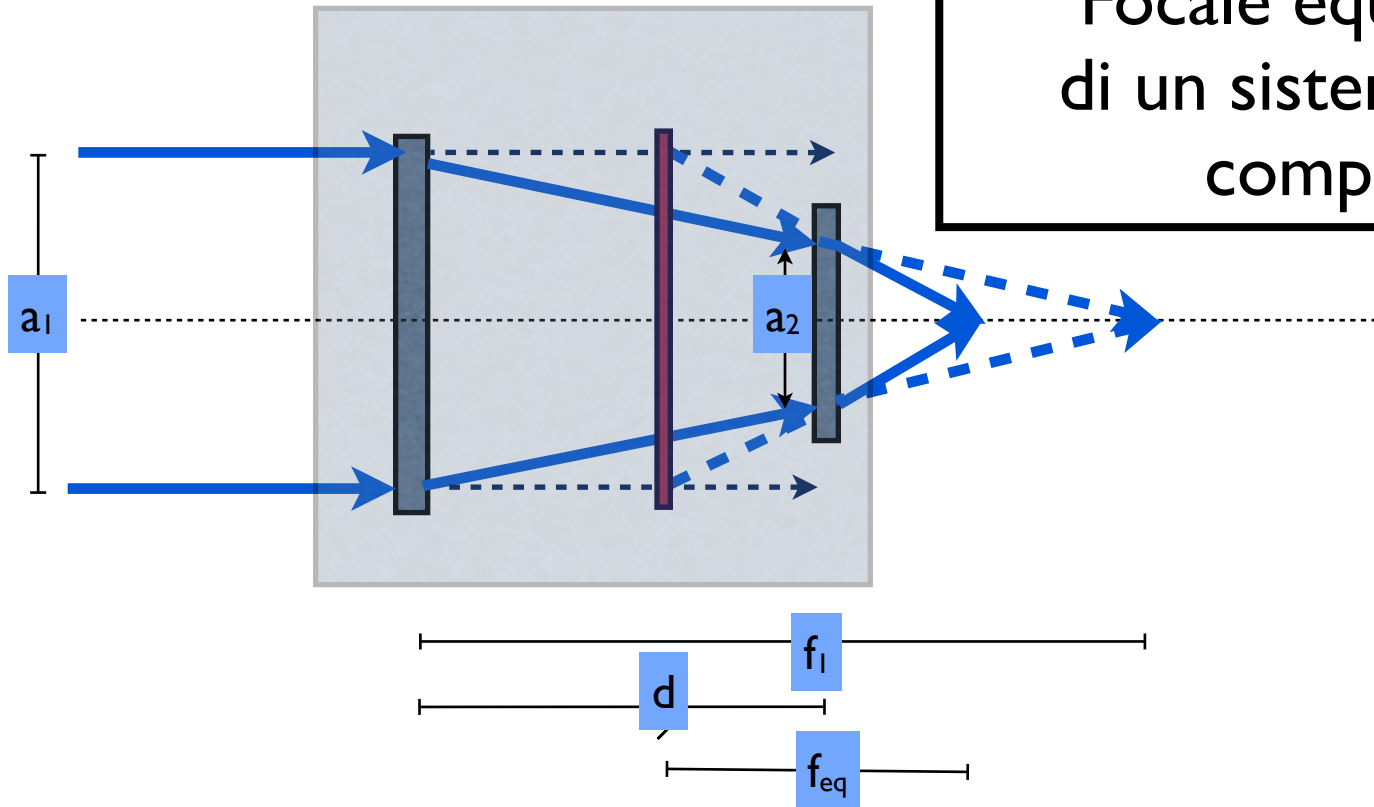


Ottica geometrica - 1° ordine

- si calcolano posizione e ingrandimento dell'immagine di una sorgente
- si ottiene la scala al p.focale $x = f \operatorname{tg} \vartheta \sim f \vartheta$
- dati due elementi ottici 1 e 2, si ottengono posizione e ingrandimento dell'immagine finale considerando l'immagine di 1 come sorgente di 2.
- è possibile definire un unico elemento ottico *equivalente* a un sistema ottico di due o più elementi, ottenendone posizione e *focale equivalente*.
- caso più semplice: due lenti sottili accostate: $f_{eq} = f_1 f_2 / (f_1 + f_2)$

Focale equivalente
di un sistema ottico
composto



$$DA: a_1 : a_2 = f_1 : (f_1 - d) ; a_1 : a_2 = f_{eq} : q_2 ; q_2 = (f_1 - d) \cdot f_2 / (f_1 + f_2 - d)$$

$$SEGUE : f_{eq} = f_1 \cdot f_2 / (f_1 + f_2 - d)$$

$$\text{Scala al Piano Focale} \quad x = \vartheta \cdot f_{eq}$$

Focale equivalente in sistemi composti

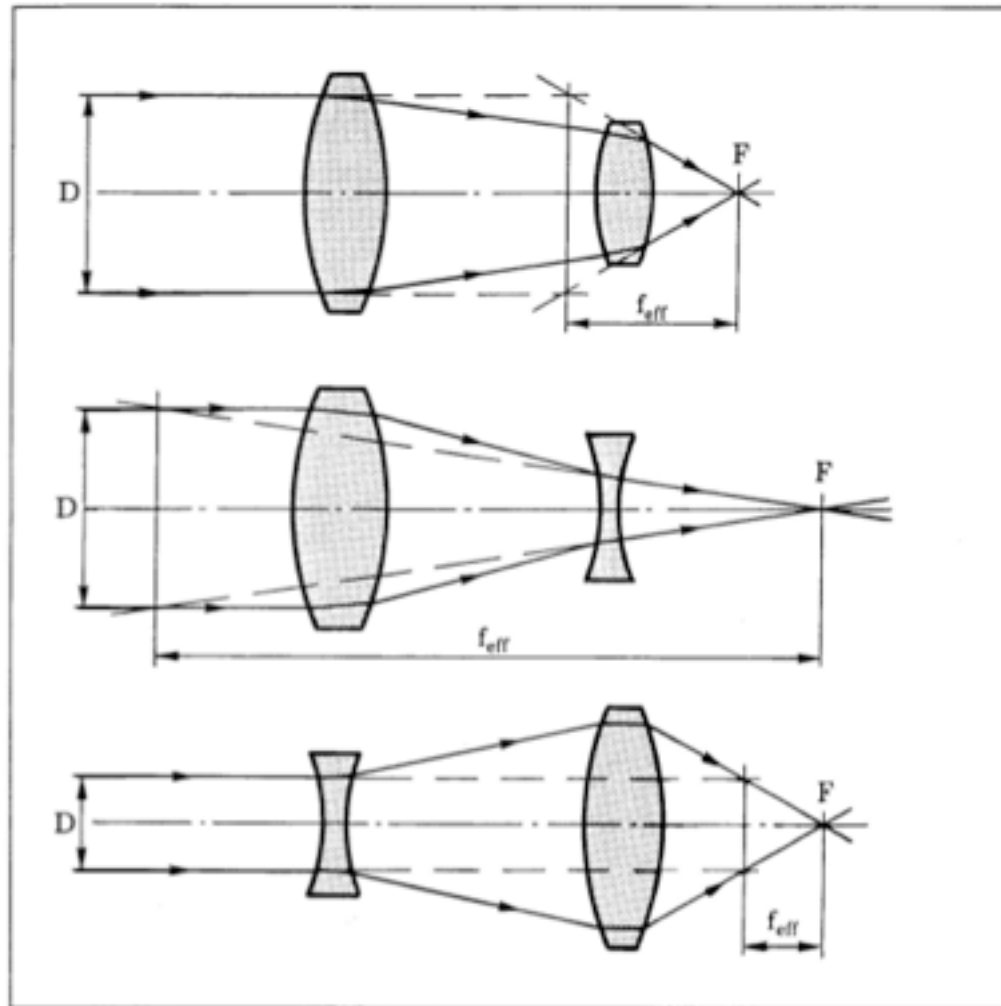


Fig. 3.5 Effective Focal Lengths for Lens Combinations.

Corso di ottica astronomica

Il seguito contiene le slides relative a :

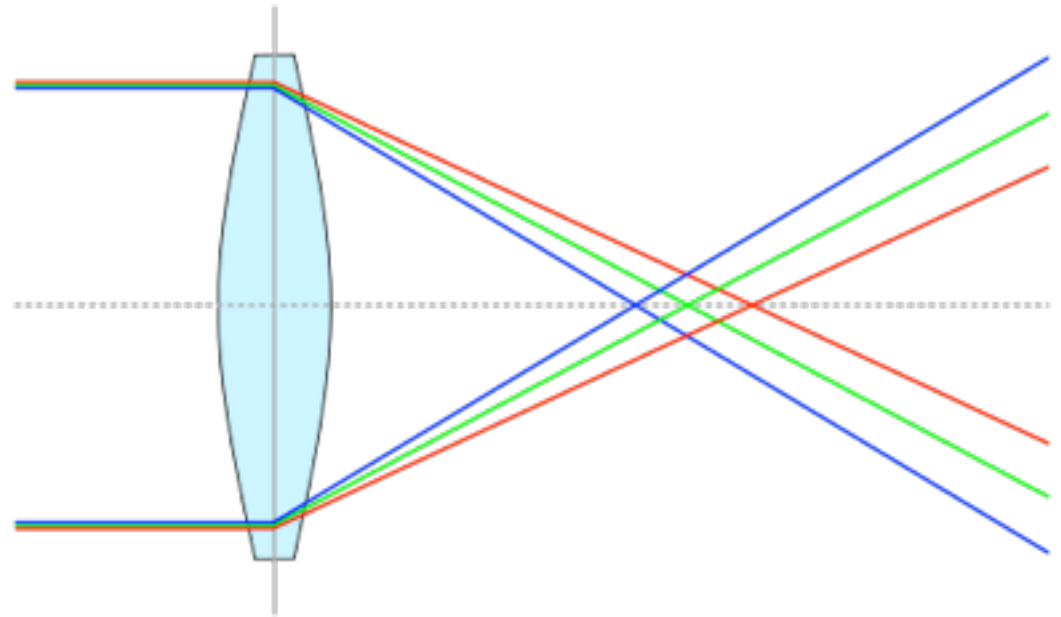
- Aberrazioni
- PSF
- Sampling di un'immagine

Aberrazione cromatica

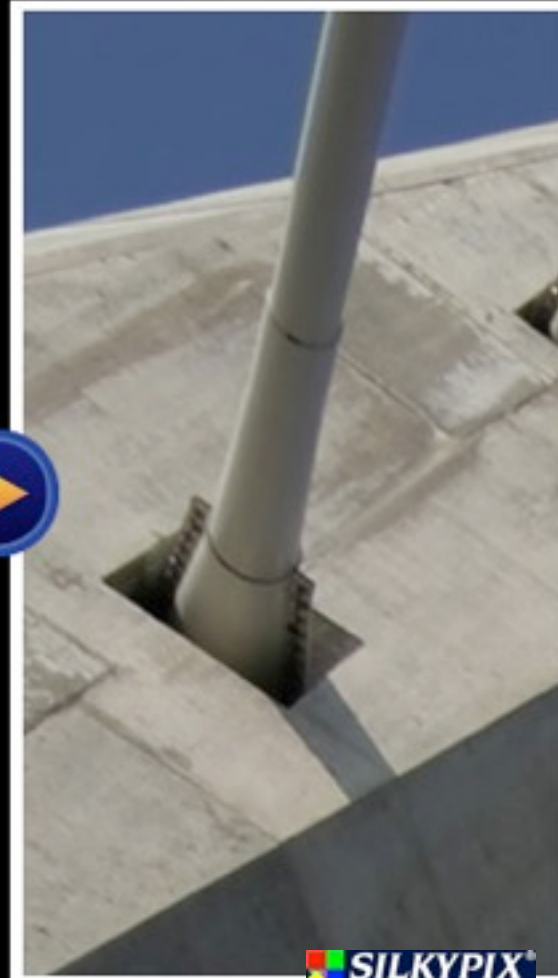
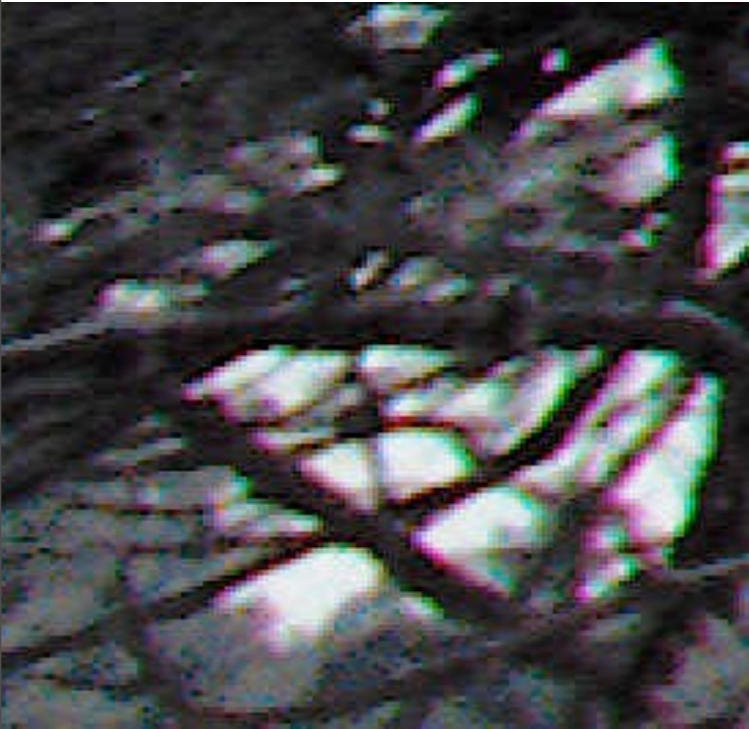
È dovuta alla dipendenza dell'indice di rifrazione dalla lunghezza d'onda. La lunghezza focale varia quindi con λ e un'immagine policromatica appare "diffusa".

Esempio:

$\lambda(\text{nm})$	n vetro crown	n vetro flint
434	1,533	1,675
589	1,520	1,650
656	1,517	1,644

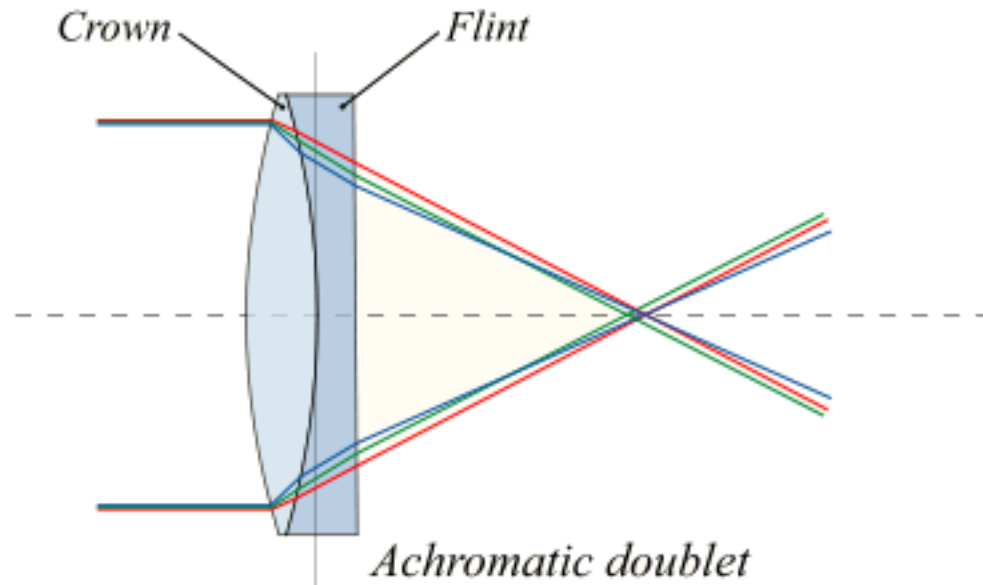


Aberrazione cromatica

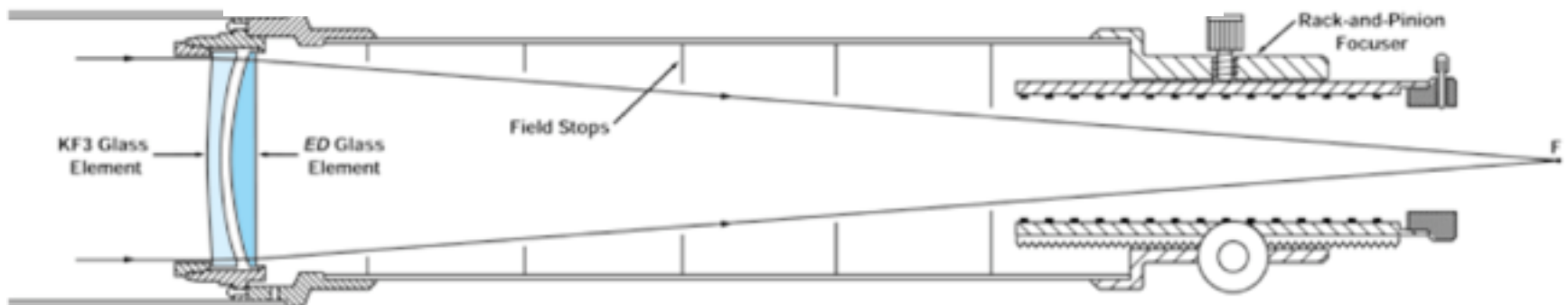


Bruno Marano - Corso di ottica

Lenti acromatiche



da: Meade Inc.



In the Meade ED Apochromatic design, light enters from the left, passes through the hard KF3 (light blue) glass element of the objective lens, then through the ED (darker blue) glass element and focuses at F. The ED glass element permits the optical designer, by a precisely-computed combination of lens surface radii and air-spacing distance between the elements, to bring all visible wavelengths (colors) of light to virtually the same focus. Field stops located at intervals along the inside diameter of the main optical tube effectively block stray, off-axis light rays from reaching the focal plane.

Aberrazioni geometriche

Primo ordine: la posizione di una sorgente puntiforme all'infinito sul piano focale è data da (θ direzione rispetto all'asse ottico):

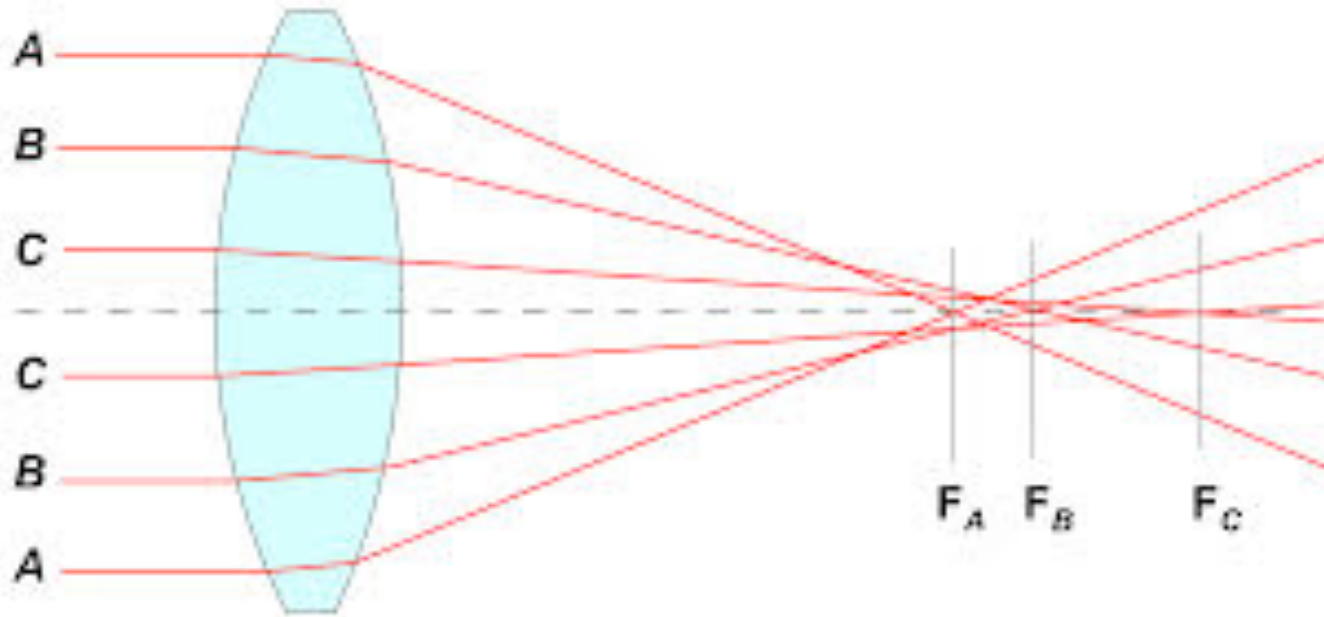
$$x = f \cdot \theta$$

Terzo ordine (Seidel, 1850) (caso: specchio; y distanza dal vertice dello specchio del raggio, R raggio di curvatura, c_i coefficienti dipendenti dalla forma dello specchio):

$$x = f \cdot \theta + c_1 y^3 / R^3 + c_2 y^2 \theta / R^2 + c_3 y \theta^2 / R + c_4 \theta^3$$

I termini di 3° ordine rappresentano rispettivamente: aberrazione sferica, coma, astigmatismo, distorsione geometrica.

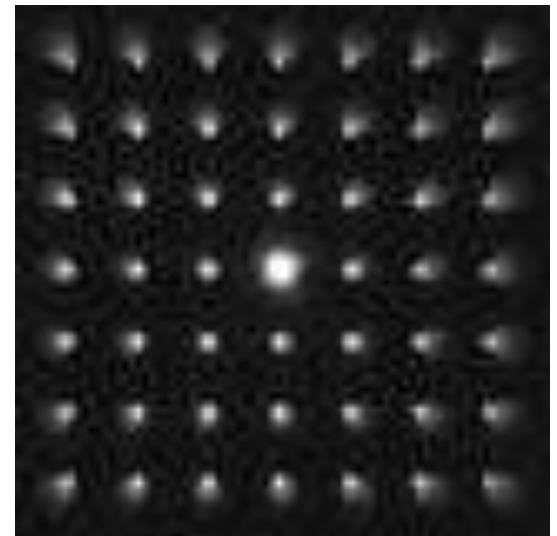
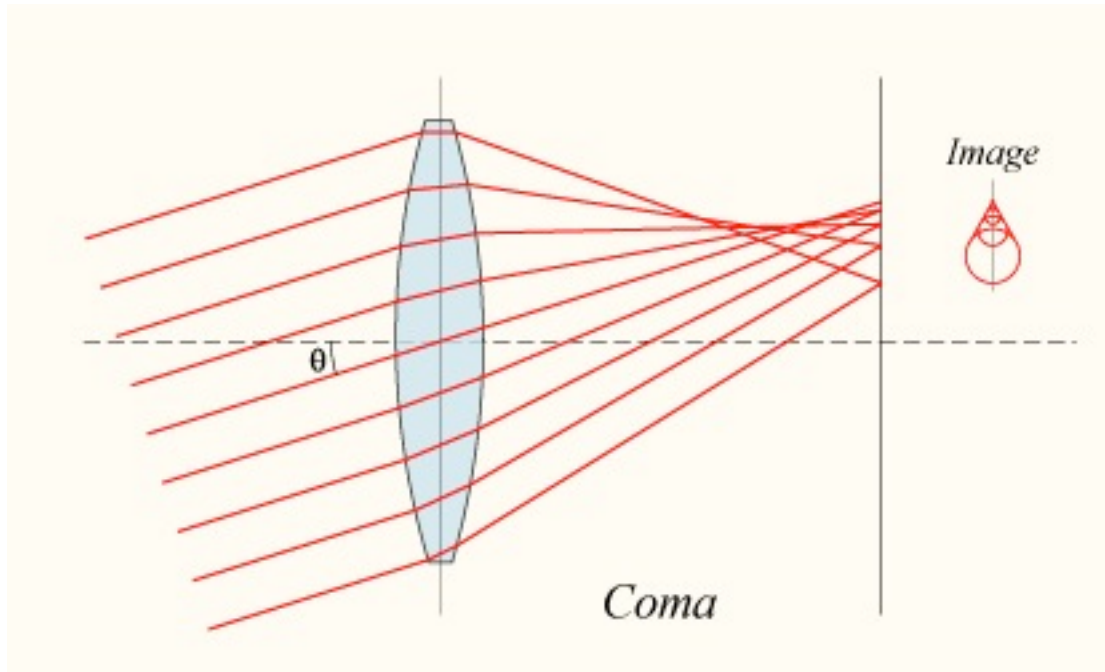
Aberrazione sferica



I raggi in A convergono in F_A , quelli in B in F_B , quelli in C in F_C .

credit: H. Hahn

Coma



Astigmatismo

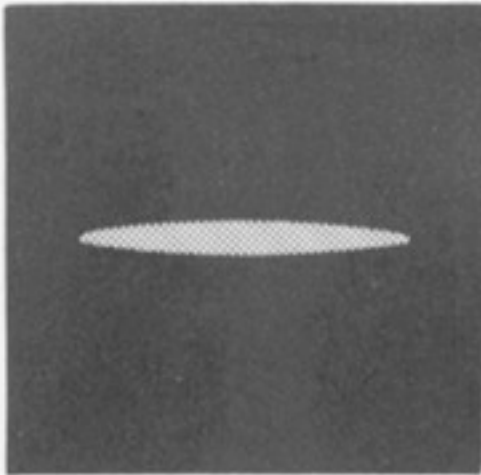
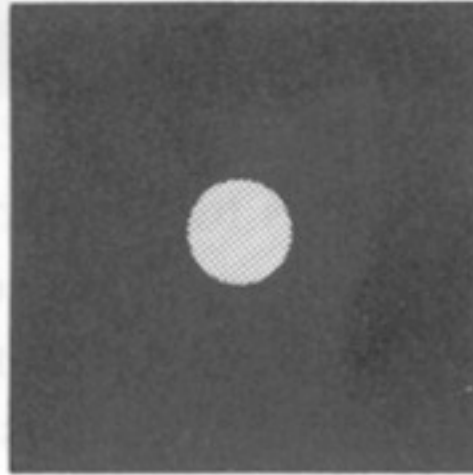


Image to one side
of the position of
the circle of
least confusion



Circle of
least confusion

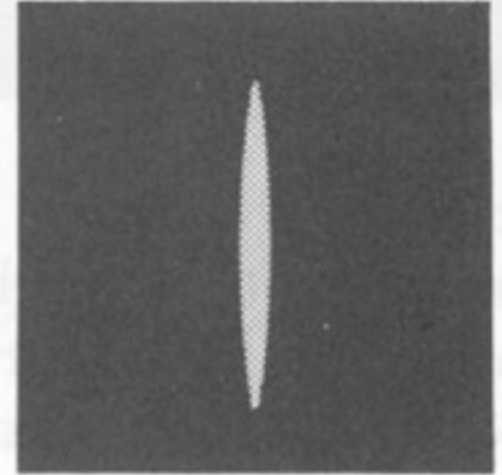
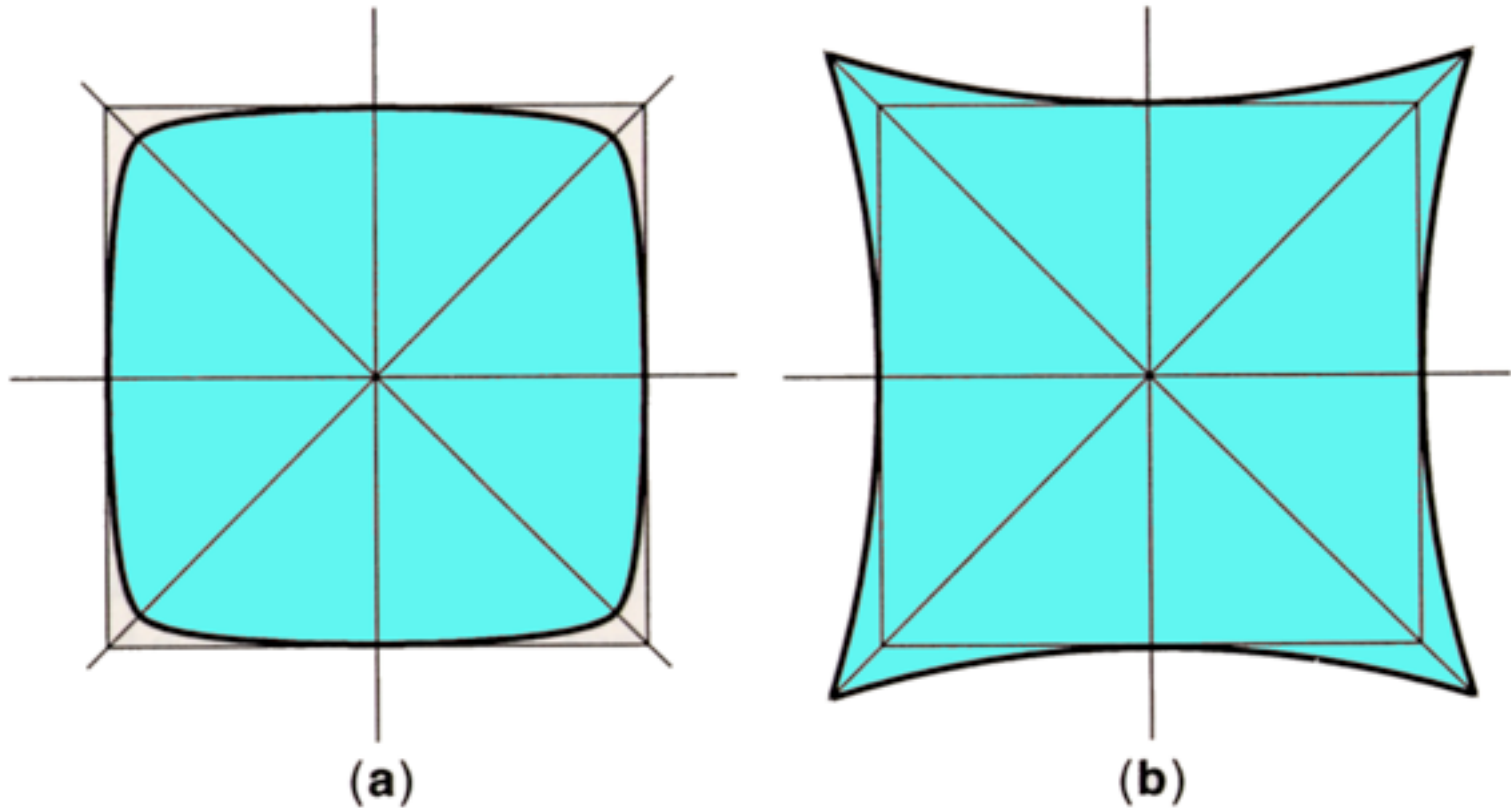


Image to the other
side of the position
of the circle of
least confusion

Da : Kitchin, Telescopes and Techniques

Bruno Marano - Corso di ottica

Distorsione



Distortion: (a) barrel, (b) pincushion

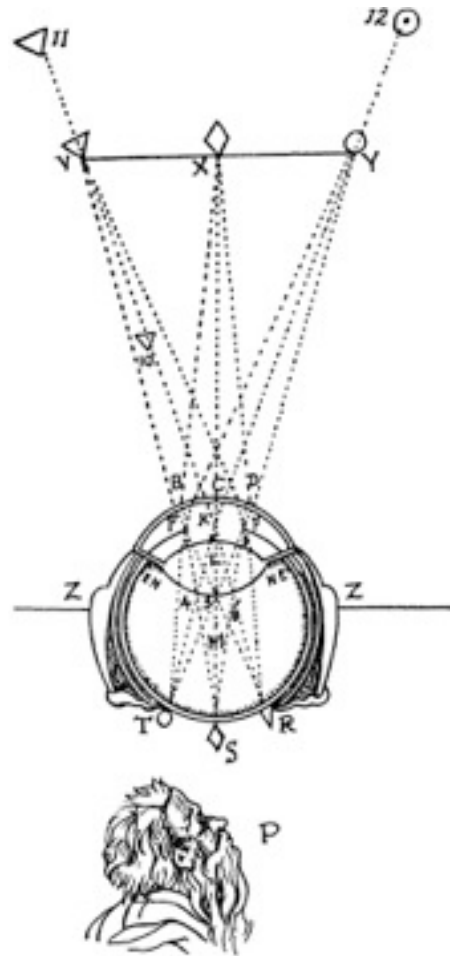
1 - “Profondita di fuoco”

2 – Esempio di aberrazione cromatica e geometrica assente in asse (sopra) e che appare fuori asse.



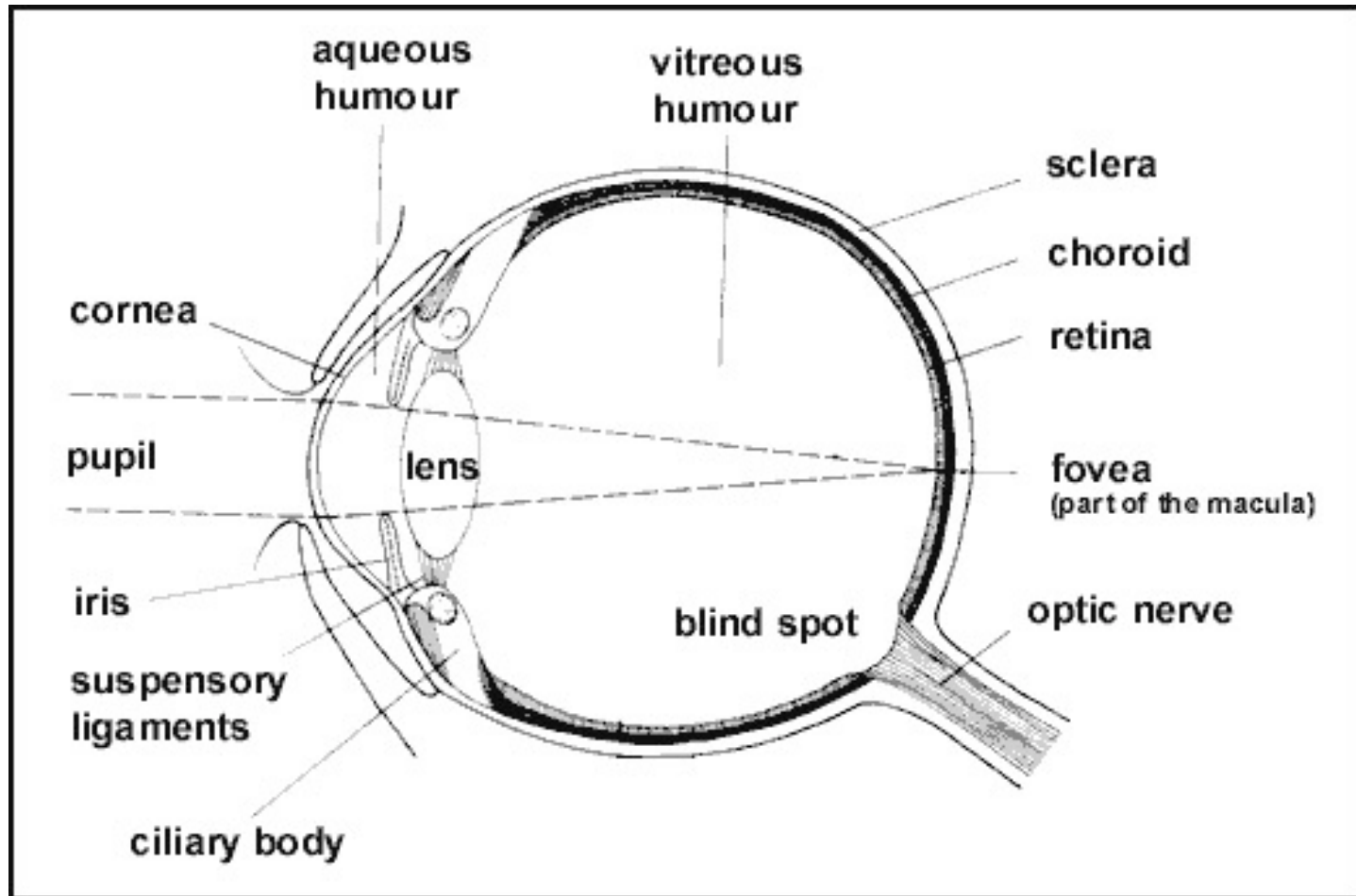
L'occhio di Cartesio

(un elemento del corpo analizzato come strumento ottico)



Bruno Marano - Corso di ottica

L'occhio



Bruno Marano - Corso di ottica

Piccoli esperimenti sull'occhio

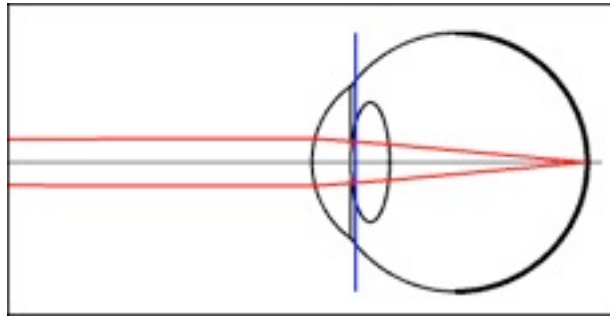
1 - Il punto della retina in cui si inserisce il nervo ottico è cieco.
Disegnare croce e disco a distanza di 10cm; fissare il disco da 30cm circa, con il solo occhio sinistro, coprendo con la mano l'occhio destro.
Variando un poco la distanza, dopo qualche tentativo, vedrete scomparire la croce, che riappare scoprendo l'occhio destro (che ha il "punto cieco" dal lato opposto) o mutando il puntamento dell'occhio sinistro



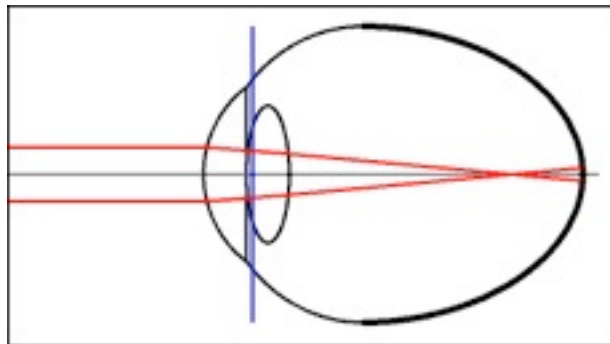
2 - L'immagine sulla retina è rovesciata, essendo prodotta da una lente convergente. Il cervello la "raddrizza", rendendola coerente alle percezioni del resto del corpo.

Prova: con un dito premete da sotto, dall'esterno dello zigomo, il bulbo oculare: vedrete deformarsi il campo visivo in alto, tra naso e sopracciglio.

Schema dell'occhio umano focale "nominale" 24 mm.



occhio normale: il cristallino disteso ha il fuoco sulla retina



Occhio miope: il cristallino disteso ha il fuoco "davanti" alla retina; l'immagine di un oggetto lontano appare diffusa. La correzione avviene con una lente divergente, che "allunga" la focale (imm.successiva)

Correzione della miopia

d = profondità bulbo

f_c = focale crist. a riposo

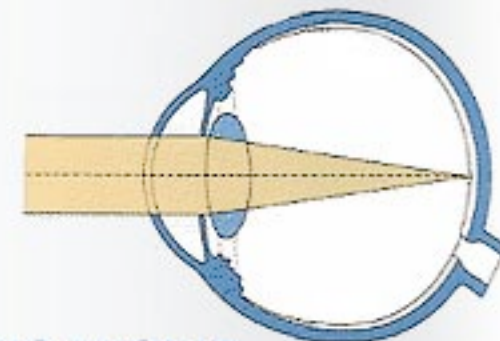
f_1 = focale lente correttrice

$$1/f_1 + 1/f_c = 1/d$$

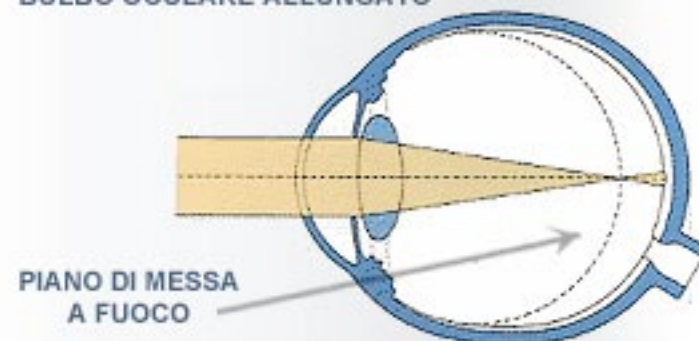
Se $f_c < d$ (miopia), $f_1 < 0$;

la correzione richiede una lente divergente.

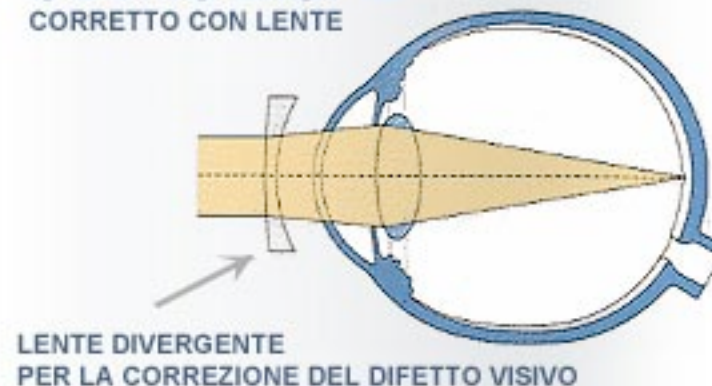
OCCHIO NORMALE



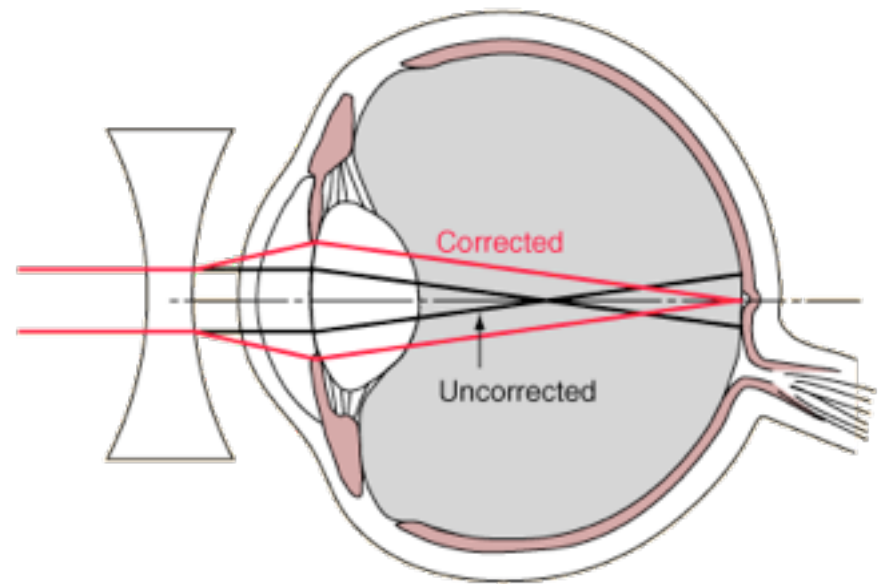
OCCHIO MIOPIE BULBO OCULARE ALLUNGATO



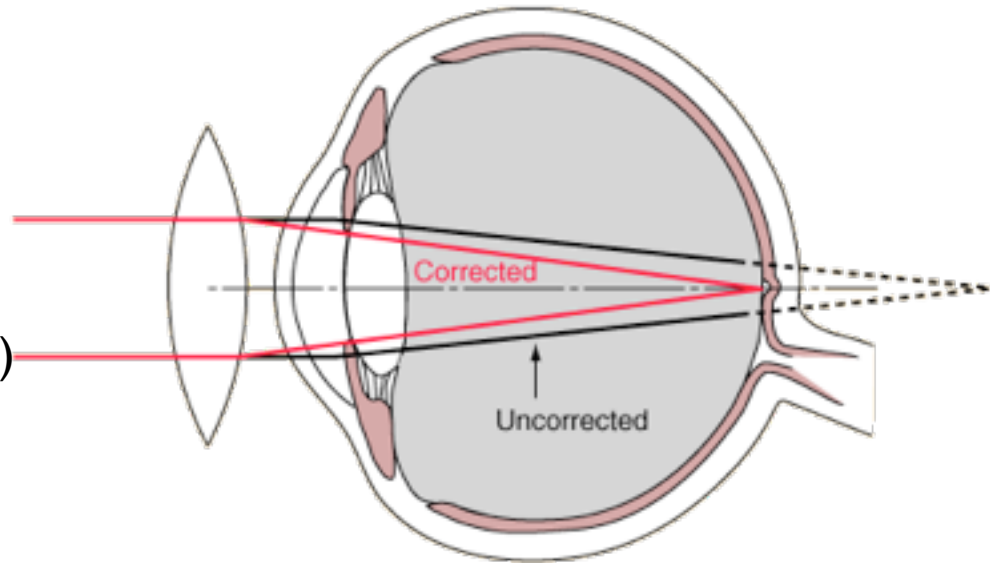
OCCHIO MIOPIE CORRETTO CON LENTE



Correzione della miopia
con lente divergente



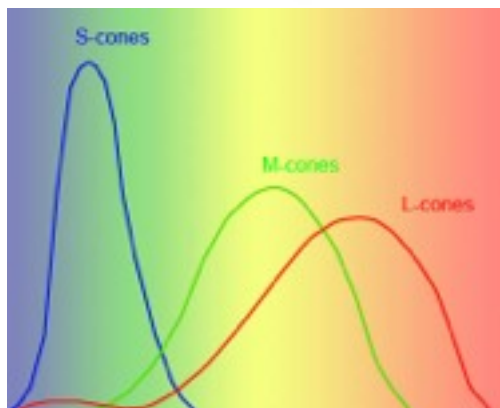
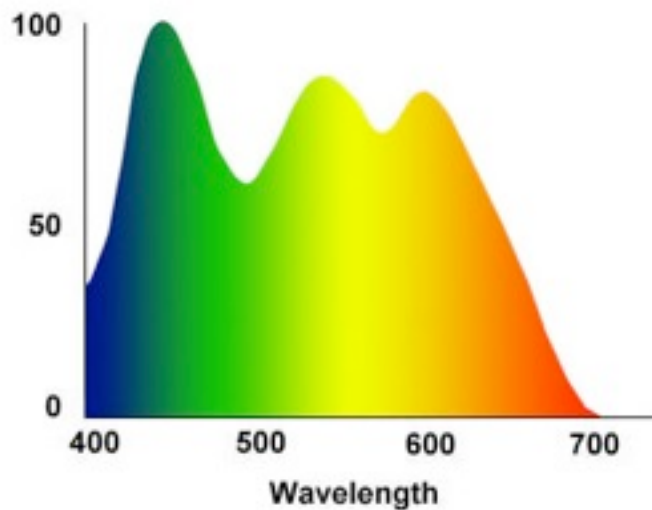
Correzione della ipermetropia
e della presbiopia con lente convergente
(attenzione, la natura del difetto è diversa:
la presbiopia deriva da un irrigidimento del
cristallino che si manifesta attorno ai 50 anni)



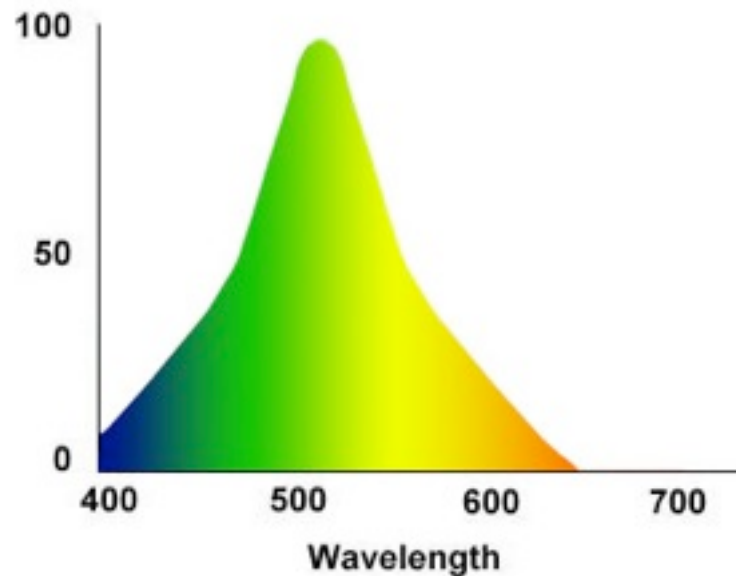
Immagini dal sito



Visione diurna (ds): coni con sensibilità differenziata (visione a colori).



Visione notturna: bastoncelli (rods) con sensibilità spettrale indistinta



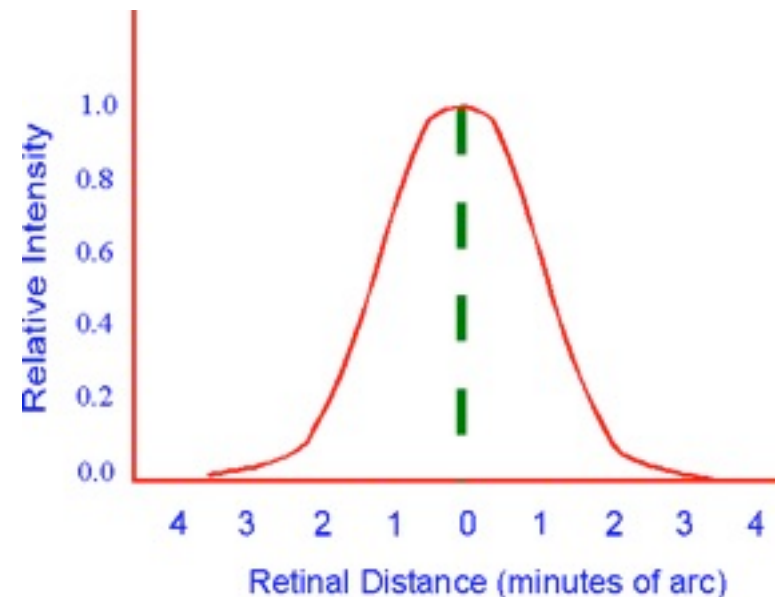
PSF

Si definisce Point Spread Function (PSF) la struttura che assume l'immagine di una sorgente puntiforme.

PSF dell'occhio umano (indicativa):
rappresenta il profilo dell'immagine sulla retina di una sorgente puntiforme all'infinito.

N.B.: la dimensione sulla retina è espressa come dimensione angolari di una sorgente all'infinito.

Dato: 1 arcmin \sim 60 micron sulla retina



La struttura della PSF è connessa alla risoluzione

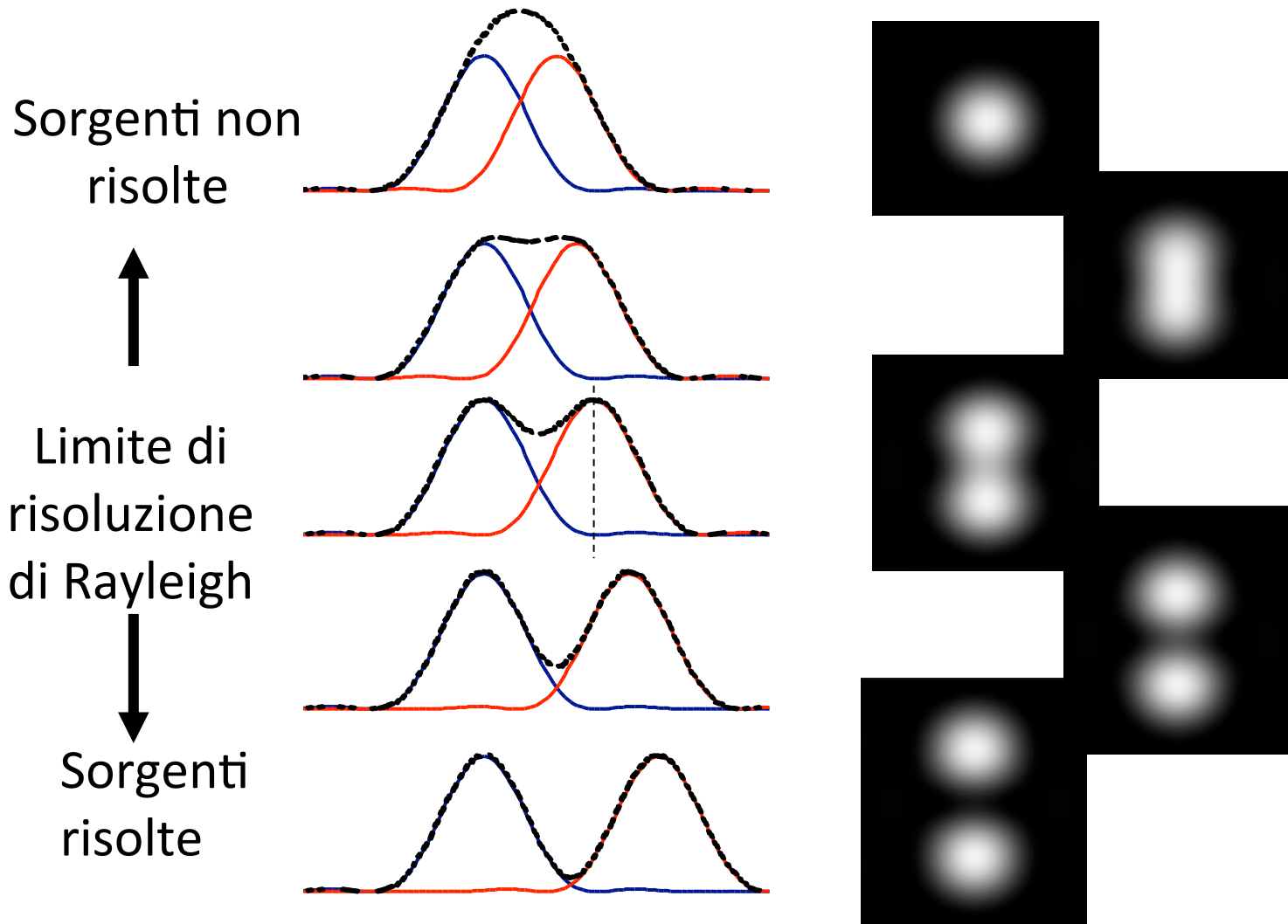


Immagine: A.Roorda http://voi.opt.uh.edu/voi/WavefrontCongress/2003/presentations/roorda/Roorda_Optics.ppt

Bruno Marano - Corso di ottica

Campionamento dell'immagine

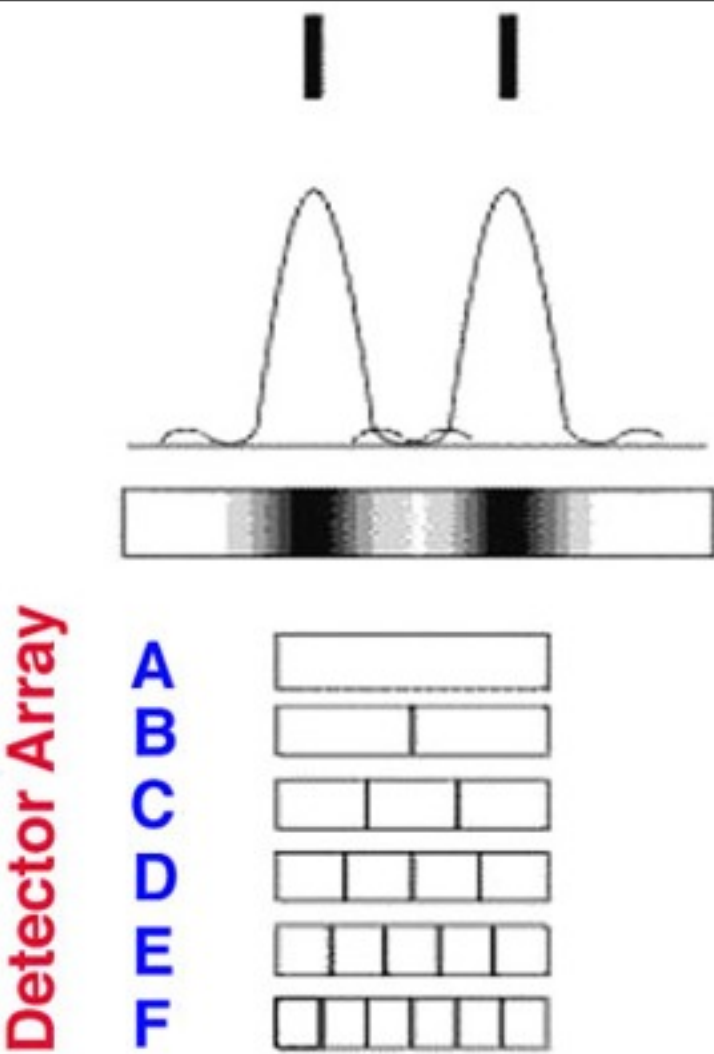
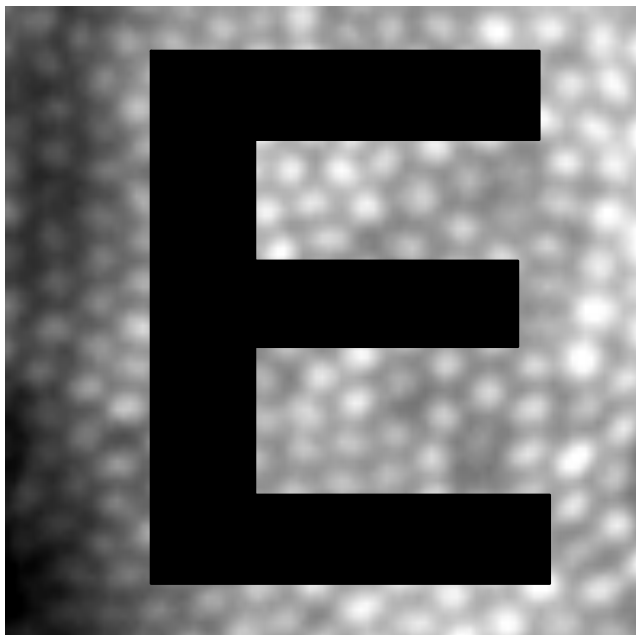


Figure 13. Two lines with their line spread function, person's perception of the two lines and various detector arrays. Only detector arrays C (3 detectors) through to F (6 detectors) have a fine enough detector density to resolve the two lines, i.e. detect the gap. Detector array A or B, that have one and two detectors, respectively, cannot signal a yes-no-yes response.

Problema del Samplig di una immagine

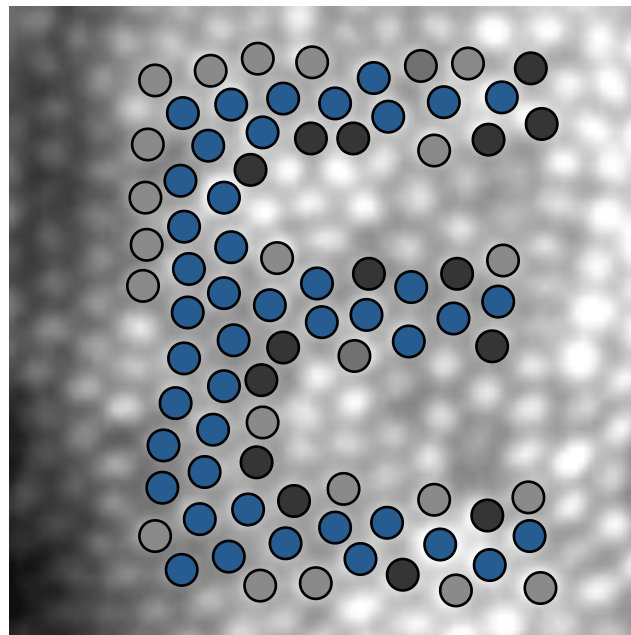
Esempio: I coni nella fovea dell'occhio

Projected Image



20/20 letter

Sampled Image



5 arc minutes

La lettera E è chiaramente distinguibile attraverso la struttura discreta dei recettori

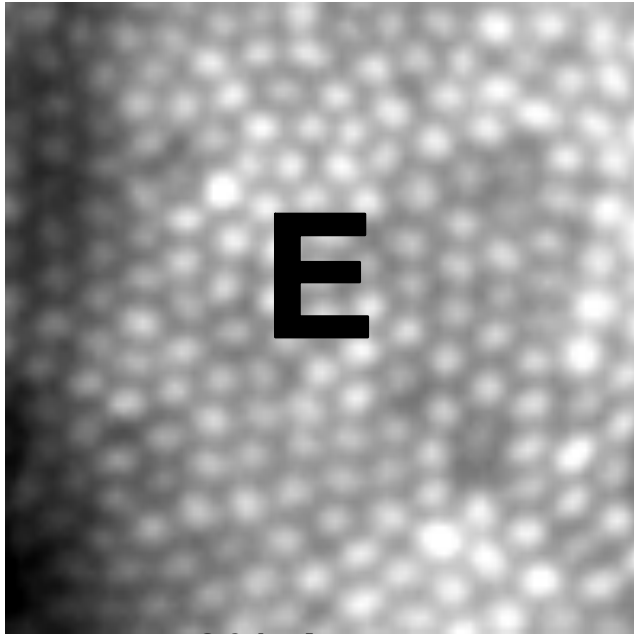
Questa immagine e la seguente sono estratte dal sito: A.Roorda

http://voi.opt.uh.edu/voi/WavefrontCongress/2003/presentations/roorda/Roorda_Optics.ppt

Bruno Marano - Corso di ottica

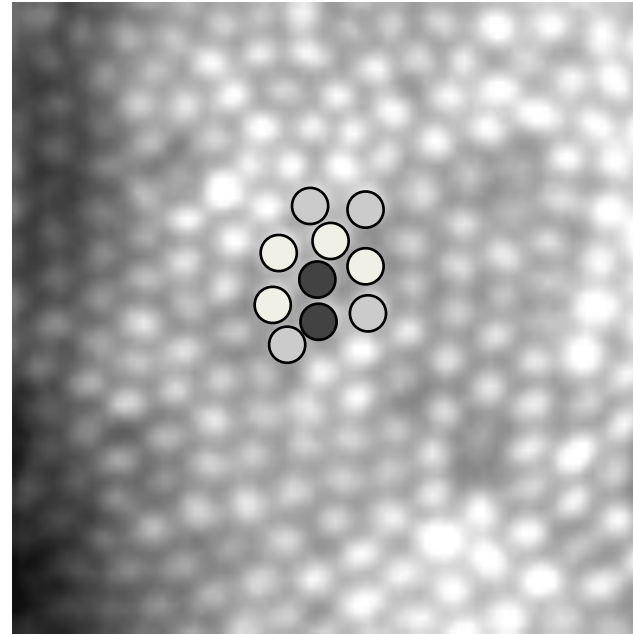
Consideriamo una E quattro volte più piccola, proiettata da un'ottica "perfetta"

Projected Image



20/5 letter

Sampled Image



5 arc minutes

La lettera E è indistinguibile a causa del "undersampling" della sua immagine da parte del reticolo dei coni. La PSF effettiva risulta dalla convoluzione tra la PSF del sistema ottico e la struttura del recettore elementare (pixel).

N.B.: nell'occhio PSF dell'ottica e dimensione dei recettori sono ben bilanciate; la E proiettata dal sistema ottico dell'occhio non apparirebbe così nitida come in figura (vedi scheda 14)

Valutate la PSF del vostro occhio



Occhio umano:

La spaziatura dei coni (singole terminazioni nervose fotosensibili) nella fovea ~ 120/grado: la massima acuità visiva è circa 60 “linee/grado”.

Ovvero:

La risoluzione angolare massima consentita dal sampling è $\geq 1'$. Questo valore corrisponde alla acuità data dall'ottica nella regione della fovea.

N.B.: 1 grado sulla retina corrisponde a circa 0.3 mm, la spaziatura tra i coni nella fovea è di circa 5 micron

