

# Trasduttori

# Introduzione

- Sensore: dispositivo sensibile ad una determinata grandezza fisica
- Il trasduttore è l'elemento base della misura
- Per trasduttore intendiamo un dispositivo che trasforma una qualsiasi grandezza fisica in grandezza elettrica o meccanica.
- Un trasduttore è formato da una interfaccia in ingresso, un sensore ed una interfaccia in uscita
- Lo scopo di tale trasformazione è quello di poter meglio controllare, manipolare e trasportare una qualsiasi grandezza

# Caratteristiche di un trasduttore

## ***Caratteristiche di trasferimento:***

*E' il legame che intercorre tra la variabile da misurare (ingresso) e il segnale elettrico di uscita del trasduttore.*

*I trasduttori la cui caratteristica è una retta sono detti lineari.*

# Trasduttori analogici e trasduttori digitali

- I trasduttori analogici sono quelli che assumono tutti i valori possibili con continuità tra un valore min ed un valore max.
- I trasduttori digitali assumono solo determinati valori discreti

# Trasduttori analogici

- Sono più complessi di quelli digitali e le variabili ad essi associate sono di tipo numeriche
- Uno standard industriale associa i valori dei segnali analogici a tensioni da 0V a 10V oppure da -10V a 10V

# Trasduttori analogici

- I segnali analogici possono essere processati da un microcontrollore con l'ausilio di un convertitore ADC
- Tipici sensori analogici sono quelli di peso, temperatura, pressione...
- I segnali analogici in uscita da un microcontrollore sono quelli che controllano la velocità di un motorino o la luminosità di un di una lampada

# Scalatura dei segnali analogici

- Consiste nel voler associare ad una determinata tensione in uscita dal trasduttore il valore letto dal sensore



Valore in uscita da un traduttore



Valore letto dal trasduttore

# Relazione tensione lettura

- Supponiamo che abbiamo un sensore che misuri la massa di un oggetto e che la massa minima sia 0 kg e quella massima 100kg: supponiamo inoltre, che l'uscita del microcontrollore sia 0V-10V
- Se la relazione è tra grandezza letta e tensione lineare, allora vale la seguente relazione
  - x=valore letto
  - y=valore corrispondente in Volt

• x= valore letto

y=valore corrispondente in Volt

$$\frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} = \frac{y - y_{min}}{y_{max} - y_{min}}$$

# Classificazione dei trasduttori

- Un criterio di classificazione dei trasduttori è basato sul tipo di grandezza elettrica prodotta in uscita (tensione, corrente, capacità, resistenza, etc..).
- Sono definiti attivi i trasduttori che generano un segnale in corrente o tensione (es. termocoppie).
- Sono definiti passivi i trasduttori che producono in uscita una variazione di un parametro elettrico come resistenza, capacità etc..(potenziometri, estensimetri, termistori..).



# Caratteristiche

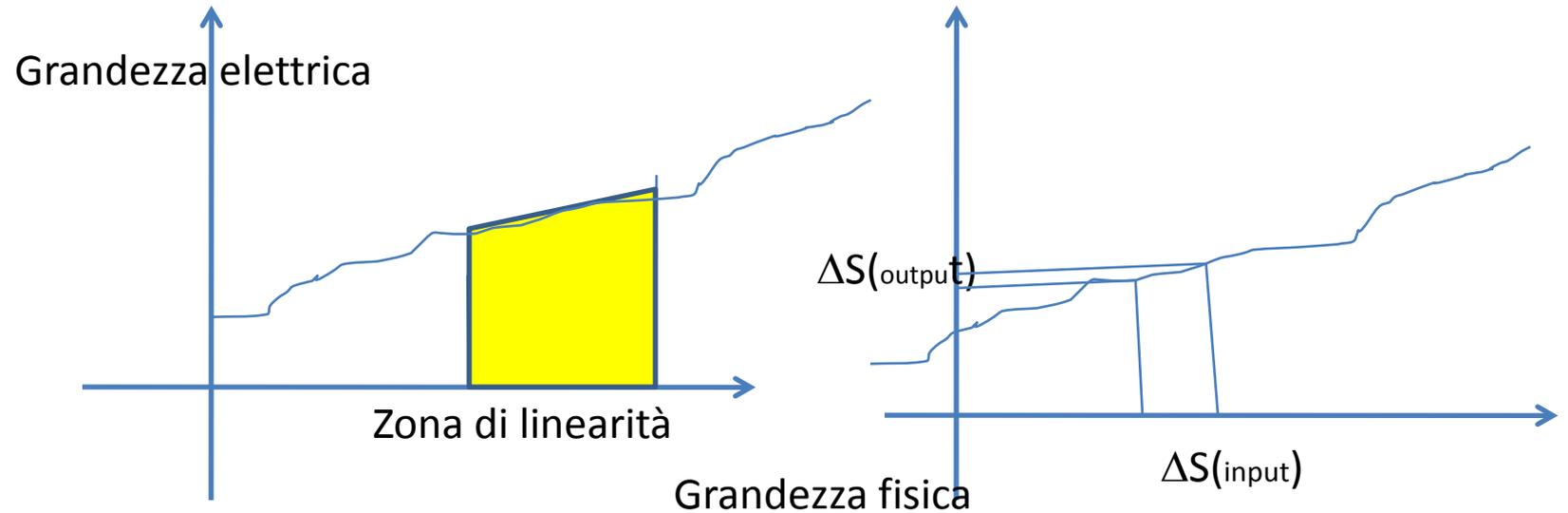
Le principali caratteristiche sono:

- Statiche
- Dinamiche
- Affidabilità
- Dipendenza dall'ambiente

# Parametri statici

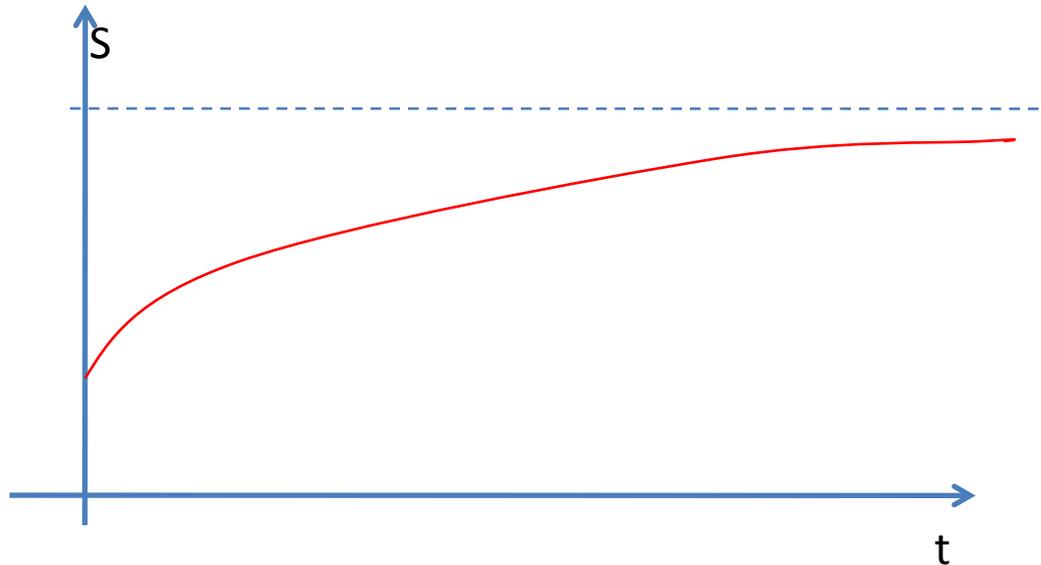
- I parametri statici si ottengono variando molto lentamente le grandezze in ingresso al trasduttore e si misura l'uscita
- Linearità: un sistema è lineare se la relazione tra grandezza fisica e grandezza elettrica è di diretta o inversa proporzionalità
- Sensibilità: è il valore minimo che lo strumento è in grado di rilevare e misurare; si può esprimere come il rapporto tra la variazione del segnale in uscita e la variazione del segnale in ingresso
- Risoluzione: è la variazione minima della grandezza misurata che è in grado di apprezzare; più piccola variazione del segnale di uscita esprimibile come una percentuale del valore di fondoscala  $S_{FS}$ .
- Ripetibilità: capacità del sensore di fornire sempre la stessa uscita quando in momenti diversi viene fornito lo stesso valore in ingresso.

# Linearità, sensibilità



# Parametri dinamici

- Tempo di transizione (prontezza): tempo necessario affinché il segnale in uscita dal trasduttore si stabilizzi al valore da rilevare. Ciò crea un limite alla banda passante del sistema.



# Dipendenza dalle grandezze fisiche

- Può capitare che alcuni sensori siano sensibili alla variazione di altre grandezze fisiche oltre a quelle in esame
- Es. quasi tutti i sensori sono sensibili alla variazione di temperatura
- Le grandezze secondarie alle quali i sensori sono sensibili, possono essere elementi di disturbo se non sono trascurabili

# Tipi di trasduttori

Una grandezza fisica può influenzare le caratteristiche elettriche di un conduttore o di un semiconduttore. In base alla caratteristica elettrica in gioco, i trasduttori si dividono in:

- Resistivi
- Capacitivi
- Induttivi

# Trasduttori resistivi: azione meccanica

Se è in grado di modificare le caratteristiche geometriche del conduttore, infatti risulta essere:

$$R = \rho * L / S$$

La resistenza dipende, oltre che dalla resistività, anche dalla lunghezza e dalla sezione del conduttore; è sufficiente che cambi uno di questi parametri e cambia anche la resistenza.

Una azione meccanica può anche far variare  $\rho$  se questa consente di modificare la struttura molecolare del conduttore o del semiconduttore

# Trasduttori resistivi azione termica

Se è in grado di cambiare la resistenza di un conduttore in base alla seguente legge:

$$R = R_0 * (1 + \alpha \Delta T) \quad R = R_0 + R_0 \alpha \Delta T$$

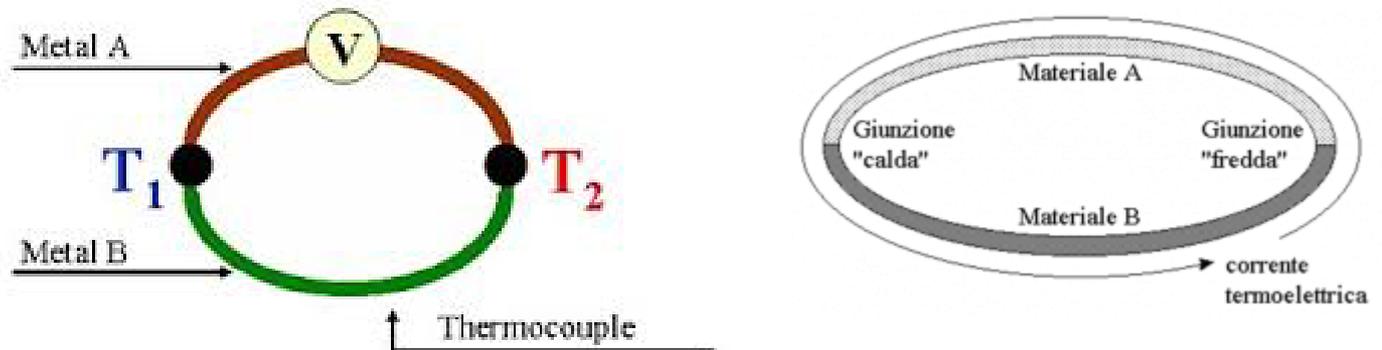
dove  $R$  ed  $R_0$  rispettivamente sono la resistenza alla temperatura finale a alla temperatura iniziale.  $\alpha$  è un coefficiente dipendente dal materiale ed è costante in un determinato range di temperatura.

# Trasduttori resistivi altre azioni

- Esistono termistori sensibili alla variazione di luminosità o di umidità
- Sono tante le grandezze fisiche che possono influenzare le caratteristiche di un termistore

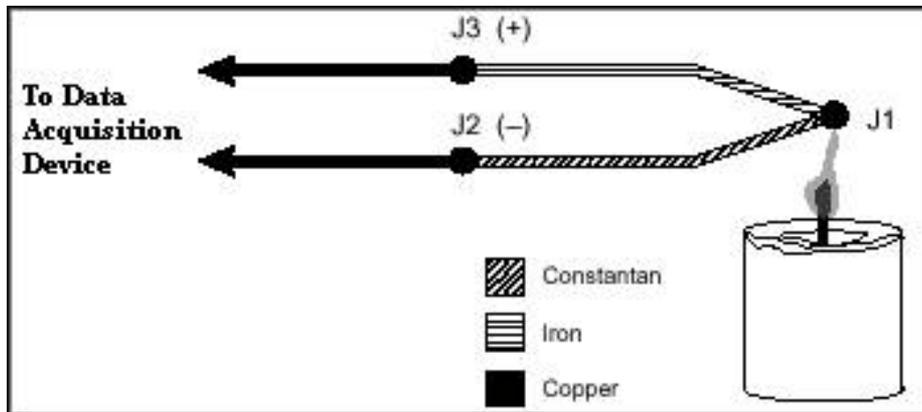
## Le termocoppie

Le termocoppie sono trasduttori di temperatura il cui principio di funzionamento è basato sull'effetto Seebeck-Peltier o effetto termoelettrico. Questo effetto consiste nel fatto che in una coppia di materiali differenti, saldati ad una estremità (giunto caldo) si manifesta, tra le estremità libere (giunto freddo), una differenza di potenziale che dipende, oltre che dai materiali a contatto, dalla temperatura a cui si trova la giunzione. In un circuito chiuso formato da conduttori differenti, non circolerebbe corrente se non fosse applicata una differenza di potenziale. Se il circuito viene tagliato e due giunzioni vengono poste a temperatura differente, si osserva una differenza di potenziale.



## Termocoppie

Al fine di poter effettuare una misura assoluta di temperatura il giunto freddo della termocoppia andrà mantenuto ad una temperatura nota e rigorosamente costante mentre il giunto caldo verrà sottoposto alla temperatura da misurare. Tutto questo comporta parecchie complicazioni pratiche per cui normalmente il giunto freddo viene sottoposto a temperatura ambiente e compensato mediante opportuni circuiti elettronici.

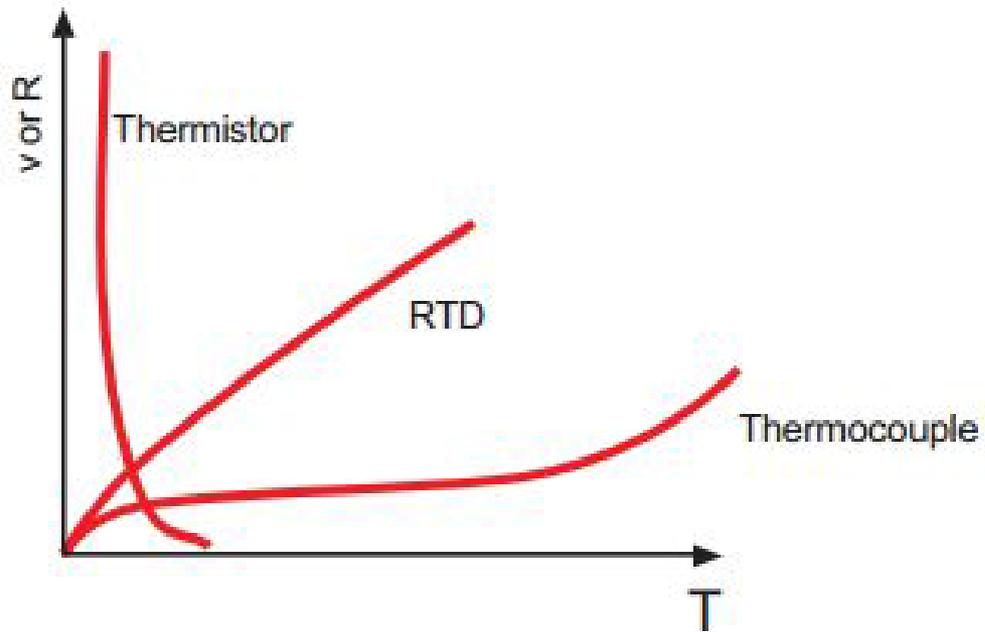


A temperatura ambiente la tensione d'uscita di questi trasduttori assume valori molto piccoli (qualche decina di millivolt) per cui il condizionatore di segnale dovrà impiegare circuiti amplificatori con guadagni molto elevati e quindi molto critici da realizzare. Per ogni tipo di termocoppia, è fornita una tabella che indica le tensioni generate dalla giunzione alle varie temperature, in corrispondenza di una certa temperatura del giunto freddo (ad esempio 0°C).

Tipo		Limiti di temperatura (°C)
Simbolo	Materiali	
S	Pt10%Rh - Pt	-50 / 1760
R	Pt13%Rh - Pt	-50 / 1760
B	Pt30%Rh - Pt6%Rh	0 / 1820
E	Cr - Co	-270 / 1000
J	Fe - Co	-210 / 1200
K	Cr - Al	-270 / 1370
T	Cu - Co	-270 / 400
N	Nicrosil - Nisil	-270 / 400 (1) 0 / 1300 (2)

RTD= Resistance  
Temperature  
Detector

Sono abbastanza lineari  
da come si vede in figura



## Termistori

- Sono trasduttori sensibili alla variazione di temperatura
- Si suddividono in
  - **NTC** (*negative temperature coefficient*): la loro resistenza diminuisce all'aumentare della temperatura mentre aumenta la conducibilità. Sono costituiti da semiconduttori
  - **PTC** (*positive temperature coefficient*): la loro resistenza aumenta all'aumentare della temperatura e diminuisce la conducibilità. Sono costituiti da conduttori

# Le termoresistenze PTC

- Molti sensori di temperatura, come le termoresistenze, sono basati sul fatto che la conduttività di un materiale (conduttore o semiconduttore) dipende più o meno fortemente dalla temperatura.
- $R(T) = R_0 (1 + \alpha T)$
- dove  $R_0$  è la resistenza a zero °C e  $T$  è la temperatura in gradi centigradi. Infine “ $\alpha$ ” è un coefficiente positivo (misurato in °C<sup>-1</sup>).
- I termoresistori hanno ampi range di utilizzo (da -200 °C a +800 °C), hanno una buona linearità, sono precisi e stabili.
- I metalli che si utilizzano sono rame nichel e platino.
- Il difetto principale è che “ $\alpha$ ” è piccolo per cui sono necessari circuiti amplificatori con forte amplificazione.
- Inoltre per trasformare la variazione di resistenza in una variazione di tensione occorre farli attraversare da corrente e ciò comporta una variazione di resistenza per effetto joule che introduce un errore nella misura.

.

# PT100

- Termoresistenza di tipo PTC, costituita da platino
- Il numero 100 sta ad indicare che alla temperatura di 0 °C il valore resistivo è di 100  $\Omega$
- È lineare
- La caratteristica è:  $R=R_0(1+\alpha T)$
- $\alpha=3.85*10^{-3}C^{-1}$

# NTC

- Sono formati da una miscela di Nichel e Manganese

Caratteristica:  $R = R_0 e^{B(1/T - 1/T_0)}$

- Dove:  
T è la temperatura ASSOLUTA,  
T<sub>0</sub> è una temperatura assoluta di riferimento (298 °K)  
B è una costante.
- La caratteristica dei resistori è non lineare: si prestano perciò a lavorare bene solo dove la linearità non è importante (controlli di temperatura) o dove i range di lavoro sono ristretti (termometria clinica).
- Possono anche venire utilizzati in alcuni trasduttori secondari come dei misuratori di flusso per fluidi.

# LM35

- Integrato della National Instruments
- fornisce una tensione in uscita proporzionale alla temperatura ambiente misurata in gradi centigradi
- LM34 misura una temperatura in Fahrenheit e LM335 misura una temperatura in Kelvin  
LM35 in °C
- L'uscita della tensione è proporzionale alla temperatura rilevata che è pari a 10 mV per ogni grado centigrado, ed è calibrato in gradi Cesium.
- È formato da tre piedini, due per l'alimentazione e uno, quello centrale, come sensore
- È un sensore analogico; i dati in ingresso in un microcontrollore con convertitore ADC a 10 bit, devono essere trasformati nel seguente modo:  $temperatura = ( 100.0 * vref * val\_ingresso ) / 1023.0$
- Dove  $vref$  è il valore di riferimento del convertitore,  $val\_ingresso$  è il valore analogico letto in ingresso che è una d.d.p in mV
- 





# Codice Arduino

```
#define temp A0
int green=11;
int red=12;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);//inializzo il monitor seriale
  //ad una velocità di trasmissione pari a 9600 baud (bit/s)
  pinMode(green,OUTPUT);
  pinMode(red,OUTPUT);}

void loop(){
  int lettura=analogRead(temp);
  float t=lettura*500/1023;//uscita in °C
  float K=t+273;
  Serial.print(t);
  Serial.println("°C");
  Serial.print(K);
  Serial.println("K");
  delay(3000);
  if(t>10)digitalWrite(red,HIGH);
  if(t<=10)digitalWrite(green,HIGH); }
```

## I trasduttori di temperatura

Tipo	Legge Fisica	Sensibilità e Out.	Range	Linearità
<b>Termocoppia</b>	effetto Seebeck	10-40 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 0-60 mV	-240÷2500 $^\circ\text{C}$	buona a T ambiente
<b>PTC</b> (RTD Resistor Temp. Detector)	$R=R_0(1+\alpha T+..)$	0.2-10 $\Omega/^\circ\text{C}$ 0.1-0.6 V	-180÷300 $^\circ\text{C}$	eccellente
<b>NTC</b> (THERMally resISTOR)	variazione resistività dei semiconduttori	100-1000 $\Omega/^\circ\text{C}$ 1-3 V	-100÷150 $^\circ\text{C}$	scarsa
<b>Bulk resistors</b> <b>KTY84 Philips</b>	variazione $\rho$ del silicio: coeff.>0	la resistenza varia 10 $\Omega$ ÷10K $\Omega$ 0.7%/°C	-50÷200 $^\circ\text{C}$	
<b><math>V_x</math>=giunzione del diodo</b>		-2.2 mV/°C		media
<b><math>V_Z</math> di uno zener</b>	variazione $V_Z$	-10 mV/°K		
<b>LMx34x</b> <b>LMx35x</b>	integrato usa uno zener	10 mV/°F (10 mV/°K)	-55÷300 $^\circ\text{F}$	eccellente
<b>AD590</b>	integrato usa un diodo	1 mA/°K	-55÷150 $^\circ\text{C}$	eccellente

## DS18B20

Sono sonde digitali; esistono sonde per le misure in acqua che quelle fuori dall'acqua. Naturalmente, quelle in acqua possono funzionare anche fuori dall'acqua

- Tensione di alimentazione da 3.0V a 5.5V
- $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  di precisione da  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $+85^{\circ}\text{C}$
- Range di temperatura misurabile:  $-55$  a  $125^{\circ}\text{C}$  ( $-67^{\circ}\text{F}$  a  $+257^{\circ}\text{F}$ )
- da 9 a 12 bit di risoluzione
- Un unico cavo di connessione digitale
- Tempo di risposta inferiore a 750ms

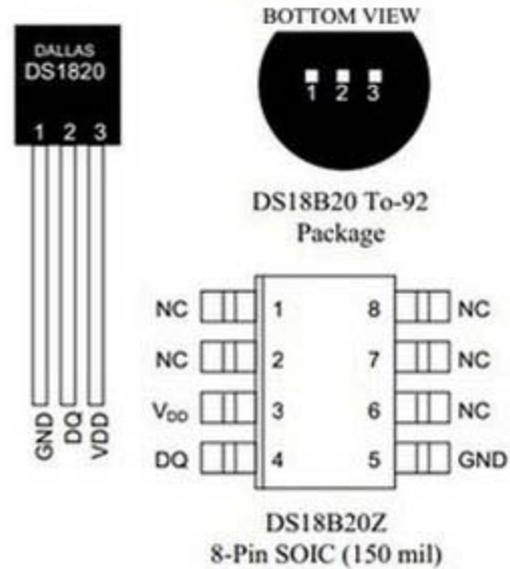
I sensori fuor dall'acqua sono uguali in forma ad un LM35

# DS18B20



In un liquido

## PIN ASSIGNMENT



## PIN DESCRIPTION

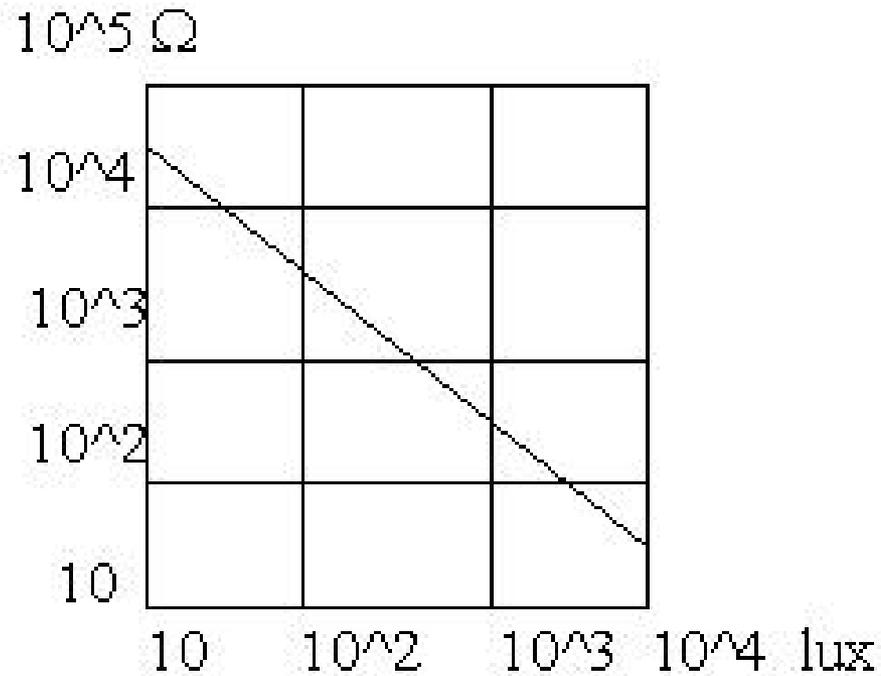
- GND - Ground
- DQ - Data In/Out
- V<sub>DD</sub> - Power Supply Voltage
- NC - No Connect

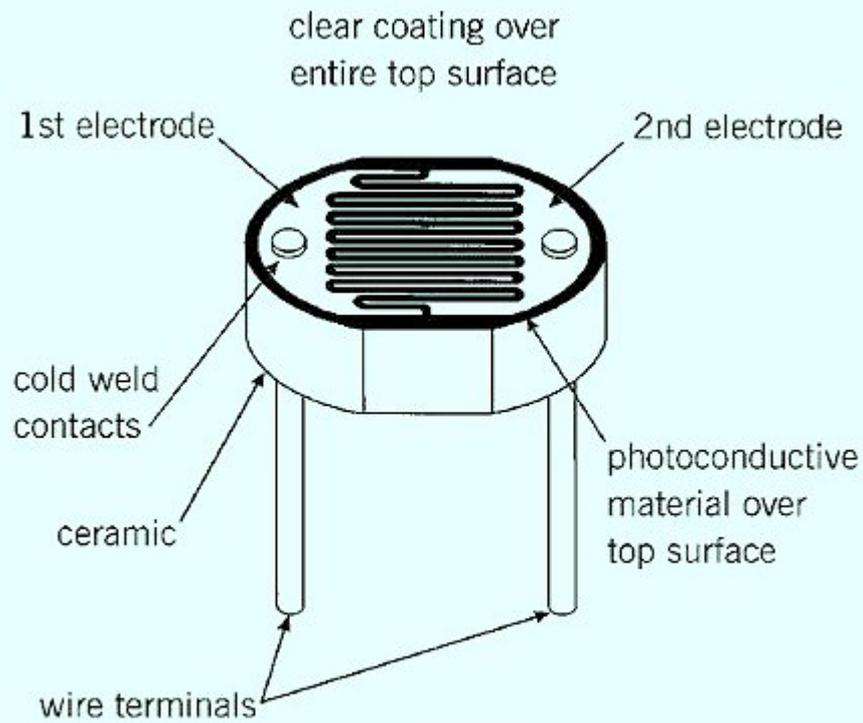
In zona asciutta

# Fotoresistenze

- Le fotoresistenze sono delle resistenze il cui valore dipende dall'intensità e dal colore della luce che le colpisce; in genere sono dei sottili film di solfato di cadmio su un supporto rigido, chiusi in involucri protettivi trasparenti. Data la struttura fisica, si comprende come questi non siano quasi mai elementi di potenze elevate; valori caratteristici della massima potenza dissipabile sono sui 50mW per le più piccole, circa 1 W per le più grosse. Le **fotoresistenze** sono caratterizzate dalla curva di sensibilità, cioè dal colore al quale sono maggiormente sensibili e dai valori della resistenza al buio e alla luce forte, dette valore di buio e valore di luce; si ha indicativamente:
  - valore di buio: qualche M $\Omega$ ;
  - valore di luce: intorno al K $\Omega$ .
- Il campo di variabilità è quindi molto elevato, dell'ordine di 1000. La loro caratteristica di illuminazione è definita dall'equazione
  - **$R = AL^a$**
  - dove:
    - **R** è la resistenza del componente in ohm
    - **A** è la resistenza in condizioni di illuminamento unitario in ohm
    - **L** è l'intensità della radiazione luminosa espressa in lux
    - **a** è una costante che varia tra 0.7 e 0.9.
- Quindi, date la resistenza di buio e di luce, si può tracciare una caratteristica rettilinea (in scala logaritmica) che approssima abbastanza bene quella reale (vedi grafico). Bisogna però tener presente che questi elementi sono "lenti" (variazione di circa 200 K $\Omega$ /s) cioè se la luce varia rapidamente non è detto che il valore della resistenza la segua con la stessa legge.

# Caratteristica (L, R)





**Figure 3**  
**Typical Construction of a Plastic Coated Photocell**



Caratteristiche	Valori
Resistenza con luce di 10 lux (a 25 ° C)	8-20K $\Omega$
Resistenza con buio a 0 lux	1 M $\Omega$ · (min)
Valore di gamma a 100-10 lux	0.7
Dissipazione di potenza (a 25 °C)	100mW
Max tensione (a 25 °C)	150V
Risposta spettrale di picco (a 25°C)	540 nm
Campo di temperatura ambiente	-30 °C +70 °C

# Schema circuitale

