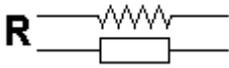




- I Resistori -



Simboli usati negli schemi elettrici per il resistore

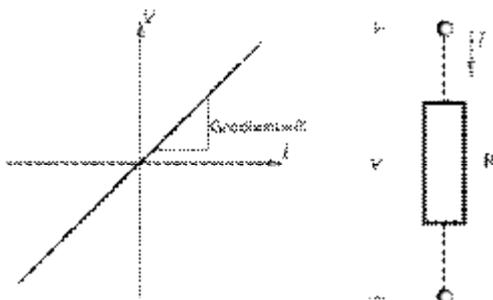


Resistori assiali (cioè con i reofori in asse) di diverso valore

Il **resistore** (o **resistenza**) è un componente elettrico di enorme importanza per le sue innumerevoli applicazioni sia in apparecchiature elettriche che elettroniche. I resistori sono a volte utilizzati per convertire energia elettrica in energia termica.

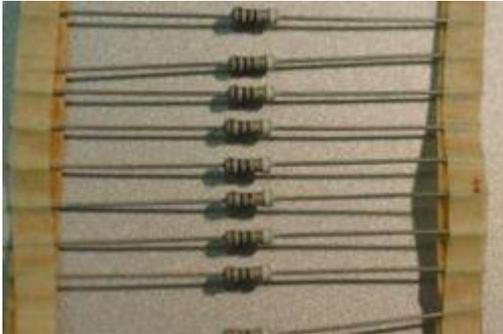
Nella Teoria dei circuiti il resistore è un componente *ideale* (resistenza) che risponde, *se lineare*, alla legge di Ohm, i resistori non lineari sono essenziali per fare modelli circuitali, per esempio, degli oscillatori elettronici. Nel mondo reale, i resistori sono dispositivi multiformi, con caratteristiche e limiti operativi ben determinati.

I resistori reali, spesso anche chiamati impropriamente *resistenze*, sono caratterizzati dal valore della loro resistenza elettrica, espressa in ohm (simbolo: Ω), nonché dalla massima potenza (ovvero energia per unità di tempo) che possono dissipare, senza distruggersi, espressa in watt. A volte, ma più raramente, al posto del valore della resistenza, è indicato quello della loro conduttanza (che è l'inverso matematico della resistenza). Per molte applicazioni civili ed industriali, al posto del loro valore resistivo, ovvero della resistenza, si indica la tensione tipica di funzionamento, espressa in volt. I resistori lineari ideali non hanno in generale limiti in potenza e sono caratterizzati da una relazione costitutiva lineare per qualsiasi valore di tensione e corrente.



Simbolo e curva caratteristica di un resistore ideale (resistenza)

Sia in campo civile che industriale, l'impiego prevalente dei resistori è quello di produrre calore da elettricità per Effetto Joule. Molti sono gli impieghi negli elettrodomestici, quali forni elettrici, ferri da stiro e bollitori d'acqua, asciugacapelli, lavatrici e lavastoviglie, ecc. Un ferro da stiro, tipicamente, ha un resistore della potenza di 1 kW. Resistori di potenze anche molto superiori sono utilizzati nei forni industriali e nei circuiti di controllo dei veicoli elettrici (per esempio nei locomotori elettrici) per dissipare l'energia in eccesso (per questo ultimo impiego, recentemente sono stati in gran parte sostituiti da circuiti di regolazione elettronici più efficienti).



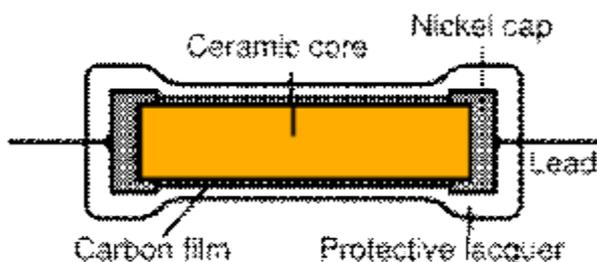
Resistori da 1/8 di watt a ossido di metallo con terminali assiali a saldare

Questi resistori, cosiddetti di *potenza*, sono tipicamente realizzati con un avvolgimento di filo di leghe metalliche a base di ferro, cromo, tungsteno, una lega utilizzata da molto tempo per questo uso è la costantana. Per evitare, parzialmente, che questo tipo di resistori a filo si comporti da induttore (perché si vuole avere un comportamento resistivo puro o si vuole evitare la generazione di interferenze elettromagnetiche) l'avvolgimento viene fatto sia in un senso che in quello opposto (avvolgimento detto di Ayrton Perry).

I resistori trovano poi largo impiego nei circuiti elettronici, per i quali sono prodotti in una varietà di forme e assortimenti di valori resistivi (da frazioni di ohm a svariate centinaia di megaohm) e di potenza (da pochi milliwatt a centinaia di watt).

Resistori per applicazioni in circuiti elettronici

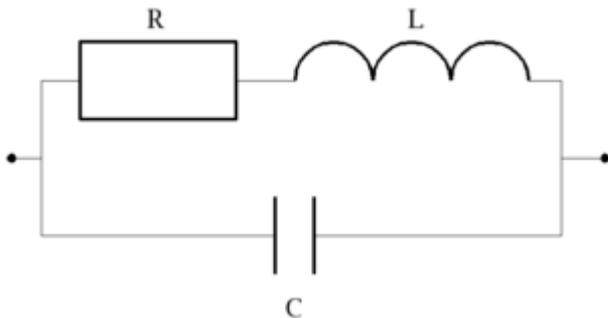
Resistori fissi



Struttura di un resistore a strato di carbone

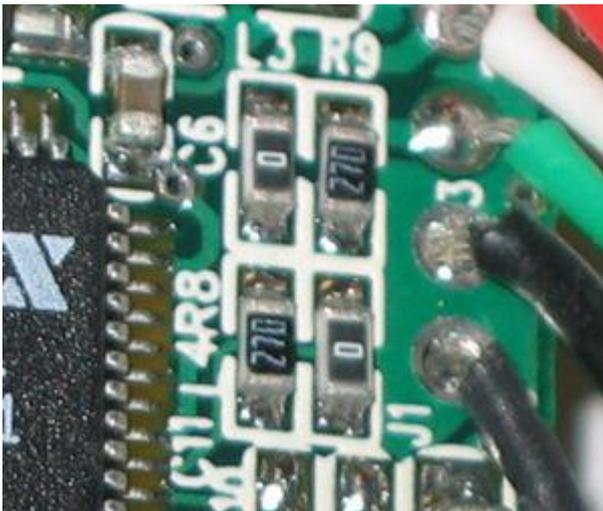
I resistori a valore resistivo fisso per applicazioni nei circuiti elettronici si presentano nella versione più comune come piccoli cilindri con due terminali metallici chiamati reofori, adatti per essere inseriti in circuiti stampati e saldati a stagno (In passato si saldava con una lega stagno-piombo; dopo l'introduzione della normativa RoHS il piombo è vietato). I valori di resistenza e tolleranza sono codificati mediante bande colorate mentre nei resistori con potenze superiori ai 2 W il valore è indicato per esteso. L'elemento

resistivo è realizzato depositando sulla superficie del cilindro uno strato di lega metallica, ossidi metallici o carbone, successivamente inciso a laser con andamento elicoidale per ottenere il valore voluto. Questo tipo di lavorazione conferisce al resistore una componente induttiva, ininfluenza in applicazioni a bassa frequenza ma di disturbo alle frequenze elevate. Per applicazioni in alta frequenza sono preferiti i resistori antinduttivi, realizzati comprimendo una miscela di polveri composite e resine, a formare un cilindro con dimensioni simili ai resistori a strato (o i resistori SMD, vedi più avanti).



Resistore reale con elementi parassiti a parametri concentrati

Oltre che come resistori individuali, sono prodotti anche a gruppi come "reti resistive", costruite con la tecnica chiamata "a film spesso", ricavandole con un processo di metallizzazione su una sottile piastrina di ceramica, la stessa tecnica usata per costruire resistori di altissimo valore ohmico (oltre 100 M Ω), i quali essendo ricavati su una superficie piana con l'elemento resistivo configurato a greca, risultano antinduttivi, la stessa configurazione a greca viene realizzata su resistori cilindrici di precisione.



L'immagine mostra quattro resistori SMD (il componente nell'angolo in alto a sinistra, con il corpo di colore marrone, è un condensatore). Due resistori hanno valore di 0 ohm gli altri due possono essere da 27 ohm o 270 ohm (la codifica dei costruttori può variare).

Esistono altri tipi di resistori fissi, ovvero costruiti in modo differente in base alla potenza che devono dissipare:

- § Resistori standard a strato di carbone (da 1/8 W - 1/4 W - 1/2 - 1 W), i più usati in elettronica
- § Resistori di nichel-cromo (una lega di nichel e cromo, usati come resistori di potenza) (da 2 W - 4 W - 6 W - 8 W - 12 W - 16 W - 24 W)
- § Resistori Corazzati (impiegati in elettronica, abbinano alta dissipazione e affidabilità)
- § Resistori per riscaldamento (principalmente in quarzo) (da 200 W - 300 W - 500 W - 1000 W)

Resistori SMD

Le versioni SMD (acronimo di *Surface mounting device*) o SMT, *Surface-Mount Technology*, (la tecnologia tradizionale con i reofori che richiedono la foratura del circuito stampato è sempre meno usata nell'elettronica di consumo ed è chiamata PTH, *Pin Through Hole*, o THT, *Through Hole Technology*), adatti per il montaggio superficiale per mezzo di macchine automatiche, hanno l'aspetto di minuscole piastrine rettangolari di dimensioni variabili a seconda della potenza.



Resistore SMD da 2 megaohm di dimensioni 1206. La griglia celeste, su cui è appoggiato il componente, è di 1 mm

Le dimensioni più comuni sono (lo standard è usato anche per i condensatori e le dimensioni possono variare leggermente a seconda del costruttore):

nome comunemente usato	= dimensioni in pollici (lunghezza x larghezza)	= dimensioni in mm
"01005"	= 0,016" × 0,008"	= 0,4 mm × 0,2 mm
"0201"	= 0,024" × 0,012"	= 0,6 mm × 0,3 mm
"0402"	= 0,04" × 0,02"	= 1,0 mm × 0,5 mm
"0603"	= 0,063" × 0,031"	= 1,6 mm × 0,8 mm
"0805"	= 0,08" × 0,05"	= 2,0 mm × 1,25 mm
"1206"	= 0,126" × 0,063"	= 3,2 mm × 1,6 mm
"1210"	= 0,12" x 0,10"	= 3,2 mm x 2,5 mm
"1812"	= 0,18" × 0,12"	= 4,6 mm × 3,0 mm
"2010"	= =0,20" x 0,10"	= 5,0 mm x 2,5 mm
"2512"	= 0,25" × 0,12"	= 6,3 mm × 3,0 mm



Potenziorometro da pannello o da circuito stampato

Le estremità sono metallizzate per permetterne la saldatura sul circuito e sono praticamente antinduttivi. Il montaggio è automatizzato: sul circuito stampato mediante una maschera in acciaio viene posto il

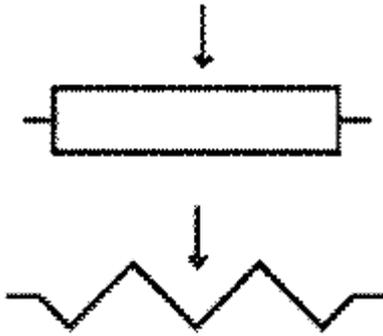
materiale saldante sulle due piazzole di saldatura. Sul circuito stampato mediante una macchina automatica programmata vengono posti i componenti SMD trattenuti nelle esatte posizione dalla pasta saldante. Segue il passaggio in un forno che salda i componenti. I resistori SMD hanno il valore stampato con una codifica legata a quella usata per i resistori assiali. Quelli con la tolleranza più comune (5%) sono marcati con un codice a tre cifre: le prime due sono cifre significative del valore, la terza indica il numero degli zeri. Ad esempio:

$$"334" = 33 \times 10.000 \text{ ohm} = 330 \text{ kilohm}$$

$$"222" = 22 \times 100 \text{ ohm} = 2,2 \text{ kilohm}$$

$$"473" = 47 \times 1.000 \text{ ohm} = 47 \text{ kilohm}$$

$$"105" = 10 \times 100.000 \text{ ohm} = 1 \text{ megaohm}$$



Simboli di resistori variabili e trimmer

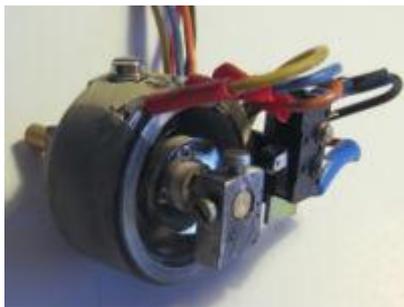
Resistori di valori inferiori a 100 ohm sono marcati: 100, 220, 470. Lo zero finale rappresenta dieci elevato alla potenza zero che vale uno. Per esempio:

$$"100" = 10 \times 1 \text{ ohm} = 10 \text{ ohm}$$

$$"220" = 22 \times 1 \text{ ohm} = 22 \text{ ohm}$$

$$"470" = 47 \times 1 \text{ ohm} = 47 \text{ ohm}$$

Talvolta questi valori sono marcati "10" o "22" o "47" per prevenire errori. I resistori di valore inferiore a 10 ohm hanno una "R" per indicare la virgola decimale. Per esempio:



Potenziometro con interruttore di fine corsa

$$"4R7" = 4,7 \text{ ohm}$$

$$"0R22" = 0,22 \text{ ohm}$$

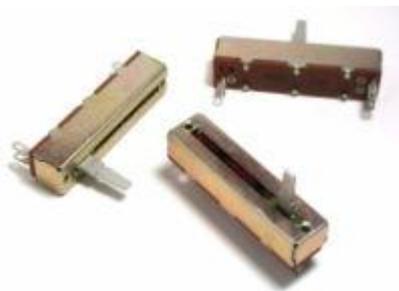
$$"0R01" = 0,01 \text{ ohm}$$

I resistori di precisione sono siglati con un codice a quattro cifre. Le prime tre sono cifre significative mentre la quarta indica la potenza di dieci. Per esempio:

$$"1001" = 100 \times 10 \text{ ohm} = 1 \text{ kilohm}$$

$$"4992" = 499 \times 100 \text{ ohm} = 49,9 \text{ kilohm}$$

$$"1000" = 100 \times 1 \text{ ohm} = 100 \text{ ohm}$$



Potenzimetri chiamati *slider*

Nel caso si utilizzi un resistore da zero ohm questo può essere siglato “000” o “0000”. L’uso di resistori da zero ohm, che a prima vista sembra inutile, può essere dovuto a varie esigenze:



Vari tipi di trimmer per montaggio su circuito stampato di basso costo (e bassa precisione)

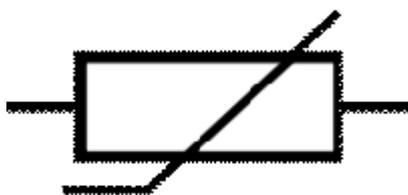
- § In alternativa ad un componente previsto ma non usato in alcune applicazioni della scheda elettronica si può prevedere, in parallelo, un resistore da zero ohm senza dover rifare il circuito stampato.
- § L’uso di circuiti integrati che possono avere vari modi di funzionamento o taratura e in questo modo si mantiene aperta la possibilità di montare un resistore opportuno senza dover rifare il circuito stampato.
- § In schede elettroniche particolarmente complesse (specialmente di tipo monofaccia) permette il passaggio di segnali (tracce) sotto il resistore.

Un problema che pongono i resistori da zero ohm è la dissipazione di potenza non calcolabile con la legge di Ohm. Nei dati tecnici dei produttori di resistori viene indicata la massima corrente che il resistore può sopportare senza danneggiarsi.

Resistori custom

Esistono applicazioni in cui il resistore deve avere caratteristiche molto particolari, tipico è il caso degli strumenti di misura elettronica; se in commercio non fosse disponibile il resistore con dimensioni, valore, e precisione necessari per l’impiego previsto, il costruttore stesso dello strumento, progetta da sé il resistore abbinandogli una sigla; similmente ai circuiti integrati progettati in proprio, questo risulta un componente custom, pertanto non in commercio, può essere fornito come ricambio solo dal costruttore dello strumento.

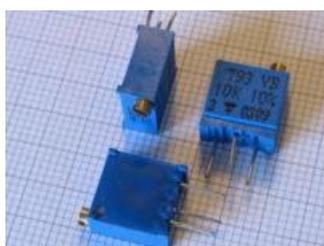
Resistori variabili



Simbolo del termistore

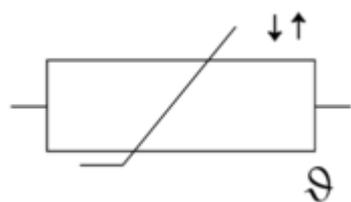
I resistori variabili, ovvero la cui resistenza è variabile, si dividono in due categorie: quelli che possono essere regolati con un intervento manuale o meccanico e quelli che variano le proprie resistenza con il variare di un altro parametro, quali la temperatura (termo-resistori), o la quantità di luce che li colpisce (foto-resistori).

Un tipo di resistore variabile di uso comune nelle apparecchiature elettroniche (quali radio, televisori, amplificatori) è il *potenziometro*, con il quale per mezzo di un conduttore mobile strisciante sull'elemento resistivo (rotante o lineare), è possibile variare il valore della resistenza entro un certo intervallo il cui limite superiore è indicato dal valore stesso che ha il potenziometro. Anche i potenziometri sono realizzati in diversi modelli: a strato, a filo, doppi, con o senza interruttore, a variazione resistiva lineare o logaritmica. Sono detti trimmer alcuni tipi di potenziometri che servono per regolazioni saltuarie e/o di taratura e che in genere richiedono l'uso di un utensile (cacciavite) per modificare il punto di regolazione.

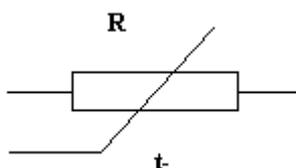


Trimmer di precisione detti multiturno in quanto la vite di regolazione consente di ottenere il valore resistivo voluto mediante più giri

Termo resistori (NTC e PTC)



Simbolo di NTC



I termo resistori o termistori sono resistori che presentano elevati valori del coefficiente di temperatura, fra di essi si distinguono i PTC e gli NTC. I resistori PTC (*Positive Temperature Coefficient*) hanno un coefficiente di temperatura positivo ossia aumentano la loro resistenza con l'aumento della temperatura mentre quelli detti NTC (*Negative Temperature Coefficient*) presentano un coefficiente di temperatura negativo (tra -6% e -2% per grado centigrado) ossia riducono la loro resistenza con l'aumentare della temperatura. Questi termo-resistori sono impiegati o per la misura diretta della temperatura (nei termometri elettronici) o come elementi di controllo nei circuiti elettrici ed elettronici (per esempio per aumentare o diminuire una corrente od una tensione al variare della temperatura d'esercizio).

Foto-resistori



I foto-resistori sono resistori sensibili alla luce, ovvero la cui resistenza cambia con l'intensità della luce che li colpisce. In condizioni di buio presentano valori resistivi intorno ai $10\text{ M}\Omega$, in condizioni di luce la resistenza può scendere anche a valori inferiori ai $100\ \Omega$. La curva Resistenza-Illuminazione è abbastanza lineare, ma la variazione della resistenza nel caso di bruschi cambiamenti dell'illuminazione è piuttosto lenta. Questo comportamento, definito dai costruttori con il parametro *recovery rate* o *tempo di recupero* è un notevole svantaggio, pertanto questi componenti sono impiegati solo in apparecchi dove il controllo della luminosità non è critico come macchine fotografiche, interruttori crepuscolari, giocattoli, etc.



Simbolo del fotoresistore

Codifica

I codici a colori per i resistori fissi sono definiti dalla EIA. Tabella codici colori EIA-RS-279.

Tabella per i resistori a strato con 3 o 4 anelli colorati

Colore	1° Anello	2° Anello	3° Anello	4° Anello
	Cifra 1	Cifra2	Moltiplicatore	Tolleranze
-	-	-	-	± 20%
argento	-	-	10 ⁻²	± 10%
oro	-	-	10 ⁻¹	± 5%
nero	0	0	10 ⁰	-
marrone	1	1	10 ¹	± 1%
rosso	2	2	10 ²	± 2%
arancio	3	3	10 ³	-
giallo	4	4	10 ⁴	-
verde	5	5	10 ⁵	± 0,5%
blu	6	6	10 ⁶	± 0,25%
viola	7	7	10 ⁷	± 0,1%
grigio	8	8	10 ⁸	± 0,05%
bianco	9	9	10 ⁹	-

Tabella per i resistori a strato con 5 o 6 anelli colorati

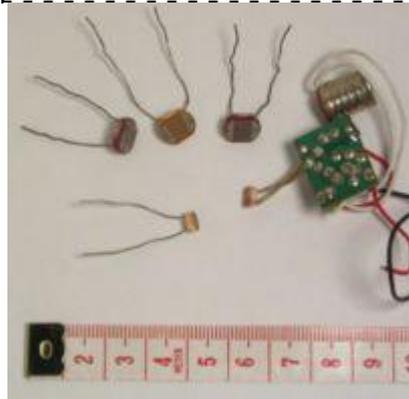
Colore	1° Anello	2° Anello	3° Anello	4° Anello	5° Anello	6° Anello
	Cifra 1	Cifra2	Cifra3	Moltiplicatore	Tolleranza	Coefficiente di temperatura
-	-	-	-	-	± 20%	-
argento	-	-	-	10 ⁻²	± 10%	-
oro	-	-	-	10 ⁻¹	± 5%	-
nero	0	0	0	10 ⁰	-	200 ppm/K
marrone	1	1	1	10 ¹	± 1%	100 ppm/K
rosso	2	2	2	10 ²	± 2%	50 ppm/K
arancio	3	3	3	10 ³	-	15 ppm/K
giallo	4	4	4	10 ⁴	-	25 ppm/K
verde	5	5	5	10 ⁵	± 0,5%	-
blu	6	6	6	10 ⁶	± 0,25%	10 ppm/K
viola	7	7	7	10 ⁷	± 0,1%	5 ppm/K
grigio	8	8	8	10 ⁸	± 0,05%	-
bianco	9	9	9	10 ⁹	-	-

Curiosità: per ricordare l'ordine dei colori, è possibile imparare questa breve frase mnemonica: *Non Metterti Rubicondo Alla Guida: Vino e Birra Van Giù Bene.*

Valori standard dei resistori

La normativa internazionale IEC 60063 definisce i valori standardizzati per resistori e condensatori. Il numero dei valori vanno aumentando con la precisione richiesta. Ad esempio per la serie E6 (per resistori con tolleranza del 20%) sono consentiti sei valori: 10, 15, 22, 33, 47, 68. Questo significa che i valori di questa serie possono essere multipli di 10. Ad esempio valori usati possono essere 0,47 Ω , 4,7 Ω , 47 Ω , 470 Ω , 4,7 k Ω , 47 k Ω , 470 k Ω , e così via. A seconda della tolleranza consentita la norma IEC 60063 definisce:

E6 (20%): 10 15 22 33 47 68
E12 (10%): 10 12 15 18 22 27 33 39 47 56 68 82



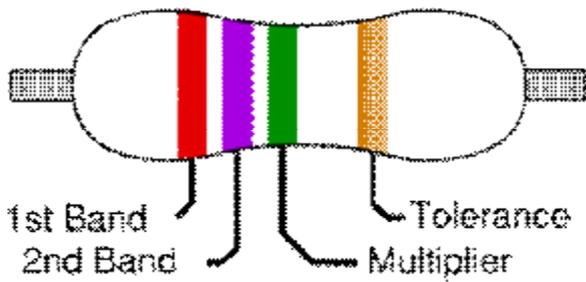
Vari modelli di fotoresistori

E24 (5%): 10 11 12 13 15 16 18 20 22 24 27 30
33 36 39 43 47 51 56 62 68 75 82 91
E48 (2%): 100 105 110 115 121 127 133 140
147 154 162 169 178 187 196 205
215 226 237 249 261 274 287 301
316 332 348 365 383 402 422 442
464 487 511 536 562 590 619 649
681 715 750 787 825 866 909 953



Resistore di valore resistivo 6,8 ohm, tolleranza 10%. La potenza sembra essere di non più di 10 watt

E96 (1%): 100 102 105 107 110 113 115 118
121 124 127 130 133 137 140 143
147 150 154 158 162 165 169 174
178 182 187 191 196 200 205 210
215 221 226 232 237 243 249 255
261 267 274 280 287 294 301 309
316 324 332 340 348 357 365 374
383 392 402 412 422 432 442 453
464 475 487 499 511 523 536 549
562 576 590 604 619 634 649 665
681 698 715 732 750 768 787 806
825 845 866 887 909 931 953 976



Resistore a quattro anelli colorati

E192 (0,5%): 100 101 102 104 105 106 107 109
 110 111 113 114 115 117 118 120
 121 123 124 126 127 129 130 132
 133 135 137 138 140 142 143 145
 147 149 150 152 154 156 158 160
 162 164 165 167 169 172 174 176
 178 180 182 184 187 189 191 193
 196 198 200 203 205 208 210 213
 215 218 221 223 226 229 232 234
 237 240 243 246 249 252 255 258
 261 264 267 271 274 277 280 284
 287 291 294 298 301 305 309 312
 316 320 324 328 332 336 340 344
 348 352 357 361 365 370 374 379
 383 388 392 397 402 407 412 417
 422 427 432 437 442 448 453 459
 464 470 475 481 487 493 499 505
 511 517 523 530 536 542 549 556
 562 569 576 583 590 597 604 612
 619 626 634 642 649 657 665 673
 681 690 698 706 715 723 732 741
 750 759 768 777 787 796 806 816
 825 835 845 856 866 876 887 898
 909 919 931 942 953 965 976 988

La serie E192 è usata anche per resistori con tolleranza dello 0,25% e 0,1%.

I valori delle singole serie sono ottenuti dalla progressione geometrica:

$$ar^0 = a, ar^1 = ar, ar^2, ar^3, \dots$$

Dove $r \neq 0$ è la ragione ed a è un *fattore di scala* che viene posto uguale a 1.

La ragione ed il termine N_{esimo} risultano (n va incrementato a partire da 0 fino a $k-1$):

$$r = \sqrt[k]{10} \quad N = \left(\sqrt[k]{10}\right)^n$$

Il valore k varia a seconda della serie: per la E6 $k=6$, per la E12 $k=12$, ecc.

Curiosità



Un resistore da zero ohm. Il valore, indicato con un unico anello nero, non segue quindi gli standard di codifica a colori ma è molto diffuso

Può essere utile ricordare, soprattutto a chi si diletta in campo elettronico, l'impossibilità di ottenere un preciso valore resistivo desiderato, se si cerca di selezionarlo tra resistori aventi valore standard vicino a quello cercato; la ragione sta nel fatto che i resistori in esame sono già stati selezionati dal costruttore, quindi una selezione ulteriore porterà a leggere valori al di sopra o al di sotto del valore cercato. Per esempio, se si cerca un resistore da 960 Ω , la ricerca tra resistori da 1000 Ω aventi tolleranza del 10% sarà infruttuosa: si leggeranno valori inferiori a 950 Ω o superiori a 1050 Ω , questo perché i resistori con valore all'interno di questo range sono stati già selezionati dal costruttore, e posti in tolleranza 5% o inferiore.

Nella pratica ci si trova a dover misurare valori di resistori già montati in un circuito elettronico senza volerli scollegare (dissaldare). Usando un multimetro, e con il circuito in esame non alimentato, si legge un valore che non sarà esatto ma pone almeno un *limite massimo* al valore del resistore da misurare in quanto in parallelo ad esso vi saranno elementi resistivi (di altri resistori, di diodi o di componenti attivi, come transistor o circuiti integrati). Rifare la prova usando il multimetro scambiando i terminali (positivo, rosso, e negativo, nero) in quanto la presenza di componenti attivi e diodi ha un comportamento nella misura diverso a seconda del senso della corrente che il multimetro applica nella misura: si deve scegliere il valore più basso.