

I Resistori

Sommario argomenti trattati

I Resistori	1
Richiami di elettrotecnica e fisica	2
RESISTENZA	2
LEGGE DI OHM	2
RESISTIVITA'	2
LEGGE DI JOULE	2
RICHIAMI SUL CALORE	3
RESISTORE	3
Parametri caratteristici dei resistori (fissi)	3
Valore nominale	3
Tolleranza	3
Potenza nominale P_d	3
Coefficiente di Temperatura	4
Tensione massima nominale	5
Tensione di rumore	5
Stabilità	5
Temperatura massima	5
L'effetto pelle	5
Serie commerciali	6
Codice dei colori	7
Tecnologie costruttive	8
Tipologie costruttive	8
Elementi costitutivi	8
Supporti dell'elemento resistivo	9
Rivestimenti protettivi	9
Elementi resistivi	9
Resistori a Impasto	9
Resistori a strato o a film	10
Resistori a filo (wire wound resistor)	11
Resistori a filo smaltati	12
Resistori a filo cementati	12
Resistori a filo blindati	12
Resistori di precisione	13
Complementi sulla Resistenza termica	14
Esempio di utilizzo di un resistore	14
ESERCIZI	14
Tabella resistività e coefficienti di temperatura di alcuni materiali	17
Mappa concettuale	18
Resistori variabili	19
Parametri caratteristici	20
Valore nominale	20
Legge di variazione della resistenza	20
Bibliografia	21

Rif. Libro di testo: Vol 1 pag. 202

Richiami di elettrotecnica e fisica

Vengono di seguito richiamati i principali concetti teorici.

RESISTENZA

La **resistenza elettrica** è una **grandezza fisica** che misura la tendenza di un materiale ad opporsi al passaggio di una corrente elettrica quando è sottoposto ad una tensione.

L'unità di misura della resistenza è l'ohm (Ω).

LEGGE DI OHM

Nella sua formulazione originaria proposta da George Simon Ohm nel 1821, questa legge afferma che in un materiale conduttore il rapporto tra tensione e corrente è una costante chiamata resistenza, ossia in formule:

$$R = \frac{V}{I}$$

In elettrotecnica ed in ambito tecnico è più nota nella formulazione:

$$V = R \cdot I$$

RESISTIVITA'

Caratteristica di comportamento al passaggio della corrente di un qualunque materiale conduttore (valore microscopico).

La resistività si indica con la lettera greca ρ (ro) e ha come unità di misura [$\Omega \text{ m}$].

In ambito elettrotecnico veniva molto usata [$\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$], ma il suo uso è ora vietato dalle norme tecniche, per ogni evenienza si informa che per passare dagli [$\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$] agli [$\Omega \text{ m}$] è sufficiente moltiplicare per 10^{-6} , in altre parole:

$$1 \Omega \text{ mm}^2/\text{m} = 1 \mu \Omega \text{ m.}$$

Per un filo conduttore di lunghezza l , sezione costante S , la resistenza si può scrivere come:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

L'inverso della resistività è chiamata conducibilità ed indicata con la lettera greca σ (sigma)

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad [\Omega \text{ m}]^{-1}$$

LEGGE DI JOULE

La corrente che attraversa un conduttore produce calore. La quantità di calore Q prodotta è data da:

$$Q = R I^2 t \text{ [J]}$$

Se R è espresso in Ω , I in ampere e t in secondi, la potenza in watt dissipata nel resistore è data da:

$$P = R I^2 \text{ [W]}$$

La legge si può pure esprimere in termini di tensione:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

RICHIAMI SUL CALORE

Il **calore** è una forma di energia, chiamata più correttamente **energia termica**, legata al regime vibrazionale delle molecole del corpo.

Il calore si può trasferire da un corpo ad un altro se esiste una differenza di temperatura, il trasferimento può avvenire secondo tre modalità:

- **conduzione**, in cui i due corpi vengono a contatto;
- **convezione**, in cui il trasferimento avviene per mezzo di un fluido (gas o liquido);
- **irraggiamento**, in cui il trasferimento avviene mediante onde elettromagnetiche (raggi infrarossi).

In ambito tecnico il trasferimento di calore fra due corpi A e B si può esprimere molto semplicemente con quella che si chiama legge di Ohm termica:

$$\Delta T = R_{th} \cdot P \quad \text{con:}$$

- ΔT differenza di temperatura in gradi kelvin (analogo della differenza di potenziale)
- P potenza termica trasferita in watt (analogo della corrente)
- R_{th} resistenza termica in K/W (analogo alla resistenza elettrica) che mi esprime l'ostacolo offerto al trasferimento del calore dal corpo A al corpo B

RESISTORE

Si chiama **resistore** il componente reale che sintetizza il parametro elettrico resistenza.

Parametri caratteristici dei resistori (fissi)

Valore nominale

Si intende il valore della resistenza del resistore alla temperatura standard di 25°C.

Tolleranza

Si intende la massima differenza fra il valore reale ed il valore nominale del resistore espresso in percentuale.

I valori di tolleranza normalmente usati sono:

- **Altissima precisione** per tolleranze inferiori del 0,25% e 0,1%.
- **Alta precisione** per tolleranze del 0,5%, 1% e 2%.
- **Media precisione** per tolleranze del 5% e 10%.
- **Bassa precisione** per tolleranze del 20%.

Potenza nominale P_d

Rappresenta la massima potenza in watt che il resistore può dissipare in un ambiente con temperatura inferiore a 70 °C, senza alterazioni permanenti.

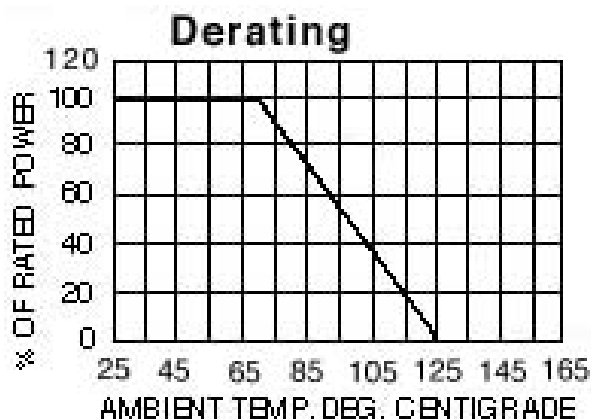


Fig. 1 Curva di derating della potenza di un resistore

Al di sopra di tale temperatura si applica un fattore di derating, cioè di riduzione della potenza dissipabile con legge lineare in funzione dell'aumento di temperatura. Tale parametro viene normalmente fornito dal costruttore. La massima potenza dissipabile dipende dal materiale di supporto del resistore e dalle dimensioni fisiche del medesimo. Di seguito viene riportata una tabella di esempio dalla quale si può orientativamente estrapolare la potenza dissipabile da un resistore in base alle dimensioni fisiche.

Potenza in W	Diametro in mm	Lunghezza mm
1/8	1,6	4,1
1/4	2,5	6,7
1/3	2,5	7,5
1/2	3,7	10
1	5,2	8

La tabella e' puramente indicativa, ma comunque abbastanza valida.

E' importante conoscere la massima potenza dissipabile in condizioni di derating per poter calcolare la corrente da impostare.

Esempio: nel diagramma della curva di derating di un resistore a film di carbone da 1 kΩ, 1/4 W, leggo che tale resistore alla temperatura di 120 °C è in grado di dissipare solo il 40% della sua potenza nominale. Qual è la massima corrente che può circolare nel resistore in tali condizioni?

Soluzione

$$P_{dd} = 40\% P_d = 40/100 \cdot 0,25 = 0,1 \text{ W}$$

$$P_{dd} = R I_{MAX}^2 \Rightarrow I_{MAX} = \sqrt{P_{dd}/R} = \sqrt{0,1/1000} = 10 \text{ mA}$$

Coefficiente di Temperatura

Definisce la variazione del valore resistivo in funzione della temperatura e viene espressa in parti per milione per grado centigrado ppm/°C. In ambito elettronico è indicato con la sigla TCR (temperature coefficient of resistance).

Tale variazione dipende dalla qualità del materiale impiegato.

In elettrotecnica il coefficiente di temperatura si indica solitamente con la lettera greca α (alfa), per cui la resistenza ad una temperatura T, nota la resistenza R₀ alla temperatura di riferimento T₀, si può calcolare con la seguente relazione:

$$R = R_0 (1 + \alpha(T - T_0))$$

In alcuni resistori tale coefficiente di temperatura viene indicato usando una banda di colore aggiuntiva, distanziata dalle bande di colore usate per indicare il valore di resistenza.

I resistori più comuni a strato di carbone presentano dei coefficienti di temperatura intorno ai 500-1500 ppm, con resistori di ottima qualità a strato metallico si arriva fino a 10 ppm. Normalmente il coefficiente di temperatura è positivo (la resistenza aumenta all'aumentare della temperatura), ma può risultare negativo (la resistenza cala all'aumentare della temperatura) per i resistori a strato o impasto di carbone.

Tensione massima nominale

È quella tensione applicata al resistore che fa dissipare in esso la potenza nominale

In formule $V_{MAX} = \sqrt{R \cdot P_d}$

Normalmente è tra i 100V e i 750V.

Dipende sia dalla potenza nominale del resistore che dalla natura del materiale utilizzato per l'isolamento elettrico delle varie parti.

Tensione di rumore

È il valore efficace della tensione che si presenta ai capi del resistore in assenza di alimentazione.

Normalmente è dell'ordine dei μV .

Questa tensione che varia con legge casuale e che ha valor medio zero, è originata dal movimento caotico degli elettroni causato dall'agitazione termica.

Questa tensione viene chiamata **rumore bianco** o rumore Johnson (dal nome del suo scopritore) o rumore termico (perché dovuto alla temperatura) dipende da:

- Temperatura
- Valore resistivo
- Intervallo di frequenze considerato.

È opportuno rifarsi alle indicazioni del costruttore.

Stabilità

È la variazione nel tempo del valore di resistenza dovuto all'invecchiamento (nel gergo elettronico è detta "deriva"), misurata ad esempio dopo 1000 ore di lavoro a piena potenza alla temperatura di 70 °C e con una umidità relativa del 93%.

Anche la stabilità si esprime in percentuale.

Temperatura massima

È la massima temperatura che può raggiungere il corpo del resistore senza subire danneggiamenti (di solito 155 °C).

I costruttori precisano anche la temperatura minima (di solito -55°C).

L'effetto pelle

È opportuno che lo studente ricordi che all'aumentare della frequenza la resistenza di un conduttore aumenta per effetto del fenomeno fisico chiamato effetto pelle.

In sostanza più la frequenza è elevata e più la corrente tende ad addensarsi sulla superficie esterna del conduttore, diminuisce così la sezione effettivamente interessata dalla corrente con un conseguente aumento della resistenza.

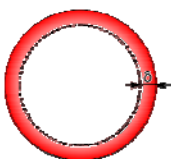


Fig. 2 Effetto pelle in una sezione di conduttore

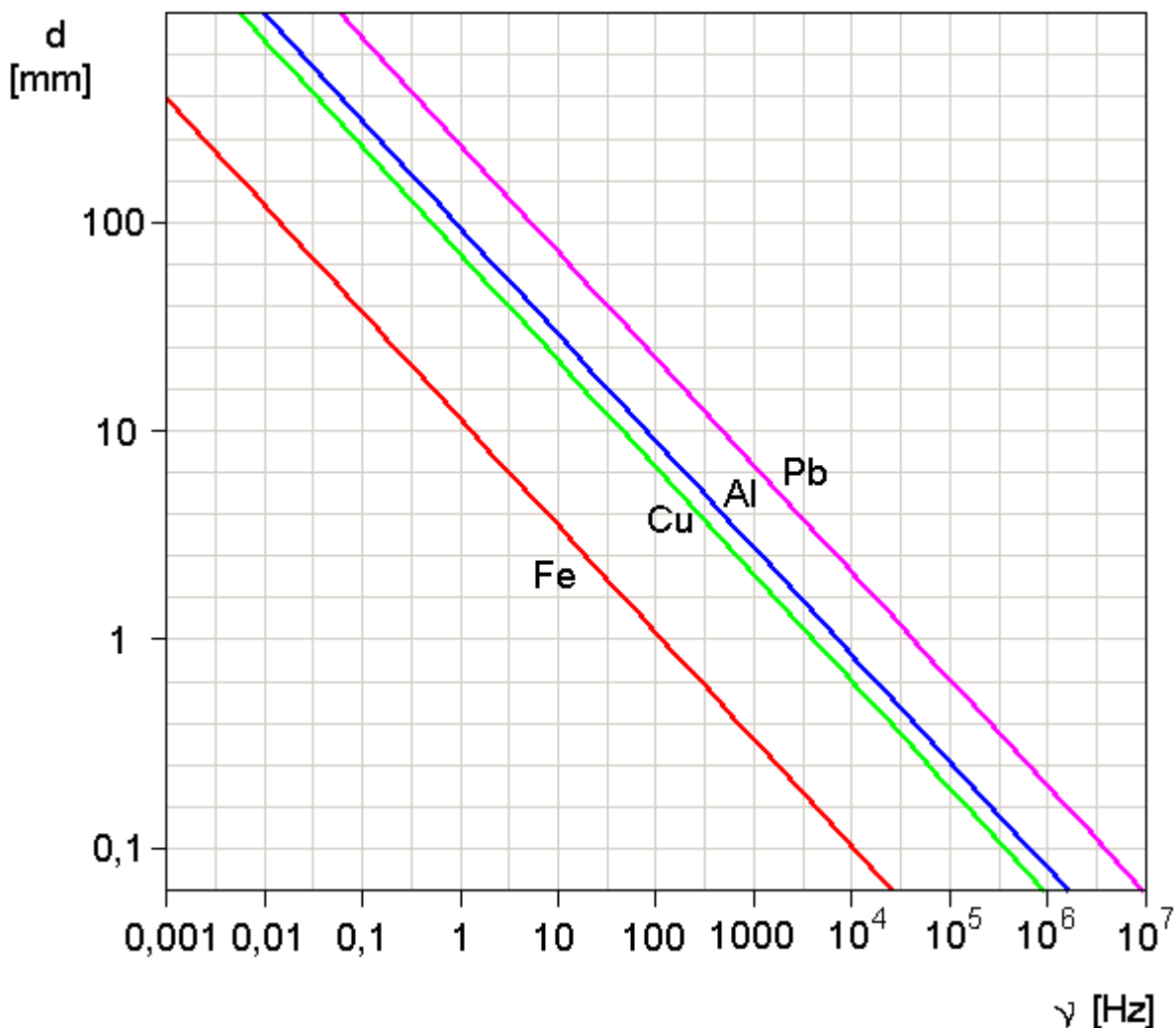


Fig. 3 Spessore (misurato dalla superficie esterna) del conduttore effettivamente attraversato da corrente per effetto pelle

Questo effetto è particolarmente importante alle frequenze delle trasmissioni radio, televisive e dei cellulari.

Per porre rimedio a questo problema a volte si ricorre a fili argentati, ossia che hanno la superficie esterna rivestita d'argento, miglior conduttore di corrente elettrica.

Altre volte si fa uso di conduttori cavi (si risparmia così sul rame e si riduce contemporaneamente il peso).

Serie commerciali

I valori commerciali della resistenza di un resistore sono raggruppati per densità di valori formando le cosiddette "serie".

Ogni serie prende il nome dal numero di valori esistenti entro una decade.

Con il termine decade si intende un intervallo di valori dove l'estremo superiore è 110 volte quello inferiore (esempio è una decade l'intervallo di valori fra 25 e 250, fra 100 e 1000, etc..).

Le serie commerciali sono codificate dalla norma IEC 60063 equivalente alla norma tedesca DIN 41429.

Le serie commerciali sono **E6, E12, E24, E48, E96, E192**

Ogni serie è caratterizzata da una sua tipica tolleranza come indicato nella tabella seguente.

Serie	Tolleranza
E6	20%
E12	10%
E24	5%
E48	2%
E96	1%
E192	0,5%

Codice dei colori

Per identificare il valore nominale, la tolleranza e il coefficiente di temperatura sono stati sviluppati vari sistemi, tra questi uno molto utilizzato è quello che si basa su bande colorate riportate sul corpo del resistore stesso.

Questa codifica è stata regolata da una precisa norma tecnica americana la EIA-RS-279.

In relazione alla tolleranza si utilizzano codici a 4, 5 o 6 bande

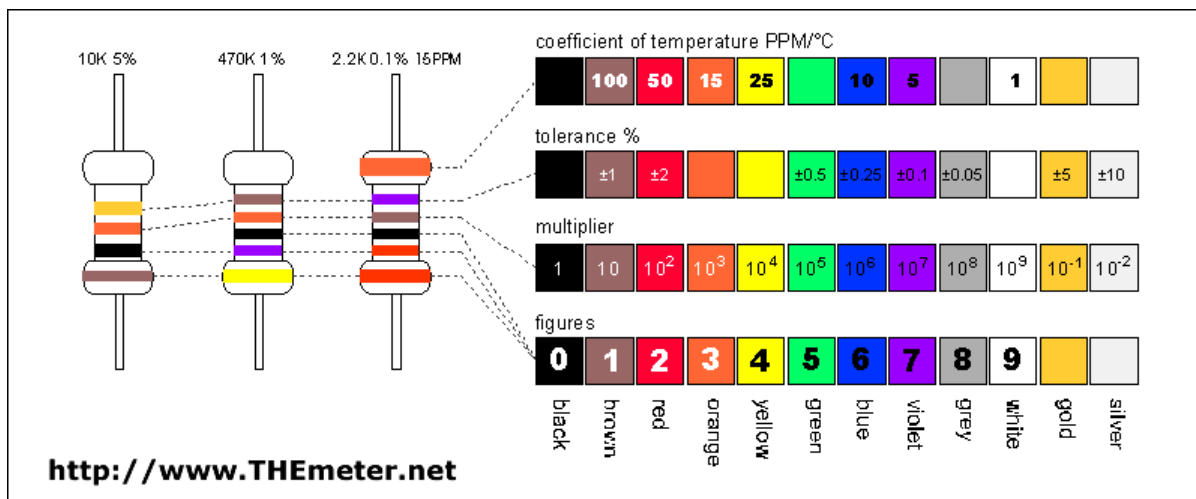


Fig. 4 Codice colori dei resistori a 4, 5 e 6 bande

Tecnologie costruttive

Allo stato attuale della tecnologia dei componenti elettronici si possono individuare due tecnologie per la loro realizzazione:

- **La tecnologia THT** – dall'inglese *Through-hole technology*, riferita a componenti elettronici **dotati di reofori** e che quindi per essere montati sul circuito stampato **richiedono uno o più fori (hole)**.
- **La tecnologia SMT** detta *Surface mount technology* (SMT), riferita a componenti elettronici **privi di reofori**, che possono essere montati direttamente sul circuito stampato **senza richiedere fori**.

I dispositivi elettronici che adottano la tecnologia SMT si chiamano *Surface mounting device* (SMD) cioè dispositivi a montaggio superficiale.

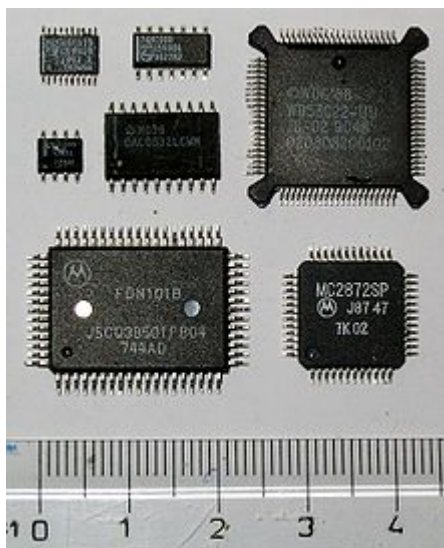


Fig. 5 Alcuni integrati SMD



Fig. 6 Condensatori SMD e THT a confronto

Attualmente si sta affermando sempre di più la tecnologia SMT, per gli evidenti vantaggi di riduzione degli ingombri e dei pesi delle apparecchiature.

Tipologie costruttive

I resistori sono costruiti in 3 principali modi differenti per differenziare la gamma dei prodotti fra resistori più o meno precisi e resistori di potenza, cioè che possono essere attraversati da una corrente molto grande prima di rompersi raggiungendo la *potenza nominale* del dispositivo.

Elementi costitutivi

In un resistore si possono distinguere i seguenti elementi costitutivi:

- IL SUPPORTO DELL'ELEMENTO RESISTIVO
- L'ELEMENTO RESISTIVO
- RIVESTIMENTO PROTETTIVO
- I TERMINALI

Supporti dell'elemento resistivo

Sono costituiti prevalentemente da **ceramiche, vetro e materie plastiche**

Rivestimenti protettivi

I rivestimenti di protezione utilizzati sono costituiti da:

- Tubi di ceramica che racchiudono l'elemento resistivo;
- Smalti vetrosi fusi intorno all'elemento resistivo;
- Resine sintetiche fuse intorno all'elemento resistivo,
- Vernici isolanti depositate sull'elemento resistivo.

Elementi resistivi

L'elemento resistivo costituisce la parte fondamentale del resistore e dà luogo alla resistenza elettrica. In base all'elemento resistivo utilizzato si individuano le seguenti tipologie di resistori:

- Resistori ad impasto
- Resistori a strato
- Resistori a filo

Resistori a Impasto

Il resistore è composto da un piccolo tubo di materiale isolante, di solito ceramica o bachelite, che viene riempito da un **impasto formato da materiale conduttore** (polvere di carbone o grafite) **ed inerti** (talco per esempio), naturalmente il dosaggio di questi materiali porterà alla differenziazione dei vari livelli di resistenza del dispositivo.

Resistore ad impasto

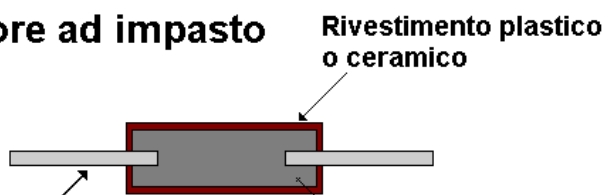


Fig. 7 Struttura resistore a impasto



Fig. 8 Esempio di resistore a impasto

I terminali metallici (reofori) sono affogati nella massa compressa, si bloccano gli estremi con un cemento isolante e si protegge la custodia isolante con verniciatura a lacca isolante.

Caratteristiche generali sono:

- **sono i più vecchi e meno costosi**, oramai caduti **in disuso**
- hanno una **bassa precisione**
- sono **più robusti**,
- **meno ingombranti** a parità di potenza,
- **a bassa induttanza.**

Resistori a strato o a film

I resistori a strato sono costituiti da una **sottile pellicola** di materiale resistivo (qualche μm) depositata su un supporto cilindrico isolante: sulla pellicola viene praticato un solco che attraversa a spirale tutto il cilindro (**spiralizzazione**), variando il passo dell'elica si può definire il valore resistivo (si varia la lunghezza dell'elemento resistivo e quindi la resistenza); i terminali vengono generalmente fissati a pressione (aggraffatura) agli estremi del cilindro che viene rivestito da un involucro isolante.

Questi resistori si dividono in

- **Film spesso:** se lo spessore del film è $> 5\mu\text{m}$ (mediamente $500\mu\text{m}$)
- **Film sottile:** se lo spessore del film è $< 5\mu\text{m}$

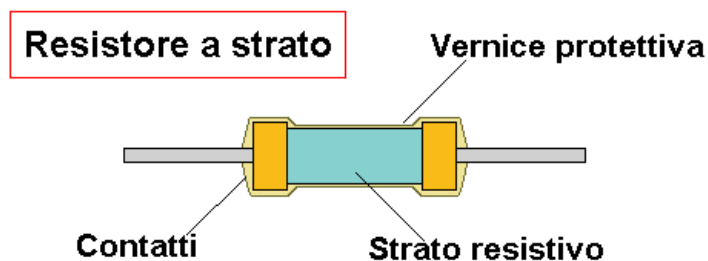


Fig. 9 Struttura resistore a strato



Fig. 10 Esempio di resistore a strato

I resistori a strato hanno:

- precisione e stabilità elevate,
- rumore contenuto
- buon comportamento alle alte frequenze.

I tipi di materiale che costituiscono lo strato sono:

→ **il carbone:**

- sono i più comuni,
- abbastanza resistenti al sovraccarico,
- media precisione (fino all'1%);
- temperatura massima di funzionamento limitata (rispetto agli altri);

→ **i metalli:**

- si usa generalmente il nichel-cromo
- ottima stabilità
- basso rumore
- ottima precisione (0,1%)
- meno resistenti ai sovraccarichi

→ **l'ossido di metallo:**

- sostanzialmente simili a quelli a strato metallico ma possono operare a temperature più elevate.

Per il **film spesso**, si hanno generalmente:

- ➔ migliore risposta in frequenza.
- ➔ un buon smaltimento del calore.
- ➔ minore stabilità.

Si usano oltre al carbone i seguenti materiali:

➔ **metal glaze:**

- si usa polvere di vetro miscelata a metalli (argento, palladio, titanio, etc.)
- eccellente risposta in frequenza
- ideali per applicazioni dove bisogna smaltire molto calore
- stabilità inferiore a quelli a strato

➔ **cermet:**

- è un elemento resistivo composto da metalli nobili, ossidi di metalli, leganti ceramici e vetrosi, dispersi in resine sintetiche.
- Possono operare a basse e alte temperature;
- Ottima risposta in frequenza;
- Esteso campo di valori disponibili (10Ω - $10 \text{ G}\Omega$)

Resistori a filo (wire wound resistor)

Sono realizzati con questa tecnica i resistori di media ed alta potenza.

Su un supporto isolante cilindrico o piatto è avvolto un filo metallico realizzato con materiale ad elevata resistività, in modo da mantenerne la lunghezza entro limiti ragionevoli anche per valore di resistenza mediamente elevati.

Come elementi resistivi si usano:

- **nichel-cromo**
 - per resistori ad elevata potenza;
- **nichel-rame (manganina e costantana)**
 - per resistori di grande precisione e stabilità
- **nichel-cromo-alluminio**
 - per valori elevati di resistenza
- **nichel-ferro**
 - resistori più economici.

Resistore a filo

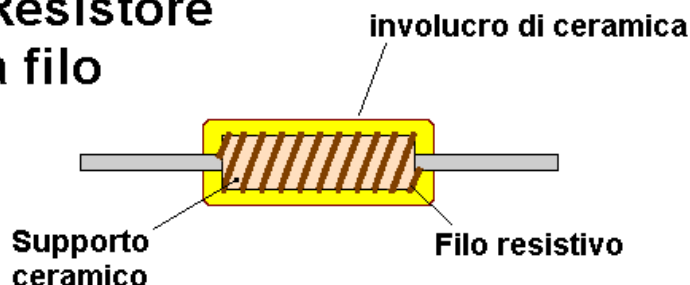


Fig. 11 Struttura generale di un resistore a filo

Anche in questo caso nasce **però un problema di induttanza**, infatti gli avvolgimenti fanno diventare questi dispositivi non solo delle resistenze ma anche delle piccole induttanze.

Per ridurre questi effetti reattivi si realizzano gli avvolgimenti (bifilari) in modo da creare due flussi magnetici che si compensano a vicenda (avvolgimento **Ayrton-Perry**).

Resistori a filo smaltati

L'elemento resistivo avvolto sul supporto isolante è protetto:

- o mediante laccatura resistente a temperature massime di lavoro intorno ai 150 °C,
- o mediante vetrificazione di uno smalto resistente a temperature fino a 400 °C;

i due estremi del filo sono generalmente fissati con fascette metalliche che fanno anche da terminali.



Fig. 12 Resistori a filo smaltati

Caratteristiche generali:

- **potenze medie ed elevate** (10 W a 100 W).
- **raggiungono temperature elevate** (tenerli sollevati dal circuito stampato);

Resistori a filo cementati

L'elemento resistivo avvolto sul supporto isolante è protetto con una **pasta di cemento** resistente ad alte temperature.

I due estremi del filo sono generalmente fissati con fascette metalliche che fanno anche da terminali.



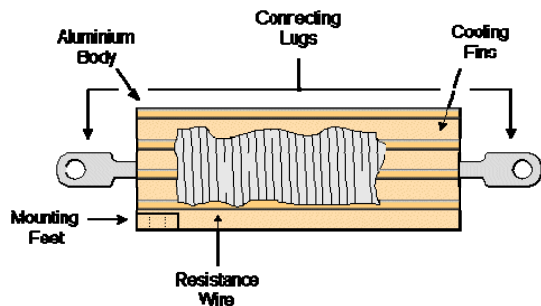
Fig. 13 Resistori a filo cementati

Caratteristiche generali:

- **potenze medie** (2 W a 20 W).
- **raggiungono temperature elevate** (tenerli sollevati dal circuito stampato);
- **buona resistenza meccanica**

Resistori a filo blindati

La struttura è simile ai resistori a filo cementati con la differenza che l'involucro esterno è costituito da una struttura di alluminio alettata così da consentire al dissipazione di elevate potenze



Caratteristiche generali:

- **potenze elevate** (5 W a 500 W).
- **raggiungono temperature elevate;**
- **vanno fissati su piastre metalliche** o apposite alette per consentirgli di smaltire il calore prodotto, **in caso contrario la potenza massima si riduce di circa 4 volte** (un resistore dichiarato da 25 W diventa da 6 W).

Fig. 14 Struttura di un resistore a filo blindato



Fig. 15 Esempi di resistori a filo blindati o corazzati

Resistori di precisione

La struttura è simile a quella già vista, la differenza principale è nell'elemento resistivo che viene scelto con particolare cura in modo da garantire:

- **elevata precisione**
- **elevata stabilità nel tempo**
- **elevata stabilità con la temperatura**

Sono utilizzati prevalentemente in strumenti o apparecchiature dove la precisione e stabilità sono fondamentali.

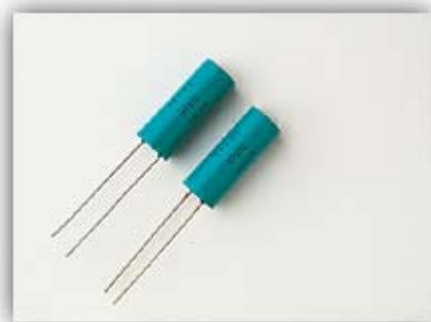


Fig. 16 Resistori a filo di precisione di produzione Eurohm

Complementi sulla Resistenza termica

La temperatura del resistore T_r e la temperatura ambiente T_a sono legate alla potenza dissipabile P_d attraverso la *resistenza termica* $R_{th,ra}$ [$^{\circ}C/W$] tra il resistore (r) e l'ambiente (a) secondo la relazione

$$P_d = (T_r - T_a) / R_{th,ra}$$

Si vede che all'aumentare della potenza dissipabile deve diminuire la resistenza termica di contatto, cioè devono aumentare le dimensioni del resistore affinché esso abbia una maggiore superficie d'esposizione all'aria.

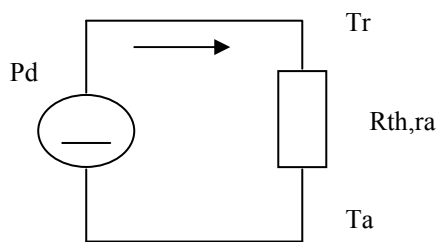
Esempio

Un resistore da $10\text{ k}\Omega$ è attraversato da una corrente di 4 mA . Si sa che la sua $R_{th,ra} = 500\text{ }^{\circ}C/W$, per una $T_a = 50\text{ }^{\circ}C$. Quale temperatura massima può raggiungere?

Soluzione

$$T_r = P_d R_{th,ra} + T_a = (RI^2) R_{th,ra} + T_a = 10 \cdot 10^3 (4 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 500 + 50 = 130\text{ }^{\circ}C$$

Dal punto di vista termico, il circuito equivalente è



dove $P_d (\equiv I)$ [W] è la potenza dissipata dal resistore

T_r [$^{\circ}C$] è la temperatura raggiunta dal resistore

T_a [$^{\circ}C$] è la temperatura ambiente

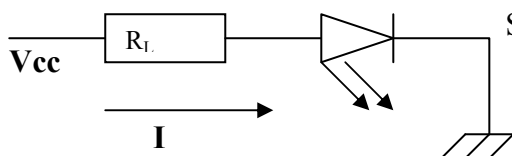
$\Delta T = T_r - T_a (\equiv \Delta V)$ è il salto termico resistore-aria

$R_{th,ra}$ è la resistenza termica di contatto del resistore con l'aria

Legge di Ohm: $V = R I$

Legge di Ohm termodinamica: $\Delta T = R_{th,ra} P_d$

Esempio di utilizzo di un resistore



Supponiamo di voler illuminare un diodo LED ($V_{LED} = 1,6\text{ V}$

$I_{LED} = 10\text{ mA}$). Che resistore occorre? Applico Kirchhoff:

$$V_{cc} - R_L I - V_{LED} = 0$$

$$R_L = (V_{cc} - V_{LED}) / I = (12 - 1,6) / 10 \cdot 10^{-3} \approx 1\text{ k}\Omega$$

ESERCIZI

- 1) Ricavare il codice colori dei seguenti resistori:
 - a) $75\text{ k}\Omega \pm 5\%$ = viola verde arancio oro
 - b) $47\text{ }\Omega \pm 10\%$ = giallo viola nero argento
- 2) Ricavare i valori corrispondenti alle seguenti bande colorate:
 - a) verde blu marrone oro = $560\text{ }\Omega \pm 5\%$
 - b) blu rosso verde argento = $62 \cdot 10^5\text{ }\Omega \pm 10\%$
- 3) Scrivere il range dei valori ohmici dei resistori dell'es.1

a) $75 \text{ k}\Omega \pm 5\% = 75000 \pm 3750 = 78750 \div 71250 \Omega$

b) $47 \Omega \pm 10\% = 47 \pm 4,7 = 51,7 \div 42,3 \Omega$

- 4) Si desidera realizzare una resistenza di 1Ω con un fili di costantana ($\rho = 50 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$) di sezione $0,5 \text{ mm}^2$. Determinare la lunghezza del conduttore.

Soluzione: $R = \rho l/S \Rightarrow l = R S / \rho = 1 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6} / 50 \cdot 10^{-8} = 1 \text{ m}$

- 5) Un conduttore di Ni ($\alpha = 6 \cdot 10^{-3} [^\circ\text{C}]^{-1}$) ha resistenza 15Ω a 20°C . A quale temperatura T_1 il valore ohmico sar  $R_1 = 14 \Omega$? A quale temperatura T_2 il valore ohmico sar  $R_2 = 15,5 \Omega$?

Soluzione: il coefficiente di temperatura $\alpha = \Delta R/R_0 \cdot 1/\Delta T = (R - R_0)/R_0 \cdot 1/(T - T_0)$ da cui si ricava $T = (R - R_0)/\alpha R_0 + T_0$

$$T_1 = (R_1 - R_0)/\alpha R_0 + T_0 = (14 - 15)/(6 \cdot 10^{-3}) \cdot 15 + 20 = 8,9^\circ\text{C}$$

$$T_2 = (R_2 - R_0)/\alpha R_0 + T_0 = (15,5 - 15)/(6 \cdot 10^{-3}) \cdot 15 + 20 = 25,5^\circ\text{C}$$

- 6) Determinare la resistivit  di un conduttore di lunghezza $l = 50 \text{ m}$, sezione $S = 0,2 \text{ mm}^2$ percorso da una corrente $I = 330 \text{ mA}$ se alimentato con una tensione $V = 1,5 \text{ V}$.

Soluzione: $R = \rho l/S \Rightarrow \rho = R S / l$

Ma $R = V/I = 1,5/330 \cdot 10^{-3} = 4,5 \Omega$

Quindi $\rho = 4,5 \cdot 0,2/50 = 0,018 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

- 7) Calcolare potenza dissipata e temperatura raggiunta dai seguenti resistori sapendo che la resistenza termica di contatto   pari a:

$R_{th,ra1} = 160^\circ\text{C/W}$

$R_{th,ra2} = 85^\circ\text{C/W}$

$R_{th,ra3} = 40^\circ\text{C/W}$

sapendo che la temperatura ambiente   25°C . Dati: $E = 20 \text{ V}$, $R_1 = 100 \Omega, 1/4 \text{ W}$; $R_2 = 330 \Omega, 1/2 \text{ W}$; $R_3 = 1,5 \text{ k}\Omega, 1 \text{ W}$.

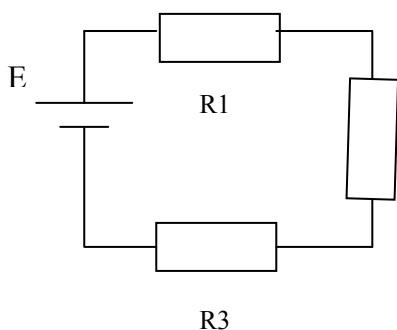
Soluzione: poich  le tre resistenze sono collegate in serie, sono percorse dalla stessa corrente I , pertanto per la legge di Ohm applicata ad una maglia

$$I = E/(R_1 + R_2 + R_3) =$$

$$20/(100 + 330 + 1500) = 10,3 \text{ mA}$$

Come gi  visto, la temperatura raggiunta dal resistore   data da

$$T_r = R_{th,ra} P_d + T_a$$



La potenza dissipata da un resistore si calcola con la formula

$$P_d = R I^2$$

pertanto

$$P_{d1} = R_1 I^2 = 100(10,3 \cdot 10^{-3})^2 = 10,6 \text{ mW}$$

$$\Rightarrow T_{r1} = 160(10,6 \cdot 10^{-3}) + 25 = 26,7^\circ\text{C}$$

$$P_{d2} = R_2 I^2 = 330(10,3 \cdot 10^{-3})^2 = 35 \text{ mW}$$

$$\Rightarrow T_{r2} = 85(10,6 \cdot 10^{-3}) + 25 = 25,9^\circ\text{C}$$

$$P_{d3} = R_3 I^2 = 1,5 \cdot 10^3(10,3 \cdot 10^{-3})^2 = 159 \text{ mW}$$

$$\Rightarrow T_{r3} = 40(10,6 \cdot 10^{-3}) + 25 = 25,4^\circ\text{C}$$

- 8) Considerare lo stesso circuito dell'es.7). Calcolare il valore dei resistori R_2 e R_3 e la tensione V_{R2} ai capi di R_2 , sapendo che $P_{R1} = 337,5 \text{ mW}$, $E = 27 \text{ V}$, $V_{R3} = 2,7 \text{ V}$, $R_1 = 1,5 \text{ k}\Omega$.

Soluzione:

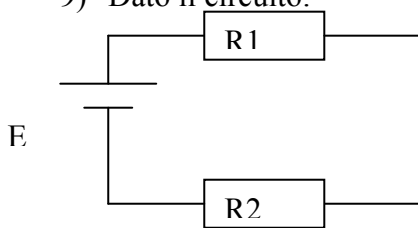
poich  $P_{R1} = R_1 I^2 \Rightarrow I = \sqrt{(P_{R1}/R_1)} = \sqrt{(337,5 \cdot 10^{-3}/1,5 \cdot 10^3)} = 15 \text{ mA}$

$$\Rightarrow R_3 = V_{R3}/I = 2,7/15 \cdot 10^{-3} = 180 \Omega$$

per Kirchhoff $V_{R2} = E - V_{R1} - V_{R3} = E - (R_1 I) - V_{R3} = 27 - 2,25 - 2,7 = 22,05 \text{ V}$

perci  $R_2 = V_{R2}/I = 22,05/15 \cdot 10^{-3} = 1470 \Omega$

9) Dato il circuito:



Calcolare E e la potenza dissipata sui resistori sapendo che:

$$R_1 = 2,2 \text{ k}\Omega, R_2 = 3,3 \text{ k}\Omega, V_{R2} = 15 \text{ V}.$$

Calcolare pure la temperatura raggiunta da ciascun resistore sapendo che la loro $R_{th,ra1} = 100 \text{ }^\circ\text{C/W}$ e che $T_a = 90 \text{ }^\circ\text{C}$.

Soluzione: poiché le resistenze sono collegate in serie, la corrente circolante è la stessa, quindi:

$$\begin{aligned} I &= V_{R2} / R_2 = 15 / 2200 = 4,5 \text{ mA} \text{ quindi, per Kirchoff,} \\ E &= I R_1 + V_{R2} = 4,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3,3 \cdot 10^3 + 15 = 24,9 \text{ V} \\ P_{R1} &= I^2 R_1 = (4,5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 2,2 \cdot 10^3 = 44,5 \text{ mW} \\ P_{R2} &= I^2 R_2 = (4,5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 3,3 \cdot 10^3 = 66,8 \text{ mW} \end{aligned}$$

Come già visto nell'esercizio n.7, $T_r = R_{th,ra} P_d + T_a$ quindi:

$$T_{R1} = R_{th,ra} P_{R1} + T_a = 100 \cdot 44,5 \cdot 10^{-3} + 90 = 94,45 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{R2} = R_{th,ra} P_{R2} + T_a = 100 \cdot 66,8 \cdot 10^{-3} + 90 = 96,68 \text{ }^\circ\text{C}$$

10) Calcolare la massima corrente che può circolare in un resistore da $3,3 \text{ k}\Omega$ alla temperatura $T = 140 \text{ }^\circ\text{C}$ sapendo che la potenza che può dissipare è il 30% di quella nominale e la massima tensione alla quale può essere sottoposto è 40 V . Calcolare inoltre la resistenza termica di contatto sapendo che la sua $T_a = 90 \text{ }^\circ\text{C}$.

Soluzione: la potenza nominale del resistore si calcola

$$P_d = V^2 / R = 40^2 / 3,3 \cdot 10^3 = 0,5 \text{ W}$$

$$P_{dd} = 30\% P_d = 0,3 \cdot 0,5 = 0,15 \text{ W} \text{ quindi}$$

$$I_{MAX} = \sqrt{(P_{dd} / R)} = \sqrt{(0,15 / 3300)} = 6,8 \text{ mA}$$

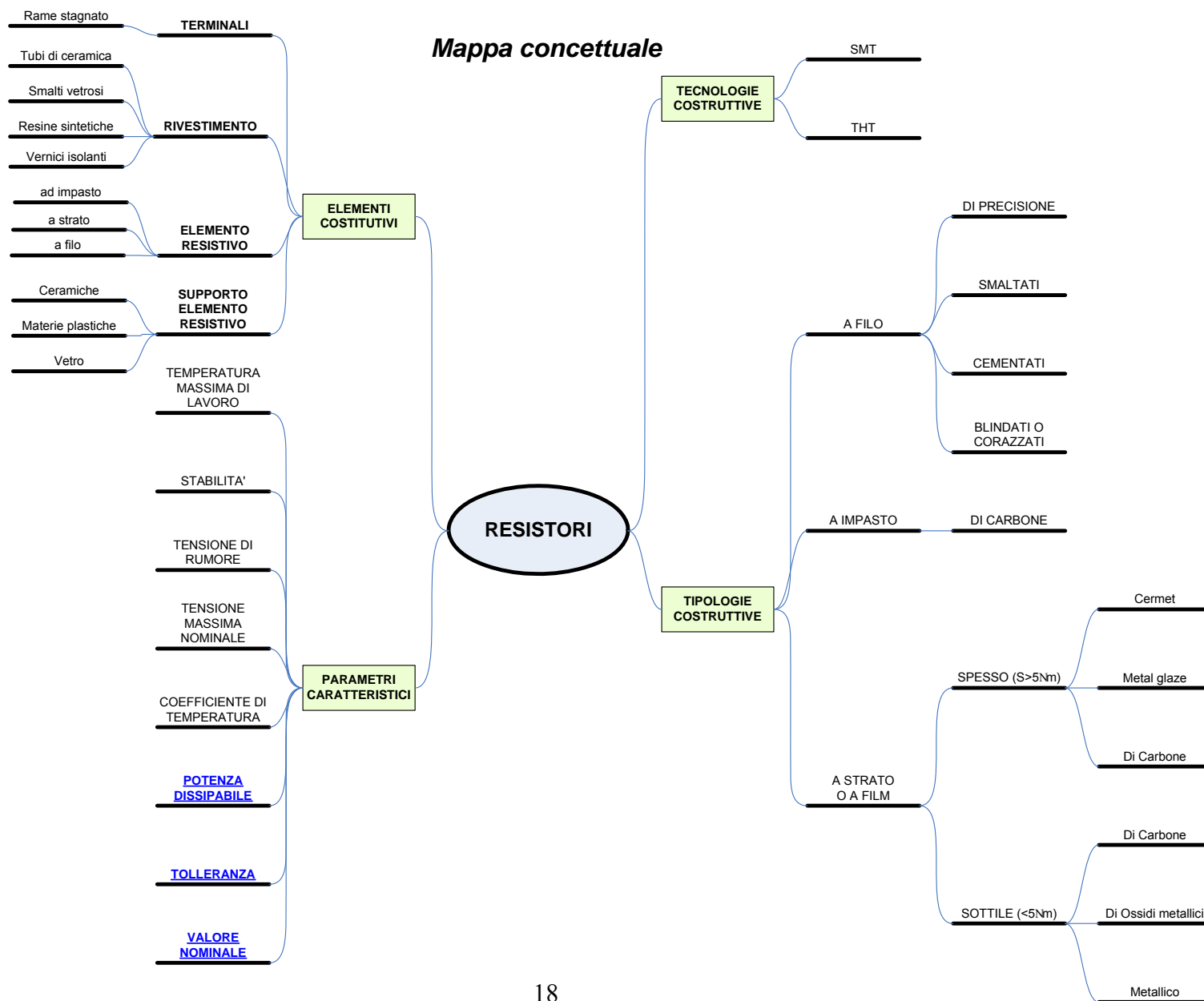
La resistenza termica di contatto alla temperatura $T = 140 \text{ }^\circ\text{C}$ è data da:

$$R_{th,ra} = T_R - T_a / P_d = (140 - 90) / 0,15 = 333,3 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

11) Fare esercizi con resistenze in serie e in parallelo.

Tabella resistività e coefficienti di temperatura di alcuni materiali

Materiale	Resistività ($\Omega\cdot m$) a 20°C	α ($^{\circ}C^{-1}$)	α (ppm/ $^{\circ}C$)
Argento	$1,59 \times 10^{-8}$	0,0038	3.800
Rame	$1,72 \times 10^{-8}$	0,0039	3.900
Oro	$2,44 \times 10^{-8}$	0,0034	3.400
Alluminio	$2,82 \times 10^{-8}$	0,0039	3.900
Tungsteno	$5,60 \times 10^{-8}$	0,0045	4.500
Nichel	$6,99 \times 10^{-8}$?	?
Ottone	80×10^{-8}	0,0015	1.500
Ferro	10×10^{-8}	0,005	5.000
Latta (Lamiera di ferro ricoperta di stagno detta anche banda stagnata).	$10,9 \times 10^{-8}$	0,0045	4.500
Platino	11×10^{-8}	0,00392	3.920
Manganina	$48,2 \times 10^{-8}$	0,000002	2
Costantina	49×10^{-8}	0,00001	10
Mercurio	98×10^{-8}	0,0009	900
Nichel-cromo	110×10^{-8}	0,0004	400
Carbonio (grafite)	3.500×10^{-8}	-0,0005	-500
Germanio	4.6×10^{-1}	-0,048	-48.000
Silicio	6.40×10^2	-0,075	-75.000
Vetro	10^{10} a 10^{14}	?	?
Gomma indurita	Circa 10^{13}	?	?
Zolfo	10^{15}	?	?
Paraffina	10^{17}	?	?
Quarzo (fuso)	7.5×10^{17}	?	?
Animale domestico	10^{20}	?	?
Teflon	10^{22} a 10^{24}	?	?



Resistori variabili

I resistori variabili sono costituiti da un elemento resistivo su cui è libero di scorrere un contatto mobile detto cursore.

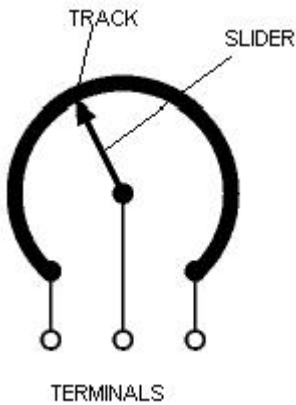


Fig. 17 Struttura di un resistore variabile

Il simboli grafici del resistore variabile utilizzati in elettronica sono i seguenti:

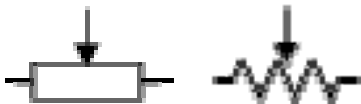


Fig. 18 Simboli resistori variabili

Dovrebbe essere chiaro che i resistori variabili hanno **tre** terminali, quello centrale normalmente fa capo al cursore mobile.

Nell'ambito del **commercio dei componenti elettronici** i resistori variabili si dividono in:

- **POTENZIOMETRI**
 - il movimento del cursore si effettua **con una manopola (non servono utensili)**
- **TRIMMER**
 - il movimento del cursore si effettua **con una vite o con un utensile (cacciavite)**

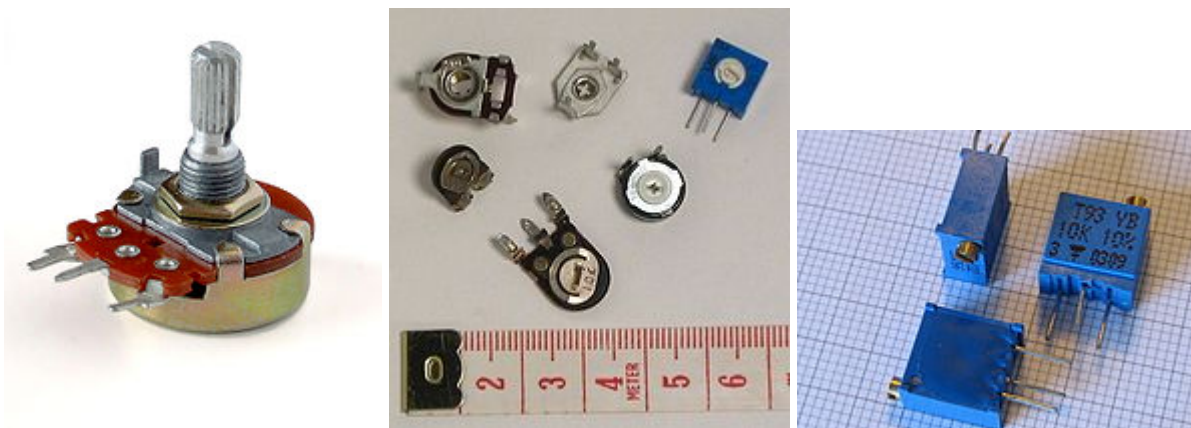


Fig. 19 Esempi di potenziometro, trimmer a un giro e trimmer a più giri.

In base alla **funzione svolta** i resistori variabili si dividono in

- **REOSTATI**
 - se servono per regolare la corrente in un circuito.
- **POTENZIOMETRI**
 - se servono per regolare la tensione.

Tanto per confondere le idee al povero studente, in ambito elettrotecnico, i resistori variabili sono spesso chiamati **reostati**.

Parametri caratteristici

Sono sostanzialmente gli stessi di quelli fissi, con qualche lieve differenza.

Valore nominale

Si intende il valore della resistenza totale fra i due terminali fissi posti agli estremi.

Legge di variazione della resistenza

Si intende la legge che lega il valore di resistenza alla posizione del cursore

Sostanzialmente ve ne sono due:

- **Lineare**
 - Vi è una relazione di proporzionalità diretta fra resistenza e posizione del cursore
 - Sono identificati dalla presenza della lettera A dopo il valore resistivo (es. 10k A)
- **Logaritmica**
 - Vi è una relazione di tipo logaritmico fra resistenza e posizione del cursore
 - Sono utilizzati prevalentemente in campo audio.
 - Sono identificati dalla presenza della lettera B dopo il valore resistivo (es. 10k B)

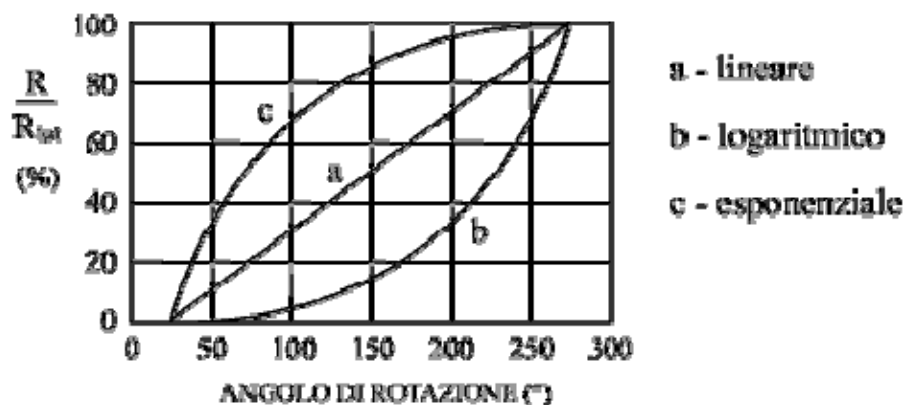


Fig. 20 Leggi di variazione della resistenza di un potenziometro

<i>Natura dell'elemento resistivo Usi preminenti</i>	<i>Gamma di resistenza (Ω)</i>	<i>Potenza (W)</i>	<i>Tolleranza</i>	<i>Gamma temperatura d'esercizio ($^{\circ}\text{C}$)</i>	<i>TCR (ppm/$^{\circ}\text{C}$)</i>	<i>Risposta in frequenza (Hz)</i>
Strato di carbone ottenuto per deposito. Apparati di consumo; potenziometri semi-fissi	100 Ω + 10 M	0,5	$\pm 20\%$	25 + 70	800 + 1000	100 K
Strato di carbone ottenuto per stampaggio a caldo. Potenziometri comuni e semi-fissi	50 Ω + 5 M	0,5	$\pm 20\%$ $\pm 10\%$	- 55 + 120	1000 + 3000	100 K
Plastica conduttiva. Potenziometri comuni	100 Ω + 5 M	1 + 3	$\pm 20\%$ $\pm 10\%$	- 55 + 120	100 + 250	1 M
Filo metallico. Potenziometri di potenza e di precisione	10 Ω + 100 K	20	$\pm 10\%$ $\pm 5\%$	- 55 + 160	20 + 50	10 K
Cermet-Alta frequenza. Potenziometri - Trimmer - Slider	10 Ω + 10 M	2	$\pm 20\%$ $\pm 10\%$	- 55 + 160	100 + 200	100 M
Film metallico. Piccole potenze	10 Ω + 50 K	0,2 + 1	$\pm 10\%$ $\pm 5\%$	- 55 + 160	50 + 100	10 M
Strato metallico. Lunga durata	2 Ω + 20 K	0,5 + 1	$\pm 10\%$ $\pm 5\%$	- 55 + 160	10 + 20	10 M

Fig. 21 Prestazioni dei potenziometri in base all'elemento resistivo utilizzato

Bibliografia

Le note qui riportate sono state ricavate dalle seguenti fonti:

- Appunti di TDP della prof. Floriana Fantuzzi
- “Tecnologia delle Costruzioni elettroniche – Vol. 1^o”, Giuseppe Lotti, La Sovrana Editrice – Fermo, Aprile 1989.
- “Tecnologie e disegno per la progettazione elettronica – Vol. 1^o”, Giorgio Portaluri, Eneabove, Tramontana Editrice, Milano, 2008.
- Sito www.wikipedia.it alla voce resistore
- Sito www.circuitielettronici.it alla voce resistori
- Sito www.eurohm.it della ditta italiana costruttrice di resistori Eurohm s.r.l. di Milano
- Sito www.tycoelectronics.com della ditta americana Tyco Electronics.