMAGINE 10: Esempio di telescopio biottico. (a) la maggior parte del tempo chi lo utilizza vede attraverso la lente portante senza alcun effetto d'ingrandimento. (b) con una leggera inclinazione della testa verso il basso il telescopio viene portato lungo l'asse visivo consentendo una visione ingrandita dell'oggetto d'interesse. Il telescopio in figura è un mini telescopio biottico kepleriano con ingrandimento 3x prodotto da Ocutech, Incorporated (Chapel Hill, North Carolina)

FONTE: Peli E.; Vargans- Martin F.; (2008); In the spectacle lens telescopic device; Journal of Biomedical Optics; 13 (3), 03427



IMMAGINE 11: simulazione di una visualizzazione di segnaletica stradale tramite il telescopio biottico con ingrandimento 3x, l'immagine ingrandita sulla retina crea uno scotoma ad anello.

FONTE: Peli E.; Vargans- Martin F.; (2008); In the spectacle lens telescopic device; Journal of Biomedical Optics; 13 (3), 03427

3.2 LENTI A CONTATTO TELESCOPICHE

3.2.1 PRESENTAZIONE DEL SISTEMA

Il sistema moderno di telescopio composto da lenti a contatto che hanno la funzione di oculare e lenti oftalmiche che invece svolgono il ruolo di obiettivo fu concepito da Dallos nel 1936, quando in un articolo affermava che le lenti a contatto sclerali in vetro fossero indicate nei casi di “irreparabile debolezza della vista”. [29] La prima applicazione clinica di tale ausilio risale al 1939, quando Bettman e McNair lo applicarono a un paziente di 50 anni con lesioni maculari bilaterali e acuità visiva di 6/150: era stata applicata una lente a contatto sclerale come oculare e una lente oftalmica di +29 D come obiettivo, tale sistema permetteva un ingrandimento di 1,6x, un campo visivo di 24° e un miglioramento dell’acuità visiva a 6/30. [30] Da allora, sono stati proposti diversi perfezionamenti al fine di migliorare sia la qualità della visione che la funzionalità dell’ausilio ingrandente.

3.2.2 APPLICAZIONE DEL SISTEMA

Come già scritto nel capitolo precedente, il design galileiano dei telescopi è formato da una lente convessa come obiettivo e una lente concava come oculare, che formano un’immagine dritta e virtuale. Di conseguenza, è solo questo sistema che ci dà la possibilità di costruire un telescopio con lenti a contatto e occhiali: dove l’oculare è una lente a contatto fortemente negativa che rende l’occhio artificialmente ipermetrope e l’obiettivo è costituito da lenti oftalmiche altamente positive inserite nell’occhiale. Oculare e obiettivo devono avere il potere adeguato e una distanza tra loro tale per cui il secondo punto focale dell’obiettivo coincida con il primo punto focale dell’oculare (GRAFICO 3). La lunghezza di un telescopio formato dal sistema lenti a contatto-occhiale è rappresentata dalla distanza tra il piano principale posteriore della lente oftalmica e il piano principale anteriore della lente a contatto (approssimato alla distanza dal vertice posteriore dell’occhiale). [31]

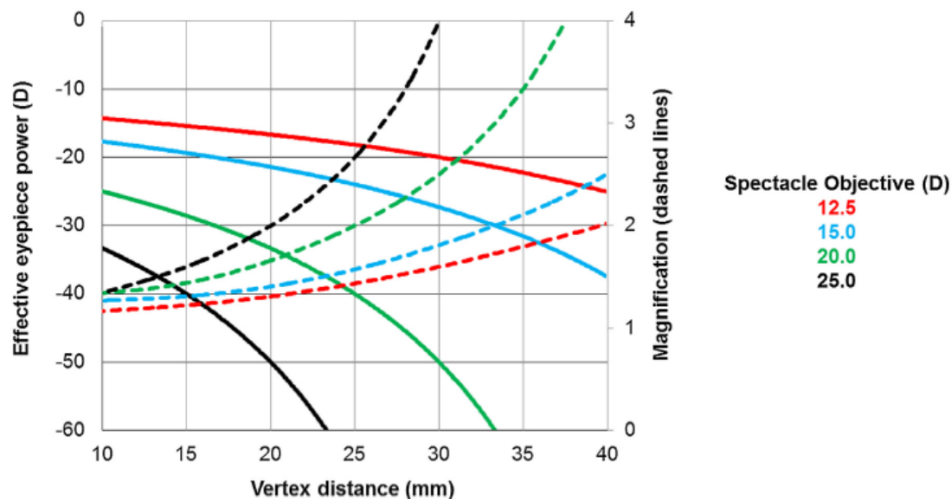


GRAFICO 3: rappresentazione grafica della relazione tra il potere effettivo dell'oculare (combinazione tra il potere delle lenti a contatto e l'errore di rifrazione non corretto del paziente) e la distanza dal vertice posteriore dell'occhiale (ovvero la lunghezza del sistema telescopico), e l'ingrandimento teorico prodotto in relazione alla distanza dal vertice posteriore dell'occhiale. Entrambi per una gamma di poteri dell'obiettivo compresi tra +12,5 D e +25 D, rappresentati con colori diversi.

FONTE: Vincent SJ.; (2017); The use of contact lens telescopic systems in low vision rehabilitation.; Cont Lens Anterior Eye ; 40: 131–142.

L'ingrandimento massimo possibile a causa di un limite superiore della distanza dal vertice degli occhiali di 25mm è di 2-2,5x.

3.2.3 AMPLIFICAZIONE DELLE VERGENZE

Come già detto precedentemente, i telescopi afocali tradizionali non possono essere utilizzati per svolgere lavori ravvicinati, a meno che il paziente non possieda un'ampia accomodazione. Questo perché si verifica il fenomeno dell'amplificazione delle vergenze, in cui i raggi di luce divergenti da un oggetto vicino, che entrano nel sistema telescopico, emergono dal sistema con maggiore divergenza. Ad esempio, utilizzando le formule riguardanti l'accomodazione del Capitolo 2, un telescopio afocale 2x, usato per visualizzare un oggetto a 20 cm, richiede una vergenza emergente di 20 D; le lenti a contatto telescopiche, possono ridurre questa disfunzione utilizzando una lente lenticolare come obiettivo – ovvero una lente oftalmica di potere diottrico elevato e con una zona ottica ridotta, per ridurre il peso e lo spessore, circondata da una zona marginale che permette il suo inserimento nella montatura^[15] – per la visione prossimale, o in alternativa è possibile aumentare la distanza dal vertice.^[32]

3.2.4 CAMPO VISIVO

Se il massimo livello d'ingrandimento raggiungibile è una limitazione, nel sistema telescopico lenti a contatto-occhiale il campo visivo nettamente più ampio è un vantaggio rispetto ai telescopi tradizionali; specialmente perché il campo visivo realmente utilizzabile nel telescopio montato sugli occhiali o tenuto a mano è spesso inferiore a quello teorico, a causa della scarsa qualità dell'immagine che si crea in periferia del campo visivo^[33]. È possibile fare un confronto tra i due sistemi, prendendo come riferimento un ingrandimento 2x: un tipico telescopio tradizionale montato su occhiali (obiettivo +25D di 26mm di diametro, oculare -50D di 13mm) posizionato a 12 mm dall'occhio del soggetto fornisce un campo visivo di 15°; mentre, lo stesso ingrandimento su un telescopio galileiano con lenti a contatto fornisce un campo visivo di 28°^[34]. Un fattore importante per questo risultato è la significativa riduzione della distanza tra oculare e pupilla, che di conseguenza fa diminuire anche quella che separa l'obiettivo con la pupilla. Inoltre l'aumento del diametro dell'obiettivo (lenti oftalmiche) fornisce un campo visivo ancora più ampio che aumenta linearmente con questo: ad esempio una lente con diametro di 40mm fornisce circa il doppio del campo visivo di una lente da 20mm). Allo stesso modo, anche il campo di fissazione – ovvero l'area dello spazio che racchiude tutti i punti verso i quali può essere diretto l'asse di fissazione di un occhio tenendo la testa ferma^[2] – migliora quando si utilizza una lente a contatto poiché l'oculare rimane centrato sulla pupilla mentre l'occhio si muove.^[31]

3.2.5 LIMITI E SVANTAGGI

A causa dell'elevato potere richiesto sia dell'obiettivo che dell'oculare, il sistema telescopico con lenti a contatto presenta numerose limitazioni. Il primo grande problema è il massimo livello pratico d'ingrandimento che è possibile raggiungere: poiché, nella pratica il limite massimo per la distanza dal vertice posteriore è di 25mm, di conseguenza l'ingrandimento teorico raggiungerà un massimo di 2-2,5x.

Un altro fattore limitante è dato dalla lente a contatto: il suo movimento, specie all'ammiccamento, si traduce in un movimento apparente del campo visivo dovuto all'elevato potere della lente e quindi all'effetto prismatico indotto, per ovviare a questo problema le lenti a contatto sclerali, che hanno un movimento minimo quando applicate, sono la soluzione più adatta data la loro maggiore stabilità. ^[35]

Un altro potenziale svantaggio di questo sistema riguarda i movimenti della testa, poiché si traducono in un movimento del campo visivo nella direzione opposta: al soggetto sembrerà che gli oggetti siano più vicini e che si muovano più velocemente di quanto sia in realtà. Anche i movimenti laterali degli occhiali (obiettivo) causeranno un movimento apparente del campo visivo, specialmente per distanze dal vertice maggiori. Risulta, quindi, fondamentale quando si inizia a indossare il dispositivo riapprendere la propriocezione (valutazione della distanza e della coordinazione occhio-mano).

Piccole variazioni della distanza dal vertice posteriore dell'occhiale (obiettivo) avranno influenza negativa sulla visione e potrebbe essere necessario inserire dei naselli, per mantenerla appropriata dato il livello d'ingrandimento desiderato. Uno scotoma ad anello sarà presente a causa dell'elevato potere positivo dell'obiettivo, tale problematica può essere ridotta al minimo con design asferici che sono in grado di ridurre rapidamente il potere della lente, oltre un diametro specificato. È necessaria un'addizione per la visualizzazione degli oggetti a distanza ravvicinata o intermedia attraverso un sistema telescopico afocale, a causa dell'effetto dell'amplificazione della vergenza; in tal caso la soluzione si può trovare in un paio d'occhiali ad alto potere per i compiti da vicino, utilizzando una lente bifocale come suggerisce Dittmer ^[36], o semplicemente aumentando la distanza dal vertice dell'obiettivo, ottimizzando così l'ingrandimento. ^[31]

3.2.6 SELEZIONE DEL PAZIENTE E PROCEDURE CLINICHE

Affinché l'applicazione delle lenti a contatto telescopiche avvenga con successo, è necessario che i pazienti siano fortemente motivati e con acuità simili tra i due occhi. È necessario che si prefiggano obiettivi visivi specifici (ad esempio, effettuare un compito visivo a distanza quando si è fermi) e che possano comprendere i potenziali limiti sopracitati. Per quanto riguarda l'acuità visiva, i migliori candidati sono gli ipovedenti con disabilità visiva lieve o moderata (da 6/30 a 6/120) ^[37]. Rispetto ai pazienti anziani, i giovani sembrano essere particolarmente entusiasti dell'utilizzo di questo ausilio, visto che ci sono miglioramenti nell'estetica rispetto ad altre alternative telescopiche; si tratta di pazienti con età compresa tra i 20 e i 30 anni con ipovisione conseguente a condizioni congenite stabili (albinismo, nistagmo, aniridia), che potrebbero abituarsi in maniera rapida al sistema

telescopico con lente a contatto e alternare con successo l'occhio con la lente a contatto ingrandente e il controlaterale con campo visivo normale ^[38]. In alternativa, studi hanno riportato casi di applicazione di lenti a contatto telescopiche binoculari, in situazioni in cui erano richiesti livelli d'ingrandimento bassi.

Le lenti a contatto telescopiche non sono pratiche per le miopie elevate, poiché l'oculare deve essere una lente a contatto fortemente negativa per permettere alti livelli d'ingrandimento e, se parte di questo potere viene sacrificato per correggere l'errore refrattivo, il sistema ne risentirà in termini qualitativi e quantitativi. Nel caso delle elevate ipermetropie (i soggetti afachici ad esempio), vale l'esatto contrario, perché l'ipermetropia non corretta aumenta il potere dell'oculare. Come in ogni applicazione di lenti a contatto, anche in questo caso deve essere valutata la capacità del soggetto nell'inserire e rimuovere l'ausilio ottico e nella manutenzione dello stesso. Queste procedure risultano complicate in base alla gravità della disabilità visiva della persona, di conseguenza il successo può essere maggiore nel caso in cui il paziente sia già pratico con le lenti a contatto ^[39].

Per il successo di questa soluzione correttiva, è importante anzitutto discutere col paziente le sue aspettative e i suoi obiettivi, delineando vantaggi e svantaggi del sistema. Si procede poi con l'esecuzione dell'esame refrattivo soggettivo per ipovisione, con lo scopo di determinare la correzione oftalmica e l'acuità visiva: se è presente astigmatismo corneale regolare o irregolare, una lente rigida (corneale o sclerale) può risultare la correzione ideale. I soggetti con nistagmo possono mostrare una diminuzione della stabilità della fissazione o riportare oscillopsia – condizione tipica del nistagmo in cui gli oggetti sembrano avere un movimento che in realtà è solo apparente, poiché sono fermi – durante la visione attraverso un telescopio, che potrebbero controindicare l'uso di lenti a contatto telescopiche ^[40]. Tuttavia, numerosi casi clinici hanno dimostrato una riduzione del nistagmo e un netto miglioramento dell'acuità visiva con questo sistema, probabilmente dovuto alla stabilizzazione dell'immagine retinica ^[41]. È per questo motivo che Drasdo e Sabell sostengono che la presenza di nistagmo è l'indicazione clinica più importante per la prescrizione di un sistema telescopico lenti a contatto-occhiali ^[42].

Prima di passare all'ausilio che fornisce ingrandimento, si consiglia di dotare il paziente di lenti a contatto RGP o morbide per la correzione del vizio refrattivo solamente: lo scopo è quello di dare la possibilità alla persona di acquisire familiarità con le lenti a contatto, con la loro manutenzione e permettere all'operatore di valutare la risposta oculare all'utilizzo. Una volta valutata la capacità del paziente nel portare lenti a contatto, si continua con l'applicazione del sistema telescopico: la maggior parte dei kit di prova per lenti oftalmiche ha poteri fino a +20D, tale lente funzionerà come obiettivo; per l'oculare, invece, è possibile ordinare una lente a contatto appropriata in base alla curvatura e al diametro della cornea, con un potere di -30/-35D. Con la lente di prova posizionata a una distanza dal vertice corneale di 20-25mm, il sistema dovrebbe produrre un ingrandimento di 1,5-2x. In seguito alla stabilizzazione della Lac, la montatura di prova deve essere posizionata alla maggior distanza possibile dal vertice posteriore e bisogna eseguire una sovrefrazione al fine di ottimizzare l'acuità visiva a distanza. Infine, si determina l'addizione per vicino. Se la montatura finale (possibilmente dotata di naselli per consentire piccole regolazioni e

adattamenti) ha una distanza dal vertice posteriore diversa dalla montatura usata durante la prova, bisogna andare a regolare il potere dell'obiettivo ^[31].

3.2.7 APPLICAZIONI FUTURE

Ancora in fase sperimentali su occhio meccanico sono applicazioni di sistemi telescopici unicamente compresi dentro lenti a contatto. Si tratta di prototipi di lenti a contatto telescopiche che utilizzano un sistema riflettente Cassegrain, denominato imager anulare multiplo, che eliminano la necessità di obiettivi ed oculari ad alto potere, utilizzati nel sistema appena descritto. Rispetto al telescopio composto da lenti oftalmiche/lenti a contatto, questo approccio fornisce un maggiore ingrandimento, grazie alla maggiore lunghezza effettiva che il percorso ottico compie attraverso i riflessi interni, e una maggiore luminosità dell'immagine. Anche spessore e peso del dispositivo sono notevolmente ridotti. ^[43]

Ford et al. hanno descritto una lente a contatto sperimentale sclerale avente diametro pari a 18,2 mm, in grado di alternare due percorsi ottici indipendenti: uno senza ingrandimento, l'altro con ingrandimento 2,8x attivato tramite un ammiccamento forzato controllato di 0,5 s. All'interno della zona ottica sono incorporate ottiche di filtraggio a polarizzazione passiva: un polarizzatore orizzontale centrale avente 1x ingrandimento e un polarizzatore verticale compreso in un anello medio-periferico. Quando la luce passa attraverso questo anello viene riflessa quattro volte internamente, e successivamente rifratta attraverso la superficie posteriore della lente a contatto e lo strato lacrimale post-lente fornendo un ingrandimento 2,8x. ^[44]

Sebbene questo approccio con telescopio riflettente abbia dimostrato di fornire efficacemente l'ingrandimento desiderato in un ambiente di laboratorio, la lente a contatto non è stata ampiamente testata sugli occhi umani. Il design attuale può indurre cambiamenti fisiologici che influenzano negativamente le prestazioni ottiche e la salute oculare, in particolare nei pazienti anziani. ^[45]

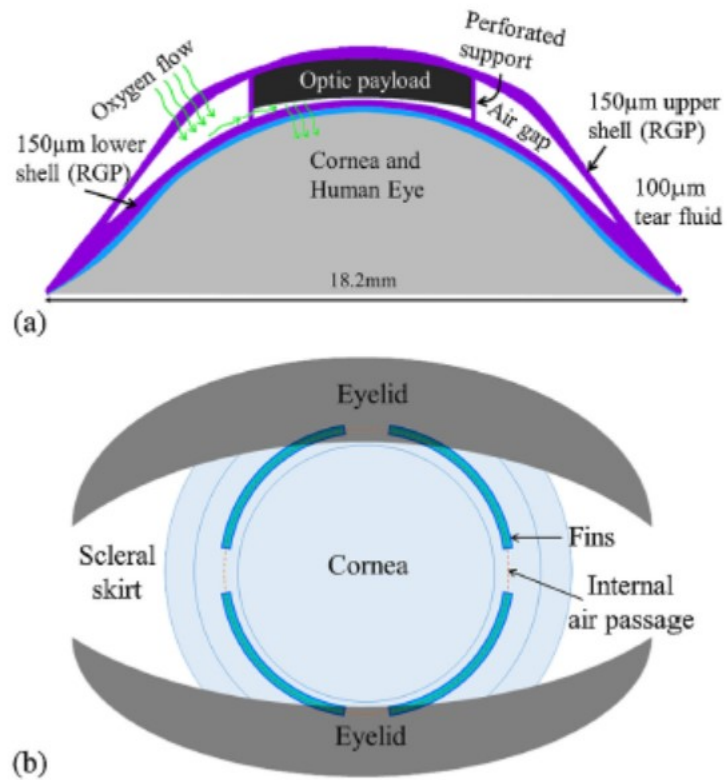


IMMAGINE 12: a) schema di una soluzione per fornire ossigenazione alla cornea con lenti a contatto sclerali telescopiche (air-gap) b) geometria dell'occhio con la lente a contatto sclerale. Immagini fornite da The Optical Society (OSA): Arianpour A, Scuster G, Tremblay J, STamenov I, Groisman A, Legerton J, Meyers W, Alonso Amigo G, Ford J, "Wearable telescopic contact lens", Appl. Opt. 54, 7195-7204 (2015)

FONTE: Vincent SJ.; (2017); The use of contact lens telescopic systems in low vision rehabilitation.; Cont Lens Anterior Eye ; 40: 131–142.

3.3 LENTI INTRAOCULARI TELESCOPICHE

3.3.1 PRESENTAZIONE DEL SISTEMA

La lente intraoculare telescopica è pensata per coloro che soffrono di danni retinici riguardanti la porzione centrale del campo visivo: la degenerazione maculare legata all'età (AMD), ad esempio, è una condizione retinica che provoca una progressiva perdita della visione centrale e la sua incidenza è in continuo aumento a causa dell'invecchiamento progressivo che sta subendo la popolazione mondiale, specialmente nelle aree industrializzate. In caso di AMD, i pazienti devono utilizzare il campo visivo periferico per seguire gli oggetti in movimento e muoversi nello spazio. Solitamente, molti pazienti affetti da degenerazione maculare senile sono anche affetti da cataratta, patologia che contribuisce ad una riduzione dell'acuità visiva ^[46]. In questa situazione, l'impianto di un sistema telescopico intraoculare potrebbe essere un'opzione da considerare per ottimizzare la capacità visiva residua del soggetto.

Un IMT (Implantable Miniature Telescope) è un dispositivo telescopico miniaturizzato che può essere impiantato nell'occhio umano; diversi studi di ricerca hanno riportato risultati clinici soddisfacenti, abbinati a sicurezza e miglioramento della qualità della vita del paziente dopo l'impianto ^[47]. Questi sistemi possono essere raggruppati in due tipologie: il primo è il telescopio galileiano costituito da due lenti ad elevato potere (IMMAGINE 11), il secondo è composto da specchi e si tratta del telescopio Cassegrain (sistema riflettente che utilizza una combinazione di specchi piani o curvi per riflettere la luce e formare un'immagine ingrandita, è formato da uno specchio concavo primario che riflette la luce su uno specchio convesso secondario posto entro la lunghezza focale dello specchio primario ^[31]). Entrambi i dispositivi telescopici intraoculari proiettano un'immagine ingrandita con ingrandimento pari a 2x o 3x, ma nella pratica clinica esiste una grande varietà di ingrandimenti differenti ^[48]. L'IMT di tipo galileiano è il più frequentemente utilizzato. ^[49]

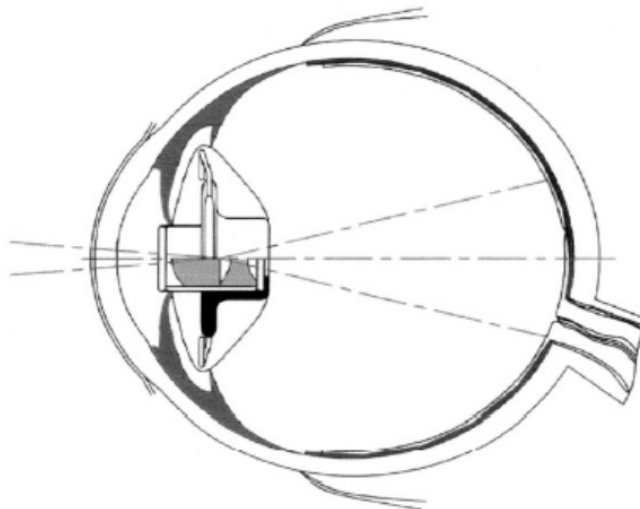


IMMAGINE 13: visualizzazione schematica del telescopio galileiano miniaturizzato impiantabile montato nella capsula del cristallino utilizzando una lente portante simili alle comuni lenti intraoculari e supportata anteriormente dall'iride.

FONTE: Primo SA.; (2010); Implantable miniature telescope: lessons learned; Optometry; 81:86-93

Una volta impiantato, il telescopio ingrandisce gli oggetti nel campo visivo centrale e li focalizza su aree sane della retina non affette da AMD, consentendo agli individui di riconoscere oggetti che altrimenti non potrebbero vedere. Il dispositivo viene inserito monocularmente ed elimina la visione periferica nell'occhio: a tal proposito, il paziente dovrà fare affidamento unicamente sul controlaterale per la visione periferica dopo l'intervento chirurgico. È importante un percorso di follow up riabilitativo post-operatorio affinché il soggetto impari ad adattarsi al dispositivo. ^[50]

3.3.2 APPLICAZIONE DEL SISTEMA

Nella maggior parte dei casi, il dispositivo è impiantato nella camera posteriore dell'occhio, al posto del cristallino ed è costituito da un telescopio galileiano in miniatura (una lente anteriore positiva e una posteriore negativa) a fuoco fisso montato su un impianto di lente intraoculare in PMMA (IMMAGINE 12). L'IMT si gonfia in avanti nella camera anteriore attraverso la pupilla, l'iride svolge un ruolo di sostegno e centraggio del sistema miniaturizzato vicino all'asse ottico e contribuisce a far filtrare meno luce, proteggendo la retina e aumentando il contrasto. ^[51]

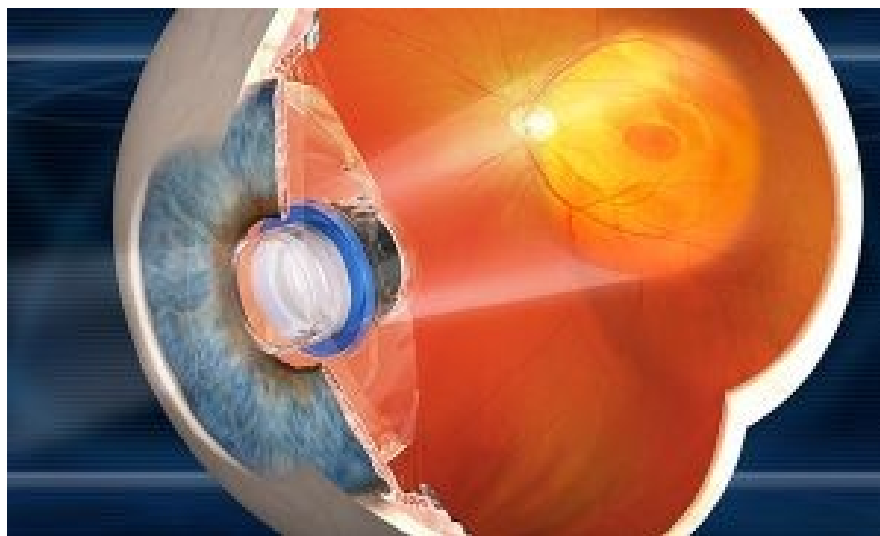


IMMAGINE 14: impianto di un telescopio intraoculare miniaturizzato (IMT)

FONTE: [IMT-for-ARMD-300x179.jpg \(300x179\) \(kceyeclinic.com\)](#)

Il sistema telescopico intraoculare, pensato con un ingrandimento circa 3x, pesa 60 mg in soluzione acquosa, possiede un diametro di 3,6 mm e una lunghezza di 4,4 mm; la sua porzione anteriore dista circa 2 mm dalla superficie posteriore della cornea. Insieme a questa, l'IMT agisce come un teleobiettivo con ingrandimento nominale di 2,79x dell'immagine retinica, proiettandola su un'area di circa 55° della retina centrale e periferica, che si traduce in un campo visivo di 20°; ha una distanza di messa a fuoco ottimale di 3 m e una profondità di messa a fuoco compresa tra 1,5 e 10 m, contribuendo così a un miglioramento di molte attività della vita quotidiana. Con l'uso di occhiali, il sistema può migliorare la messa a fuoco

a qualsiasi distanza (lontano, intermedio e vicino) ^[52]. È stata proposta anche una versione di lente intraoculare telescopica con ingrandimento 2,29x, decisamente meno utilizzata rispetto a quella da 2,79x. ^[53]

Quando è impiantato nell'occhio, il dispositivo fornisce un'immagine ingrandita centrale mentre il controlaterale viene utilizzato per il movimento, la visione periferica e quella in profondità. La riduzione del campo visivo comporta che l'IMT non sia adatto per l'impianto bilaterale o per pazienti con un solo occhio funzionante. Questo sistema telescopico viene utilizzato generalmente nei pazienti affetti da AMD allo stadio terminale, con acuità visiva compresa tra 20/125 e 20/800 in ciascun occhio (1,25/10 e 1/40) e con errore refrattivo nell'occhio selezionato rientrante tra -6.00 D e +4,00 D. Esiste in commercio, un simulatore che replica l'ingrandimento, il campo visivo e la trasmissione della luce che fornirà poi il dispositivo intraoculare telescopico una volta inserito: tale strumento è di nota importanza a livello clinico perché permette all'operatore di analizzare l'aumento dell'acuità visiva previsto, ma anche la tolleranza al campo visivo ridotto, la perdita di binocularità e la ridotta trasmissione della luce causata dall'impianto. ^[54]

È stato dimostrato che la selezione appropriata dell'occhio, dove si andrà successivamente ad inserire il dispositivo telescopico, è un fattore di rilevata importanza per il successo finale dell'intervento. Diverse simulazioni, hanno portato gli esperti ad affermare che l'acuità prevista per l'occhio che poi conterrà l'IMT dovrebbe essere almeno 2 linee LogMAR migliore rispetto all'acuità visiva (con miglior correzione) del controlaterale; nel caso in cui non ci fosse questa differenza tra i due occhi, l'individuo non avrebbe alcun incentivo ad utilizzare l'occhio dell'impianto ed è molto probabile che continui ad utilizzare l'altro occhio per le attività che richiedono una visione dettagliata. Se entrambi gli occhi soddisfano questi criteri riguardanti l'acuità visiva si va a valutare la dominanza oculare rispetto alla motilità ^[51]. Questo metodo di selezione degli occhi si basa sui risultati di uno studio prospettico svolto negli Stati Uniti: in 206 pazienti, con acuità visiva media di 20/320 è stato impiantato un dispositivo telescopico intraoculare con ingrandimento 2,79x o 2,29x; dopo un anno è stato valutato il miglioramento dell'acuità visiva ETDRS e l'acuità ravvicinata ed era rispettivamente di 3,5 linee e 3,2 linee, con un miglioramento maggiore riservato per coloro che avevano impiantato il dispositivo con ingrandimento 2,79x ^[55]. I seguenti guadagni sono stati mantenuti anche durante il secondo anno, al quinto, invece, il guadagno medio di acutezza si era ridotto a circa 2,4 linee (per gli under 75 anni) e 2,1 linee (over 75). ^[56]

3.3.3 CAMPO VISIVO

Come per i sistemi telescopici analizzati in precedenza, anche in questo caso il limite principale è rappresentato dalla restrizione del campo visivo conseguente all'ingrandimento poiché un'immagine ingrandita occupa uno spazio angolare maggiore sulla retina rispetto all'oggetto non ingrandito. Pertanto, il soggetto che usufruisce del sistema telescopico nota la comparsa di uno scotoma ad anello che circonda l'immagine ingrandita, indipendentemente dal metodo o dal dispositivo telescopico utilizzato. Il diametro interno dello scotoma è pari al diametro del campo visivo del telescopio; quello esterno, invece, è pari al prodotto tra il diametro del campo visivo e dell'ingrandimento fornito dal telescopio

[57]. Poiché la scansione dei movimenti oculari è necessaria per il corretto funzionamento del sistema visivo (anche in un occhio normale), il limite posto dallo scotoma ad anello sui movimenti può ostacolare il successo del sistema telescopico. Il campo visivo effettivo attraverso un dispositivo telescopico è calcolato tramite la combinazione del campo visivo istantaneo e la quantità di scansione oculare consentita dal dispositivo: questo intervallo viene misurato come campo di fissazione, ovvero il campo entro il quale si possono compiere i movimenti oculari [58]. Rispetto ad altri sistemi telescopici, il campo di fissazione con l'IMT non subisce sostanziali limitazioni, ovvero qualsiasi punto del campo che può essere fissato ad occhio nudo, viene fissato anche se nell'occhio è impiantato il dispositivo intraoculare: sebbene il campo visivo sia limitato, qualsiasi oggetto visto al suo interno può essere fissato. Gli oggetti al di fuori del campo visivo dell'IMT possono essere visualizzati con l'altro occhio, specialmente durante la lettura l'occhio con la lente intraoculare può continuare a scansionare lungo la riga di testo, mentre con tutti gli altri sistemi sono necessari movimenti della testa. [59]

3.3.4 MOVIMENTI DELLA TESTA

L'utilizzo di qualsiasi dispositivo telescopico tradizionale provoca un'alterazione della stabilità dell'immagine e della direzione percepita, a causa dei movimenti della testa [60]. Nella visione naturale, senza dispositivi ottici ingrandenti, se un osservatore fissa un oggetto in posizione primaria di sguardo e successivamente ruota la testa mantenendo la fissazione sullo stesso obiettivo, il movimento che compie l'occhio nell'orbita è uguale e opposto alla direzione di rotazione della testa. Tale movimento oculare è generato automaticamente dal riflesso oculare vestibolare (VOR) in risposta alla rotazione della testa, e risulta fondamentale per il mantenimento della stabilità dell'immagine retinica durante i movimenti della testa e del corpo.

Quando si indossa un sistema telescopico, il movimento che deve compiere l'occhio è maggiore. Ad esempio, con un ingrandimento 3x, è necessario un movimento oculare tre volte maggiore rispetto alla rotazione della testa; tuttavia, il sistema vestibolare ruoterà l'occhio solo per compensare la rotazione della testa, lasciando la fovea lontana dal punto immagine dell'oggetto [61]. Se il VOR non può adattarsi in modo differente tra i due occhi, ogni movimento della testa associato a un dispositivo d'ingrandimento, risulterà in un sostanziale movimento dell'immagine nell'occhio con conseguente riduzione della sensibilità [62]. Rispetto al resto dei dispositivi telescopici, la lente intraoculare telescopica riduce gli effetti dell'ingrandimento sul sistema vestibolare: con l'IMT, un dato movimento della testa richiederà un movimento compensatorio oculare della stessa grandezza nonostante l'ingrandimento (IMMAGINE 13). Inoltre, non si verificherà alcun conflitto tra i movimenti dell'immagine in entrambi gli occhi con l'impianto di un IMT monoculare. [59]

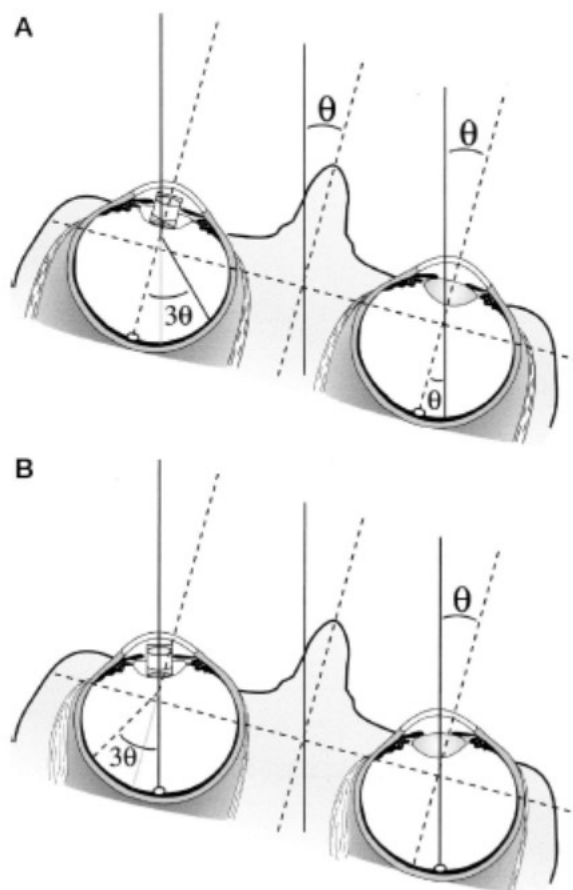


IMMAGINE 15: A) quando si utilizza il sistema intraoculare telescopico miniaturizzato impiantabile monocularemente, dopo una rotazione della testa di angolo θ° , l'immagine viene spostata di $3\theta^\circ$ dalla fovea della retina, come per qualsiasi altro sistema telescopico. B) La rotazione compensatoria dell'occhio generata dal riflesso vestibolare oculare è di $-\theta^\circ$, ed è sufficiente per ripristinare la fissazione.

FONTE: Peli E.; (2002); The Optical Functional Advantages of an intraocular low vision telescope; Optometry and vision science; Vol.79 no.4; pp.225-233

La situazione riguardo i movimenti della testa, si applica anche quando l'individuo sposta la fissazione tra bersagli senza compiere alcun movimento con la testa. Ad esempio, con l'IMT un obiettivo posto a 3° dalla fissazione richiederà un movimento oculare di 3° per essere esaminato, invece di richiederne almeno 9° come nel caso del sistema telescopico tradizionale ^[59]. L'effetto di tali dispositivi d'ingrandimento sul controllo del movimento oculare e sul riflesso di fissazione è stato studiato da Drasdo: in particolare l'esperto ha notato che, anche se il dispositivo d'ingrandimento è legato all'occhio, come nel caso del sistema telescopico lenti a contatto/occhiali, provocherà comunque l'interruzione della fissazione ^[63]. Lo stesso principio dovrebbe valere per l'IMT. Tuttavia, dato che questo metodo d'ingrandimento prevede l'impianto monoculare, se un bersaglio viene osservato con il controlaterale ad una certa distanza angolare dalla fissazione, può essere acquisito con l'IMT con un movimento oculare di grandezza corrispondente. Così l'IMT offre al paziente vantaggi per quanto riguarda la direzione della visione e, quindi, il movimento nello spazio durante i movimenti oculari, quelli della testa e l'osservazione di oggetti in movimento. ^[59]

3.3.5 PERCEZIONE DELLA PROFONDITA'

Tutti i telescopi monoculari ostacolano la disparità binoculare e la visione stereoscopica e quindi limitano la percezione della profondità nel momento in cui vengono utilizzati. Oltre alla disparità binoculare, esistono numerosi fattori (di carattere monoculare) che forniscono informazioni dettagliate sulla profondità relativa: ad esempio, l'occlusione parziale (interposizione), le dimensioni relative degli oggetti conosciuti, la prospettiva lineare, la forma dell'ombreggiatura e la prospettiva aerea, forniscono un utile senso di profondità all'ambiente. Tuttavia per alcuni compiti visivi, la percezione dettagliata della profondità fornita dalla disparità binoculare potrebbe essere necessaria a discapito dei segnali monoculari sopracitati.^[64]

Un altro fattore monoculare utile alla percezione della profondità è la parallasse di movimento: ovvero, gli oggetti più vicini all'occhio sembrano muoversi più velocemente degli oggetti più lontani (che si muovono con la stessa velocità). Questo effetto si ha quando, con movimenti della testa e, di conseguenza, con movimenti laterali degli occhi, un oggetto più vicino avrà maggiore velocità sulla retina e coprirà un'area retinica più ampia rispetto all'oggetto più lontano.^[65]

I movimenti oculari rotatori non forniscono sufficienti segnali di parallasse, perché il centro di rotazione dell'occhio è vicino al suo punto nodale e le rotazioni attorno al punto nodale non forniscono alcuna parallasse. Studi recenti, però, hanno evidenziato che alcuni animali sono in grado di utilizzare le rotazioni oculari per ricavare la parallasse e, di conseguenza, le informazioni relative alla profondità necessarie per la loro sopravvivenza. Sono in grado di farlo poiché l'ottica geometrica oculare gli consente di spostare il punto nodale anteriormente al centro di rotazione (vicino alla cornea)^[63]. Con il punto nodale separato dal centro di rotazione, le rotazioni oculari forniscono le informazioni necessarie affinché si verifichi la parallasse. Ciò accade anche quando si indossa un IMT, poiché tale dispositivo sposta i punti nodali del sistema combinato occhio-telescopio circa 4 cm davanti alla cornea (IMMAGINE 14). Con il punto nodale in questa posizione, anche i più piccoli movimenti oculari associati alla normale fissazione forniscono una parallasse sufficiente per una percezione precisa della profondità. Tutti i dispositivi d'ingrandimento spostano il punto nodale anteriormente, però gli effetti dei movimenti oculari sulle posizioni dei punti nodali sono molto più complessi e limitati con un telescopio montato sulla testa o per il sistema di lenti a contatto telescopiche a causa del decentramento relativo dei componenti del sistema. Pertanto questi sistemi non forniscono gli stessi vantaggi dell'IMT. Sono necessari maggiori studi riguardo la parallasse di movimento, per capire se la lente intraoculare telescopica fornisce effettivamente ai pazienti un'utile percezione della profondità nonostante la mancanza di fusione binoculare.^[59]

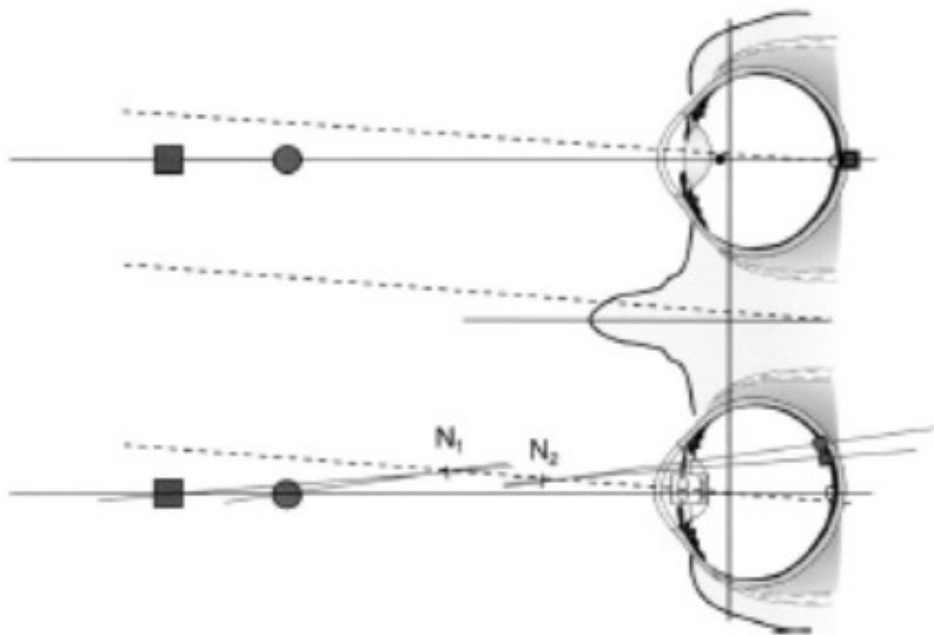


IMMAGINE 16: illustrazione del modo in cui un singolo occhio con un telescopio miniaturizzato impiantabile può determinare la profondità mediante la rotazione

FONTE: Peli E.; (2002); The Optical Functional Advantages of an intraocular low vision telescope; Optometry and vision science; Vol.79 no.4; pp.225-233

CONCLUSIONI

Lo scopo di questo elaborato è stato quello di presentare al lettore un tipo di strategia correttiva al forte deficit visivo causato dall'ipovisione: il sistema telescopico afocale. Il telescopio è un dispositivo utilizzato principalmente per consentire l'ingrandimento di oggetti posti a distanza, così da poter essere focalizzati dall'ipovedente che in condizioni di visione normale non sarebbe in grado di visualizzare dato che la sua capacità visiva è inferiore ai 3/10. Di conseguenza si viene a creare una situazione vantaggiosa per il paziente, che può condurre determinate attività che prima non era in grado di svolgere: come la visione di televisione e computer, il movimento con mezzi di trasporto pubblici, in alcuni stati anche la possibilità di guidare, ecc. La capacità ingrandente del sistema, però, causa una serie di svantaggi che l'ipovedente deve conoscere affinché possa indossare con successo il telescopio.

Un ulteriore scopo che mi ero prefissato all'inizio di questa indagine era quello di capire, per i tre dispositivi telescopici analizzati, quali fossero i compromessi che il paziente avrebbe dovuto accettare affinché il sistema ingrandente fornisse un valido ingrandimento dell'immagine senza però causare disturbi. Dai miei studi è emerso che, la conseguenza principale all'utilizzo di un telescopio è la riduzione del campo visivo. Questo avviene in maniera decisamente marcata se si utilizza un sistema tradizionale, ovvero un dispositivo telescopico montato su occhiali oppure tenuto a mano: prendiamo ad esempio un telescopio avente un obiettivo di +25D e un oculare di -50D posizionato a 12mm dall'occhio che fornisce un ingrandimento di 2x: il campo visivo di cui disporrà l'ipovedente sarà 12°. Questo impedisce al paziente un utilizzo duraturo nell'arco della giornata, e crea disagio perché lo obbliga a compiere numerosi movimenti con la testa (che possono annullare i benefici del telescopio) per visualizzare il campo visivo per esteso. Dalle ricerche è emerso, inoltre, che un altro effetto dell'ingrandimento del telescopio è la compressione della profondità in relazione proprio al potere dell'ingrandimento: ciò solleva numerose domande riguardo la distorsione che percepirà il paziente ipovedente nel momento in cui andrà a indossare il sistema telescopico.

Un'alternativa al sistema telescopico tradizionale prevede una combinazione tra lenti a contatto e occhiale: in questo studio ho provato ad analizzare un sistema telescopico galileiano che incorpora una lente a contatto e fornisce un ingrandimento sia da lontano che da vicino come formula correttiva all'ipovisione. Come spiegato anche nel capitolo 2, qualsiasi tipo di telescopio fatica a fornire garanzie nella correzione della disabilità visiva a distanza ravvicinata, questo perché si presenta un problema definito amplificazione delle vergenze: i raggi di luce divergenti provenienti da un oggetto vicino, entrano nel sistema telescopico, ed escono con maggior divergenza. Il dispositivo combinato lenti a contatto/lenti oftalmiche può ridurre questa disfunzione utilizzando una lente lenticolare come obiettivo, oppure modificando la distanza dal vertice. In questo sistema telescopico, il massimo livello d'ingrandimento raggiungibile, 2-2,5x, è una limitazione poiché è strettamente legato alla distanza dal vertice dell'occhiale (non superiore ai 25mm); a trarne beneficio, però, rispetto ai telescopi tradizionali è il campo visivo. A caratterizzare questo

vantaggio è, principalmente, la riduzione della distanza tra oculare e pupilla (nel sistema telescopico lenti a contatto-lenti oftalmiche l'oculare è rappresentato dalla LAC) sommata anche all'aumento del diametro dell'obiettivo (lente oftalmica). Riprendendo l'esempio precedente, se un telescopio presenta un obiettivo di +25D e un oculare di -50D e fornisce un ingrandimento 2x, in questo caso il campo visivo sarà di 28°. Il sistema telescopico con lenti a contatto, però, presenta anche numerose limitazioni a causa dell'elevato potere richiesto sia dell'obiettivo che dell'oculare; inoltre, dato che il movimento della lente a contatto sopra la cornea provoca un movimento apparente del campo visivo, le lenti a contatto sclerali sono la soluzione più adatta a rappresentare l'oculare di questo sistema, in quanto garantiscono una eccellente stabilità dopo l'applicazione. Come per il telescopio tradizionale, anche in questo caso i movimenti della testa avranno effetti negativi sul successo del dispositivo ingrandente, a tali movimenti vanno aggiunti anche quelli che può subire l'occhiale, i quali rendono in determinate situazioni davvero difficile l'applicazione del telescopio. È una soluzione difficile da adottare, anche perché il paziente dovrebbe essere in grado di maneggiare autonomamente le lenti a contatto e tutto ciò che riguarda la pulizia e la manutenzione delle stesse: il forte deficit visivo dell'ipovedente rende davvero complicati questi passaggi. Infine, le lenti a contatto telescopiche sono una valida alternativa ai sistemi tradizionali perché ne alleggeriscono il peso, ne migliorano l'estetica e ne ampliano il campo visivo: tali dispositivi risultano efficaci specialmente in caso di pazienti giovani e fortemente motivati, consapevoli delle controindicazioni relative all'applicazione.

Il terzo sistema telescopico studiato in questo elaborato è l'IMT: Implantable Miniature Telescope. Si tratta di una lente intraoculare impiantata monocolarmente nella camera posteriore dell'occhio con acuità visiva migliore, pensata con un ingrandimento di circa 3x (2,79x) che fornisce un campo visivo di 20°. Gli studi effettuati su questo dispositivo, confermano dei miglioramenti relativi al campo visivo, ai movimenti della testa e alla percezione della profondità rispetto ad altri sistemi telescopici. L'IMT offre al paziente vantaggi per quanto riguarda la direzione della visione, quindi, l'orientamento nello spazio durante i movimenti oculari e della testa. Raggiungere il successo visivo con la lente intraoculare telescopica è un gran traguardo per il paziente ipovedente: anche in questo caso serve una forte motivazione per adattarsi ad un sistema che presenta ingrandimenti e campi visivi diversi tra i due occhi. Comprendere questa situazione e i modi in cui i pazienti possono usufruire efficacemente del dispositivo (tramite percorsi di follow-up post impianto), è la grande sfida che l'IMT deve affrontare sul mercato.

In conclusione, è necessario che il paziente venga istruito al corretto utilizzo del sistema telescopico, che sia al corrente degli svantaggi relativi al campo visivo, all'accomodazione, ai movimenti della testa e alla percezione della profondità. È importante, inoltre, proseguire il trattamento dell'ipovedente con percorsi di follow-up anche dopo la prescrizione del dispositivo telescopico, con lo scopo di perfezionare l'applicazione. È importante anche valutare con il soggetto i miglioramenti che il sistema ingrandente porta nella quotidianità, confrontandoli con i compromessi necessari da accettare affinché il dispositivo svolga la sua funzione.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Sito ufficiale del Ministero della Salute; sito: [Quadro normativo \(salute.gov.it\)](http://salute.gov.it)
- [2] Lupelli L.; *OPTOMETRIA A-Z Dizionario di Scienza, tecnica e clinica della visione*; Medical Books; Palermo; 2014; p. 16
- [3] Burato L.; *L'occhio, le sue malattie, le sue cure*; Giordano C.; Capitolo 11, *Ipovisione*; 2010, pp. 131-135
- [4] Relazione del Ministero della Salute sullo stato di attuazione delle politiche inerenti la Prevenzione della Cecità, l'Educazione e la Riabilitazione Visiva. pp.5-8
- [5] Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: the Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study – PubMed, 2021
- [6] Lupi V.; *LEZIONI DI ANATOMIA E FISIOPATOLOGIA OCULARE PER STUDENTI DI OPTOMETRIA*; Patologia del Cristallino; Fabiano Editore; Canelli (AT); 2004; pp. 183-187
- [7] Midena E.; *MALATTIE DELL'APPARATO VISIVO*; Retina e Vitreo; Cedam Editore; Milano; 2006; pp. 115-116
- [8] IAPB Italia Onlus – Agenzia Internazionale per la prevenzione della cecità. Malattie oculari, Glaucoma; sito: [Glaucoma - IAPB Italia Onlus: Agenzia Internazionale per la Prevenzione della Cecità](http://www.iapbitalia.org)
- [9] Bucci M.G.; *OFTALMOLOGIA*; Manni G.L., Lesoni La Parola G.; 13. RETINA; Società Editrice Universo; 1993; pp. 274-280
- [10] J. Adelson, R. Bourne, P. Briant, S. Flaxman, H. Taylor, J. Jonas, A. Abdoli, W. Abrha, A. Abualhasan, E. Abu-Gharbieh, T. Adal (2020).). [Cause di cecità e compromissione della vista nel 2020 e tendenze nell'oltre 30 anni, e prevalenza di cecità evitabile in relazione a VISION 2020: il diritto alla vista: un'analisi per il peso globale dello studio sulle malattie.](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30100-0) Lancet Global Health.
- [11] Rossetti A., Gheller P.; *MANUALE DI OPTOMETRIA E CONTATTOLOGIA; LE ANOMALIE REFRATTIVE*; Zanichelli Editore; Bologna; 2003; pp. 23-35
- [12] Lupelli L.; *IPOVISIONE: I FONDAMENTI E LA PRATICA*; 8. Ausili Ottici Per Lontano: i Telescopi; Medical Books; Palermo; 2004; pp. 143-152
- [13] Gerstman DR, Levene JR (1974); Galileian telescopic system for partially sighted. Br J Ophthalmol. 58: 761-765

- [14] Mamoun J; Wilkinson ME; Feinbloom R; (2015); Technical Aspects and Clinical Usage of Keplerian and Galilean Binocular Surgical Loupe Telescopes used in Dentistry or Medicine; Surgical and Dental Ergonomic Loupes Magnification and Microscope Design Principles
- [15] Freid A. (1977); Telescopes, light vergence and accommodation; Am J Optom Physiol Opt. 54: 365-373
- [16] Figuccia S (2000); Ausili ottici ed elettronici per ipovedenti: caratteristiche e condizioni di utilizzazione. In Abati S., Giacomelli G., Volpi R.; Argomenti di Ipo visione Suppl 2. Canelli (At); Fabiano Editore; pp. 99-123
- [17] Lowe JB., Rubinstein MP. (2000); Distance Telescopes: a survey of user success. Optom Visi Sci.77: 260-269
- [18] Williams DR; (1999); Low vision distance system II: telescopes and telemicroscopes. In Brilliant RL; Essential of low vision practice; Boston, Butterworth-Heinemann; pp. 269-290
- [19] Demer JL.; Porter FI.; Goldberg J.; Jenkins HA.; Schmidt K. (1989); Adaptation to telescopic spectacles: vestibulo-ocular reflex plasticity. Invest Ophthalmol Vis Sci.30: 159-170
- [20] Demer JL.; Porter FI.; Goldberg J.; Jenkins HA.; Schmidt K; Ulrich I. (1991); Predictors of functional success in telescopic spectacle use by low vision patients. Invest Ophthalmol Vis Sci 32: 1652-1665
- [21] Sedgwick HA.; (1991) Effects of viewpoint on the virtual space of pictures. In: Stephen R. Ellis, ed. Pictorial Communication in Virtual and Real Environments. London: Taylor & Francis; 460–79.
- [22] Shah D.; Sedgwick HA.; (2004) Spatial compression and adaptation with the low vision telescope. Optom Vis Sci; 81:785–93.
- [23] Tran G.; Sedgwick HA: (2008); Spatial Compression produced by a stationary low-vision telescope.; Illinois College of Optometry, Chicago
- [24] Bowers A.; Bronstad PM.; Spano LP.; Huq B.; Xiolan T.; Doherty A.; Peli E.; Luo G.; (2018); Evaluation of a paradigm to investigate detection of road hazards when using a bioptic telescope; Optom Vis Sci, American Academy of optometry
- [25] Owsley C.; (2012); Driving with bioptic telescopes: organizing a research agenda; Optom Vis Sci, Vol. 89, No.9, pp. 1249-1256
- [26] Owsley C.; McGwin G. Jr; (2010); Vision and driving; Vision Res; 50: 2348-61

- [27] Szlyk JP.; Seiple W.; Laderman DJ.; Kelsch R.; Stelmack J.; McMahon T.; (2000); Measuring the effectiveness of bioptic telescopes for persons with central vision loss; *J Rehabil Res Dev*; 37:101-8
- [28] Tadin D.; Lappin JS.; Sonsino J.; (2008); Recognition speed using a bioptic telescope; *Optom Vis Sci*; 85: 1135-41
- [29] Dallos J.; (1936); Contact glasses, the “invisible” spectacles; *Arch Ophthalmol*; 15:617
- [30] Bettman J.; McNair G.; (1939); A contact lens telescope system; *Am J Ophthalmol*; 22: 27-32
- [31] Vincent SJ.; (2017); The use of contact lens telescopic systems in low vision rehabilitation.; *Cont Lens Anterior Eye* ; 40: 131–142.
- [32] Bennet AG.; Rabbetts RB.; (1989); *Clinical Visual Optics*; Butterworths, London
- [33] Smith G.; Jacobs R.; Johnston A.; (1979); Procedures for the optical assessment of low vision aids; *Aust J. Optom.*; 62: 195-200
- [34] Katz M.; (2007); Angular and linear fields of view of Galilean telescopes and telemicroscopes; *Optom. Vis. Sci.*; 84: E522-E528
- [35] Pullum KW.; The role of scleral lenses in modern contact lens practice, in: Philipps AJ., Speedwell L., (Eds.), *Contact lenses*; Butterworth-Heinemann, Oxford; pp. 566-608
- [36] Dittmer AF.; (1936); *Corrective Lens System*; US Patents 2164801, filed October 22,1936
- [37] Temel A.; Bavbek T.; Kanpolat A.; (1993); Clinical application of contact lens telescopes; *Int. J. Rehabil. Res.*; 16: 148-150
- [38] Lavinsky J.; Tomasetto G.; Soares E.; (2001); Use of a contact lens telescopic system in low vision patients; *Int. J. Rehabil. Res.*; 24: 337-340
- [39] Primo SA.; Freuh C.; (2012); Clinical consideration of low vision rehabilitation, in: Lim JI. (Ed.), *Age Related Macular Degeneration*; CRC Press, Florida; pp.361-370
- [40] Miller J.; (2004); Reflections and refractions; *Surv. Ophthalmol.*; 49: 436
- [41] Dickinson C.; (1998); *Low vision: Principles and practice*; Butterworth-Heinemann, Oxford
- [42] Drasdo N.; Sabell AG.; (1979); A supplementary note on contact lens telescopes; *Ophthalmic Opt.*; 22:36

- [43] G.M. Schuster; A. Arianpour; S. Cookson; A. Zhang; L. Hendrik; T. O'Brien; A. Alvarez; J.E. Ford; (2015); Wink-controlled polarization-switched telescopic contact lenses, *Appl. Opt.* 54 9597–9605.
- [44] A. Arianpour; G.M. Schuster; E.J. Tremblay; I. Stamenov; A. Groisman, J; Legerton, W. Meyers; G.A. Amigo; J.E. Ford; (2015); Wearable telescopic contact lens, *Appl. Opt.* 54: 7195–7204.
- [45] E.J. Tremblay; I. Stamenov; R.D. Beer; A. Arianpour; J.E. Ford; (2013); Switchable telescopic contact lens, *Opt. Express* 21: 15980–15986.
- [46] Bloch SB.; Larsen M.; Munch IC.; (2012); Incidence of legal blindness from age-related macular degeneration in Denmark: year 2000-2010; *American journal of Ophthalmology*, vol. 153, no.2; pp. 209-213
- [47] Lane SS.; Kuppermann BD.; (2006); The implantable miniature telescope for macular degeneration; *Current opinion in Ophthalmology*, vol. 17, no. 1; pp.94-98
- [48] Agarwal A.; Lipshitz I.; Jacob S. et al.; (2008); Mirror Telescopic intraocular lens for age-related macular degeneration: design and preliminary clinical of the Lipshitz macular implant; *Journal of Cataract & Refractive surgery*, vol.34, no.1; pp.87-94
- [49] Zoulinakis G.; Ferrer-Blasco T.; (2017); Intraocular telescopic system design: optical and visual simulation in a human eye model; *Journal of Ophthalmology*, vol.2017
- [50] Gupta A.; Lam J.; Custis P.; Munz S.; Fong D.; Koster M.; (2018) Implantable miniature telescope (IMT) for vision loss due to end-stage age-related macular degeneration (Review); *Cochrane Database of Systematic Review*; p. 5
- [51] Colby KA, et al.; (2007); Surgical placement of an optical prosthetic device for end-stage macular degeneration: the implantable miniature telescope; *Arch Ophthalmol*; 125:1118-21
- [52] Boyer D., et al.; (2015); Long-term (60-month) results for the implantable miniature telescope: efficacy and safety outcomes stratified by age in patients with end-stage age-related macular degeneration; *Clin Ophthalmol.*; 9:1099-107
- [53] Hau VS.; London N.; Dalton M.; (2016); The treatment paradigm for the implantable miniature telescope; *Ophthalmol Ther*; 5:21-30
- [54] Primo SA.; (2010); Implantable miniature telescope: lessons learned; *Optometry*; 81:86-93

- [55] Hudson HL, et al.; (2006) Implantable miniature telescope for the treatment of visual acuity loss resulting from end-stage age-related macular degeneration: 1-year results; *Ophthalmology*; 113: 1987-2001
- [56] Hudson HL, et al.; (2008); Implantable telescope for end-stage age-related macular degeneration: long-term visual acuity and safety outcomes; *Am J Ophthalmol.*; 146:664-73
- [57] Bailey IL.; (1987); Critical view of an ocular telephoto system; *CLAO J*; 13: 217-21
- [58] Fasce F.; Bettin P.; Luca G.; Brancato R.; Effects of minification on visual performance in advanced glaucoma. In: Stuen C.; Arditi A.; Horowitz A.; Lang MA.; Rosenthal B.; Seidman K.; eds.; (2000); *Vision Rehabilitation: Assessment, Intervention and outcomes.*; Amsterdam: Sweets & Zeitlinger; 177-9
- [59] Peli E.; (2002); The Optical Functional Advantages of an intraocular low vision telescope; *Optometry and vision science*; Vol.79 no.4; pp.225-233
- [60] Miles FA.; (1991); The disruptive effects of optical aids on retinal image stability during head movements. In: Stark LW.; Obrecht G.; eds. *Presbyopia research from macular biology to visual adaptation*; New York: Plenum Press; 113-25
- [61] Gauthier GM.; Robinson DA.; (1975); Adaptation of the human vestibulo-ocular reflex to magnifying lenses. *Brain Res.*; 92: 331-5
- [62] Peli E.; Fine E.; Labianca A.; (1998); The detection of moving features on a display: the interaction of direction of motion, orientation and display rate. In: *SID-98: Technical digest of paper*; San José: Society of association display; 1033-6
- [63] Drasdo N.; (1970); The effect of high-powered contact lenses on the visual fixation reflex; *Br J Physiol Opt*; 25:14-22
- [64] Siegel M.; Nagata S.; (2000); Just enough reality: comfortable 3-D viewing via microstereopsis; *IEEE Trans Circuits Sys Video Tech*;10: 387-96.
- [65] Marotta JJ.; Perrot TS.; Nicolle D.; Servos P.; Goodale MA.; (1995); Adapting to monocular vision: grasping with one eye.; *Exp Brain Res*; 104:107-14
- [66] Srinivasan MV.; (1999); When one eye is better than two; *Nature* 1999; 399: 305-7