

AA 2011/2012

# Corso di Basi Fisiche

Prof Tommaso Bellini

## I- Visione, lenti, microscopio

# Formare un'immagine

## Ingredienti:

-Luce

- Supporto dell'immagine

- retina
- pellicola fotografica
- sensore macchina fotografica
- muro (proiettore)

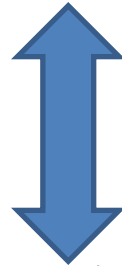
- Sistema di rilevazione del segnale luminoso

- Fotorecettori (coni e bastoncelli)
- Fotodiodi, fototubi
- sensore macchina fotografica (CCD)

## PROBLEMA:

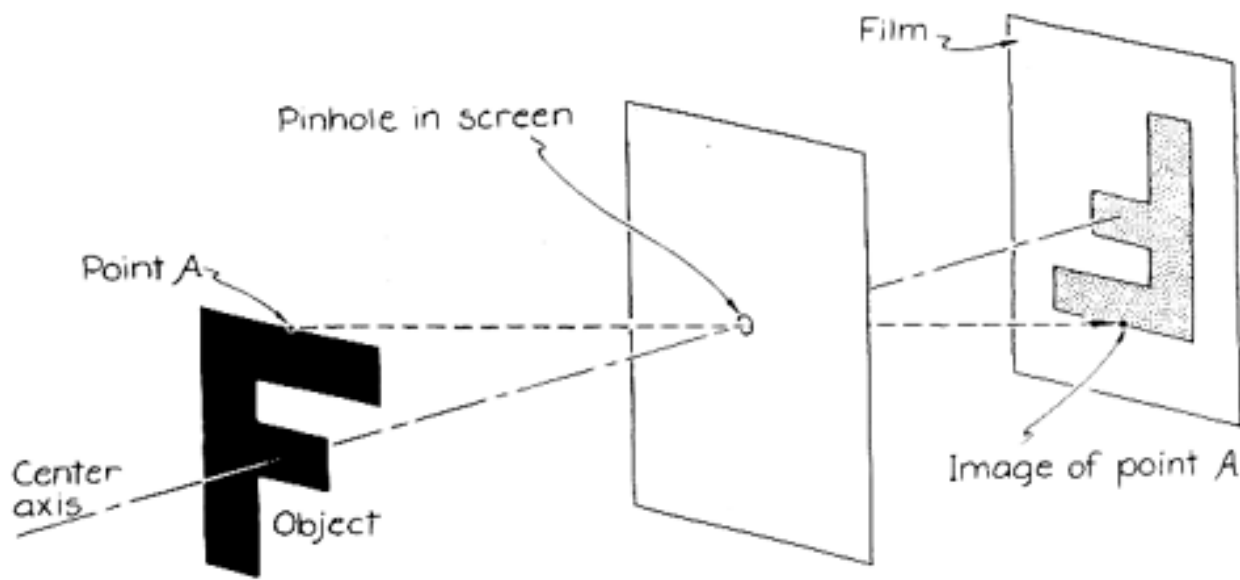
Formare un'immagine di un oggetto che sta in un certo luogo su un **supporto** posto in un luogo differente

**UN** punto dell'oggetto



**UN UNICO** punto nell'immagine.

# Una prima soluzione: pinhole camera



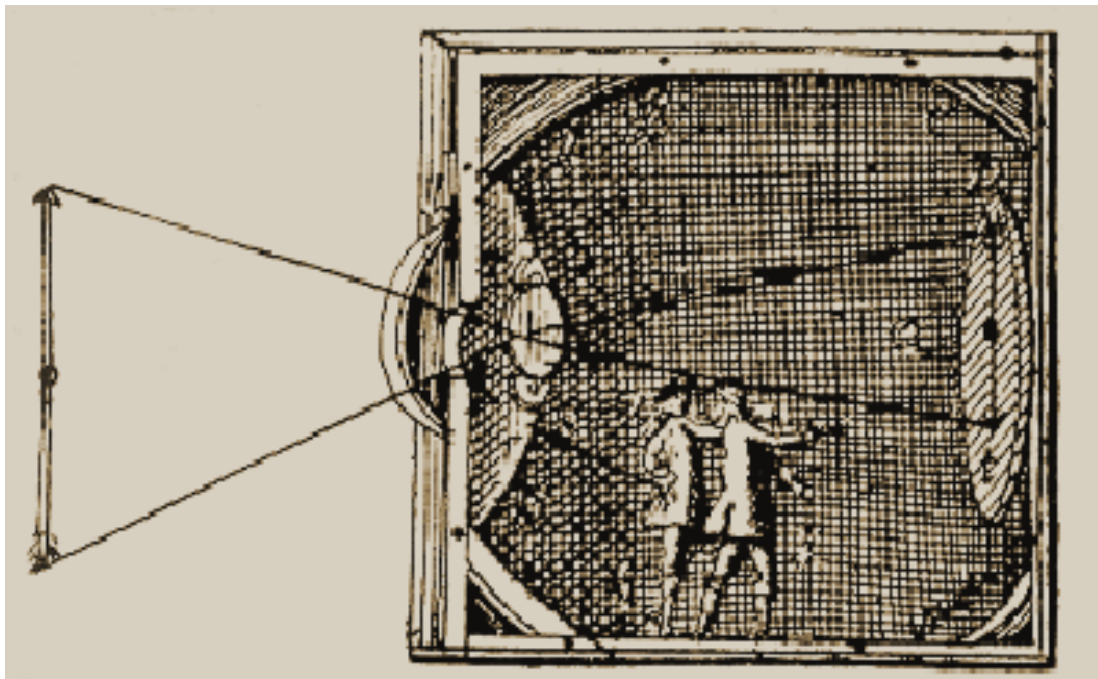
mat board pinhole camera, circa 1972

Si immagini che da **ogni punto** partano raggi in **tutte le direzioni**

Solo quelli che passano dal pinhole formano l'immagine

**Ogni punto dell'oggetto va in un punto del piano immagine!!!**

# Esempi di pinhole camera



“camera obscura”



Occhio del nautilus

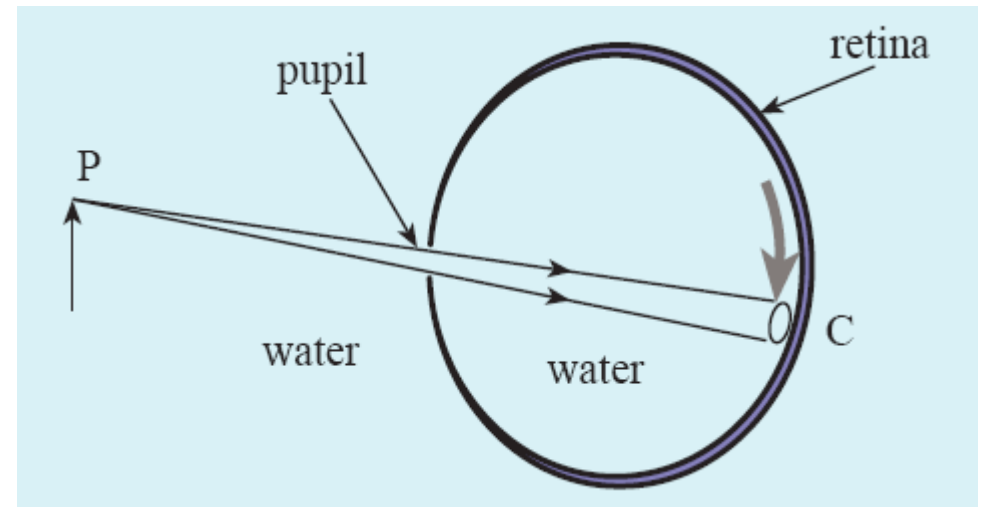


# Vantaggi

**Tutti** i piani dell'oggetto sono riprodotti fedelmente sul piano dell'immagine. Si dice che la **profondità di campo è infinita**



# Svantaggi



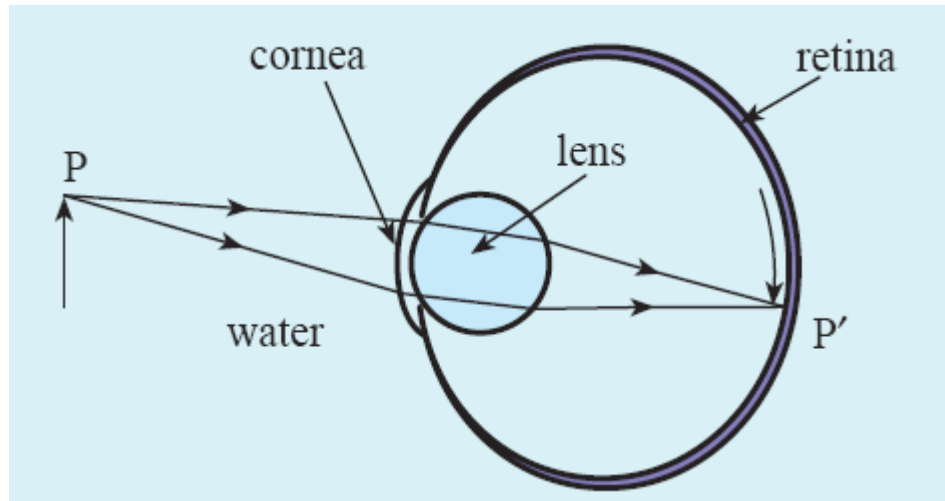
In realtà

**UN PUNTO** dell'immagine =  
**UN CERCHIETTO** sul supporto.

Per avere immagine precisa bisogna che pinhole sia piccolo  
**MA:** pinhole piccolo = poca luce!

**Soluzione:** mettere una **LENTE**.

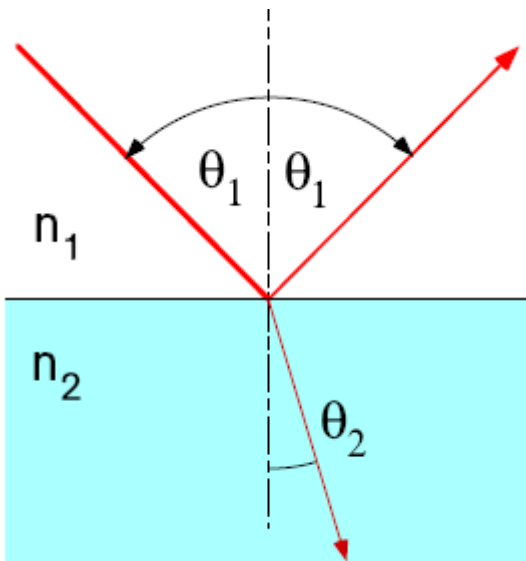
Lente raccoglie **TUTTI** (o molti) i raggi che escono da un punto dell'immagine e li convoglia in **UN PUNTO** del supporto



<http://micro.magnet.fsu.edu/primer/anatomy/anatomy.html>



Problema di tutte le lenti: passaggio della luce fra un mezzo e un altro



**Leggi di Snell:**

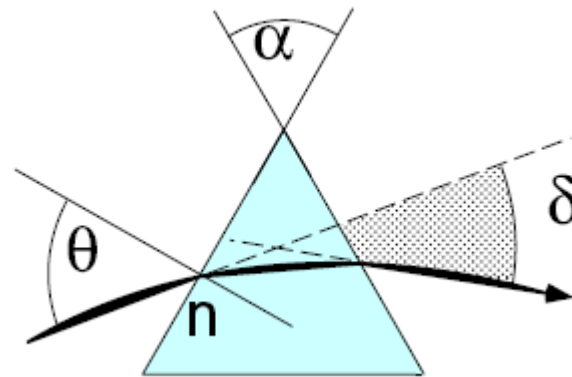
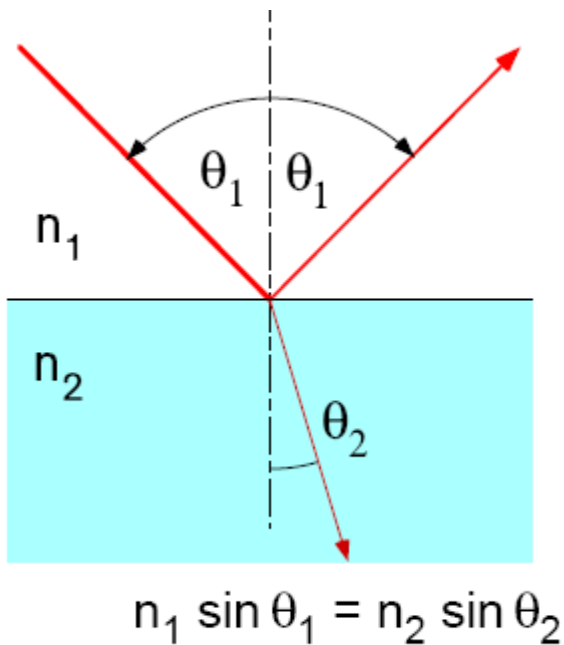
Raggio riflesso

$$\theta_I = \theta_{RIFL}$$

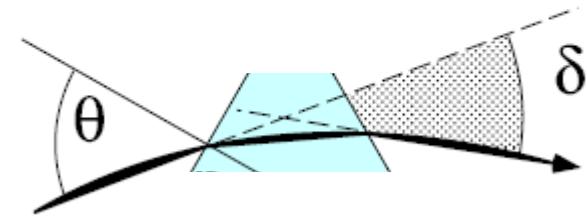
Raggio rifratto

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

Fenomeno della RIFRAZIONE = deviazione della luce al passaggio fra due mezzi con indice di rifrazione diversi

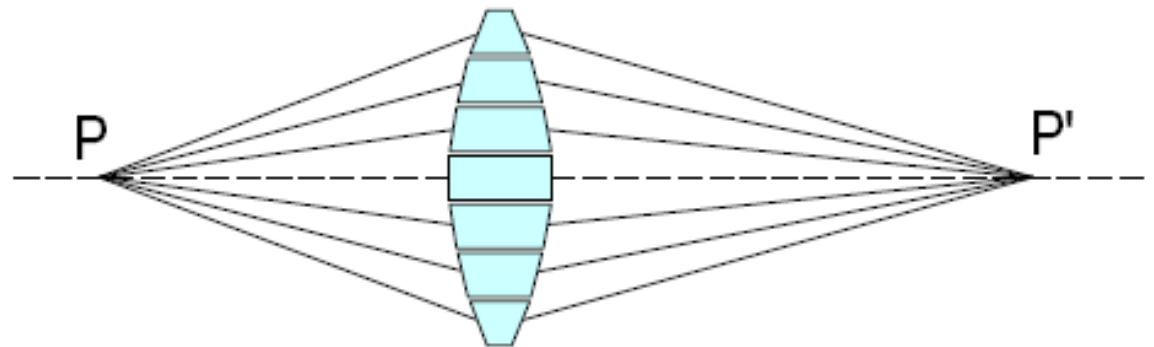


prisma



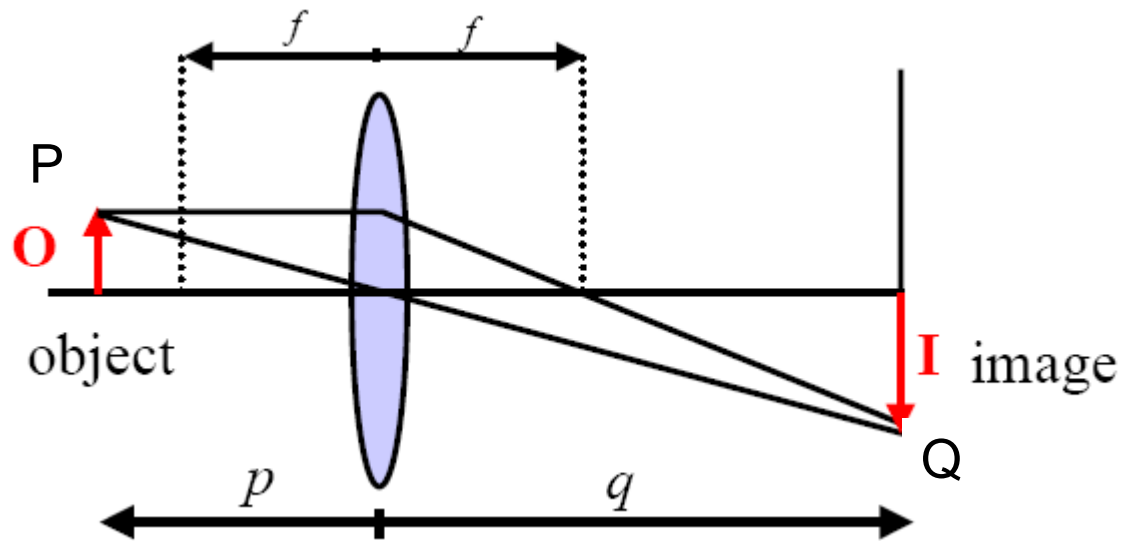
prisma  
"tagliato"

Lente  
=  
collezione di prismi



# Lente

**Lente ideale:** elemento ottico che prende TUTTI i raggi uscenti da un punto  $P$  e li concentra in un punto  $Q$ .



# Qualche regola sulle lenti

1- Equazione del costruttore di lenti  
(lenti sottili in aria)

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = (n - 1) \left[ \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right]$$

2- Fuoco della lente

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

3- Magnificazione

$$M = -\frac{p}{q} = \frac{f}{f - p}$$

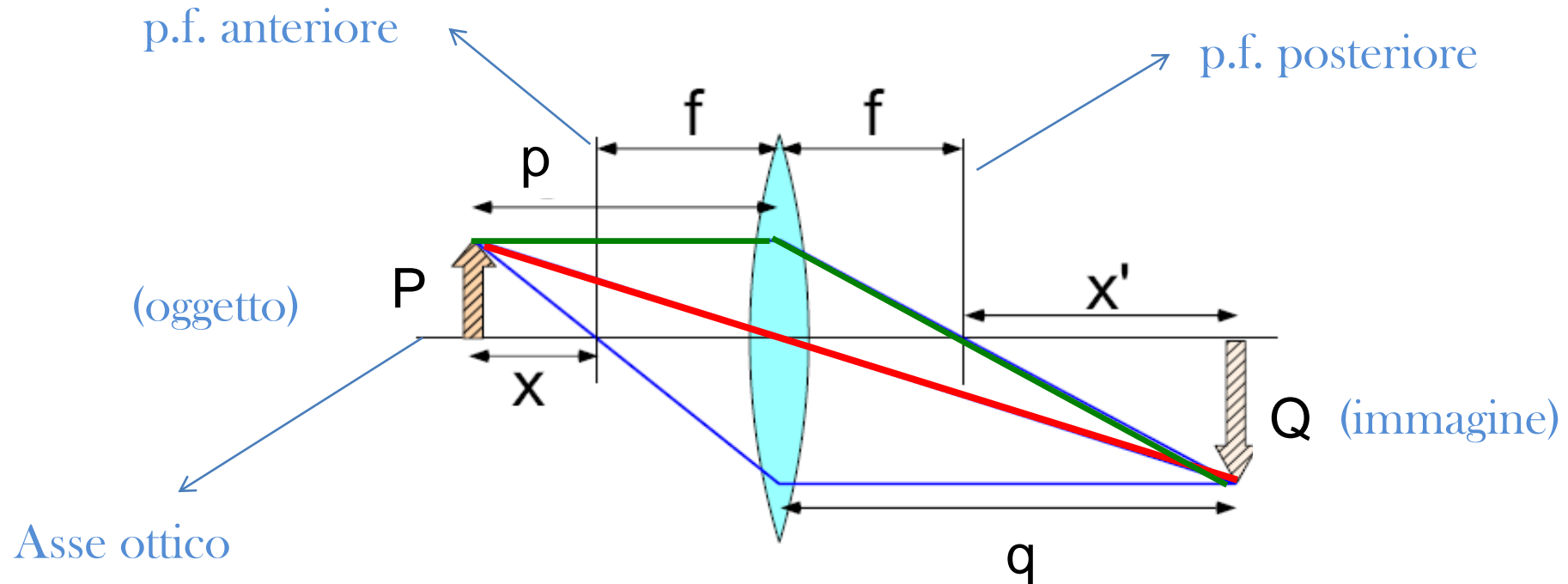
$p$  = distanza oggetto - lente

$q$  = distanza immagine - lente

$R_1, R_2$  = raggi di curvatura

$n$  = indice di rifrazione

# Formo l'immagine: regole del "Ray tracing"



1. un raggio **parallelo all'asse ottico** lo intercetta nel piano focale posteriore
2. un raggio che raggiunge la lente passando per il **piano focale anteriore**, ne fuoriesce parallelo all'asse ottico
3. un raggio che passa per il **centro della lente** non viene deviato



## Casi possibili:

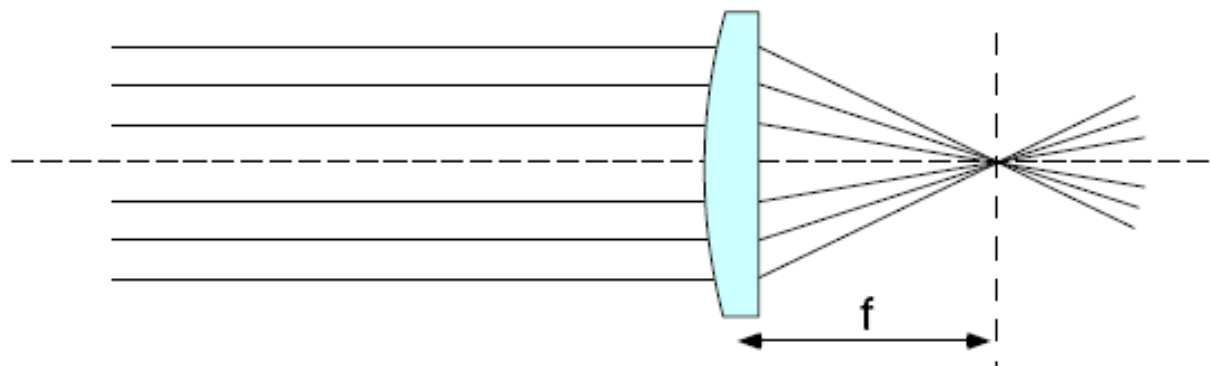
- Oggetto all' "infinito"
- Oggetto a una distanza maggiore della focale
- Oggetto nel piano focale
- Oggetto a una distanza minore della focale
- Lenti con focale negativa

<http://micro.magnet.fsu.edu/primer/anatomy/anatomy.html>

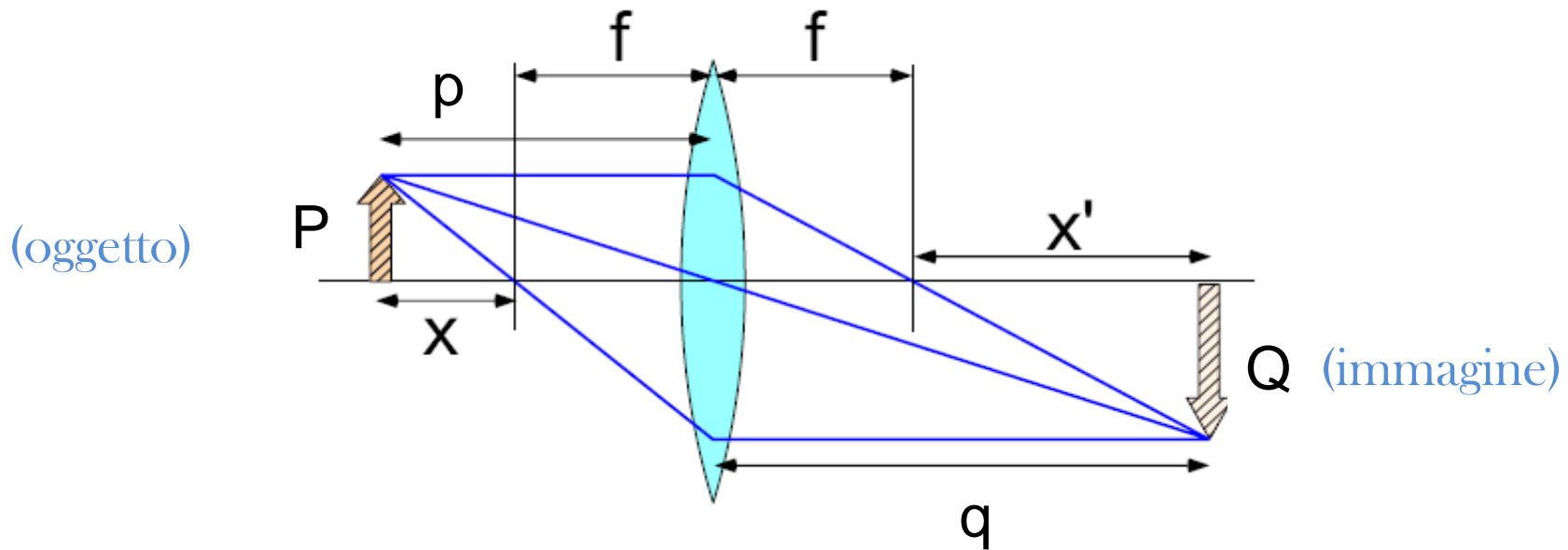
# Infinito e distanza focale

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

Se  $p$  è infinito,  $1/p=0$ , quindi  $q=f$ !  
E' un'altra definizione di distanza focale = distanza a cui viene messo a fuoco un punto all'infinito



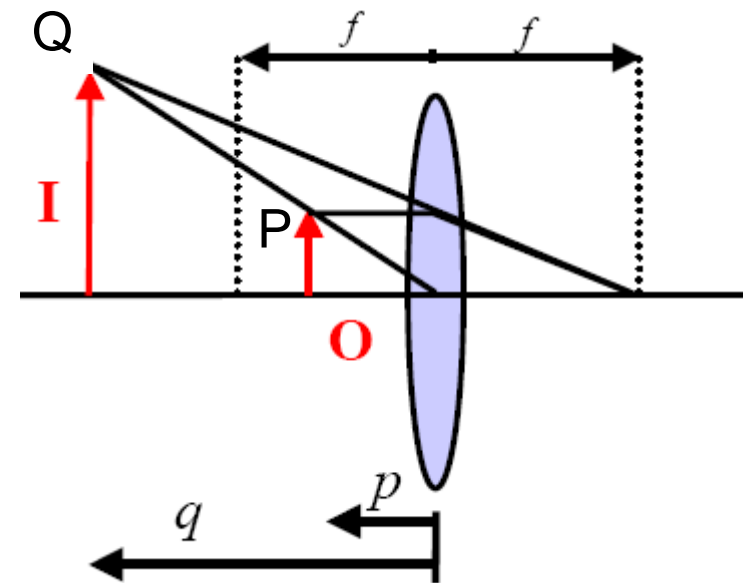
# Oggetto a distanza maggiore della focale, lente convergente



# Oggetto a distanza minore della focale, lente convergente

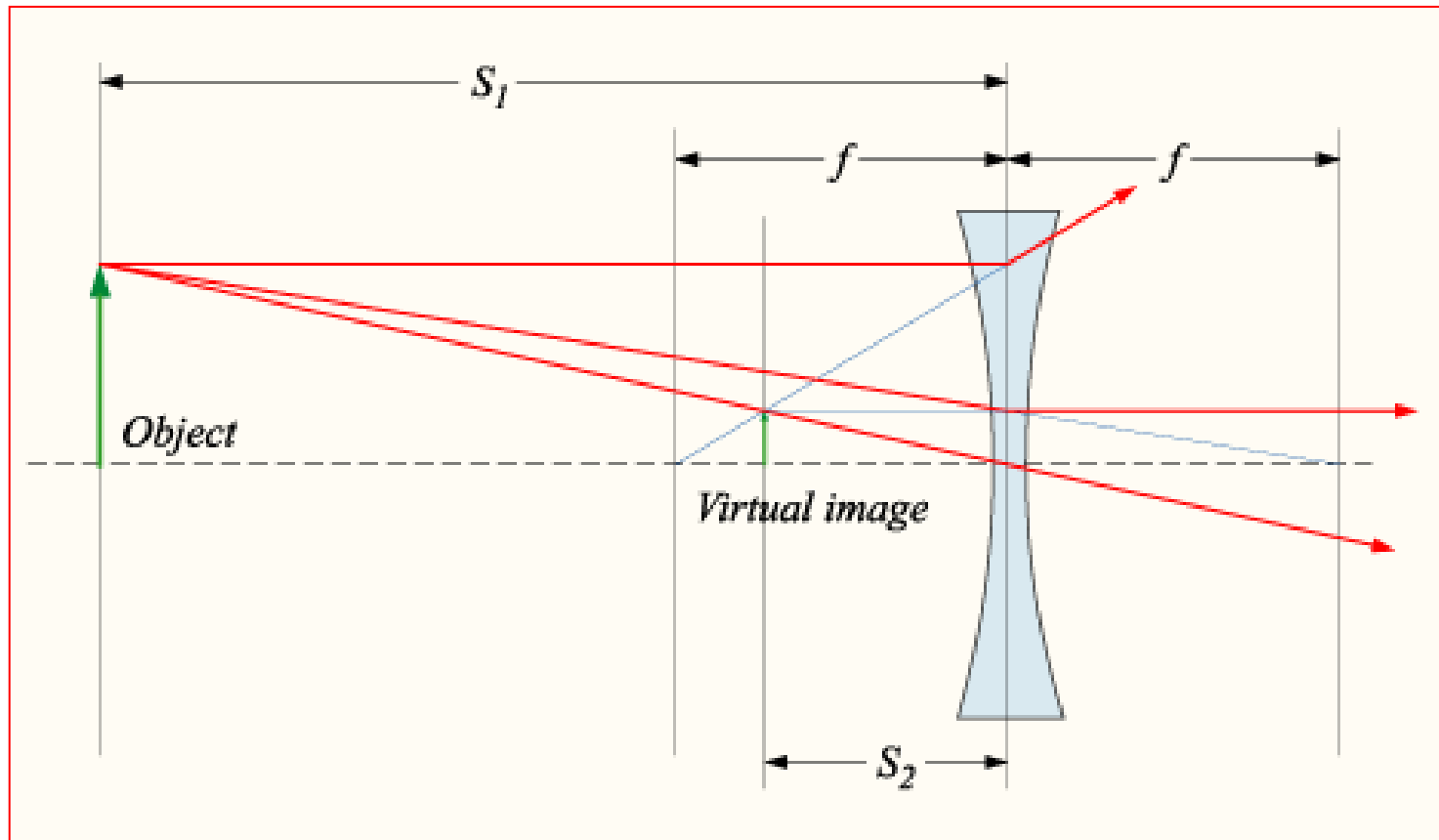
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q}$$

$$p > f \Rightarrow \frac{1}{f} < \frac{1}{p} \quad \longrightarrow \quad q < 0 \quad !!$$



L'immagine sta dalla **stessa parte** dell' oggetto (**immagine virtuale**). Si chiama in questo modo perchè non è un immagine reale che può essere proiettata su uno schermo ma necessita di ulteriori lenti per essere “vista”.

# Lenti divergenti, ovvero con focale negativa

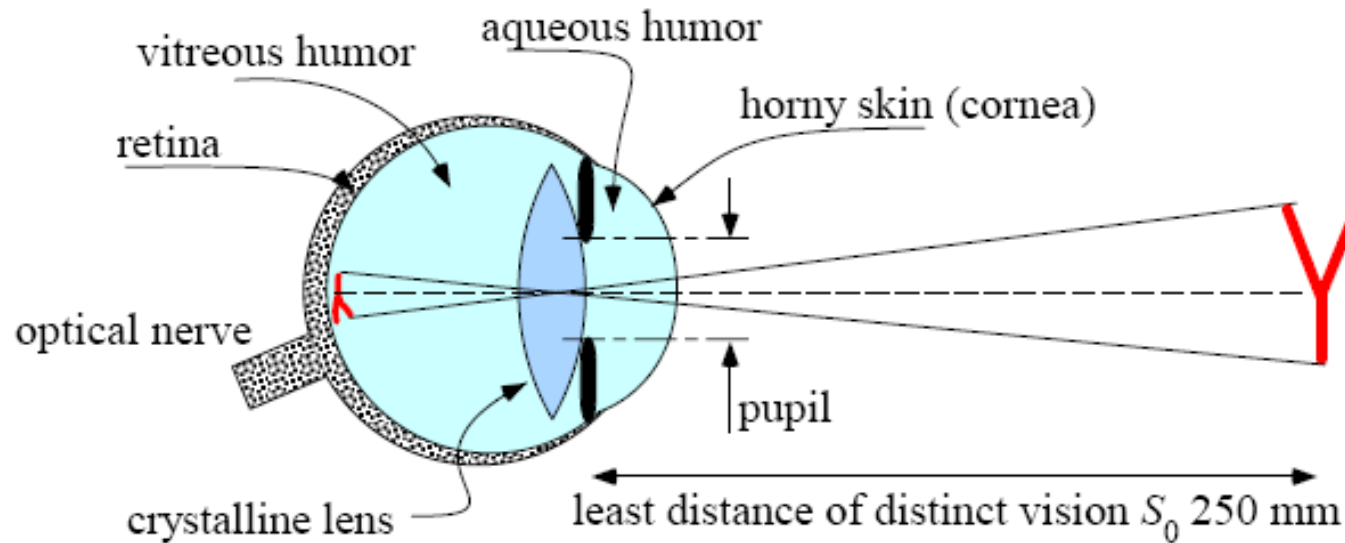




# Uno specchietto sulle lenti

	$ p  >  f $	$ p  <  f $
Lenti convergenti $f > 0$	Imm. <b>REALE</b> INGRANDITA o RIMPICCIOLITA	Imm. <b>VIRTUALE</b> INGRANDITA
Lenti divergenti $f < 0$	Imm. <b>VIRTUALE</b> RIMPICCIOLITA	Imm. <b>VIRTUALE</b> RIMPICCIOLITA

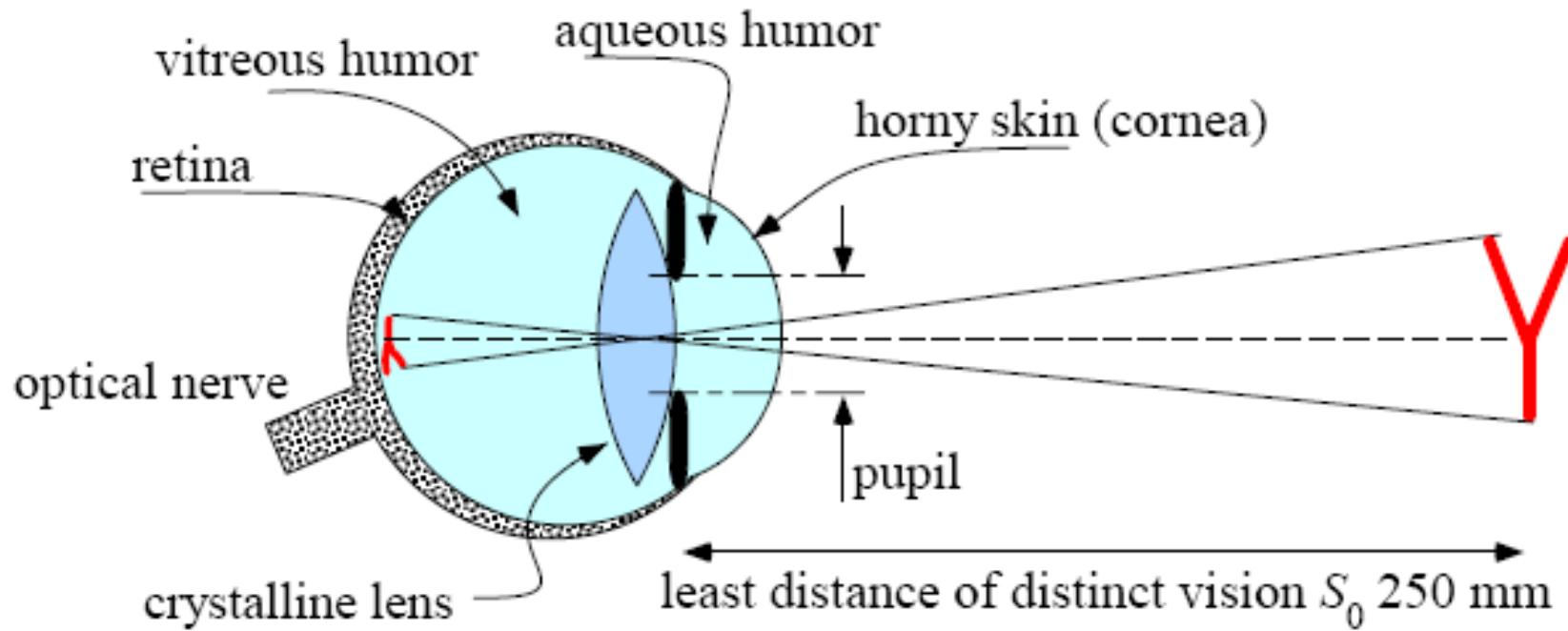
# Una lente un po' speciale: l'occhio



**Tab. 4.1:** *Optical properties of the human eye.*

Vitreous humour, aqueous humour	$n = 1.336 \sim 4/3$
Cornea	$n = 1.368$
Crystal lens	$n = 1.37-1.42$
Focal length, front	$f = 14-17 \text{ mm}$
Focal length, back	$f = 19-23 \text{ mm}$
Clear vision distance	$150 \text{ mm} - \infty, S_0 = 250 \text{ mm}$
Pupil (diameter)	$d = 1-8 \text{ mm}$
Pupil (shutter time)	$\tau = 1 \text{ s}$
Resolving power at 250 mm	$\Delta x = 10 \mu\text{m}$
Sensitivity (retina)	$1.5 \times 10^{-17} \text{ W/vision cell} \sim 30 \text{ photons s}^{-1}$

# Cosa serve a cosa?



Cornea= prima lente dell'occhio

Pupilla = diaframma

Cristallino = lente aggiustabile

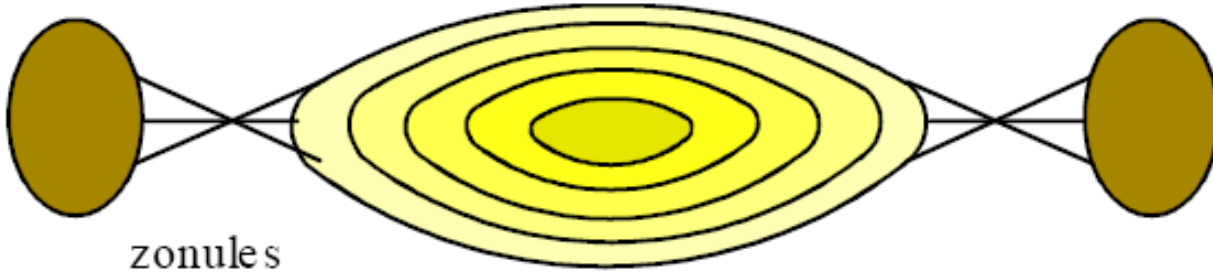
Umor acqueo e umor vitreo= materiali trasparenti

Retina = lastra fotografica, sede di coni e bastoncelli

Nervo ottico = raccoglie segnali di fotorecettori

# Il cristallino: una lente speciale

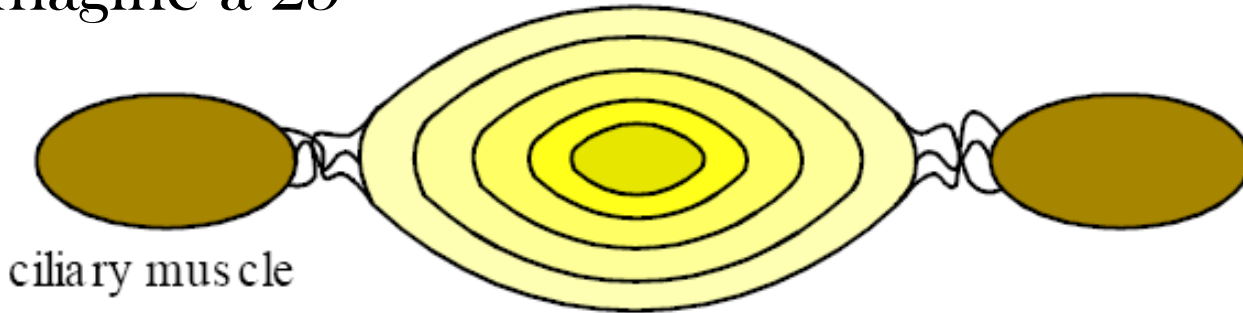
immagine  
all'infinito



**Unaccommodated**

- lens stretched
- muscle relaxed
- zonules tightened

immagine a 25  
cm



**Accommodated**

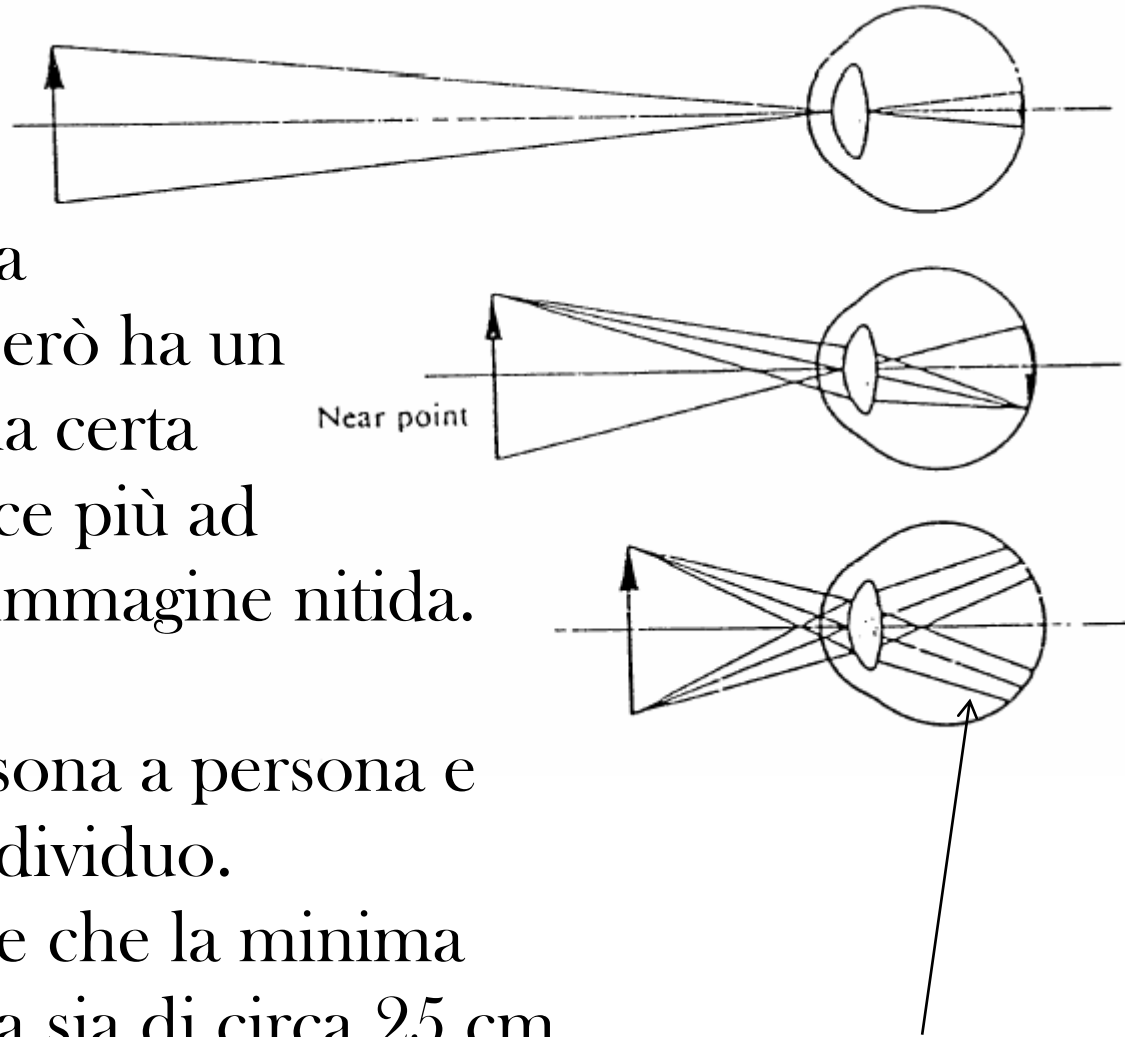
- lens relaxed
- muscle tightened
- zonules loosened

# Distanza della visione distinta

Se l'oggetto viene avvicinato sempre di più all'occhio l'immagine sulla retina diventa sempre più grande. Questo però ha un limite perchè al di sotto di una certa distanza il cristallino non riesce più ad accomodarsi e a formare un'immagine nitida.

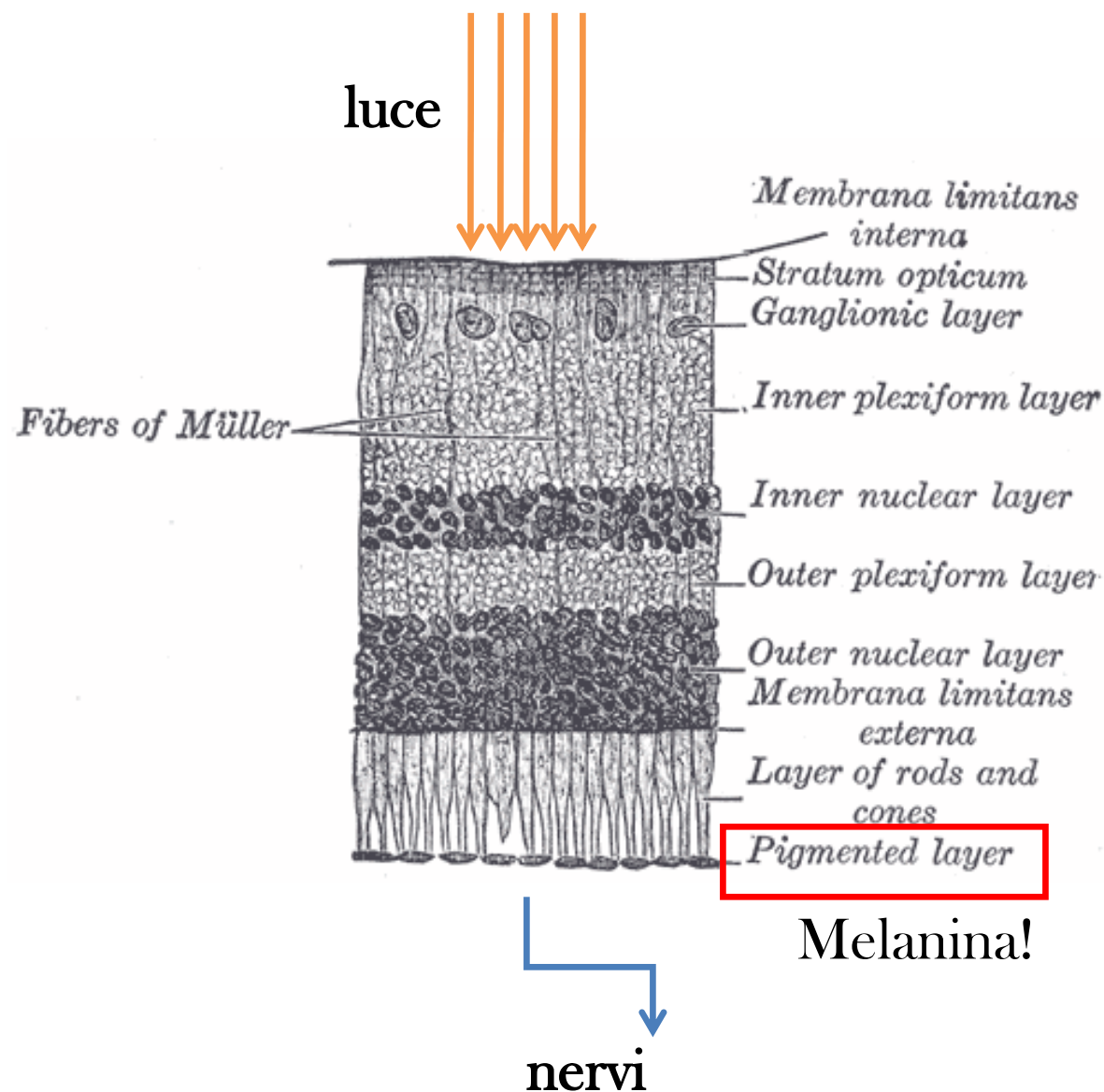
Questo punto cambia da persona a persona e anche durante la vita di un individuo.

Convenzionalmente si assume che la minima distanza per una visione nitida sia di circa 25 cm





# La retina



La luce arriva dalla parte opposta rispetto ai fotorecettori! Le ragioni evolutive di questo sono ancora oggetto di studio. La funzione degli strati di cellule che la luce deve attraversare non è ancora del tutto noto. Sicuramente si sa che alcune di esse contribuiscono ad un pre-processing dell'immagine. Nuova (nuovissima!) ipotesi: alcune cellule sono fibre ottiche!

## Ancora sulla retina

Dietro ai recettori ci sono **CELLULE NERE** (melanina). Proprio come il **TELO** usato in fotografia!

## La retina del polpo

A differenza del suo antenato Nautilus, il polpo ha un occhio simile al nostro. Anzi, forse se la cava ancora meglio: la sua retina infatti è rovesciata rispetto alla nostra. I fotorecettori costituiscono il primo strato che la luce incontra ed il polpo è in grado di vedere le prede anche in condizione di bassissima luminosità (inoltre non ha nessuna zona cieca).

La nostra retina (“invertita”) e quella del polpo in fondo sono un po’ come una **CCD** con illuminazione “front” o “back”.

## PROBLEMI:

per vedere un oggetto devo far sì che sia proiettato a fuoco sulla retina:

1. come faccio se un oggetto è a meno di 25cm?
2. cosa faccio se ho difetti di vista e il punto di messa a fuoco non si trova esattamente sulla retina?
3. come vedo oggetti molto distanti?
4. come vedo oggetti molto piccoli?

In entrambi i casi la risposta è la stessa: utilizzo delle **lenti in combinazione con gli occhi!**

# Combinazioni di lenti

Per combinare fra loro più lenti, vale una regola fondamentale che lega le distanze focali:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f1} + \frac{1}{f2}$$

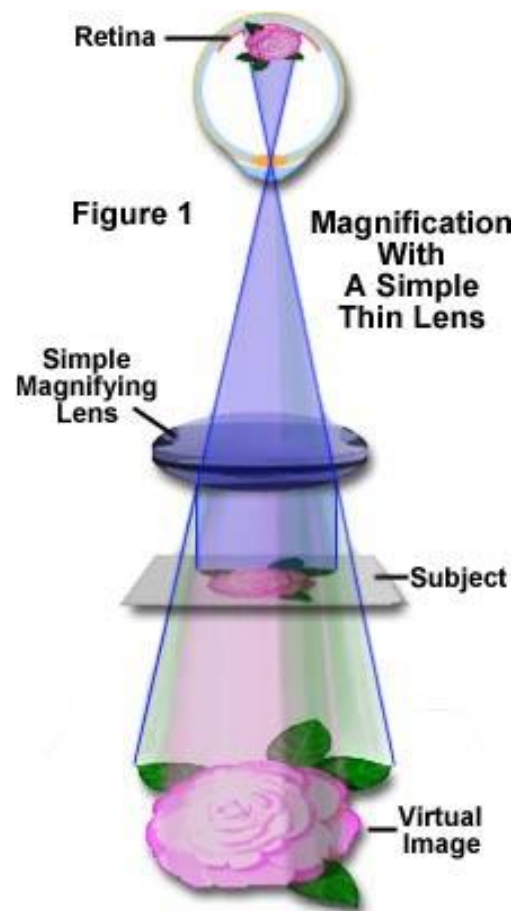
La quantità  $1/f$  è detta “**potere ottico**” e si misura in **diottrie** (unità di misura  $m^{-1}$ ).

Per le **MAGNIFICAZIONI** invece vale:

$$M = M1 \times M2$$

# Lente di ingrandimento=Oculare

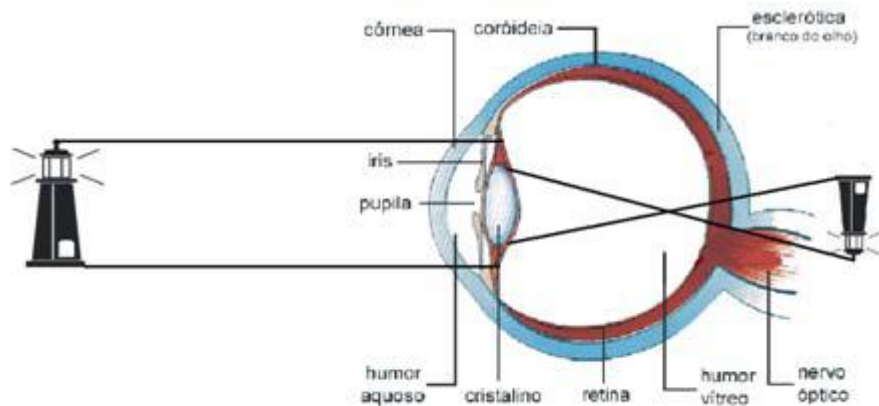
Uso lente d'ingrandimento il cui scopo è creare un'immagine virtuale magnificata



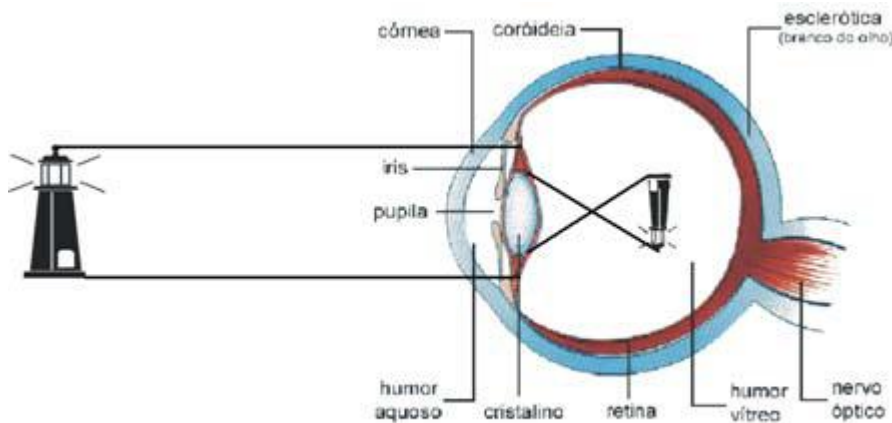
Uso lo stesso trucco anche per oggetti che distano meno di 25cm!



# Difetti della vista e lenti correttive



**Ipermetropia** è il difetto che impedisce di vedere bene le cose vicine. Il piano focale è oltre la retina: per questo serve una **lente convergente** che crea un'immagine **virtuale** più lontana.



**Miopia** è il difetto che impedisce di vedere bene le cose lontane. Per questo serve una **lente divergente** che crea un'immagine **virtuale** più vicina.

# Un esempio numerico

Una persona miope riesce a vedere distintamente oggetti distanti al massimo  $p = 20$  cm. Il miope si dota di occhiali che gli consentono di ripristinare la corretta visione all'infinito. Stabilire il potere ottico della lente correttiva.

# Soluzione

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{Q} = \frac{1}{f_C}$$

Visione da lontano senza occhiali

$$\frac{1}{\text{inf.}} + \frac{1}{Q} = \frac{1}{Q} = \frac{1}{f_C} + \frac{1}{f_L}$$

Visione da lontano (all'infinito) con le lenti

Sapendo che  $p=0,2\text{m}$

Dalle 2 eq. combinate si ha  $f_L = -p$ , quindi ha  $-1/p = -5$  diottrie

# Oggetti molto piccoli: il microscopio

Il microscopio consiste di due lenti convergenti principali:

1. **Obiettivo** forma un'immagine reale ingrandita dell'oggetto
2. **Oculare** forma un'immagine virtuale ancora più ingrandita

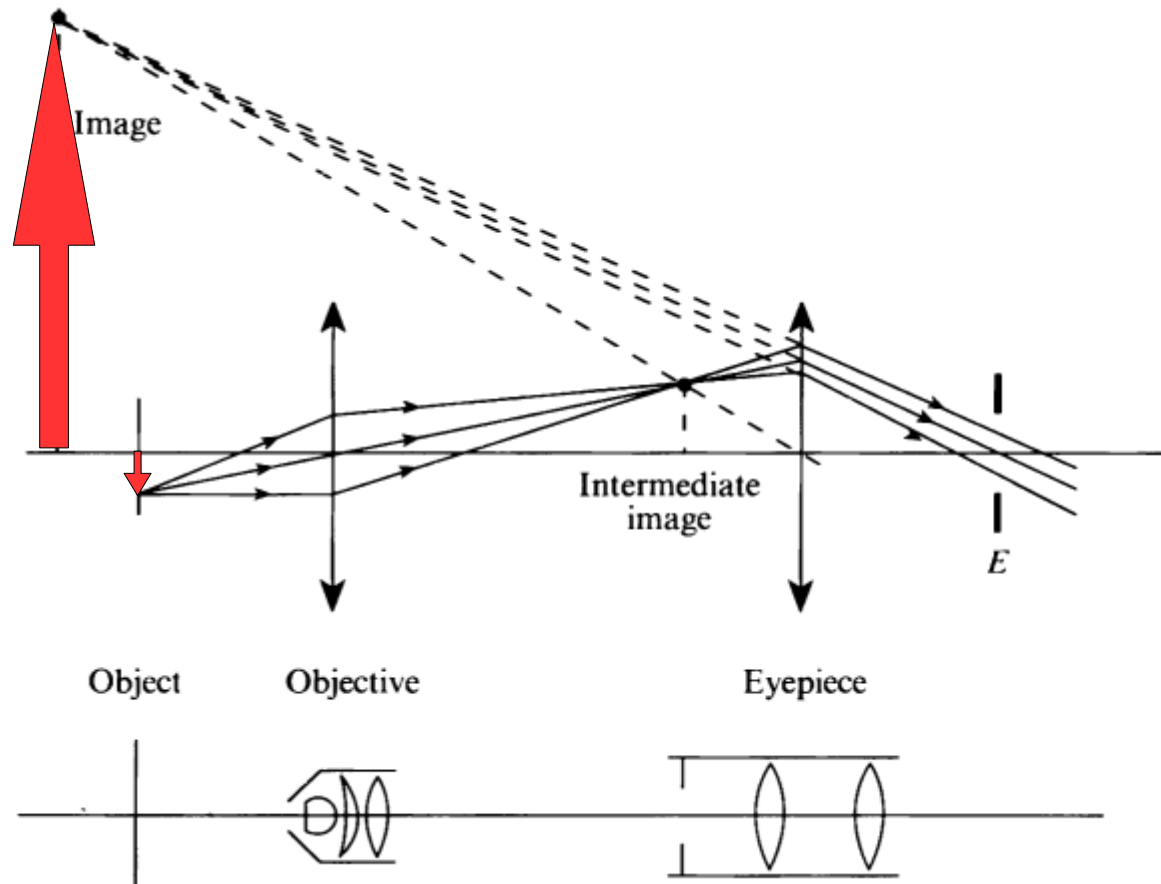
Quello che noi osserviamo grazie alla lente del nostro occhio è l'immagine virtuale ingrandita dall'oculare

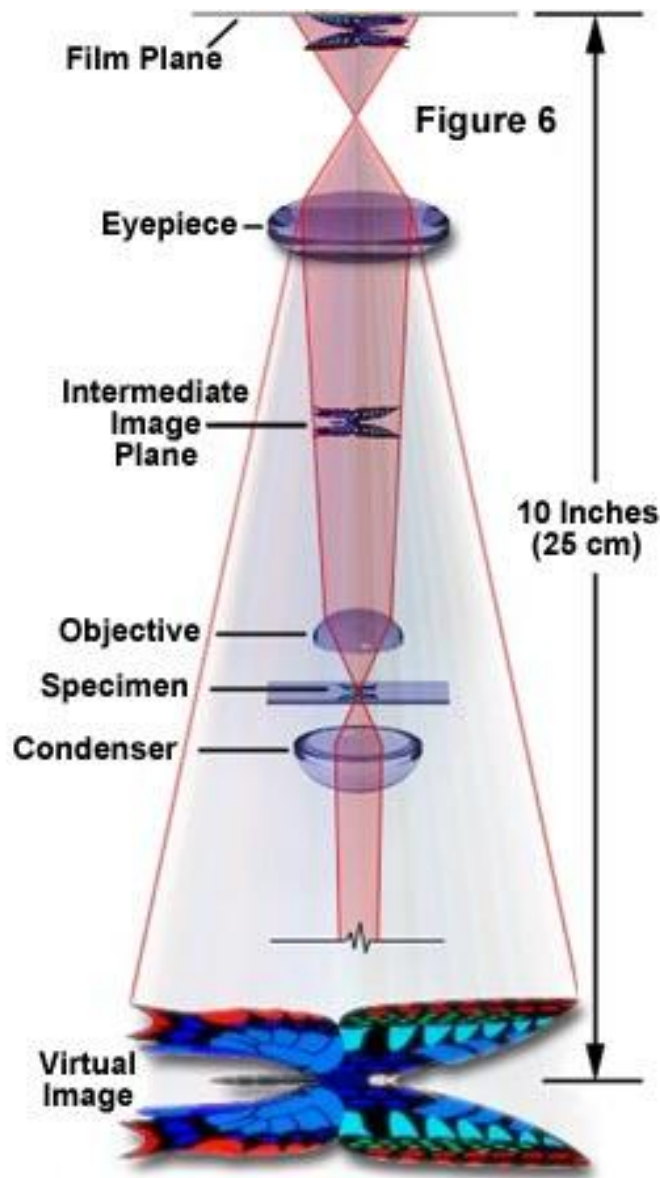


**Nikon Eclipse E600  
with U-III Film  
Camera System  
(circa early 1990s)**

# Schema del microscopio standard

- Un'immagine (reale) dell'oggetto viene formata in un piano intermedio tra obiettivo e oculare (l'oggetto non è nel piano focale dell'obiettivo!!!)
- Un'immagine virtuale dell'immagine reale viene prodotta dall'oculare e visualizzata dall'occhio





L'ingrandimento complessivo è il prodotto degli ingrandimenti di obiettivo e oculare

$$M = M_{ob} \times M_{oc}$$

Valori tipici:

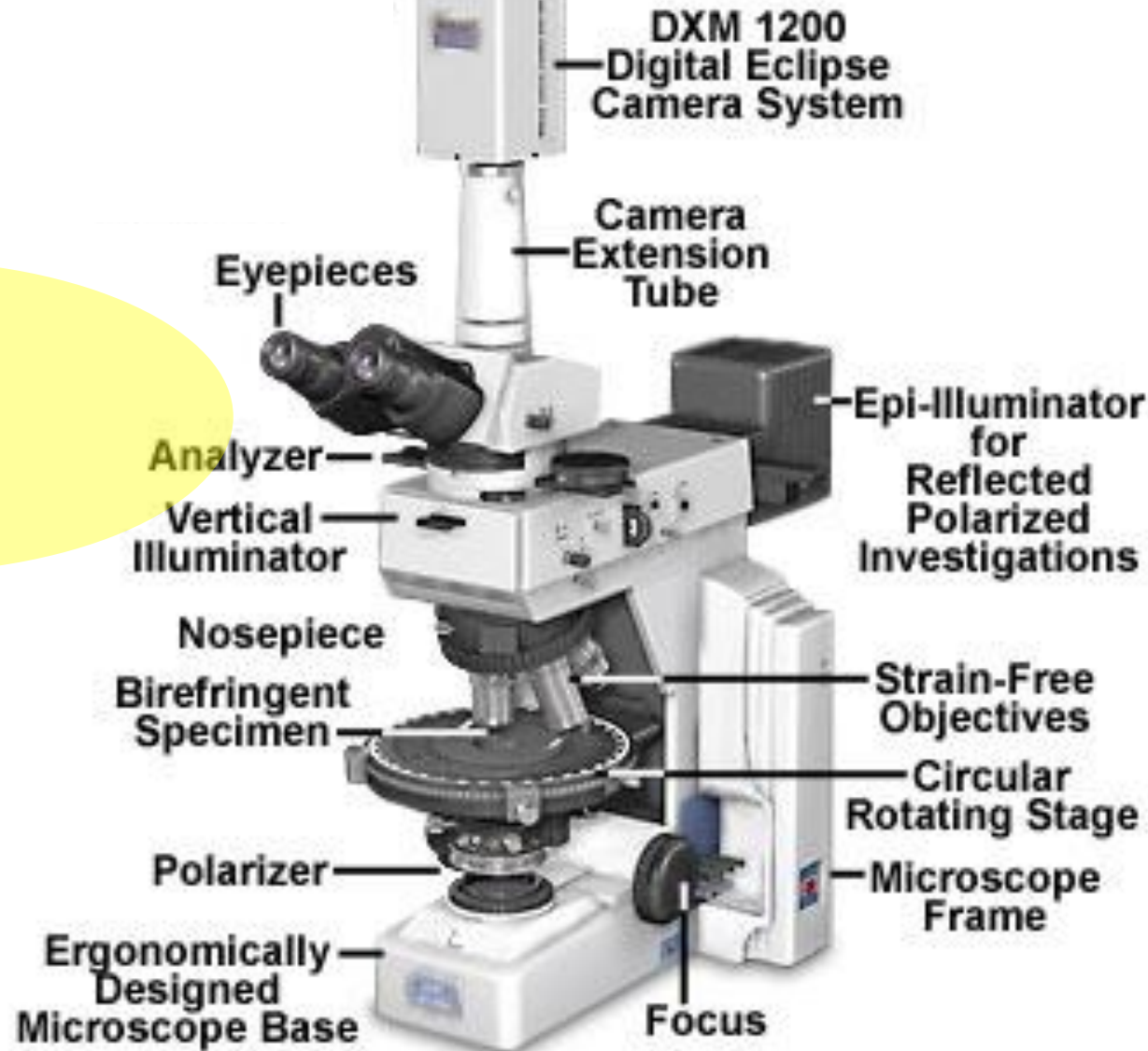
- Oculare: 10x-20x
- Obiettivo: 4x-100x

Obiettivo ha focali molto corte!



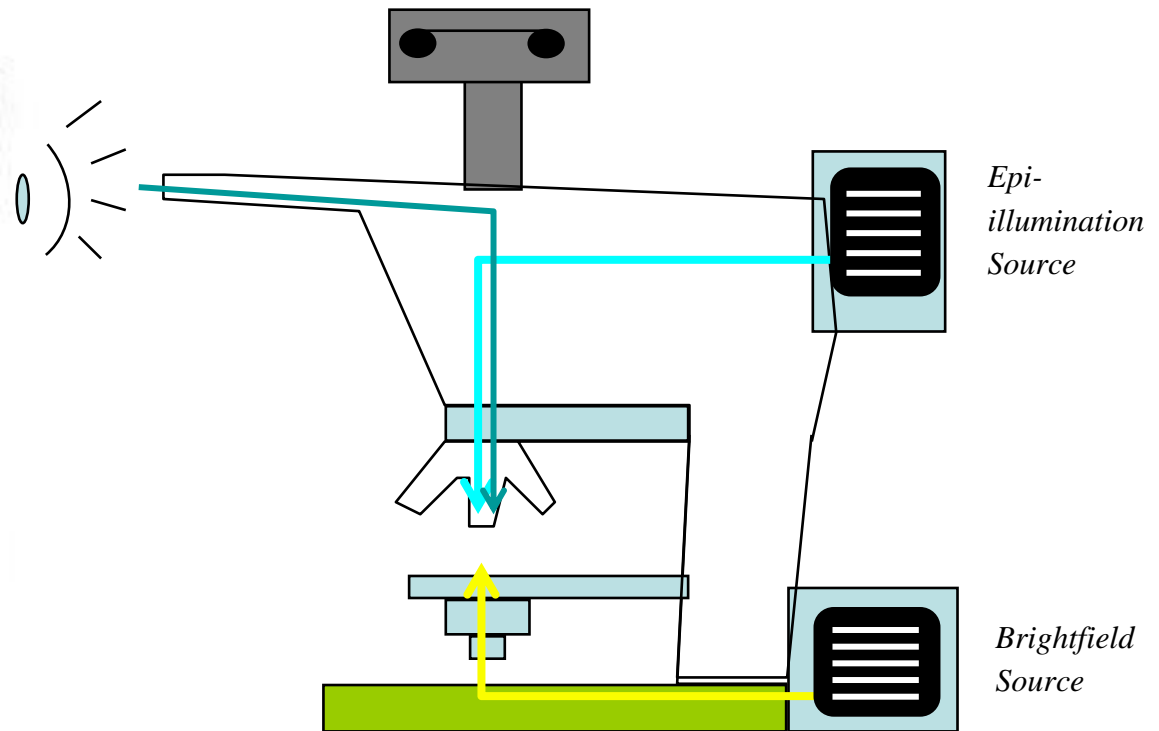
OSSERVAZIONE

ILLUMINAZIONE



# Microscopio diritto

**Nikon Eclipse E600  
with U-III Film  
Camera System  
(circa early 1990s)**



# Microscopio invertito

