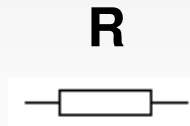
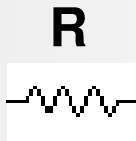


I RESISTORI

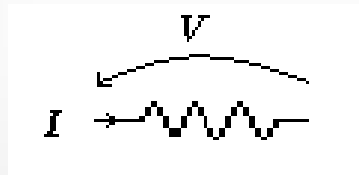
E' uno dei componenti più frequenti all'interno di un circuito elettronico e viene indicato con i seguenti simboli:



Il principale parametro di un resistore è rappresentato dal valore della resistenza elettrica che il componente introduce quando viene inserito in un circuito.

La resistenza viene espressa in Ω (OHM) e va calcolata con la legge di Ohm espressa dalla relazione

$$V=R*I$$



Con

V=Tensione applicata ai capi del resistore espressa in Volt (V)

I= Corrente che percorre il resistore espressa in Ampere (A)

Parametri dei resistori

I principali parametri di un resistore sono:

1. **Valore nominale** = è il valore più probabile a cui fare riferimento nel progetto
2. **La tolleranza** = indica il campo di valori entro cui si trova il vero valore della resistenza

Es. $220 \pm 5\%$ indica un valore compreso tra 209 e 231, in quanto il 5% di 220 è $= (5 \cdot 220) / 100 = 11$, quindi

$$220 - 11 = 209$$

$$220 + 11 = 231$$

3. **Potenza nominale** = massima potenza che a 25 °C il resistore è in grado di dissipare sotto forma di calore senza che la sua costituzione interna venga alterata, senza, cioè, che venga danneggiato. La potenza dissipabile diminuisce con l'aumentare della temperatura ambiente.

Serie Commerciali

In commercio non esistono però tutti i valori, che sarebbero economicamente e praticamente impossibili da gestire, ma solamente degli "stock" di valori normalizzati, o serie.

La fabbricazione delle resistenze è regolata dalle norme **C.E.I. (Commissione Elettrotecnica Internazionale) che definiscono le diverse serie di valori reperibili nei punti di vendita specializzati.**

Tipi di resistori

Le serie differiscono tra loro per la tolleranza e sono:

Serie	Tolleranza
E6	20%
E12	10%
E24	5%
E48	2%
E96	1%;2%
E192	0,5%;0,25%;0,1%

Tipi di resistori

Ecco i valori reperibili per le serie E6,E12,E24 da 10 a 100 Ω :

Serie E6	Serie E12	Serie E24
10	10	10
		11
	12	12
		13
15	15	15
		16
	18	18
		20
22	22	22
		24
	27	27
		30
33	33	33
		36
	39	39
47	47	47
		51
	56	56
		62
68	68	68
		75
	82	82
		91

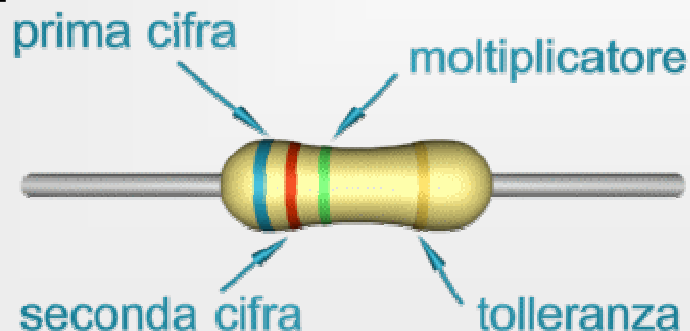
La serie più comune è la E24 e in commercio si possono trovare i valori riportati nella tabella nonché i loro multipli e sottomultipli

Codice dei colori

Viene utilizzato per definire il valore ohmico e la tolleranza delle resistenze direttamente sul contenitore.

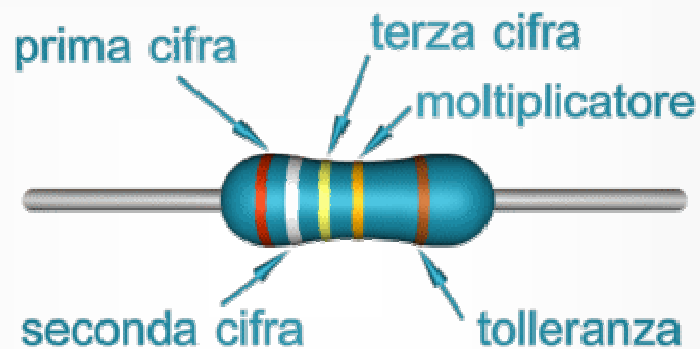
Il più comune è il codice colori a 4 strisce colorate o anelli, ma esiste anche quello a 5 o a 6 bande per le resistenze della serie E96, E192.

Nel codice a 4 strisce, tre sono molto vicini tra di loro, mentre il quarto rimane separato e indica la tolleranza della resistenza. Iniziando dal lato opposto alla tolleranza, le tre strisce indicano il valore nominale. I primi due colori definiscono le prime due cifre del valore, mentre il terzo fornisce il coefficiente di moltiplicazione (o divisione) che bisogna applicare alle prime due cifre. Il terzo colore indica in sostanza il numero di zeri da aggiungere alle prime due cifre secondo la seguente tabella.



Codice dei colori

Se invece le bande sono cinque si considerano le prime tre come valori numerici, la quarta come fattore moltiplicativo, e l'ultima come indice della tolleranza, sempre in accordo con la tabella.



CODICE DEI COLORI

	1 ^a CIFRA	2 ^a CIFRA	MOLTIPLICAT.	TOLLERANZA
NERO	====	0	x 1	10 % ARGENTO
MARRONE	1	1	x 10	5 % ORO
ROSSO	2	2	x 100	
ARANCIONE	3	3	x 1.000	
GIALLO	4	4	x 10.000	
VERDE	5	5	x 100.000	
AZZURRO	6	6	x 1.000.000	
VIOLA	7	7	ORO : 10	
GRIGIO	8	8		
BIANCO	9	9		

The diagram shows a resistor with four color bands. From left to right, the bands are: brown (1st digit), green (2nd digit), red (multiplier), and yellow (tolerance). Labels with leader lines point to each band: '1^a CIFRA' points to the brown band, '2^a CIFRA' points to the green band, 'MOLTIPLICAT.' points to the red band, and 'TOLLERANZA' points to the yellow band.

Fig.45 Le 4 fasce colorate che appaiono sul corpo delle resistenze servono per ricavare il loro valore ohmico. Nella Tabella sottostante riportiamo i valori Standard.

Codice dei colori

Colore	1^a Cifra Signif.	2^a Cifra Signif.	3^a Cifra moltiplicativa	Tolleranza
Nero	0	0	* 1	
Marrone	1	1	* 10 (1 zero)	±1%
Rosso	2	2	* 100(2 zeri)	±2%
Arancio	3	3	* 1000(3 zeri)	
Giallo	4	4	10⁴	
Verde	5	5	10⁵	±0,5%
Blu	6	6	10⁶	±0,25%
Viola	7	7	10⁷	±0,1%
Grigio	8	8	10⁸	
Bianco	9	9	10⁹	
Oro	#	#	10⁻¹ (/10)	±5%
Argento	#	#	10⁻²(/100)	±10%

La potenza

La potenza **dissipabile** è la massima potenza che il resistore è in grado di dissipare sotto forma di calore senza che il materiale venga danneggiato.

La potenza **assorbita** che viene trasformata in calore è:

$$P_a = R \cdot I^2$$

La potenza **dissipata** è la quantità di calore che si propaga ogni secondo dal resistore verso l'ambiente è:

$$P_d = (T_i - T_a) / \theta$$

Con

T_i = Temperatura interna del componente

T_a = temperatura ambiente

θ = resistenza termica

Se :

$P_d = P_a$ si ha equilibrio termico

$P_d > P_a$ il resistore si raffredda

$P_d < P_a$ il resistore si riscalda

La potenza

Si ipotizza che la temperatura interna non superi i 150°C e che la temperatura ambiente per definire la potenza dissipabile sia di 40°C.

E' possibile aumentare la potenza dissipabile riducendo la resistenza termica disponendo sull'involucro un opportuno dissipatore.

Ricordiamo che la resistenza elettrica di un pezzo di conduttore è data dalla relazione:

$$R = \rho \cdot (l/S)$$

l=lunghezza del conduttore;

S=area della superficie attraversata dalla corrente;

ρ =resistività del materiale

La resistività

La resistività varia al variare della temperatura, varierà anche il valore ohmico secondo la relazione:

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

Dove α è il coefficiente di temperatura che rappresenta la variazione relativa di resistenza per ogni grado di variazione della temperatura.

R_0 =resistenza di riferimento

Se invece teniamo conto della tensione applicata al resistore, allora il suo valore ohmico può essere espresso dalla relazione

$$R=R_0[1+K_v(V-V_0)]$$

K_v = coefficiente di tensione

V_0 =tensione di riferimento.

Tipi di resistori

La stabilità è un parametro che indica la variazione percentuale della resistenza dopo un tempo di 1000 ore in determinate condizioni di funzionamento.

In alta frequenza occorre tenere conto di:



fenomeni induttivi dovuti alla forma a spirale dell'elemento resistivo

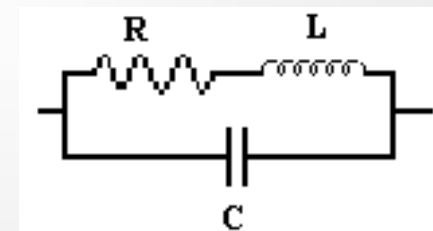
fenomeni capacitivi dovuti alle spire adiacenti del solenoide.

Per questi motivi il circuito equivalente del resistore in alta frequenza non è più rappresentato soltanto da una semplice resistenza ma anche da una induttanza L in serie ed entrambi in parallelo ad una capacità C come in figura.

C = capacità equivalente di tutte le spire

L = induttanza causata dal campo magnetico

R = resistenza



Questi fenomeni si fanno sentire tanto di più quanto maggiore è la frequenza.

Effetto pelle

Inoltre con l'aumentare della frequenza si fa sentire sempre di più l' "effetto pelle" (che tende a concentrare la corrente lungo la superficie di un materiale) per cui la resistenza aumenta in quanto diminuisce la superficie attraverso la quale passa la corrente ;

Con l'aumentare della temperatura aumenta il rumore generato dall'agitazione termica degli elettroni che causa ai capi del conduttore piccole fluttuazioni di tensione; ed è proprio questa tensione a valore medio nullo ma di valore efficace diverso da zero e a densità spettrale costante, che viene definita "rumore bianco".

Tipi di resistori

Da un punto di vista costruttivo , un resistore è formato dalle seguenti parti:

Elemento resistivo (quella parte che viene attraversata dalla corrente e che ne determina il comportamento elettrico)

Supporto dell'elemento resistivo (quella parte di materiale isolante, in genere ceramica, su cui poggia l'elemento resistivo)

Rivestimento di protezione (realizzato con resine sintetiche o vernici isolanti)

Terminali o reofori (realizzati in materiale conduttore per collegare il componente al circuito e saldati a due cappellotti metallici a contatto diretto con l'elemento resistivo).

A seconda del tipo di elemento resistivo possiamo avere:

- **Resistori ad impasto**
- **Resistori a strato o film (spesso e sottile)**
- **Resistori a filo**

Resistori ad impasto

L'elemento resistivo è costituito da polvere di carbone o grafite e resine sintetiche mescolate con materiali inerti quali il talco, in proporzioni diverse a seconda del valore della resistenza che si vuol ottenere. Al cilindro resistivo vengono poi applicati i terminali ed il tutto viene ricoperto da una custodia isolante o da un tubetto di ceramica bloccato agli estremi con cemento. I valori nominali di resistenza vanno da **1Ω a 100MΩ** e le tolleranze sono del 5%, 10%, 20%.

Data la limitata risposta in frequenza non sono molto usati perchè **poco precisi e rumorosi**.



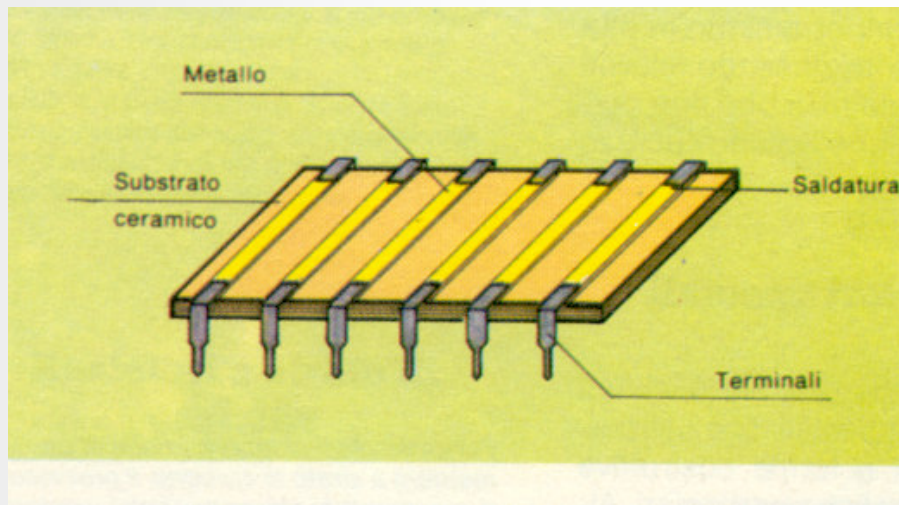
Resistori a strato o a film

L'elemento resistivo è costituito da uno strato o film di materiale conduttore depositato su un supporto di materiale isolante quasi sempre ceramico e avente la forma cilindrica. A seconda dello spessore del film possiamo avere:

- **resistori a film sottile**
- **resistori a film spesso**

Resistori a film sottile

Hanno il film con spessore inferiore ai $5 \mu\text{m}$ ed i materiali usati sono : metalli, ossidi metallici o carbone.



I resistori a strato metallico facilitano l'integrazione. Nello schizzo è possibile osservare la formazione di un gruppo di resistori da utilizzare per un convertitore digitale / analogico di precisione.

Resistori a strato di ossido metallico

Si realizzano mediante deposizioni di ossidi metallici (attraverso reazioni chimiche) su supporti ceramici o di vetro. Impiegano uno strato resistivo Invarox a base di ossido di rutenio depositato su supporto cilindrico ceramico e sono forniti sia terminali a vite per formare catene di resistori e di una apposita guaina retrattile.

Sopportano tensioni max di lavoro da 350V a 900V con valori da 10Ω a $67K\Omega$, ma se ne trovano anche da $100K\Omega$ a $15G\Omega$ per tensioni max di lavoro da 25%50KV. Le tolleranze standard sono del 5%, 2%, 1%.

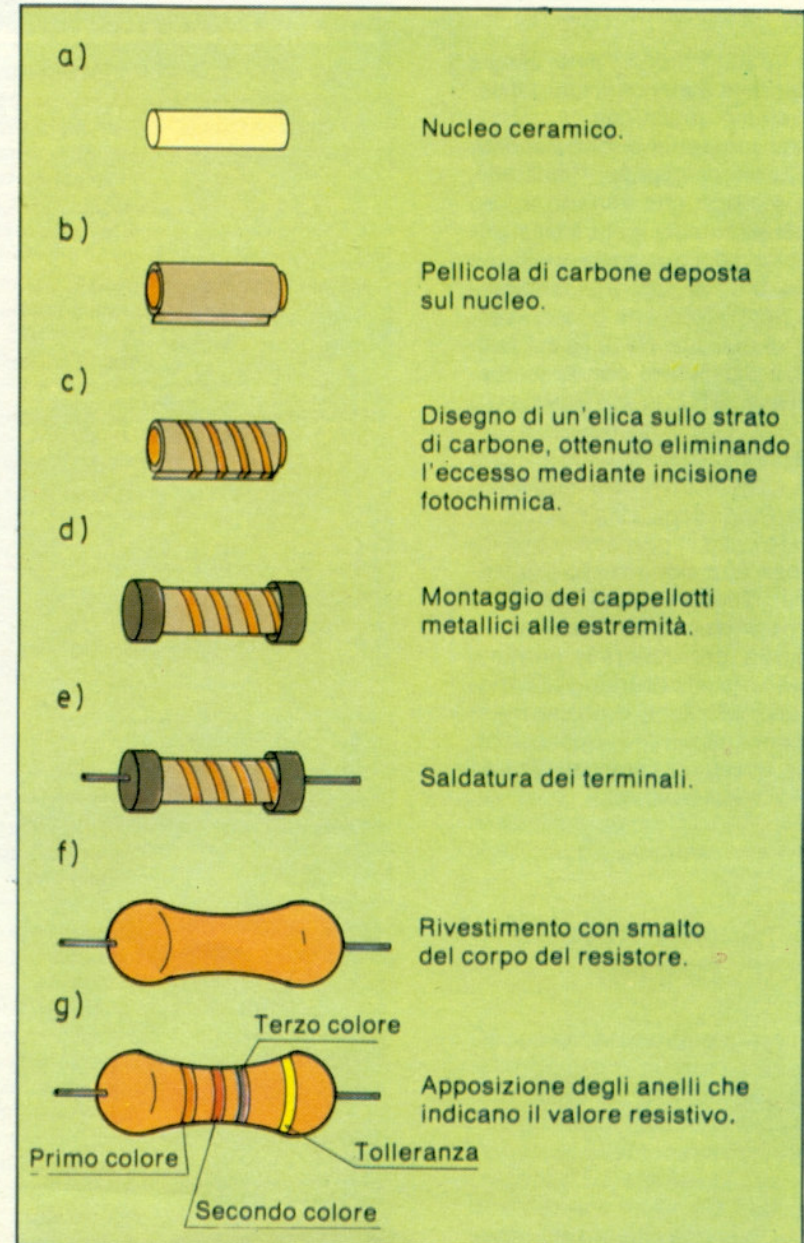
Hanno buona stabilita' elettrica e meccanica, resistono all'umidita', hanno bassa coerente di rumore e non sono infiammabili.

Resistori a strato di carbone

Vengono costruiti in modo simile a quello dei resistori a strato metallico. Lo strato di carbone spiralizzato e' pero' piu' spesso di quello metallico . Sono provvisti o meno di cappuccio agli estremi. Di basso costo sono più precisi e affidabili di quelli ad impasto

Per **spiralizzazione** intendiamo l'incisione del film con un utensile in modo da ottenere una spirale al fine di diminuire la sezione e aumentare la lunghezza dell'elemento resistivo e ottenere una resistenza di valore più alto.

Principali stadi di fabbricazione di un resistore a strato di carbone. Il processo è in generale lo stesso per tutti i resistori a strato.



Resistori a film spesso

Lo strato resistivo è un centinaio di volte più spesso di quello dei resistori a film sottile rispetto ai quali sono meno stabili. Permettono un ottimo smaltimento di calore ed un buon comportamento in frequenza.

Si dividono in :

- **resistori a film spesso di carbone:**

uno strato spesso di carbone (100 volte quello dei resistori a film sottile) viene depositato su un substrato di vetro a 500 °C e protetto da un involucro resistente ad alte temperature. Consentono una elevata dissipazione di calore;

- **resistori a film spesso metal glaze:**

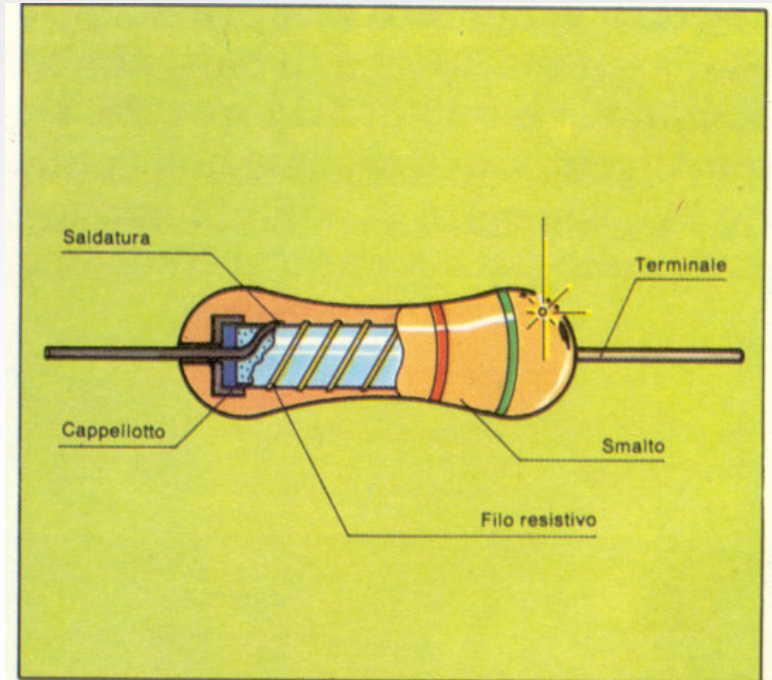
Sono fabbricati utilizzando miscele di polvere di vetro e metallo quali l'argento o il titanio dispersi in un legante. Ad una temperatura di 900-1100 °C la miscela è applicata per immersione su un substrato cilindrico di allumina con velocità controllata allo scopo di regolare lo spessore del film. Il tutto viene poi rivestito da un involucro stampato in resina o da vernice al silicone

- **resistori tipo cermet** (più recenti e utilizzati come resistori variabili):

Il composto resistivo viene qui depositato su un supporto ceramico (da cui la parola Cermet). Si tratta di composti a base di metalli nobili e di loro ossidi e di leganti ceramici e vetrosi dispersi in un veicolo organico resinoso. La cottura avviene a 800-1000 °C. Sopportano tensioni di lavoro max di 1500-3000 V, permettono una forte dissipazione in dimensioni ridotte (hanno, cioè, un eccellente valore del rapporto Potenza dissipabile/Superficie) ed un'ampia gamma di valori ohmici (da 10Ω a 3GΩ).

Resistori a filo.

L'elemento resistivo e' qui' un filo metallico avvolto su un supporto isolante piatto (bachelite) o cilindrico (ceramico). Il diametro del filo è legato al valore della corrente che il resistore deve sopportare, per cui i resistori con potenza maggiore avranno una diametro maggiore.



I vari tipi di lega utilizzati per il filo sono:

- * Nichel-Rame per resistori di grande precisione e stabilita';
 - * Nichel-Cromo per resistori di rilevante potenza;
 - * Nichel-Cromo-Alluminio per resistori con elevati valori di resistenza;
 - * Nichel-Cromo-Ferro per i resistori piu' economici;
- Si utilizza una lega in quanto quest'ultima presenta una resistenza molto piu' elevata dei metalli puri e le dimensioni a parita' di valore di resistenza desiderato diventano accettabili. Sono,pero', piu' cari dei resistori a strato.

Resistori a filo.

Mentre i resistori a strato raggiungono a 70 °C potenze dissipabili fino a 6W 7W, in base alle caratteristiche costruttive, i resistori a filo si possono raggruppare in 3 categorie:



- Resistori a filo smaltati:

Per potenze medie ed alte (da 12W a 100W) sono protetti mediante smalti vetrosi non infiammabili per temperature max di lavoro fino a 400 °C e mediante laccatura per temperature sino a 150 °C. Non si usa invece alcun rivestimento di protezione per potenze sopra il centinaio di Watt al fine di permettere una più efficace dissipazione di calore.

- Resistori a filo cementati:

Per potenze da 2W a 20W, sono avvolti su supporto ceramico o di vetro, coperto da uno strato di cemento resistente alle alte temperature .

- Resistori a filo di precisione:

Per potenze da 0,25W a 2W, utilizzati per apparecchiature professionali. Se provvisti di radiatore metallico sono in grado di dissipare fino a 300W con dimensioni molto contenute. Trovano impiego in apparecchiature come alimentatori di potenza, amplificatori, azionamenti etc.

CARATTERISTICHE

Tipo	Caratteristiche	Applicazioni
A massa resistiva	Bassa potenza e scarsa stabilità termica ed all'invecchiamento; si comportano bene alle alte frequenze	Dove la variazione del valore non sia importante (regolazione manuale)
A strato di carbone	Bassa potenza, buona stabilità generale, precisione < 0,5 %, adatte alla miniaturizzazione.	Applicazioni generali in elettronica: sostituiscono vantaggiosamente le precedenti.
A strato metallico	Molto stabili in tutte le condizioni; precisione < 0,2%, adatte per l'integrazione	Campioni di misura, circuiti ibridi, chip di resistori integrati ed elementi che non necessitano di elevata precisione.
A filo	Potenza medio-alta, precisione < 5 %, stabili alle alte temperature; presentano effetti capacitivi ed induttivi.	Resistori di carico e regolatori di corrente in generale. Componenti che devono dissipare un'elevata potenza o che devono funzionare in ambienti a temperatura elevata.
VDR	Diminuzione della resistenza con l'aumento della tensione.	Stabilizzazione di generatori o di alimentatori.
LDR	Diminuzione della resistenza con l'aumento della luce.	Controllo e misura dell'illuminazione, telecomandi fotoelettrici, televisione.
NTC	Diminuzione della resistenza con l'aumento della temperatura	Controllo e misura della temperatura, protezione di motori.
PTC	Aumento della resistenza con l'aumento della temperatura	Stabilizzatori di corrente, relè ritardatori, eccetera

ESEMPI

	1ª CIFRA	2ª CIFRA	MOLTIPLICAT.	TOLLERANZA
NERO	== ==	0	x 1	10 % ARGENTO
MARRONE	1	1	x 10	5 % ORO
ROSSO	2	2	x 100	
ARANCIONE	3	3	x 1.000	
GIALLO	4	4	x 10.000	
VERDE	5	5	x 100.000	
AZZURRO	6	6	x 1.000.000	
VIOLA	7	7		
GRIGIO	8	8		
BIANCO	9	9		

1ª CIFRA	2ª CIFRA	MOLTIPLICAT.	TOLLERANZA




Fig.45 Le 4 fasce colorate che appaiono sul corpo delle resistenze servono per ricavare il loro valore ohmico. Nella Tabella sottostante riportiamo i valori Standard.

1,0 ohm	10 ohm	100 ohm	1.000 ohm	10.000 ohm	100.000 ohm	1,0 Mohm
1,2 ohm	12 ohm	120 ohm	1.200 ohm	12.000 ohm	120.000 ohm	1,2 Mohm
1,5 ohm	15 ohm	150 ohm	1.500 ohm	15.000 ohm	150.000 ohm	1,5 Mohm
1,8 ohm	18 ohm	180 ohm	1.800 ohm	18.000 ohm	180.000 ohm	1,8 Mohm
2,2 ohm	22 ohm	220 ohm	2.200 ohm	22.000 ohm	220.000 ohm	2,2 Mohm
2,7 ohm	27 ohm	270 ohm	2.700 ohm	27.000 ohm	270.000 ohm	2,7 Mohm
3,3 ohm	33 ohm	330 ohm	3.300 ohm	33.000 ohm	330.000 ohm	3,3 Mohm
3,9 ohm	39 ohm	390 ohm	3.900 ohm	39.000 ohm	390.000 ohm	3,9 Mohm
4,7 ohm	47 ohm	470 ohm	4.700 ohm	47.000 ohm	470.000 ohm	4,7 Mohm
5,6 ohm	56 ohm	560 ohm	5.600 ohm	56.000 ohm	560.000 ohm	5,6 Mohm
6,8 ohm	68 ohm	680 ohm	6.800 ohm	68.000 ohm	680.000 ohm	6,8 Mohm
8,2 ohm	82 ohm	820 ohm	8.200 ohm	82.000 ohm	820.000 ohm	8,2 Mohm