

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Fisica e Astronomia
Corso di Laurea triennale in Ottica e Optometria

Tesi di laurea

**Aberrazioni ottiche
dei dispositivi di protezione individuale
della vista**

Relatore:

Dott.

MICHELE MERANO

Correlatore:

RENATO BATTISTIN

Laureando:

BALDAN GIULIA

Matr. 1070362

Anno Accademico 2015-2016

Indice

1	Aberrazioni principali dei sistemi di protezione individuale della vista	3
1.0.1	Defocus	6
1.0.2	Astigmatismo	6
1.0.3	Coma	7
2	Il fronte d'onda	9
2.0.1	I polinomi di Zernike	9
2.0.2	Rappresentazione del fronte d'onda	11
2.0.3	Rappresentazione delle aberrazioni	13
2.0.4	Coefficienti di Zernike normalizzati	14
3	Esempi di misure fissate dalla normativa vigente	15
3.1	Apparato per la misura di defocus e astigmatismo	15
3.1.1	Descrizione apparato	15
3.1.2	Metodi di misura	17
3.1.3	Norme di misura	19
3.2	Differenza prismatica	20
3.2.1	Descrizione apparato	20
3.2.2	Metodi di misura	22
3.2.3	Norme di misura	24
3.3	Presa Dati	26

Elenco delle figure

1.1	Fronte d'onda di ordine 0. Costante o Piston.	4
1.2	Fronte d'onda di ordine 1. Tilt.	4
1.3	Fronte d'onda di ordine 2. Defocus.	4
1.4	Fronte d'onda di ordine 2. Astigmatismo.	5
1.5	Fronte d'onda di ordine 2. Astigmatismo.	5
1.6	Fronte d'onda ordine 3. Coma	5
2.1	Rappresentazione grafica dei polinomi di Zernike.	12
3.1	Target del telescopio per calcolo defocus e astigmatismo. . . .	17
3.2	Disegno apparato poteri rifrattivi.	18
3.3	Disegno apparato potere prismatico.	21
3.4	Falsa testa	23
3.5	Dimensioni falsa testa	23
3.6	Maschera da moto	26
3.7	Occhiali da sole	26
3.8	Occhiali di protezione	27

Elenco delle tabelle

I	Nomi comuni dei polinomi di Zernike.	11
II	Polinomi di Zernike in forma cartesiana.	13
III	Normativa 166 per il defocus e il potere astigmatico.	19
IV	Normativa AS/NZT per il defocus e il potere astigmatico. . .	20
V	Normativa ISO per il defocus e il potere astigmatico.	20
VI	Tolleranze EN:166 per la differenza nei poteri prismatici. . . .	24
VII	Tolleranze AS/NZT per la differenza nei poteri prismatici. . .	25
VIII	Tolleranze ISO-12312 per la differenza nei poteri prismatici. .	25
IX	Dati raccolti con l'apparato dei poteri rifrattivi.	27
X	Dati raccolti con l'apparato dei poteri rifrattivi e con quello della differenza prismatica.	28

Abstract

SCOPO DELLO STUDIO: Viene descritto il funzionamento e la sperimentazione di due apparati per la determinazione delle aberrazioni ottiche indotte da dispositivi di protezione individuale della vista non correttivi.

MATERIALI E METODI: Il primo apparato descritto misura il defocus e l'astigmatismo delle ottiche in questione. Il secondo, invece, ne misura la differenza di potere prismatico. Con entrambi sono stati verificati i poteri di otto paia di occhiali.

RISULTATI: I dati ottenuti sono entro i limiti fissati dalle norme europee.

Introduzione

Questa tesi è stata svolta presso i laboratori della ditta Certottica, specializzata nella misura delle aberrazioni ottiche indotte da dispositivi non correttivi di protezione individuale della vista. La normativa vigente presuppone che la valutazione delle aberrazioni ottiche indotte da tali dispositivi siano riconducibili in ogni caso alle aberrazioni del primo ordine (defocus, astigmatismo e potere prismatico).

Questo lavoro di tesi descrive quali sono le aberrazioni che la normativa regola, i polinomi di Zernike che sono lo strumento matematico che le caratterizza e gli apparati sperimentali attualmente in uso per la caratterizzazione di tali aberrazioni.

Capitolo 1

Aberrazioni principali dei sistemi di protezione individuale della vista

Ogni imperfezione che nel percorso ottico produce una distorsione dei raggi luminosi o un'imperfezione nella focalizzazione dell'immagine genera aberrazioni. Si può immaginare l'aberrazione pensando alla forma della superficie del piano d'onda, distorto, rispetto ad un fronte d'onda piano. Un fascio di raggi luminosi ideale senza aberrazioni è costituito da onde rettilinee e parallele (approssimando la sorgente luminosa all'infinito) il cui fronte d'onda è piano. Quando, invece, ci sono aberrazioni ottiche la superficie del fronte d'onda presenta delle distorsioni rispetto al piano di riferimento che possono avere una forma variabile. La geometria di un'aberrazione viene di solito descritta matematicamente tramite i Polinomi di Zernike, che saranno trattati nel prossimo capitolo. Uno dei parametri della struttura delle aberrazioni è dato dalla suddivisione in vari ordini. Un fronte d'onda senza aberrazioni è piatto e parallelo rispetto al piano di riferimento, e viene definito come ordine 0. Le aberrazioni di ordine 1 sono date da un fronte

d'onda piatto, ma ruotato rispetto al piano di riferimento (tilt).

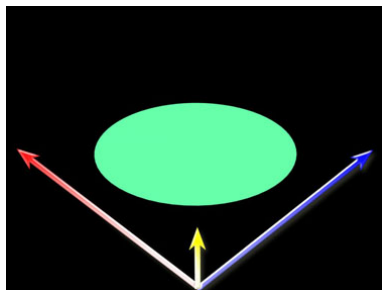


Figura 1.1: Fronte d'onda di ordine 0. Costante o Piston.

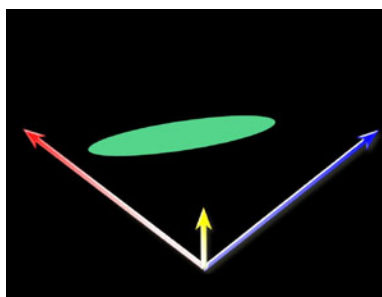


Figura 1.2: Fronte d'onda di ordine 1. Tilt.

Le aberrazioni di 2° ordine invece sono definite *defocus* e hanno una forma a "a scodella". Le aberrazioni astigmatiche, appartenenti sempre al 2° ordine, mostrano una forma del fronte d'onda a "*sella*".

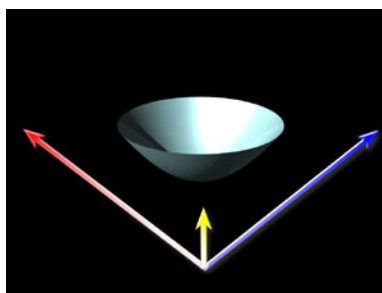


Figura 1.3: Fronte d'onda di ordine 2. Defocus.

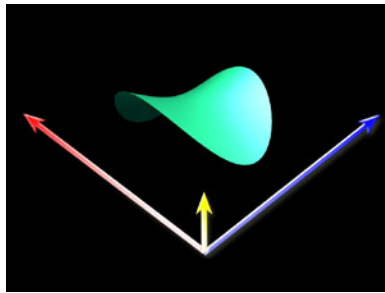


Figura 1.4: Fronte d'onda di ordine 2. Astigmatismo.

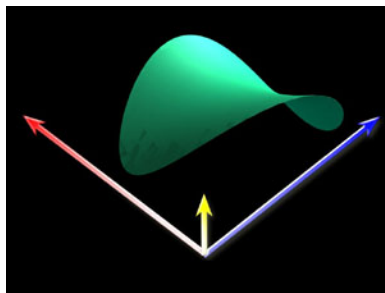


Figura 1.5: Fronte d'onda di ordine 2. Astigmatismo.

Le aberrazioni dette *coma* a causa della forma a virgola del fronte d'onda, appartenenti al 3° ordine, non hanno simmetria sul piano rotazionale. La componente delle aberrazioni di basso ordine, defocus ed astigmatismo, copre parzialmente l'individuazione assoluta di quelle di ordine più elevato. È necessario sottrarre dalla mappa aberrometrica la parte relativa alle aberrazioni di basso ordine per poter studiare le aberrazioni come il coma.

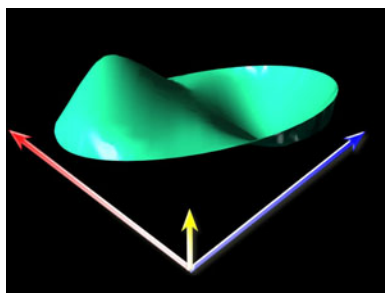


Figura 1.6: Fronte d'onda ordine 3. Coma

1.0.1 Defocus

Questa è una forma di aberrazione appartenente al secondo ordine. Si ha quando l'immagine non è a fuoco, quando l'ottica non ha aberrazioni, ma non ha il giusto potere rispetto alla distanza da un dato schermo. Quindi i raggi luminosi focalizzano in un punto situato sull'asse ottico e la caustica è sempre rappresentata da un punto situato sullo stesso asse, solo che questo punto non si trova sullo schermo.

1.0.2 Astigmatismo

È un'aberrazione presente su una singola ottica o su un sistema di ottiche. I raggi che si propagano in due piani e che intersecano l'asse ottico ad angoli diversi hanno fuochi differenti e, proiettando l'immagine di un punto, lo deformano [6]. Il primo piano è il piano tangente. Questo è il piano che comprende sia il punto dell'oggetto in esame sia l'asse di simmetria. Il secondo piano è il piano sagittale. Questo è definito come il piano, ortogonale al piano tangente, che contiene il punto dell'oggetto in esame e interseca l'asse ottico alla pupilla di ingresso del sistema ottico. Questo piano contiene il raggio principale, ma non contiene l'asse ottico. Nell'astigmatismo di terzo ordine, i raggi sagittali e trasversali vanno a formare fuochi a distanze differenti lungo l'asse ottico. Questi fuochi sono detti fuoco sagittale e trasversale, rispettivamente.

Nei polinomi di Zernike abbiamo la distinzione tra astigmatismo a $0/90^\circ$ e astigmatismo a 45° . L'astigmatismo obliquo non viene misurato in laboratorio. In alcuni rari casi viene rilevato (dal telescopio si può notare una caratteristica forma ad "S"), ma non c'è modo di quantificarlo. Anche perchè in ogni caso un dispositivo ottico che lo presentasse non andrebbe bene a fini normativi.

1.0.3 Coma

Quando la sorgente puntiforme non è sull'asse (l'oggetto è spostato lateralmente rispetto all'asse del sistema di un angolo θ) il fascio emergente ha una forma più complessa rispetto a quella nel caso dell'astigmatismo, anche se comunque simmetrica al piano che contiene la sorgente (piano meridiano o tangenziale). Il fascio è affetto da *coma*. Se si taglia il fascio emergente con un piano normale all'asse nell'intorno dei fuochi tangenziale e sagittale, appare una figura a forma di cometa. Si parla di *coma tangenziale* e *coma sagittale*. La correzione del coma è difficile, soprattutto perchè al coma del terzo ordine si aggiungono quelli di ordine superiore.

Capitolo 2

Il fronte d'onda

Il fronte d'onda può essere descritto mediante varie approssimazioni funzionali. Tuttavia risultano molto utili per la descrizione delle aberrazioni ottiche i polinomi di Zernike. Vediamo qui di seguito una loro descrizione matematica che verrà utilizzata in seguito per la descrizione del fronte d'onda.

2.0.1 I polinomi di Zernike

Le funzioni polinomiali di Zernike sono un gruppo di funzioni ortogonali su un cerchio unitario; sono parametrizzate in coordinate polari da due valori, uno adimensionale radiale ρ ed uno angolare θ ; vengono definite da un indice radiale n intero non negativo e da un indice angolare m . Ogni funzione polinomiale è il prodotto di tre termini, un coefficiente di normalizzazione, uno radiale ed uno angolare. Così la funzione di Zernike di indice n ed m è data dall'equazione:

$$Z_n^m = N_n^m R_n^{|m|}(\rho) M(m\vartheta) \quad (2.1)$$

Il parametro ρ è un numero reale continuo compreso tra 0 ed 1, mentre θ è un numero reale continuo compreso tra 0 e 2π .

Termine radiale: Il termine radiale del polinomio di indice n ed m ha equazione:

$$R_n^{|m|}(\rho) = \sum_{s=0}^{0.5(n-|m|)} \frac{(-1)^s (n-s)!}{s!(0.5(n+|m|)-s)!(0.5(n-|m|)-s)!} \varrho^{n-2s} \quad (2.2)$$

con s indice di una sommazione integrale incrementata di una unità.

Parametro radiale- ϱ : Il parametro radiale è un numero adimensionale compreso tra 0 ed 1. Il suo valore da una distanza radiale, r , dall'apertura centrale è dato dall'equazione:

$$\varrho = \frac{r}{a} \quad (2.3)$$

dove a è il raggio di apertura.

Termine angolare: Il termine angolare di una funzione di Zernike con indice m è dato dalle equazioni:

$$M(m\vartheta) = \cos(m\vartheta) \quad (2.4)$$

se $m \geq 0$

$$M(m\vartheta) = \sin(|m|\vartheta) \quad (2.5)$$

se $m < 0$; viene chiamato anche termine azimutale.

Parametro angolare- ϑ : Il parametro angolare è un valore compreso tra 0 e 360 gradi, espresso in un sistema di coordinate polari.

Termine normalizzato: Se un polinomio di Zernike con indici n ed m viene definito normalizzato, il termine di normalizzazione viene dato dall'equazione:

$$N_n^m = \sqrt{(2 - \delta_{0,m})(n+1)} \quad (2.6)$$

dove $\delta_{0,m} = 1$ se $m = 0$ e $\delta_{0,m} = 0$ se $m \neq 0$;

Tabella I: Nomi comuni dei polinomi di Zernike.

Z_n^m	Nome comune
Z_0^0	Costante, o Piston
Z_1^{-1}	Inclinazione verticale
Z_1^1	Inclinazione orizzontale
Z_2^{-2}	Astigmatismo obliquo
Z_2^0	Defocus miopico e ipermetropico
Z_2^2	Astigmatismo contro regola e secondo regola
Z_3^{-3}	Trifoglio obliquo
Z_3^{-1}	Coma verticale
Z_3^1	Coma orizzontale
Z_3^3	Trifoglio orizzontale

2.0.2 Rappresentazione del fronte d'onda

Il fronte d'onda in coordinate polari mediante il parametro radiale ρ e quello angolare θ può essere descritto da una combinazione di polinomi di Zernike:

$$W(\rho, \theta) = \sum_{n,m} a_n^m Z_n^m(\rho, \theta) \quad (2.7)$$

dove l'indice m rappresenta l'indice angolare della funzione mentre n è un numero intero non negativo che rappresenta l'indice radiale della funzione. Spesso ci si riferisce ai polinomi di Zernike con i loro nomi comuni (Tab. 2.1).

I valori dei coefficienti di Zernike che descrivono un fronte d'onda dipendono strettamente dalle dimensioni dell'apertura ovvero della regione

circolare. Due combinazioni lineari di polinomi di Zernike descriventi il medesimo fronte d'onda con il medesimo numero e tipo di polinomi ma su regioni di raggio differente, sono a priori descritte con due successioni di coefficienti nettamente differenti. Quindi è importante, ad esempio per poter operare un confronto tra differenti apparati, impostare la descrizione del fronte d'onda su una regione circolare normalizzata.

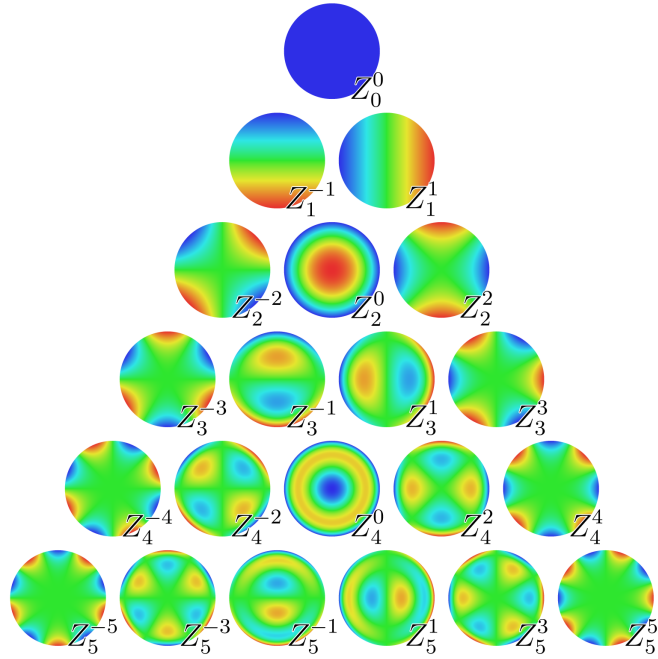


Figura 2.1: Rappresentazione grafica dei polinomi di Zernike.

Tabella II: Polinomi di Zernike in forma cartesiana.

Z_n^m	Forma cartesiana	nome comune
Z_0^0	1	Costante, o Piston
Z_1^{-1}	$2y$	Inclinazione verticale (tilt)
Z_1^1	$2x$	Inclinazione orizzontale (tilt)
Z_2^{-2}	$2\sqrt{6}xy$	Astigmatismo obliquo
Z_2^0	$\sqrt{3}(2x^2 + 2y^2 - 1)$	Defocus miopico e ipermetropico
Z_2^2	$\sqrt{6}(x^2y^2)$	Astigmatismo contro regola e secondo regola
Z_3^{-3}	$\sqrt{8}(3x^2y - y^3)$	Trifoglio obliquo
Z_3^{-1}	$\sqrt{8}(3x^2y + 3y^3 - 2y)$	coma verticale
Z_3^1	$\sqrt{8}(3x^3 + 3xy^2 - 2x)$	coma orizzontale
Z_3^3	$\sqrt{8}(x^3 - 3xy^2)$	trifoglio orizzontale

Il fronte d'onda può essere espresso anche in coordinate cartesiane:

2.0.3 Rappresentazione delle aberrazioni

Le aberrazioni possono essere rappresentate con un elenco dei coefficienti di Zernike normalizzati, con un grafico che mostra i coefficienti normalizzati e con una mappa topografica della superficie del fronte d'onda.

Le aberrazioni vengono presentate come immagini in scala di colori o come ricostruzione tridimensionale. I colori vanno dal blu al rosso con diverse sfumature di verde e giallo. Quello che sta prima del piano di riferimento viene raffigurato in rosso, quello che sta dopo in blu. Questo vale nella

rappresentazione secondo l'OPD.

Il valore di una aberrazione è quantificato in micron, che rappresentano la massima distanza tra la superficie aberrata e quella piana di riferimento. La misura in micron non è sempre l'ideale però. Va bene se si considerano il singolo defocus o il coma, ma per quantificare una superficie irregolare ricavata dalla somma di tutte le aberrazioni il sistema non è sempre adatto. In questi casi per quantificare la differenza tra la superficie aberrata e il piano di riferimento si utilizza la media delle distanze di tutti i punti, espressa con una misura lineare in micron. La media sarà determinata dalla 'Radice quadrata della media dei quadrati', la 'Root Mean Square'.

2.0.4 Coefficienti di Zernike normalizzati

Quando i dati che rappresentano le aberrazioni sono presentati in forma di coefficienti di Zernike normalizzati, è importante conoscere i diametri di apertura usati per generarli. I coefficienti devono essere dati in unità di micrometri, le dimensioni di apertura in millimetri. Anche i termini dei coefficienti devono essere dati in un certo ordine: il primo indica il valore di apertura del diametro, seguito dall'indice radiale n in ordine crescente. Poi i coefficienti vengono elencati con indice m , i cui valori partono dal massimo negativo al massimo positivo. L'indice j dà l'ordine dei coefficienti di Zernike.

$$j = \frac{n(n+2) + m}{2} \quad (2.8)$$

Capitolo 3

Esempi di misure fissate dalla normativa vigente

I poteri rifrattivi degli oculari sono misurati in laboratorio con i metodi specificati dalla normativa [3] [4].

3.1 Apparato per la misura di defocus e astigmatismo

3.1.1 Descrizione apparato

L'apparato per la misura del defocus e del potere astigmatico è composto da:

Telescopio : un telescopio con apertura di 20mm e ingrandimento tra il 10 e il 30. Il telescopio è formato da un sistema di tre lenti. Due sono lenti convergenti che rimangono immobili, e sono un obiettivo verso la sorgente e un oculare verso l'occhio dell'osservatore. La lente dell'oculare è dieci volte più piccola dell'obiettivo e contiene una crociera. Tra le due lenti ce n'è una terza che serve per spostare la focalizzazione e viene collocata nel 'baffle', necessario per ridurre la luce che arriva all'oculare e per aumentare

il contrasto. Viene mossa dall'esterno con la ghiera graduata. Il bersaglio è ad una distanza finita di 460cm. L'oculare è stato posto in modo che l'immagine del bersaglio cada in prossimità del suo fuoco e agisce come lente di ingrandimento, dando all'osservatore un'immagine virtuale, ingrandita e capovolta del bersaglio.

Falsa Testa : La falsa testa è il supporto per l'occhiale ed è a sua volta appoggiata su un sostegno che permette di muoverla. Le dimensioni vengono fissate dalla normativa.

Bersaglio : Costituito da un vetro con incollata la maschera prevista dalla norma. La maschera è una banda nera, che incorpora il modello mostrato in Fig. 3.1 , dietro alla quale c'è una fonte luminosa. Il bersaglio è dato da due anelli centrali e tre barre orizzontali in alto e in basso rispetto al centro e tre barre verticali a destra e sinistra rispetto al centro. Il diametro dell'anello esterno è di $(23.0 \pm 0,1)\text{mm}$, il diametro dell'anello interno è di $(11.0 \pm 0.1)\text{mm}$, mentre le barre sono lunghe nominalmente 20mm, ampie 2 mm e separate tra loro da 2mm.

Lente : Lente di vetro crown. Serve per focalizzare l'immagine ingrandita della fonte luminosa sull'obiettivo del telescopio. La lente collima il fascio proveniente dalla sorgente. È una lente positiva, con potere di circa 8 diottrie. Tra la lente e la fonte luminosa ci sono 13cm.

Lampada e filtro : Fonte luminosa data da una lampada a led di 50 W, davanti alla quale c'è un filtro passa banda. Questo filtro ha la sua massima trasmittanza nella parte verde dello spettro (ca 530 nm). La sorgente si trova nel fuoco della lente.

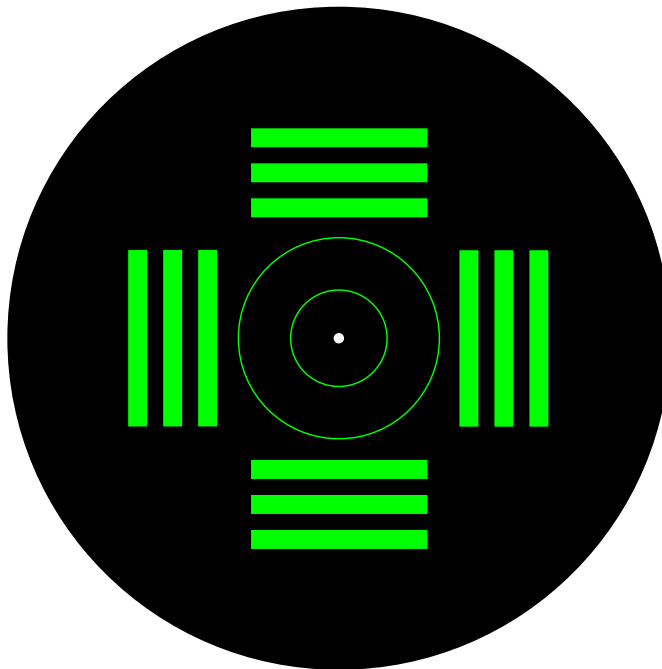


Figura 3.1: Target del telescopio per calcolo defocus e astigmatismo.

3.1.2 Metodi di misura

La misurazione viene eseguita con la seguente procedura:

Telescopio e bersaglio sono sullo stesso asse ottico.

L'osservatore sfoca l'immagine del bersaglio e verifica che la crociera del telescopio sia a fuoco, altrimenti ruota l'oculare fino alla focalizzazione della stessa. Poi mette di nuovo a fuoco il bersaglio. Si controlla che la crociera sia centrata sul punto al centro dell'immagine del bersaglio, altrimenti la si centra con le ghiera orizzontali e verticali vicino all'oculare.

L'occhiale viene posizionato sulla falsa testa nella posizione 'come indossato', allineando il punto di riferimento dell'oculare con il centro dell'asse ottico del telescopio. Si osserva la direzione di uno dei due meridiani principali e si ruota il bersaglio fino ad allineare le righe con il meridiano, ammesso che i meridiani siano perpendicolari. Una volta allineati, si mettono a fuoco prima le barre verticali (D1) e poi quelle orizzontali (D2).

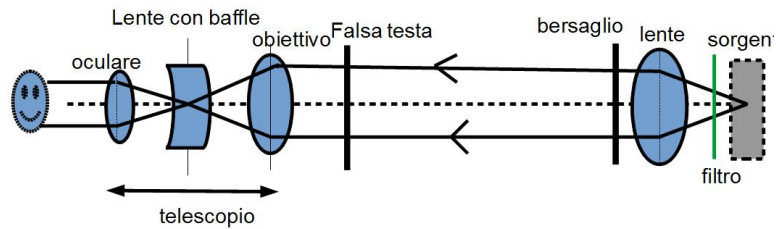


Figura 3.2: Disegno apparato poteri rifrattivi.

Otengo due valori di potere: il defocus è la media algebrica dei poteri, l'astigmatismo è il valore assoluto della differenza algebrica.

$$\frac{D1 + D2}{2} \quad (3.1)$$

$$| D1 - D2 | \quad (3.2)$$

In realtà solo due misure non sarebbero adatte, poichè l'apparato è molto sensibile. Gli stessi set di barre in alto e in basso rispetto al centro hanno una focale diversa, così come le tre barre di ciascun gruppo non sono a fuoco tra loro. Inoltre la prima misura fatta non viene mai ritenuta valida per motivi legati alla fisiologia oculare. In laboratorio si è scelto allora di fare quattro misure indipendenti, mettendo a fuoco a rotazione le tre righe nei vari meridiani.

Un metodo alternativo consiste nel mettere a fuoco la riga più vicina al centro, perchè bisogna considerare che più le altre barre si allontanano dall'asse ottico, più sono soggette alla distorsione di campo. Si fanno otto misure, due per ciascun gruppo, che vengono riportate in un portale che si ricava i

valori di sfera e astigmatismo. Il limite stabilito di differenza tra le misure è di 0.005 diottrie. Se i valori superano questo limite, viene ripetuta la misura e si tengono i due valori più vicini.

3.1.3 Norme di misura

Le tolleranze ammesse per i poteri rifrattivi degli oculari senza effetto correttivo sono riportate nella norma 166 (7.1.2) [2] e sono divise in base alle varie classi ottiche (Tab. **III**)

Tabella III: Normativa 166 per il defocus e il potere astigmatico.

Classe ottica	Defocus m^{-1}	Potere astigmatico m^{-1}
1	± 0.06	0.06
2	± 0.12	0.12
3	+0.12 -0.25	0.25

Possono essere prese in considerazione altre due norme che illustrano metodi di misurazione del potere astigmatico e sferico, senza distinzione tra le varie classi ottiche. Apparato e principio di misura sono gli stessi di quelli descritti in precedenza. Sono la AS/NZT [1] (appendice D) e la norma ISO-12312 [5] (Tab. **IV**), (Tab. **V**).

Tabella IV: Normativa AS/NZT per il defocus e il potere astigmatico.

Defocus m^{-1}	Potere astigmatico m^{-1}
± 0.09	$\pm 0,09$

Tabella V: Normativa ISO per il defocus e il potere astigmatico.

Defocus m^{-1}	Potere astigmatico m^{-1}
± 0.12	≤ 0.12

3.2 Differenza prismatica

3.2.1 Descrizione apparato

Per quanto riguarda la misura della differenza prismatica l'apparato previsto dal laboratorio è formato da:

Laser : È un diodo laser a luce rossa, con lunghezza d'onda di (635)nm. Il raggio ha dimensioni di circa 1 mm all'inizio, poi diverge (grazie alla lente) fino ad illuminare per gran parte la falsa testa. La sua posizione dipende dal fuoco della lente nella falsa testa (nel caso dell'apparato sono 2,6m di distanza tra sorgente e lente).

Lente : Piccola lente concava posizionata davanti al laser. Permette di divergerne il fascio.

Falsa Testa : Anche in questo caso le dimensioni sono medie. La falsa testa è otturata ovunque tranne che in tre fori, dei quali due rappresentano le pupille, uno è quello centrale. Il foro centrale della falsa testa è in asse

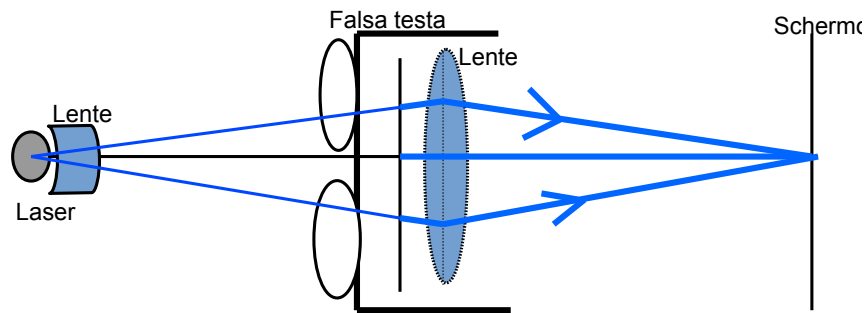


Figura 3.3: Disegno apparato potere prismatico.

con l'apparato, e coincide con il centro della lente. I due fori laterali sono assiali al primo e distanti tra loro 32mm. Ogni foro ha un diametro di 8mm (figura 13).

Lente : La lente deve coprire almeno 64mm di distanza interpupillare. Ha un diametro 100mm e focale nominale di 1m (≈ 1 diottria). Converte il fascio.

Schermo millimetrato : Supporto con incollata una carta millimetrata. Il diametro è di 9cm.

3.2.2 Metodi di misura

Per quanto riguarda il calcolo prismatico, l'apparato usato nel laboratorio dell'azienda consiste in un laser che illumina un supporto del campione (la falsa testa) e uno schermo millimetrato. La luce del laser diverge grazie ad una lente e illumina la falsa testa. La falsa testa è otturata ovunque tranne che in tre fori, come detto in precedenza. La lente al suo interno converge i tre fasci in uscita in un unico punto sullo schermo. Tra lo schermo e il supporto del campione la distanza è di due metri, come previsto dalla norma (questa distanza è fissa).

Posizionando gli occhiali sulla falsa testa nella posizione 'come indossato' e osservando i tre fasci luminosi si nota uno spostamento di quelli laterali rispetto al centro dell'asse ottico, mentre il fascio che passa centralmente rimane tale perchè non intercettato dalla montatura. Sullo schermo si può vedere questo spostamento. Si calcola il potere prismatico di ogni oculare. La distanza si misura in cm/m o diottrie prismatiche. Sullo schermo misuro con il calibro la distanza. Se i fasci (corrispondenti alle due regioni oculari) si incrociano prima dello schermo il potere prismatico è 'base interna'(BI), se non si incrociano è 'base esterna'(sempre lungo l'orizzontale)(BE).

La posizione della sorgente dipende dal fuoco della lente. La lente ha focale nominale di 1 metro. La sorgente laser la posiziono a circa due metri di distanza dalla lente (nel caso dell'apparato 2075mm) perchè il fascio non deve essere collimato, ma deve convergere sullo schermo. Con un foglio ci si accerta che la posizione della sorgente sia corretta. Se i tre punti (che derivano dalla falsa testa) si dovessero incrociare prima dello schermo (senza campione in posizione), allora si dovrà spostare la luce laser, ma non la lente.

La norma chiede di calcolare la differenza prismatica ma lo stesso apparato può essere sfruttato per calcolare il potere prismatico.

Il campione di cui bisogna misurare il potere prismatico viene posizionato 'come indossato' sulla falsa testa. Sono previste due dimensioni di

riferimento per i test, una media e una piccola taglia.

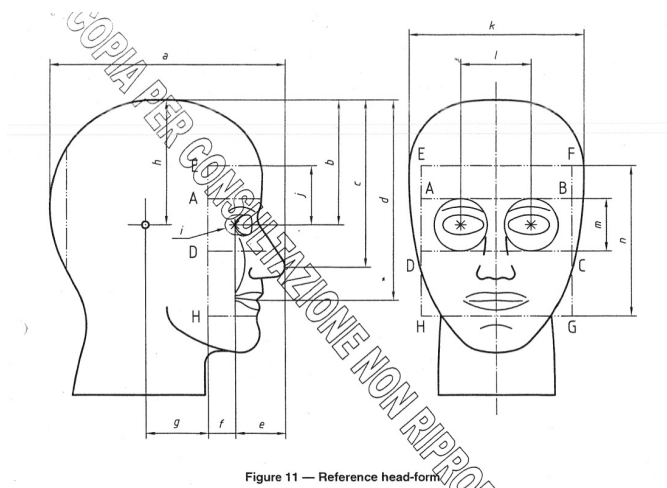


Figura 3.4: Falsa testa

Figure 11 — Reference head-form

Dimension	Value mm	
	Medium size head	Small size head
a	218	206
b	111	106
c	144	131
d	178	166
e	45	42
f	18	18
g	60	53
h	111	110
Radius i	10	10
j	56	48
k	156	146
l	84	54
m	52	48
n	134	118

Figura 3.5: Dimensioni falsa testa

Le due regioni oculari del bersaglio deviano il fascio, creando due immagini. Sullo schermo si calcola la distanza tra le due immagini proiettate lungo la verticale e l'orizzontale, che viene convertita in cm. Queste distanze in centimetri sono divise in due per dare le differenze prismatiche orizzontali e verticali in centimetri per metro (o diottrie prismatiche). Per esempio, misurando 3mm di differenza (0,3cm), in due metri di distanza si ottengono 0.15 diottrie prismatiche lungo l'orizzontale.

3.2.3 Norme di misura

Le tolleranze previste dalla norma europea sulla differenza dei poteri prismatici (cm/m o diottrie prismatiche) sono [2] (Tab. **VI**):

Tabella VI: Tolleranze EN:166 per la differenza nei poteri prismatici.

Differenza nel potere prismatico, cm/m			
	orizzontale	orizzontale	verticale
classe ottica	BE	BI	
1	0.75	0.25	0.25
2	1	0.25	0.25
3	1	0.25	0.25

*Per la classe ottica 3 gli assi dei meridiani principali devono essere paralleli entro $\pm 10^\circ$.

Si possono considerare anche altre due norme, la AS/NZT [1] e la ISO-12312 [5]. I metodi di misura e gli apparati sono gli stessi (Tab. **VII** e Tab.**VIII**).

Tabella VII: Tolleranze AS/NZT per la differenza nei poteri prismatici.

Differenza nel potere prismatico, cm/m		
orizzontale	orizzontale	verticale
BE	BI	
1	0.25	0.25

Tabella VIII: Tolleranze ISO-12312 per la differenza nei poteri prismatici.

Differenza nel potere prismatico, cm/m		
orizzontale	orizzontale	verticale
BE	BI	
1	0.25	0.25

3.3 Presa Dati

Alcuni esempi di dispositivi di protezione non correttivi misurati in laboratorio:



Figura 3.6: Maschera da moto



Figura 3.7: Occhiali da sole



Figura 3.8: Occhiali di protezione

Di seguito ci sono alcuni esempi di misure dell'apparato dei poteri rifrattivi con una maschera da sci e con un occhiale da sole. Nella seconda tabella (Tab.X) sono stati misurati altri modelli, sia con l'apparato dei poteri rifrattivi, sia con quello della differenza prismatica.

Tabella IX: Dati raccolti con l'apparato dei poteri rifrattivi.

Modello	Verg.vert.m ⁻¹	Verg.orizz.m ⁻¹	Astigm.m ⁻¹	Defocus m ⁻¹
maschera da sci sx	-0,024	-0,025	0	-0,02
maschera da sci dx	-0,039	-0,010	0,03	-0,02
maschera da sci sx	-0,049	-0,016	0,03	-0,03
maschera da sci dx	-0,047	-0,019	0,03	-0,03
occhiale di prova sx	-0,08	-0,032	0,02	-0,02
occhiale di prova dx	-0,029	-0,008	0,02	-0,02
occhiale di prova sx	-0,007	0,047	0,05	0,02
occhiale di prova dx	-0,008	0,047	0,06	0,02

Tabella X: Dati raccolti con l'apparato dei poteri rifrattivi e con quello della differenza prismatica.

Modello	Astigmatismo m^{-1}	Defocus m^{-1}	Prism. cm/m
occhiale da sole sx	0,01	-0,01	0,180
occhiale da sole dx	0,01	-0,02	0,292
occhiale da sole sx	0,05	0,01	0,212
occhiale da sole dx	0,03	0,02	0,112
occhiale protezione sx	0,01	-0,04	0,255
occhiale protezione dx	0,01	-0,05	0,152
occhiale da sole sx	0,02	0,01	0,112
occhiale da sole dx	0,04	0,02	0,141
occhiale da sole sx	0,02	-0,02	0,112
occhiale da sole dx	0,04	0,02	0,056
lenti presentazione sx	0,05	-0,02	0,112
lenti presentazione dx	0,06	-0,04	0,056
occhiale protezione sx	0,02	0,01	0,056
occhiale protezione dx	0,02	0,01	0,035
occhiale protezione sx	0,01	-0,02	0,320
occhiale protezione dx	0,05	-0,04	0,250

Conclusioni

La Certottica è un istituto che si occupa della certificazione di dispositivi ottici. Nei suoi laboratori di prova si valuta la conformità europea dei dispositivi di protezione degli occhi e del viso, come occhiali da sole, occhiali protettivi, visiere e maschere protettive. Inoltre si valuta la conformità di alcuni dispositivi medici di prima categoria, quali occhiali da vista, occhiali premontati e lenti oftalmiche. Vengono, infine, emessi rapporti di prova per certificare la conformità del prodotto.

Nell'azienda è stato possibile fare un'analisi approfondita della normativa in vigore applicata ai dispositivi di protezione e provare direttamente gli apparati attualmente in uso. In particolare, i dati raccolti con gli apparati dei poteri rifrattivi e della differenza prismatica sono stati confrontati con le norme europee [3] ed è stato verificato che i valori ottenuti sono entro i limiti previsti.

Gli attuali apparati di misurazione dei poteri rifrattivi previsti dalle norme sui dispositivi di protezione della vista si fermano ai primi ordini di aberrazione. Nulla toglie che in futuro si possa pensare alla possibilità di analizzare anche aberrazioni di ordine superiore quali il coma, che in alcuni casi può influire negativamente sulla qualità dell'immagine.

Bibliografia

- [1] Australian/New Zealand Standard, *Sunglasses and fashion spectacles*, AS/NZT 1067-2003, 2003
- [2] European Standard, *Personal eye-protection - Specifications*, EN 166-2001, 2002
- [3] European Standard, *Personal eye-protection - Optical test methods*, EN 167-2001, 2002 2002
- [4] International Standard, *Personal protective equipment-Test methods for sunglasses and related eyewear* ISO 12311:2013(E), 2013
- [5] International Standard, *Eye and face protection . Sunglasses and related eyewear* ISO 12312-1-2013, 2013
- [6] L.Ronchi Abbozzo, D.Mugnai [*Ottica classica, teoria della visione, ottica ondulatoria*], Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara"-Firenze, 2008, cap.1, pp 46-48.
- [7] Scott.W.Teare, *Adaptive Optics Wavefront Reconstruction*, 2000
- [8] Spiricon,Inc, *Hartmann Wavefront Analyzer Tutorial*, 2000
- [9] Timo Eppig, *Wave-front analysis of personal eye protection*, 2012