



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Fisica e Astronomia “Galileo Galilei”

Corso di laurea triennale in Ottica e Optometria

TESI DI LAUREA

TITOLO

Il ruolo delle misure strumentali nella compensazione delle ametropie

Relatore: prof. Michele Merano

Correlatore: prof.ssa Dominga Ortolan

Laureanda: Anna Cavinato

Matricola: 1230238

A.A. 2022/2023

A chi ha creduto in me dall'inizio

e fino alla fine...

INDICE

Abstract	1
Introduzione	2
CAPITOLO 1	
L'Analisi Visiva Optometrica	6
1.1 La Refrazione Oggettiva	6
1.2 La Refrazione Soggettiva	8
CAPITOLO 2	
Strumenti e Metodi	12
2.1 Aberrometria e Aberrometro	12
2.2 Il Forottero	14
2.3 Protocollo di Misurazioni	16
CAPITOLO 3	
Analisi Dati	19
3.1 Campione di Studio	19
3.2 Risultati	21
CAPITOLO 4	
Discussione	27
CAPITOLO 5	
Conclusioni	31
Bibliografia	33
Ringraziamenti	35

Abstract

Obbiettivo: lo scopo di questo studio è stato quello di mettere a confronto, e valutare, i risultati delle misurazioni della refrazione oculare ottenuta con l'aberrometro e con la refrazione soggettiva, in un campione di 30 soggetti sani.

Metodi: sono stati analizzati 60 occhi, di 30 individui di età differenti, di cui buona parte studenti dell'Università di Padova o facenti parte del personale universitario. Sono state effettuate alcune misurazioni, così divise: tre misurazioni con lo strumento Aberrometro, riunite poi in una correzione unica, e una misurazione per determinare la refrazione soggettiva. Una volta completate le misurazioni, si verificavano oggettivamente controllando la massima Acuità Visiva raggiungibile, con entrambe le correzioni indossate. Successivamente, veniva chiesto al soggetto di valutare in termini di Comfort le due refrazioni, e di affermare se preferisse la correzione 1 (soggettiva), la correzione 2 (ottenuta dall'aberrometro) o se non riscontrasse alcuna differenza tra le due.

Risultati: con i dati raccolti, possiamo evidenziare una netta preferenza da parte degli individui, in termini di Comfort, che pende verso la refrazione soggettiva. Per quanto riguarda invece l'AV, quasi tutti i soggetti raggiungevano un'acuità di almeno 10/10 sia con la refrazione aberrometrica e sia con la refrazione soggettiva; abbiamo notato, inoltre, una leggera tendenza da parte dello strumento di sovraccorreggere i miopi e sottocorreggere gli ipermetropi.

Conclusioni: l'aberrometro, come altri metodi di refrazione oggettiva, è un utile e funzionale strumento, ma non l'unico da utilizzare, che fornisce un ottimo punto di partenza per la refrazione soggettiva. Dai nostri dati però, potremmo dire che la refrazione soggettiva, nella maggior parte dei pazienti, garantisce il massimo del comfort visivo per il soggetto.

Introduzione

“Temo il giorno in cui la tecnologia andrà oltre la nostra umanità”

- *Albert Einstein*

L'avanzata tecnologica dell'uomo ha permesso di automatizzare molti compiti, fornendo un notevole supporto in ogni campo, ma in ambito professionale si può pensare di sostituire completamente l'operatore umano con un macchinario?

Quella “uomo VS macchina” è una disputa senza tempo. L'Intelligenza Artificiale o Artificial Intelligence (AI) è un tema storicamente e scientificamente ricchissimo. Per quanto si tratti di una tecnologia complessa, l'idea di fondo è molto semplice: sviluppare delle macchine dotate di capacità autonome di apprendimento e adattamento, ispirate ai modelli di apprendimento umani. Sono ancora molte le problematiche etiche e legali legate all'Intelligenza Artificiale, e altrettanti sono i dubbi su quale sarà l'impatto di questa sulla nostra società e sul mondo del lavoro: ci si chiede se questa tecnologia sia una minaccia o un'opportunità, se le macchine sostituiranno l'uomo, se i sistemi artificiali saranno più abili e intelligenti degli esseri umani, e occorrerà capire quali professionalità saranno le più coinvolte da questa rivoluzione. Una sola cosa è certa: l'innovazione è una necessità e non una minaccia! [1]

Nella sfera optometrica, nonostante non si possa ancora parlare di intelligenza artificiale, sono numerosi gli strumenti con acquisizione automatizzata di misure o immagini, cui ormai il professionista fa affidamento, e che sono stati fondamentali nell'evoluzione del nostro lavoro: ne sono vari esempi l'autorefrattometro, l'aberrometro, la lampada a fessura, ma anche molti altri. Tecnologie che hanno rivoluzionato l'imaging retinico e continuano a farlo ancora oggi. Di molto importante troviamo anche la topografia corneale, diventata uno strumento clinico indispensabile per la mappatura della forma corneale e che ha permesso di ottimizzare la progettazione e il design delle lenti a contatto, sia nelle cornee regolari ma soprattutto in quelle irregolari, sviluppando la contattologia specialistica, in cui trova piena espressione l'ortocheratologia.

I metodi automatizzati hanno certamente un ruolo importante nel supportare il professionista, ma possono presentare alcune criticità o limiti, ad esempio: il criterio costruttivo potrebbe essere non ambientale, il macchinario può non essere in grado di considerare alcune variabili come la dimensione interpupillare o l'accomodazione, o anche dipendere dal controllo e dalla conduzione manuali dell'operatore. Ne è un esempio l'autorefrattometro, valido per avere un'indicazione iniziale del

difetto visivo, ma l'accomodazione può falsarne il risultato; è quindi impensabile che possa sostituire un esame di valutazione refrattiva. Anche tutti i moderni centratori sono precisi e forniscono dati necessari e accessori utili, ma basta un banale errore di parallasse o postura per vanificarne le misure. Pertanto, tutta la strumentazione in nostro possesso può fornire un supporto all'operatore, soprattutto se usati in sede di controllo di massa (screening), ma non può sostituirne il ruolo nell'esame visivo tradizionale. Va infatti considerato che il professionista registra una serie di informazioni che un esame strumentale, per quanto preciso e utile, non può prevedere; queste indicazioni riguardano la postura, il modo di muoversi nello spazio, tanto per fare degli esempi, senza considerare poi tutti quei dati anamnestici di una persona. Prima di iniziare un esame visivo, infatti, è fondamentale raccogliere tutte le informazioni, oltre a quelle anagrafiche, relative alle specifiche condizioni fisiologiche e/o patologiche e alle esigenze personali, per avere un quadro completo che permetta di individuare il problema e la possibile soluzione o compensazione. È qui che, oltretutto, iniziamo a costruire un rapporto professionale con l'altra persona, basato sulla fiducia; è essenziale essere in grado di rassicurare il paziente e cogliere ogni dettaglio sulle sue problematiche e sensazioni, in quanto spesso sono una manifestazione evidente di qual è la sua difficoltà.

Quando svolgiamo un'analisi visiva la parte che definiamo esame oggettivo, che può essere sia strumentale che manuale, è rilevante per ottenere misure oggettive della condizione refrattiva e/o binoculare. Questi dati possono rappresentare misure di riferimento in soggetti che, per disabilità di vario genere, non sono in grado di cooperare, ma più frequentemente costituiscono un punto di partenza dal quale il professionista può delineare i parametri visivi su cui basare un'eventuale compensazione, ma da integrare con ulteriori dati.

Non ci sono dubbi sul supporto della strumentazione e dell'evoluzione tecnica durante un esame, è necessario avere sempre una certa attenzione e non basarsi esclusivamente su un valore oggettivo strumentale, che non è comunque esonerato da errori sistematici o altri errori legati a imperizia, scarsa conoscenza dello strumento o mal posizionamento del paziente. Inoltre, ogni apparecchio risente di sensibilità che varia da strumento a strumento. Diventa indispensabile quindi anche conoscere bene l'apparato che si utilizza, perché può fornire misure diverse da altri sistemi della stessa tipologia.

Oltretutto, durante l'esecuzione di misure sia strumentali che manuali, oggettive e soggettive, l'operatore, in misura variabile, con l'esperienza data sia dalle molteplici misurazioni sia dalla specificità dei casi, può osservare risposte che rappresentano un plus rispetto ai semplici numeri. Compensare un difetto visivo ripristinando la visione e, pertanto, anche il comfort visivo del paziente, non può essere solo un valore calcolato, spesso è un valore mediato da informazioni complementari che tengono conto di un quadro complesso. Allo stesso tempo, persone con il medesimo difetto visivo

o anomalia binoculare possono avere esigenze diverse, e quindi può essere necessario fornire strategie differenti.

Di fronte a questa variabilità, che sembra essere un punto debole, i valori strumentali oggettivi, ottenuti in questo caso mediante l'uso dell'aberrometro, sembrano fornire maggiore stabilità. Per questo motivo, l'obiettivo primario di questo lavoro di tesi è mettere a confronto una parte dell'analisi visiva, la refrazione oggettiva, con quella soggettiva, in cui abbiamo una partecipazione attiva del soggetto durante l'esame, per trovare una chiave di lettura in questo apparente conflitto.

CAPITOLO 1

L'Analisi Visiva Optometrica

La vista è quell'abilità che ci consente di tramutare uno stimolo luminoso in un impulso nervoso. La scala di misura utilizzata per valutare l'Acuità Visiva (AV) sono i decimi, ossia la più piccola risoluzione spaziale apprezzabile dall'occhio. Con Acuità si intende la quantificazione delle dimensioni del simbolo più piccolo di cui si notano i particolari, cioè che sottendono un certo angolo visivo. Nella comune pratica clinica si considera "sufficiente" la capacità di distinguere una figura che sottende, tra un elemento e l'altro, 1° d'arco, che equivale, nelle varie unità di misura, a: 20/20 (Snellen), 6/6 (Snellen), 10/10 (Monoyer), 1.0 (decimale) o 0.0 Logmar. Il valore dei 10/10, preso come riferimento, non è l'acutezza visiva massima, ma è il valore definito "cut-off" per una visione considerata normale, cioè il valore minimo per una visione da considerarsi soggettivamente normale e accettabile.

La visione racchiude l'insieme di quei processi, che avvengono a livello cerebrale e non negli occhi, che ci consentono di identificare, elaborare e capire ciò che ci circonda. Per "abilità visive", si intendono varie competenze quali: discriminanti, oculomotorie, accomodative, visuospatiali, visuomotorie, percettive, binoculari e sensoriali. Ogni abilità va valutata con misurazioni e test specifici, in seguito andremo a concentrarci su una porzione in particolare di questi test, che è quella utilizzata per il nostro studio [2].

In optometria, il termine *refrazione* non è usato solo per riferirsi al cambiamento di vergenza della luce dovuta alle caratteristiche refrattive dei mezzi ottici oculari, ma anche alla determinazione delle lenti che servono per correggere l'errore refrattivo di un soggetto. L'obiettivo finale della refrazione è determinare l'entità e il tipo di ametropia, un problema sia psicofisico, poiché si basa sull'acuità, sia una scelta clinica, in relazione alle strategie che il sistema visivo, nel suo complesso, trova ottimali. Esistono diversi tipi di procedimenti per valutare la refrazione oculare, che possono essere raggruppati in tecniche oggettive e tecniche soggettive [3]

1.1 La Refrazione Oggettiva

La refrazione oggettiva prevede metodologie che non richiedono la partecipazione attiva del paziente, non viene chiesto al soggetto esaminato di dare risposte o considerazioni, ma si basano sulle

valutazioni dell'esaminatore. Tra le tecniche di refrazione oggettiva di comune uso clinico troviamo la schiascopia, o retinoscopia, che permettono di misurare la refrazione totale tramite la valutazione del tipo di riflesso: quanto ampio o veloce, quanto luminoso, il colore... tutte indicazioni non quantificabili, ma che forniscono informazioni sulla partecipazione o la difficoltà del soggetto. La retinoscopia si differenzia in *retinoscopia statica*, in cui lo stato refrattivo viene misurato mentre il paziente fissa un oggetto a distanza elevata (4-6 metri), mentre l'esaminatore è a breve distanza; e in *retinoscopia dinamica*, nella quale lo stato refrattivo viene determinato mentre l'individuo osserva un oggetto posto a distanza prossimale, generalmente uguale o vicina al piano del retinoscopio [3]. Esistono molte tecniche di retinoscopia, tra cui possiamo trovare:

- la *tecnica di Mohindra*, ha come scopo la valutazione dello stato refrattivo di un soggetto generalmente molto giovane, non collaborante. Viene eseguita da vicino e al buio, mentre il paziente fissa la luce emessa direttamente dal retinoscopio. Questa tecnica si rivela utile per il controllo dell'accomodazione, riducendo al minimo l'effettiva stimolazione della stessa; è stato inoltre dimostrato che, confrontando i valori della retinoscopia Mohindra e i valori ottenuti in cicloplegia, questi danno misurazioni refrattive oggettive simili [4];
- il *metodo di Nott*, invece di utilizzare le lenti per ottenere la neutralità, l'esaminatore deve avvicinare o allontanare il retinoscopio fino a quando non si osserva un riflesso neutro, mentre il paziente sta fissando un bersaglio a una distanza ravvicinata costante [5];
- la *tecnica Bell*, prevede l'utilizzo di un cubo illuminato internamente con immagini di cartoni animati in bianco e nero ad alto contrasto, contenenti una gamma di frequenze spaziali, o ottotipi di lettere/numeri per i bambini più grandi, visto in condizioni di scarsa illuminazione e in cui la focalizzazione avviene appunto sull'immagine. L'esaminatore si pone a 0,50 m dal soggetto e mantiene una distanza fissa dal bambino, mentre il bersaglio viene fatto avanzare finché il riflesso retinoscopico non viene neutralizzato [6].

Sebbene tutte di fondamentale importanza, queste tecniche vengono utilizzate in situazioni differenti. La tecnica di Mohindra garantisce un controllo dell'accomodazione simile all'effetto di un farmaco cicloplegico, utilissimo nel caso di pazienti dubbi e non collaboranti, in cui vi è un'evidente fluttuazione dell'accomodazione e una sospetta ipermetropia latente, un astigmatismo elevato, un'anisometropia o anche un'ambliopia, e anche in caso di progressione miopica [4]. Per quanto riguarda il metodo di Nott invece, è molto utile per determinare una sovra o sotto accomodazione (chiamati anche Lead e Lag accomodativi), soprattutto perché in questa tecnica non vengono inserite lenti che possano andare ad alterare l'accomodazione del soggetto, che resta intoccata [5]. La tecnica di Bell, infine, può essere considerata una delle varianti di retinoscopia dinamica da utilizzare

soprattutto per i casi di pazienti difficili, come bambini molto piccoli o con una soglia dell'attenzione molto bassa. Si dà il caso, infatti, che con un bambino in movimento o disattento, sia difficile impiegare la retinoscopia Nott, in quanto utilizzando un obiettivo fisso sia difficile da mantenere nel range di attenzioni del soggetto; inoltre, il ritiro dell'esaminatore può distrarre il paziente, e il riflesso retinoscopico visto da lontano diventa difficile da giudicare quando il ritardo è elevato. La tecnica di Bell propone di valutare qualitativamente l'accomodazione nei bambini, partendo da una posizione fissa del retinoscopio e facendo avanzare il bersaglio verso il bambino, finché il riflesso retinoscopico non viene neutralizzato, che permette di mantenere una maggiore attenzione e soprattutto consente una buona riuscita dell'esame [6].

Un'altra tipologia di test oggettivo è la *refrattometria*, normalmente ad acquisizione automatizzata e si parla quindi di autorefrattometria, persegue i medesimi scopi della schiascopia, ossia valutare la refrazione totale, ma sono incluse tecniche che utilizzano tecnologie differenti, nate con lo scopo di provvedere a un'indagine rapida, senza particolari abilità, sulla grande quantità di pazienti [3].

1.2 La Refrazione Soggettiva

Dopo l'esame oggettivo, e muovendo dai valori ottenuti, la correzione viene adattata alla sensazione del paziente e alle sue richieste visive. Il test soggettivo ha due finalità: controllare l'efficacia ed effettuare adattamenti alla correzione oggettiva, oppure definire totalmente la correzione.

Nella maggior parte dei casi, il metodo utilizzato per la determinazione della correzione ottica soggettiva segue quattro step, eseguiti in fase monoculare:

1. Controllo iniziale della sfera;
2. Rifinitura dell'asse del cilindro;
3. Rifinitura del potere del cilindro;
4. Controllo finale della sfera;

1.2.1 Sfera Iniziale

L'obiettivo primario, in questa fase della misurazione, è quello di minimizzare il responso accomodativo del soggetto. Per fare questo, viene utilizzata la tecnica dell'annebbiamento, detta anche *fogging*: introducendo una serie di lenti che rendano il paziente "miope", viene portata la focalizzazione davanti la retina, in questo modo ogni tentativo di utilizzare l'accomodazione genera

un peggioramento nella visione. Una volta effettuato questo, si riduce l'annebbiamento diminuendolo in step di 0.25D, fino a ottenere una lente sferica che permetta la miglior visione al paziente.

1.2.2 Rifinitura del Cilindro

Dopo aver definito la miglior sfera, il secondo punto del nostro esame consiste nella valutazione della correzione astigmatica, divisa in due fasi distinte: la prima è la determinazione dell'asse del cilindro, seguita successivamente dalla determinazione del potere. Per fare questo, ci serviamo di una tecnica chiamata Cilindri Crociati di Jackson (JCC), che consiste in una lente formata da due lenti cilindriche con gli assi perpendicolari tra loro, e con il potere ottico uguale ma di segno opposto.



Figura 1: Cilindro Crociato di Jackson manuale

Per la rifinitura dell'asse della correzione cilindrica, il JCC è posizionato in maniera tale che il suo asse cada a 45° rispetto l'asse del cilindro determinato in refrazione oggettiva. Nel forottero questo avviene in automatico girando la rotellina del Cilindro Crociato, nel caso di JCC manuale, invece, come quello di Figura 1, basterà allineare il manico di questo col cilindro trovato in refrazione oggettiva. A questo punto, al soggetto viene mostrato sullo schermo dell'ottotipo un target su cui concentrarsi, che può essere una linea di lettere o una mira a punti, e gli vengono mostrate due immagini, entrambe abbastanza sfuocate, facendo ruotare il cilindro lungo il suo asse. Viene chiesto al soggetto di indicare quale delle due immagini, uno o due, sia migliore perché più scura o più evidente rispetto all'altra. In base alla risposta, l'asse del JCC verrà ruotato, di solito seguendo la posizione preferita dall'individuo, finché il soggetto non avrà alcuna preferenza tra le due immagini.

presentate, oppure, nel caso si muova avanti e indietro tra due posizioni specifiche di asse, l'asse è da scegliere in una posizione in mezzo alle due.

Per quanto riguarda la rifinitura del potere invece, il cilindro crociato va ruotato allineando il potere, positivo o negativo, all'asse trovato precedentemente. Come prima, il JCC va ruotato mostrando al paziente due immagini e chiedendo quale venga preferita tra le due. Se il soggetto preferisce l'immagine in cui il JCC è allineato sul potere positivo, va diminuito il potere del cilindro; in caso contrario, cioè in cui venga preferita l'immagine con il cilindro allineato sul potere negativo, il potere del cilindro va aumentato. La procedura va eseguita finché il paziente dichiara di non avere nessuna preferenza o, nel caso si fermasse tra due poteri in particolare, andrebbe scelto un valore di potere intermedio ai due.

1.2.3 Sfera Finale

Una volta individuata la correzione cilindrica, la fase finale dell'esame consiste nel controllare nuovamente la sfera, che potrebbe aver subito dei cambiamenti dovuti alle modifiche di asse e potere del cilindro durante la loro rifinitura. Come nella determinazione della sfera iniziale, si va ad introdurre annebbiamento, di solito di 0.75D, col fine di controllare l'accomodazione. Si riduce l'annebbiamento in step di 0.25D fino a portare il soggetto a una visione ottimale.

1.2.3 Bilanciamento Binoculare

Una volta conclusa la refrazione soggettiva monoculare per entrambi gli occhi, il passo finale è il bilanciamento binoculare. Lo scopo della procedura è di assicurarsi che lo stimolo accomodativo sia uguale o simile in entrambi gli occhi, ottenendo così una correzione refrattiva che possa essere indossata confortevolmente in visione binoculare. Vi sono vari metodi di bilanciamento binoculare, i principali sono: occlusione alternata, dissociazione prismatica verticale, metodo Humphriss, Polaroid o Vettogrammi e bilanciamento infinito Turville. Di tutti questi metodi, andremo a descrivere solamente la tecnica di dissociazione prismatica verticale, perché è quella utilizzata durante il nostro studio.

Introduciamo una quantità equivalente, in entrambi gli occhi, di annebbiamento. Dissociamo la visione del soggetto, introducendo un prisma verticale: nell'occhio destro 3 diottrie prismatiche (Δ) a Base Alta (BA) e nell'occhio sinistro 3 Δ BB, facendogli così sperimentare una diplopia verticale. Al paziente viene chiesto di indicare se, delle due immagini che osserva, ve ne sia una che viene vista

più nitida dell'altra, o se entrambe si presentano sfuocate allo stesso modo. Aggiungendo sfera positiva all'occhio che vede in maniera più nitida, andremo a rendere le immagini sfocate in maniera uguale. Una volta raggiunta l'equivalenza nella sfuocatura, togliamo i prismi e andiamo a diminuire l'annebbiamento finché non raggiungiamo il massimo dell'acuità [7].

Tutto questo è sufficiente per ricavare un valore compensativo bilanciato del difetto refrattivo, ma rispetto a un esame visivo completo ne è solo una parte. Manca un quadro della visione binoculare fondamentale per arrivare ad una giusta correzione, come la valutazione delle forie, dell'ampiezza accomodativa e altri test, che in questo caso abbiamo scelto di non considerare.

CAPITOLO 2

Strumenti e Metodi

Col fine di descrivere al meglio il nostro lavoro, andremo a illustrare la strumentazione e le metodologie utilizzate per la presa dati di questo progetto.

2.1 Aberrometria e Aberrometro

L'aberrometria è un esame diagnostico che consente di verificare eventuali alterazioni delle strutture oculari, in particolare dei mezzi diottrici, fornendo una mappa che permette di individuare eventuali aberrazioni. Le aberrazioni oculari sono alterazioni delle strutture dell'occhio, che determinano deviazioni e distorsioni dei raggi luminosi e causano un peggioramento nella visione. L'aberrometro, utilizzato per studiare le aberrazioni ottiche, consiste semplicemente in un topografo corneale, collegato a un computer con un software dedicato. Il principio su cui si basa l'aberrometro è molto semplice: un fascio laser luminoso viene proiettato attraverso i diottri oculari, e viene messo a fuoco sulla retina. L'onda riflessa da questo punto retinico torna ad attraversare, in senso contrario, le diverse strutture diottriche, e viene quindi esaminata da un particolare sensore posto di fronte agli occhi [8]. Quest'onda riflessa appare differentemente distorta e deformata, a seconda delle anomalie ottiche presenti nell'occhio del paziente [9].

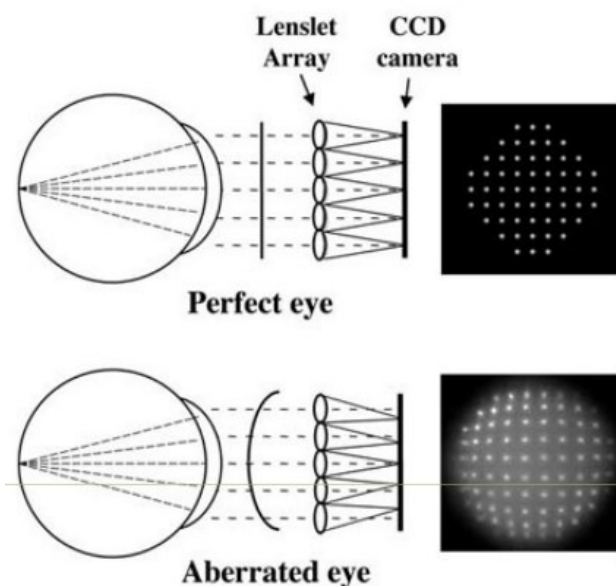


Figura 2: Funzionamento dell'Aberrometro

Durante l'esame aberrometrico il paziente deve sedersi su di una sedia di fronte all'aberrometro, poggiare fronte e mento sugli appositi sostegni e spalancare gli occhi. L'unico fastidio generato dall'esame è dover mantenere gli occhi aperti, fissando per qualche secondo una luce intensa. L'esame è di tipo non invasivo, completamente indolore, ed è l'unico che consente di mappare con precisione le aberrazioni di: corpo vitreo, retina, cornea e cristallino. In questo modo, si potrà mettere in evidenza la presenza di eventuali alterazioni che possono provocare distorsioni della luce o sviamenti dei raggi luminosi, che ostacolano la formazione di immagini corrette [10].

In molti casi l'esame è davvero un valido aiuto, poiché permette di valutare l'entità di ogni tipo di aberrazione. Nello specifico, consente l'individuazione di aberrazioni ottiche di basso ordine, che sono quelle che ci interessano maggiormente, come: la *sfocatura*, che si riferisce sia alla miopia che all'ipermetropia. Per la miopia l'aberrazione dell'onda corrispondente è chiamata sfocatura positiva (anche se la miopia è corretta da lenti negative), mentre per l'ipermetropia è chiamata sfocatura negativa (anche se l'ipometropia è corretta da lenti positive). Troviamo poi anche l'*astigmatismo regolare*, si riferisce a un cambiamento nella refrazione da un meridiano principale dell'occhio all'altro, i due meridiani sono sempre ad angolo retto. Si parla di astigmatismo "con regola" quando l'asse più ripido (meridiano con maggior potere refrattivo) tende ad essere verticale (intorno a 90°), e di astigmatismo "contro regola" quando l'asse più ripido tende ad essere orizzontale (intorno a 180°). Miopia, ipermetropia e astigmatismo regolare rappresentano aberrazioni di basso ordine, ma in termini di polinomi di Zernike sono classificate come aberrazioni di secondo ordine. Le aberrazioni

di ordine inferiore costituiscono circa l'85% di tutte le aberrazioni oculari e possono essere corrette con occhiali o lenti a contatto[11]. Le aberrazioni di alto ordine, invece, non possono essere risolte con lenti correttive specifiche o vanno trattate a livello chirurgico.



Figura 3: Aberrometro

2.2 Il Forottero

Il forottero è uno strumento oftalmico che consente di effettuare la refrazione soggettiva dell'occhio e di eseguire numerosi test visivi, grazie alla vasta combinazione di lenti ausiliarie che facilitano la realizzazione di tutte le opzioni refrattive possibili. La funzionalità è la medesima di quella svolta dalla cassetta di prova, ma risulta di maggior comodità per quei test che richiedono un frequente alternare di lenti. In esso sono presenti:

- serie di lenti sferiche positive e negative (da +16,75 a -19,00);
- serie di cilindri negativi sino a -6,00 con scatti di 0,25;
- serie di lenti accessorie (filtri R/V, polaroid ecc. come quelle presenti nella cassetta di prova);
- coppia di cilindri crociati $\pm 0,25$ mobili e accoppiabili al cilindro correttore, $\pm 0,50D$ fissi;

- coppia di prismi di Risley;
- asse del cilindro ruotabile di 180° in step di 5° .

Il tutto è concentrato in un grosso apparecchio che deve essere sostenuto, dato il peso, da un braccio a muro o a pavimento. Il sostegno è bilanciato, sicché il movimento e posizionamento del forottero, davanti al soggetto, risultino facilitati [12].



Figura 4: Forottero

Principalmente, il forottero viene utilizzato per determinare la gradazione soggettiva di un paziente, tramite quello che abbiamo precedentemente definito “esame soggettivo”, al fine di correggere un errore di refrazione come miopia, ipermetropia o astigmatismo. Permette, inoltre, di misurare le forie, ossia determinare qual è la posizione naturale degli occhi quando sono a riposo, e consente di valutare l’ampiezza accomodativa degli occhi.

2.3 Protocollo di misurazioni

Per la nostra presa dati abbiamo iniziato con una valutazione della refrazione tramite l'aberrometro. Col fine di diminuire l'influenza degli errori, abbiamo svolto la nostra misurazione per tre volte e memorizzato tutti i risultati; ogni soggetto avrà quindi tre rilevazioni per l'occhio destro e tre per il sinistro.

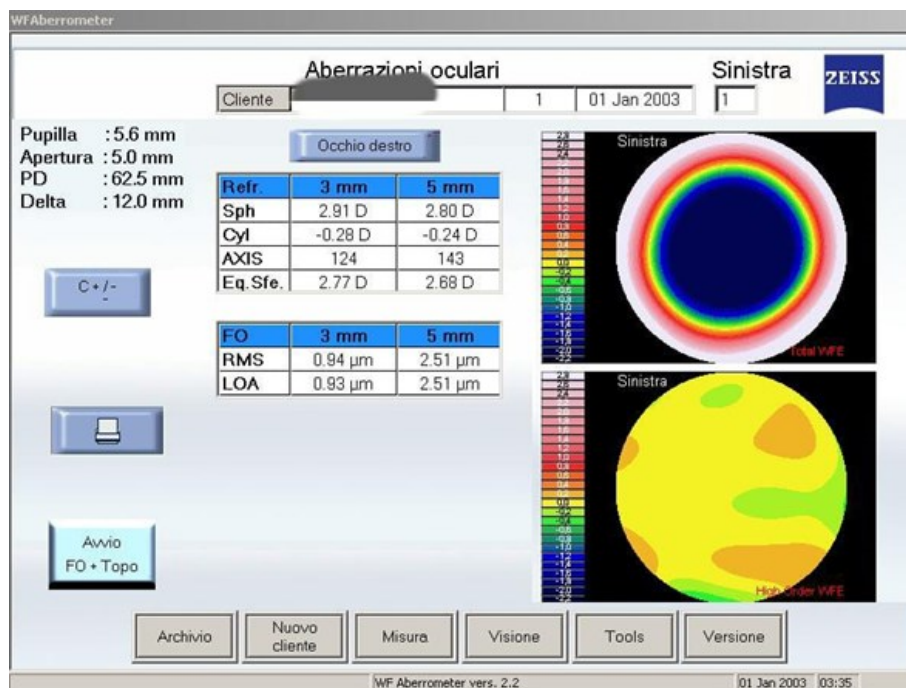


Figura 5: Aberrazioni Oculari Occhio DESTRO con Aberrometro

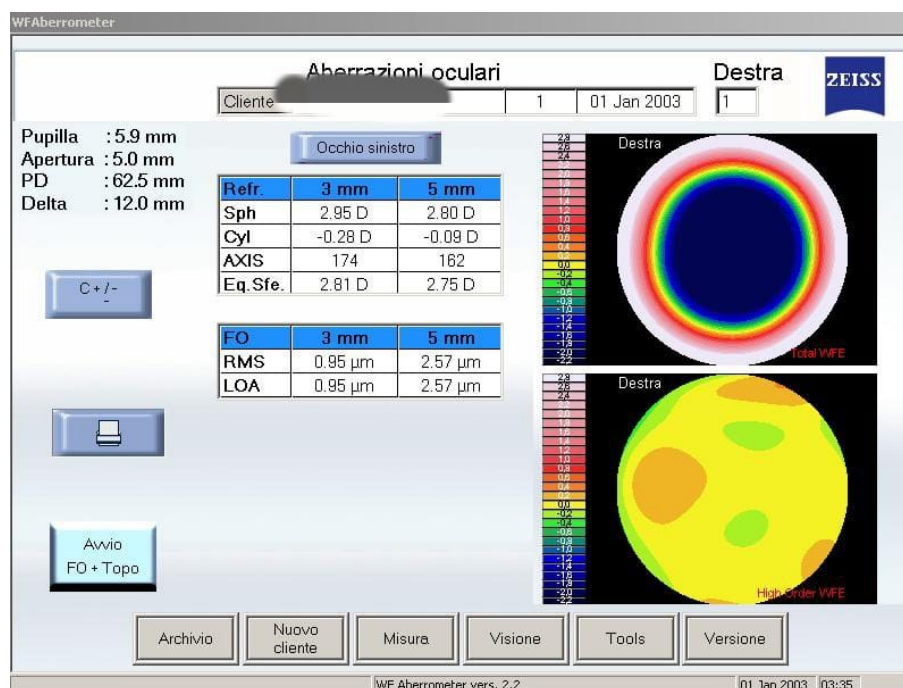


Figura 6: Aberrazioni Oculari Occhio SINISTRO con Aberrometro

Come valore finale di refrazione dell'aberrometro abbiamo scelto, dove possibile, il valore che andava a presentarsi più frequentemente. Nel caso in cui non vi fosse un valore presente in maggior quantità, siamo andati a effettuare una media dei dati: per sfera e cilindro abbiamo arrotondato al valore di sfera o cilindro più vicino, che sappiamo aumentare o diminuire di 0.25D alla volta (ad esempio: Sph 3.58 \rightarrow 3.5); mentre per la scelta dell'asse abbiamo arrotondato al multiplo di 5 più prossimo.

Il risultato così ottenuto verrà confrontato con la refrazione acquisita con l'esame soggettivo, svolto in tutte le sue parti.

I due risultati refrattivi sono poi stati confrontati con metodo oggettivo e soggettivo. Il confronto oggettivo consiste nel far leggere al paziente lo schermo dell'ottotipo e valutare così la sua acuità visiva, mentre quello soggettivo si basa sulle sensazioni del soggetto, principalmente sul suo comfort: viene chiesto al paziente se preferisce la refrazione 1 (quella dell'aberrometro), la refrazione 2 (quella del soggettivo) o se non vi sono granché differenze. Non è mai stato specificato al soggetto di quale refrazione si stesse parlando (tranne una volta terminato l'esame), evitando così influenze o pregiudizi sulla scelta.

Una volta ottenute le risposte la misurazione può considerarsi conclusa.

Volendo confrontare l'efficacia in termini di compensazione, tra una misura oggettiva strumentale e una soggettiva gestita da un operatore, va considerato che una misura può essere:

- **Precisa**, ossia indica quanto il valore della misura sia ripetibile;
- **Accurata**, cioè, indica quanto il valore della misura sia vicino al valore adottato o al valore previsto [13];
- **Ripetibile**, indica il grado di concordanza tra una serie di misure di uno stesso misurando (la grandezza oggetto di misurazione), quando le singole misurazioni sono effettuate lasciando immutate le condizioni di misura. Le misure devono rispettare le seguenti condizioni:
 - I. deve essere mantenuto lo stesso metodo di misurazione;
 - II. devono essere effettuate dallo stesso operatore;
 - III. devono essere effettuate con lo stesso strumento di misura;
 - IV. devono essere fatte nel medesimo luogo;
 - V. devono essere effettuate con le medesime condizioni di utilizzo dello strumento e del misurando;
 - VI. devono essere effettuate in un breve periodo.

La ripetibilità non va confusa con la **riproducibilità**, che valuta la concordanza dei risultati di misura variando una o più condizioni di misura [14].

Per quanto riguarda lo strumento, invece, questo possiede una **sensibilità**, legata alla più piccola variazione della grandezza che è possibile misurare con lo strumento stesso. Più è piccolo il valore della grandezza che si riesce a distinguere, maggiore è la sensibilità dello strumento [15].

Nel nostro studio sia la misura oggettiva strumentale che soggettiva possono essere considerate ripetibili e più precise e accurate possibili.

ZEISS i.Profiler Plus Specifications	
Measurement technology	Placido rings (22)
Accuracy, D	± 0.05
Measurement range, D	1-100
Wavelength, nm	555
Measured points	1500

Figura 7: Scheda Tecnica dell'Aberrometro

CAPITOLO 3

Analisi Dati

3.1 Campione di Studio

Hanno partecipato a questo lavoro 30 soggetti, di età compresa tra i 20 e i 65 anni, per un totale di 60 occhi analizzati. Il campione di studio comprende principalmente studenti dell'Università di Padova, che spiega il motivo per cui il 76.67% degli individui abbia tra i 20 e i 24 anni, come evidenziato in Figura 8.

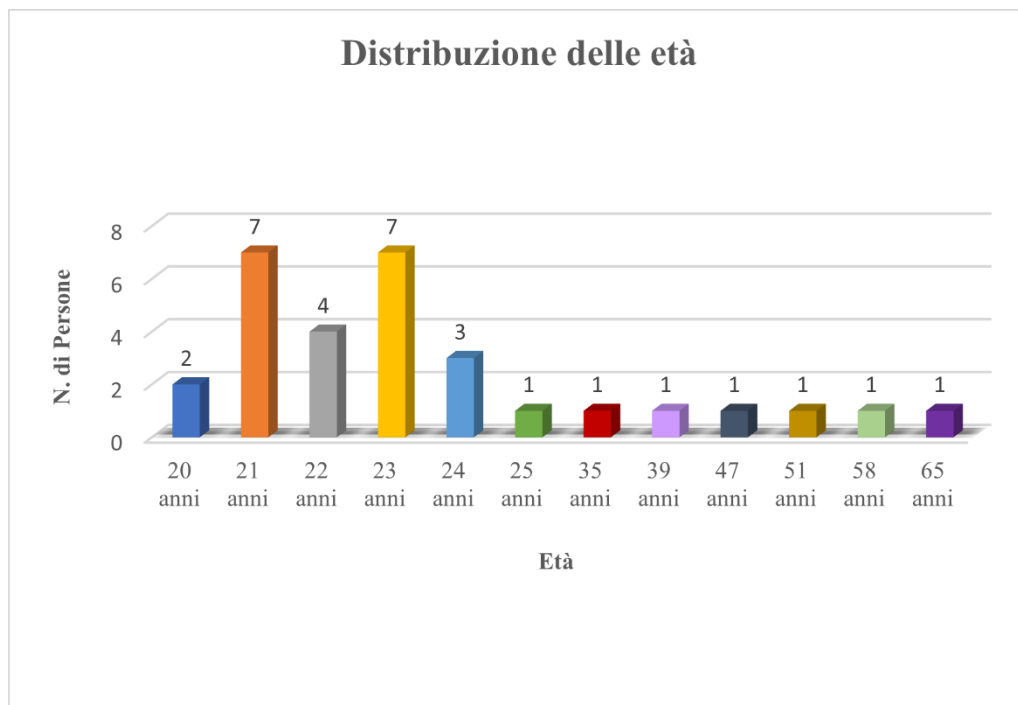


Figura 8: Grafico di Distribuzione delle Età dei soggetti analizzati

Dei 60 occhi misurati, sono stati trovati 37 occhi miopi (61,67%), 19 occhi ipermetropi (31,67%) e ben 47 occhi astigmatici (78,3%).

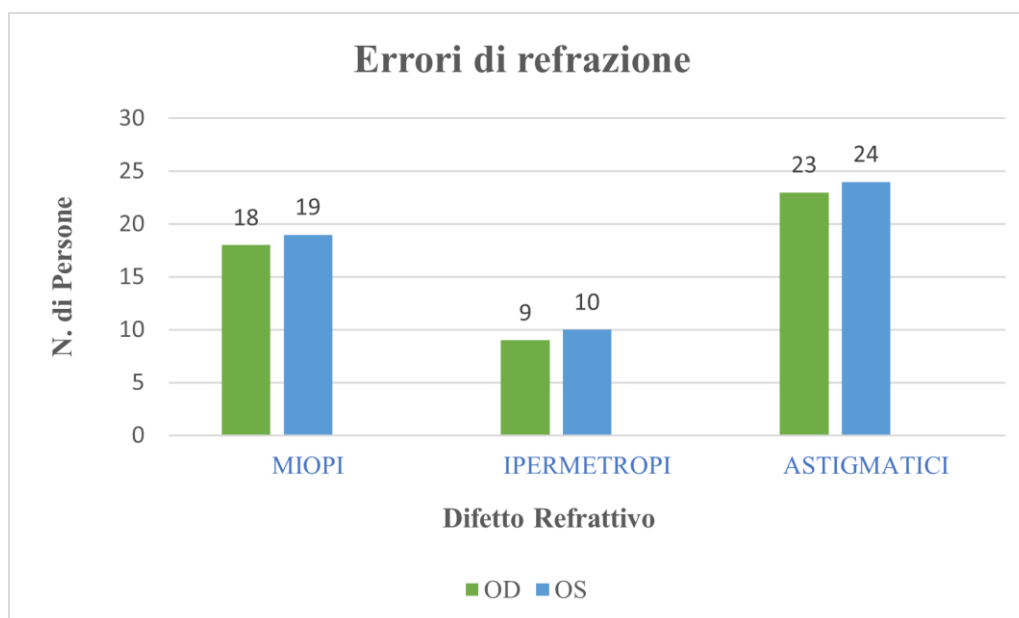


Figura 9: Errori di Refrazione, Occhio Destro e Occhio Sinistro

Di cui consideriamo miopi tutti i soggetti in cui sia la refrazione soggettiva, sia quella aberrometrica, dessero un valore maggiore o uguale a $-0.25D$. Consideriamo ipermetropi tutti i soggetti in cui entrambe le correzioni fossero maggiori o uguali a $+0.25D$ e consideriamo emmetropi, anche se non lo sono propriamente perché lievemente astigmatici, tutti coloro aventi una refrazione sferica uguale a 0.



Figura 10: Errori Refrattivi Totali

3.2 Risultati

Dal grafico in Figura 11 possiamo evidenziare un'acuità migliore con la refrazione del soggettivo.

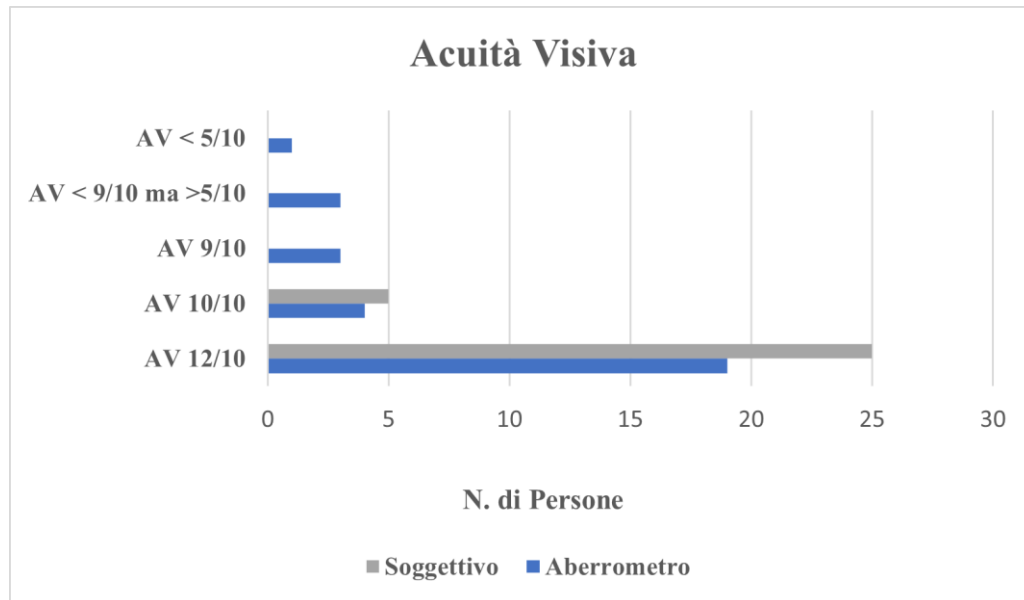


Figura 11: Grafico rappresentante le differenze di Acuità Visiva con la refrazione ottenuta con l'Aberrometro o con il Soggettivo

Con la refrazione soggettiva non abbiamo un'acuità inferiore ai 10/10, mentre con l'acuità ricavata dall'aberrometro in 7 casi su 30, questa è inferiore ai 10/10 (3/30 hanno un'acuità di 9 decimi, 3/30 hanno un'acuità compresa tra i 9 e i 5 decimi, 1/30 ha un'acuità inferiore ai 5 decimi).

Non soffermandoci solamente sull'acuità visiva, abbiamo deciso di prendere in considerazione una valutazione soggettiva, che possiamo denominare *comfort*, inteso come “occhio rilassato”. Abbiamo chiesto a ogni soggetto quale preferisse, tra le due refrazioni proposte, considerando solamente la comodità, se sentisse l'occhio tirare o sforzare meno, e che non valutasse la nitidezza delle lettere dell'ottotipo. Dal grafico in Figura 12 appare in maniera chiara che, a livello di rilassatezza, venga preferita la refrazione ricavata dal test al forottero.

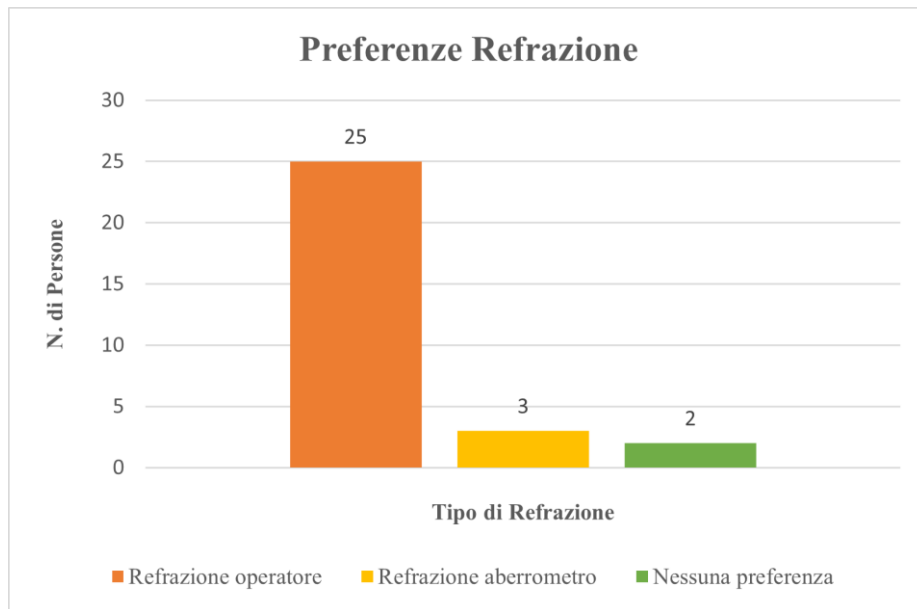


Figura 12: Grafico rappresentante le preferenze di comfort dei soggetti, considerando le refrazioni di soggettivo e aberrometro

Volendo valutare le differenze tra la refrazione aberrometrica e quella del soggettivo, abbiamo verificato quanto fossero simili tra loro i nostri dati. Prendendo come riferimento base la refrazione soggettiva, siamo andati a misurare quanto la gradazione dell'aberrometro fosse sovracorrecta o sottocorrecta, rispetto a questa. Abbiamo svolto la misurazione sia per la gradazione sferica, sia per quella cilindrica. Per quanto riguarda la gradazione sferica:

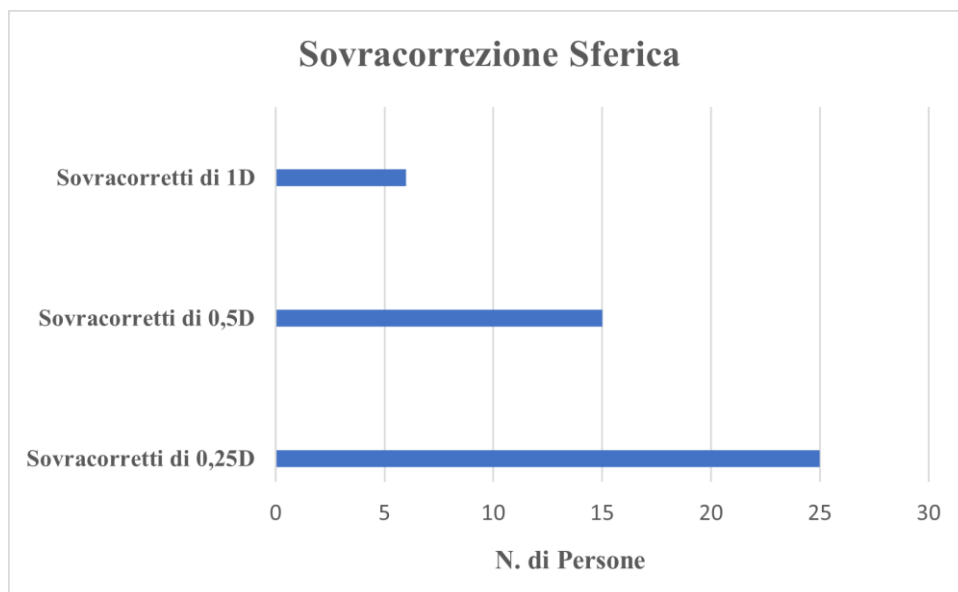


Figura 13: Grafico raffigurante la Sovracorrezione Sferica

Considerando il totale dei 60 occhi esaminati, abbiamo individuato che 25 di questi presentassero una sovracorrezione maggiore o uguale alle 0.25D. Di questi venticinque, 15 avevano una sovracorrezione maggiore o uguale alle 0.5D e 6 avevano una sovracorrezione di 1D.

Considerando poi i valori di sottocorrezione:

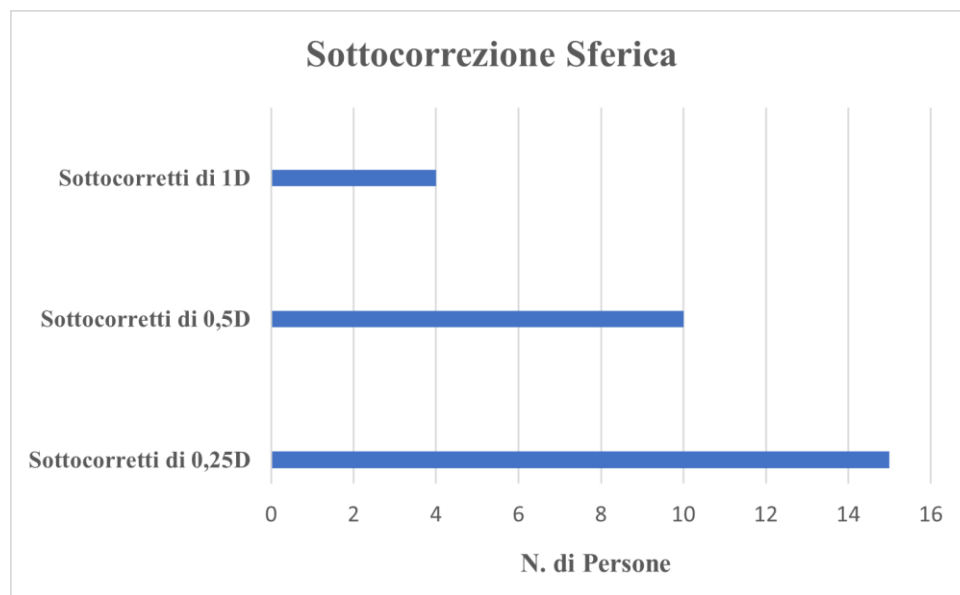


Figura 14: Grafico raffigurante la Sottocorrezione Sferica

Sono stati individuati 15 soggetti aventi una sottocorrezione maggiore o uguale alle 0.25D, di questi quindici erano in 10 ad essere sottocorretti di almeno mezza diottria, di cui 4 di un valore maggiore o uguale a 1D.

Spostandoci poi ai valori di gradazione cilindrica, dei 60 occhi esaminati ben 28 presentavano una sovracorrezione maggiore o uguale alle 0.25D, di cui 11 di almeno mezza diottria.

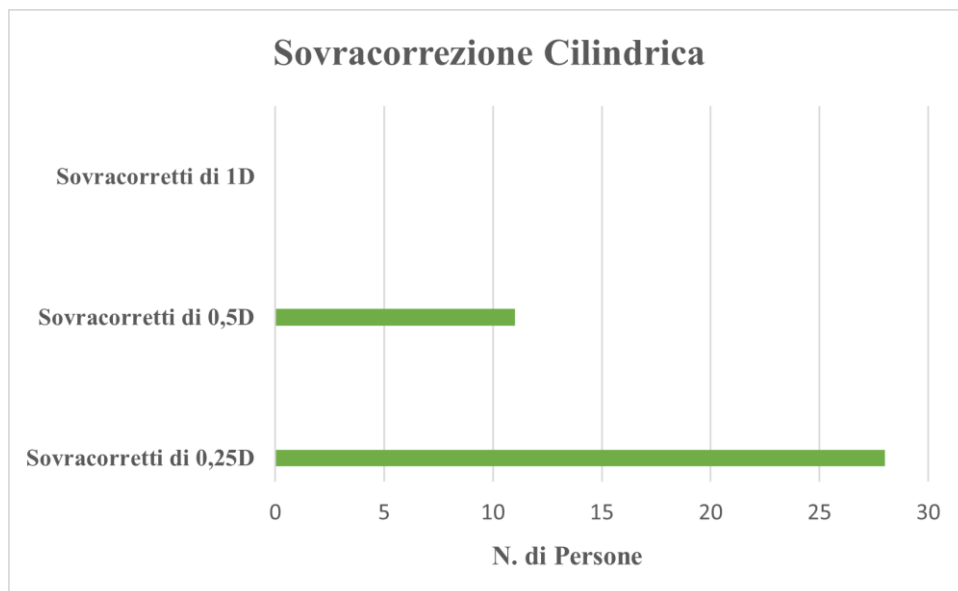


Figura 15: Grafico raffigurante la Sovracorrezione Cilindrica

Per i valori di sottocorrezione invece, sono stati riscontrati 18 individui sottocorretti di almeno 0.25D, di cui la metà sottocorretti di almeno mezza diottria.

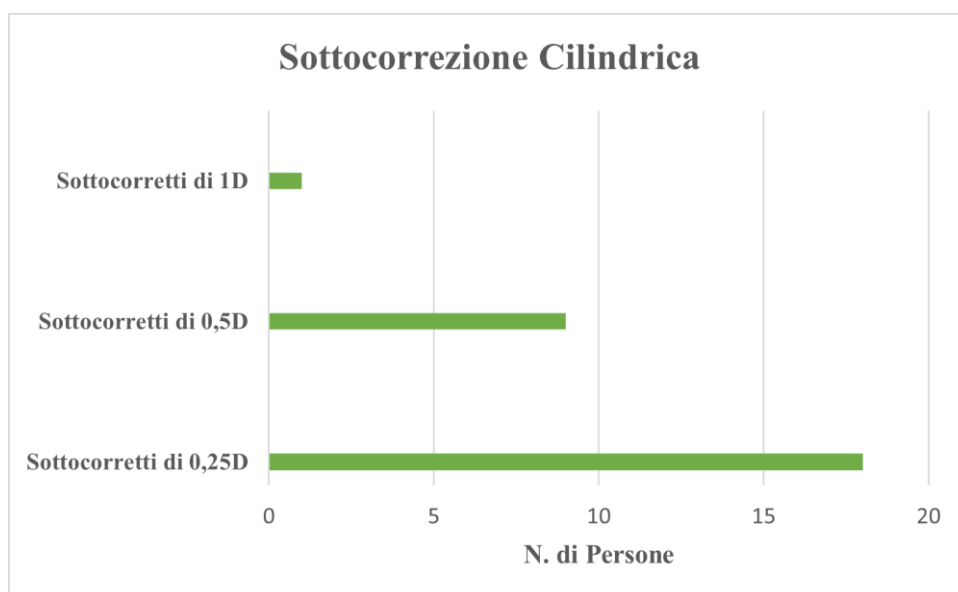


Figura 16: Grafico raffigurante la Sottocorrezione Cilindrica

Considerando, invece, i valori che si presentavano uguali tra la refrazione soggettiva e aberrometrica, dei 60 occhi misurati abbiamo riscontrato che, per quanto riguarda la correzione sferica, 20 refrazioni combaciano; mentre per la refrazione cilindrica ne coincidono 14.

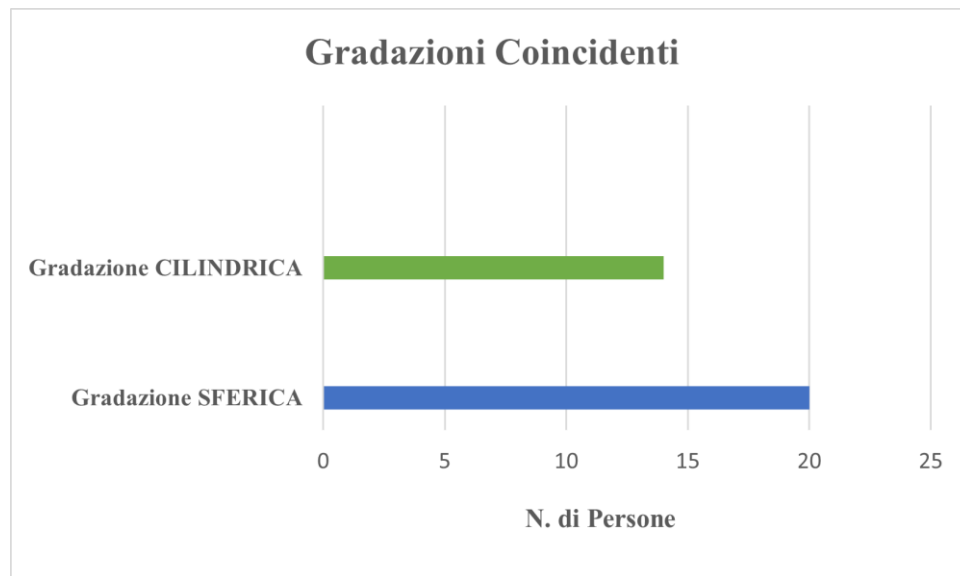


Figura 17: Gradazioni Coincidenti

Valutando poi i risultati con una divisione in base all'errore refrattivo: dei 19 occhi ipermetropi 10 erano sottocorretti, e dei 37 occhi miopi 18 erano sovracorretti.

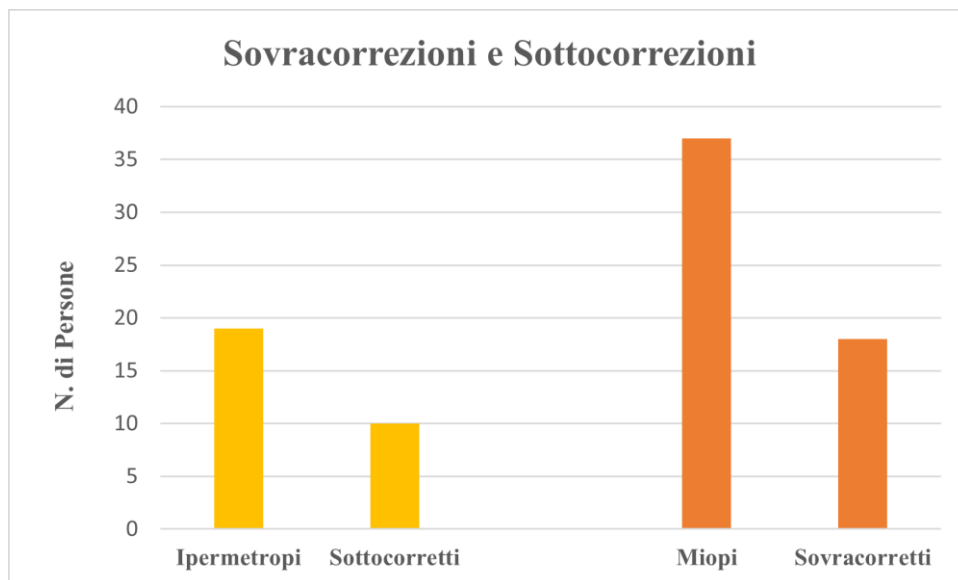


Figura 18: Grafico raffigurante la divisione di sovracorrezioni e sottocorrezioni in base all'errore refrattivo

CAPITOLO 4

Discussione

Il professionista ha a disposizione una varietà di diversi strumenti, che hanno certamente un ruolo importante nel supportare il suo lavoro, ma che possono presentare alcune criticità o limitazioni che ne vanno a ridimensionare l'utilizzo. C'è da tener presente, ad esempio, che un test visivo non si riduce solamente a una valutazione della AV del soggetto, ma è composto da una serie di misurazioni (come la misurazione delle forie e delle Vergenze Relative, dell'Ampiezza Accomodativa o delle Accomodazioni Relative) volte a trovare quella che è la miglior compensazione per il difetto refrattivo del paziente, tenendo conto di tutte le sue necessità e andando talvolta a preferire un maggior comfort o una minore stimolazione accomodativa, a discapito di una visione perfetta. Va infatti considerato che un operatore esperto individua una serie di informazioni che un esame strumentale non può analizzare; queste indicazioni possono riguardare la postura o il modo di muoversi nello spazio, senza considerare poi tutti quei dati anamnestici di una persona a cui il macchinario non può far caso.

Spesso ci si ritrova a confrontare dati ottenuti in modo automatico, da strumenti frutto di evoluzione tecnologica, con altri manuali ricavati da test e misurazioni di operatori. Capacità, esperienza, pratica e attenzione degli operatori che effettuano le misurazioni, possono dare risultati diversi fino ad alterare il risultato finale di una misurazione, è stato dimostrato in uno studio americano come il metodo soggettivo sia poco ripetibile, anche solo una variazione nell'operatore che effettua la refrazione può portare ad un risultato differente, non per questo scorretto[16]. Gli strumenti però, non risentono, ad esempio, di alterazioni psicofisiche, quindi non alterabili da stanchezza o disattenzione, ma possono risentire di errori di ripetibilità, sensibilità o taratura. Sono interessanti due studi americani: il primo, pubblicato nel 2017 dal College di Optometria dell'Università di Houston, in Texas, in cui vengono messi a confronto la refrazione soggettiva e il Visual Strehl Ratio, una misura della qualità della formazione di un'immagine ottica [17]. Il secondo studio, del 2018 invece, pubblicato sulla rivista "Eye & Contact Lens", confronta l'acuità visiva e l'errore refrattivo usando lo strumento OPD-III, rispetto ai risultati ottenuti con un esame soggettivo [18]. In entrambe le ricerche è stato evidenziato come la misura della refrazione soggettiva e quella strumentale, diversa nei due casi a seguito della differente attrezzatura adoperata, fossero equivalenti per l'Acuità Visiva misurata. Nei soggetti analizzati, soprattutto nel caso dei pazienti miopi, veniva preferita la correzione ricavata con il metodo oggettivo nella maggioranza delle valutazioni. L'obiettivo del nostro lavoro

può considerarsi analogo, in alcuni aspetti, agli studi americani sopra citati: vogliamo confrontare la refrazione soggettiva con la refrazione oggettiva, determinata, nel nostro caso, dall'aberrometro.

Avendo a disposizione un numero limitato di volontari per il nostro studio, non è stato possibile svolgere un'analisi più approfondita, valutando un range di popolazione con un'età più variabile. Considerando inoltre l'utilizzo di una strumentazione non troppo moderna e l'inesperienza e poca pratica dell'esaminatore (che non è un professionista, ma che nella quasi totalità dei casi ha ricavato una migliore AV e un maggior comfort con il suo test soggettivo, rispetto alla correzione ottenuta con l'aberrometro) andiamo a valutare i risultati ottenuti con i nostri test.

Col fine di analizzare in maniera oggettiva i dati acquisiti, utilizzando le refrazioni ottenute dal soggettivo e dalle misurazioni dell'aberrometro, siamo andati a valutare in un primo momento l'acuità del soggetto. Abbiamo riscontrato che con l'utilizzo della refrazione soggettiva, tutti i nostri pazienti raggiungevano un'Acuità Visiva di almeno 10/10 o superiore, cosa che non succedeva con la refrazione aberrometrica, in cui abbiamo valori di AV più sparsi e in alcuni rari casi non sempre ottimali, come si può notare in Figura 11. Questo risultato si discosta dai dati trovati dagli studi americani, in cui le acuità ottenute con il metodo soggettivo e, nel primo caso l'aberrometro OPD-III, nel secondo caso con il Visual Strehl Ratio, erano pressoché equivalenti [17], [18]. È da non trascurare il fatto che gli studi americani effettuati valutavano in un caso pazienti con problemi oculari, mentre nell'altro un gruppo di controllo di 20 soggetti; condizioni dissimili a quelle della nostra ricerca.

Un fattore influente sull'analisi dell'AV è la giovane età della maggioranza dei soggetti considerati: nei soggetti di età compresa tra i 20 ed i 25 anni, infatti, l'Ampiezza Accomodativa per l'occhio normale di un giovane è di circa 12.5 e 11D, valore ottenuto tramite la formula di Hofstetter [3]:

$$\textbf{Ampiezza Media} = 18.5 - (0.3 \times [\textbf{eta' in anni}])$$

Un ampio range accomodativo permette al soggetto di avere una buona acuità, nonostante gli venga fatta provare una correzione superiore, per i miopi, o inferiore, per gli ipermetropi; un'errata correzione però, può relativamente influenzare i valori di comfort.

Osservando il grafico di Figura 12, è evidente la preferenza di comfort degli individui analizzati. Dei trenta soggetti considerati, ben 25 hanno preferito la refrazione soggettiva, solamente 3 quella ottenuta con l'aberrometro e 2 hanno dichiarato di non avere nessuna preferenza tra le due sottoposte. La valutazione del comfort aveva come obbiettivo quello di evidenziare la diversa portabilità delle due correzioni. È stato utilizzato un metodo piuttosto approssimativo, che richiedeva la partecipazione del soggetto (su cui non dubitiamo) e la piena comprensione di ciò che gli veniva

chiesto. Su quest'ultimo punto, però, il dubbio sull'effettiva comprensione della differenza tra la qualità visiva che la correzione fornisce (ossia la nitidezza delle immagini osservate), rispetto a quanto la correzione stessa sia confortevole o rilassante, rimane. Lo studio mostra un'ampia differenza tra i dati di comfort e quelli di AV, che pendono decisamente verso la correzione soggettiva. Il distacco tra i due dati non è dovuto al caso, ma dipende da alcuni fattori che vengono valutati con la refrazione soggettiva, come ad esempio il bilanciamento binoculare, e che non vengono presi in considerazione dallo strumento oggettivo, che vanno a migliorare l'acuità del soggetto e il suo comfort.

Abbiamo poi deciso di analizzare i dati ottenuti, facendo un confronto tra la refrazione soggettiva e quella oggettiva, prendendo come base quella soggettiva perché preferita dalla maggioranza dei pazienti. Abbiamo evidenziato, come si può notare dal grafico in Figura 17, che solo 1/3 dei 60 occhi misurati presentasse una correzione sferica adeguata; i restanti 2/3 presentavano una sovracorrezione o sottocorrezione, più o meno alta, che andava dallo 0.25D ad anche oltre 1D. Se poi esaminiamo la correzione cilindrica, solo 14 occhi hanno presentato la correzione oggettiva uguale a quella soggettiva, il che vuol dire che i restanti 46 erano sovra o sotto corretti. Di queste misurazioni, di sovracorrezione o sottocorrezione, buona parte erano solo di un quarto di diottria, un valore che può essere più o meno registrabile a seconda della sensibilità del paziente; il fatto che però si presentassero valori di ipercorrezione o ipocorrezione, di mezza diottria o più, è un dato da tenere sotto controllo. Dividendo poi i casi di sovra e sotto correzione in base all'errore refrattivo, come possiamo osservare dalla Figura 18, dei 19 occhi ipermetropi analizzati, l'aberrometro tendeva a sottocorreggerne ben 10, mentre per il caso dei 37 occhi miopi, la refrazione oggettiva tendeva a sovracorreggerli (18 occhi su 37 erano sovracorretti, praticamente la metà). Questo è un valore che però possiamo aspettarci, dovuto a quello che viene chiamato "effetto a tubo" o "miopia strumentale", tipica di solito degli autorefrattometri [3].

Un'importante questione da tener presente è che un diretto confronto del nostro studio, con altri reperibili nella letteratura, non è stato possibile, perché nessuno di questi, infatti, è sovrapponibile. Gli studi analoghi, come quelli americani sopra citati, anche se simili, differiscono per la modalità di reperimento dei dati, per gli obiettivi dello studio o i dati da confrontare. Possiamo però suggerire alcuni miglioramenti da applicare in futuro per studi simili, ad esempio:

1. Ampliare il range di persone misurate, con uno studio campione più vasto;
2. Includere nello studio soggetti di ogni età e ogni tipo di grado di difetti visivi;
3. Valutare forie e riserve fusionali per le varie correzioni;
4. Perfezionare un questionario per la valutazione del comfort visivo;

5. Perfezionare il metodo di valutazione del comfort visivo, ad esempio con l'utilizzo dell'occhialino di prova per il confronto tra le due correzioni;

CAPITOLO 5

Conclusioni

A seguito di alcune limitazioni, in questo studio non possiamo tirare delle conclusioni ben definite sui nostri risultati. Vi sono, ad esempio, alcuni fattori, come la poca pratica ed esperienza dell'operatore, l'utilizzo di un macchinario abbastanza datato, l'affidabilità verso il paziente nel comprendere esattamente quello che gli veniva chiesto, o ancora variabili come il diametro pupillare o il posizionamento del soggetto dinanzi lo strumento, che potrebbero aver alterato le misurazioni ottenute. Interessante è, comunque, analizzare in modo critico quello che noi consideriamo come “giusta” correzione. Si tratta del valore che permette una migliore acuità oppure quella che permette la migliore performance visiva senza alterare equilibri? Questi risultati, in ogni caso, non servono ad affermare o meno la validità di una tipologia di misurazione rispetto a un'altra, il soggettivo rispetto l'oggettivo, quanto piuttosto a ragionare sulle procedure e tecniche.

Una considerazione è che la misurazione oggettiva, ottenuta con l'aberrometro, permette, nella maggioranza dei casi, di raggiungere un'acuità visiva di almeno 10/10, che sappiamo però non essere sufficiente per una correzione ottimale, nella quale dovremmo considerare anche il comfort dell'individuo e quindi la “portabilità” dell'occhiale. Indipendentemente dal metodo scelto, la refrazione oggettiva costituisce solo un primo passo verso la prescrizione, che dovrà essere verificata e convalidata da una refrazione soggettiva. Con questo non vogliamo screditare l'utilizzo di questi strumenti (aberrometro o autorefrattometro), ma ribadire che la misurazione effettuata con queste metodologie dovrebbe sempre essere integrata con un esame soggettivo. Nonostante i progressi compiuti, l'aberrometro non è ancora in grado di restituire una gradazione ottimale, ma non neghiamo che sia una cosa che, con l'avanzata tecnologica che è ancora in corso, non possa accadere tra qualche anno.

Possiamo concludere che l'aberrometro, o una qualunque metodologia oggettiva, fornisce una misura abbastanza precisa e un ottimo punto di partenza per la refrazione soggettiva, che però garantisce, nella nostra situazione, un maggior comfort e una migliore acuità.

Bibliografia e Sitografia:

- [1] “Artificial Intelligence (AI): Funzionamento, Applicazioni e Impatti sulla società.” https://blog.osservatori.net/it_it/intelligenza-artificiale-funzionamento-applicazioni.
- [2] “Decimi, Diottrie e Difetti Visivi.” <https://www.amedeolucente.it/decimi-diottrie-difetti-visivi.html>.
- [3] Rossetti A. and Gheller P., *Manuale di Optometria e Contattologia*, 2nd ed. Bologna, 2003.
- [4] H. Morales Ruiz, D. Fernández-Agrafojo, and G. Cardona, “Correlation and agreement between the Mohindra and cycloplegic retinoscopy techniques in children,” *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología (English Edition)*, vol. 97, no. 1, pp. 9–16, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.oftale.2021.01.011.
- [5] A. Garcia and P. Cacho, “MEM and Nott dynamic retinoscopy in patients with disorders of vergence and accommodation,” *Ophthalmic and Physiological Optics*, vol. 22, no. 3, pp. 214–220, May 2002, doi: 10.1046/j.1475-1313.2002.00026.x.
- [6] K. Tarczy-Hornoch, “Modified Bell Retinoscopy: Measuring Accommodative Lag in Children,” *Optometry and Vision Science*, vol. 86, no. 12, pp. 1337–1345, Dec. 2009, doi: 10.1097/OPX.0b013e3181be9d9c.
- [7] Mark Rosenfield and Nicola Logan, *Optometry: Science, Techniques and Clinical Management*. Elsevier Health Sciences, 2009.
- [8] Naoyuki Maeda, “Wavefront technology in ophthalmology,” *Curr Opin Ophthalmol*, 2023. [Online]. Available: https://journals.lww.com/co-ophthalmology/fulltext/2001/08000/wavefront_technology_in_ophthalmology.9.aspx
- [9] “Aberrometria,” *Wikipedia*.
- [10] “Aberrometria: esame, indicazioni, preparazione e la durata.” <https://privato.policlinicogemelli.it/approfondimenti/aberrrometria/>.
- [11] B. S. Valentina, B. Ramona, S. Speranta, and T. Calin, “The influence of optical aberrations in refractive surgery,” *Rom J Ophthalmol*, vol. 59, no. 4, pp. 217–222, 2015.
- [12] “Inami Manual Phoropter L-7040.” <https://viewlightusa.com/product/inami-manual-phoropter-l-7040/>.

- [13] “Accuracy and Precision,” *Wikipedia*.
- [14] “Ripetibilità,” *Wikipedia*.
- [15] Ugo Amaldi, *Le traiettorie della fisica*. 2023.
- [16] K. PESUDOV, K. E. PARKER, H. CHENG, and R. A. APPLGATE, “The Precision of Wavefront Refraction Compared to Subjective Refraction and Autorefraction,” *Optometry and Vision Science*, vol. 84, no. 5, pp. 387–392, May 2007, doi: 10.1097/OPX.0b013e31804f81a9.
- [17] G. D. Hastings, J. D. Marsack, L. C. Nguyen, H. Cheng, and R. A. Applegate, “Is an objective refraction optimised using the visual Strehl ratio better than a subjective refraction?,” *Ophthalmic and Physiological Optics*, vol. 37, no. 3, pp. 317–325, May 2017, doi: 10.1111/opo.12363.
- [18] M. Alamdar, E. Jafarzadehpur, A. Mirzajani, A. A. Yekta, and M. Khabazkhoob, “Comparison of the Visual Acuity and Refractive Error Using OPDIII and Subjective Findings in Visually Normal Subjects,” *Eye & Contact Lens: Science & Clinical Practice*, vol. 44, no. 2, pp. S302–S306, Nov. 2018, doi: 10.1097/ICL.0000000000000472.

Ringraziamenti

Non so bene quante persone io debba ringraziare per essere arrivata alla fine di questo percorso universitario, senza di loro avrei mollato alla prima bocciatura ad un esame.

Voglio innanzitutto ringraziare i miei relatori, il professor Merano e la professoressa Ortolan, per avermi seguita nella stesura di questa tesi e per avermi accompagnata nella fase finale di questo percorso.

Ringraziamo “Madre” e “il Papi” per aver finanziato questi studi, che sfortunatamente sono andati un po’ più per le lunghe di quanto mi fossi aspettata.

Ringrazio mia sorella Emma e le sue *tisanine* durante le crisi di pianto, immancabili durante la sessione invernale. So che non te lo dico spesso ma ti voglio bene.

Un grazie speciale alla mia compagnia di nerd:

a Marco e Ble, soprattutto a Ble per gli aperitivi al 44 e a Marco per offrire sempre la casa al mare a quei quattro poveracci dei tuoi amici, nonostante io abbia abbandonato il trio dei single mi volete anche troppo bene;

a Nicola, ai piercing assieme, alla sua cagnetta con la lingua lunga, al succo alla mela, alle conversazioni fin le 4 di mattina e alle sue sessioni di basket al campetto. È un’amicizia travagliata la nostra, ma bella proprio per quello;

a Nick, sei più un fratello che solo un amico, ascolti sempre i miei sfoghi e ti scaldi più di me per le mie sfighe, neanche fossero tue. Siamo passati dal “mamma può venire Niccolò a giocare?” al “mamma vado in macchina con Nick, facciamo un giro in montagna”. Puoi crescere quanto vuoi, ma resterai sempre il bambino con cui giocavo alla Wii e che si buttava per terra per far vedere come avesse imparato a cadere a Viet Vo Dao;

ad Aster, per le conoscenze di siti illegali streaming e ubriacarti per osmosi senza toccare un goccio di alcol;

a Matteo, o Junior, anche se sei l’ultimo arrivato, sei diventato parte integrante del nostro gruppo e le serate non sarebbero le stesse senza di te.

Ringrazio tutti gli arcieri del Montecchio, in particolare Ale, sei la mia *amio* preferita lo sai, per i giretti in macchina cantando a squarciagola Ultimo alle due di notte, per essermi stato dietro anche quando volevo mollare e vendere tutto (più o meno una volta ogni tre mesi?) e per le birre assieme. Un grazie anche al coach Enrico, che ha più fiducia in me di me stessa, a Ricky, Silvio, Diego, Oscar e le sue battute indecenti, Luca, Leo, i nuovi arrivati e a tutti gli altri, rendete gli allenamenti più belli e spensierati anche quando “non ne va dentro una”.

Voglio ringraziare i miei compagni di corso, in particolar modo Sara, che in qualche maniera è sempre riuscita a trovare del tempo per me e le mie lamentele, Giorgia, per essere stata la mia prima amica, e Agata, per le giornalieri (e indispensabili) videochiamate durante la stesura della tesi.

Infine, solo per ripicca perché di ringraziamenti nella tua tesi non ne hai fatti, voglio ringraziare Giuseppe. Sei stato la mia forza e la mia ancora in questi anni, hai sopportato me, le mie crisi, i “sono stanca, mollo tutto” e i “non ci arrivo, sono troppo stupida per fare l’università”. Hai una pazienza infinita e sei troppo buono per stare con una che si accende in fretta come me.

“Un tempo gli uomini erano esseri perfetti, non mancavano di nulla e non v’era la distinzione tra uomini e donne. Ma Zeus, invidioso di tale perfezione, li spaccò in due: da allora ognuno di noi è in perenne ricerca della propria metà, trovando la quale torna all’antica perfezione...”

Sono sicura sia tu la mia metà.