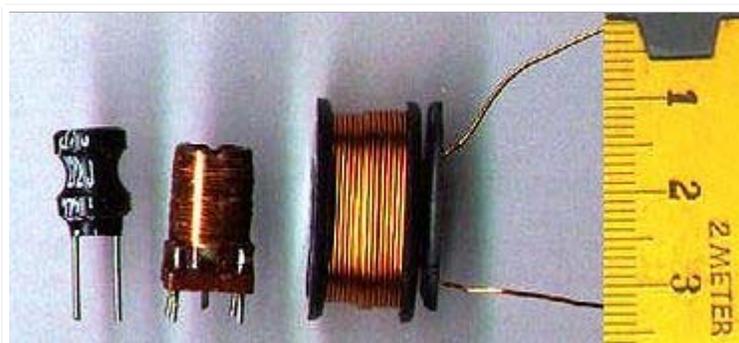


# Induttore

L'**induttore** è un **componente elettrico** che genera un **campo magnetico** al passaggio di **corrente elettrica** (*continua* o *alternata* od *impulsiva*).

Nella **teoria dei circuiti** l'induttore è un componente *ideale* (la cui grandezza fisica è l'induttanza) in cui tutta l'energia elettrica assorbita è immagazzinata nel campo magnetico prodotto. Gli induttori reali, realizzati con un avvolgimento di un filo conduttore, presentano anche fenomeni dissipativi e capacitativi di cui si deve tenere conto.



Vari tipi di piccoli induttori

Inoltre nei circuiti in regime sinusoidale permanente l'induttore determina una differenza di fase di **90 gradi** fra la tensione applicata e la corrente che lo attraversa: in particolare, in queste condizioni di funzionamento la **corrente** che attraversa un induttore ideale risulta essere *sfasata in ritardo* di un quarto di periodo rispetto alla tensione applicata ai suoi morsetti.

Gli induttori sono impiegati in una varietà di dispositivi elettrici ed elettronici, tra i quali i **trasformatori** ed i **motori elettrici** nonché in svariati circuiti a corrente alternata ad alta frequenza.

## Indice

### 1 Fisica dell'induttore

#### 1.1 Realizzazione

#### 1.2 Induttanza

#### 1.3 Energia

#### 1.4 Nei circuiti elettrici

#### 1.5 Reti di induttori

### 2 Applicazioni

### 3 Fattore Q

### 4 Formule per il calcolo dell'induttanza

### 5 Storia

### 6 Immagini

### 7 Sinonimi

### 8 Note

### 9 Voci correlate

## Fisica dell'induttore

### Realizzazione

Un induttore è costituito da un **avvolgimento** di **materiale conduttivo**, generalmente filo di **rame** ricoperto da una sottile pellicola isolante. In pratica si può assumere un induttore come un **solenioide**. Per aumentare l'**induttanza** si usa spesso realizzare l'avvolgimento su un nucleo di materiale con elevata **permeabilità magnetica** (ad es.: **ferriti**). Un induttore può anche essere inserito in un **circuito integrato**. In questo caso comunemente si usa l'**alluminio** come materiale conduttore. È, tuttavia, raro che un induttore sia inserito in un circuito integrato: limiti pratici rendono molto più comune l'uso di un circuito chiamato "**giratore**" che usa un **condensatore** per simulare il comportamento di un induttore. Piccoli induttori usati per frequenze molto alte sono talvolta realizzati con un semplice filo che attraversa un cilindro o una perlina (piccolo anello) di **ferrite**.



Altri tipi di induttori. Quello in alto e quello in basso al centro sono induttori toroidali

### Induttanza

L'induttore è l'elemento fisico, la sua grandezza fisica si chiama **induttanza**. Naturalmente, il filo di rame ha una **resistenza elettrica**, particolarmente alle alte frequenze (**effetto pelle**), e tra le spire vicine vi è un accoppiamento **capacitivo**. Inoltre, vanno tenute presenti le perdite nel nucleo magnetico eventualmente introdotto. Questi ed altri fenomeni parassiti (parassiti perché non voluti) differenziano l'induttore reale dall'induttore ideale. Spesso, nella pratica l'induttore viene chiamato con la sua grandezza fisica (induttanza).

### Energia

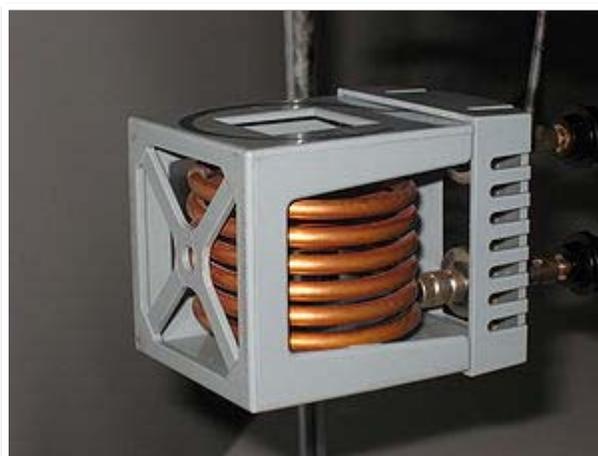
L'**energia** immagazzinata nell'induttore (misurata in **Joule** nel **SI**) è uguale alla quantità di lavoro richiesta per ottenere la corrente che scorre in esso e quindi per generare il campo magnetico. Questa è data da:

$$E_{\text{induttore}} = W = \frac{1}{2}LI^2$$

dove *I* è la corrente che scorre nell'induttore e *L* l'induttanza. *W* invece corrisponde all'energia immagazzinata nell'induttore, infatti viene anche espressa con questa lettera dell'alfabeto.

### Nei circuiti elettrici

Un induttore si oppone solo alle *variazioni* di corrente. Se fosse ideale non presenterebbe nessuna resistenza alla **corrente continua** se non quando viene attivata e quando viene tolta (in questi fenomeni transitori l'induttore tende a smorzare le *variazioni* della corrente). Ma l'induttore reale presenta una resistenza elettrica non nulla e, quindi, il circuito in cui è inserito spende energia anche per mantenere una corrente costante che non varia il campo magnetico creato, ma si dissipa nella resistenza presentata dal filo di rame. In generale, trascurando i fenomeni parassiti (resistenza e **capacità**), la relazione tra la **tensione** applicata agli estremi dell'induttore con induttanza *L* e la corrente *i(t)* che varia nel tempo e scorre nell'induttore è descritta dall'**equazione differenziale**:



Induttore di precisione per esperimenti in fisica

$$v(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

se ne deduce che se una corrente variabile nel tempo, come ad esempio una [corrente alternata sinusoidale](#), scorre nell'induttore, una tensione variabile nel tempo ([alternata](#) nel caso di corrente alternata) o [forza elettromotrice](#) (abbr. f.e.m.) viene indotta ai capi dell'induttore stesso. Questa relazione può essere dedotta dalle equazioni di base dell'elettromagnetismo considerando i fenomeni di induzione elettromagnetica ([legge di Faraday-Neumann-Lenz](#)) e la relazione costitutiva del campo magnetico prodotto da un solenoide. Infatti essendo il campo magnetico  $B$  prodotto da un [solenoid](#):

$$B = \mu \cdot \frac{N}{\ell} \cdot I$$

(con  $N$  numero di spire,  $\ell$  lunghezza del solenoide,  $\mu$  permeabilità magnetica del mezzo posto all'interno al solenoide ed  $I$  intensità di corrente che vi scorre) se la corrente  $I$  che scorre nel solenoide/induttore è variabile nel tempo, anche  $B$  sarà variabile nel tempo. Essendo  $B$  variabile nel tempo, si produce una variazione di flusso del campo magnetico concatenato con il solenoide stesso il che produce, per la legge di Faraday-Neumann-Lenz, un f.e.m. auto-indotta ai capi dell'induttore. Questa differenza di potenziale indotta si oppone, per la [legge di Lenz](#) alla causa che l'ha generata ovvero alla corrente variabile che scorre inizialmente sull'induttore (tramite quindi una corrente di segno opposto) da cui l'opposizione dell'induttore alle *variazioni* di corrente stessa di cui prima. L'energia elettrica iniziale perduta viene immagazzinata sotto forma di energia del campo magnetico nel solenoide/induttore e poi nuovamente rilasciata in forma di energia elettrica (corrente) al cessare dell'alimentazione elettrica dell'induttore, da cui l'aggettivo di elemento 'reattivo' riferito a tale componente.

L'ampiezza della f.e.m. è correlata con l'intensità della corrente e con la frequenza delle sinusoidi dalla seguente equazione:

$$V = I \times \omega L$$

dove  $\omega$  è la pulsazione della sinusoide legata alla [frequenza](#)  $f$  da:

$$\omega = 2\pi f$$

Si definisce reattanza induttiva (dimensionalmente uguale alla resistenza ed alla reattanza capacitiva):

$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$

dove  $X_L$  è la reattanza induttiva,  $\omega$  è la pulsazione,  $f$  è la frequenza [Hertz](#), e  $L$  è l'induttanza.

La reattanza induttiva è la componente immaginaria positiva dell'[impedenza](#). L'impedenza complessa di un induttore è data da:

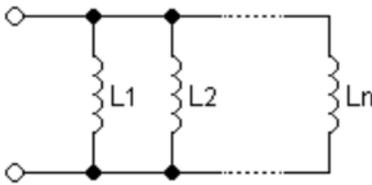
$$Z = j\omega L = j2\pi f L$$

dove  $j$  è l'[unità immaginaria](#).

A meno di fenomeni parassiti come dissipazioni presenti nei casi reali, l'induttore ideale ha quindi impedenza puramente immaginaria pari alla sua reattanza indicando con essa la sua capacità di immagazzinare energia magnetica.

## Reti di induttori

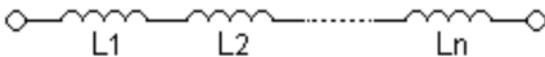
Se vi sono più induttori in **parallelo** nell'ipotesi che la **mutua induzione** tra di loro sia trascurabile, sono equivalenti ad un unico induttore con induttanza equivalente ( $L_{eq}$ ):



$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

Infatti la corrente che viene iniettata su tale rete si distribuisce tra i vari induttori in maniera tale che i prodotti delle loro induttanze per le correnti che li attraversano siano eguali. Questo in virtù del fatto che se la corrente iniettata varia nel tempo, la differenza di potenziale ai capi dei vari induttori deve essere eguale.

Se consideriamo  $n$  induttori in **serie** la corrente che li attraversa è la stessa, se la loro mutua induzione è trascurabile, il flusso concatenato all'insieme degli induttori è pari alla somma del flusso concatenato ad ogni singolo elemento.



Ne segue:

$$L_{eq} = L_1 + L_2 + \dots + L_n$$

## Applicazioni

Un induttore assomiglia ad un **elettromagnete** come struttura, ma è usato per uno scopo diverso: immagazzinare energia in un campo magnetico.

Un'applicazione molto comune è negli **alimentatori** a commutazione (ad esempio: gli alimentatori per **computer**) che, rispetto agli alimentazioni tradizionali lineari, hanno un rendimento molto maggiore.

Per la loro capacità di modificare i segnali in corrente alternata, gli induttori sono usati nell'**elettronica analogica** e nel trattamento dei segnali elettrici, incluse le trasmissioni via etere.

Visto che la reattanza induttiva  $X_L$  cambia con la frequenza, un **filtro** elettronico può usare induttori assieme a **condensatori** ed altri componenti per filtrare parti specifiche dello spettro di frequenza di un segnale. Due o più induttori (con il campo magnetico in comune) costituiscono un **trasformatore** comunemente usato sia negli apparati elettronici che in **elettrotecnica**.

## Fattore Q

Un induttore ideale non presenta fenomeni dissipativi: l'**energia** immagazzinata nel campo magnetico viene restituita

integralmente. In un induttore reale la corrente percorre un filo conduttore, con una sua resistenza, e genera un campo magnetico che attraversa il nucleo (se presente) ed eventuali altri oggetti nelle vicinanze (schermature o altro). La resistenza nel filo a frequenze elevate aumenta per l'**effetto pelle**, proporzionale in modo approssimativo con la radice quadrata della frequenza. Il nucleo ed eventuali materiali magnetici nelle vicinanze hanno un'isteresi che determina perdite proporzionali alla frequenza e **correnti parassite** proporzionali con il quadrato della frequenza. Se i materiali vicini sono conduttori avremo solo perdite per correnti parassite (proporzionali al quadrato della corrente). Tutto questo viene indicato mediante un **fattore di qualità Q** (in inglese: *Q factor*):

$$Q = \frac{\omega L}{R}$$

Più grande è il suo valore, migliore è il rendimento dell'induttore. In pratica è una funzione piuttosto complessa della frequenza (la frequenza compare al numeratore in  $\omega$ , la pulsazione, ma la resistenza  $R$  che compare al denominatore è, come detto, fortemente legata ad essa). Si dovrà scegliere l'induttore in corrispondenza del massimo di questa funzione. In tutto questo non si è tenuto conto dei fenomeni di **saturazione** (corrente troppo intensa) che determinano un crollo dell'induttanza e quindi del fattore  $Q$  e che vanno anche tenuti presenti nella scelta dell'induttore.

## Formule per il calcolo dell'induttanza

1. Formula per il calcolo dell'induttanza in un induttore cilindrico (con nucleo magnetico):

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 A}{l}$$

$L$  = Induttanza in **henry** (H)

$\mu_0$  = **Permeabilità magnetica** assoluta dell'aria (praticamente uguale a quella dello **spazio vuoto**) =  $4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$

$\mu_r$  = permeabilità relativa del materiale costituente il nucleo magnetico

$N$  = numero di spire

$A$  = area della sezione del nucleo magnetico in **metri quadri** ( $\text{m}^2$ )

$l$  = lunghezza del nucleo in **metri** (m)

2. Induttanza di un filo diritto conduttore:

$$L = l \left( \ln \frac{4l}{d} - 1 \right) \cdot 200 \times 10^{-9}$$

$L$  = induttanza in H

$l$  = lunghezza del conduttore in metri

$d$  = diametro del conduttore in metri

Quindi un conduttore lungo 10 mm con un diametro di 1 mm ha un'induttanza di circa 5,38 nH ma lo stesso filo lungo 100 mm ha un'induttanza di 100 nH.

3. Induttanza di un induttore corto cilindrico senza nucleo magnetico in funzione dei suoi parametri geometrici:

$$L = \frac{r^2 N^2}{9r + 10l} \quad (\text{è disponibile un calcolatore } on \text{ line. Vedi nota: } \supseteq)$$

$L$  = induttanza in  $\mu\text{H}$

$r$  = raggio esterno dell'avvolgimento in pollici

$l$  = lunghezza dell'avvolgimento in pollici

$N$  = numero di spire

4. Induttanza di un induttore cilindrico a più strati in aria (senza nucleo magnetico):

$$L = \frac{0.8r^2 N^2}{6r + 9l + 10d}$$

$L$  = induttanza in  $\mu\text{H}$

$r$  = raggio medi dell'avvolgimento in pollici

$l$  = lunghezza degli avvolgimenti in pollici

$N$  = numero di spire

$d$  = spessore degli avvolgimenti (cioè raggio esterno meno raggio interno)

5. Induttanza di un filo avvolto a spirale piatta senza nucleo magnetico:

$$L = \frac{r^2 N^2}{(2r + 2.8d) \times 10^5}$$

$L$  = induttanza in H

$r$  = raggio medio della spirale in metri

$N$  = numero di spire

$d$  = spessore dell'avvolgimento (cioè raggio esterno meno raggio interno)

Quindi un avvolgimento a spirale di 8 spire, raggio medio di 25 mm e spessore di 10 mm dovrebbe avere un'induttanza di 5,13  $\mu\text{H}$ .

6. Induttanza di un avvolgimento su un materiale magnetico di forma toroidale (di sezione circolare) di cui sia nota la permeabilità magnetica relativa  $\mu_r$ :

$$L = \mu_0 \mu_r \frac{N^2 r^2}{D}$$

$L$  = induttanza in H

$\mu_0$  = permeabilità del vuoto =  $4\pi \times 10^{-7}$  H/m

$\mu_r$  = permeabilità relativa del materiale magnetico

$N$  = numero di spire

$r$  = raggio dell'avvolgimento in metri

$D$  = diametro totale del toroide in metri

Le formule riportate sopra danno risultati approssimativi (specialmente la seconda, quella di un filo conduttore diritto).

La più precisa è la sesta che si riferisce ad un induttore toroidale.

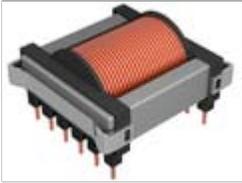
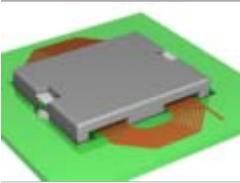
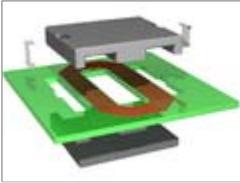
Va notato che, negli avvolgimenti circolari, l'induttanza è proporzionale al quadrato del numero delle spire. Questo è utile nella pratica perché, nota l'induttanza ed il numero di spire di un induttore, si può facilmente modificarne l'induttanza variando il numero di spire con una discreta precisione.

## Storia

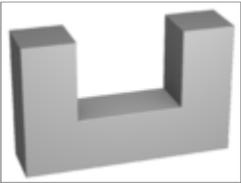
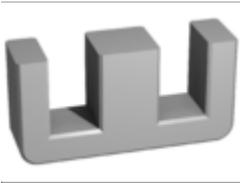
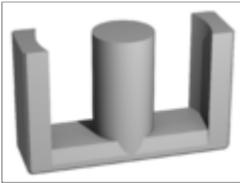
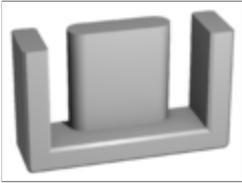
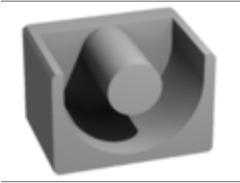
Nel 1885, [William Stanley, Jr.](#) realizzò il primo induttore basandosi su un'idea di [Lucien Gaulard](#) e [John Gibbs](#). Era il precursore del moderno [trasformatore](#).

## Immagini

Immagini di induttori per [circuiti stampati](#):

			
Induttore per circuito stampato	Vista esplosa dello stesso induttore	Induttore per circuito stampato con le spire realizzate sul circuito stampato stesso	Vista esplosa dello stesso induttore

Varie forme di nuclei magnetici per induttanze (immagini realizzate al computer):

			
Nucleo C	Nucleo U	Nucleo E	Nucleo ER
			
Nucleo EFD	Nucleo toroidale	Nucleo EP	Nucleo RM

## Sinonimi

---

Induttanza, bobina, avvolgimento induttivo, reattore, solenoide.

## Note

---

- <sup>^</sup> [Calcolatore \*on line\* per induttore \(sia in pollici che centimetri\)](#). *66pacific.com Resources for amateur scientists* ([http://www.66pacific.com/calculators/coil\\_calc.aspx](http://www.66pacific.com/calculators/coil_calc.aspx))

## Voci correlate

---

- Condensatore
- Induttanza
- Autoinduzione
- Mutua induzione
- Legge di Lenz
- Elettromagnete
- Convertitore buck
- Convertitore boost
- Convertitore buck-boost
- Convertitore DC-DC
- Fattore Q
- Induzione elettromagnetica
- Circuito RL
- Circuito RLC
- Trasformatore
- Giratore

Categorie: [Componenti elettrici](#) | [Teoria dei circuiti](#)