

08-11-2022

L'OCCHIO

L'occhio è formato da 2 componenti fondamentali:

- **retina**, che funge da piano di sensori;
- **cristallino**, che funge da lente.
- La retina è formata da determinate cellule che **rispondono quando vengono colpite da luce**.
 - Se sulle cellule arriva luce, *fanno qualcosa*.
 - Se non arriva luce, non reagiscono (*come i CCD, sensori delle fotocamere*).

Le **cellule** non sono tutte uguali e **si dividono** in:

1. **CONI**, rispondono diversamente alle **lunghezze d'onda**:

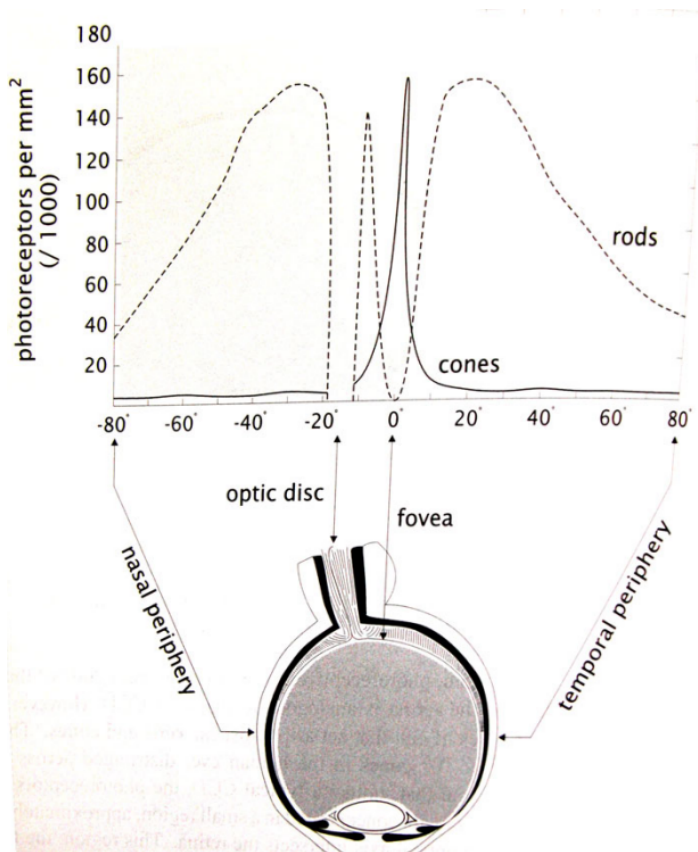
- Sono **fortemente sensibili** al colore
- Ogni cono è collegato ad un nervo ottico.
- Sono responsabili della **vista FOTOTICA** o *policroma*
- Ci sono 3 tipi di coni in base al range di lunghezza d'onda al quale rispondono, quindi **coni per rosso, verde e blu**
- I coni sono circa **6/7 milioni** e sono concentrati in una zona centrale della retina, la **FOVEA**

2. **BASTONCELLI**, rispondono a tutto quello che gli arriva, responsabili della vista scotopica. (**o monocromatica**)

- Sono **poco sensibili** al colore
- Sono collegati a gruppi ad un nervo ottico.
- Sono responsabili della **vista SCOTOPICA** o *monocroma*.
- Sono circa **75/150 milioni** e sono distribuiti su tutta la retina

Se i coni non funzionassero più, la vista sarebbe in scala di grigi.

Disposizione dei sensori sulla retina

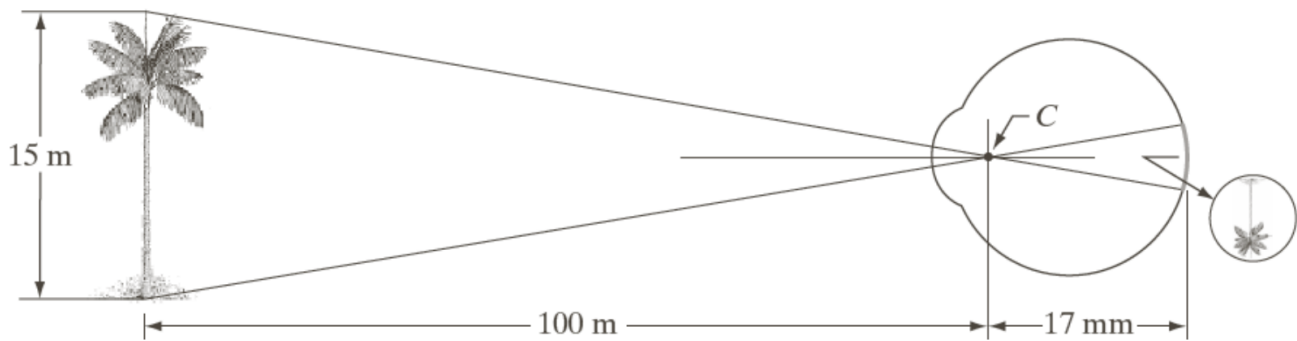


Commenti:

- La fovea è una regione di 1,5 mm x 1,5 mm con 150.000 coni per mm^2
- Ed ha una popolazione di coni di circa 150.000 elementi per mm^2
- Il numero di coni nella fovea è di circa 337.500 elementi;
- Un CCD può contenere lo stesso numero di recettori in non meno di 5 mm x 5 mm!!

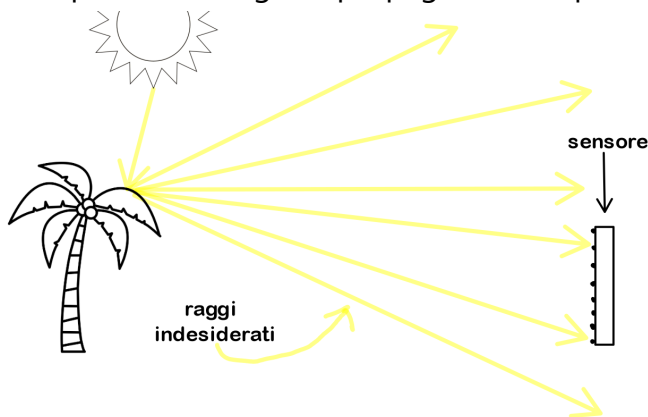
Quindi l'occhio ha una risoluzione maggiore rispetto alla fotocamera perchè in meno spazio ci sono più coni.

Formazione dell'immagine

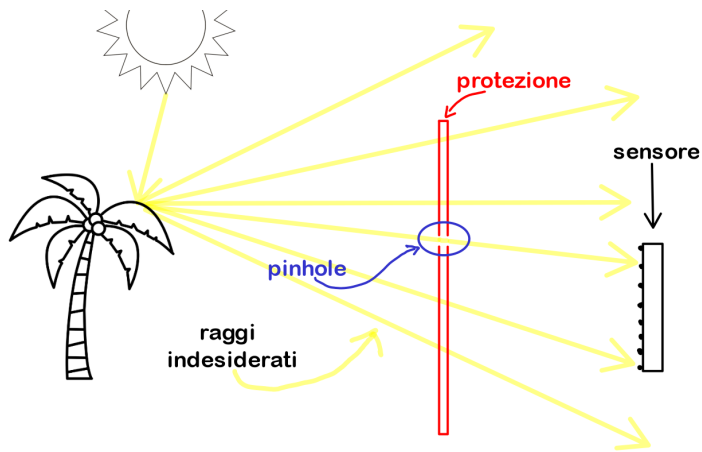


La **luce** entra attraverso la pupilla nera (*che non riflette luce*) e capovolge l'immagine visualizzata per tutti i punti dell'oggetto.

- Dato un oggetto posizionato all'esterno, come nella figura sopra, esso viene colpito dal sole. Alcuni raggi di sole vengono assorbiti dall'oggetto stesso e molti altri vengono riflessi in tutte le direzioni.
 - L'intenzione è quella di catturare la foto di un oggetto, quindi catturare solo alcuni dei suoi raggi di luce riflessi.
 - Il sensore che capta la luce deve ricevere solo i segnali che interessano a lui e non tutti quelli che vengono propagati nello spazio.



- Una prima soluzione potrebbe essere quella di posizionare semplicemente il sensore di fronte all'oggetto e acquisire le varie lunghezze d'onda. Ma in questo caso si acquisirebbero anche quelle indesiderate
- Per captare solo la luce che ci interessa bisogna **proteggere il sensore** e immaginando di far passare molta meno luce e fare in modo che il sensore non venga colpito da luce che non ci interessa.
- Dobbiamo ridurre a un **unico punto** la luce che arriva al sensore e ottenere un punto solo, quindi non una regione contenente più punti.

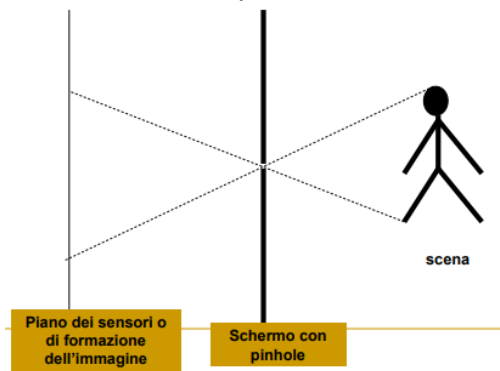


- Questo modello viene detto **PINHOLE**. Il foro del box che protegge il sensore è molto piccolo.

Il concetto di pinhole è come quello rappresentato in figura.



L'idea è quella di una **scatola nera** dove, nella parete **in fondo** metto un **supporto che reagisce alla luce** (sensore, pellicola ecc) e dall'altro lato creo un foro piccolissimo. E' un modello teorico perchè effettivamente dovrebbe funzionare così:



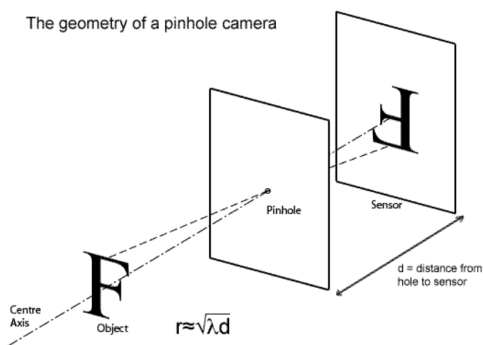
Scatto con pinhole

Lo scatto avviene:

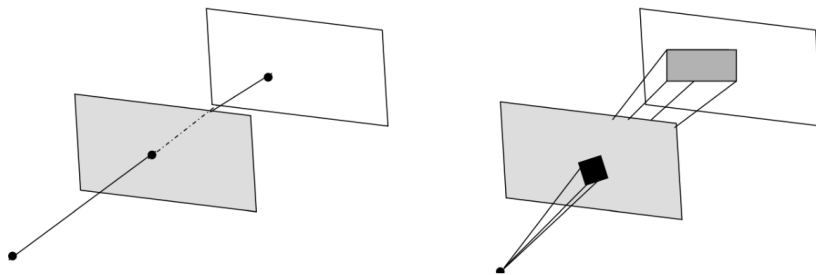
1. il pinhole viene aperto;
2. viene lasciato aperto per un po';
3. avviene lo scatto, quindi viene catturata la luce che passa tramite esso;

Il pinhole può avere diverse **dimensioni**, quali:

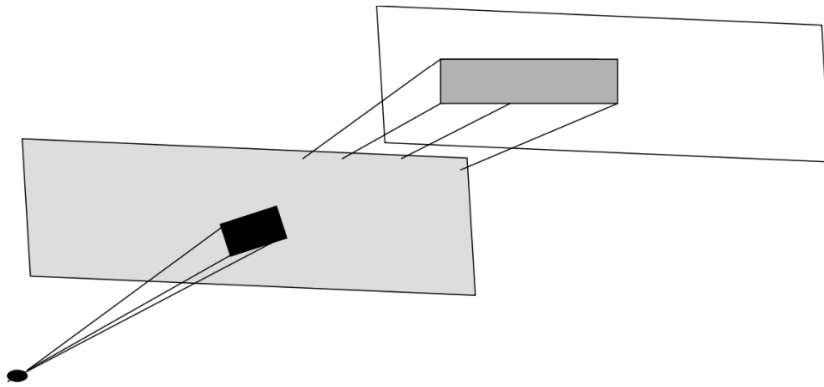
- pinhole **puntiforme infinitesimo** -> non fa passare un numero sufficiente di fotoni per "attivare" i sensori
- pinhole **troppo grande** -> crea **rifrazione**
- pinhole **troppo piccolo** -> crea **diffrazione**
- pinhole **ideale** dovrebbe avere raggio $r \approx \sqrt{\lambda d}$ con λ lunghezza d'onda



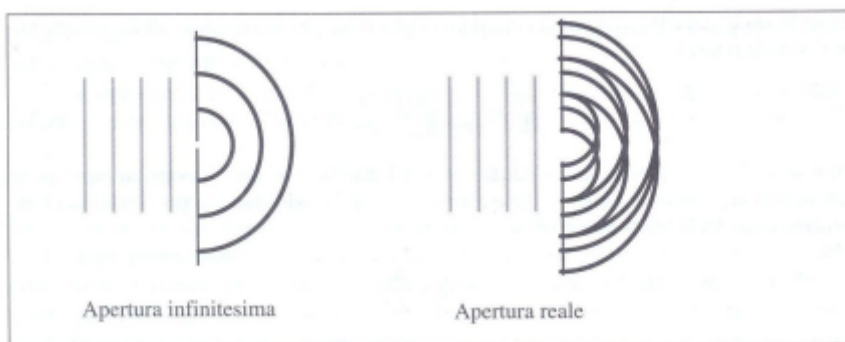
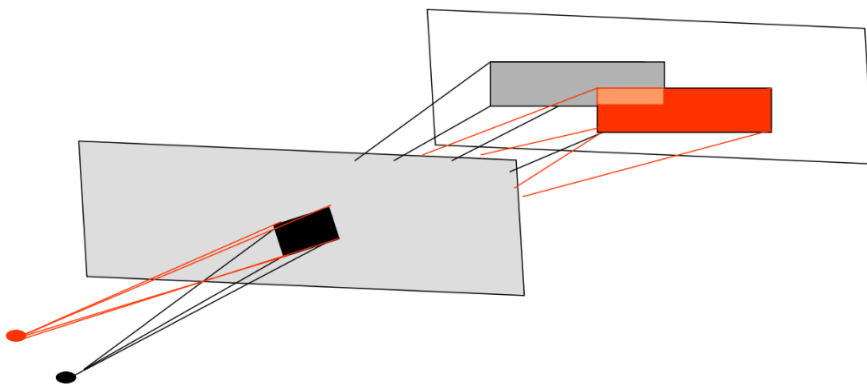
Problematiche pinhole



Un pinhole reale "spalma" la luce proveniente da un punto infinitesimo (detto **impulso**) su un'area finita:



L'effetto di più sorgenti puntiformi vicine si "sovrappone":



Esposte queste problematiche, quindi, serve qualcosa affinché un raggio che entra nel pinhole, o in altri sistemi, deve finire **solo in un unico punto**. Questo avviene mediante l'utilizzo di **LENTI**

LENTI

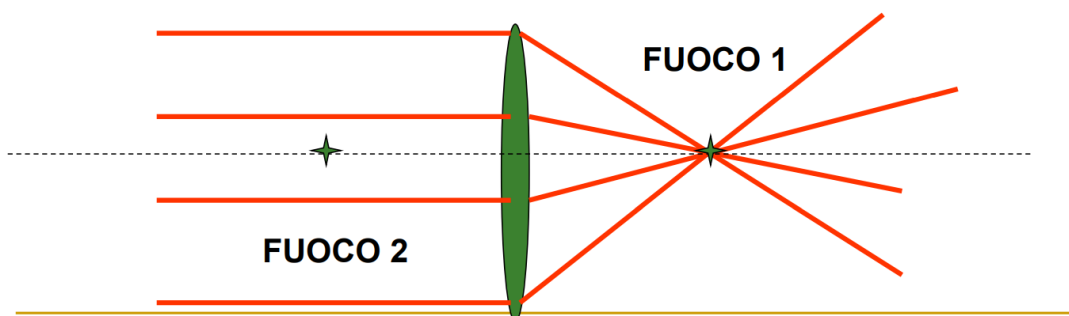
- Nell'occhio è il cristallino a fungere da lente.
- Nelle fotocamere, invece, lente si ha la lente effettivamente.

La lente è oggetto ottico che **devia i raggi secondo certe regole**. Le regole dipendono dalla lente che si usa. Essa ha proprietà simili al pinhole.

Lente sottile

Una lente sottile è definita da una **proprietà geometrica importante** che si può enunciare come due **parti "speculari"** l'una all'altra:

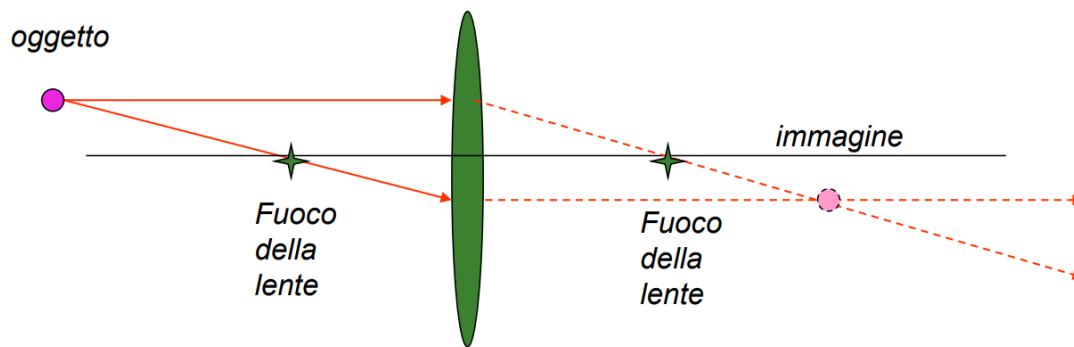
1. raggi paralleli all'asse della lente sottile vengono **concentrati in un unico punto detto FUOCO**, posto a **distanza F** dalla lente; i due fuochi sono dei punti immaginari e hanno la stessa distanza dalla lente
2. raggi che si dipartono dal **FUOCO** vengono **ri-trasmessi tutti paralleli** nella direzione dell'asse della lente.
3. una lente sottile ha **due fuochi equidistanti** da essa



- La lente sottile ha un **asse ottico** perpendicolare ad essa (*linea tratteggiata*) e passa attraverso il centro della lente.
- Lo **spessore della lente** è molto inferiore rispetto al **diametro** e per questo si chiama sottile

Funzionamento lente sottile

- Se un raggio entra **perpendicolarmente** nella lente, esso viene **deviato** affinché esso **passi per il punto immaginario FUOCO 1**.
 - Un altro raggio verrebbe deviato con *angolo diverso* rispetto a prima. Se un raggio passa per l'asse ottico, non viene deviato.
- Se un raggio entra nella lente in modo **NON perpendicolare**, quindi con un certo angolo, e passa per il fuoco, viene deviato in modo da uscirne perpendicolare



La luce che riflette un oggetto, quindi, arriva sul sensore in uno **stesso punto**.

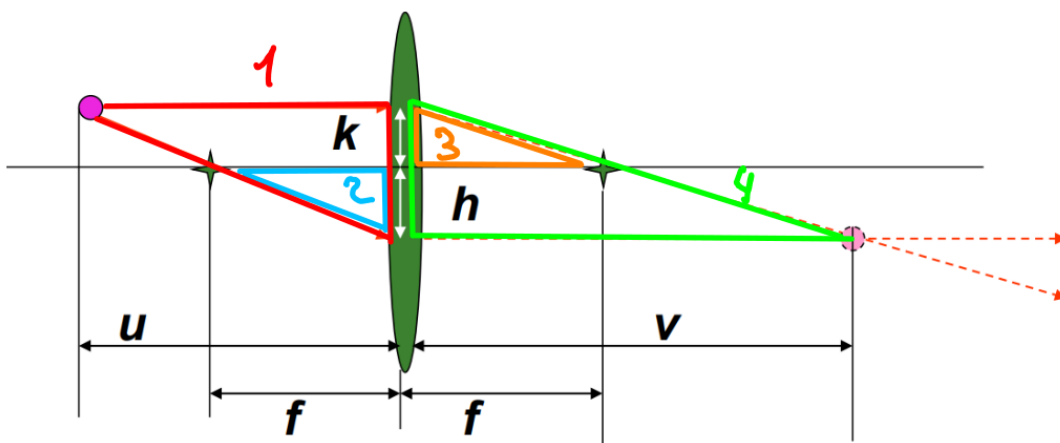
Le **MESSA A FUOCO** è la **posizione del sensore** (più vicino o più lontano dal fuoco) in modo tale che tutti i raggi di un oggetto vengono proiettati su uno stesso punto.

Analisi geometrica della lente sottile

Si possono definire 3 distanze:

- Distanza *lente* -> *oggetto* = u
- Distanza *Lente* -> *sensore* = v
- Distanza *centro lente* -> *uno dei due fuochi* = f -> **distanza focale**

Qual è la relazione fra le 3 distanze?



Si definiscono inoltre:

- k = Distanza asse ottico- punto dove **entra** la luce nella lente in modo perpendicolare
- h = Distanza asse ottico - punto da dove la luce **esce** perpendicolarmente dalla lente
- Vedendo l'immagine si nota che i 2 triangoli (**1** e **2** sono simili (hanno gli stessi angoli)
 - quindi si possono mettere a proporzione: $u : (h + k) = f : h$
 - quindi, dalla proporzione $(h + k) = \frac{uh}{f}$

- Vedendo l'immagine si nota che i 2 triangoli (3 e 4 sono simili (hanno gli stessi angoli)
 - quindi si possono mettere a proporzione: $v : (h + k) = f : k$
 - quindi, dalla proporzione $(h + k) = \frac{vk}{f}$
- Posso uguagliare $(h + k) = (h + k)$ ottenute prima
 - $\frac{uh}{f} = \frac{vk}{f}$
 - semplifico la f
 - $\frac{h}{v} = \frac{k}{uh+k} = \frac{uh}{f} = \frac{h+k}{u} = \frac{h}{f} \rightarrow \frac{h}{u} + \frac{k}{u} = \frac{h}{f}$ **MA** $\frac{k}{u} = \frac{h}{v}$
 - quindi posso scrivere: $\frac{h}{u} + \frac{h}{v} = \frac{h}{f}$
 - divido tutto per h e ottengo: $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$
 - Quindi ho ottenuto **EQUAZIONE DELLALENTE SOTTILE** e descrive il comportamento della lente

Esempio di domande d'esame sull'equazione della lente sottile

Se f si misura in metri la quantità $\frac{1}{metro}$ si definisce pari ad una diottria.

Formalmente...

1. In una lente "fissa" la quantità f è costante. Se la distanza dell'oggetto dalla lente, cioè u , cresce, per la relazione di cui sopra v non può che diminuire: ecco perché la messa a fuoco richiede che il piano dei sensori possa essere avvicinato o allontanato dalla lente
2. Se il piano dei sensori non può essere mosso (**caso della retina umana!**) l'unica cosa da fare è aggiustare la lunghezza focale (ciò fanno i muscoli che mantengono in tensione il cristallino). La variabilità della lunghezza focale della lente si misura anche essa in diottrie.
3. Se due oggetti sono a distanza u_1 e u_2 e entrambe queste quantità sono molto maggiori di f essi formano le loro immagini approssimativamente su un unico piano (i due valori corrispondenti v_1 e v_2 sono vicinissimi). Se u_1 e u_2 sono però differenti e comparabili (meno di 30 volte la distanza della lente) allora essi non possono essere focalizzati contemporaneamente: si manifesta il fenomeno della "profondità di campo" che risulta più accentuato se f è grande.

Informalmente...

1. L'unità di misura dell'equazione della lente sottile? m^{-1} sarà diottria. $\frac{1}{f}$ è il numero di diottrie della lente.
2. La lente è statica. La lunghezza focale è fissa. Cosa cambia affinché tutto possa funzionare?
 1. Posso modificare la **distanza del sensore** per far funzionare l'equazione quindi **varia spesso** la v . Nell'occhio v non può cambiare perchè la *retina* è **fissa**, quindi deve cambiare f .

2. Il **cristallino** funziona da lente e visto che è organico può **stirarsi** e **comprimersi**, cioè è **elastico**, per far **variare la lunghezza focale**, quindi cambia la f quindi le diottrie.
3. Se due oggetti a distanza u_1 e u_2 con distanza molto più grande di f , cioè oggetti molto lontani, allora gli oggetti formano la loro immagine più o meno nello stesso punto. (v_1 e v_2 sono vicinissimi).
 1. Se u_1 e u_2 sono però differenti e comparabili (meno di 30 volte la distanza della lente) allora essi **non possono essere focalizzati contemporaneamente**: si manifesta il fenomeno della "**profondità di campo**" che risulta più accentuato se f è grande.

MAGNIFICAZIONE m

L'oggetto effettivamente visto è capovolto e ha delle dimensioni ridotte.

| in certe condizioni si può trovare anche più grande)

Il sistema umano di quanto altera le dimensioni reali? Esso lo fa con un **fattore di proporzionalità di magnificazione** m .

- Solitamente va a diminuire le dimensioni.
- m è **proporzionale** al rapporto che c'è tra $\frac{v}{u} = \frac{h}{k} = m$
se v **decrese** o u **cresce** allora m **cresce** (quindi **sono inversamente proporzionali**)
- E' più utile controllare f perchè v e u sono **incontrollabili**.

1. Quindi moltiplico l'equazione della lente sottile per v

$$\frac{v}{u} + \frac{v}{v} = \frac{v}{f} \longrightarrow \frac{v}{u} + 1 = \frac{v}{f}$$

2. Passando agli inversi ottengo:

$$\frac{f}{v} = \frac{u}{v} + 1$$

3. dalla relazione di m ottengo:

$$\frac{v}{u} = \frac{h}{k} = m$$

$$\hookrightarrow \frac{1}{m} = \frac{u}{v}$$

4. sostituisco e ottengo:

$$\frac{f}{v} = \frac{u}{v} + 1 \rightarrow \frac{f}{v} = \frac{1}{\frac{1}{m} + 1}$$

5. Moltiplico tutto per u :

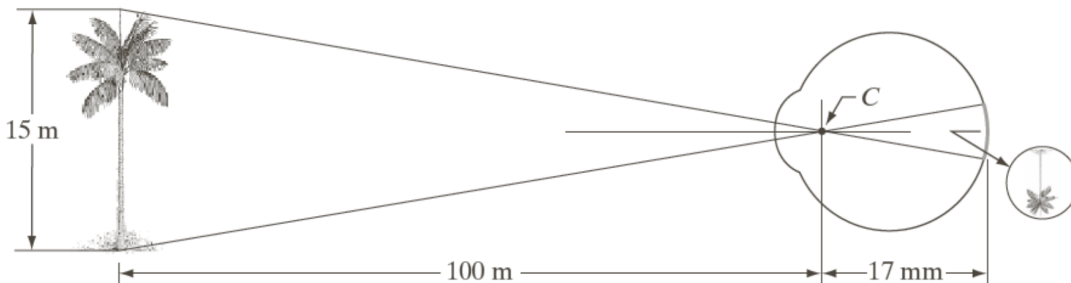
$$u \cdot \frac{f}{v} = \frac{1}{\frac{1}{m} + 1} \cdot u \rightarrow \frac{uf}{v} = \frac{u}{\frac{1}{m} + 1}$$

$$\hookrightarrow \frac{u}{v} \cdot f = \frac{u}{\frac{1}{m} + 1} \rightarrow \frac{f}{\frac{1}{m} + 1} = \frac{u}{\frac{1}{m} + 1}$$

6. Da cui ricavo f :

$$f = \frac{um}{m+1}$$

Esempio:



L'altezza dell'immagine sulla retina sarà:

$$\frac{15}{100} = \frac{h}{17} \text{ e cioè } h = 2,55 \text{ mm}$$

Formule generali:

$$\textcircled{1} \quad \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

$$\textcircled{2} \quad f = \frac{um}{m+1}$$

$$\textcircled{3} \quad \frac{v}{u} = m$$

Esercizio:

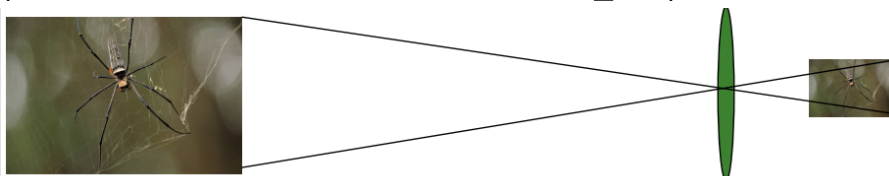
Le relazioni di f (2) e m (3) sono utili se si vuole fissare il fuoco in modo da garantire una magnificazione fissata

Un oggetto (il ragno) distante $u=1\text{cm}$ è fotografato da una macchina digitale con "chip ccd" distante $v=0.5\text{cm}$. A quanto si deve fissare il fuoco per potere avere lo stesso effetto su una farfalla che si trova a $u'=500\text{cm}$ dalla lente?

$$m = \frac{v}{u} \rightarrow m = \frac{0.5}{1} = 0.5$$

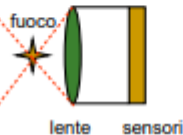
$$f = \frac{500 \times 0.5}{1.5} = 166.66\text{cm} \text{ quindi il punto di fuoco dovrebbe essere a distanza } f \text{ dalla lente.}$$

(Praticamente servirebbe un teleobiettivo $\geq 3\text{m}$)



Ampiezza di campo e focale

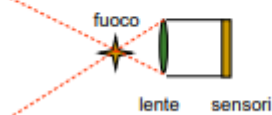
Focale piccola,
grande campo



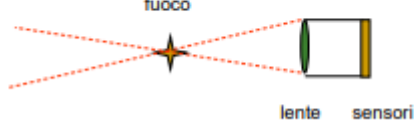
Focale grande,
piccolo campo



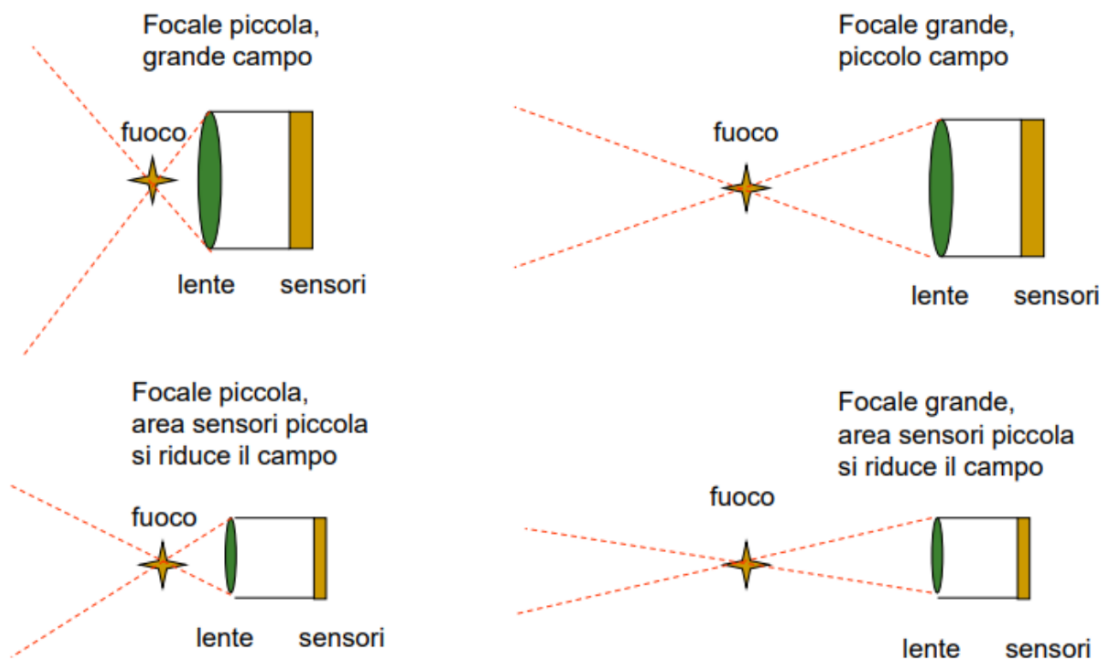
Focale piccola,
area sensori piccola
si riduce il campo



Focale grande,
area sensori piccola
si riduce il campo



Ampiezza di campo e focale



- **Focale piccola** = fuoco vicino lente:
 - catturo **PIU' SCENARIO**
 - il fattore di magnificazione m è più **basso**
 - **POCHI dettagli**
- **Focale grande** = fuoco lontano dalla lente:
 - catturo **MENO SCENARIO**
 - il fattore di magnificazione m è più **alto**
 - **MOLTI dettagli**

In entrambi i casi, se l'area sensori è piccola, però, catturo meno scenario.

Combinazioni di lenti

ogni lente agisce su risultati da un'altra lente. Come il microscopio.

Concetto di **immagine virtuale**: Immagine che si osserva in presenza di uno specchio.

Quindi vedo gli oggetti all'interno dello specchio in una posizione dove essi, realmente, non sono.

