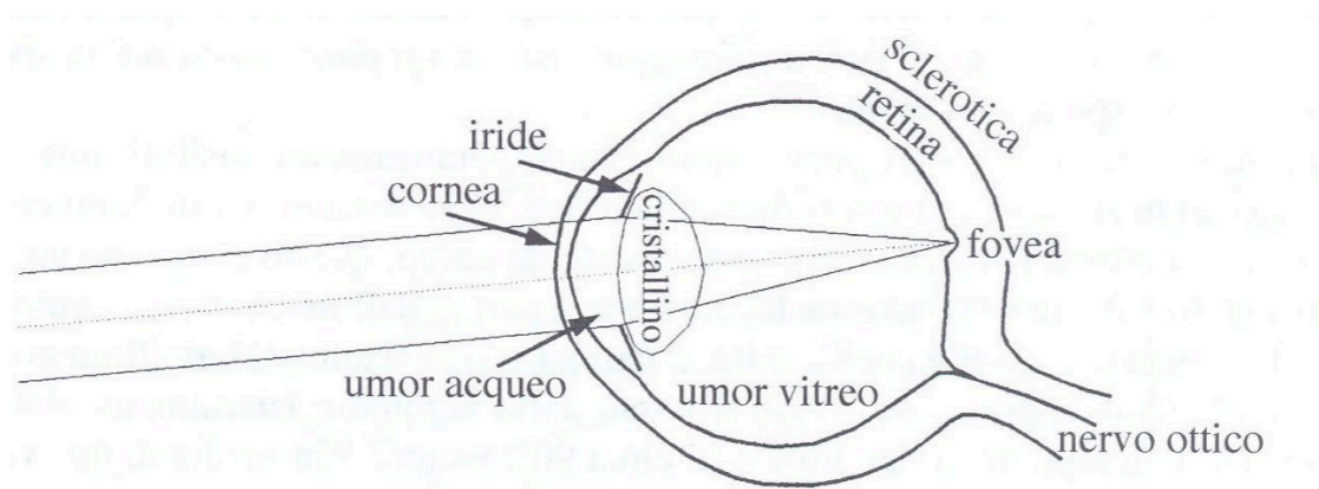


## 07 - Occhio umano, lente sottile e sua equazione

Prima di capire il funzionamento della macchina fotografica digitale sarebbe necessario comprendere il funzionamento dell'occhio umano, il quale vedremo darà spunto a molte cose nella tecnologia delle acquisizione di immagini digitali.

Vediamo intanto la struttura dell'occhio umano:

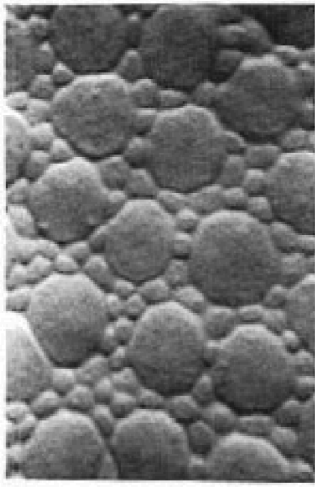


La parte che ci interessa maggiormente è ciò che accade alla retina e al cristallino. La retina è una membrana posta nella parte posteriore dell'occhio ed è formata da milioni di **fotorecettori** tutti collegati al **nervo ottico** il quale è collegato al cervello.

La nostra retina può essere vista come l'equivalente dei sensori nel nostro bayer pattern, in particolare troviamo al suo interno i **coni** e i **bastoncelli** distribuiti in modo mischiato tra di loro e lavorano in maniera diversa:

- I coni sono responsabili della **visione del colore**.
- I bastoncelli hanno il compito di occuparsi della **luminanza**.

Vediamo una foto molto ingrandita di un piccolissimo frammento di retina:

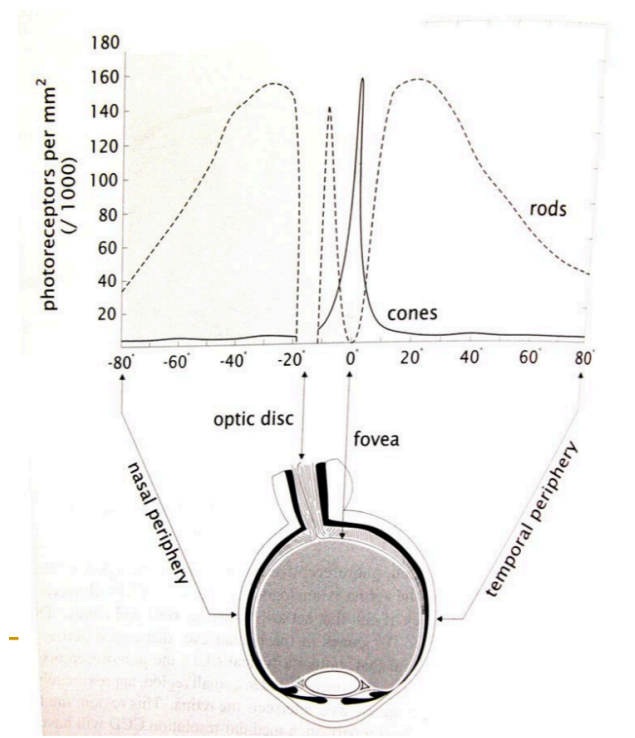


I coni generalmente sono maggiormente distribuiti sulla parte centrale della retina, la fovea è la parte più sensibile difatti, dato che la luce incide per la maggior parte verso il centro. Ogni cono è collegato al nervo ottico.

## Bastoncelli

I bastoncelli sono 150 milioni (contro i 7 milioni dei coni), sono distribuiti su tutta la retina ed essendo tanti non abbiamo un solo bastoncello ma bensì sono riuniti a grappoli nel collegamento al nervo ottico, sono responsabili per vista **monocroma**.

Essi assicurano la visione in qualsiasi caso, anche con disfunzioni ai coni, vediamo dunque uno schema di distribuzione tra coni e bastoncelli:



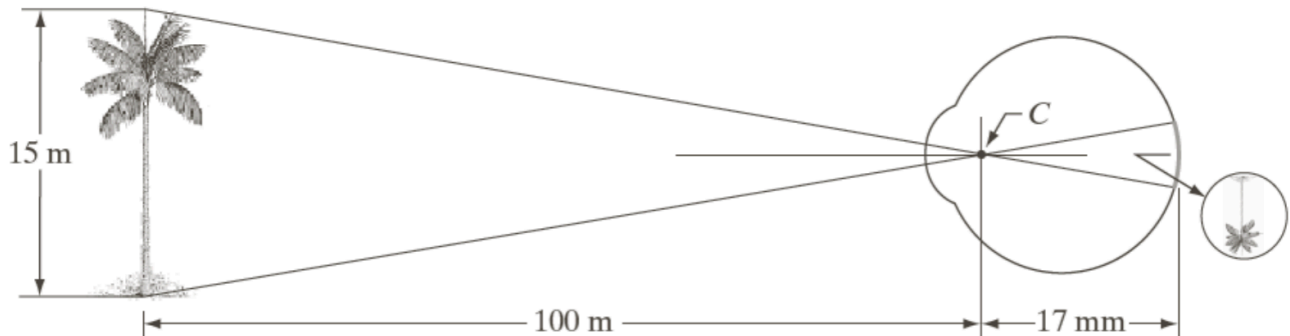
Il punto cieco è un punto dove non vi è nulla, si trova al centro dell'occhio, il cervello supplisce a questa mancanza "interpolando" l'informazione mancante.

Ricordiamo che la fovea è una regione estremamente piccola con una dimensione di

1,5mm × 1,5mm.

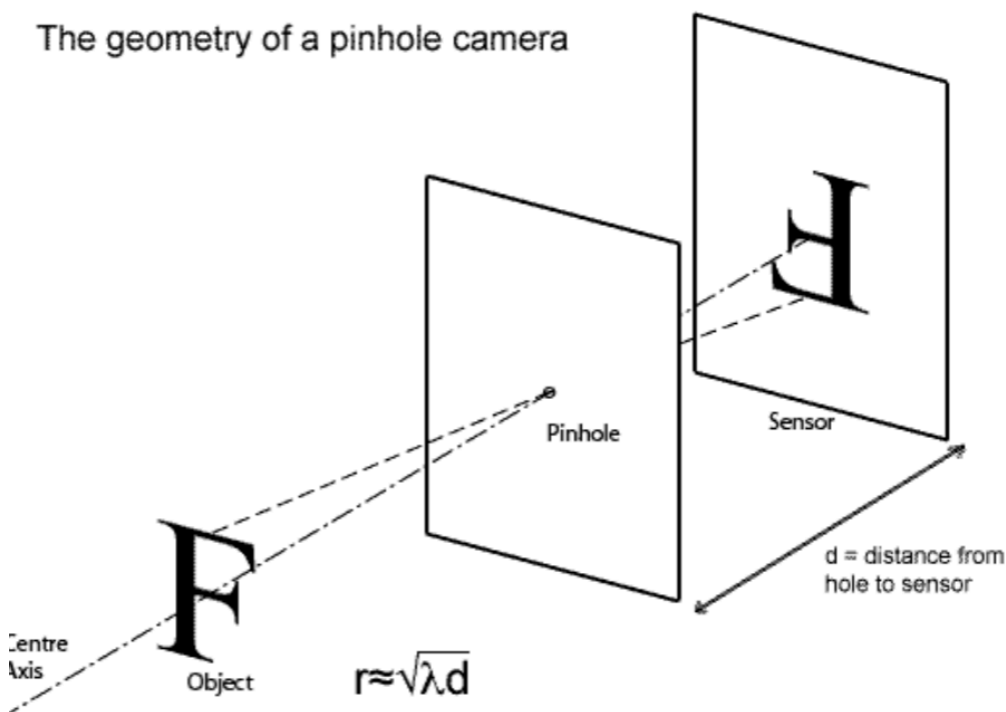
Il numero di coni nella fovea è di circa 337500 elementi, un CCD per raggiungere tale risoluzione deve essere di dimensione non inferiore di 5 × 5mm.

## Come si forma l'immagine



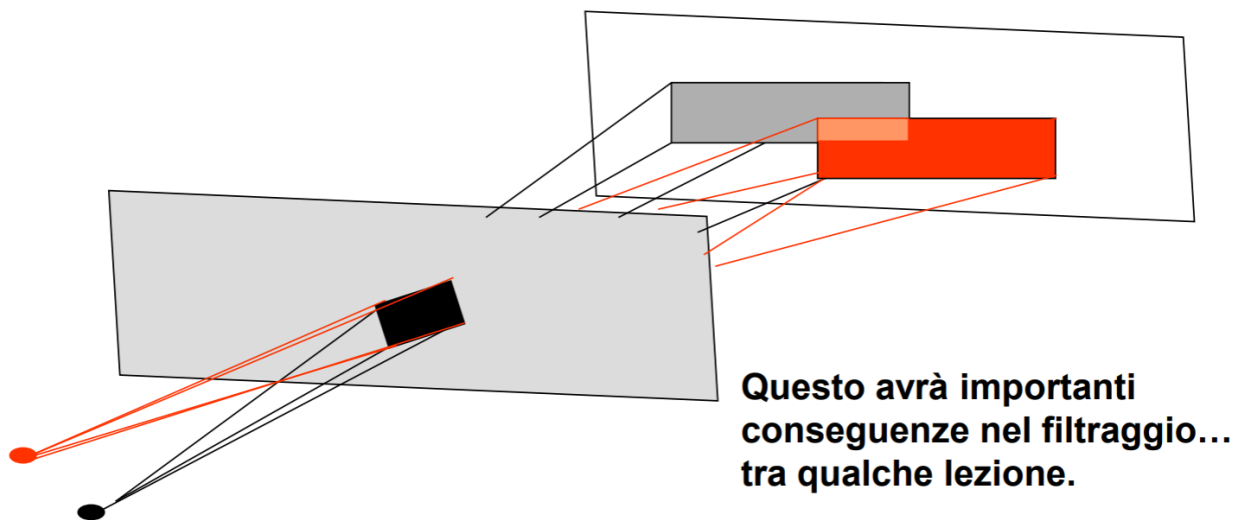
Considerando questa immagine vediamo come il soggetto che stiamo osservando si ritrova specchiato nel nostro occhio, sarà difatti compito del cervello ribaltare l'immagine finale.

Possiamo andare a generalizzare questo concetto attraverso l'esperimento del **pinhole**:



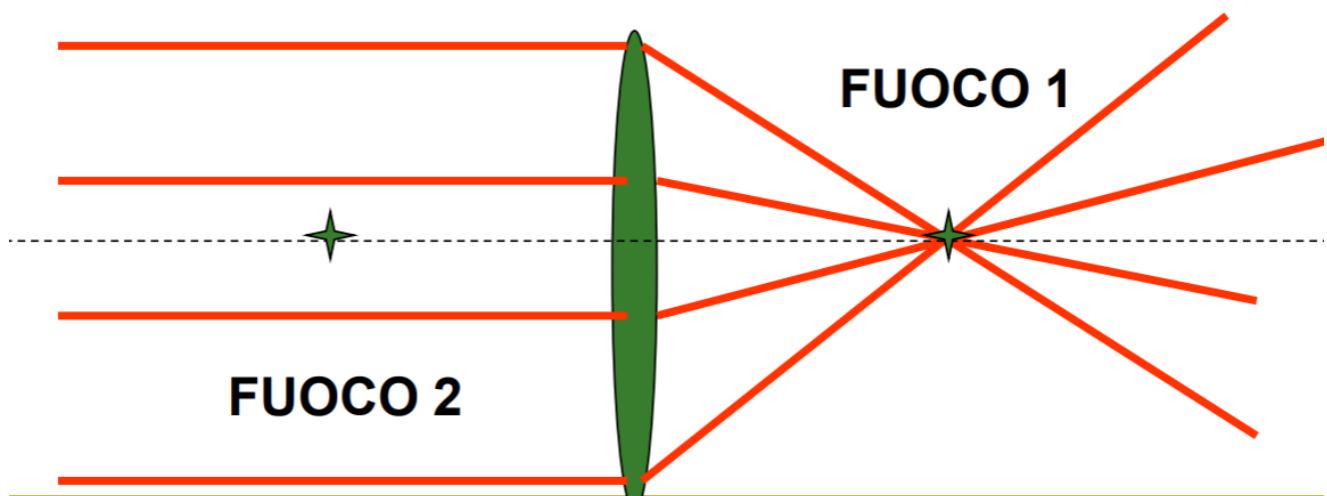
Se il buco è troppo piccolo difficilmente arriverà a formarsi tutta l'immagine, quindi potremmo provare ad aumentare la dimensione del foro, ciò però porta a diversi problemi...

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



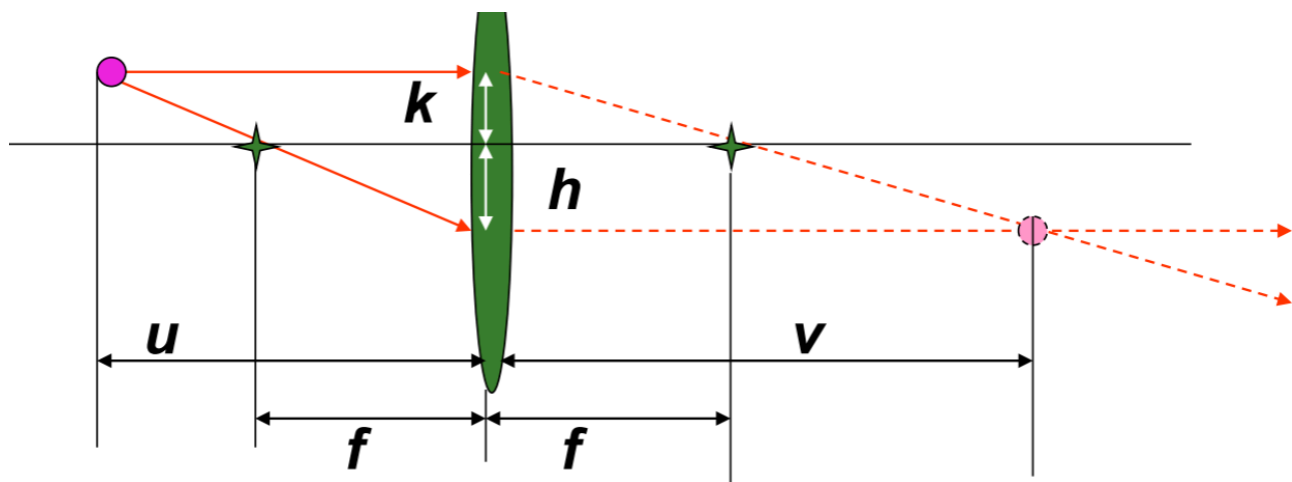
## Lente sottile

La soluzione ideale è quella di una **lente**, ispirandoci alla struttura dell'occhio, la lente ideale è proprio quella **sottile**.



Qualsiasi raggio parallelo all'asse ottico appena attraversa la lente, essa lo devia facendolo passare dal fuoco, tutti i raggi paralleli vengono deviati dunque se immaginiamo di porre un sensore alla destra e un oggetto alla sinistra sapremo che l'immagine si formerà ribaltata rispetto alla realtà.

## Equazione della lente sottile



Consideriamo il seguente schema che mostra le varie distanze nell'implementazione della lente sottile.

Dato che il triangolo di altezza  $u$  e di altezza  $h + k$  e il triangolo di base  $f$  e di altezza  $h$  sono simili, possiamo ricavare il primo pezzo della nostra equazione:

$$h + k = \frac{uh}{f}$$

Allo stesso modo, possiamo operare sui due triangoli alla destra della lente, ottenendo:

$$h + k = \frac{vk}{f}$$

Dato che i secondi membri sono uguali, eguagliando le due equazioni e facendo dei calcoli per semplificare (vedi slide) otteniamo la formula:

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

Notiamo come la stessa equazione funziona sia per l'occhio che per una macchina fotografica dimostrando l'efficacia di questa equazione.

Almeno una delle quantità tra  $u$ ,  $v$  ed  $f$  deve poter cambiare, altrimenti l'equazione sarebbe costante, possiamo cambiare solamente la  $v$ , la distanza della lente dal sensore in sostanza.

## Fattore di magnificazione

Consideriamo  $h/k = v/u = m$  dove  $m$  è un fattore di magnificazione.

Mettiamo caso dopo aver fotografato un oggetto con una determinata grandezza e un secondo oggetto a distanza  $u'$  quanto dovrà essere il fattore di magnificazione in modo tale da ottenere lo stesso effetto di ingrandimento?

Partendo dall'equazione della lente sottile troviamo, dove  $f$  non è altro che la nuova focale:

$$f = \frac{u' \cdot m}{m + 1}$$