

Laser a diodo

Relazione del gruppo G9 - Luca Giacomelli, Donato Romito e Francesca Sartori

Scopi dell'esperienza

Calcolare il valore della corrente di soglia del laser a diodo da noi utilizzato, discutere la forma degli spettri di emissione ed i loro parametri caratteristici (massimo e larghezza a metà altezza) alle diverse correnti, ed infine confrontare l'emissione del diodo con quello di un laser a gas ($HeNe$).

Materiale a disposizione

- Banco ottico
- Diodo laser
- Circuito di alimentazione per il diodo laser
- Rilevatore di potenza
- Monocromatore
- Laser a gas ($HeNe$)
- Lenti, filtri, specchi e sfera integratrice (con relativi supporti)

Procedure di misura

La nostra strumentazione era composta da un laser a diodo, il cui fascio veniva diretto in un beam splitter, che divideva il raggio a metà: il primo entrava in una sfera integratrice che concentrava il fascio su di un rilevatore di intensità luminosa; il secondo raggio veniva diretto in un monocromatore che divideva il raggio nel suo spettro facendolo incidere su un reticolo di diffrazione la cui posizione veniva cambiata per indirizzare un raggio monocromatico alla volta attraverso una fessura tale da escludere tutte le altre componenti dello spettro. Questo raggio monocromatico veniva poi indirizzato in un fotomoltiplicatore (per aumentarne l'intensità), che a sua volta lo dirigeva in un dispositivo dotato di un software per raccogliere i dati di intensità luminosa delle diverse lunghezze d'onda. Abbiamo così ottenuto una misura delle intensità di tutte le lunghezze d'onda dello spettro.

Durante le misure abbiamo fatto variare l'intensità di corrente che veniva fornita al diodo e, per determinati valori di essa, abbiamo letto il valore di intensità luminosa emessa dal diodo laser. Inoltre per alcuni di questi valori di intensità di corrente abbiamo effettuato una misura di intensità di tutte le lunghezze d'onda dello spettro come detto sopra. Abbiamo preso misure in un range da $15mA$ a $35mA$.

Infine è stata effettuata una misura dello spettro di emissione di un laser a elio-neon.

Analisi dati

Corrente di soglia

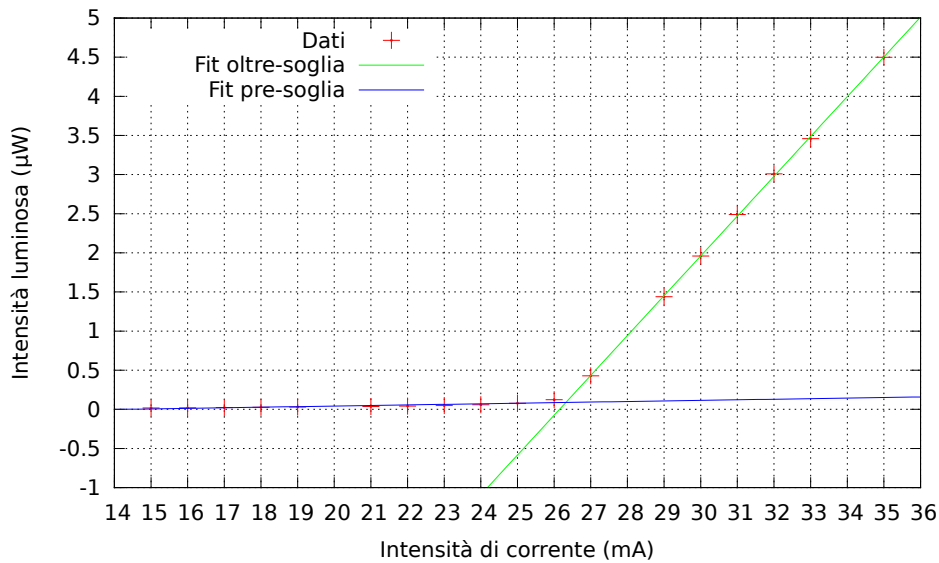
Il valore di intensità di corrente di soglia di un diodo laser è l'intensità di corrente al di sotto della quale il diodo si comporta come un led e al di sopra della quale funziona come un laser, emettendo cioè luce collimata di intensità e coerenza maggiore. Per trovare la corrente di soglia del nostro diodo abbiamo considerato i dati di intensità luminosa al variare dell'intensità di corrente. Graficandoli si può notare che essi si dividono in due parti, separatamente descrivibili con due rette. Abbiamo perciò effettuato due regressioni lineari ottenendo le due rette riportate nel seguente grafico assieme ai dati.

La seconda retta (quella relativa al regime operativo di laser) risulta avere una pendenza in modulo maggiore di quella dell'altra retta, questo vuol dire che oltre la soglia per un pari aumento di corrente l'intensità luminosa emessa aumenta molto più di prima.

Il valore dell'intensità di corrente di soglia è dato dall'ascissa dell'intersezione delle due rette che è risultata essere

$$I_S = (26.3 \pm 0.3)mA.$$

Figura 1:



Dati sperimentali di intensità luminosa in funzione dell'intensità di corrente, includendo i fit pre-soglia e oltre-soglia

Spettro di emissione

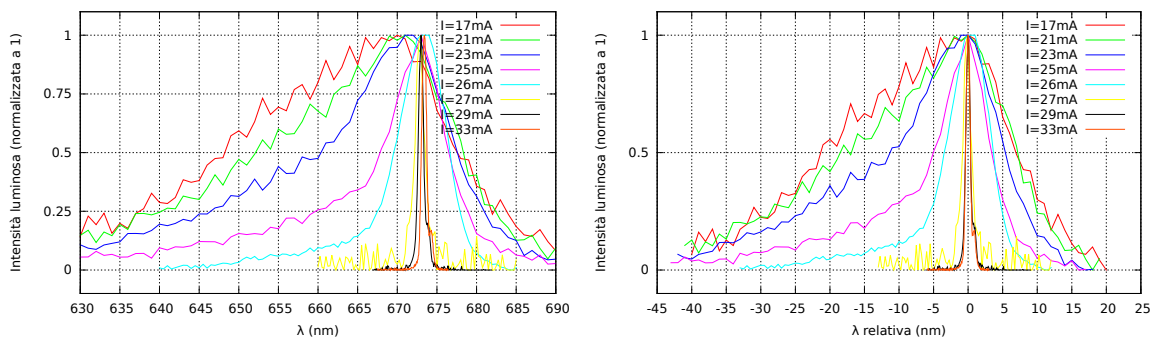
Per poter confrontare l'intensità delle componenti degli spettri di emissione relativi a diverse intensità di corrente in entrata abbiamo normalizzato le intensità misurate a 1 (cioè per ogni valore di corrente abbiamo diviso tutti i valori di intensità per il massimo valore ottenuto).

Durante le misure abbiamo schermato il diodo per rilevare il dato di luminosità di fondo, cioè il valore restituito dal misuratore quando l'unica luce che lo raggiunge è quella dell'ambiente circostante. Abbiamo quindi provveduto a sottrarre questo valore a tutti i dati di intensità dello spettro. Così facendo abbiamo però ottenuto dei dati negativi che ovviamente non hanno significato fisico, abbiamo quindi modificato questi dati ponendoli a zero.

Qui di seguito riportiamo due grafici dell'intensità luminosa in funzione della lunghezza d'onda. Il primo ha in ascissa le lunghezze d'onda. Come si può vedere i massimi di diversi spettri non corrispondono, questa caratteristica verrà evidenziata in seguito con un grafico che riporta la posizione del massimo in funzione dell'intensità di corrente. Nel secondo abbiamo invece centrato i diversi grafici assegnando il valore zero alla lunghezza d'onda relativa all'intensità massima di ciascun set di dati (cioè assegnando le nuove ascisse come $\lambda' = \lambda - \lambda_{max}$). Quest'ultimo grafico permette di osservare meglio il fatto che, all'aumentare della corrente, la luce emessa è sempre più tendente al monocromatico.

(Nota: le linee che collegano i punti non hanno significato di legge, sono semplicemente un modo per rendere più visibile l'andamento dei dati.)

Figura 2:



Dati sperimentali di intensità luminosa in funzione della lunghezza d'onda, a vari valori di corrente fornita al diodo. Nel grafico di destra i grafici sono stati centrati col loro massimo in 0.

Per quantificare questo fatto abbiamo cercato di descrivere l'andamento dei dati raccolti con delle gaussiane,

cioè con delle funzioni del tipo

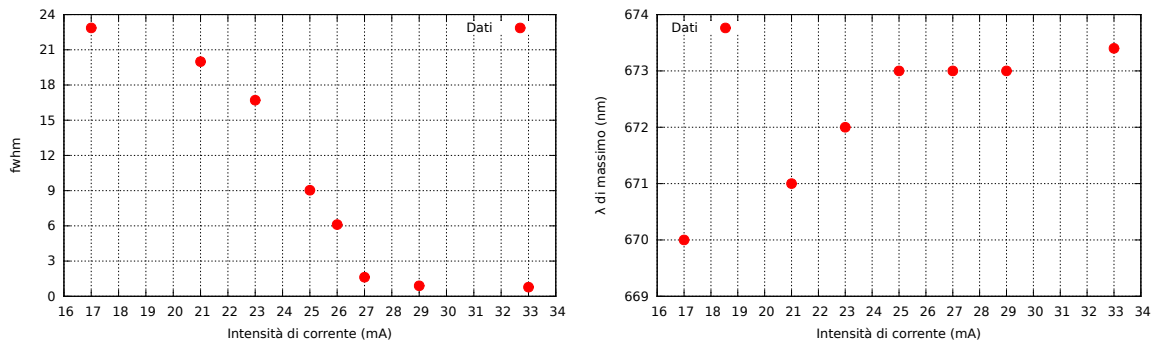
$$I = a \cdot \exp \left[-4 \cdot \log[2] \left(\frac{\lambda - m}{h} \right)^2 \right].$$

dove m è la posizione del massimo della gaussiana, corrispondente al massimo dei nostri dati, e h è la larghezza a metà altezza della gaussiana (fwhm), parametro che ci sarà utile per quantificare la sua larghezza.

Abbiamo quindi effettuato dei fit utilizzando come parametri a e h e restringendo opportunamente il dominio di fit per ogni set di dati, infatti essi non possono essere descritti nella loro interezza da una gaussiana non essendo simmetrici nella loro distribuzione. La parte di dati che si è mostrata meglio approssimata da una gaussiana è quella che include i dati immediatamente prima del massimo e quelli dopo. In appendice riportiamo alcuni grafici esemplificativi di questi fit.

Qui di seguito riportiamo invece due grafici, il primo è relativo alle fwhm in funzione dell'intensità di corrente mentre il secondo riporta le lunghezze d'onda corrispondenti ai massimi in funzione sempre dell'intensità di corrente.

Figura 3:



fwhm e lunghezza d'onda del massimo di intensità al variare della corrente

Il grafico relativo alle fwhm ci permette di suffragare l'osservazione precedente, infatti la gaussiana che descrive i dati si stringe sempre più all'aumentare della corrente e questo significa che il range di lunghezze d'onda di emissione è sempre più stretto, ergo la luce emessa è sempre più monocromatica. Inoltre si può notare che, oltre la corrente di soglia, si stabilizza il range di lunghezze d'onda emesse.

L'altro grafico invece mostra che il punto di massimo varia in maniera pressoché lineare per correnti inferiori a quella di soglia per poi stabilizzarsi per correnti oltre-soglia. Questo conferma ancora il comportamento di laser quando si è oltre la soglia, e ci dice che la lunghezza d'onda del laser è attorno ai $673nm$.

Riportiamo in conclusione a questa discussione un grafico riportante le intensità di tutti gli spettri di emissione senza normalizzazione. Pur non essendo utile per il confronto rigoroso questo grafico da una buona idea di come si comporta un diodo laser al variare della corrente. Si può ben vedere quanto, all'aumentare della corrente, aumenti l'intensità della luce emessa e come l'emissione per correnti pre-soglia sia distribuita su molte più lunghezze d'onda.

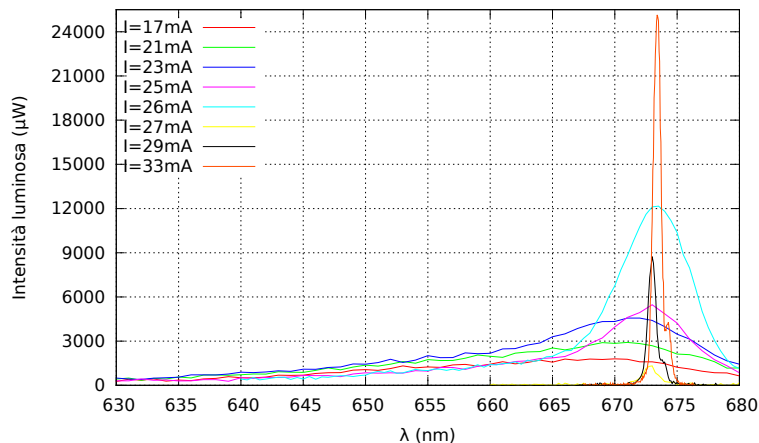


Figura 4: *Grafici dei dati sperimentali non normalizzati.*

Confronto con laser ad HeNe

Nell'ultima parte dell'esperienza abbiamo confrontato i dati del nostro diodo laser relativi alla massima corrente considerata ($I = 33mA$) con quelli di un laser ad elio-neon. Riportiamo qui due grafici, il primo contiene le misure di intensità dei due spettri senza nessuna normalizzazione, mentre il secondo riporta i dati dei due laser normalizzati a 1 e centrati.

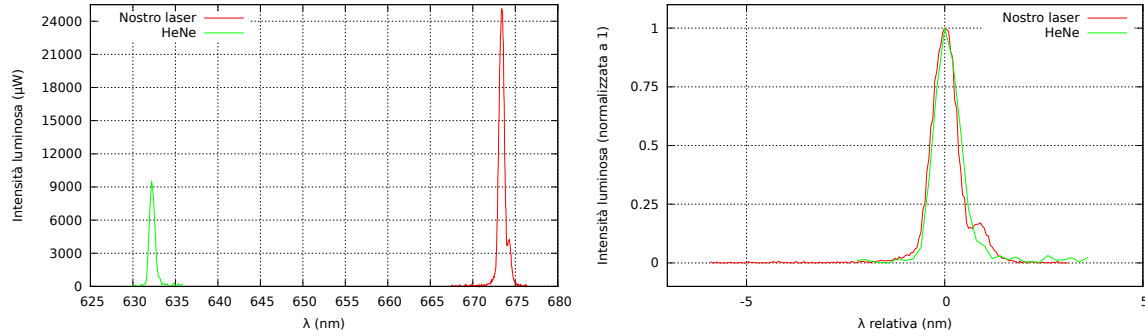


Figura 5: Confronto fra il nostro diodo laser ed un laser ad HeNe

Il primo grafico ci permette di confrontare l'intensità dei due laser e le rispettive lunghezze d'onda di emissione. Entrambe queste quantità risultano molto diverse (la lunghezza d'onda del massimo è $\lambda_{max}^{(HeNe)} = 632.2nm$ per l'elio-neon e $\lambda_{MAX}^{(diodo)} = 673.4nm$ per il diodo). Tuttavia normalizzando e centrando il grafico i due risultano avere un comportamento molto simile (a meno di una seconda moda nei dati del diodo laser, dovuta probabilmente a incidenti sperimentali). Se da una parte questo fatto è una conferma che il comportamento del diodo laser è effettivamente, come il nome può suggerire, quello di un laser, può anche evidenziare un limite sperimentale del nostro apparato, infatti potrebbe voler dire che non è possibile isolare le componenti monocromatiche dello spettro oltre questa precisione, cioè non è possibile dire se il laser è più monocromatico di quanto rilevato.

Appendici

Di seguito riportiamo, a titolo di esempio, due grafici in cui sono visibili i dati dell'intensità delle diverse componenti dello spettro relativi alle intensità di corrente $23mA$ e $33mA$ con le gaussiane calcolate tramite fit dei dati.

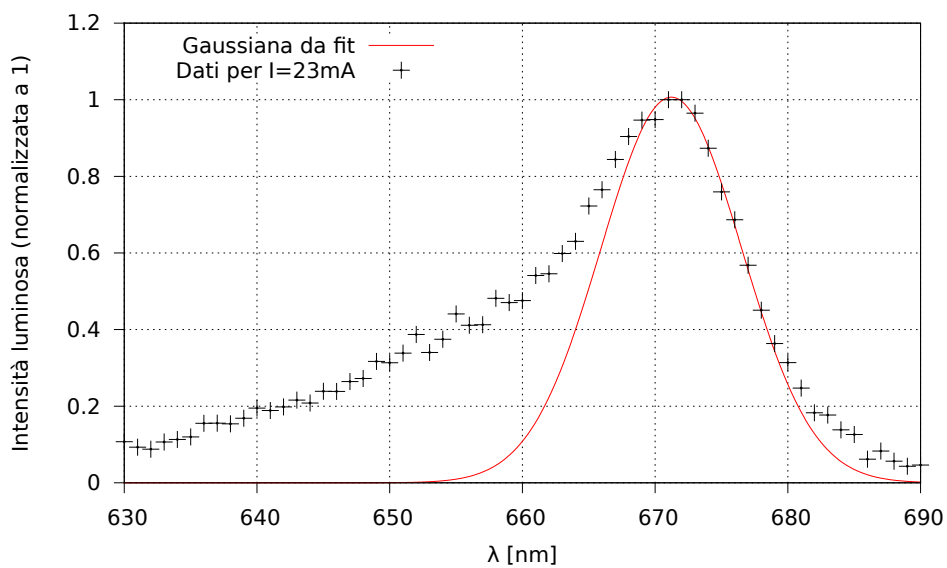


Figura 7

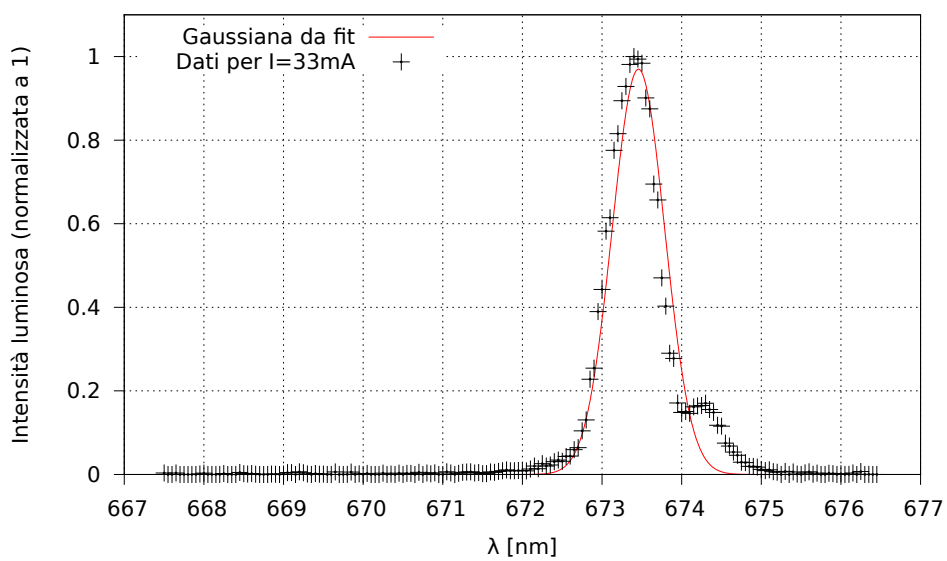


Figura 8