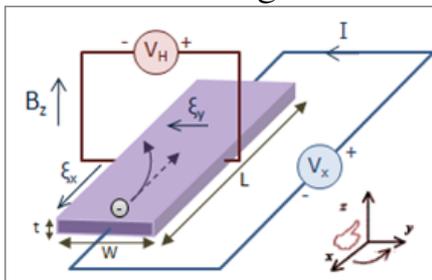


# Sensori Hall

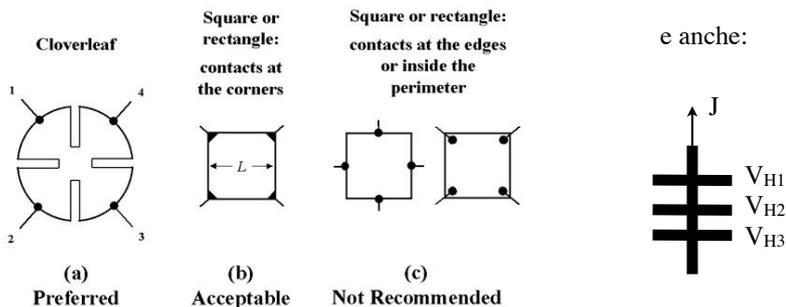
## Sensori Hall - generalità



- costruiti a partire da film metallici o di semiconduttori drogati
- attraverso la detezione di campi magnetici, possono essere usati per numerose altre grandezze (velocità, pressione, posizione, corrente, temperatura,...)
- possono operare dalla DC fino ad alta frequenza (100 kHz)
- relativamente poco sensibili alla temperatura (-40÷100°C)
- letture ripetibili.
- sensibilità (senza amplificazione) 100-1000 mV/T, (con amplificazione) ~ 100 mV/mT ok per misurazioni del campo terrestre)

## Sensori Hall - geometria

Criticità: la geometria!



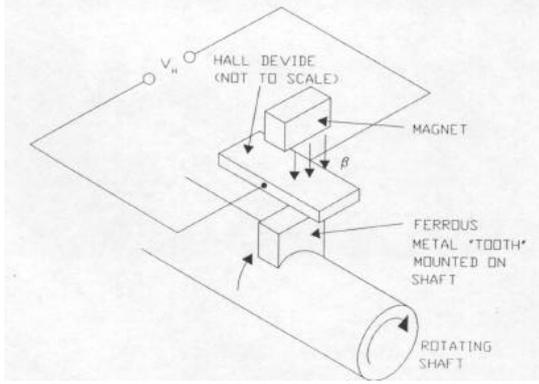
disallineamenti critici, introducono un contributo di  $Q_{xx}$   
(e  $Q_{xx} \gg Q_{yx}$ )





## Sensori Hall - sensori on-off (contatori)

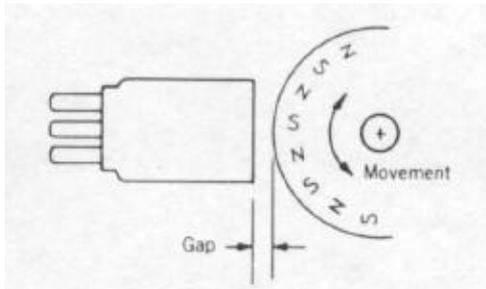
Tachimetro:



Un "dente" di materiale ferroso (o magnetico) vincolato (ad es.) all'albero produce una serie di impulsi elettrici nel sensore → conteggio  
Accuratezza:  $\frac{1}{2}$  rivoluzione.

## Sensori Hall - sensori on-off (contatori)

Velocità angolare:



Alternanza di poli magnetici in una struttura rotante produce una serie di impulsi elettrici nel sensore → conteggio  
Accuratezza: dipende da quante alternanze N-S riescono a essere risolte dal sensore.

## Alcuni sensori di temperatura

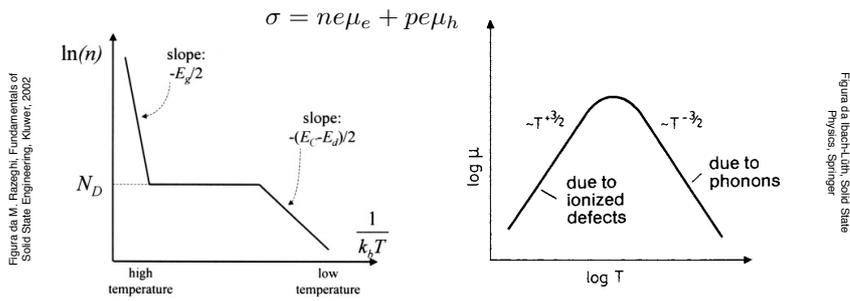


## Thermistors (termistori)

Sensori basati su semiconduttori:

- cristallini (Si)
- ossidi metallici.

Si sfrutta la forte dipendenza dalla temperatura della conducibilità:

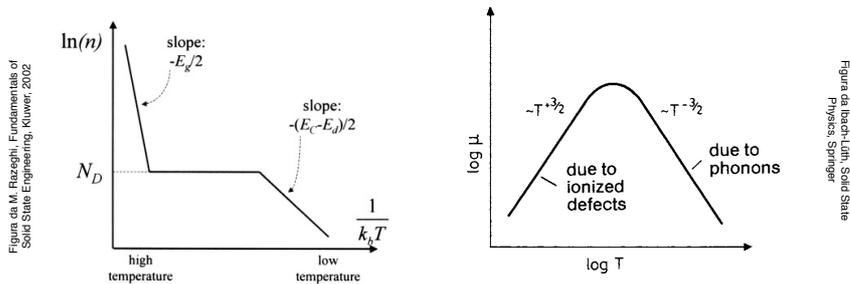


## Thermistors (termistori)

$$\sigma = ne\mu_e + pe\mu_h$$

$n$ : dipendenza da  $T$  esponenziale (non nella regione di saturazione)

$\mu$ : debole dipendenza da  $T$

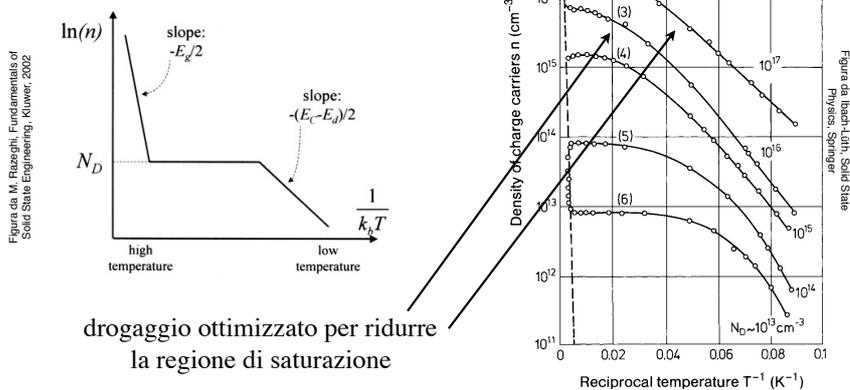


⇒ drogaggio ottimizzato per ridurre la regione di saturazione (al contrario dei dispositivi)  
 ⇒ la dipendenza di  $\mu$  diventa trascurabile

## Thermistors (termistori)

$$\sigma = ne\mu_e + pe\mu_h$$

$n$ : dipendenza da  $T$  esponenziale (non nella regione di saturazione)



## Thermistors (termistori)

⇒ Termistori al Si o Ge:  $N_D \sim 10^{16-17} \text{ cm}^{-3}$ .

$$\sigma(T) \sim n(T)$$

$$\Rightarrow R \sim e^{E_A/k_B T}$$

Range di temperatura di utilizzo: dipende dalla energia caratteristica del materiale (più grande è  $E_A$  maggiore è  $R$  a fissata  $T$ ; la temperatura massima di utilizzo aumenta con  $E_A$ ).

Fortemente nonlineari con  $T$ .

Ge: piccola  $E_A \rightarrow$  criogenia (1- 100 K);

Si:  $E_A$  maggiore  $\rightarrow$  fino a 250 °C.

Ossidi metallici: fino a 500°C.

Ossidi metallici: tipicamente in forma di film (sottile o spesso) depositato su un substrato.

Alcuni materiali:  $\text{Mn}_2\text{O}$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{Co}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$ .

## Thermistors (termistori)

⇒ Termistori al Si o Ge:  $N_D \sim 10^{16-17} \text{ cm}^{-3}$ .

$$\sigma(T) \sim n(T)$$

$$\Rightarrow R \sim e^{E_A/k_B T}$$

$$\Rightarrow R(T) = R(T_0)e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}$$

Calibrazione:

– una misura a una temperatura di riferimento  $T_0$

– determinazione della costante  $B$ .

Valori tipici:  $B = 2000-5000 \text{ K}$

La legge è **approssimata**. I produttori forniscono (spesso) tabelle di calibrazione.

## Thermistors (termistori)

$$R(T) = R(T_0)e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}$$

La legge è **approssimata**. I produttori forniscono (spesso) tabelle di calibrazione.

Legge empirica di Steinhart-Hart:

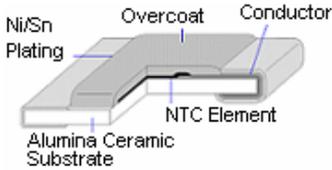
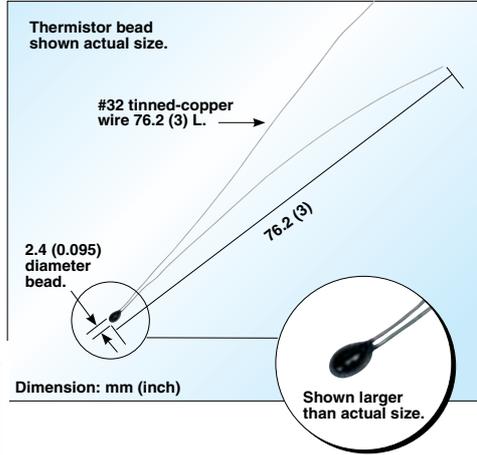
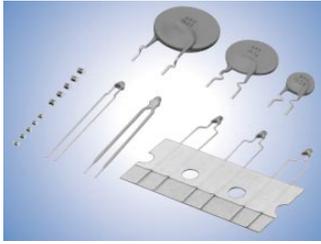
$$\frac{1}{T} = a + b \ln R + c(\ln R)^3$$

$T$  in kelvin

$R$  in ohm

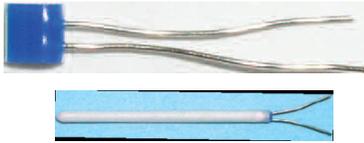


## Thermistors (termistori)



## Resistenze metalliche

RTD, Resistance Temperature Devices



- Accurate e stabili
- Intervallo di temperatura ampio
- Piuttosto costose (platino)
- Coefficiente di temperatura positivo
- Richiede una sorgente di corrente
- Self-heating
- Resistenza dei collegamenti rilevante: richiede misura a quattro contatti

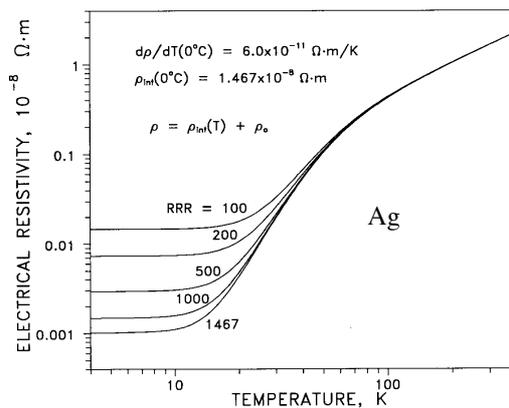
## Resistenze metalliche

• lineari in  $T$  fino a  $\sim 100$  K (dipende dal metallo):  $R(T) \simeq R_0(1 + \alpha T)$

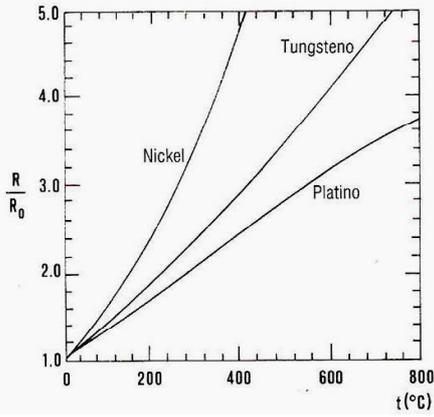
• usi criogenici:  $\rho(T) = \rho(0) + A \left( \frac{T}{\Theta_R} \right)^n \int_0^{\frac{\Theta_R}{T}} \frac{x^n}{(e^x - 1)(1 - e^{-x})} dx$

– Maggior complessità della caratteristica.

– elevata purezza del metallo (competizione con lo scattering da difetti) → costo elevato



## Resistenze metalliche



~ lineari (Pt) fino ad alte  $T$ .

uso:

Pt: 50-900 K

$T$  molto alte (> 600°C): W

$$R(T) \simeq R_0(1 + \alpha T)$$

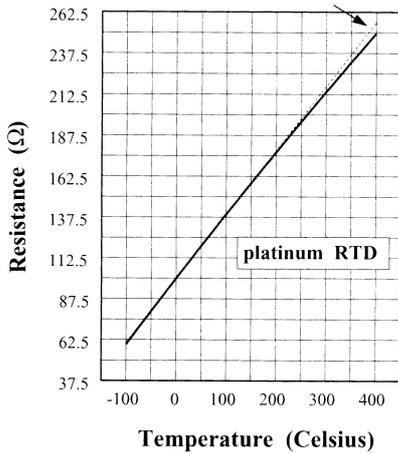
Pt-100: filo di Pt con  $R_0 = 100 \Omega$

dall'azoto liquido (77.35 K) fino ad alte  $T$ :  
equazione empirica di Callender-Van Dusen ( $T$  è in °C)

$$R(T) \simeq R_0(1 + \alpha T + BT^2 + C(T - 100)T^3)$$

## Resistenze metalliche

$$R_0(1 + \alpha T)$$



~ lineari (Pt) fino ad alte  $T$ .

uso:

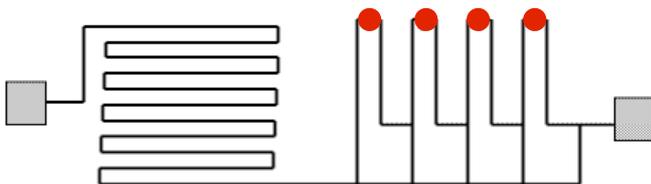
Pt: 50-900 K

$$R(T) \simeq R_0(1 + \alpha T)$$

Pt-100: filo di Pt con  $R_0 = 100 \Omega$

## Resistenze metalliche

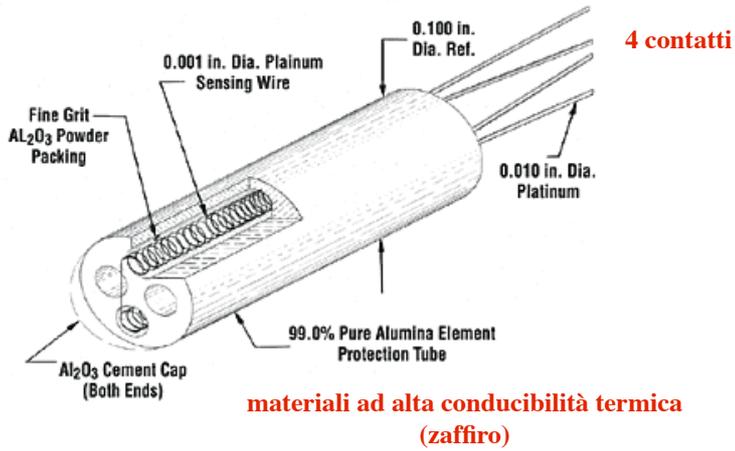
Anche a film metallico  
(migliora la riproducibilità)



I punti rossi indicano possibili punti di interruzione (mediante laser)  
con cui si regola la resistenza complessiva del film

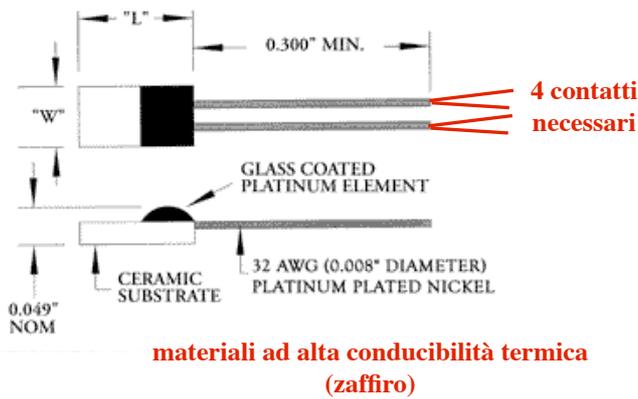
## Resistenze metalliche

a filo

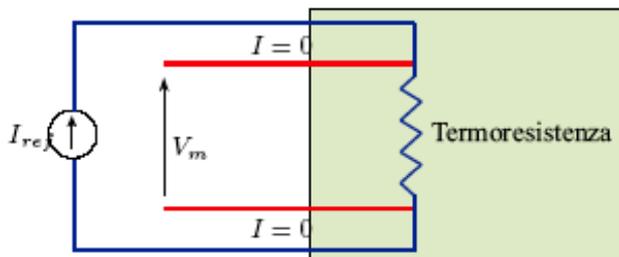


## Resistenze metalliche

a film



## Resistenze metalliche



**4 contatti necessari**

Attenzione: self-heating,  $P=RI^2$

