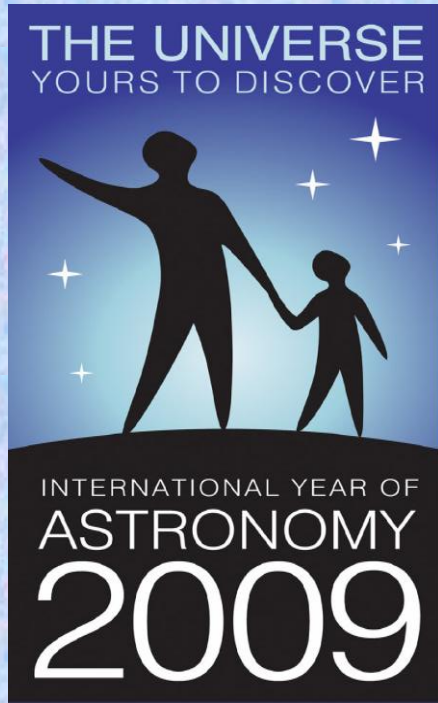


Università degli Studi di Palermo  
Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali  
Corso di Laurea in Fisica  
**Progetto Lauree Scientifiche**



**Laboratorio di**  
**Ottica, Spettroscopia, Astrofisica**

**Antonio Maggio**  
Istituto Nazionale di Astrofisica  
Osservatorio Astronomico di Palermo

# Laboratorio di Ottica, Spettroscopia, Astrofisica

Quarta lezione

Dal cannocchiale di Galileo alla  
fotografia digitale  
(sistemi ottici)

Antonio Maggio

Istituto Nazionale di Astrofisica  
Osservatorio Astronomico di Palermo

# Riassunto 3<sup>a</sup> lezione

- L'equazione delle lenti sottili: applicazioni
- Il funzionamento dell'occhio
- Sistemi con 2 lenti convesse:  
telescopi di tipo Kepleriano e ancora il  
*Sunspotter*

# Sommario 4<sup>a</sup> lezione

- Riassunto dei principi di ottica incontrati finora
- Qualche esercizio e altre applicazioni pratiche dell'ottica geometrica: macchine fotografiche, telescopi rifrattori (Kepleriani), il cannocchiale di Galileo

# Propagazione della luce attraverso una lente

## Modello fisico

- **Principio di Fermat:**  $t = L / v$  deve essere minimo
- **Legge di Snell-Descartes:**  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$
- **Indice di rifrazione:**  $n = c / v$

( $t$  tempo di percorrenza,  $L$  lunghezza percorso,  $v$  velocità della luce in un mezzo,  $\theta_1$  angolo di ingresso,  $\theta_2$  angolo di uscita,  $c$  velocità della luce nel vuoto)

## Modello geometrico

- **Equazione delle lenti sottili:**  $1/d_o + 1/d_i = 1/f$
- **Ingrandimento:**  $m = - d_i / d_o$  ( $h_i = m h_o$ )

( $d_o$  e  $d_i$  distanze oggetto e immagine dalla lente,  $f$  lunghezza focale,  $m$  ingrandimento,  $h$  dimensione dell'oggetto o dell'immagine)

# Applicazione a strumenti ottici

## Definizioni

- **Piano focale:** piano perpendicolare all'asse ottico, passante per il fuoco della lente
- **Apertura di una lente (o di diaframma) di una lente di diametro  $D$  :**  
**numero  $F = f / D$**
- **Potere diottrico (numero di diottrie):  $1/f$  [f in metri]**

# Qualche applicazione

- Obiettivi di macchine fotografiche "a pellicola"
  - Caratterizzati da lunghezza focale e numero F minimo.  
Esempio: obiettivo 28 mm F/8 significa  $D = 28/8$  mm
  - La sequenza dei numeri F indicati convenzionalmente sugli obiettivi fotografici è 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16
  - La quantità di luce raccolta dipende da  $D^2 \propto F^{-2}$
- *Esercizi*
  - Avendo la pellicola (rivelatore) dimensioni  $24 \times 36$  mm<sup>2</sup>, quale può essere la dimensione massima di un oggetto posto a 20 m di distanza per essere fotografato per intero?
  - Come cambia questa dimensione se usiamo un obiettivo da 50 mm di lunghezza focale?
  - Di quanto deve essere spostata la lente per mettere a fuoco un oggetto posto a 3 m invece che a 20 m di distanza?

# Un'altra applicazione

- Obiettivi di macchine fotografiche digitali
  - Lunghezza focale molto più piccola (Perchè? Qual è la dimensione dell'immagine?)
  - Quanta luce raccoglie l'obiettivo in questo caso rispetto a quello di una macchina fotografica classica?
- *Prova pratica*
  - Calcolare la dimensione del rivelatore CCD provando a fotografare un oggetto di dimensioni note a distanza nota
  - Calcolare la risoluzione spaziale dovuta alla dimensione finita dei pixel dell'immagine

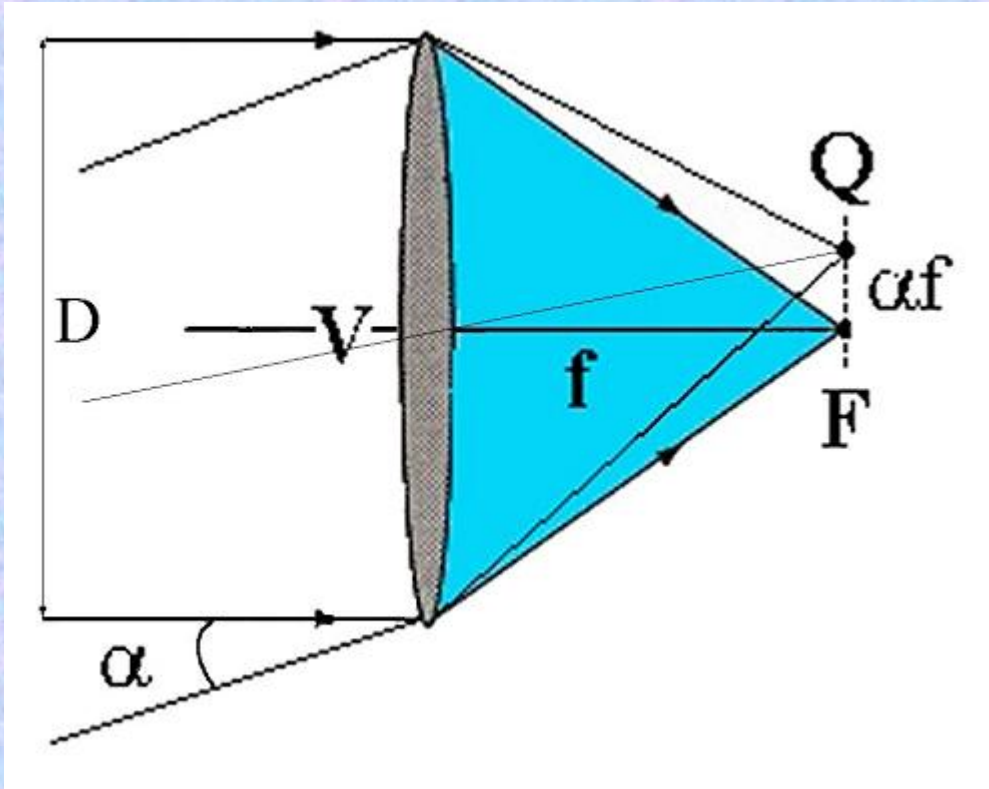


# Applicazione a strumenti ottici

## Definizioni

- **Apertura di una lente (o di diaframma):**  
**numero  $F = f / D$**
- **Energia raccolta:**  
**flusso  $\times$  area  $\times$  tempo di esposizione**  
 **$[\text{joule m}^{-2} \text{s}^{-1}] \times [\text{m}^2] \times [\text{s}]$**   
**dove  $\text{area} = \pi D^2 / 4$**
- **Dimensione sul piano focale dell'immagine di un oggetto che sottende un angolo di vista  $\theta$ , prodotta da un sistema ottico con lunghezza focale  $f$ :**  
 **$h = \theta f$  [ $\theta$  in radianti,  $f$  in mm]**

# Piano focale



Supponiamo di osservare un oggetto a distanza molto grande con una lente caratterizzata dai seguenti parametri:

$D$  = diametro

$f$  = lunghezza focale

$\alpha$  = dimensione angolare dell'oggetto

$\alpha f$  = lunghezza segmento  $QF$   
(con buona approssimazione, se  $\alpha \ll 1$  in radianti)

$V$  = asse ottico

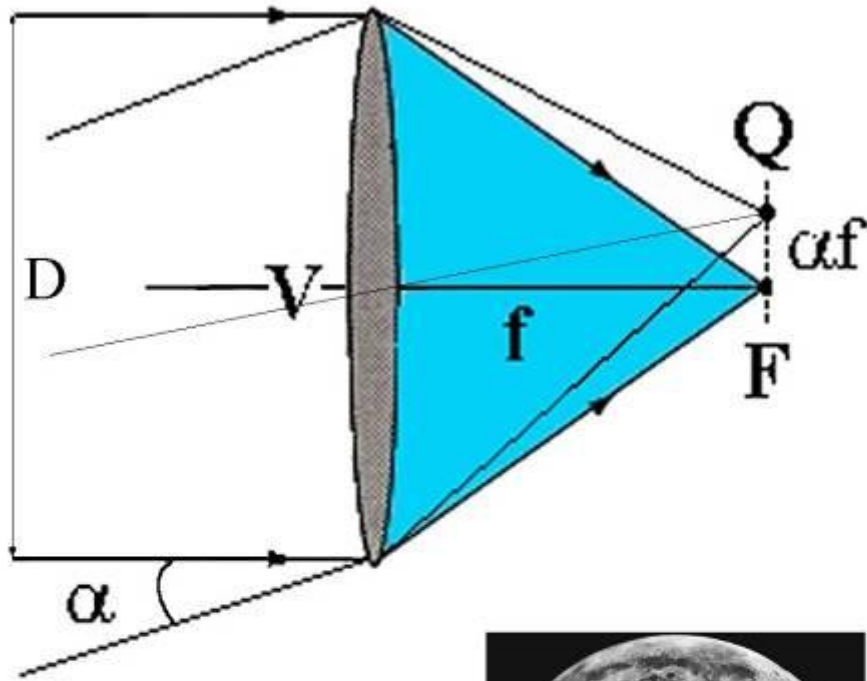
$F$  = fuoco, sorgente in asse

$Q$  = fuoco, sorgente fuori asse

**Piano focale:**

piano perpendicolare all'asse ottico, passante per  $F$

# Esempio con la Luna



$$2\alpha(\text{Luna}) = 32'$$



Ogni punto della superficie lunare è una sorgente all'infinito, distante  $0 \leq \theta \leq \alpha$  dal centro.

Ricordando che

$$\begin{aligned} 1 \text{ radiante} &= 180^\circ / \pi \approx 57.3^\circ \\ &= 206264.8'' \end{aligned}$$

La Luna è un oggetto di dimensione angolare

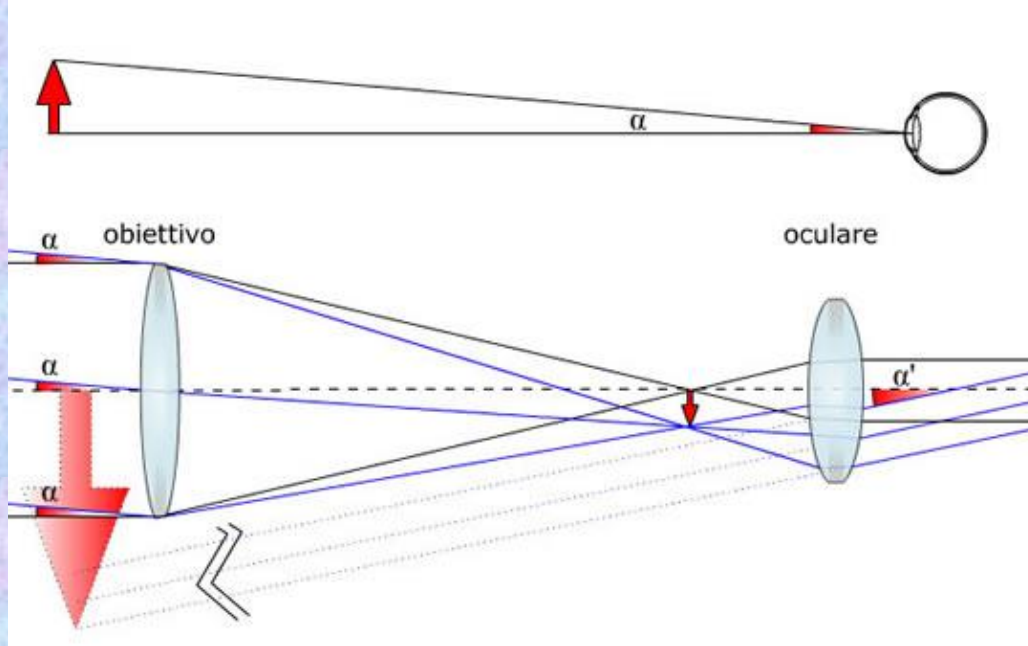
$2\alpha = 32/60 \times \pi/180 = 0.0093$  radianti che creerà un'immagine di dimensioni  $h = 2\alpha f$  sul piano focale della lente.

Ad es., se  $f = 700 \text{ mm}$ ,  
 $h = 6.5 \text{ mm}$

# La "scala" del telescopio

- Il parametro  $s = 206264.8/f$  (**scala angolare**) (secondi d'arco per mm) indica l'estensione angolare di un oggetto la cui immagine sul piano focale è di 1 mm
- Il parametro  $s$  va confrontato con le dimensioni dell'elemento di immagine del rivelatore posto sul piano focale (ad es. le dimensioni dei pixel di un sensore CCD, tipico delle macchine fotografiche digitali), per ottenere la **scala spaziale** dello strumento: ad es., se  $s = 10''/\text{mm}$  e il CCD ha pixel di lato  $10 \mu\text{m} = 10^{-2} \text{ mm}$ , avremo una scala spaziale di  $0''.1$  per pixel

# Il telescopio rifrattore Kepleriano



- Obiettivo e oculare sono lenti convergenti ( $f > 0$ )
- Per ottenere un ingrandimento  $f_{\text{obiettivo}} > f_{\text{oculare}}$
- *Esercizio*

Le due lenti sono poste a distanza  $f_1 + f_2$ , perché... ?  
Qual è il fattore di ingrandimento che si ottiene?

# Sequenza degli esperimenti e dei concetti

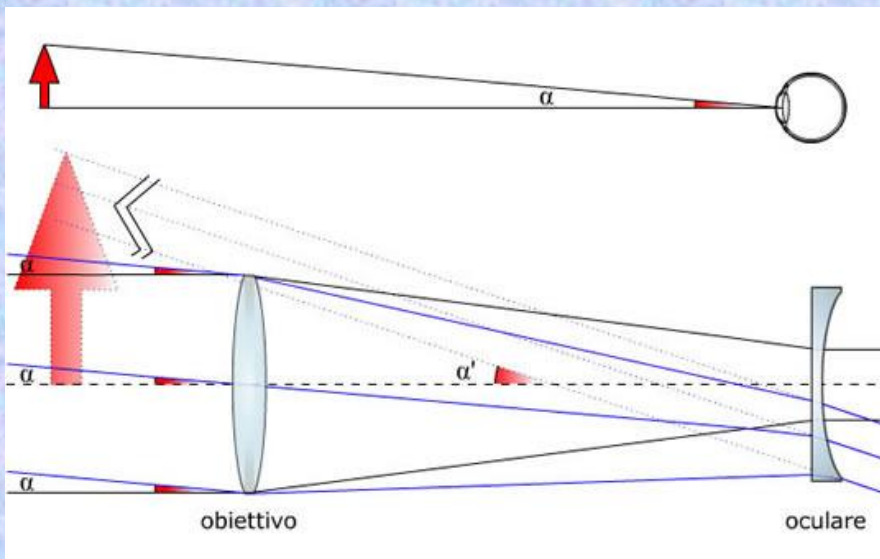
Esperienze	Interpretazione fisica e metodi d'analisi
<p>7. Con due lenti (<i>oculare</i> e <i>obiettivo</i>) convesse di focale diversa si può costruire un <i>telescopio rifrattore</i> (kepleriano).</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se l'immagine reale (proiettabile su uno schermo) formata dalla 1<sup>a</sup> lente (obiettivo) viene posta sul fuoco della 2<sup>o</sup> lente (oculare), si formerà una seconda immagine all'infinito (raggi paralleli, fronte d'onda piano) che può essere focalizzata solo tramite il nostro occhio (terza lente) sulla retina.</li><li>• L'ingrandimento angolare che si ottiene è pari al rapporto delle lunghezze focali delle due lenti: <math display="block">m = f_1/f_2</math></li></ul>

# Il cannocchiale di Galileo

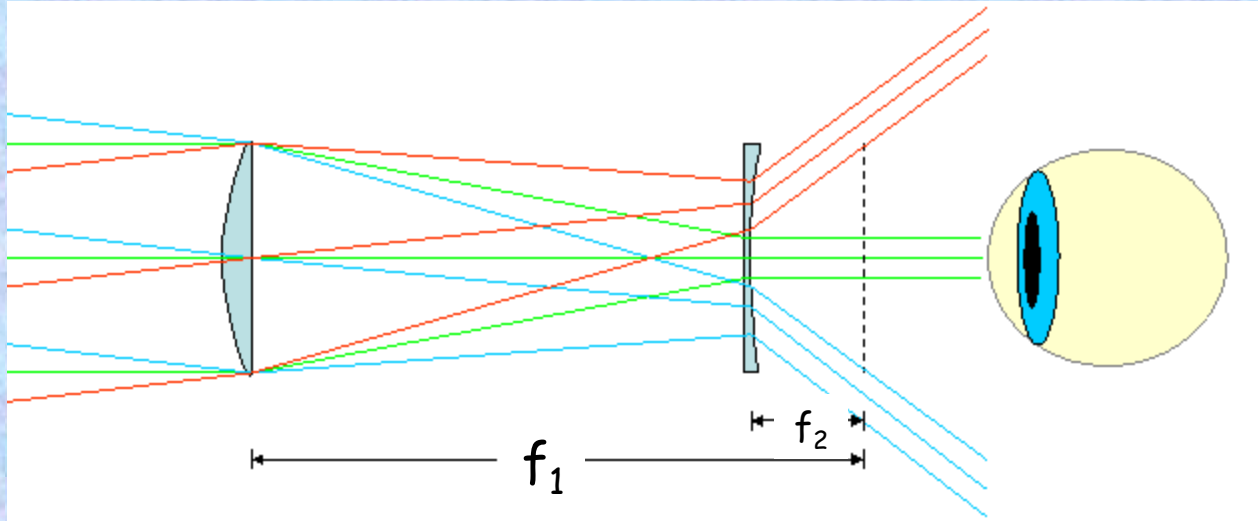


- Obiettivo:  
lente convergente ( $f > 0$ )
- Oculare:  
lente divergente ( $f < 0$ )
- *Esercizio*

A che distanza devono essere poste, affinché si ottenga un'immagine all'infinito come nel caso del telescopio Kepleriano?



# Il cannocchiale di Galileo



- Il fuoco della prima lente (obiettivo) resta al di là della seconda lente (oculare), cioè più vicino all'occhio
- La seconda lente è posta a una distanza  $f_{\text{obiettivo}} - f_{\text{oculare}}$  dalla prima
- L'ingrandimento angolare è ancora una volta dato dal rapporto delle lunghezze focali,  $m = f_1/f_2$