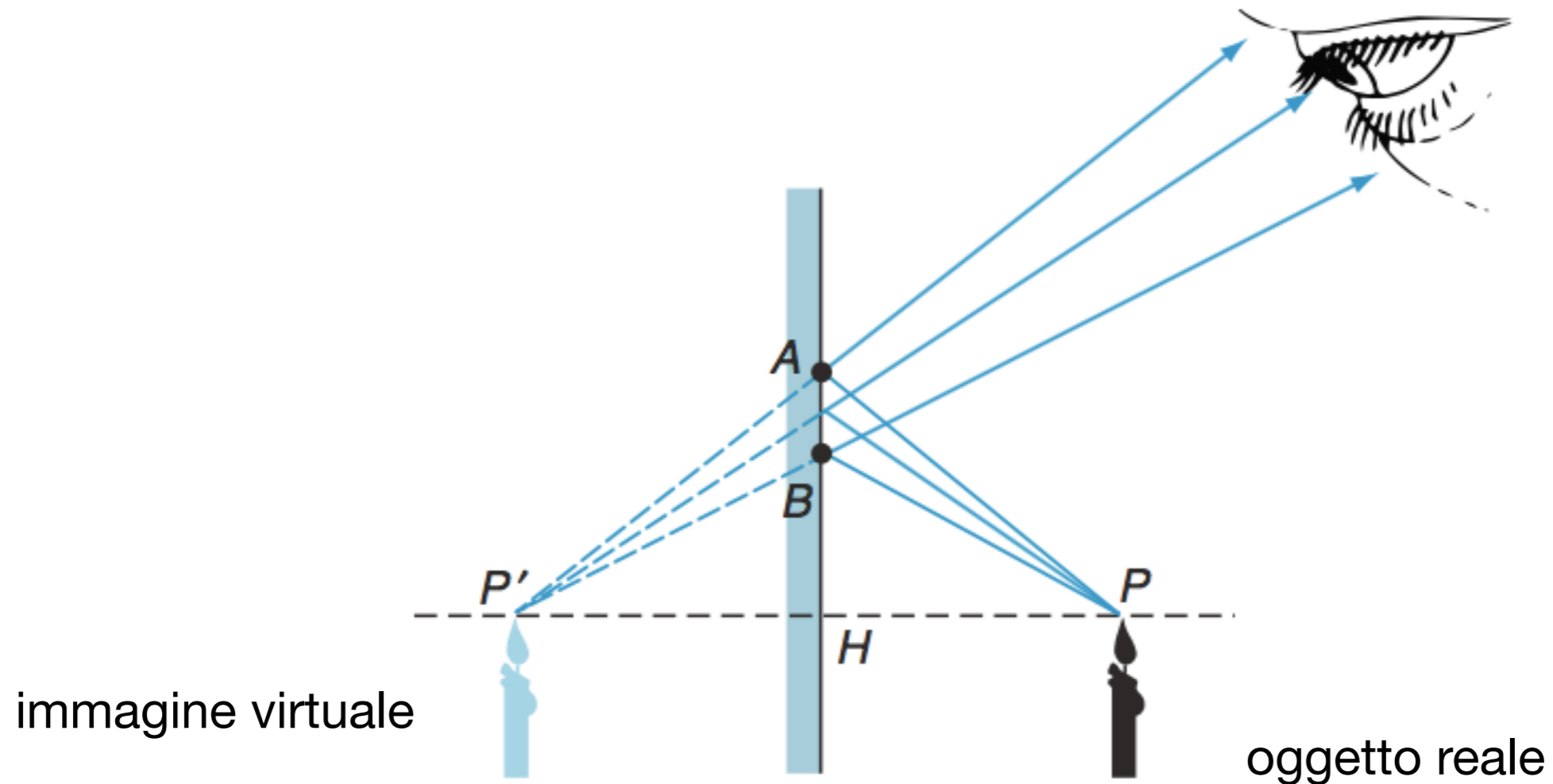


# Fisica Generale 2

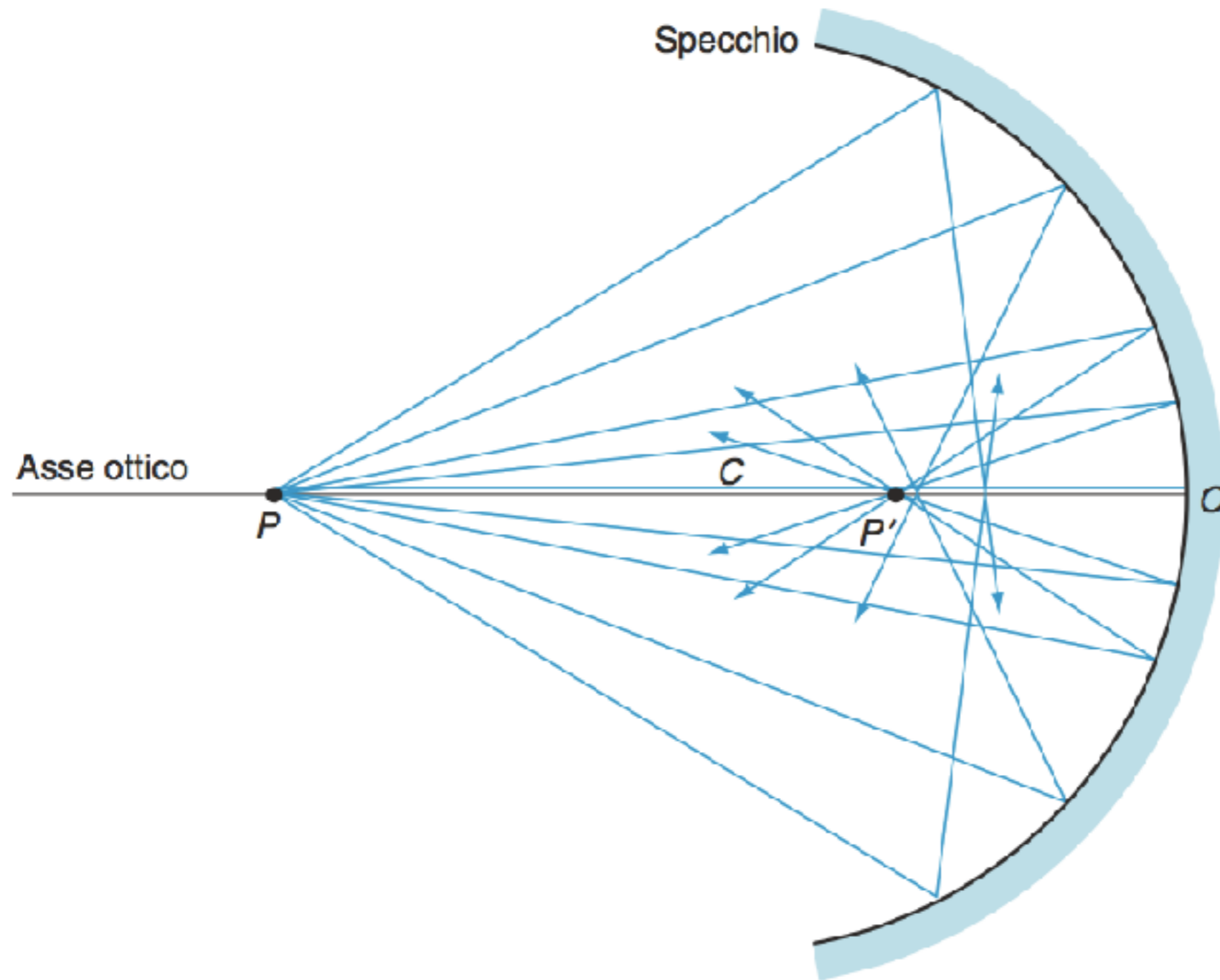
## Pierluigi Monaco

Laurea triennale in ingegneria elettronica ed informatica

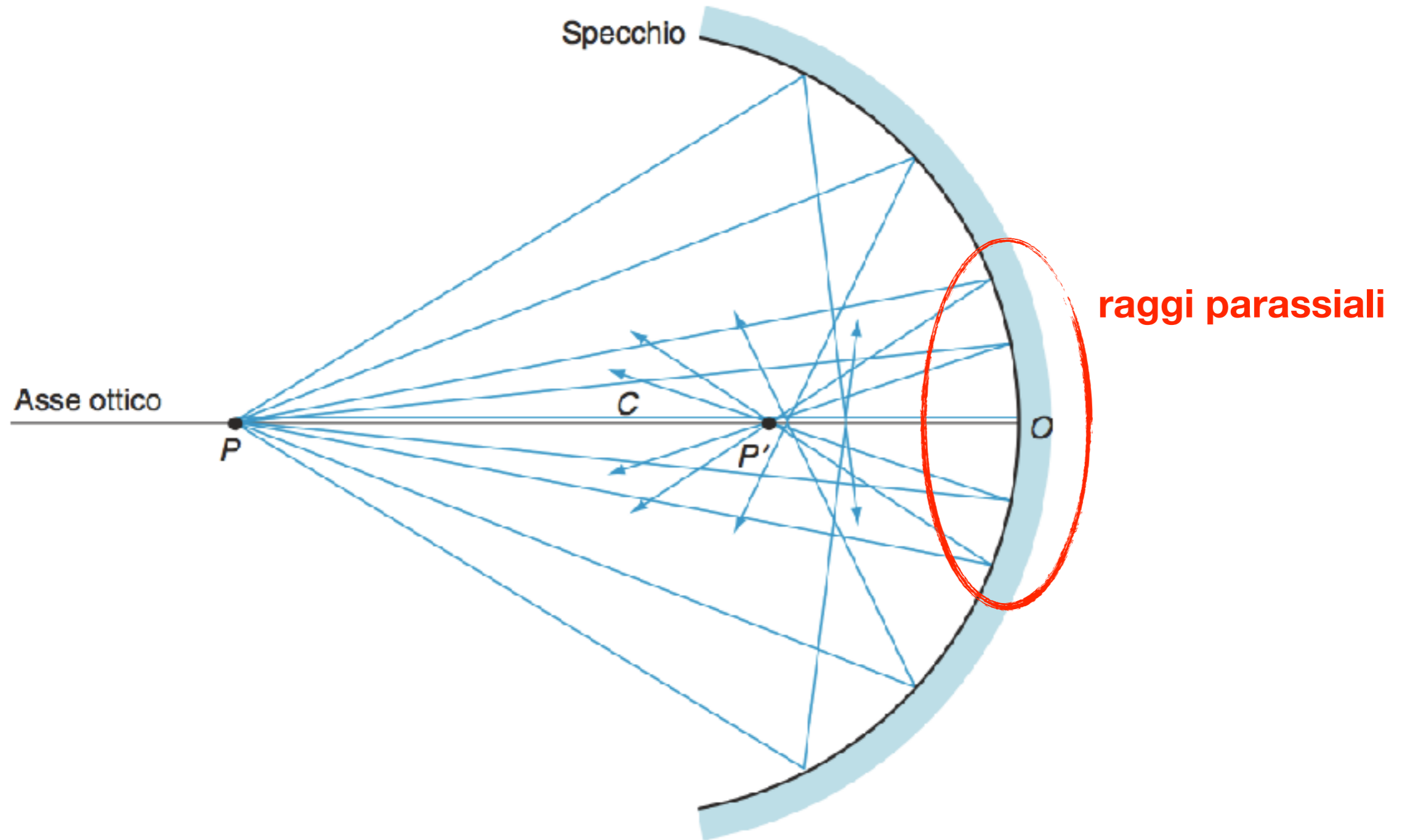
### Ottica geometrica



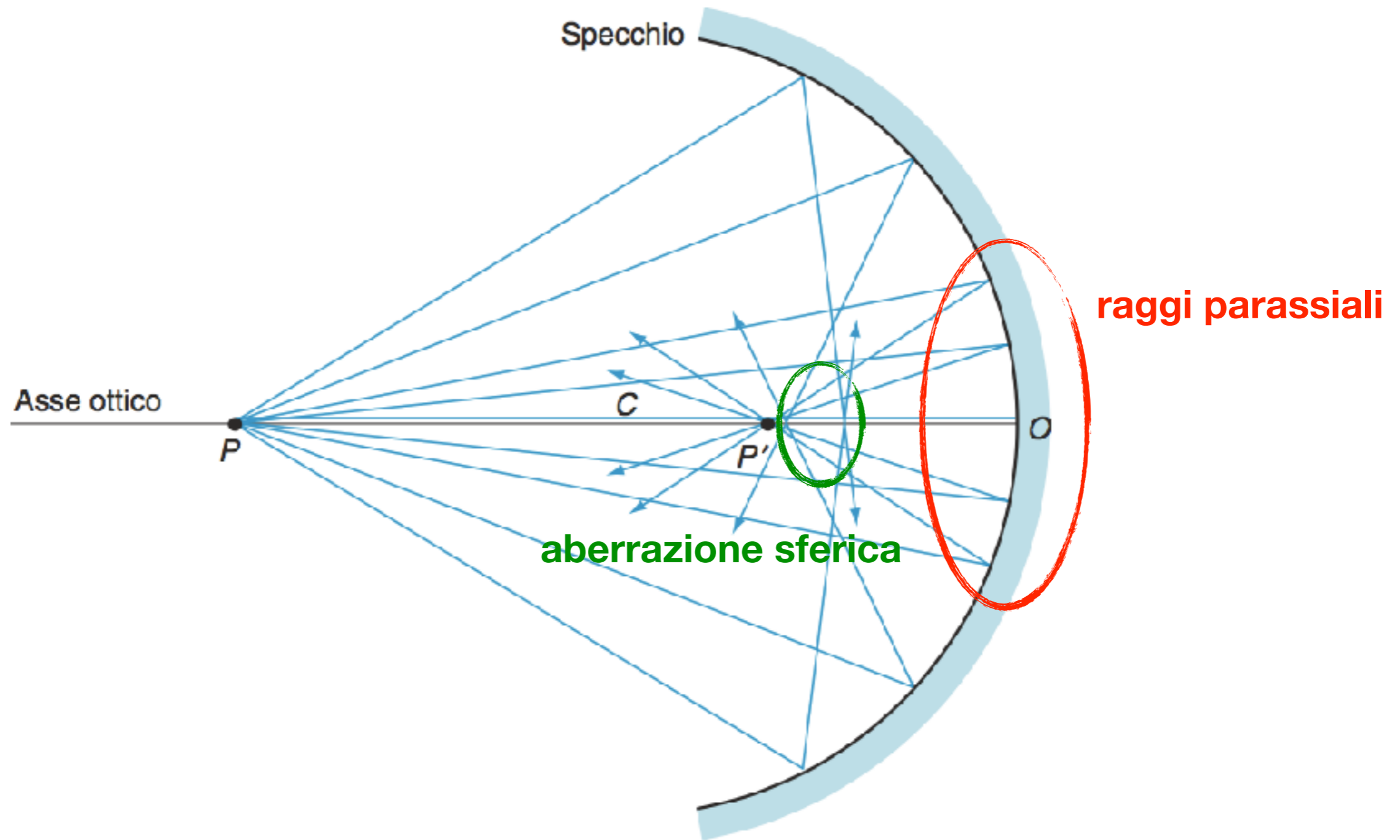
# Specchio sferico



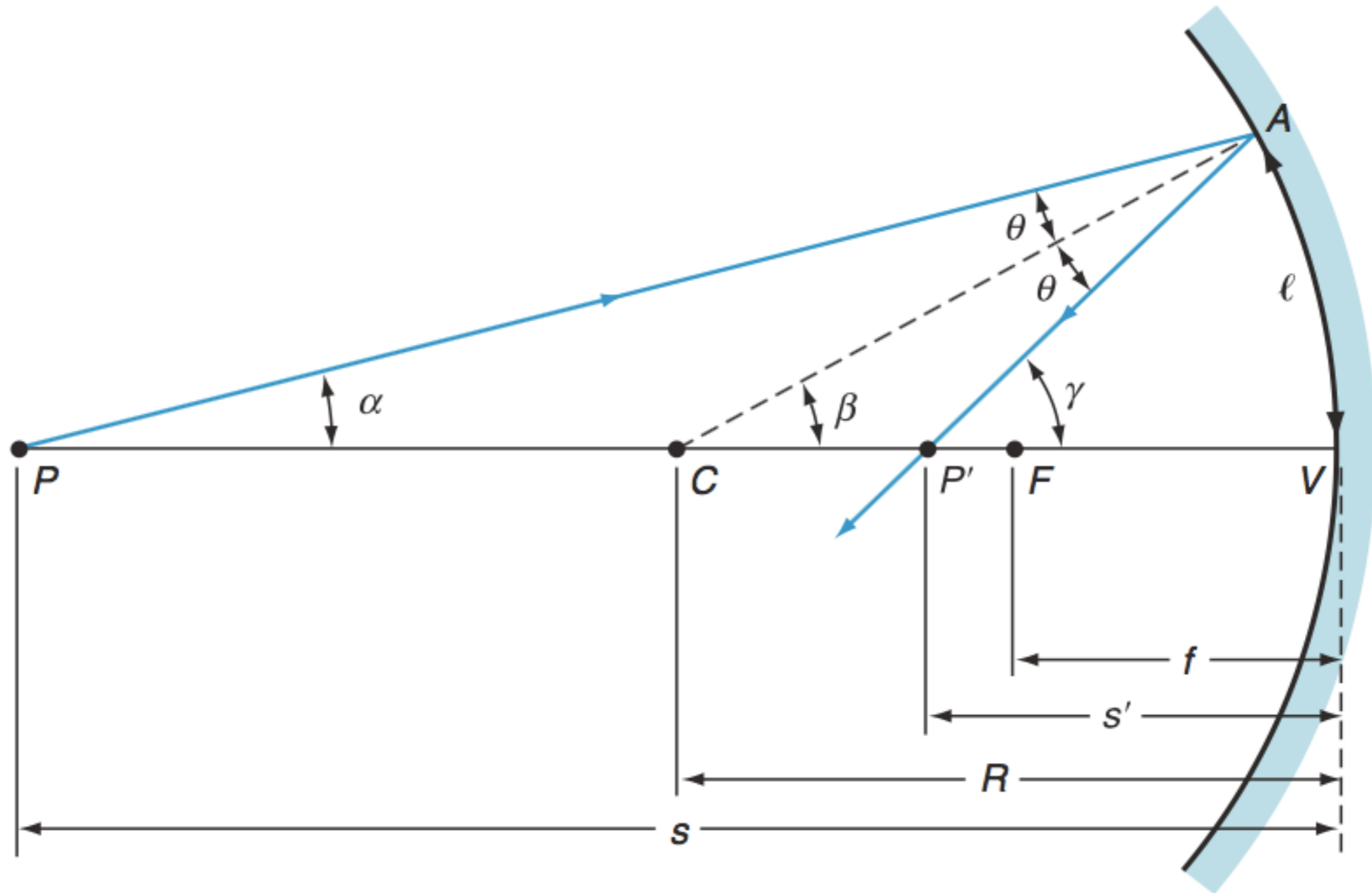
# Specchio sferico



# Specchio sferico

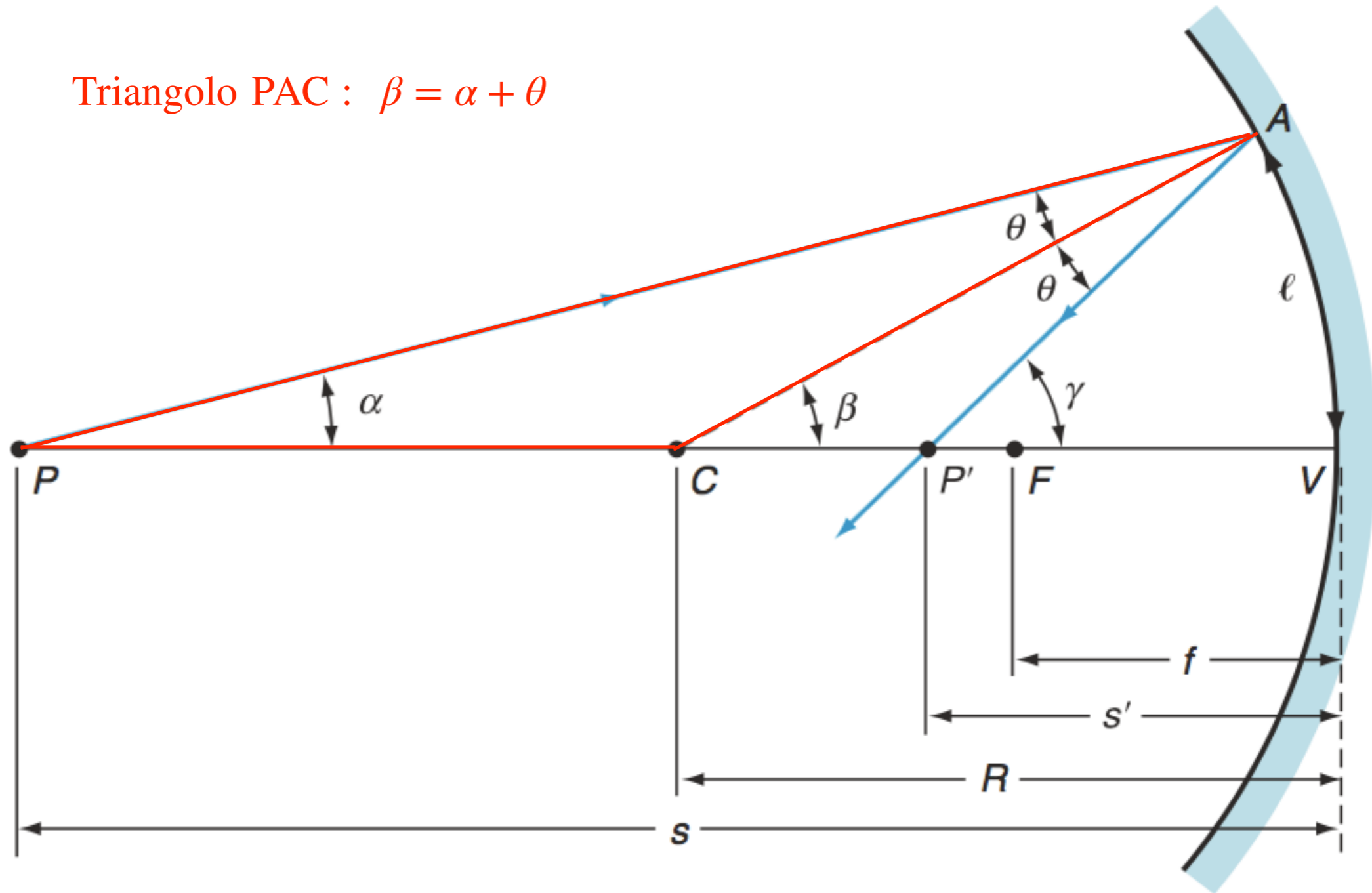


# Specchio sferico



# Specchio sferico

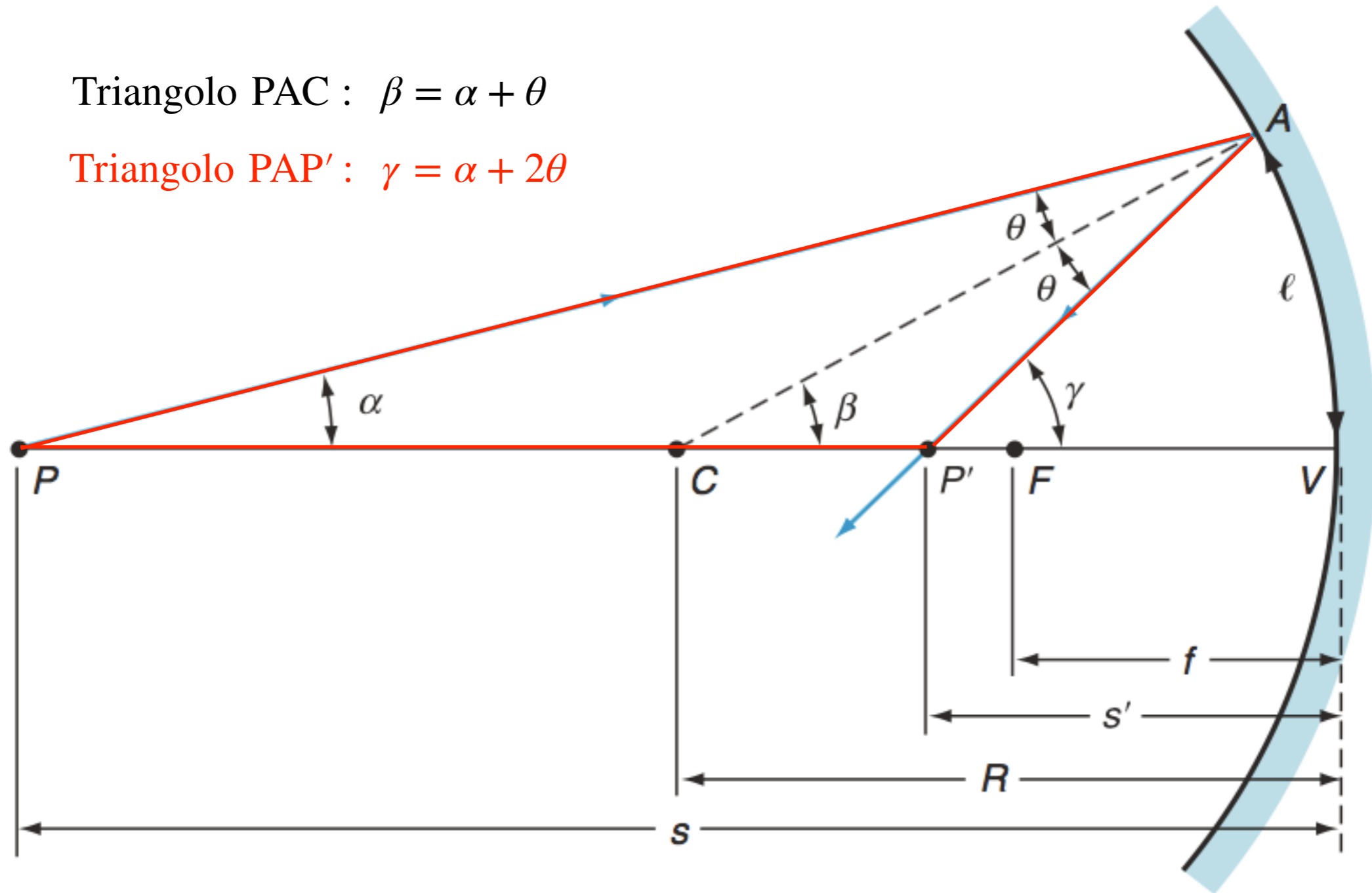
Triangolo PAC :  $\beta = \alpha + \theta$



# Specchio sferico

Triangolo PAC :  $\beta = \alpha + \theta$

Triangolo PAP' :  $\gamma = \alpha + 2\theta$





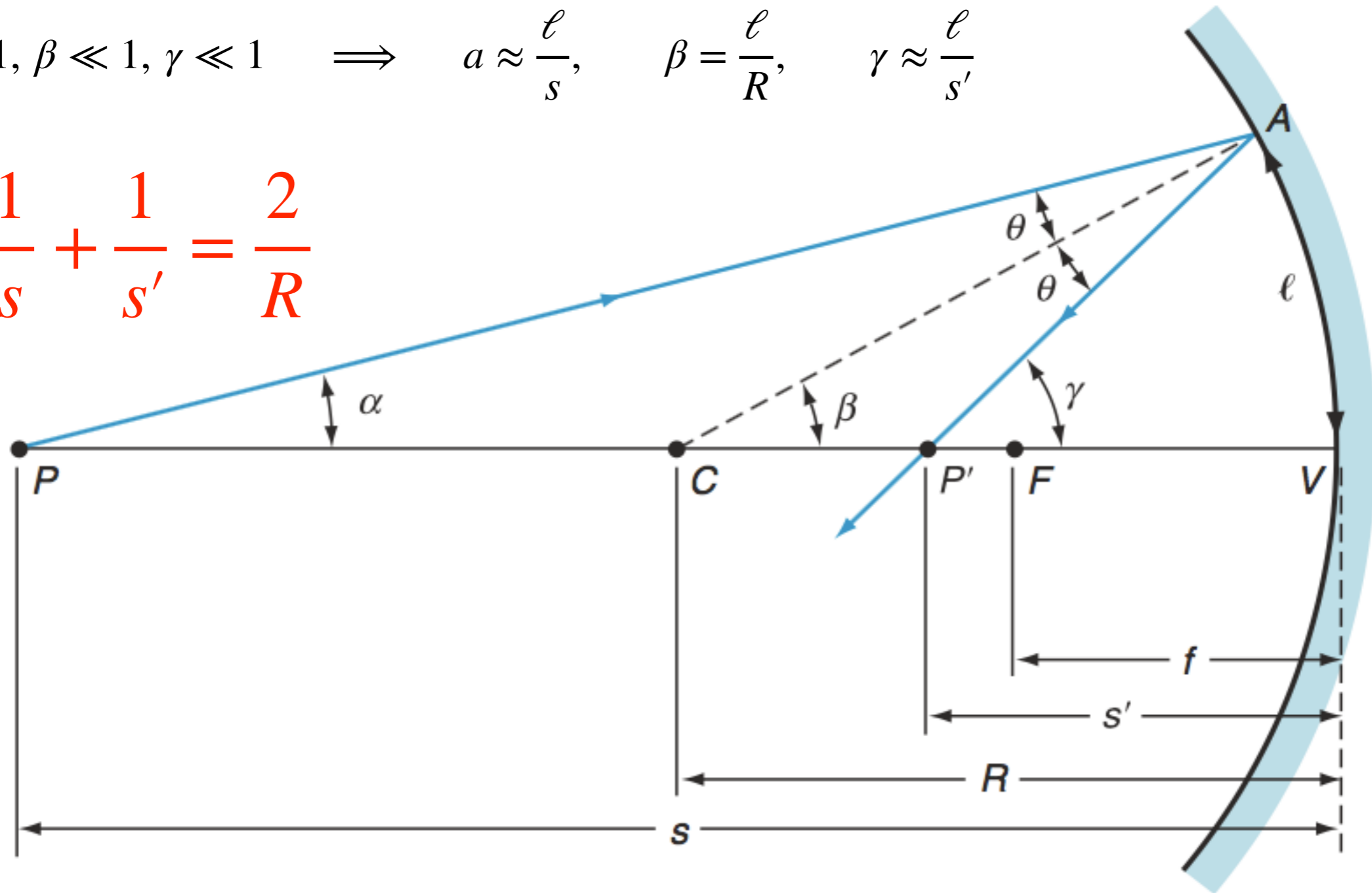


# Specchio sferico

$$\alpha + \gamma = 2\beta$$

$$\alpha \ll 1, \beta \ll 1, \gamma \ll 1 \quad \Rightarrow \quad a \approx \frac{\ell}{s}, \quad \beta = \frac{\ell}{R}, \quad \gamma \approx \frac{\ell}{s'}$$

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

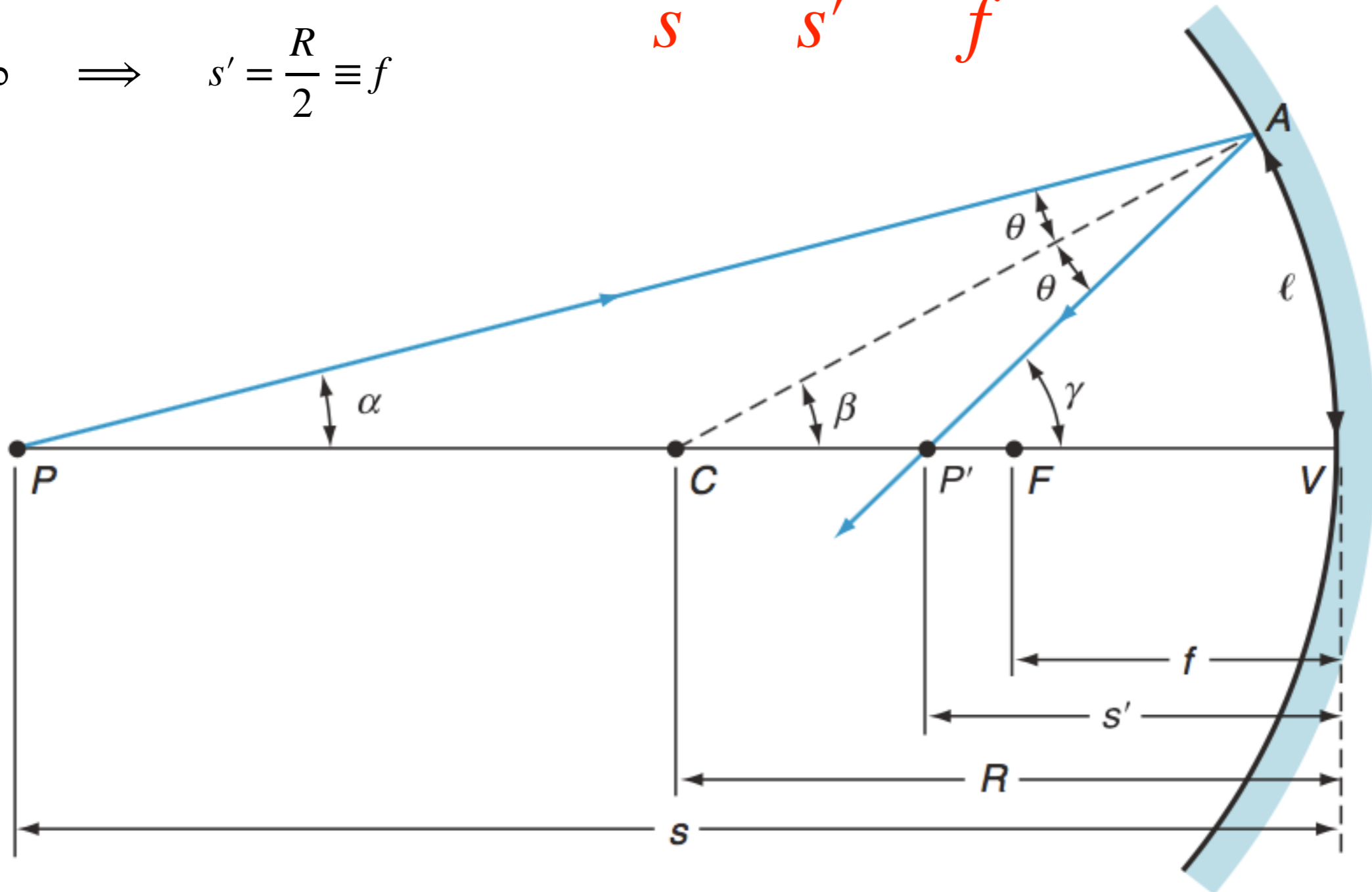


# Equazione degli specchi

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

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

$$s \rightarrow \infty \implies s' = \frac{R}{2} \equiv f$$

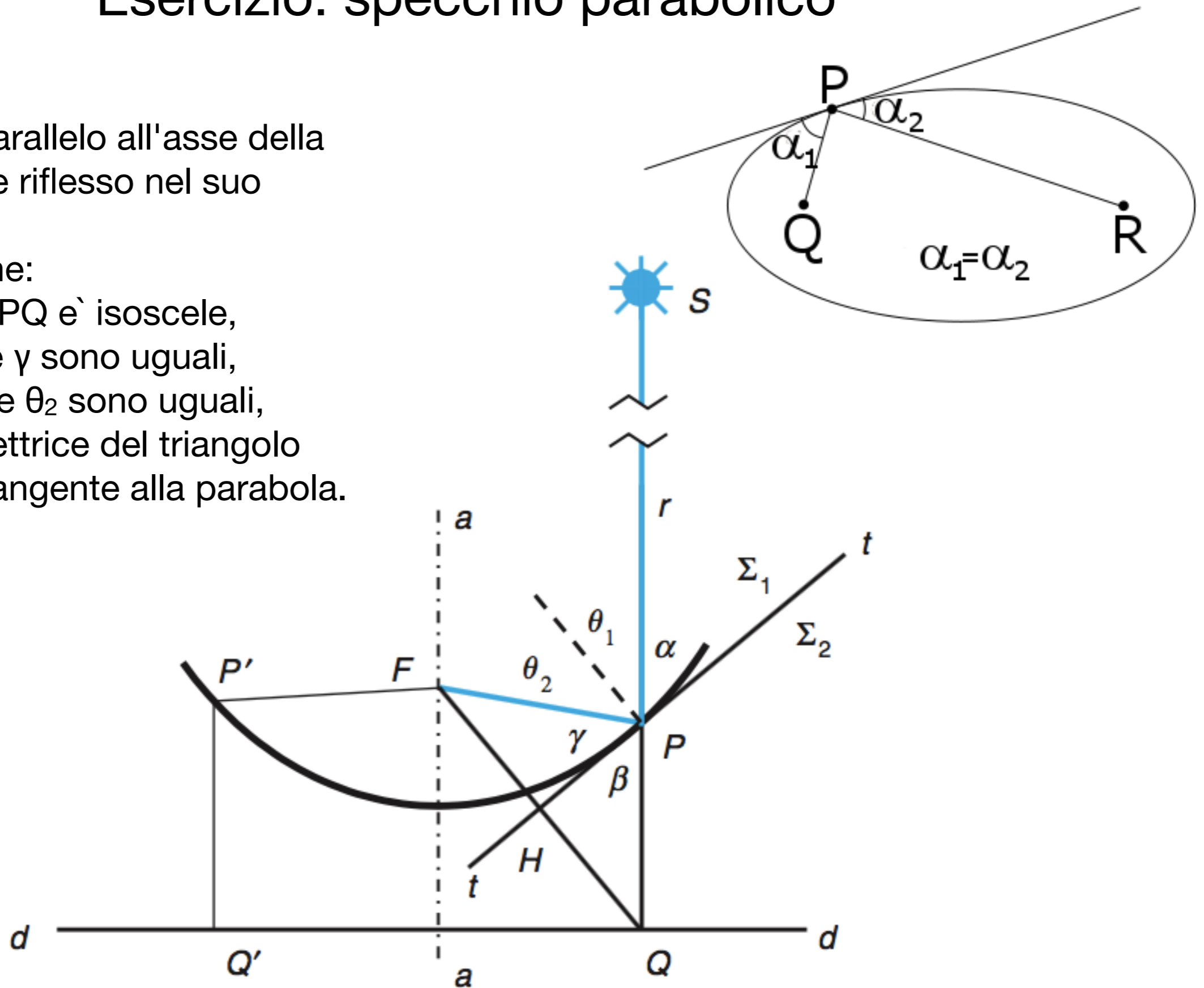


# Esercizio: specchio parabolico

Ogni raggio parallelo all'asse della parabola viene riflesso nel suo fuoco.

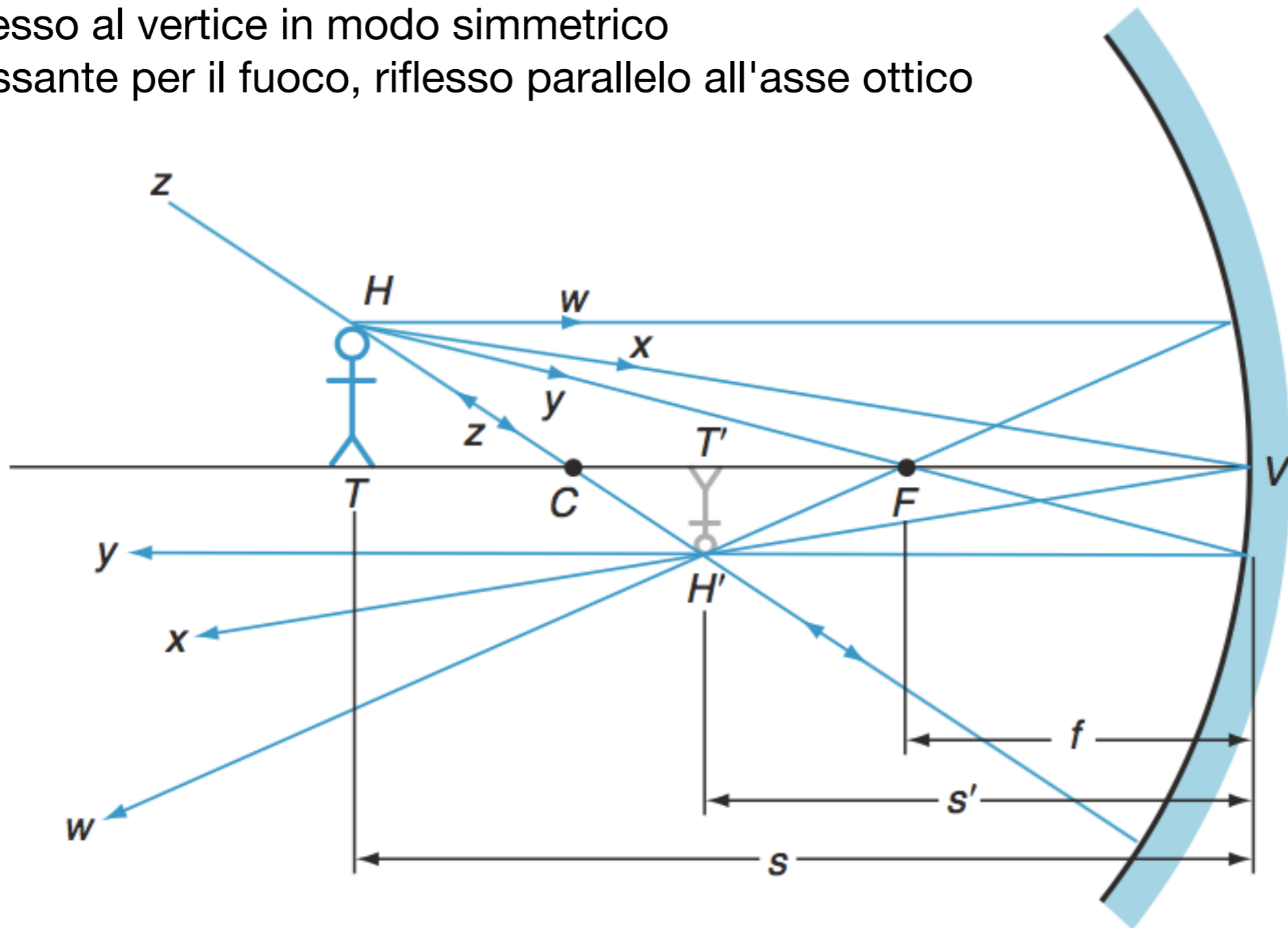
Si dimostra che:

- il triangolo FPQ e' isoscele,
- gli angoli  $\alpha$  e  $\gamma$  sono uguali,
- gli angoli  $\theta_1$  e  $\theta_2$  sono uguali,
- la retta  $t$  bisettrice del triangolo isoscele e' tangente alla parabola.

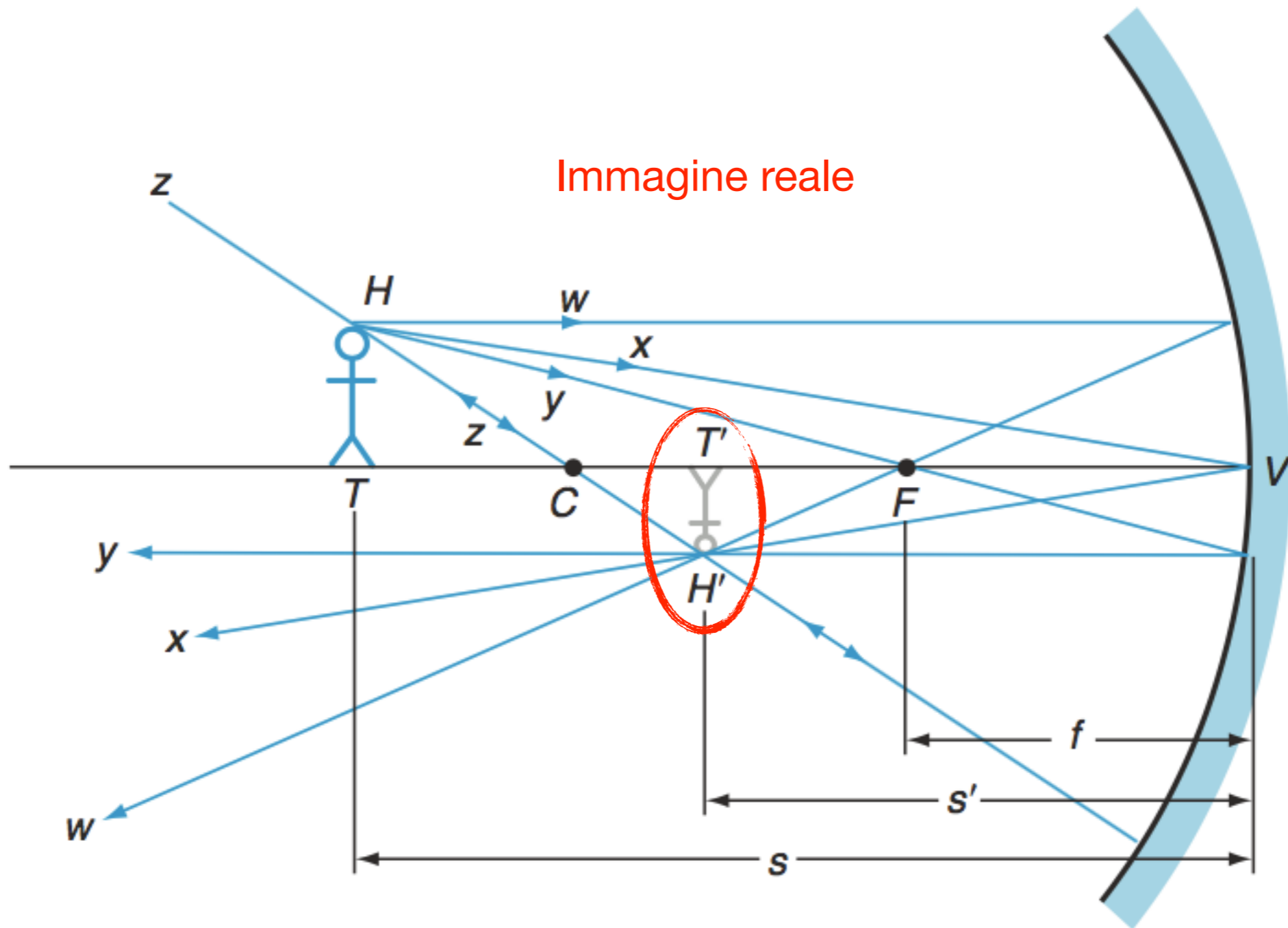


# Formazione dell'immagine

raggi principali passanti da H:  
parallelo all'asse ottico, riflesso sul fuoco  
riflesso al vertice in modo simmetrico  
passante per il fuoco, riflesso parallelo all'asse ottico



# Formazione dell'immagine



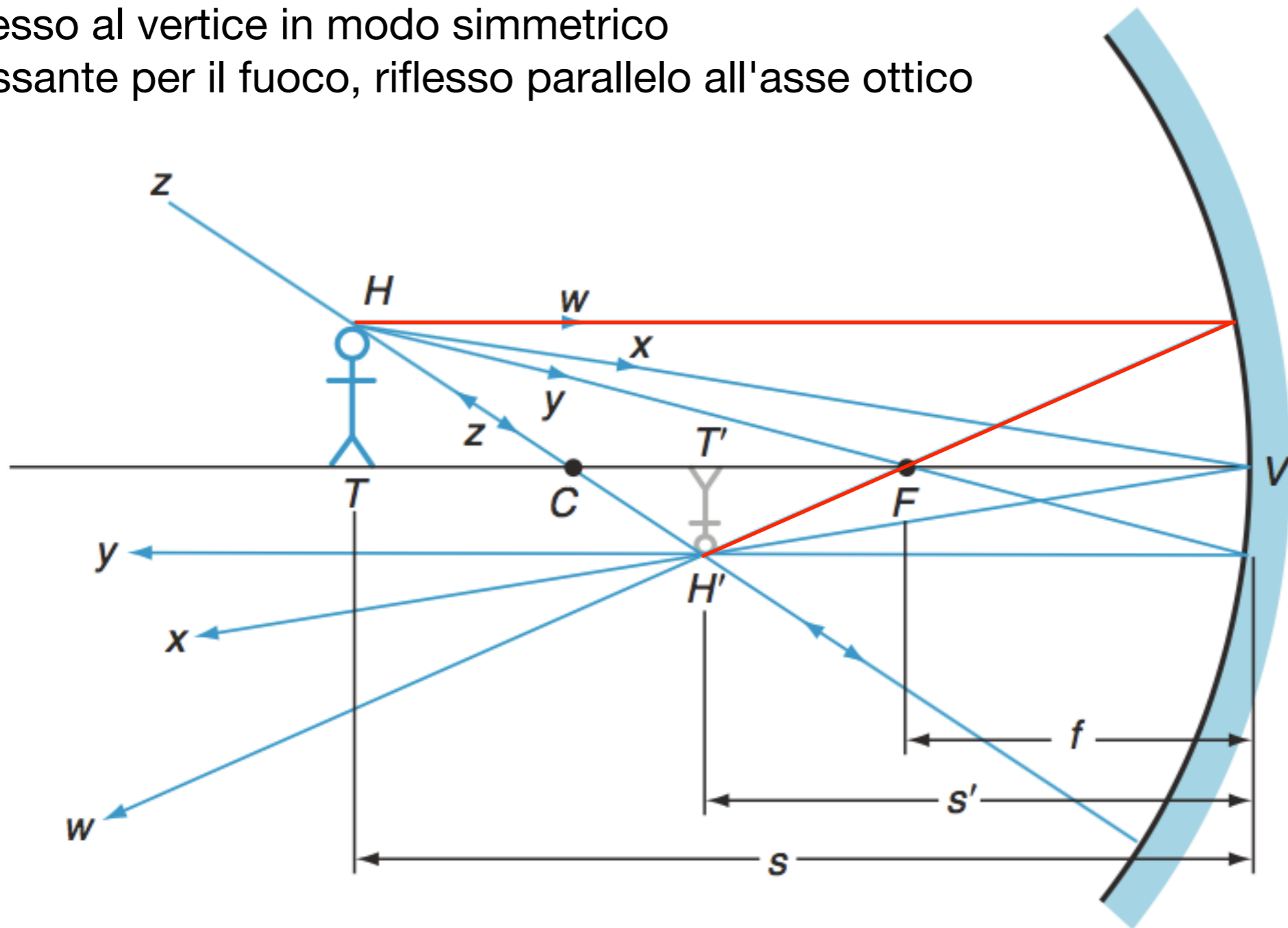
# Formazione dell'immagine

raggi principali passanti da H:

parallelo all'asse ottico, riflesso sul fuoco

riflesso al vertice in modo simmetrico

passante per il fuoco, riflesso parallelo all'asse ottico



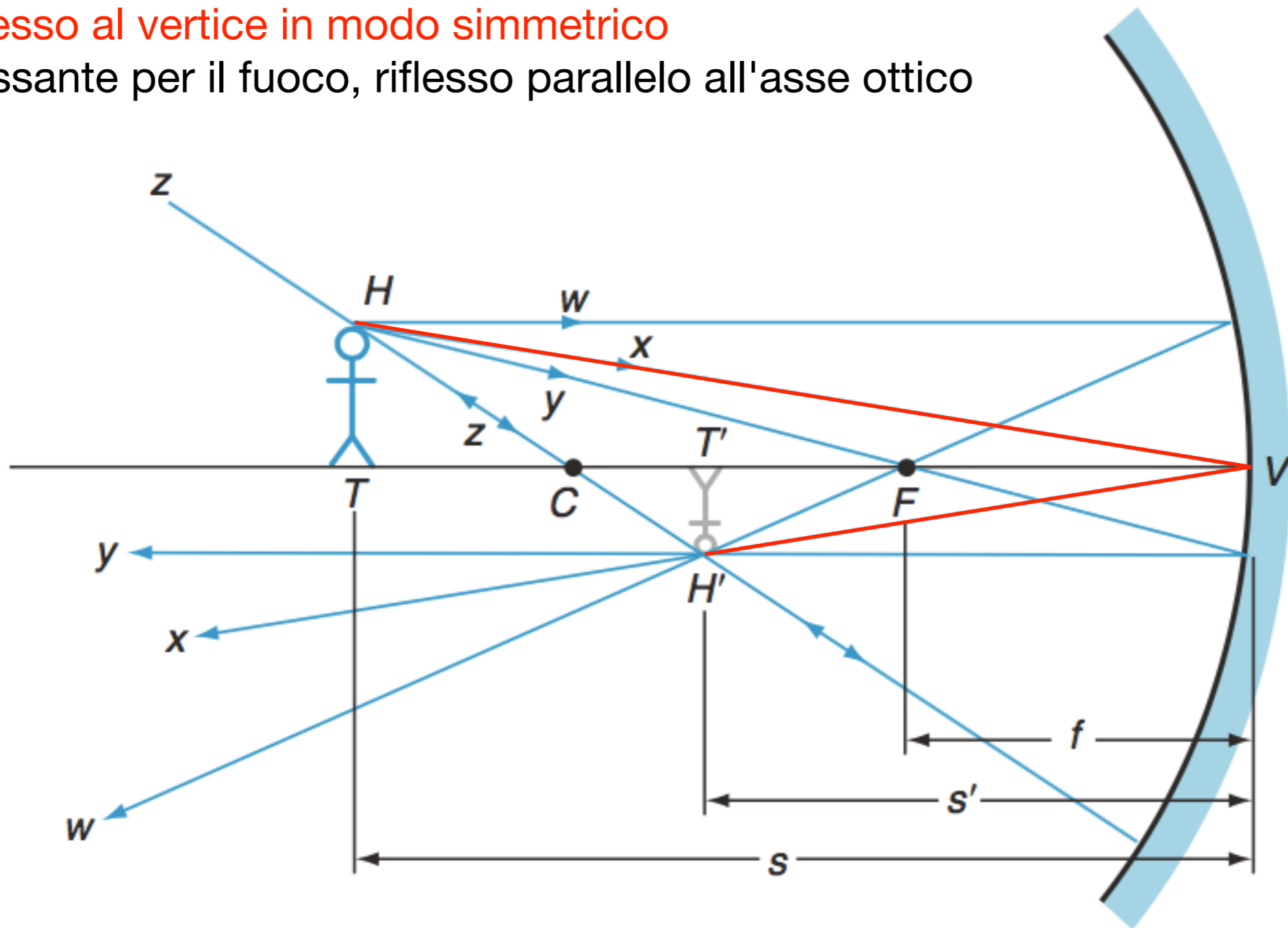
# Formazione dell'immagine

raggi principali passanti da H:

parallelo all'asse ottico, riflesso sul fuoco

riflesso al vertice in modo simmetrico

passante per il fuoco, riflesso parallelo all'asse ottico



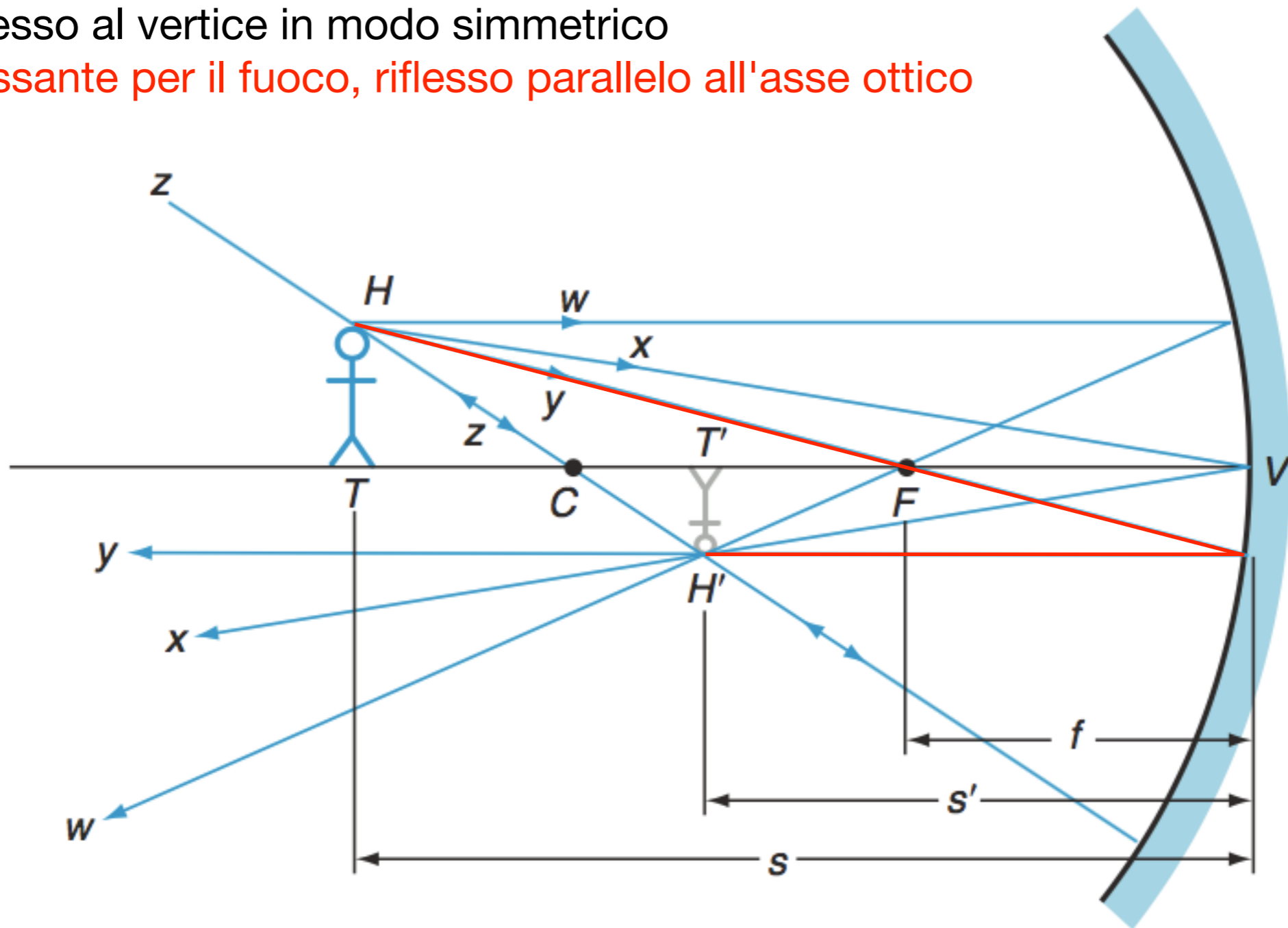
# Formazione dell'immagine

raggi principali passanti da H:

parallelo all'asse ottico, riflesso sul fuoco

riflesso al vertice in modo simmetrico

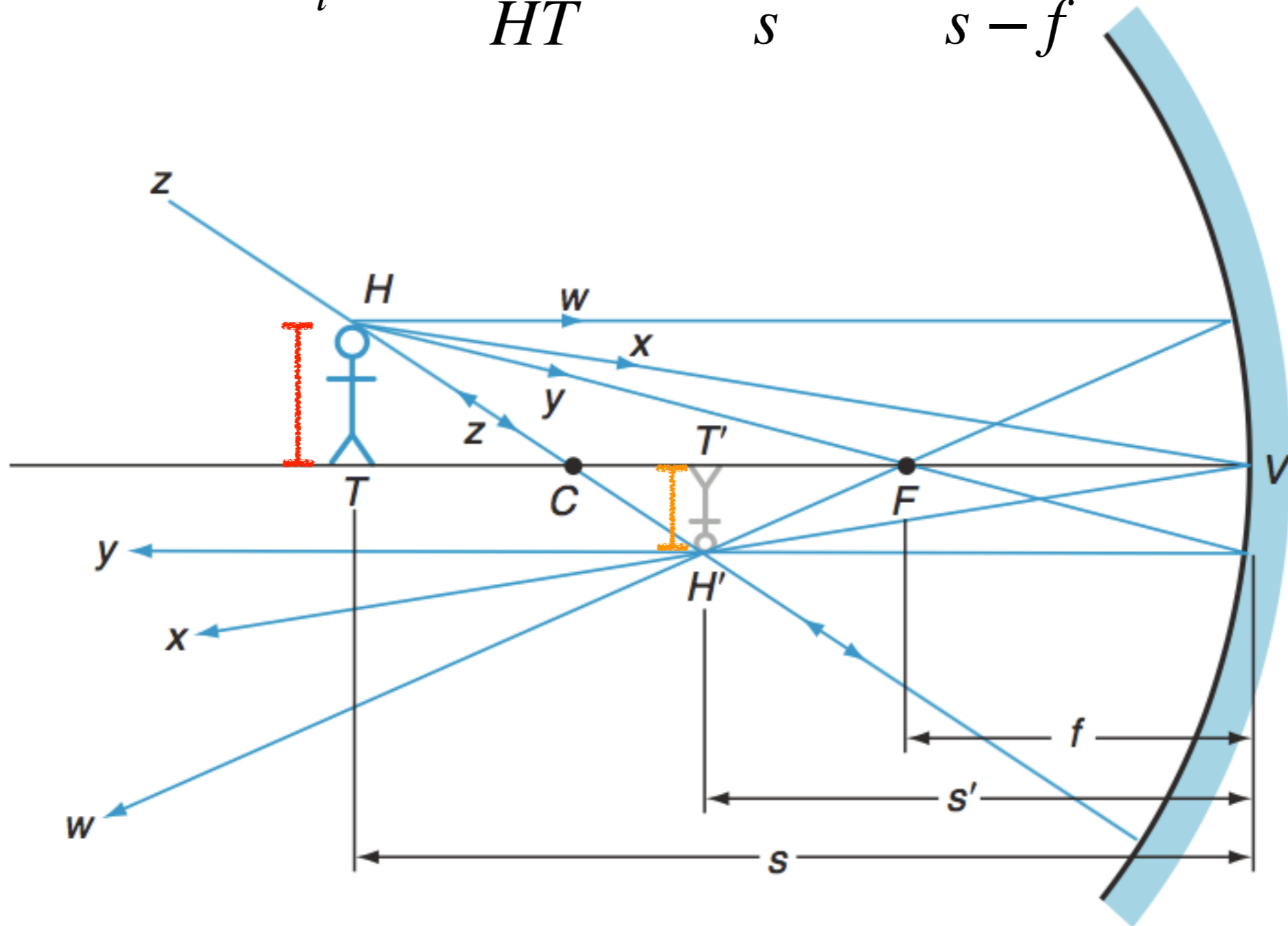
passante per il fuoco, riflesso parallelo all'asse ottico





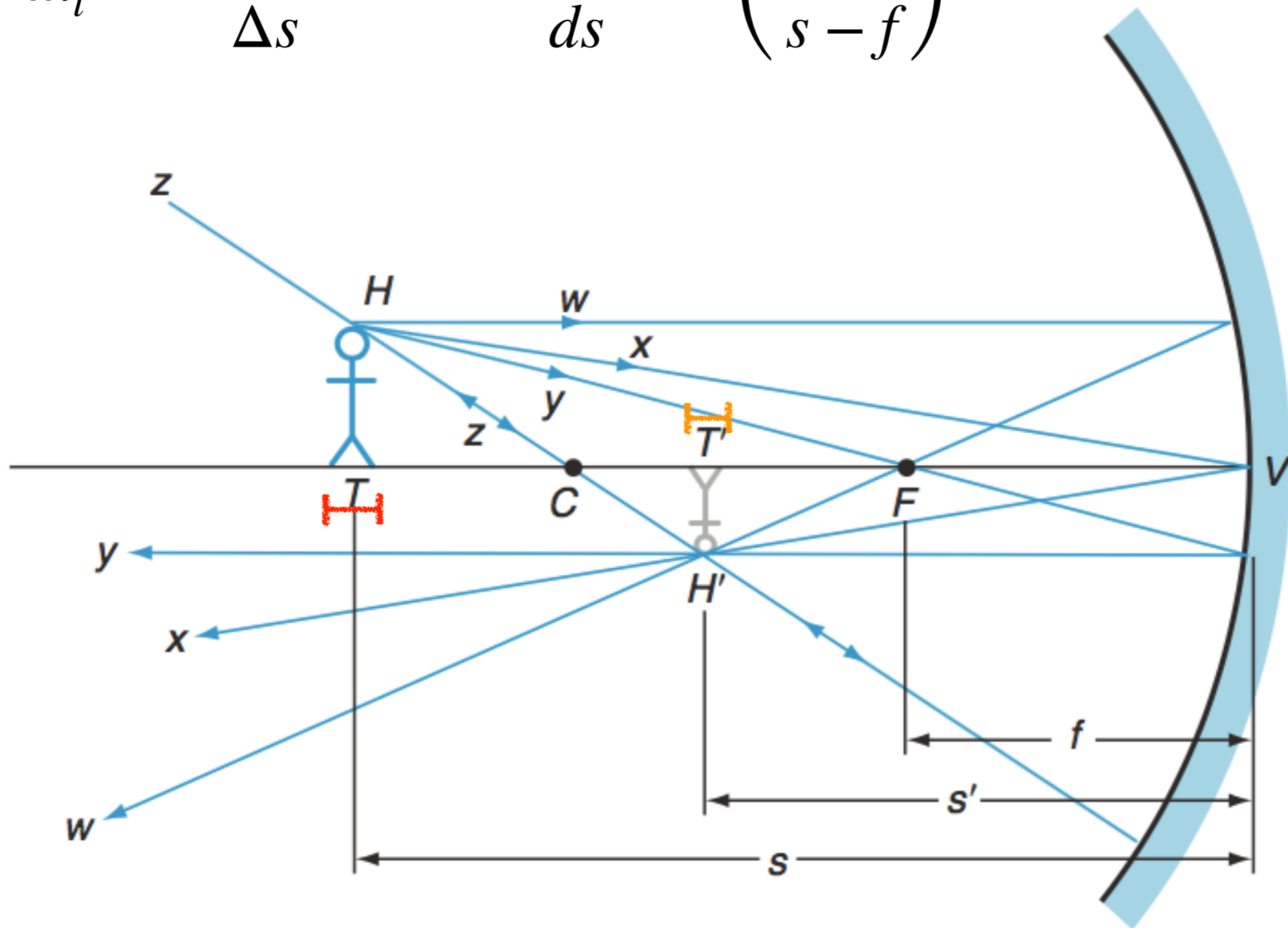
# Ingrandimento trasversale

$$m_t = - \frac{\overline{H'T'}}{\overline{HT}} = - \frac{s'}{s} = - \frac{f}{s - f}$$



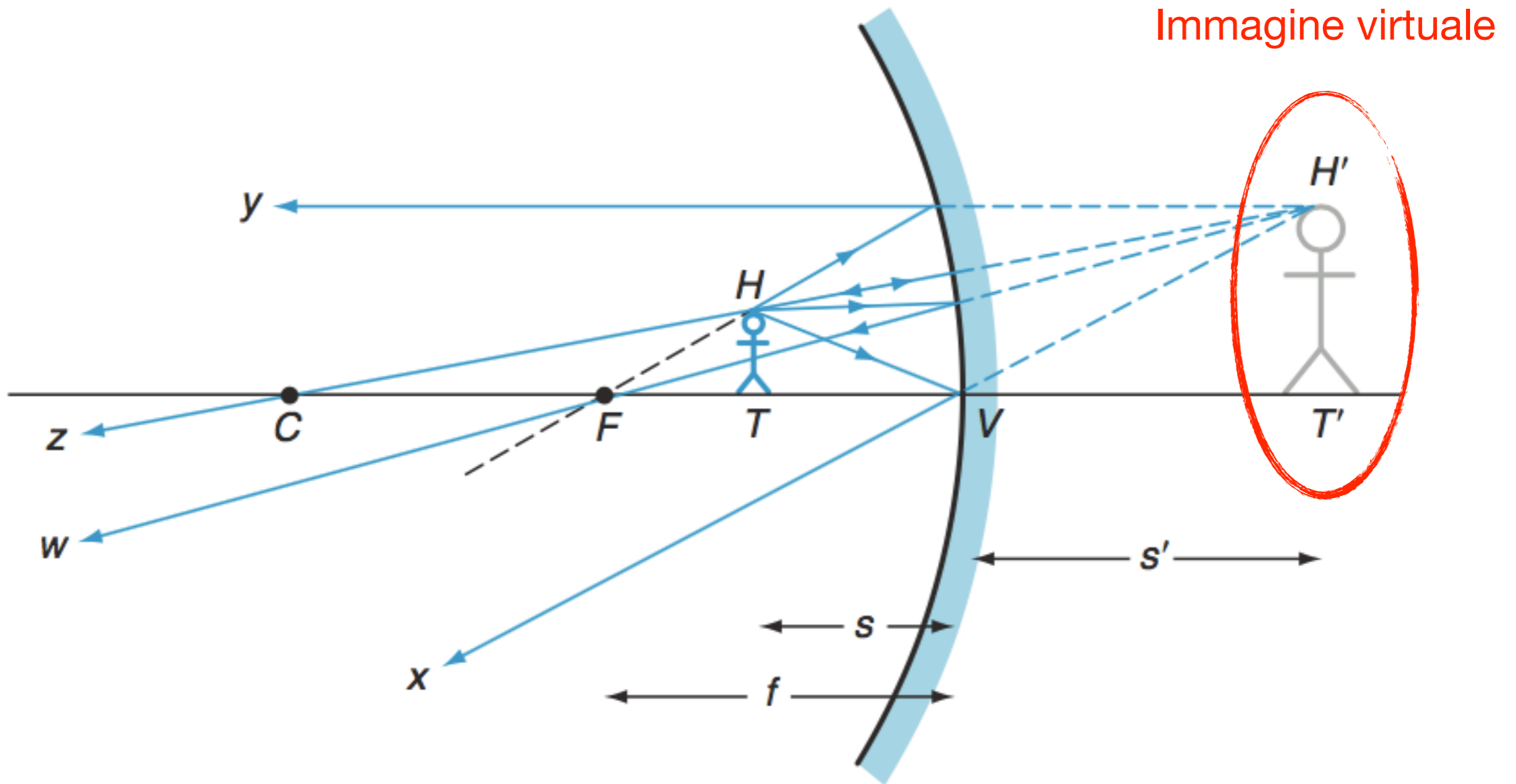
# Ingrandimento longitudinale

$$m_l = -\frac{\Delta s'}{\Delta s} = -\frac{ds'(s)}{ds} = \left(\frac{f}{s-f}\right)^2$$



# Oggetto tra il fuoco e il vertice

vale ancora : 
$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$



# Convenzione per i segni:

$s$ : positivo se l'oggetto è dalla stessa parte rispetto alla luce incidente

$s'$ : positivo se l'immagine è dalla stessa parte della luce uscente (immagine reale)

negativo se l'immagine è dall'altra parte della luce uscente (immagine virtuale)

$R$ : positivo se il centro di curvatura si trova dalla stessa parte della luce uscente

negativo se il centro di curvatura si trova dall'altra parte della luce uscente

$f$ : stesso segno di  $R$

$m$ : positivo se l'immagine è dritta

negativo se l'immagine è rovesciata

# Convenzione per i segni:

$s$ : positivo se l'oggetto è dalla stessa parte rispetto alla luce incidente (...)

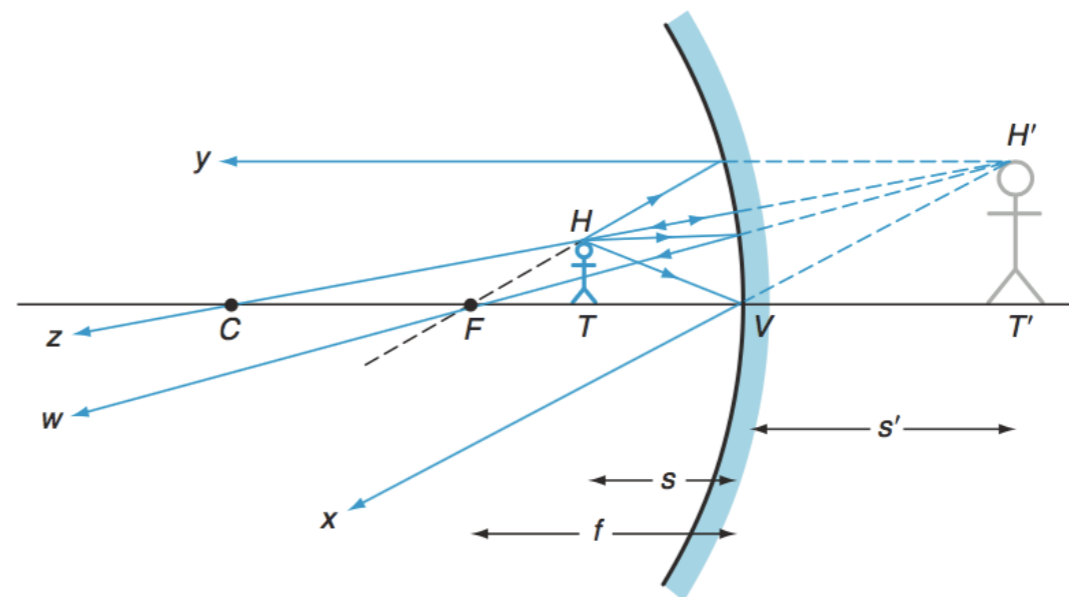
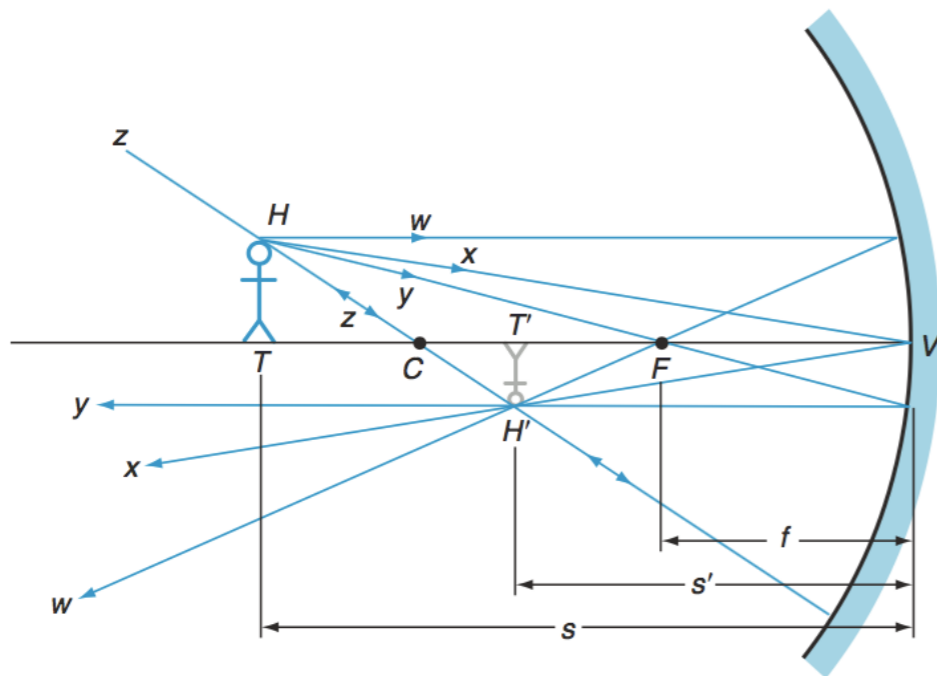
$s'$ : positivo se l'immagine è dalla stessa parte della luce uscente (immagine reale)  
negativo se l'immagine è dall'altra parte della luce uscente (immagine virtuale)

$R$ : positivo se il centro di curvatura si trova dalla stessa parte della luce uscente  
negativo se il centro di curvatura si trova dall'altra parte della luce uscente

$f$ : stesso segno di  $R$

$m$ : positivo se l'immagine è dritta

negativo se l'immagine è rovesciata



# Convenzione per i segni:

$s$ : positivo se l'oggetto è dalla stessa parte rispetto alla luce incidente

$s'$ : positivo se l'immagine è dalla stessa parte della luce uscente (immagine reale)

negativo se l'immagine è dall'altra parte della luce uscente (immagine virtuale)

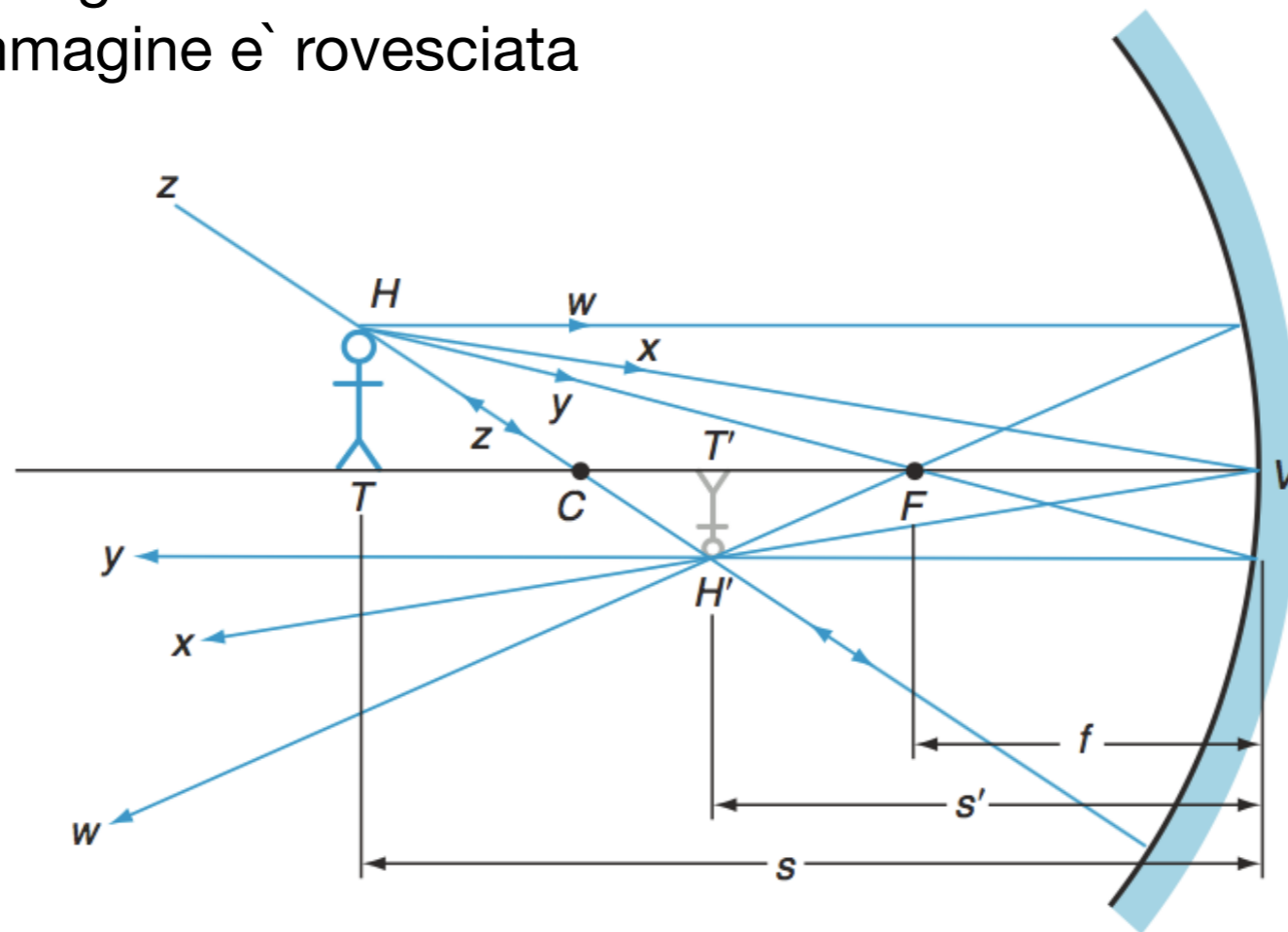
$R$ : positivo se il centro di curvatura si trova dalla stessa parte della luce uscente

negativo se il centro di curvatura si trova dall'altra parte della luce uscente

$f$ : stesso segno di  $R$

$m$ : positivo se l'immagine è dritta

negativo se l'immagine è rovesciata



# Convenzione per i segni:

$s$ : positivo se l'oggetto è dalla stessa parte rispetto alla luce incidente

$s'$ : positivo se l'immagine è dalla stessa parte della luce uscente (immagine reale)

**negativo se l'immagine è dall'altra parte della luce uscente (immagine virtuale)**

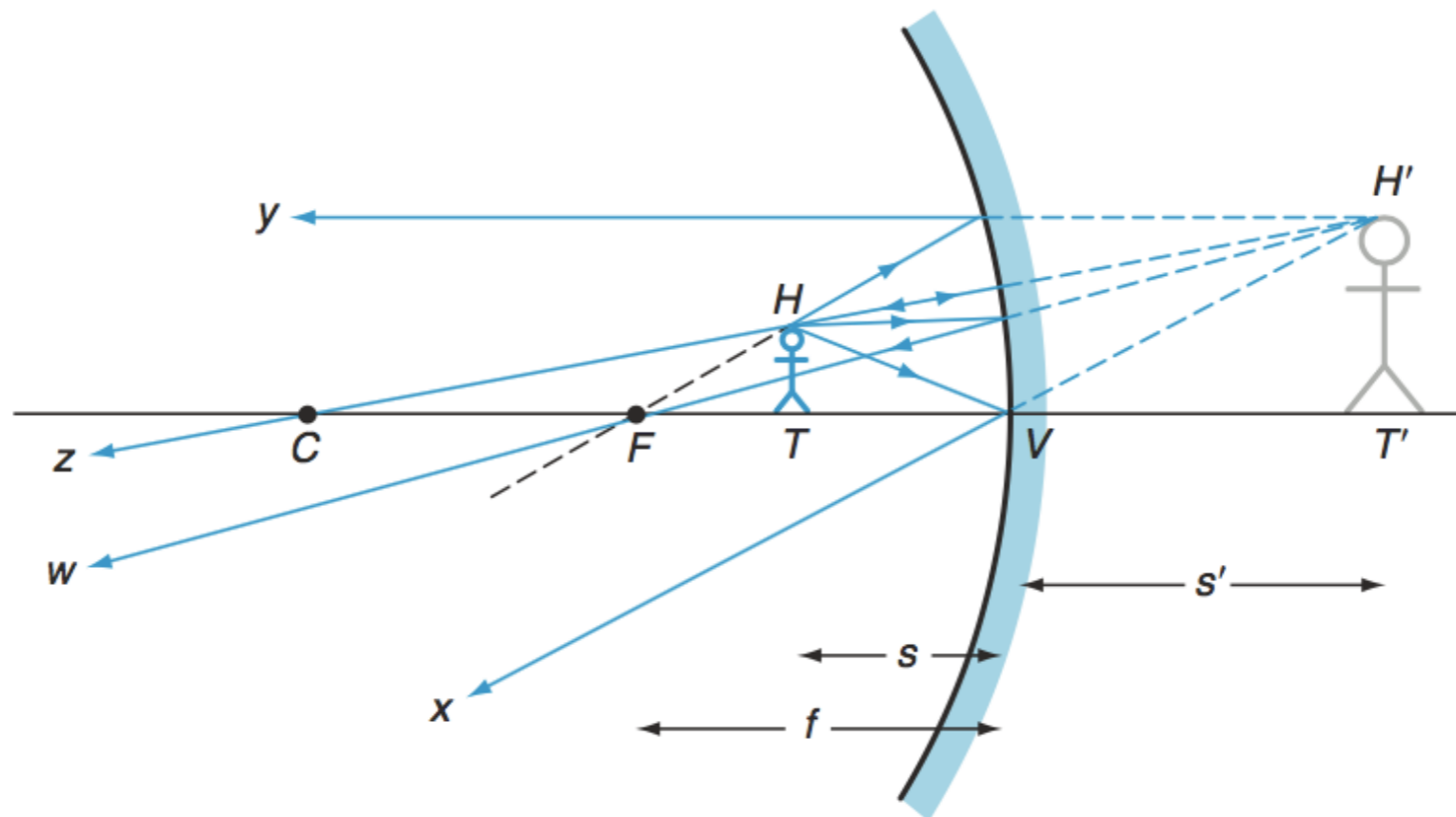
$R$ : positivo se il centro di curvatura si trova dalla stessa parte della luce uscente

negativo se il centro di curvatura si trova dall'altra parte della luce uscente

$f$ : stesso segno di  $R$

$m$ : positivo se l'immagine è dritta

negativo se l'immagine è rovesciata



# Convenzione per i segni:

$s$ : positivo se l'oggetto è dalla stessa parte rispetto alla luce incidente

$s'$ : positivo se l'immagine è dalla stessa parte della luce uscente (immagine reale)

negativo se l'immagine è dall'altra parte della luce uscente (immagine virtuale)

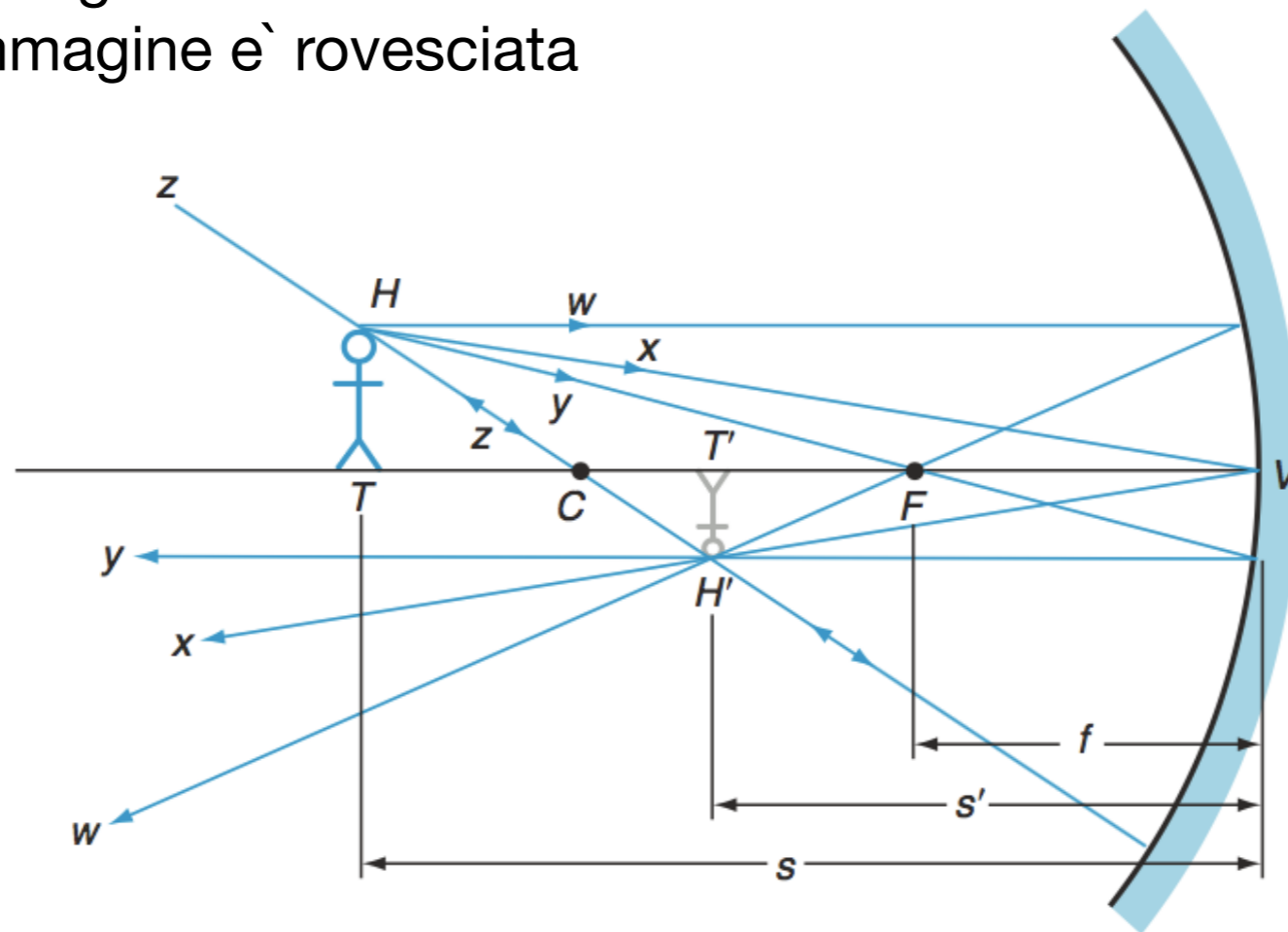
$R$ : positivo se il centro di curvatura si trova dalla stessa parte della luce uscente

negativo se il centro di curvatura si trova dall'altra parte della luce uscente

$f$ : stesso segno di  $R$

$m$ : positivo se l'immagine è dritta

negativo se l'immagine è rovesciata





# Convenzione per i segni:

$s$ : positivo se l'oggetto è dalla stessa parte rispetto alla luce incidente

$s'$ : positivo se l'immagine è dalla stessa parte della luce uscente (immagine reale)

negativo se l'immagine è dall'altra parte della luce uscente (immagine virtuale)

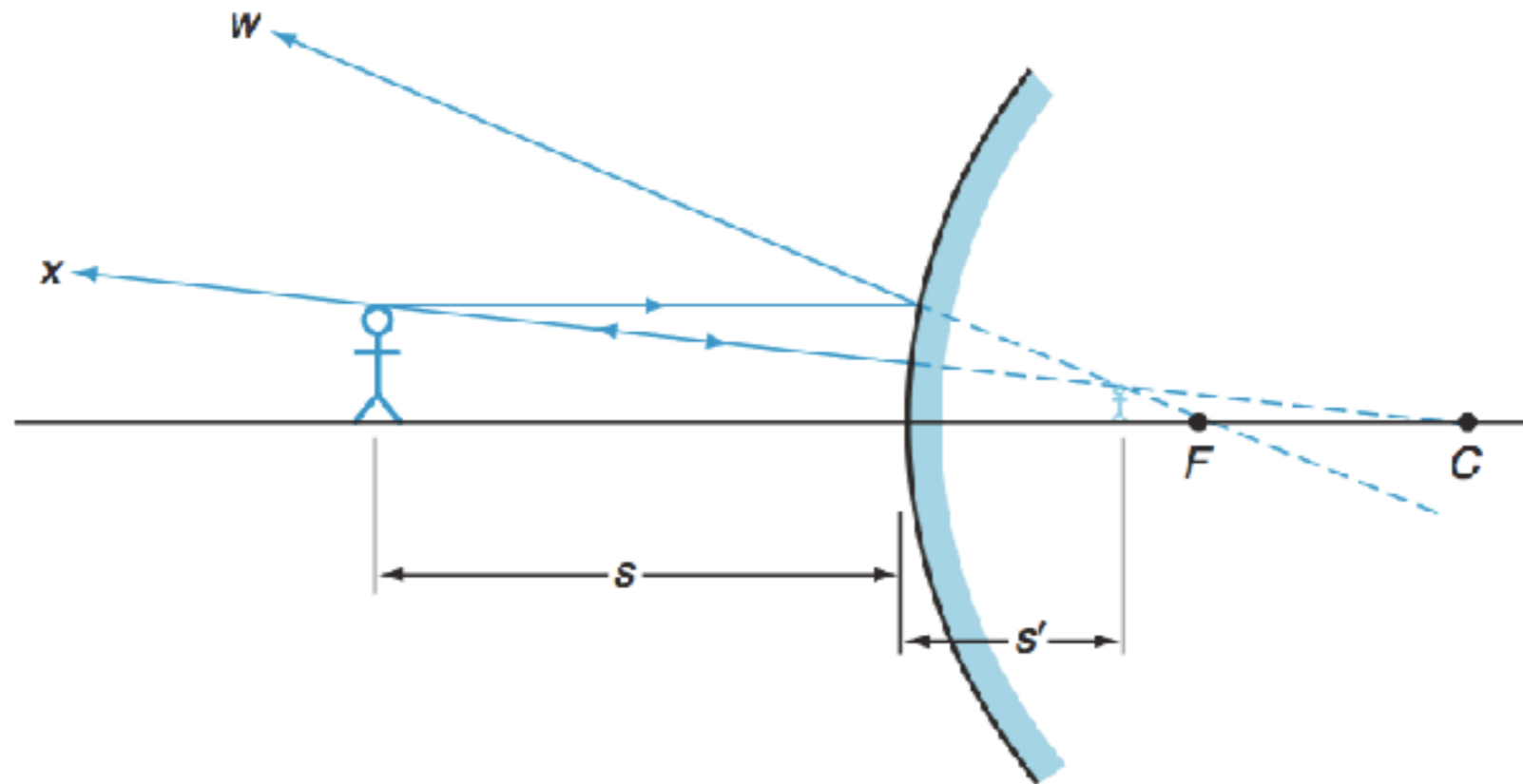
$R$ : positivo se il centro di curvatura si trova dalla stessa parte della luce uscente

negativo se il centro di curvatura si trova dall'altra parte della luce uscente

$f$ : stesso segno di  $R$

$m$ : positivo se l'immagine è dritta

negativo se l'immagine è rovesciata



# Convenzione per i segni:

$s$ : positivo se l'oggetto è dalla stessa parte rispetto alla luce incidente

$s'$ : positivo se l'immagine è dalla stessa parte della luce uscente (immagine reale)

negativo se l'immagine è dall'altra parte della luce uscente (immagine virtuale)

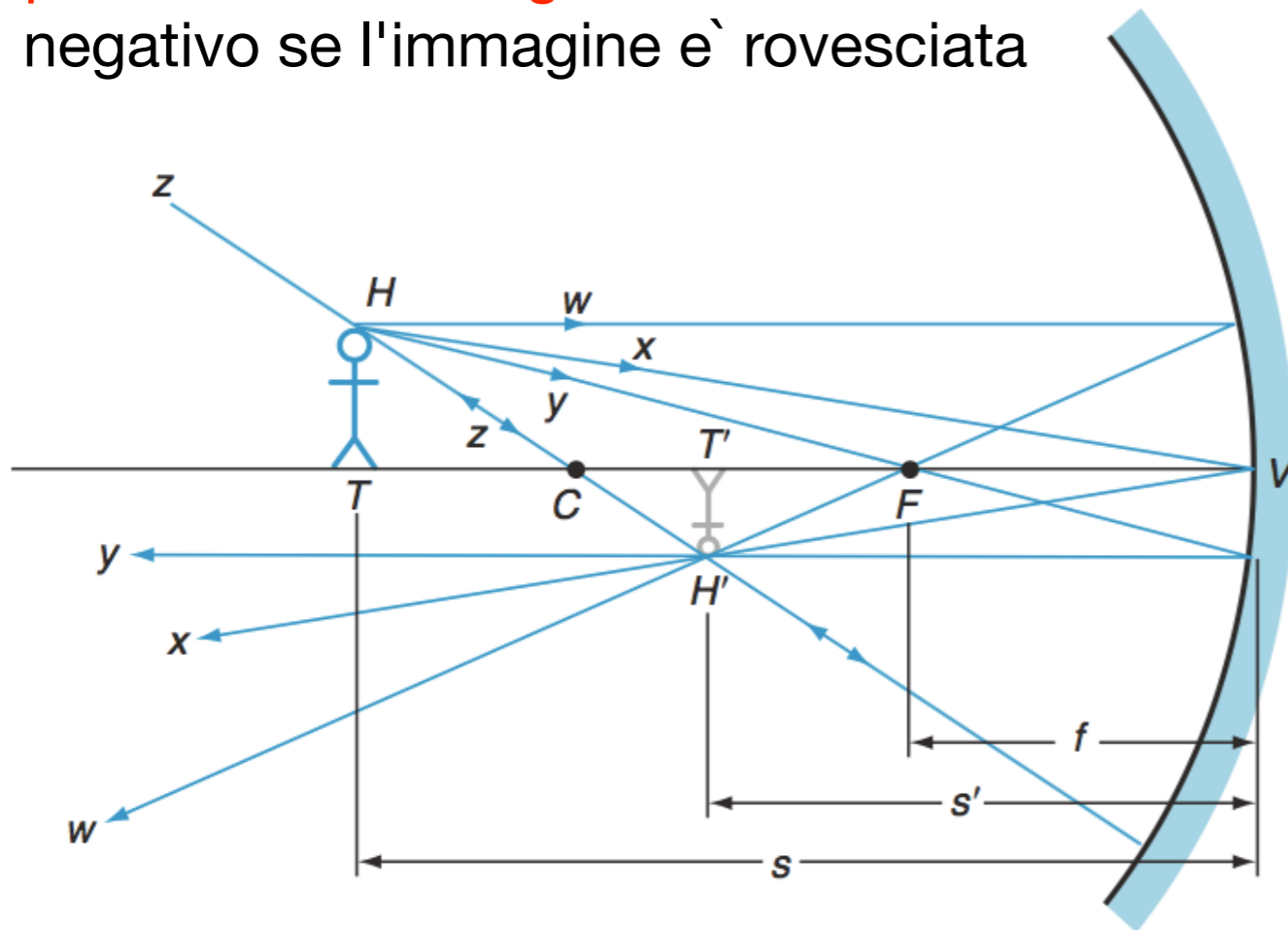
$R$ : positivo se il centro di curvatura si trova dalla stessa parte della luce uscente

negativo se il centro di curvatura si trova dall'altra parte della luce uscente

$f$ : stesso segno di  $R$

$m$ : positivo se l'immagine è dritta

negativo se l'immagine è rovesciata



$$m_t = -\frac{\overline{H'T'}}{\overline{HT}} = -\frac{s'}{s} = -\frac{f}{s-f}$$

# Convenzione per i segni:

$s$ : positivo se l'oggetto è dalla stessa parte rispetto alla luce incidente

$s'$ : positivo se l'immagine è dalla stessa parte della luce uscente (immagine reale)

negativo se l'immagine è dall'altra parte della luce uscente (immagine virtuale)

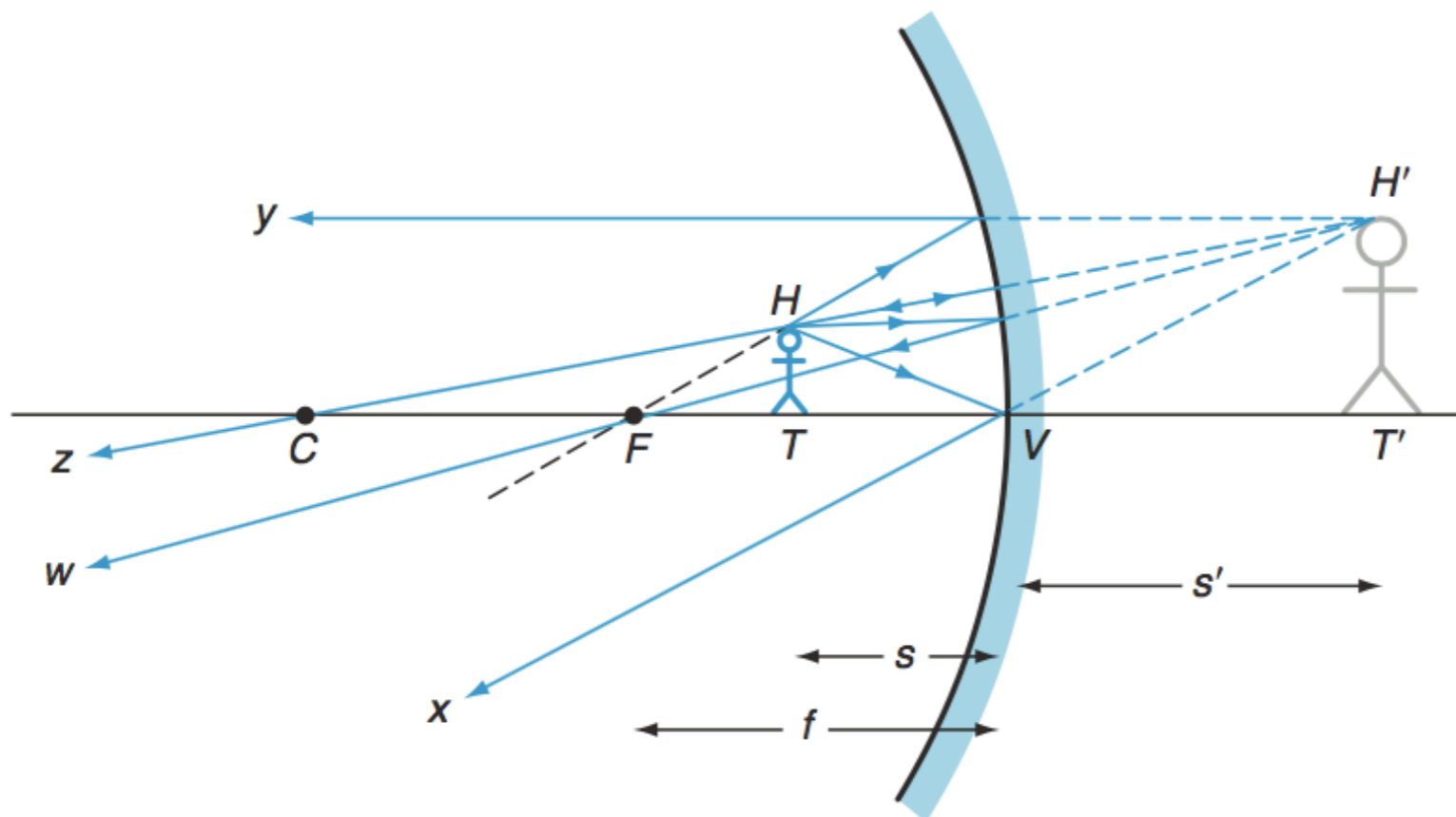
$R$ : positivo se il centro di curvatura si trova dalla stessa parte della luce uscente

negativo se il centro di curvatura si trova dall'altra parte della luce uscente

$f$ : stesso segno di  $R$

$m$ : positivo se l'immagine è dritta

negativo se l'immagine è rovesciata

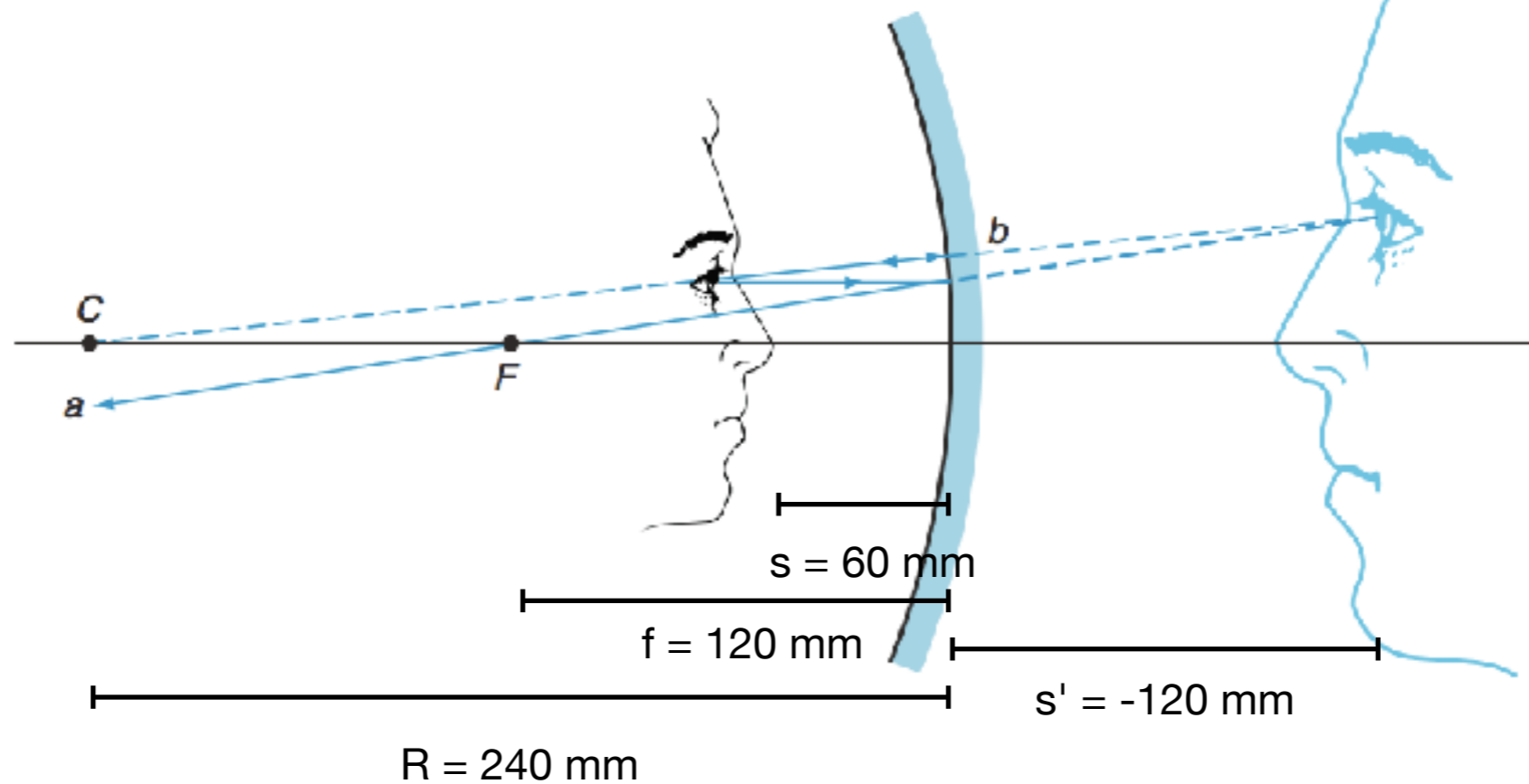


$$m_t = \frac{\overline{H'T'}}{\overline{HT}} = -\frac{s'}{s} = \frac{f}{f-s}$$

## Esempio 18.3

Uno specchio per radersi concavo ha un raggio di curvatura di  $R=240$  mm. Se ti ci guardi da una distanza di 60 mm, (a) dove si forma l'immagine della tua faccia e (b) quanto sembra grande un particolare del tuo viso lungo 5 mm?

$$(a) : f = \frac{R}{2} = 120 \text{ mm}, \quad \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \implies s' = \frac{sf}{s-f} = -120 \text{ mm}$$



$$(b) : m_t = -\frac{s'}{s} = 2$$

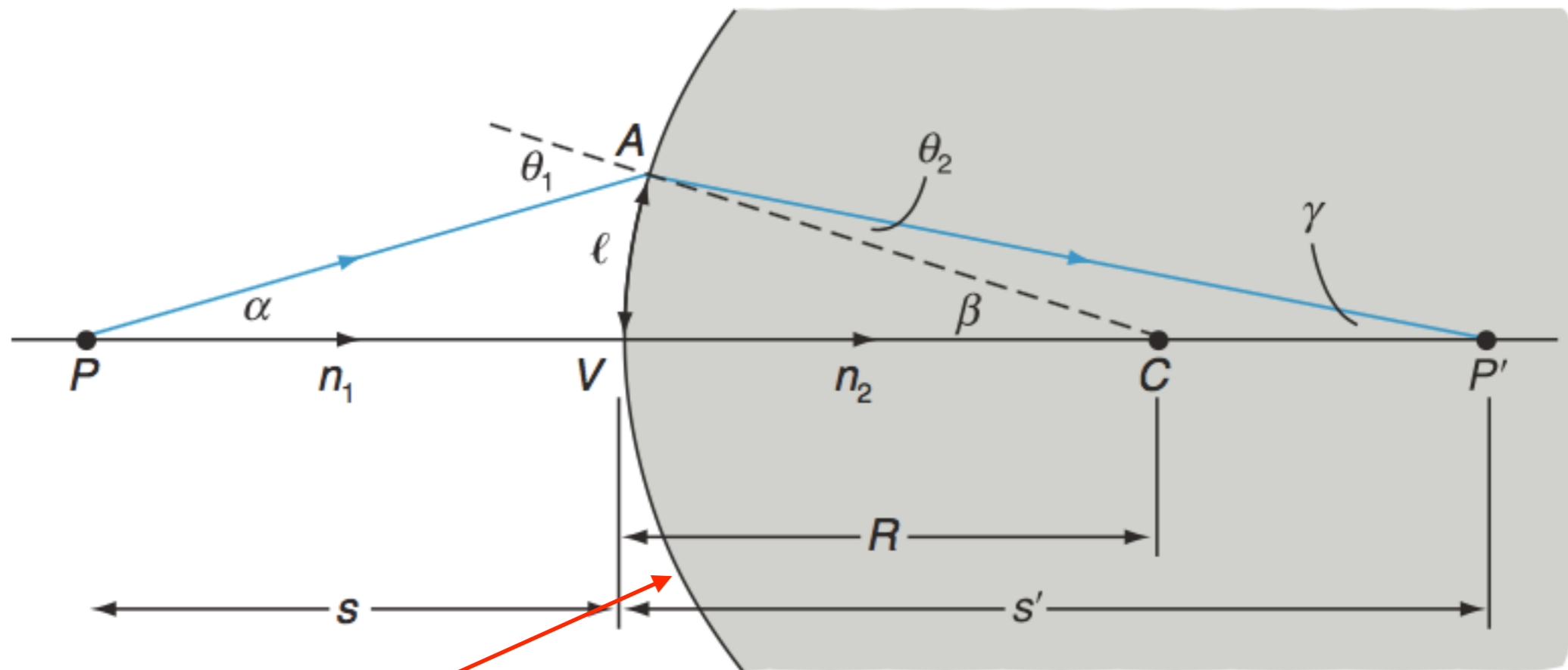
# Formazione delle immagini per rifrazione: dall'aria al vetro

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2, \quad \theta_1 \ll 1, \quad \theta_2 \ll 1 \quad \implies \quad n_1 \theta_1 = n_2 \theta_2$$

$$\theta_1 = \alpha + \beta$$

$$\beta = \theta_2 + \gamma$$

$$n_1 \alpha + n_2 \gamma = \beta(n_2 - n_1)$$



diottro sferico convesso

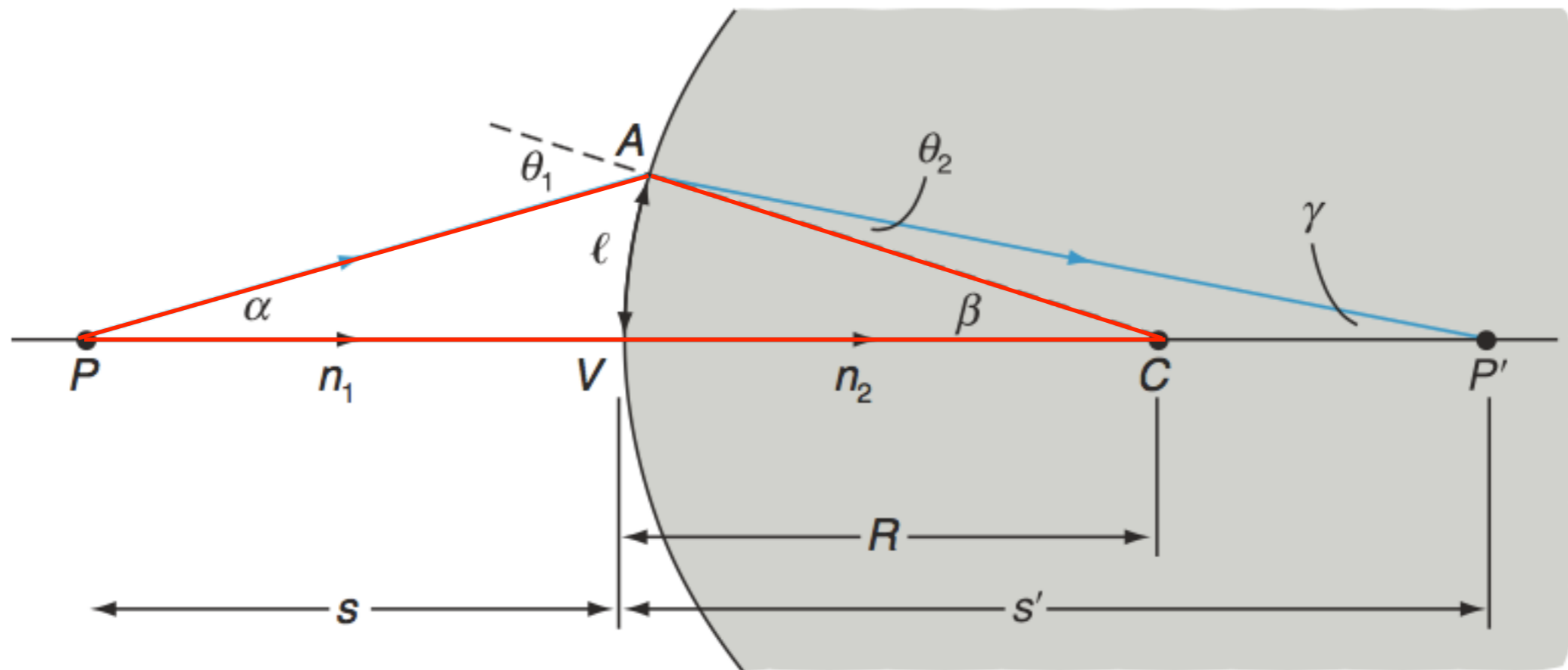
# Formazione delle immagini per rifrazione: dall'aria al vetro

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2, \quad \theta_1 \ll 1, \quad \theta_2 \ll 1 \quad \implies \quad n_1 \theta_1 = n_2 \theta_2$$

$$\theta_1 = \alpha + \beta$$

$$\beta = \theta_2 + \gamma$$

$$n_1 \alpha + n_2 \gamma = \beta(n_2 - n_1)$$



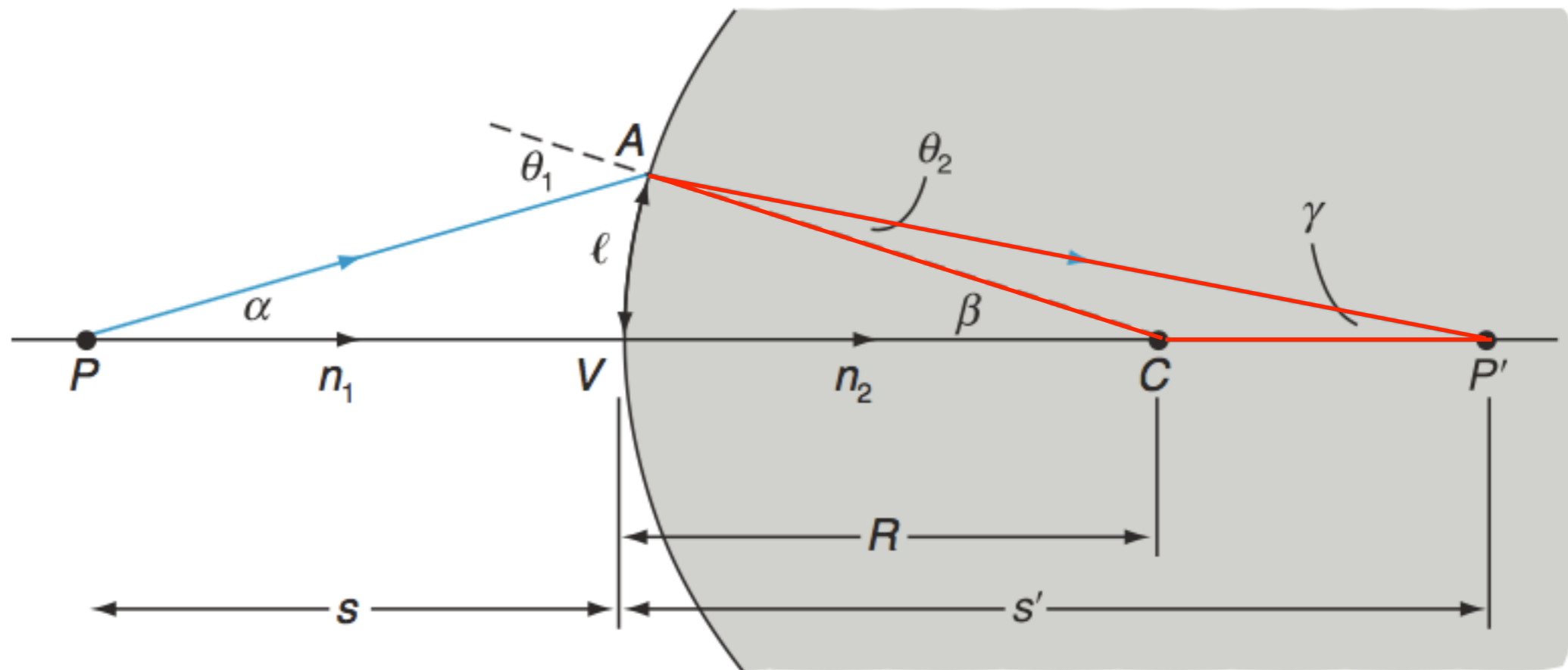
# Formazione delle immagini per rifrazione: dall'aria al vetro

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2, \quad \theta_1 \ll 1, \quad \theta_2 \ll 1 \quad \implies \quad n_1 \theta_1 = n_2 \theta_2$$

$$\theta_1 = \alpha + \beta$$

$$\beta = \theta_2 + \gamma$$

$$n_1 \alpha + n_2 \gamma = \beta(n_2 - n_1)$$



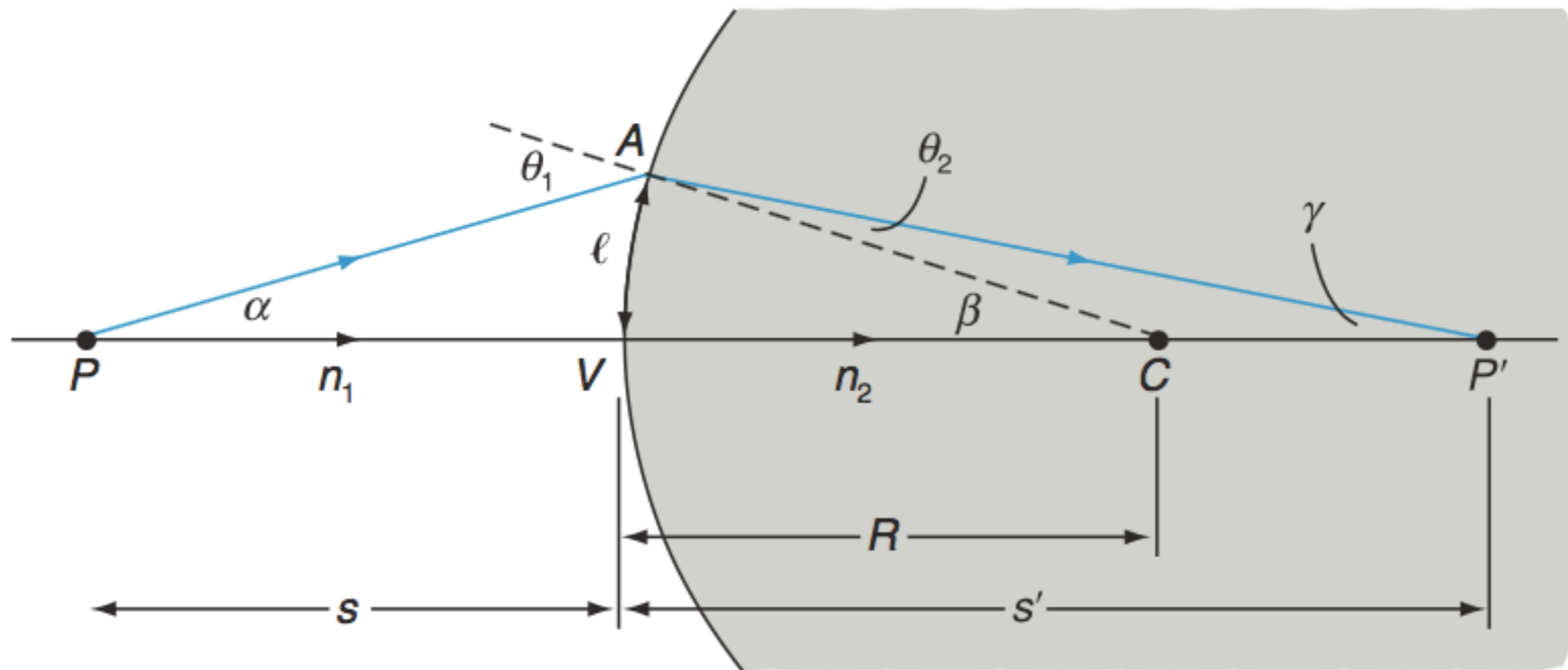
# Formazione delle immagini per rifrazione: dall'aria al vetro

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2, \quad \theta_1 \ll 1, \quad \theta_2 \ll 1 \quad \implies \quad n_1 \theta_1 = n_2 \theta_2$$

$$\theta_1 = \alpha + \beta$$

$$\beta = \theta_2 + \gamma$$

$$n_1 \alpha + n_2 \gamma = \beta(n_2 - n_1)$$



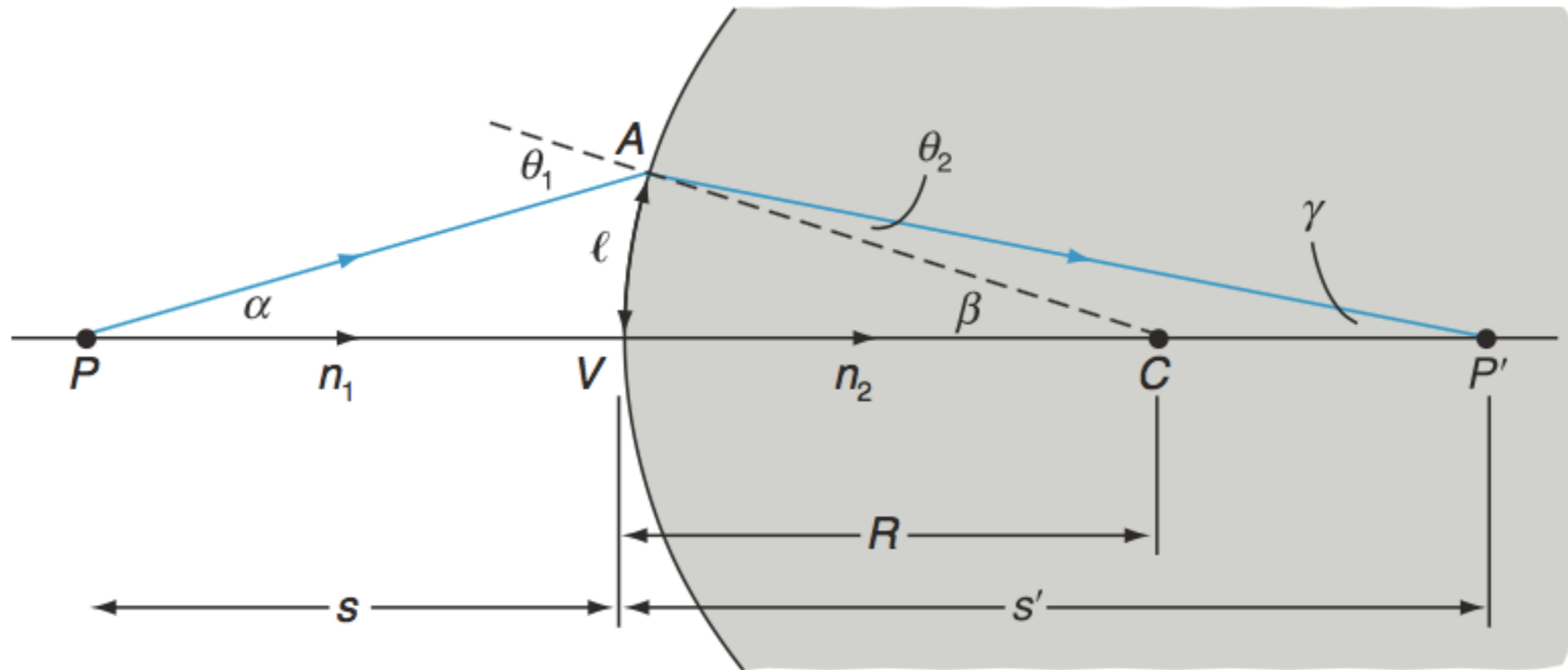


# Formazione delle immagini per rifrazione: dall'aria al vetro

$$n_1\alpha + n_2\gamma = \beta(n_2 - n_1)$$

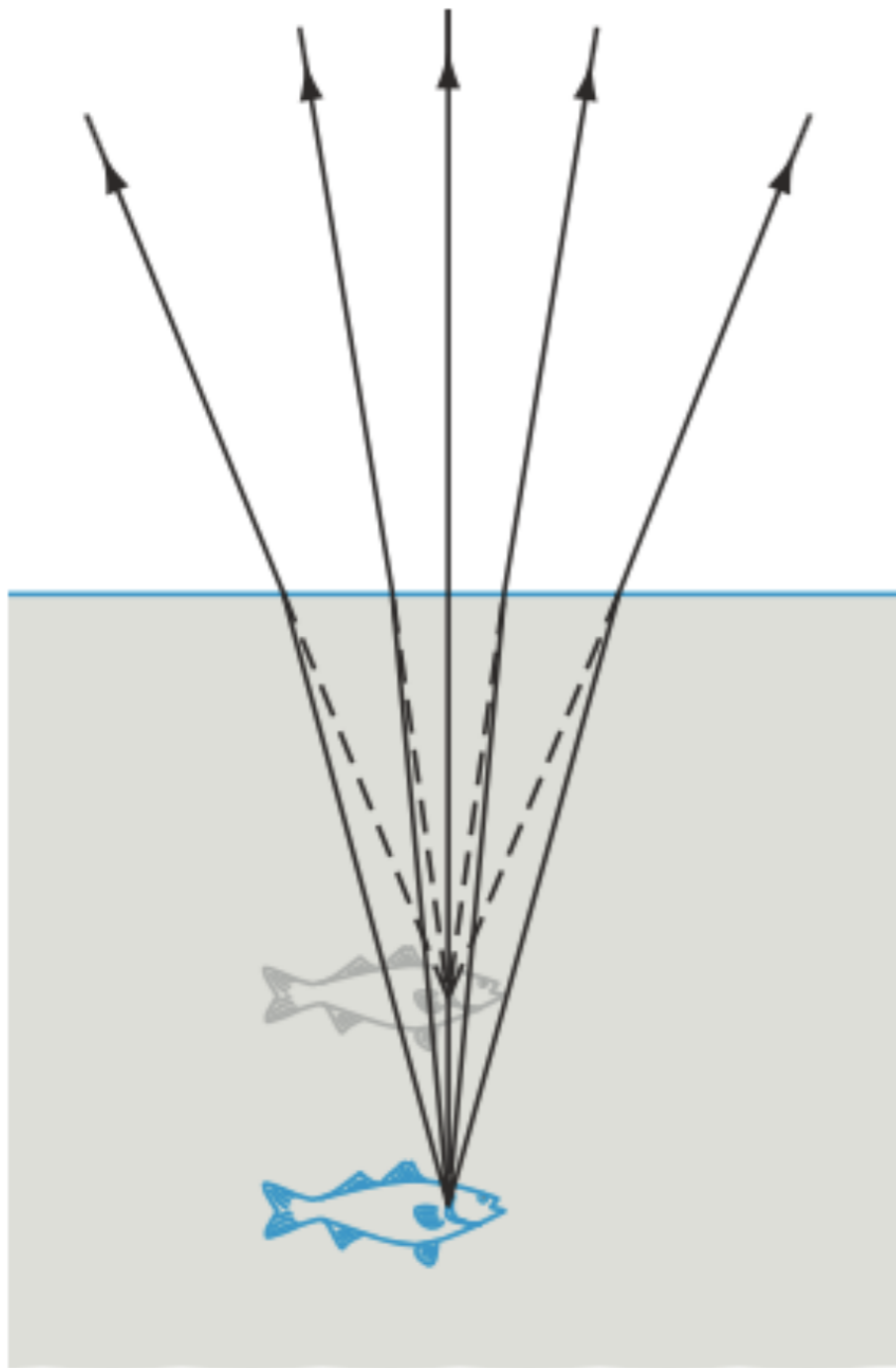
$$\beta = \frac{\ell}{R}, \quad \alpha \approx \frac{\ell}{s}, \quad \gamma \approx \frac{\ell}{s'}$$

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



NB:  $s' > 0$  perché è dalla stessa parte dei raggi uscenti

# Esempio 18.4



$$n_1 = 1.333, n_2 = 1.000, R \rightarrow \infty$$

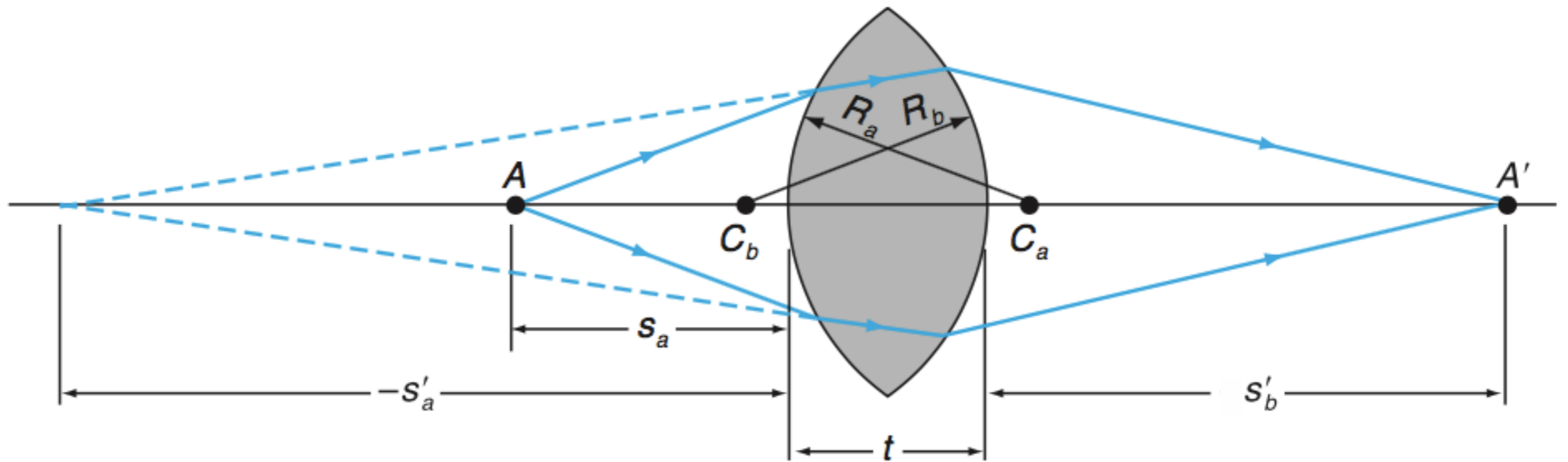
$$\frac{1.333}{s} + \frac{1.000}{-1.5 \text{ m}} = \frac{1.000 - 1.333}{\infty} = 0$$

$$s = 2.0 \text{ m}$$

$$s' < 0$$

# Lenti

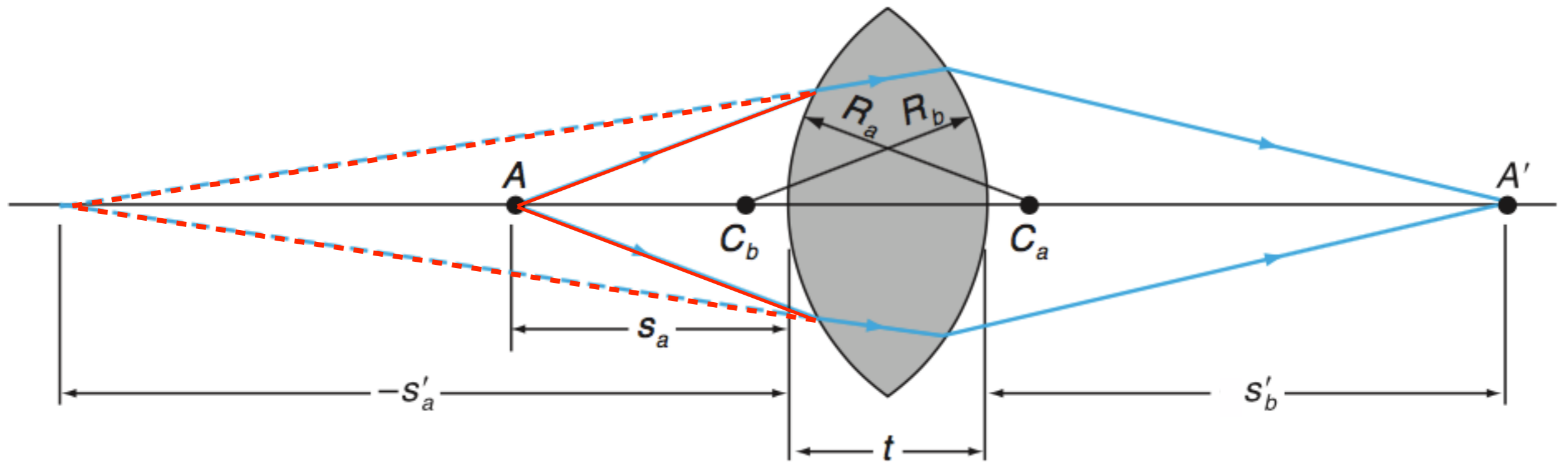
due diottri sferici - uno puo` essere piano



# Lenti

primo diottro :  $\frac{n_1}{s_a} + \frac{n_2}{s'_a} = \frac{n_2 - n_1}{R_a}$

in questo caso  $s'_a$  è negativo



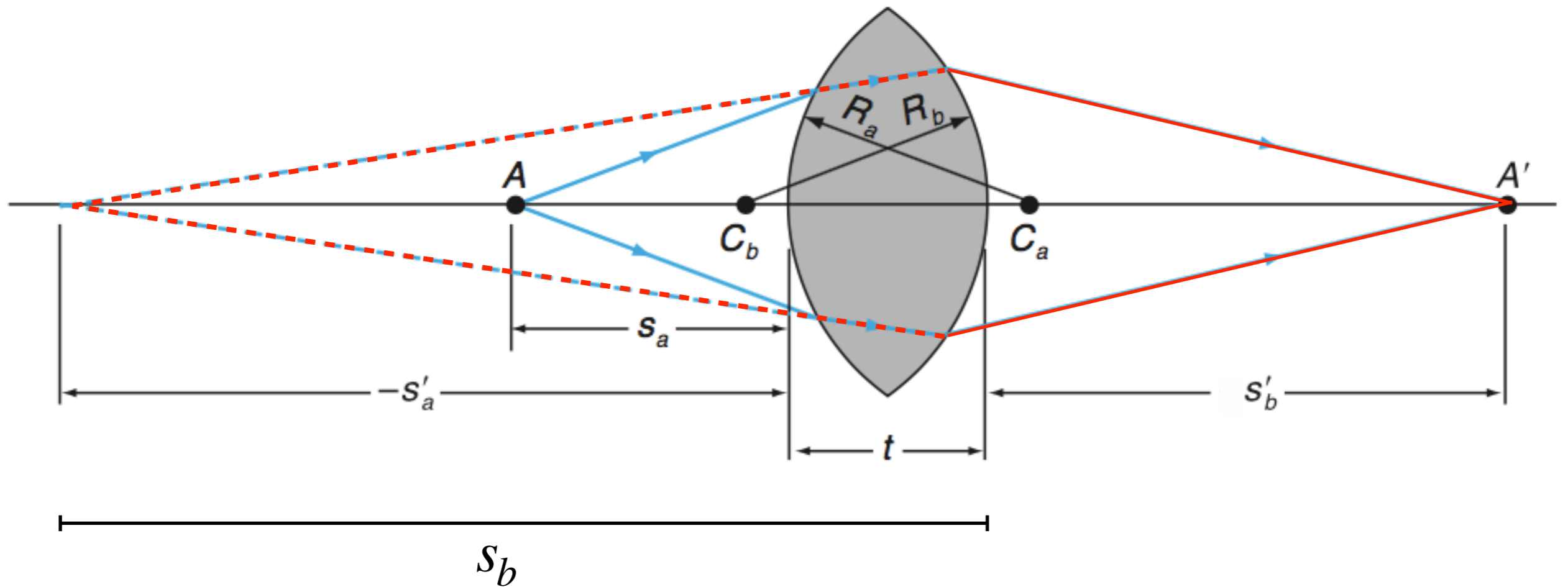
# Lenti

primo diottro :  $\frac{n_1}{s_a} + \frac{n_2}{s'_a} = \frac{n_2 - n_1}{R_a}$

in questo caso  $s'_a$  è negativo

$$s_b = -s'_a + t \approx -s'_a, \quad t \ll s'_a, s_b$$

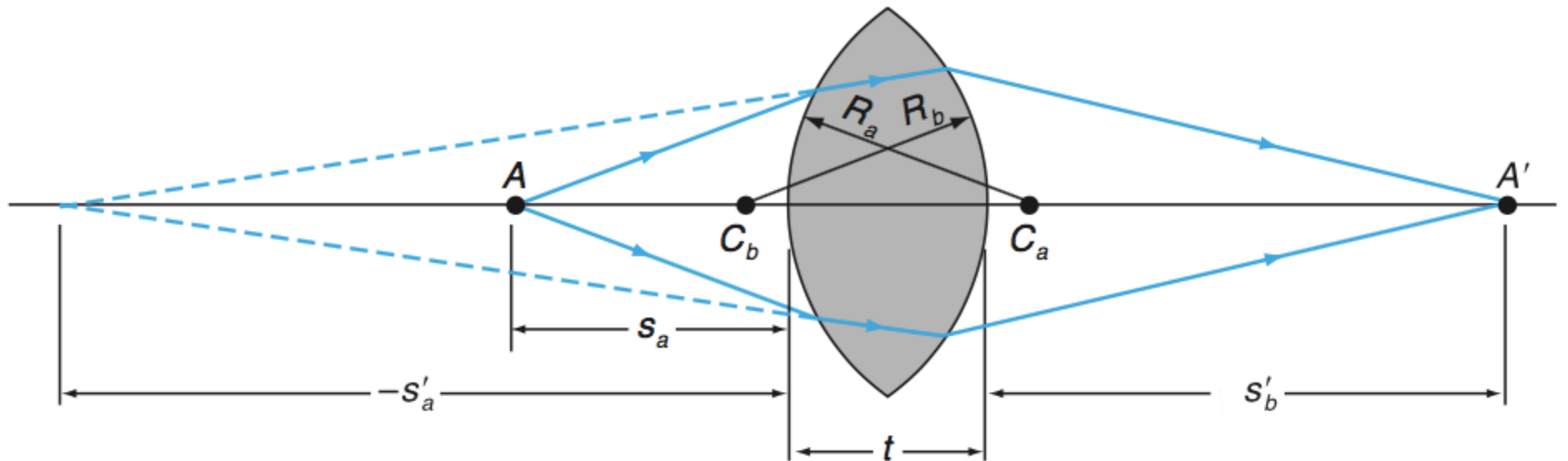
secondo diottro :  $\frac{n_2}{s_b} + \frac{n_1}{s'_b} = \frac{n_2 - n_1}{-R_b}$



# Lenti

primo diottro :  $\frac{n_1}{s_a} + \frac{n_2}{s'_a} = \frac{n_2 - n_1}{R_a}$       secondo diottro :  $\frac{n_2}{-s'_a} + \frac{n_1}{s'_b} = \frac{n_1 - n_2}{-R_b}$

$$\frac{n_1}{s_a} + \frac{n_1}{s'_b} = (n_2 - n_1) \left( \frac{1}{R_a} - \frac{1}{R_b} \right)$$



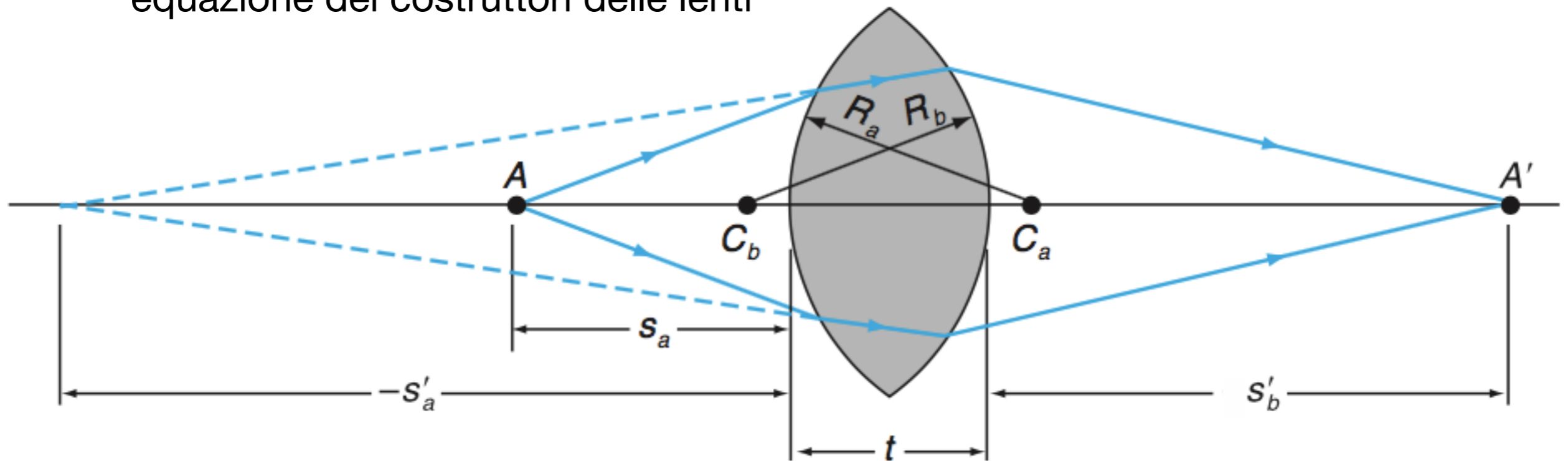
# Lenti, distanza focale

$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = (n_2 - n_1) \left( \frac{1}{R_a} - \frac{1}{R_b} \right)$$

$$s \rightarrow \infty \implies \frac{n_1}{f} = (n_2 - n_1) \left( \frac{1}{R_a} - \frac{1}{R_b} \right)$$

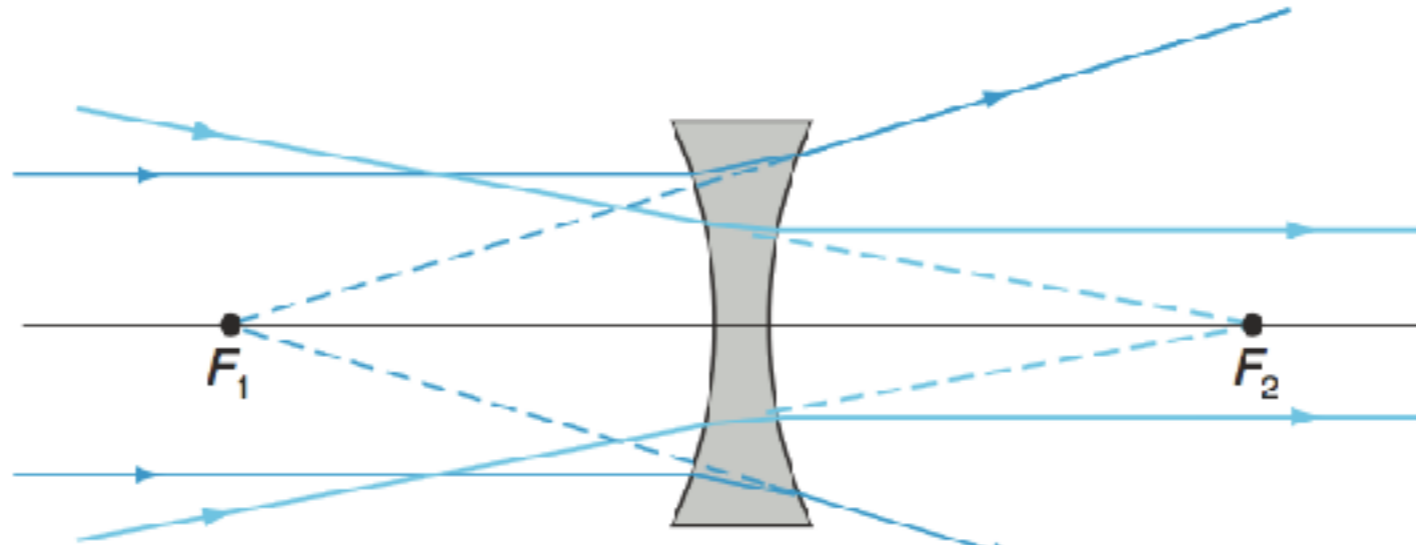
$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

equazione dei costruttori delle lenti

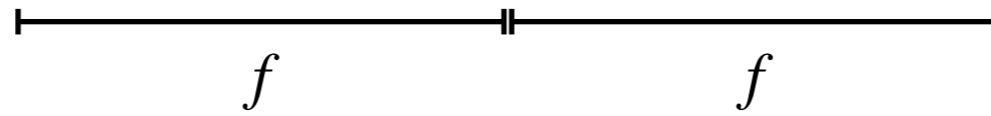
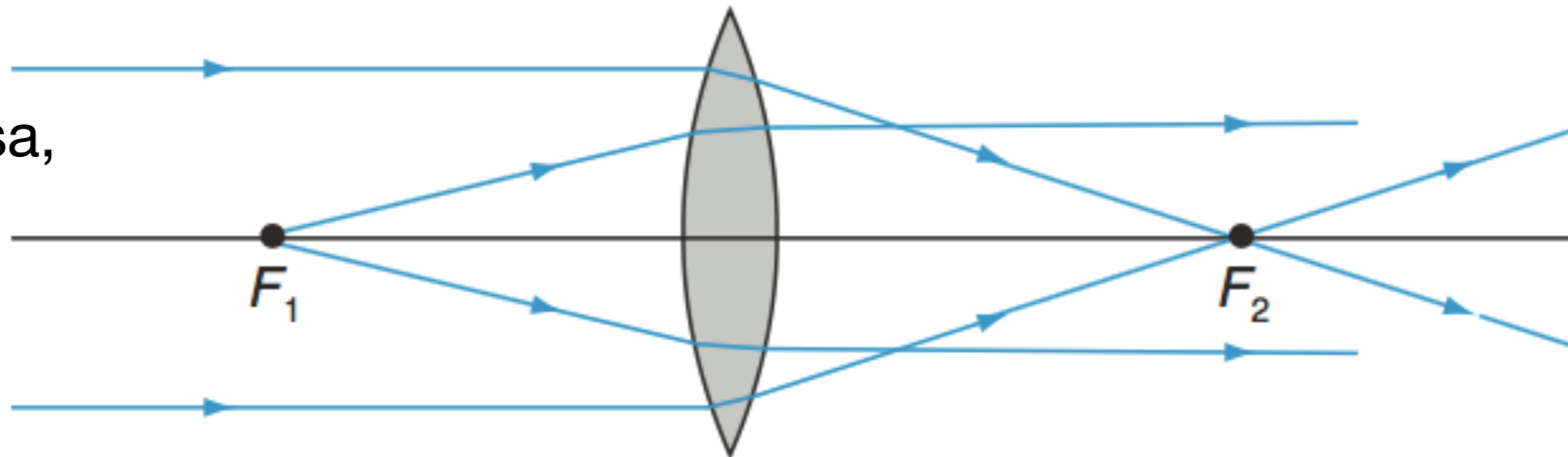


# Lenti

lente biconcava,  
divergente



lente biconvessa,  
convergente



fuoco primario

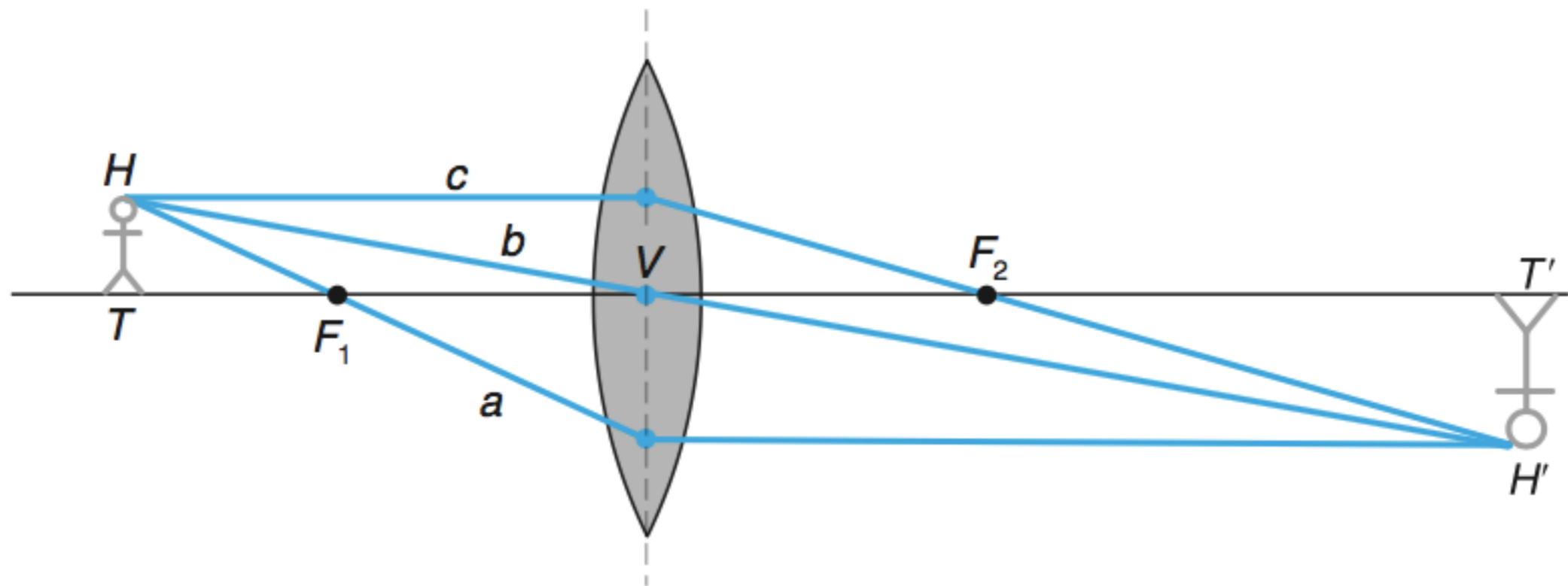
fuoco secondario



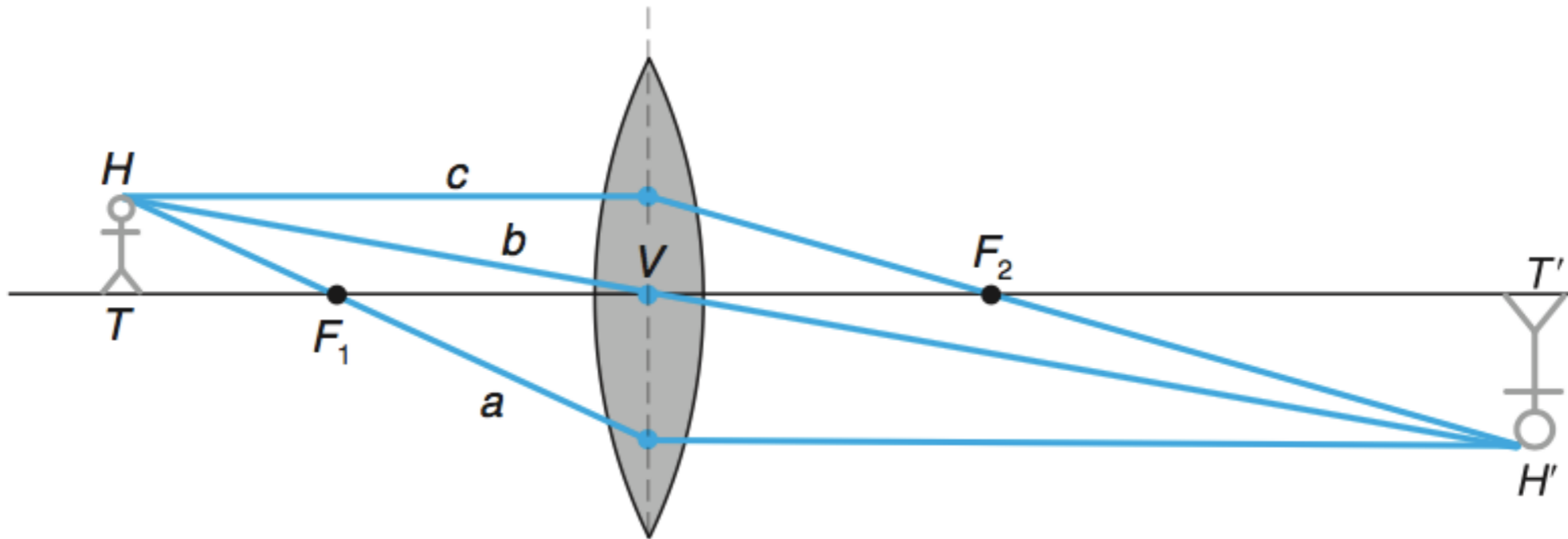
# Ingrandimenti trasversali e longitudinali

$$m_t = - \frac{\overline{H'T'}}{\overline{HT}} = - \frac{s'}{s} = - \frac{f}{s - f}$$

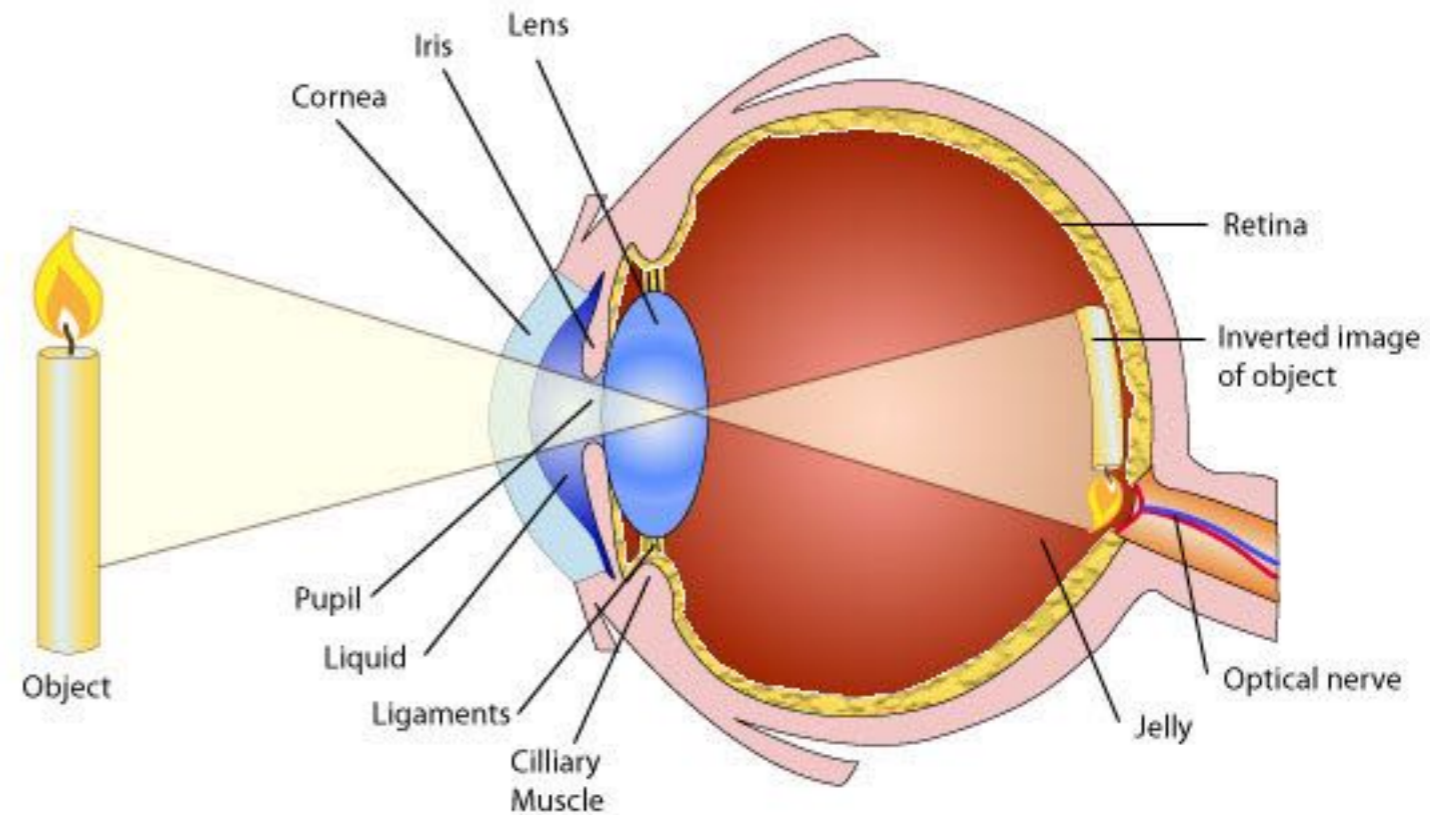
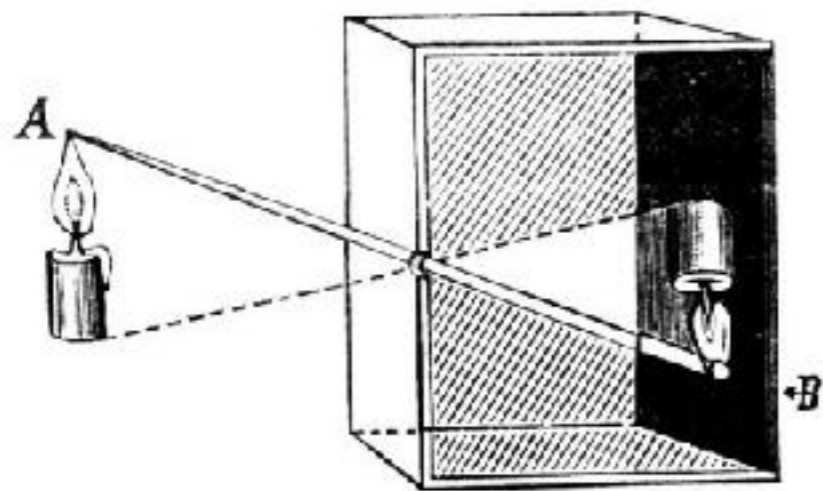
$$m_l = - \frac{\Delta s'}{\Delta s} = - \frac{ds'(s)}{ds} = \left( \frac{f}{s - f} \right)^2$$



# Funzionamento dell'occhio



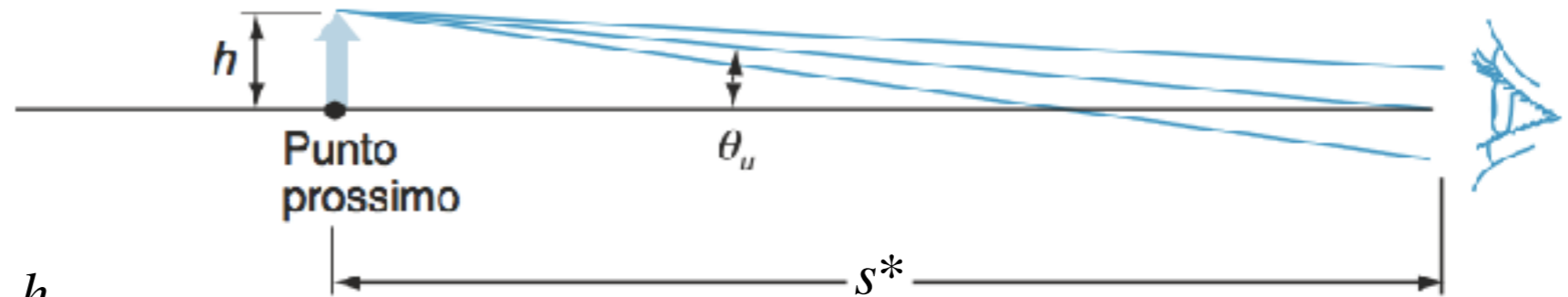
Cross section of Human Eye



# Ingrandimento angolare

$$M = \frac{\theta_u}{\theta_m}$$

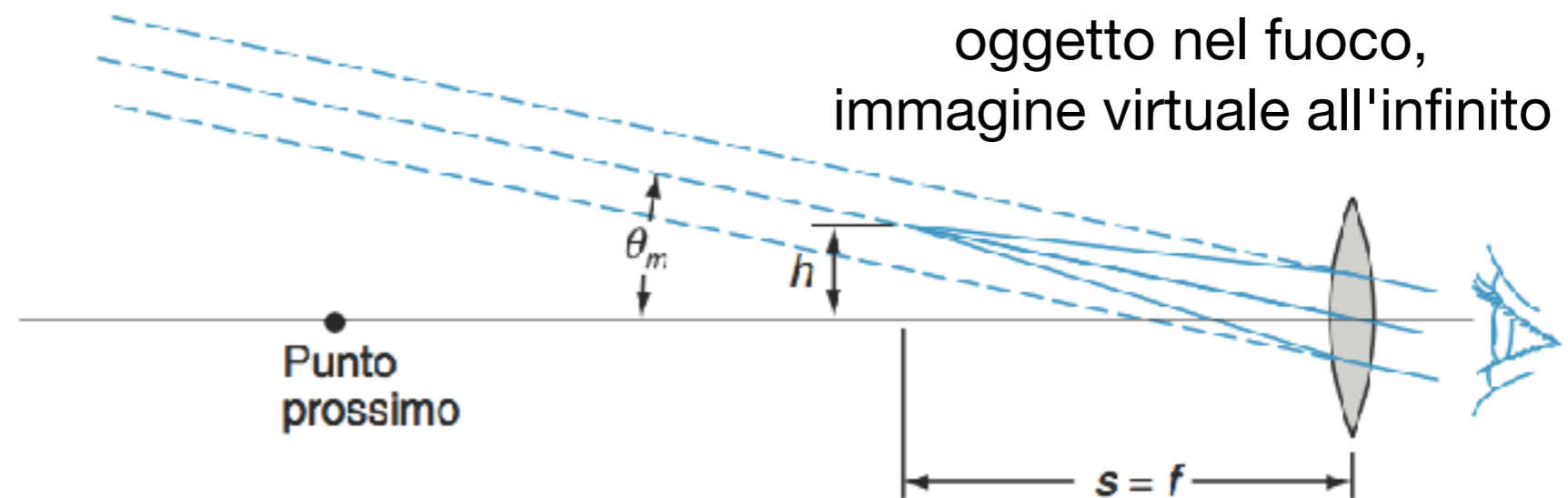
se  $s = f$ :  $\theta_m \approx \frac{h}{s}$ ,  $\theta_u \approx \frac{h}{s^*}$



(a)

oggetto nel fuoco,  
immagine virtuale all'infinito

$$M = \frac{s^*}{f}$$



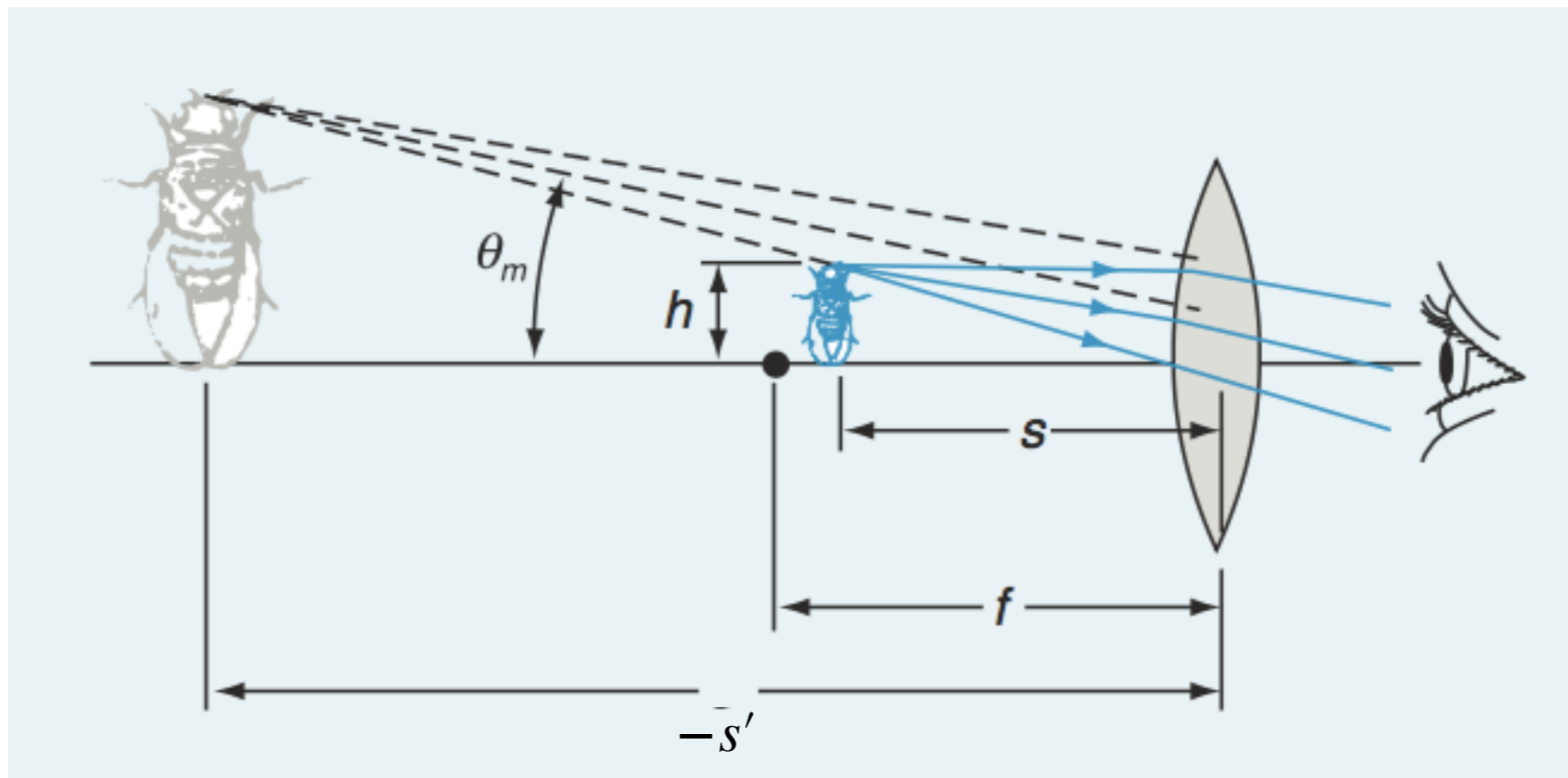
(b)

## Esempio 18.9, microscopio semplice

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \quad \Rightarrow \quad M = s^* \frac{1}{s} = s^* \left( \frac{1}{f} - \frac{1}{s'} \right) = \frac{s^*}{f} + \frac{s^*}{|s'|}$$

Massimo ingrandimento:

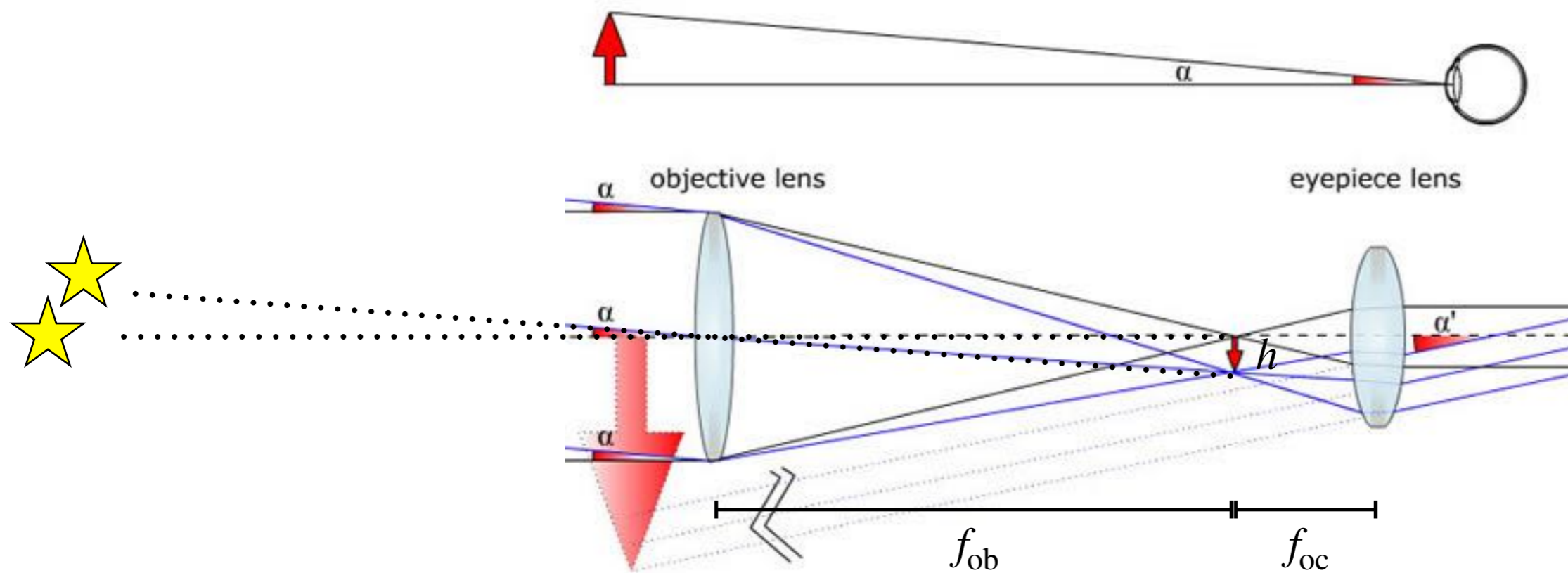
$$|s'| = s^*, \quad M_{\max} = \frac{s^*}{f} + 1$$



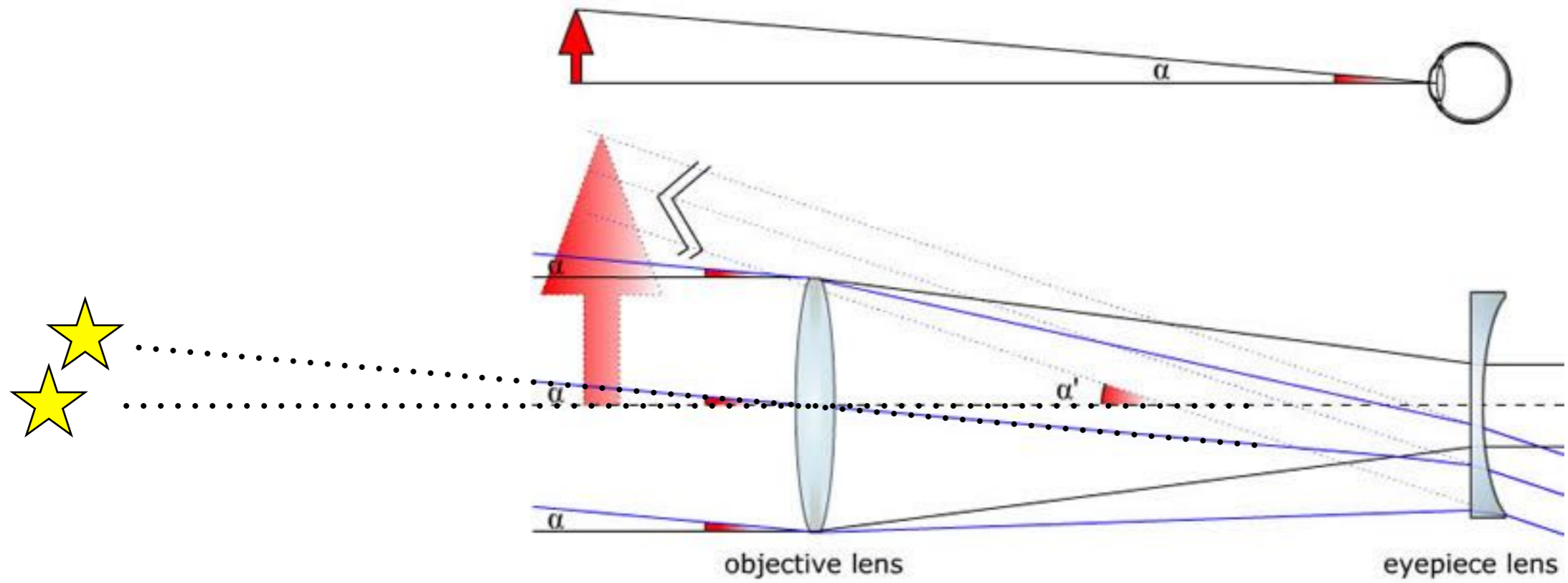
$s'$  è negativo dato che l'immagine è virtuale

# Telescopio Kepleriano rifrattore

$$h \approx \alpha f_{\text{ob}} \approx \alpha' f_{\text{oc}} \quad M = \frac{\alpha'}{\alpha} \approx \frac{f_{\text{ob}}}{f_{\text{oc}}}$$



# Telescopio Galileiano rifrattore



# Telescopio riflettore con montatura Newtoniana

