

# Esperimentazioni 2

## *Strumenti ottici*

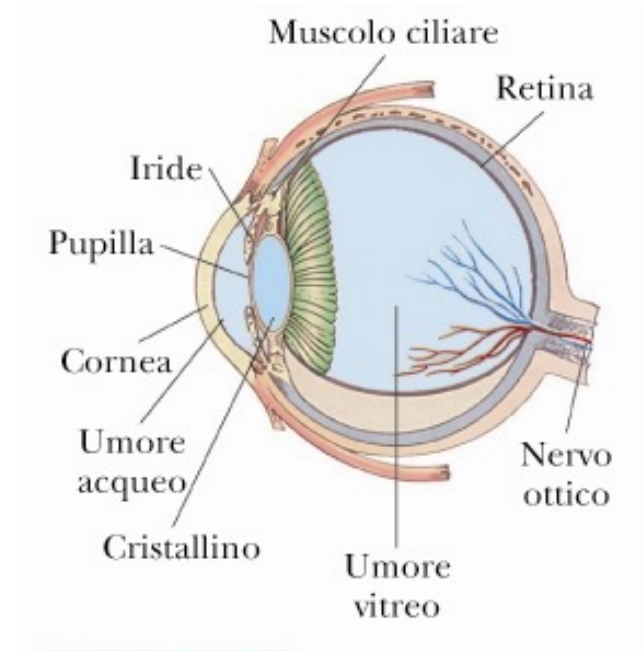
Modulo di Ottica e Fisica Moderna

Elisa Palazzi - Exp 2 - Lezione 2

# Occhio umano

## Schema di funzionamento dell'occhio

- la luce entra nell'occhio attraverso un'apertura variabile (diaframma), la pupilla
  - viene fatta convergere dal sistema ottico cornea-cristallino (lente convergente) sulla retina, collegata al nervo ottico.
  - La curvatura del cristallino può venire leggermente modificata dall'azione del muscolo ciliare;
    - oggetto lontano: il **muscolo ciliare è rilassato** e il sistema cornea-cristallino ha la massima lunghezza focale, pari a circa 2.5 cm (distanza tra la cornea e retina).
    - oggetto vicino: il muscolo ciliare diminuisce leggermente il raggio di curvatura del cristallino, facendo pertanto diminuire la distanza focale in modo che l'immagine si formi ancora sulla retina. Questo processo è detto accomodamento.
- NOTA:
- se l'oggetto è troppo vicino all'occhio, il cristallino non riesce a formare un'immagine nitida sulla retina (immagine sfuocata).
  - Il punto più vicino di cui il cristallino riesce a formare un'immagine nitida sulla retina è detto punto prossimo;
  - in condizioni di riposo l'occhio normale è accomodato all'infinito, ma esso può senza fatica rimanere accomodato a lungo alla distanza di 25cm, detta distanza della visione distinta.
  - la distanza di del punto prossimo aumenta con l'irrigidimento del cristallino dovuto all'invecchiamento. Questo causa la presbiopia dopo i 40 anni



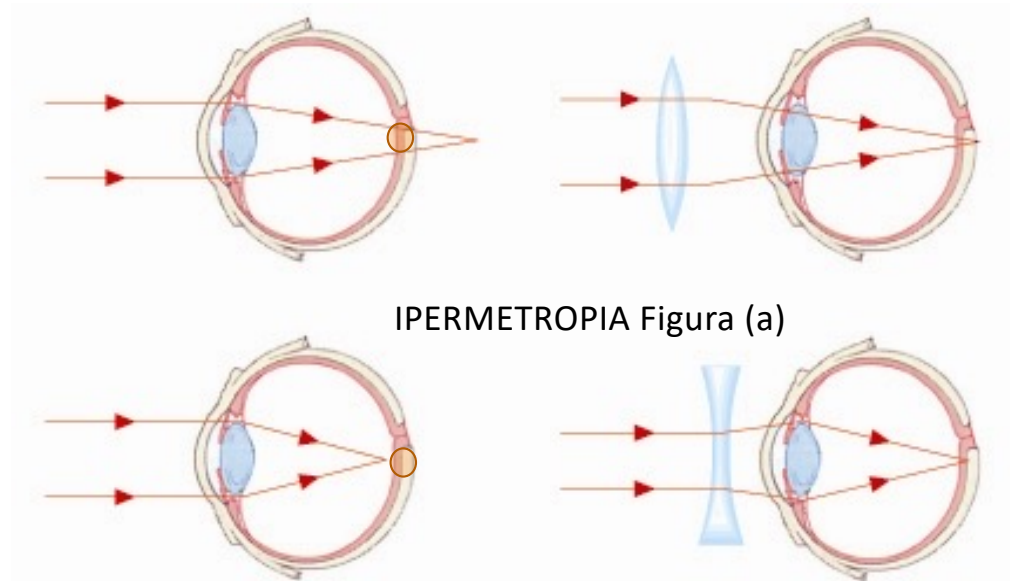
# Occhio: difetti di vista e correzioni

**IPERMETROPIA:** la convergenza dell'occhio è insufficiente, le immagini degli oggetti vicini si formano dietro la retina

- Una persona ipermetrope è capace di vedere distintamente gli oggetti lontani (è richiesta una piccola convergenza)
- ha difficoltà nel vedere distintamente gli oggetti vicini.
- L'ipermetropia si corregge con una lente convergente (Figura a)

**MIOPIA:** la convergenza dell'occhio è eccessiva, le immagini degli oggetti lontani si formano davanti alla retina

- una persona miope vede distintamente gli oggetti vicini perchè i raggi che escono con una grande divergenza vengono comunque fatti convergere sulla retina.
- La miopia si corregge con una lente divergente (Figura b)



MIOPIA Figura (b)

# Invenzione degli occhiali

- E' tutta italiana e si pensa risalga al **1285**.
- Ce n'è traccia nella trascrizione di una predica fatta da Frate Beato Giordano da Rivalto nel 1305 presso la chiesa di Santa Maria Novella, in cui dice:

*"Non è ancora venti anni che si trovò l'arte di fare gli occhiali che fanno vedere bene, ch'è una delle migliori arti e delle più necessarie che 'l mondo abbia, ed è così poco che si trovò: arte novella che mai non fu... io vidi colui, che prima le trovò, e fece e favellaigli."*

# Occhio: ingrandimento visuale

La grandezza apparente di un oggetto è determinata dalla grandezza dell'immagine sulla retina:

- questa è maggiore per un oggetto vicino che per uno lontano;
- anche se l'altezza di un oggetto non varia, la sua grandezza apparente dipende dalla sua distanza dall'occhio.

- ANGOLO VISUALE: misura conveniente della grandezza dell'immagine sulla retina. E' l'angolo sotto cui l'occhi vede l'oggetto:

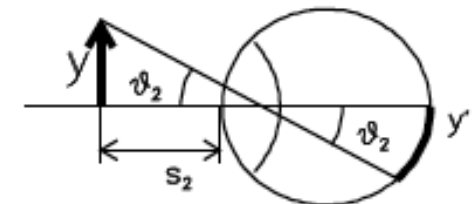
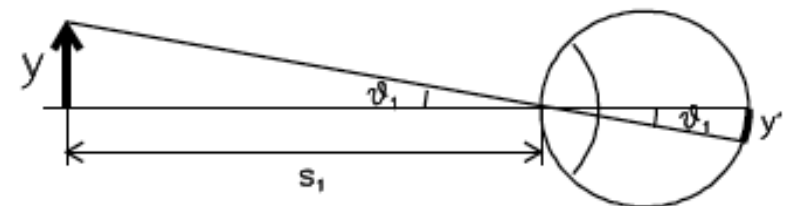
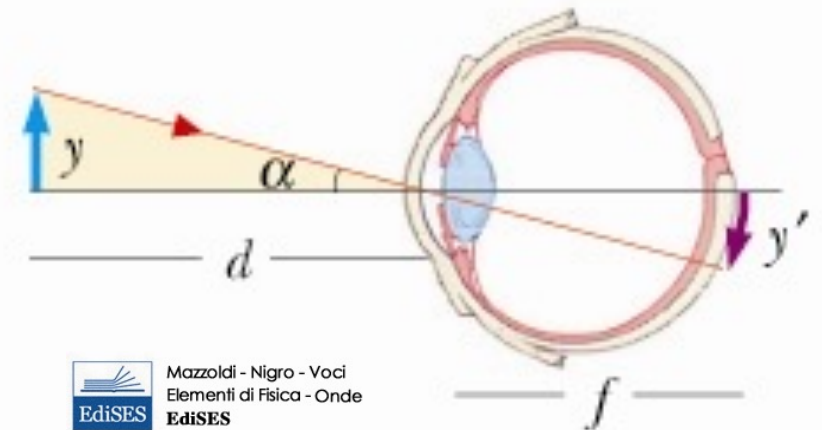
$$\alpha = \frac{y'}{f} = \frac{y}{d}$$

cioè l'altezza dell'immagine è direttamente proporzionale all'altezza dell'oggetto e inversamente proporzionale alla distanza tra l'oggetto e l'occhio. la distanza  $f$  è costante e vale 2.5cm

- INGRANDIMENTO VISUALE:

$$V = \frac{tg\theta_2}{tg\theta_1}$$

NOTA: per aumentare la grandezza apparente di un oggetto senza avvicinarlo all'occhio oltre il punto prossimo si fa uso di strumenti ottici quali la lente d'ingrandimento, il microscopio e il telescopio

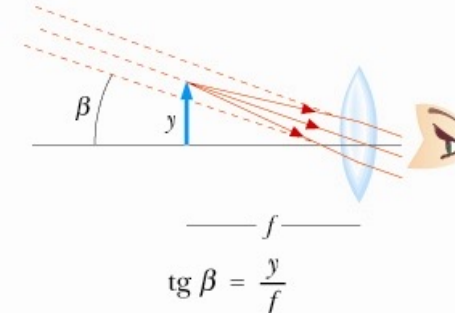
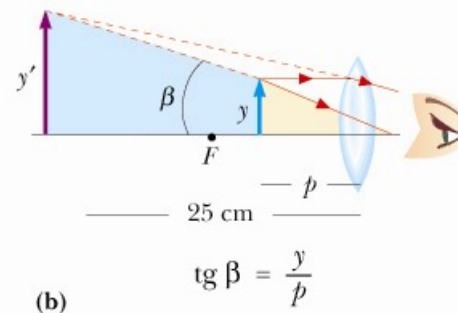
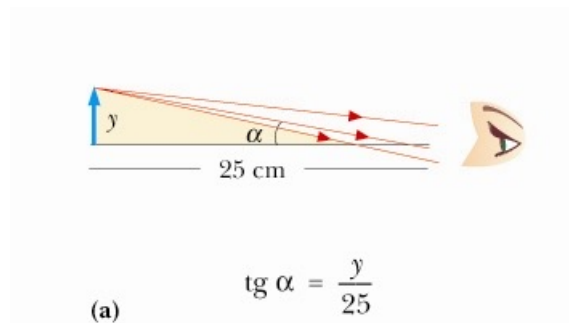


E. Botta, Appunti di Ottica

# Microscopio semplice (Lente d'ingrandimento)

Permette di aumentare la grandezza apparente di un oggetto creando un'immagine virtuale dell'oggetto ad una distanza infinita, che l'occhio mette a fuoco sulla retina tramite il sistema cornea+cristallino

- un oggetto di altezza  $y$  si trova nel punto della visione distinta, ad una distanza  $p=25\text{cm}$ . L'altezza dell'immagine sulla retina è proporzionale all'angolo visuale  $\alpha$  sotto cui l'occhio vede l'oggetto
- davanti all'occhio si pone una lente convergente (lente d'ingrandimento) con distanza focale  $f$  minore di  $25\text{cm}$
- l'oggetto viene posto in un punto a distanza  $p < f$ , la lente genera un'immagine virtuale  $y'$ , diritta e ingrandita
- i raggi che emergono dalla lente (provenienti dall'immagine virtuale) vengono fatti convergere sulla retina dall'occhio
- se l'oggetto è posto nel fuoco della lente ( $p=f$ ), l'immagine virtuale verrà generata all'infinito e l'occhio non deve accomodare in cristallino, rimanendo quindi rilassato



$$\tan \alpha = \frac{y}{p}$$

$$\tan \beta = \frac{y'}{f}$$

$$V = \frac{p}{f} = \frac{25}{f}$$

# Microscopio semplice o Lente d'ingrandimento

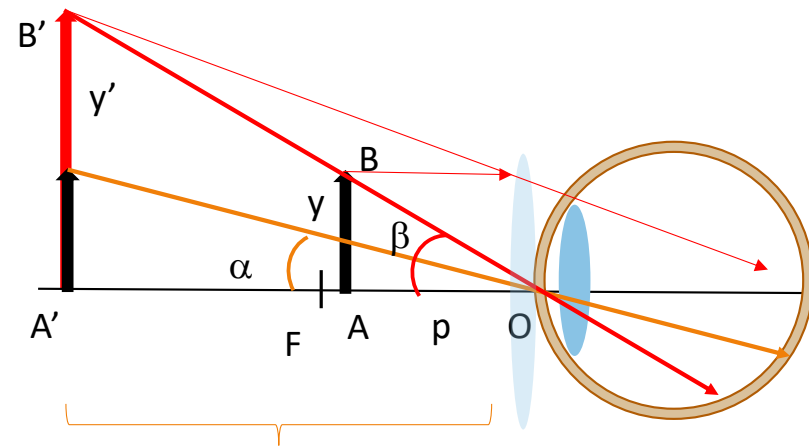
- l'oggetto viene posto in un punto a distanza  $p < f$ , la lente genera un'immagine virtuale  $y'$ , diritta e ingrandita.
  - Si può trovare un valore di  $p$  per cui l'immagine si trova nel punto della visione distinta,  $q = -25\text{cm}$
- Scrivo l'equazione delle lenti sottili

$$\text{Ingrandimento visuale} = \frac{\beta}{\alpha}$$

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{25} = \frac{1}{f}$$

da cui si ricava

$$\frac{1}{p} = \frac{25+f}{25f}$$



25 cm : punto della visione distinta

# Microscopio semplice o Lente d'ingrandimento

- inoltre considerando i rettangoli AOB e A'OB' ottengo

$$\tan \alpha = \frac{y}{25} \text{ e } \tan \beta = \frac{y}{p} = y \frac{25+f}{25f}$$

- se gli angoli sono sufficientemente piccoli posso approssimare la tangente all'angolo e scrivere

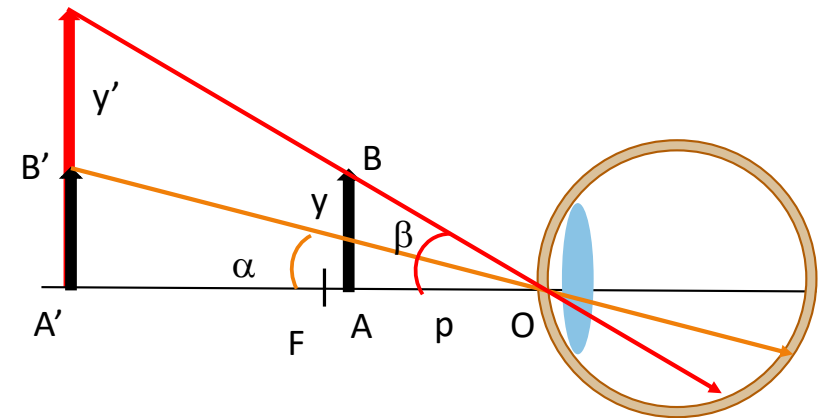
$$\frac{\beta}{\alpha} = y \frac{25+f}{25f} \frac{25}{y} = \frac{25}{f} + 1$$

- invece, se  $p=f$ ,  $q \rightarrow \infty$  e  $\tan \beta = \frac{y}{f}$  da cui

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{y}{f} \frac{25}{y} = \frac{25}{f}$$

L'ingrandimento è massimo quando l'immagine si forma alla distanza della visione distinta

$$\text{Ingrandimento visuale} = \frac{\beta}{\alpha}$$

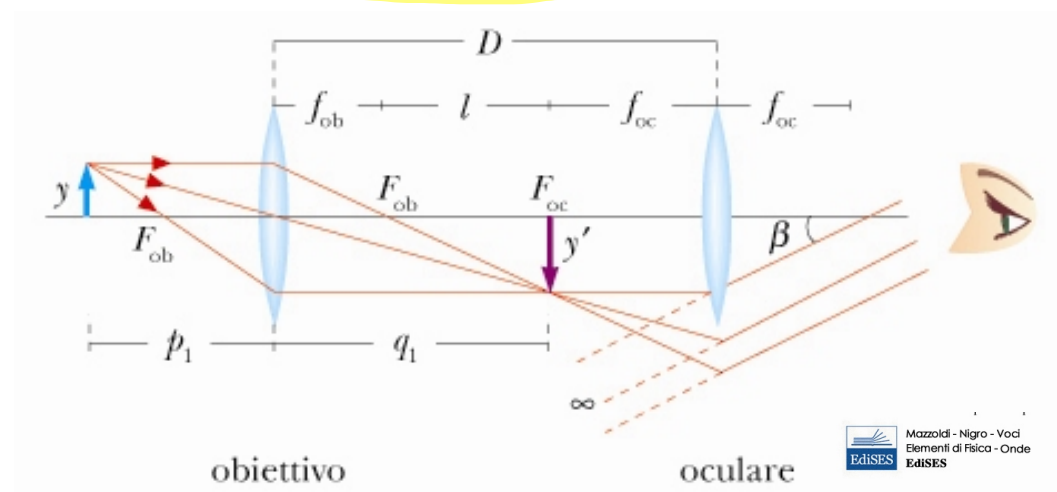




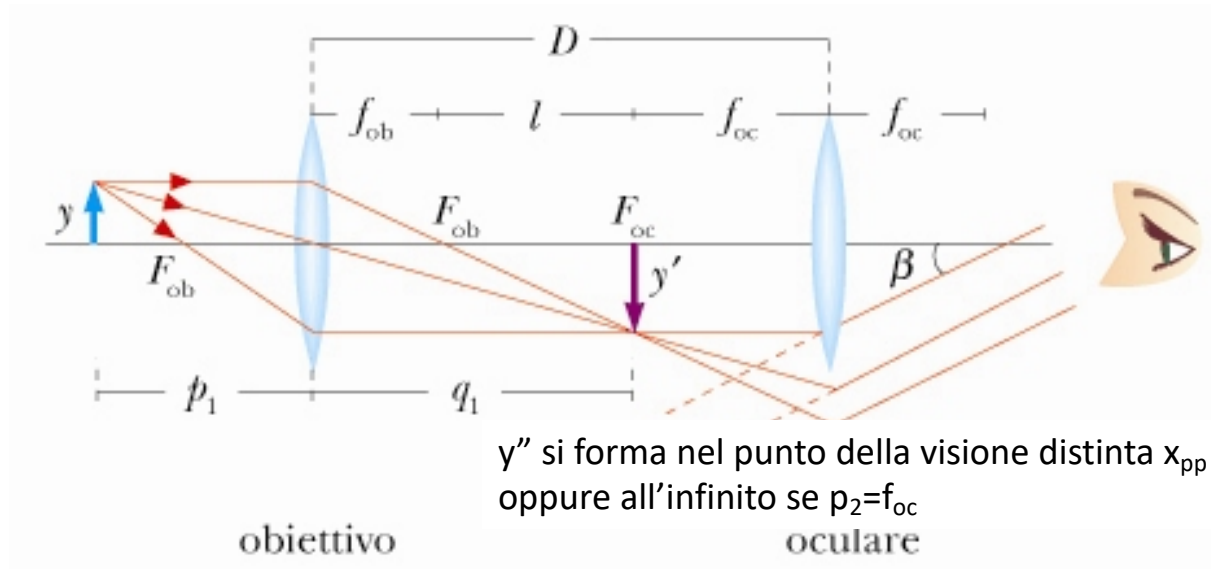
# Microscopio composto

Il microscopio è usato per osservare oggetti molto piccoli posti a distanze piccole.

- è costituito da due lenti convergenti
  - la lente più vicina all'oggetto, detta **obiettivo**, forma un'immagine reale dell'oggetto ingrandita e capovolta ;
  - la lente più vicina all'occhio, detta **oculare**, è usata come lente di ingrandimento per osservare l'immagine dell'obiettivo.
- L'oculare è collocato in una posizione tale che **l'immagine formata dall'obiettivo cada nel suo primo fuoco**; la luce emerge dall'oculare sotto forma di raggi paralleli, come se venissero "dall'infinito"; lo scopo dell'oculare è quello di permettere di vedere l'immagine ingrandita fornita dall'obiettivo nonostante che questa si trovi ad una distanza dall'occhio minore del punto prossimo.
  - Siccome l'immagine data da una lente di ingrandimento è dritta, **l'immagine finale risulta capovolta**.
- La distanza tra il secondo fuoco dell'obiettivo e il primo fuoco dell'oculare è detta **lunghezza ottica del tubo**  $l = 16 \text{ cm}$ .
  - L'oggetto viene posto ad una distanza lievemente maggiore della distanza del primo fuoco dell'obiettivo in modo che si formi un'immagine ingrandita nel primo fuoco dell'oculare, alla distanza  $l + f_{ob}$ , dove  $f_{ob}$  è la distanza focale dell'obiettivo.



# Microscopio: ingrandimento

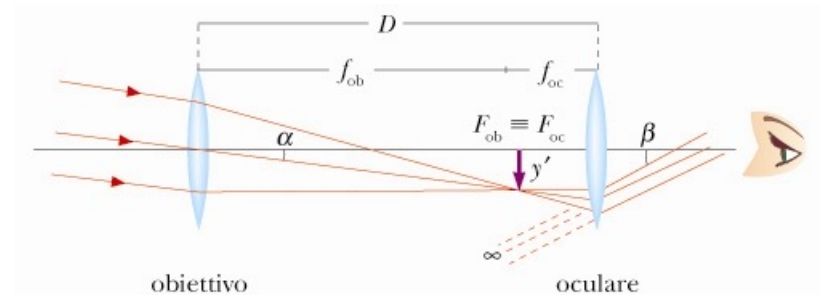


- l'ingrandimento lineare trasversale sulla lente obiettivo è:  $G_{lt,ob} = \frac{y'}{y} = \frac{l}{f_{ob}}$  ; (triangoli simili)
- l'ingrandimento dovuto all'oculare sarà:  $G_{oc} = \frac{y''}{y'} = -\frac{x_{pp}}{f_{oc}}$  (negativo perchè  $Y''$  è diritta)
- L'ingrandimento finale sarà :  $G_{\beta} = \frac{y''}{y} = G_{ob} G_{oc} = -\frac{x_{pp}}{f_{oc}} \frac{l}{f_{ob}}$

# Canocchiale di Keplero o telescopio (1611)

Il telescopio (o cannocchiale) è usato per osservare oggetti molto lontani e molto grandi. Il suo scopo è quello di avvicinare l'immagine dell'oggetto, ovvero aumentare l'angolo visuale sotto cui l'occhio vede l'immagine;

- è costituito da due lenti convergenti: un obiettivo che forma un'immagine reale capovolta e un oculare usato come lente di ingrandimento per osservare quell'immagine. Poiché l'oggetto è molto lontano, l'immagine formata dall'obiettivo giace nel suo fuoco ad una distanza  $f_{ob}$ ;
- $p \gg f_{ob}$ ,  $Y' \ll Y$ 
  - lo scopo dell'obiettivo non è quello di ingrandire l'oggetto, ma di formare un'immagine tanto vicina da poter essere osservata con l'oculare.
  - Questa immagine si trova nel secondo fuoco dell'obiettivo e nel primo fuoco dell'oculare per cui la distanza tra obiettivo ed oculare sarà  $f_{ob} + f_{oc}$ .



**Figura 12.52**

Schema del cannocchiale di Keplero.

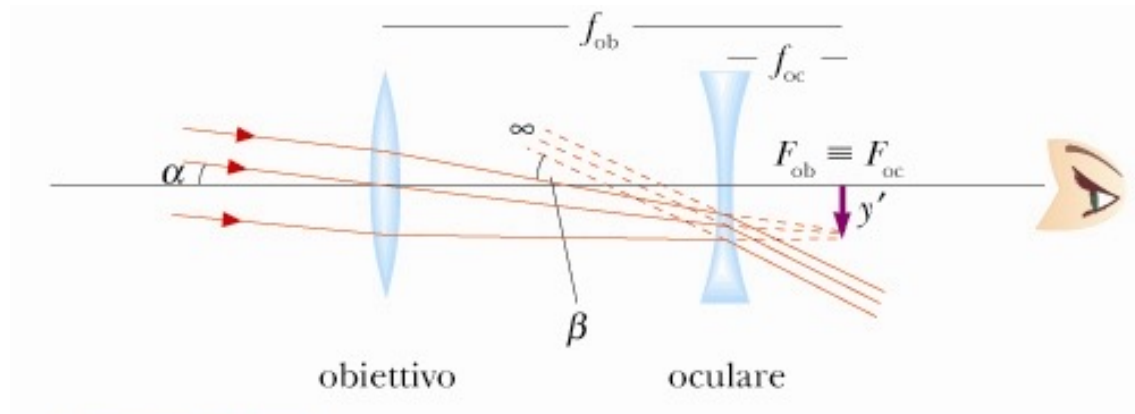


Mazzoldi - Nigro - Voci  
Elementi di Fisica - Onde  
**EdiSES**

- ingrandimento dovuto all'obiettivo:  
 $\tan \alpha = \frac{y}{f_{ob}}$
- ingrandimento dovuto all'oculare sarà  
 $\tan \beta = \frac{y}{f_{oc}}$
- L'ingrandimento finale sarà  $G_{\beta} = \frac{f_{ob}}{f_{oc}}$

per avere un grande ingrandimento è necessario avere un obiettivo con una grande distanza focale ed un oculare con una piccola distanza focale

# Canocchiale di Galileo



Mazzoldi - Nigro - Voci  
Elementi di Fisica - Onde  
**EdiSES**

- nel canocchiale di Galileo la lente oculare è divergente, l'immagine finale sarà quindi dritta.
- l'ingrandimento finale sarà dato da  $G_{\beta} = \frac{f_{ob}}{f_{oc}}$
- Galileo costruì il primo canocchiale nel 1609 e già nel 1610 aveva ottimizzato il sistema arrivando a un ingrandimento pari a circa 20