

# Appunti per sostenere l'esame da radioamatore.

## " Parte Terza "

(Elettromagnetismo-Circuiti in corrente alternata-Potenze-Trasformatori)

Di IU5HIV , Maurizio Diana

### ELETTROMAGNETISMO

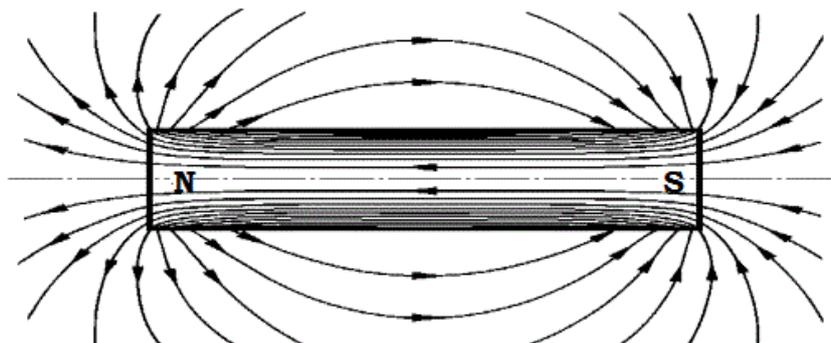
**-MAGNETE PERMANENTE NATURALE:** magnetite(ossido di ferro).

**-MAGNETI PERMANENTI ARTIFICIALI:** sono certi particolari acciai che una volta magnetizzati ,anche allontanando il magnete, conservano più o meno lungamente o addirittura stabilmente una certa magnetizzazione.

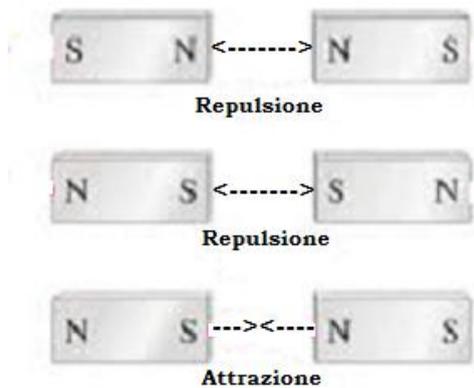
N S	N S	N S	N S
N S	N S	N S	N S
N S	N S	N S	N S

Nei magneti permanenti i magnetini elementari sono tutti ordinati nello stesso modo, nei materiali neutri invece sono disposti in modo casuale in maniera che le loro azioni e influenze si elidono .Praticamente la magnetizzazione consiste nell'orientare tutti questi magnetini in modo regolare e in una direzione fissa.

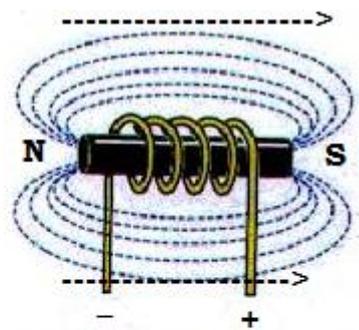
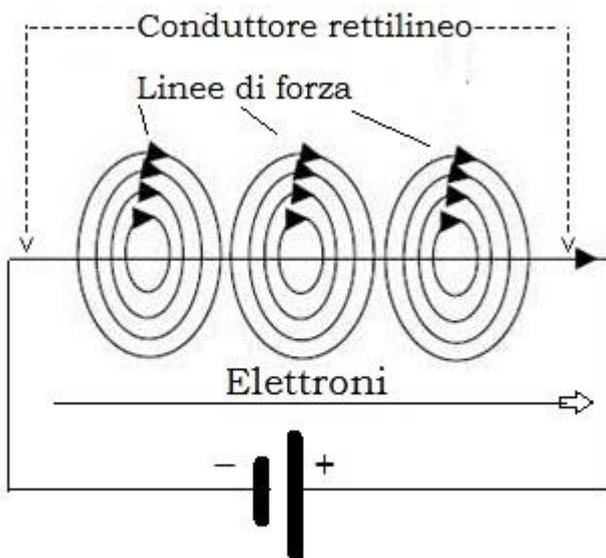
La magnetizzazione indotta da una magnete su un materiale magnetico nelle sue vicinanze avviene in modo che l'estremità del materiale magnetico più vicina al magnete induttore assume polarità opposta a quella del polo più vicino del magnete.



Gli effetti e le azioni reciproche che si manifestano tra i corpi magnetici si trasmettono e manifestano anche attraverso il vuoto: questo si chiama “campo magnetico” e può essere naturale ,come quello terrestre, o di tipo artificiale. Due poli magnetici uguali si respingono mentre due poli diversi si attraggono.



**-ELETTROMAGNETI:** ogni conduttore percorso da una corrente si circonda di un campo magnetico che nasce con la corrente e con essa si estingue .Per un conduttore rettilineo le linee di forza si manifestano come cerchi concentrici che lo circondano perpendicolarmente



Bobina o solenoide con nucleo ferroso per aumentare il campo magnetico .Invertendo il senso della corrente si inverte la polarità.

Un campo magnetico esercita azioni di entità proporzionale alla corrente che lo provoca ed al numero di spire da essa percorse ed è inversamente proporzionale alla distanza delle spire ovvero alla lunghezza del solenoide .Quindi l'intensità del campo magnetico (H) è uguale a :  $H=(N*I)/L$  , dove N è il numero delle spire ,I è la corrente e L la lunghezza del solenoide (il prodotto  $N*I$  viene anche espresso in Ampere/Spire)

<i>Grandezza</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Abbreviazione</i>
Intensità di campo magnetico	H	Ampere al metro	A/m

**-CIRCUITI MAGNETICI:** le corrispondenze tra i circuiti elettrici e relative grandezze ed i circuiti magnetici con relative grandezze magnetiche sono:

Corrente	→	Flusso
Tensione	→	Forza magnetomotrice
resistenza	→	Riluttanza

**-FLUSSO E INDUZIONE:**

<i>Grandezza</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Abbreviazione</i>
Flusso Magnetico	$\phi$	Weber	W

Il Weber è l'unità di misura del flusso magnetico (Weber per metro quadro), però normalmente si usa la "densità di flusso" che viene anche chiamata "flusso di induzione" o più semplicemente "induzione" e consiste nel numero di linee di forza che attraversano una sezione ad area unitaria del circuito magnetico

<i>Grandezza</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Abbreviazione</i>
Induzione magnetica	B	Tesla	T

**-FORZA MAGNETOMOTTRICE:** la f.m.m. ha come simbolo F e si misura in Gilbert che equivalgono a  $1,26 \cdot (N \cdot I)$ .

**-RILUTTANZA:** è la grandezza che presenta un materiale ad opporsi più o meno alla formazione di un campo magnetico ed è analoga alla resistenza elettrica. Le riluttanze in serie e parallelo si comportano come le resistenze in serie e parallelo.

Quindi:

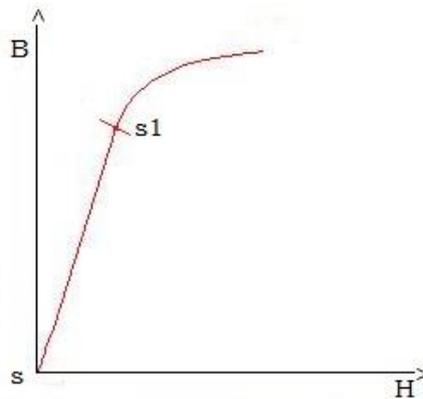
Materiali magnetici = ai conduttori elettrici = a riluttanza molto bassa

Materiali non magnetici = all'aria = a riluttanza molto elevata

## -CARATTERISTICHE DEI MATERIALI MAGNETICI:

-PERMEABILITA' (che corrisponde alla conducibilità elettrica): è la facilità con cui un campo magnetico può essere provocato in un certo materiale paragonata con quella riscontrata in caso di aria. Ad esempio dire che un materiale ha una permeabilità di 2.000 significa affermare che l'effetto magnetizzante prodotto in un blocco metallico racchiuso entro un solenoide percorso da una certa corrente provoca una densità di flusso (o induzione) 2.000 volte maggiore di quella che sarebbe provocata se al posto del materiale magnetico vi fosse dell'aria. Quindi tra il campo magnetico (H) e la densità di flusso (B) esiste la relazione:  $B = \mu * H$ , dove  $\mu$  rappresenta il coefficiente di permeabilità del materiale che si trova all'interno della bobina o solenoide.

-SATURAZIONE: è il punto in cui cessa la rispondenza lineare tra B e H



Quindi tra il punto "s" (punto iniziale dove si comincia a far passare corrente) e "s1", il coefficiente di permeabilità  $\mu$  è praticamente costante.

-PERDITE NEI MATERIALI MAGNETICI: la corrente, quando è variabile, provoca delle perdite di potenza nei blocchi di materiale magnetico inseriti in un solenoide (in genere blocchi di ferro dolce) obbligando il generatore a fornire una potenza supplementare a quella che va immagazzinata nel campo ed a quella che viene dissipata dal conduttore e questo:

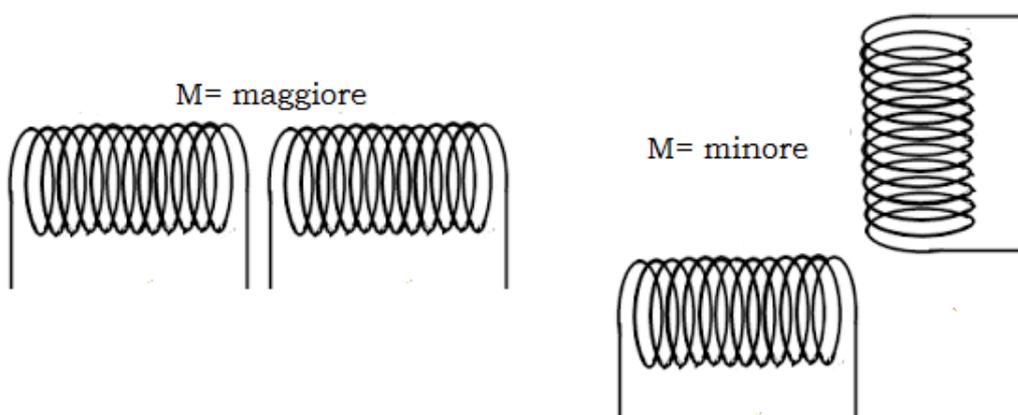
-1) sia perché il ferro diventa sede di una corrente indotta sia perché oppone una certa resistenza che provoca una c.d.t. per effetto joule...quindi per ovviare occorre allora adottare nuclei di ferro amalgamati a resine o ceramiche varie per aumentarne la resistività e limitare la corrente che vi circola e diminuire il più possibile la loro sezione per aumentarne ancor più la resistenza.

-2) sia perché il ferro inserito in un induttore è immerso in un flusso continuamente variabile provocato dalla corrente alternata che lo attraversa, quindi l'inerzia sua naturale che presenta nel seguire queste alternanze provoca ancor più una elevazione di potenza da parte del generatore di corrente.

**-INDUZIONE ELETTROMAGNETICA:** il fenomeno dell'induzione elettromagnetica consiste nel nascere di tensioni elettriche o f.e.m. sul conduttore considerato, a spese del campo magnetico.

**-LEGGE DI LENZ:** dice che " la f.e.m. indotta ha sempre un verso tale da determinare una reazione che si oppone al processo di induzione che la genera". Ovvero: o variando il campo magnetico , oppure avvicinando un magnete a una bobina, durante lo spostamento sulla bobina si genera una tensione o una corrente per effetto dell'induzione che trasforma la bobina stessa in un elettromagnete con la formazione di un polo sud che sarà affacciato al polo sud del magnete che si sta avvicinando e in tal modo i due dispositivi si respingeranno ; viceversa, allontanando il magnete ,e solo durante lo spostamento, la corrente circolante sulla bobina avrà un verso tale da generare un polo nord sul lato affacciato al polo sud del magnete e quindi ora si avrà una forza di attrazione tra bobina e magnete.

**-MUTUA INDUZIONE:** se due circuiti invece rimangono nella stessa posizione , il nascere di una f.e.m. o di una corrente indotta si può ottenere variando il flusso di induzione, quindi se un solenoide percorso da corrente è posto nelle vicinanze di un secondo solenoide, il campo magnetico del primo viene ad interessare anche il secondo e ogni qualvolta nel primo solenoide si verifica una variazione della corrente circolante, sul secondo si ha una f.e.m. indotta. A parità di costruzione dei solenoidi e di correnti, più i solenoidi sono vicini e più risulta ampio il fenomeno ,idem se l'orientamento dei relativi assi è parallelo o allineato il fenomeno risulterà più ampio.



L'accoppiamento tra i due circuiti si definisce "mutua induzione" e il flusso che abbraccia uno dei due circuiti quando l'altro è percorso da corrente unitaria è assunto come termine di riferimento per il grado di accoppiamento e si definisce "coefficiente di mutua induzione" e si indica con "M". In conclusione "M" dipende dalla forma e dalle dimensioni dei due circuiti, dalla loro posizione e distanza reciproca, dalla permeabilità del materiale eventualmente interposto.

**-AUTOINDUZIONE:** è l'effetto di induzione elettromagnetica che ogni circuito esercita su se stesso semplicemente ed esclusivamente in conseguenza delle variazioni della corrente che lo percorre. Denominata anche f.c.e.m.(forza contro-elettromotrice), la sua entità dipende dal numero di spire che costituiscono la bobina e dalla corrente che l'attraversa. Quando la tensione applicata alla bobina vi si sta localizzando ai capi, la f.c.e.m. le si oppone rallentando la comparsa della corrente, quando la tensione applicata si sta azzerando, la f.c.e.m. risulta della stessa polarità e tende così a mantenere la corrente. Quindi l'effetto dell'autoinduzione è quello di opporsi a qualsiasi cambiamento (specie se brusco) di corrente entro il circuito che ne è dotato.

**-INDUTTANZA:**

<i>Grandezza</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Abbreviazione</i>
Induttanza	L	henry	H

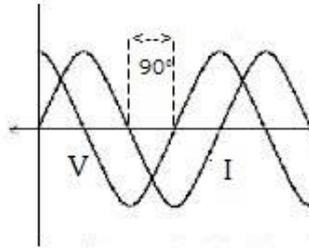
Sottomultipli:

mH= millihenry= 1/1.000H = 10<sup>-3</sup> H ;

μH= microhenry= 1/1.000.000H= 10<sup>-6</sup> H (oppure 10<sup>-3</sup> mH)

Visto che l'entità del flusso magnetico  $\Phi=L \cdot I$  , quindi L è l'induttanza ,la sua unità di misura l'Henry, e rappresenta l'induttanza di un circuito che percorso da una corrente di 1° genera un flusso di 1Wb(Weber).

**-ANDAMENTO TENSIONE-CORRENTE:** la f.e.m. di autoinduzione che si localizza ai capi di un'induttanza è sfasata in anticipo di 90° (o ¼ di ciclo) rispetto alla corrente che la percorre



Quando si interrompe un circuito affetto da una certa induttanza scocca sempre una scintilla che costituisce la manifestazione visiva della trasformazione in calore dell'energia che era intrinsecamente connessa al campo, la restituzione di questa energia è veloce perché altrimenti dopo non ci sarebbe più circuito in cui manifestarsi.

**-REATTANZA INDUTTIVA:** è l'opposizione che una bobina offre alla circolazione di una corrente alternata, ovvero essa rappresenta la reazione che produce, in conseguenza del passaggio di una corrente alternata, lo stabilirsi ai capi di un'induttanza di una data tensione V.

Si esprime con la formula  $X_L = 2\pi fL$  e si misura in Ohm quando f è in Hz o MHz ed L in H o  $\mu\text{H}$ ; dove  $\pi = 3,1416$ , f=frequenza, L= induttanza.

La reattanza induttiva aumenta con l'aumentare della frequenza.

**-INDUTTANZE IN SERIE:**  $L_T = L_1 + L_2 + L_3 \dots$

**-INDUTTANZE IN PARALLELO:**  $1/L_t = 1 / (1/L_1) + (1/L_2) + (1/L_3) \dots$  nel caso di due sole induttanze in parallelo il calcolo è  $L_T = (L_1 * L_2) / (L_1 + L_2)$ .

**-TIPI DI BOBINE:**

-BOBINE PER BASSA FREQUENZA: con valori tra frazioni di Henry e molti Henry sono in genere realizzate con numero elevato di spire su nuclei ferrosi di vario tipo.

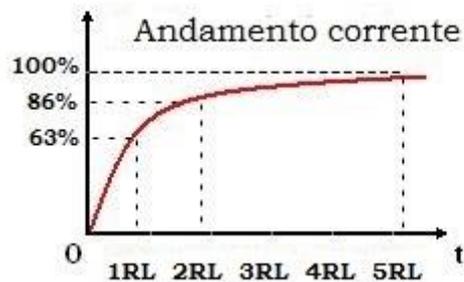
-BOBINE PER ALTA FREQUENZA (o radiofrequenza): sono spesso avvolte in aria (cioè senza contenere alcun supporto magnetico) oppure su nuclei di materiali particolari che possono in questo caso essere variabili, in modo da poter alterare entro certi limiti il valore d'induttanza.

-**EFFETTO PELLE:** la corrente alternata incontrando nella zona centrale del conduttore una reattanza molto elevata, preferisce percorrere il conduttore disponendosi nella sua zona periferica, specialmente se è corrente a radiofrequenza essa passa solo entro un piccolo anello a ridosso della superficie esterna dove trova

bassa reattanza, però essendo per questo motivo la sezione effettivamente sfruttata molto inferiore a quella totale, c'è la necessità a frequenze alte che siano usati conduttori con diametro elevato.

**-COSTANTE DI TEMPO:**  $T = L/R$  , dove T viene espresso in secondi, L in Henry e R in Ohm.

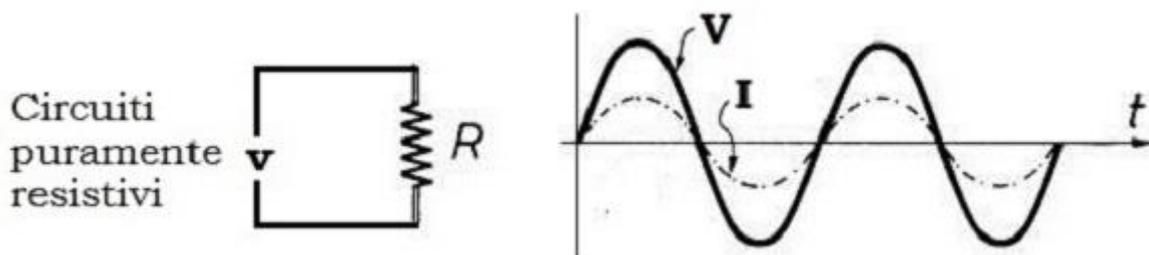
In un circuito RL :  $1RL$  è il tempo che occorre alla corrente in circuito a salire al 63% del suo valore di regime,  $2RL$  a salire all'86% e  $5RL$  ad arrivare al 100% circa.



### CIRCUITI IN CORRENTE ALTERNATA

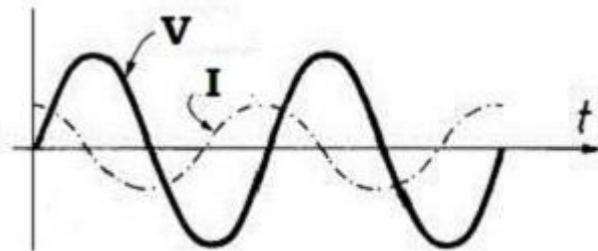
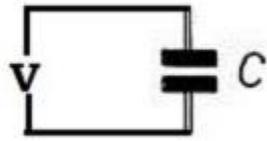
Relazioni fra tensioni e correnti in circuiti in corrente alternata costituiti da sola resistenza ,sola capacità ,sola induttanza:

Nei circuiti puramente resistivi tensione e corrente viaggiano in fase e la legge di Ohm ,come quella di Joule, sono valide sia in c.a. che in c.c.



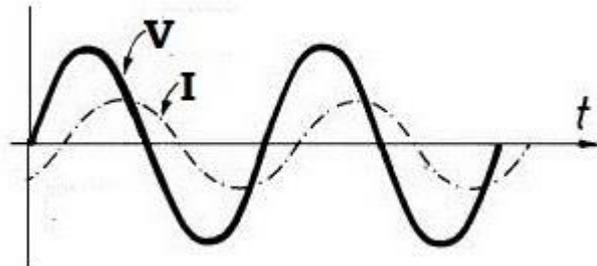
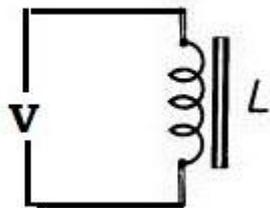
Nei circuiti puramente capacitivi la corrente è in anticipo di  $90^\circ$  ( $\frac{1}{4}$  di ciclo) sulla tensione

Circuiti puramente capacitivi



Nei circuiti puramente induttivi la tensione è in anticipo di  $90^\circ$  ( $\frac{1}{4}$  di ciclo) sulla corrente

Circuiti puramente induttivi



**-COMBINAZIONI DI REATTANZE:** per convenzione alla reattanza induttiva si applica il segno positivo e a quella capacitiva il segno negativo. Visto che in un circuito se vi sono sia una bobina che un condensatore le rispettive reattanze introducono sfasamenti di  $90^\circ$  ma di tipo opposto:

-1) Se capacità e induttanza sono in serie il loro effetto reattivo sarà:

$$X_T = X_L - X_C$$

e il risultato può essere sia positivo che negativo a seconda se prevale rispettivamente la reattanza induttiva o quella capacitiva, se invece  $X_L = X_C$  (ovvero a zero) abbiamo un circuito risonante in serie.

-2) Se capacità e induttanza invece sono in parallelo il loro effetto reattivo sarà:

$$X_T = (X_L \cdot X_C) / (X_L - X_C)$$

e il risultato può essere anche in questo caso positivo o negativo a seconda se prevale  $X_C$  o  $X_L$ , mentre se  $X_L = X_C$  la reattanza risultante sarà di valore infinito e avremo un circuito risonante in parallelo.

### -LEGGI DI OHM PER SOLE REATTANZE:

$$I = V/X \quad V = I*X \quad X = V/I$$

(X può essere sia XC che XL .)

### -IMPEDENZA:

<i>Grandezza</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Abbreviazione</i>
Impedenza	Z	Ohm	Ω

Visto che le reattanze pure introducono uno sfasamento di 90° in più o in meno tra tensione e corrente, mentre le resistenze pure non provocano alcuna rotazione di fase, se in un circuito abbiamo tutti e due questi valori combinati insieme succede che l'angolo di fase con cui la corrente circola sarà compreso tra 0° e 90° rispetto alla tensione applicata e questa opposizione complessa viene chiamata "impedenza" (in effetti questo termine si può applicare anche ad uno solo dei componenti).

### -RESISTENZA E REATTANZA IN SERIE:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

### -RESISTENZA E REATTANZA IN PARALLELO:

$$Z = \frac{R*X}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$

### -LEGGI DI OHM PER IMPEDENZE:

$$I = V/Z \quad V = I*Z \quad Z = V/I$$

Naturalmente in tutte queste formule prima bisogna calcolare il valore di X risultante dalle varie reattanze presenti e poi si applicano le formule.

### -POTENZE:

-POTENZA ISTANTANEA(ovvero potenza apparente ,svattata o reattiva):  $P=V*I$  , è il prodotto fra i valori che assumono in un determinato istante corrente e tensione.

Induttanza e capacità assorbono energia (e quindi potenza) dalla sorgente di alimentazione quasi come fosse un prestito in quanto la restituiscono tutta, quindi un'induttanza o capacità pura non assorbono (e quindi non devono dissipare) alcuna potenza, pertanto la "potenza apparente"  $P_a = V \cdot I$  ed è quella totale assorbita dal circuito.

<i>Grandezza</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Abbreviazione</i>
Potenza apparente	P	VOLT AMPERE	VA

Da questo la "potenza reale o attiva" che si misura in Watt è:

$$P = (V \cdot I) \cdot \cos \varphi$$

( $\cos \varphi$  è lo sfasamento tra V e I in alternata)

ed è quella consumata, utilizzata, nel circuito.

RENDIMENTO: è il rapporto tra la potenza reale attiva e quella apparente ovvero è il fattore di potenza

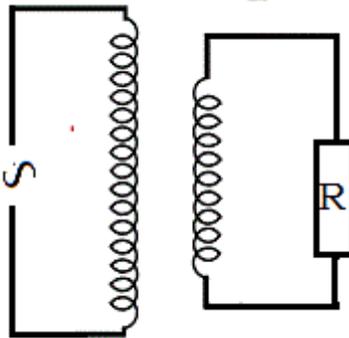
$$\frac{P \text{ (Pot.reale attiva)}}{P_a \text{ (Pot.apparente)}} = \cos \varphi$$

## TRASFORMATORI

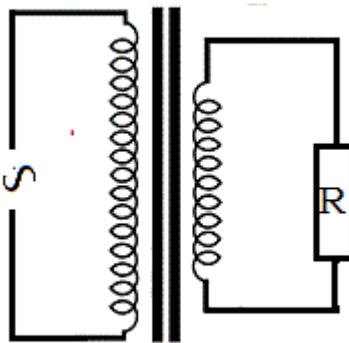
Il nome di trasformatore deriva dal fatto che a seconda del modo in cui sono realizzati e accoppiati i due avvolgimenti, i valori di tensione e corrente che caratterizzano il primario possono essere trasferiti e trasformati secondo rapporti diversi nel secondario.

Un trasformatore è un dispositivo che serve a trasferire dal primario al secondario integralmente (a parte le inevitabili perdite di rendimento) un certo ammontare di potenza, cioè un certo prodotto  $V \cdot I$ , che nel trasferimento resta costante pur variandone i singoli termini V e I, a seconda della sua struttura fisica ed in funzione dei carichi applicati.

-TRASFORMATORI SENZA NUCLEO MAGNETICO: in genere per le alte frequenze in quanto anche con un numero limitato di spire riescono a raggiungere reattanze elevate (grazie proprio alle frequenze alte).

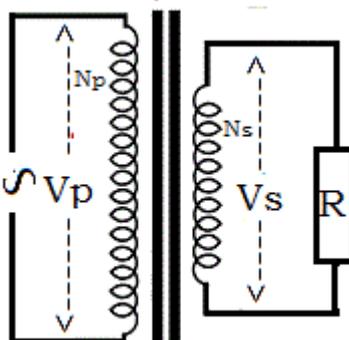


TRASFORMATORI CON NUCLEO MAGNETICO: in genere per frequenze industriali o audio per avere induttanze alte contenendo le dimensioni.



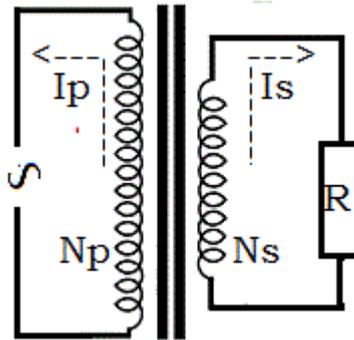
-CORRENTE MAGNETIZZANTE: è quella che scorre nel primario quando il secondario non è percorso da alcuna corrente.

-RAPPORTO DI TRASFORMAZIONE SPIRE/TENSIONE (in un trasformatore ideale): consiste nel fatto che fra tensione primaria e secondaria vi è lo stesso rapporto che esiste fra il numero di spire dei due avvolgimenti



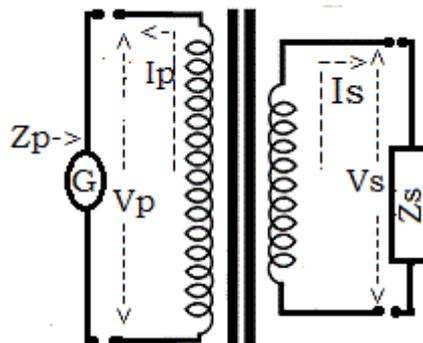
$$n(\text{rapporto di trasformazione}) = V_p/V_s = N_p/N_s$$

RAPPORTO DI TRASFORMAZIONE SPIRE/CORRENTE(in un trasformatore ideale): la corrente è in un verso che si oppone...per la legge di Lenz .



$$n(\text{rapporto di trasformazione}) = I_s/I_p = N_p/N_s$$

Oltre che a variare tensioni e correnti , un trasformatore di conseguenza serve a variare pure delle impedenze



$$V_s = V_p/n \quad I_s = n \cdot I_p \quad Z_p = V_p/I_p \quad Z_s = V_s/I_s \quad \text{quindi :}$$

$$n = \sqrt{\frac{Z_p}{Z_s}}$$

-AUTOTRASFORMATORE: quando il carico , invece di essere applicato ad un avvolgimento che è collegato al generatore , viene invece collegato ad una presa sul primario si dice che è un autotrasformatore

