

A futuristic tunnel with glowing blue and green lights and a central glowing sphere. The tunnel is composed of concentric rings of light, creating a sense of depth and perspective. The central sphere is a bright, multi-colored orb with a blue and green core, surrounded by a ring of orange and yellow lights. The overall atmosphere is high-tech and vibrant.

Fotoluminescenza

Principio fisico

- La luminescenza si verifica per la **ricombinazione radiativa** di un elettrone eccitato. In un certo senso è il processo inverso dell'assorbimento ottico.
- Processo di enorme **interesse tecnologico** (laser allo stato solido, display, ...) e importante strumento di **caratterizzazione di materiali e dispositivi semiconduttori**.
- A seconda della fonte di eccitazione si può parlare di termo-, catodo-, foto- o elettroluminescenza. Eventualmente si può anche eccitare il sistema con raggi X o ioni.

Posso usare la luminescenza per caratterizzare la struttura elettronica dei materiali

Principio fisico, caso molecolare

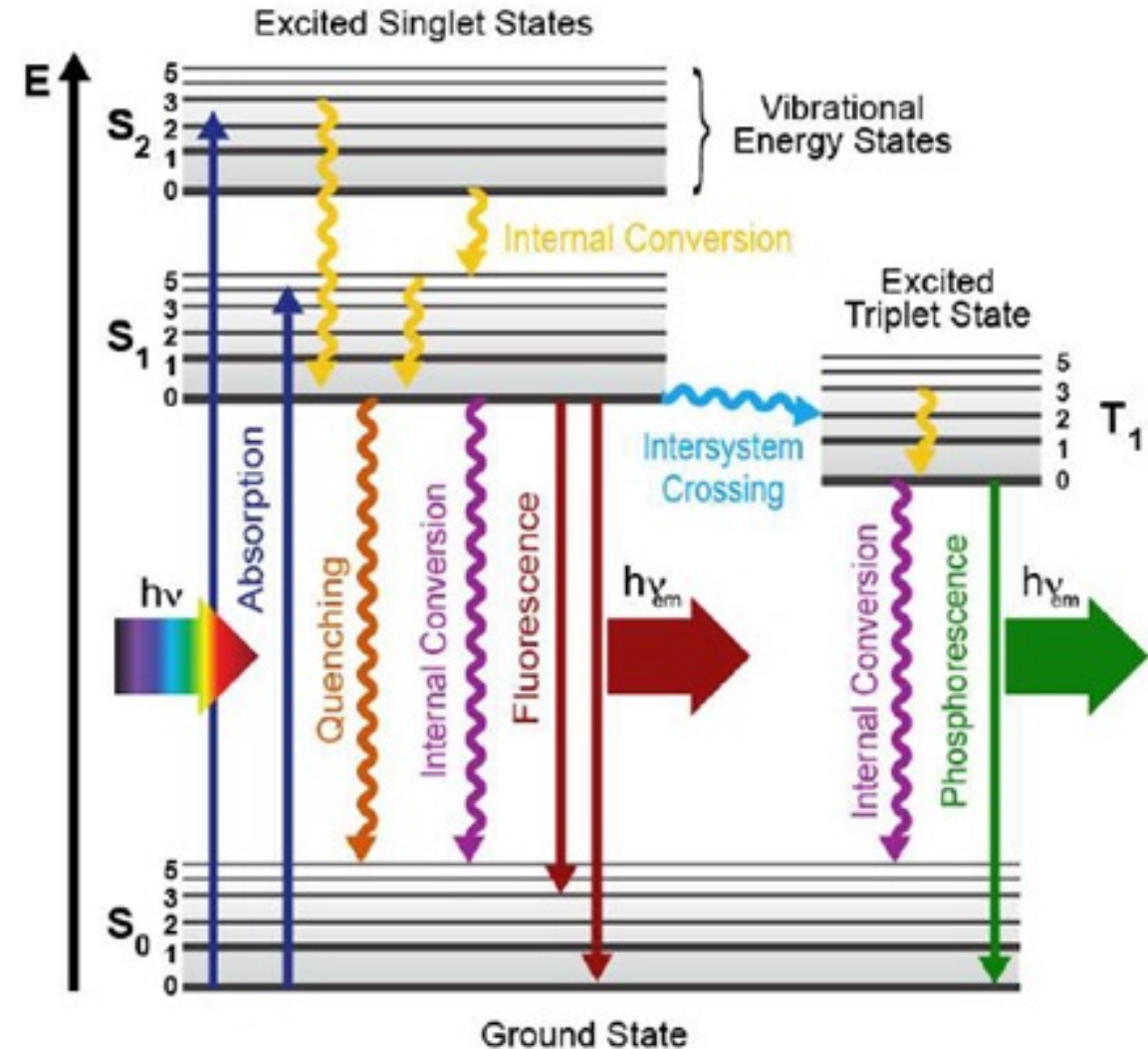
Se stimolo il campione con energia sufficiente ($> E_{\text{gap}}$) promuovo un elettrone in uno stato eccitato ($\tau_{\text{abs}} \sim \text{fs}$)

L'elettrone si rilassa via conversione interna (non radiativa, $\tau_{\text{abs}} \sim 10 \text{ fs} - 10 \text{ ps}$) fino a raggiungere il livello di energia minima (regola di Kasha)

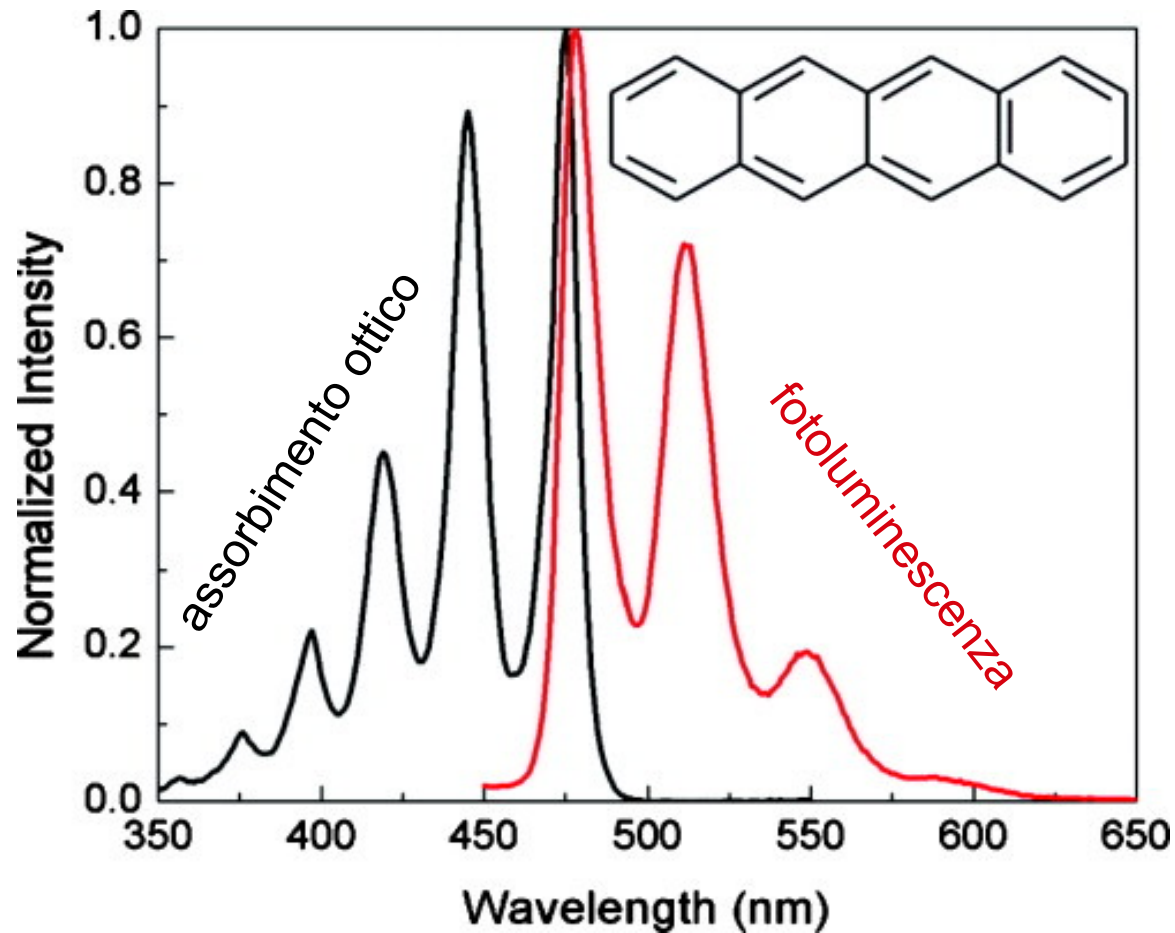
Da qui l'elettrone può:

1. Continuare il rilassamento per via non radiativa (energia persa come calore)
2. Tornare allo stato fondamentale emettendo un fotone (**luminescenza**)
3. Passare ad uno stato eccitato di tripletto per *inter-system crossing* (ISC)

Diagramma di Jablonski



Spettro di fotoluminescenza



Molecola di tetracene in soluzione

I fotoni emessi per luminescenza hanno generalmente energia minore dei fotoni assorbiti, poiché gli elettroni tendono a rilassarsi non radiativamente allo stato eccitato di minore energia: **Stokes shift**.

$$E = hc/\lambda$$
$$E[\text{eV}] \sim 1240/\lambda[\text{nm}]$$

Elementi di un sistema sperimentale

Generatore di segnale – perturbazione

- Fotoni: laser

Campione – emissione del segnale

- Luminescenza, ricombinazione radiativa

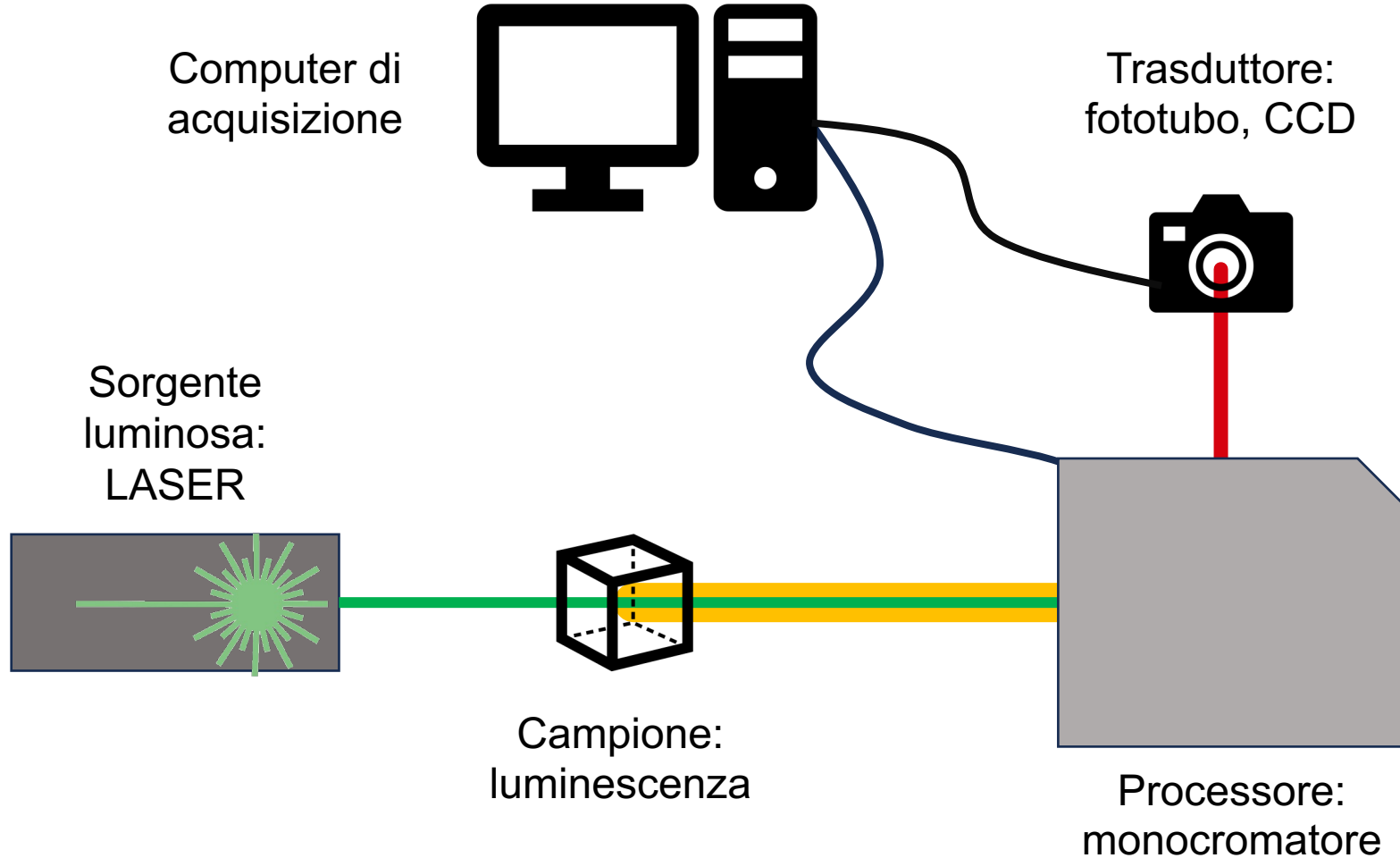
Trasduttore + processore di segnali

- Lo spettro di emissione va monocromatizzato per ricavarne informazioni utili

Dispositivo di lettura (trasduttore di uscita)

- I fotoni emessi e monocromatizzati vengono convertiti in segnali elettrici tramite fototubi o sensori CCD

Apparato per fotoluminescenza (base)

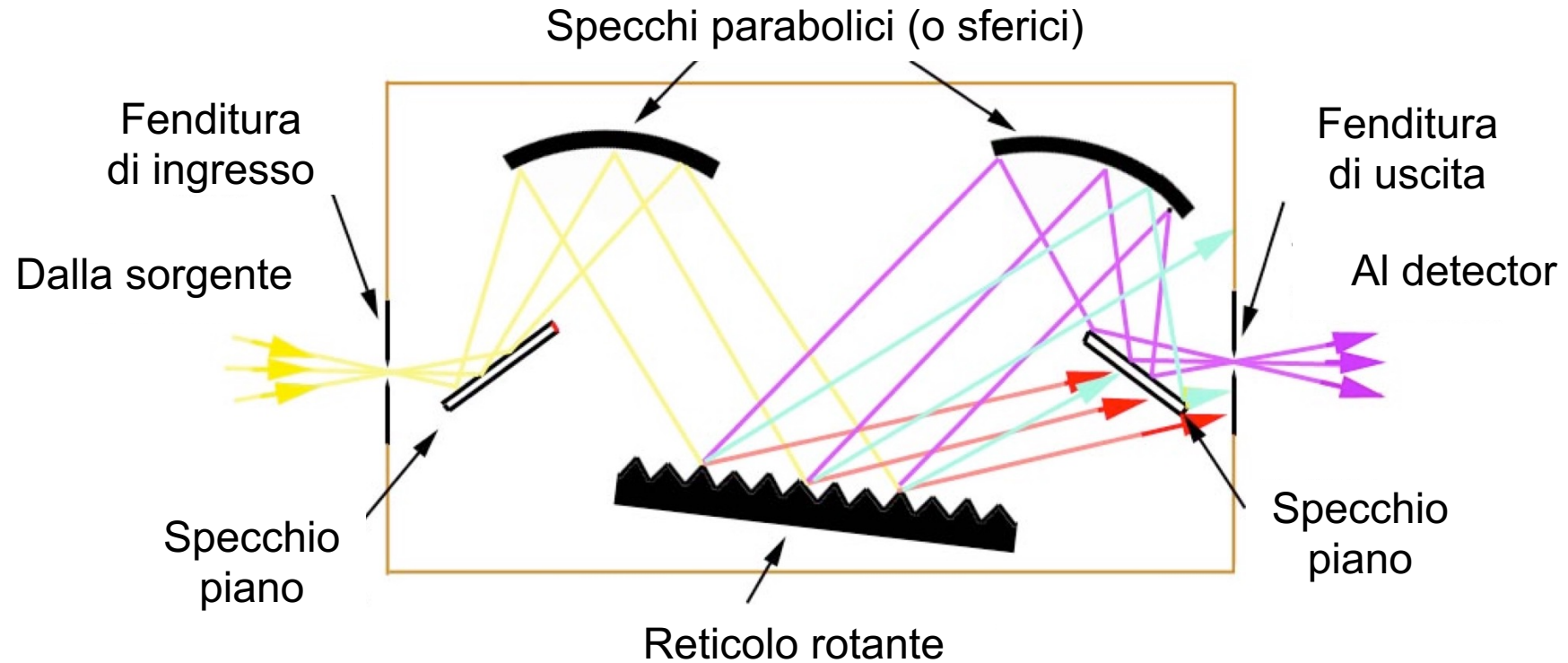


Aggiunte utili:

- Lenti di focalizzazione
- Filtri (interferenziale, passa-basso,...)
- Amplificatore

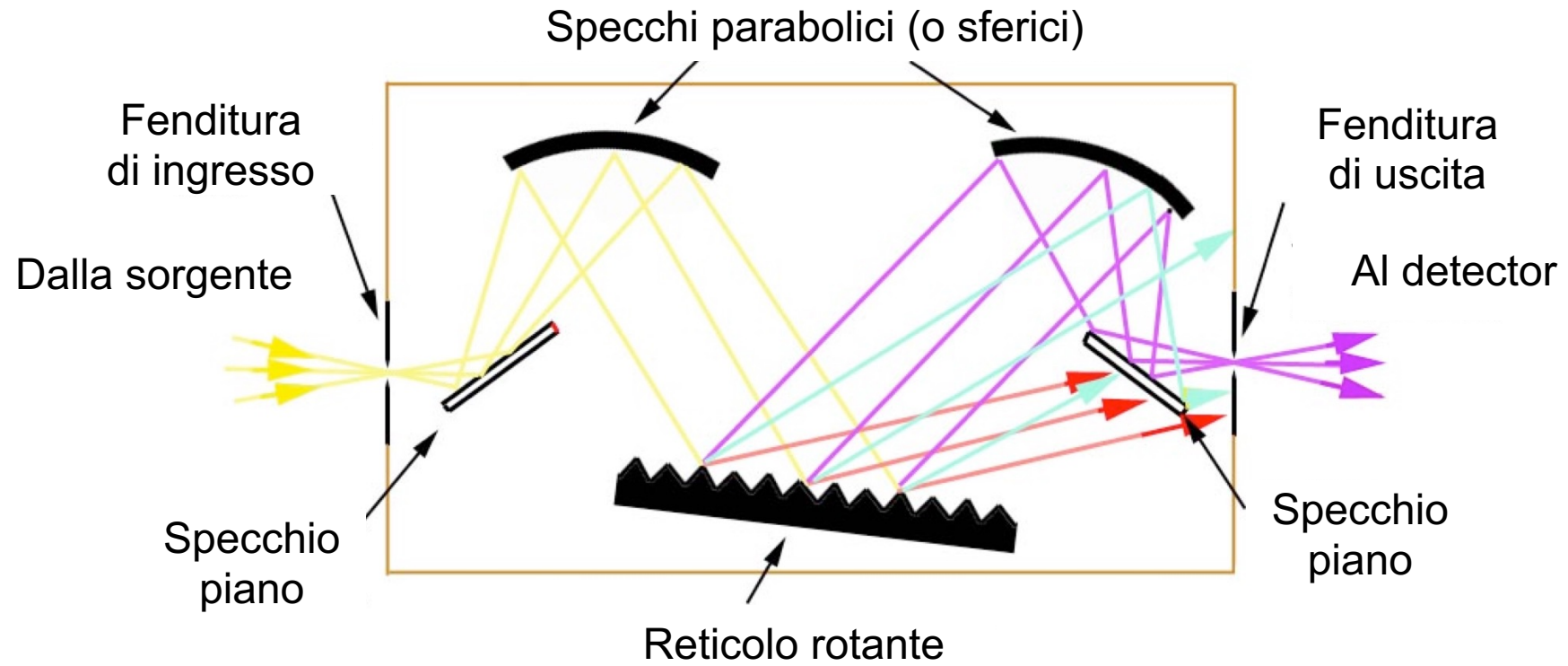
Monocromatore

Dobbiamo essere in grado di selezionare dal nostro spettro di emissione i fotoni in un intervallo fra λ e $\lambda + \Delta\lambda$



La luce emessa dal campione va focalizzata sulle fenditure di ingresso: sorgente puntiforme

Monocromatore



Le onde piane incidono sul reticolo ad un angolo $\alpha + \theta$,
dove θ è l'angolo di rotazione del reticolo e α è l'angolo di incidenza quando il reticolo è piatto

Il fascio viene disperso in energia dal reticolo, ma solo i fotoni uscenti con un angolo $\alpha - \theta$ vengono focalizzati sulle fenditure di uscita

Monocromatore

Cambiando θ posso selezionare la lunghezza d'onda che arriva al detector, la relazione che definisce i massimi di interferenza costruttiva sarà:

$$p[\sin(\alpha + \theta) - \sin(\alpha - \theta)] = m\lambda \quad (1)$$

con p il passo del reticolo e m l'ordine di diffrazione (0,1,2,...).

Se la sorgente non è puntiforme avrò un'incertezza sull'angolo di incidenza α , perché gli specchi paralleli ora focalizzano fasci con in un intervallo pari a d/f , con f la lunghezza focale dello specchio

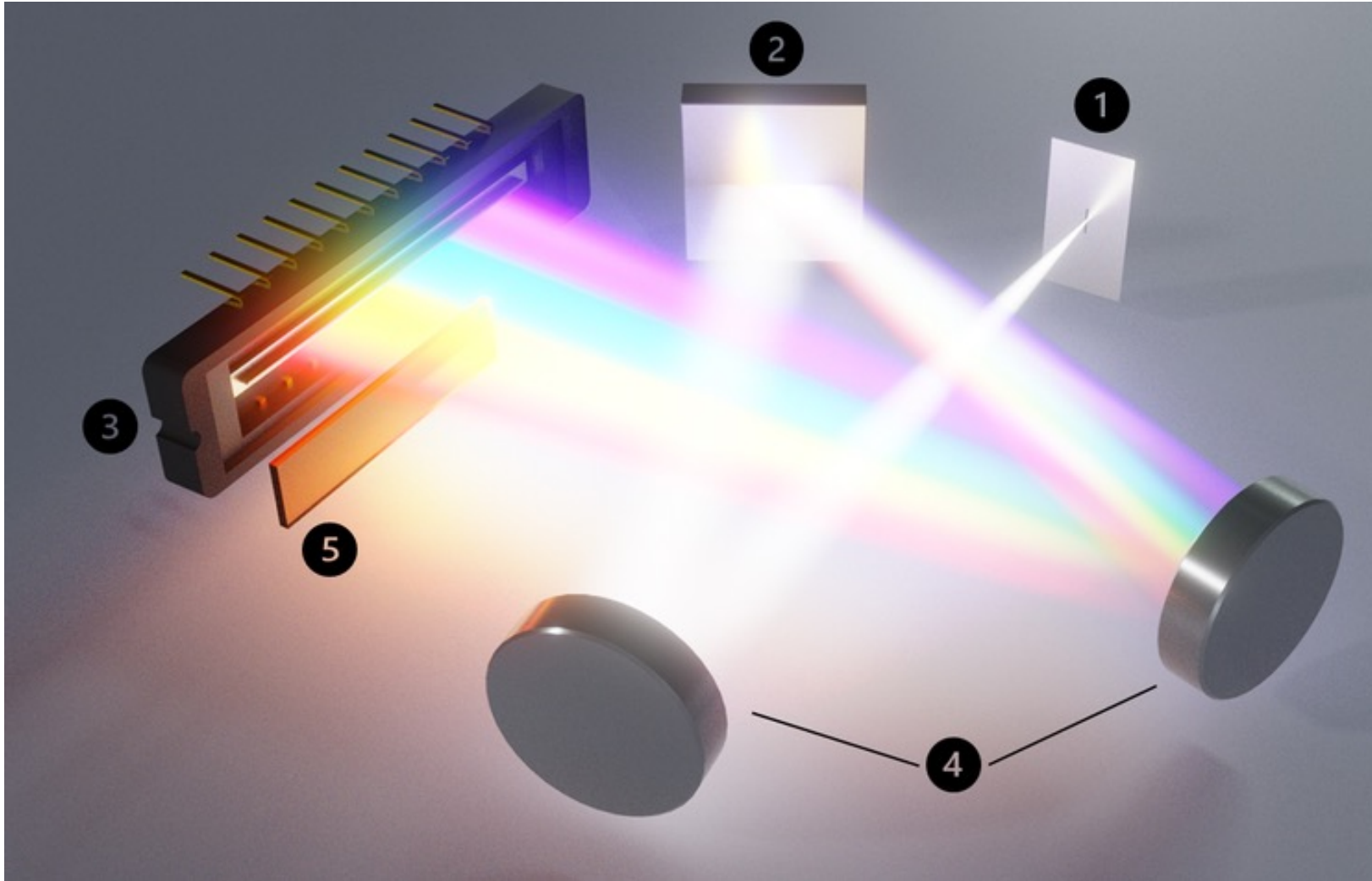
$$\Delta\alpha = d/f$$

Dalla propagazione degli errori, assumendo la stessa larghezza per fenditure di ingresso e uscita si ottiene:

$$\Delta\lambda = (p/m) [|\cos(\alpha + \theta)| + |\sin(\alpha - \theta)|](d/f) \quad (2)$$

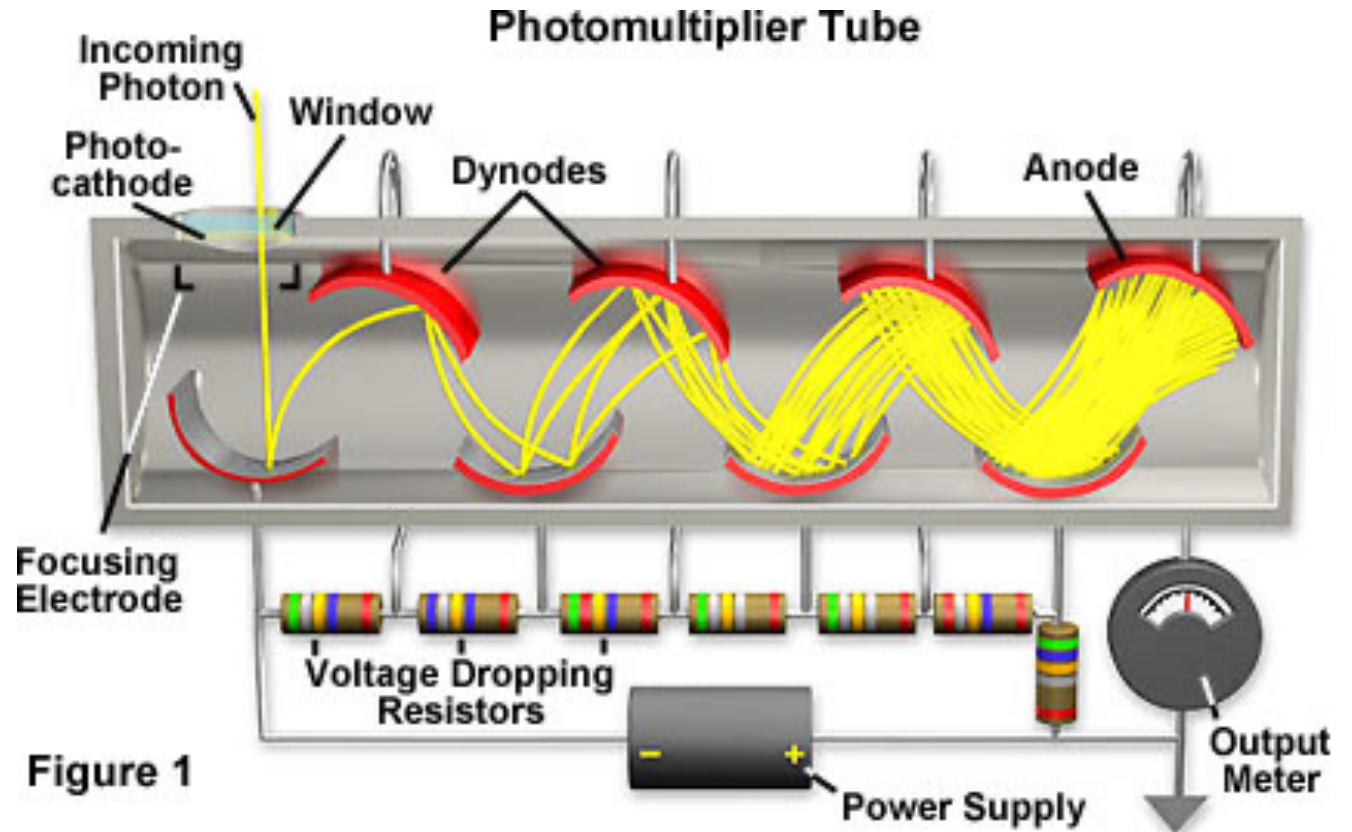
La perdita di risoluzione scala linearmente con la apertura delle fenditure

Monocromatore



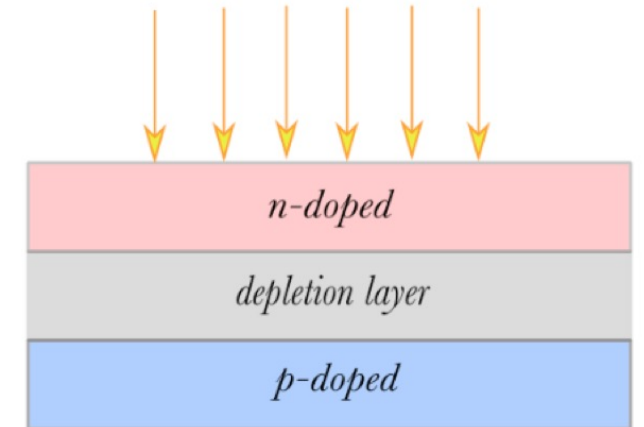
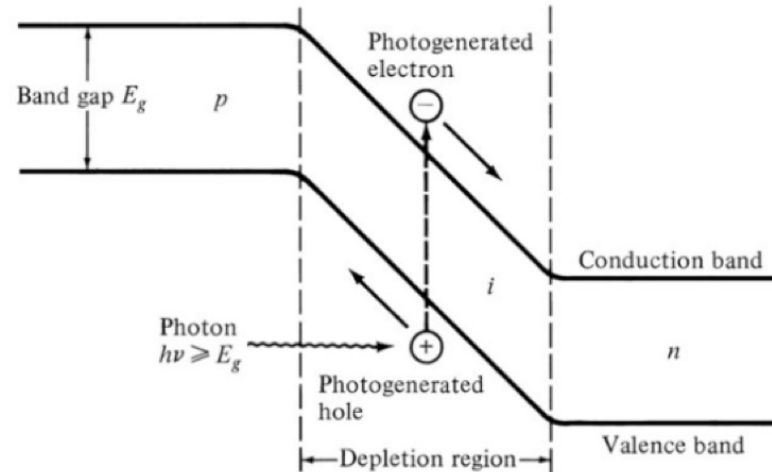
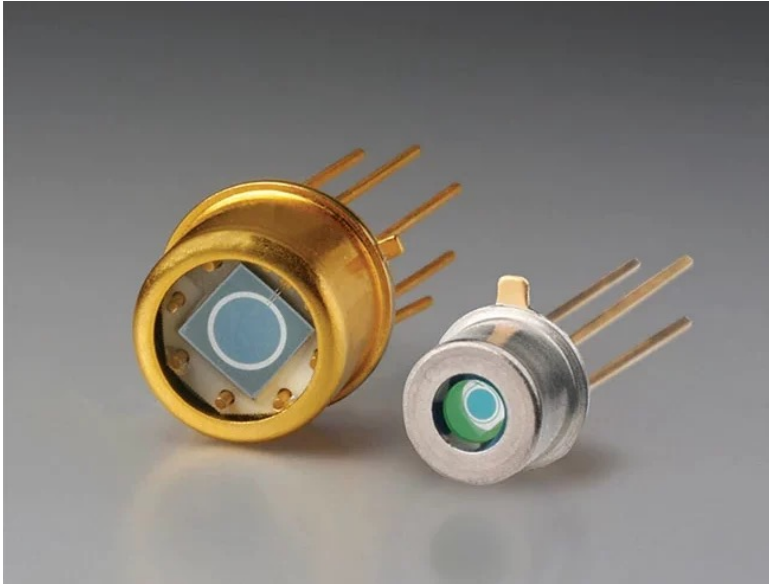
1. Fenditura di ingresso
2. Reticolo di diffrazione
3. Detector (CCD)
4. Ottiche di focalizzazione
5. Filtro per ordini superiori

Rivelatore: fotomoltiplicatore



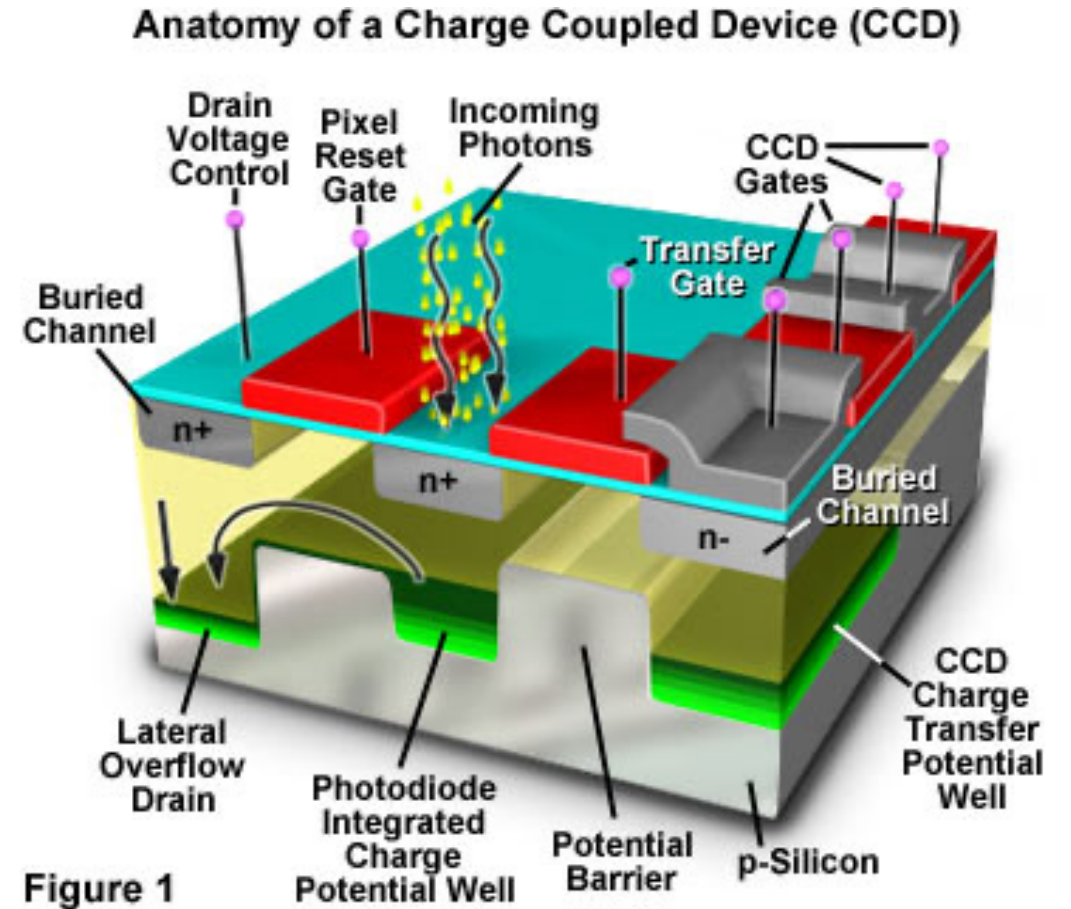
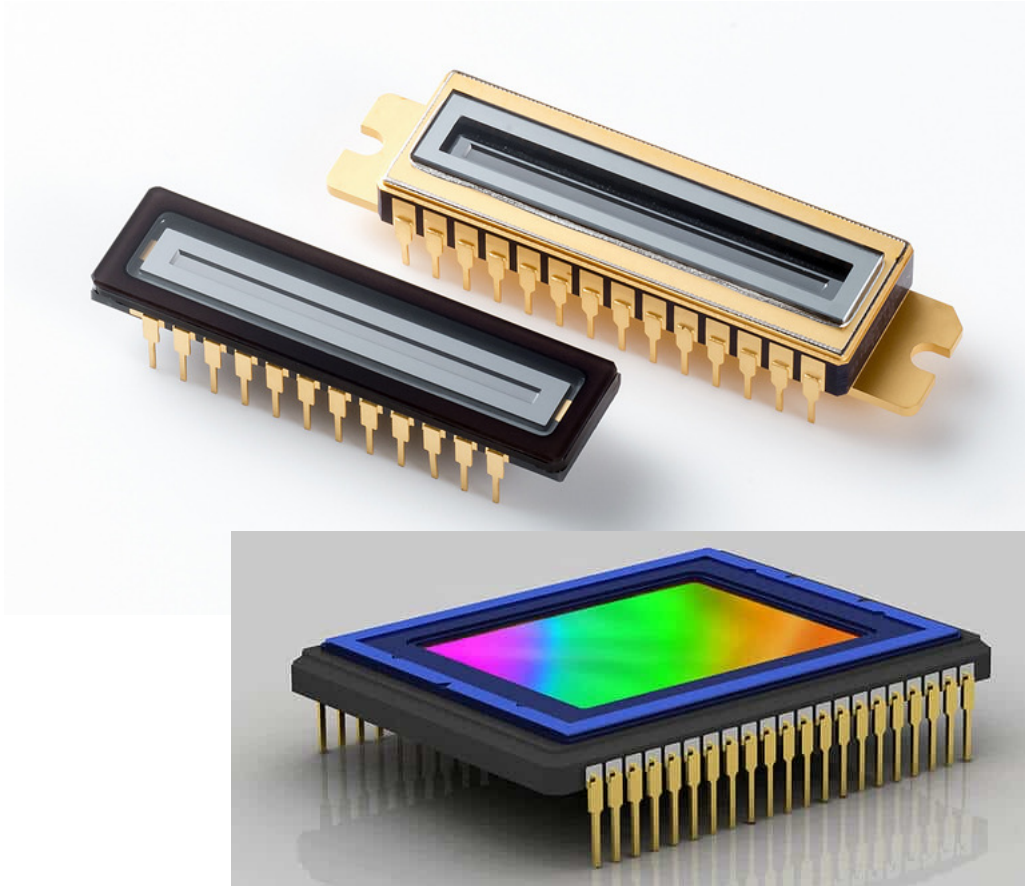
I fotoni che incidono sul materiale fotosensibile all'interno del fototubo causano emissione di elettroni, che vengono accelerati su dei dinodi e moltiplicati a cascata: ottengo una corrente misurabile sull'anodo

Rivelatore: fotodiodo



In una giunzione $p-n$ quando incide una radiazione di energia superiore alla gap si genera un eccitone, che viene separato in elettrone e lacuna per la differenza di potenziale presente attraverso la giunzione generando quindi una corrente misurabile

Rivelatore: CCD



L'assorbimento di un fotone nella regione sensibile della CCD produce un accumulo di carica
Al termine di un periodo di integrazione, le cariche accumulate vengono trasferite ad un elettrodo tramite la modulazione dei voltaggi applicati ai *gate*

Caratterizzazione dello spettrometro

Esperienza #1

- Misura della risoluzione in funzione dell'apertura della fenditura (con sorgente luminosa il più monocromatica possibile: LASER)
- Misura dello spettro di sorgenti note (corpo nero, lampade a scarica,...) per verificare la calibrazione e la riproducibilità delle misure
- Determinare la funzione di trasmissione dello spettrometro (monocromatore + detector)

Software

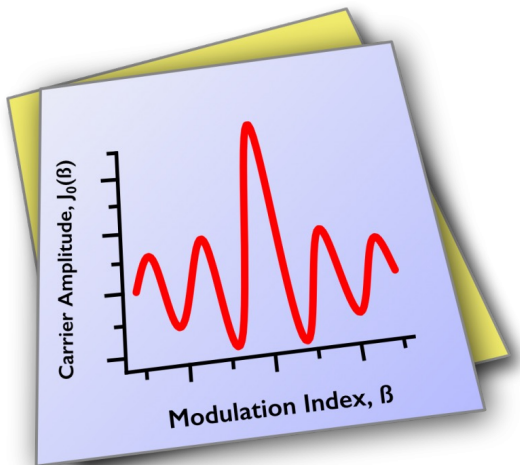
Gli spettri acquisiti saranno dei file di testo, leggibili con diversi software per analizzare i dati

Opzione 1

Igor Pro 9 – licenza annuale

www.wavemetrics.com/downloads/current

Interfaccia grafica pratica, possibilità di programmare, utilizzato in moltissimi laboratori di fisica della materia



Opzione 2

Python

Diversi editor, open source, pacchetti di funzioni per svariati utilizzi, community numerosa, ...

