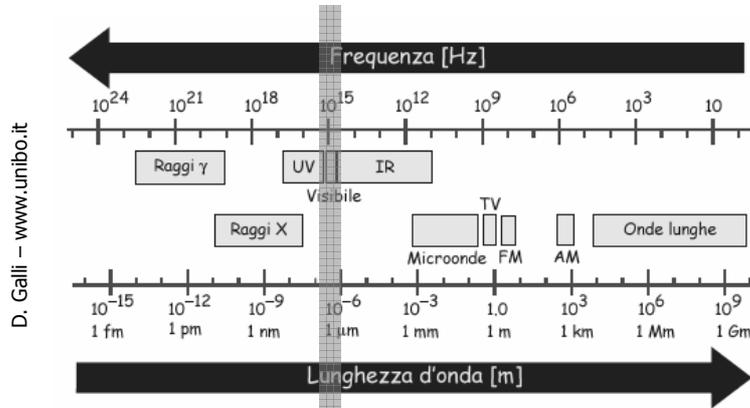
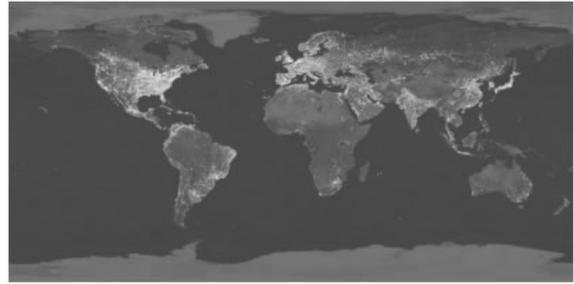


Inquinamento luminoso

L'inquinamento luminoso è un'alterazione della quantità naturale di luce presente nell'ambiente notturno provocata dall'immissione di luce artificiale.

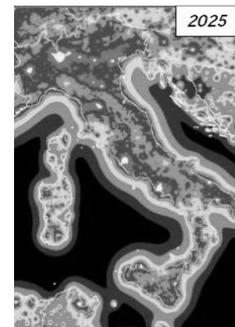
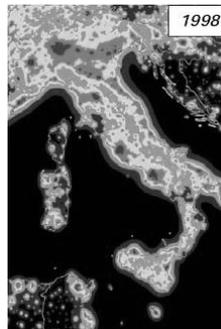
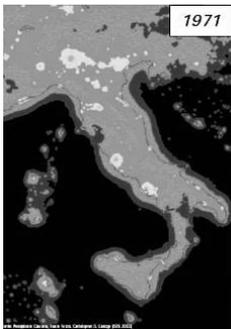


L'impatto dell'inquinamento luminoso cresce al ritmo pari a circa il 7 % annuo

<http://www.savethenight.eu/>

In media almeno il 25% ÷ 30% dell'energia elettrica degli impianti di illuminazione pubblica viene diffusa verso il cielo, mentre una quota ancora maggiore è quella di gestione privata.

www.arpalombardia.it



Il degrado dell'ambiente soggetto ad inquinamento luminoso si osserva a vari livelli

ECOLOGICO: la maggior parte dell'energia elettrica è prodotta tramite combustibili fossili, quindi se aumenta il consumo energetico aumenta l'inquinamento atmosferico; alterazione della fotosintesi e delle migrazioni di uccelli, ecc

SCIENTIFICO: gli astronomi e astrofili per osservare le stelle devono allontanarsi sempre più dai siti abitati

PSICOLOGICO: disturbi della personalità nell'uomo causati dalla diffusione notturna; insonnia, ecc

CULTURALE: la cultura popolare del cielo è ormai ridotta ad eventi straordinari di tipo astronautico, si è perso quasi completamente il contatto diretto col cielo visto che negli anni la visibilità si è ridotta del 50%

ARTISTICO: i centri storici delle città sono troppo e male illuminati, alterando la corretta lettura delle opere architettoniche e delle sculture

ECONOMICO: è stato calcolato che solo in Italia si spendono dai 300 ai 500 miliardi di vecchie lire all'anno in più di quanto si potrebbe spendere applicando una giusta illuminazione

Inquinamento luminoso

Effetti

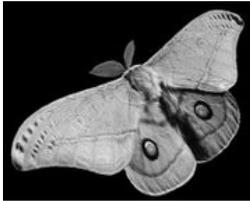
Un' eccessiva illuminazione notturna può portare a :

disturbo del riposo / alterazione della produzione di melatonina
alterazione dei ritmi circadiani
abbagliamento e/o distrazione; miopia nei bambini

alterazione dell'efficienza del processo di fotosintesi
alterazione del fotoperiodismo

alterazione delle abitudini di vita/caccia/riproduzione degli animali
effetto di disorientamento durante i periodi migratori

<http://it.wikipedia.org/wiki/Falena>



<http://www.liceoberchet.it/>



Istituto di Scienza e Tecnologia
dell'inquinamento luminoso

<http://www.inquinamentoluminoso.it/istil/indexit.html>

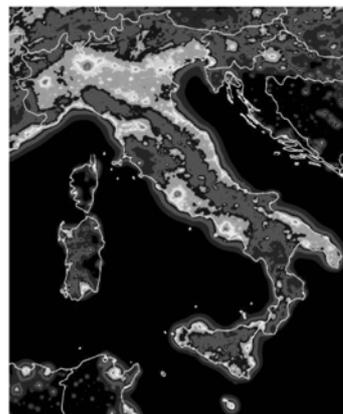
Inquinamento luminoso

Quali indicatori possono essere utilizzati per quantificare la presenza di inquinamento luminoso nell'ambiente ?

Si può, ad esempio, confrontare la luminosità che il cielo notturno avrebbe in condizioni di assenza di sorgenti luminose con quella che il cielo notturno ha quando tali sorgenti sono accese.



fotografia di Luigi Boschian, San Canzian d'Isonzo / <http://www.lightpollution.it/>



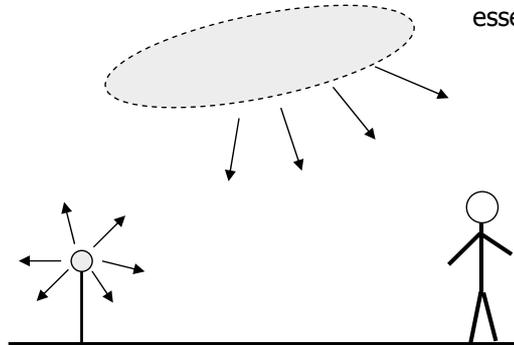
Rapporto Istil 2001

Maggiore è la differenza di luminosità indotta da impianti artificiali, maggiore è la "perdita di luminosità" cui vanno soggetti gli oggetti celesti (v. cartina)

Inquinamento luminoso

Per valutare l'impatto di una sorgente in termini di inquinamento luminoso prodotto è necessario valutare diversi elementi

L'intensità luminosa emessa dalla sorgente

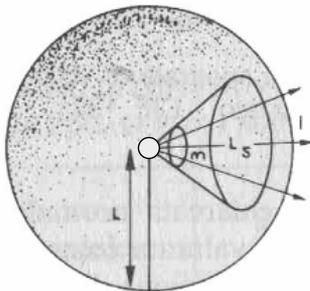


Il fatto che la sorgente possa essere estesa e non puntiforme

La sensibilità dell'occhio di una persona

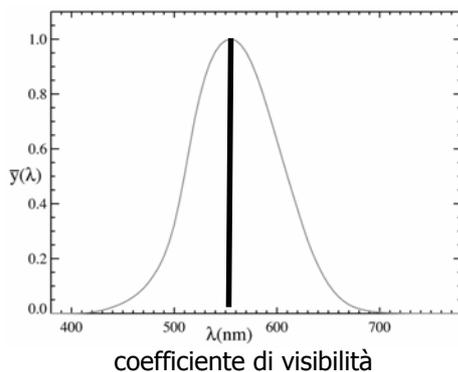
La quantità di luce che raggiunge l'occhio

Grandezze fotometriche



Una candela è pari all'**intensità luminosa** (I), in una data direzione, di una sorgente emettente una radiazione monocromatica di frequenza pari a $540 \cdot 10^{12}$ hertz (555 nm) e di intensità radiante in quella direzione di $1/683$ di watt per steradiante.

Il valore risulta indipendente dalla distanza dalla sorgente, è perciò una grandezza intrinseca che serve a caratterizzare l'energia emessa dalla sorgente stessa

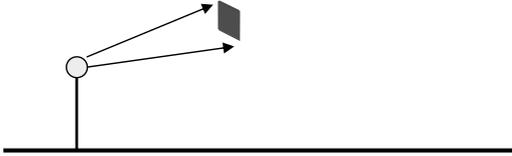


Il flusso luminoso, viceversa, è dato dal prodotto tra la potenza emessa dalla sorgente ed il coefficiente di visibilità e si misura in **lumen**. Un lumen rappresenta il flusso emesso in uno steradiante da una sorgente che ha un'intensità di una candela

- $\lambda = 555 \text{ nm}$ sorgente di 1 cd ha un flusso di 1 lumen
- $\lambda = 490 \text{ nm}$ sorgente di 1 cd ha un flusso di 0.2 lumen
- $\lambda = 800 \text{ nm}$ sorgente di 1 cd ha un flusso di 0 lumen

Grandezze fotometriche

Il lumen è una grandezza che permette di valutare una caratteristica intrinseca della sorgente; è però importante valutare anche quale sia l'impatto di tale sorgente su di una superficie colpita dalla radiazione emessa dalla sorgente stessa.



La grandezza che permette di ottenere questo risultato è l'**illuminamento** e si misura in **lux**.

1 lux corrisponde all'illuminamento prodotto da un flusso di 1 lumen su un'area di 1 m²

Se una sorgente ha un'intensità luminosa pari ad 1 cd ed emette radiazione alla lunghezza d'onda di 555 nm essa ha un flusso di 1 lm per steradiante.

A distanza di 1 m dalla sorgente, uno steradiante intercetta un'area pari a 1 m²; a quella distanza, quindi, l'illuminamento prodotto dalla sorgente è pari a 1 lux

A distanza di 5 m dalla sorgente, uno steradiante intercetta un'area pari a 25 m²; a quella distanza, quindi, l'illuminamento prodotto dalla sorgente è pari a 1/25 lux.

L'**illuminamento** prodotto da una sorgente **dipende dalla distanza**, il suo flusso luminoso no. In particolare, l'illuminamento è inversamente proporzionale al quadrato della distanza.

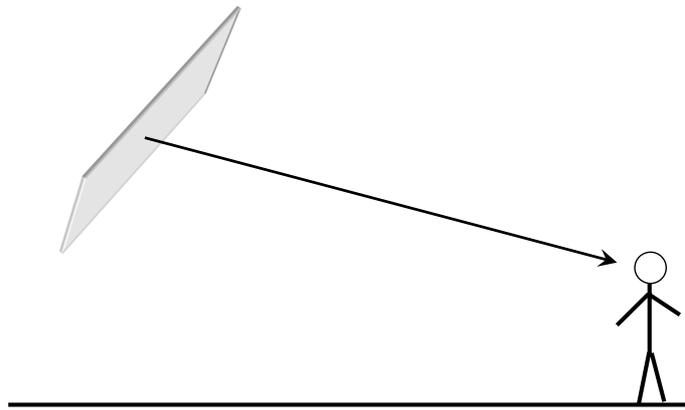
Grandezze fotometriche

Esempi di illuminamento

la luce del Sole mediamente varia tra i 32 000 lx (32 klx) e i 100 000 lx (100 klx);
 sotto i riflettori degli studi televisivi si hanno circa 1 000 lx (1 klx);
 in un ufficio luminoso si hanno circa 400 lx;
 in un ufficio illuminato secondo l'attuale normativa europea Uni En 12464 vi sono 500 lx
 la luce della Luna è pari a circa 1 lx;
 la luce di una stella luminosa è soltanto 0,00005 lx (50 µlx).

Illuminamenti prescritti	
Tipo di attività/ambiente	Illuminamenti medi di esercizio
Spazio pubblico in contesto buio (all'aperto)	20-30-50 lux
Orientamento per brevi visite temporanee	50-100-150 lux
Spazio di lavoro all'interno del quale i compiti che richiedono l'impegno della vista sono svolti solo occasionalmente	100-150-200 lux
Esecuzione di lavori visivi su materiali: <ul style="list-style-type: none"> ■ Ad elevato contrasto o grandi dimensioni ■ A medio contrasto o piccole dimensioni ■ A basso contrasto o dimensioni molto piccole ■ A basso contrasto o dimensioni molto piccole per periodi di tempo prolungati 	200-300-500 lux 500-750-1000 lux 1000-1500-2000 lux 1500-2000-3000 lux
Svolgimento di lavori visivi impegnativi e prolungati (illuminazione localizzata)	5000-10000-15000 lux
Svolgimento di lavori visivi molto speciali eseguiti su materiale a basso contrasto e di piccole dimensioni (illuminazione localizzata)	10000-30000 lux e oltre

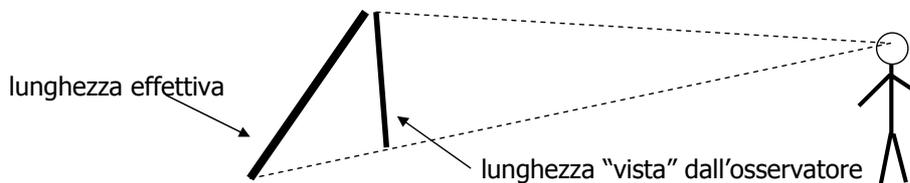
Grandezze fotometriche



Nel caso in cui la sorgente che emette radiazione non sia puntiforme viene introdotto il concetto di **luminanza**. Tale grandezza serve a valutare l'energia emessa dalla sorgente per unità di superficie.

Ipotesi: supponiamo di guardare la sorgente lungo una particolare **direzione di osservazione**.

Per valutare la **luminanza**, si esegue il rapporto tra l'intensità luminosa (espressa in cd) emessa da una porzione della superficie e l'area di tale porzione "vista" dall'osservatore. Calcolato questo rapporto, si calcola il limite nel caso in cui l'area della superficie diventi sempre più piccola; la luminanza, quindi, si misura in **cd/m²**.



Grandezze fotometriche

La luminanza viene utilizzata per individuare l'abbagliamento prodotto da una sorgente. A parità di intensità luminosa, la luminanza di una sorgente estesa è inferiore a quella di una sorgente di ridotte dimensioni.



diminuisce la luminanza



Tabella 4.3: Visibilità della Via lattea a occhio nudo per alcuni valori della luminosità e della brillantezza media del cielo limpido.

lum. nL	brill.med. $cd\ m^{-2}$	visibilità a occhio nudo della Via lattea
1150	$3.7 \cdot 10^{-3}$	invisibile; poche centinaia di stelle visibili
500	$1.6 \cdot 10^{-3}$	visibile in parte e solo vicino allo zenith, il resto immerso in un cielo grigio luminoso
150	$5 \cdot 10^{-4}$	contrasto ridotto, perdita dei dettagli fini
80	$2.5 \cdot 10^{-4}$	brillante se alta nel cielo ma invisibile avvicinandosi all'orizzonte
64	$2 \cdot 10^{-4}$	ottima fino all'orizzonte se non c'è foschia

Nota: Elaborazione su dati di Berry (1976).

Magnetudine apparente

$$m_{\lambda} = C - 2.5 \log_{10} \varphi_{\lambda}$$

Mag. app.

Oggetto celeste

-26,8	Sole
-12,6	Luna piena
-4,4	Luminosità di Venere al suo massimo
-2,8	Luminosità di Marte al suo massimo
-1,5	Sirio, la stella più luminosa
-0,7	Canopo, la seconda stella più luminosa
+6,0	Le stelle più deboli osservabili ad occhio nudo
+12,6	Il quasar più luminoso
+30	Gli oggetti più deboli osservabili col Telescopio Spaziale Hubble

Esempi di impatto ambientale

Malpensa Airport and bird migration: a matter of light pollution L. Fornasari, univ. Milano Bicocca

Studio: aeroporto di Malpensa

Flusso migratorio in ingresso nell'area dell'aeroporto è superiore al flusso migratorio in uscita dall'area dell'aeroporto

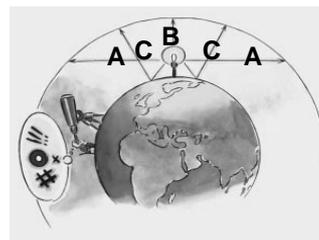
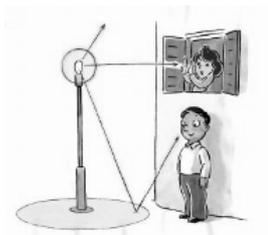
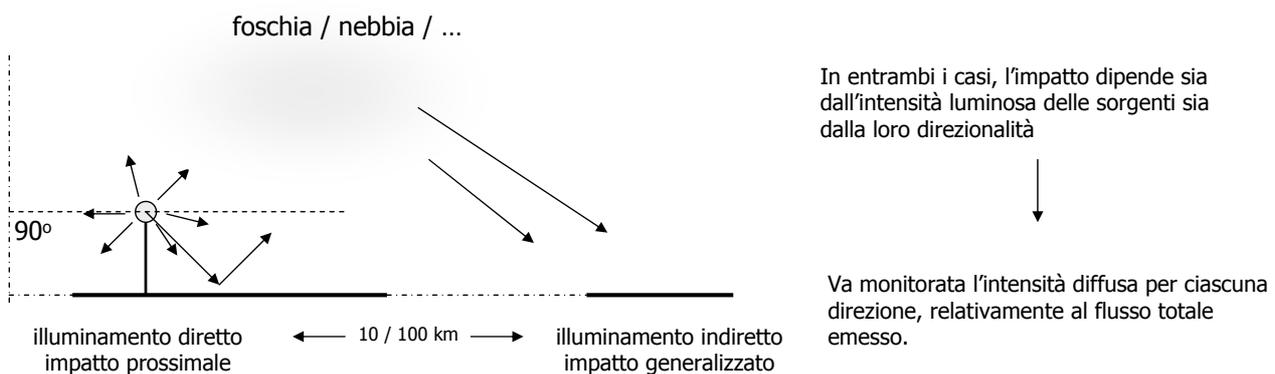
Le caratteristiche degli uccelli migratori (massa muscolare/massa grassa) confermano il fatto che l'attività media svolta dagli uccelli stessi non è quella tipica del periodo migratorio

Caso generale

La presenza di fari in prossimità della costa o di zone densamente illuminate in prossimità delle zone interessate dai flussi migratori può disorientare gli uccelli ed portarli ad urtare contro gli edifici presenti in tali zone o a stazionare in regioni in cui normalmente non si sarebbero posizionati. Se tali zone non consentono un buon approvvigionamento di cibo, lo stormo potrebbe non completare la migrazione.

Gli usuali comportamenti delle specie animali vengono modificati dalla presenza di fonti di illuminazione che producono una variazione della luminosità ambientale naturale.

Impatto ambientale e prevenzione



Ridurre le emissioni luminose oltre i 90° rispetto alla verticale (sono le emissioni che si possono propagare a maggiore distanza, anche a causa della curvatura terrestre)

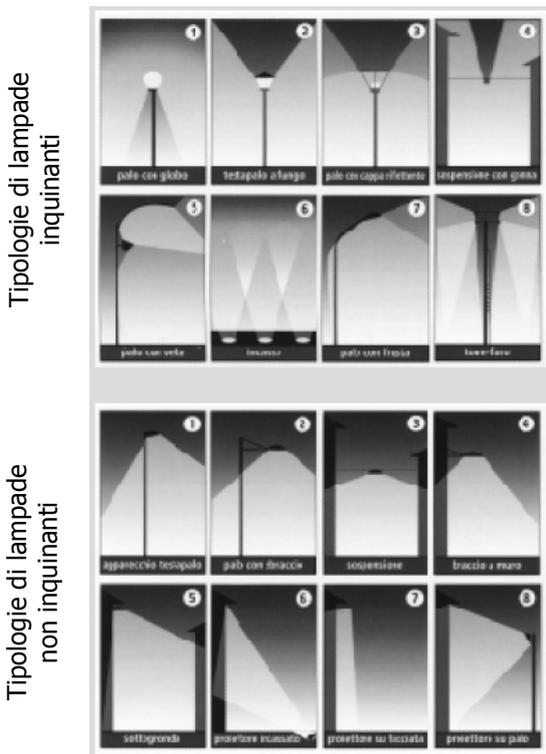
Non superare l'illuminamento richiesto dalle condizioni di sicurezza

Scegliere la tipologia di lampada che produce il minore impatto

Ridurre il valore assoluto delle immissioni in atmosfera (considerando sia il flusso emesso direttamente verso l'alto che quello prodotto da eventuali riflessioni)

Valutare la sensibilità delle varie specie animali/vegetali nei confronti della radiazione luminosa (→ biologi)

Modifica degli impianti di illuminazione



Scelta della tipologia di lampade da utilizzare

Efficienza di una lampada:
rapporto tra il flusso luminoso ed il flusso totale di energia

Tipologia	Watt	Lumen	Efficienza (lm/W)
Incandescenza	100	1400	14
Vapori di Mercurio	125	6300	50
Fluorescente	24	1800	75
Sodio Alta pressione	100	12000	120
Sodio Bassa Pressione	90	13500	150

La normativa presente in Veneto indica esplicitamente di utilizzare lampade ad alta pressione di sodio; esse infatti sono un po' meno efficienti di quelle a bassa pressione ma permettono una migliore distinzione dei colori.

da "A proposito di inquinamento luminoso", arpa Veneto

NORME IN MATERIA DI RIDUZIONE DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO E DI RISPARMIO ENERGETICO emr/2003

- Tutti i nuovi impianti di illuminazione esterna pubblica e privata devono essere corredati di certificazione di conformità alla presente legge e devono essere:
- costituiti da apparecchi illuminanti aventi intensità massima di 0 candele, per 1000 lumen emessi, a 90 gradi ed oltre;
 - equipaggiati di lampade al sodio ad alta e bassa pressione, ovvero di lampade con almeno analoga efficienza in relazione allo stato della tecnologia e dell'applicazione;
 - realizzati in modo che le superfici illuminate non superino il livello minimo di luminanza media mantenuta previsto dalle norme di sicurezza, qualora esistenti, o, in assenza di queste, valori di luminanza media mantenuta omogenei e, in ogni caso, contenuti entro il valore medio di una candela al metro quadrato;
 - realizzati ottimizzando l'efficienza degli stessi, e quindi impiegando, a parità di luminanza, apparecchi che conseguono impegni ridotti di potenza elettrica e condizioni ottimali di interasse dei punti luce;
 - provvisti di appositi dispositivi in grado di ridurre, entro l'orario stabilito con atti delle Amministrazioni comunali, l'emissione di luci degli impianti in misura non inferiore al trenta per cento rispetto al pieno regime di operatività: la riduzione non va applicata qualora le condizioni d'uso della superficie illuminata siano tali da comprometterne la sicurezza.

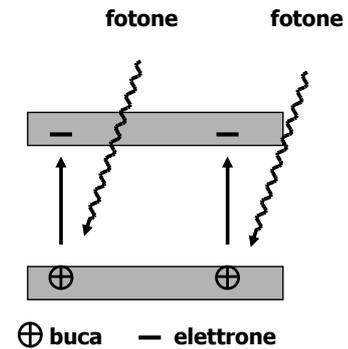
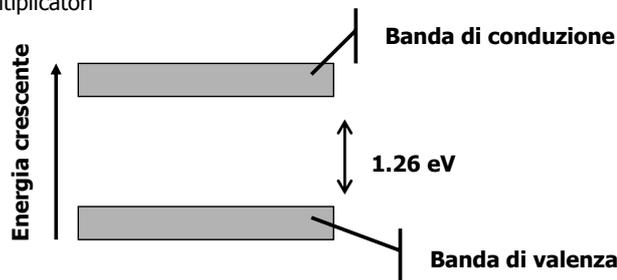
Fotometri

Lastre fotografiche

fotoiodi/fototransistor

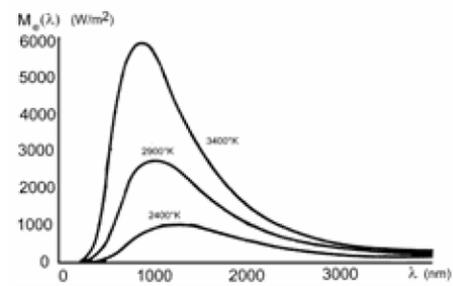
sensori CCD

fotomoltiplicatori

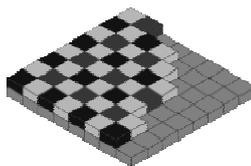


Materiale	Intervallo di λ (nm)
Silicio	190–1100
Germanio	400–1700
Arseniuro di In e Ga	800–2600
Solfuro di Piombo	<1000-3500

La sensibilità si estende nel vicino UV e nel vicino infrarosso; è quindi possibile valutare l'efficienza di una sorgente luminosa (ovvero le perdite di luminosità in range di λ non percepibili dall'occhio umano)

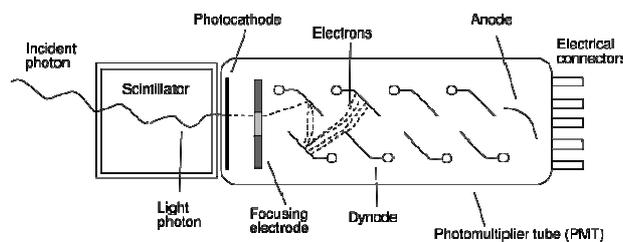


Fotometri / CCD & fotomoltiplicatori



Con i fotodiodi è possibile ottenere un segnale proporzionale all'intensità luminosa che incide sulla superficie sensibile alla radiazione elettromagnetica (\rightarrow è possibile valutare l'illuminamento prodotta da una sorgente / la luminanza di una regione).

Con i CCD è possibile ricostruire una mappa bidimensionale della luminosità (vengono utilizzati in astronomia/permangono di misurare la perdita di magnitudine apparente delle stelle)



L'efficienza delle lastre fotografiche è pari a circa il 2 % e la risposta non è lineare

L'efficienza dei fotodiodi/CCD arriva al 70 -80 % (\rightarrow minori tempi di esposizione) e la risposta è lineare. Inoltre, grazie a questi dispositivi si ottiene direttamente un'immagine digitale. In generale, i fotodiodi/CCD sono più compatti ma meno sensibili di un fotomoltiplicatore (la superficie sensibile è inferiore).