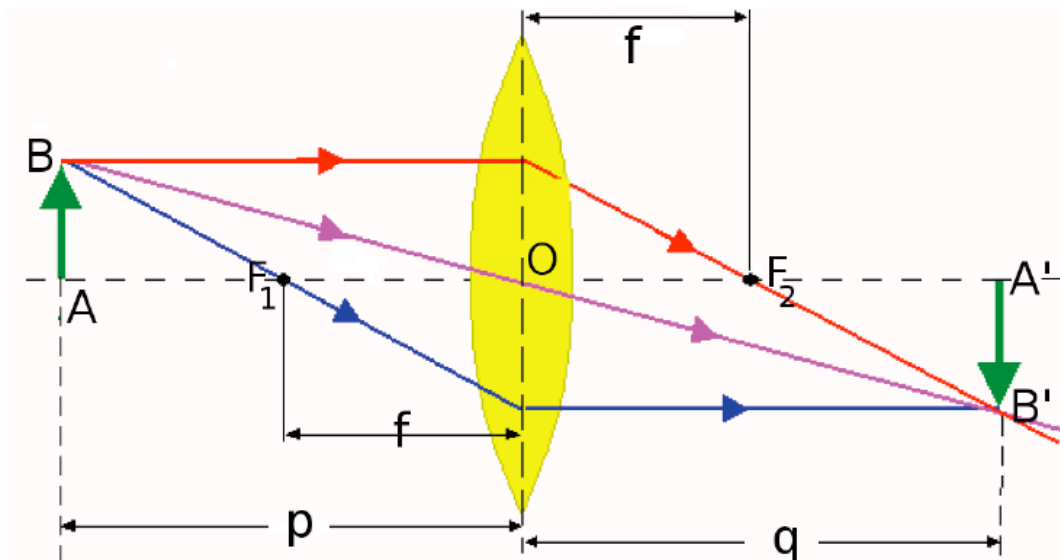


Lenti sottili: costruzione dell'immagine

La costruzione geometrica dell'immagine viene eseguita in base alle 3 seguenti regole:

- i raggi che passano per il centro della lente (O), definito come l'intersezione del piano della lente con l'asse ottico, non vengono deviati;
- i raggi paralleli all'asse ottico sono deviati dalla lente in modo tale da passare per il fuoco "a valle";
- proseguono paralleli all'asse della lente i raggi tali che essi o i loro prolungamenti all'indietro hanno attraversato il fuoco "a monte".

Due sole rette sono necessarie per localizzare la posizione di un punto immagine. Pertanto delle 3 regole enunciate, 2 sole bastano. L'uso della terza può servire per controllo.



MICROSCOPIO SEMPLICE

Si usa una lente convergente come *microscopio semplice* se si colloca tra fuoco e lente l'oggetto di cui si desidera un'immagine ingrandita. La lente così impiegata funge da *lente di ingrandimento*.

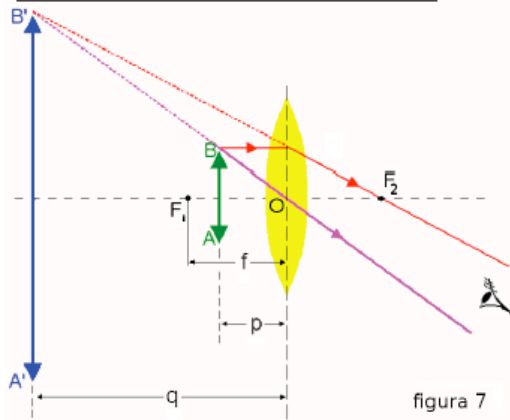


figura 7

Eseguendo la costruzione grafica (figura 7), si ottiene un'immagine virtuale diritta nello spazio oggetto. Con $f > p \geq 0$ il calcolo dà $q < 0$ e in base alla (7) si ottiene $M \geq 1$. L'immagine virtuale, formata dal prolungamento all'indietro dei raggi luminosi, è vista più grande dall'occhio dell'osservatore, ma più lontana e dove non è.



Dellebarre
Compound
Microscope
(circa 1777)

IL MICROSCOPIO: principi e componenti di base



Mr. Ellis'
Aquatic
Microscope
(circa 1700s)

Che cos'è un microscopio?

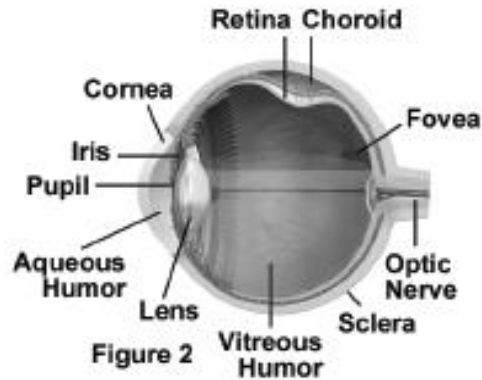
Il microscopio è uno strumento che rende visibili i dettagli più piccoli

Il microscopio compie tre operazioni:

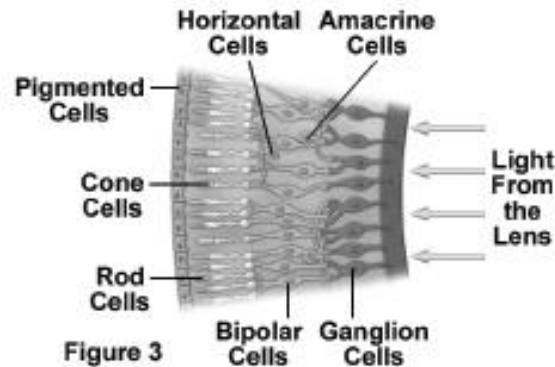
- 1) **Ingrandimento:** l'immagine del campione è ingrandita
- 2) **Risoluzione:** i dettagli nell'immagine sono separati
- 3) **Contrasto:** i dettagli sono resi visibili all'occhio umano o ad altri strumenti atti a rilevarli

Relazioni tra il microscopio e l'occhio umano

L'occhio umano percepisce i colori del visibile e le differenze di intensità luminosa (intensità che varia dal nero al bianco e tra tutte le tonalità di grigio)



Sezione occhio umano



Sezione retina

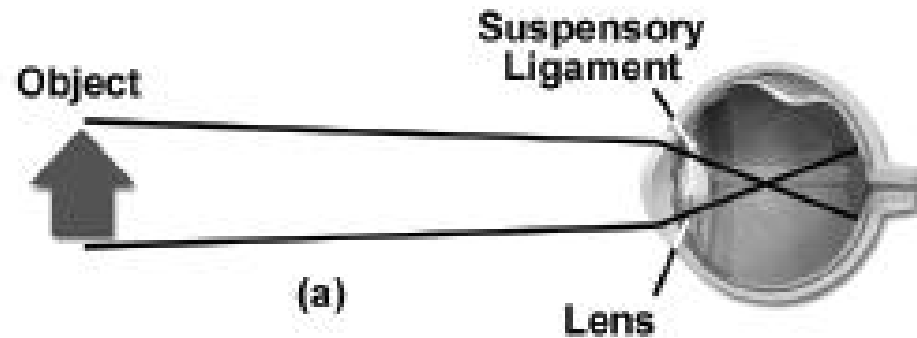
I recettori dei colori sono le cellule coniche (cone cells) e quelle che rilevano l'intensità luminosa sono le cellule a bastoncino (rod cells). Entrambi presenti nella retina.

La retina è situata nella parte posteriore dell'interno dell'occhio. La cornea e le lenti determinano il meccanismo di far entrare e di focalizzare la luce verso la retina.

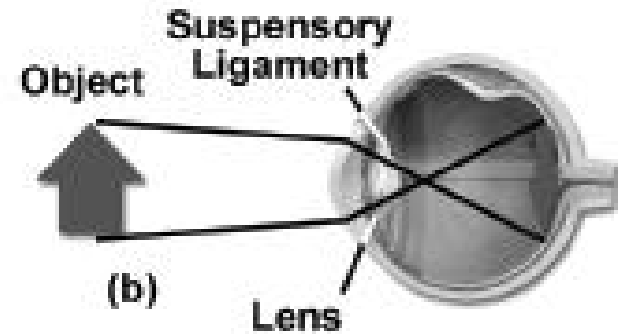
Da qui, parte il messaggio elettrochimico verso il cervello

L'occhio distingue chiaramente i dettagli di un immagine quando questa è diffusa sulla retina con un sufficiente angolo visuale

Oggetto posto lontano dall'occhio

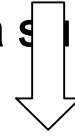


Oggetto posto vicino dall'occhio

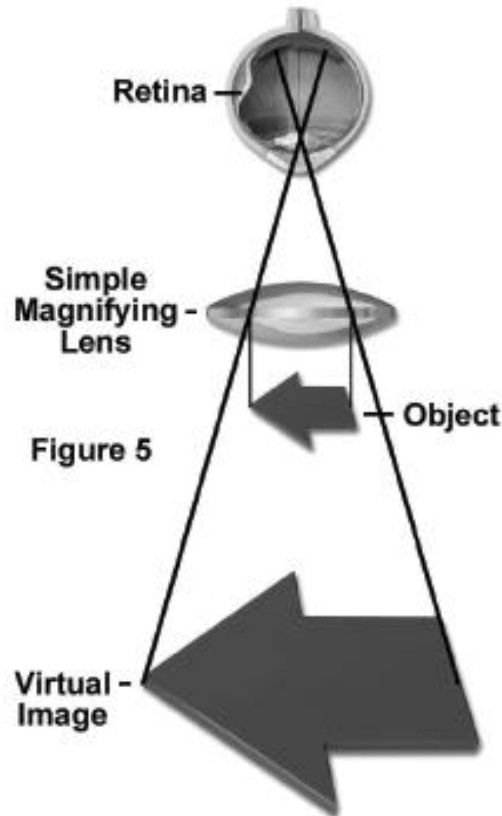


Il microscopio semplice

A causa della limitata capacità delle lenti dell'occhio di modificare la propria forma, gli oggetti molto vicini all'occhio non possono avere una immagine focalizzata sulla retina



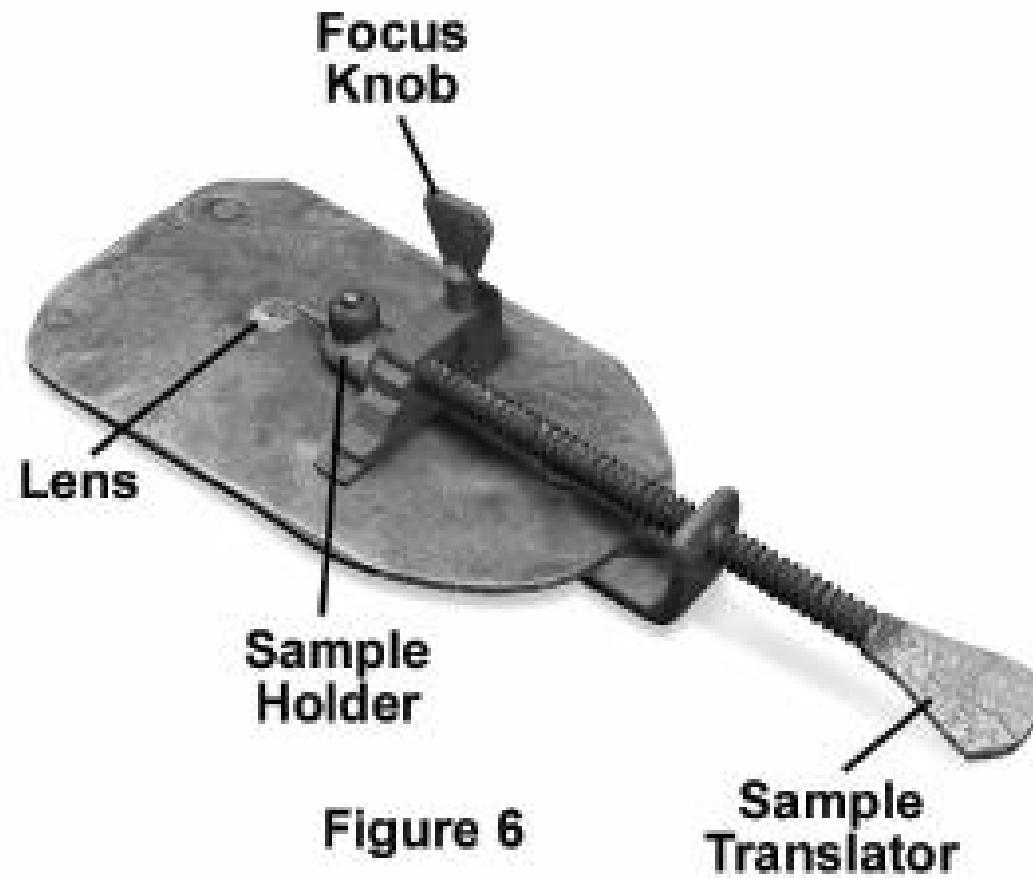
Lenti convesse (spesse al centro) sono stati utilizzati come lente d'ingrandimento o microscopio semplice



Il campione è focalizzato sulla retina grazie ad una lente d'ingrandimento posta tra l'oggetto e l'occhio

Limiti

Posizionamento del campione
Illuminazione
Aberrazione delle lenti
costruzione



Microscopio di Von Leeuwenhoek

Il microscopio composto (Galileo)

Il microscopio composto mostra

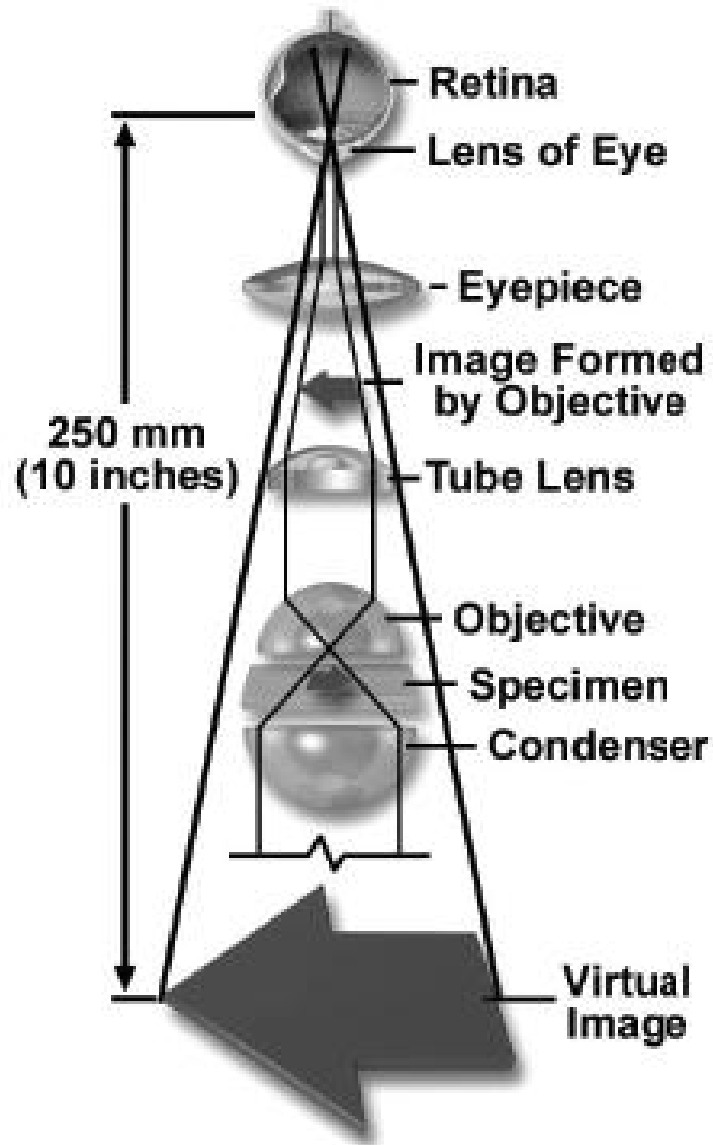
- 1. due lenti convesse allineati in serie: una lente vicino all'oggetto (obiettivo) e una lente vicino all'occhio (oculare)**
- 2. Mezzi che permettono il movimento delle lenti e del campione**

Il microscopio composto determina un ingrandimento a due stadi:

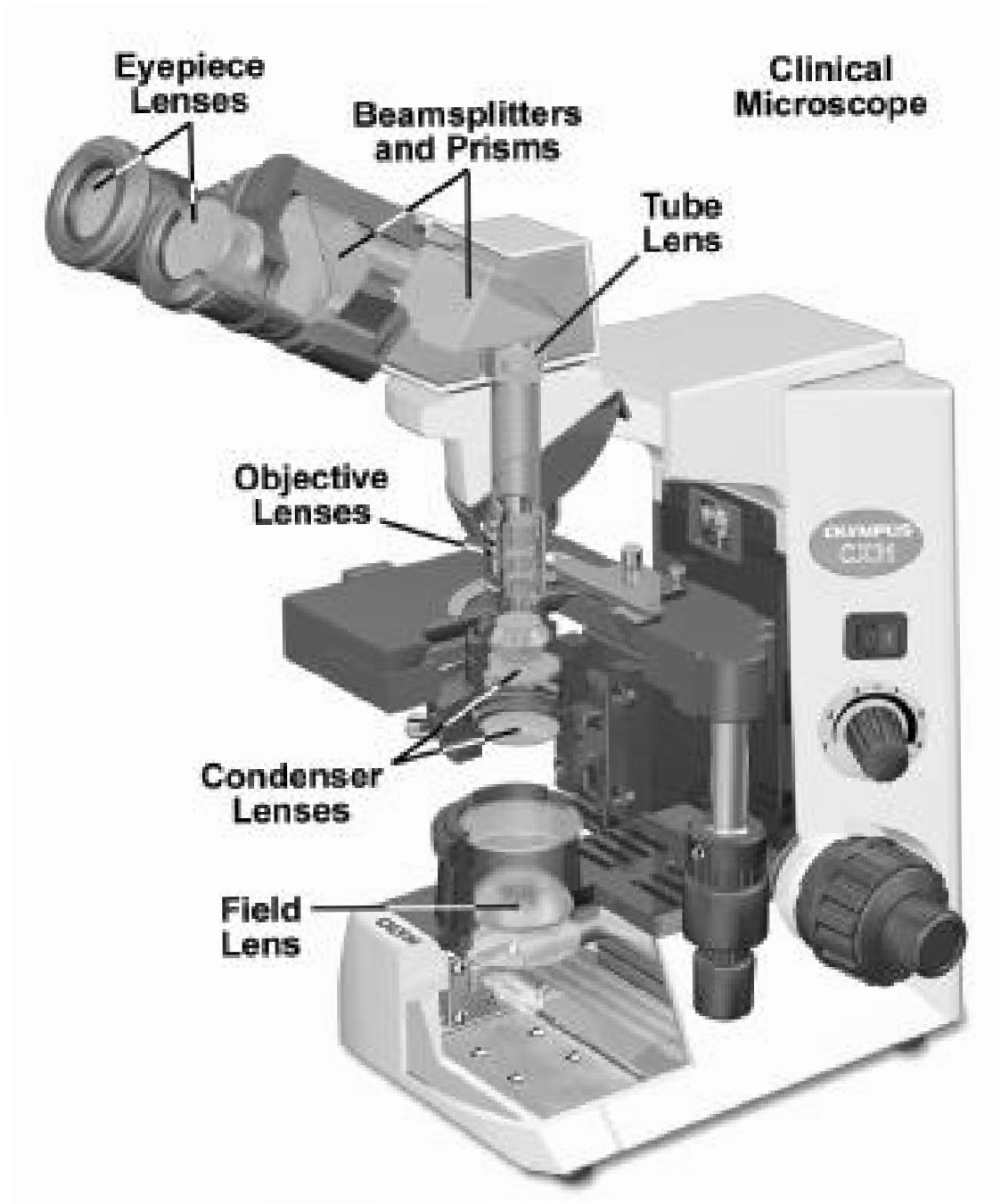
- 1. l'obiettivo proietta un'immagine ingrandita del campione nel tubo del microscopio**
- 2. l'oculare ingrandisce ulteriormente tale immagine**

Ad esempio: se si utilizza un obiettivo 10X ed un oculare 15X, l'ingrandimento totale sarà di 150X

Funzionamento di un microscopio



1. la luce di una lampada passa attraverso un condensatore;
2. quindi attraversa il vetrino con il campione posto su un'apertura della piastra porta-oggetti
3. la luce è poi raccolta dall'obiettivo
4. l'obiettivo insieme alle lenti posti nel tubo, focalizzano l'immagine del campione a livello del diaframma dell'oculare
5. l'immagine è poi vista dall'osservatore a una distanza di 250 mm dall'occhio



Considerazioni sulla formazione dell'immagine

L'immagine non deve essere solamente ingrandita ma deve essere anche chiara.

Risoluzione

Apertura numerica



Quando la luce dai vari punti del campione passa attraverso l'obiettivo, questi punti sono visti nell'immagine come piccoli dischi e non punti. Questo è causato dalla diffrazione e diffusione della luce.

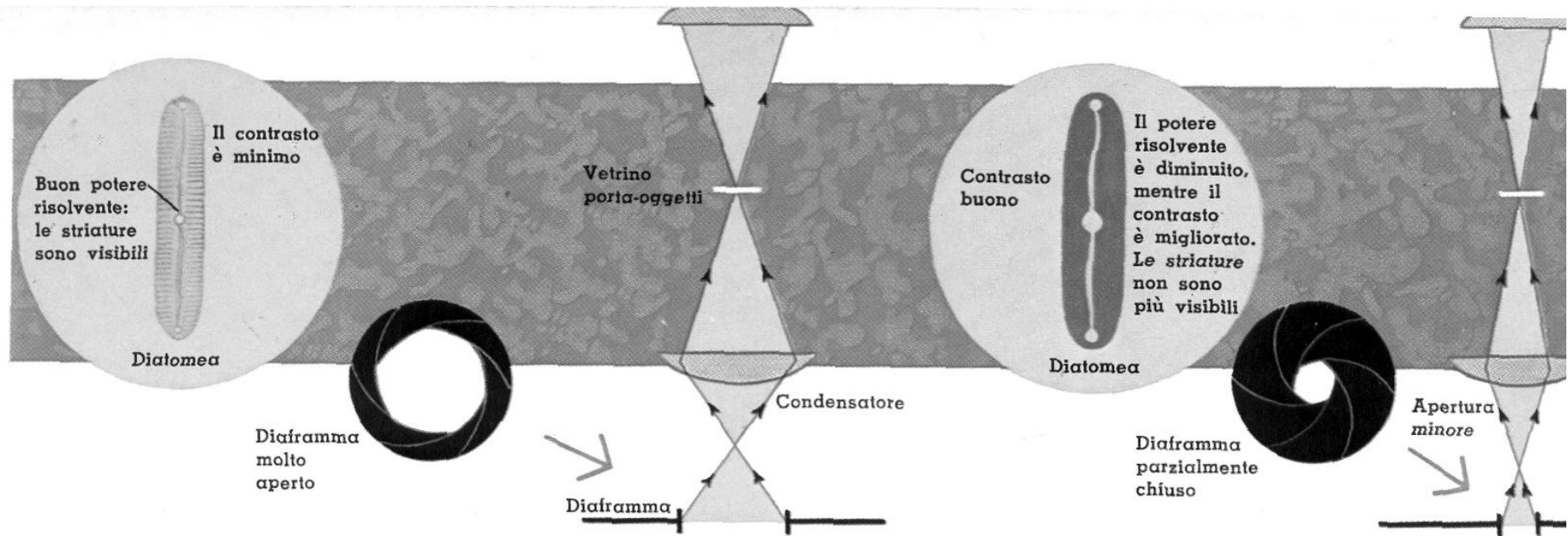
Tali dischi sul piano dell'immagine, consistono di piccoli cerchi concentrici luminosi e bui.

Più piccoli sono questi dischi, meno si sovrappongono e maggiore saranno i dettagli dell'immagine.

La capacità di distinguere chiaramente i dettagli più minuti del campione è conosciuta con il nome di potere di risoluzione



Il potere risolvete del microscopio è misurato dalla minima distanza che separa due punti o due linee vicine ma ancora distinguibili.



Se si riduce l'apertura del diaframma di apertura del condensatore, il contrasto aumenta ma diminuisce il potere risolvete.
Comunemente si trova un compromesso fra i due estremi

Microscopio composto

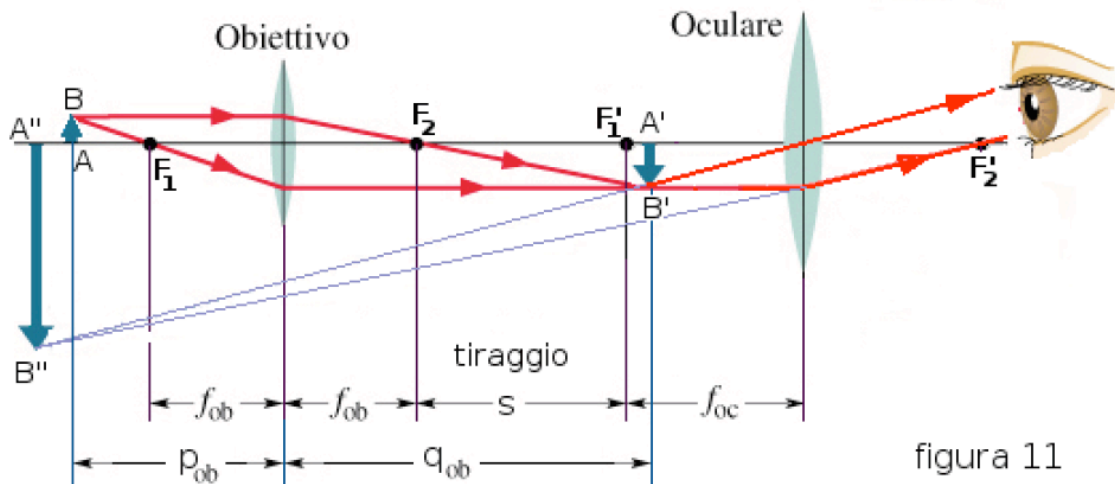


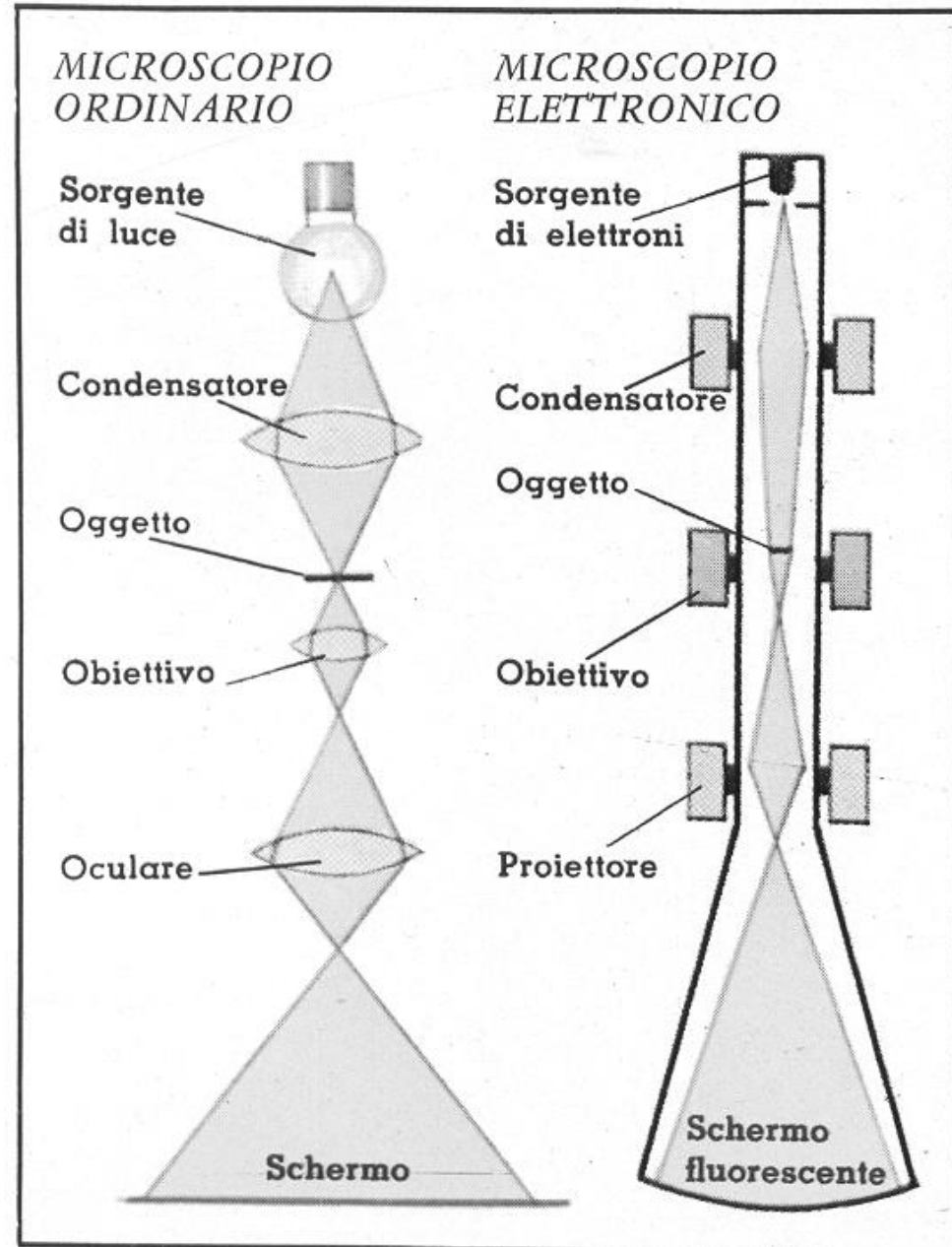
figura 11

Come si vede nella figura 11, l'obiettivo forma dell'oggetto AB l'immagine reale capovolta $A'B'$, la quale a sua volta costituisce l'oggetto per l'oculare. La distanza tra obiettivo e oculare è regolata in modo che l'immagine $A'B'$ si formi tra il fuoco dell'oculare e lo stesso oculare, il quale funziona da lente di ingrandimento formando l'immagine virtuale $A''B''$ di $A'B'$. In definitiva il microscopio composto funziona in maniera analoga al microscopio semplice, formando un'immagine virtuale e ingrandita dell'oggetto che si vuole esaminare.

Microscopio elettronico

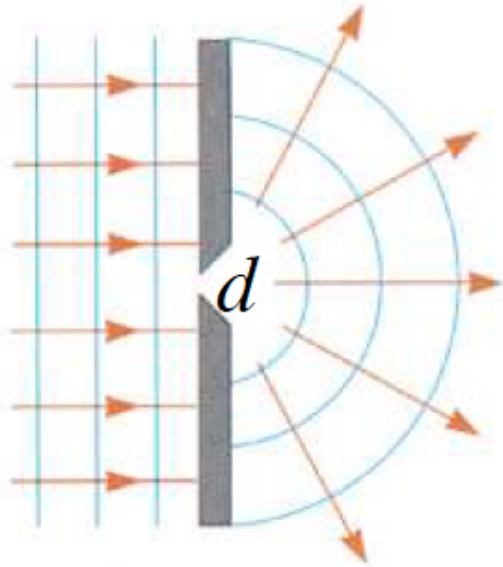
Particolare tipo di microscopio in cui l'osservazione dell'oggetto è realizzata tramite un fascio di elettroni . Questo permette di ingrandire l'oggetto più di 100.000 volte ad un potere risolvante dell'ordine dell'angstrom

Sfrutta la relazione di proporzionalità inversa tra lunghezza d'onda e potere di risoluzione: la lunghezza d'onda del fascio di elettroni è più piccola di quella dei fotoni



Introduzione alla diffrazione

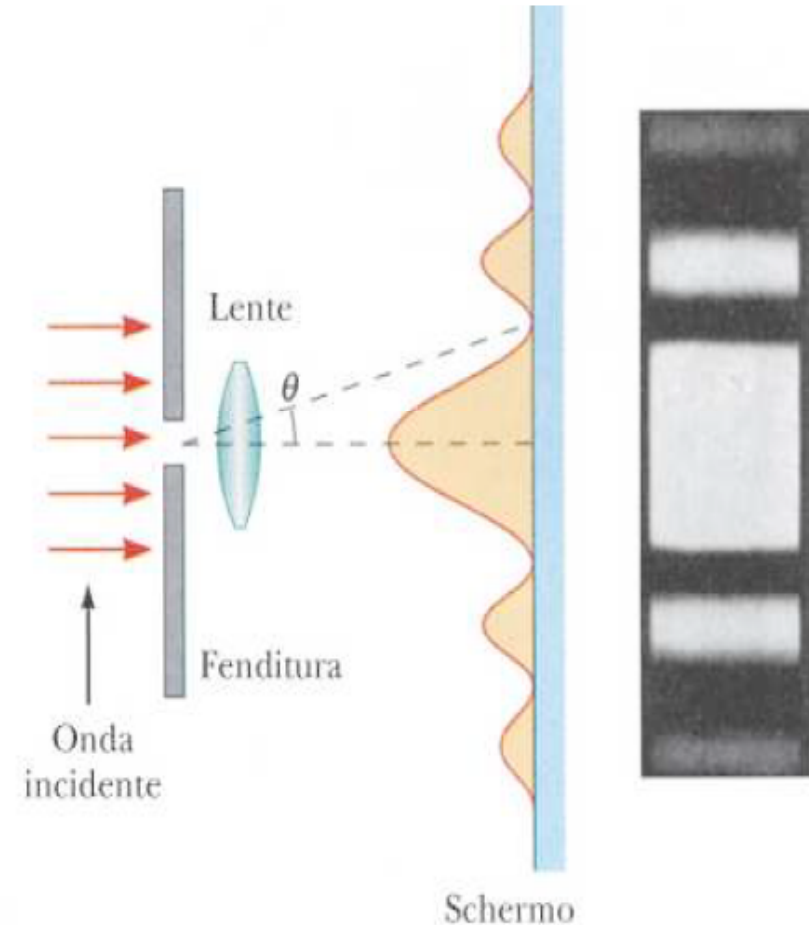
Diffrazione



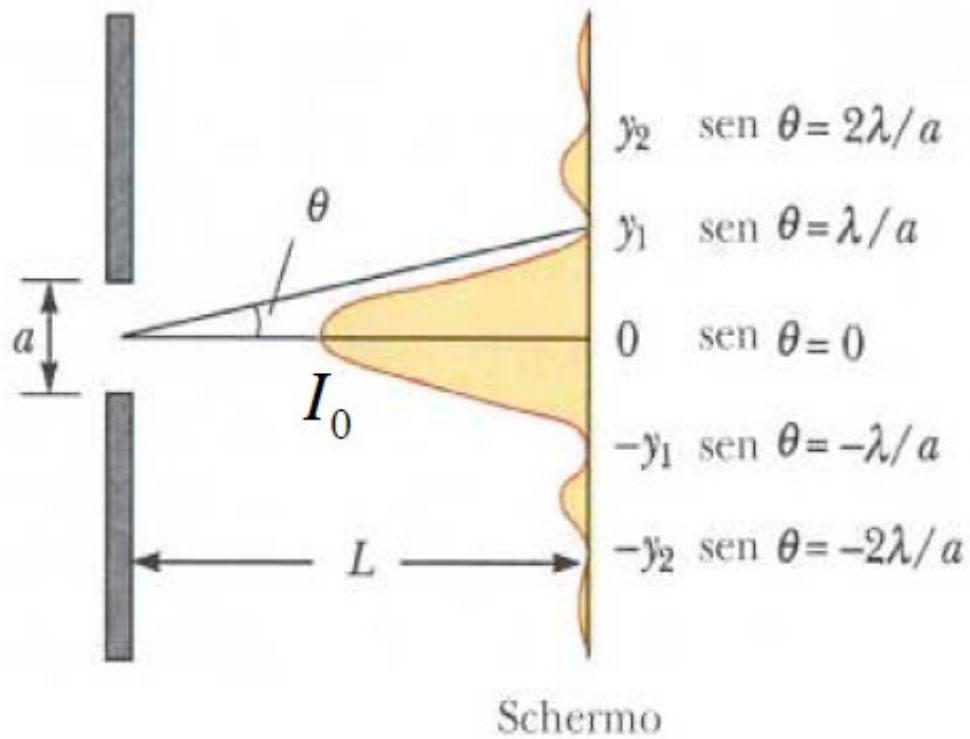
Condizione per osservare
i fenomeni di diffrazione

$$\lambda > d$$

Si ha diffrazione quando le onde passano per piccole aperture, o intorno a piccoli ostacoli. Si ha un allargamento del fronte d'onda, ben oltre la normale propagazione rettilinea. Le immagini non sono nette (come idealmente sarebbe per i raggi rettilinei) ma con zone di luce e di ombra. Vi è un massimo centrale di intensità luminosa, circondato da massimi e minimi secondari .



Luce diffratta da piccola apertura



a = larghezza apertura

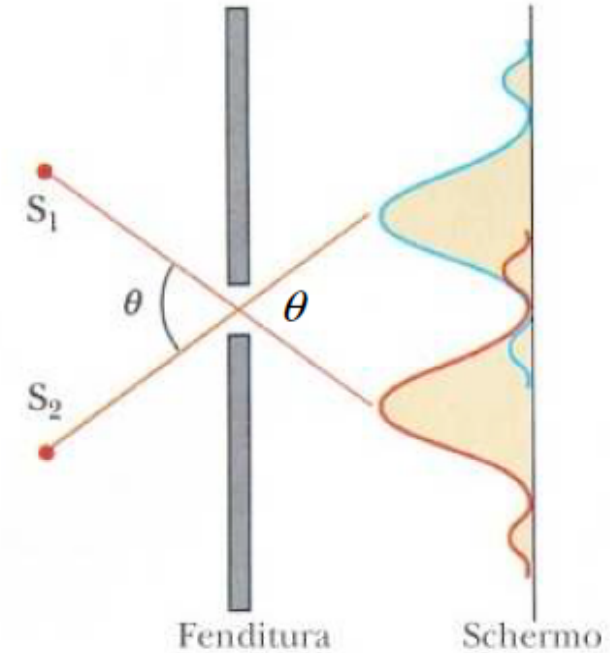
λ = lunghezza d'onda

θ = angolo direzione luce diffratto

Introduzione alla diffrazione

La diffrazione limita le capacità degli strumenti ottici di distinguere (“risolvere”) immagini di oggetti tra loro vicini. Le immagini sono costruite facendo passare la luce attraverso lenti e/o aperture (esempio le immagini delle due sorgenti quasi puntiformi S_1 e S_2 , di separazione angolare θ) per cui l’immagine non è mai netta ma costituita da un massimo centrale allargato e “sfuocato”, con altri massimi secondari di contorno. Per decidere quando due immagini possono dirsi risolte, si usa la condizione:

Criterio di Rayleigh



Criterio di Rayleigh

Le immagini sono risolte quando il massimo centrale dell'una coincide col primo minimo dell'altra.

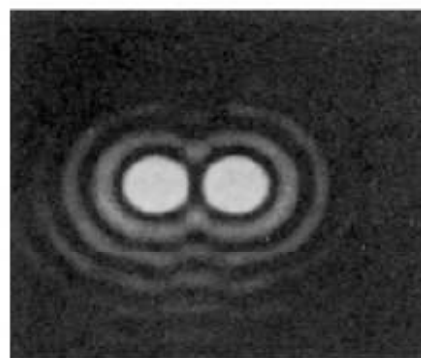
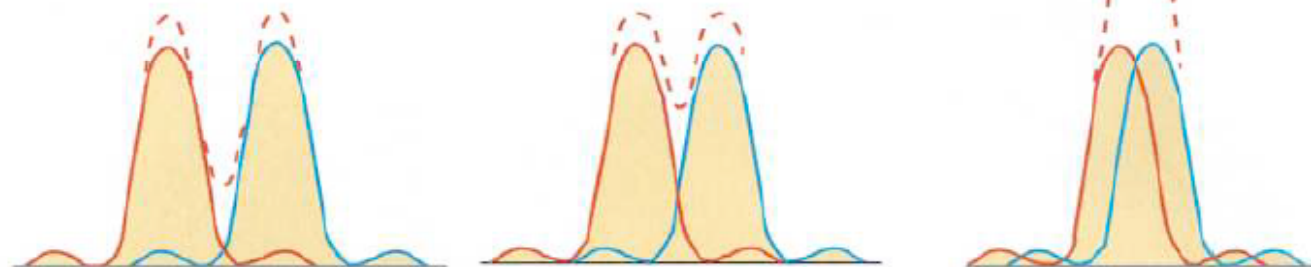
Per aperture rettangolari, il primo minimo si trova a $\theta_{\min} \cong \frac{\lambda}{a}$

(vedi la pag. precedente) che è quindi l'angolo minimo con cui possiamo dire di osservare separati due oggetti (un esempio si osserva nella figura centrale).

Per aperture circolari, il primo minimo si trova a $\theta_{\min} \cong 1.22 \frac{\lambda}{a}$

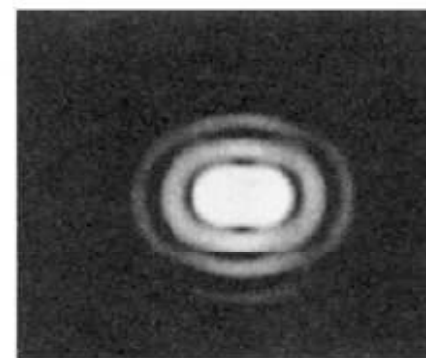
Si può aumentare la "risoluzione" delle immagini diminuendo la lunghezza d'onda; questa è la ragione per cui si sono inventati il microscopio a raggi X, il microscopio elettronico etc.

Figure di diffrazione di due sorgenti puntiformi, per diverse separazioni angolari



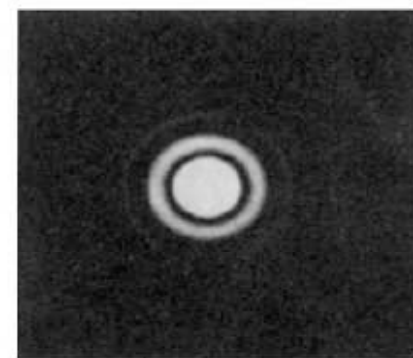
(a)

Sorgenti distanti,
immagini ben risolte



(b)

Sorgenti vicine,
immagini appena risolte



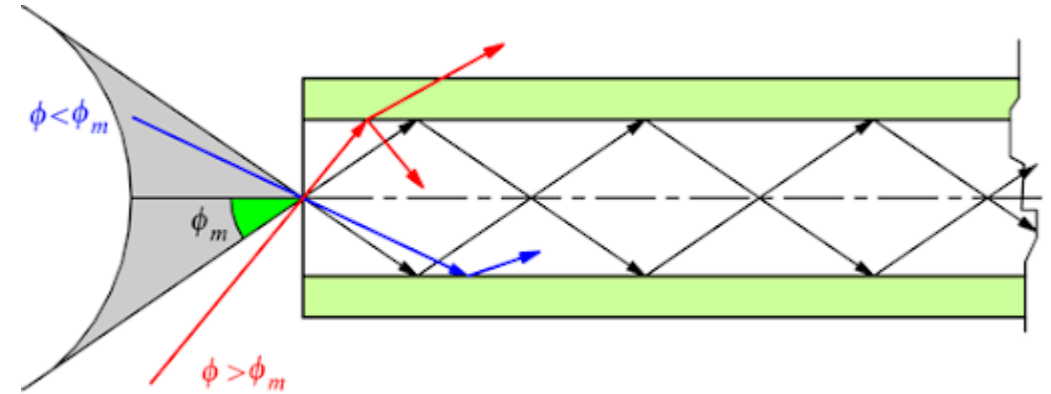
(c)

Sorgenti molto vicine,
immagini non risolte

Esercizio fibra ottica

La figura mostra un raggio di luce (freccia rossa) che entra nell'estremità di una fibra ottica con un angolo di incidenza $\phi = 50^\circ$. L'indice di rifrazione della fibra è di 1,62.

Determina se ci sia rifrazione e qual è l'angolo ϑ formato dal raggio con la normale quando raggiunge la superficie laterale della fibra.



SVOLGIMENTO

Il raggio di luce passa dall'aria alla superficie interna della fibra ottica, che la fa deviare in un'altra direzione.

Quindi si passa dall'**aria** alla **fibra ottica**. Nel problema abbiamo un raggio di luce che entra in una fibra ottica con un certo angolo rispetto alla NORMALE alla superficie. Successivamente viene rifratto con un altro angolo.

Avendoci la rifrazione **di** un raggio luminoso tra due mezzi con indice **di** rifrazione diverso, possiamo scrivere l'equazione di Snell:

$$\sin(\phi) n_i = \sin(\vartheta) n_r$$

- n_i è l'indice di rifrazione del primo mezzo, nel nostro caso l'aria, cioè 1
- n_r è quello della fibra ottica.

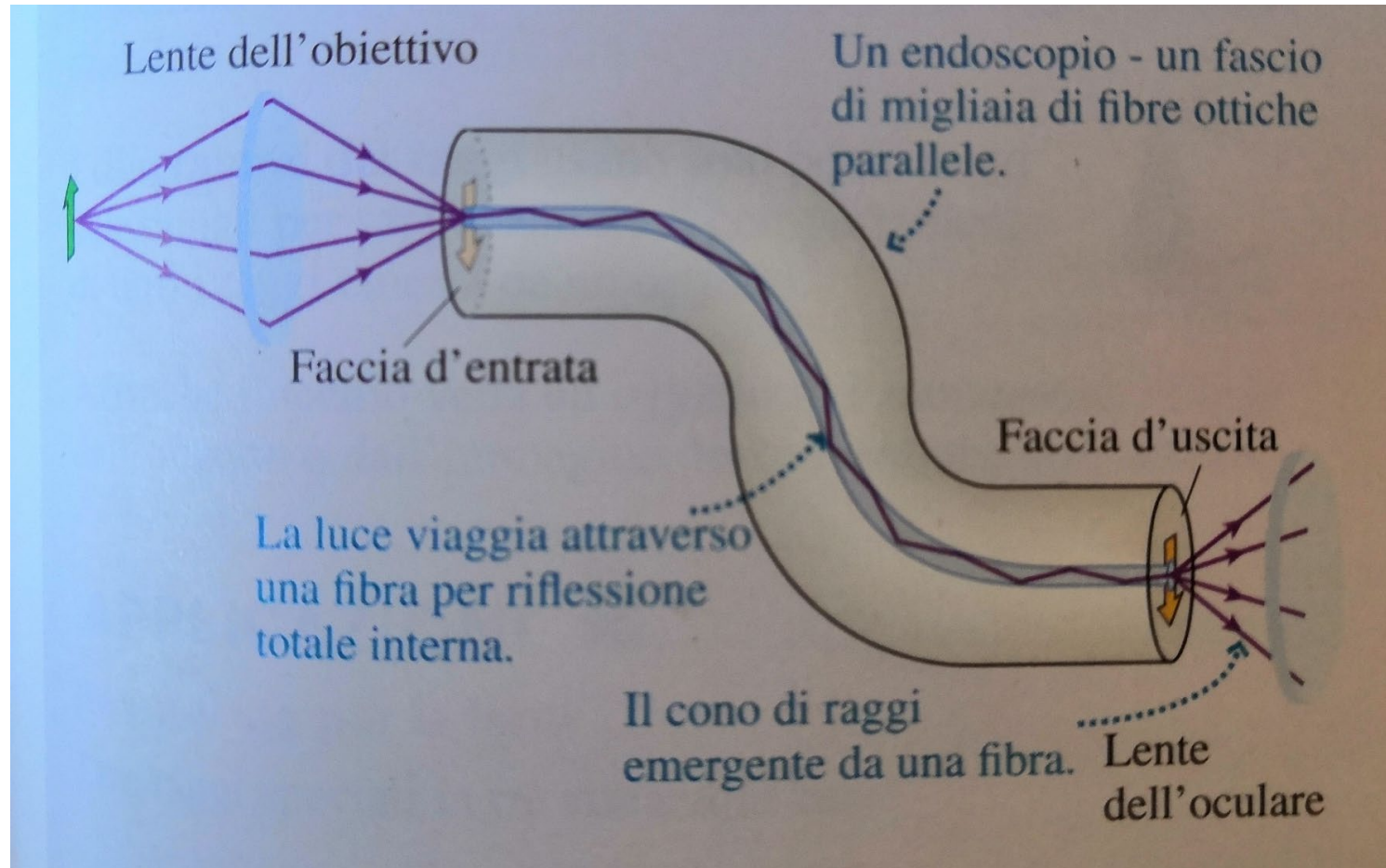
Sostituiamo i dati nell'equazione. Risulta: $\sin(50) \cdot 1 = \sin(\vartheta) \cdot 1,62$

ϑ , ovvero l'angolo formato dal raggio con la normale quando tocca la superficie interna della fibra è la nostra incognita.

$$\sin(\vartheta) = 0,4728 \quad \rightarrow \vartheta = 28.2$$

C'è rifrazione?

Fibra ottica: l'endoscopio

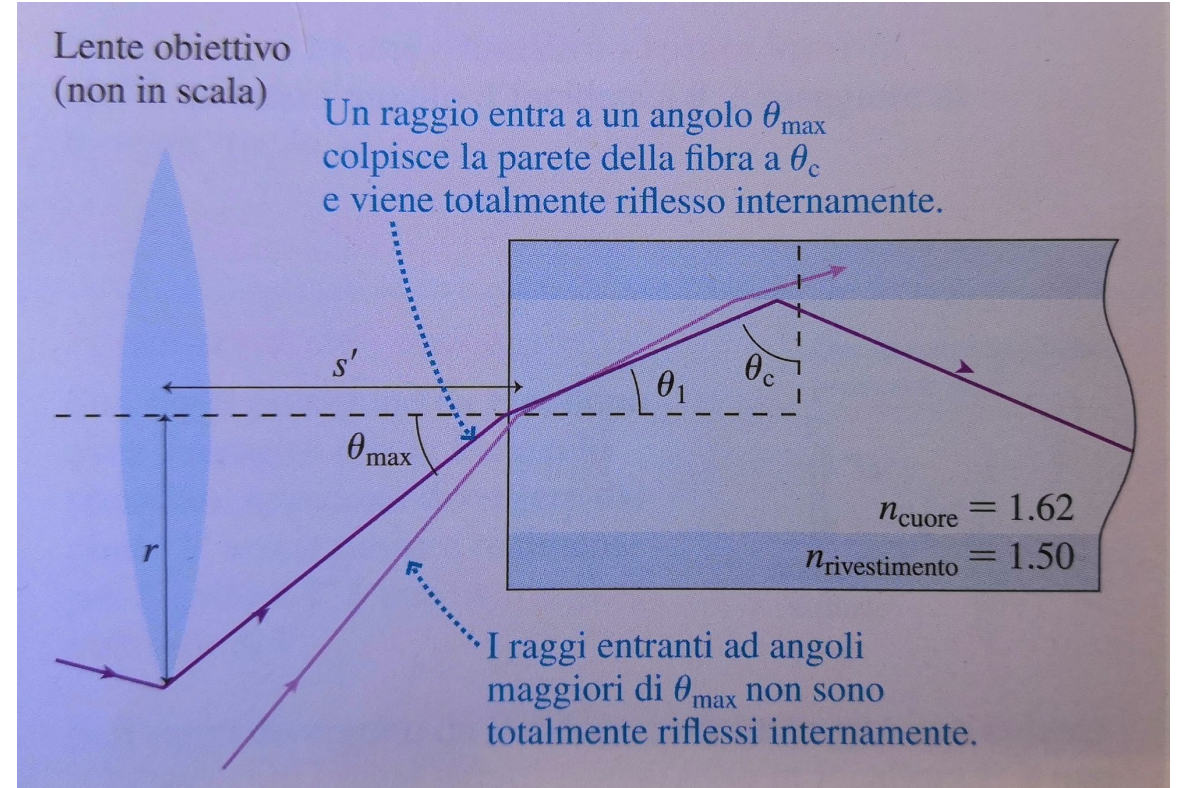


Fascio di fibre ottiche stretto che puo' essere inserito con piccola incisione nel corpo umano.

Usando la riflessione interna, le fibre portano fuori l'immagine, che viene poi osservata attraverso un oculare con una lente.

Fibra ottica: l'endoscopio

- Qual e' l'angolo massimo di entrata del raggio per ottenere riflessione interna totale?
- Calcoliamo prima l'angolo critico
- $\theta_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) = \arcsin\left(\frac{n_{\text{rivestimento}}}{n_{\text{cuore}}}\right) = \arcsin\left(\frac{1.50}{1.62}\right) = 67.8^\circ$
- Questo angolo corrisponde a un angolo di entrata nella fibra $\theta_1 = 90^\circ - 67.8^\circ = 22.2^\circ$
- L'angolo di entrata nell'aria e':
- $n_{\text{aria}} \sin \theta_{\text{max}} = 1 * \sin \theta_{\text{max}} = n_{\text{cuore}} \sin \theta_1 = 1.62 * \sin 22.2^\circ = 0.612$
- $\theta_{\text{max}} = 37.7$



Fibra ottica: l'endoscopio

- Una lente obiettivo tipica ha 3mm di diametro e puo focalizzare un oggetto posto 3 mm davanti ad essa. Quale lunghezza focale dovrebbe avere la lente perche I raggi dalla sua estremita' entrino nella fibra ad un angolo θ_{max} ?

- La distanza della lente dall'entrata della fibra (ovvero dell'immagine, quindi s') e' legata al raggio della lente $r = 1.5$ mm dalla relazione:

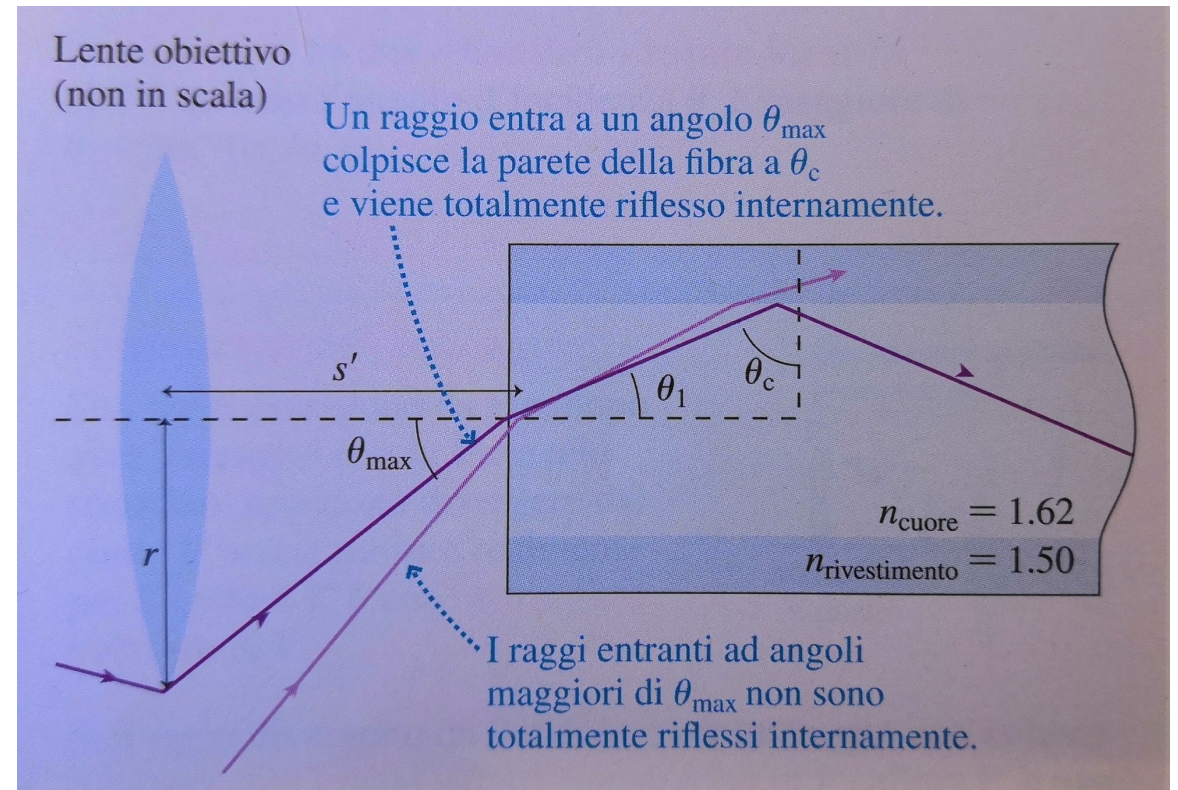
$$\frac{r}{s'} = \tan \theta_{max}$$

$$\text{quindi } s' = \frac{r}{\tan \theta_{max}} = \frac{1.5\text{mm}}{\tan 37.7^\circ} = 1.94 \text{ mm}$$

- Usando l'equazione lenti sottili:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{3.0} + \frac{1}{1.94} = 0.849\text{mm}^{-1}$$

$$\text{quindi } f = 1.18 \text{ mm}$$

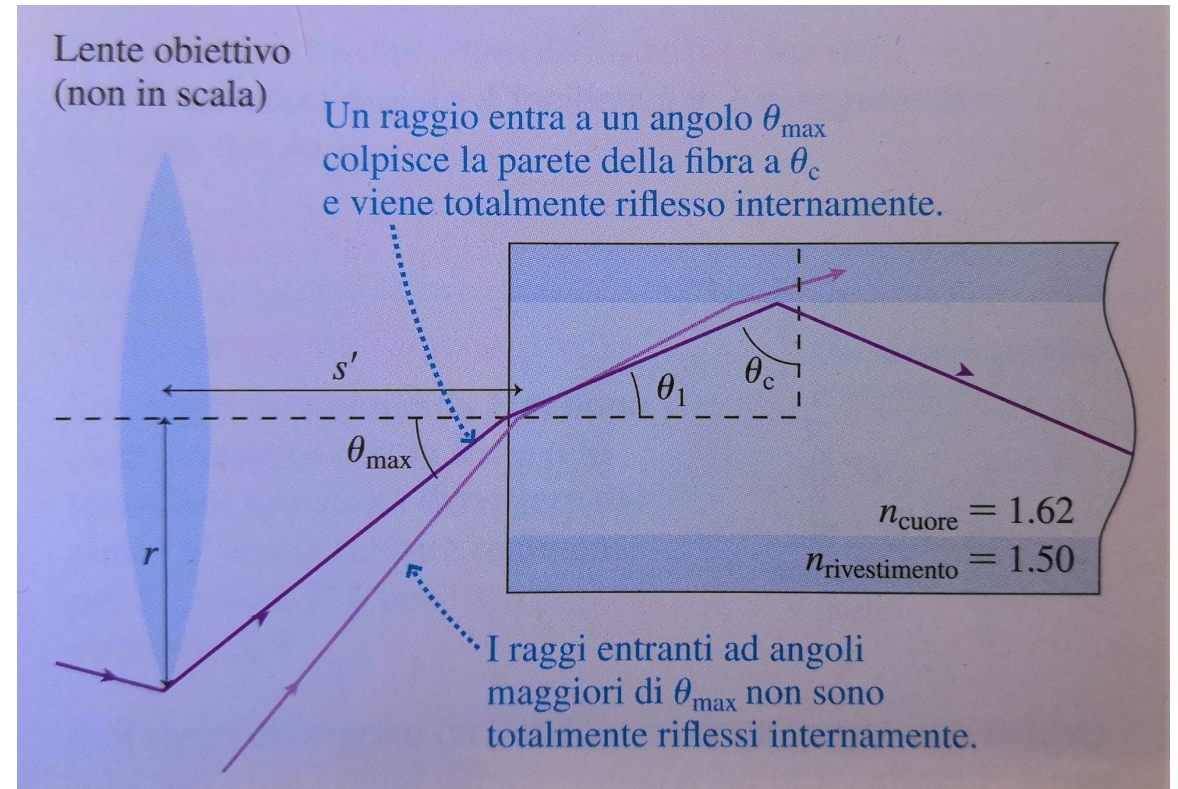


Fibra ottica: l'endoscopio

- Qual e' l'ingrandimento di questa lente?

$$m = -\frac{s'}{s} = -\frac{1.94\text{mm}}{3.0\text{mm}} = -0.65$$

- La distanza dell'oggetto e' effettivamente maggiore della lunghezza focale di 1.2 mm, come deve essere nel caso di lente convergente che produce immagini reali
- Lente convergente, immagine a distanza $> f$
→ immagine reale e capovolta → $m < 0$



Regole segni

L'equazione delle lenti sottili

Per una lente o uno specchio curvo, la distanza dell'oggetto s , la distanza dell'immagine s' e la lunghezza focale f sono legate dall'equazione delle lenti sottili:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

L'**ingrandimento** di una lente o di uno specchio è $m = -s'/s$.

La **convenzione dei segni** per l'equazione delle lenti sottili:

Quantità	Positiva quando	Negativa quando
s	Sempre	Non trattato
s'	Immagine <i>reale</i> ; dalla parte opposta della lente rispetto all'oggetto, o davanti allo specchio	Immagine <i>virtuale</i> ; dalla stessa parte della lente rispetto all'oggetto, o dietro allo specchio
f	Lente convergente o specchio concavo	Lente divergente o specchio convesso
m	L'immagine è dritta.	L'immagine è capovolta.

Riassunto ottica

$$c = \lambda \cdot \nu \quad \nu = 1/T$$

$$n = c / v \quad n > 1$$

$$\theta_i = \theta_{rifl}$$

$$n_i \sin \theta_i = n_r \sin \theta_r$$

$$\Delta = t \frac{\sin(\theta_1 - \theta_2)}{\cos \theta_2}$$

Riassunto ottica

$$\text{sen } \theta_{\text{limite}} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

$$G = \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}$$