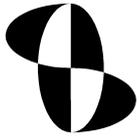


DISPENSE DI

PROGETTAZIONE OTTICA
PROGETTAZIONE DI STRUMENTI OTTICI

Cap.11 – SORGENTI LUMINOSE

Ing. Fabrizio Liberati



Cap. 11 SORGENTI LUMINOSE

11.1 Spettri di emissione delle sorgenti naturali e artificiali

Contrariamente a ciò che si può pensare, i tipi di sorgenti luminose esistenti in natura sono pochissimi. La maggior parte di esse emette *radiazione da corpo nero*, come le stelle, che rappresentano il caso più comune.

Per poter essere rivelabile dall'occhio umano, la radiazione da corpo nero deve essere emessa da una superficie a temperatura molto alta. All'emissione da corpo nero, che è la curva continua ben nota dalla Fisica Classica, solitamente si sovrappongono emissioni su particolari lunghezze d'onda, dette righe spettrali, che sono dovute a ben precisi salti degli stati elettronici.

Esistono poi altri tipi di sorgenti di bassissima intensità, come i corpi che emettono per *fluorescenza*, ma che sono di scarso interesse in questo ambito.

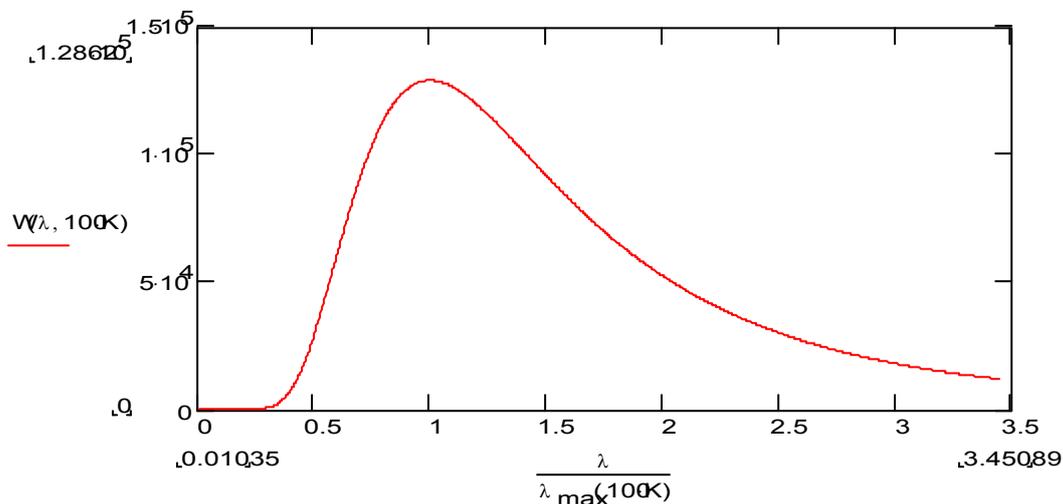


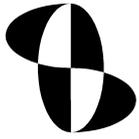
figura 11.1

Anche la maggior parte delle sorgenti artificiali (lampade ad incandescenza, lampade alogene) emette per radiazione da corpo nero, mentre solo alcuni ritrovati relativamente recenti emettono per altri fenomeni fisici. Le principali di queste sorgenti sono le *lampade ad arco e a scarica*, i *led*, i *laser*, i *tubi a raggi catodici* o altre minori. Molto recentemente sono state messe a punto sorgenti particolari che sono ancora in fase di studio e comprendono emissioni da *polimeri* o altri materiali.

11.2 Modifica delle caratteristiche spettrali di emissione

Occorre modificare le caratteristiche spettrali di una sorgente quando si vuole attenuare o eliminare del tutto una parte dello spettro emesso. Il modo più semplice per far ciò consiste nel filtraggio della parte dello spettro che non interessa, cioè nella sua eliminazione selettiva. Questo può realizzarsi in due modi: mediante i filtri ad assorbimento o mediante i filtri dicroici.

- Filtri ad assorbimento. Riducono progressivamente l'intensità della sorgente in alcune zone spettrali mediante assorbimento selettivo



- Filtri dicroici. Riflettono una parte di spettro e trasmettono la parte restante in modo da eliminare quella non desiderata.

Un esempio del primo tipo di filtraggio si ha nei filtri di sicurezza comunemente adoperati nei sistemi laser o negli occhiali di protezione da radiazione laser. Il secondo metodo di filtraggio viene applicato ad esempio nelle parabole riflettenti di alcune lampade alogene: in questo caso il trattamento dicroico viene detto specchio freddo, in quanto trasmette la radiazione infrarossa disperdendola mentre riflette solo la parte di emissione visibile, avendo perciò sottratto il calore. Un filtraggio combinato per assorbimento e riflessione si ha nell'esempio di compatibilità NVG descritto alla fine del capitolo precedente.

I filtri spettrali si applicano nei casi in cui si voglia modificare il colore emesso da sorgenti a spettro largo, come le lampade ad incandescenza.

Distribuzione spaziale dell'emissione

Per distribuzione spaziale dell'emissione si intende la distribuzione angolare secondo cui la radiazione si propaga a partire dalla sorgente. I costruttori per lampade da illuminazione per uso domestico forniscono nei loro cataloghi dei diagrammi polari che indicano la quantità di luce che viene emessa dalla sorgente in funzione dell'angolo. I diagrammi polari valgono quando le distanze a cui si considera la radiazione emessa sono molto maggiori delle dimensioni trasversali della sorgente. Nei casi in cui questo fatto geometricamente non si verifica, la sorgente va considerata estesa: occorre cioè tener conto delle sue dimensioni trasversali.

Tra le sorgenti estese, particolare importanza rivestono quelle che si possono considerare lambertiane.

Le superfici emittenti si dicono lambertiane se l'emissione angolare è proporzionale al coseno dell'angolo che la direzione di emissione forma con la normale alla superficie. Il lobo di emissione di superficie lambertiana, che risulta sferico, è mostrato in figura 11.2.

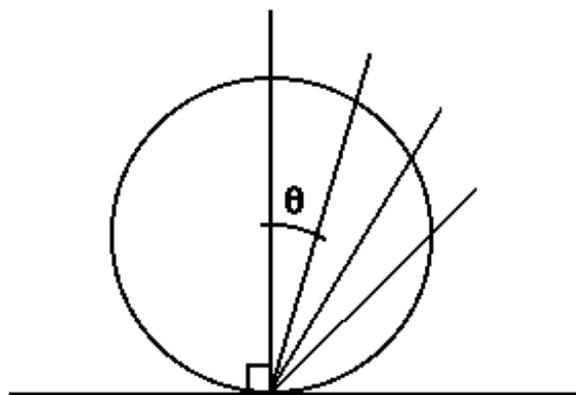


figura 11.2

Questa caratteristica si può facilmente estendere a superfici non già emittenti, ma che riflettono la luce emessa da altre sorgenti. Tali superfici godono della proprietà che la loro luminosità è indipendente dall'angolo di osservazione. Infatti il fattore



coseno è esattamente bilanciato dalla maggiore estensione superficiale che viene osservata dallo stesso angolo.

A parte la definizione che può apparire artificiosa, la maggior parte delle superfici diffondenti si comportano con ottima approssimazione come lambertiane. Questa proprietà si traduce in una uniforme sembianza di luminosità che non dipende dal punto di osservazione e consente notevoli semplificazioni dal punto di vista della simulazione e del calcolo.

Indipendentemente dalla distribuzione di intensità, la radiazione generata da un punto della sorgente estesa si propaga radialmente in un mezzo omogeneo, apparendo pertanto costituita di fronti d'onda sferici, ovvero, considerando la propagazione per raggi di luce, per raggi stigmatici. Quando la distanza dalla sorgente è molto maggiore delle dimensioni trasversali del fronte d'onda considerato, quest'ultimo può ritenersi piano e la sorgente collimata (approssimazione di Fraunhofer).

11.3 Modifica delle caratteristiche spaziali di emissione

Si può voler modificare l'emissione di una sorgente per i più disparati motivi. Si può ad esempio voler aumentare l'efficienza luminosa di una lampada evitando di disperdere luce in direzioni non utilizzate (mediante parabole riflettenti, come nel caso di proiettori per uso automobilistico o schermi diffondenti, come nel caso di illuminazione domestica) o semplicemente ammorbidirne l'intensità (mediante vetri o schermi diffusori).

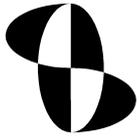
I sistemi di presentazione (display, pannelli e simili), fanno largo uso di diffusori, schermi e altri congegni atti ad ottenere una illuminazione per quanto possibile gradevole per intensità ed uniformità.

Se si vuole ottenere una sorgente collimata, così come definita nel precedente paragrafo, occorre posizionarla sul piano focale di un sistema ottico. In questo caso il sistema ottico fungerà da proiettore ed emetterà una radiazione costituita di fronti d'onda che, a parte le aberrazioni del sistema ottico ed eventuali errori di manifattura o di posizionamento, potranno ritenersi piani. Il sistema emulerà una sorgente posta ad una distanza infinita.

11.4 Sorgenti

Corpi neri

Oltre che come sorgenti di radiazione visibile, nel quale caso la temperatura deve essere dell'ordine di migliaia di gradi, i corpi neri a temperature vicine a quelle ambiente trovano largo impiego in elettroottica come sorgenti di radiazione infrarossa per collaudi di FLIR (Forward Looking InfraRed, figura 11.4). In questi casi vengono generate delle mire di risoluzione termica mediante interposizione di barre la cui temperatura è diversa da quella dello sfondo. Le barre sono ricavate da una lastra metallica ricoperta da vernice con emissione prossima ad 1 nella zona spettrale di interesse. Le aperture che costituiscono le barre mostrano il corpo nero. Un paraboloide fuori asse collima l'immagine per simulare una scena a distanza infinita in modo che possa essere osservata dal Flir a scopo di test. La differenza di



OPTO SERVICE srl

temperatura tra le barre ed il corpo nero simula uno scenario in cui, per una data frequenza spaziale, esista una certa differenza di temperatura che il Flir deve riuscire a rivelare per passare il test.

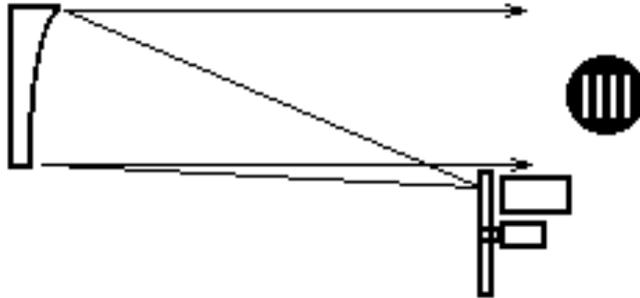


figura 11.4

Laser, diodi laser, Led

Laser, diodi laser e led sono sorgenti particolari, accomunate dalla proprietà di emettere in una banda spettrale stretta, o addirittura una riga spettrale. Pertanto vengono utilizzati per questa caratteristica, o, nel caso dei led, anche per il fatto di essere componenti minuscoli ed economici. Dal momento che i laser vengono trattati diffusamente in un altro corso, ci occuperemo di diodi laser e led.

Dal punto di vista spettrale, i led forniscono emissioni la cui larghezza a metà altezza varia tipicamente tra i 20 e i 40nm e al 10% del picco tra i 50 e i 100nm, mantenendo pertanto delle caratteristiche di elevata saturazione cromatica.

Dal punto di vista spaziale, l'emissione può essere a fascio stretto, nell'ordine di 10° a metà altezza, o a fascio largo, anche oltre i 100° , a seconda rispettivamente che si voglia una illuminazione più brillante, per impieghi ad esempio da distanze notevoli, o che si voglia una visibilità da un campo largo. A questo scopo i led sono prodotti in contenitori plastici funzionanti come lenti, e perciò sagomati in maniera tale da correggere l'angolo di emissione. In qualche caso, per allargare ulteriormente l'angolo emesso, la superficie plastica esterna agisce come un vero e proprio diffusore.

I diodi laser sono, al pari dei laser, sorgenti monocromatiche la cui massima potenza di picco cresce continuamente dando luogo a utilizzi impensabili fino a pochi anni fa, come addirittura lavorazioni meccaniche quali saldatura o taglio di metalli. Tipicamente l'angolo di emissione è molto alto, se comparato con quello dei laser tradizionali, ed asimmetrico. Il cono di emissione è ellittico, con gli angoli pari a circa 10° per 40° totali. L'utilizzo di un collimatore consente di rendere i raggi da divergenti paralleli, mentre il fascio rimarrà di forma ellittica e divergenza asimmetrica. Per circolarizzare il fascio si fa ricorso di solito ad una coppia di prismi che, come si vede in figura 11.5, realizzano una variazione delle dimensioni del fascio solo nel piano della pagina e non nel piano ortogonale.

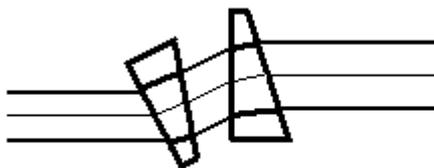


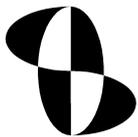
figura 11.5

Lampade

Le caratteristiche delle sorgenti artificiali di uso più comune sono riassunte in tabella 11.1

SORGENTE	PROPRIETA'	NOTE
Lampada ad incandescenza (tungsteno)	Emissione da corpo nero: termica da larga banda. $T_{\text{colore}} = 2800^{\circ}\text{C}$ circa	Disponibili in molti tagli dimensionali e di potenza. Durata limitata
Lampada alogena (tungsteno)	Emissione da corpo nero: termica da larga banda. $T_{\text{colore}} = 3100^{\circ}\text{C}$ circa	Viene instaurato un ciclo di rigenerazione alogeno efficiente e di lunga durata.
Lampada ad arco (xenon)	Banda di emissione piatta con qualche riga spettrale	Viene generato un arco tra due elettrodi. Molto brillante. Instabile come posizione ed intensità.
Tubo Fluorescente (neon)	Banda larga con linee di emissione molto accentuate	Rapidamente modulabile
Led	Banda stretta, efficiente, di facile pilotaggio, economico.	Rapidamente modulabile, disponibile in molte lunghezze d'onda e potenze.

tabella 11.1



OPTO SERVICE srl

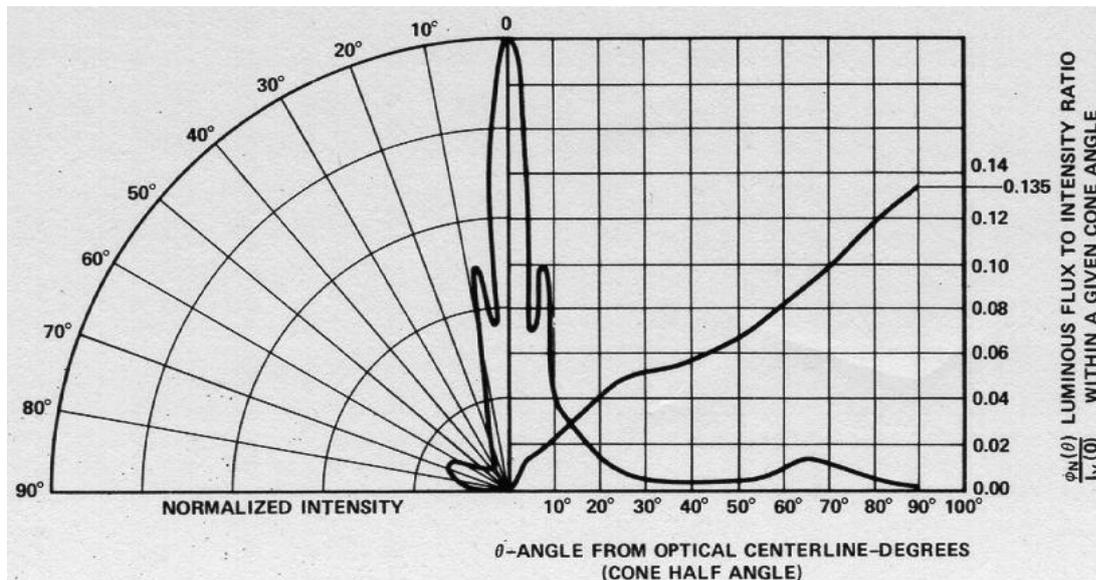


figura 11.6

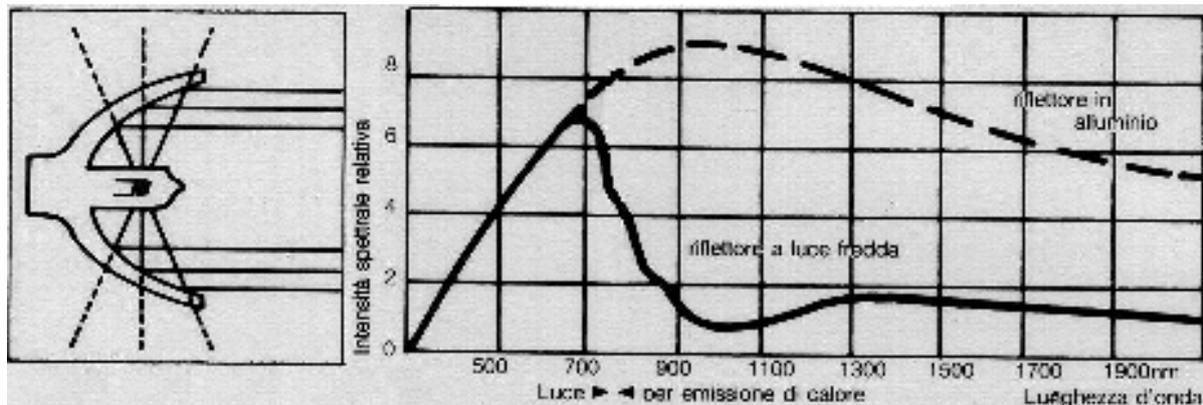


figura 11.7

Tubi a raggi catodici (CRT)

I tubi a raggi catodici sono tubi di vetro sigillati e sotto vuoto (si veda in figura 11.8).

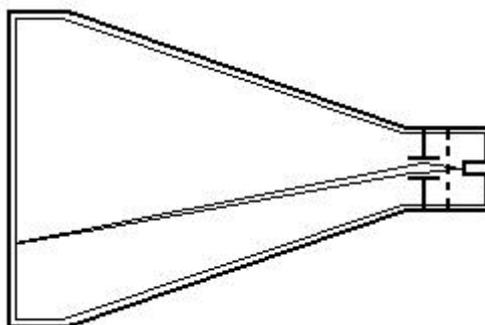


figura 11.8

Un catodo emette un fascio di elettroni che vengono attirati da una griglia caricata positivamente. Degli elettrodi controllano il flusso elettronico in termini di deviazione e focaggio su uno schermo, mediante variazione di campo magnetico. Il fascio di elettroni colpisce una faccia interna del tubo, su cui è depositato uno strato di fosfori che riemettono fotoni convertendo l'energia elettrica in energia luminosa. Variando la tensione applicata alla griglia si può modulare l'accelerazione degli elettroni e di conseguenza la luminosità del sistema. Con questo sistema funzionano i CTR (Cathode Ray Tube) monocromatici; quelli a colori sono costituiti da 3 cannoni elettronici, uno per ogni colore primario (si veda in figura 11.9). Per ottenere additivamente tutti i colori a partire da questi sono utilizzate diverse tecnologie. La più comune consiste nella shadowmask, che è una griglia attraverso i cui fori passano i tre fasci elettronici per colpire per parallasse una terna di fosfori appositamente disposta.

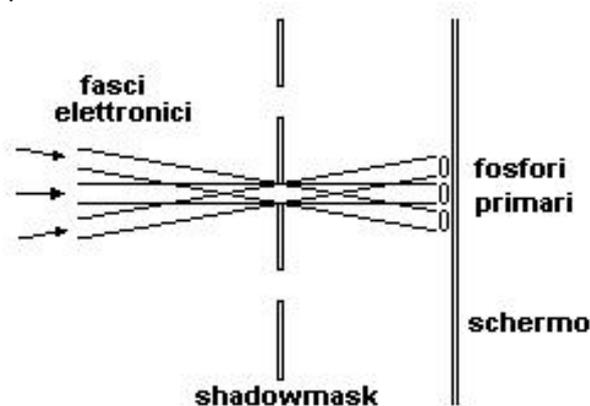


figura 11.9

Altre disposizioni geometriche sono possibili, spesso coperte da brevetti industriali. Come detto nel capitolo relativo alla colorimetria, si possono ottenere in questo modo tutti i colori compresi nel triangolo che ne rappresenta le coordinate cromatiche (si veda in figura 11.10 per gli spettri).



OPTO SERVICE srl

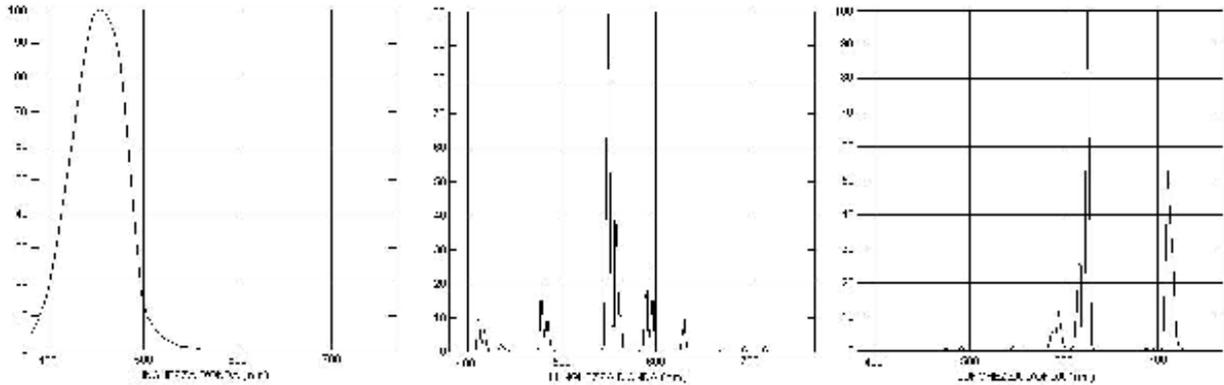


figura 11.10

I fosfori i cui spettri sono rappresentati in figura forniscono colori primari le cui coordinate cromatiche nel sistema CIE 1931 (x,y) sono rispettivamente: per il Blu $x=0.150$ $y=0.063$, per il Verde $x=0.326$ $y=0.534$, per il Rosso $x=0.625$ $y=0.324$. La figura 11.11 riporta la posizione delle coordinate cromatiche corrispondenti alle emissioni che delimitano il triangolo di colori ottenibili mediante mescolazione additiva dei primari.

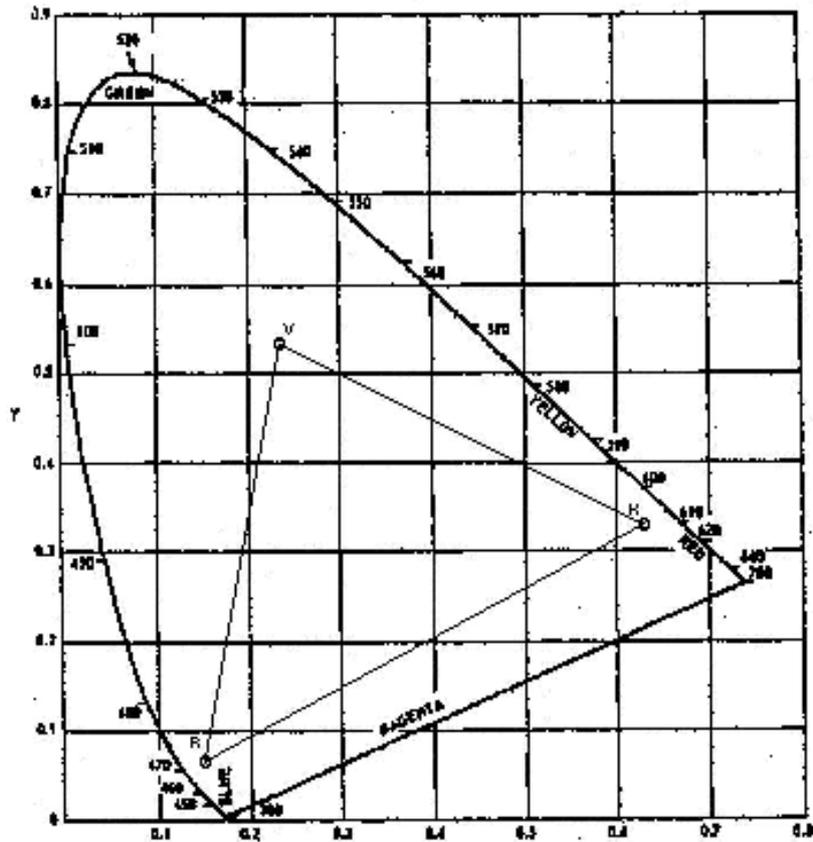
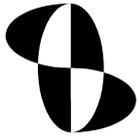


figura 11.11



OPTO SERVICE srl

Sorgenti minori ed emergenti

Da qualche anno si vanno diffondendo sorgenti di luce che mostrano in prospettiva caratteristiche interessanti, ma che fino ad ora sono state applicate in casi rari. Tra queste sono da ricordare i polimeri e l'elettroluminescenza.

Mentre quest'ultima ha già trovato applicazioni in ambito militare, i polimeri emettitori di luce sono allo stato di ricerca avanzata.

L'elettroluminescenza (o catodo-luminescenza) consiste nell'emissione di luce da parte di metalli bombardati da elettroni ad alta velocità, che ne causa la sublimazione con conseguente emissione. Si riescono a costruire fogli sottili e flessibili che fanno da substrato e vengono utilizzati per costruire pannelli, detti appunto elettroluminescenti.