

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Fisica e Astronomia “Galileo Galilei”

Corso di Laurea Triennale in

Ottica e Optometria

*Dispositivo mobile ed indossabile a lenti liquide
per la rifrazione soggettiva*

Relatore

Prof. Michele Merano

Laureando

Edoardo Bracesco

Anno Accademico 2019 / 2020

“Dispositivo mobile ed indossabile a lenti liquide per la rifrazione soggettiva”

Indice

“Dispositivo mobile ed indossabile a lenti liquide per la rifrazione soggettiva”	1
Indice	3
Introduzione	5
Capitolo 1: Strumenti per l’esecuzione dei test di rifrazione soggettiva	7
Introduzione	7
1.1 Occhiale e cassetta di prova	7
1.2 Forottero manuale	8
1.3 Forottero computerizzato	9
1.4 VisionFit	10
Capitolo 2: Lo strumento	11
Introduzione	11
2.1 Componenti	11
2.1.1 Caschetto indossabile	11
2.1.2 Tablet	12
2.2 Funzionamento	13
2.3 Test eseguibili	14
2.3.1 Cilindri crociati di Jackson	14
2.3.2 Modalità “lente a contatto”	15
Capitolo 3: Componenti ottiche dello strumento VisionFit	17
3.1 Componente cilindrica	17
3.1.1 Lente di Stokes	17
3.1.2 Lente cilindrica in uso nel “VisionFit”	17
3.2 Sistema di lenti liquide	17
3.2.1 Lenti “Optotune EL-16-40-TC (20D)”	18
3.2.1.1 Funzionamento	20
3.2.1.2 Proprietà ottiche	21
3.2.1.3 Tempi di risposta	21
3.2.1.4 Risposta alla temperatura	23
3.3 Misurazioni in laboratorio	23

3.3.1 Modalità di esecuzione	24
3.3.2 Applicazione alla pratica optometrica	25
3.3.3 Correzione di un soggetto miope	25
3.3.4 Correzione di un soggetto ipermetrope	25
3.4 Vantaggi nell'utilizzo del VisionFit	25
Conclusione	26
Bibliografia	27

Introduzione

Il supporto tecnologico per l'ottico optometrista svolge sempre più un ruolo fondamentale diventando parte integrante della sua attività lavorativa. Dall'analisi visiva alla preparazione delle lenti oftalmiche, l'utilizzo di macchinari tecnologicamente in evoluzione ha semplificato, velocizzato e reso più accurato il lavoro che svolge. In questa tesi parleremo di uno strumento tecnologicamente innovativo che ha la funzione di aiutare il professionista nell'esecuzione dei test di rifrazione soggettiva. Si tratta del "VisionFit", un rifrattometro elettronico ed indossabile a lenti liquide prodotto dall'azienda "Adaptica S.R.L."

Capitolo 1: Strumenti per l'esecuzione dei test di rifrazione soggettiva

Introduzione

Nelle fasi della visita optometrica la rifrazione soggettiva è senza dubbio uno step importantissimo in cui l'optometrista dopo aver raccolto dei dati oggettivi riguardanti lo stato rifrattivo del paziente prosegue nell'approfondire i valori diottrici, sferici, cilindrici e prismatici utili avvalendosi dei feedback che il paziente stesso fornisce. Esistono varie tecniche e procedure per lo svolgimento di questi test le quali però devono contare sul supporto da parte di strumentazioni più o meno complesse.

1.1 Occhiale e cassetta di prova

L'occhiale di prova consiste di una montatura regolabile in vari parametri che presenta degli alloggi liberi dove vengono inserite le lenti contenute nella cassetta di prova. L'optometrista deve inserire e rimuovere manualmente le lenti di volta in volta durante l'esecuzione dei test. Questo rende la procedura più complessa ma allo stesso tempo però in termini di spazio occupato, peso e libertà di movimento l'occhiale di prova offre un vantaggio indiscutibile.



Figura 1.1 Cassetta ed occhiale di prova.

1.2 Forottero manuale

Il forottero manuale è uno strumento che presenta una serie di lenti sferiche, cilindriche e prismatiche e di filtri che possono essere impiegati velocemente e facilmente tramite dei comandi meccanici. La funzionalità è la medesima di quella della cassetta di prova, ma in questo caso il tutto si trova riunito all'interno di un contenitore dove le lenti sono inserite in dei supporti circolari che ruotando vanno a modificare la lente che vede il soggetto esaminato. Il forottero è per questo di particolare comodità per quei test che richiedono un frequente alternare di lenti. Dato il peso e la mole dello strumento, esso necessita di essere agganciato ad un braccio che lo sostiene, collegato a muro o a terra. Questo obbliga il paziente a dover mantenere per un tempo prolungato il capo in linea con il forottero.



Figura 1.2 Forottero manuale.

1.3 Forottero computerizzato

Si tratta di un forottero con le stesse capacità di quello manuale con la differenza che quello computerizzato viene controllato da un computer collegato in wireless. Questo permette un'ulteriore semplicità e maneggevolezza nel suo utilizzo.



Figura 1.3 Forottero automatico e dispositivo di controllo.

1.4 VisionFit

Il “VisionFit” è un dispositivo che integra la leggerezza e la versatilità dell’occhialino di prova con la comodità di utilizzo di un forottero tradizionale. Si tratta di un rifrattometro elettronico a lenti liquide che consiste in un caschetto indossabile collegato ad un tablet via bluetooth che controlla lo strumento a distanza. È attrezzato con un paio di lenti liquide con focale variabile e un paio di lenti cilindriche di tipo “Stokes” composte da due cilindri di potere opposto che ruotano potendo assumere diversi valori diottrici. Questo fa sì che lo strumento non abbia bisogno di contenere fisicamente decine di lenti e meccanismi alleggerendone il peso e snellendone la forma. Grazie alla sua indossabilità diventa utile anche nei casi in cui si debbano valutare pazienti non cooperanti.



Figura 1.4 Dispositivo VisionFit.

Capitolo 2: Lo strumento

Introduzione

Il “Visionfit” è uno strumento elettronico ed indossabile a lenti liquide la cui funzione è quella di stabilire e correggere lo stato rifrattivo dell’occhio umano durante l’esecuzione dei test di rifrazione soggettiva. Si tratta di un dispositivo medico di classe 1 tipo B prodotto dall’azienda “Adaptica S.R.L.”. Lo strumento si compone di due parti: una struttura indossabile ed un tablet di controllo.

2.1 Componenti

2.1.1 Caschetto indossabile

La parte indossabile del “VisionFit” consiste di un caschetto di materiale plastico e metallico che viene posizionato sul paziente e regolato in base ai dati precedentemente rilevati come ad esempio distanza interpupillare, valori diottrici della rifrazione oggettiva. Nella zona posteriore dello strumento si trovano il pacchetto batterie, il dispositivo di connessione bluetooth, il sistema di accensione e i tre led di feedback sullo stato di attività dello strumento. La sezione anteriore che si pone davanti agli occhi del paziente comprende:

- Un sistema di lenti liquide “Optotune”, che può far variare il valore sferico da -10 D a +10 D;
- Un sistema di lenti cilindriche di tipo “Stokes” composto da due cilindri uno positivo e uno negativo che ruotando combinano i loro poteri da 0 a 10 D;
- Un supporto libero, per poter posizionare delle lenti aggiuntive (sferiche, prismatiche o con funzioni di filtro) per implementare i valori sferici e il numero di test eseguibili;
- I supporti delle lenti regolabili tramite delle viti che possono andare a modificare la distanza della lente dall’apice corneale (10-18 mm), l’angolo pantoscopico, l’altezza del ponte e la distanza interpupillare (50-80 mm).



Figura 2.1 Unità indossabile del dispositivo VisionFit.

2.1.2 Tablet

Il tablet è il dispositivo che, collegato via bluetooth, permette di gestire e controllare il caschetto indossabile senza dover agire manualmente su di esso. Tramite l'applicazione "VisionFit" che deve essere scaricata e aggiornata all'occorrenza si ha la possibilità di sfruttare tutte le potenzialità dello strumento.

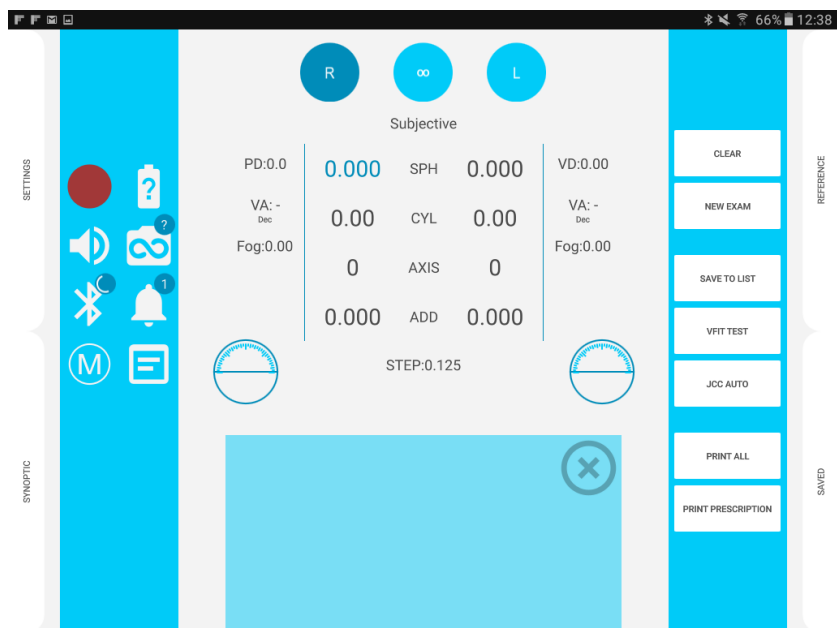


Figura 2.2 Schermata principale dell'applicazione che controlla il VisionFit.

2.2 Funzionamento

Il paziente indossa l'apparecchio come un comune occhiale di prova e il professionista si occupa di regolarlo in base ai dati precedentemente ottenuti. A questo punto è necessario accendere lo strumento tenendo premuto il pulsante che si trova sopra il pacchetto batterie e completare il collegamento via bluetooth con il tablet.

Una volta inseriti i valori correttivi trovati durante la rifrazione oggettiva e predisposta la mira necessaria, da lontano o da vicino, si può procedere con l'esecuzione della batteria di test che il professionista preferisce e ritiene più opportuni. Al termine delle procedure dell'esame visivo vengono salvati sei principali prescrizioni contenenti sfera, cilindro e asse corrispondenti a: rifrazione oggettiva, lente in uso, rifrazione soggettiva, BVCA, correzione da lontano, correzione da vicino. In questo modo il paziente, indossando il dispositivo può muoversi facendo variare le correzioni trovate nei vari test premendo i rispettivi riquadri potendo notare la differenza tra le opzioni di prescrizione. In ultima istanza è possibile creare un file "PDF" contenente tutti i risultati avuti nei vari passaggi della rifrazione oggettiva e soggettiva tra cui si andrà a decidere quale indicherà la prescrizione finale potendo di conseguenza stamparla.

Per terminare l'utilizzo del "VisionFit" è necessario lo spegnimento dello stesso tramite il pulsante posizionato sopra il pacchetto batterie. Lo strumento infine dovrà essere riposto in un ambiente adeguato, con temperature comprese tra -10°C e +55°C ed un'umidità relativa compresa tra il 10% e 90%.

2.3 Test eseguibili

Con il "VisionFit" sono eseguibili tutti quei test che mirano alla determinazione dello stato rifrattivo del paziente e che permettono di poter arrivare ad una prescrizione adeguata. Alcuni test sono predefiniti dall'applicazione che gestisce il dispositivo, altri invece necessitano dell'utilizzo di lenti o filtri aggiuntivi che devono essere inseriti manualmente dall'operatore. I vantaggi offerti da questo strumento sono delle procedure automatizzate quali: l'esecuzione del test dei "cilindri crociati di Jackson" e la "Modalità lente a contatto".

2.3.1 Cilindri crociati di Jackson

Il cilindro crociato di Jackson è una lente costituita da due cilindri di potere opposto ($\pm 0,25/\pm 0,50$) con gli assi perpendicolari tra loro che si utilizza per eseguire dei test con lo scopo di identificare eventuali astigmatismi e di scoprirne l'entità. Il "VisionFit" offre la possibilità di eseguire il test dei cilindri crociati di Jackson in modalità automatica, velocizzando il procedimento e rendendolo più semplice. Il programma si articola in tre fasi:

- Procedura automatica per la scelta combinata di asse e potere del cilindro, che serve ad identificare eventuali astigmatismi qualora non ne siano stati rilevati durante la rifrazione oggettiva.
- Procedura automatica per la scelta del potere del cilindro, che permette di valutare il valore in diottrie l'entità dell'astigmatismo ruotando la lente semplicemente tramite dei pulsanti presenti sul tablet. Il programma inoltre

ricalcola sistematicamente l'equivalente sferico, aggiungendo metà del valore di cilindro introdotto a quello sferico.

- Procedura automatica per la scelta dell'asse del cilindro, che facendo ruotare la lente di Jackson con estrema rapidità permette di valutare l'effettiva posizione dell'astigmatismo.

2.3.2 Modalità "lente a contatto"

La modalità lente a contatto è una funzionalità aggiuntiva che può tornare utile all'operatore che deve trovare la correzione necessaria ad un paziente che dovrà indossare questo tipo di dispositivo. Nel momento in cui si passa dall'occhiale alla lente a contatto si deve tener conto della variazione della distanza tra lente e apice corneale ricalcolando i valori diottrici della correzione. Questa funzione dello strumento permette di ricalcolare sfera e cilindro in maniera automatica ed immediata. Partendo dai dati della rifrazione soggettiva e dalla distanza lente-vertice corneale in uso, che deve precedentemente essere inserita a sistema, il programma rielabora la prescrizione tenendo conto del fatto che la nuova distanza tra lente e vertice corneale sarà uguale a zero.

Capitolo 3: Componenti ottiche dello strumento VisionFit

3.1 Componente cilindrica

3.1.1 Lente di Stokes

È una lente composta da due cilindri di potere opposto che ruotando e combinandosi possono assumere un valore che va da zero al doppio del valore di ciascun cilindro. L'inclinazione dell'asse di uno rispetto all'altro dà il potere risultante: se i due cilindri hanno l'asse parallelo si annullano, se invece sono perpendicolari creeranno un effetto astigmatico del doppio del valore del singolo cilindro. Nelle situazioni intermedie si calcola il valore del cilindro risultante tramite una formula complessa che qui non approfondiremo. Il limite di questa lente è il restante valore sferico residuo dato dalla combinazione cilindrica. Esso è calcolabile tramite una semplice formula che permette di trovare il valore della sfera in eccesso che può essere facilmente neutralizzata.

3.1.2 Lente cilindrica in uso nel "VisionFit"

Nel "VisionFit", posta anteriormente alla lente liquida è presente una coppia di cilindri che ruotano meccanicamente che va ad utilizzare il principio della lente di Stokes. È costituita da un cilindro di potere +5 diottrie e uno di -5 diottrie entrambe con un diametro di 22 millimetri e raggi di curvatura rispettivamente +114 millimetri e -114 millimetri. Il potere diottrico che può raggiungere la coppia di lenti va da 0 a 10 diottrie avendo però sempre un residuo sferico. Questo viene calcolato in automatico dallo strumento che lo compensa con la lente liquida.

3.2 Sistema di lenti liquide

Nello sviluppo di materiali e strumenti per la rifrazione della luce si è arrivati alla realizzazione di molte soluzioni innovative. Tra queste una delle più recenti e in

corso di sviluppo sono le lenti liquide. Ne esistono di varie tipologie che sfruttano diversi principi fisici per creare e far variare il loro potere diottrico. Quelle di cui tratterò in questa tesi rientrano nella categoria delle lenti a membrana polimerica controllate elettricamente. Esse consistono in un cilindro riempito di un fluido elettricamente conduttivo chiuso in un'estremità da una membrana elastica. Imprimendo un campo elettrico all'interno del cilindro si crea una pressione sul liquido in esso contenuto. Questo fa sì che la superficie venga appiattita o curvata in relazione all'intensità della corrente potendo creare con un unico dispositivo una superficie concava o convessa a seconda della necessità. Si tratta di una lente che più di altre si avvicina al funzionamento del cristallino nell'occhio umano.

3.2.1 Lenti "Optotune EL-16-40-TC (20D)"

Le "Optotune EL-16-40-TC (20D)" sono le lenti liquide in uso sul dispositivo "VisionFit". Sono costituite da un cilindro di alluminio anodizzato chiuso posteriormente da una superficie solida e anteriormente da una pellicola polimerica elastica in grado di flettersi. Attorno al lume della lente di 16 millimetri è presente una bobina che riceve corrente permettendole di indurre una pressione all'interno della cavità curvando la superficie flessibile da una forma concava ad una convessa a seconda del voltaggio. Al loro interno è presente un liquido oleoso elettroconduttivo di indice di rifrazione pari a 1,30 che è soggetto al campo magnetico indotto dalla bobina.

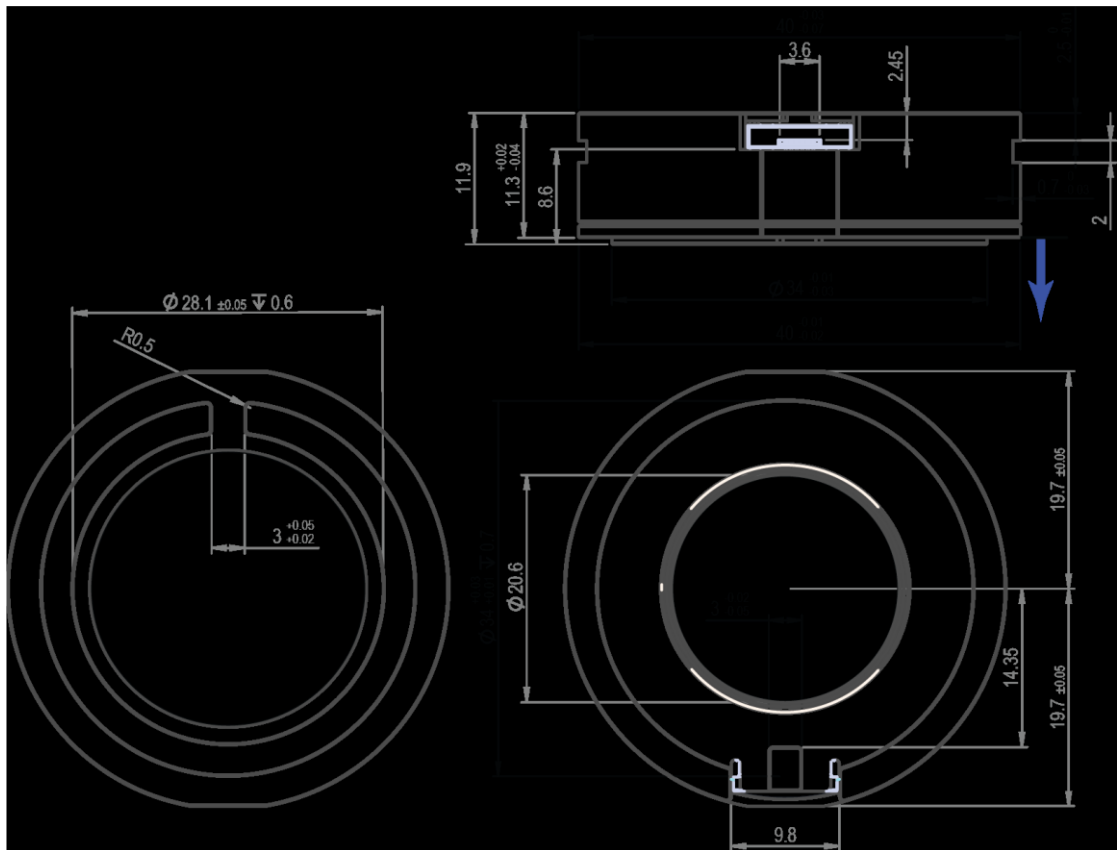


Figura 3.1 Disegno meccanico della lente Optotune EL-16-40-TC.



Figura 3.2 Lente Optotune singola.

3.2.1.1 Funzionamento

Tramite un cavo che si trova a lato della lente la bobina riceve una corrente nominale che oscilla tra i -250 e i +250 milliAmpere. Questo genera un campo elettrico all'interno del cilindro metallico di cui risente il liquido elettroconduttivo, che a seconda del voltaggio ricevuto riceverà una pressione maggiore o minore rispetto a quella dell'ambiente circostante creando una spinta positiva o negativa contro il rivestimento flessibile che si curverà creando una lente concava o convessa.

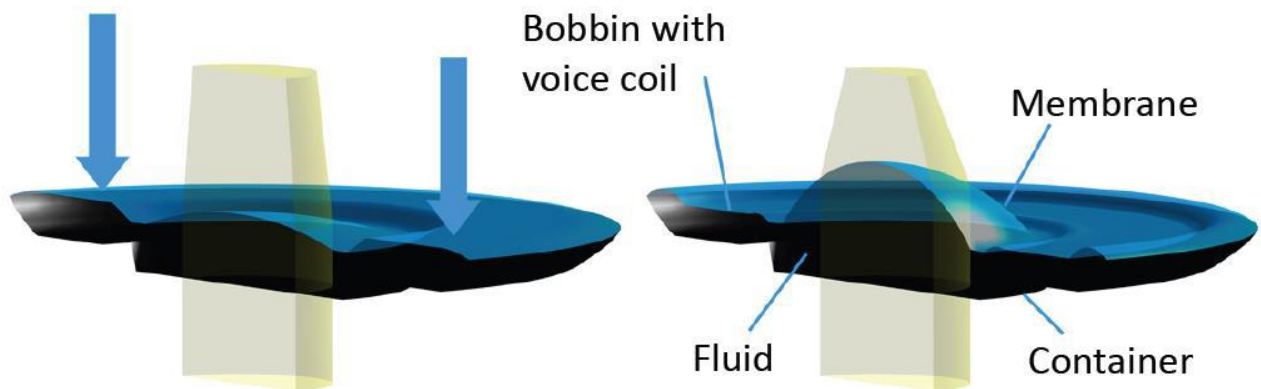


Figura 3.3 Sezione dell'unità operativa della lente che mostra il variare della curvatura della superficie elastica in relazione all'intensità di corrente che scorre nella bobina.

Il potere sferico della lente potrà quindi variare da +10 diottrie, in caso di corrente positiva, a - 10 diottrie, in caso di corrente negativa.

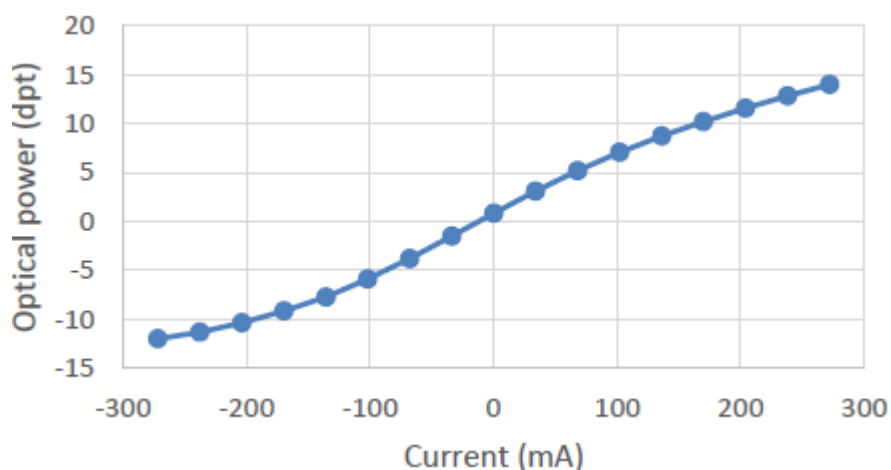


Grafico 1 Grafico che indica il variare del potere diottrico della lente in corrispondenza all'aumentare dell'intensità di corrente che attraversa la bobina.

3.2.1.2 Proprietà ottiche

Dal momento in cui la superficie esterna è elastica risulta impossibile applicare rivestimenti in grado di ottimizzare le qualità ottiche di questo sistema quindi è accettabile che la riflessione luminosa sia attorno i 3-4%. In ogni caso sia il fluido che la pellicola polimerica sono altamente trasparenti alle radiazioni con lunghezza d'onda che varia tra i 400 e i 2500 nanometri. Inoltre per quanto riguarda il fronte d'onda rifratto dalla lente sono necessarie alcune precisazioni, essendo la pellicola flessibile essa risente della gravità. L'asse verticale della lente genera un errore di 0,5 nanometri misurati con radiazioni di lunghezza d'onda pari a 525 nanometri. L'asse orizzontale invece crea un errore di 2,5 nanometri sul fronte d'onda creando un'aberrazione di tipo "coma". Per ovviare a questo problema è inserita anteriormente alla membrana elastica una lente di tipo coma che si oppone all'aberrazione creata dalla lente principale. Il dispositivo "Optotune EL-16-40-TC (20D)" non ha proprietà di auto fluorescenza e può quindi essere usato in test in cui è prevista la microscopia a fluorescenza.

3.2.1.3 Tempi di risposta

La lente liquida per far variare il suo potere rifrattivo dipende dal voltaggio indotto nella bobina presente all'interno della sua struttura metallica. Il fatto che un'unica lente possa avere un potere variabile e quindi sostituirsi ad un intero set di lenti velocizza e rende più preciso il processo. Tramite i comandi presenti nell'applicazione utilizzabile dal tablet è possibile far variare la forma della lente in un tempo molto breve e con un'alta precisione. Il tempo che impiega la lente per assumere la curvatura richiesta è di 7 millisecondi, anche se, per vedere terminarsi le ultime oscillazioni fino ad arrivare al valore diottrico stabile sono necessari 40 millisecondi.

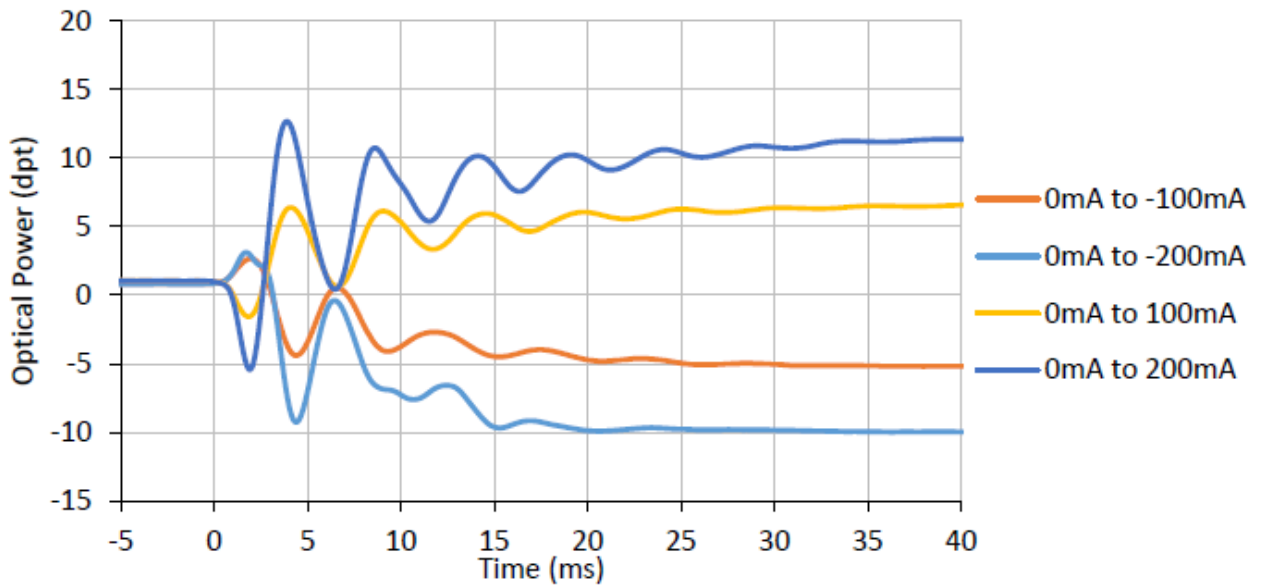


Grafico II Grafico che indica la quantità di tempo necessaria allo strumento per passare dal valore rifrattivo di riposo a quello impostato dall'operatore tramite il programma di gestione.

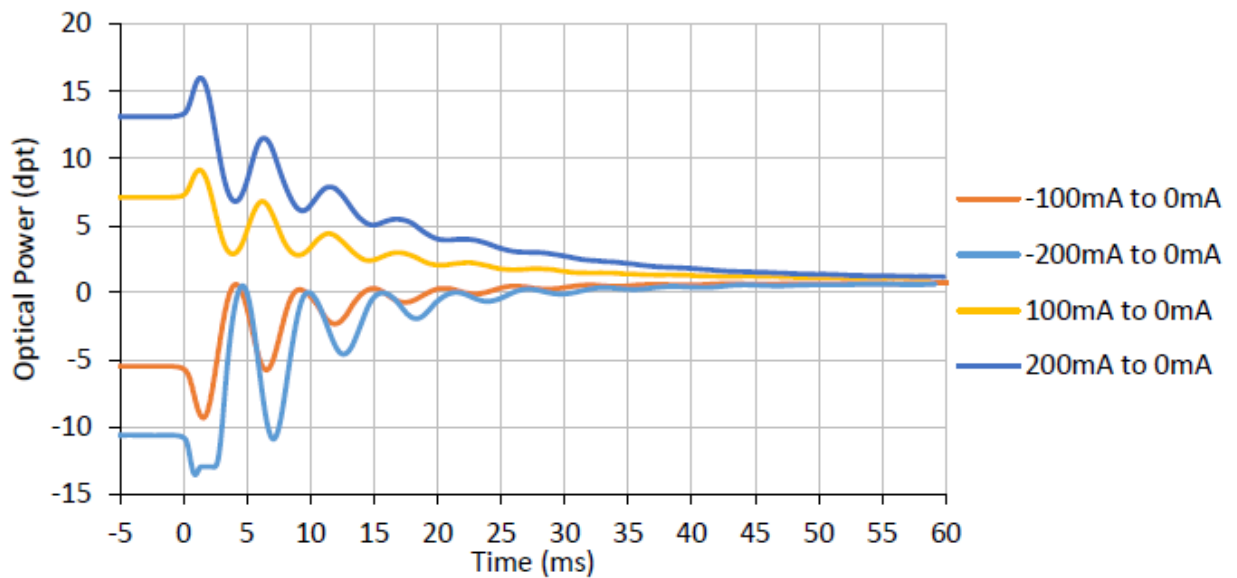


Grafico III Grafico che indica il tempo necessario alla lente per tornare da un valore rifrattivo in uso a quello di riposo.

3.2.1.4 Risposta alla temperatura

Il sistema Optotune risulta sensibile agli incrementi di temperatura che vanno a modificare le qualità ottiche dei mezzi che lo compongono. Più è intensa la corrente che circola all'interno della bobina maggiore sarà la temperatura al suo interno. Per ovviare a questo è integrata all'interno dello strumento una sonda che in base alla temperatura rilevata invia degli input al programma di controllo che aggiusta i parametri per mantenere il valore diottrico stabile. È possibile misurare la sensibilità alla temperatura "S" intesa come variazione diottrica per grado celsius rappresentandola in grafico relazionata al potere diottrico in uso.

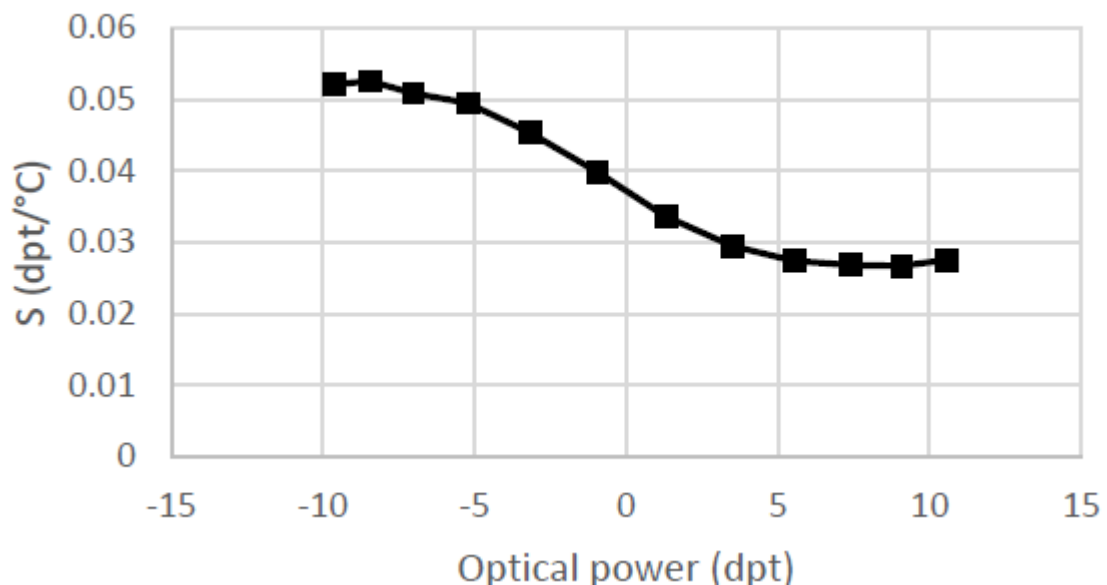


Grafico IV Grafico che indica il variare della sensibilità alla temperatura della lente in relazione al valore diottrico impostato.

3.3 Misurazioni in laboratorio

Nel laboratorio dell'azienda Adaptica S.R.L. assieme ad un tecnico specializzato ho effettuato delle misurazioni riguardanti il funzionamento della lente Optotune osservando il variare del suo potere rifrattivo in relazione all'intensità di corrente.

3.3.1 Modalità di esecuzione

Il dispositivo è stato disposto in un banco ottico di prova costituito da una sorgente di luce bianca che, irradiando una lente collimatrice posta ad una distanza adeguata, crea un fascio di luce collimato. Questo una volta reindirizzato da due specchi piani attraversa la lente Optotune in esame che a sua volta rifrange il fascio su di una lente che ha lo scopo di mettere a fuoco su un detector cui è anteposta una piramide a quattro facce. Il computer collegato al sensore riceve quattro immagini dell'iniziale sorgente luminosa e ne elabora i fronti d'onda calcolando i polinomi di Zernike. Prendendo in considerazione il valore del "defocus" tra i dati elaborati abbiamo calcolato il potere diottrico sferico della lente tramite la seguente formula:

$$Sf = 4\sqrt{3} \frac{z_2^0}{R\sqrt{\pi}}$$

Mettendoli in grafico abbiamo ricavato l'effettivo andamento del potere rifrattivo dell'Optotune EL-16-40-TC in funzione dell'intensità di corrente:

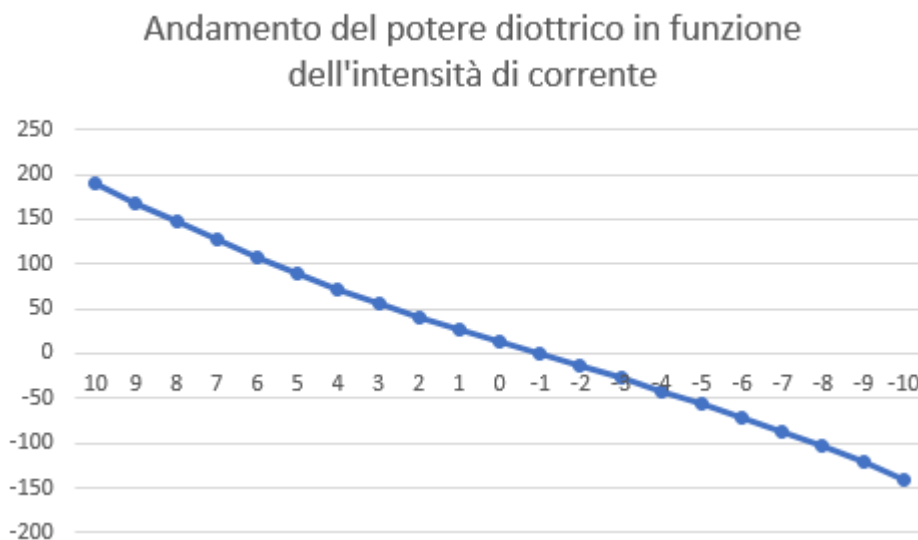


Grafico V Grafico costruito con i dati rilevati nel laboratorio dell'azienda. Nell'asse orizzontale è indicato il potere rifrattivo in diottrie della lente mentre nell'asse verticale sono indicati i valori dell'intensità di corrente in milliAmpere.

3.3.2 Applicazione alla pratica optometrica

Avvalendoci dei valori ottenuti abbiamo studiato più approfonditamente due casi distinti in cui fosse necessario avere un preciso valore correttivo proiettandoli nell'ottica di dover correggere due pazienti differenti.

3.3.3 Correzione di un soggetto miope

Supponendo il caso in cui si debba utilizzare il VisionFit per compensare un soggetto miope di -1 diottria sappiamo che sarà necessario far assumere alla lente correttiva una curvatura concava. Dando l'input allo strumento sarà necessario al sistema inviare una corrente di intensità -1,2 milliAmpère. Studiando i polinomi di Zernike che rappresentano il fronte emesso dalla lente sappiamo che il valore diottrico effettivo assunto dalla lente è di -0,98 diottrie. Da qui tramite il programma "Zemax" abbiamo calcolato il raggio di curvatura della superficie e la sua altezza sagittale misuranti rispettivamente -297 e -0,112 millimetri.

3.3.4 Correzione di un soggetto ipermetrope

Nel caso in cui si debba correggere un paziente ipermetrope di +1 diottria l'Optotune dovrà creare una lente convessa. Lo strumento sarà quindi irradiato da una corrente di 25,5 milliAmpère che farà sì che la superficie elastica assuma una curvatura di raggio 325 millimetri e un'altezza sagittale di 0,121 millimetri.

3.4 Vantaggi nell'utilizzo del VisionFit

L'utilizzo di uno strumento tecnologicamente avanzato porta con sé dei vantaggi che possono rendere la pratica lavorativa di un professionista più semplice, intuitiva e veloce e il VisionFit ne è un esempio. Grazie alle lenti liquide e alle lenti cilindriche di tipo Stokes permette di utilizzare tutti i poteri correttivi offerti da un forottero tradizionale ma con la leggerezza e la compattezza di un occhialino di prova rendendolo anche facilmente trasportabile. Inoltre essendo indossabile è utilizzabile anche con quei soggetti non cooperanti o che necessitano di essere visitati nel proprio domicilio per impossibilità di recarsi presso una clinica o uno studio. Il controllo da remoto via tablet lo rende intuitivo e rapido nell'utilizzo.

Conclusione

In questa tesi abbiamo analizzato funzionamento, caratteristiche tecniche e applicazioni dello strumento VisionFit. Abbiamo visto che grazie alla tecnologia delle lenti liquide si è potuto progettare e costruire un rifrattometro compatto ed indossabile che può essere d'aiuto ai professionisti che necessitano di eseguire i test di rifrazione soggettiva anche in ambienti esterni a quelli clinici.

Bibliografia

- 1) Adaptica S.R.L.; "VisionFit SC operators' manual; (2017).
- 2) Optotune; "Optotune EL-16-40-TC-VIS-20D"; (2019).
- 3) Bruno Berge; "The liquid lens technology- how it works and what it is doing"; Technology; (2010).
- 4) Bruno Berge; "Liquid Lens Technology- Principle Of Elettrowetting Based Lenses And Application To Imaging"; Ecole Normale Superieure De Lyon; (2004).
- 5) Anto Rossetti e Pietro Gheller; "Manuale di optometria e contattologia"; seconda edizione Zanichelli; (2012).
- 6) <https://www.optotune.com/applications/ophthalmology>.
- 7) <https://www.opticianonline.net/cet-archive/4384>.
- 8) <https://www.studocu.com/it/document/universita-degli-studi-di-milano-bicocca/tecniche-fisiche-per-loptometria/appunti-di-lezione/analisi-al-forottero/3109343/view>.
- 9) Francis W. Sears; "Ottica"; Casa Editrice Ambrosiana Milano.
- 10) P. Mazzoldi, M. Nigro, C. Voci; "Elementi di Fisica, Elettromagnetismo e Onde"; seconda edizione EdiSES.
- 11) <https://onesight.org/news/helping-the-world-see-with-adapticas-advanced-technology/>.
- 12) Komal M. Shah, Joan K. Portello, Mark Rosenfield; "Effect of Lens Presentation on the Clinical Oculomotor Assessment at Near"; SUNY College of Optometry, New York, NY.
- 13) https://www.researchgate.net/post/How_can_I_convert_Zernike_modes_in_micrometer_to_Diopter.
- 14) <https://www.epo.org/learning-events/european-inventor/finalists/2013/berge/feature.html>.
- 15) <https://www.slideshare.net/soheilahesarakiliquid-lens>.
- 16) https://www.researchgate.net/publication/289497035_An_Electrically_Tunable_Zoom_System_Using_Liquid_Lenses.