

scheda integrativa **8A** 1**I componenti passivi**

Secondo la terminologia dell'Elettrotecnica classica si considerano **passivi** quei componenti che non contengono generatori, mentre questi ultimi sono detti **attivi**.

In Elettronica il termine attivo viene usato anche per quei componenti utilizzati nella funzione di amplificazione e quindi, in particolare, i transistor e gli integrati che li contengono.

Poiché quando i transistor vengono usati per amplificare si comportano come se contenessero dei generatori, si può dire che sono attivi tutti quei componenti che contengono generatori o sono interpretabili come se li contenessero.

Quest'ultima definizione richiede però un chiarimento: talvolta può capitare che alcuni componenti si comportino come se contenessero dei generatori; questi ultimi però svolgono un ruolo passivo, nel senso che anziché erogare corrente la assorbono: in questi casi non è corretto parlare di componenti attivi. Da quest'ultimo punto di vista anche, per esempio, una batteria, se svolge un ruolo passivo (ovvero assorbe corrente) non dovrebbe, a rigore, essere considerata un componente attivo (anche se normalmente questa distinzione non viene fatta).

In ultima analisi, per chiarire la differenza tra componenti passivi e attivi conviene dire che *sono attivi i generatori e quei componenti che contengono transistor usati come amplificatori*.

In questa scheda vengono riportate le informazioni più importanti per un uso corretto dei resistori, dei condensatori e degli induttori.

Caratteristiche dei resistori

Le principali caratteristiche dichiarate dai costruttori risultano le seguenti.

Valore nominale e relativa tolleranza

I valori disponibili sono quelli delle serie standard. Quelle più diffuse sono la E 12 e la E 24.

Le tolleranze disponibili vanno dallo 0,01% fino al 20% e la più usata in assoluto è quella del 5%.

Le tolleranze, in relazione alle serie, sono le seguenti:

E 6	E 12	E 24	E 48	E 96	E 192
± 20%	± 10%	± 5%	± 2%	± 1%	± 0,5%

Come noto, i valori resistivi sono indicati tramite un codice a colori.

Si tenga infine presente che il valore nominale è normalmente riferito alla temperatura di 25 °C.

Potenza dissipabile

Indica il valore massimo dissipabile dal resistore alla temperatura ambiente di 70 °C. I valori più usati in elettronica sono 1/4, 1/2 e 1 W.

Coefficiente di temperatura

Risulta espresso dalla relazione seguente:

$$T_C = \frac{\Delta R}{\Delta T \cdot R_{nom}} \quad (1)$$

dove R_{nom} è la resistenza nominale.

Spesso per comodità il coefficiente di temperatura viene fornito moltiplicato per 10^6 e indicato con la sigla ppm (parti per milione).

Esempio. Valutare la resistenza a 100 °C di un resistore da 2,2 kΩ nominali a 25 °C con un coefficiente di temperatura di $250 \cdot 10^{-6}/K$ (250 ppm).

Applicando la (1) risulta:

$$\begin{aligned} \Delta R &= T_C \cdot \Delta T \cdot R_{nom} = \\ &= 250 \cdot 10^{-6} \cdot (100 - 25) \cdot 2,2 \cdot 10^3 = 41,25 \, \Omega \end{aligned}$$

e quindi:

$$R_{100} = R_{nom} + \Delta R = 2200 + 41,25 = 2241,25 \, \Omega$$

Rumore

Come verrà meglio chiarito in altra parte del corso, le resistenze sono sede di *un rumore stocastico di tipo bianco* (rumore prodotto dall'agitazione termica degli elettroni con caratteristiche energetiche omogenee a tutte le frequenze) indipendente dai criteri costruttivi delle stesse; a questo rumore si aggiunge il cosiddetto *rumore flicker*, che, oltre che dipendere dai criteri costruttivi, è inversamente proporzionale alla frequenza e, come tale, è particolarmente fastidioso alle basse frequenze.

Quest'ultimo rumore, detto anche rumore $1/f$, risulta anche direttamente proporzionale alla corrente che attraversa il resistore, ovvero alla tensione ai suoi capi. Per questa ragione viene normalmente indicato dai costruttori in $\mu V/V$: il valore effettivo della tensione di rumore si ottiene moltiplicando il valore dichiarato per la tensione continua ai capi del resistore. La tensione di rumore così ottenuta va poi a sommarsi con il rumore bianco, già ricordato.

Stabilità

Poiché nel tempo, in relazione alle condizioni ambientali e d'uso, i resistori possono presentare delle alterazioni del valore resistivo, i costruttori forniscono la stabilità della resistenza espressa dal rapporto $\Delta R/R$ in diverse condizioni di prova.

Cenni costruttivi e confronto tra resistori

La tecnica costruttiva più vecchia e attualmente in disuso è quella **delle resistenze a impasto**. Sono resistenze realizzate con un nucleo conduttivo formato da un impasto di carbone o grafite con leganti chimici e altre sostanze. In relazione alla composizione dell'impasto si ottengono, a parità di dimensioni, i diversi valori resistivi.

Questi resistori presentano scadente stabilità, elevato coefficiente di temperatura ed elevata tensione di rumore.

Prestazioni migliori si ottengono con i resistori **a strato** o **a film**: un sottile strato di materiale conduttivo viene avvolto su un supporto isolante; su questa pellicola conduttiva viene effettuato un solco che attraversa a spirale tutto il cilindro e in relazione alle dimensioni della spirale conduttiva, così realizzata, si ottengono i diversi valori resistivi.

Si possono considerare diversi tipi di resistori a strato: a *strato di carbone*, a *strato di ossido di metallo*, a *strato metallico*, a *strato ceramico* (ceramica più metallo = cer-met) ecc.

In linea generale si può dire che quelle a film di carbone sono le meno buone mentre le migliori sono quelle a film metallico. Unica eccezione si ha per la resistenza ai sovraccarichi, dove si comportano meglio quelle a strato di carbone, che devono essere sicuramente scartate nelle applicazioni a basso rumore.

Per applicazioni che richiedono potenze dissipabili oltre il watt si ricorre a resistori a filo realizzati con un conduttore avvolto o anche immerso in materiale ceramico.

Si ricordano infine i resistori variabili che, nel caso più diffuso, sono a grafite o cermet.

Caratteristiche dei condensatori

Le principali caratteristiche dei condensatori dichiarate dai costruttori sono quelle che seguono.

Capacità e relativa tolleranza

Il valore dichiarato è normalmente riferito alla frequenza di 100 kHz per capacità fino a 1000 pF, alla frequenza di 1 kHz per capacità comprese tra 1000 pF e 1 μ F, a 50 Hz oltre il μ F.

La scelta di queste frequenze è in relazione al campo d'uso più diffuso. I valori normalizzati sono gli stessi dei resistori e le serie più diffuse sono la E 6 e la E 12.

La temperatura di riferimento è normalmente pari a 20 °C (o anche 25 °C).

Tensione di lavoro

In relazione alla rigidità dielettrica dell'isolante esiste un valore massimo di tensione oltre il quale si ha la perforazione del dielettrico stesso.

In pratica, per questioni di sicurezza la tensione di lavoro massima dichiarata dai costruttori è decisamente inferiore (meno della metà) della massima effettivamente possibile. I valori dichiarati sono normalmente due: quello in continua e quello in alternata sinusoidale.

Coefficiente di temperatura

Il coefficiente di temperatura è definito in modo analogo a quello dei resistori:

$$T_C = \frac{\Delta C}{\Delta T \cdot C} \quad (2)$$

Questo coefficiente che può essere sia positivo che negativo, specialmente nei condensatori ceramici, è soggetto a una particolare notazione:

P = coefficiente positivo,

N = coefficiente negativo, NP0 = coefficiente nullo; il numero che segue la sigla indica il coefficiente moltiplicato per 10^6 .

Esempio. Valutare la capacità di un condensatore da 220 pF, del tipo N100, alla temperatura di 60 °C. Supposto che la temperatura del valore nominale sia 20 °C, si ottiene:

$$\Delta C = 100 \cdot 10^{-6} \cdot (60 - 20) \cdot 220 \cdot 10^{-12} = 0,88 \text{ pF}$$

e quindi risulta (tenendo presente che la variazione di capacità è in diminuzione, essendo il coefficiente di temperatura negativo):

$$C_{60} = C_{nom} - \Delta C = 219,12 \text{ pF}$$

Resistenza di isolamento

La resistenza di isolamento è un indice delle perdite nel dielettrico in dc: un buon condensatore deve avere una resistenza di isolamento molto alta, che viene normalmente indicata in M Ω .

Angolo di perdita

Il circuito equivalente di un condensatore reale è riportato in **figura 1a** con evidenziati tutti gli elementi indesiderati.

La resistenza R_p evidenzia le perdite nel dielettrico in AC, dove risultano maggiori che in DC.

La R_s rappresenta la resistenza dei collegamenti e dei reofori e L l'induttanza serie dovuta alle tecniche costruttive.

Il valore di L limita superiormente il campo di frequenze in cui il condensatore è usabile correttamente. In pratica il valore di R_s è molto piccolo e l'effetto di L , se il condensatore è usato in un campo di frequenze corretto, è trascurabile. Il circuito equivalente semplificato risulta pertanto quello di **figura 1b**, a cui corrisponde il diagramma vettoriale di **figura 1c**.

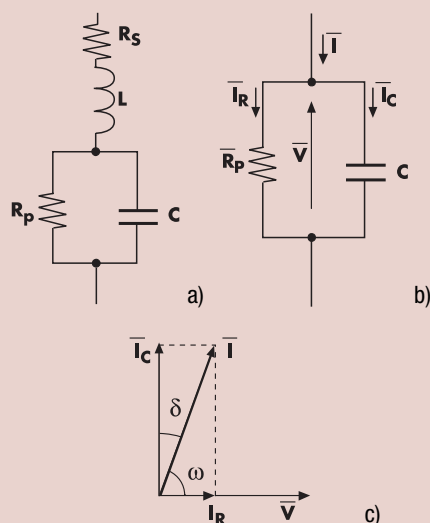


Figura 1 Circuito equivalente completo di un condensatore (a); circuito equivalente semplificato (b); grafico vettoriale del circuito semplificato (c).

Si definisce **angolo di perdita** la differenza δ tra l'angolo retto di teorico sfasamento, tra corrente e tensione, e l'angolo di effettivo sfasamento φ . Questo angolo viene espresso in radianti: poiché si tratta di un angolo molto piccolo, il suo valore è assimilabile con la tangente dell'angolo stesso:

$$\delta \approx \operatorname{tg} \delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{1}{\omega R_p C} \quad (3)$$

Questo parametro viene normalmente misurato a 1,10 e 100 kHz.

Cenni costruttivi e confronti tra condensatori

Si possono considerare quattro categorie principali di condensatori:

- 1) condensatori a **dielettrico plastico**;
- 2) condensatori **ceramici**;
- 3) condensatori **elettrolitici**;
- 4) condensatori **variabili**.

Condensatori a dielettrico plastico

In questi condensatori il dielettrico, realizzato con un sottilissimo film plastico, è interposto tra due sottili fogli di alluminio che realizzano le armature. Il tutto risulta poi, nel caso più semplice, avvolto in modo da formare una struttura cilindrica.

Attualmente per ridurre le dimensioni si sostituiscono i fogli metallici con film plastici metallizzati in superficie.

Tra le resine plastiche più usate si ricordano le seguenti:

- **poliestere** (mylar, melinex, terylene ecc.);
- **polistirolo** (styroflex);
- **policarbonato di polietilene** (macrofol);
- **polipropilene** (teflon).

In linea generale si può dire che i condensatori in polistirolo sono adatti per applicazioni di uso generale e che grazie al piccolo angolo di perdita, si prestano anche per applicazioni in alta frequenza.

Meno validi risultano quelli in poliestere che quindi si adattano solo ad applicazioni di carattere generale; analogo discorso vale per quelli in policarbonato che però risultano mediamente migliori di quelli in poliestere.

Si tenga comunque presente che le tecniche costruttive e le caratteristiche dei materiali sono in continua evoluzione e che, quindi, una scelta più oculata può essere fatta solo consultando i dati tecnici dichiarati dai costruttori.

Questi condensatori sono mediamente disponibili per capacità comprese tra alcune decine di pF fino a $2 \div 3 \mu\text{F}$.

Condensatori ceramici

I condensatori ceramici usano come dielettrico dei materiali ceramici: l'opportuno dosaggio di questi ultimi permette di modificare a piacimento le proprietà dielettriche e il comportamento nei confronti della temperatura.

Si considerano due categorie fondamentali di condensatori ceramici:

- quelli con materiali ceramici a **elevata costante dielettrica** (classe 2);
- quelli con materiali ceramici a **bassa costante dielettrica** (classe 1).

I primi presentano caratteristiche elettriche non molto buone e quindi si adattano all'uso in applicazioni non molto critiche per usi generali, quali il disaccoppiamento e il by-pass. Presentano il vantaggio di permettere la realizzazione di capacità abbastanza elevate (fino a $0,1 \div 0,3 \mu\text{F}$) in spazi ridotti e a basso costo. Nell'ambito dei componenti a basso costo offrono il vantaggio di una piccola componente induttiva serie (nei condensatori a dielettrico plastico solo con opportuni accorgimenti costruttivi si ottiene il contenimento della componente induttiva).

I condensatori ceramici con dielettrico a bassa costante dielettrica presentano prestazioni abbastanza buone e ben si adattano all'uso in alta frequenza. Sono disponibili per capacità che vanno da pochi pF fino a 1000 pF.

Una loro caratteristica, particolarmente adatta alle applicazioni più critiche è la possibilità di avere un coefficiente di temperatura controllato (**fig. 2**).

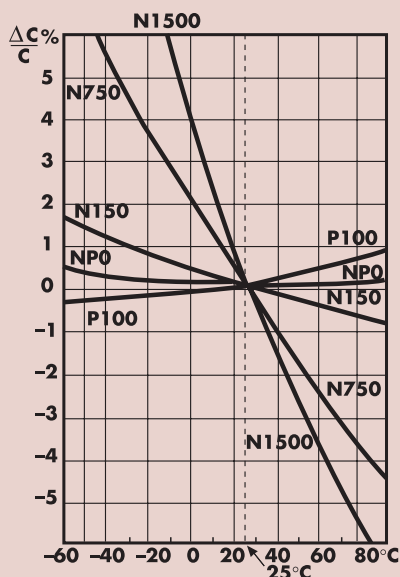


Figura 2 Variazione di capacità relativa in funzione della temperatura nei condensatori con coefficiente di temperatura controllato.

In entrambi i tipi di condensatori ceramici le forme più diffuse sono quella a dischetto e quella a piastrina.

Condensatori elettrolitici

Per la realizzazione di condensatori di elevata capacità (tra 0,1 μF e alcune migliaia di μF) si ricorre a questi condensatori che usano come dielettrico un ossido di metallo (alluminio o tantalio). L'uso di questi ossidi permette di ottenere spessori del dielettrico molto piccoli e quindi capacità elevate in piccoli spazi.

I condensatori più diffusi sono quelli in **alluminio**: un'armatura (l'anodo) è formata da un foglio di alluminio, l'altra armatura (il catodo) è formata da un dielettrico liquido o, più spesso, solido e da un altro foglio di alluminio. Il tutto risulta poi avvolto formando una struttura cilindrica. In sede realizzativa, applicando una opportuna tensione si ottiene per via elettrolitica l'ossidazione dell'alluminio di una delle armature e la formazione della capacità (**fig. 3**).

Per questa ragione questi condensatori sono detti *polarizzati*: per un uso corretto *richiedono di essere inseriti in circuito con la tensione continua* (che deve essere necessariamente presente) *applicata con la giusta polarità*; in caso contrario il processo elettrolitico, avvenendo in modo inverso, distrugge infatti gradualmente l'ossido prodotto in sede costruttiva, formandolo invece sull'altra armatura, ma con una forte produzione di gas che porta alla distruzione del componente.

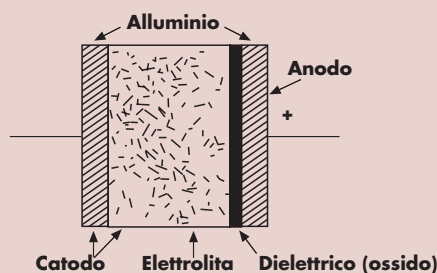


Figura 3 Struttura di un condensatore elettrolitico in alluminio.

Per applicazioni particolari è possibile anche realizzare condensatori *elettrolitici non polarizzati* che in pratica possono essere pensati come due polarizzati in serie con polarità contrapposte.

I condensatori elettrolitici in alluminio presentano mediamente una resistenza in dc abbastanza bassa (e quindi elevata corrente di fuga), elevati angoli di perdita, bassa stabilità, elevata componente induttiva ed elevate tolleranze.

I loro usi più diffusi sono le capacità di disaccoppiamento e by-pass e le capacità di filtro nei rad-drizzatori.

Per ottenere una ulteriore miniaturizzazione si ricorre agli **elettrolitici al tantalio**. Questi ultimi presentano, oltre a una maggiore miniaturizzazione, prestazioni parzialmente migliori, ma a un costo più elevato.

Ultimamente si sono resi disponibili condensatori elettrolitici in alluminio con prestazioni e dimensioni comparabili con quelli al tantalio ma a costi minori.

Condensatori variabili

I condensatori variabili, mentre una volta svolgevano un ruolo di primaria importanza nei circuiti di sintonia per apparecchi radio, attualmente sono usati soprattutto come elementi di taratura (trimmer capacitivi o compensatori).

Mentre in passato avevano larga diffusione i condensatori variabili in aria, attualmente sono più diffusi quelli con dielettrico ceramico o plastico.

I termistori

Si tratta di particolari *resistori che presentano un coefficiente di temperatura abbastanza elevato*, positivo (PTC) o negativo (NTC).

Il caso NTC

Per quanto riguarda gli NTC i dati più significativi sono i seguenti.

► **Resistenza nominale.** Viene valutata alla temperatura ambiente di 25 °C in assenza di potenza dissipata da parte del termistore (ovvero senza che questo sia attraversato da corrente e quindi si trovi alla temperatura ambiente).

► **Fattore di dissipazione.** Indica l'incremento di potenza dissipata, espresso in mW, che consegue a un aumento di temperatura di un grado:

$$D_F = \frac{\Delta W}{\Delta T} \quad [\text{mW}/^\circ\text{C}] \quad (4)$$

► **Costante di tempo termica.** Una NTC, inserita in un ambiente che subisce una variazione di temperatura, tende gradualmente a portarsi alla temperatura ambiente. La costante di tempo termica indica il tempo che impiega la NTC a raggiungere una temperatura che differisce da quella dell'ambiente del 36,8%. In pratica una NTC con piccola costante di tempo presenta una limitata inerzia termica.

► **Caratteristica resistenza-temperatura.** Supposta nulla la potenza dissipata dal termistore (ovvero nell'ipotesi che non sia attraversato da corrente), questo, a equilibrio termico raggiunto, presenta la temperatura dell'ambiente. In queste condizioni è possibile tracciare per ogni NTC un grafico che indichi per ogni valore di temperatura ambiente il corrispondente valore resistivo. La **figura 4** riporta degli esempi di queste curve.

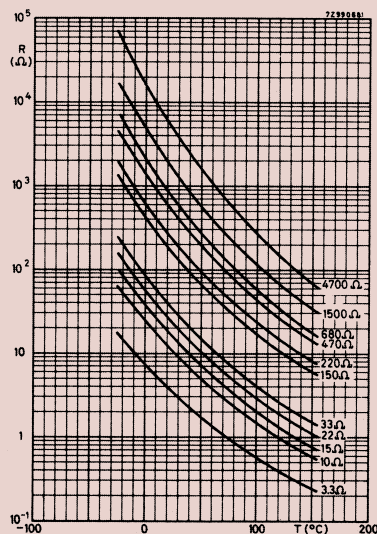


Figura 4 Caratteristiche resistenza-temperatura per alcune NTC.

Queste curve sono con buona approssimazione esprimibili mediante la relazione:

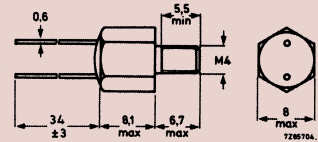
$$R_{Tx} = R_{T0} \cdot e^{B(1/T_x - 1/T_0)} \quad (5)$$

dove R_{Tx} è il valore resistivo alla generica temperatura T_x e R_{T0} è il valore alla temperatura T_0 .

Il parametro B , dipendente dalle caratteristiche costruttive della NTC, può essere ritenuto, con buona approssimazione, costante tra 25 °C e 85 °C, viene fornito dai costruttori in kelvin e indicato con il simbolo $B_{25/85}$.

In **figura 5** sono riportati alcuni esempi di NTC.

Resistance range at +25 °C (E3-series)	3.3 Ω to 470 kΩ
Tolerance	±5%* and ±10%
$B_{25/85}$	2675 to 4650 K
Max. dissipation	0.5 W
Dissipation factor	25 mW/K
Thermal time constant	20 s approx.
Temperature range	-25 to +100 °C



Resistance	5 kΩ to 32.51 kΩ
$B_{25/85}$	3977 K
Max. dissipation	250 mW
Dissipation factor	7.5 mW/K
Thermal time constant	11 s approx.
Temperature range	-40 to +125 °C

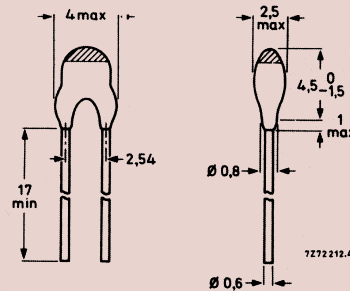


Figura 5 Esempi di NTC.

Il caso PTC

Relativamente alle PTC, analizzando alcune curve tipiche riportate in **figura 6**, si può osservare che nel tratto centrale il coefficiente di temperatura è positivo: per temperature inferiori a un certo valore risulta negativo e tale tende a ritornare a temperature alte.

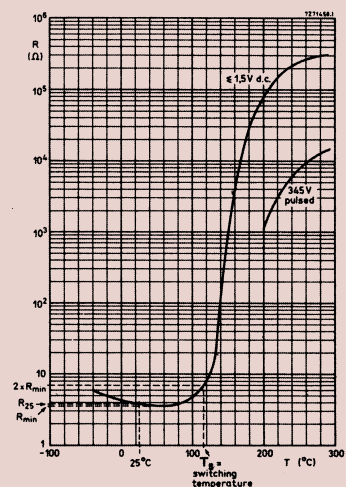


Figura 6 Caratteristica resistenza-temperatura di una PTC.

Tra i dati dichiarati dai costruttori (sotto certi aspetti simili a quelli delle NTC) si osservi in particolare la **temperatura di commutazione** (*switching temperature*) che indica a quale temperatura la PTC assume un valore doppio di quello minimo.

In **figura 7** è riportato un esempio di PTC.

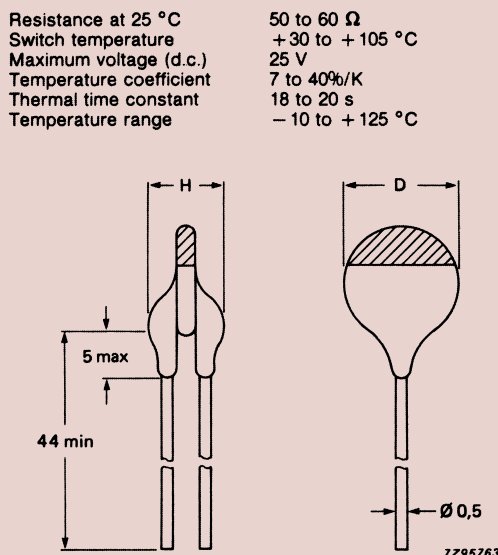


Figura 7 Esempio di PTC.

Gli induttori

Si tratta di dispositivi ottenuti partendo dalla struttura base del solenoide ovvero una bobina ottenuta con l'avvolgimento di più spire di filo conduttore. In termini equivalenti un induttore può essere rappresentato con il circuito di **figura 8**.

In questo circuito R rappresenta la resistenza dovuta alle perdite nell'avvolgimento e alle eventuali perdite nel materiale magnetico (perdite per isteresi e per correnti parassite, qualora per aumentare l'induttanza si usi un nucleo di materiale magnetico); C indica la capacità che si distribuisce tra le spire dell'avvolgimento.

La capacità C limita superiormente il comportamento in frequenza dell'induttore; per un uso corretto si deve evitare di raggiungere frequenze che determinino un effetto capacitivo non trascurabile (in altri termini bisogna operare a frequenze molto minori di quella di **risonanza**).

Supposto di non superare i limiti di frequenza consentiti, si può interpretare l'induttore come in **figura 8b**. In questo caso si ottiene il grafico vettoriale di **figura 8c**. Come si vede, la presenza di una componente resistiva determina uno sfasamento φ tra tensione e corrente minore di 90° e quindi un angolo di perdita tale che:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{V_R}{V_L} = \frac{R}{\omega L} \quad (6)$$

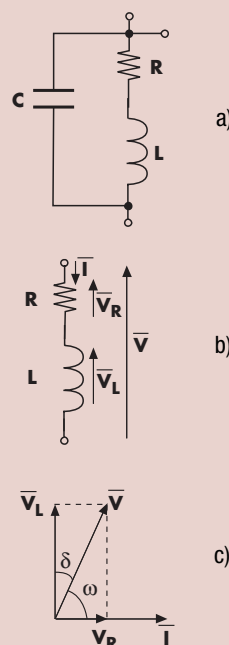


Figura 8 Circuito equivalente di un induttore reale (a), circuito equivalente semplificato (b) e grafico vettoriale del circuito semplificato (c).

Negli induttori si preferisce valutare la qualità degli stessi tramite il **coefficiente di merito** o di **qualità**:

$$Q = \frac{\omega L}{R} \quad (7)$$

Più è grande il valore di questo coefficiente (che è evidentemente l'inverso di $\operatorname{tg} \delta$) e più l'induttore è di buona qualità (basso valore resistivo R rispetto al valore della reattanza ωL).

Nelle applicazioni elettroniche gli induttori non sono molto diffusi ma comunque, in relazione ai campi applicativi, si possono considerare due categorie base:

- ▶ induttori usati per applicazioni in alta frequenza (tipicamente negli apparecchi radio-televisivi);
- ▶ induttori per la realizzazione di filtri in applicazioni audio e per la soppressione dei disturbi.

I primi sono normalmente previsti per lavorare con correnti deboli e quindi usano conduttori con sezione piccola e hanno dimensioni contenute.

Dovendo lavorare in alta frequenza presentano mediamente valori induttivi piccoli (si ricorda che in un induttore la reattanza è direttamente proporzionale alla frequenza) e mediamente tra $0,1 \mu\text{H}$ e $100 \mu\text{H}$.

I secondi richiedono normalmente di operare con correnti più elevate (si pensi per esempio ai filtri di cross-over per gli altoparlanti o ai filtri per evitare i disturbi in rete) ma operando a frequenze più basse devono avere valori induttivi più elevati (mediamente $0,1 \div 100 \text{ mH}$).

Tecniche costruttive e induttori commerciali

In commercio sono reperibili diversi tipi di induttori, sia con avvolgimento in aria che con nuclei realizzati con materiali ad elevata permeabilità magnetica che facilitano la realizzazione di induttanze con un numero limitato di spire (tipicamente ferriti: granuli di materiali ferromagnetici sintetizzati che, al contrario dei materiali ferromagnetici classici, quali per esempio il Fe-Si, permettono di ottenere permeabilità magnetiche abbastanza alte anche a frequenze elevate).

In **figura 9** è riportato un esempio di induttore commerciale miniaturizzato per applicazioni in radio frequenza e con nucleo in ferrite (disponibile per valori mediamente compresi tra 1 μH e 1 mH).

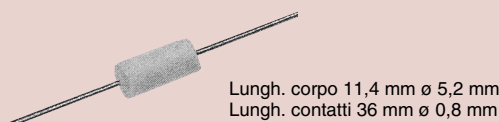


Figura 9 Esempio di induttore commerciale a basso amperaggio con nucleo in ferrite.

In **figura 10** sono riportati degli induttori con nucleo in ferrite adatti a lavorare a frequenze più basse dei precedenti e correnti più elevate, fino a 1-2 A; disponibili per valori mediamente compresi tra 100 μH e 100 mH.

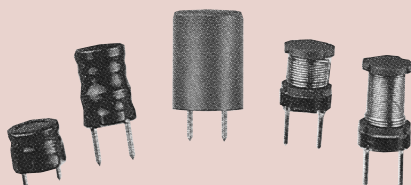


Figura 10 Esempi di induttori commerciali con nucleo in ferrite per basse e medie correnti.

Infine, in **figura 11** è riportata la riproduzione delle parti che compongono un nucleo in ferrite adatto alla realizzazione di induttori a elevata corrente e adatti al montaggio su circuito stampato. Il valore di induttanza dipende dal numero di spire ed è determinabile con una formula empirica in relazione ai dati dichiarati dal costruttore. La presenza di un nucleo regolabile permette la taratura ottimale dell'induttanza.

Nei casi in cui si debbano realizzare induttori senza nucleo perché si rende necessario un valore di induttanza costante in un ampio intervallo di frequenze (per esempio nei filtri di cross-over delle casse acustiche per Hi-Fi), si può procedere utilizzando alcune relazioni di tipo empirico. In particolare, facendo riferimento alla **figura 12** relativa a bobine in aria a uno strato (si usa normal-

mente un filo conduttore di rame smaltato, in modo che le spire risultino tra loro elettricamente isolate), si può usare la formula empirica di *Nagaoka*:

$$L = k \frac{n^2 d^2}{l} \cdot 10^{-2} \quad (8)$$

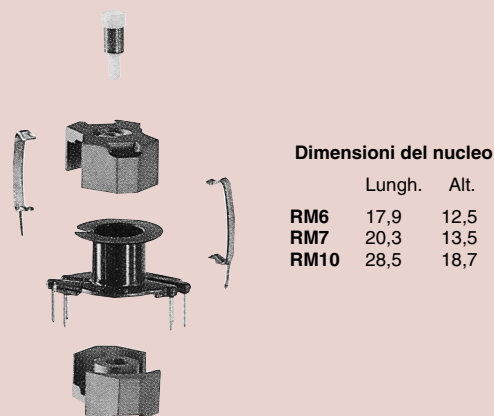


Figura 11 Esempio di struttura commerciale per la realizzazione di induttori per alte correnti con nucleo in ferrite regolabile.

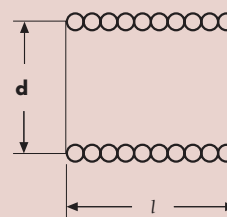


Figura 12 Bobina in aria a uno strato.

In questa formula k è un coefficiente dipendente dal rapporto d/l e n è il numero delle spire. Il diametro d e la lunghezza l vanno espressi in cm e l'induttanza risulta in μH ; k è ricavabile dalla **tabella 1**.

$\frac{d}{l}$	k	$\frac{d}{l}$	k	$\frac{d}{l}$	k
0,05	0,965	0,60	0,778	3	0,425
0,10	0,945	0,70	0,750	3,50	0,390
0,15	0,926	0,80	0,726	4	0,360
0,20	0,907	0,90	0,702	5	0,315
0,25	0,889	1	0,680	6	0,281
0,30	0,871	1,25	0,630	7	0,255
0,35	0,855	1,50	0,587	8	0,234
0,40	0,838	1,75	0,550	9	0,216
0,45	0,823	2	0,518	10	0,200
0,50	0,808	2,50	0,465	20	0,120

Tabella 1 Il coefficiente k della formula (8).

In alternativa alla (8) si può usare la relazione:

$$L = \frac{d^2 n^2}{l + 0,45 d} \cdot 10^{-2} \quad (9)$$

Questa relazione, che è più comoda della precedente in quanto non richiede la conoscenza di k , è valida solo per $l > d/3$. Anche in questo caso l e d vanno espressi in cm e L risulta in μH .

In alternativa alla (9) e con $d/10 < l < d/3$ si può usare la relazione:

$$L = 0,8 \cdot \frac{d^2 n^2}{l + 0,3 d} \cdot 10^{-2} \quad (10)$$

Anche in questo caso l e d vanno espressi in cm e L risulta in μH .

Nel caso che un solo strato di spire non basti a ottenere l'induttanza desiderata, si possono realizzare bobine a più strati. Il modo più semplice di ottenere una bobina a più strati è quella di realizzare i diversi strati procedendo a ritroso rispetto alla fine del precedente (ad esempio il primo effettuando l'avvolgi-

mento da sinistra verso destra, il secondo da destra verso sinistra ecc.). In questo modo, però, aumenta di molto la capacità distribuita e quindi si abbassa il limite massimo di frequenza; questa semplice tecnica è quindi adatta solo per applicazioni in bassa frequenza, mentre per frequenze elevate si ricorre a tecniche più complesse che comunque hanno perso molto della loro importanza grazie all'uso della ferrite, che permette di contenere il numero globale delle spire e quindi anche le capacità parassite che si creano tra le spire stesse.

Per il calcolo dell'induttanza nel caso di più spire si può osservare dalle relazioni precedenti che l'induttanza è proporzionale a n^2 e che quindi, in prima approssimazione, l'induttanza può essere ottenuta dal valore desumibile dalle relazioni precedentemente viste, valide per un solo strato, e moltiplicandola per il numero degli strati al quadrato. Il risultato ottenuto, che è approssimato in difetto (l'errore cresce all'aumentare del numero degli strati), può essere poi ottimizzato sperimentalmente.

VALORI NORMALIZZATI PER RESISTORI E CONDENSATORI

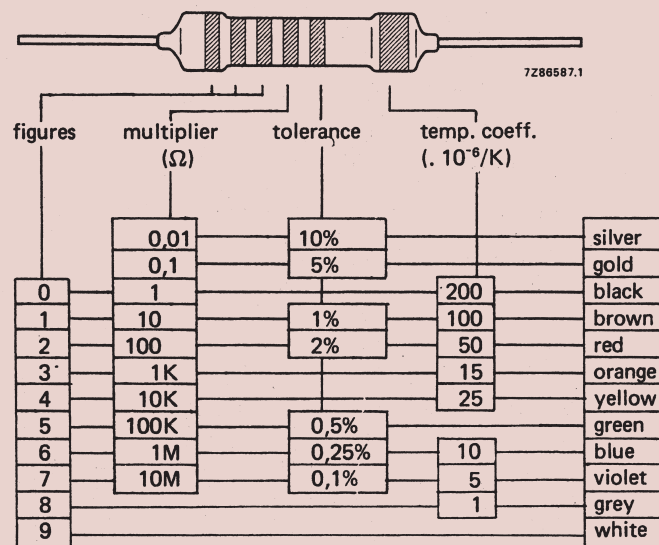
Valori normalizzati secondo le norme IEC (normalmente i valori sono riferiti a 25 °C)

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			920		
113	113		191	191		324	324		549	549		931	931	
114			193			328			556			942		
115	115	115	196	196	196	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		E24	E12	E6
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		

TOLLERANZE DELLE DIVERSE SERIE

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

In commercio è possibile reperire i valori di una certa serie normalizzata anche con tolleranze inferiori a quelle indicate ma non superiori; ad esempio, è possibile trovare valori resistivi della serie E24 con tolleranza del 2% ma non del 10% (salvo, ovviamente, quelli compresi nella serie E12).

CODICE A COLORI DEI RESISTORI**ALCUNE REGOLE PER UN USO CORRETTO DEL CODICE A COLORI**

- Se il codice presenta solo tre strisce si riferisce a resistori con tolleranza 20% (serie E6; attualmente poco usata).
- Se il codice presenta quattro strisce si riferisce a resistori con tolleranza 5 o 10% (serie E12 o E24; le più diffuse).
- Se il codice è a cinque o sei strisce si riferisce a resistori con tolleranze 2, 1 o 0,5% (serie E48, E96, o E192).
- Le prime due o tre strisce più a sinistra indicano il valore base secondo le serie normalizzate.
- La quarta o la quinta striscia si riferisce al coefficiente moltiplicatore (il valore numerico in ohm della resistenza si ottiene moltiplicando il valore di base per il coefficiente moltiplicatore).
- La sesta striscia (se presente) indica il coefficiente di temperatura in ppm (parti per milione) ⁽¹⁾.
- Con cinque e soprattutto con sei strisce la scarsa asimmetria nella disposizione delle strisce colorate può rendere difficile l'individuazione di quale sia la prima e quale l'ultima striscia colorata; si consiglia in questi casi di fare la lettura in entrambi i sensi: il valore corretto sarà quello coerente con i valori numerici normalizzati.

⁽¹⁾ Il coefficiente di temperatura è definito dalla relazione:

$$T_c = \frac{\Delta R}{\Delta T R_{nom}}$$

dove R_{nom} è la resistenza nominale. Il valore desumibile dal codice è espresso in ppm, ovvero è 10⁶ volte più grande del valore effettivo che, quindi, si ottiene (come indicato nella figura del codice) moltiplicando il valore in ppm per 10⁻⁶.

Esempio: valutare la resistenza a 100 °C di un resistore da 2,2 kΩ nominali a 25 °C con un coefficiente di temperatura di 250 ppm.

Applicando la precedente relazione si ottiene: $\Delta R = T_c \Delta T R_{nom} = 250 \cdot 10^{-6} \cdot (100 - 25) \cdot 2,2 \cdot 10^3 = 41,25 \Omega$, e quindi si ottiene: $R_{100} = R_{nom} + \Delta R = 2200 + 41,25 = 2241,25 \Omega$.

NOTE PRATICHE PER I RESISTORI DI POTENZA

Questi resistori hanno normalmente forma parallelepipedica e presentano il valore resistivo direttamente stampigliato sul contenitore (normalmente ceramico). Il valore nei casi più frequenti è espresso in ohm; se compare la lettera R questa se davanti al numero va intesa come “0,” se posta tra due numeri come “,” e se posta a destra del numero vuole solo dire che il valore è in Ω , ad esempio: R15 vuole dire 0,15 Ω - 10R5 vuole dire 10,5 Ω - 18R vuole dire 18 Ω .

Talvolta, se la resistenza è in k Ω , la lettera K sostituisce la R, ad esempio: 1K2 vuole dire 1,2 k Ω - 1K vuole dire 1 k Ω .

NOTE PRATICHE PER LA LETTURA DEI VALORI CAPACITIVI

Condensatori ceramici. Per capacità piccole il valore è espresso in pF e fino a 82 pF il valore è indicato esplicitamente con eventualmente una p o un punto al posto della virgola (ad esempio 8.2 e 8p2 si intendono entrambi 8,2 pF).

Per valori superiori a 100 pF il valore è indicato secondo diversi criteri.

– Due numeri che indicano le due cifre più significative e un terzo numero che indica gli zeri da aggiungere per ottenere il valore in pF (ad es. 121 indica 12 seguito da uno zero ovvero 120 pF, analogamente 152 corrisponde a 1500 pF).

– Il valore è espresso in μ F e questo è esplicitato da una n che segue il numero o svolge la funzione di virgola (ad es. 12n indica 12 nF e 1n2 indica 1,2 nF).

– In altri casi il valore è indicato in μ F senza nessuna lettera, con il punto al posto della virgola e spesso senza gli zeri alla sinistra della virgola (ad es. .001 equivale a 0,001 μ F).

Condensatori a dielettrico plastico (in particolare poliestere). Vengono ancora usate le modalità precedenti. In alternativa la presenza della lettera μ , usata anche come virgola, indica esplicitamente che la capacità è in μ F (ad es. 10n - .01 - μ 01 sono scritture equivalenti infatti 10 nF equivale a 0,01 μ F).

Le lettere che eventualmente seguono il numero indicano la tolleranza (M = 20%, K = 10%, J = 5%) e l'eventuale ulteriore numero indica la tensione di lavoro (ad esempio .15M100 equivale a una capacità di 0,15 μ F con una tensione di lavoro di 100 V).

Eventuali lettere e numeri che precedono l'indicazione del valore capacitivo forniscono indicazioni solo sul modello del condensatore e possono variare da ditta a ditta (ad es. 2A-102M50 indica un condensatore da 1000 μ F con tolleranza del 20% e tensione di lavoro di 50 V; la sigla 2A si riferisce al tipo di contenitore).

Condensatori elettrolitici in alluminio. Viene indicato direttamente il valore numerico espresso in μ F.