

Resistori

Il resistore è il componente più utilizzato nei circuiti elettronici. Caratteristica di questo componente è quella di presentare un valore controllato di resistenza fra i suoi terminali. Tale valore, tralasciando le derive che vedremo in seguito, è costante per i *resistori fissi* mentre per i *resistori variabili* (detti anche *potenziometri* o *trimmer resistivi*) può essere variato entro un certo campo.

I tipi di uso comune presentano un valore di resistenza pressoché indipendente dalla tensione applicata; sono detti *lineari* perché la corrente I che li percorre è proporzionale alla tensione V applicata fra i due reofori secondo la legge di Ohm:

$$I = V/R$$

dove R è appunto la *resistenza* del resistore misurata in Ohm (Ω).

Esistono però anche dei tipi *non lineari*: i *varistori* e i *termistori*.

I *varistori* o *V.D.R.* (*Voltage dependent resistors*, resistori dipendenti dalla tensione), sono componenti la cui resistenza diminuisce all'aumentare della tensione applicata secondo la seguente relazione:

$$I = V^n / r$$

dove r è una funzione di V ed n una costante che di solito vale da 2 a 6.

I *termistori* invece, sono componenti il cui valore di resistenza dipende fortemente dalla temperatura e sono utilizzati in vari campi di applicazione proprio per questo loro comportamento.

Si dividono in due categorie: NTC e PTC abbreviazioni di *Negative temperature coefficient* e *Positive temperature coefficient*. All'aumentare della temperatura la resistenza degli NTC diminuisce mentre quella dei PTC aumenta.

La simbologia elettrica dei resistori è rappresentata in figura-1.


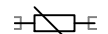

Resistore	
Varistore	
Termistore	

Figura-1

Caratteristiche

I parametri che definiscono un resistore sono:

1. Resistenza.

Indica il valore di resistenza nominale che il componente presenta a 25 °C.

E' misurato in ohm (Ω) o suoi multipli:

kiloohm ($k\Omega$), pari a 1000 ohm

megaohm ($M\Omega$), pari a 1.000.000 ohm.

I valori di resistenza sono normalizzati secondo le norme IEC e sono riportati in Tabella-1.

Oltre a quelli rappresentati, sono ammessi tutti i loro prodotti per potenze di 10.

Le tolleranze in relazione alle serie sono le seguenti:

$E6 \pm 20\%$; $E12 \pm 10\%$; $E24 \pm 5\%$; $E48 \pm 2\%$; $E96 \pm 1\%$; $E192 \pm 0,5\%$.

Le più diffuse e maggiormente utilizzate sono le serie E12 ed E24.

E192	E96	E48	E192	E96	E48	E192	E96	E48	E192	E96	E48	E192	E96	E48
100	100	100	169	169	169	287	287	287	487	487	487	825	825	825
101			172			291			493			835		
102	102		174	174		294	294		499	499		845	845	
104			176			298			505			856		
105	105	105	178	178	178	301	301	301	511	511	511	866	866	866
106			180			305			517			876		
107	107		182	182		309	309		523	523		887	887	
109			184			312			530			898		
110	110	110	187	187	187	316	316	316	536	536	536	909	909	909
111			189			320			542					
113	113		191	191		324	324		549	549		931	931	
114			193			328			556			942		
115	115	115	196	196	106	332	332	332	562	562	562	953	953	953
117			198			336			569			965		
118	118		200	200		340	340		576	576		976	976	
120			203			344			583			988		
121	121	121	205	205	205	348	348	348	590	590	590			
123			208			352			597					
124	124		210	210		357	357		604	604				
126			213			361			612					
127	127	127	215	215	215	365	365	365	619	619	619	10	10	10
129			218			370			626			11		
130	130		221	221		374	374		634	634		12	12	
132			223			379			642			13		
133	133	133	226	226	226	383	383	383	649	649	649	15	15	15
135			229			388			657			16		
137	137		232	232		392	392		665	665		18	18	
138			234			397			673			20		
140	140	140	237	237	237	402	402	402	681	681	681	22	22	22
142			240			407			690			24		
143	143		243	243		412	412		698	698		27	27	
145			246			417			706			30		
147	147	147	249	249	249	422	422	422	715	715	715	33	33	33
149			252			427			723			36		
150	150		255	255		432	432		732	732		39	39	
152			258			437			741			43		
154	154	154	261	261	261	442	442	442	750	750	750	47	47	47
156			264			448			759			51		
158	158		267	267		453	453		768	768		56	56	
160			271			459			777			62		
162	162	162	274	274	274	464	464	464	787	787	787	68	68	68
164			277			470			796			75		
165	165		280	280		475	475		806	806		82	82	
167			284			481			816			91		

Tabella-1

2. Tolleranza.

È la massima deviazione del valore di resistenza dal nominale, espressa in percentuale del valore nominale stesso. Vale a dire che ad es. in un lotto di resistori da 220 Ω al 10 % di tolleranza, tutti i valori dei singoli resistori dovrebbero essere compresi fra 198 e 242 Ω. Questo parametro è definito come *precisione*. Si parla quindi di *altissima precisione* per tolleranze migliori dello 0,5 %; di *alta precisione* per tolleranze dello 0,5 %, 1 % o 2 %; *media precisione* per tolleranza del 5 % o 10 %; *bassa precisione* per tolleranza del 20 %.

3. Potenza.

È la massima potenza misurata in watt (W) o in sue frazioni (di solito 1/2, 1/4, 1/8) che il resistore può dissipare ad una temperatura ambiente di 70 °C. Al di sopra di questo valore si applica un fattore di *derating*, cioè di riduzione lineare della potenza in funzione della temperatura.

Ricordiamo che la potenza è data dalla relazione

$$P=V \times I.$$

Di solito la potenza che si fa dissipare ad un resistore è molto inferiore al valore nominale.

4. Coefficiente di temperatura

Detto anche *TCR* o *Temco*.

È un'indicazione di quanto la temperatura fa variare il valore di resistenza, espressa in parti per milione del valore nominale per grado centigrado (ppm/°C). Per i resistori comuni ha valori fra 25 e 500 ppm/°C.

5. Tensione massima.

Indica la massima tensione che può essere applicata in modo continuo al resistore; per i valori di resistenza superiori ai 100 Ω è di solito almeno 1000 V.

6. Comportamento in frequenza.

Ogni resistore reale va considerato nella realtà con una induttanza in serie ed una capacità in parallelo alla serie resistenza-induttanza.

I valori della capacità e della induttanza parassite dipendono dalla tecnica costruttiva. Di solito la più noiosa tra le due è l'induttanza.

7. Stabilità.

È la deriva nel tempo del valore di resistenza dovuto all'invecchiamento, misurata ad es. dopo 1000 ore di lavoro a piena potenza a 70 °C.

8. Rumore.

Rappresenta la misura delle piccole fluttuazioni di tensione che si misurano ai capi di un resistore attraversato da una corrente costante. Tali fluttuazioni sono dovute al movimento statistico degli elettroni e dipende dalla tecnica costruttiva. A parità di questa cresce col valore di resistenza e con la banda di frequenza.

Tecnica costruttiva

Alcuni dei parametri sopra visti quali ad esempio il coefficiente di temperatura, il comportamento in frequenza, la stabilità e il rumore, dipendono dalla tecnologia di costruzione del resistore.

Possiamo classificare i resistori di tipo più comune in tre differenti tipologie: *a impasto*, *a filo*, *a film*.

Resistori ad impasto

Il tipo *a impasto* è costituito da un nucleo omogeneo formato da un impasto resistivo, di solito carbone o grafite mescolato a leganti (il valore della resistenza dipende dalle dimensioni e dall'impasto), in cui sono immersi i reofori. Il tutto viene poi inglobato nella plastica, di solito per *transfer moulding*, cioè una tecnica di inglobamento molto utilizzata secondo la quale una resina solida viene prima rammollita e poi iniettata nelle cavità di uno stampo, nelle quali si trovano i pezzi da inglobare, e poi lasciata solidificare.

I valori di resistenza comunemente ottenibili vanno da 100 Ω a 100 M Ω , le potenze da 1/8 a 2 W; le tolleranze comuni sono 5, 10 e 20%. Sono di largo uso perché molto economici, ma hanno un coefficiente di temperatura molto alto (500 ppm/°C o più) e bassa stabilità.

Resistori a filo

Sono ottenuti avvolgendo un filo metallico ad alta resistività (ad esempio nichel-cromo) intorno ad un nucleo isolante di ceramica; il tutto viene poi protetto da uno smalto vetroso. Questi resistori presentano una elevata stabilità termica ($TCR \sim 20$ ppm/°C) e sono disponibili per un ampio campo di valori che vanno da una frazione di ohm a 100 k Ω . Le tolleranze ottenute vanno dal 5 % al 20 % ma possono scendere fino allo 0,5 % per i tipi avvolti con precisione. Le potenze dissipate possono arrivare fino a centinaia di watt se il resistore è provvisto di un adeguato montaggio per dissipare calore.

La loro costruzione comporta una forte induttanza parassita, che può essere ridotta mediante accorgimenti costruttivi, ad esempio avvolgendo la spirale di filo metà in un senso e metà nell'altro, oppure eseguendo un avvolgimento bifilare, con i due reofori che escono dallo stesso lato.

Resistori a film

Sono molto diffusi nell'elettrotecnica professionale. Questi resistori sono realizzati con un'anima centrale di materiale isolante (vetro, ceramica o altro) sulla quale è steso un sottile film conduttivo. I reofori sono saldati a due cappucci metallici o a due zone metallizzate; il tutto è poi rivestito con una vernice liquida o per *transfer moulding*.

Il valore di resistività del film è sempre molto impreciso, per cui questi resistori durante la costruzione sono ritoccati praticando un taglio a spirale attorno al nucleo mediante un utensile di diamante che incide il film fino ad esporre l'isolante sottostante.

Quest'operazione, detta anche *spiralatura o trimming*, viene eseguita automaticamente da apposite macchine che interrompono il taglio quando la resistenza, misurata in continuo, raggiunge il valore desiderato.

L'aggiustamento può essere eseguito solo per aumento della resistenza; ad esempio per produrre resistori con valori fra 100 Ω e 1000 Ω si preparano dei bastoncini aventi resistenza 80 $\Omega \pm 20\%$ e si procede poi alla spiralatura fino al valore voluto.

La spiralatura può causare cricche nell'anima. Questa insieme ai cappucci (che sono semplicemente infilati) e all'attacco dei reofori è il punto critico di questi componenti dal punto di vista del montaggio.

Le caratteristiche di questi resistori dipendono molto dal tipo di film film utilizzato:

metallico (un sottile strato ad esempio di nichel-cromo, depositato sotto vuoto, dello spessore di 0,1 micron o meno);

ossido di stagno (l'anima isolante viene scaldata in atmosfera di questo composto, che si fissa alla sua superficie ed è conduttore);

melai glaze (l'anima viene rivestita di polvere metallica, ad esempio argento e palladio, e poi riscaldata ad alta temperatura per fissare ad essa le particelle metalliche);

carbone (è un film relativamente spesso di carbonio ed eventuali leganti, ottenibile per diverse vie);

cermet (sull'anima isolante è stesa una pasta composta da polvere metallica e leganti, che viene poi cotta ad alta temperatura).

Il campo di valori disponibile va da qualche ohm a qualche megaohm, le potenze da 1/8 a qualche watt. Le tolleranze sono del 5 % o migliori; il coefficiente di temperatura va da 20 ppm/°C per i tipi migliori (ad es. film metallico) a 200 ppm/°C per i peggiori (film di carbone o cermet).

Identificazione

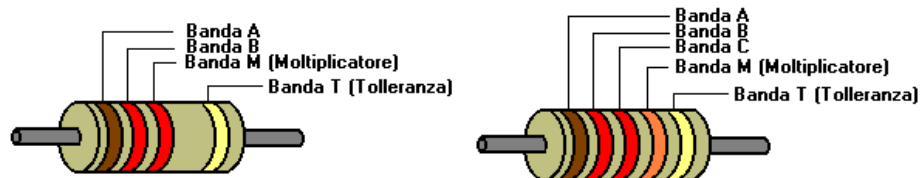


Figura-2

Il valore dei resistori e la loro tolleranza sono rappresentati mediante delle bande colorate.

Lo standard tradizionale prevede l'impiego di 4 bande; può succedere però che una o più bande possono mancare se sono di colore uguale a quello del corpo del componente.

Esiste inoltre uno standard più preciso firmato da 5 bande (DIN 41429) utilizzato solo per tolleranze migliori del 5 % (figura-2.).

Ogni colore corrisponde ad una cifra o ad un valore convenzionale secondo la tabella-2.

Colore	Bande A ,B, C	Banda M	Banda T
Nero	0	0	-
Marrone	1	1	1%
Rosso	2	2	1%
Arancio	3	3	-
Giallo	4	4	-
Verde	5	5	0,5%
Blu	6	6	-
Viola	7	7	-
Grigio	8	8	-
Bianco	9	9	-
Oro	-	-1	5%
Argento	-	-2	10%
Nessun Colore	-	-	20%

Tabella-2

La lettura viene eseguita nel seguente modo:

1. Standard a 4 bande

Se le bande non sono centrate rispetto al corpo del componente, dovremo orientare quest'ultimo in modo di avere a sinistra il reoforo più vicino ad esse. Se invece sono centrate, una delle bande sarà più larga delle altre (ed eventualmente anche più spaziata); orienteremo allora il componente in modo tale che questa resti a destra. La lettura deve avvenire da sinistra a destra.

Il valore della resistenza (in ohm) è dato dal numero espresso dalle cifre rappresentate dalle prime due bande (banda A e B), moltiplicato per la potenza di 10 indicata dalla terza banda (banda M). La quarta banda indica invece la tolleranza (banda T). Se A, B e T sono i valori numerici delle tre bande, il valore della resistenza può anche essere calcolato dalla seguente formula:

$$(10 \cdot A + B) \cdot 10^M \pm T \%$$

Esempi:

Rosso-viola-rosso-rosso	= 27 · 10 ² ± 2 % = 2,7 kΩ ± 2 %
Arancio-Arancio-marrone (*)	= 33 · 10 ¹ = 330 ± 20%
Marrone-nero-verde-argento	= 10 · 10 ⁵ ± 10 = 1 MΩ ± 10 %

(*) Se non esiste la banda T la tolleranza è del ±20% indipendentemente dal colore del corpo.

2. Standard a 5 bande

Si opera nello stesso modo delle bande a 4 colori ma in questo caso si hanno 3 cifre significative (bande A, B e C di figura-2) anziché due sole.

La formula dalla quale si ricava il valore della resistenza è:

$$(100 \cdot A + 10 \cdot B + C) \cdot 10^M \pm T\%$$

Esempi:

Marrone-blu-bianco-rosso-rosso	= 169 · 10 ² ± 2 = 16,9 kΩ ± 2 %
arancio-viola-giallo-nero-rosso	= 374 · 10 ⁰ ± 2 = 374 Ω ± 2%
bianco-grigio-nero-argento-marrone	= 980 · 10 ⁻² ± 1 = 9,8Ω ± 1 %

Per resistori di dimensioni maggiori, spesso il valore si trova scritto in chiaro. Talvolta questa è abbreviata, ma la comprensione è immediata.

Il codice a colori non dà indicazione di potenza.

Le dimensioni del corpo del resistore crescono con la potenza indipendentemente dal valore ohmico.

I resistori a film metallico ad esempio hanno un diametro e lunghezza massima di 2,5mm e 5,1 mm se sono da 1/8 di W ; 3,2mm e 7,6 mm se da 1/4 W; 4,0 mm e 10,2 mm se da 1/2 di watt.