

Come si forma l'immagine dell'occhio umano

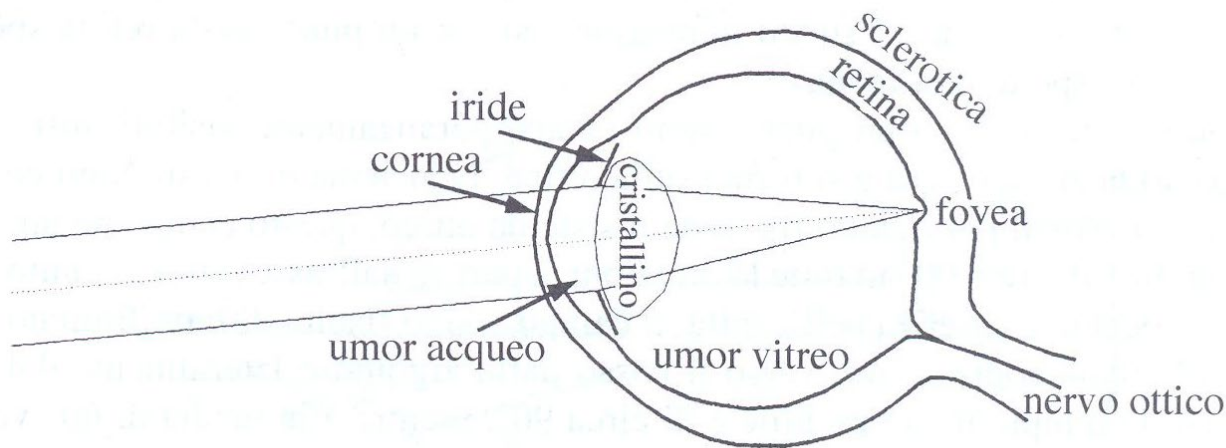


- Il nostro viaggio nell'immagine processing deve iniziare con lo studio di come l'occhio umano percepisce una immagine e come la elabora.
- Ci interessa capire quali sono i limiti della visione umana al fine di usarli nell'immagine processing.
- Ovviamente non faremo una trattazione medica dell'occhio!



L'occhio

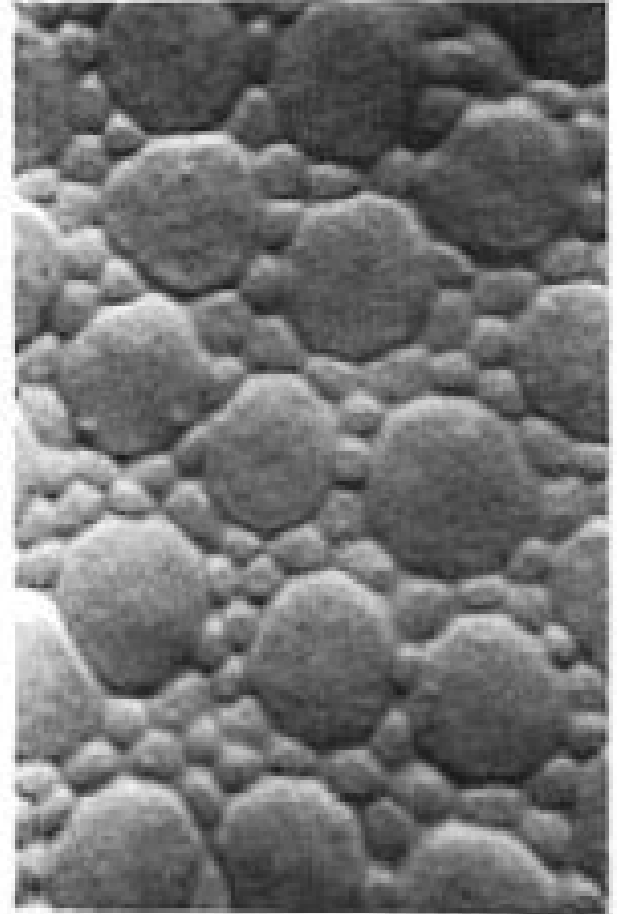
- A noi interessa molto la RETINA.
- È una membrana che ricopre la parte posteriore dell'occhio
- È formata da coni e bastoncelli che sono i fotorecettori.





I coni

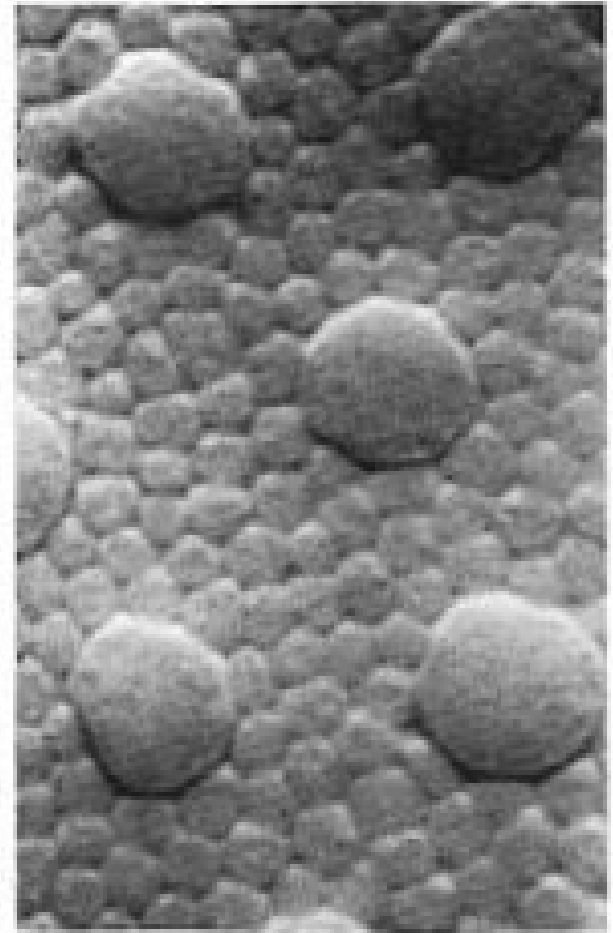
- I coni sono circa 6/7 milioni e sono concentrati in una zona centrale della retina, la fovea.
- Sono fortemente sensibili al colore ed ogni cono è collegato ad un nervo ottico.
- I coni sono responsabili della vista FOTOTICA o policroma.

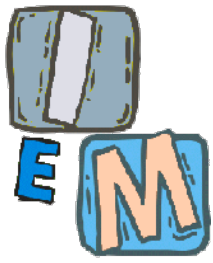




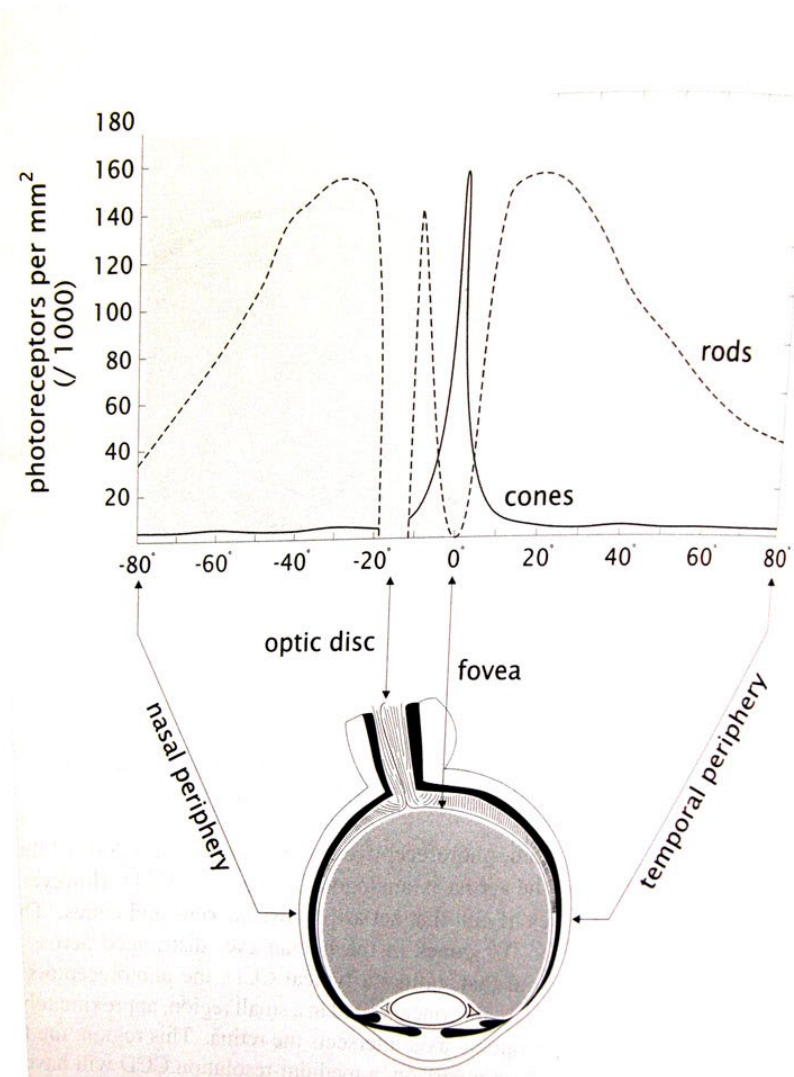
I bastoncelli

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





Disposizione dei sensori sulla retina



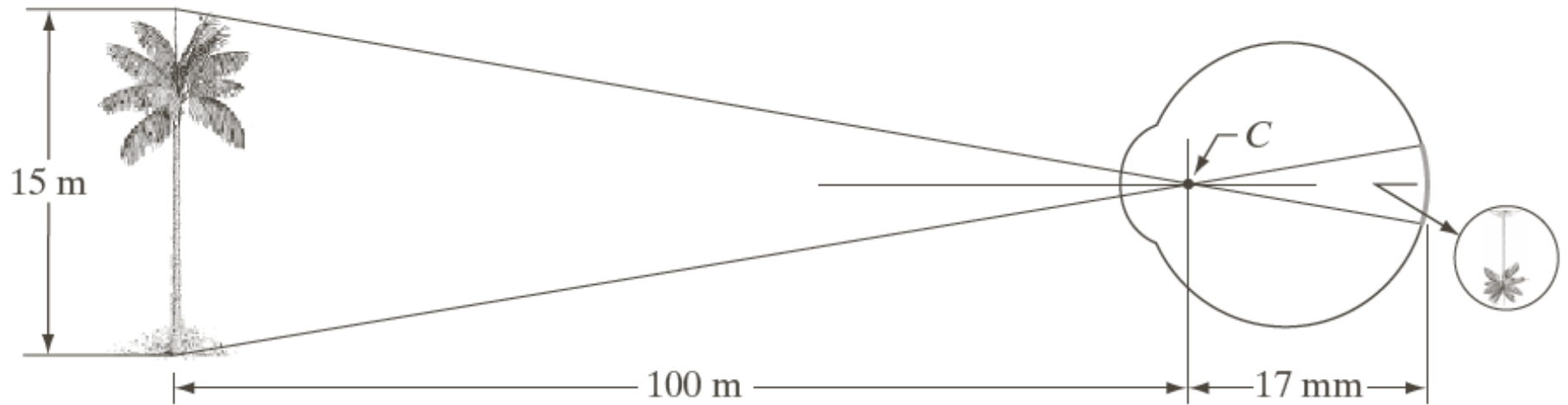


Da ricordare!

- La fovea è una regione di 1,5 mm x 1,5 mm
- Ed ha una popolazione di coni di circa 150.000 elementi per mm²
- 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!!



Formazione dell'immagine



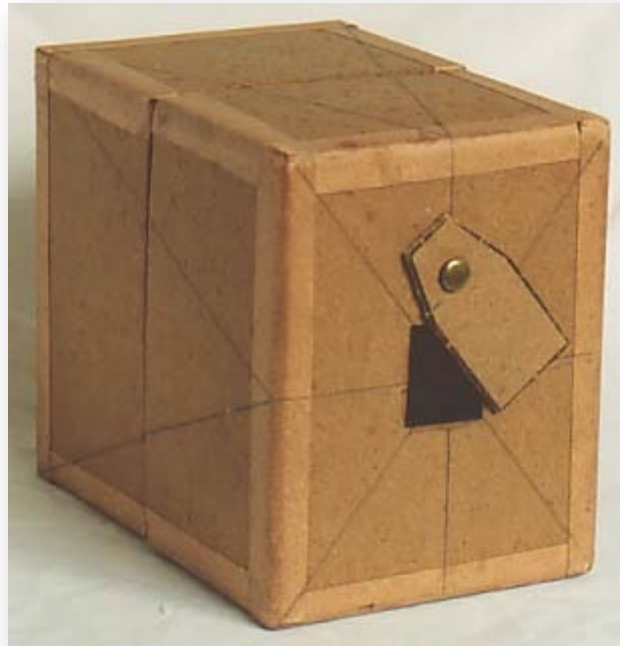


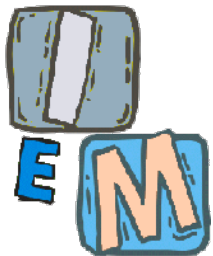
Come si forma l'immagine nell'occhio?

- Per comprendere come si forma l'immagine nell'occhio occorre astrarre il problema e considerare il modello del PINHOLE
- Si tratta di un modello teorico in cui si approssima l'occhio con una scatola.
- All'interno della scatola, su una parete, viene posizionata una pellicola sensibile alla luce.
- Nella parete opposta si pratica un foro con uno spillo (pin hole)!

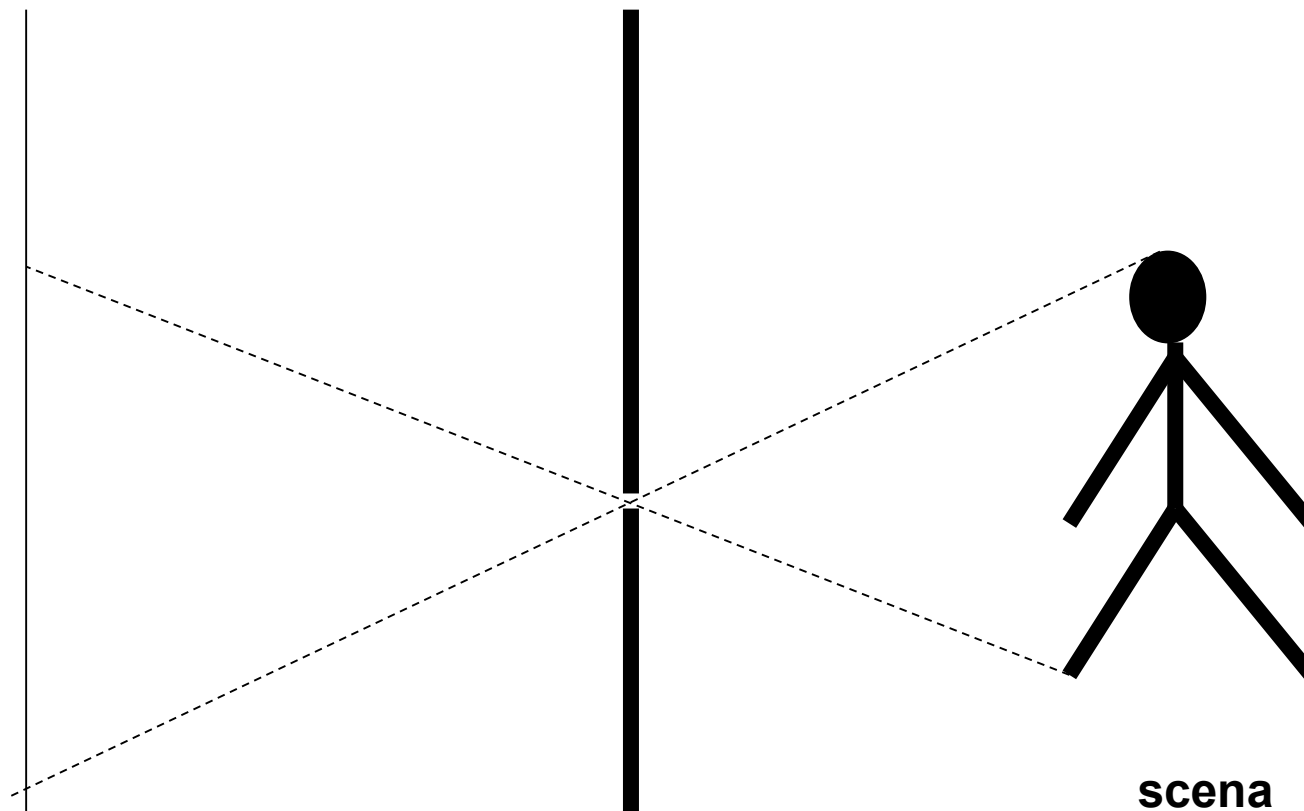


Il pinhole



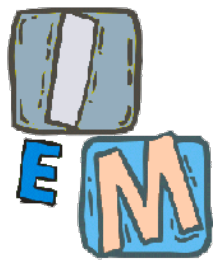


In sezione

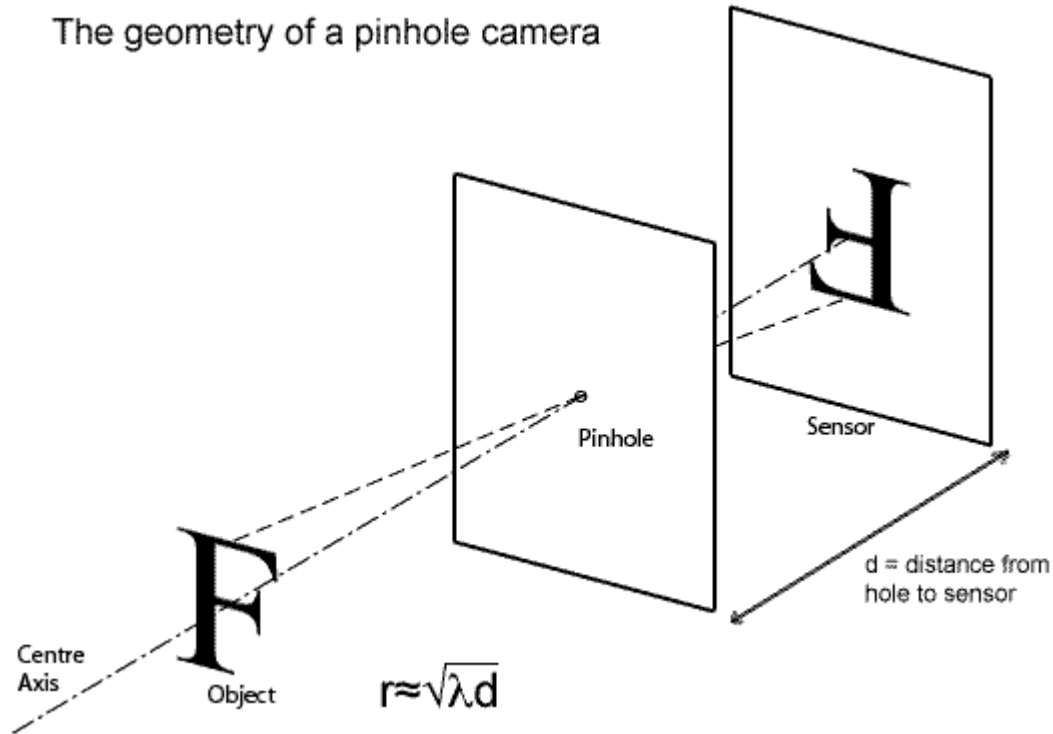


**Piano dei sensori o
di formazione
dell'immagine**

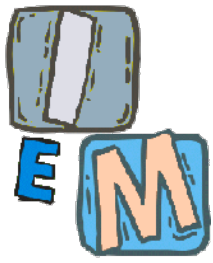
**Schermo con
pinhole**



The geometry of a pinhole camera



- Il raggio del foro è proporzionale alla radice quadrata della distanza (d) per la lunghezza d'onda (λ) della luce emessa.

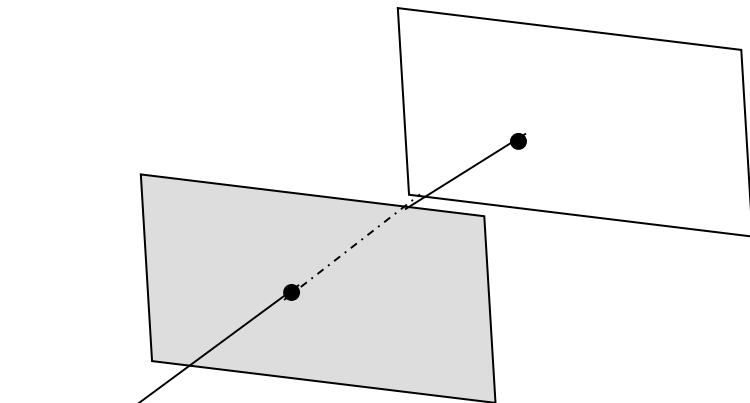


Pinhole ideale e reale

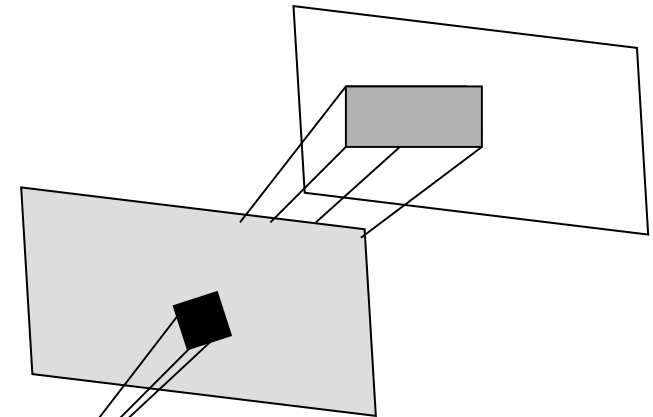
Un foro puntiforme infinitesimo (quindi senza estensione) non fa passare un numero sufficiente di fotoni per “attivare” i sensori.

Un foro puntiforme troppo piccolo genera fenomeni di diffrazione.

Un pinhole reale presenterà un foro con una precisa forma geometrica.



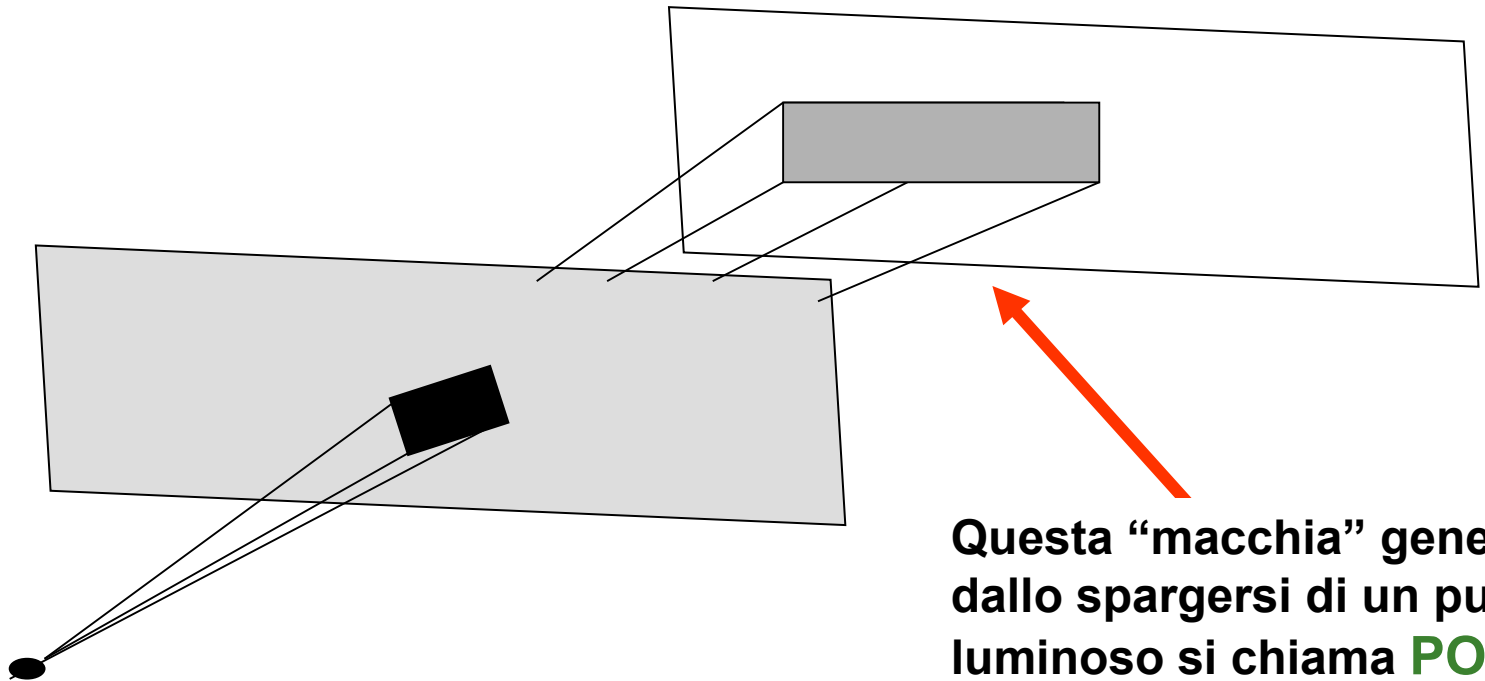
Un punto luminoso (**impulso**)
produce un punto se passa
attraverso un pinhole ideale



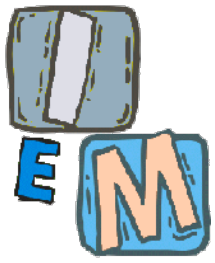
Un punto luminoso (**impulso**)
produce un'area attraverso
un pinhole reale



Un pinhole reale “spalma” la luce proveniente da un punto infinitesimo (detto impulso) su una area finita.

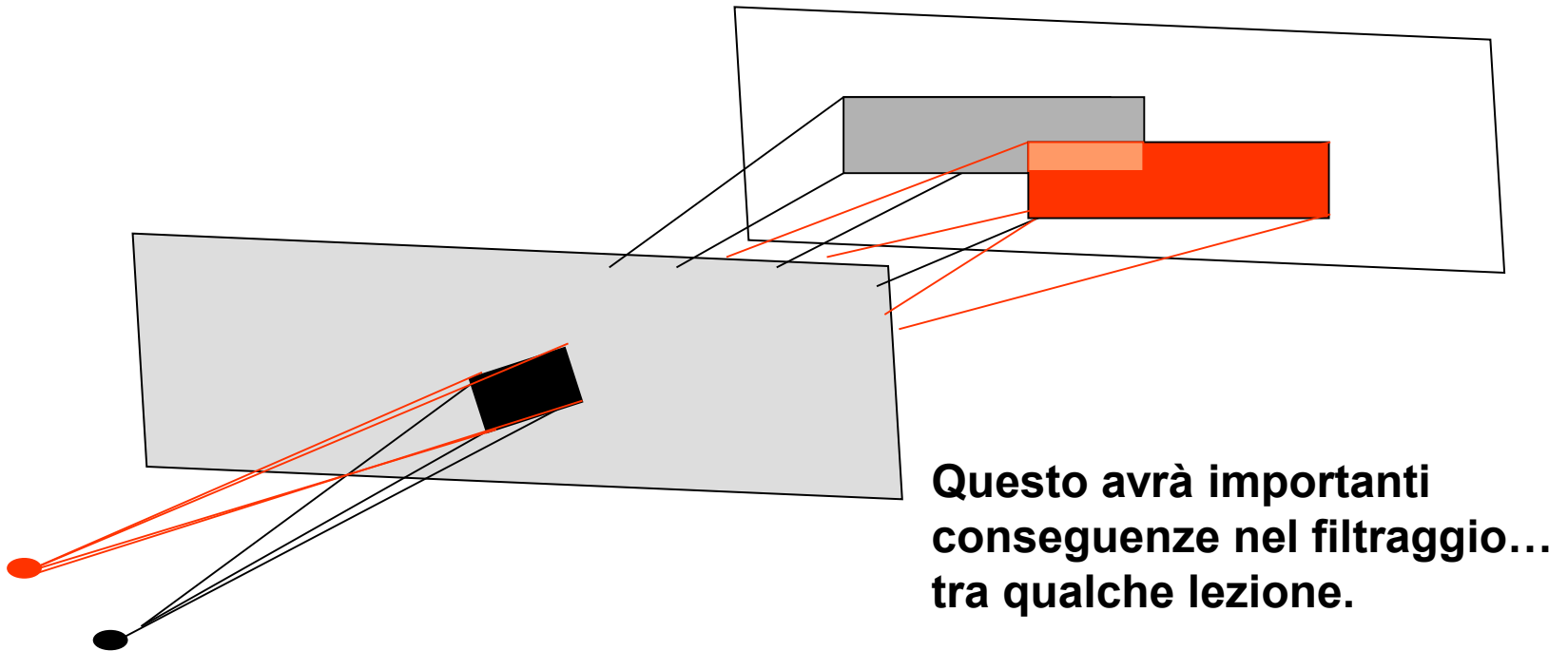


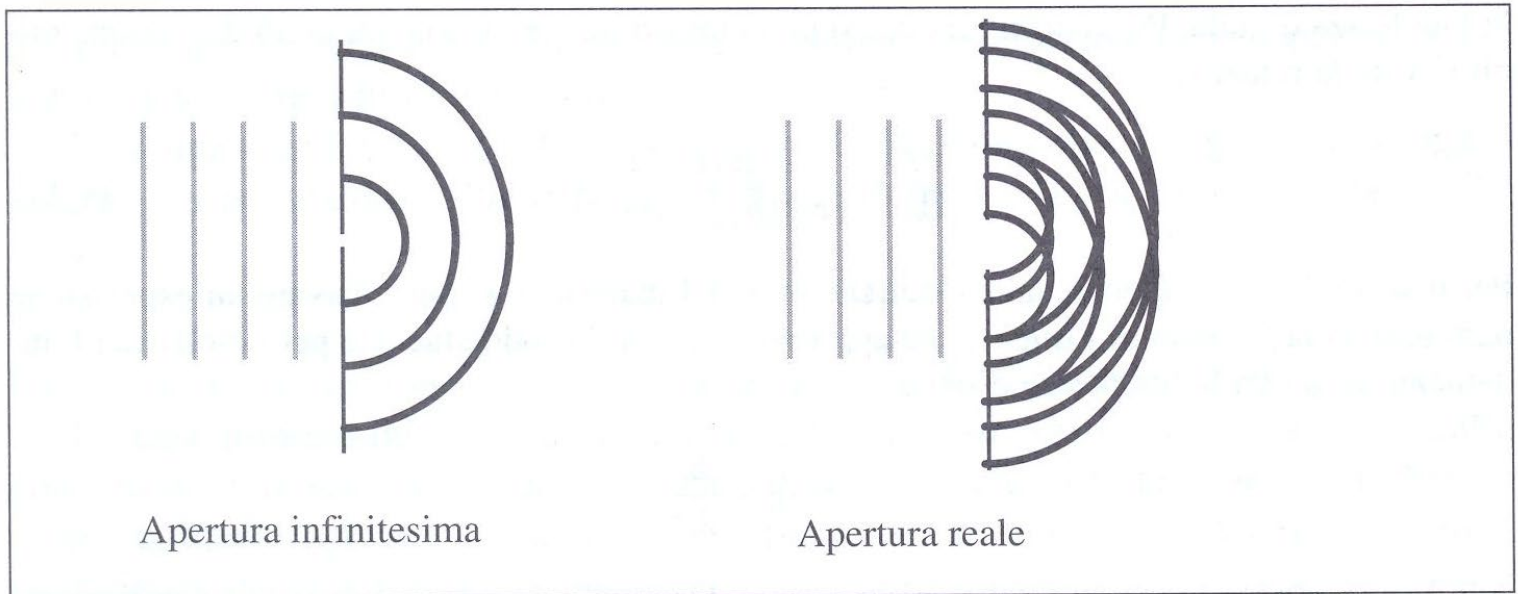
Questa “macchia” generata dallo spargersi di un punto luminoso si chiama **POINT SPREAD FUNCTION** del sistema di acquisizione di immagini



Principio di sovrapposizione

L'effetto di più sorgenti puntiformi vicine si “sovrappone”:







Lenti sottili

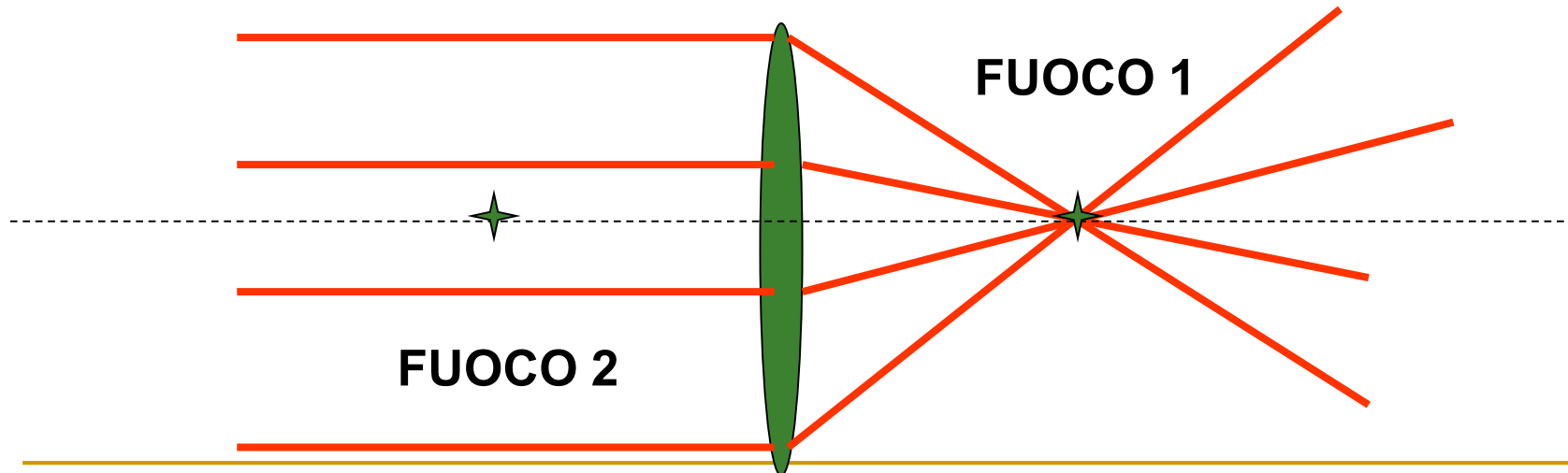
- In pratica i forellini sono inadeguati: raccolgono troppe poche radiazioni per consentire ai sensori misurazioni precise.
- Sin dal *rinascimento* si è diffuso, probabilmente osservando la rifrazione attraverso gocce d'acqua o particelle di ghiaccio, l'uso di lenti di vetro con forma lenticolare il cui diametro è in ordine di grandezza maggiore del loro massimo spessore (lente sottile).
- Tali lenti hanno proprietà simili ai pinhole

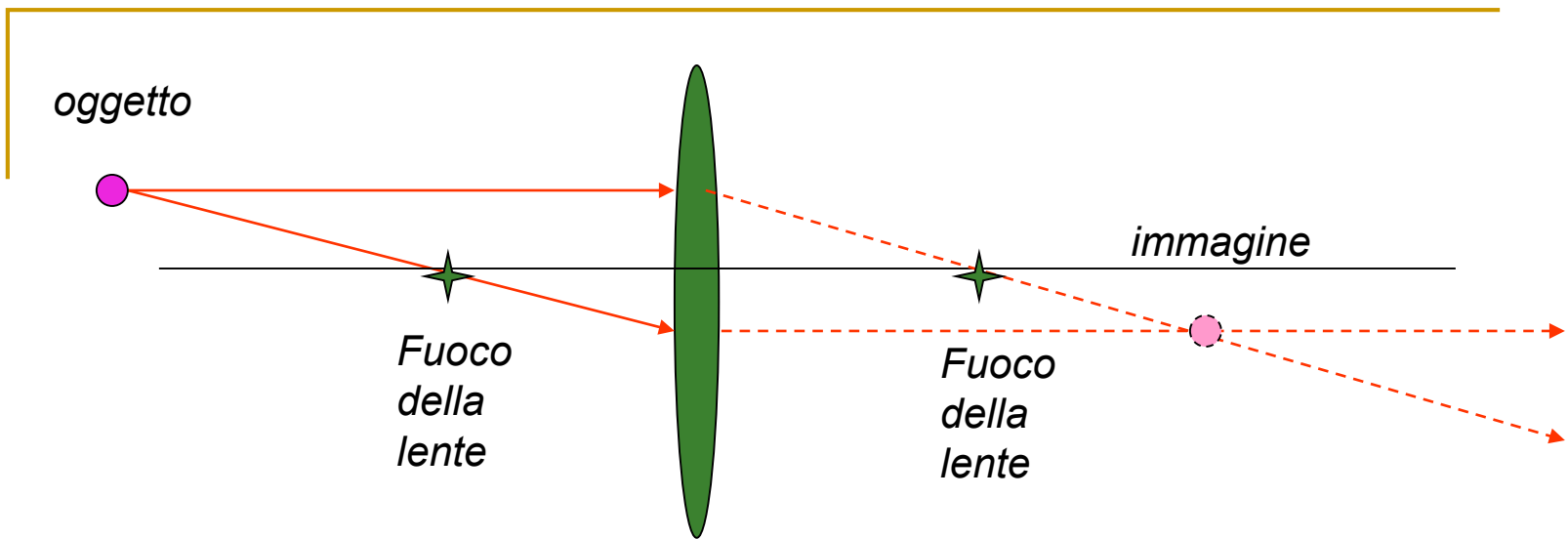


Definizione geometrica

Una lente sottile è definita da una proprietà geometrica importante che si può enunciare come due parti “speculari” l’una all’altra:

- a) raggi paralleli all’asse della lente sottile vengono concentrati in un unico punto detto **FUOCO**, posto a distanza F dalla lente;
- b) raggi che si dipartono dal **FUOCO** vengono ri-trasmessi tutti paralleli nella direzione dell’asse della lente.
- c) una lente sottile ha due fuochi equidistanti da essa.

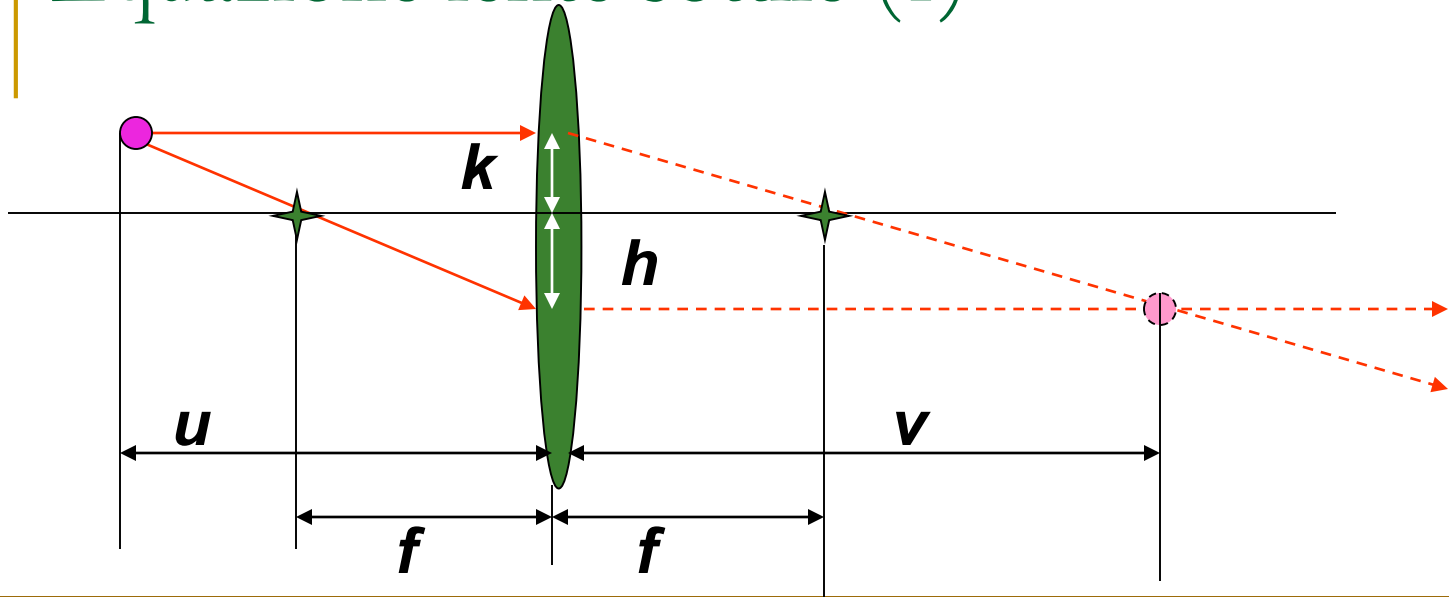




- Un oggetto puntiforme, emette raggi luminosi in ogni direzione, solo uno è parallelo all'asse ottico e la lente lo farà passare per il fuoco.
- Solo uno passa per il fuoco e la lente lo farà passare in un raggio parallelo alla lente.
- Il punto in cui i due raggi si reincontrano è il punto di formazione della immagine dell'oggetto puntiforme.
- Si può dimostrare (per una lente ideale) che anche gli altri raggi si “reincontrano” in tale punto.
- Se si pone il piano dei sensori più avanti o più indietro del piano che contiene l'immagine si ottiene una immagine SFOCATA dell'oggetto originale.



Equazione lente sottile (1)



Vogliamo ottenere la relazione che lega tra loro u , v ed f . Ci aiuteremo con le due quantità h e k come in figura.

Il triangolo di base u e altezza $h+k$ e quello di base f e altezza h (sulla sinistra della lente) sono simili da cui:

$$u:(h+k)=f:h \text{ da cui si ricava che } (h+k)=uh/f$$

Il triangolo di base v e altezza $h+k$ e quello di base f e altezza k (sulla destra della lente) sono simili da cui:

$$v:(h+k)=f:k \text{ da cui si ricava che } (h+k)=vk/f$$

Eguagliando le due relazioni ed eliminando f si ottiene che $h/v=k/u$. Ora da $(h+k)=uh/f$ possiamo dividere ambo i membri per u ed otteniamo $h/u+k/u=h/f$ cioè ancora sostituendo $h/u+h/v=h/f$ da cui eliminando il fattore comune h si giunge a $1/u+1/v=1/f$: equazione della lente sottile.



Equazione lente sottile (2)

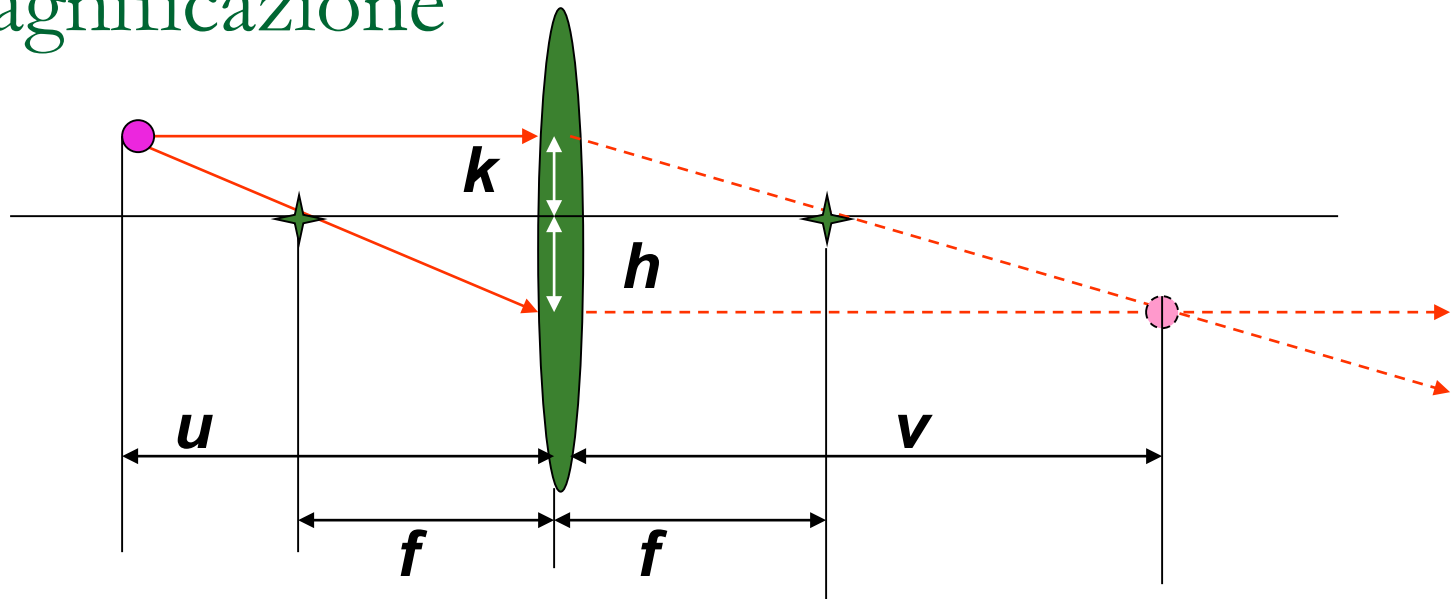
$$1/u + 1/v = 1/f$$

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

- a) 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.
- b) 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.
- c) 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.

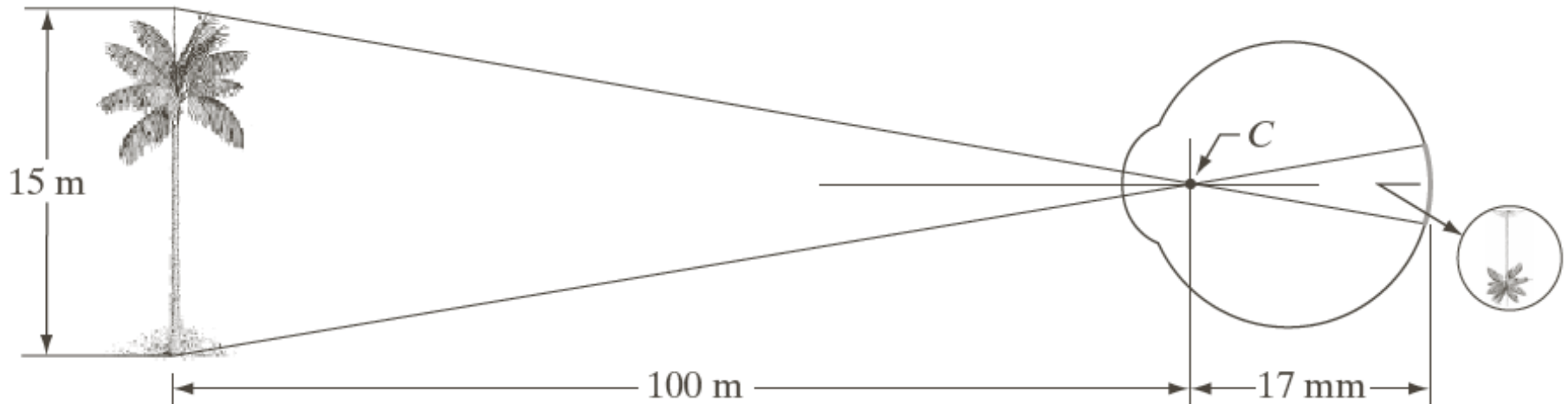


Magnificazione

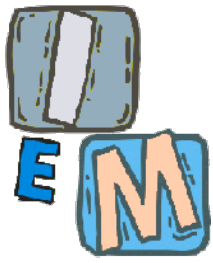


Come vengono trasformate le distanze dalla lente sottile? Vogliamo scoprire la relazione tra k , misura dell'oggetto e h , misura della sua immagine. Poiché si può dimostrare che i due triangoli sono simili si ha facilmente che $h/k = v/u = m$ fattore di magnificazione.

Partiamo dalla equazione della lente sottile: $1/u + 1/v = 1/f$. Moltiplico per v e ottengo: $v/u + 1 = v/f$ cioè passando agli inversi $f/v = 1/(m+1)$. Moltiplicando per u si ha $f/m = u/(m+1)$ da cui si giunge a $f = um/(m+1)$.



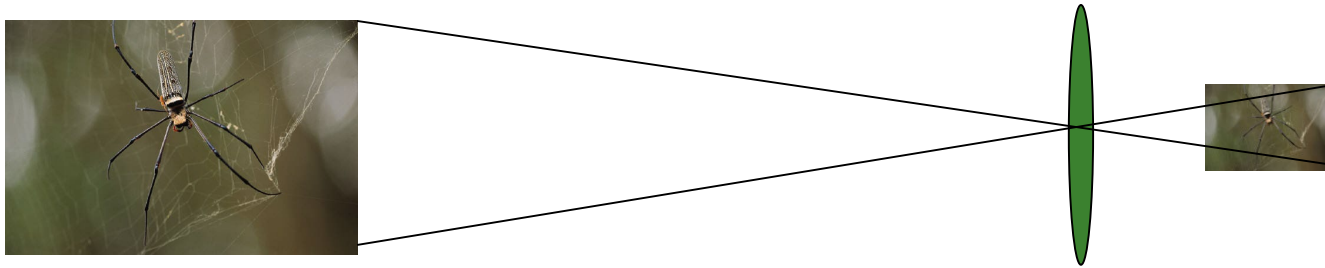
- Sempre per lo stesso principio, si ha che l'altezza h dell'immagine sulla retina è:
 $15/100 = h/0.017$ e cioè $h = 2,55 \text{ mm}$



Esempio di magnificazione

La relazione $f = um/(m+1)$ è utile se si vuole fissare il fuoco in modo da garantire una magnificazione fissata.

Esempio: 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?



Il fattore di magnificazione è $m=0.5/1=0.5$

$f = 500 \cdot 0.5 / 1.5 = 166.66 \text{ cm}$ (un teleobiettivo con una focale di più di un metro e mezzo non è esattamente un oggetto comodo da portare nelle passeggiate nel bosco).



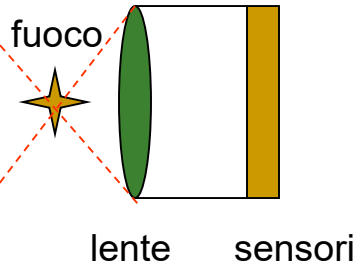
Esempio di magnificazione

- **Altro scenario:** l'oggetto è sempre ad una distanza $u=1\text{cm}$ e si usa una macchina analogica con $v=2\text{cm}$. Se la farfalla è a distanza $u'=5\text{ cm}$ si ha che $m=2/1=2$ e $f=5*2/3=3.3\text{ cm}$
- **Ultimo scenario:** l'oggetto è sempre ad una distanza $u=1\text{cm}$ e si usa una macchina digitale con CCD con $v=1\text{cm}$. Se la farfalla è a distanza $u'=5\text{ cm}$ risulta $m=1$ e $f=5*1/2=2.5\text{ cm}$.

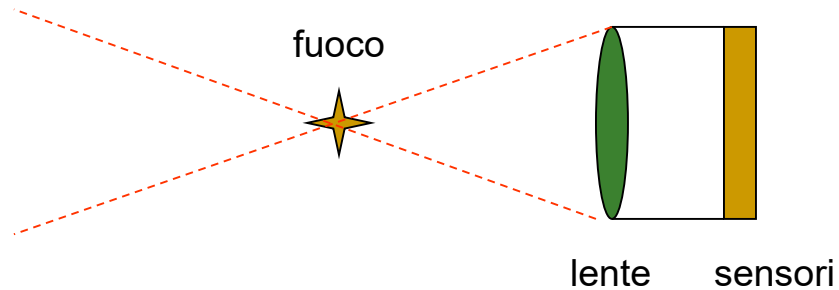


Ampiezza di campo e focale

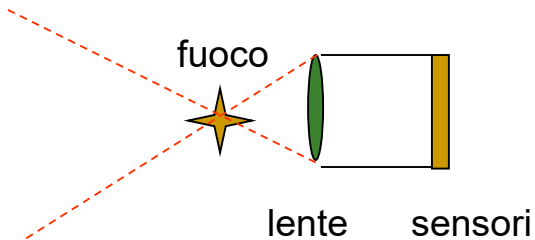
Focale piccola,
grande campo



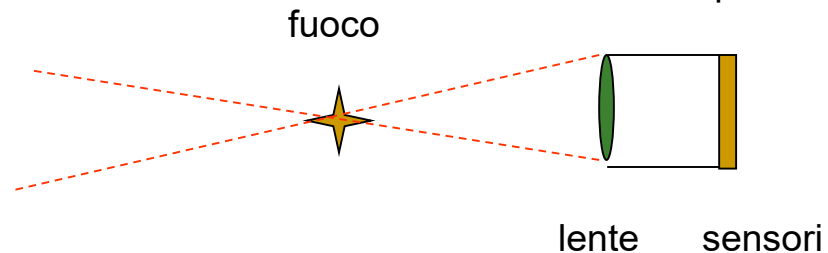
Focale grande,
piccolo campo



Focale piccola,
area sensori piccola
si riduce il campo



Focale grande,
area sensori piccola
si riduce il campo





Combinando più lenti

