

## Ottica della Contattologia I

# L'ambiente delle LAC: la Cornea

Dr. Fabrizio Zeri  
zeri@fis.uniroma3.it

## La Cornea: topografia

- **APPROCCIO STORICO**
- **MODELLI SULLA TOPOGRAFIA CORNEALE**

Lac I 2008/2009

F.Zeri

## Topografia Corneale

Perché è difficile illustrare la topografia corneale:

- **GEOMETRIA COMPLESSA.**
- **NOTEVOLE VARIABILITA' INDIVIDUALE.**
- **ASSENZA DI UNA TECNICA DI MISURAZIONE COMPLETA, ATTENDIBILE, UNIVOCA.**

Comunque la maggior parte degli strumenti e delle tecniche sviluppate per lo studio della topografia corneale sfruttano la riflessione corneale. Questa unita alla conoscenza dell'ottica catadiottrica consentono d'inferire qualitativamente e quantitativamente la topografia corneale.

Lac I 2008/2009

F.Zeri

## Lo studio della topografia corneale

**-Scheiner 1619:** utilizza delle sfere di vetro di raggio noto con cui confrontare l'immagine riflessa dalla cornea.

**-Ramsden 1796:** in laboratorio cerca di misurare eventuali cambiamenti di curvatura corneale.

**-Kohalrausch 1839:** misura con tel. galileiano dell'immagine riflessa da cui ricava la curvatura corneale

Lac I 2008/2009

F.Zeri

## Lo studio della topografia corneale

### *Il cheratometro*

**-Helmholtz 1854**  
*primo cheratometro per uso clinico*

*A seguire moltissime le nuove versioni*

**-Javal e Schiotz 1881**

## Lo studio della topografia corneale

### *Il cheratoscopio*

**-Goode 1847** *propone il cheratoscopio*

**-Placido 1880** *primo cheratoscopio*

*Il cheratoscopio nella clinica consente una valutazione per lo più qualitativa della topografia corneale*

## Lo studio della topografia corneale

### *Il fotocheratoscopio*

L'oggetto riflesso sulla cornea può essere analizzato sull'immagine statica acquisita con la foto in ogni sua parte, distintamente.

**-Gullstrand 1896:** *fotocheratoscopia*  
*10 rilievi per meridiano 7mm centrali*

**-Mandell 1974:** *Fotocheratoscopio con mira asferica*

## Lo studio della topografia corneale

### *Il fotocheratoscopio*

**-Wesley e Jessen 1976** *System 2000: un computer in dotazione all'apparecchio analizza l'immagine fornendo gli appiattimenti periferici per i 2 meridiani principali*  
**-Rowsey e coll 1981** *CorneaScope (Kera Corporation)*

*Il fotocheratoscopio consente anche un'analisi quantitativa della topografia corneale ma l'accuratezza non è ancora elevata.*

## Lo studio della topografia corneale

### Altri metodi di Laboratorio

**-Stereofotogrammetria:** anestesia e talco sulla superficie che consente di effettuare una foto stereoscopica del profilo corneale

**-Misurazione a confronto con sagome (bassa accuratezza)**

metodo diretto: foto di profilo a confronto con sagome di profilo noto  
metodo indiretto: calco oculare da cui ricavare un positivo su cui operare i confronti

Lac I 2008/2009

F.Zeri

## Lo studio della topografia corneale

### Il videocheratoscopio computerizzato (topografo)

**-Doss 1981** algoritmo per calcolare il profilo corneale a partire da una fotocheratoscopia

**-Klyce 1984** propone una procedura computerizzata per rappresentare tridimensionalmente la topografia corneale

**-Maguire e coll 1987** introducono le mappe a codifica colorata

Lac I 2008/2009

F.Zeri

## Lo studio della topografia corneale

### II videocheratoscopio computerizzato (topografo)

-Klyce 1984

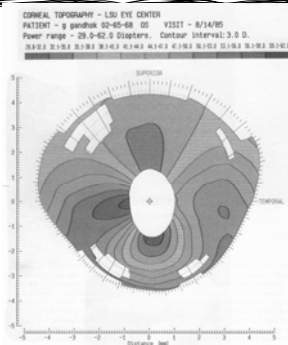
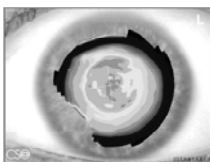


Figure 4.13. Corneal topographical plot from modern keratograph of Klyce.

## Topografia Corneale

Perché è difficile illustrare semplicemente la topografia corneale

- GEOMETRIA COMPLESSA.
- NOTEVOLE VARIABILITA' INDIVIDUALE.
- ASSENZA DI UNA TECNICA DI MISURAZIONE COMPLETA, ATTENDIBILE, UNIVOCA.

Lac I 2008/2009

F.Zeri

## Modelli sulla Topografia Corneale

### •"A ZONE"

- 1 MODELLO CLASSICO
- 2 TRIPLICE DIVISIONE
- 3 A 4 ZONE

### •CORNEA COME TIPO DI SEZIONE CONICA.

- 1 PARABOLA
- 2 IPERBOLE
- 3 ELLISSE

Lac I 2008/2009

F.Zeri

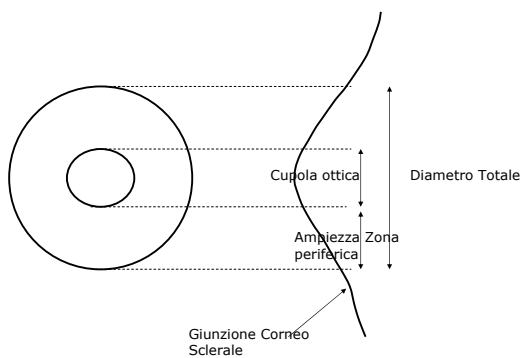
## Modello classico

- Aubert (1885)
- 2 zone
- Centrale (cupola o calotta ottica):  
diametro 4mm (sferica o torica) k da 7,2  
a 8,7
- Periferica gradatamente più piatta fino a  
14mm (giunzione sclerale)

Lac I 2008/2009

F.Zeri

## Modello classico



Lac I 2008/2009

F.Zeri

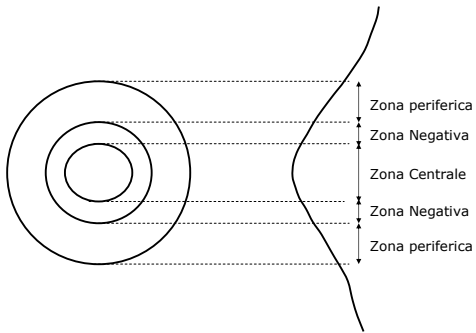
## Triplice divisione

- N.Bier (1956)
- 3 zone
- Modello descritto grazie all'osservazione  
con lac
- Centrale regolare
- Intermedia Negativa
- Periferica di Appiattimento

Lac I 2008/2009

F.Zeri

### Triplice Divisione



Lac I 2008/2009

F.Zeri

### Modelli a 4 zone

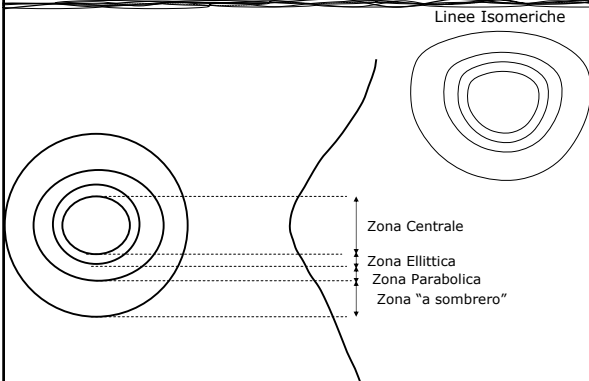
#### MODELLO di WATCHINS:

- 1966
- 4 zone
- Zona Centrale (8 mm)
- Zona Ellittica (1,75mm)
- Zona Parabolica
- Zona "a sombrero"
- Linee isomeriche a "D"

#### MODELLO di WARING:

- 1969
- 4 zone
- Zona Centrale (4-5 mm)
- Zona Paracentrale (7-8mm)
- Zona Periferica (11 mm)
- Zona Limbare (12 mm)

### Modello di Watkins



Lac I 2008/2009

F.Zeri

### Modelli come sezione coniche

- Cornea Parabolica: Reynolds (1959)
- Cornea Ellittica: Noto (1961)
- Cornea Iperbolica: Hamilton (1963)

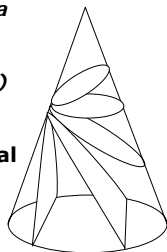
Lac I 2008/2009

F.Zeri

### Modelli Matematici di Curvatura Corneale

-Sezioni Coniche: curve ottenute dalla sezione di un cono. La diversa inclinazione della sezione rispetto alla base genera curve diverse (cerchio, elisse, parabola, iperbole)

-Quando le curve ruotano rispetto al proprio asse di simmetria producono figure solide chiamate conoicodi (sfera, ellissoide, paraboloidi, iperboloide)



Lac I 2008/2009

F.Zeri

### Modelli Matematici di Curvatura Corneale

-Il profilo di un meridiano potrebbe essere descritto da una sezione conica

-La superficie corneale potrebbe essere descritta da una conicoide

-In realtà la superficie corneale è meglio approssimabile secondo il modello asfero-torico

Lac I 2008/2009

F.Zeri

### Modelli Matematici di Curvatura Corneale

Il profilo di un meridiano può essere definito attraverso due parametri:

- il raggio apicale
- il fattore forma (variazione di curvatura dall'apice alla periferia)

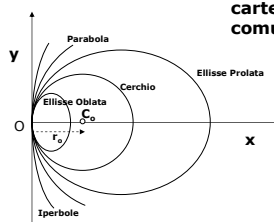
Il fattore forma rappresenta genericamente l'asfericità (quanto la curva si discosta dal cerchio): espresso attraverso vari indici come p, e, Q e SF.

Lac I 2008/2009

F.Zeri

### Modelli Matematici di Curvatura Corneale

Varie sezioni coniche possono essere rappresentate in maniera comune plottandole su un sistema cartesiano con il loro apice in comune nell'origine (Baker, 1942).



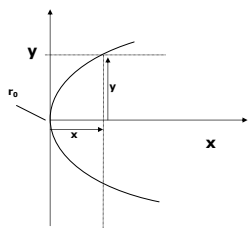
Lac I 2008/2009

F.Zeri

### Modelli Matematici di Curvatura Corneale

Una conica può essere rappresentata dall'equazione di Baker:

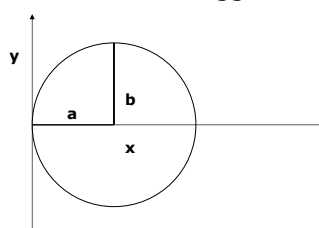
$$y^2 = 2r_0x - px^2$$



y=semicorda  
X=sagitta  
 $r_0$ =raggio apicale  
p=fattore forma

### Modelli Matematici di Curvatura Corneale

p=fattore forma  
 $p = b^2/a^2$   
a=semiasse minore di un ellisse  
b=semiasse maggiore di un ellisse



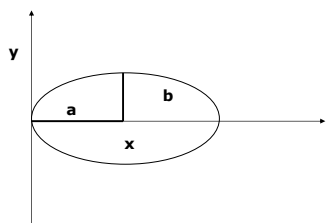
**Cerchio**  
**a=b**  
**p=1**

Lac I 2008/2009

F.Zeri

### Modelli Matematici di Curvatura Corneale

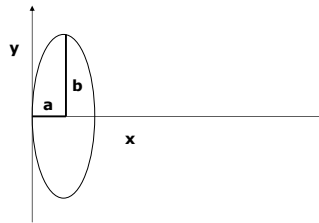
p=fattore forma  
 $p = b^2/a^2$



**Ellisse Prolata**  
(l'asse maggiore coincide con l'asse delle x)  
**a > b**  
**p tra 0 e 1**

### Modelli Matematici di Curvatura Corneale

p=fattore forma  
 $p = b^2/a^2$

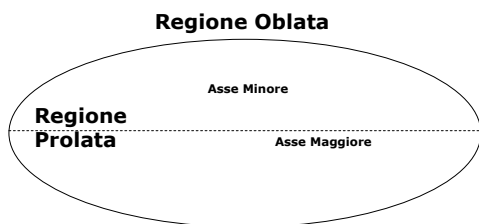


**Ellisse Oblata**  
(l'asse maggiore coincide con l'asse delle y)  
**a < b**  
**p > 1**

Lac I 2008/2009

F.Zeri

### Modelli Matematici di Curvatura Corneale



### Modelli Matematici di Curvatura Corneale

	p	Q	e	SF(=e <sup>2</sup> )
p=	-	1+Q	1- e <sup>2</sup>	1-SF
Q=	p-1	-	-e <sup>2</sup>	-SF
e=	$\sqrt{1-p}$	$\sqrt{-Q}$	-	$\sqrt{SF}$
SF=	1-p	-Q	e <sup>2</sup>	-

### Modelli Matematici di Curvatura Corneale

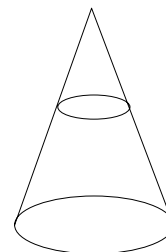
p	Letteratura optometrica
Q	Letteratura oftalmologica
e	Letteratura contattologica
SF (e <sup>2</sup> )	Wesley e Jessen (Burek,1987) Calossi e Vinciguerra (2000)

Lac I 2008/2009

F.Zeri

### Modelli Matematici di Curvatura Corneale

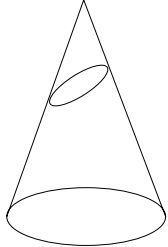
	p	Q	e	SF(=e <sup>2</sup> )
Cerchio	1	0	0	0





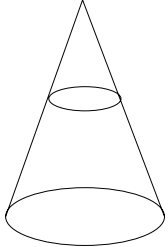
**Modelli Matematici di Curvatura Corneale**

	p	Q	e	SF(=e <sup>2</sup> )
Ellisse Oblata	>1	>0	<0	<0



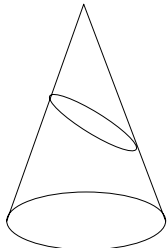
**Modelli Matematici di Curvatura Corneale**

	p	Q	e	SF(=e <sup>2</sup> )
Cerchio	1	0	0	0



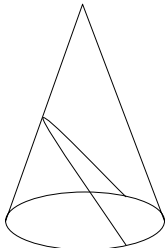
**Modelli Matematici di Curvatura Corneale**

	p	Q	e	SF(=e <sup>2</sup> )
Ellisse Prolata	tra 0 e 1	tra 0 e -1	tra 0 e 1	tra 0 e 1



**Modelli Matematici di Curvatura Corneale**

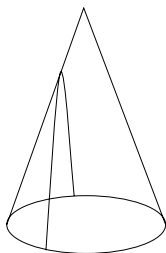
	p	Q	e	SF(=e <sup>2</sup> )
Parabola	0	-1	1	1



Lac I 2008/2009 F.Zeri

### Modelli Matematici di Curvatura Corneale

	p	Q	e	SF(=e <sup>2</sup> )
Iperbole	<0	<-1	>1	>1



### Modelli Matematici di Curvatura Corneale

	p	Q	e	SF(=e <sup>2</sup> )
Ellisse Oblata	>1	>0	<0	<0
Cerchio	1	0	0	0
Ellisse Prolata	tra 0 e 1	tra 0 e -1	tra 0 e 1	tra 0 e 1
Parabola	0	-1	1	1
Iperbole	<0	<-1	>1	>1

Rapporto non lineare tra variazioni di e e p

Lac I 2008/2009

F.Zeri

### Un modello matematico di topografia corneale

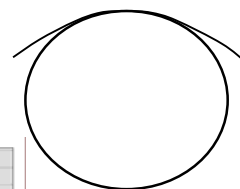
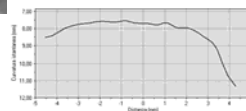
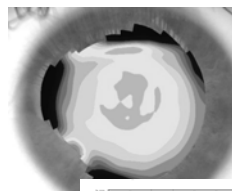
*La superficie corneale può essere approssimabile ad un modello asfero-torico. In cui si distinguono un meridiano di potenza massima, uno di potenza minima (raggi apicali diversi) e su ogni meridiano la curvatura si appiattisce secondo un modello ellittico.  
(Una superficie asferica si intende in questo senso una superficie non sferica)*

Lac I 2008/2009

F.Zeri

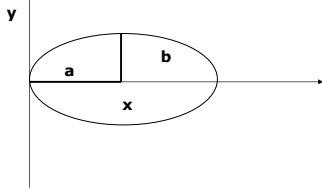
### CORNEA: asfericità

*La CORNEA naturale è approssimabile ad una superficie **PROLATA** (più curva centralmente più piatta perifericamente)*



### Modelli Matematici di Curvatura Corneale

p=fattore forma  
 $p=b^2/a^2$   
 a=semiasse minore di un ellisse  
 b=semiasse maggiore di un ellisse



**Ellisse Prolata**  
 (l'asse maggiore coincide con l'asse delle x)  
**a > b**  
**p tra 0 e 1**

Lac I 2008/2009

F.Zeri

### Modelli Matematici di Curvatura Corneale

	p	Q	e	SF(=e <sup>2</sup> )
Ellisse Oblata	>1	>0	<0	<0
Cerchio	1	0	0	0
Ellisse Prolata	tra 0 e 1	tra 0 e -1	tra 0 e 1	tra 0 e 1
Parabola	0	-1	1	1
Iperbole	<0	<-1	>1	>1

Lac I 2008/2009

F.Zeri

### Asfericit  Corneale

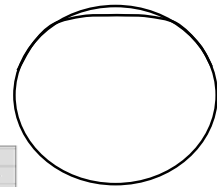
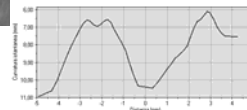
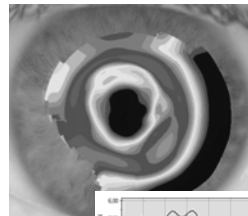
*La CORNEA   approssimabile ad una superficie prolata (pi  curva centralmente pi  piatta perifericamente).*

Calossi (2002) 4,5mm	e=0,31 p=0,86 range p(0,47/1,21)
8,0mm	e=0,51 p=0,72 range p(0,14/1,05)
Guillon e coll (1986)	e=0,39 p=0,85 range p(0,21/1,20)
Brungardt (1984)	e=0,48 p=0,77
Barr (1984)	e=0,50 p=0,85

Dipende dal diametro considerato (l'asfericit    maggiore in periferia piuttosto che al centro)

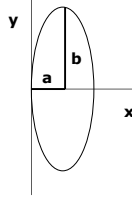
### CORNEA: asfericit 

*Una cornea OBLATA (pi  curva perifericamente pi  piatta centralmente)   INNATURALE*



### Modelli Matematici di Curvatura Corneale

p=fattore forma  
 $p=b^2/a^2$   
 a=semiasse minore di un ellisse  
 b=semiasse maggiore di un ellisse



**Ellisse Oblata**  
 (l'asse maggiore coincide con l'asse delle y)  
 $a < b$   
 $p > 1$

Lac I 2008/2009

F.Zeri

### Modelli Matematici di Curvatura Corneale

	p	Q	e	SF(=e <sup>2</sup> )
Ellisse Oblata	>1	>0	<0	<0
Cerchio	1	0	0	0
Ellisse Prolata	tra 0 e 1	tra 0 e -1	tra 0 e 1	tra 0 e 1
Parabola	0	-1	1	1
Iperbole	<0	<-1	>1	>1

Lac I 2008/2009

F.Zeri

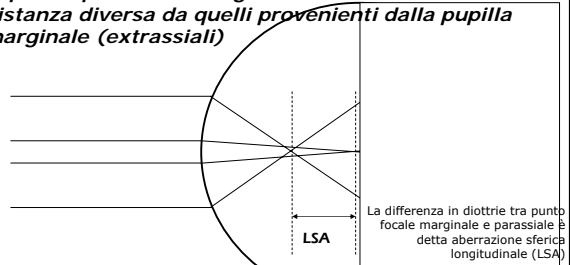
### Modelli Matematici di Curvatura Corneale

	p	Q	e	SF(=e <sup>2</sup> )
p=	-	1+Q	1- e <sup>2</sup>	1-SF
Q=	p-1	-	-e <sup>2</sup>	-SF
e=	$\sqrt{1-p}$	$\sqrt{-Q}$	-	$\sqrt{SF}$
SF=	1-p	-Q	e <sup>2</sup>	-

nell'ellisse oblata  $p > 1$  ma e diventa la radice quadrata di un numero negativo!!!  
 Quindi e è puramente convenzionale e può essere espresso come  $-\sqrt{p-1}$

### Asfericità Corneale e Aberrazione sferica

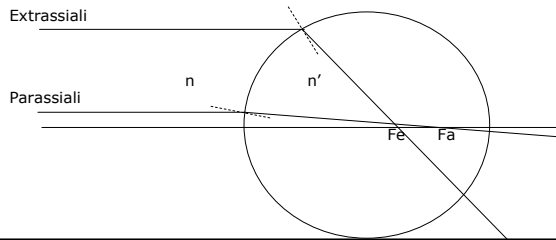
La Cornea umana possiede un certo livello di aberrazione sferica.  
 L'aberrazione sferica è un'aberrazione simmetrica che consiste nel fatto che i raggi passanti nella zona pupillare parassiale vengono messi a fuoco ad una distanza diversa da quelli provenienti dalla pupilla marginale (extrassiali)



La differenza in diottrie tra punto focale marginale e parassiale è detta aberrazione sferica longitudinale (LSA)

### Asfericità Corneale e Aberrazione sferica

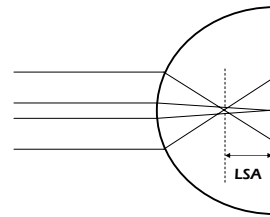
L'aberrazione sferica è un'aberrazione simmetrica che si verifica quando un fascio di luce colpisce una superficie rifrangente appunto sferica. Visto che l'angolo di incidenza dei raggi di luce è diverso per punti della superficie parassiali o extrassiali anche l'angolo di rifrazione sarà diverso (sen i: sen r = n': n).



### Asfericità Corneale e Aberrazione sferica

L'aberrazione sferica della cornea è influenzata da:

- Indice di rifrazione della cornea
- Raggio di curvatura
- Asfericità corneale
- Diametro pupillare



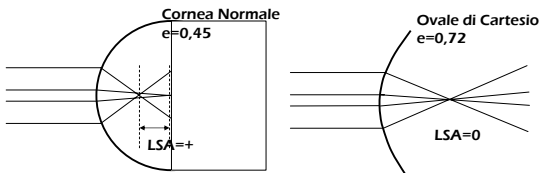
Lac I 2008/2009

F.Zeri

### Asfericità Corneale e Aberrazione sferica

Una superficie ottica che separa due mezzi omogenei avrà aberrazione sferica nulla quando la sua forma è uguale all'ovale di Cartesio.

Per la cornea umana (quando i raggi provengono dall'infinito) l'ovale di Cartesio corrisponde ad un'ellissoide prolato la cui asfericità è  $(e^2 = 1/n^2)$   $e = 0,73$  ( $p = 0,47$ )

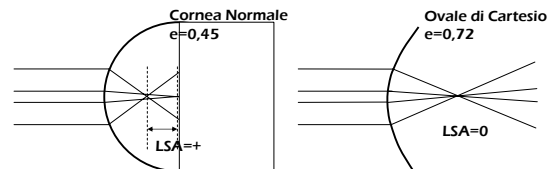


Lac I 2008/2009

F.Zeri

### Asfericità Corneale e Aberrazione sferica

Nella cornea umana normale ( $e = -0,45$ ) i raggi passanti nella zona pupillare parassiale cadranno dopo di quelli provenienti dalla pupilla marginale (extrassiali). Per convenzione in questo caso l'aberrazione è considerata positiva. La cornea umana ha quindi una certa quantità di aberrazione sferica positiva bilanciata da quella del cristallino (abbassamento indice in periferia) (inoltre accomodando aumenta l'accomodazione negativa)



### Asfericità Corneale e Aberrazione sferica

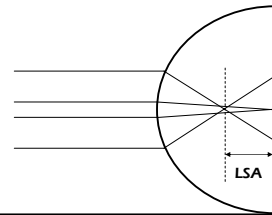
p	e	Q	e <sup>2</sup>	LSA (3mm)	LSA (5mm)	LSA (7mm)
3,0	-1,4	<b>Ellisse Oblata</b>		+2,43	+7,90	+21,3
1,5	-0,7		+0,95	+2,79	+6,04	
1,0	0,0	<b>Sfera</b>		+0,48	+1,37	+2,83
0,8	0,45	<b>Cornea Media</b>		+0,30	+0,84	+1,70
0,5	0,71	<b>Ovale Cartesio</b>		+0,03	+0,07	+0,14
0,0	1,0	<b>Parabola</b>		-0,18	-0,48	-1,85
-1,0	1,41	<b>Iperbole</b>		-1,26	-3,3	-5,93

Da Calossi, 2002; per n=1,376 e r=7,80

### Asfericità Corneale e Aberrazione sferica

*L'aberrazione sferica positiva cresce:*

*All'aumentare del valore p (al diminuire del valore e)  
All'aumentare del diametro pupillare  
Al diminuire della curvatura corneale (incurvamento)*



### Significato dell'asfericità corneale

- Ridurre l'aberrazione sferica**
- Ridurre la differenza di curvatura alla giunzione corneo sclerale**

Lac I 2008/2009

F.Zeri

### Ottica della Contattologia I

TESTI PRINCIPALI DI RIFERIMENTO:

- Mandell RB "Contact lens practice"*
- Phillips AJ, Stone J "Contact Lenses"*
- Sanders e Koch "An Atlas of corneal Topography. Slack 1993"*
- MacRae SM, Kruger RR, Applegate RA. Ablazione Corneale personalizzata. Verduci 2001.*
- Calossi A. La qualità ottica della Cornea. In a cura di Caimi e Brancato. Gli aberrometri. Fabiano 2002*

Lac I 2008/2009

F.Zeri