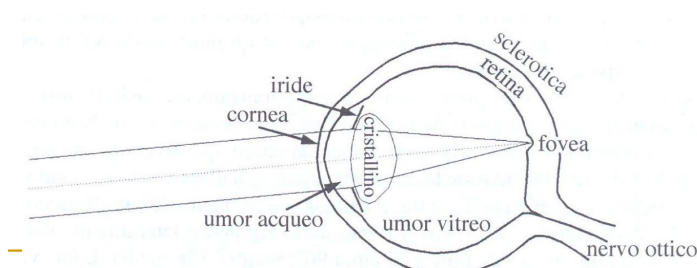


08-11-2022

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*).

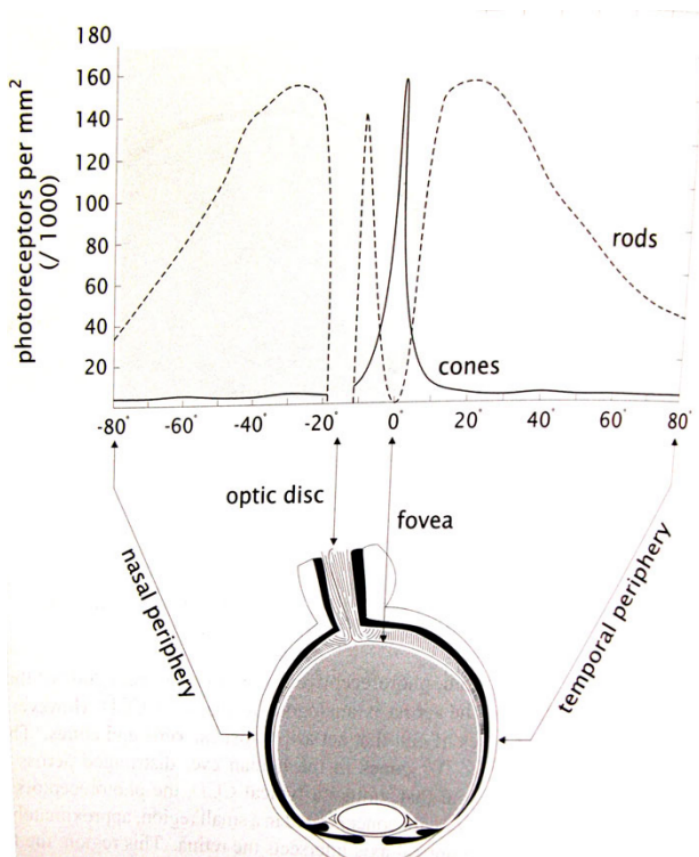


Le cellule non sono tutte uguali e si dividono in:

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

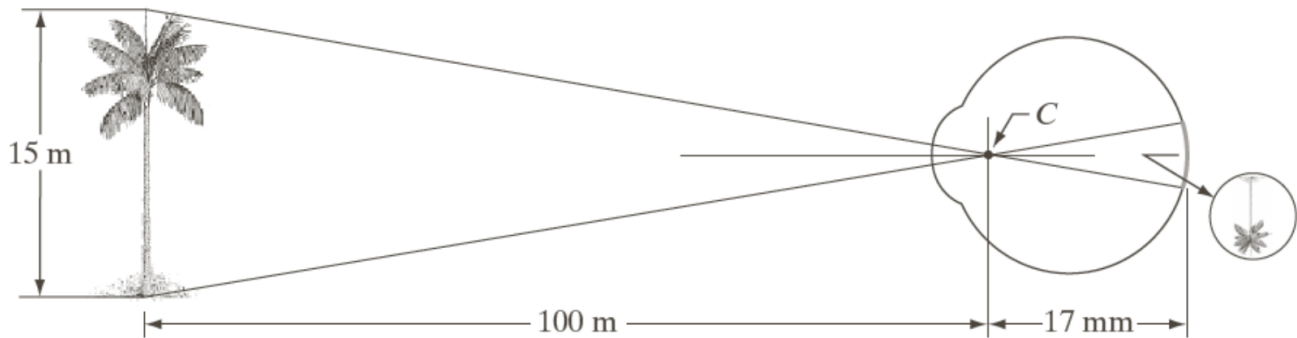


Commenti:

- 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!!

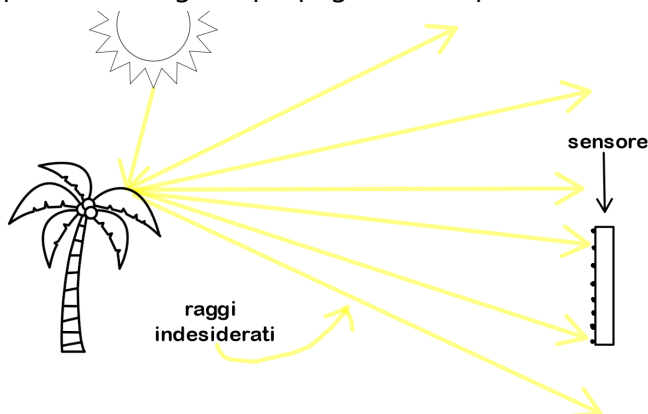
Quindi l'occhio ha una risoluzione maggiore rispetto alla fotocamera perchè in meno spazio ci sono più coni.

Formazione dell'immagine

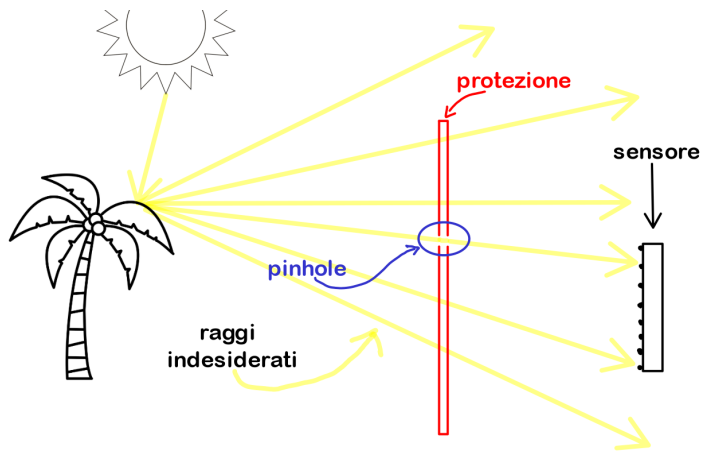


La luce entra attraverso la pupilla nera (*che non riflette luce*) e capovolge l'immagine visualizzata per tutti i punti dell'oggetto.

- 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.



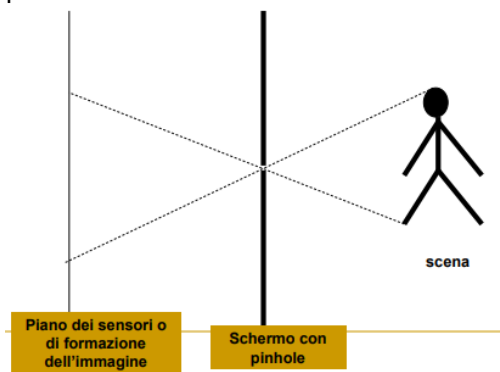
- Una prima soluzione potrebbe essere quella di posizionare semplicemente il sensore di fronte all'oggetto e acquisire le varie lunghezze d'onda. Ma in questo caso si acquisirebbero anche quelle indesiderate
- Per captare solo la luce che ci interessa bisogna **proteggere il sensore** e immaginando di 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

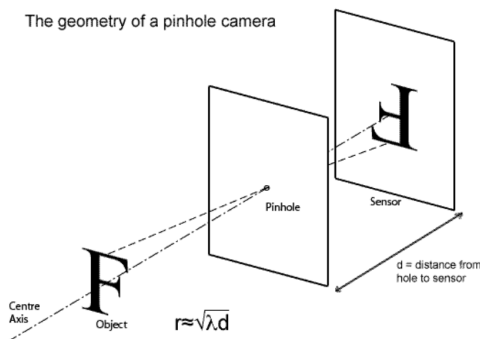
Lo scatto avviene:

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;

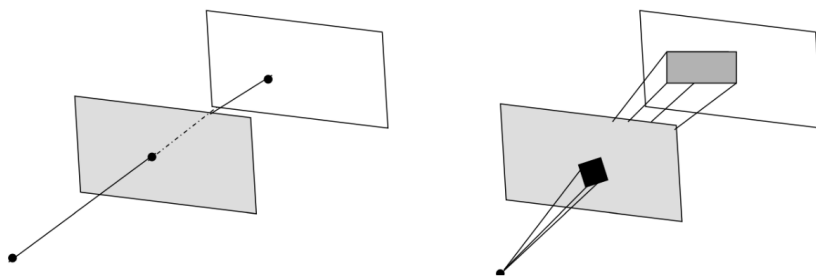
Il pinhole può avere diverse **dimensioni**, quali:

- 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

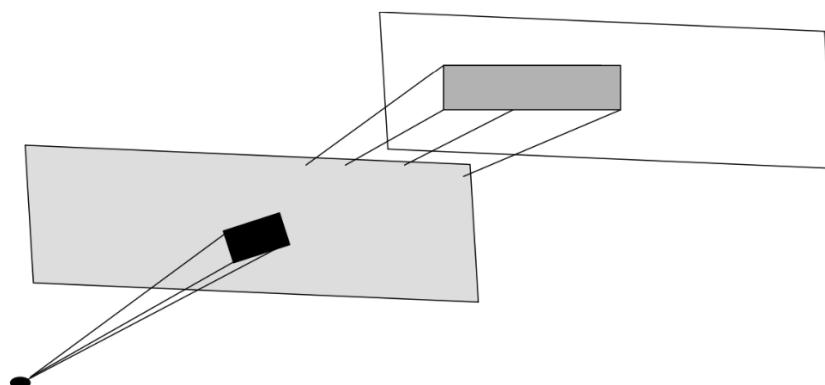
The geometry of a pinhole camera



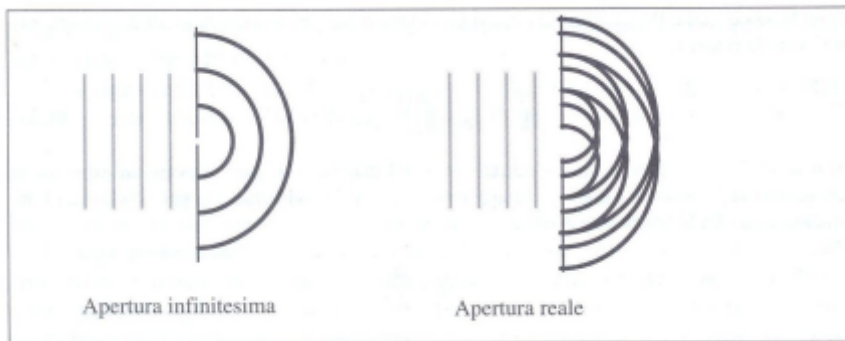
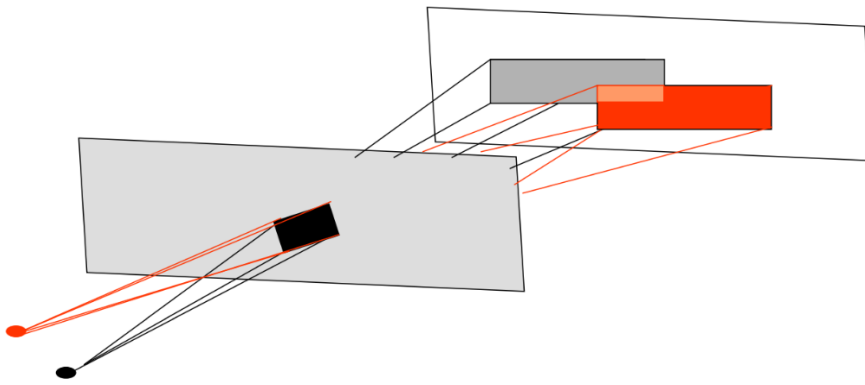
Problematiche pinhole



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**

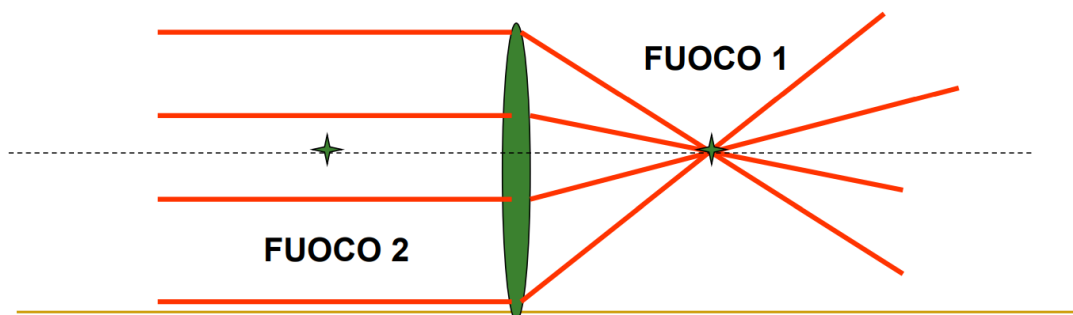
LENTI

- 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:

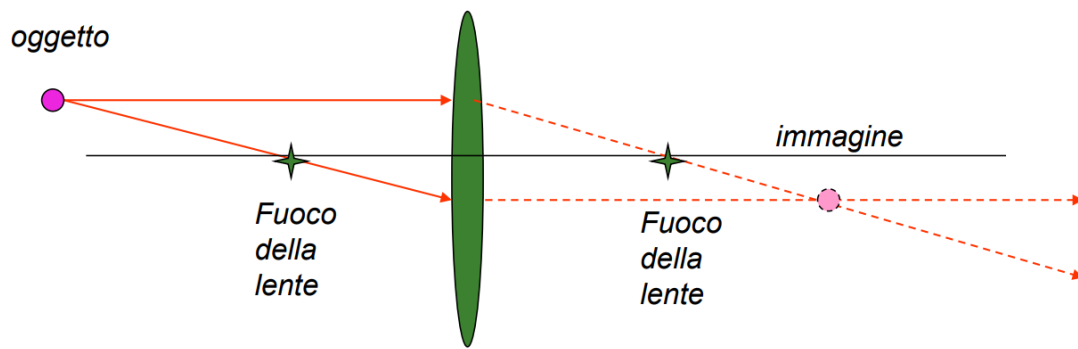
1. raggi paralleli all'asse della lente sottile vengono **concentrati in un unico punto detto FUOCO**, posto a **distanza F** dalla lente; i due fuochi sono dei punti immaginari e hanno la stessa distanza dalla lente
2. raggi che si dipartono **dal FUOCO** vengono **ri-trasmessi tutti paralleli** nella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

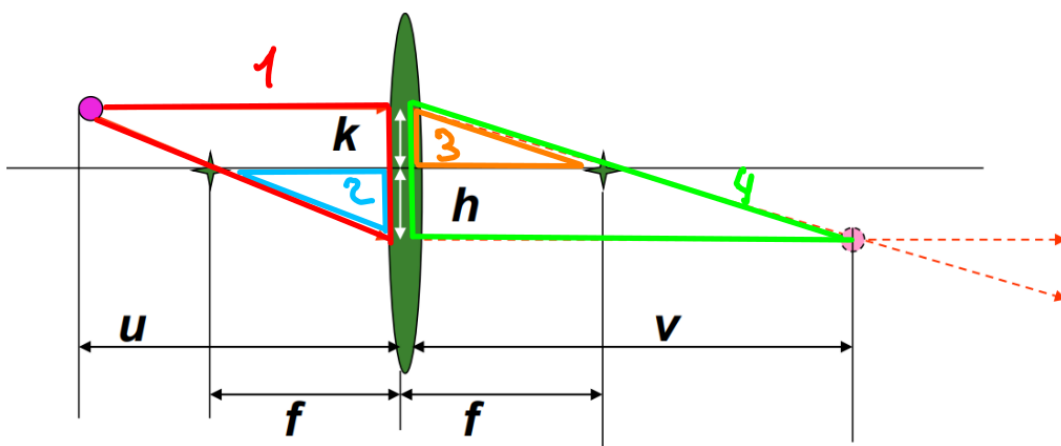
Le **MESSA A FUOCO** è la **posizione del sensore** (più vicino o più lontano dal fuoco) in modo tale che tutti i raggi di un oggetto vengono proiettati su uno stesso punto.

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
 1. se u cresce, allora v decresce
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 perché 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 **decrece** 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:

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

5. Moltiplico tutto per u :

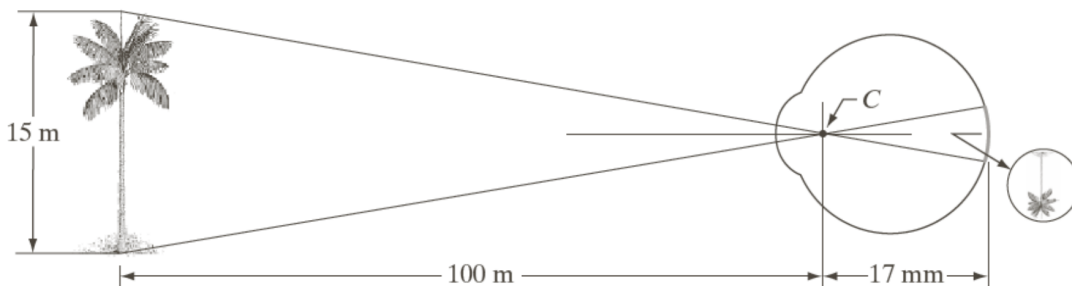
$$u \cdot \frac{f}{v} = \frac{1}{m+1} \cdot u \rightarrow \frac{uf}{v} = \frac{u}{m+1}$$

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

6. Da cui ricavo f :

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

Esempio:



Per lo stesso principio, 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:

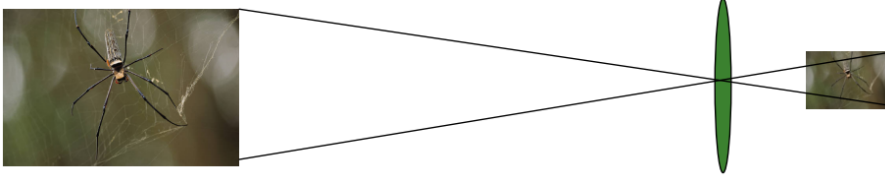
Le relazioni di f (2) e m (3) sono utili se si vuole fissare il fuoco in modo da garantire una magnificazione fissata

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 f per potere avere lo stesso effetto su una farfalla che si trova a $u'=500\text{cm}$ dalla lente?

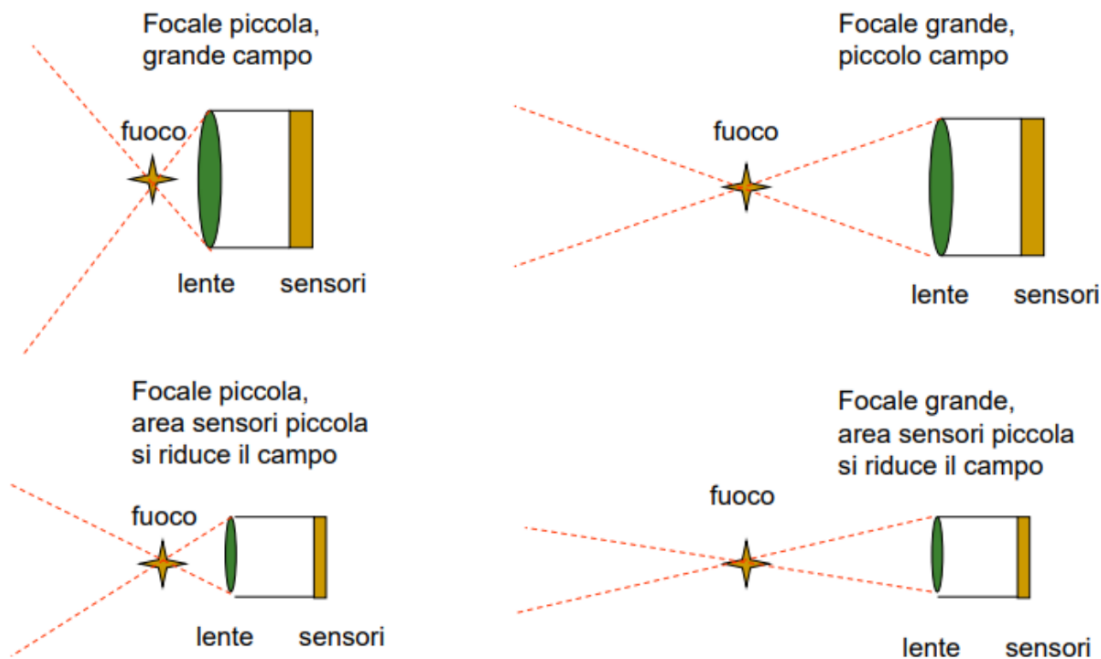
$$m = \frac{v}{u} \rightarrow m = \frac{0.5}{1} = 0.5$$

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

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



Ampiezza di campo e focale

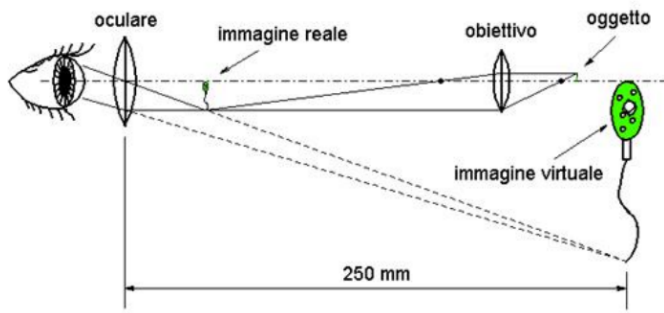


- **Focale piccola** = fuoco vicino lente:
 - catturo **PIU' SCENARIO**
 - il fattore di magnificazione m è più **basso**
 - **POCHI dettagli**
- **Focale grande** = fuoco lontano dalla lente:
 - catturo **MENO SCENARIO**
 - il fattore di magnificazione m è più **alto**
 - **MOLTI dettagli**

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

Combinazioni di lenti

E' possibile mettere una lente dopo l'altra e i raggi riflessi verranno deviati dalla prima lente alla seconda, alla terza ecc...



- Se un **oggetto** si trova ad una **minor distanza rispetto al fuoco**, l'immagine di essa non si creerà come si è sempre creata dell'altro lato della lente **ma si creerà alle spalle dell'oggetto**. Questo è il caso della **lente d'ingrandimento**.
- Quindi vedo gli oggetti in una posizione dove essi, realmente, non sono.

Con essa, solitamente, ci si avvicina moltissimo all'oggetto ed esso appare molto più grande. Questo fenomeno dà luogo all'**IMMAGINE VIRTUALE** dell'oggetto.

