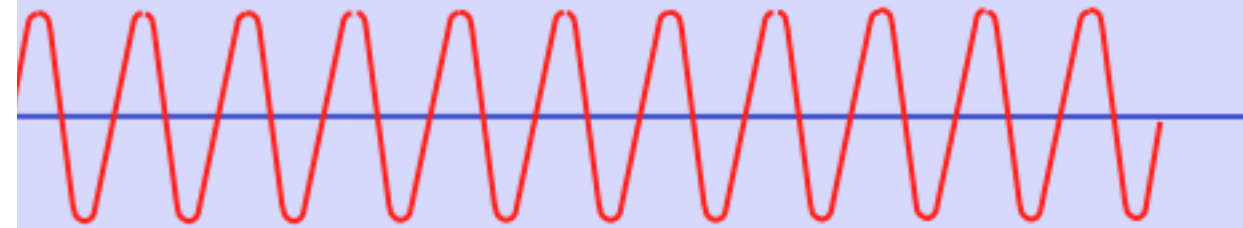


Sensi: vista
la luce onda elettromagnetica

Concetti

- L' onda luminosa è un onda elettromagnetica
- Caratteristiche onde
- Propagazione onde

...ue consideriamo un campo elettrico E che oscilla



...nera un campo magnetico che oscilla e che a sua volta genera un campo elettrico che oscilla e così via.

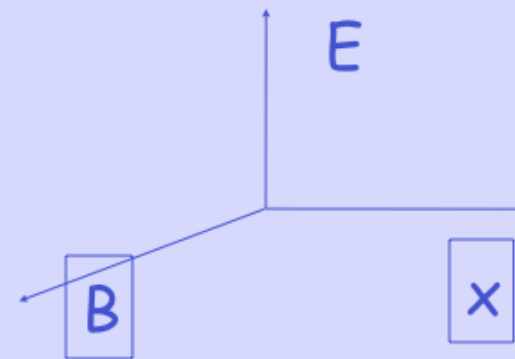
...esistenza di campo elettrico e magnetico dà origine a un

CAMPO ELETTROMAGNETICO

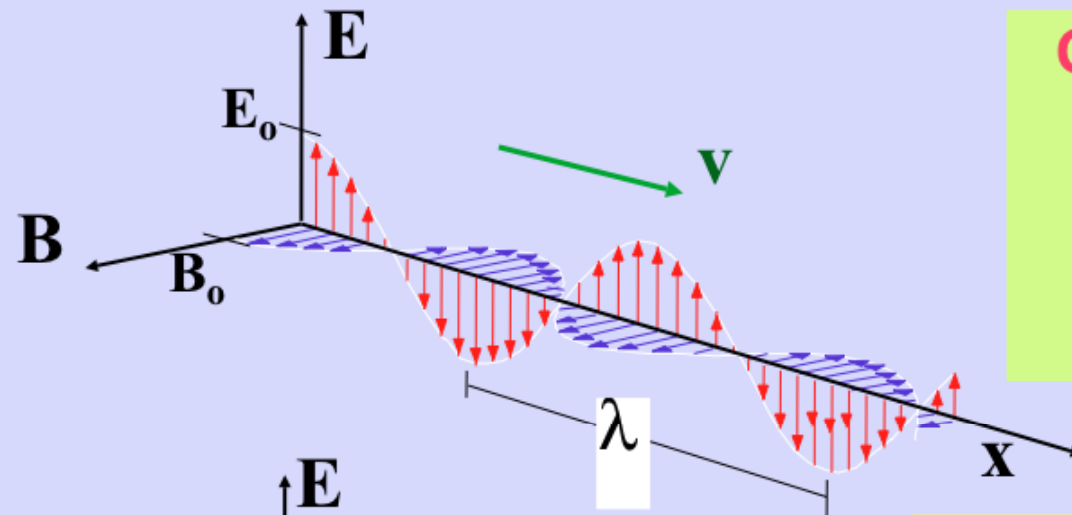
LE ONDE ELETTROMAGNETICHE

Un campo elettromagnetico oscillante **che si muove, propagandosi nello spazio**, costituisce un'**ONDA ELETTROMAGNETICA**.

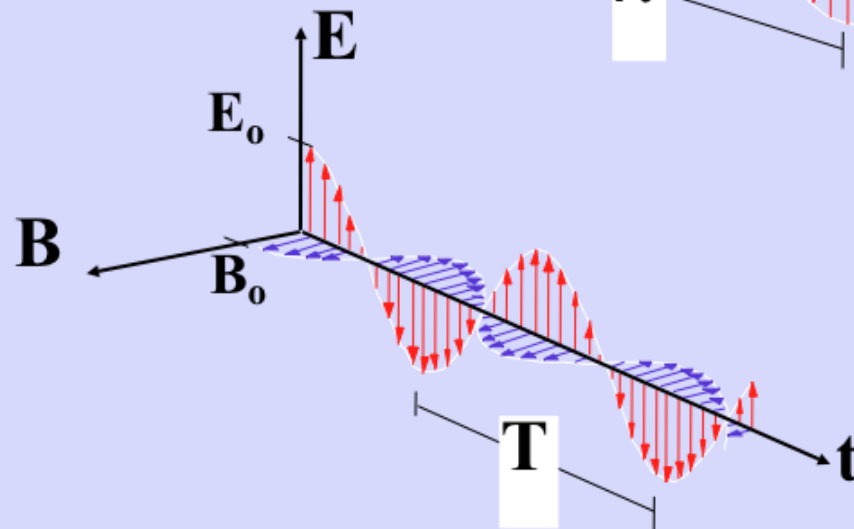
Le onde elettromagnetiche sono onde trasversali nelle quali cioè i campi elettrico E e magnetico B sono perpendicolari tra loro e sono perpendicolari alla direzione di propagazione x dell'onda.



Onde elettromagnetiche



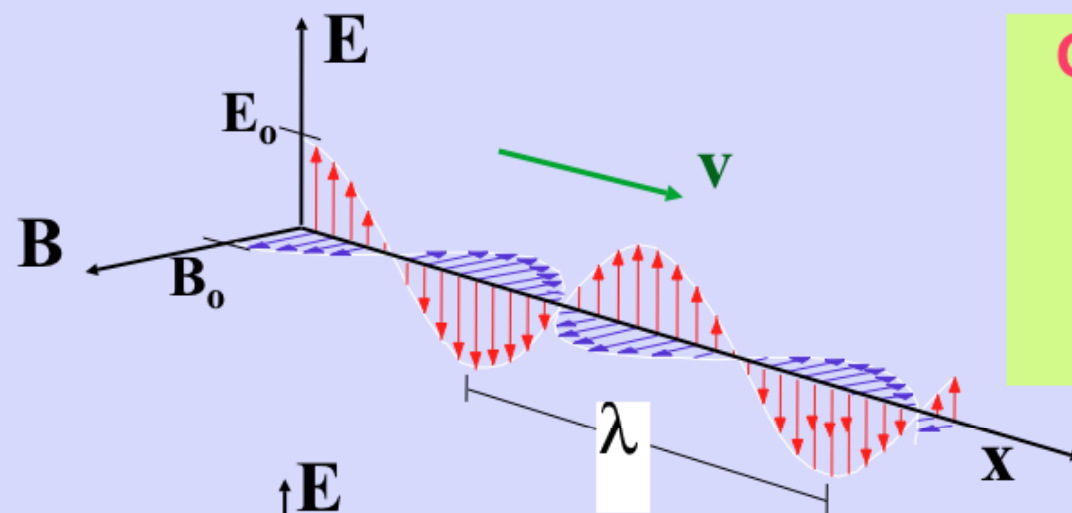
Onda elettromagnetica:
“vibrazione”
del campo elettrico
e del campo magnetico
in direzione
perpendicolare a entrambi



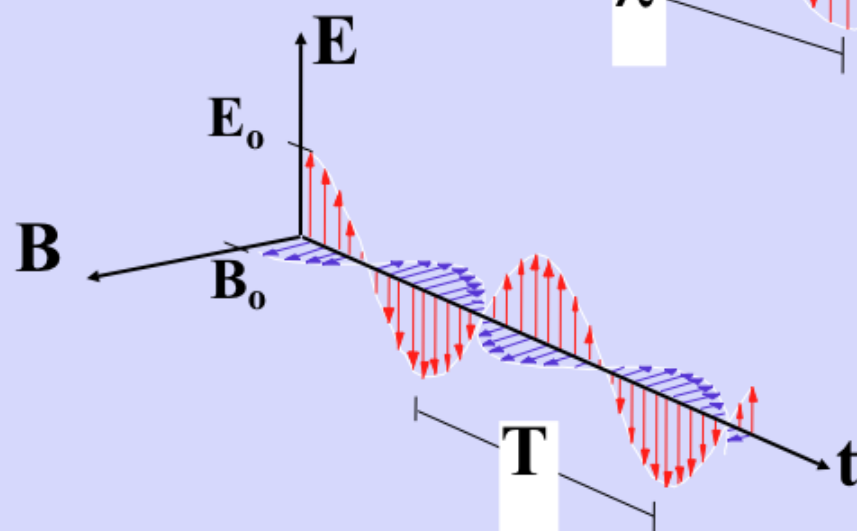
Una carica elettrica in moto
emette o assorbe
onde elettromagnetiche
quando soggetta ad accelerazione

Non serve materia: i campi
si propagano **anche nel vuoto!**

Onde elettromagnetiche



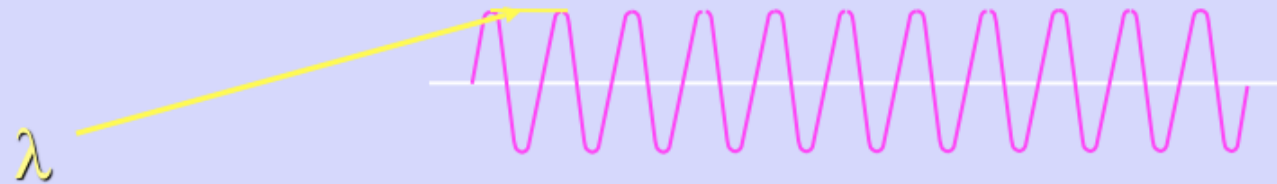
Onda elettromagnetica:
“vibrazione”
del campo elettrico
e del campo magnetico
in direzione
perpendicolare a entrambi



Una carica elettrica in moto
emette o assorbe
onde elettromagnetiche
quando soggetta ad accelerazione

Non serve materia: i campi
si propagano **anche nel vuoto!**

LE ONDE ELETTROMAGNETICHE



Le onde elettromagnetiche sono caratterizzate da:

lunghezza d'onda λ

è la distanza tra 2 massimi successivi dell'onda

frequenza f

è il numero di oscillazioni che avvengono in 1 s

periodo T

è l'inverso della frequenza $T=1/f$

velocità v

$$v = \lambda/T = \lambda * f$$

Velocità della luce

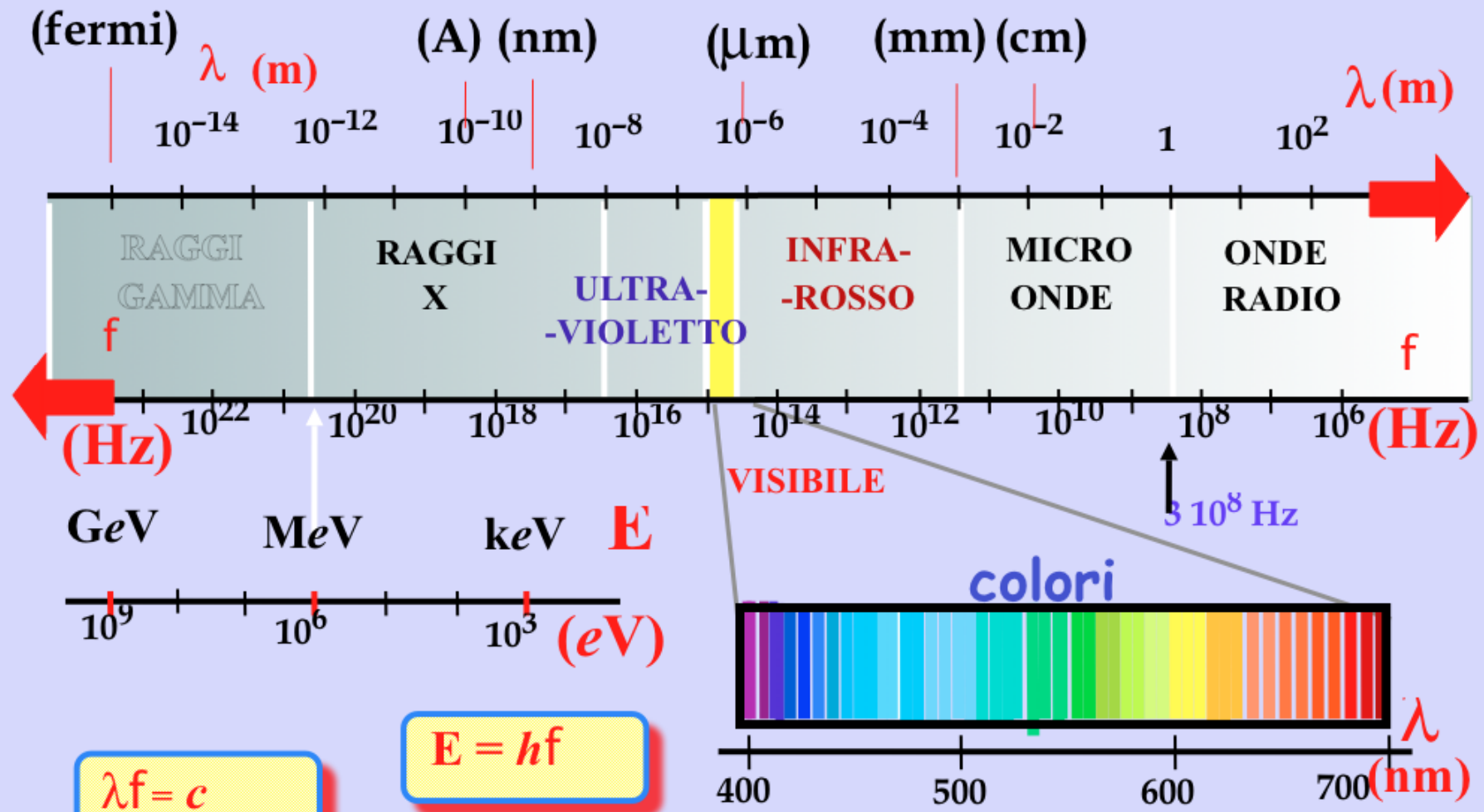
Le onde elettromagnetiche si propagano
anche nel vuoto
secondo la consueta legge:

$$\lambda f = v$$

La loro **velocità nel vuoto** è sempre
 $c = 3 \cdot 10^8$ m/s (= 300000 km/s)

E' la velocità della luce
ma anche di tutte le altre onde elettromagnetiche.

Spettro elettromagnetico

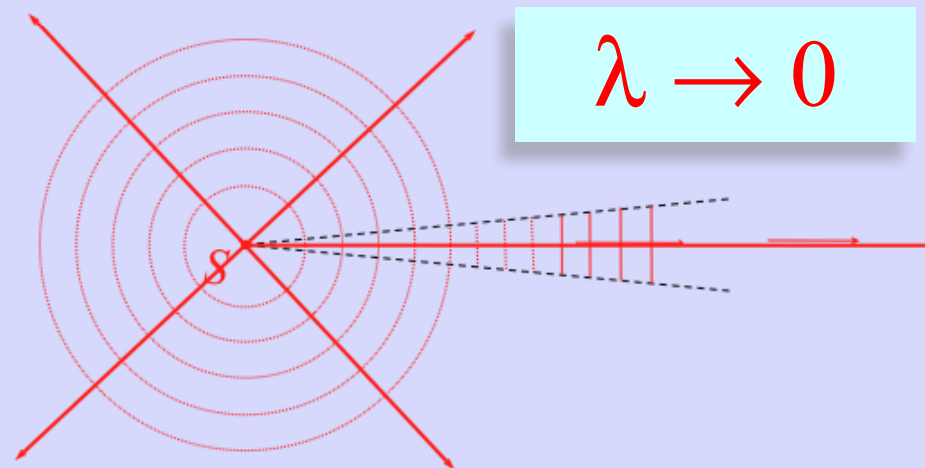
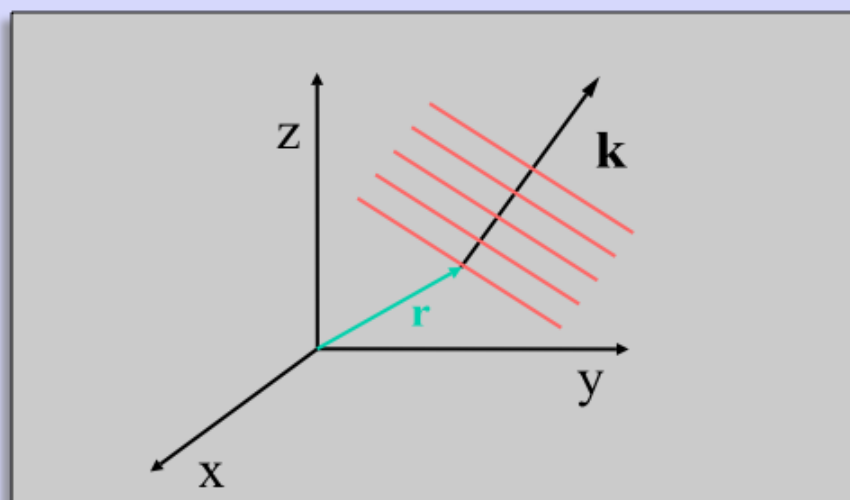


Ottica Geometrica

Quando la lunghezza d'onda dell'onda luminosa è molto minore delle dimensioni dell'oggetto su cui incide si può parlare di

OTTICA GEOMETRICA

- **Legge di propagazione rettilinea: I raggi luminosi nei mezzi omogenei si propagano in modo rettilineo**



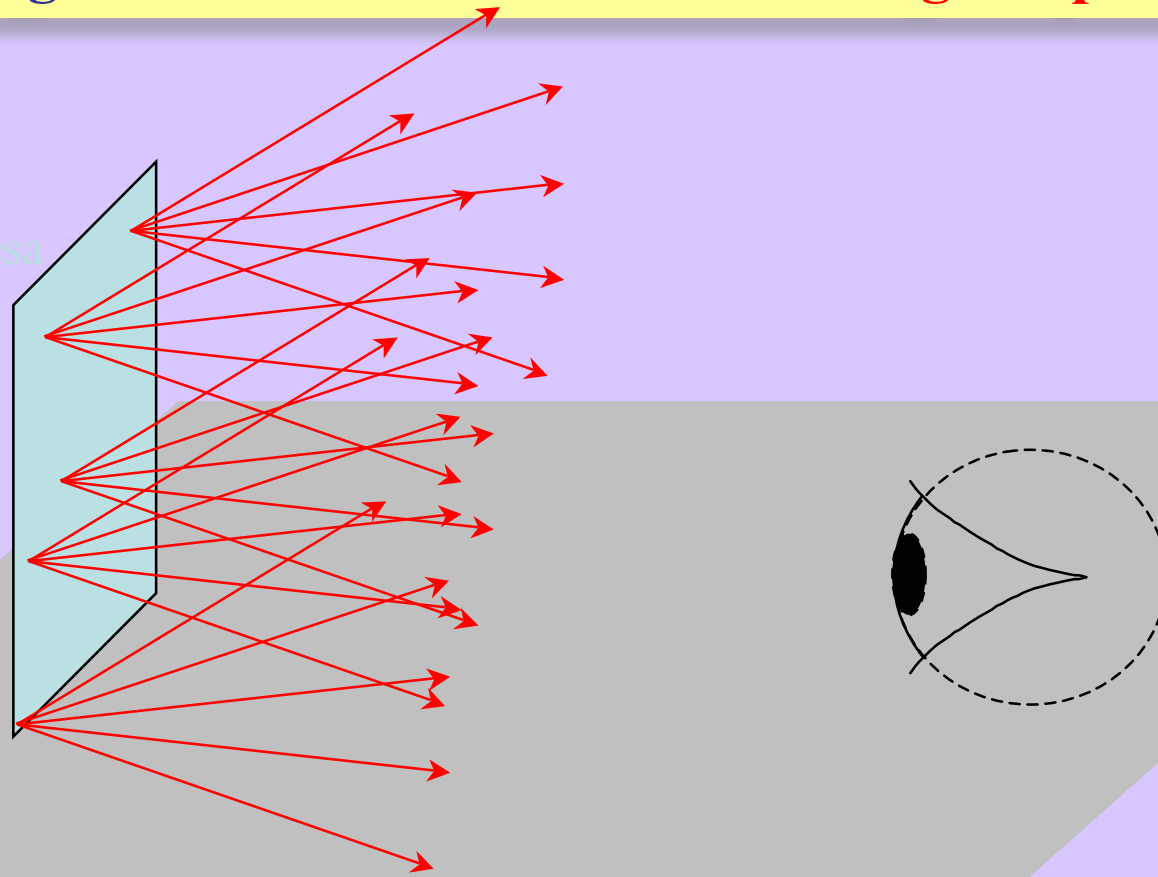
ogni sorgente puntiforme emette infinite onde *piane*

approssimazioni e postulati

$$\lambda \rightarrow 0$$

ogni sorgente **estesa** è fatta di infinite **sorgenti puntiformi**

Sorgente estesa



approssimazioni e postulati

$$\lambda \rightarrow 0$$

formazione della visione: *vediamo* perché i raggi formano *immagini* sulla retina

sorgente luminosa

S

immagine sulla retina:

S'

ma anche:

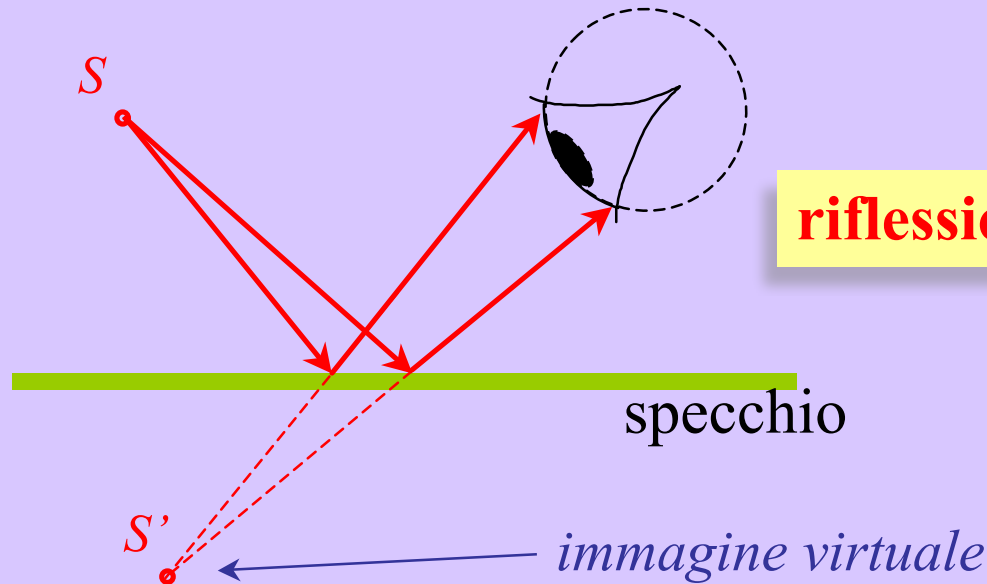
S

S'

specchio

riflessione speculare

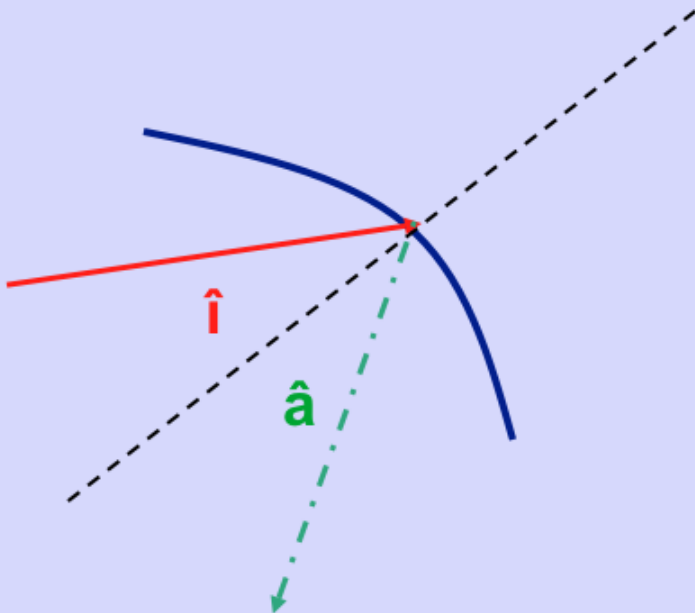
immagine virtuale



Ottica Geometrica

- Legge della riflessione: all'interfaccia tra due mezzi un'onda viene (parzialmente) riflessa

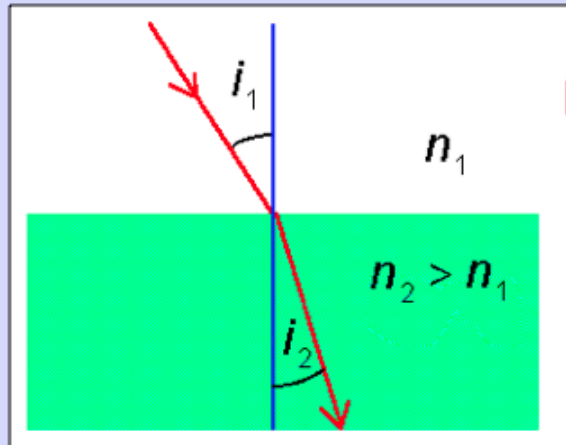
$$\hat{i} = \hat{a}$$



Ottica Geometrica

• Legge di rifrazione :il raggio rifratto viene trasmesso nel secondo mezzo e giace anch'esso nel piano di incidenza e forma con la normale un angolo θ_2 dato dalla **legge di Snell**:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$



n = indice di rifrazione

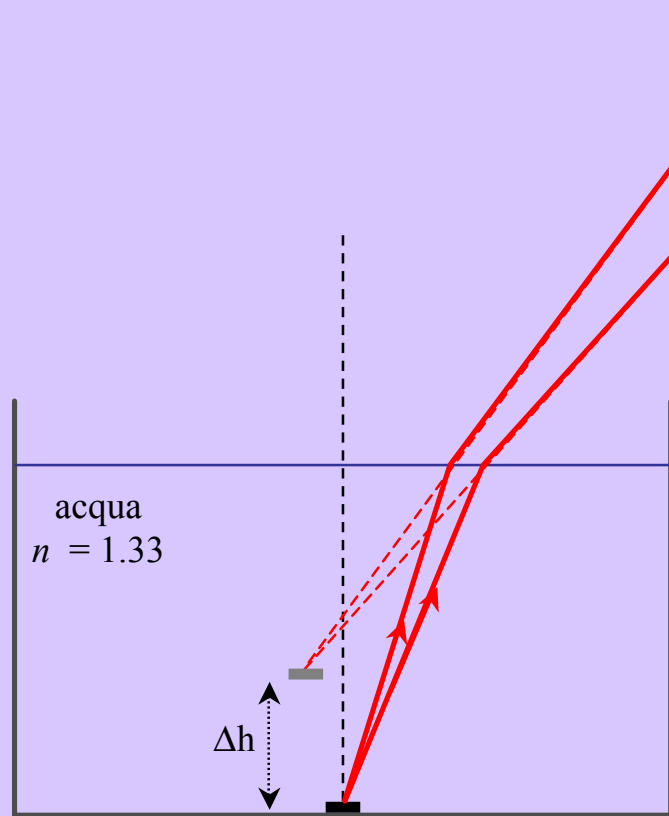
$$n = \frac{c}{v} = \frac{\text{velocità luce vuoto}}{\text{velocità luce mezzo}}$$

c = velocità luce vuoto = $3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$

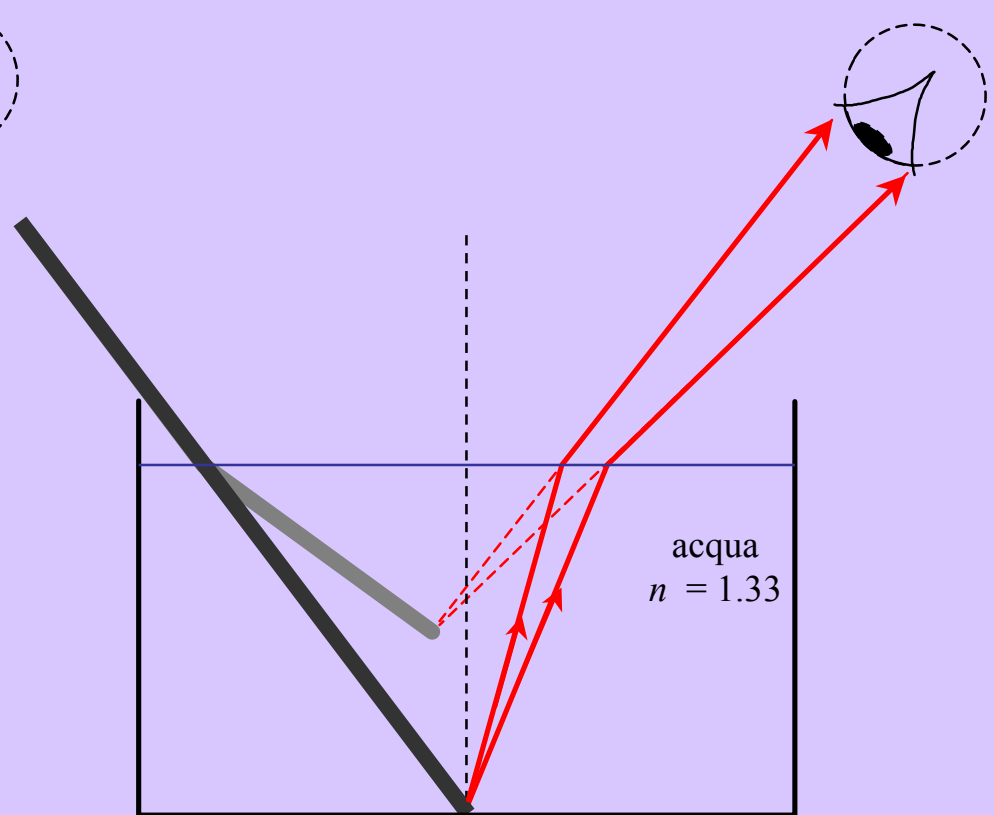
$c > v \Rightarrow n > 1$

esempio 1

Il diottro piano



la moneta “avvicinata”



la matita “spezzata”

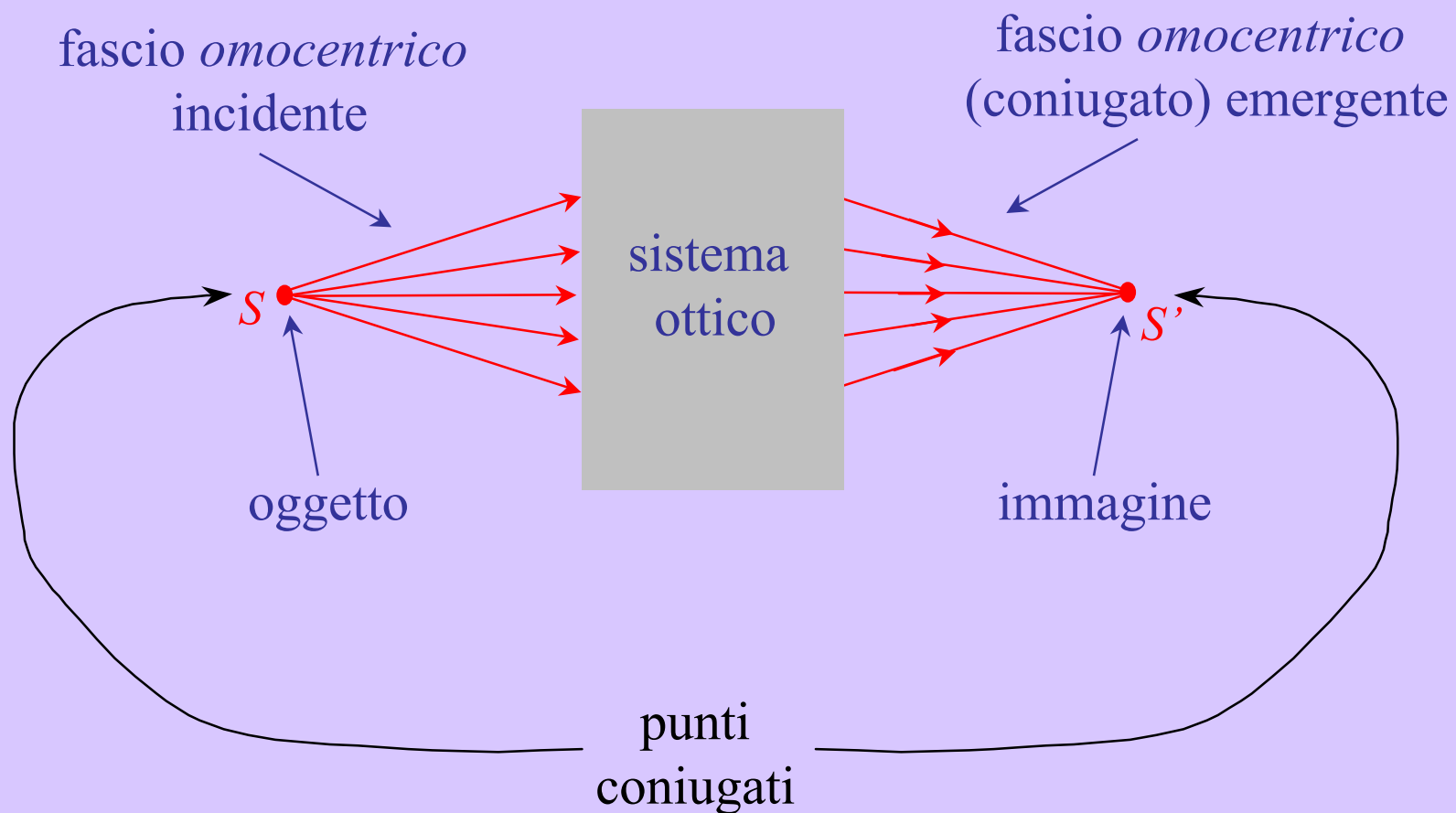
esempio 1

Il diottro piano



SORGENTI E IMMAGINI

definizioni



definizioni

	<i>reale</i>	<i>virtuale</i>
<i>oggetto</i>	centro dei raggi incidenti	centro del prolungamento dei raggi incidenti
<i>immagine</i>	centro dei raggi emergenti	centro del prolungamento dei raggi emergenti

sorgenti e immagini

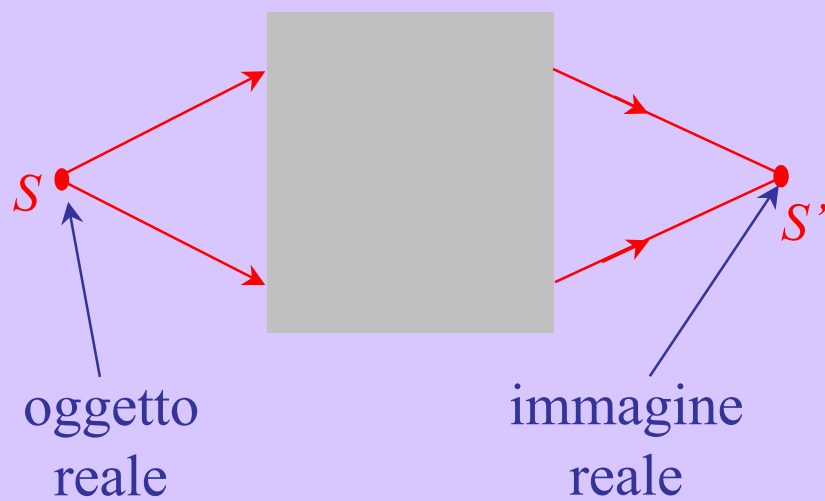
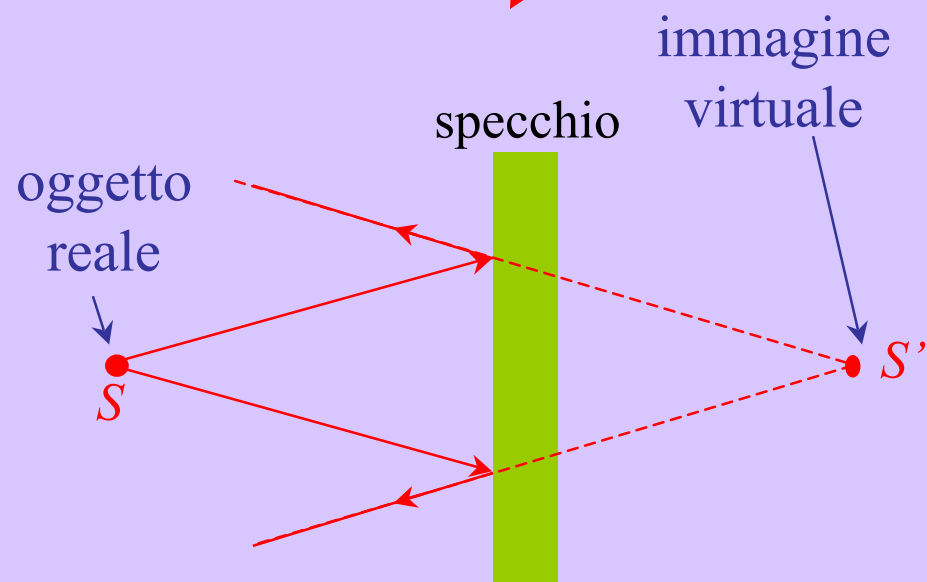
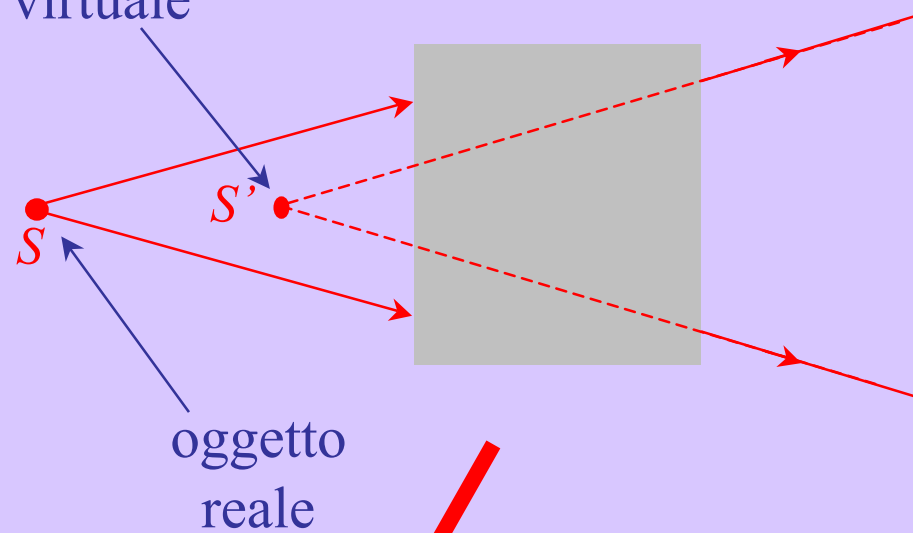
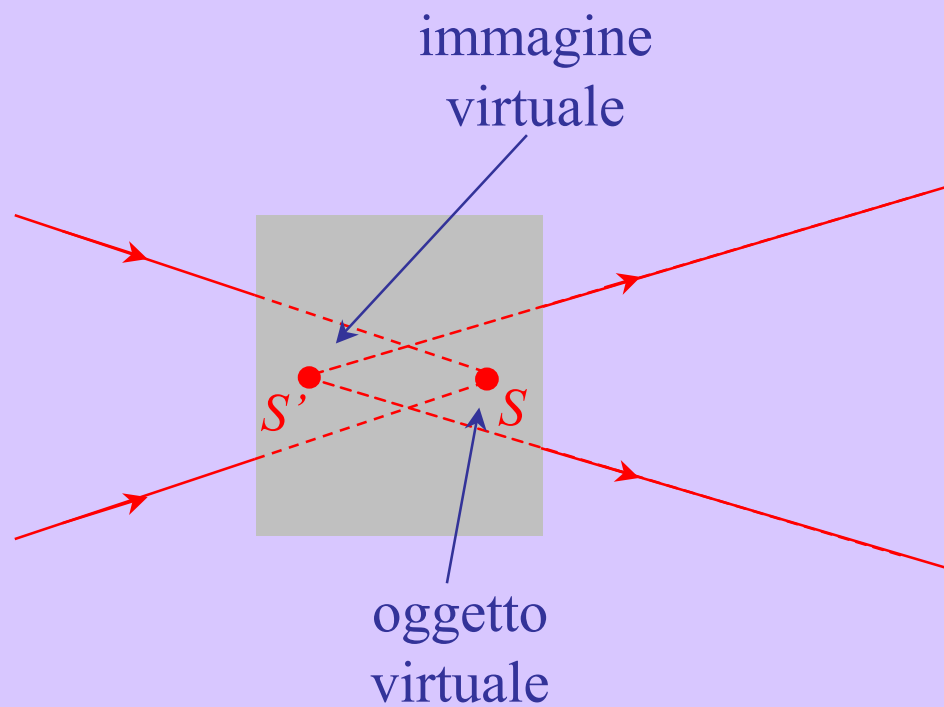
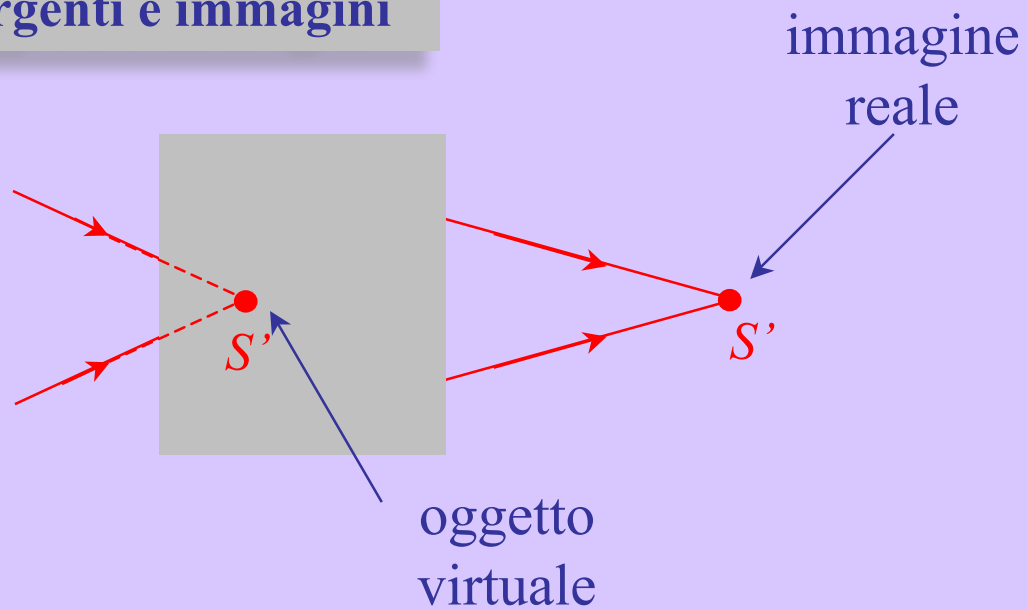


immagine
virtuale

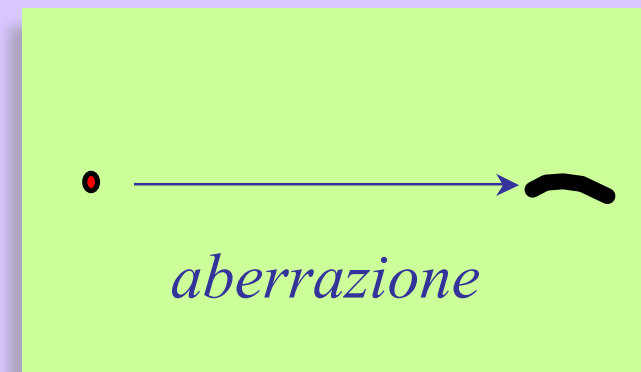
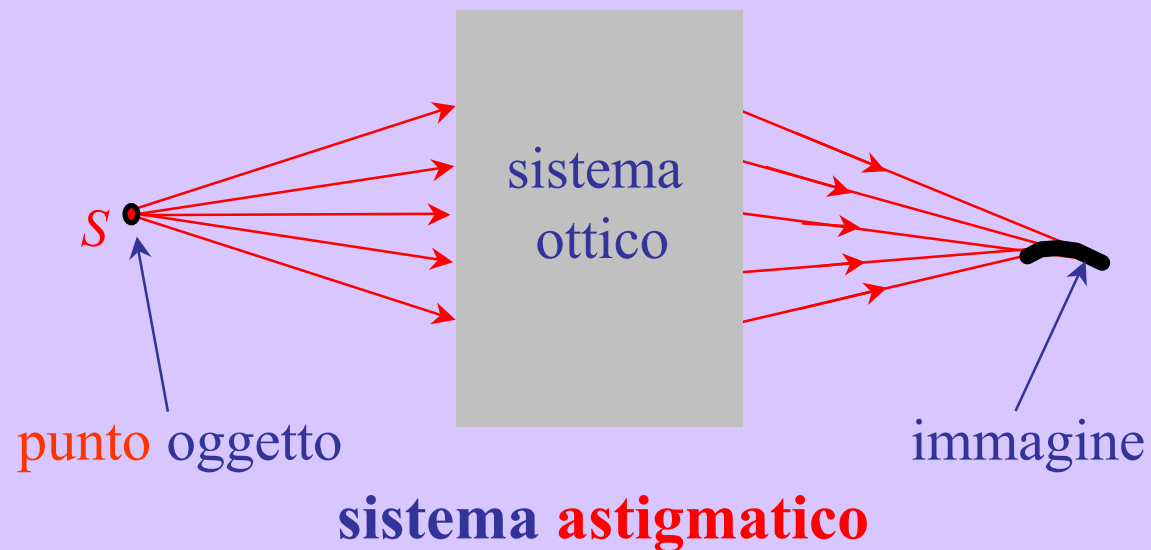
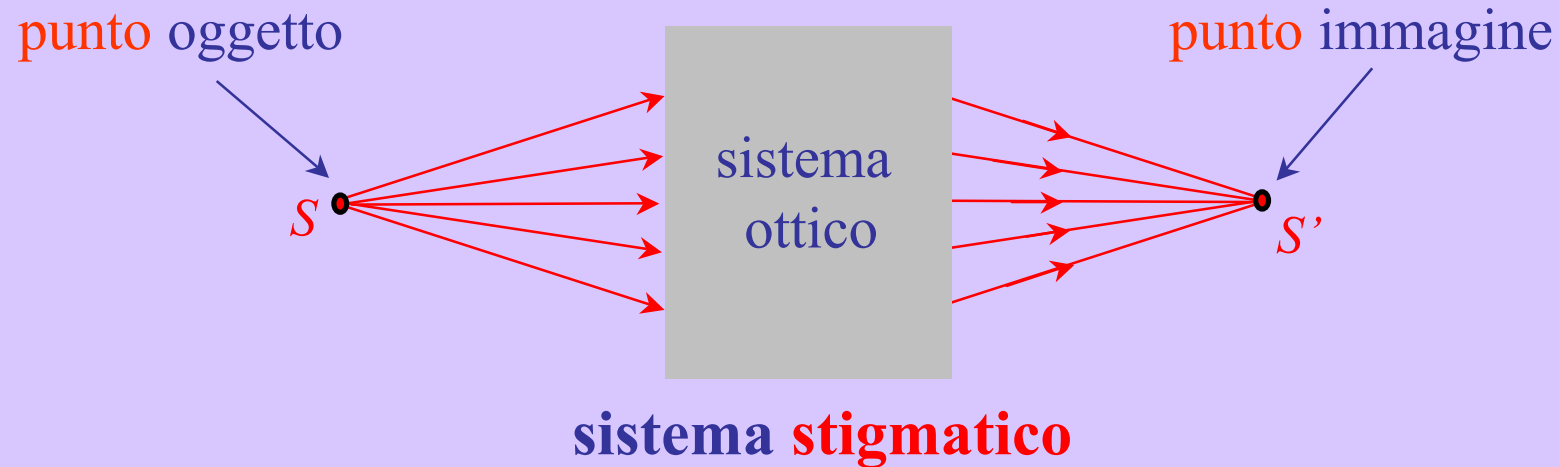


sorgenti e immagini

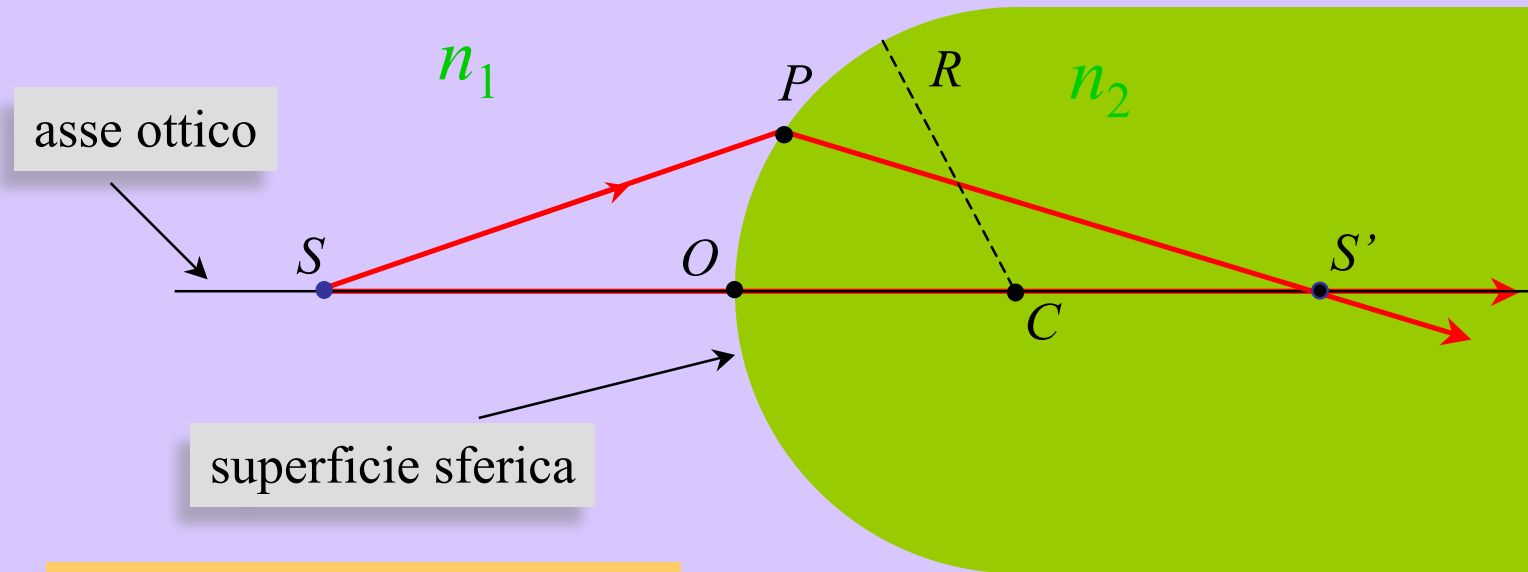


definizioni

si noti la differenza:



RIFRAZIONE DA SUPERFICIE SFERICA: IL DIOTTO

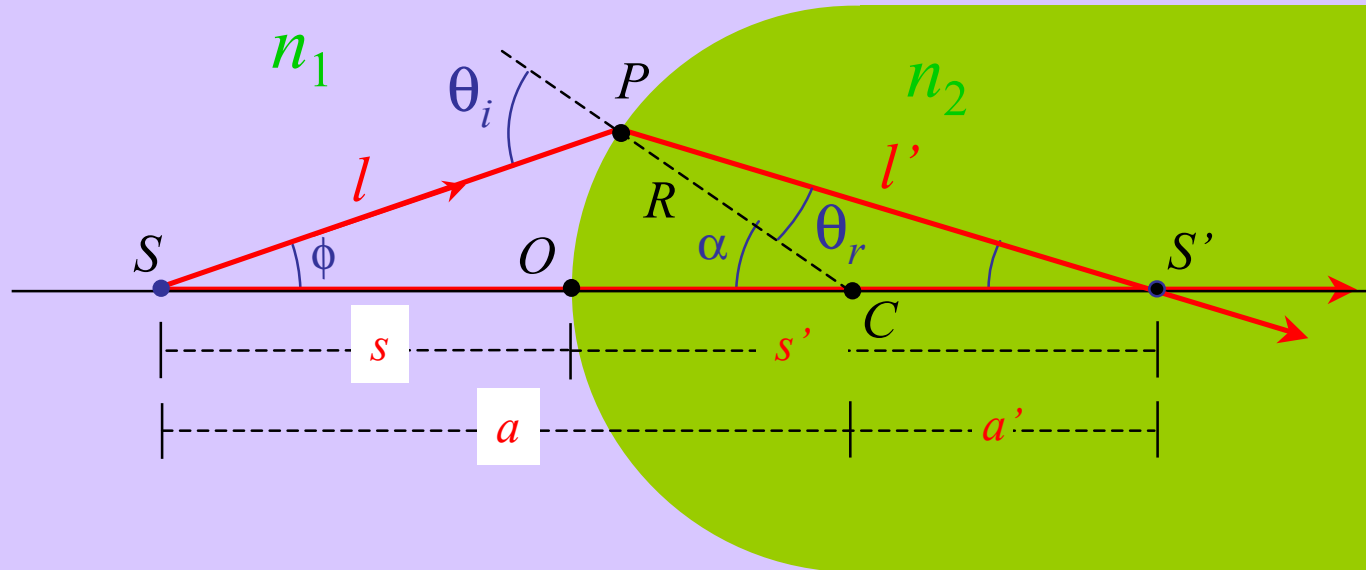


convenzioni dei diottri

- I I raggi provengono sempre da sinistra
- II $s > 0$ se i raggi divergono (S a sinistra del diottro)
 $s < 0$ se i raggi convergono (S a destra del diottro)
- III $s' > 0$ se S' a destra del *vertice* O
 $s' < 0$ se S' a sinistra del *vertice* O
- IV $R > 0$ se la superficie è convessa rispetto ai raggi incidenti
 $R < 0$ se la superficie è concava rispetto ai raggi incidenti

il diottro - dimostrazione

Cerchiamo la relazione fra a e a' :



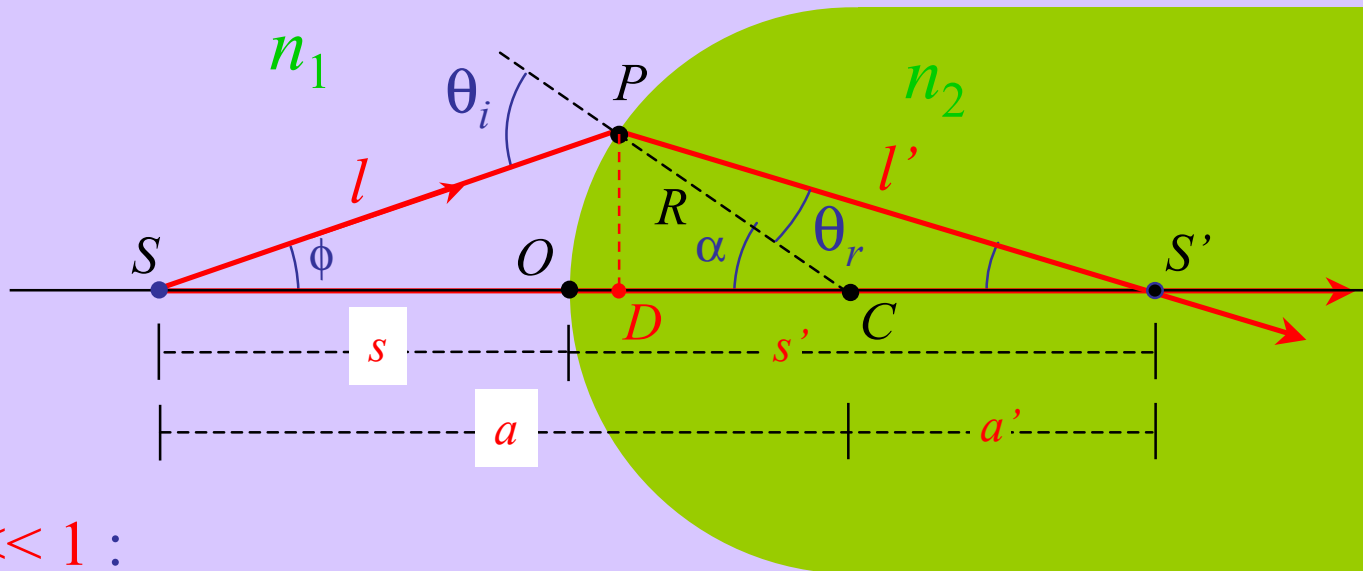
dalla legge dei seni a SPC e $S'PC$:

$$\frac{l}{a} = \frac{\sin \alpha}{\sin \phi_i} \quad \text{e} \quad \frac{l'}{a'} = \frac{\sin \alpha}{\sin \phi_r}$$

utilizzando la legge di Snell:

$$\frac{n_1 a}{l} = \frac{n_2 a'}{l'}$$

il diottro - dimostrazione



se $\alpha \ll 1$:

$$\overline{OD} = R - R \cos \alpha \cong R \left(1 - 1 + \frac{1}{2} \alpha^2 \right) = \frac{1}{2} R \alpha^2$$

e

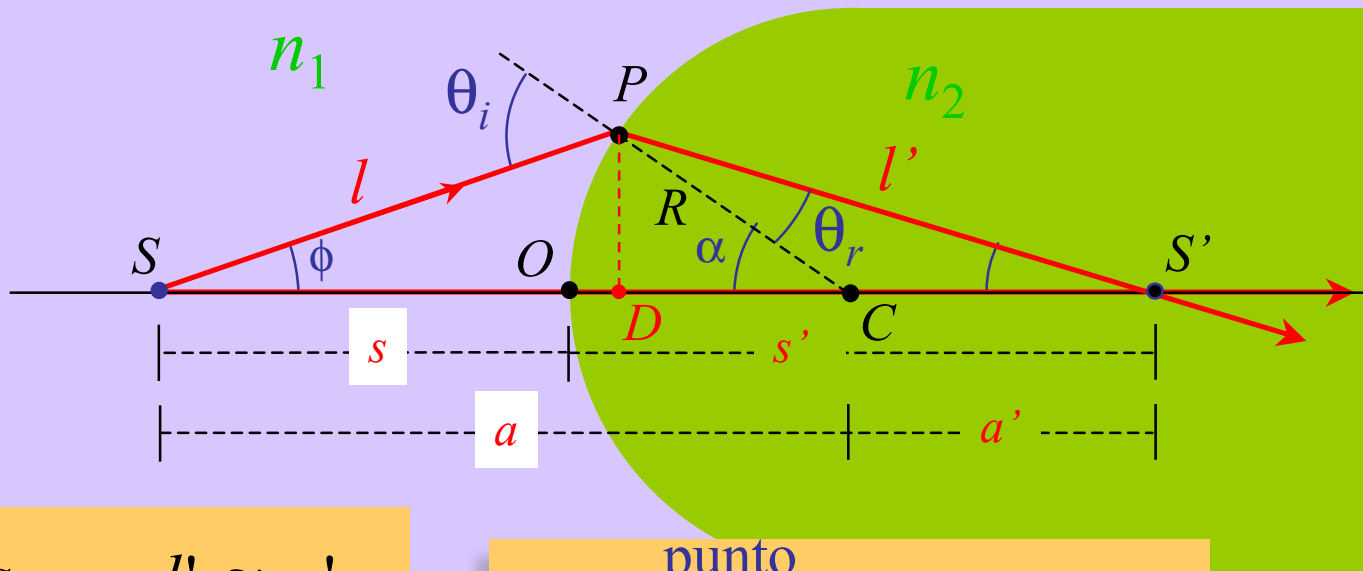
$$\overline{PD} = R \sin \alpha \cong R \alpha$$

da Pitagora:

$$l = \sqrt{\left(s + \overline{OD} \right)^2 + \left(\overline{PD} \right)^2} \cong \sqrt{s^2 + R \alpha^2 \left(\frac{s}{R} + 1 \right)^2} \cong s$$

$$l' = \sqrt{\left(s' - \overline{OD} \right)^2 + \left(\overline{PD} \right)^2} \cong \sqrt{s'^2 + R \alpha^2 \left(1 - \frac{s'}{R} \right)^2} \cong s'$$

il diottro



$$l \cong s \quad l' \cong s'$$

che, inserite nella:

$$\frac{n_1 a}{l} = \frac{n_2 a'}{l'}$$

danno:

$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

punto

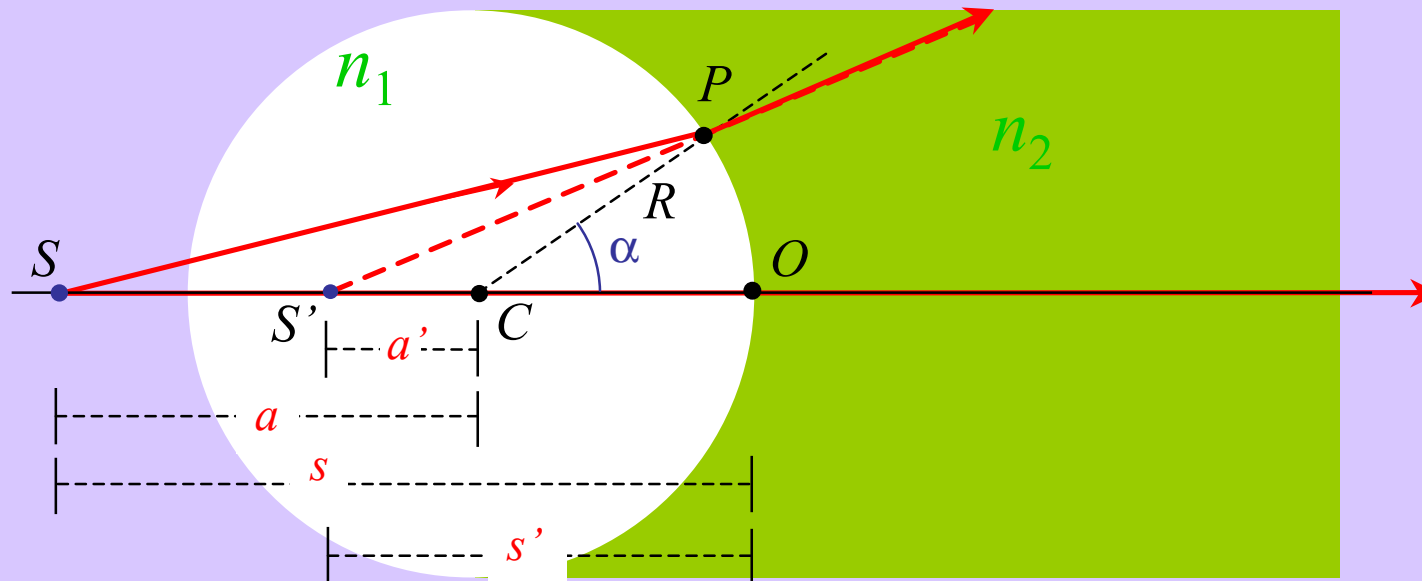
tenendo conto che:

$$a = s + R; \quad a' = s' - R$$

equazione
del diottro $(R > 0)$

il diottro

anche nel diottro *concavo*:



ancora:

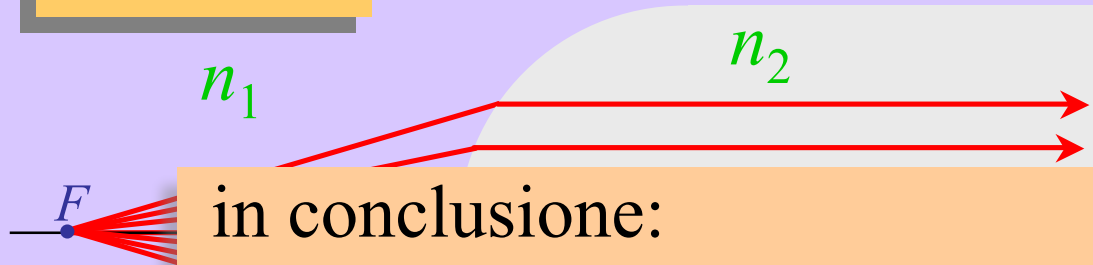
$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

equazione
del diottro $(R < 0)$

il diottro

si consideri il caso:

$$s' \rightarrow \infty$$



in conclusione:

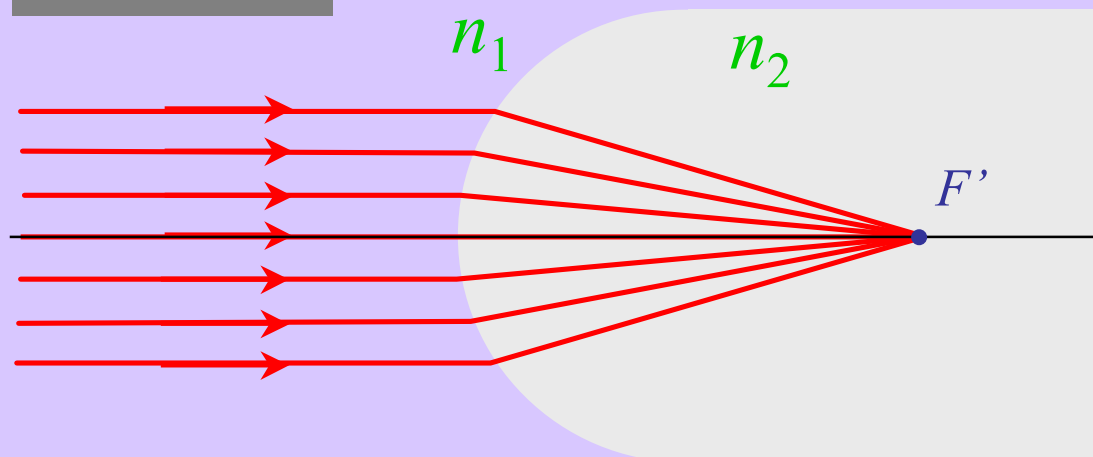
$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = \frac{n_2 - n_1}{R} = \frac{n_1}{f} = \frac{n_2}{f'}$$

$$\frac{n_1}{f} + \frac{n_2}{\infty} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

$$f = \frac{n_1 R}{n_2 - n_1}$$

fuoco primario

$$s \rightarrow \infty$$



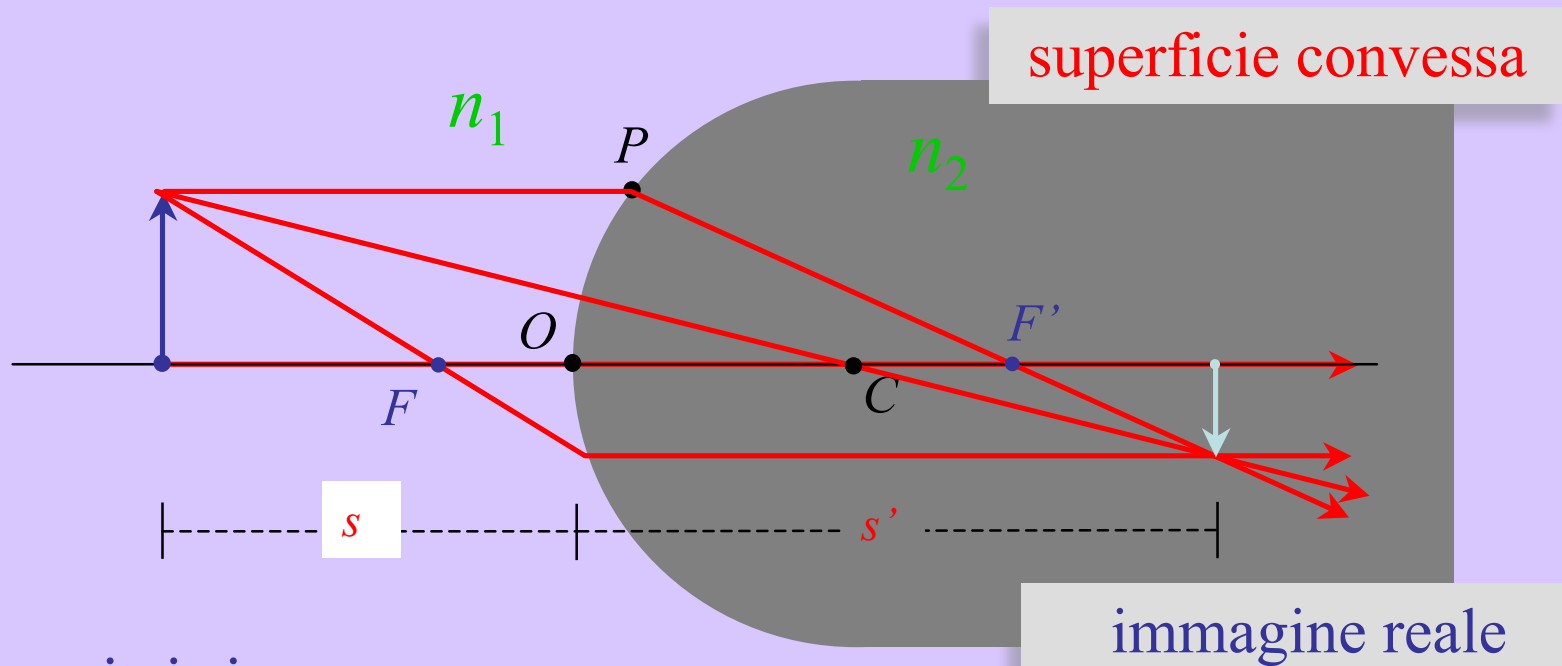
$$\frac{n_1}{\infty} + \frac{n_2}{f'} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

$$\text{con } s' = f' = \frac{n_2 R}{n_2 - n_1}$$

fuoco secondario

Oggetti estesi e costruzioni delle immagini

Tracciamento dei raggi con due dei tre raggi principali:



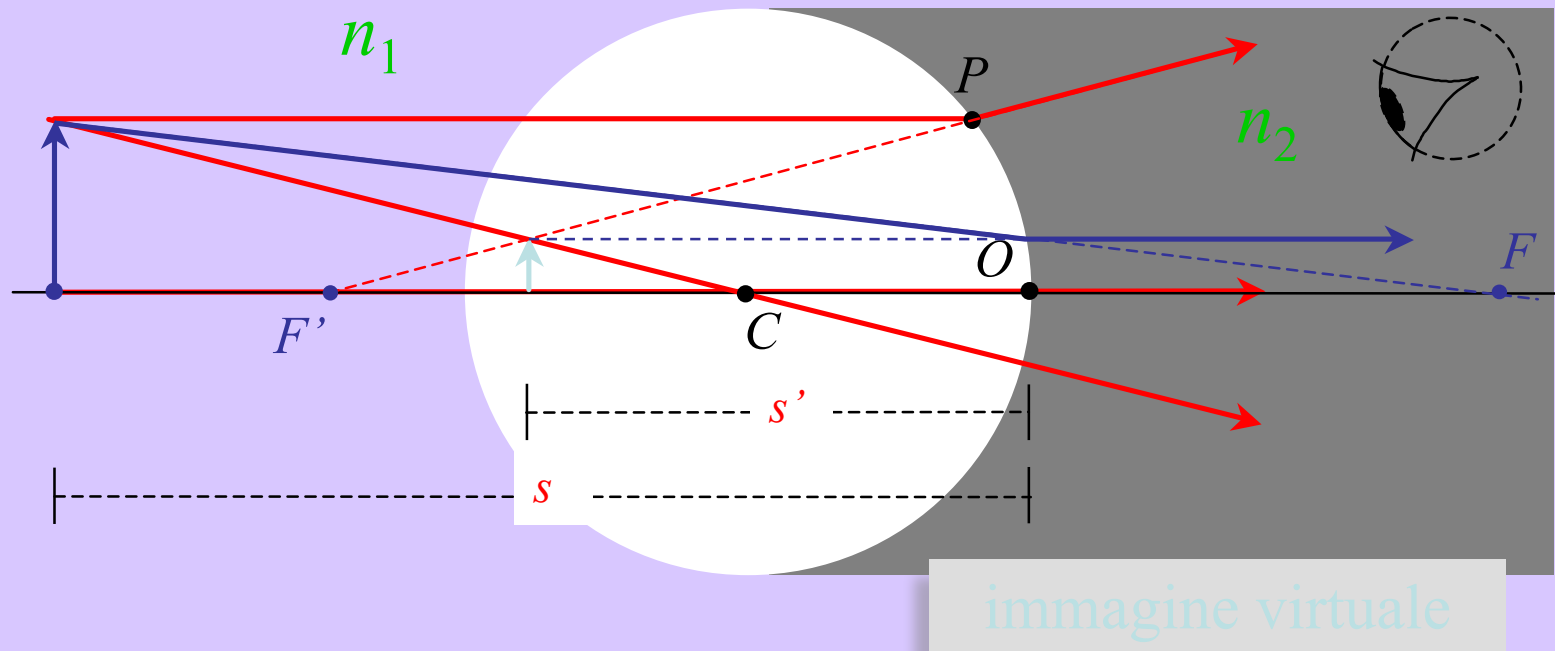
da cui si ricava:

$$m \equiv \frac{y'}{y} = -\frac{n_1 s'}{n_2 s}$$

il diottro

superficie concava

Tracciamento dei raggi con due raggi principali:



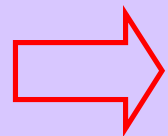
da cui si ricava:

$$m \equiv \frac{y'}{y} = -\frac{n_1 s'}{n_2 s}$$

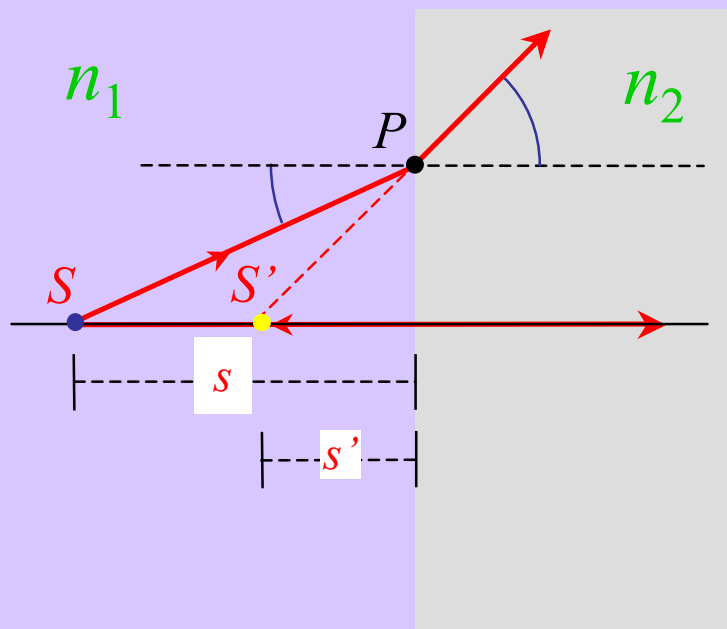
4.2 Un diottro particolarmente semplice: il piano

si consideri il caso:

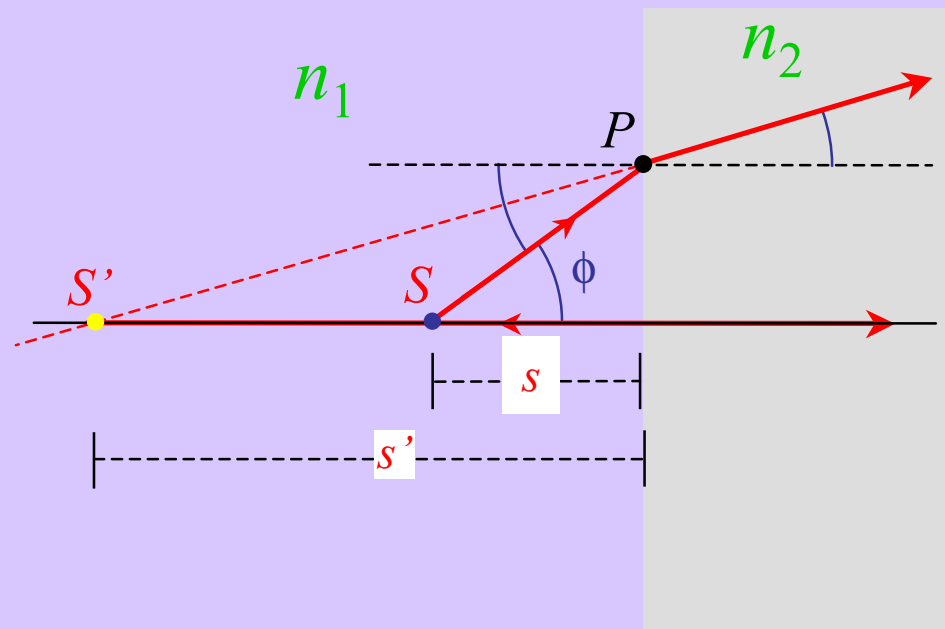
$$R \rightarrow \infty$$



$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = \frac{n_2 - n_1}{R} = 0$$



$$n_1 > n_2 \Rightarrow s > s'$$



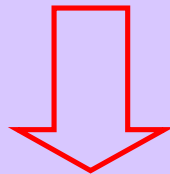
$$n_1 < n_2 \Rightarrow s < s'$$

Riepilogo: le espressioni del diottro

leggi della rifrazione,
convenzioni sui segni,
approssimazione parassiale

equazione del diottro

$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = \frac{n_2 - n_1}{R} = \frac{n_1}{f} = \frac{n_2}{f'}$$



ingrandimento

$$m \equiv \frac{y'}{y} = -\frac{n_1 s'}{n_2 s}$$

Esercizio numerico

4.6 Una moneta giace sul fondo di una vasca piena di acqua profonda $h = 1$ m. A che profondità sembra essere se guardata dall'alto.

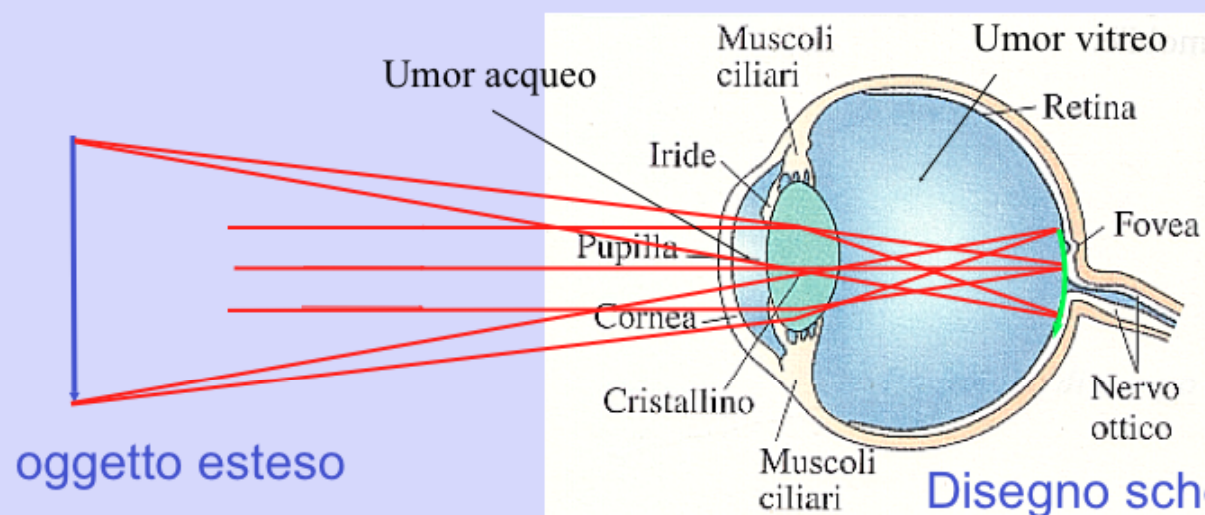
Esercizio numerico

4.7 Un diottro è costituito da una superficie sferica convessa con $R = 12$ cm, fatta con vetro flint con indice di rifrazione $n = 1.58$, in aria. Un oggetto è posto sull'asse ottico a distanza s dal vertice. Calcolare s' , m e il carattere dell'immagine per s uguale a :

- a) 90 cm;
- b) 32 cm;
- c) 20.7 cm;
- d) 15 cm.

SISTEMI E STRUMENTI OTTICI

L'occhio umano



Disegno schematico dell'occhio umano

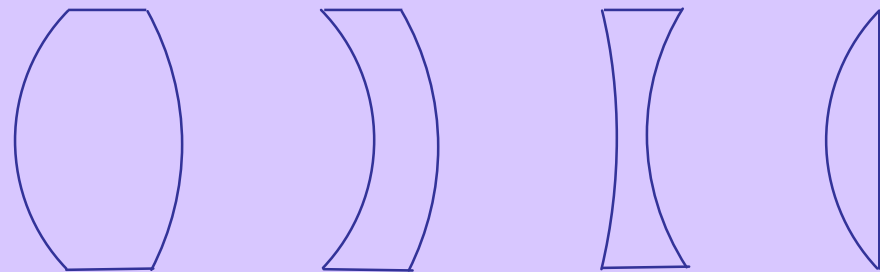
La parte posteriore dell'occhio (retina) è rivestita di fotorecettori: quando vengono investiti dalla luce, tramite opportune reazioni chimiche, inducono dei potenziali elettrici in alcune cellule nervose specializzate che trasmettono il segnale al cervello tramite i nervi ottici.

Ma affinché la rappresentazione riproduca fedelmente l'oggetto, si deve formare l'immagine sulla retina.....

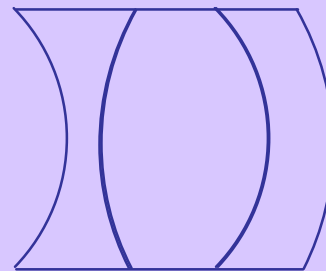
le lenti

combinazioni di più diottri: **le lenti**

semplici



composte



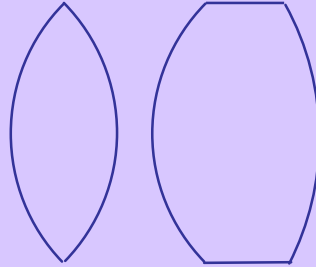
(esempio)

le lenti

tipi di lenti



pianoconvesse



biconvesse



pianoconcave



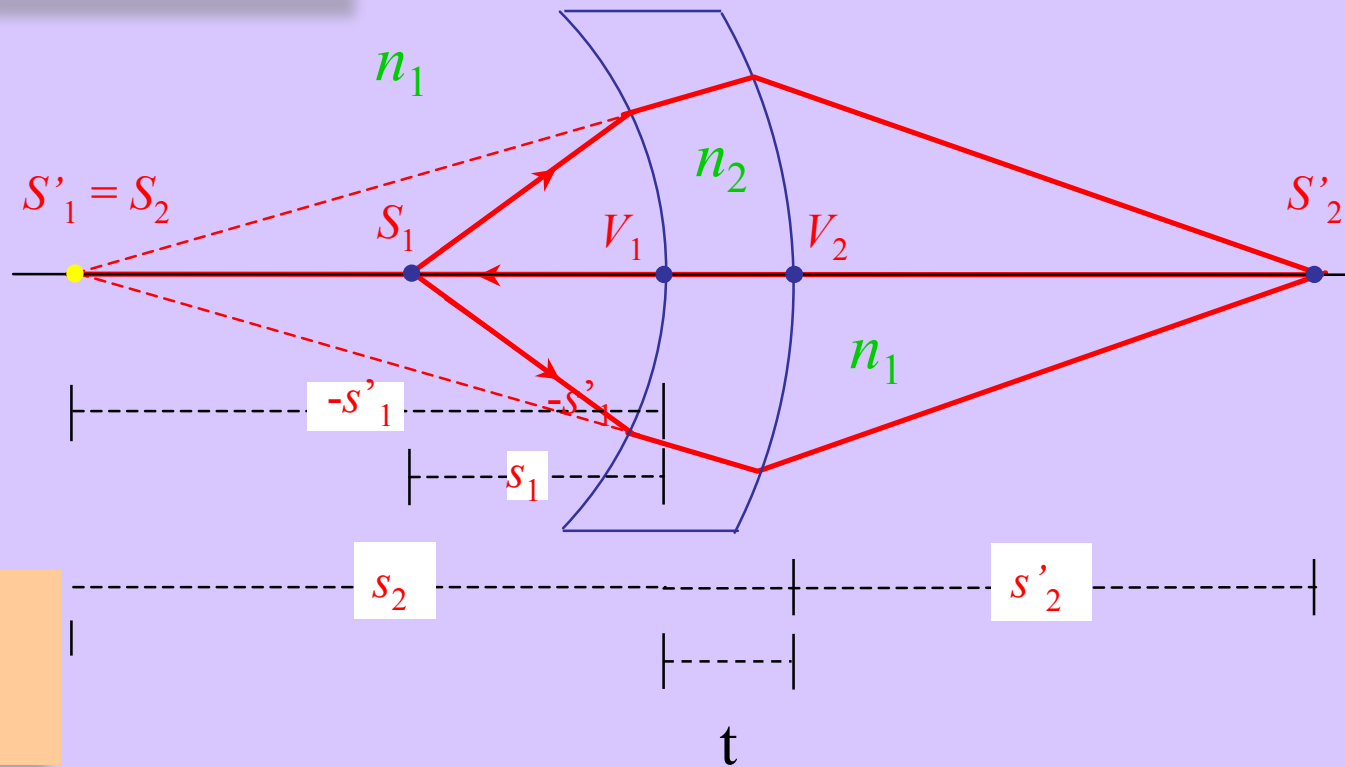
biconcave



menisco
(concavaconvessa)



menisco
(convessaconcava)

$t \equiv$ spessore della lente

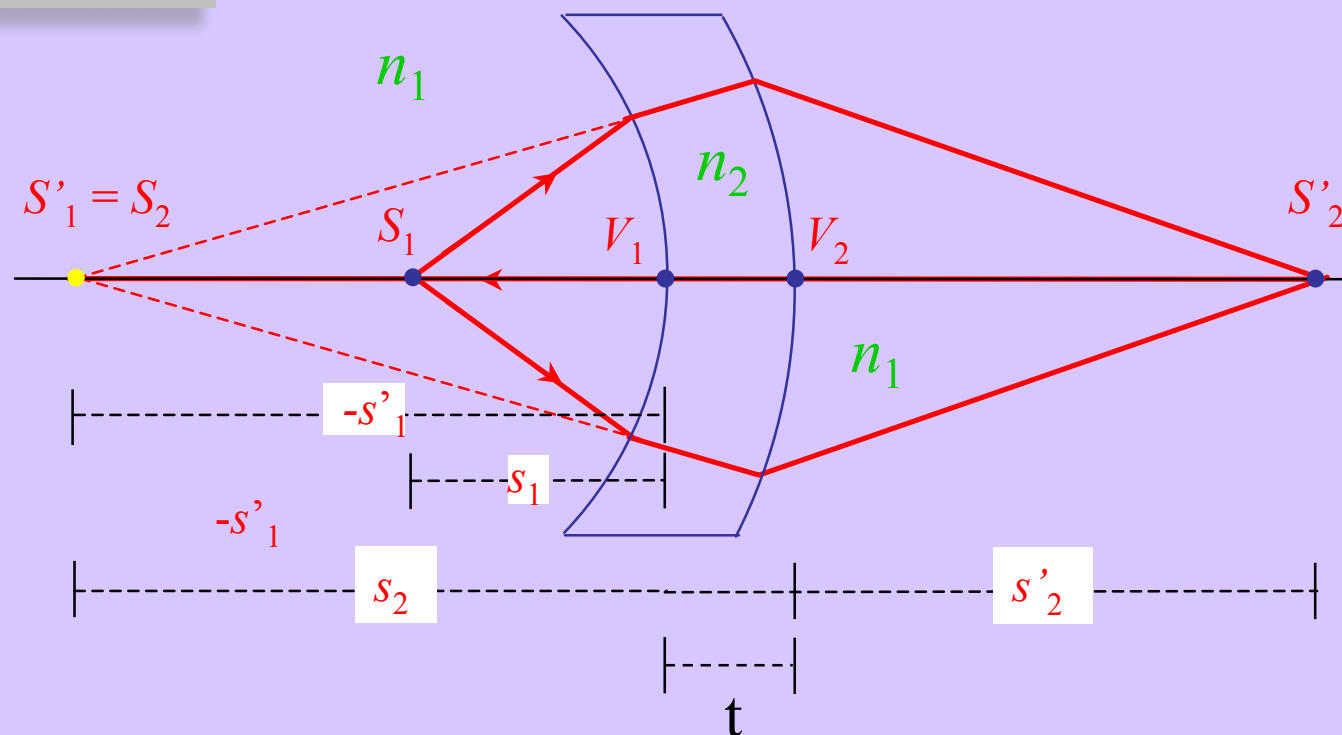
definiamo:

$$n_{21} \equiv \frac{n_2}{n_1}$$

per il primo diottro (aria/materiale):

$$\frac{1}{s_1} + \frac{n_{21}}{s'_1} = \frac{n_{21} - 1}{R_1} = \frac{1}{f_1}$$

le lenti - dimostrazione



per il secondo diottero

$$\frac{n_{21}}{s_2} + \frac{1}{s'_2} = \frac{1 - n_{21}}{R_2} = \frac{1}{f'_2}$$

con: $s_2 = t - s'_1$

le lenti

se la lente è *sottile*:

$$t \rightarrow 0$$

$$\text{quindi: } s_2 = t - s'_1 = -s'_1$$

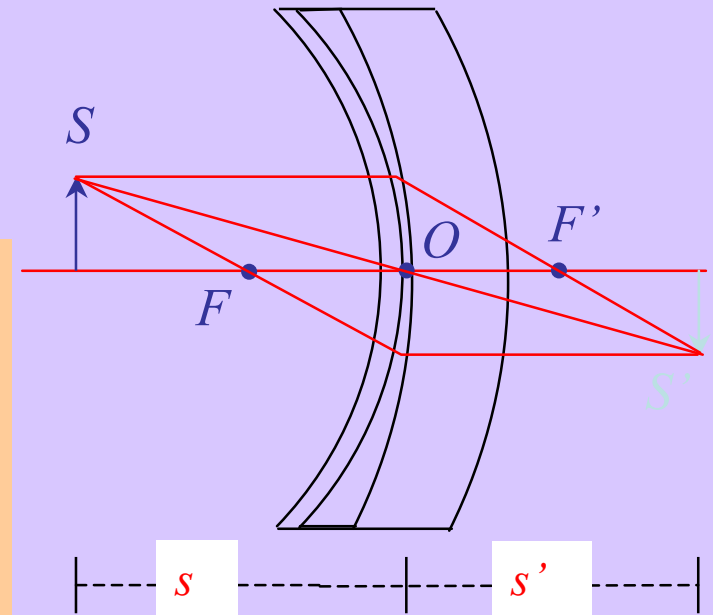
possiamo sommare le due equazioni:

$$\frac{1}{s_1} + \frac{n_{21}}{s'_1} = \frac{n_{21} - 1}{R_1} = \frac{1}{f_1}$$

$$\frac{n_{21}}{s_2} + \frac{1}{s'_2} = \frac{1 - n_{21}}{R_2} = \frac{1}{f'_2}$$

ottenendo:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = (n_{21} - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$



**equazione del
costruttore di lenti**

lenti sottili

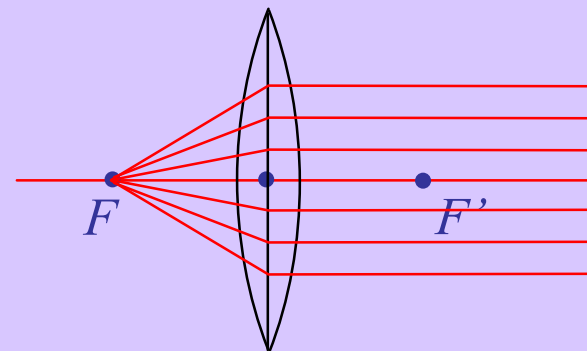
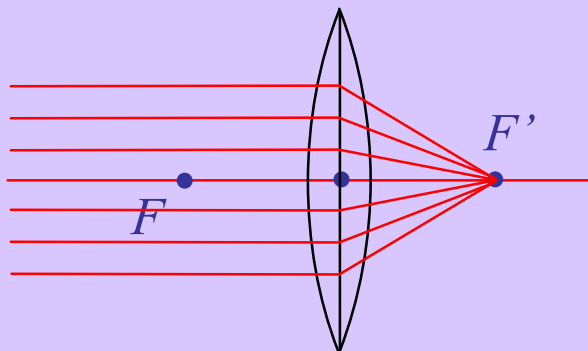
$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = (n_{21} - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

equazione del
costruttore di lenti

$$\frac{1}{s'} \equiv \frac{1}{f'} = (n_{21} - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

$f = f'$: punti focali
equidistanti da O

$$\frac{1}{s} \equiv \frac{1}{f} = (n_{21} - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$



lenti sottili

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = (n_{21} - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{f}$$

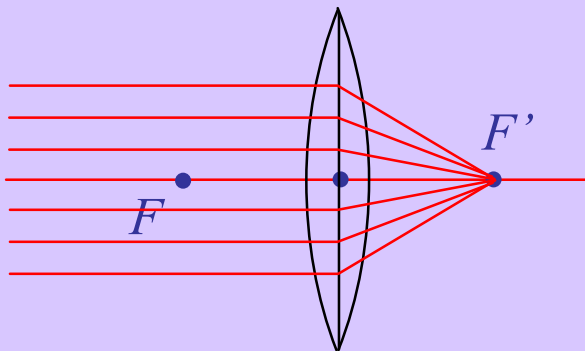
Si può quindi scrivere:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \gtrless 0$$

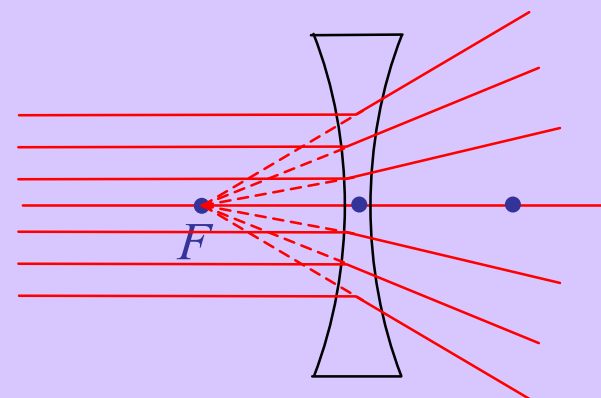
equazione delle lenti

lente positiva/negativa

$\frac{1}{f} \equiv$ potenza
diottrica



lente positiva



lente negativa

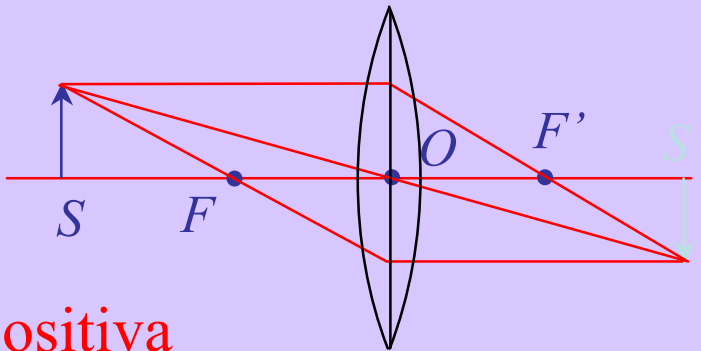
lenti sottili

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \quad \lesseqgtr \quad 0$$

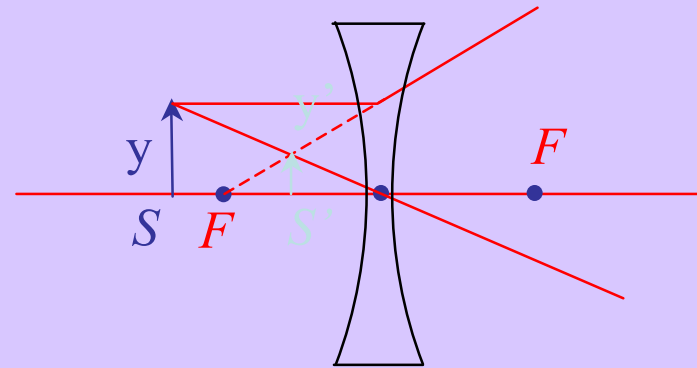
equazione delle lenti

$$\frac{1}{f} \equiv \text{potenza diottrica}$$

per il tracciamento:



lente positiva



lente negativa



ingrandimento laterale:

$$m \equiv \frac{y'}{y} = - \frac{s'}{s}$$

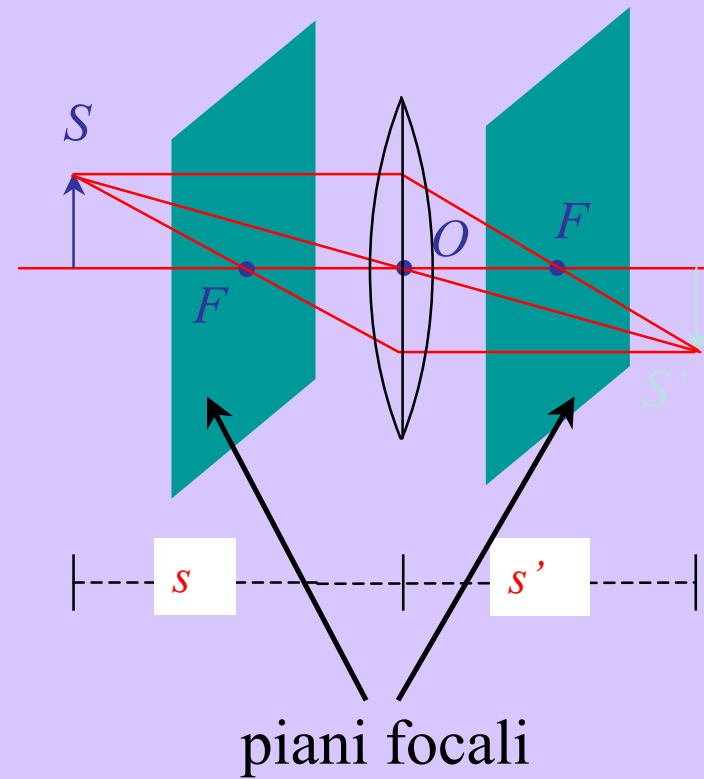
lenti sottili

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

$\frac{1}{f} \equiv$ potenza
diottrica

ingrandimento laterale:

$$m \equiv \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}$$



attenzione al segno di R!

$$\frac{1}{f} = (n_{21} - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$



pianoconvessa



biconvesse



concaveconvessa
(menisco)



$f > 0$

**convergenti
(positive)**



pianoconcava



biconcava



concaveconvessa
(menisco)

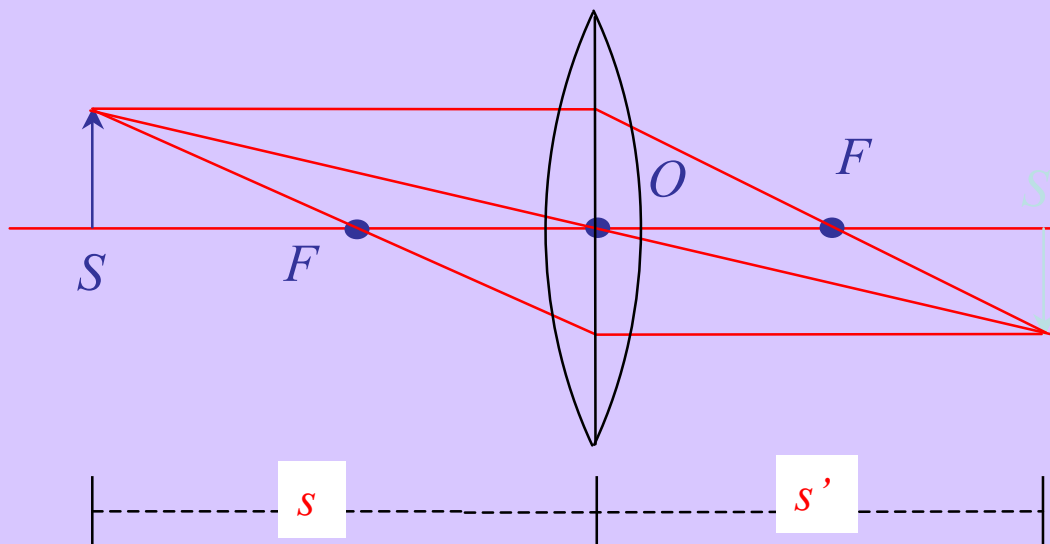
$f < 0$

**divergenti
(negative)**

lenti sottili

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

per il tracciamento si usano **due** dei tre raggi principali:

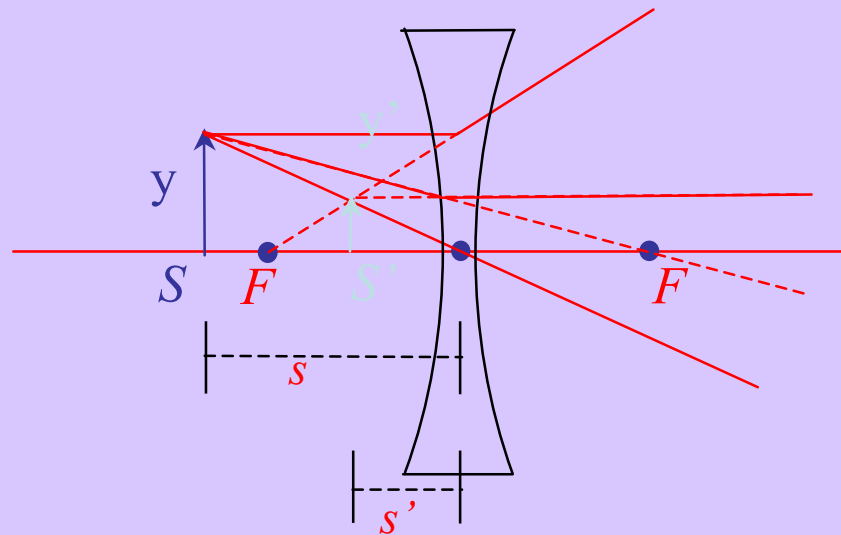


lente **positiva** o *convergente*

lenti sottili

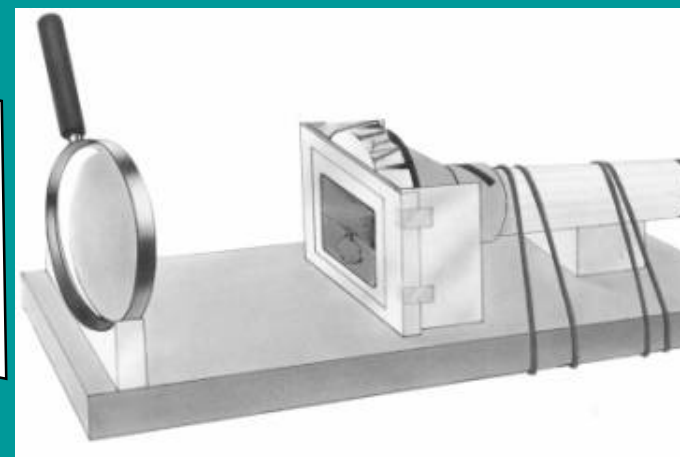
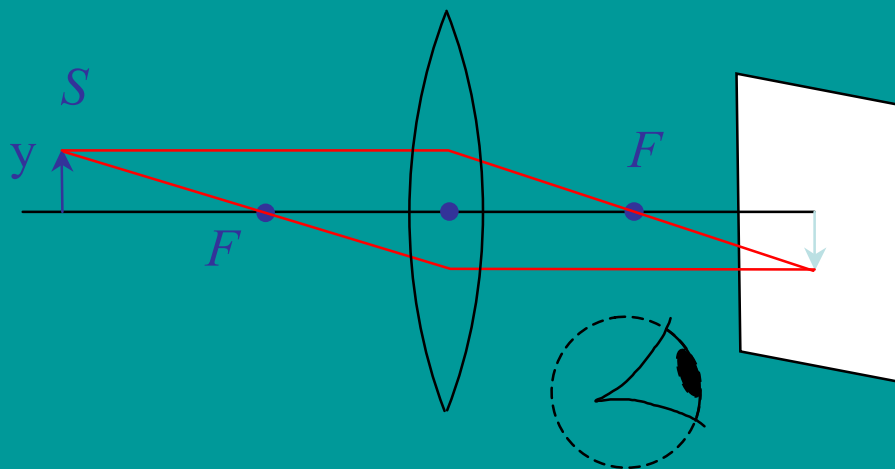
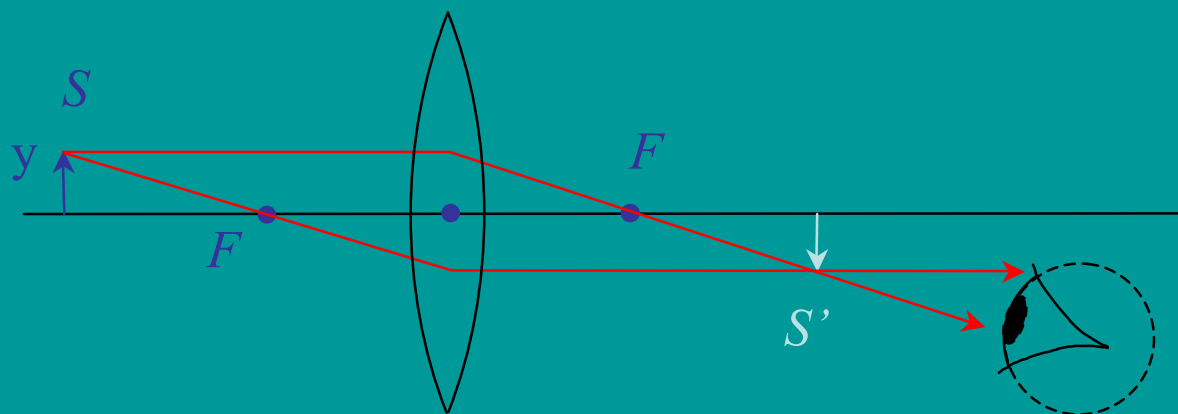
$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

per il tracciamento si usano **due** dei tre raggi principali:



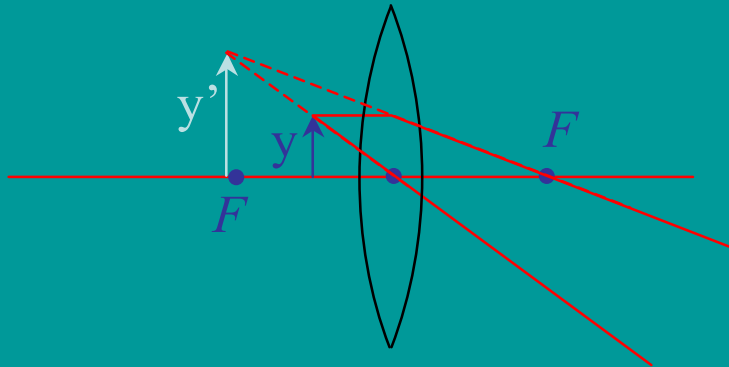
lente **negativa** o *divergente*

le immagini reali possono essere viste direttamente dall'occhio



oppure visualizzate (“proiettate”) su uno schermo

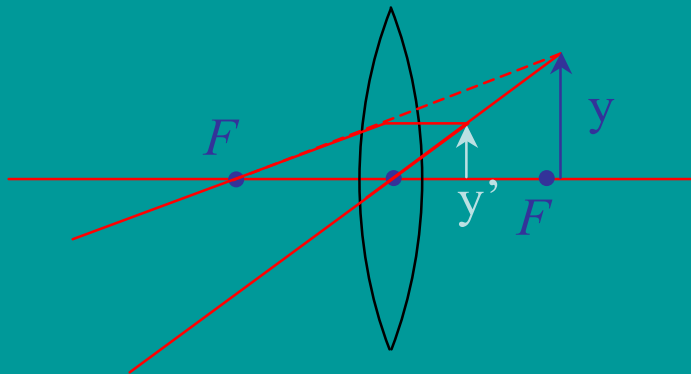
II)



oggetto reale,
immagine virtuale

lente di ingrandimento,
oculari microscopio, telescopio

III)



oggetto virtuale,
immagine reale

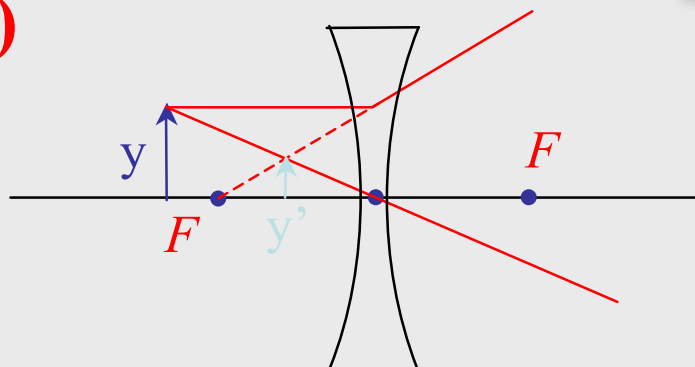
Le immagini di oggetti che si possono osservare tramite una lente sono di due tipi, reali e virtuali. Se i raggi emergenti da una lente si incontrano in qualche punto dello spazio, l'immagine di un oggetto può allora essere raccolta su uno schermo. Quest'immagine data dalla lente viene detta immagine reale, mentre nel caso in cui i raggi emergenti non si incontrino in nessun punto dello spazio, ma lo fanno solo i loro prolungamenti fittizi nel verso opposto a quello di propagazione, allora l'immagine non può essere raccolta su uno schermo per cui l'immagine viene detta virtuale.



costruzioni delle immagini

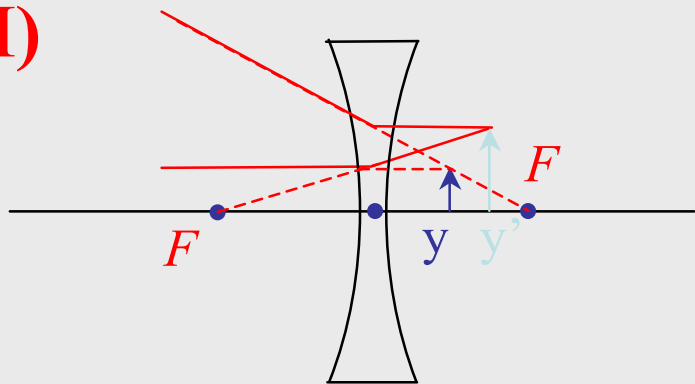
lenti sottili divergenti (negative)

I)



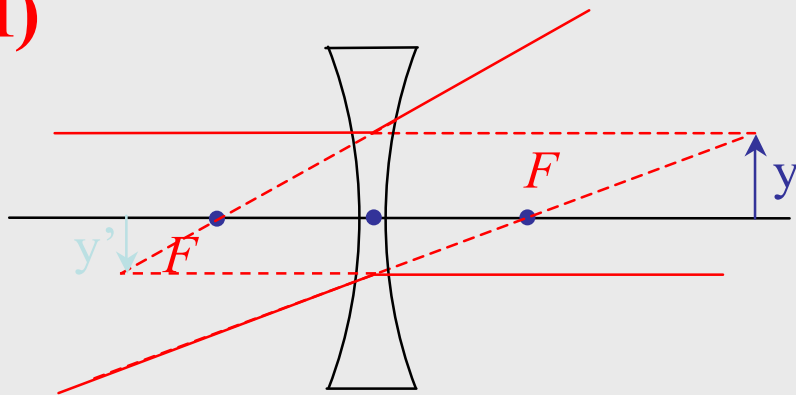
oggetto reale,
immagine virtuale

II)



oggetto virtuale,
immagine reale

III)

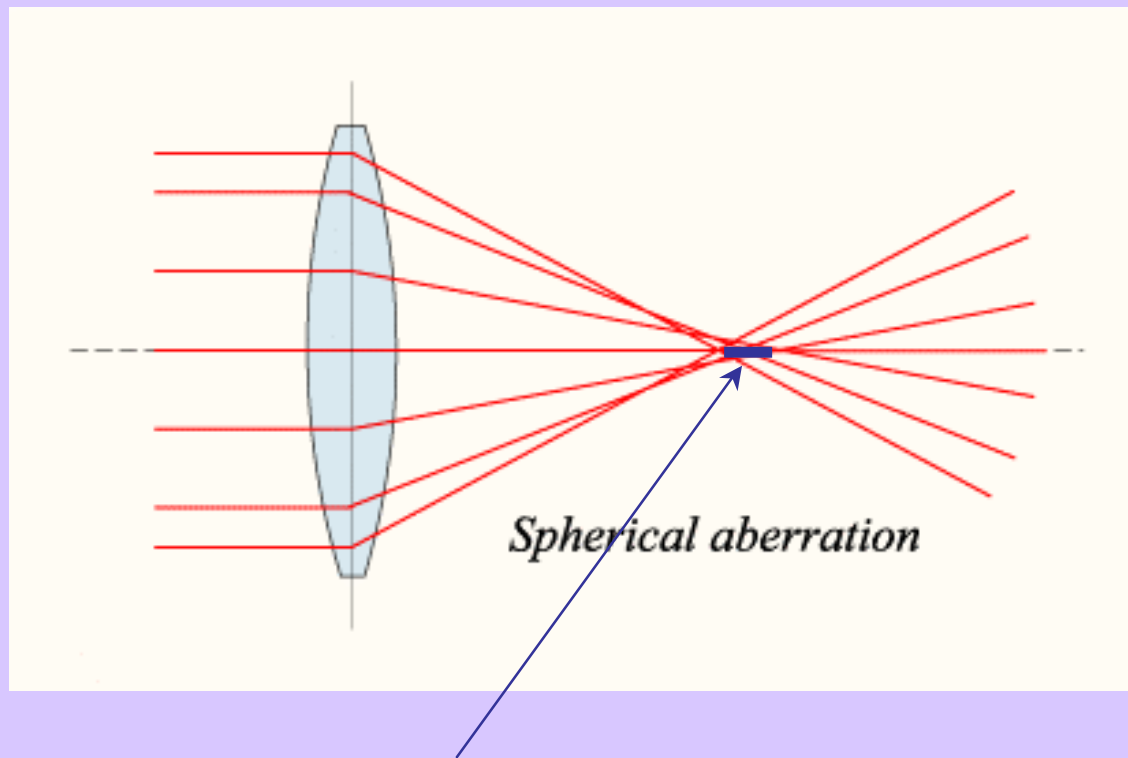


oggetto virtuale,
immagine virtuale
oculare cannocchiale

Aberrazioni delle lenti

si noti che:

fuori dall'appross. parassiale si ha l'**aberrazione sferica**:

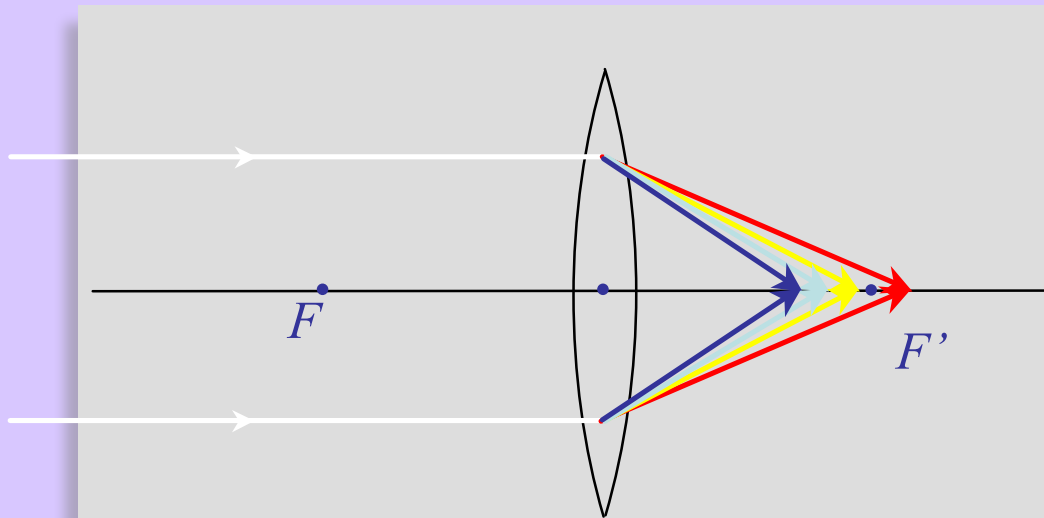


il fuoco è su un segmento

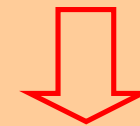
Aberrazioni delle lenti

si noti che:

anche nella approssimazione parassiale la **dispersione** provoca la:



$$n = n(\omega)$$

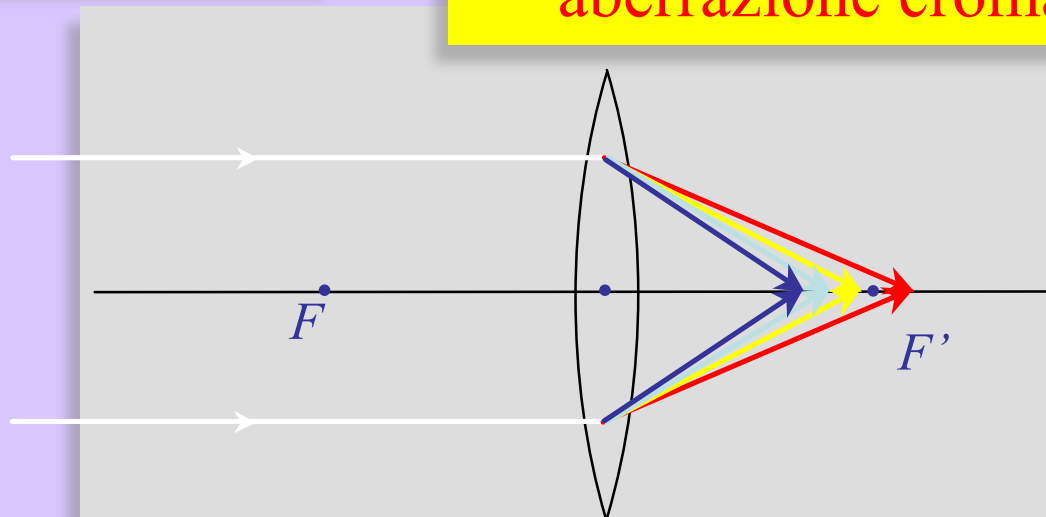


$$f = f(\omega)$$

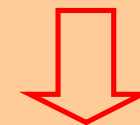
aberrazione cromatica

lenti sottili

aberrazione cromatica

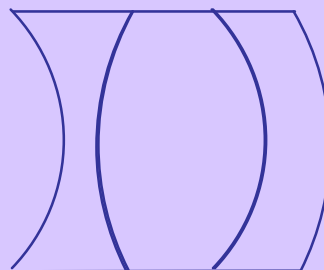


$$n = n(\omega)$$



$$f = f(\omega)$$

parzialmente correggibile con lenti composte



Riepilogo: le lenti sottili

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = (n_{21} - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{f}$$

equazione del
costruttore di lenti

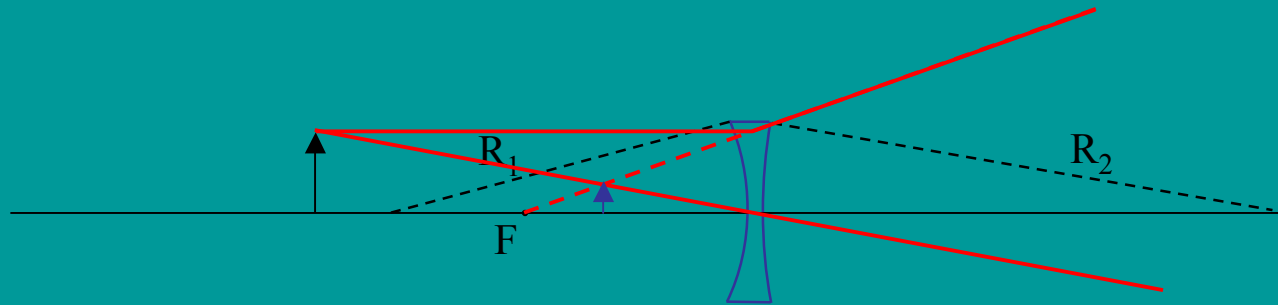
$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

equazione delle lenti

$$m \equiv \frac{y'}{y} = - \frac{s'}{s}$$

ingrandimento laterale

R3) Sia data una lente sottile biconcava di vetro crown (indice di rifrazione $n_1 = 1.57$) in aria con i raggi di curvatura delle superfici pari a $R_1 = 8$ cm e $R_2 = 10$ cm. Si traccino i raggi e si calcoli caratteristiche, posizione e ingrandimento dell'immagine della freccia oggetto posta a una distanza $d = 12$ cm dalla lente.



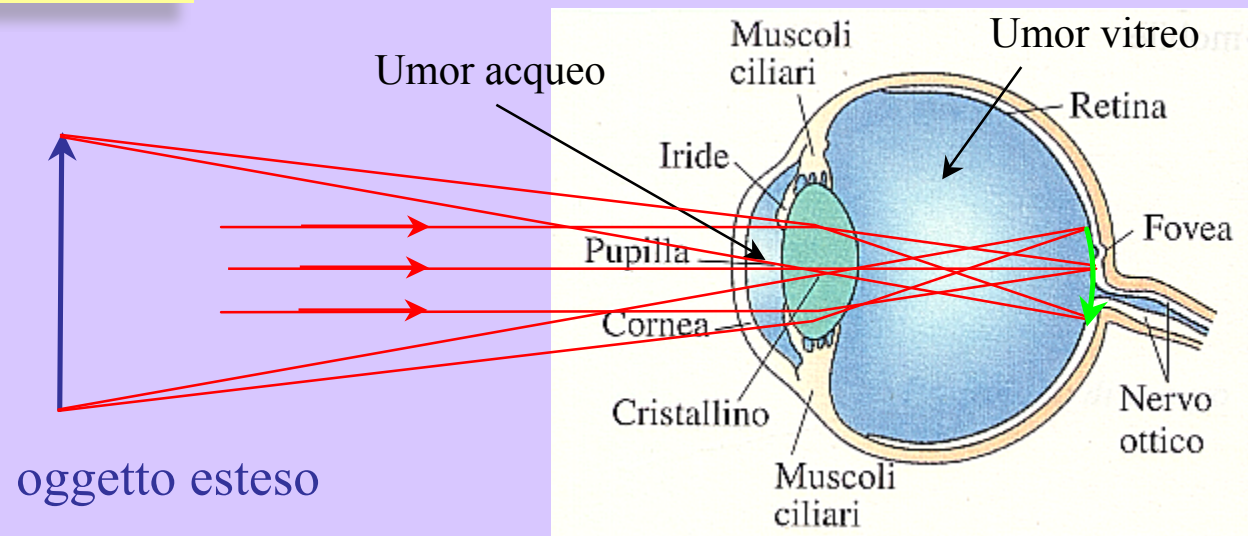
$$\frac{1}{f} = \frac{n_1 - n_2}{n_2} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1.57 - 1}{1} \left(-\frac{1}{8} - \frac{1}{10} \right) = -0.128 \text{ cm}^{-1} \Rightarrow f = -7.8 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \Rightarrow s' = \frac{f \cdot s}{s - f} = \frac{-7.8 \times 12}{12 + 7.8} \cong -4.7 \text{ cm}$$

$$m \equiv \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s} = 0.34 \text{ cm} \quad \text{immagine virtuale, dritta e rimpicciolita}$$

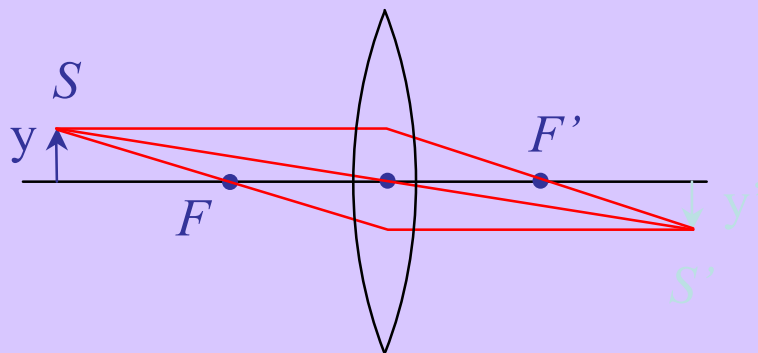
SISTEMI E STRUMENTI OTTICI

L'occhio umano



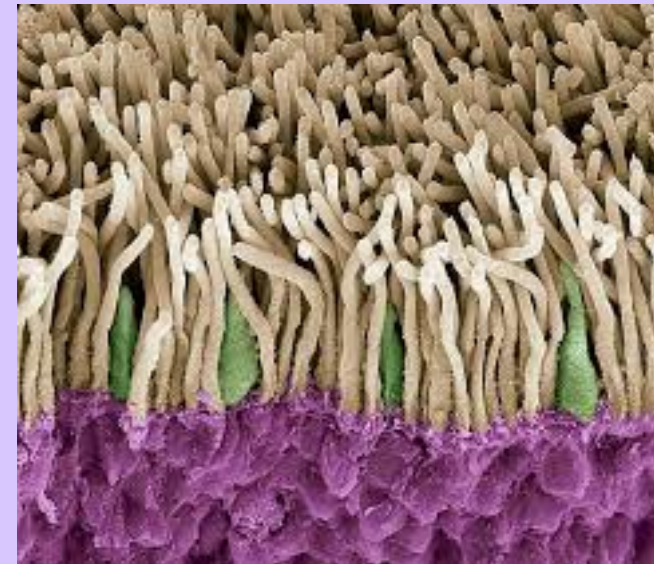
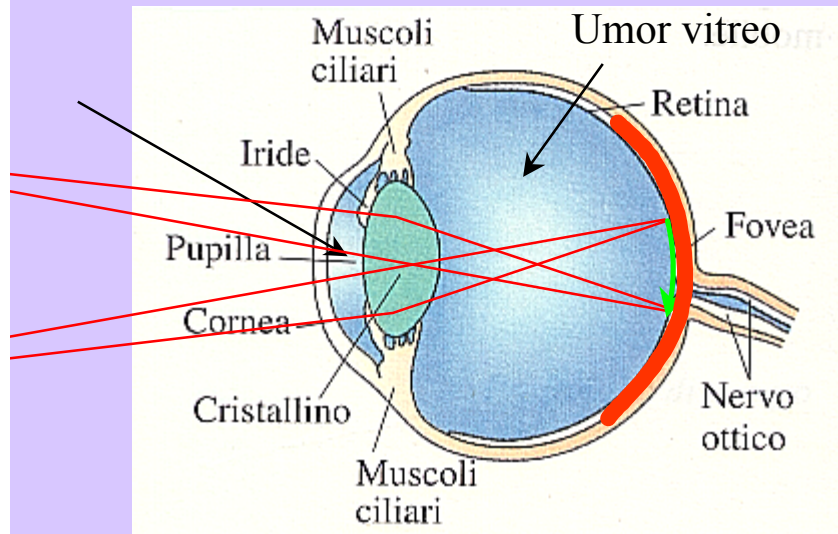
Disegno schematico dell'occhio umano

Funzionamento: lente convergente caso I)



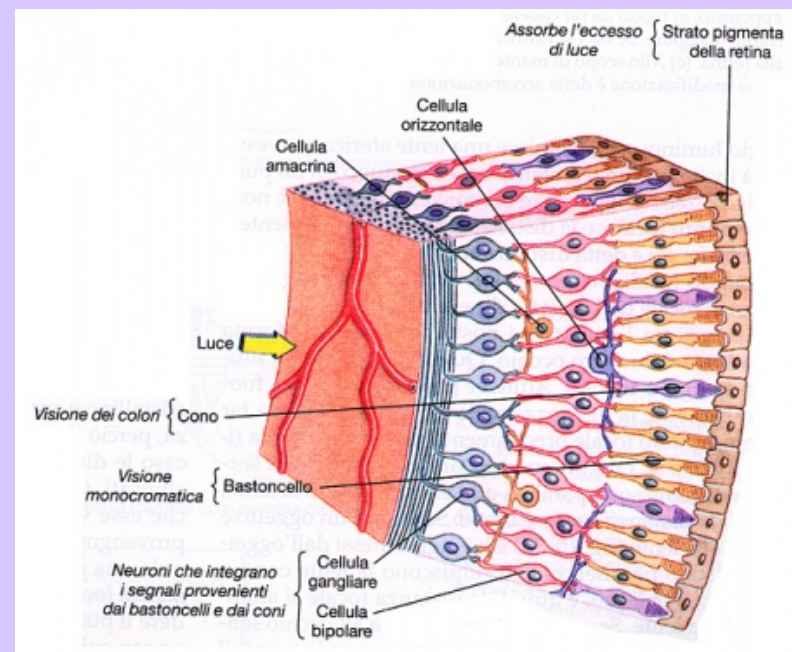
oggetto reale,
immagine reale

L'occhio umano: sensori e sensibilità

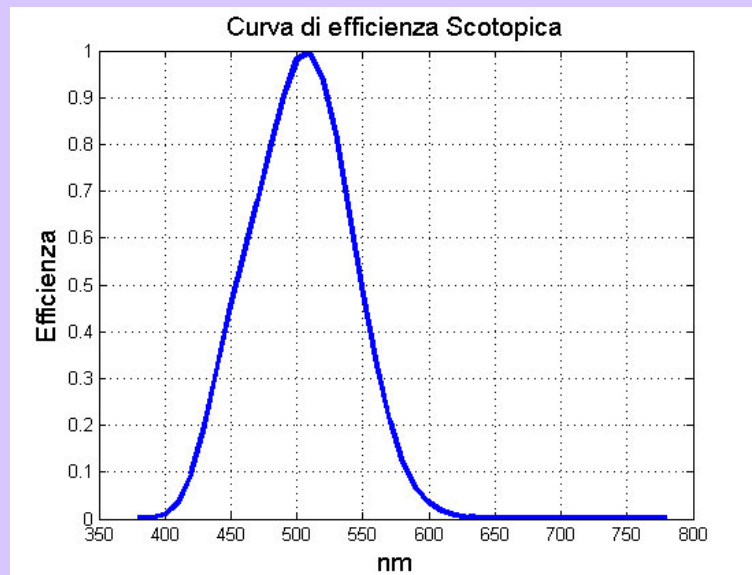


7.000.000 di
coni
(visione diurna
cromatica)

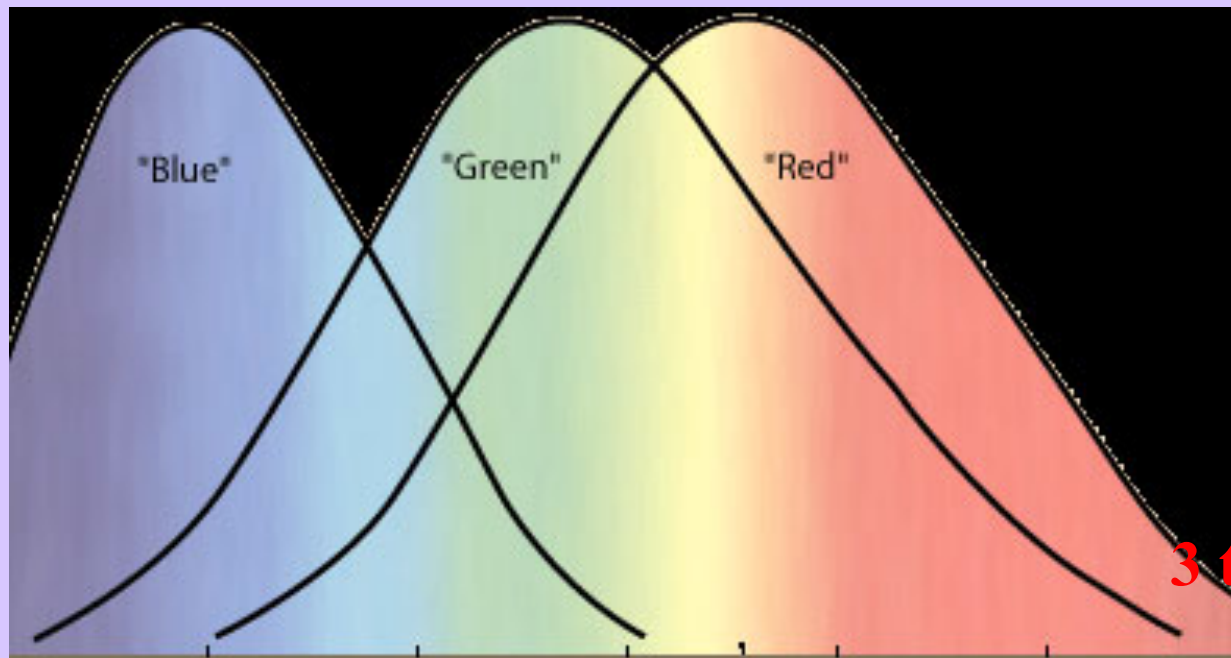
120.000.000 di
bastoncelli
(visione notturna
acromatica)



I bastoncelli sono responsabili della visione scotopica, **ovvero della visione notturna** o in situazioni di carenza di luce. I bastoncelli **non sono in grado di distinguere i colori** e sono organi ad alta sensibilità con uno **spettro di sensibilità che copre tutto il visibile**. La sensibilità dei bastoncelli è di mille volte superiore a quella dei coni e ci permette la visione notturna. La sensibilità scotopica, cioè quella notturna, coincide quindi con la sensibilità dei bastoncelli,



In luce diurna, invece, la visione è a carico dei coni che mostrano una sensibilità più bassa dei bastoncelli, ma selettiva rispetto alle lunghezze d'onda della luce. I coni sono di tre tipi, differenziati rispetto alla banda di sensibilità (blu, verde e rosso) come mostrato figura.



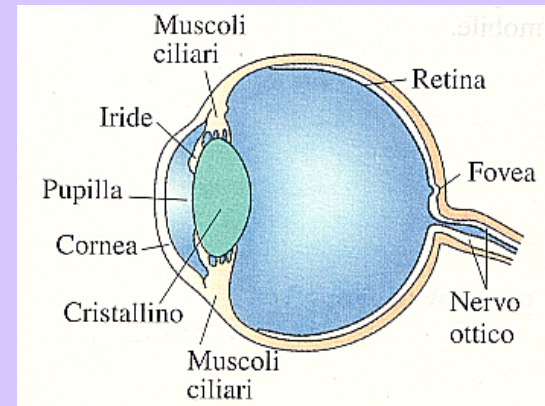
3 tipi di coni



**teoria del tri-stimolo
per la percezione del colore**

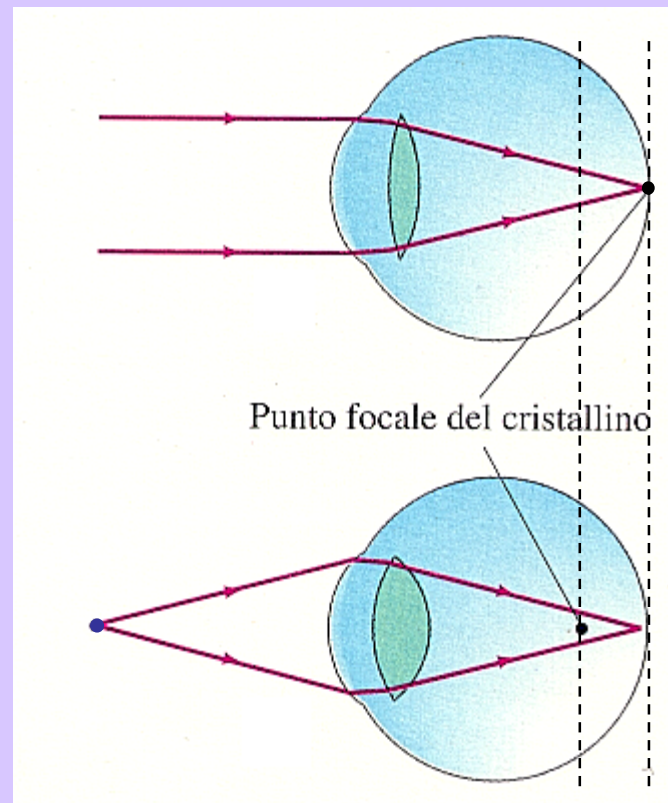
l'occhio umano

il processo di *accomodamento*:



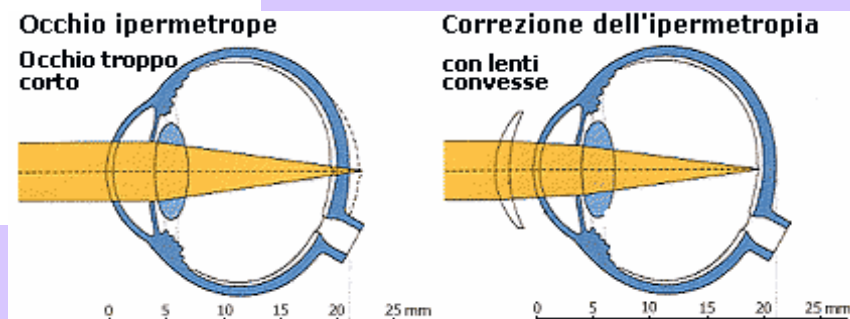
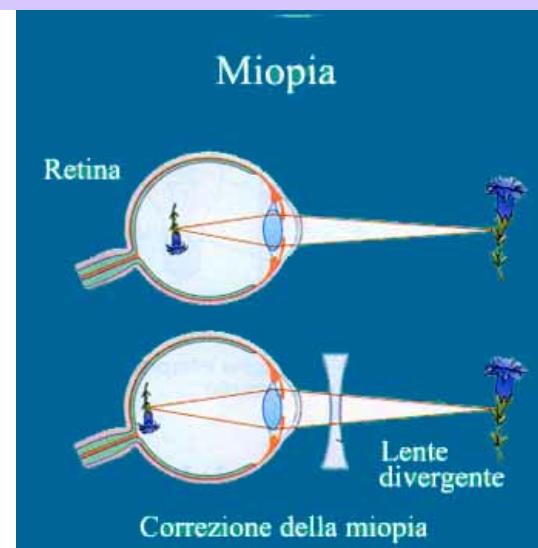
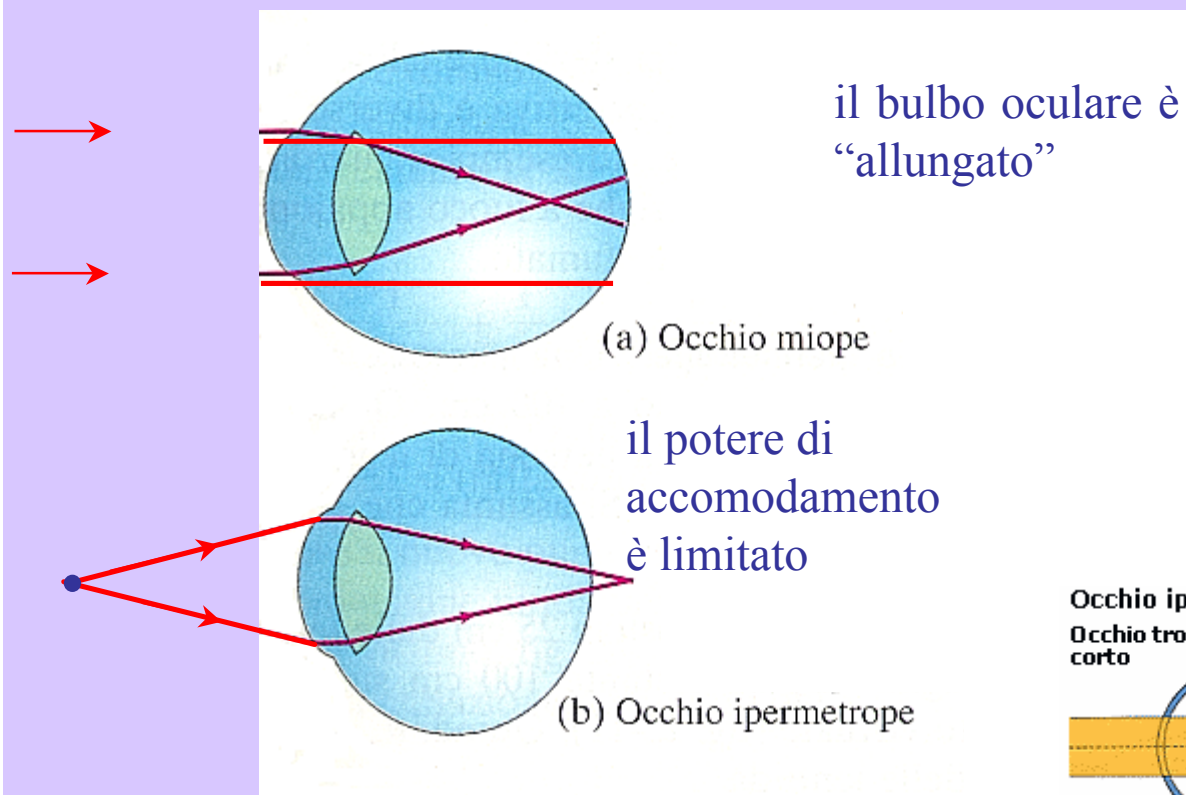
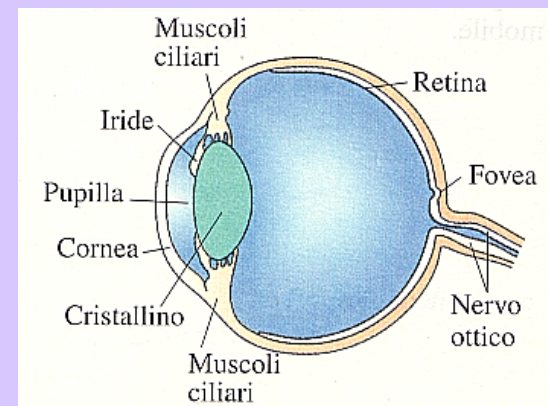
oggetto all'infinito

oggetto a
distanza finita



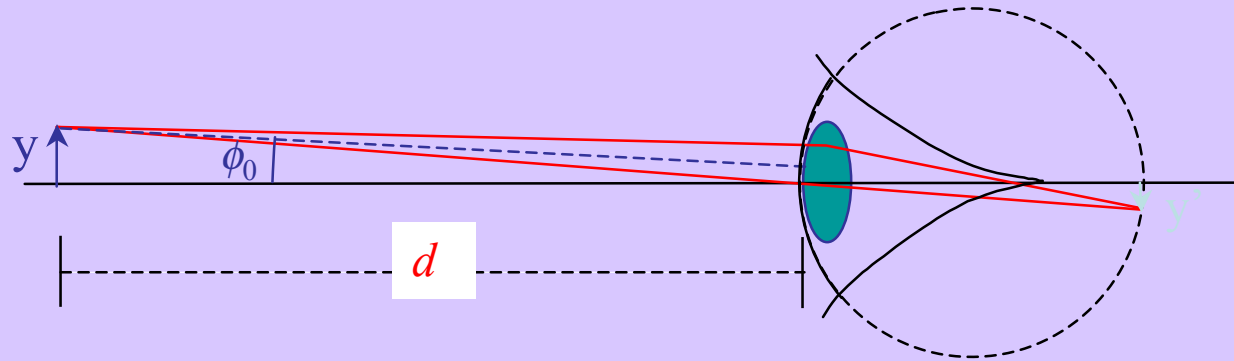
l'occhio umano

i più comuni *difetti della visione*:



l'occhio umano

nel processo di *visione distinta* naturale:



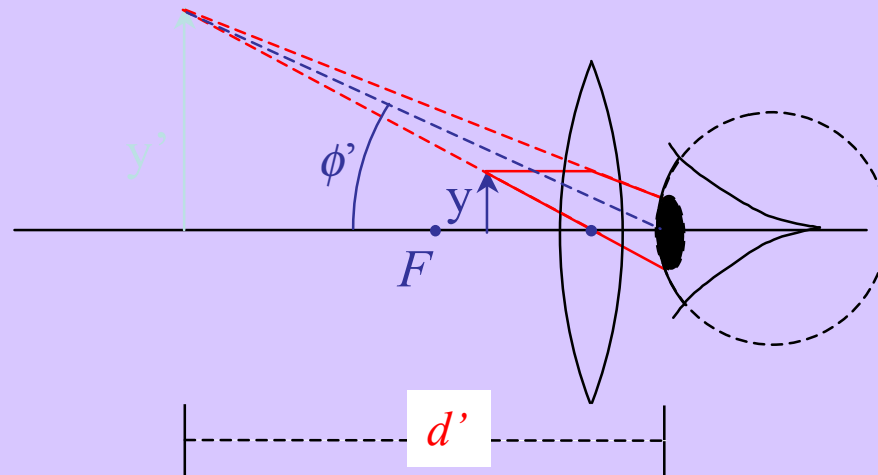
definiamo:

$$\phi_0 = \operatorname{atan} \frac{y}{d} \cong \frac{y}{d} \quad \text{grandezza angolare (apparente)}$$

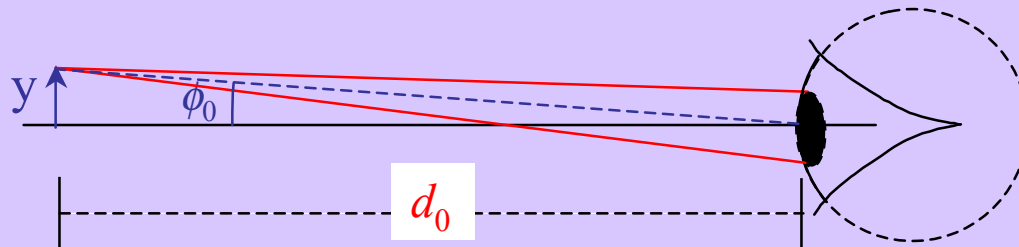
$$15 \text{ cm} \leq d \leq \infty$$

ma la visione è *più distinta* per $d = d_0 \cong 25 \text{ cm}$

Il microscopio semplice (lente di ingrandimento)



si confronti con la situazione di *visione distinta* naturale:

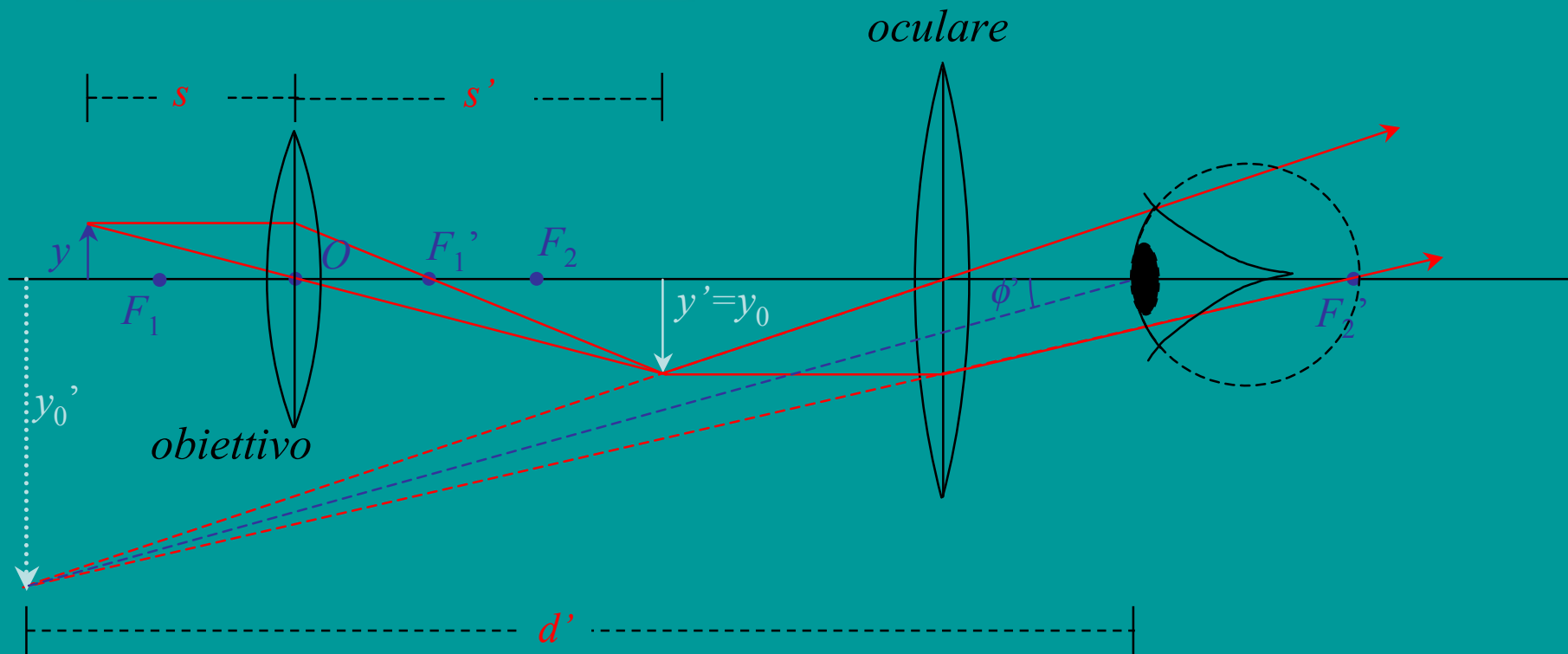


definiamo **ingrandimento angolare**:

$$M \equiv \frac{\phi'}{\phi_0} \cong \left(\frac{y'}{y} \right) \left(\frac{d_0}{d'} \right) \quad (\tan \phi \cong \phi)$$

$$M \cong \frac{d_0}{f}$$

Il microscopio composto

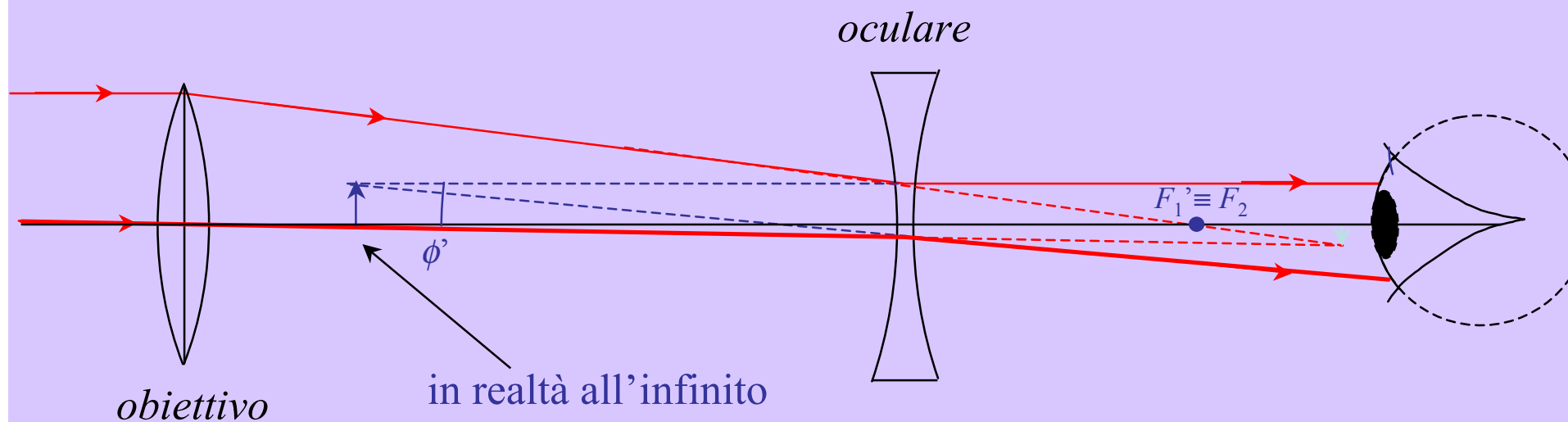


$$M = \frac{\phi'}{\phi_0'} \left(\frac{y'}{y} \right) = - \left(\frac{y_0'}{y_0} \right) \left(\frac{d_0}{d'} \right) \left(\frac{y'}{y} \right) = - m_{ob} M_{oc}$$

tipic. $m_{ob} \approx 50 \div 200$, $M_{oc} \approx 5 \div 10$ $\Rightarrow$ $M \approx 200\times \div 2000\times$

Il telescopio a *rifrazione*

telescopio **galileiano** (cannocchiale) 1609

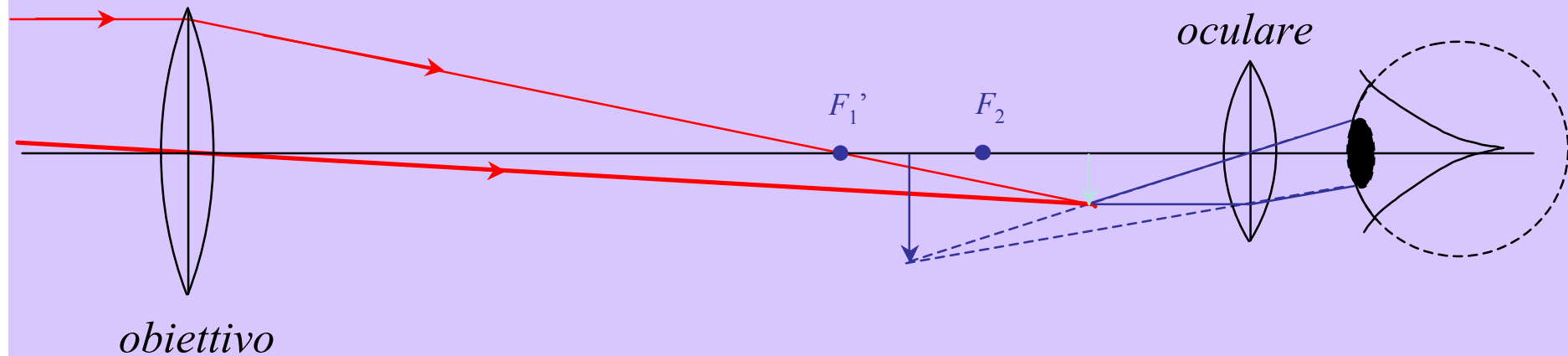


$$M = \frac{\phi'}{\phi} = -\frac{f_1}{f_2} > 0$$

$$M_{\text{Galileo}} = 33$$

telescopio a rifrazione

telescopio **astronomico** (kepleriano) 1611



$$M = \frac{\phi'}{\phi} = -\frac{f_1}{f_2} < 0$$

SPECCHI SFERICI

specchi sferici concavi



SPECCHI SFERICI

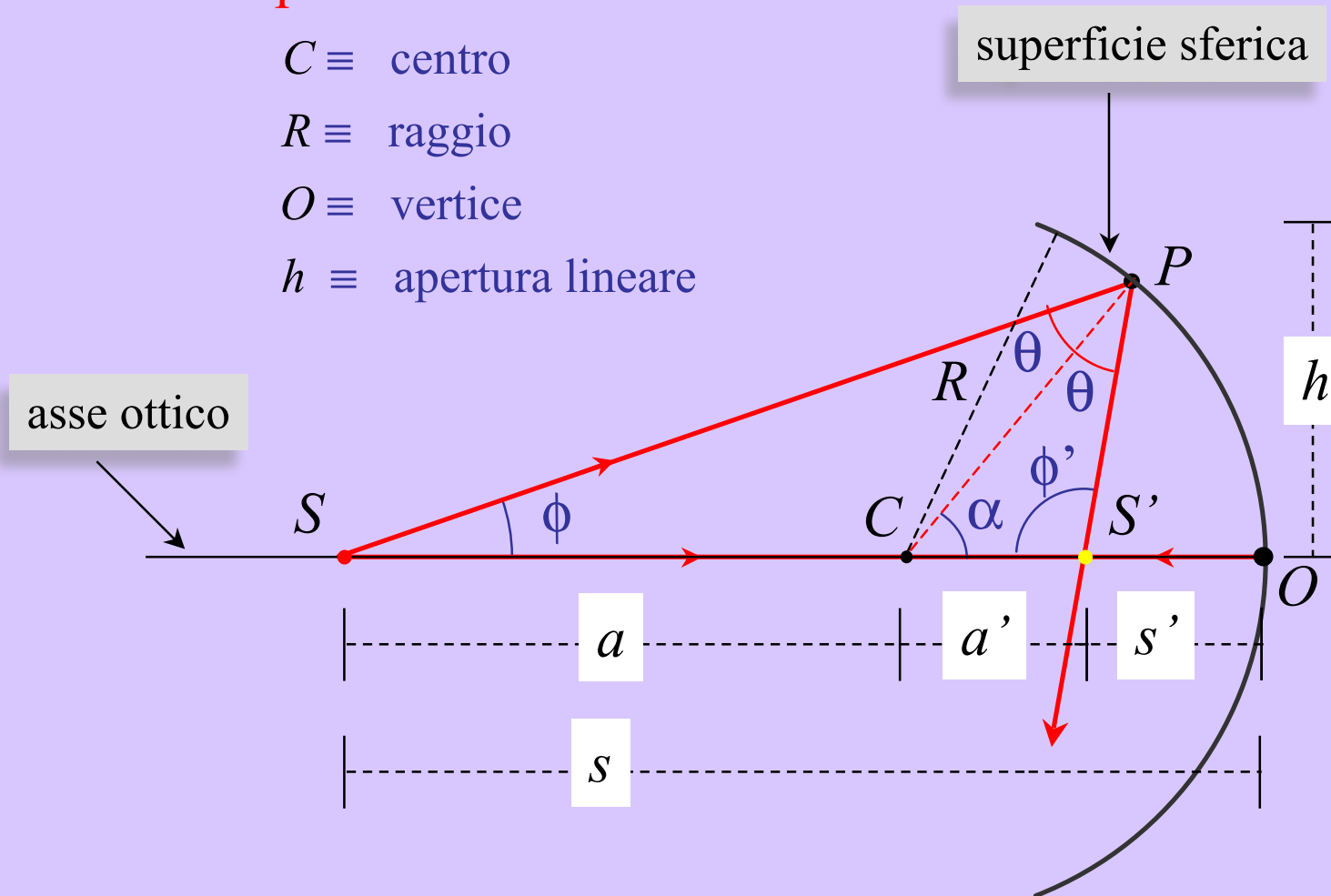
specchio sferico concavo

$C \equiv$ centro

$R \equiv$ raggio

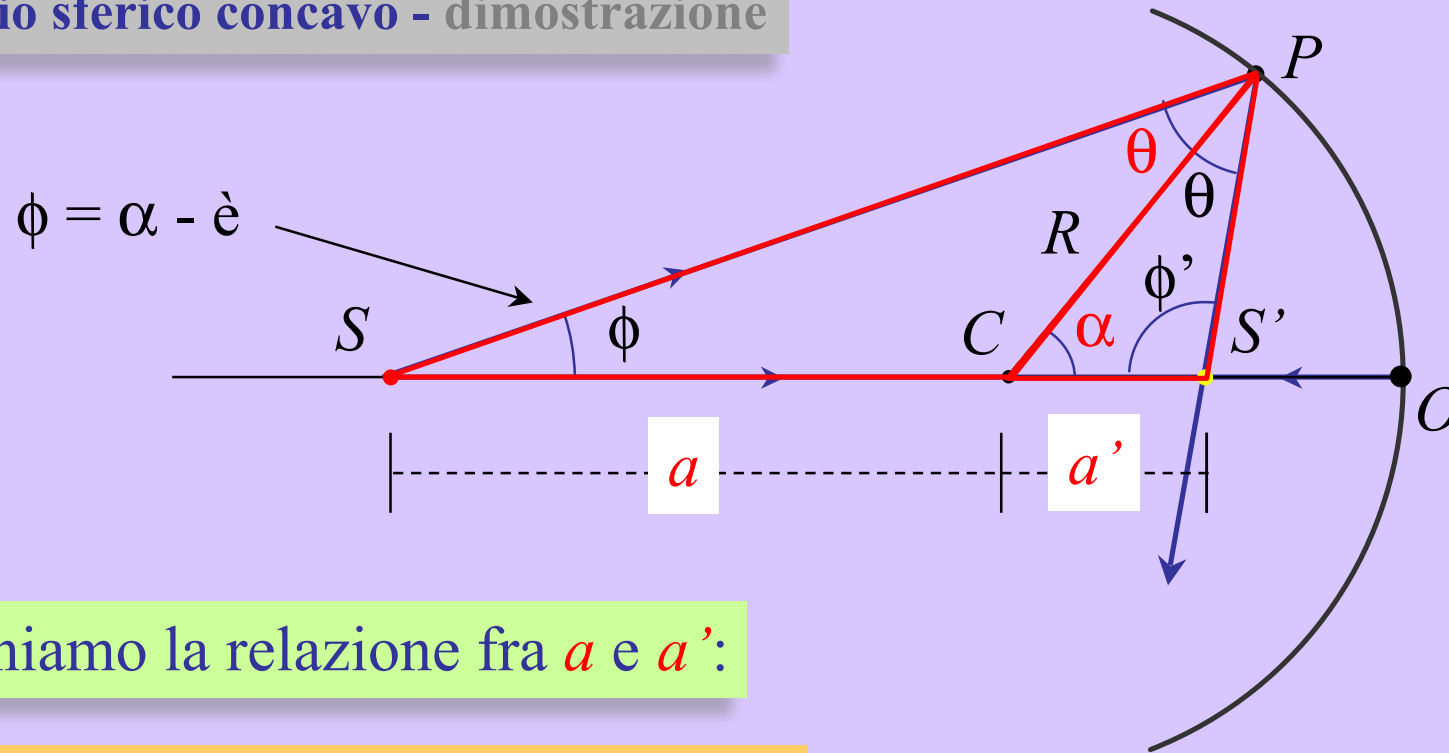
$O \equiv$ vertice

$h \equiv$ apertura lineare



tutti i raggi uscenti da S passano per S' ?

specchio sferico concavo - dimostrazione



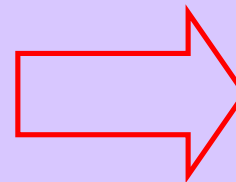
Cerchiamo la relazione fra a e a' :

dalla legge dei seni a SPC :

$$\frac{R}{a} = \frac{\sin(\alpha - \theta)}{\sin \theta} = \sin \alpha \cot \theta - \cos \alpha$$

e a CPS' :

$$\frac{R}{a'} = \frac{\sin(\alpha + \theta)}{\sin \theta} = \sin \alpha \cot \theta + \cos \alpha$$



$$a' = \frac{Ra}{R + 2a \cos \alpha}$$

(specchi concavi)

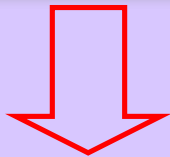
specchio sferico concavo - dimostrazione

$$a' = \frac{Ra}{R + 2a \cos \alpha}$$

(specchi concavi)

ma:

$$\text{se: } \alpha \rightarrow 0$$



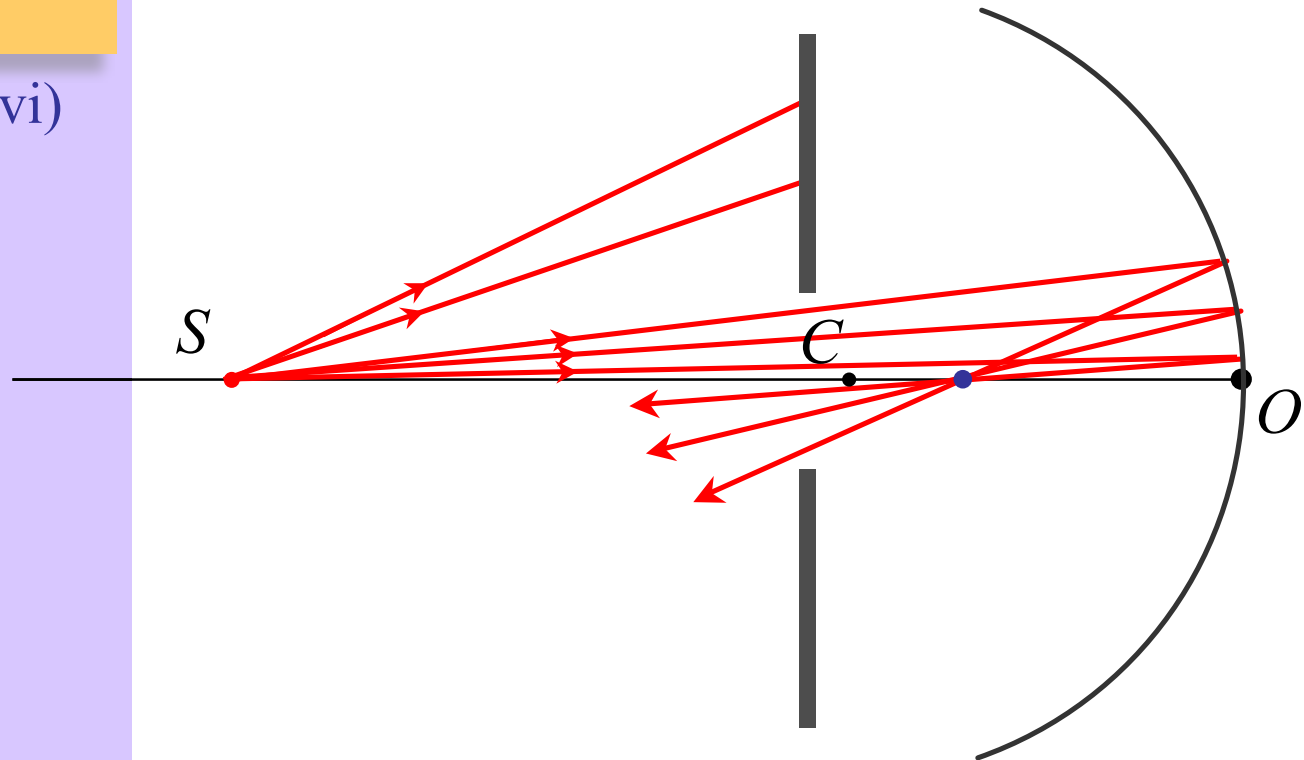
$$a' \cong \frac{Ra}{2a + R}$$



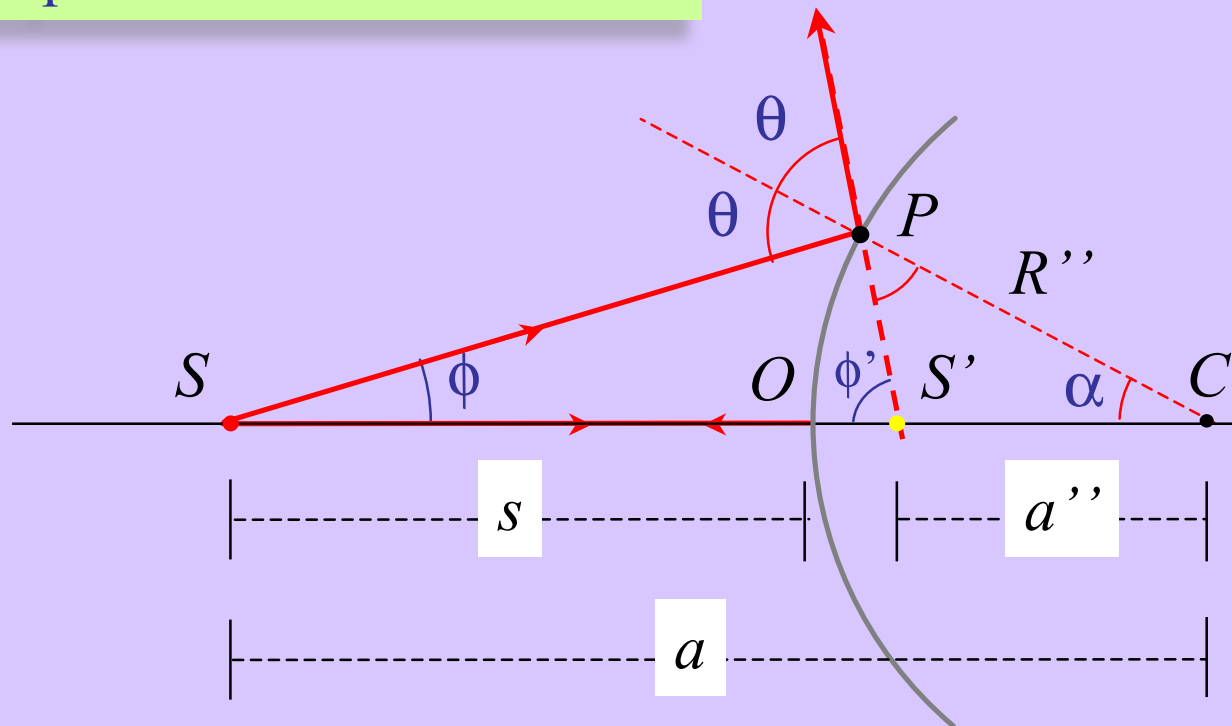
$$\delta a' \cong 0$$

$\phi, \alpha \ll 1$ raggi **parassiali**

approssimazione **parassiale**



specchio sferico **convesso**



$$a'' = \frac{R'' a}{2a \cos \alpha - R''}$$

(specchi convessi)

approssimazione
parassiale

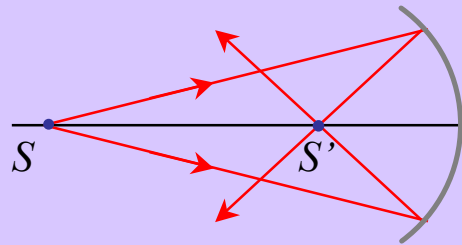
$$a'' \cong \frac{R'' a}{2a - R''}$$

(specchi convessi)

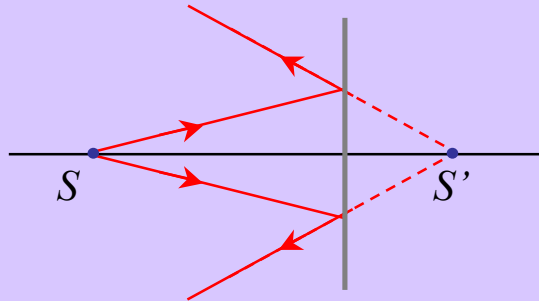
specchi sferici

convenzioni

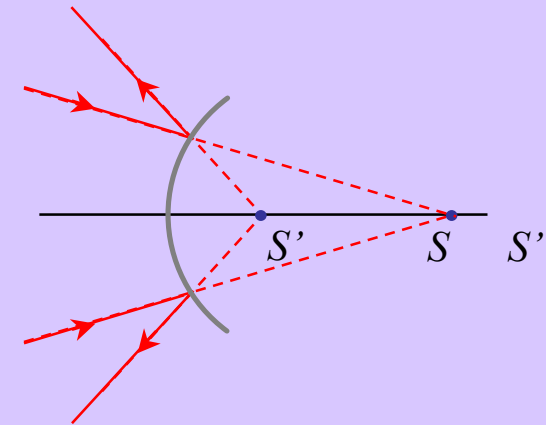
- I I raggi provengono sempre da sinistra
- II $s > 0$ se i raggi **divergono** (S a **sinistra** dello specchio)
 $s < 0$ se i raggi **convergono** (S a **destra** dello specchio)
- III $s' > 0$ se i raggi **convergono** (S' a **sinistra** dello specchio)
 $s' < 0$ se i raggi **divergono** (S' a **destra** dello specchio)
- IV $R > 0$ se: C a **sinistra** dello specchio (*oggetto reale* $\rightarrow$ *immagine reale*)
 $R < 0$ se: C a **destra** dello specchio (*oggetto reale* $\rightarrow$ *immagine virtuale*)



$$s > 0 \text{ e } s' > 0 \text{ } R > 0$$



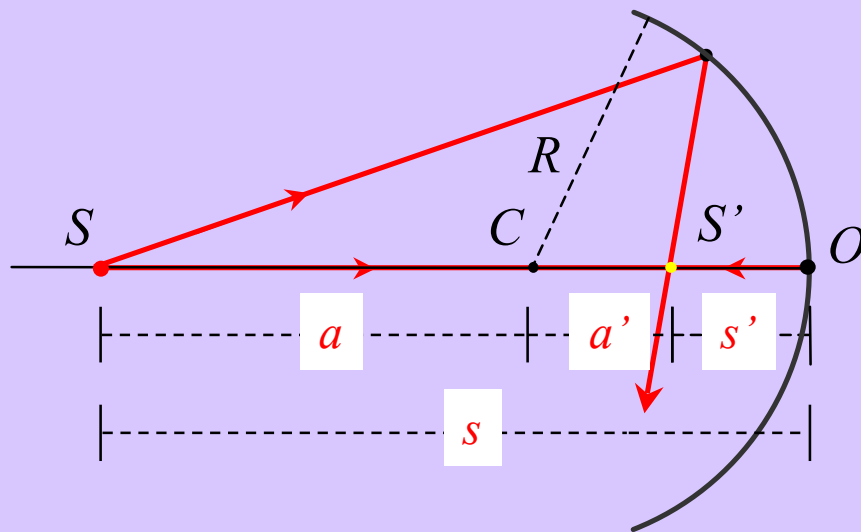
$$s > 0 \text{ e } s' < 0$$



$$s < 0 \text{ e } s' < 0 \text{ } R < 0$$

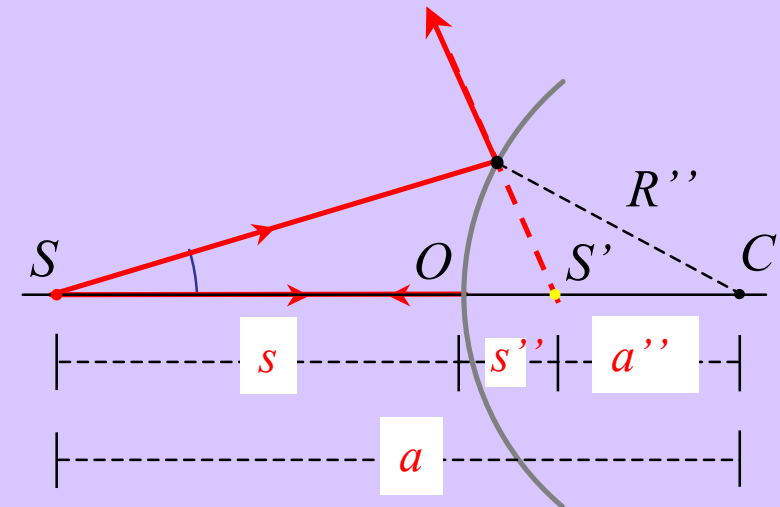
specchi sferici

riassumendo:



$$a' \cong \frac{Ra}{2a + R}$$

con le convenzioni
introdotte:



$$a'' \cong \frac{R''a}{2a - R''}$$

$$a = s - R$$

$$a' = R - s'$$

$$a = s + R''$$

$$a'' = R'' - s''$$

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R}$$

equazione degli specchi

esempio 1

specchio sferico *concavo* $R = 20 \text{ cm}$
trovare s' per:

a) $s = 30 \text{ cm}$

b) $s = 15 \text{ cm}$

c) $s = 5 \text{ cm}$

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R}$$



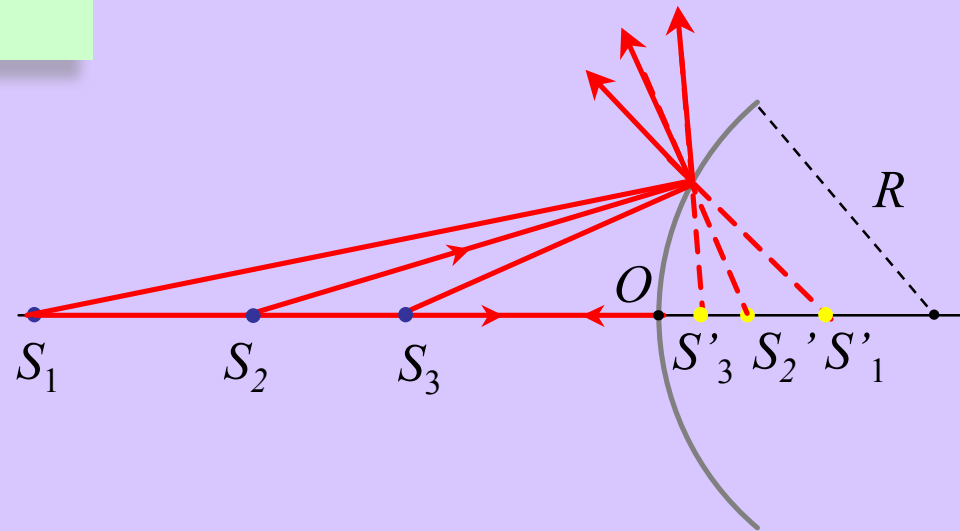
$$s' = \frac{1}{\frac{2}{R} - \frac{1}{s}}$$

esempio 2

specchio sferico *convesso* $R = 20$ cm
trovare s' per:

- a) $s = 30$ cm
- b) $s = 15$ cm
- c) $s = 5$ cm

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R}$$



3.1 Fuoco e distanza focale

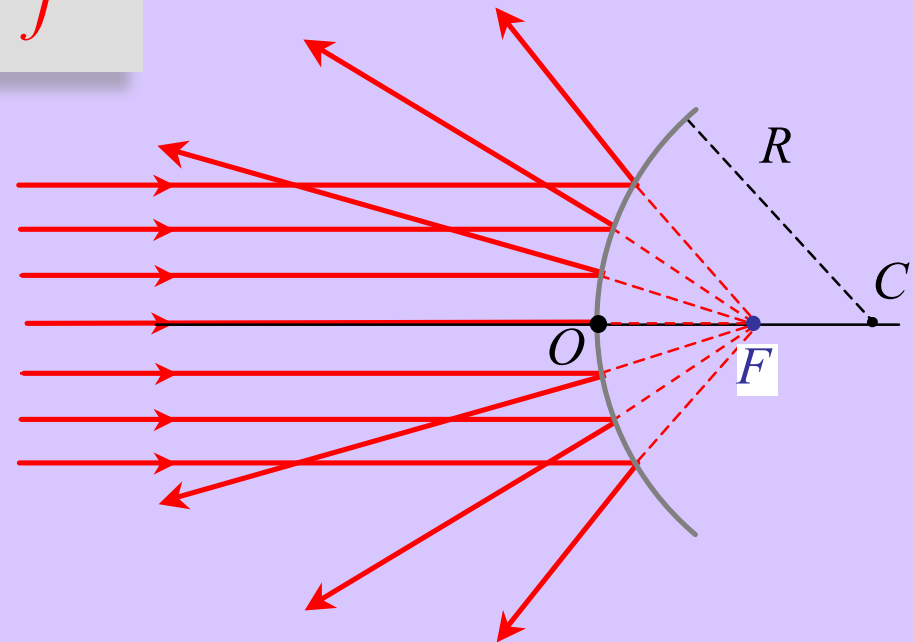
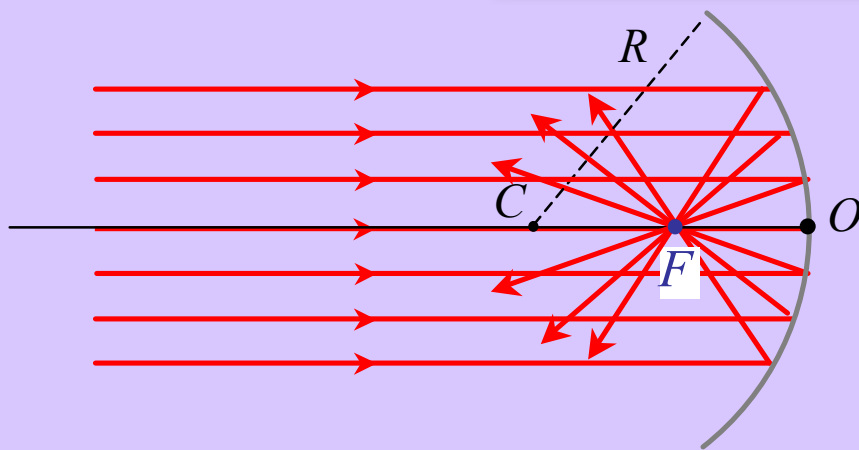
se, nella:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R}$$

prendiamo $s \rightarrow \infty$ si ha:

$$\frac{1}{\infty} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R} \Rightarrow s' = \frac{R}{2} = f \equiv \text{distanza focale dello specchio}$$

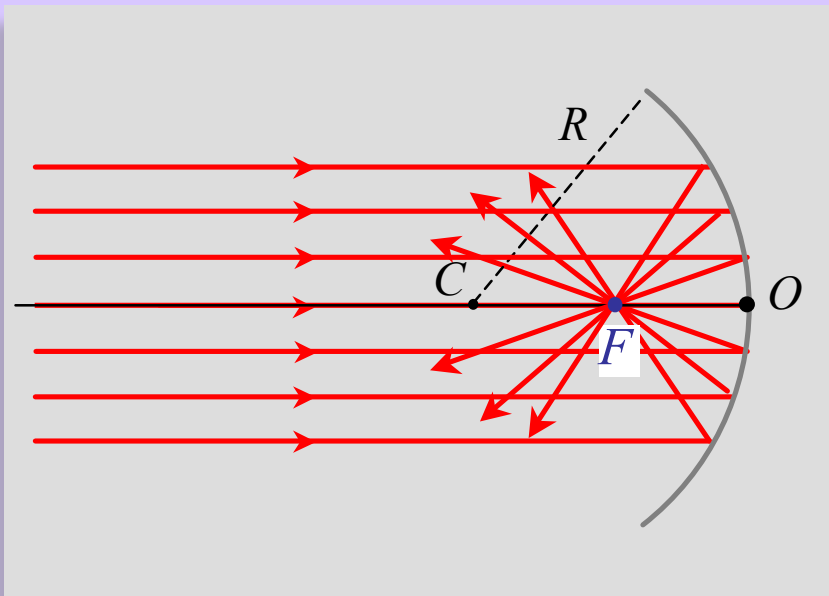
$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$



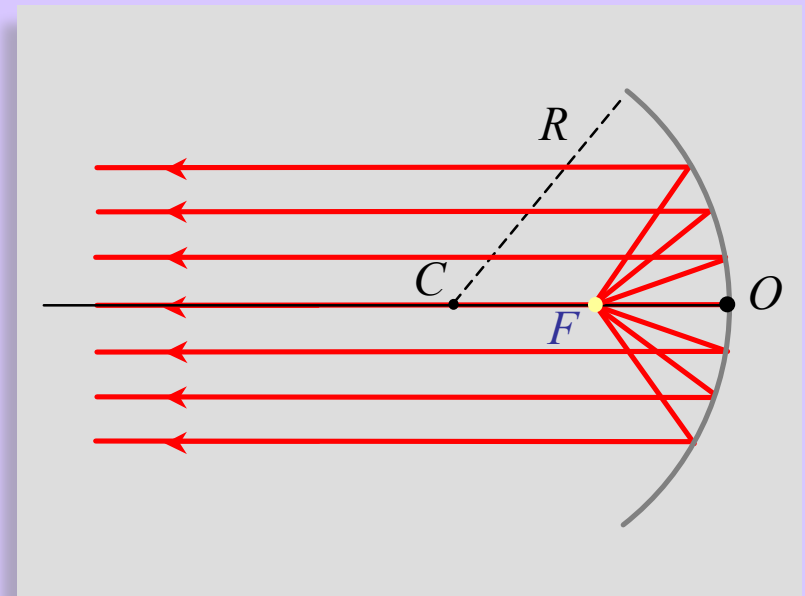
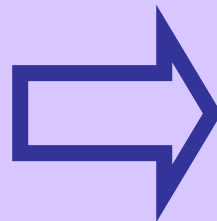
fuoco e distanza focale

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

si noti che, per la *reversibilità*:



esempio: **concentratori solari**

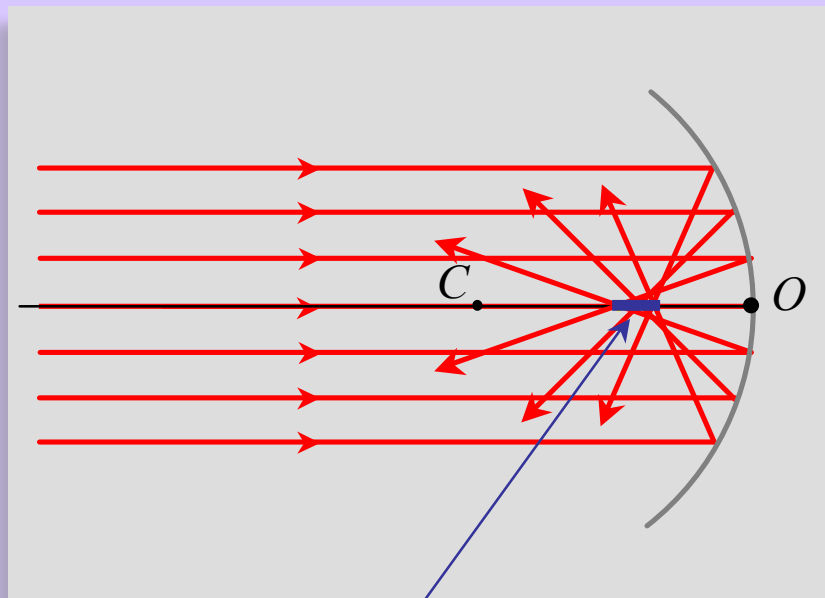


esempio: **riflettori per fari**

fuoco e distanza focale

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

in realtà, per la *aberrazione sferica*, fuori dalla approssimazione parassiale:

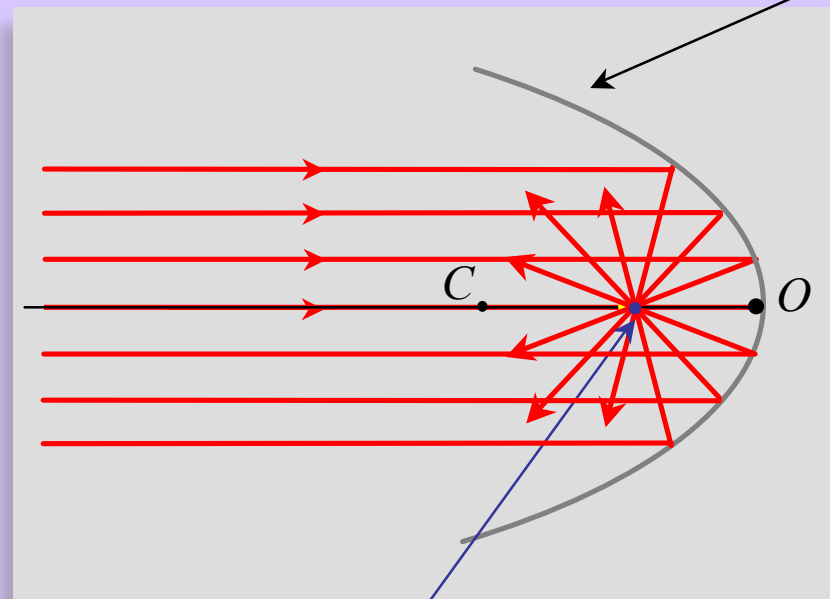


il fuoco è su un segmento

fuoco e distanza focale

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

L'aberrazione sferica è assente in specchi a profilo parabolico:



il fuoco è punto

3.2 Oggetti estesi e costruzioni delle immagini

si fa il **tracciamento dei raggi** (ray tracing) di **due** dei quattro **raggi principali**:

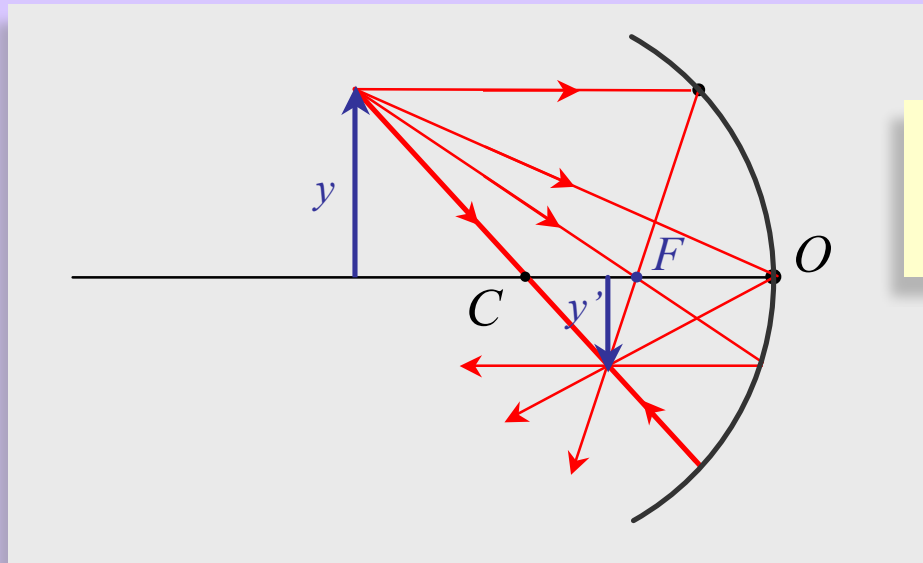
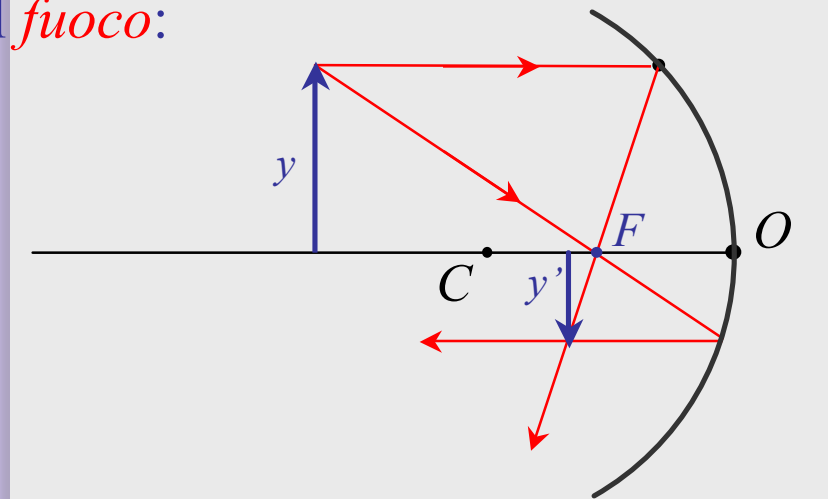


immagine reale

ad esempio, avendo solo il **fuoco**:

$$m \equiv \frac{y'}{y} \quad \text{ingrandimento laterale}$$



costruzioni delle immagini

analogamente per gli specchi **convessi**:

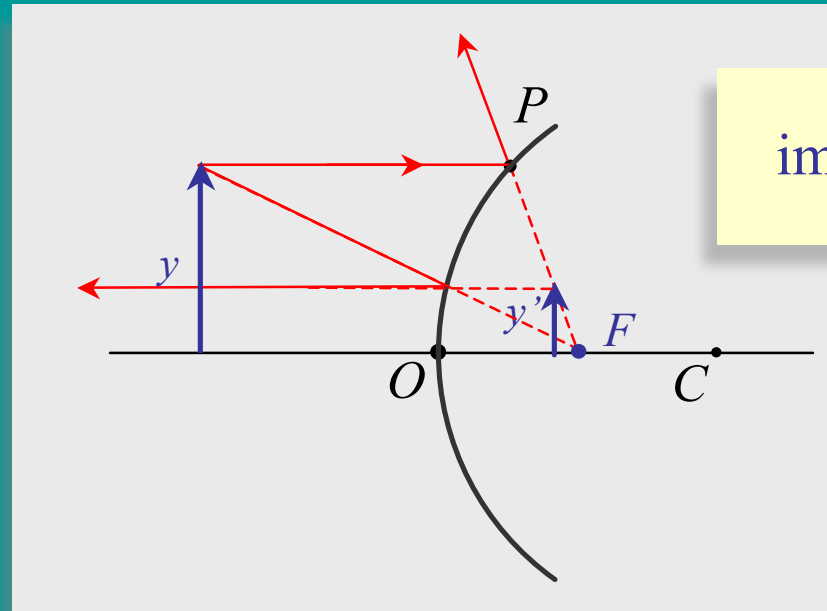
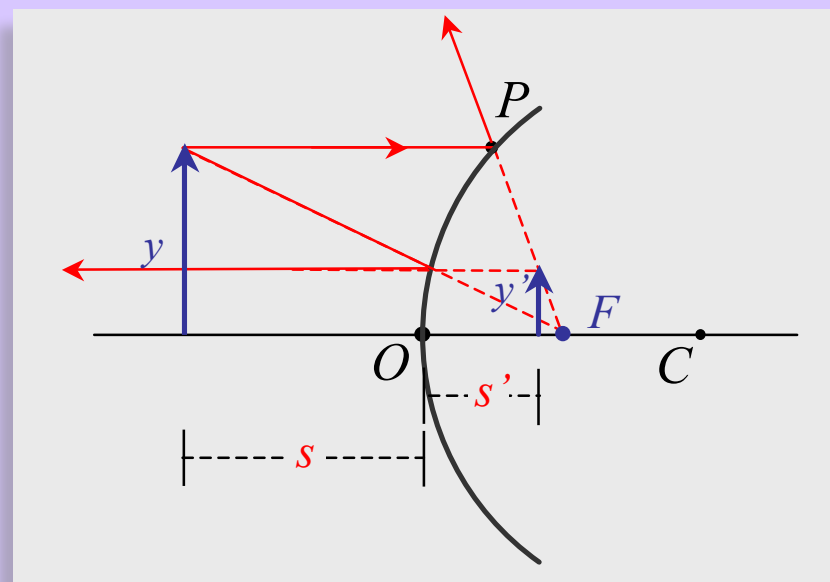
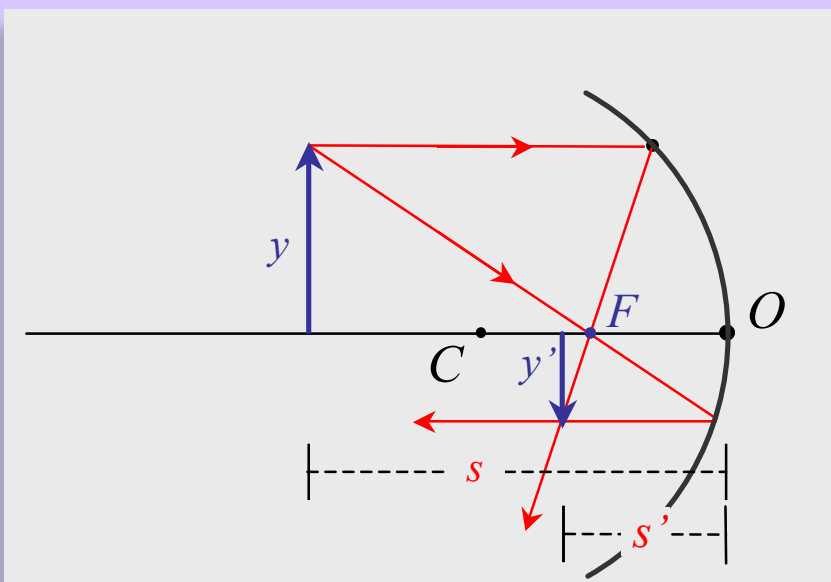


immagine virtuale

$$m \equiv \frac{y'}{y} \quad \text{ingrandimento laterale}$$

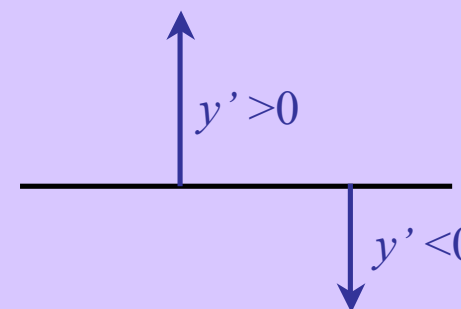
costruzioni delle immagini

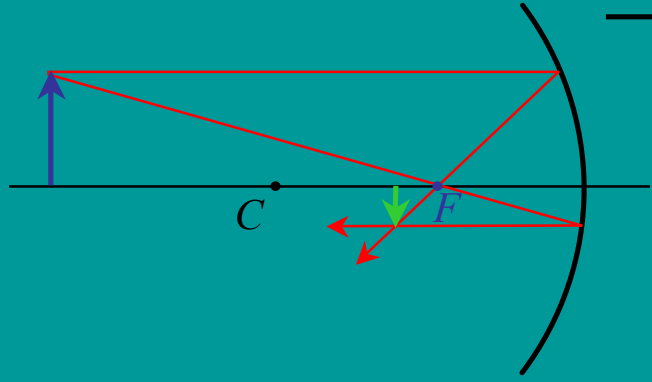
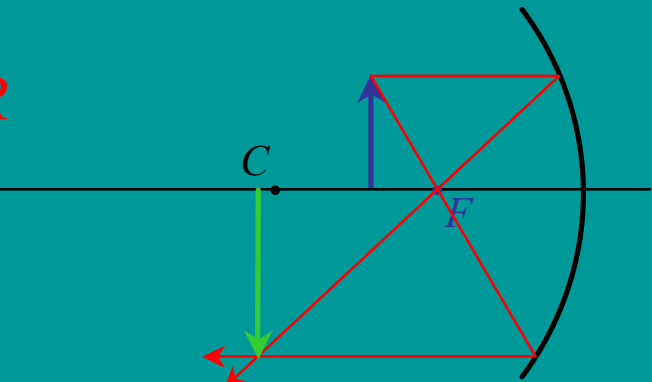
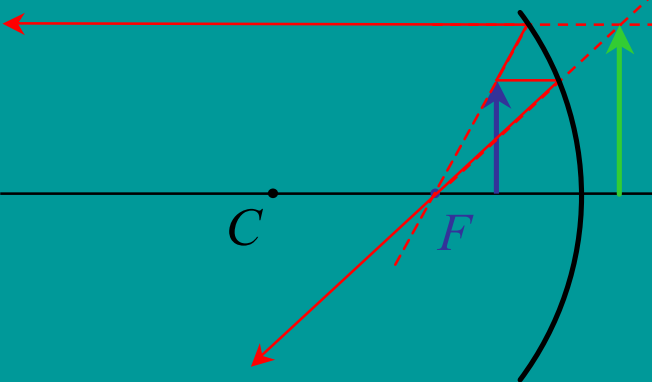
comunque, in entrambi i casi:



dalle relazioni sui triangoli simili:

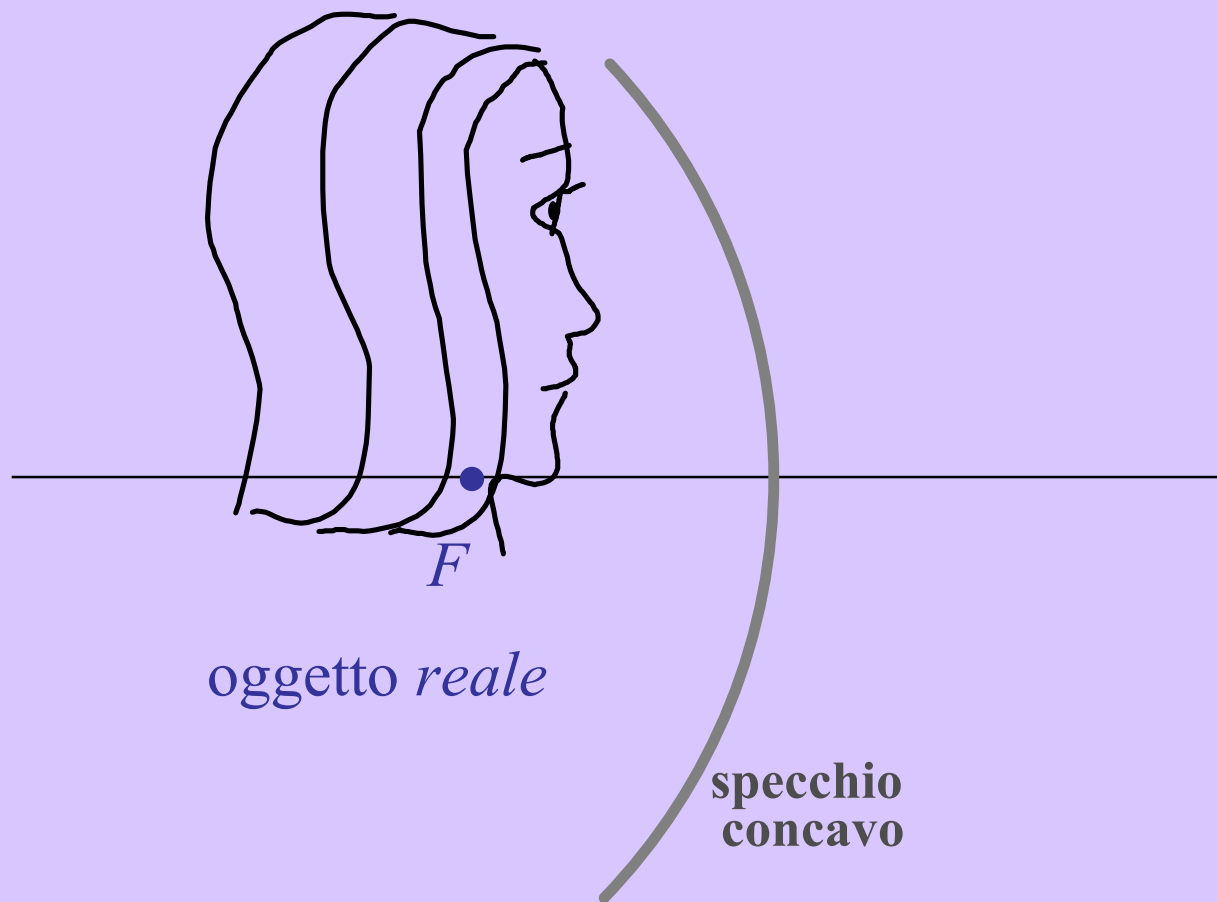
$$m \equiv \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s} \quad \text{concavo/convesso}$$



	l'immagine è:	applicazioni
$s > R$ 	reale rimpicciolita, rovesciata	obiettivo telescopio
$f < s < R$ 	reale ingrandita, rovesciata	obiettivo proiettore
$s < f$ 	virtuale ingrandita	specchio per radersi, truccarsi

costruzioni delle immagini

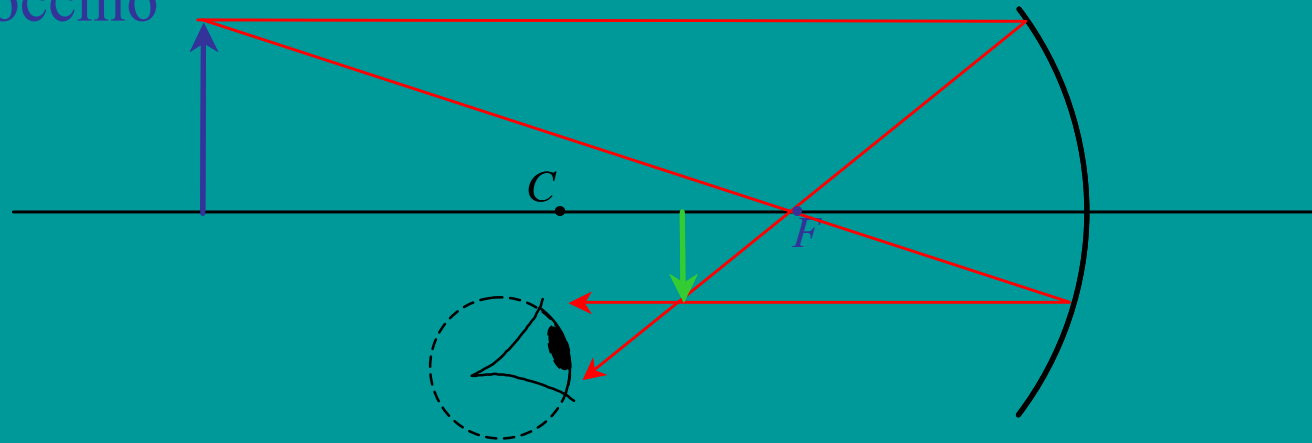
esempi: lo specchio **concavo**



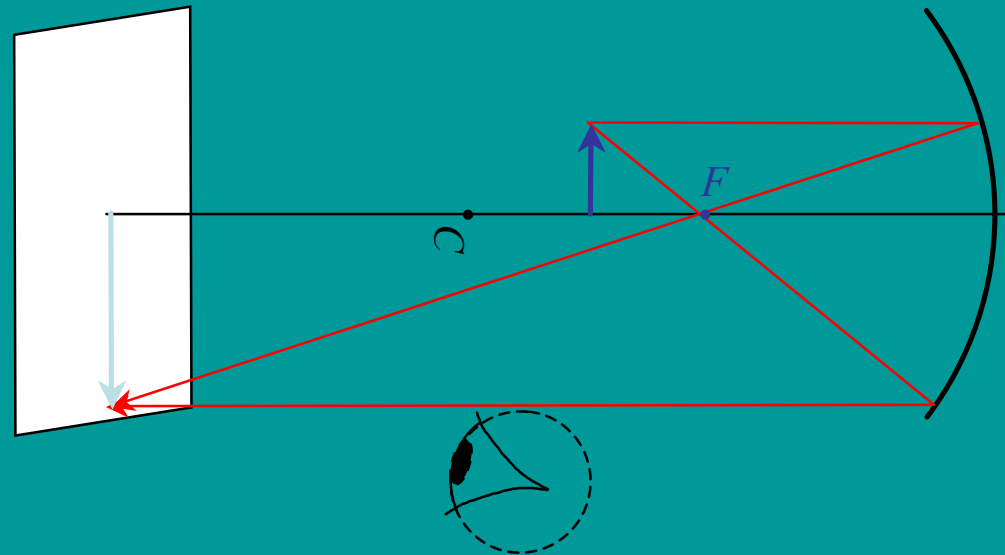
costruzioni delle immagini

Si noti:

le immagini reali possono essere viste direttamente dall'occhio

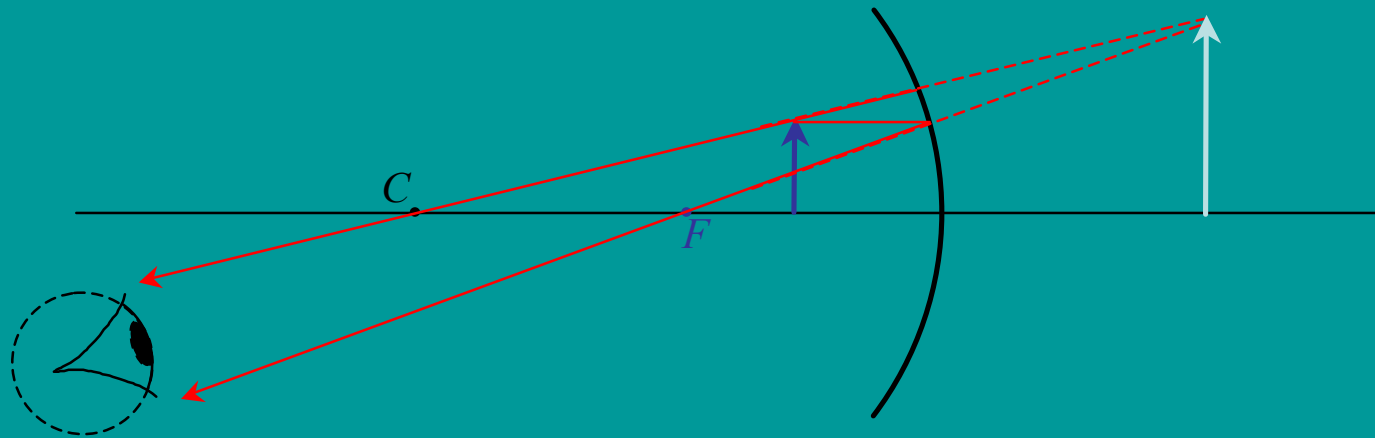


oppure
visualizzate
("proiettate") su
uno schermo

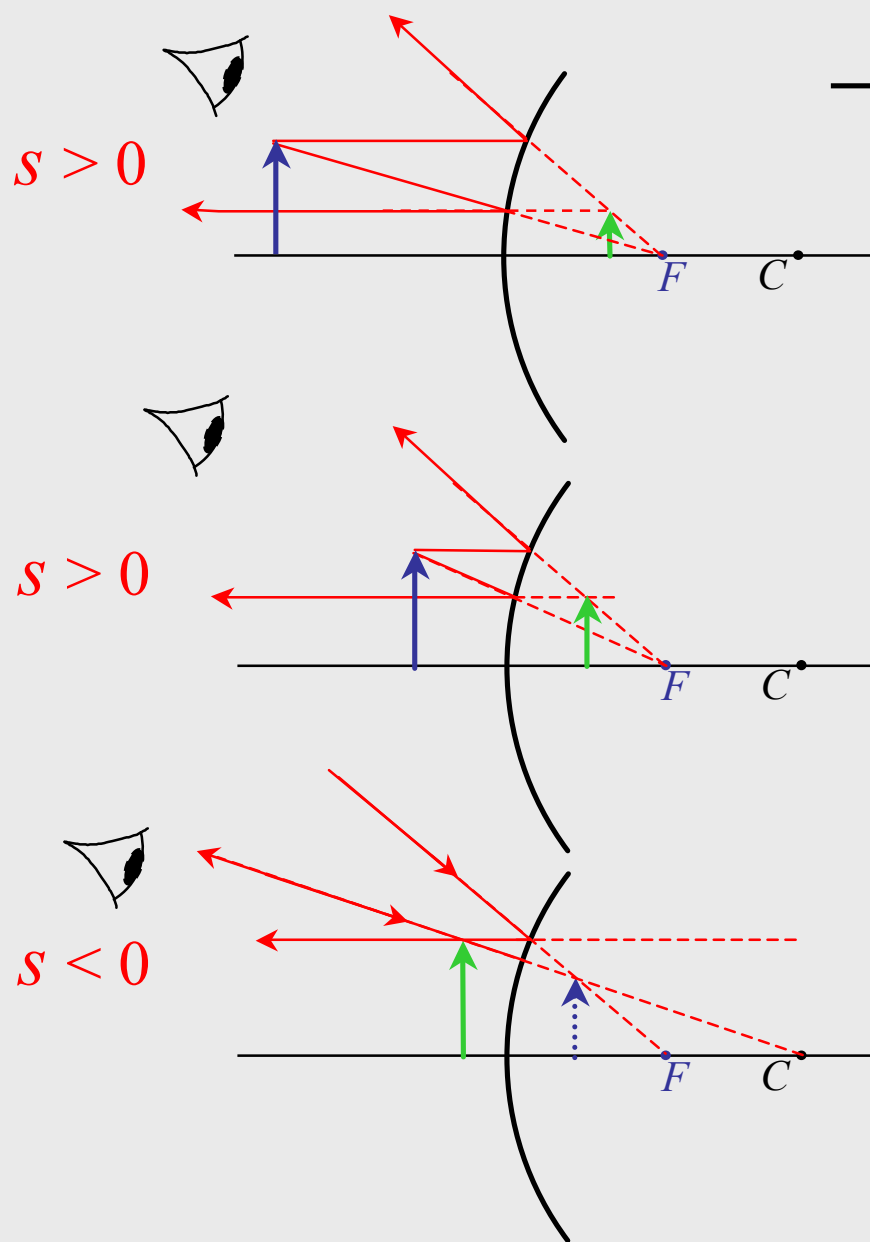


costruzioni delle immagini

le immagini virtuali possono essere viste solo dall'occhio



o da uno strumento ottico (macchina fotografica, cannocchiale, ecc.)



l'immagine è:

virtuale
rimpicciolita

virtuale
rimpicciolita

reale
ingrandita

applicazioni

specchietti
retrovisori

specchietti
retrovisori

oculare
cannocchiale

Riepilogo: le espressioni da ricordare

leggi della riflessione,
convenzioni sui segni,
approssimazione parassiale

equazione degli specchi

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R}$$

equazione degli specchi

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

ingrandimento

$$m \equiv \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}$$

tracciamento delle
immagini

aberrazione sferica,
astigmatismo

Esercizio numerico

4.1 Uno specchio sferico *concavo* $R = 80$ cm, un volto umano a 20 cm dal vertice.
Calcolare: a) il rapporto di ingrandimento m ; b) la posizione apparente dell'immagine.

Esercizio numerico

4.2 Uno specchio retrovisore sferico *convesso* $R = 40$ cm, un'auto a 10 m. Calcolare: a) il rapporto di ingrandimento m ; b) la posizione apparente dell'immagine.

Esercizio numerico

4.3 Uno specchio in un parco dei divertimenti mostra l'immagine dritta di una persona che gli sta di fronte a distanza di 1.3 m. Se l'immagine è alta tre volte la statura della persona, qual è il raggio di curvatura dello specchio?

Esercizio numerico

4.4 Volendo fotografarsi mentre ci si guarda in uno specchio **piano** a 1.5 m di distanza, per quale distanza occorre mettere a fuoco?

Esercizio numerico

4.5) Ipotizzando gli specchi ustori di Archimede con un raggio $R = 200$ m e un'apertura lineare di $2h = 10$ m, si calcoli l'intensità della radiazione solare riflessa nell'immagine del sole prodotta dallo specchio stesso. Si assuma che l'intensità della radiazione solare al suolo sia circa pari a $I_s \cong 1000 \text{ W/m}^2$ (*costante solare*), per il raggio solare $R_s \cong 0.696 \cdot 10^6$ km, e per la distanza Terra-Sole $d = 149.6 \cdot 10^6$ km