

lezione del 7 ottobre 2019

descrizione dell'esperienza di laboratorio:
misura delle lunghezze d'onda di una
lampada al Hg tramite uno spettrome-
tro a reticolo di diffrazione.

Fundamentamento del nome.

Reticoli di diffrazione (trasmissione/riflessione)

Il reticolo di diffrazione che utilizzerete in laboratorio consiste in una lastra di vetro ottico sulla quale sono state incise delle scanalature con passo costante tra una incisione e l'altra

I nostri reticoli sono reticoli a trasmissione cioè la luce passa attraverso il reticolo (si possono avere due tipi di reticoli in trasmissione: alternanza di linee trasparenti e opache - reticolo di ampiezza, oppure alternanza di zone con diverso indice di rifrazione - reticolo di fase)

Spesso (nelle cavità laser o nei monocromatori) vengono utilizzati reticoli in cui la superficie è metallizzata in maniera tale che la luce sia riflessa dal reticolo (reticolo in riflessione)

un CD o un DVD sono un esempio di reticolo in riflessione:

in un CD il passo reticolare è $d=1.6 \mu\text{m}$ mentre in un DVD $d=0.74 \mu\text{m}$

reticoli di diffrazione si possono realizzare utilizzando tecniche meccaniche o olografiche

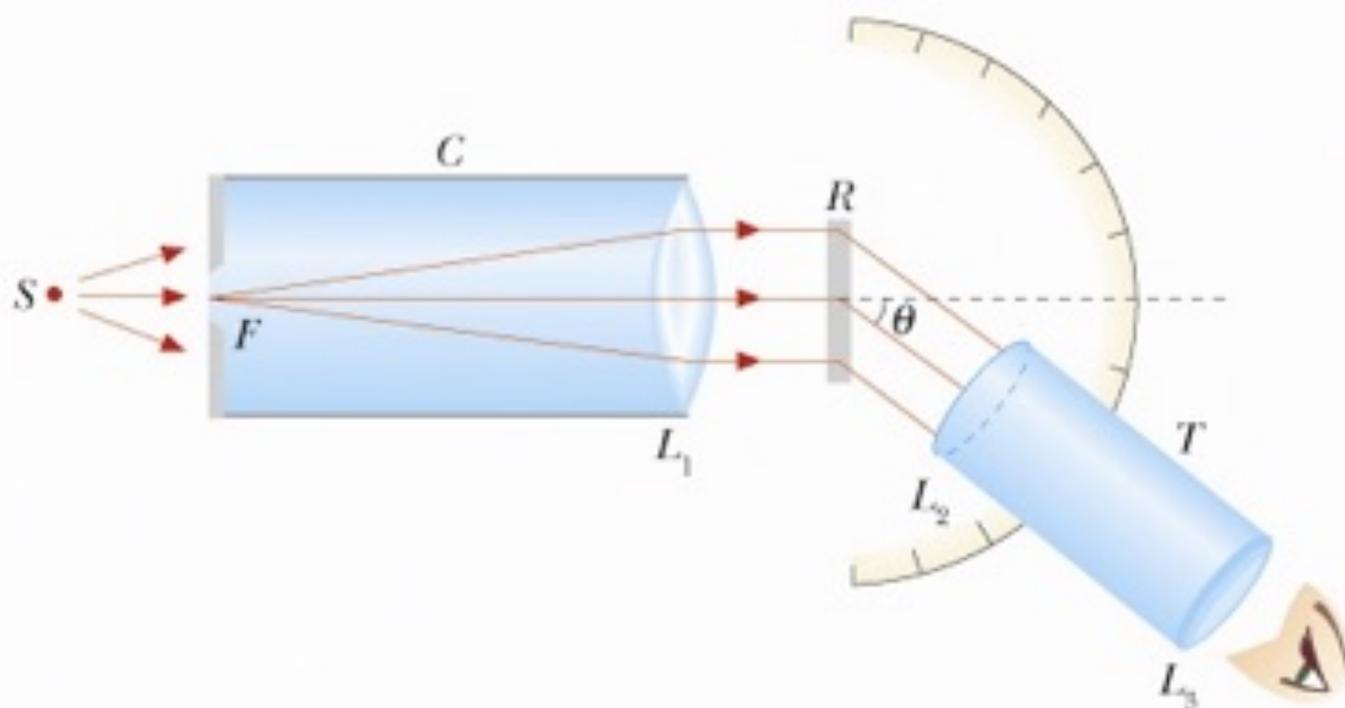


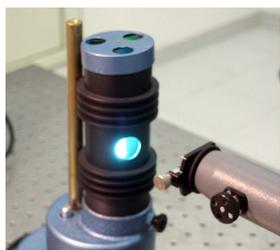
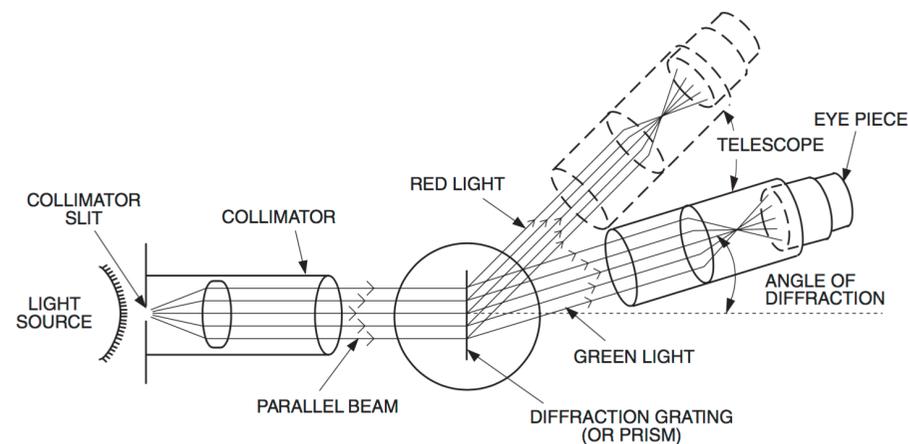
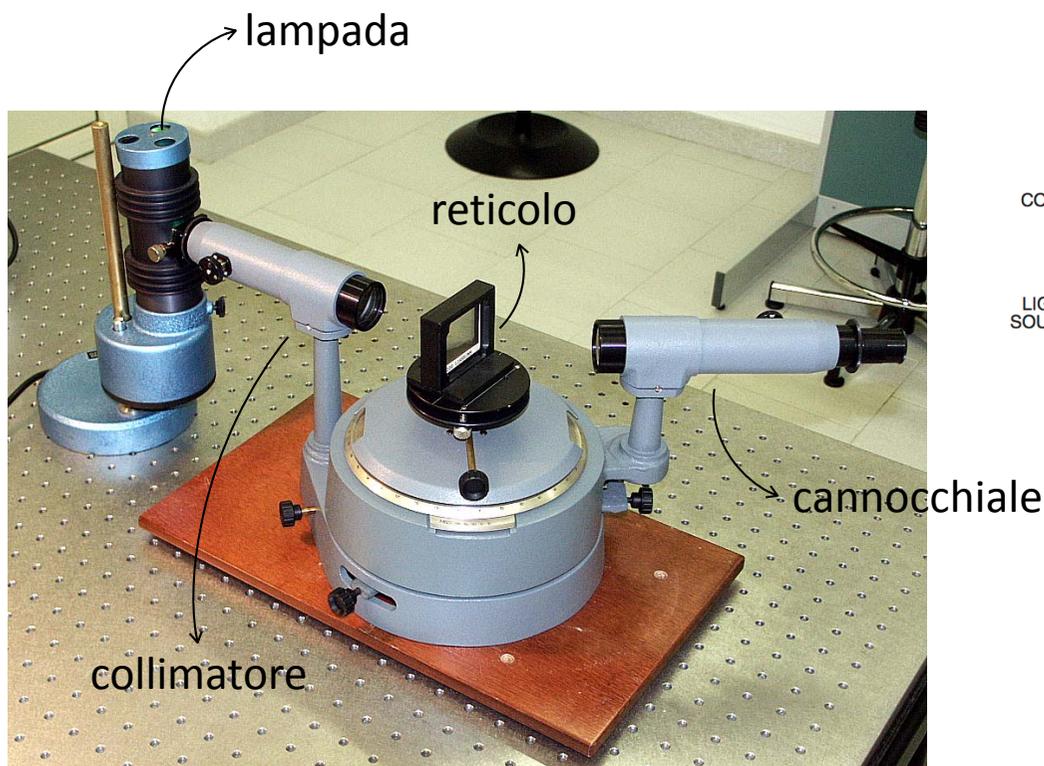
Figura 14.34

Schema di spettroscopio a reticolo di diffrazione.



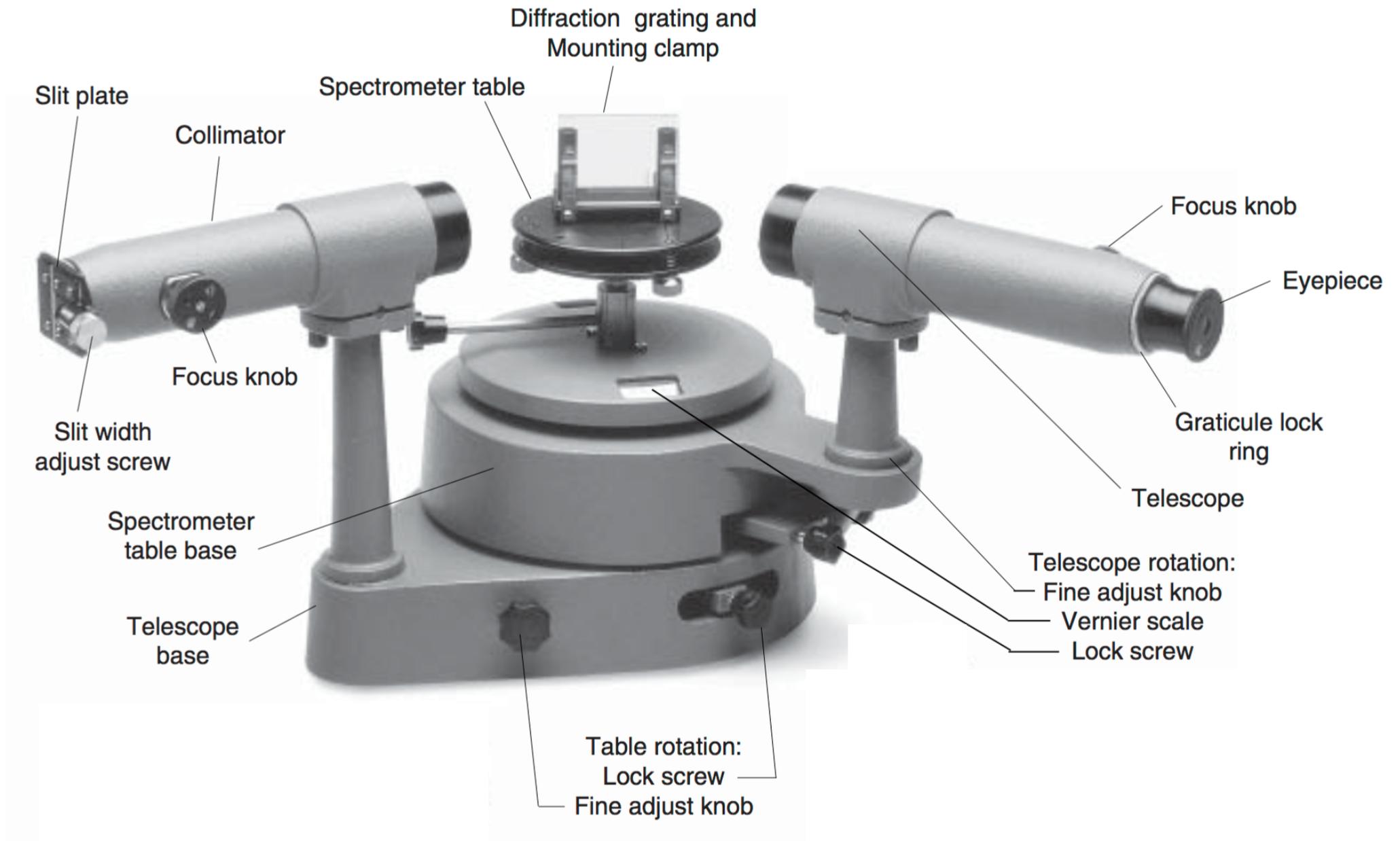
Mazzoldi - Nigro - Voci
Elementi di Fisica - Onde
EdiSES

spettrometro a reticolo di diffrazione

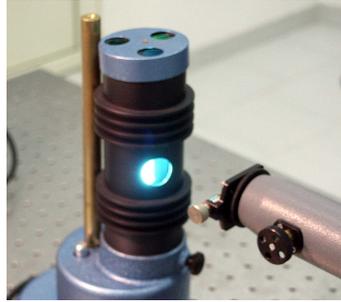


nella foto e nello schema da sinistra verso destra si osservano i seguenti componenti:

- Sorgente luminosa (lampada a fluorescenza)
- collimatore dotato di fenditura
- piattaforma porta reticolo e reticolo
- cannocchiale dotato di crocifilo per la misura dell'angolo di diffrazione

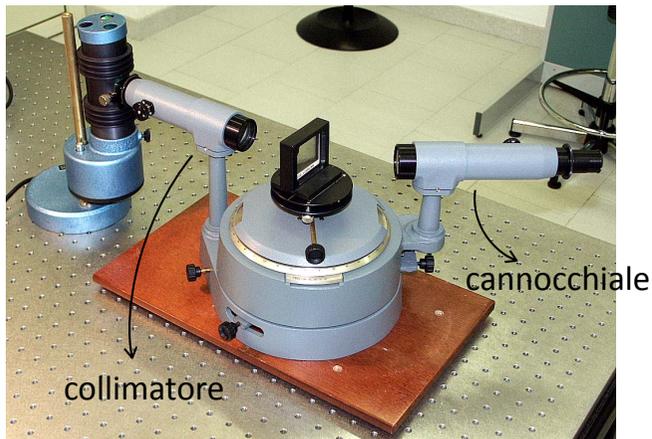


SORGENTE LUMINOSA è una lampada a vapori di mercurio con spettro discreto:



Giallo1	579.065 nm
Giallo2	576.959 nm
Verde (brillante)	546.074 nm
Verde (scuro)	491.604 nm
Blu	435.835 nm
Viola1	407.781 nm
Viola2	404.656 nm

COLLIMATORE e CANNOCCHIALE: sistema di lenti regolabili per collimare la luce proveniente da una sorgente puntiforme (collimatore), focalizzare sul piano del crocifilo la luce collimata (cannocchiale)



CANNOCCHIALE: Questo è un tipico cannocchiale astronomico in cui nel piano in cui si forma l'immagine dell'obiettivo è posto un crocifilo.

In pratica si tratta di tre tubi coassiali. Nel primo (andiamo per diametri crescenti) è posto l'oculare, nel secondo è posto il crocifilo, e nel terzo l'obiettivo.

La sua regolazione consiste, per prima cosa, nel regolare la posizione dell'oculare rispetto al crocifilo in maniera che quest'ultimo compaia a fuoco.

Successivamente si punta il cannocchiale verso un oggetto molto distante e si regola il cannocchiale fino a vedere nitida l'immagine dell'oggetto.

Se la prima regolazione (oculare – crocifilo) è stata fatta con gli occhi rilassati (visione a lunga distanza) dovremmo vedere nitide contemporaneamente sia l'immagine dell'oggetto che del crocifilo.

Per essere sicuri di questo conviene sfruttare il fenomeno della parallasse. Spostando leggermente l'occhio rispetto all'asse del cannocchiale, le due immagini devono restare ferme. In caso contrario vuol dire che il piano immagine dell'obiettivo e il piano del crocifilo non coincidono e toccherà fare dei piccoli aggiustamenti alla prima regolazione (oculare-crocifilo).

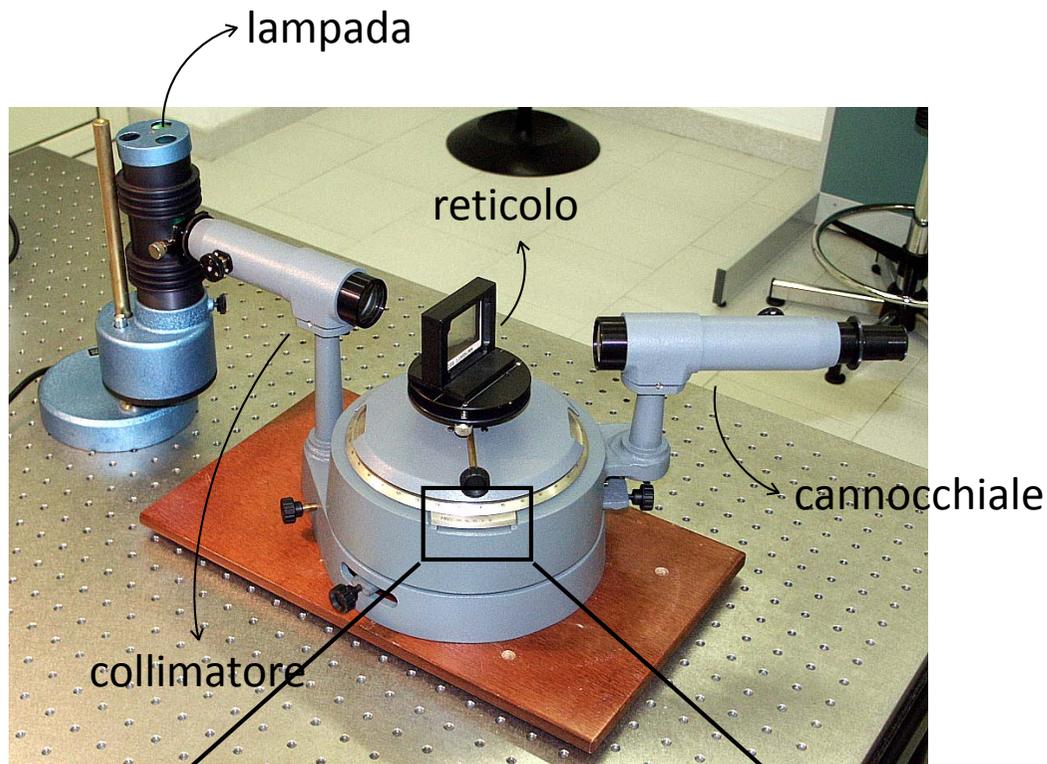
COLLIMATORE:

Ha all'ingresso una fenditura regolabile in larghezza.

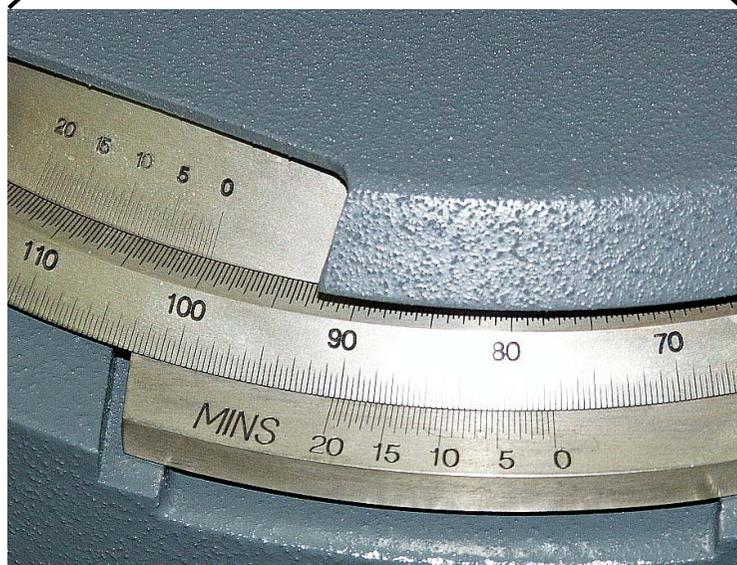
Rende paralleli i raggi incidenti provenienti dalla lampada.

Per la regolazione si sposta il cannocchiale, ormai regolato, davanti al collimatore.

A questo punto si regola la distanza tra la fenditura e la lente del collimatore fino a quando l'immagine di quest'ultima non appaia nitida.



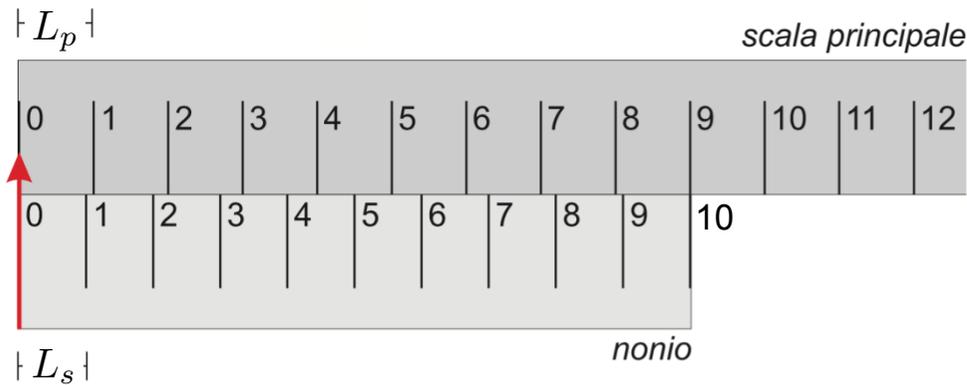
il reticolo viene appoggiato sulla piattaforma con scala graduata. Il cannocchiale ruota intorno all'asse centrale dello strumento fino ad individuare l'angolo di diffrazione per una data lunghezza d'onda. La lettura dell'angolo (posizione del cannocchiale) avviene attraverso due noni opposti (i due noni servono a stimare l'errore di eccentricità dello strumento)



I noni di cui è dotato lo strumento (sopra il nonio del porta reticolo, sotto quello del cannocchiale) permettono di risolvere il mezzo minuto (corrispondente ad $1/120$ di grado). Questi noni sono raddoppiati (posti a 180° uno dall'altro), sia per la piattaforma porta reticolo, sia per il cannocchiale. La lettura dell'angolo va effettuata su entrambi i noni che indicano la posizione del cannocchiale facendo poi la media delle due misure. Così si riduce l'errore di eccentricità dello strumento.

FUNZIONAMENTO DEL NONIO:

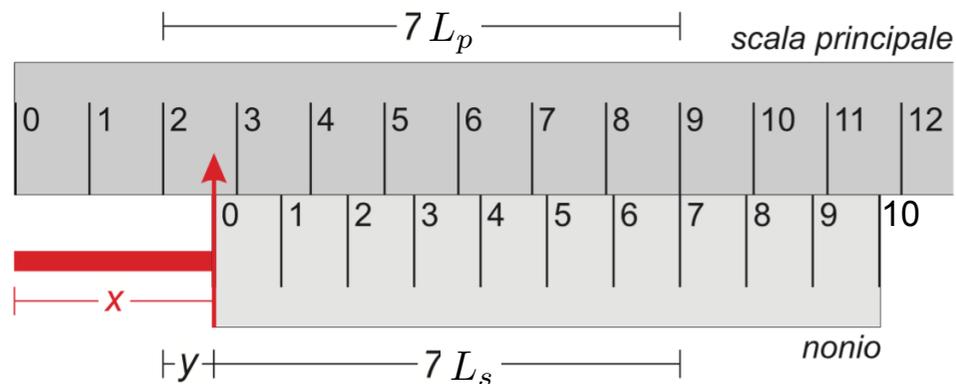
Supponiamo di avere una scala graduata e un indice che si sposta lungo questa scala. Nella sua forma più semplice, il nonio è una scala supplementare, solidale con l'indice della scala principale, divisa in N intervalli e di lunghezza pari a $N - 1$ intervalli della scala principale.



In figura è riportato un esempio di nonio decimale, dove $N = 10$. Indichiamo con L_p la lunghezza di una divisione della scala primaria e con L_s la lunghezza di una divisione del nonio. Si avrà dunque che:

$$10L_s = 9L_p$$

cioè una divisione del nonio è pari a $9/10$ di una divisione della scala principale.

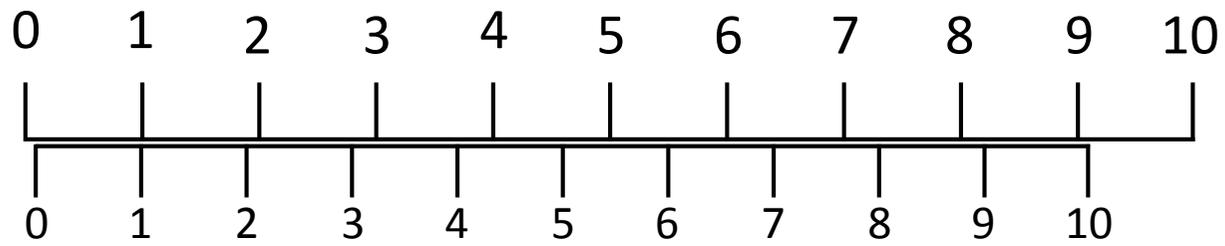
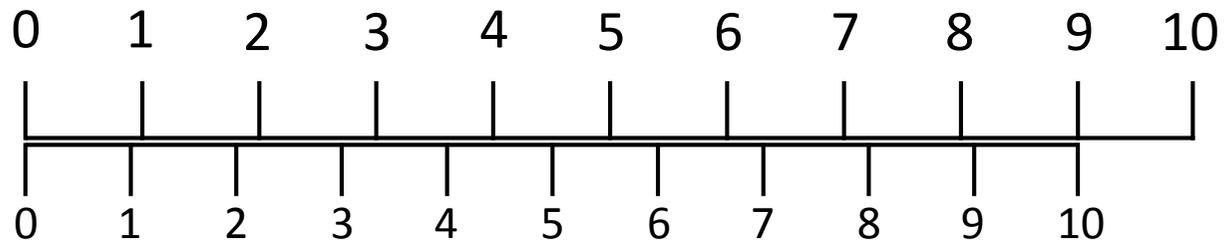


Supponiamo di voler misurare la lunghezza x di un segmento, come indicato in figura. Utilizzando la sola scala principale per la misura di x un risultato ragionevole potrebbe essere $x = (2.5 \pm 0.5)L$. Per aumentare la precisione della misura si utilizza anche la scala secondaria, individuando quale tratto di questa è meglio allineato con un tratto della scala principale. Nell'esempio riportato questo è il tratto numero 7 del nonio. Facendo riferimento sempre alla figura vediamo che la lunghezza del segmento x è pari a due divisioni più la lunghezza di y , cioè $x = 2L_p + y$. Questa può essere trovata, supponendo che la divisione 7 del nonio coincida con la 9 della scala primaria, dalla seguente uguaglianza:

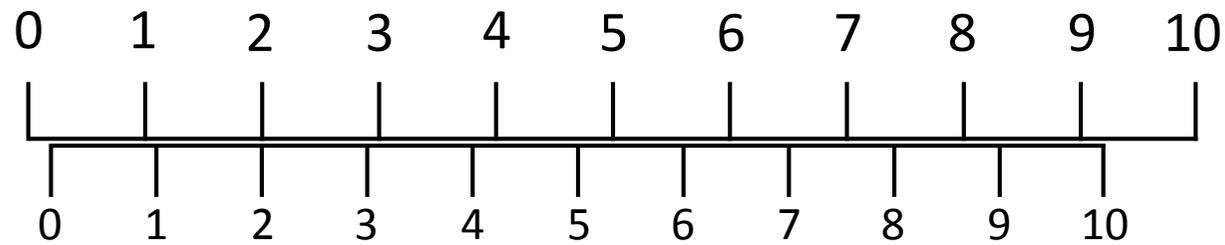
$$7L_p = y + 7L_s \quad y = 7 \left(L_p - \frac{9}{10}L_s \right) \quad \Rightarrow \quad y = 0.7L_p$$

Quindi il risultato della misura sarà $x = (2.7 \pm 0.1)L_p$, con una considerevole riduzione dell'incertezza, dovuta in questo caso all'errore sulla determinazione di quale tratto del nonio approssima meglio una divisione della scala principale.

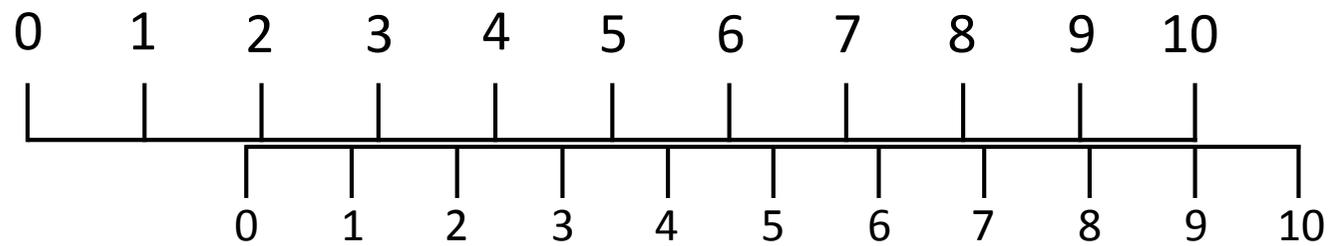
Vediamo quindi che l'uso di un nonio permette di aumentare la sensibilità dello strumento. Questa tecnica è utilizzata in molti strumenti di misura in cui c'è un indice che si sposta lungo una scala graduata.



$$x + 1L_S = 1L_P$$



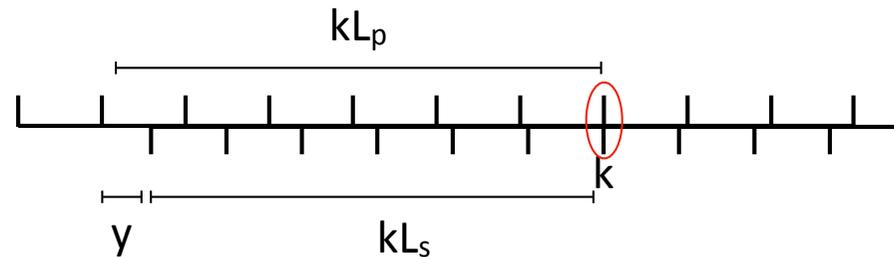
$$x + 2L_S = 2L_P$$



In generale, si può ottenere una sensibilità di $1/N$ della scala principale, con un nonio che divida in N parti $(N-1)L_p$

$$NL_s = (N - 1)L_p \qquad L_s = \frac{N - 1}{N} L_p$$

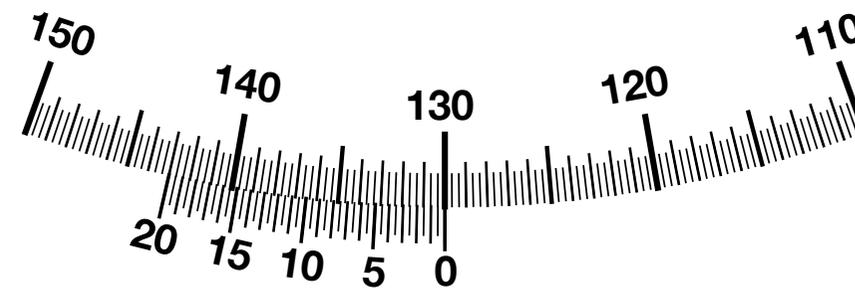
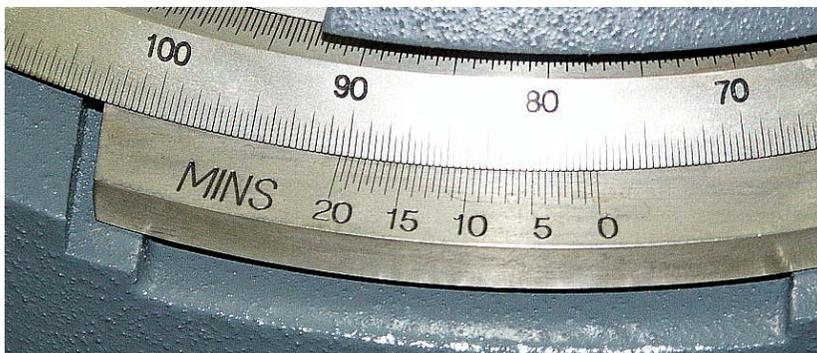
Se la posizione dell'indice della scala principale è tale per cui si ha coincidenza della k -esima divisione della scala secondaria con una divisione della scala primaria allora:



$$y + kL_s = kL_p \qquad y = \left(L_p - \frac{N - 1}{N} L_p \right) \qquad y = \frac{k}{N} L_p$$

la sensibilità della lettura con il nonio è L_p/N

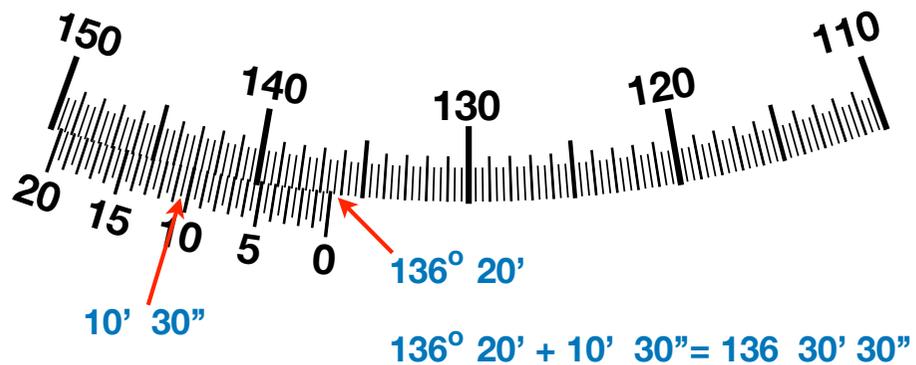
In laboratorio:

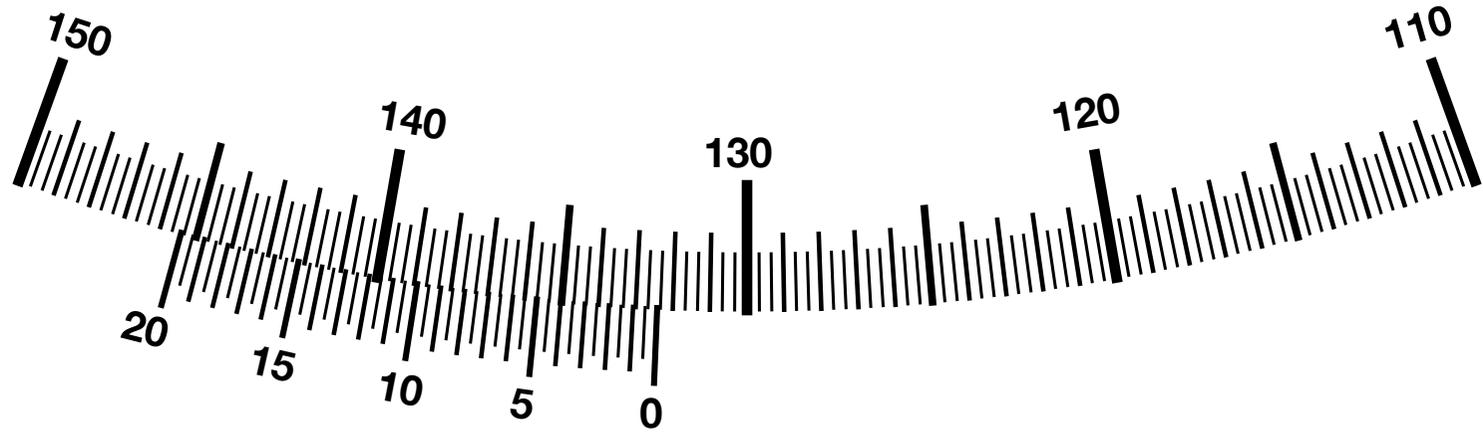


$L_p=20'$, inoltre $39L_p = 40L_s$ e la sensibilità della misura è:

$$\frac{L_p}{40} = 0.5' = 30''$$

esempio:





MESSA IN OPERA DELLO STRUMENTO

1. regolazione dell'oculare in modo che risulti a fuoco l'immagine del crocifilo
2. regolazione all'infinito del cannocchiale in modo che focalizzi luce collimata sul piano del crocifilo:
si punti il cannocchiale in direzione di un oggetto posto molto lontano (aprendo la finestra del laboratorio) e si regoli la posizione delle lenti del cannocchiale fino a vedere a fuoco nel piano del crocifilo l'oggetto puntato
3. regolazione all'infinito del collimatore:
accesa la lampada al mercurio si osservi, guardando nell'oculare, l'immagine della fenditura posta sul retro del collimatore ed illuminata dalla lampada. Per regolare il collimatore si vari la posizione delle lenti in esso presenti fino a vedere a fuoco sul piano del crocifilo l'immagine della fenditura.
4. regolazione dell'apertura della fenditura posta davanti alla lampada a vapori di mercurio
5. installazione del reticolo sulla base dello spettrometro posto perpendicolarmente ai fasci di luce provenienti dal collimatore (a tal si può utilizzare la riflessione sul reticolo stesso. Procedura:
Si posiziona il cannocchiale (in assenza del reticolo) di fronte al collimatore e si allinea l'immagine della fenditura con il crocifilo.
Si sposta il cannocchiale di 90° esatti.
Si inserisce il reticolo e si ruota fino a quando l'immagine riflessa della fenditura non è centrata sul crocifilo.
Lasciando fermo il reticolo sulla piattaforma, si gira quest'ultima di 45° nella direzione che porta il reticolo ad essere ortogonale alla direzione della luce.)

MISURE

1. Taratura del passo del reticolo d tramite la misura dell'angolo di diffrazione θ_0 di una riga della lampada al mercurio di lunghezza d'onda nota (verde intenso $\lambda_0=546.1$ nm):

$$d = \frac{m\lambda_0}{\sin \theta_0}$$

2. Misura degli angoli di diffrazione θ_i corrispondenti alle altre righe emesse dalla lampada al mercurio e determinazione delle corrispondenti lunghezze d'onda:

$$\lambda_i = \frac{d \sin \theta_i}{m}$$

LETTURA DEGLI ANGOLI di diffrazione

con il cannocchiale si punta l'immagine della fenditura dovuta all'interferenza costruttiva della lunghezza d'onda λ all'ordine $m=+1$

su entrambi i noni si legge l'angolo corrispondente a questa posizione del cannocchiale:

$$\theta_D^+ \quad \theta_S^+$$

con il cannocchiale si punta l'immagine della fenditura dovuta all'interferenza costruttiva della lunghezza d'onda λ all'ordine $m=-1$

su entrambi i noni si legge l'angolo corrispondente a questa posizione del cannocchiale:

$$\theta_D^- \quad \theta_S^-$$

si fa la semi-differenza della lettura delle due posizioni fatta sullo stesso nonio per ottenere le due stime dell'angolo di diffrazione:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\theta_D^+ - \theta_D^-}{2} &= \theta_D \\ \frac{\theta_S^+ - \theta_S^-}{2} &= \theta_S \end{aligned} \right\}$$

la migliore stima dell'angolo di diffrazione sarà quindi la media $\theta = \frac{\theta_D + \theta_S}{2}$

