



Sensore di Luce Ambientale

Meeting ITIS G. Marconi

Catania - 25 Giugno 2008

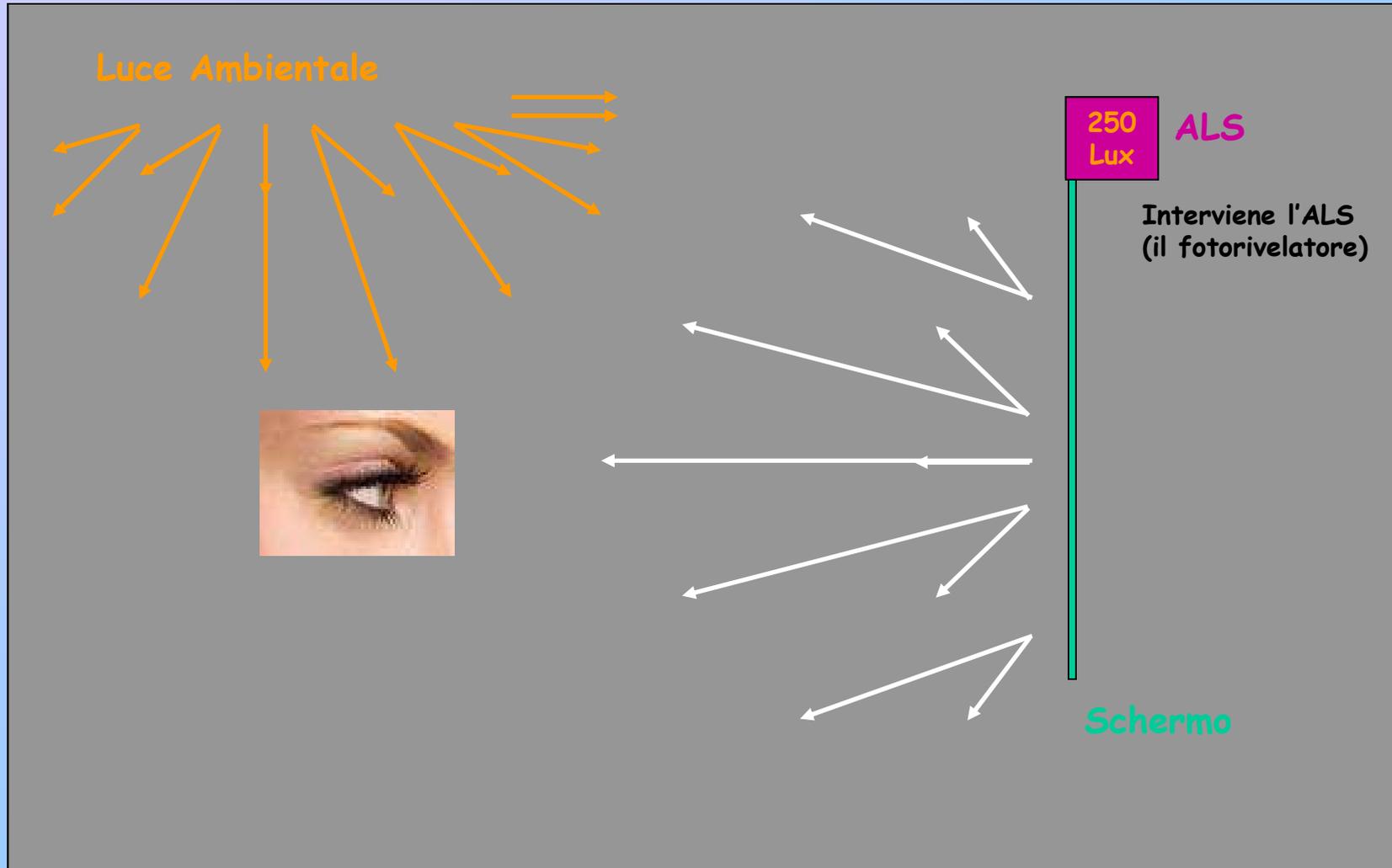
S. Leonardi



Sommario

- ✓ Funzionamento del Sensore di Luce
- ✓ Alcune Grandezze Fotometriche
- ✓ Illuminamento di Ambienti
- ✓ Cenni su Fotorivelatori al Silicio
- ✓ Sensore di Luce (ALS)
- ✓ Cenni su Integrazione, Applicazioni e Caratterizzazione di ALS

Cenni sul funzionamento



Definizione

✓ I sensori di luce ambientale o ALS (Ambient Light Sensor) sono dei dispositivi progettati per rilevare l'intensità della luce ambientale, in modo però quanto più simile possibile a quella che è la sensibilità dell'occhio umano.

Utilizzo

✓ I sensori di luce ambientale vengono usati per calibrare la luminosità di dispositivi elettronici in funzione delle condizioni di luce ambientali (backlight setting), per esempio, retro illuminazione di schermi, luminosità dei display, tastierini numerici, illuminazione notturna, illuminazione domestica, ecc. ecc., e rendere quanto più gradevole ed efficiente possibile per l'occhio umano la visione del dato dispositivo.

Vantaggi

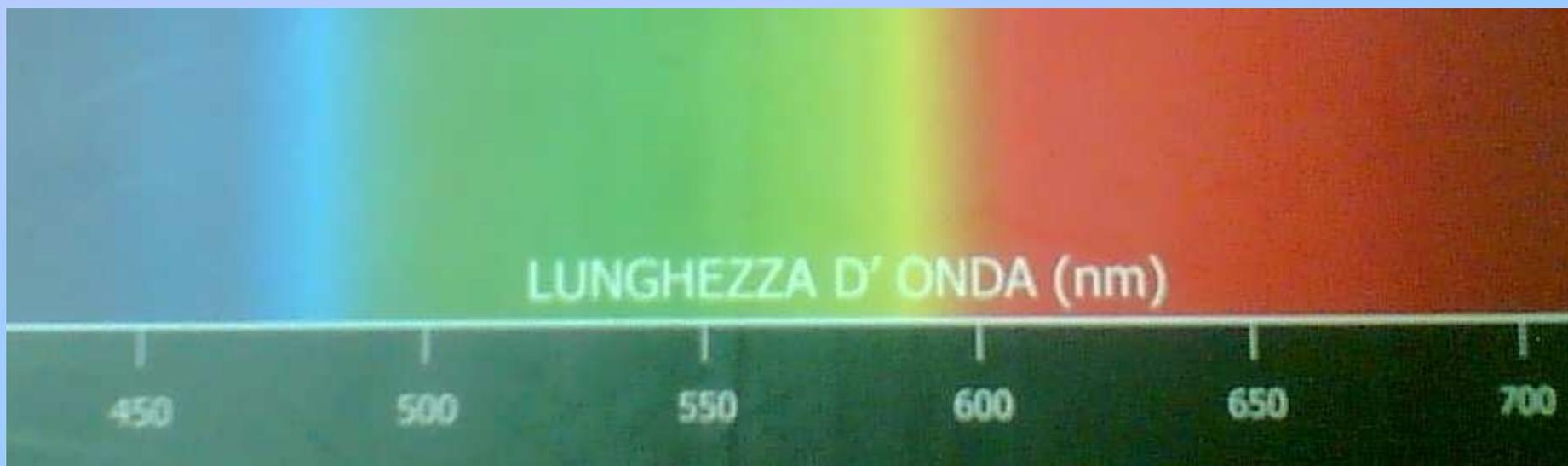
✓ I sensori di luce ambientale permettono di risparmiare energia fino a oltre il 50% del sistema su cui vengono adoperati (funzione di "power saving"), in quanto consentono di ottimizzare la luminosità del dato sistema (funzione di "autodimming") in funzione di quella che è la percezione dell'occhio umano richiesta dalla particolare condizione ambientale.

✓ Alcune Grandezze Fotometriche

Spettro Visibile

Lo spettro della radiazione nel visibile può essere suddiviso in sei bande principali:

Viola:	380 - 436 nm
Blu:	436 - 495 nm
Verde:	495 - 566 nm
Giallo:	566 - 589 nm
Arancio:	589 - 627 nm
Rosso:	627 - 780 nm



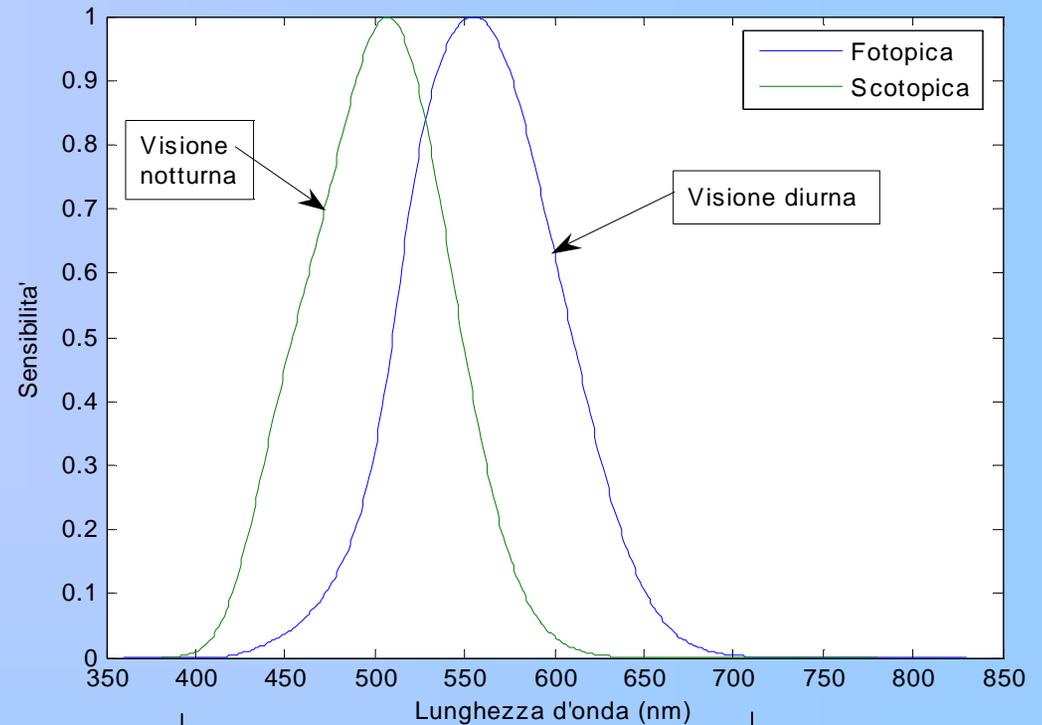
Visione e Visibilità

L'occhio umano è sensibile a radiazioni elettromagnetiche con lunghezze d'onda che vanno da 380 a 780 nm. La visibilità non è uniforme per tutte le lunghezze d'onde, ma varia secondo le curve mostrate in figura.

Nella *visione fotopica* l'occhio può pienamente percepire i colori.

Nella *visione scotopica* l'occhio può percepire solo i grigi (ambiente poco illuminato).

La massima visibilità si ha alla lunghezza d'onda di 555 nm (corrispondente alla luce gialla verdastra), agli estremi si annulla (a 380 nm si ha luce viola a sinistra della quale si hanno i raggi ultra violetti non visibili e, a 780 nm si ha il rosso a destra della quale si hanno i raggi infrarossi).



Flusso Luminoso

Il flusso luminoso indica la quantità di energia luminosa emessa nell'unità di tempo da una sorgente. Indicando con $W(\lambda)$ la distribuzione di flusso di una sorgente radiante, il **flusso luminoso** è definito dalla seguente espressione:

$$\Phi = \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} K(\lambda) W(\lambda) d\lambda, \quad \text{Lumen}$$

dove $K(\lambda)$ è il **fattore di visibilità assoluto** e $W(\lambda)$ la **radianza** mono energetica della sorgente. Normalizzando il fattore di visibilità assoluta si può anche scrivere:

$$\Phi = 683 \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} k(\lambda) W(\lambda) d\lambda, \quad \text{Lumen}$$

con 683 *lumen/Watt* valore massimo di $K(\lambda)$.

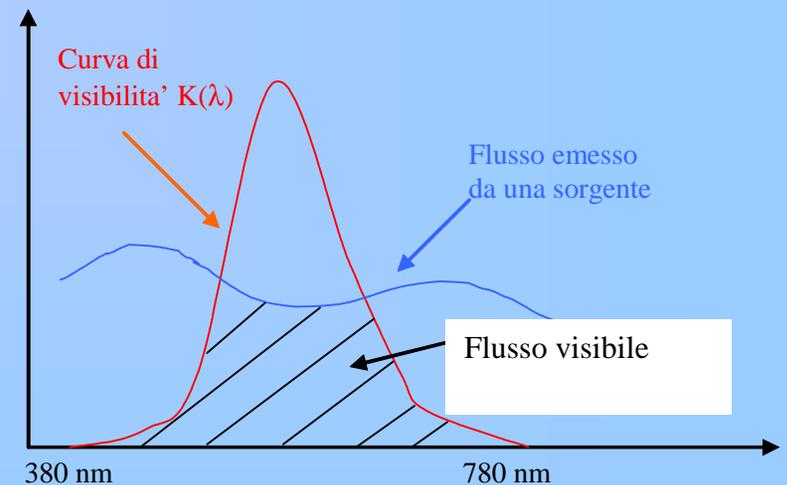
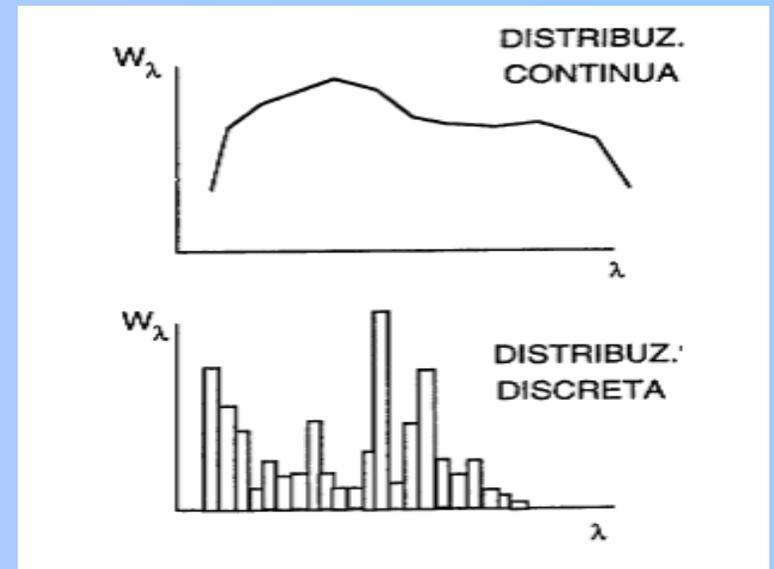
Distribuzione Spettrale e Flusso Luminoso

La distribuzione spettrale indica la potenza emessa dalla sorgente al variare della lunghezza d'onda.

La distribuzione continua è tipica delle sorgenti che emettono radiazioni luminose per effetto termico (ad esempio, filamenti delle lampade ad incandescenza).

La distribuzione discreta a righe è tipica nelle lampade a scarica nei gas (a luminescenza, ad Hg, Na, Ar, ...).

La relazione che esprime il flusso luminoso, rappresenta il legame fra la grandezza fisica (oggettiva) $W(\lambda)$ e la visione dell'uomo $K(\lambda)$. Dalla figura si vede come la radiazione luminosa della sorgente è filtrata dalla curva di visibilità dell'occhio umano.



Illuminamento

La grandezza più utilizzata nella pratica per esprimere la quantità di flusso luminoso che illumina una superficie A , è l'*illuminamento* espresso in Lux (lumen/m²) dato dalla relazione:

$$E = \frac{d\Phi_{\text{ricevuto}}}{dA_{\text{ricevente}}} \quad \text{Lux}$$

L'illuminamento da un indice del grado di luminosità presente nei diversi ambienti ed è una grandezza, indirettamente misurabile, attraverso lo spettometro.

L'illuminamento è il parametro che definisce il legame tra la quantità di luce incidente sul sensore di luce ambientale e la corrente generata dal sensore stesso.

- ✓ illuminamento Ambienti Comuni

Illuminamento Ambienti

LUCE NATURALE		
Condizioni	Illuminamento medio (lux)	
Luce solare diretta	100 000 - 130 000	
Luce solare indiretta	10 000 - 20 000	
Cielo nuvoloso	1000	
Cielo coperto	100	
Luna piena	0.01 - 0.1	
Notte priva di luna	0.001	

Illuminamento Ambienti

ABITAZIONE ED ALBERGHI	
Area	Illuminamento medio (lux)
Zona di conversazione o di passaggio	50-100-150
Zona di lettura	200-300-500
Zona di scrittura	300-500-750
Zona dei pasti	100-150-200
Cucina	200-300-500
Bagno, illuminazione generale	50-100-150
Bagno, zona specchio	200-300-500
Camere, illuminazione generale	50-100-150
Camere, zone armadi	200-300-500
Camere da letto	200-300-500
Camere, stiratura, rammendo	500-750-1000

Illuminamento Ambienti

AMBIENTI COMUNI	
Area	Illuminamento medio (lux)
Aree di passaggio corridoi	50-100-150
Scale, ascensori	100-150-200
Magazzini, depositi	100-150-200

AMBIENTI SPORTIVI	
Area	Illuminamento medio (lux)
Bocce	300-500
Palestre	300-500
Piscine	300-500
Tennis, pallavolo	500-750

Illuminamento Ambienti

AUDITORIUM	
Area	Illuminamento medio (lux)
Teatri e sala da concerto	50-100-150
Multiuso	150-200-300

BIBLIOTECHE	
Area	Illuminamento medio (lux)
Scaffalature (deposito)	150-200-300
Tavoli da lettura	300-500-700
Banchi catalogazione e classificazione	200-300-500
Legatura	200-300-500

Illuminamento Ambienti

CHIESE	
Area	Illuminamento medio (lux)
Ambiente generale, banchi	50-100-150
Altare, pulpito	150-200-300

NEGOZI E MAGAZZINI	
Area	Illuminamento medio (lux)
Aree di circolazione	150-200-300
Esposizione merci	300-500-750
Vetrine	500-750-1000

UFFICI	
Area	Illuminamento medio (lux)
Uffici generici, dattilografia, sale computer	300-500-750
Uffici per disegnatori e per progettazione	500-750-1000
Sale per riunioni	300-500-750

Illuminamento Ambienti

OSPEDALI	
Area	Illuminamento medio (lux)
Corsie, esami	200-300-500
Corsie, lettura	150-200-300
Corsie, circolazione notturna	3-5-10
Locali per esami, illuminazione generale	300-500-750
Locali per esami, ispezioni	750-1000-1500
Terapie intensive	200-300-500
Chirurgia, illuminazione generale	500-750-1000
Chirurgia, illuminazione localizzata	10000-30000-100000
Sala autopsia, illuminazione generale	500-750-1000
Sala autopsia, illuminazione localizzata	5000-10000-15000
Laboratori e farmacie, illuminazione generale	300-500-750
Laboratori e farmacie, illuminazione localizzata	500-750-1000
Locale per consulti, illuminazione generale	300-500-750
Locale per consulti, illuminazione localizzata	500-750-1000

Illuminamento Ambienti

SCUOLE	
Area	Illuminamento medio (lux)
Classe, illuminazione generale	300-500-750
Classe, lavagna	300-500-750
Laboratori artistici e scientifici	500-750-1000
Aule universitarie, illuminazione generale	300-500-750
Aule universitarie, lavagna	500-750-1000
Aule universitarie, banchi per dimostrazioni	500-750-1000
Laboratori, officine, sale per d'arte	300-500-750
Sale per assemblee	150-200-300

illuminazione Artificiale

La principale distinzione fra le differenti tipologie di sorgenti luminose artificiali, si basa essenzialmente sulla natura del materiale emittente, solido o aeriforme, che individua due grandi famiglie: le sorgenti ad incandescenza e le sorgenti a scarica.

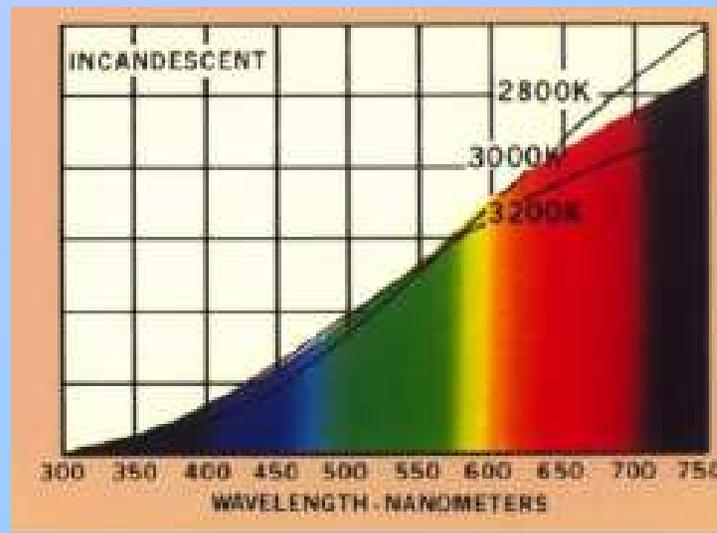
Le due famiglie poi si suddividono ulteriormente in funzione delle sostanze contenute nel bulbo della tensione di alimentazione o di particolari proprietà ottiche del bulbo che influiscono su forma e intensità dell'emissione luminosa.

Per la caratterizzazione dei sensori di luce ambientale, vengono utilizzate due tipi di lampade; una lampada ad incandescenza ed una lampada fluorescente bianca.

Lampada a Incandescenza

Queste lampade sono le più antiche: un sottilissimo filamento di metallo, inserito in un bulbo di vetro in cui si è praticato prima il vuoto spinto e di cui si è provveduto al riempimento con gas inerti, è attraversato da corrente elettrica e per "effetto Joule" surriscaldato fino all'incandescenza (circa 2000 K).

Ne deriva un'emissione di radiazioni prevalentemente nell'ambito dell'infrarosso (riscaldamento), in parte nella banda del visibile e con una limitata quantità di UV. In questo tipo di lampade, proprio a causa del tipo di processo che porta all'emissione di luce, gran parte dell'energia è dissipata in calore. Il tipico spettro di emissione di una lampada ad incandescenza, nel range di visibilità dell'occhio umano, è riportato in figura.



Lampada a Fluorescenza

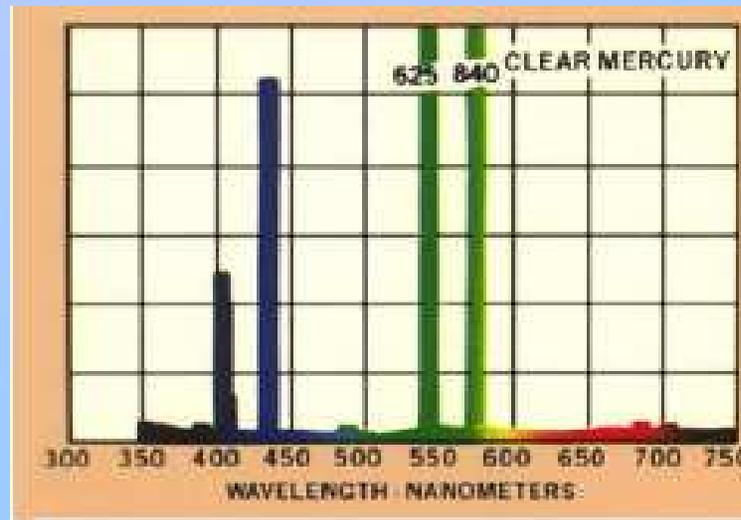
Sono lampade a vapori di mercurio a bassa pressione; la scarica avviene in un tubo di vetro rivestito all'interno con polveri fluorescenti.

L'emissione di luce avviene soprattutto per trasformazione della radiazione ultravioletta emessa dalla scarica in vapori di mercurio in radiazioni visibili per mezzo delle polveri fluorescenti.

La scarica deve essere stabilizzata con un alimentatore (reattore). Per accendere la lampada è generalmente necessario preriscaldare gli elettrodi e fornire un colpo di tensione: questo si ottiene assai semplicemente per mezzo di uno starter inserito in parallelo sulla lampada.

Il flusso luminoso delle lampade fluorescenti dipende in modo assai rilevante dalla temperatura ambiente a cui funziona la lampada. Ottime prestazioni si hanno tra i 20 e i 25 gradi centigradi. Per temperature inferiori o superiori, il flusso luminoso, e conseguentemente l'efficienza, diminuisce.

Un tipico spettro di emissione per questa tipologia di lampade, nel range di visibilità dell'occhio umano, è sotto riportato



✓ Cenni Fotorivelatori al Silicio

Fotorivelatori al Silicio

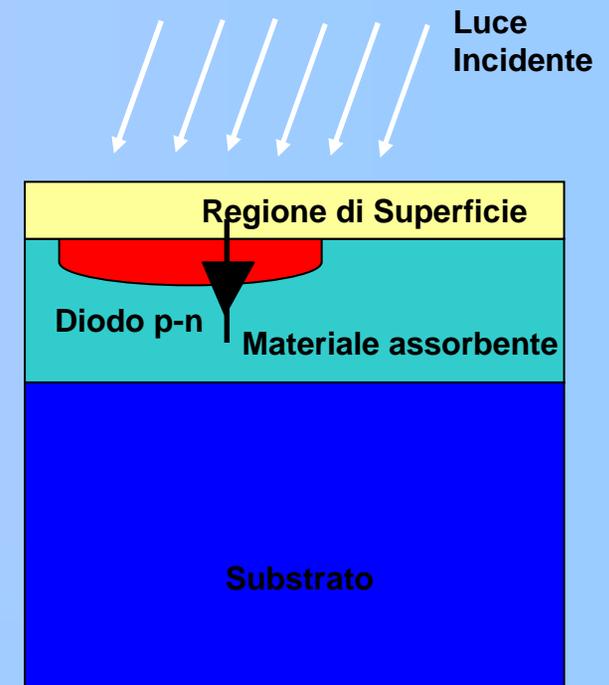
I fotodiodi ed i fototransistori sono due dei più popolari dispositivi ed a basso costo con i quali possono realizzarsi dei sensori di luce. I fotorivelatori al Silicio sono realizzati principalmente con giunzioni p-n (fotodiodi) oppure con transistori (fototransistori). La fotorivelazione interessa principalmente due regioni della struttura del fotodiodo : la regione di superficie e la regione del materiale assorbente.

Regione di Superficie

Il fotodiodo per poter funzionare deve essere esposto alla luce. Questo significa che non devono essere presenti sulla regione di rivelazione materiali che tendono a riflettere la luce, come per esempio metalli spessi. Opportuni materiali antiriflettenti devono essere presenti sulla superficie inoltre per assorbire quanta più luce possibile della radiazione incidente e ridurre al minimo la luce riflessa.

Regione del materiale assorbente

Gli strati della giunzione p-n del fotodiodo, possono essere opportunamente drogati per migliorare la risposta del rivelatore.



Giunzione p-n e Fotodiodo

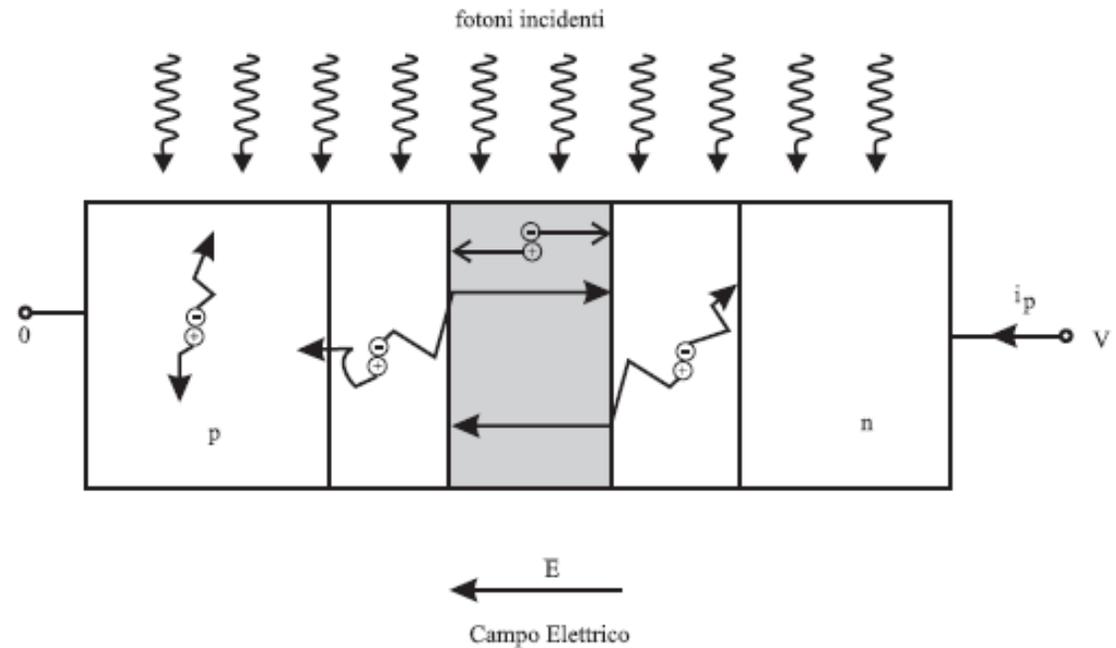
$$\mathcal{R} = \frac{i}{P} \quad [A/W] = \text{Responsivity}$$

i = corrente di rivelazione

P = potenza incidente

$$\mathcal{R} = \frac{e\Phi_e}{h\nu\Phi_{ph}} = \frac{e}{hc/\lambda} \eta \simeq \eta \frac{\lambda (\mu m)}{1.24}$$

$$\eta = \frac{\Phi_e}{\Phi_{ph}}$$

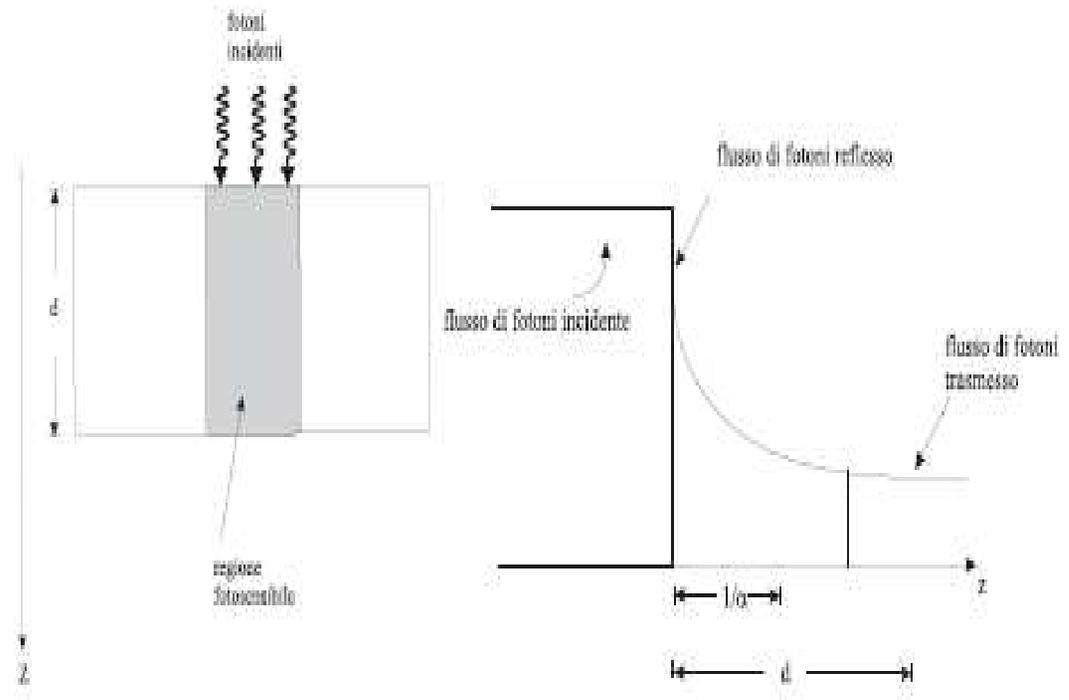


I fotorivelatori al Silicio sono realizzati principalmente con giunzioni p-n (fotodiodi), i cui strati (o lati della giunzione p ed n) vengono opportunamente drogati per migliorare la risposta del fotorivelatore in talune bande dello spettro visibile. Anche la profondità della giunzione ha un ruolo importante nel migliorare la risposta del rivelatore in talune regioni dello spettro.

Assorbimento nei Materiali

$$\frac{P}{P_0} = e^{-\alpha d}$$

$e^{-\alpha d}$ = penetrazione nel materiale



P_0 = potenza campo incidente

P = Potenza del campo alla distanza "d"

α = coefficiente di assorbimento. α è l'inverso della distanza che il campo riesce a percorrere nel materiale prima che la sua intensità si riduca di $1/e$.

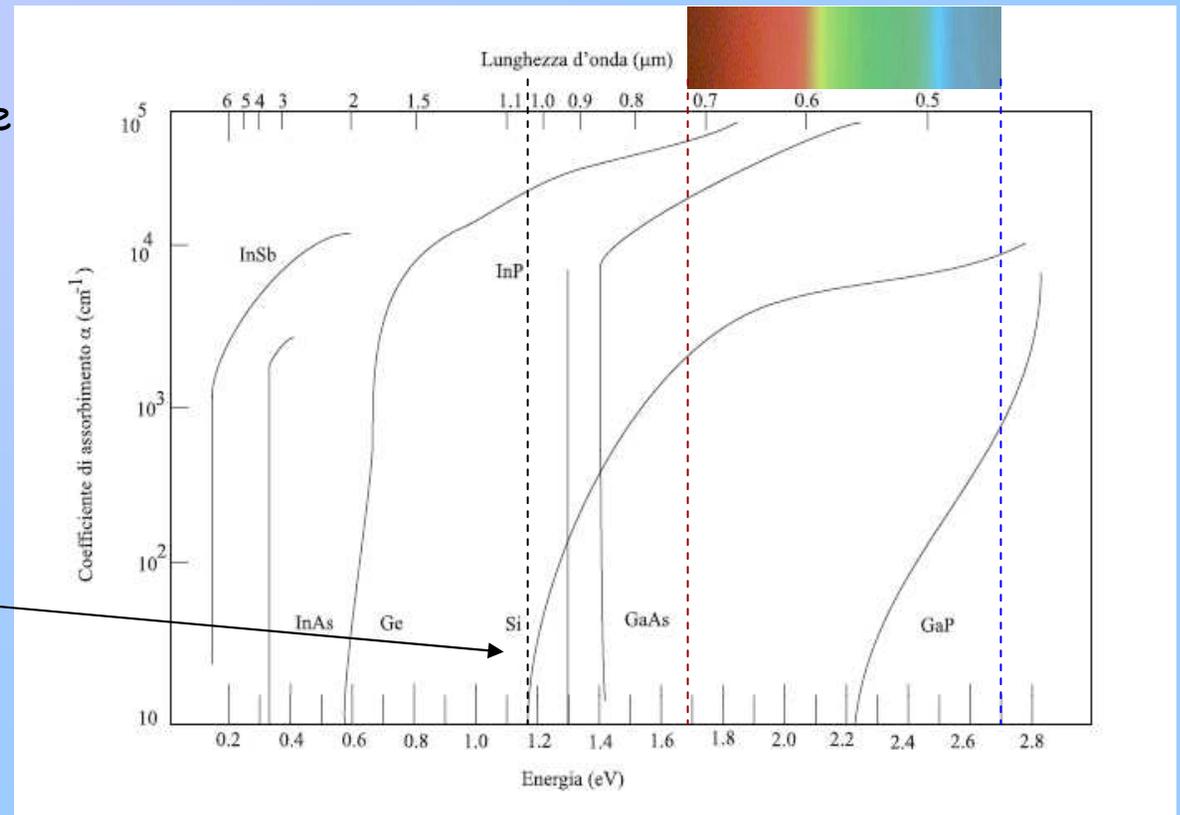
Assorbimento dei Materiali

$$\frac{P}{P_0} = e^{-\alpha d}$$

P_0 = potenza campo incidente
 P = Potenza del campo alla distanza "d"
 α = coefficiente di assorbimento.

$e^{-\alpha d}$ = potenza trasmessa nel materiale

Oltre 1100 nm il silicio è trasparente



Efficienza Quantica

$$\eta = \frac{\Phi_e}{\Phi_{ph}}$$

$$\eta = (1 - R)\xi[1 - e^{-\alpha d}]$$

η = probabilità che un singolo fotone incidenti generi una coppia elettrone-lacuna che contribuisce alla corrente di rivelazione

Φ_e = flusso di coppie elettrone-lacuna che contribuiscono alla fotocorrente

Φ_{ph} = flusso di fotoni incidenti nell'unità di tempo

R = riflettività, ossia, frazione di fotoni riflessi dalla superficie

ξ = frazione di coppie elettrone-lacuna che non si ricombinano

$[1 - e^{-\alpha d}]$ = potenza assorbita dal materiale, ossia la frazione di fotoni assorbiti, ossia le coppie elettrone-lacuna generate.

$e^{-\alpha d}$ = potenza trasmessa nel materiale

Efficienza Quantica e Responsivity

$$\mathfrak{R} = \frac{e\Phi_e}{h\nu\Phi_{ph}} = \frac{e}{hc/\lambda} \eta \simeq \eta \frac{\lambda (\mu m)}{1.24}$$

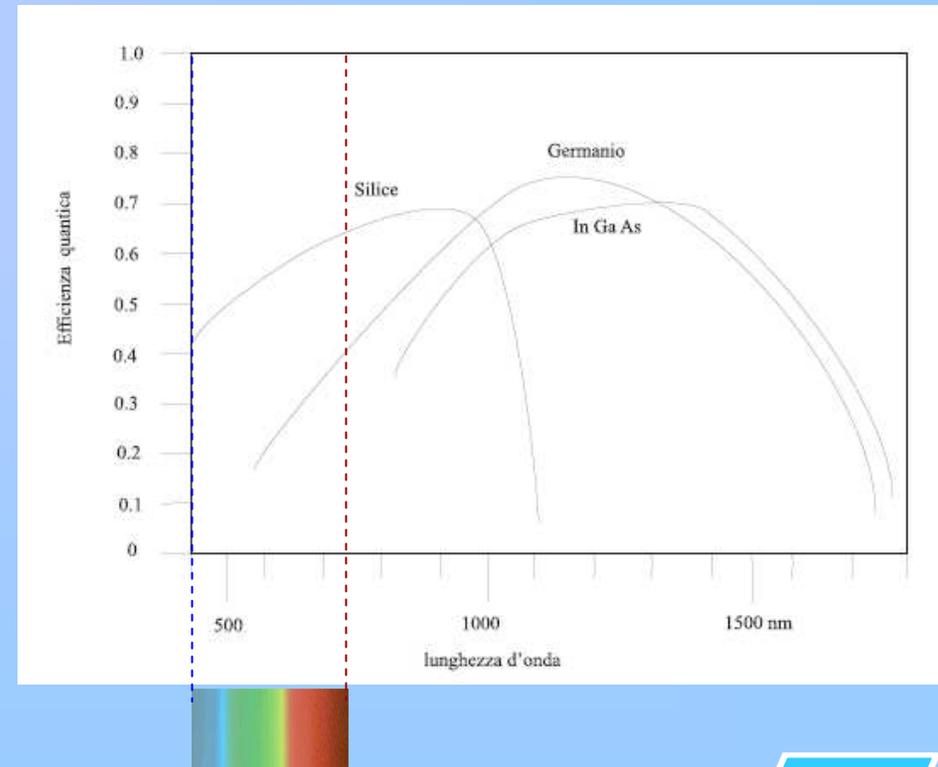
Responsivity

La dipendenza della responsivity dalla lunghezza d'onda è dovuta essenzialmente al coefficiente di assorbimento del materiale. A lunghezze d'onda maggiori di quelle del gap, i fotoni hanno energia insufficiente a provocare la transizione banda-banda, mentre a lunghezze d'onda piccole si ha un forte assorbimento e la maggior parte dei fotoni vengono assorbiti in superficie e non riescono a produrre coppie elettrone-lacuna.

La regione di svuotamento del fotodiode deve pertanto essere posizionata all'interno del materiale in funzione del tipo di risposta voluta per il dato rivelatore.

$$\eta = (1 - R)\xi[1 - e^{-\alpha d}]$$

Efficienza Quantica



Fotocorrente

I fotodiodi ed i fototransistors sono due dei più popolari ed a basso costo sensori di luce. Essi producono correnti in uscita in funzione dell'intensità di luce in esso incidente. **Per tutte le tipologie di sensori è necessario che la sensitività spettrale risulti essere quanto più simile alla curva di visibilità dell'occhio umano.**

$$I_{ph} = A_{riv} \times \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R \times S_r(\lambda) \times w(\lambda) d\lambda$$

A_{riv} [m²] e' l'area del rivelatore,

$R(\lambda) = R \times S_r(\lambda)$ [A/W] e' la Responsivity del rivelatore

R è il valore massimo della responsivity

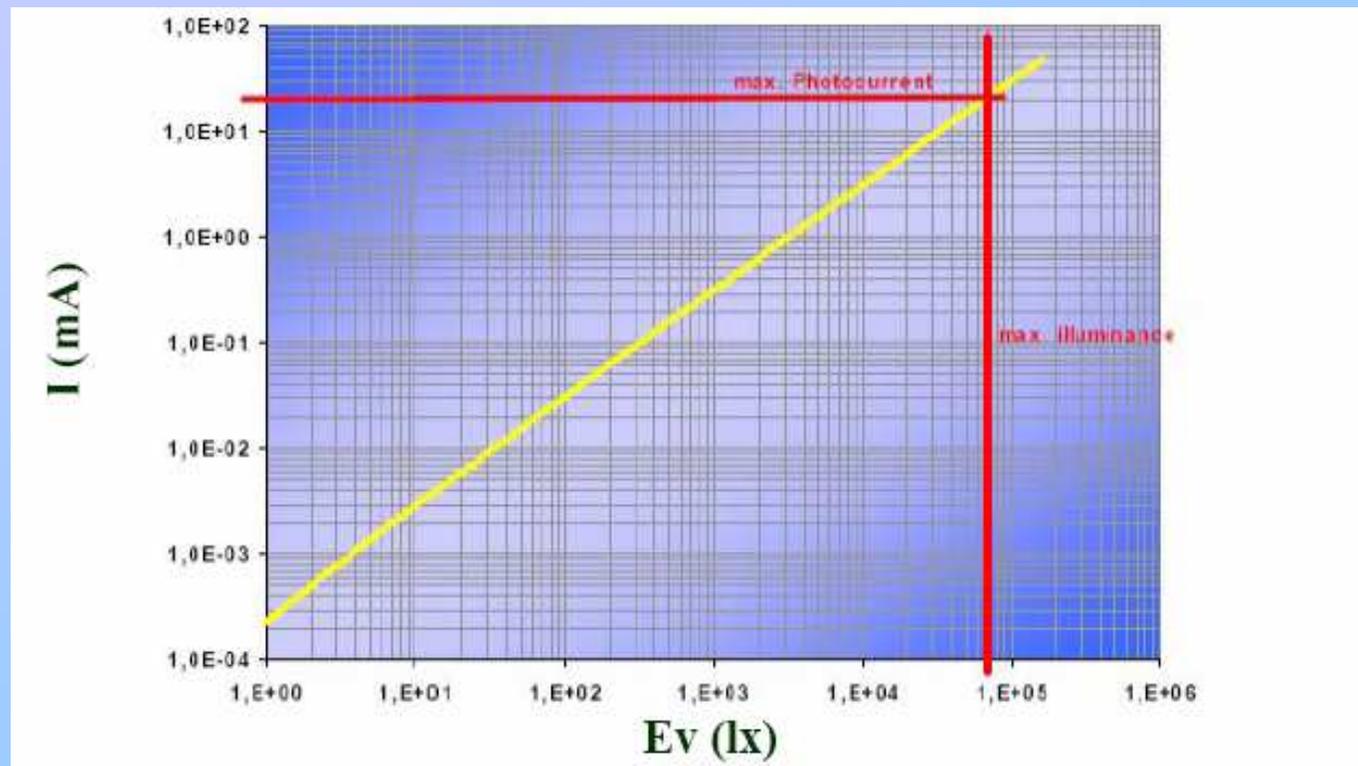
$S_r(\lambda)$ la Responsivity normalizzata (o Sensitivity)

$w(\lambda)$ [W/m²] la densità di potenza incidente

$[\lambda_1, \lambda_2]$ l'intervallo di assorbimento del rivelatore.

Illuminamento e Fotocorrente

Dalla definizione di illuminamento e di fotocorrente, si ricava che la fotocorrente prodotta da un fotorivelatore è direttamente proporzionale all'illuminamento in lux. In figura è rappresentata la fotocorrente prodotta da un fotodiodo al variare dell'illuminamento.



✓ Cenni Sensori di Luce Ambientale

Fotorivelatori e Sensori

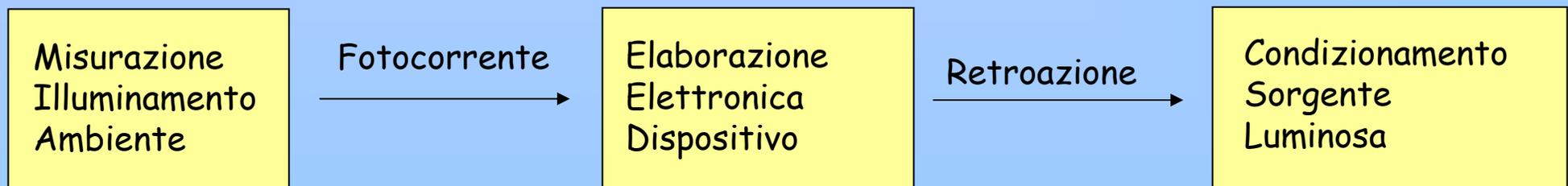
Dalla misura della fotocorrente prodotta da un fotorivelatore è possibile risalire all'illuminamento presente nell'ambiente.

Noto l'illuminamento presente nell'ambiente, si possono adattare le condizioni di illuminamento dell'ambiente stesso in modo da rendere la visione degli oggetti in esso presenti, specie quelli a loro volta capaci di emettere radiazioni luminose, quanto più gradevole possibile per l'occhio umano, evitando nel contempo inutili sprechi energetici, oppure, viceversa, adattare le condizioni dell'illuminamento degli oggetti (quelli in grado di emettere radiazioni) in modo da renderne la visione gradevole.

Questa è la funzione che deve svolgere un sensore di luce ambientale (ALS).

Per tutte le tipologie di sensori in grado di rivelare la luce è perciò necessario che la sensitività spettrale risulti essere quanto più simile alla curva di visibilità dell'occhio umano.

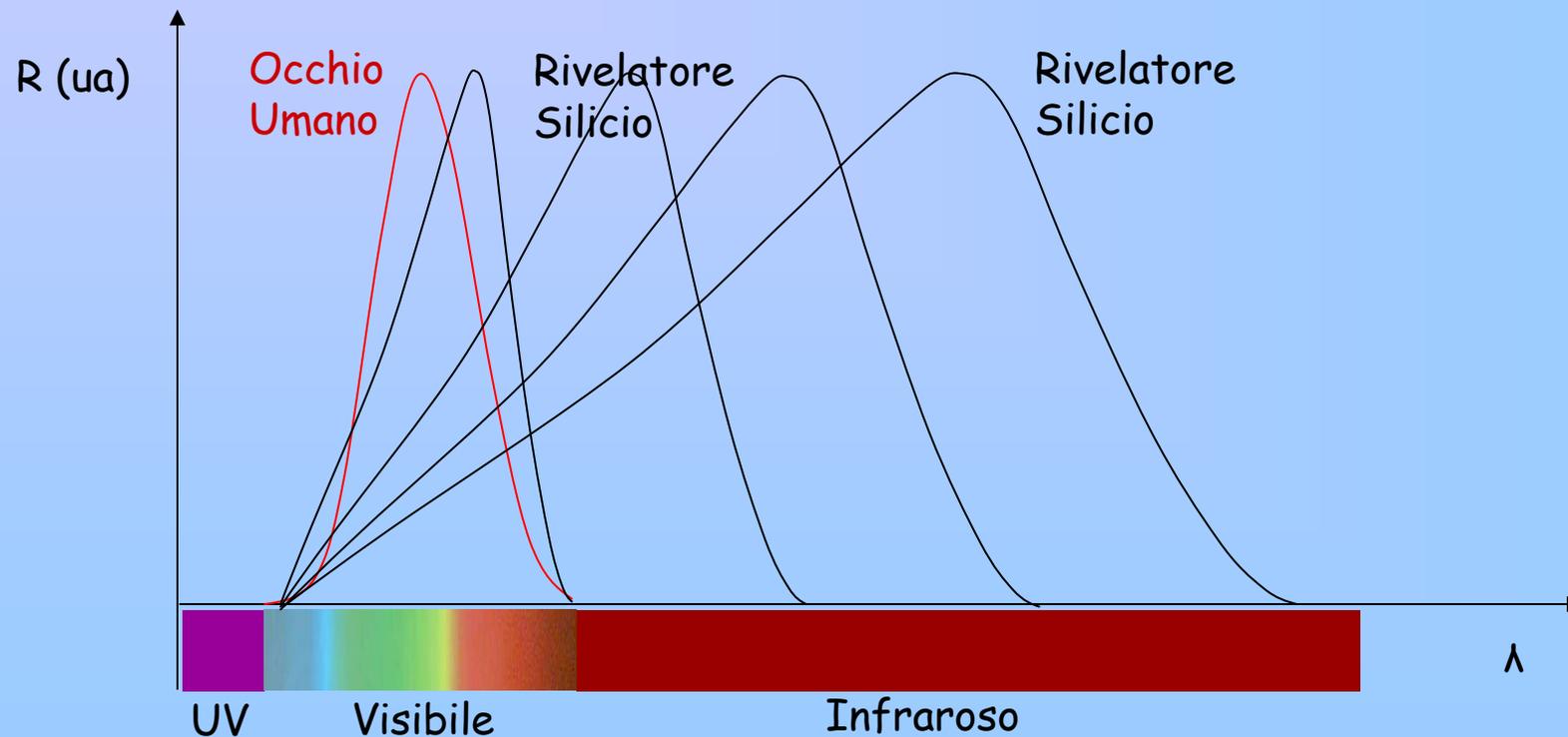
Questa è la caratteristica fondamentale che deve avere un buon rivelatore di luce ambientale.



Variazione della Responsivity dei fotorivelatori

Per tutte le tipologie di sensori in grado di rivelare la luce è perciò necessario che la sensitività spettrale risulti essere quanto più simile alla curva di visibilità dell'occhio umano.

Poiché i fotorivelatori in Silicio hanno una responsivity migliore verso l'infrarosso, affinché si possa utilizzarli come rivelatori di luce nel visibile bisogna spostare la risposta del rivelatore a lunghezze d'onda più piccole e quanto più vicina possibile alla curva di risposta dell'occhio umano.



Variazione della Responsivity dei fotorivelatori

La Responsivity dei fotorivelatori in Silicio può essere opportunamente modificata intervenendo tecnologicamente in vari modi:

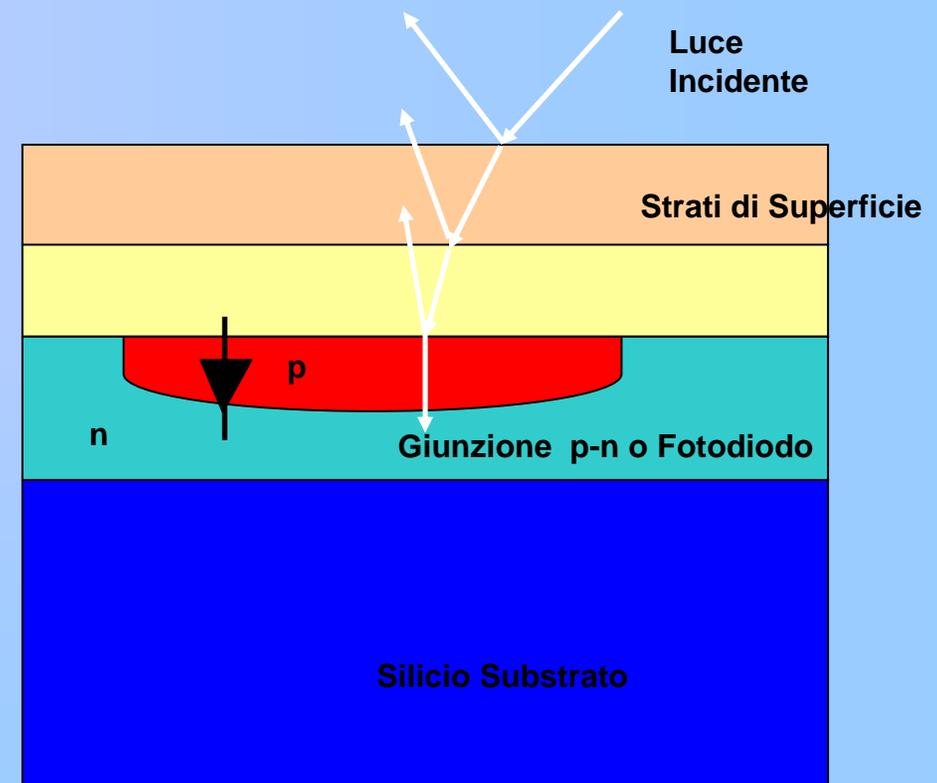
- Modificare gli strati e lo spessore di dielettrico di superficie del fotorivelatore per ridurre quanto più possibile la frazione di luce riflessa rispetto alla luce incidente, sfruttando per esempio le leggi dell'ottica (trasmissione, rifrazione, interferenza, ecc.).

$$\mathfrak{R} = \frac{e\Phi_e}{h\nu\Phi_{ph}} = \frac{e}{hc/\lambda}\eta \simeq \eta \frac{\lambda (\mu m)}{1.24}$$

Responsivity

$$\eta = (1 - R)\xi[1 - e^{-\alpha d}]$$

Efficienza Quantica



Variazione della Responsivity dei fotorivelatori

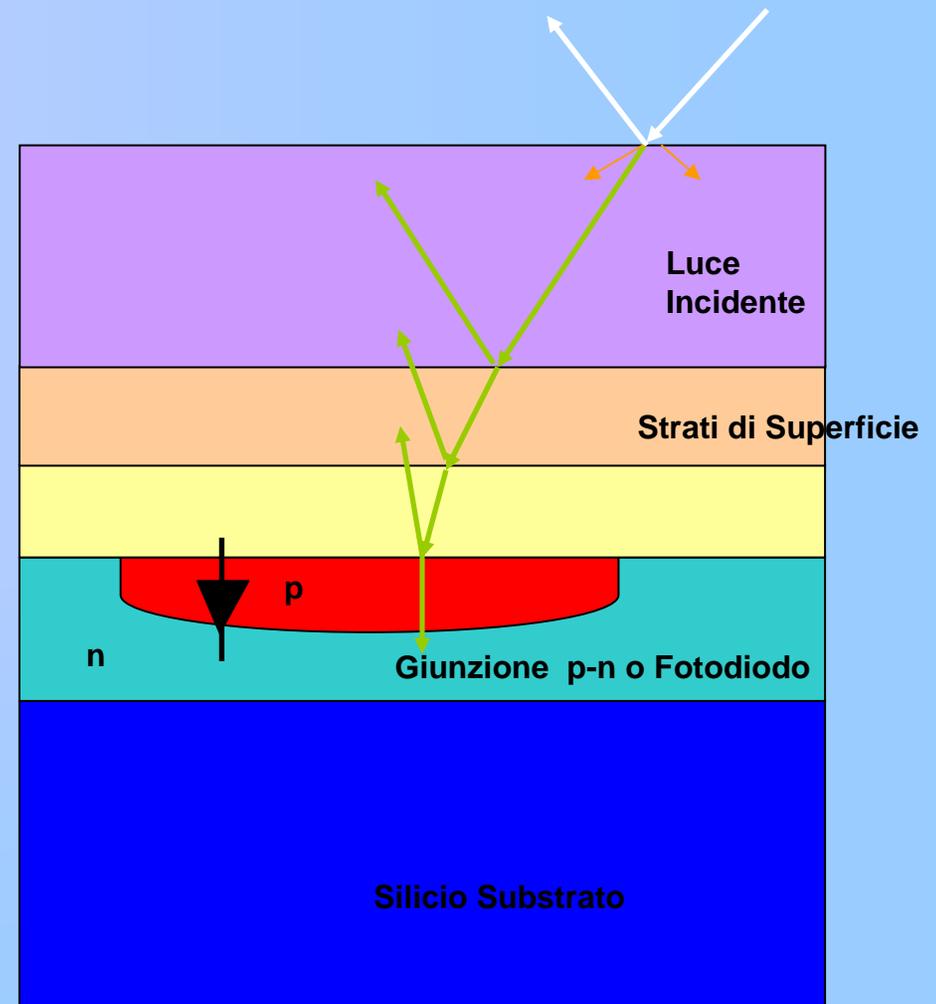
- Depositare degli opportuni materiali sulla superficie del fotorivelatore in grado di filtrare la componente della luce infrarossa.

$$\mathfrak{R} = \frac{e\Phi_e}{h\nu\Phi_{ph}} = \frac{e}{hc/\lambda}\eta \simeq \eta \frac{\lambda (\mu m)}{1.24}$$

Responsivity

$$\eta = (1 - R)\xi[1 - e^{-\alpha d}]$$

Efficienza
Quantica



Variazione della Responsivity dei fotorivelatori

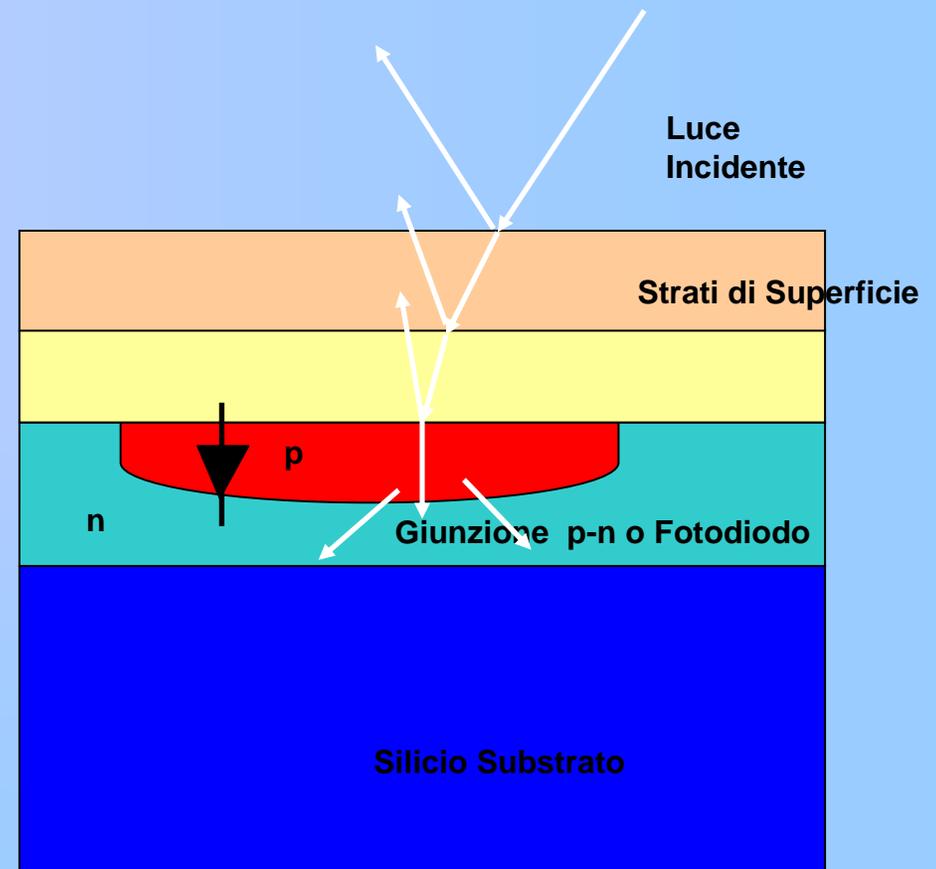
- Cambiare il drogaggio della giunzione del fodiiodo e spostare la profondità della giunzione stessa, in modo da migliorare la risposta del fotorivelatore a lunghezze d'onda più verso il visibile.
- Tutti assieme i precedenti accorgimenti tecnologici.

$$\mathfrak{R} = \frac{e\Phi_e}{h\nu\Phi_{ph}} = \frac{e}{hc/\lambda}\eta \simeq \eta \frac{\lambda (\mu m)}{1.24}$$

Responsivity

$$\eta = (1 - R)\xi[1 - e^{-\alpha d}]$$

Efficienza
Quantica

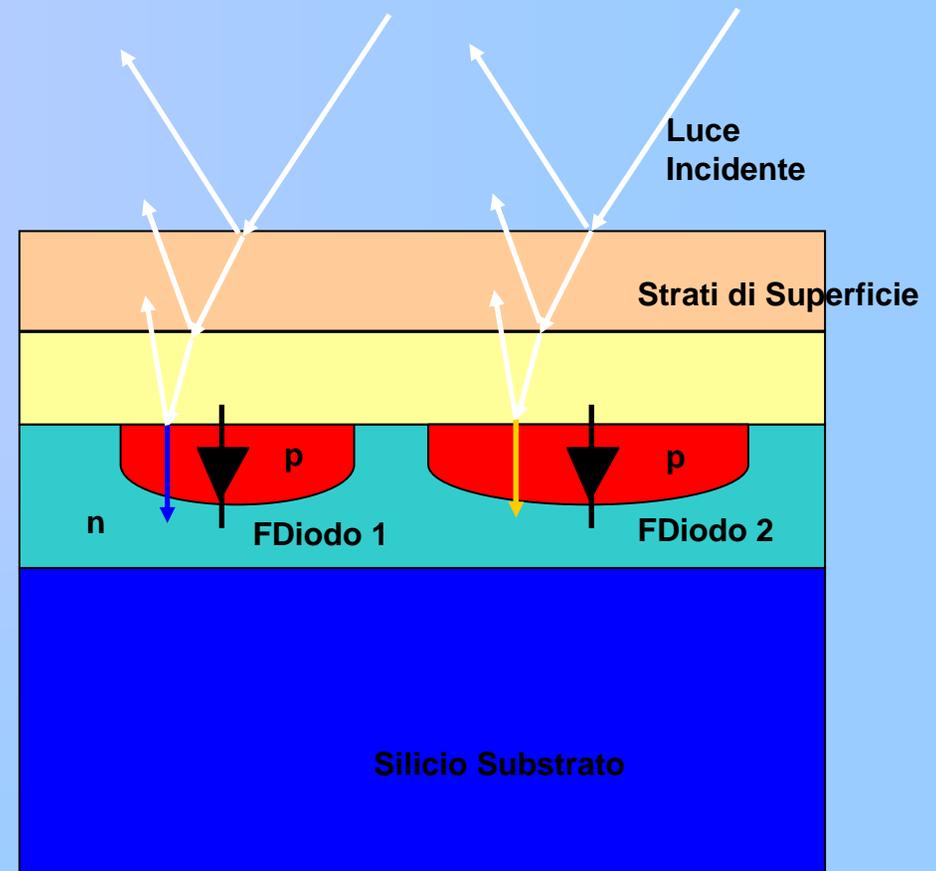


Variazione della Responsivity dei fotorivelatori

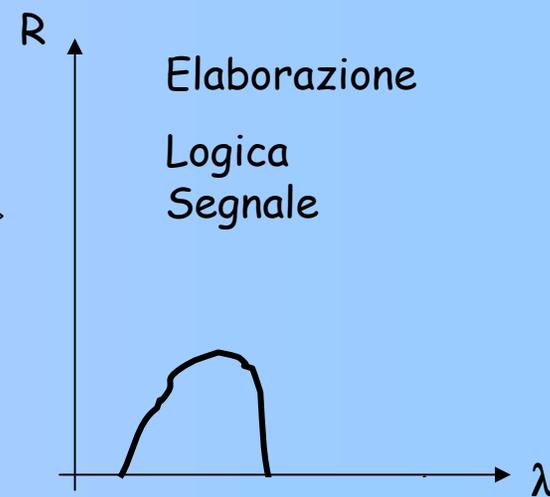
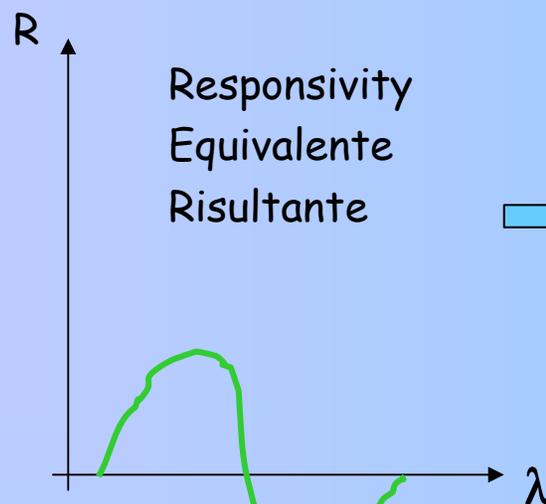
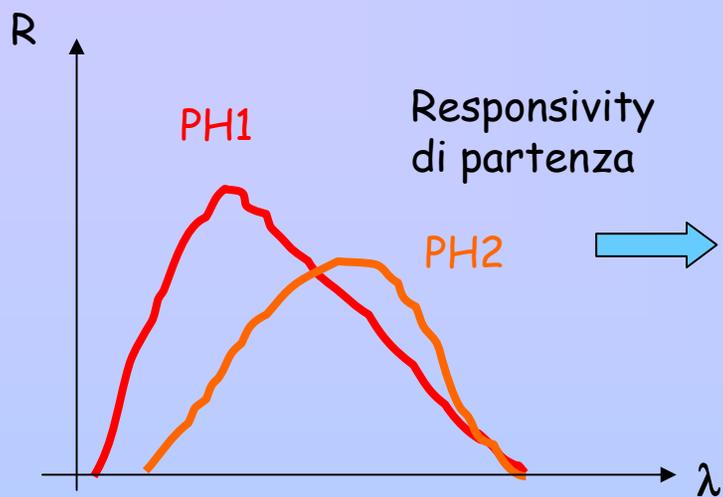
- Utilizzare due o piú fotodiodi per discriminare la radiazione del visibile, opportunamente combinando elettronicamente le rispettive fotocorrenti rilevate.

Nel caso di due fotodiodi, per esempio, uno viene progettato per leggere la radiazione verso l'infrarosso, l'altro viene progettato per leggere la radiazione verso il blu. La opportuna elaborazione algebrica delle responsivity di partenza dei due fotodiodi produrrà una responsivity risultante vicina alla sensibilità dell'occhio umano.

Le responsivity volute dei due singoli fotorivelatori possono essere ottenute utilizzando i precedenti accorgimenti tecnologici.



Variazione della Responsivity dei fotorivelatori

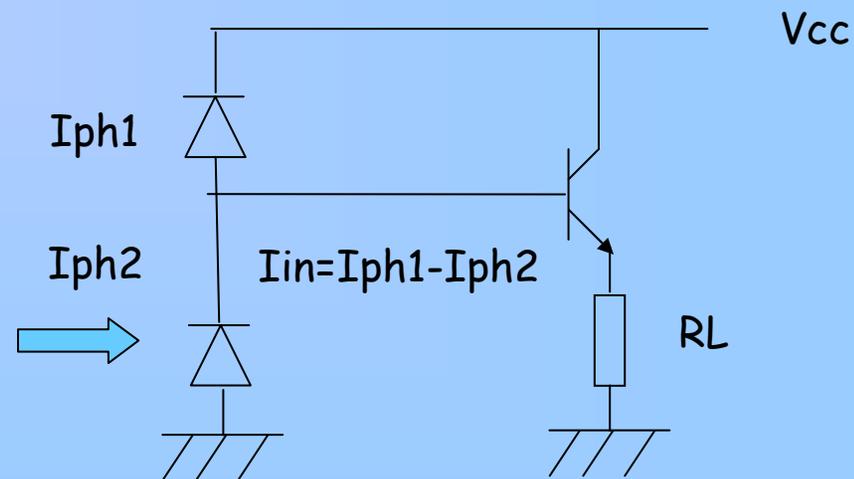
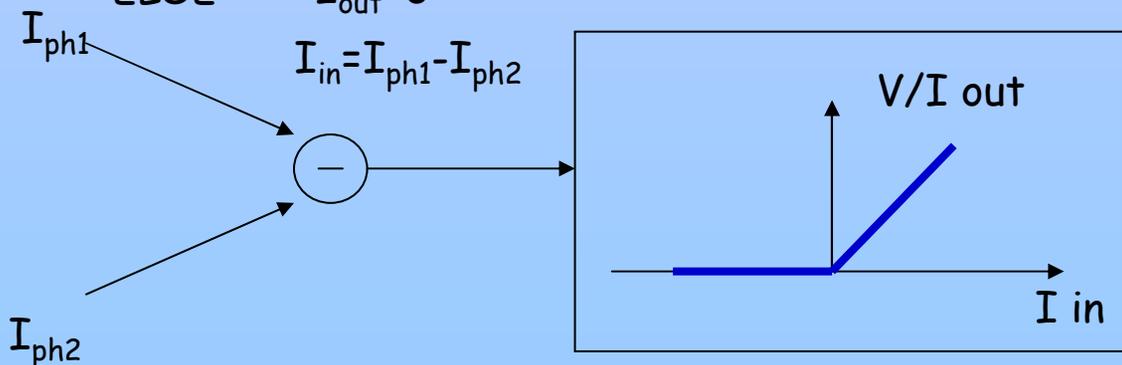


Logical Condition:

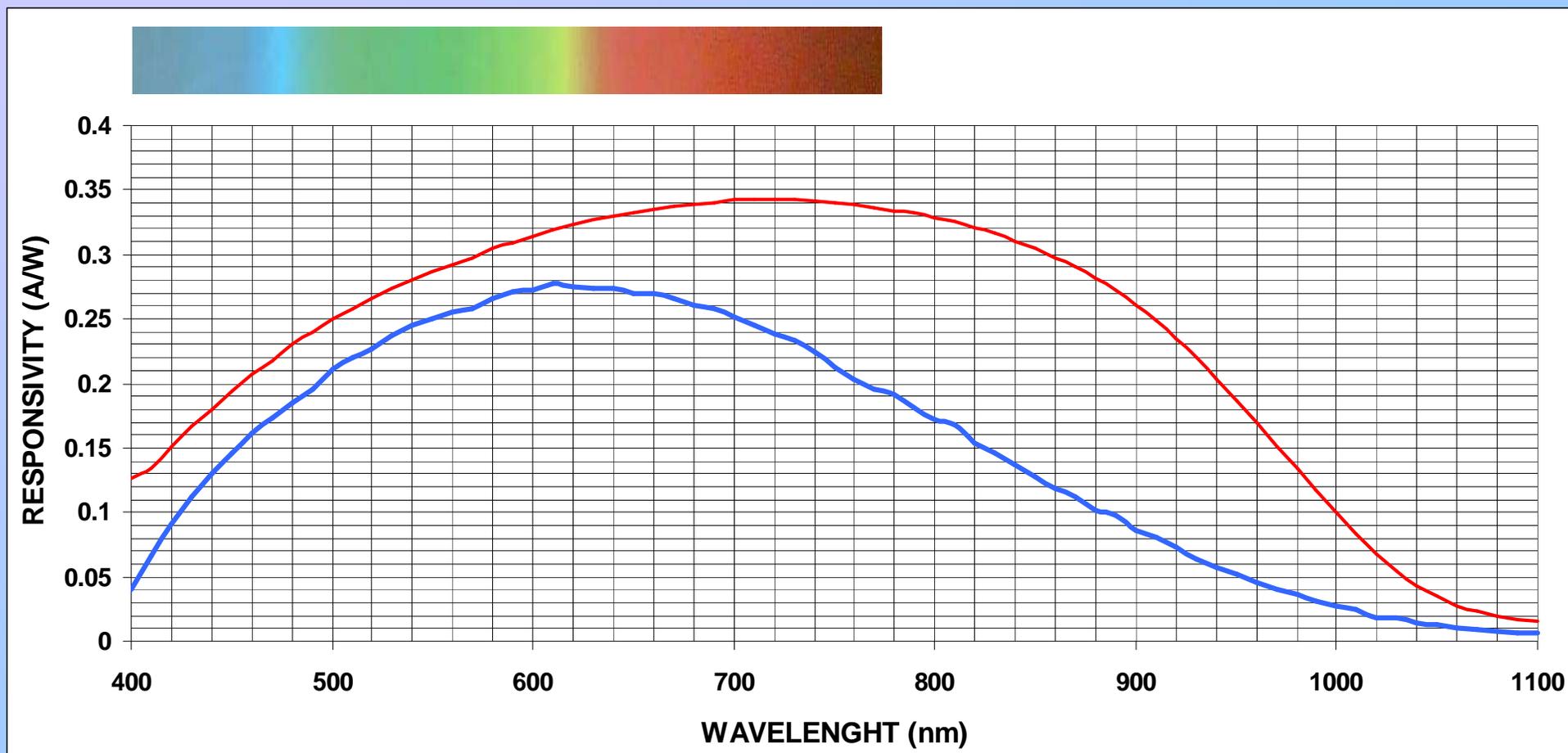
IF $I_{in} > 0$ $I_{out} = A * I_{in}$

ELSE $I_{out} = 0$

$$I_{in} = I_{ph1} - I_{ph2}$$



Esempio di Responsivity Reale



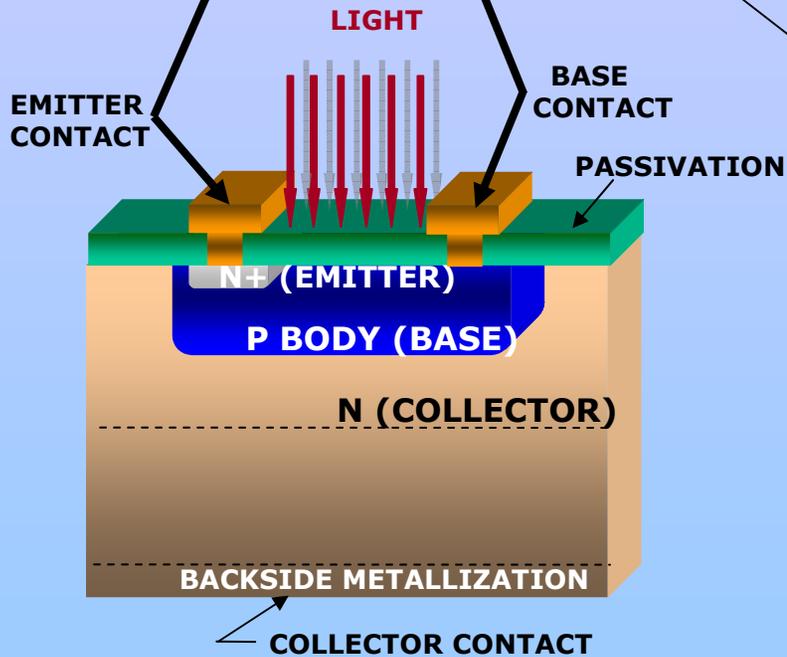
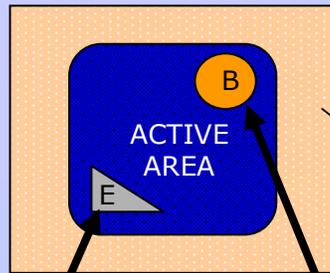
Curva Rossa : Responsivity Fotodiode al Silicio privo di modifiche strutturali

Curva Blu : Responsivity Fotodiode al Silicio con superficie modificata

- ✓ Cenni su Integrazione, Applicazioni, Caratterizzazione

Esempio Struttura Fotodiodo per ALS

Struttura Fotodiodo vista dall'alto

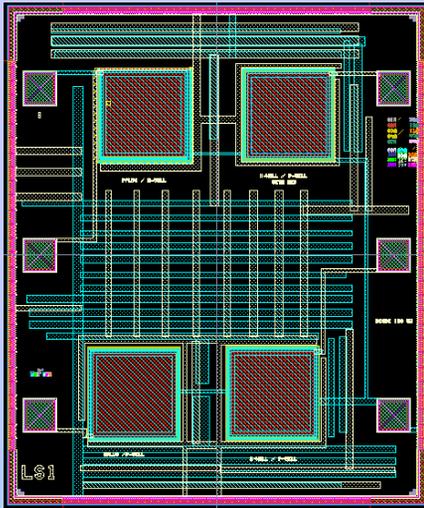


Struttura Fotodiodo vista frontale

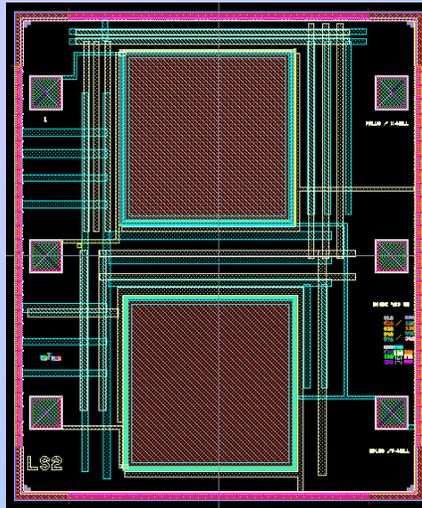
Esempio Package ALS



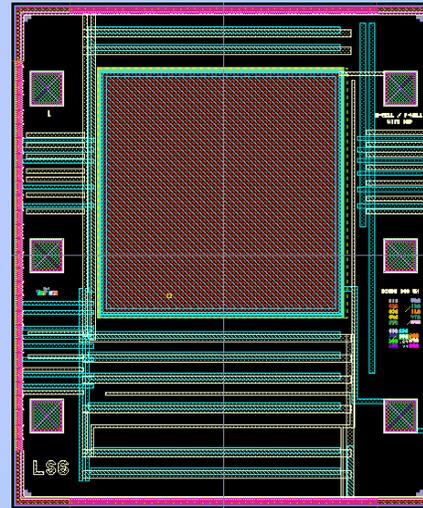
Integrazione di dispositivi ALS in chip di Silicio



199 x 199 μm



423 x 423 μm

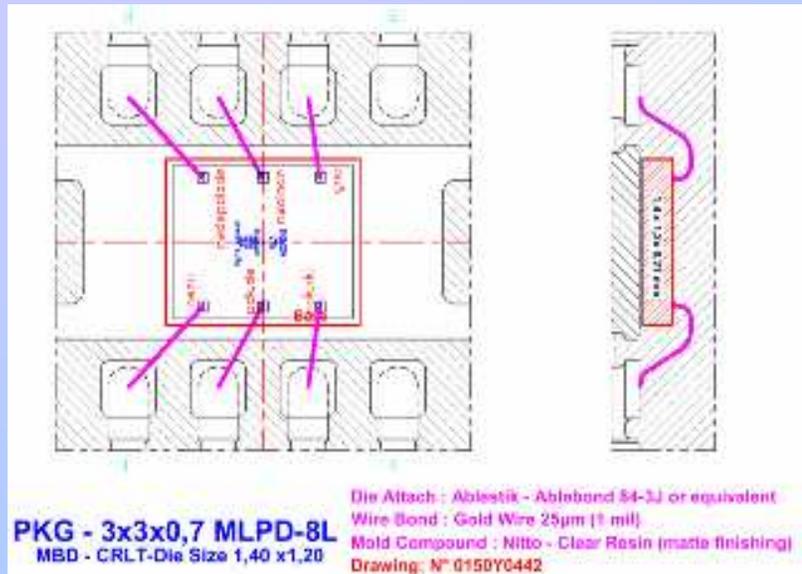


603 x 603 μm

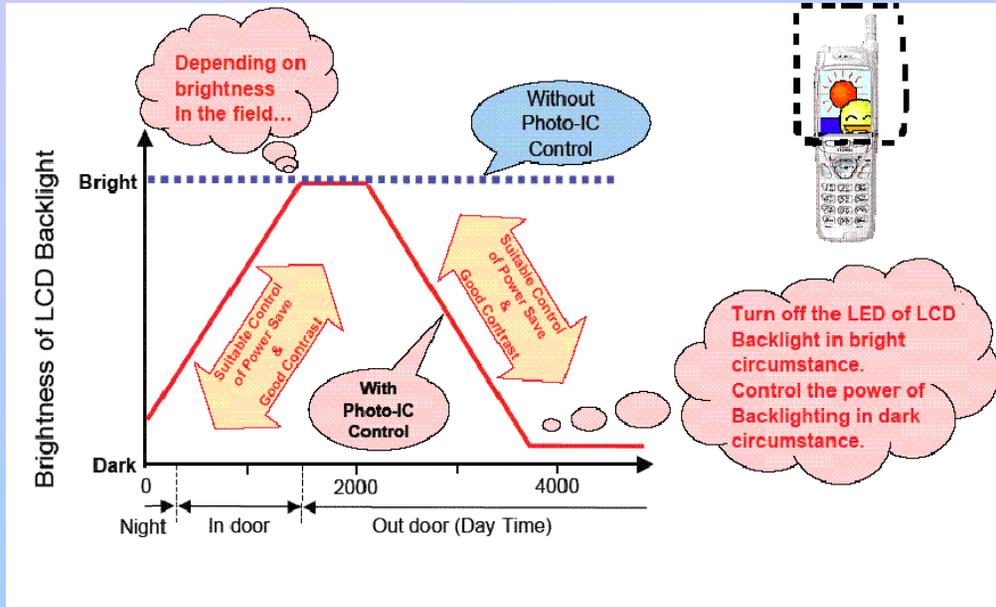
Integrazione in Silicio di Fotodiodi di diverse aree.

Integrazione in Silicio di Fotodiode singolo e relativa elettronica di controllo.

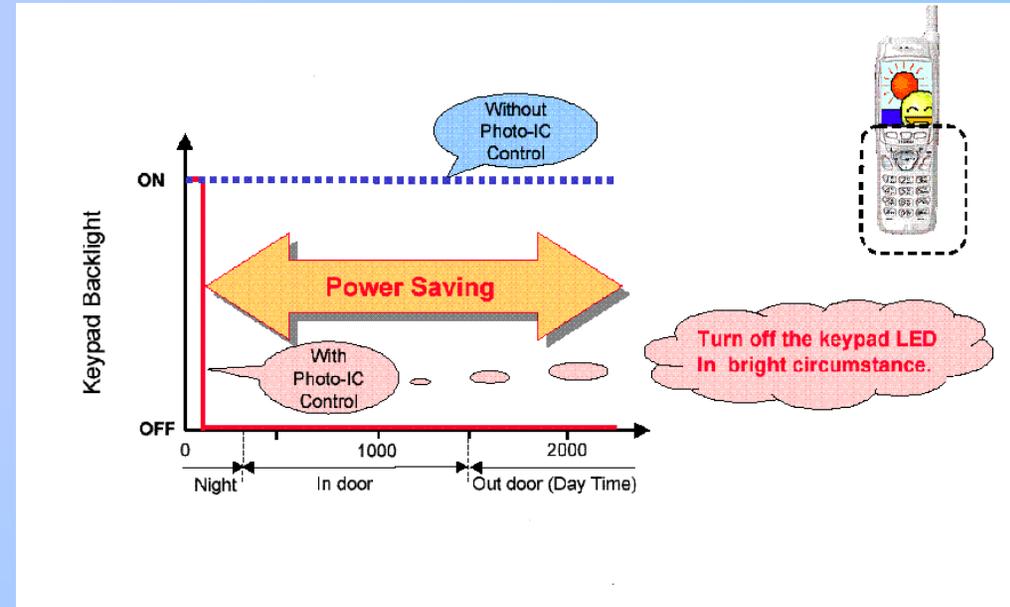
Integrazione di dispositivi ALS in Silicio in Package



Esempio Operativo di ALS

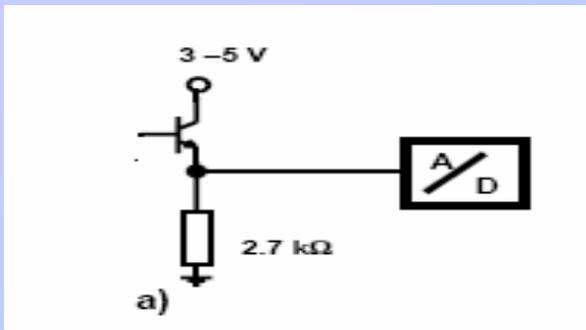


Controllo luminosità nel caso di Display tipo LCD del telefonino

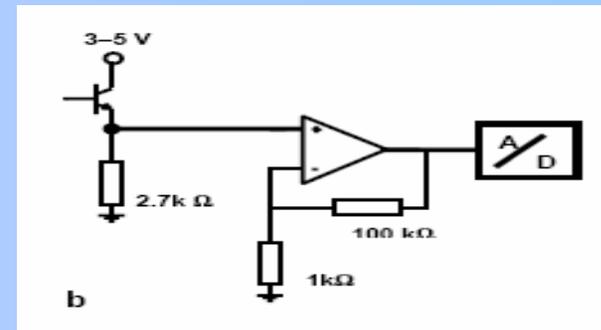


Controllo luminosità backlight tastierino numerico del telefonino

Esempio Schema Circuitale ALS



La corrente di uscita è usata direttamente.
Circuiti adatti da 10 a 1000 Lux

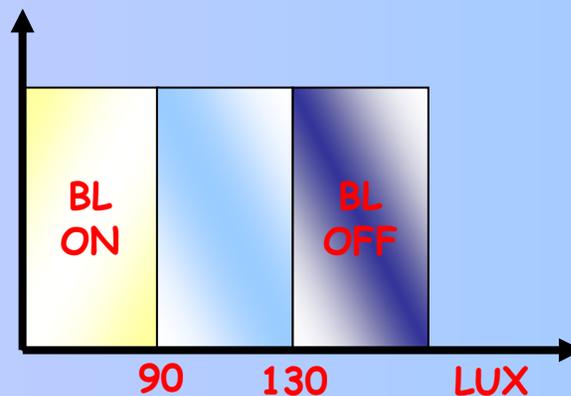


La corrente di uscita è amplificata.
Circuiti adatti da 1 a 10 Lux

La corrente di uscita del fotodiode è dell'ordine dei nano ampere, le perdite di correnti parassita devono essere pertanto bassissime cosichè da poter discriminare la corrente di uscita. Il sensore deve essere posto inoltre quanto più vicino possibile allo stadio di amplificazione.

Esempio Dimostratore Funzionamento di ALS

POWER SAVING



If ON -> BL will turn OFF over 130 lux
If OFF -> BL will turn ON below 90 lux

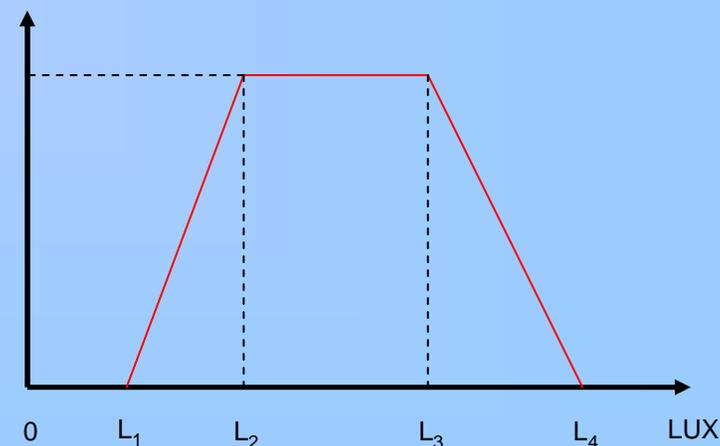
BL+circuit		BL
BL ON 40%	BL OFF 60%	BL ON 100%
Vcc=5V	Vcc=5V	Vcc=4.8 9V
Icc=48 mA	Icc=1.2 mA	Icc=47 mA
P=240m W X 0.4= 96mW	P=6mW X 0.6= 3.6mW	P=230m W X 1= 230mW
Ptot=99.6mW		Ptot=23 0mW
Power Saving 57%		

AUTODIMMING

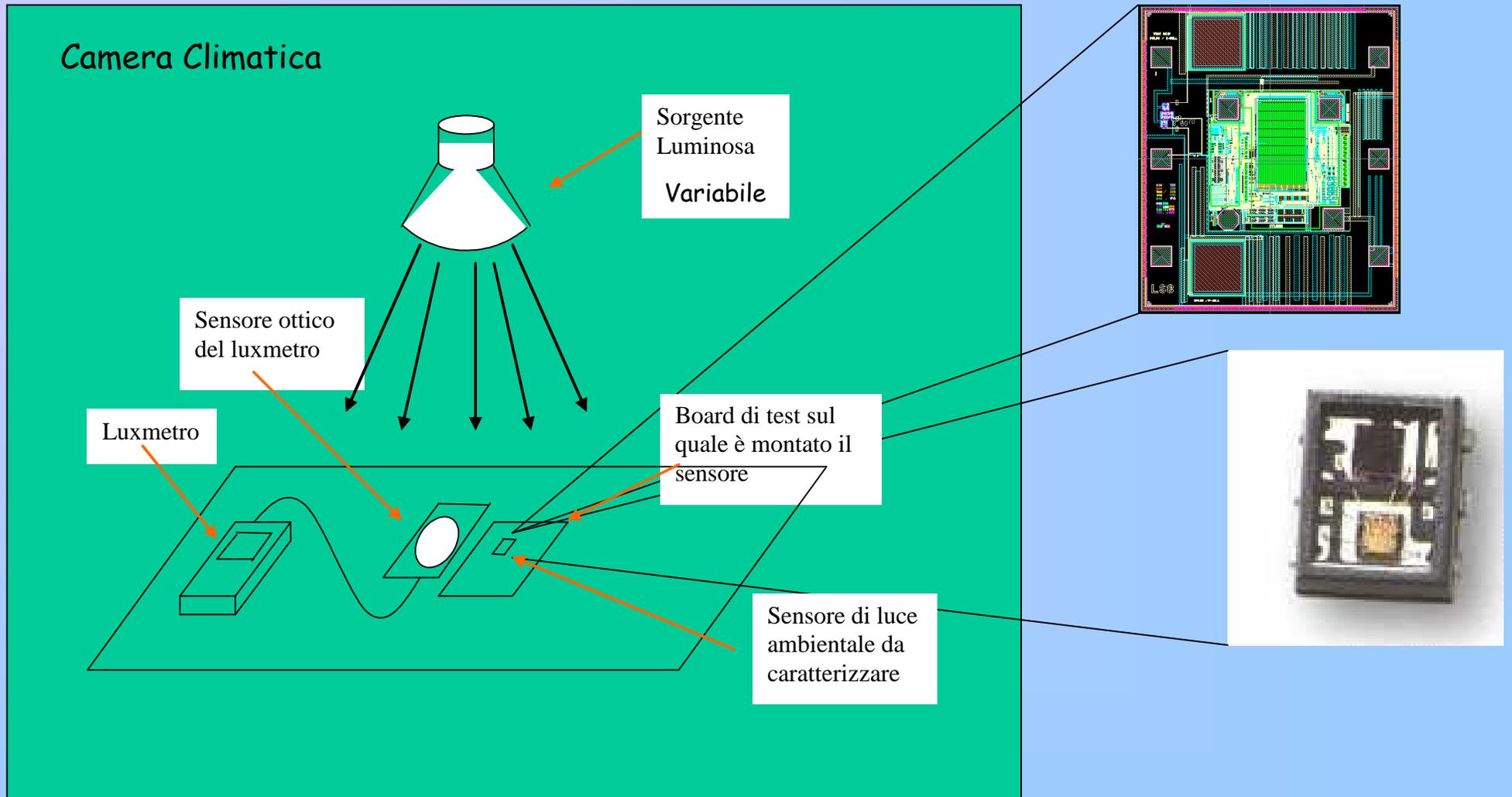


Backlight On

Backlight Off



Esempio Schema di Caratterizzazione per ALS





Fine Presentazione

S. Leonardi

Grazie

New Devices Design Manager
IMS (Industrial & Multisegment Sector) Group, R&D
NDT (New Devices and Technologies) Group.
Phone: +39 95 7407645
Mobile: + 39 346 499 2010
Fax: +39 95 7407717
E-mail: salvatore.leonardi@st.com

