

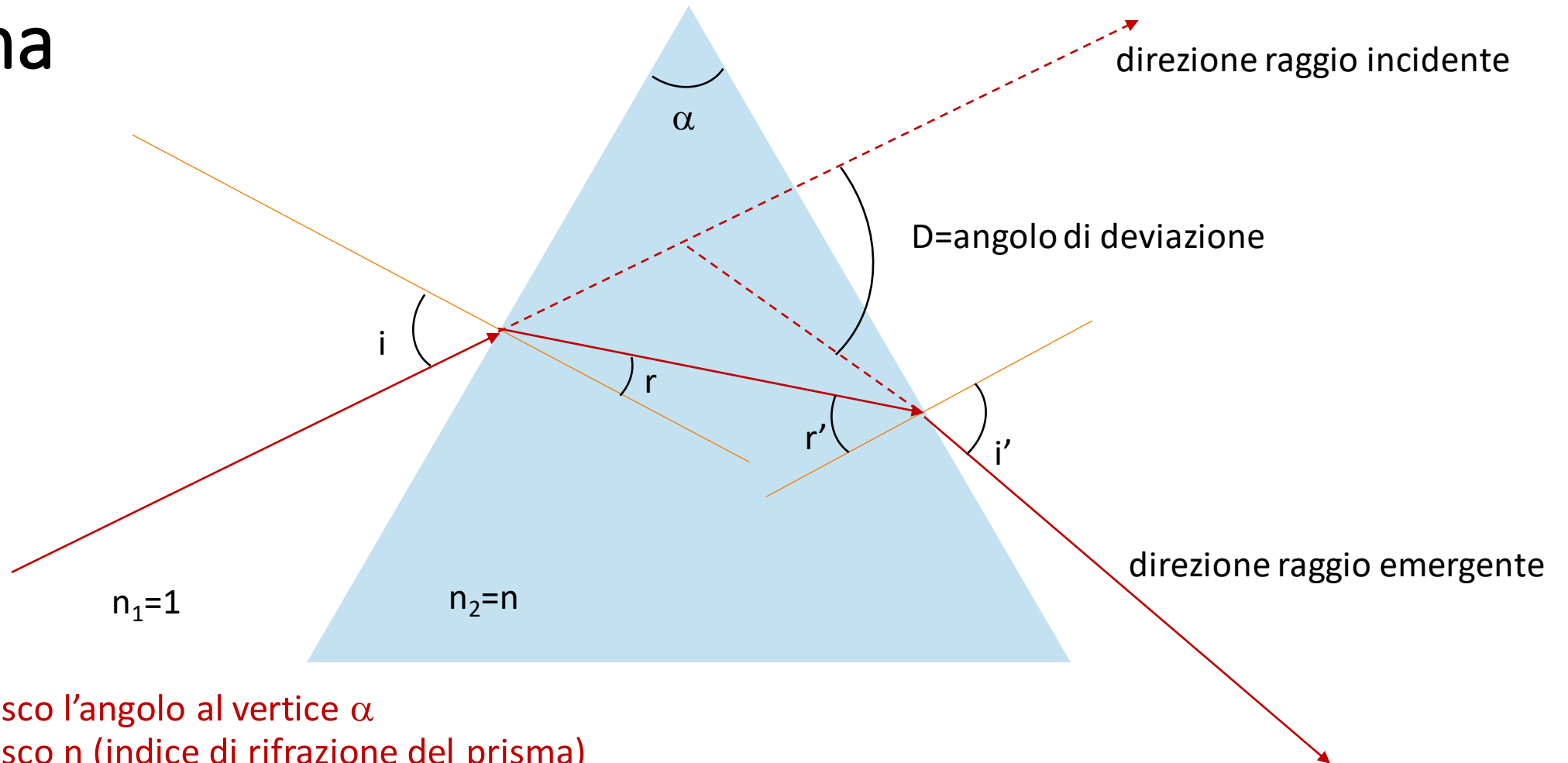
Esperimentazioni 2

Modulo di Ottica e Fisica Moderna

Lezione 4.2

Lo spettroscopio

Prisma



IPOTESI:

- conosco l'angolo al vertice α
- conosco n (indice di rifrazione del prisma)

TESI:

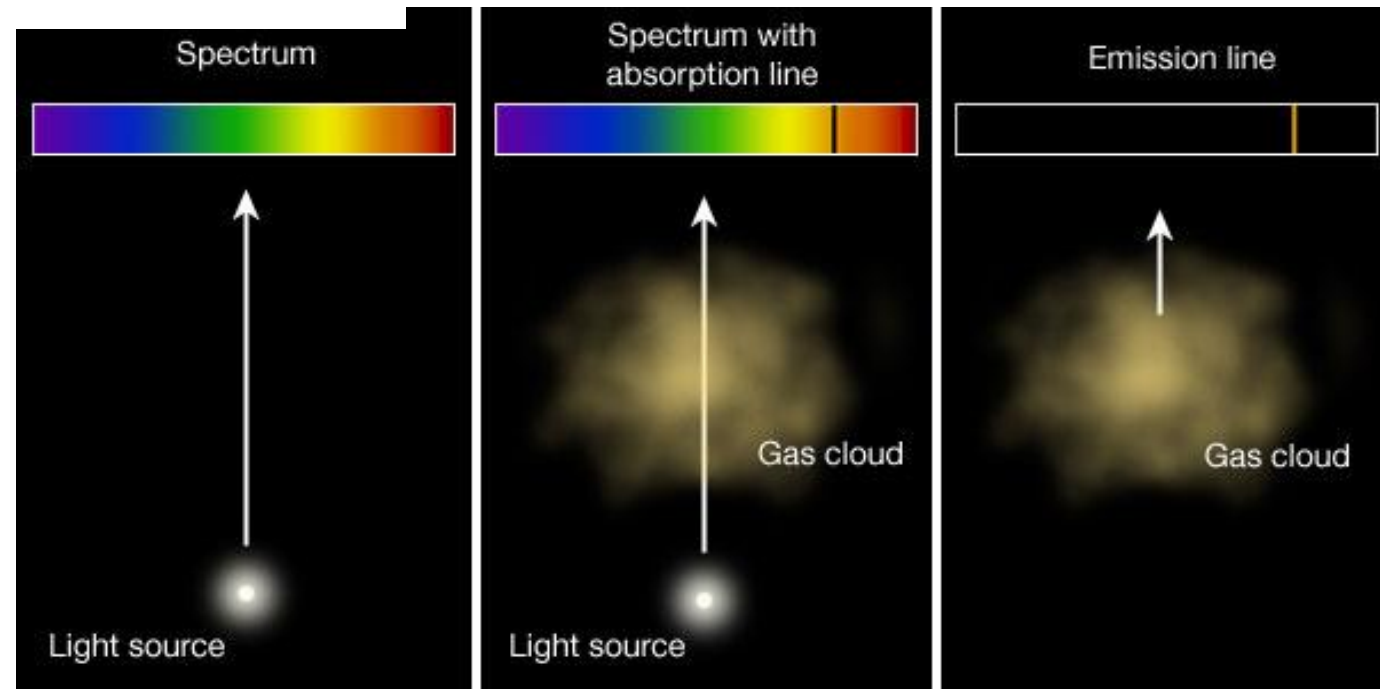
- determinare l'angolo D di deviazione tra direzione del raggio incidente e quella del raggio emergente

METODO:

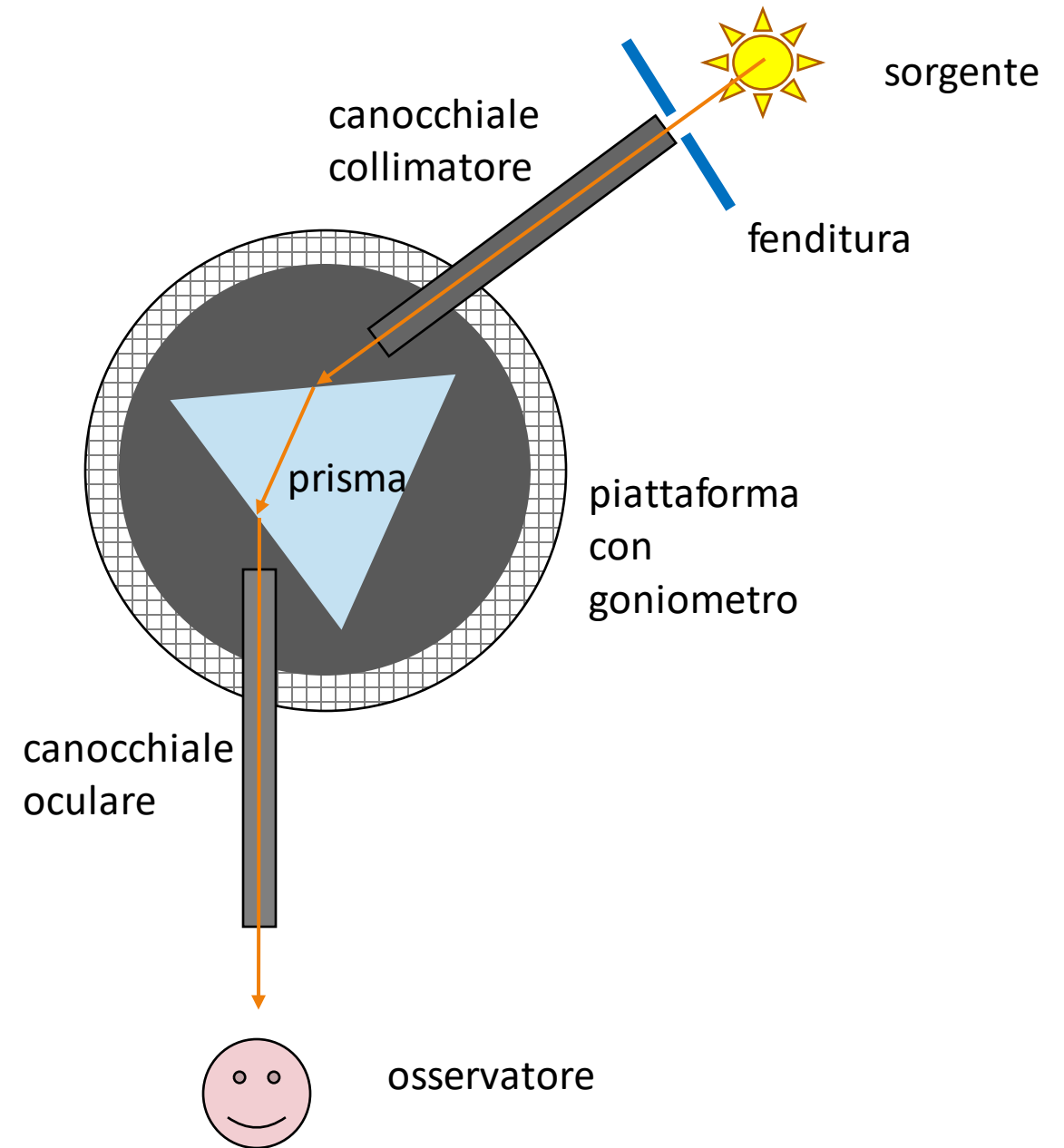
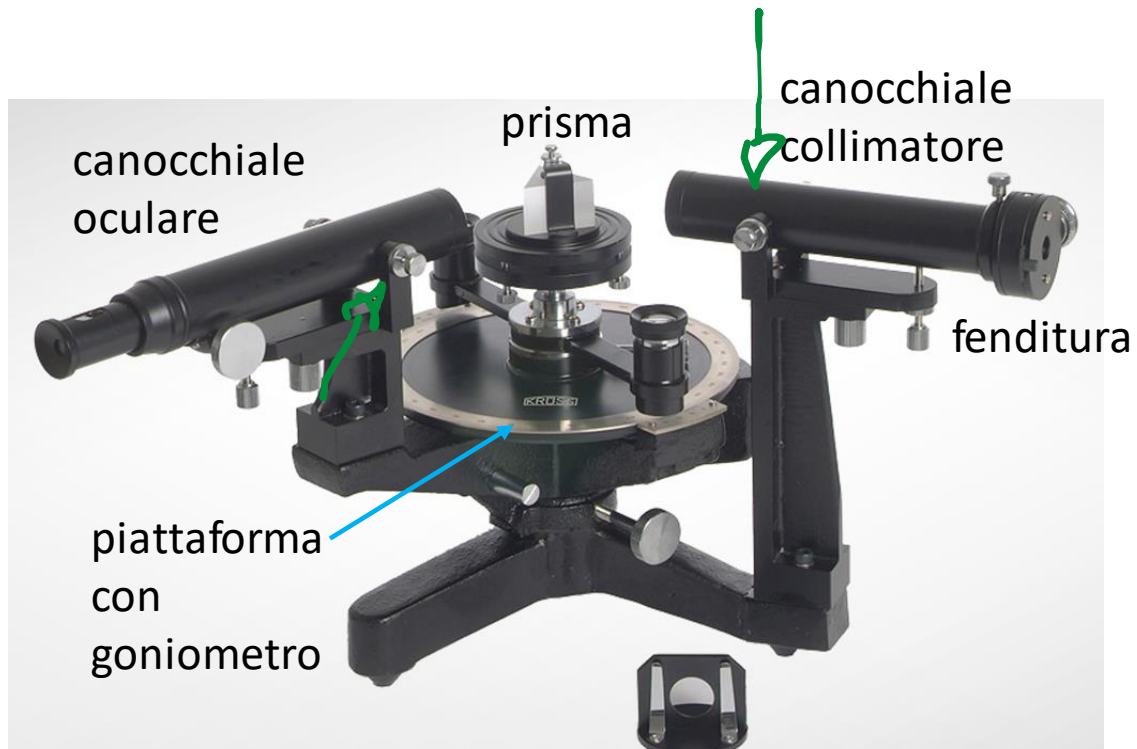
- applico la legge di Snell
- considero la geometria del sistema, noto α

Spettroscopio di Kirchhoff-Bunsen

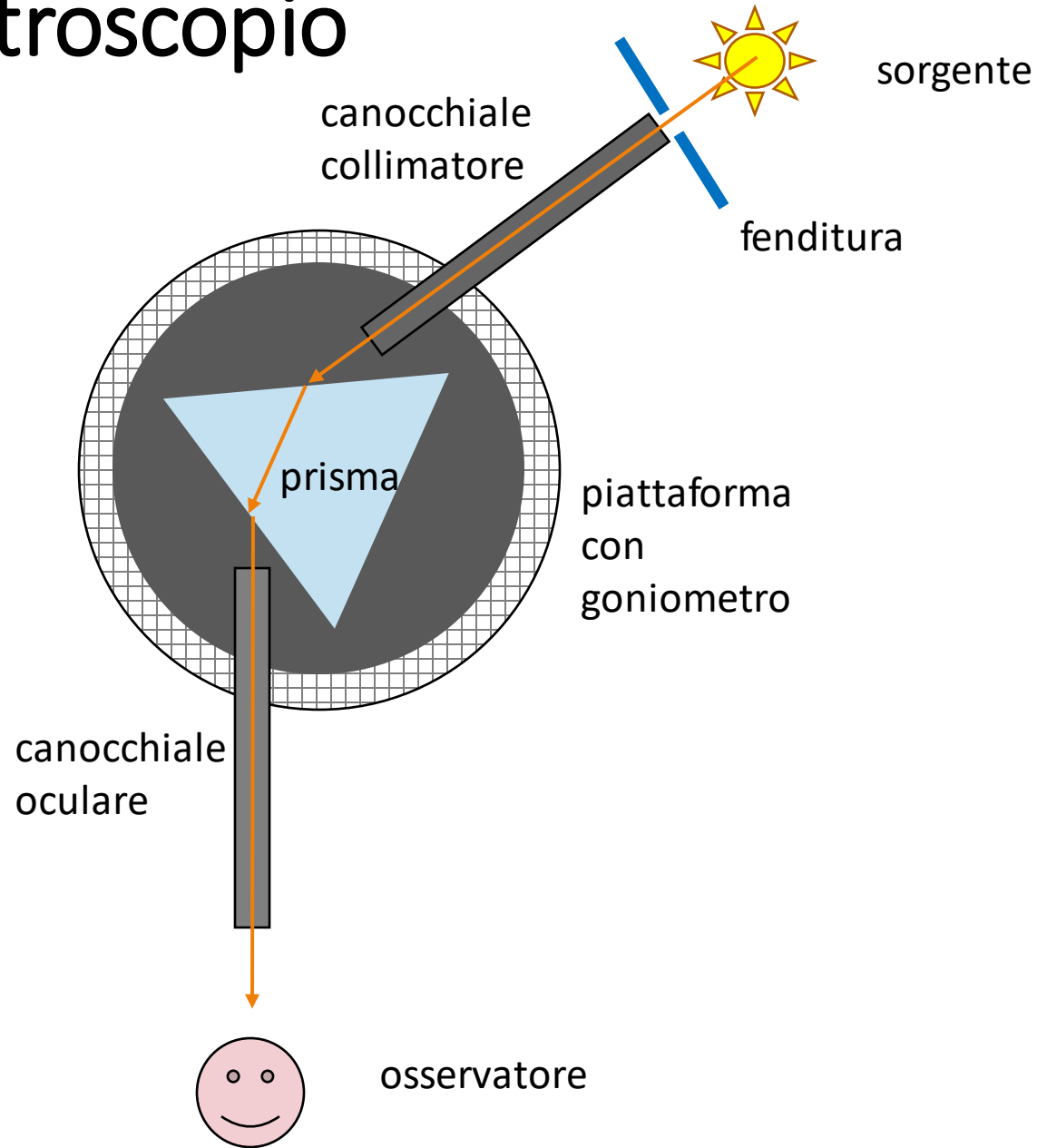
- E' stato uno strumento fondamentale per l'inizio della fisica atomica
- E' basato sull'uso di un prisma (o reticolo di diffrazione) fissato su una piastra solidale a un goniometro
- Sfrutta un sistema di cannocchiali per focalizzare i fasci di luce provenienti dalla sorgente
- La sorgente usata può essere una lampada spettrale (vapori di Na, Hg ad alta o bassa pressione) oppure una lampada a spettro continuo
- Può analizzare spettri di emissione o assorbimento
- Si può usare per ricavare l'andamento di $n=n(\lambda)$ per diversi materiali trasparenti



Schema dello spettroscopio

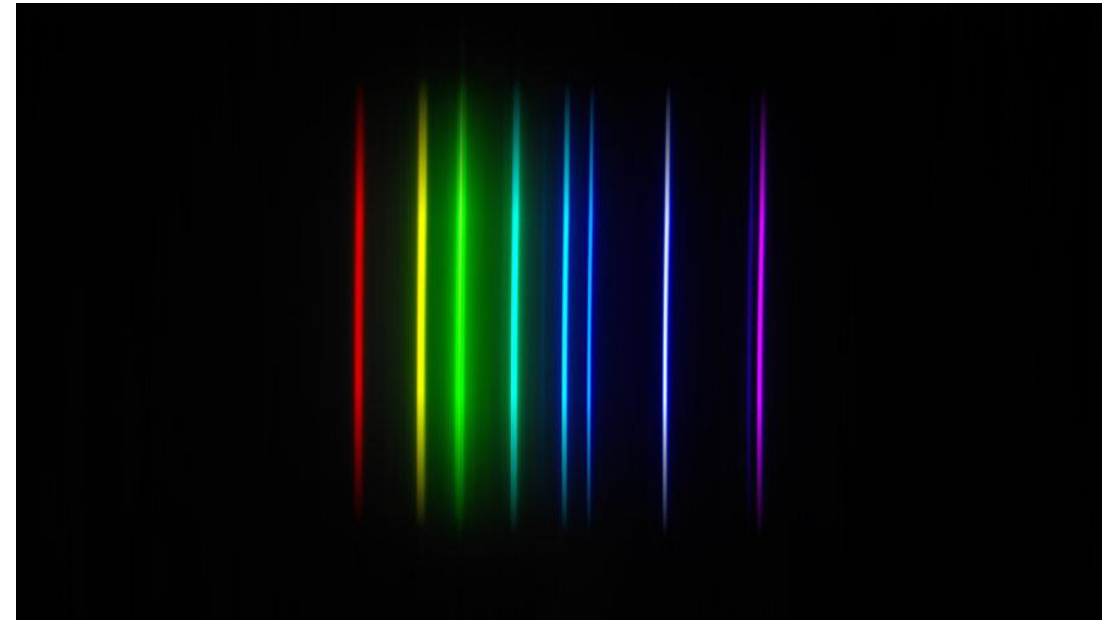


Schema dello spettroscopio

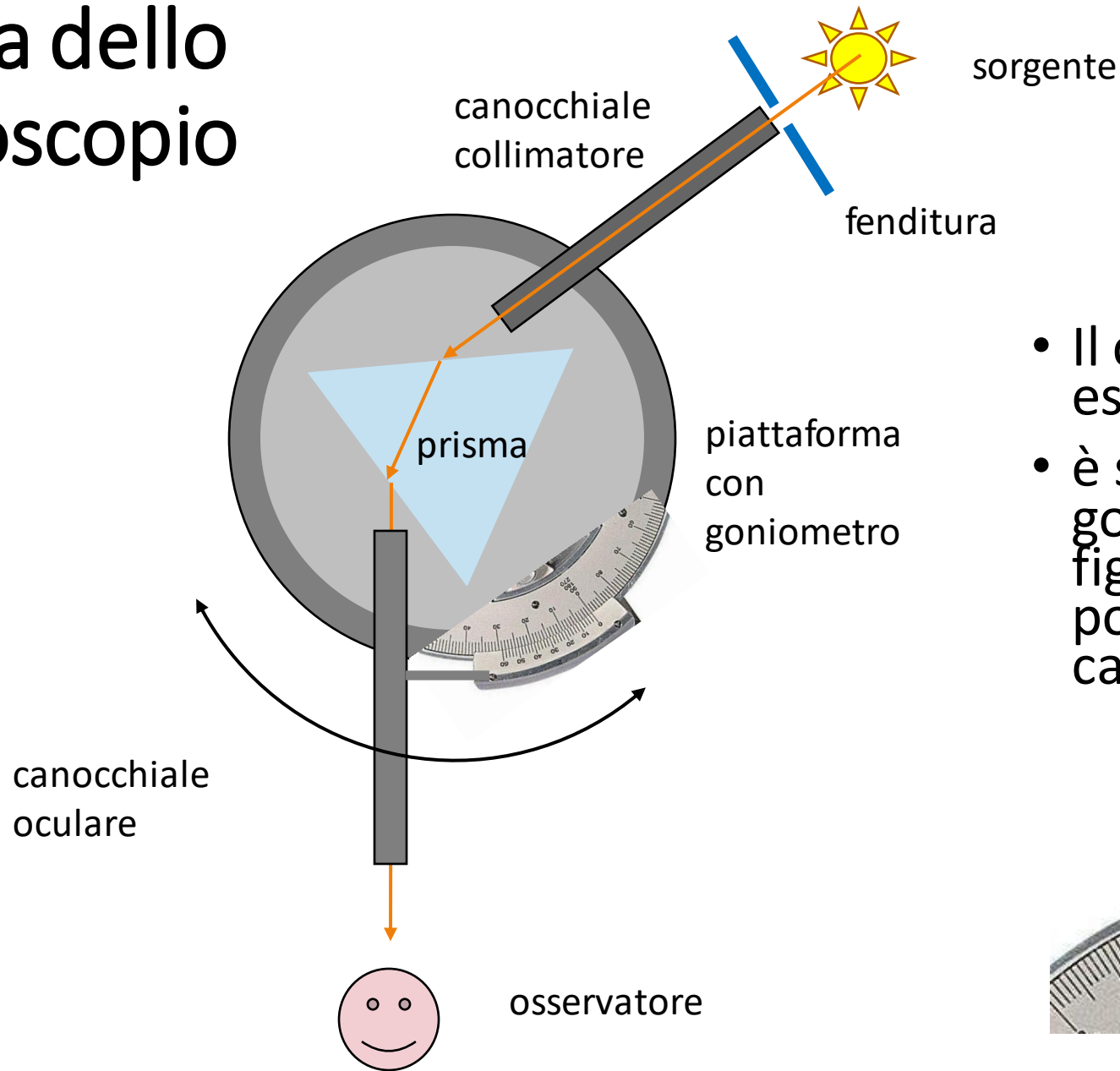


Metodologia d'uso:

- l'osservatore guarda nell'oculare, mette a fuoco l'immagine sulla retina
- se la sorgente consiste in una lampada spettrale vedrà:



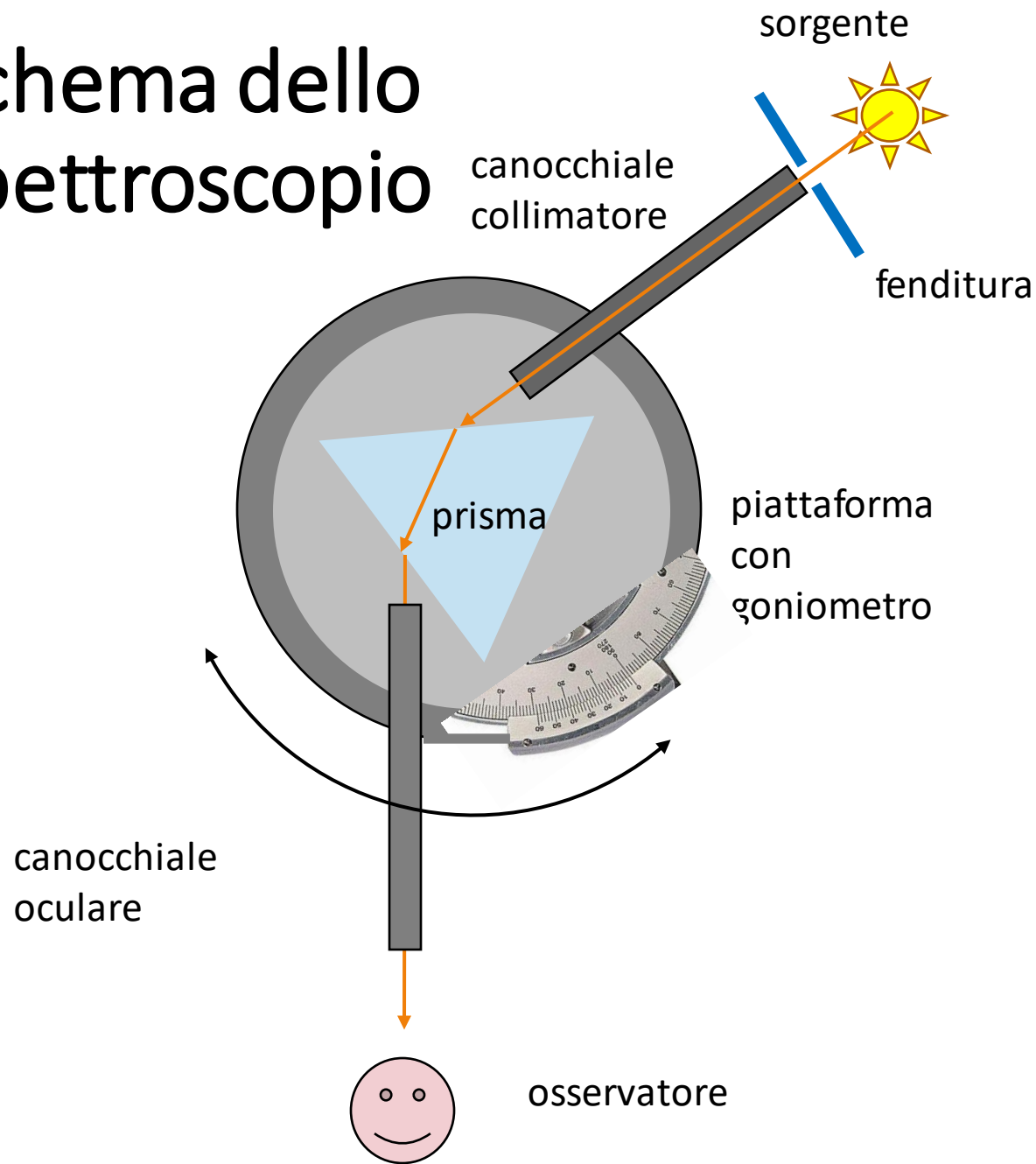
Schema dello spettroscopio



- Il canocchiale oculare può essere ruotato
- è solidale a un nonio goniometrico come quello in figura, usato per misurare la posizione angolare del canocchiale



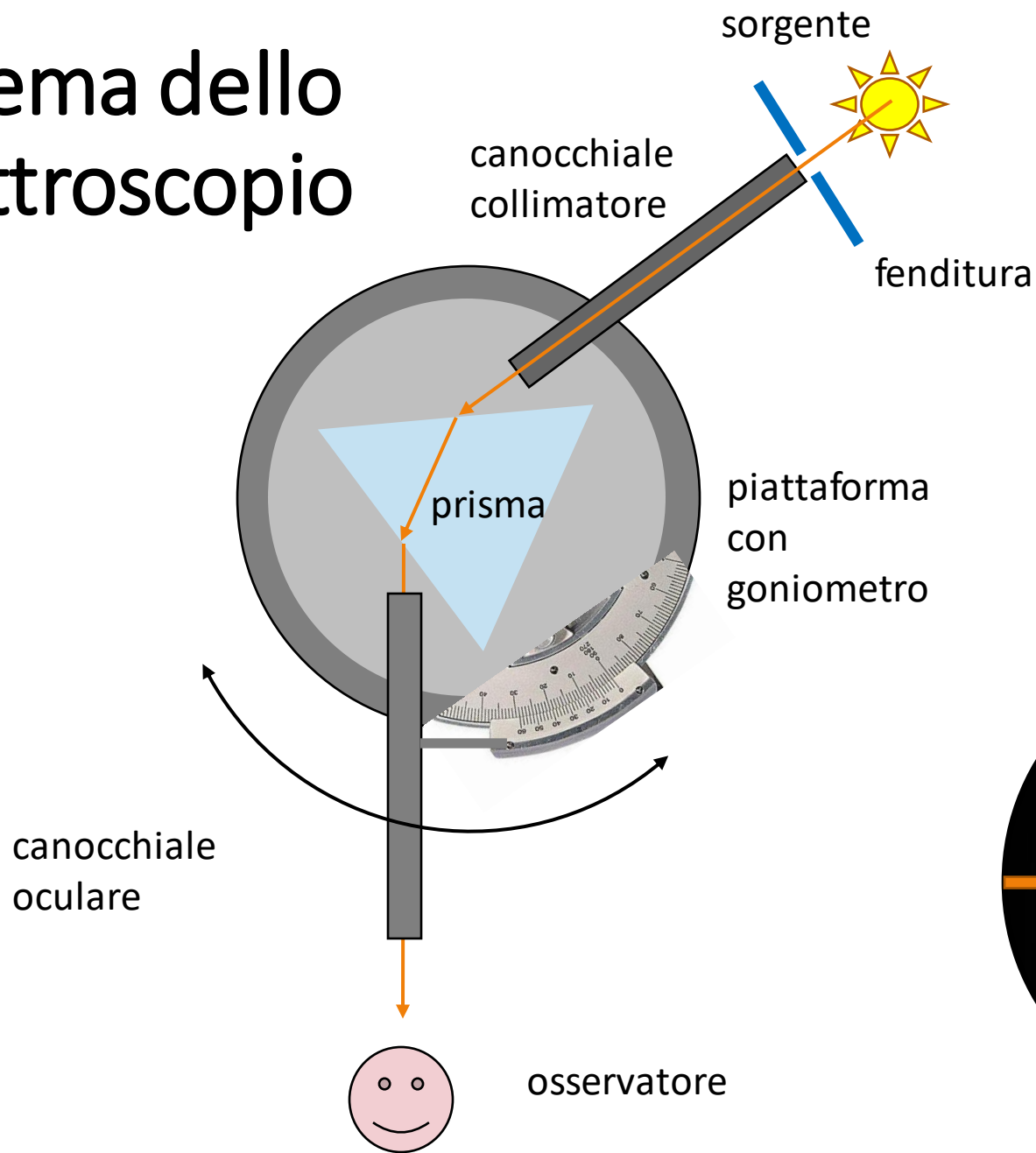
Schema dello spettroscopio



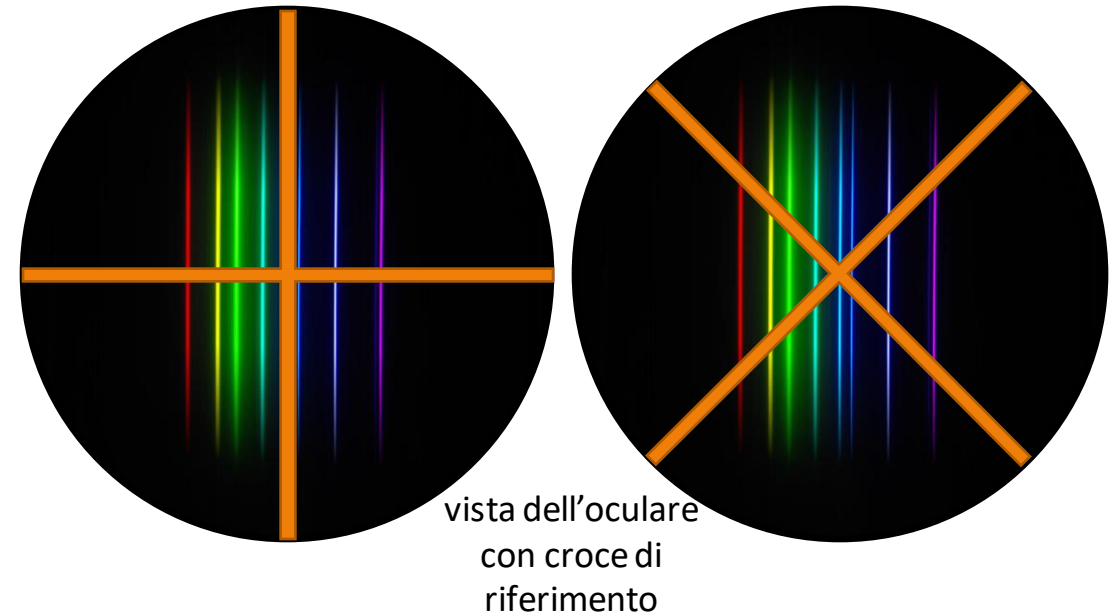
- Il canocchiale oculare può essere ruotato
- è solidale a un nonio goniometrico come quello in figura, usato per misurare la posizione angolare del canocchiale
- il nonio si legge come un calibro. la tacchetta esterna che segna lo zero sarà il riferimento per la lettura dell'angolo 0-360°. Per la lettura dei primi di grado si cerca la prima tacca esterna corrispondente a una tacca interna



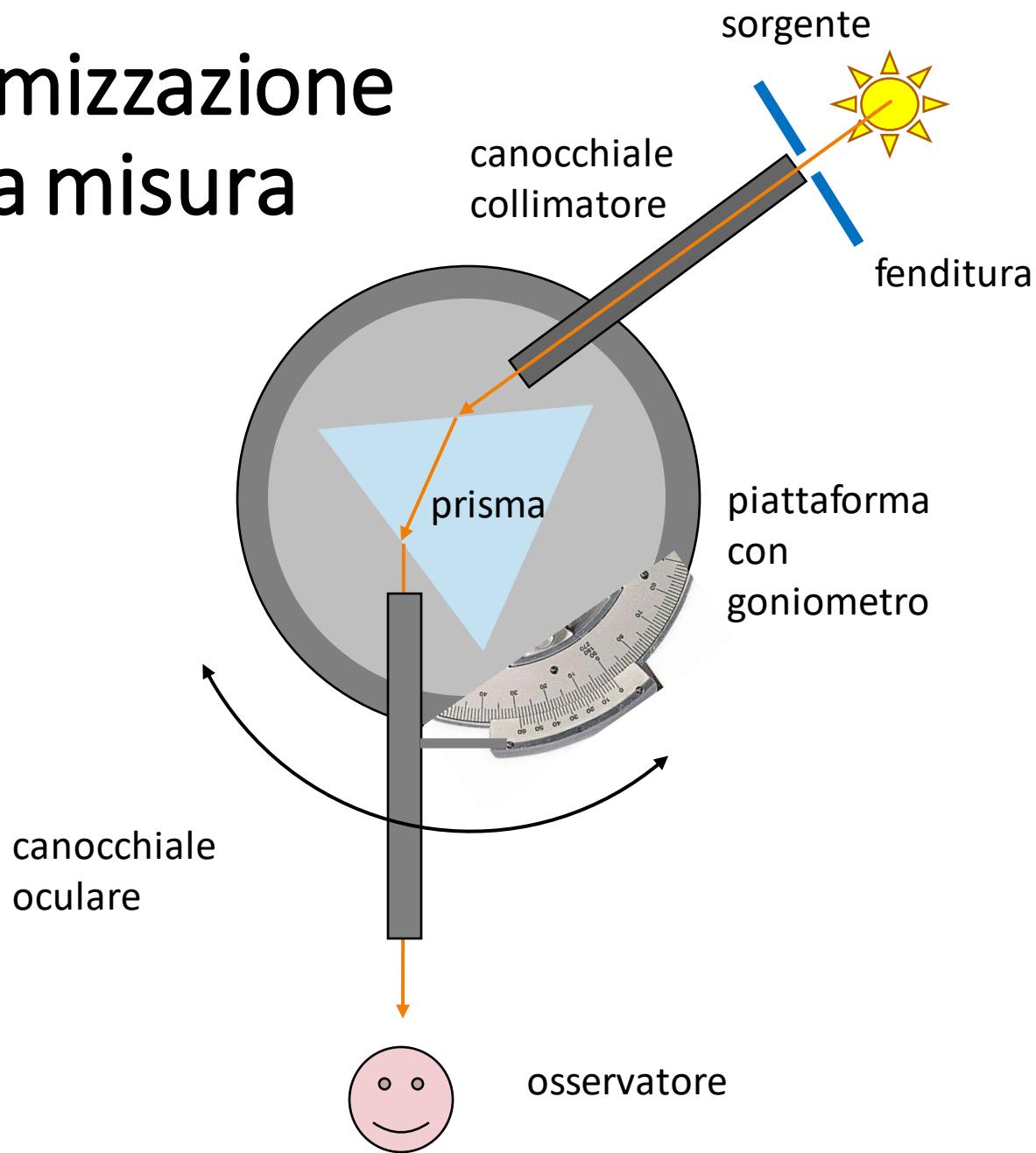
Schema dello spettroscopio



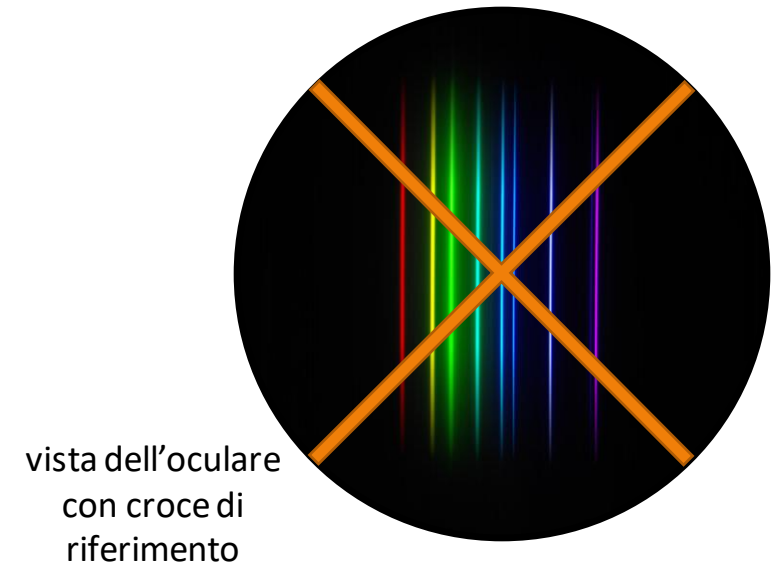
- l'osservatore guardando nell'oculare vede lo spettro emesso dalla sorgente
- nel campo di vista è presente una croce (latina o di Sant'Andrea) che funge da riferimento per la misura della posizione angolare di ciascuna riga
- allineando il centro della croce ad ogni singola riga e leggendo la posizione sul goniometro si effettua la misura angolare



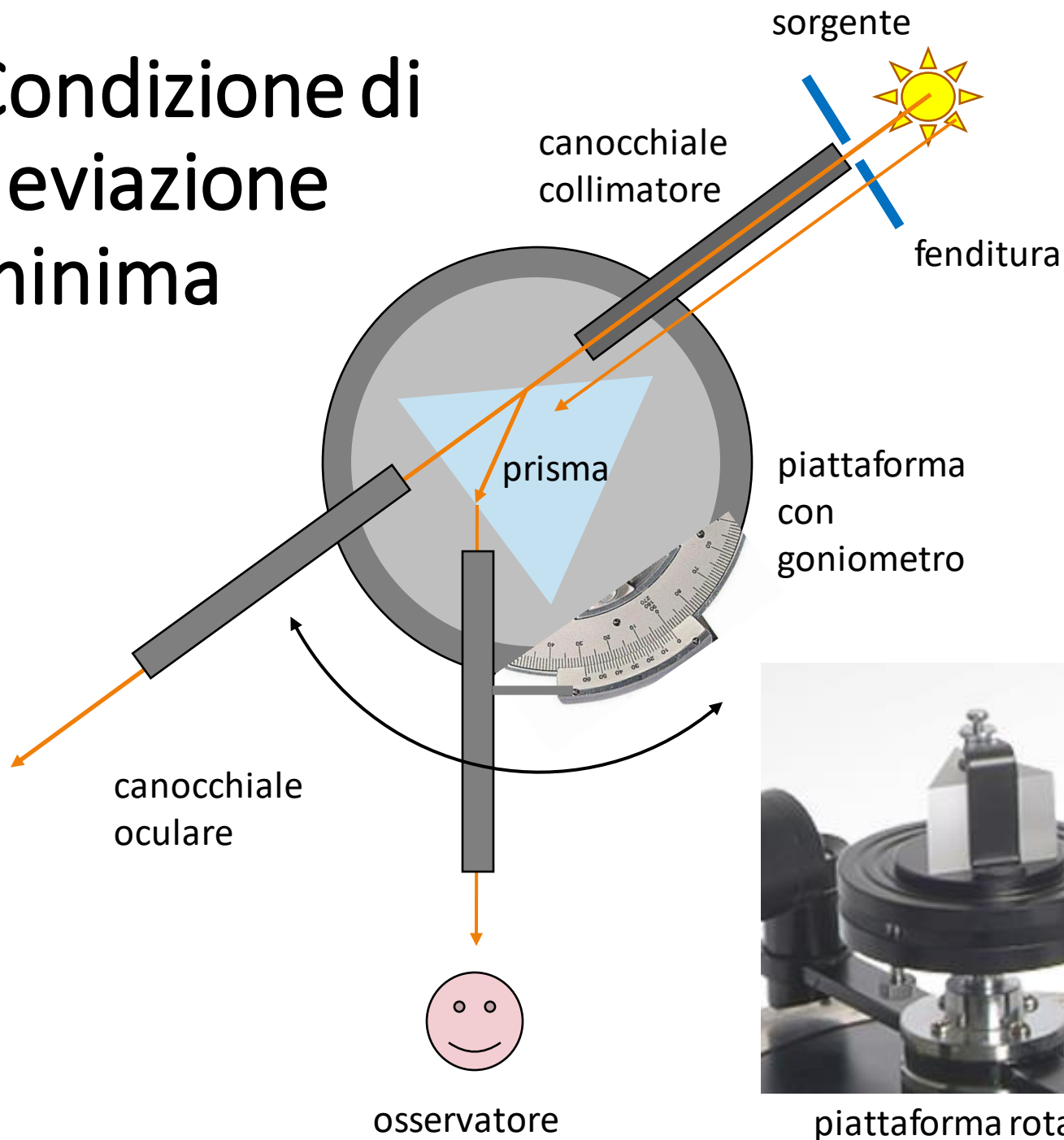
Ottimizzazione della misura



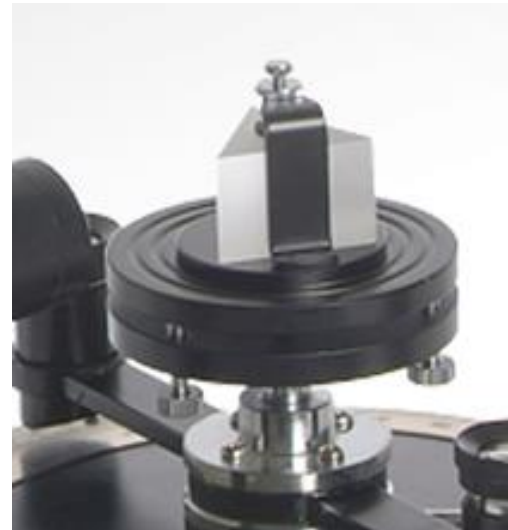
- la fenditura regolabile presente dopo la sorgente permette di avere righe di dimensione variabile
 - righe sottili aiutano a migliorare la precisione ma riducono la luminosità complessiva. La croce è difficile da vedere
 - è possibile illuminare con una lampada esterna il prisma per migliorare la vista
- l'oculare dispone di 2 regolazioni indipendenti
 - una per la messa a fuoco dello spettro
 - una per la messa a fuoco della croce
 - le 2 regolazioni non sono indipendenti



Condizione di deviazione minima

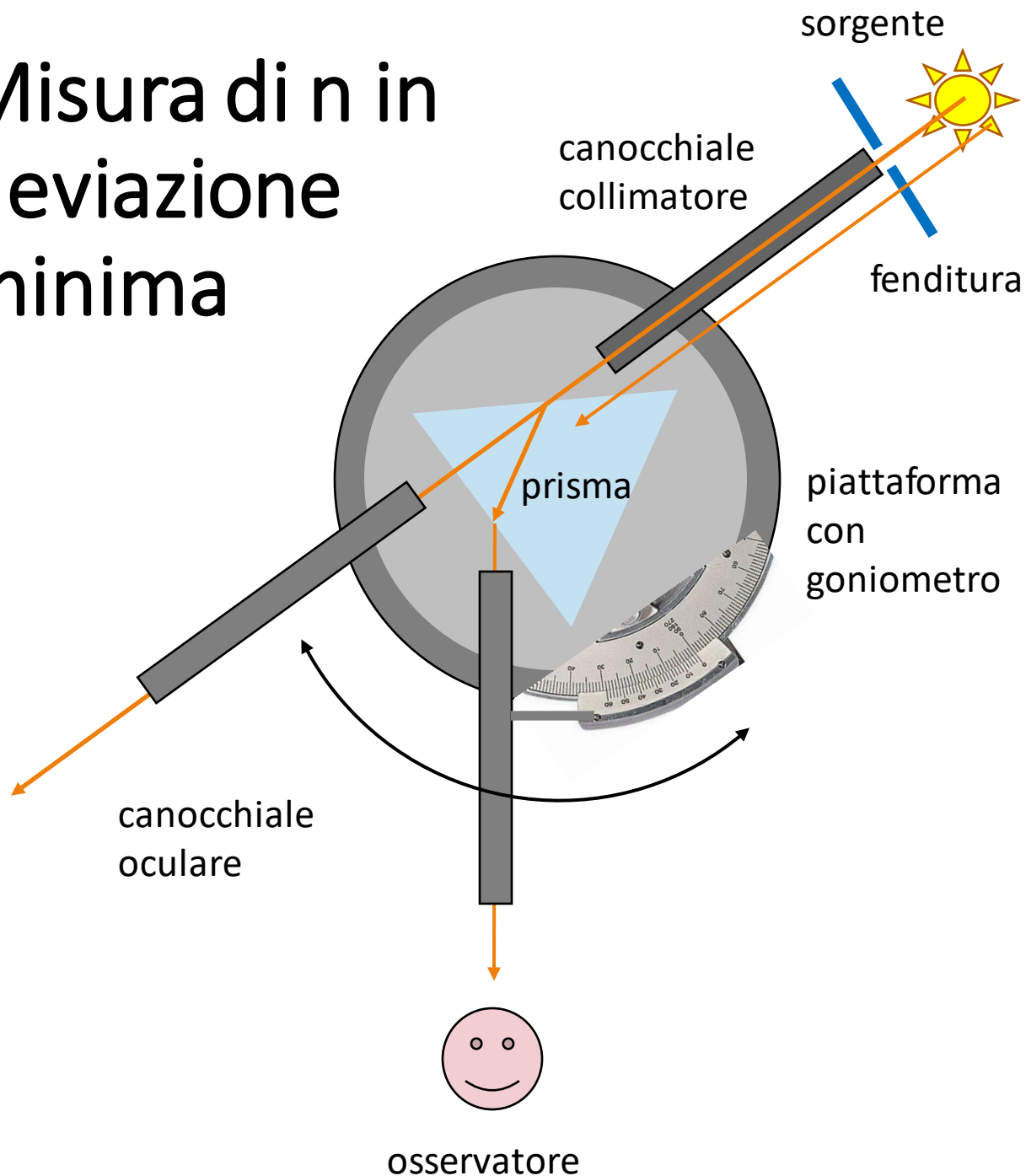


- per la misura dell'indice di rifrazione occorre allineare collimatore e prisma in modo da soddisfare la condizione di deviazione minima
- essa è soddisfatta quando l'angolo D è minimo, ovvero le righe dello spettro deviato dal prisma sono il + vicine possibile alla direzione del fascio incidente
- Metodo operativo:
 - tolgo il prisma per non deviare il raggio
 - ruoto il canocchiale verso sx, inquadro la riga corrispondente alla fenditura (unica perchè senza prisma non ho dispersione della luce) e ne misuro la posizione
 - rimetto il prisma sulla piattaforma rotante, centrandolo sulla medesima e ruoto la piattaforma, seguendo con il canocchiale le righe spettrali, fino a che queste non raggiungono la posizione di minimo
 - fisso la piattaforma rotante per fissare l'angolo i che minimizza D



piattaforma rotante

Misura di n in deviazione minima



- fissato il prisma nella posizione che minimizza D si misurano le posizioni angolari di ciascuna riga
- l'angolo di deviazione sarà dato dalla differenza tra posizione della riga e posizione del raggio non deviato
- commenti:
 - l'angolo di deviazione minima dovrebbe essere ottimizzato per ogni componente dello spettro ma la risoluzione dello spettroscopio non è tale da vedere effetti dell'ottimizzazione del risultato
 - prima di effettuare una misura ricordarsi di ottimizzare la messa a fuoco
 - se si hanno a disposizione 2 sorgenti misurare una sola volta la posizione del raggio incidente, poi fissare il prisma e non spostarlo + ma effettuare la misura delle posizioni dello spettro in successione per entrambe le lampade

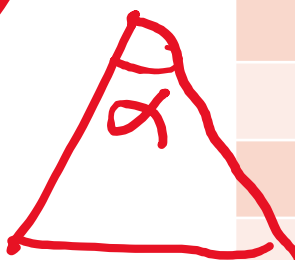
Misura di n in deviazione minima

- Acquisizione dati:

- misura dell'angolo corrispondente al raggio non deviato (angolo θ_0)
- misura degli angoli corrispondenti a ciascuna riga in deviazione minima per ogni lampada (angolo riga = θ)

- Analisi dati:

- calcolo $D = \theta - \theta_0$
- calcolo n

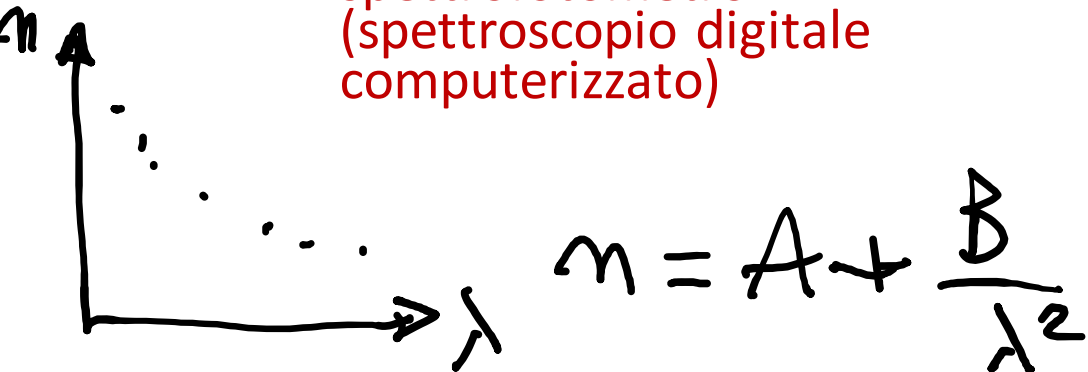
$$n = \frac{\sin\left(\frac{D_m + \alpha}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$


lampada	Colore della riga	θ
Mercurio	rosso	
	giallo	
	verde	
	blu	
	viola	
Sodio	rosso	
	giallo	
	verde	
	blu	
	viola	

Andamento di n in funzione di λ

- Fino a questo punto abbiamo posto in relazione n con la corrispondente riga, ma non abbiamo ancora determinato la lunghezza d'onda corrispondente alla riga
- per farlo possiamo usare 2 strumenti:

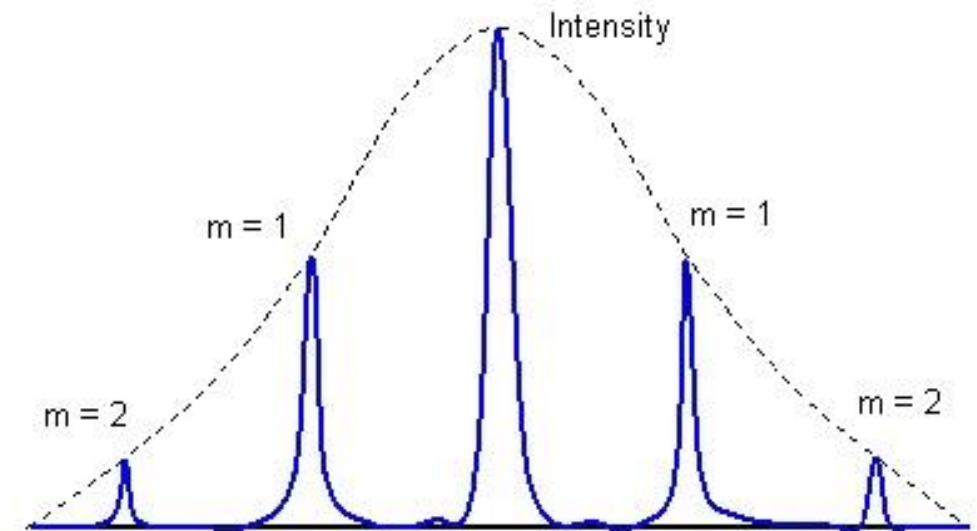
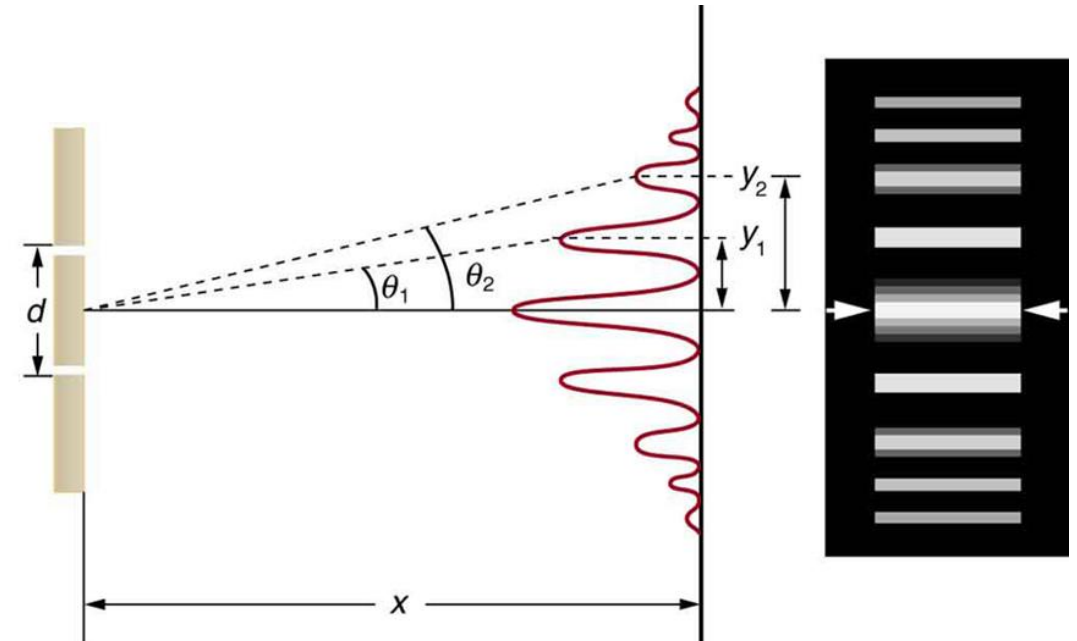
- spettroscopio con reticolo di diffrazione
- spettrofotometro (spettroscopio digitale computerizzato)



lampada	Colore della riga	angolo θ	$D = \theta - \theta_0$	lunghezza d'onda (λ)
Mercurio	rosso			
	giallo			
	verde			
	blu			
	viola			
Sodio	rosso			
	giallo			
	verde			
	blu			
	viola			

Reticolo di diffrazione

- il reticolo di diffrazione è un componente ottico costituito solitamente da una lastra di vetro sulla cui superficie è incisa una trama di linee parallele, uguali ed equidistanti, a distanze confrontabili con la lunghezza d'onda della luce (Wikipedia)
- https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_en.html
- sfrutta il principio ottico dell'interferenza di moltissimi fasci di luce che abbiano una precisa relazione di fase tra loro, ottenuti facendo passare la luce attraverso un gran numero di fenditure regolari (reticolo a trasmissione).

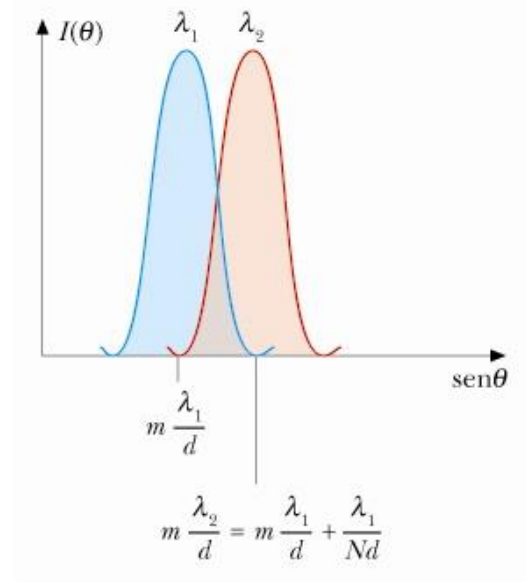
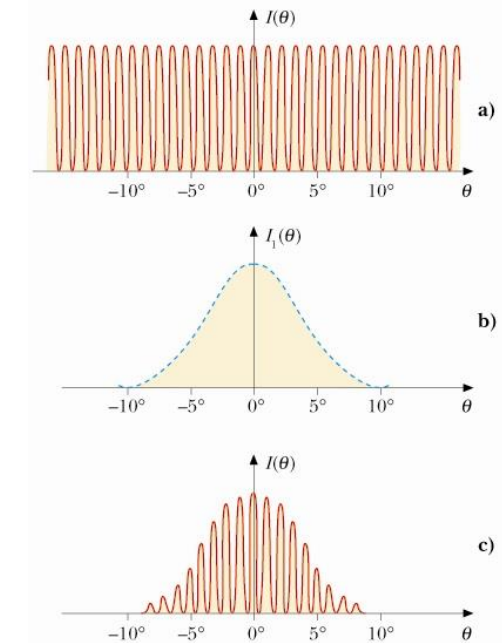
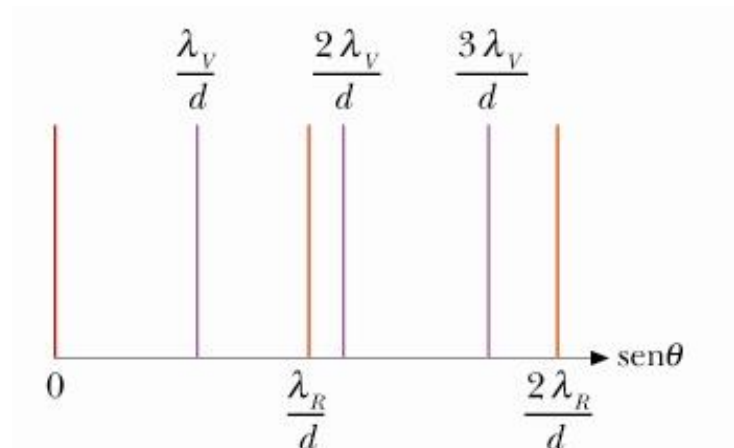


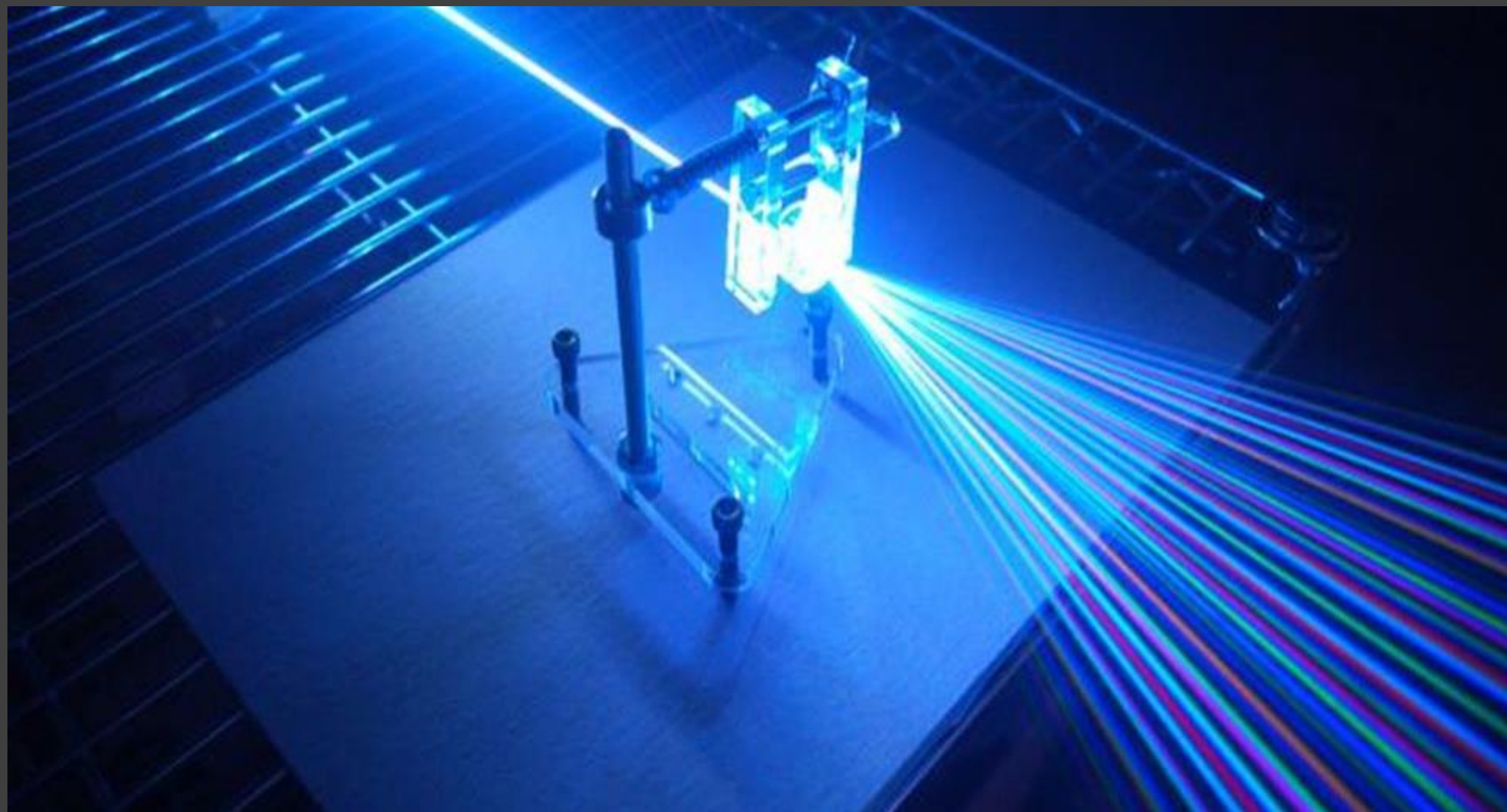
Reticolo di diffrazione (richiami)

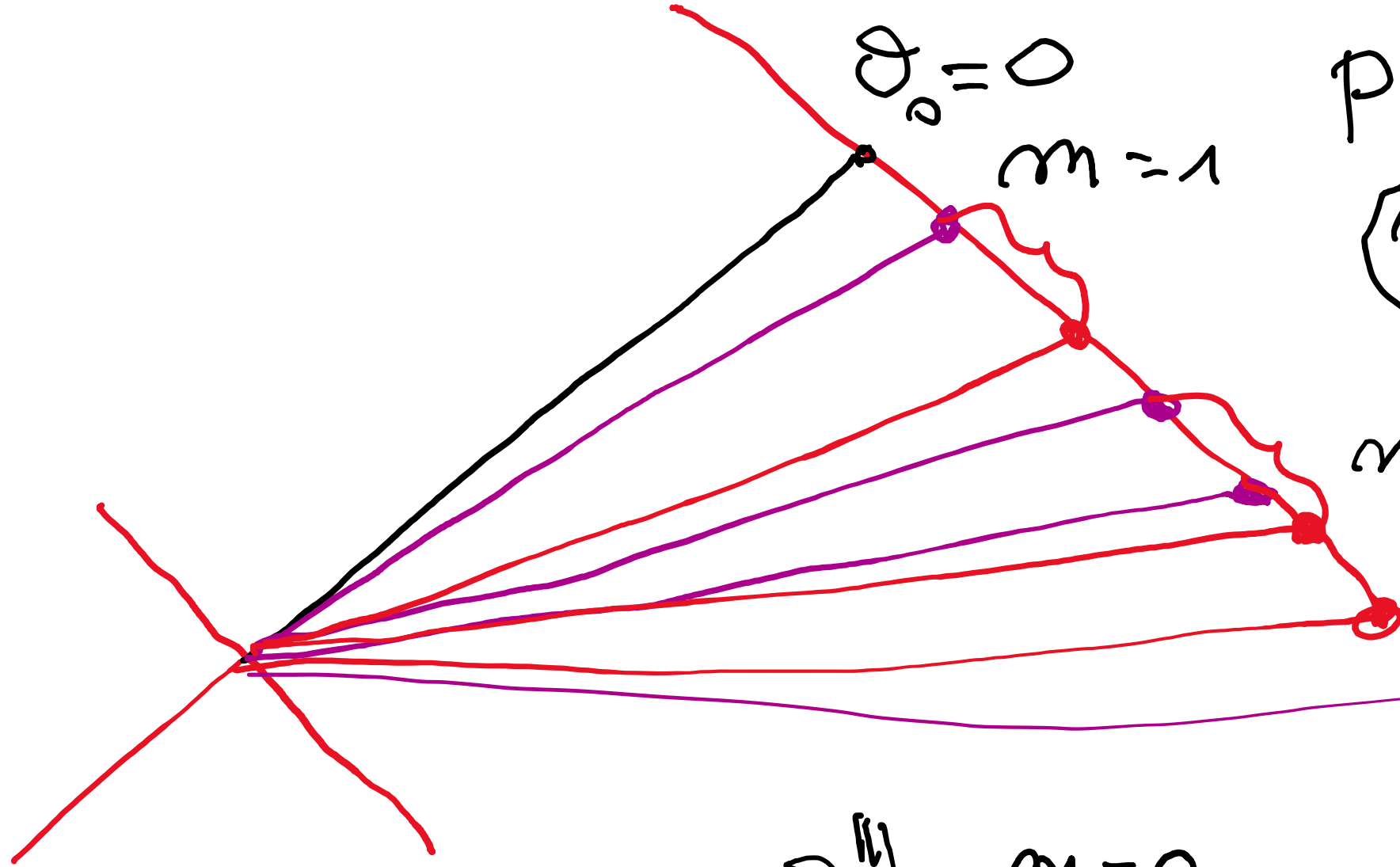
- figura di intensità del reticolo è data da interferenza tra n sorgenti e diffrazione:
 - picchi di intensità per ogni ordine di massimo con intensità decrescente allontanandosi da punto centrale ($\theta=0$ – massimo centrale, ordine 0).
 - La figura rappresenta la convoluzione della figura di diffrazione con quella di interferenza per una sorgente di luce monocromatica
- se la sorgente è policromatica per ogni massimo si formeranno N picchi, uno per ciascuna componente dello spettro
- quindi si formeranno M spettri, uno per ogni ordine di massimo
- gli spettri si possono sovrapporre, questo succede tipicamente per ordini superiori al secondo.
 - La figura mostra le righe corrispondenti a rosso e viola per spettri di ordine 1, 2 e 3.
 - La riga di ordine 3 del viola si trova a un angolo θ inferiore a quello in cui troviamo la riga di ordine 3 del rosso

Se il passo del reticolo è p , la riga di lunghezza d'onda λ , per l'ordine di massimo m , si troverà in corrispondenza dell'angolo θ

$$p \sin \theta = m\lambda$$







$$\theta_0 = 0$$

$$m = 1$$

$$p \sin \theta = m \lambda$$

$$m = 1 \sin \theta_1 = \frac{\lambda}{d}$$

$$\sin \theta_1 = \frac{\lambda}{d}$$

$$m = 2 \sin \theta_2 = \frac{2\lambda}{d}$$

$$\theta_2 = 10^\circ$$

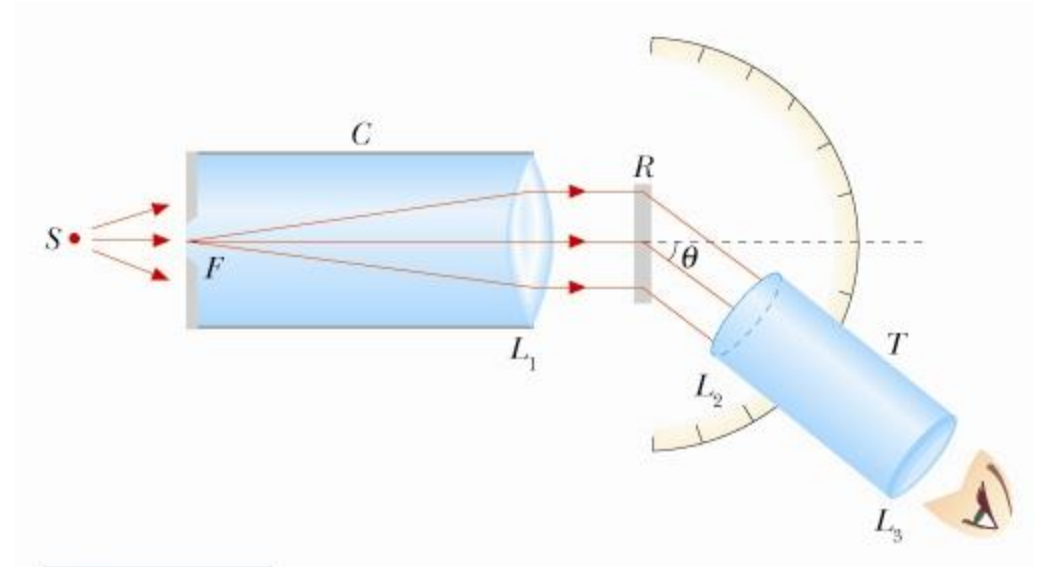
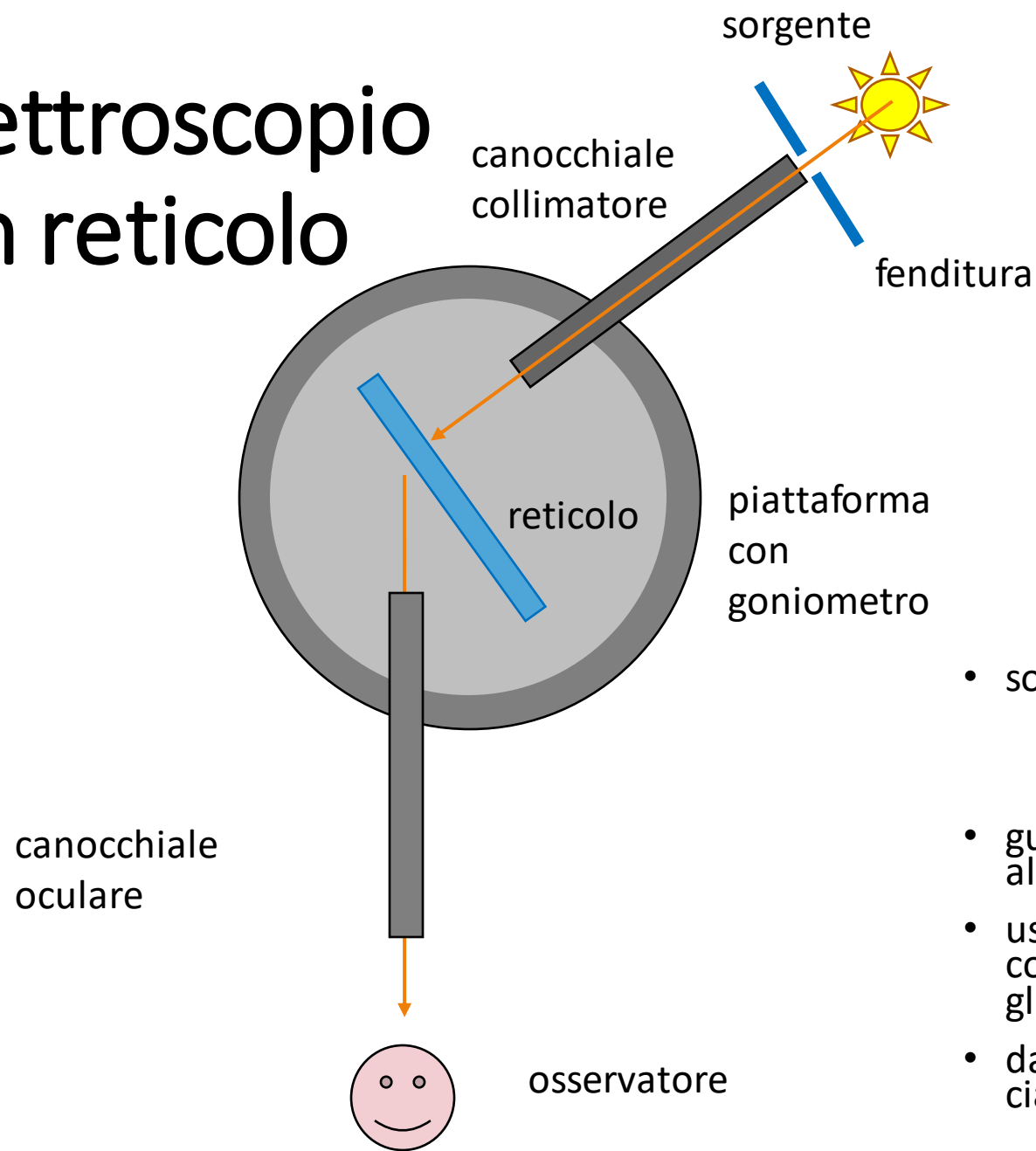
$$m = 3$$

$$m = 2$$

$$\sin \theta_1'' = \frac{2\lambda}{d}$$

$$\sin \theta_2'' = \frac{2\lambda}{d}$$

Spettroscopio con reticolo



- sostituiamo il prisma con il reticolo.
 - Il reticolo deve essere posizionato perpendicolarmente al canocchiale collimatore, in modo che l'angolo di incidenza del fascio sia nullo
- guardando nell'oculare si vedranno, a dx e sx rispetto all'angolo 0, N spettri, uno per ogni ordine di massimo
- usando lo stesso metodo descritto per lo spettroscopio con prisma misurare le posizioni angolari delle righe per gli spettri di ordine $\pm 1, 2$
- dalla formula $p \sin \theta = m\lambda$ estrarre il valore di λ per ciascuna riga

Spettrofotometro

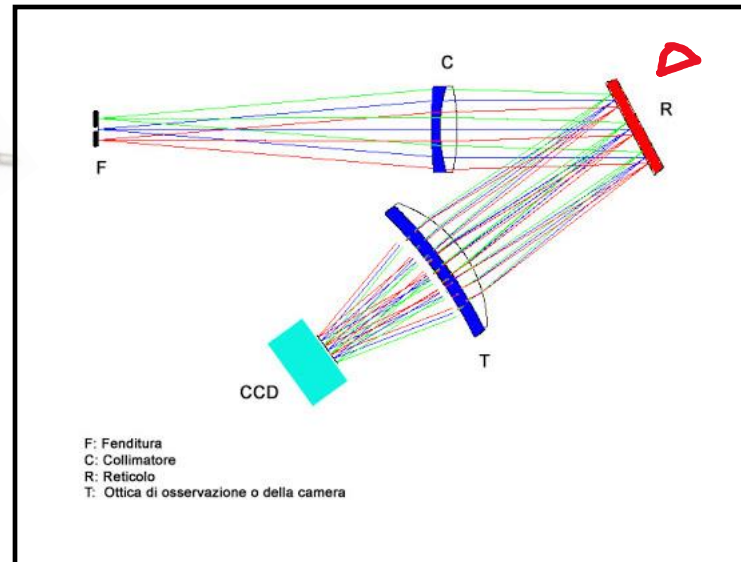
- separa le componenti dello spettro usando un reticolo di diffrazione
- i raggi luminosi colpiscono un sensore ottico calibrato che fornisce intensità e lunghezza d'onda corrispondenti a ciascuna riga
- Poichè il software mostra il grafico intensità vs lunghezza d'onda non è banale identificare univocamente i picchi associandoli alle righe viste con lo spettroscopio



lampada spettrale

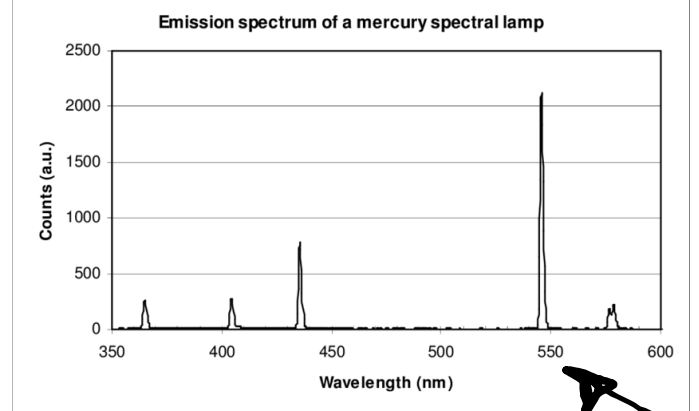


fibra ottica



spettrofotometro

PC con software per acquisizione



output spettrofotometro

Analisi dei dati e conclusioni

- Combinando le misure effettuate con spettroscopio e spettrofotometro è possibile graficare l'andamento di n in funzione di λ
 - E' possibile usare entrambi i set di dati, con lampada a vapori di Hg e a vapori di Na, solo se non si è spostato il prima (reticolo) tra le diverse lampade
 - I dati possono essere interpolati con una funzione a 2 parametri, che rappresenta un andamento alla Cauchy $n(\lambda) = a + \frac{b}{\lambda^2}$

