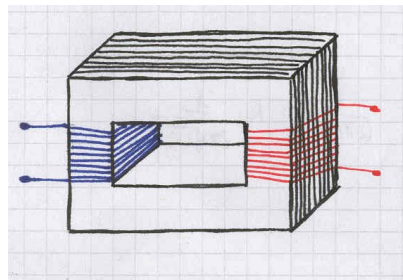


## Applicazioni dell'elettromagnetismo

In questo capitolo analizzeremo le principali applicazioni dell'elettromagnetismo. La trattazione delle [macchine elettriche](#) viene effettuata in un capitolo a parte, essendo l'argomento alquanto vasto.

### Il trasformatore

Il **trasformatore** è una macchina elettrica, il cui compito principale è quello di trasferire energia elettrica variandone i livelli di tensione e corrente. Essendo basato sulle leggi dell'elettromagnetismo un trasformatore non può lavorare in corrente continua, ma perchè esista un trasferimento di energia deve esserci una variazione di flusso all'interno del suo nucleo. Un trasformatore è costituito da un nucleo in lamierini (per ridurre le [correnti di Foucault](#), come già visto nel capitolo relativo all'induzione elettromagnetica) e da uno o più avvolgimenti in rame. L'avvolgimento a cui viene applicata l'energia da trasformare è denominato avvolgimento **primario**, mentre si preleva l'energia trasformata in termini di livelli di tensione e corrente da un avvolgimento denominato **secondario**. La figura mostra lo schema generale di un trasformatore.



Quando viene applicata una tensione ai capi del primario, una volta vinto il transitorio iniziale, l'avvolgimento primario genera un flusso di autoinduzione che percorre il nucleo. La tensione indotta ai capi del secondario vale

$$e_2 = N_2 \Delta\Phi / t$$

dove  $N_2$  è il numero di spire che compongono il secondario.

ma poiché il flusso è costante la tensione indotta, sarà nulla; sottoponendo il trasformatore ad una tensione variabile  $e_1$  applicata al primario, si genera una variazione di flusso pari a:

$$\Delta\Phi / t = e_1 / N_1$$

dove  $N_1$  è il numero di spire al primario.

Questa variazione di flusso si concatena sull'avvolgimento secondario, generando una tensione indotta pari a:

$$e_2 = N_2 \Delta\Phi / t = (N_2/N_1) e_1$$

Il rapporto  $N_2/N_1$  viene definito **rapporto spire**. Dalla relazione si capisce che la tensione che si trova al secondario è funzione della tensione applicata al primario. In particolare cresce con l'aumentare del rapporto spire. Questo ci permette di utilizzare un trasformatore per cambiare il valore della tensione che applichiamo ad un circuito. In particolare se la tensione di uscita risulta maggiore di quella di ingresso si parla di **trasformatore innalzatore**, in caso contrario di **trasformatore abbassatore**.

Allacciando il secondario di un trasformatore su un carico, si avrà circolazione di corrente. Poiché il flusso è in comune per il primario quanto per il secondario, si può anche scrivere che:

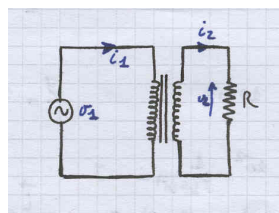
$$N_1 \cdot i_1 = N_2 \cdot i_2 \text{ [AmpereSpira]}$$

Quindi se  $i_2$  è la corrente circolante sul carico e quindi sull'avvolgimento secondario, si avrà un assorbimento di corrente nel primario pari a:

$$i_1 = (N_2/N_1) i_2$$

In realtà il valore di  $i_1$  sarà leggermente maggiore, perchè la corrente di primario dovrà fornire l'eccitazione al trasformatore, in altre parole sarà presente anche una corrente definita **di magnetizzazione**.

Tutto questo fa capire che un trasformatore se lavora in abbassamento, renderà possibile prelevare dal secondario una corrente maggiore rispetto a quella assorbita. Se lavora come innalzatore, renderà disponibile al secondario una tensione maggiore, ma con intensità di corrente limitata rispetto a quella assorbita dal primario. La figura mostra un trasformatore connesso elettricamente ad un circuito.



Da quanto si è detto finora, analizzando un trasformatore dal punto di vista delle potenze, si ha che:

$$p_1 = e_1 \cdot i_1 = e_1 \cdot (N_2/N_1) i_2$$

$$p_2 = e_2 \cdot i_2 = (N_2/N_1) e_1 \cdot i_2$$

se ne deduce che in un trasformatore la potenza al primario viene trasferita al secondario, con rapporto 1 a 1. In realtà si deve tenere conto di diversi fattori quali ad esempio la perdita di flusso nel traferro, le perdite nel rame per effetto Joule, la corrente di magnetizzazione. Un trasformatore comunque riesce a trasferire energia con rendimenti ottimali, se ben costruito anche intorno al 95%. Poichè, però, la potenza al primario tiene conto di tutti questi fattori viene normalmente espressa come potenza apparente in VA.

Dal punto di vista vettoriale i due avvolgimenti si presentano come impedenze:

$$z_1 = e_1 / i_1$$

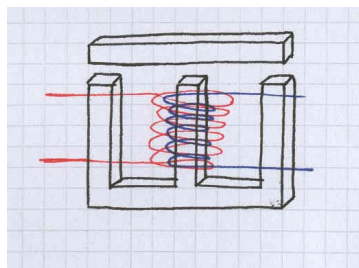
$$z_2 = e_2 / i_2$$

se rapportiamo  $z_2$  e  $z_1$  otteniamo:

$$z_2/z_1 = (v_2/i_2) * (i_1/v_1) = (N_2/N_1)^2 \rightarrow z_1 = z_2 / (N_2/N_1)^2$$

questo significa che l'impedenza al secondario viene "trasferita" al circuito primario divisa per il quadrato del rapporto spire. Come vedremo in seguito, questa proprietà determinerà l'utilizzo del trasformatore come **trasformatore di impedenza**.

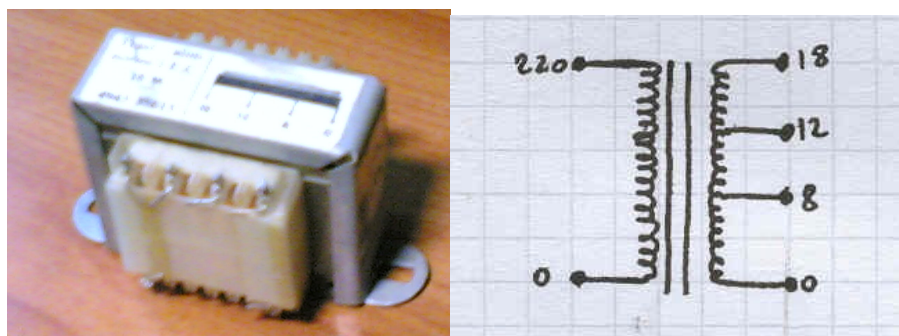
Costruttivamente un trasformatore non si presenta come in figura a inizio capitolo, ma viene avvolto in modo che i due avvolgimenti siano in qualche modo penetrati. In pratica si utilizzano lamierini con forma di E e di I; la figura sottostante illustra la forma costruttiva più comune di un trasformatore.



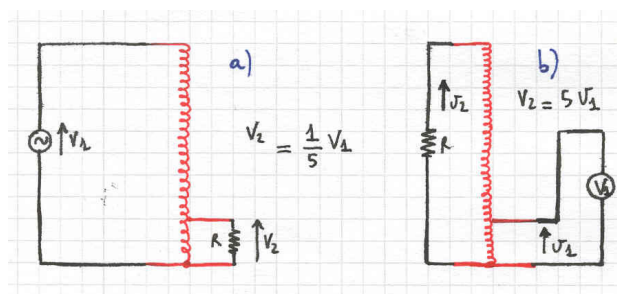
I trasformatori sono macchine molto impiegate in diversi settori, quindi se ne producono di ogni potenza; si parla di trasformatori da pochi VA o decine di VA impiegati in elettronica, sino ad arrivare ai trasformatori di innalzamento delle centrali elettriche che hanno potenza di MVA. Nel settore dei trasporti dell'elettricità il trasformatore viene utilizzato per convogliare energia sulle linee ad alta tensione; il trasporto dell'energia è infatti conveniente per alti valori di tensione, in quanto si hanno perdite più basse. Così all'uscita della centrale che produce energia elettrica la tensione viene elevata a livelli di centinaia di migliaia di volt e convogliata sulla linea. A destinazione i trasformatori abbassatori portano il livello di tensione ad un valore adatto per la distribuzione locale, per esempio intorno ai 15KV. In seguito la tensione viene abbassata ancora nelle cabine di trasformazioni locali per ottenere i livelli di tensioni per le reti domestiche (220V). Nelle industrie in genere è la fabbrica stessa che ha la propria cabina di trasformazione ed abbassa i 15KV ai valori richiesti dai macchinari, tipicamente 380V e 220V (ormai fuori norma l'uso del 500V).

Nei trasformatori di potenze elevate si può avere un raffreddamento mediante olio minerale oppure ventilazione esterna o entrambe.

La figura mostra un moderno trasformatore per usi elettronici; la sua potenza nominale è di 15VA e il suo secondario ha prese intermedie per potere prelevare tensioni differenti.



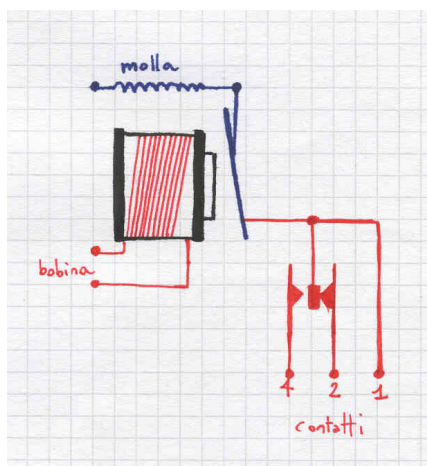
Un particolare tipo di trasformatore in cui esiste un solo avvolgimento e la tensione viene abbassata o innalzata mediante prese intermedie è l'**autotrasformatore**. L'autotrasformatore consiste di un unico avvolgimento realizzato su un nucleo; il rapporto di trasformazione viene eseguito prelevando la tensione al numero appropriato di spira. Nella figura l'autotrasformatore ha un rapporto spire 1 a 5 e viene impiegato come abbassatore (a) e come innalzatore (b).



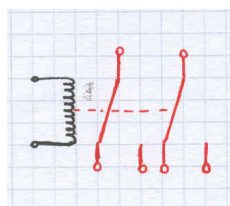
E' da ricordare che per la loro stessa costituzione, gli autotrasformatori non isolano il circuito primario da quello secondario, ovvero non garantiscono quello che si definisce **isolamento galvanico**.

**I relè**

Un'altra interessante e diffusa applicazione dell'elettromagnetismo è la costruzione di dispositivi chiamati **relè**, altrimenti detti **contattori** e nel caso di potenze elevate **teleruttori**. Un relè è essenzialmente costituito da un elettromagnete che quando è alimentato attira a sé un'ancora metallica; questa a sua volta trascina un meccanismo di scambio che apre o chiude delle lamelle di contatto. In questa maniera con una tensione di comando in genere a potenza molto bassa è possibile chiudere dei contatti di potenza su carichi che possono assorbire anche correnti molto elevate. Una molla di richiamo, riporta l'ancora in posizione di riposo, quando la bobina non viene più eccitata dalla tensione di comando. La figura illustra lo schema funzionale di un relè.



Come si vede dalla figura l'azionamento della bobina con un'opportuna tensione di pilotaggio effettua lo scambio sui contatti; la linguetta centrale, che è quella mobile, viene denominata **comune** e fa capo ad un piedino normalmente indicato con il numero 1; in posizione di riposo il comune è chiuso sul contatto che fa capo al piedino 2 tramite quello che si definisce **contatto normalmente chiuso (n.c.)**. Quando la bobina viene eccitata, invece, il comune va a chiudere sul piedino 4 tramite quello che si definisce **contatto normalmente aperto (n.a.)**. Non tutti i relè hanno internamente un deviatore come quello illustrato, alcuni hanno un semplice contatto che lavora in chiusura, quando si eccita la bobina. Altri relè invece contengono più di un deviatore interno e permettono quindi di effettuare diverse funzioni con una sola tensione di comando sulla bobina. Alcuni relè della serie Omron vengono, ad esempio, indicati con le sigle MY2, MY3 e MY4, quando includono al loro interno, rispettivamente, 2, 3 o 4 deviatori. Vediamone lo schema funzionale di un MY2.



Uno dei dati di targa che caratterizza un relè è la tensione di comando della bobina. Essa può essere o in alternata o in continua. I livelli di tensione vanno dai 5V dei piccoli relè, fino ad alcune bobine (peraltro ormai molto rare) comandate a 220V. I valori più comuni di tensioni di pilotaggio sono 5Vdc, 12Vdc, 24Vdc e 24Vac, 110Vac. E' necessario porre molta attenzione nella sostituzione di un relè per quanto riguarda la tensione di pilotaggio. In particolare è molto dannoso sia per la logica di comando che per il relè stesso alimentare una bobina a tensione maggiore di quella prevista. Il pilotaggio di un relè con bobina in continua a regime alternato comporta un cattivo funzionamento del relè ed una vibrazione al suo interno dovuto alla tensione di tipo alternativo. **Il pilotaggio di un relè con bobina in alternata in regime continuo comporta un assorbimento di corrente molto elevato che può gravemente danneggiare sia il relè che l'elemento che lo comanda.** Questo perché una bobina nata per funzionare in regime alternato ha una resistenza d'avvolgimento molto più bassa; l'impedenza complessiva rimane invariata perché l'avvolgimento limita la corrente circolante tramite la sua reattanza induttiva. Pilotando il relè in corrente continua, tale reattanza sarà nulla, come già spiegato e la corrente sarà limitata solo ed esclusivamente dalla resistenza degli avvolgimenti. Misurando tramite tester la bobina di un relè ci si può aspettare un valore di diverse centinaia di ohm.

Oltre alla tensione di pilotaggio della bobina e al numero di contatti di uscita e la funzionalità di essi un altro dato per definire un relè è la corrente che esso è in grado di sopportare sui suoi contatti, nonché la tensione massima applicabile ai contatti aperti. Infatti quando la corrente che circola è troppo alta, un contatto può surriscaldare; inoltre se la corrente è troppo elevata il contatto potrebbe non essere più in grado di interromperla, perché potrebbe generarsi arco voltaico. Infine, per correnti troppo elevate, il contatto potrebbe addirittura incollarsi. Tra le altre cose un relè che interrompe un circuito induttivo è più sollecitato rispetto ad uno che interrompe un circuito puramente resistivo; infatti all'atto dell'apertura del circuito induttivo l'energia accumulata dall'induttore non può annullarsi istantaneamente e si traduce in una grossa scintilla sul contatto che apre. Per quanto riguarda la tensione di funzionamento è bene non eccederla mai, poiché il relè potrebbe non presentare più un buon isolamento o comunque innescare passaggio di corrente tra i contatti, anche se la bobina è diseccitata.

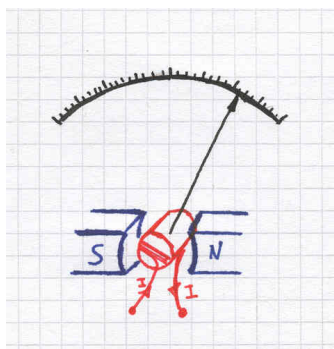
Esistono inoltre relè che effettuano funzioni speciali, quali temporizzazioni, i cosiddetti **temporizzatori** o **timer**; relè che ad ogni impulso di bobina ruotano un albero a camme per la chiusura sequenziale di contatti, generalmente definiti **relè passo passo**; una categoria interessante di relè è quella definita **set-reset**. In tali relè esistono due bobine una chiamata di set e l'altra di reset. Quando viene eccitata la bobina di set il relè si eccita e permane eccitato anche quando la bobina viene diseccitata, togliendo tensione. La condizione di ritorno a riposo viene richiamata eccitando la bobina di reset. Si noti che in tali relè, in caso di presenza contemporanea della tensione sulla bobina di set e su quella di reset, prevale la bobina di reset.

La figura mostra un gruppo di relè di vario tipo.

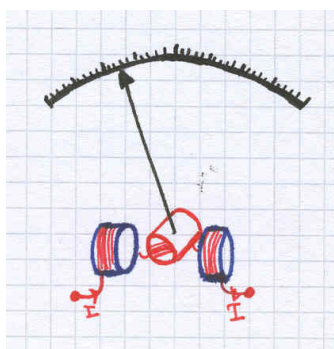


### Strumenti di misura

Un altro impiego molto comune dell'elettromagnetismo si riscontra negli strumenti di misura elettromagnetici; lo strumento di misura più comune per la misurazione della corrente elettrica continua è costituito da una bobina di rame montata tra le espansioni polari di un magnete. La bobina è libera di ruotare sul proprio asse ed è collegata meccanicamente ad un ago che percorre una scala graduata. Quando la corrente da misura circola nella bobina essa ruota di un angolo direttamente proporzionale all'intensità della corrente da misurare e l'ago dà riscontro sulla scala del valore di corrente. Un apparecchio così costruito prende il nome di **galvanometro a bobina mobile**. Ovviamente se connesso opportunamente ad una resistenza può essere facilmente convertito per misurare tensioni. La figura illustra lo schema costruttivo.



L'impiego di strumenti di misura di questo tipo è limitato a correnti e tensioni continue; volendo effettuare misure in alternata sarà necessario rettificarla oppure sostituire il magnete fisso con due bobine collegate come in figura:



In questo modo l'inversione della corrente provoca l'inversione del campo generato dalla bobina mobile, ma anche delle due bobine fisse e l'indice si muove sempre nella stessa direzione.



*prossimo capitolo*



*torna alla pagina dell'elettronica*