

CNR - Istituto Nazionale di Ottica
Largo E. Fermi 6, I-50125 Firenze

**MISURE DI ERRORE REFRAATTIVO:
DISPOSITIVI DI TARATURA
PER AUTOREFRATTOMETRI
I.O.D.A. SERIE RC01**

*MEASUREMENTS OF REFRACTIVE ERROR:
TEST DEVICES FOR EYE REFRACTOMETERS
I.O.D.A. SERIES RC01*

Relazione tecnica n. 12/21/1

Technical report n. 12/21/1

V. Greco

A. Sordini

IODA SRL Sample

PREMESSA

In questa relazione si descrivono i risultati delle misure eseguite su una serie di 8 dispositivi per la taratura di autorefrattometri (nel seguito indicati con il termine di "occhi campione") sottoposti da:

I.O.D.A. SRL
Via Pitagora, 25
35030 Rubano (PD) - ITALIA.

La serie è costituita da 7 occhi campione sferici di errore refrattivo nominale -15 , -10 , -5 , 0 , $+5$, $+10$, $+15$ diottrie (simbolo D), e 1 occhio campione torico che su i due piani meridiani principali presenta un errore refrattivo nominale di 0 D e -3 D .

Gli occhi campione sono inseriti in una montatura di plastica su cui è incisa la sigla di identificazione. Gli occhi campione sono identificati singolarmente mediante il loro errore refrattivo nominale espresso in diottrie ed il numero di serie; le sigle sono le seguenti:

err. refr.	serie	identificatore	err. refr.	serie	identificatore
-15 D	RC01	-15 / RC01	$+5$ D	RC01	$+5$ / RC01
-10 D	RC01	-10 / RC01	$+10$ D	RC01	$+10$ / RC01
-5 D	RC01	-5 / RC01	$+15$ D	RC01	$+15$ / RC01
0 D	RC01	0 / RC01	Cyl -3 D	RC01	Cyl -3 / RC01

La serie è pervenuta al laboratorio di misura con documento di trasporto I.O.D.A. n. 96 del 8 Giugno 2021; le lenti sono state esaminate nei giorni 1 - 29 Ottobre 2021.

La presente relazione consiste di n. 22 pagine, numerate consecutivamente.

Firenze, 2 Novembre 2021

Dott. Vincenzo Greco

Vincenzo Greco

P. I. Andrea Sordini

Andrea Sordini

FOREWORD

This report contains the results of the measurements performed on a series of 8 test devices for eye refractometers (referred to below as "model eyes") submitted by:

I.O.D.A. SRL

Via Pitagora, 25

35030 Rubano (PD) - ITALIA.

The series is made of 7 spherical model eyes of nominal refractive error -15 , -10 , -5 , 0 , $+5$, $+10$, $+15$ dioptres (symbol D) and 1 toric model eye that presents on the two principal meridian planes a nominal refractive error of $0 D$ and $-3 D$.

The model eyes are mounted in a plastic frame where the identification mark is engraved. The model eyes are identified one by one by means of their nominal refractive error in dioptres and their serial number, as detailed below:

refr. err.	series	identification	refr. err.	series	identification
$-15 D$	RC01	$-15 / RC01$	$+5 D$	RC01	$+5 / RC01$
$-10 D$	RC01	$-10 / RC01$	$+10 D$	RC01	$+10 / RC01$
$-5 D$	RC01	$-5 / RC01$	$+15 D$	RC01	$+15 / RC01$
$0 D$	RC01	$0 / RC01$	Cyl $-3 D$	RC01	Cyl $-3 / RC01$

The samples were received at the measuring laboratory with accompanying document n. 96 of 8 June 2021; and were tested on 1 - 29 October 2021.

This report consists of n. 22 pages, numbered consecutively.

Firenze, 2 November 2021

Dott. Vincenzo Greco

Vincenzo Greco

P. I. Andrea Sordini

Andrea Sordini

METODO E STRUMENTI DI MISURA

Gli occhi campioni sferici sono dei cilindri di vetro di diametro di 10 mm. Hanno la superficie laterale finemente smerigliata e una superficie di base sferica, convessa e lucidata otticamente. Questa superficie è detta superficie frontale. La luce entra nell'occhio campione attraversando la superficie frontale. L'altra superficie di base è invece piana e finemente smerigliata. Gli occhi campione sferici sono realizzati in vetro H-K50 della ditta CDGM Glass.

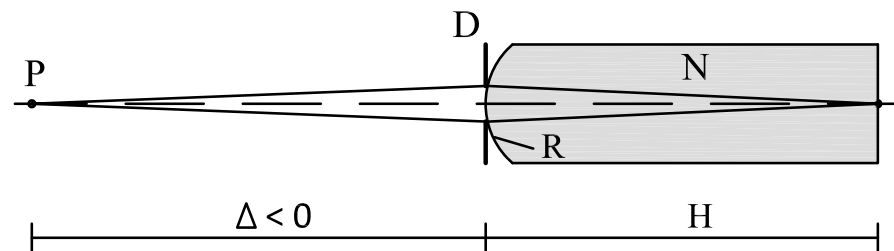


Fig. 1 Occhio campione miope

Come mostrato in Fig. 1 si usano i seguenti simboli:

- N indice di rifrazione del vetro
- R raggio di curvatura(*) della superficie frontale, valore nominale 8 mm
- D diametro utile dell'occhio campione, $D = 3 \text{ mm}$
- H altezza del cilindro
- P sorgente puntiforme assiale
- Δ distanza(*) di P dal vertice della superficie frontale, che minimizza il diametro quadratico medio dello spot luminoso prodotto dall'occhio campione sulla superficie di base piana.
- R_e errore refrattivo dell'occhio campione ($R_e = \frac{1}{\Delta}$)

(*) Si assume convenzionalmente che la luce provenga da sinistra. R è positivo se il centro di curvatura è a destra del vertice, e Δ è positiva se P è a destra del vertice.

L'errore refrattivo R_e di un occhio campione sferico viene ricavato misurando le sue caratteristiche geometriche e fisiche (R , H ed N) e determinando la distanza Δ mediante le tecniche di ray tracing esatto.

METHOD AND MEASURING INSTRUMENTS

The spherical model eyes are glass cylinders with a diameter of 10 mm. They have a lightly frosted side surface and a spherical, convex and optically polished base surface. This surface is called front surface. Light enters the model eye through the front surface. The other base surface is flat and lightly frosted. The spherical model eyes are made of H-K50 glass from CDGM Glass.

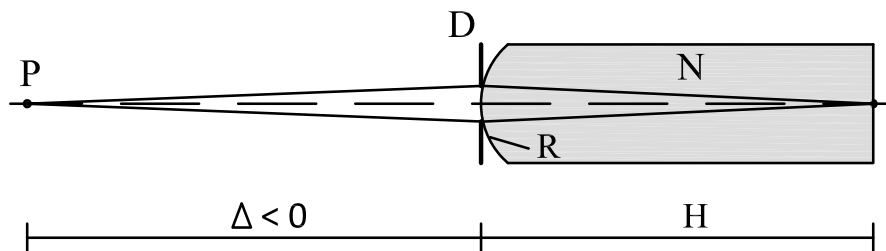


Fig. 1 Myopic model eye

As shown in Fig. 1 the following symbols are used:

- N refractive index of the glass
- R radius of curvature(*) of the front surface, nominal value 8 mm
- D clear diameter of the model eye, $D = 3 \text{ mm}$
- H cylinder height
- P axial point source
- Δ distance (*) of P from the vertex of the front surface, which minimizes the root mean square diameter of the light spot produced by the model eye on the flat base surface.
- R_e refractive error of the model eye ($R_e = \frac{1}{\Delta}$)

(*) It is assumed by convention that the light travels from left to right; R is positive if the center of curvature is to the right of the vertex, and Δ is positive if P is to the right of the vertex.

The refractive error R_e of a spherical model eye is obtained by getting its geometric and physical characteristics (R , H and N) and determining the distance Δ by means of exact ray tracing techniques.

In laboratorio si misurano R e H ; le corrispondenti incertezze, $\sigma(R)$ e $\sigma(H)$, sono di tipo B. Il valore di N si desume dalle specifiche del vetro e la sua incertezza $\sigma(N)$ è di tipo B. L'errore refrattivo R_e si determina utilizzando le tecniche del ray tracing esatto. Il risultato è espresso nella forma:

$$R_e = R_e(R, H, N) \pm 2\sigma(R_e) \quad (1)$$

con $\sigma(R_e)$ incertezza combinata, data da:

$$\sigma(R_e) = \left[\left| \frac{\partial R_e}{\partial R} \right|^2 \sigma^2(R) + \left| \frac{\partial R_e}{\partial H} \right|^2 \sigma^2(H) + \left| \frac{\partial R_e}{\partial N} \right|^2 \sigma^2(N) \right]^{1/2} \quad (2)$$

Le derivate parziali sono determinate numericamente calcolando il limite del rapporto incrementale mediante le tecniche del ray tracing esatto. L'incertezza indicata (doppio della deviazione standard) corrisponde per distribuzioni normali ad un livello di confidenza di circa il 95%.

Per la misura dell'altezza H degli occhi campione si usa un comparatore millesimale (Mitutoyo Mod. ID-F125 Digimatic indicator) montato su colonna con piano di riscontro.

Per N si adottano i valori forniti dalle Casa produttrice [vetro H-K50 della ditta CDGM Glass (fusione): $N(d) = 1.52249$, $N(e) = 1.52458$]. Come incertezza su $N(d)$, $N(e)$, per il vetro H-K50 si assume $\sigma(N) = 0.0003$ (deviazione standard).

Per la misura del raggio di curvatura delle superfici frontali si usa un interferometro Zygo Mark IVxp, secondo la procedura del manuale OMP-0325 Zygo descritta in Appendice 1.

L'occhio campione torico è ottenuto incollando una lente a contatto torica sulla superficie frontale di un occhio campione sferico. La superficie convessa della lente a contatto è torica mentre la superficie concava è sferica (raggio nominale 8 mm). La lente a contatto è realizzata in Boston ES, un copolimero sviluppato dalla ditta Polymer Technology (Bausch + Lomb). La lente a contatto definisce per l'occhio campione torico due piani meridiani principali: il "meridiano dell'asse" e il "meridiano del potere", indicati rispettivamente con le sigle AX e PW.

In analogia con l'occhio campione sferico, si definiscono l'errore refrattivo relativo al meridiano dell'asse (R_e^{AX}) e quello relativo al meridiano del potere (R_e^{PW}).

In the laboratory, R and H are measured; the corresponding uncertainties, $\sigma(R)$ and $\sigma(H)$, are of the type B. The value for N is taken from the specifications of the glass and its uncertainty $\sigma(N)$ is of the type B. The refractive error R_e is determined using exact ray tracing techniques.

The result is expressed in the form:

$$R_e = R_e(R, H, N) \pm 2\sigma(R_e) \quad (1)$$

where $\sigma(R_e)$ is the combined uncertainty, given by:

$$\sigma(R_e) = \left[\left| \frac{\partial R_e}{\partial R} \right|^2 \sigma^2(R) + \left| \frac{\partial R_e}{\partial H} \right|^2 \sigma^2(H) + \left| \frac{\partial R_e}{\partial N} \right|^2 \sigma^2(N) \right]^{1/2} \quad (2)$$

The partial derivatives are determined numerically by calculating the limit of the difference quotient using exact ray tracing techniques.

To measure the height of the model eyes, a 0.001-sensitivity comparator is used (Mitutoyo Mod. ID-F125 Digimatic indicator) mounted on a stand with a reference plane.

The values for N are taken from the catalogue of the firm producing the glass [CDGM H-K50 (melt): $N(d) = 1.52249$, $N(e) = 1.52458$]. For the uncertainty on $N(d)$, $N(e)$, it is assumed $\sigma(n) = 0.0003$ (standard deviation).

To measure the radii of curvature of the front surfaces, Zygo Mark IVxp interferometer is used, according to the procedure of the manual OMP-0325 Zygo described in Appendix 1.

The toric model eye is obtained by gluing a toric contact lens onto the front surface of a spherical model eye. The convex surface of the contact lens is toric while the concave surface is spherical (nominal radius 8 mm). The contact lens is made of Boston ES, a copolymer developed by the company Polymer Technology (Bausch + Lomb).

The contact lens defines two principal meridian planes for the toric model eye: the "axis meridian" and the "power meridian", indicated respectively by AX and PW.

In analogy with the spherical model eye, we define the refractive error relative to the axis meridian (R_e^{AX}) and that relative to the power meridian (R_e^{PW}).

Analogamente all'occhio campione sferico, in laboratorio si misurano le caratteristiche geometriche e fisiche dell'occhio campione torico. Gli errori refrattivi R_e^{AX} e R_e^{PW} con le relative incertezze vengono ottenuti utilizzando tecniche di ray tracing esatto. Il risultato è espresso nella forma:

$$R_e^{AX} = R_e^{AX} \left(R_0^{AX}, H_0, N_0, R, H, N \right) \pm 2\sigma(R_e^{AX}) \quad (3)$$

$$R_e^{PW} = R_e^{PW} \left(R_0^{PW}, H_0, N_0, R, H, N \right) \pm 2\sigma(R_e^{PW}) \quad (4)$$

con $\sigma(R_e^{AX})$ e $\sigma(R_e^{PW})$ incertezze combinate, date da:

$$\begin{aligned} \sigma(R_e^{AX}) = & \left[\left| \frac{\partial R_e^{AX}}{\partial R_0^{AX}} \right|^2 \sigma^2(R_0^{AX}) + \left| \frac{\partial R_e^{AX}}{\partial H_0} \right|^2 \sigma^2(H_0) + \left| \frac{\partial R_e^{AX}}{\partial N_0} \right|^2 \sigma^2(N_0) + \right. \\ & \left. + \left| \frac{\partial R_e^{AX}}{\partial R} \right|^2 \sigma^2(R) + \left| \frac{\partial R_e^{AX}}{\partial H} \right|^2 \sigma^2(H) + \left| \frac{\partial R_e^{AX}}{\partial N} \right|^2 \sigma^2(N) \right]^{1/2} \quad (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma(R_e^{PW}) = & \left[\left| \frac{\partial R_e^{PW}}{\partial R_0^{PW}} \right|^2 \sigma^2(R_0^{PW}) + \left| \frac{\partial R_e^{PW}}{\partial H_0} \right|^2 \sigma^2(H_0) + \left| \frac{\partial R_e^{PW}}{\partial N_0} \right|^2 \sigma^2(N_0) + \right. \\ & \left. + \left| \frac{\partial R_e^{PW}}{\partial R} \right|^2 \sigma^2(R) + \left| \frac{\partial R_e^{PW}}{\partial H} \right|^2 \sigma^2(H) + \left| \frac{\partial R_e^{PW}}{\partial N} \right|^2 \sigma^2(N) \right]^{1/2} \quad (6) \end{aligned}$$

Nelle Eq. 3–6, N , $\sigma(N)$, R , $\sigma(R)$, H , $\sigma(H)$ sono le caratteristiche geometriche e fisiche (con relative incertezze) dell'occhio campione sferico su cui è incollata la lente a contatto torica. Inoltre:

N_0	indice di rifrazione del copolimero Boston ES
$\sigma(N_0)$	incertezza su N_0 (tipo B)
R_0^{AX}	raggio di curvatura della superficie convessa della lente a contatto nel meridiano AX
$\sigma(R_0^{AX})$	incertezza su R_0^{AX} (tipo B)
R_0^{PW}	raggio di curvatura della superficie convessa della lente a contatto nel meridiano PW
$\sigma(R_0^{PW})$	incertezza su R_0^{PW} (tipo B)
H_0	spessore al centro della lente a contatto
$\sigma(H_0)$	incertezza su H_0 (tipo B)

Per N_0 si adottano i valori forniti dalle Casa produttrice del copolimero [Boston ES della ditta Polymer Technology (Bausch Lomb): $N_0 = 1.444$]. Come incertezza su N_0 , di tipo B, si assume $\sigma(N_0) = 0.002$ (deviazione standard).

Similarly to the spherical model eye, the geometric and physical characteristics of the toric sample eye are measured in the laboratory. The refractive errors R_e^{AX} and R_e^{PW} , with relative uncertainties, are obtained using exact ray tracing techniques. The result is expressed in the form:

$$R_e^{AX} = R_e^{AX} \left(R_0^{AX}, H_0, N_0, R, H, N \right) \pm 2\sigma(R_e^{AX}) \quad (3)$$

$$R_e^{PW} = R_e^{PW} \left(R_0^{PW}, H_0, N_0, R, H, N \right) \pm 2\sigma(R_e^{PW}) \quad (4)$$

with $\sigma(R_e^{AX})$ and $\sigma(R_e^{PW})$ combined uncertainties, given by:

$$\sigma(R_e^{AX}) = \left[\left| \frac{\partial R_e^{AX}}{\partial R_0^{AX}} \right|^2 \sigma^2(R_0^{AX}) + \left| \frac{\partial R_e^{AX}}{\partial H_0} \right|^2 \sigma^2(H_0) + \left| \frac{\partial R_e^{AX}}{\partial N_0} \right|^2 \sigma^2(N_0) + \left| \frac{\partial R_e^{AX}}{\partial R} \right|^2 \sigma^2(R) + \left| \frac{\partial R_e^{AX}}{\partial H} \right|^2 \sigma^2(H) + \left| \frac{\partial R_e^{AX}}{\partial N} \right|^2 \sigma^2(N) \right]^{1/2} \quad (5)$$

$$\sigma(R_e^{PW}) = \left[\left| \frac{\partial R_e^{PW}}{\partial R_0^{PW}} \right|^2 \sigma^2(R_0^{PW}) + \left| \frac{\partial R_e^{PW}}{\partial H_0} \right|^2 \sigma^2(H_0) + \left| \frac{\partial R_e^{PW}}{\partial N_0} \right|^2 \sigma^2(N_0) + \left| \frac{\partial R_e^{PW}}{\partial R} \right|^2 \sigma^2(R) + \left| \frac{\partial R_e^{PW}}{\partial H} \right|^2 \sigma^2(H) + \left| \frac{\partial R_e^{PW}}{\partial N} \right|^2 \sigma^2(N) \right]^{1/2} \quad (6)$$

In Eq. 3–6, N , $\sigma(N)$, R , $\sigma(R)$, H , $\sigma(H)$ are the characteristics geometric and physical (with relative uncertainties) of the spherical model eye on which the toric contact lens is glued. Furthermore:

N_0	refractive index of the Boston ES copolymer
$\sigma(N_0)$	uncertainty on N_0 (type B)
R_0^{AX}	radius of curvature of the convex surface of the contact lens in the axis meridian
$\sigma(R_0^{AX})$	uncertainty on R_0^{AX} (type B)
R_0^{PW}	radius of curvature of the convex surface of the contact lens in the power meridian
$\sigma(R_0^{PW})$	uncertainty on R_0^{PW} (type B)
H_0	central thickness of the contact lens
$\sigma(H_0)$	uncertainty on H_0 (type B)

For N_0 , the value provided by the copolymer manufacturer [Boston ES from Polymer Technology (Bausch Lomb): $N_0 = 1.444$] is used. As uncertainty on N_0 we assume $\sigma(N_0) = 0.002$ (standard deviation).

DATI SPERIMENTALI (Unità mm)

Occhi Campioni Sferici

Identificatore	R	$\sigma(R)$	H	$\sigma(H)$
-15 D	7.996	0.0015	29.940	0.004
-10 D	7.998	0.0015	27.326	0.004
-5 D	7.996	0.0015	25.109	0.004
-0 D	7.996	0.0015	23.202	0.004
+5 D	7.997	0.0015	21.567	0.004
+10 D	7.994	0.0015	20.170	0.004
+15 D	8.000	0.0015	18.919	0.004

Occhio Campione Torico -3 D

R_0^{AX}	$\sigma(R_0^{AX})$	R_0^{PW}	$\sigma(R_0^{PW})$	H_0	$\sigma(H_0)$
8.001	0.0015	7.583	0.0015	1.503	0.004
	R	$\sigma(R)$	H	$\sigma(H)$	
	7.996	0.0015	22.111	0.006	

RISULTATI DELLE MISURE

I risultati sono espressi in diottrie; l'incertezza si riferisce ad un fattore di copertura 2 (incertezza 2σ), che per una distribuzione normale corrisponde ad un livello di confidenza del 95%.

Identificatore	$R_e [N = N(d)]$	$R_e [N = N(e)]$
-15 D	-14.96 ± 0.06	-15.16 ± 0.06
-10 D	-10.01 ± 0.06	-10.20 ± 0.06
-5 D	-5.05 ± 0.06	-5.23 ± 0.06
0 D	-0.04 ± 0.06	-0.21 ± 0.06
+5 D	$+5.03 \pm 0.06$	$+4.86 \pm 0.06$
+10 D	$+9.93 \pm 0.06$	$+9.77 \pm 0.06$
+15 D	$+15.01 \pm 0.06$	$+14.86 \pm 0.06$
Cyl -3 D AX	-0.17 ± 0.07	-0.31 ± 0.07
Cyl -3 D PW	-3.29 ± 0.08	-3.44 ± 0.08

EXPERIMENTAL DATA (Units: mm)*Spherical Model Eye*

Identification	R	$\sigma(R)$	H	$\sigma(H)$
-15 D	7.996	0.0015	29.940	0.004
-10 D	7.998	0.0015	27.326	0.004
-5 D	7.996	0.0015	25.109	0.004
-0 D	7.996	0.0015	23.202	0.004
+5 D	7.997	0.0015	21.567	0.004
+10 D	7.994	0.0015	20.170	0.004
+15 D	8.000	0.0015	18.919	0.004

Toric Model Eye -3 D

R_0^{AX}	$\sigma(R_0^{AX})$	R_0^{PW}	$\sigma(R_0^{PW})$	H_0	$\sigma(H_0)$
8.001	0.0015	7.583	0.0015	1.503	0.004
R	$\sigma(R)$	H	$\sigma(H)$		
7.996	0.0015	22.111	0.006		

RESULTS OF THE MEASUREMENTS

The results are expressed in dioptres; the uncertainty refers to a coverage factor of 2 (uncertainty 2σ), which, for a normal distribution corresponds to a confidence level of 95 %.

Identification	$R_e [N = N(d)]$	$R_e [N = N(e)]$
-15 D	-14.96 ± 0.06	-15.16 ± 0.06
-10 D	-10.01 ± 0.06	-10.20 ± 0.06
-5 D	-5.05 ± 0.06	-5.23 ± 0.06
0 D	-0.04 ± 0.06	-0.21 ± 0.06
+5 D	+5.03 ± 0.06	+4.86 ± 0.06
+10 D	+9.93 ± 0.06	+9.77 ± 0.06
+15 D	+15.01 ± 0.06	+14.86 ± 0.06
Cyl -3 D AX	-0.17 ± 0.07	-0.31 ± 0.07
Cyl -3 D PW	-3.29 ± 0.08	-3.44 ± 0.08

Il potere oftalmico della lente che corregge l'ametropia di un occhio campione è determinabile conoscendo l'errore refrattivo dell'occhio e la distanza occhio campione – lente .

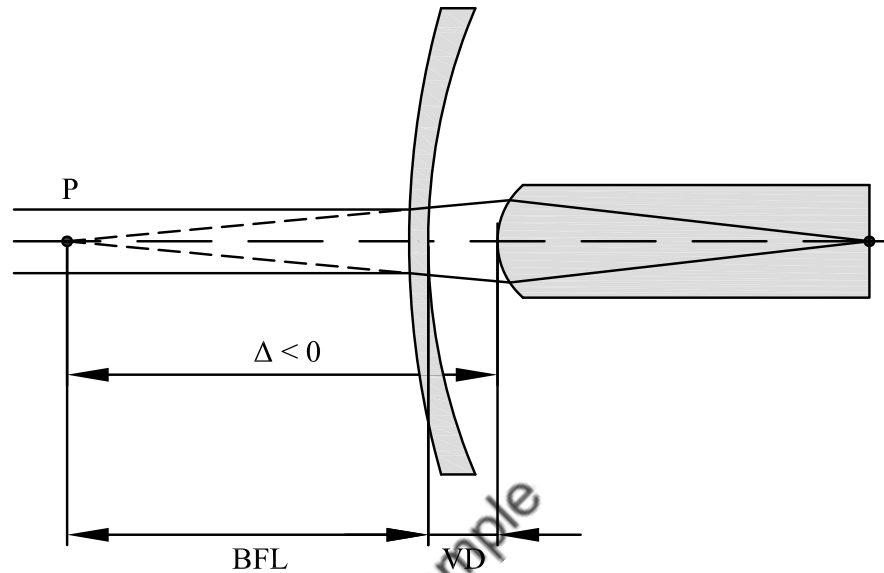


Fig. 2 Correzione dell'ametropia per un occhio campione miope

Come mostrato in Fig. 2 si usano i seguenti simboli:

- BFL* frontale posteriore (back focal length) della lente correttiva
 Φ potere oftalmico ($\Phi = 1/BFL$) della lente correttiva
VD distanza apice corneale–lente (Vertex Distance), distanza (definita positiva) tra il vertice della superficie della lente più vicina all'occhio e il vertice della superficie frontale.

Dalla Fig. 2 si vede che l'ametropia viene corretta quando la *BFL* è uguale alla somma di Δ e *VD*. Il potere oftalmico della lente correttiva e la relativa incertezza si determina allora usando le seguenti equazioni:

$$\Phi = \frac{R_e}{1 + VD \cdot R_e} \quad (7)$$

$$\sigma(\Phi) = \frac{1}{(1 + VD \cdot R_e)^2} \cdot \sigma(R_e) \quad (8)$$

The back vertex power of the lens that corrects the ametropia of a model eye can be calculated by knowing the refractive error and the distance model eye – lens.

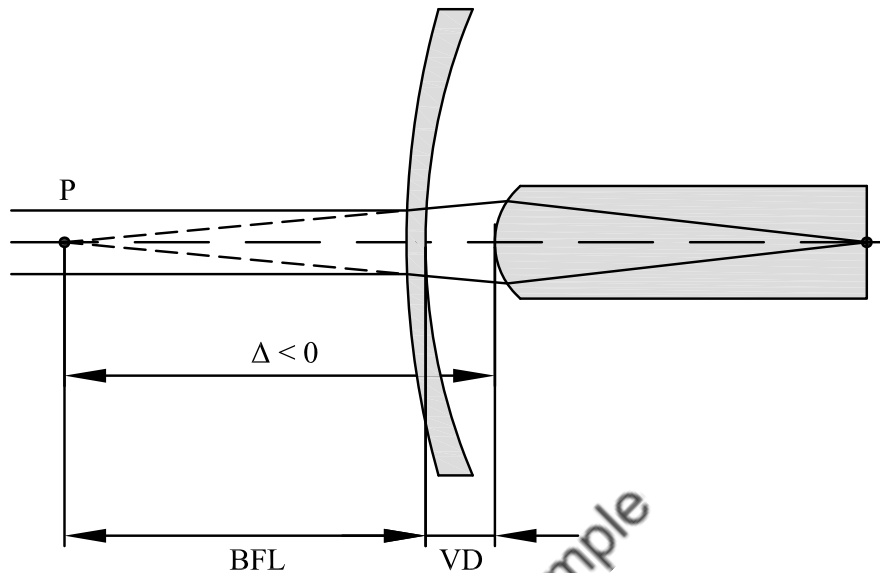


Fig. 2 Correction of ametropia for a myopic model eye

As shown in Fig. 2 the following symbols are used:

- BFL* back focal length of the correcting lens
 Φ ophthalmic power ($\Phi = 1/BFL$) of the correcting lens
VD vertex distance, distance (positive definite) between the vertex of the lens surface closest to the eye and the vertex of the front surface.

As shown in Fig. 2, the ametropia is corrected when the *BFL* is equal to the sum of Δ and *VD*. The ophthalmic power of the corrective lens and its uncertainty is then determined using the following equations:

$$\Phi = \frac{R_e}{1 + VD \cdot R_e} \quad (7)$$

$$\sigma(\Phi) = \frac{1}{(1 + VD \cdot R_e)^2} \sigma(R_e) \quad (8)$$

Analogamente, la prescrizione della lente correttiva per l'occhio campione torico scritta come la sovrapposizione di una lente sferica e di una cilindrica si determina usando le seguenti espressioni:

$$Sph = \frac{R_e^{AX}}{1 + VD \cdot R_e^{AX}} \quad (9)$$

$$\sigma(Sph) = \frac{1}{(1 + VD \cdot R_e^{AX})^2} \cdot \sigma(R_e^{AX}) \quad (10)$$

$$Cyl = \frac{R_e^{PW}}{1 + VD \cdot R_e^{PW}} - \frac{R_e^{AX}}{1 + VD \cdot R_e^{AX}} \quad (11)$$

$$\sigma(Cyl) = \left[\frac{1}{(1 + VD \cdot R_e^{AX})^4} \cdot \sigma^2(R_e^{AX}) + \frac{1}{(1 + VD \cdot R_e^{PW})^4} \cdot \sigma^2(R_e^{PW}) \right]^{1/2} \quad (12)$$

Nelle seguenti pagine sono riportati i valori del potere oftalmico degli 8 occhi campione valutati per 6 valori di VD : 0 mm, 10.50 mm, 12.00 mm, 13.75 mm, 15.00 mm e 16.50 mm

Similarly, the prescription of the corrective lens for the toric model eye written as the superposition of a spherical and a cylindrical lens is determined using the following equations:

$$Sph = \frac{R_e^{AX}}{1 + VD \cdot R_e^{AX}} \quad (9)$$

$$\sigma(Sph) = \frac{1}{(1 + VD \cdot R_e^{AX})^2} \cdot \sigma(R_e^{AX}) \quad (10)$$

$$Cyl = \frac{R_e^{PW}}{1 + VD \cdot R_e^{PW}} - \frac{R_e^{AX}}{1 + VD \cdot R_e^{AX}} \quad (11)$$

$$\sigma(Cyl) = \left[\frac{1}{(1 + VD \cdot R_e^{AX})^4} \cdot \sigma^2(R_e^{AX}) + \frac{1}{(1 + VD \cdot R_e^{PW})^4} \cdot \sigma^2(R_e^{PW}) \right]^{1/2} \quad (12)$$

The following pages show the ophthalmic power values of the 8 model eyes evaluated for 6 values of VD : 0 mm, 10.50 mm, 12.00 mm, 13.75 mm, 15.00 mm and 16.50 mm

POTERE OFTALMICO CORRETTIVO

I risultati sono espressi in diottrie; l'incertezza si riferisce ad un fattore di copertura 2 (incertezza 2σ).

L'asse del cilindro dell'occhio campione torico è individuato da un segno posto lateralmente sulla montatura di plastica.

VD = 0.00

Identificatore	$\Phi [N(d)]$	$\Phi [N(e)]$
-15 D	-14.96 ± 0.06	-15.16 ± 0.06
-10 D	-10.01 ± 0.06	-10.20 ± 0.06
-5 D	-5.05 ± 0.06	-5.23 ± 0.06
0 D	-0.04 ± 0.06	-0.21 ± 0.06
+5 D	$+5.03 \pm 0.06$	$+4.86 \pm 0.06$
+10 D	$+9.93 \pm 0.06$	$+9.77 \pm 0.06$
+15 D	$+15.01 \pm 0.06$	$+14.86 \pm 0.06$

Identificatore	$Sph [N(d)]$	$Sph [N(e)]$
Cyl -3 D	-0.17 ± 0.07	-0.31 ± 0.07
	$Cyl [N(d)]$	$Cyl [N(e)]$
	-3.13 ± 0.11	-3.13 ± 0.11

VD = 10.50

Identificatore	$\Phi [N(d)]$	$\Phi [N(e)]$
-15 D	-17.75 ± 0.09	-18.02 ± 0.09
-10 D	-11.19 ± 0.08	-11.43 ± 0.08
-5 D	-5.34 ± 0.07	-5.54 ± 0.07
0 D	-0.04 ± 0.06	-0.21 ± 0.06
+5 D	$+4.78 \pm 0.05$	$+4.63 \pm 0.05$
+10 D	$+8.99 \pm 0.05$	$+8.86 \pm 0.05$
+15 D	$+12.97 \pm 0.04$	$+12.85 \pm 0.05$

Identificatore	$Sph [N(d)]$	$Sph [N(e)]$
Cyl -3 D	-0.17 ± 0.07	-0.32 ± 0.07
	$Cyl [N(d)]$	$Cyl [N(e)]$
	-3.24 ± 0.11	-3.26 ± 0.11

CORRECTIVE BACK VERTEX POWER

The results are expressed in dioptres; the uncertainty refers to a coverage factor of 2 (uncertainty 2σ).

The axis of the cylinder of the toric model eye is identified by a mark placed laterally on the plastic frame.

VD = 0.00

Identification	$\Phi [N(d)]$	$\Phi [N(e)]$
-15 D	-14.96 ± 0.06	-15.16 ± 0.06
-10 D	-10.01 ± 0.06	-10.20 ± 0.06
-5 D	-5.05 ± 0.06	-5.23 ± 0.06
0 D	-0.04 ± 0.06	-0.21 ± 0.06
+5 D	$+5.03 \pm 0.06$	$+4.86 \pm 0.06$
+10 D	$+9.93 \pm 0.06$	$+9.77 \pm 0.06$
+15 D	$+15.01 \pm 0.06$	$+14.86 \pm 0.06$

Identification	$Sph [N(d)]$	$Sph [N(e)]$
Cyl -3 D	-0.17 ± 0.07	-0.31 ± 0.07
	$Cyl [N(d)]$	$Cyl [N(e)]$
	-3.13 ± 0.11	-3.13 ± 0.11

VD = 10.50

Identification	$\Phi [N(d)]$	$\Phi [N(e)]$
-15 D	-17.75 ± 0.09	-18.02 ± 0.09
-10 D	-11.19 ± 0.08	-11.43 ± 0.08
-5 D	-5.34 ± 0.07	-5.54 ± 0.07
0 D	-0.04 ± 0.06	-0.21 ± 0.06
+5 D	$+4.78 \pm 0.05$	$+4.63 \pm 0.05$
+10 D	$+8.99 \pm 0.05$	$+8.86 \pm 0.05$
+15 D	$+12.97 \pm 0.04$	$+12.85 \pm 0.05$

Identification	$Sph [N(d)]$	$Sph [N(e)]$
Cyl -3 D	-0.17 ± 0.07	-0.32 ± 0.07
	$Cyl [N(d)]$	$Cyl [N(e)]$
	-3.24 ± 0.11	-3.26 ± 0.11

VD = 12.00

Identificatore	$\Phi [N(d)]$	$\Phi [N(e)]$
-15 D	-18.23 ± 0.09	-18.52 ± 0.09
-10 D	-11.38 ± 0.08	-11.63 ± 0.08
-5 D	-5.38 ± 0.07	-5.59 ± 0.07
0 D	-0.04 ± 0.06	-0.21 ± 0.06
+5 D	$+4.74 \pm 0.05$	$+4.59 \pm 0.05$
+10 D	$+8.87 \pm 0.05$	$+8.75 \pm 0.05$
+15 D	$+12.72 \pm 0.04$	$+12.61 \pm 0.04$

Identificatore	$Sph [N(d)]$	$Sph [N(e)]$
Cyl -3 D	-0.17 ± 0.07	-0.32 ± 0.07
	$Cyl [N(d)]$	$Cyl [N(e)]$
	-3.26 ± 0.11	-3.28 ± 0.11

VD = 13.75

Identificatore	$\Phi [N(d)]$	$\Phi [N(e)]$
-15 D	-18.84 ± 0.10	-19.15 ± 0.10
-10 D	-11.61 ± 0.08	-11.87 ± 0.08
-5 D	-5.43 ± 0.07	-5.64 ± 0.07
0 D	-0.04 ± 0.06	-0.21 ± 0.06
+5 D	$+4.70 \pm 0.05$	$+4.56 \pm 0.05$
+10 D	$+8.74 \pm 0.05$	$+8.61 \pm 0.05$
+15 D	$+12.44 \pm 0.04$	$+12.34 \pm 0.04$

Identificatore	$Sph [N(d)]$	$Sph [N(e)]$
Cyl -3 D	-0.17 ± 0.07	-0.32 ± 0.07
	$Cyl [N(d)]$	$Cyl [N(e)]$
	-3.28 ± 0.11	-3.30 ± 0.11

VD = 12.00

<i>Identification</i>	$\Phi [N(d)]$	$\Phi [N(e)]$
-15 D	-18.23 ± 0.09	-18.52 ± 0.09
-10 D	-11.38 ± 0.08	-11.63 ± 0.08
-5 D	-5.38 ± 0.07	-5.59 ± 0.07
0 D	-0.04 ± 0.06	-0.21 ± 0.06
+5 D	$+4.74 \pm 0.05$	$+4.59 \pm 0.05$
+10 D	$+8.87 \pm 0.05$	$+8.75 \pm 0.05$
+15 D	$+12.72 \pm 0.04$	$+12.61 \pm 0.04$

<i>Identification</i>	<i>Sph</i> [N(d)]	<i>Sph</i> [N(e)]
Cyl -3 D	-0.17 ± 0.07	-0.32 ± 0.07
	<i>Cyl</i> [N(d)]	<i>Cyl</i> [N(e)]
	-3.26 ± 0.11	-3.28 ± 0.11

VD = 13.75

<i>Identification</i>	$\Phi [N(d)]$	$\Phi [N(e)]$
-15 D	-18.84 ± 0.10	-19.15 ± 0.10
-10 D	-11.61 ± 0.08	-11.87 ± 0.08
-5 D	-5.43 ± 0.07	-5.64 ± 0.07
0 D	-0.04 ± 0.06	-0.21 ± 0.06
+5 D	$+4.70 \pm 0.05$	$+4.56 \pm 0.05$
+10 D	$+8.74 \pm 0.05$	$+8.61 \pm 0.05$
+15 D	$+12.44 \pm 0.04$	$+12.34 \pm 0.04$

<i>Identification</i>	<i>Sph</i> [N(d)]	<i>Sph</i> [N(e)]
Cyl -3 D	-0.17 ± 0.07	-0.32 ± 0.07
	<i>Cyl</i> [N(d)]	<i>Cyl</i> [N(e)]
	-3.28 ± 0.11	-3.30 ± 0.11

VD = 15.00

Identificatore	$\Phi [N(d)]$	$\Phi [N(e)]$
-15 D	-19.29 ± 0.10	-19.61 ± 0.10
-10 D	-11.79 ± 0.08	-12.05 ± 0.08
-5 D	-5.47 ± 0.07	-5.68 ± 0.07
0 D	-0.04 ± 0.06	-0.21 ± 0.06
+5 D	$+4.67 \pm 0.05$	$+4.53 \pm 0.05$
+10 D	$+8.64 \pm 0.05$	$+8.52 \pm 0.05$
+15 D	$+12.25 \pm 0.04$	$+12.15 \pm 0.04$

Identificatore	$Sph [N(d)]$	$Sph [N(e)]$
Cyl -3 D	-0.17 ± 0.07	-0.32 ± 0.07
	$Cyl [N(d)]$	$Cyl [N(e)]$
	-3.30 ± 0.11	-3.32 ± 0.12

VD = 16.50

Identificatore	$\Phi [N(d)]$	$\Phi [N(e)]$
-15 D	-19.86 ± 0.11	-20.21 ± 0.11
-10 D	-12.00 ± 0.09	-12.27 ± 0.09
-5 D	-5.51 ± 0.07	-5.73 ± 0.07
0 D	-0.04 ± 0.06	-0.21 ± 0.06
+5 D	$+4.64 \pm 0.05$	$+4.50 \pm 0.05$
+10 D	$+8.53 \pm 0.04$	$+8.42 \pm 0.04$
+15 D	$+12.03 \pm 0.04$	$+11.93 \pm 0.04$

Identificatore	$Sph [N(d)]$	$Sph [N(e)]$
Cyl -3 D	-0.17 ± 0.07	-0.32 ± 0.07
	$Cyl [N(d)]$	$Cyl [N(e)]$
	-3.32 ± 0.12	-3.33 ± 0.12

VD = 15.00

<i>Identification</i>	$\Phi [N(d)]$	$\Phi [N(e)]$
-15 D	-19.29 ± 0.10	-19.61 ± 0.10
-10 D	-11.79 ± 0.08	-12.05 ± 0.08
-5 D	-5.47 ± 0.07	-5.68 ± 0.07
0 D	-0.04 ± 0.06	-0.21 ± 0.06
+5 D	$+4.67 \pm 0.05$	$+4.53 \pm 0.05$
+10 D	$+8.64 \pm 0.05$	$+8.52 \pm 0.05$
+15 D	$+12.25 \pm 0.04$	$+12.15 \pm 0.04$

<i>Identification</i>	<i>Sph</i> [N(d)]	<i>Sph</i> [N(e)]
Cyl -3 D	-0.17 ± 0.07	-0.32 ± 0.07
	<i>Cyl</i> [N(d)]	<i>Cyl</i> [N(e)]
	-3.30 ± 0.11	-3.32 ± 0.12

VD = 16.50

<i>Identification</i>	$\Phi [N(d)]$	$\Phi [N(e)]$
-15 D	-19.86 ± 0.11	-20.21 ± 0.11
-10 D	-12.00 ± 0.09	-12.27 ± 0.09
-5 D	-5.51 ± 0.07	-5.73 ± 0.07
0 D	-0.04 ± 0.06	-0.21 ± 0.06
+5 D	$+4.64 \pm 0.05$	$+4.50 \pm 0.05$
+10 D	$+8.53 \pm 0.04$	$+8.42 \pm 0.04$
+15 D	$+12.03 \pm 0.04$	$+11.93 \pm 0.04$

<i>Identification</i>	<i>Sph</i> [N(d)]	<i>Sph</i> [N(e)]
Cyl -3 D	-0.17 ± 0.07	-0.32 ± 0.07
	<i>Cyl</i> [N(d)]	<i>Cyl</i> [N(e)]
	-3.32 ± 0.12	-3.33 ± 0.12

Appendice 1

Per la misura del raggio di curvatura della superficie frontale di un occhio campione si usa un interferometro dotato di una sfera di riferimento, operando come schematicamente indicato in Fig. 3. In pratica si tratta di traslare l'occhio campione in esame dalla posizione in cui la superficie frontale si trova nel fuoco della sfera di riferimento alla posizione in cui la superficie frontale è concentrica con la sfera di riferimento. La traslazione intervenuta è pari al raggio di curvatura cercato.

Le due posizioni di interesse si determinano con grande risoluzione considerando le frange d'interferenza che si osservano sullo schermo dell'interferometro; occorre però che le superfici siano ben regolari. Lo spostamento è misurato con un micrometro millesimale Mitutoyo Mod. 164-161. La sfera di riferimento utilizzata per le misure ha apertura $f/0.75$. Risulta ispezionata l'intera superficie frontale dell'occhio campione.

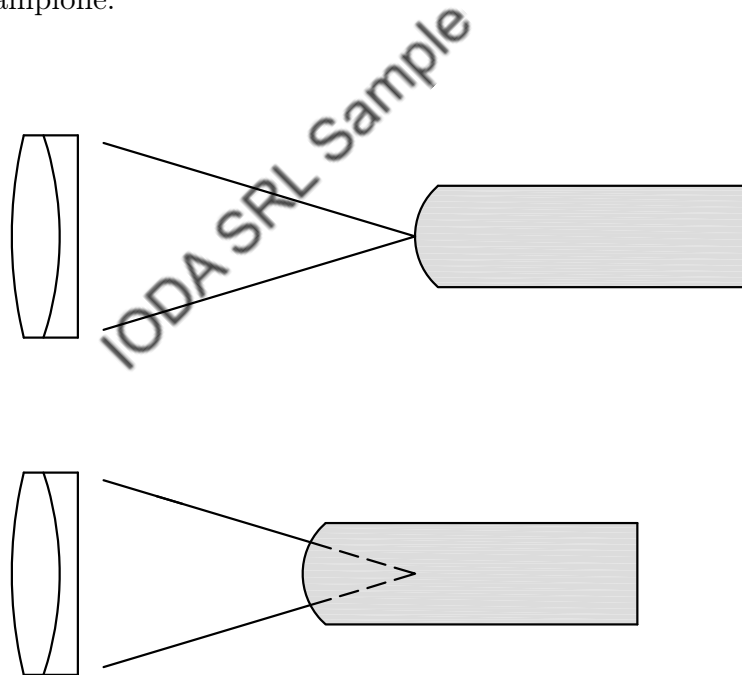


Figura 3: Determinazione del raggio di curvatura della superficie frontale di un occhio campione per mezzo di una traslazione pari al raggio. La lente di sinistra (doppietto) è quella relativa alla sfera di riferimento; a destra è raffigurato un occhio campione.

Appendix 1

To measure the radius of curvature of the front surface of a model eye, an interferometer equipped with a reference sphere is used. The operation is schematically indicated in Fig. 3. In practice, the model eye under test is translated from the position where the front surface is at the focus of the reference sphere to the position where the front surface is concentric with the reference sphere. The translation undergone is equal to the sought radius of curvature.

The two positions of interest are determined with high resolution by looking at the interference fringes displayed on the screen of the interferometer; the surfaces should be quite regular, however.

The displacement is measured with a 0.001-sensitivity micrometer Mitutoyo Mod. 164-161. The aperture of the reference spheres in use for the measurements is $f/0.75$. The entire front surface of the model eye is inspected.

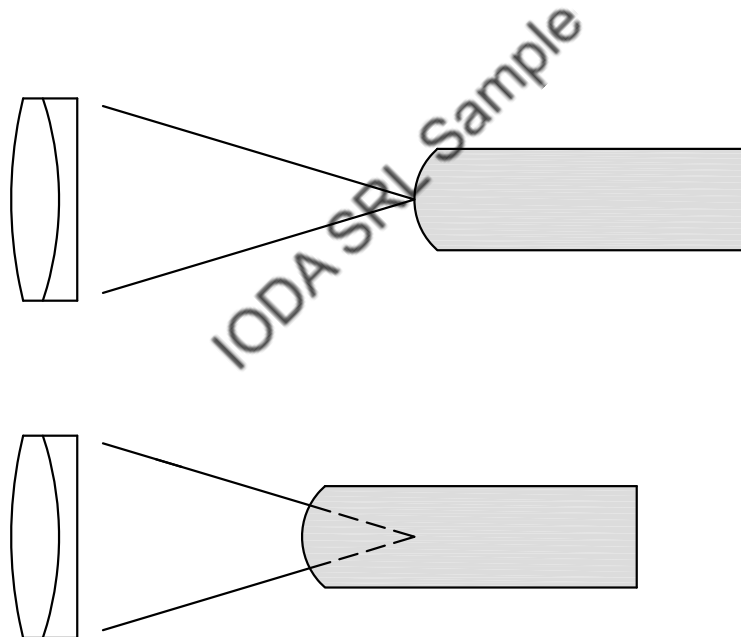


Figure 3: Determination of the radius of curvature of the front surface of a model eye using a translation equal to the radius. The left lens (doublet) is the one relative to the reference sphere; on the right is a model eye.