

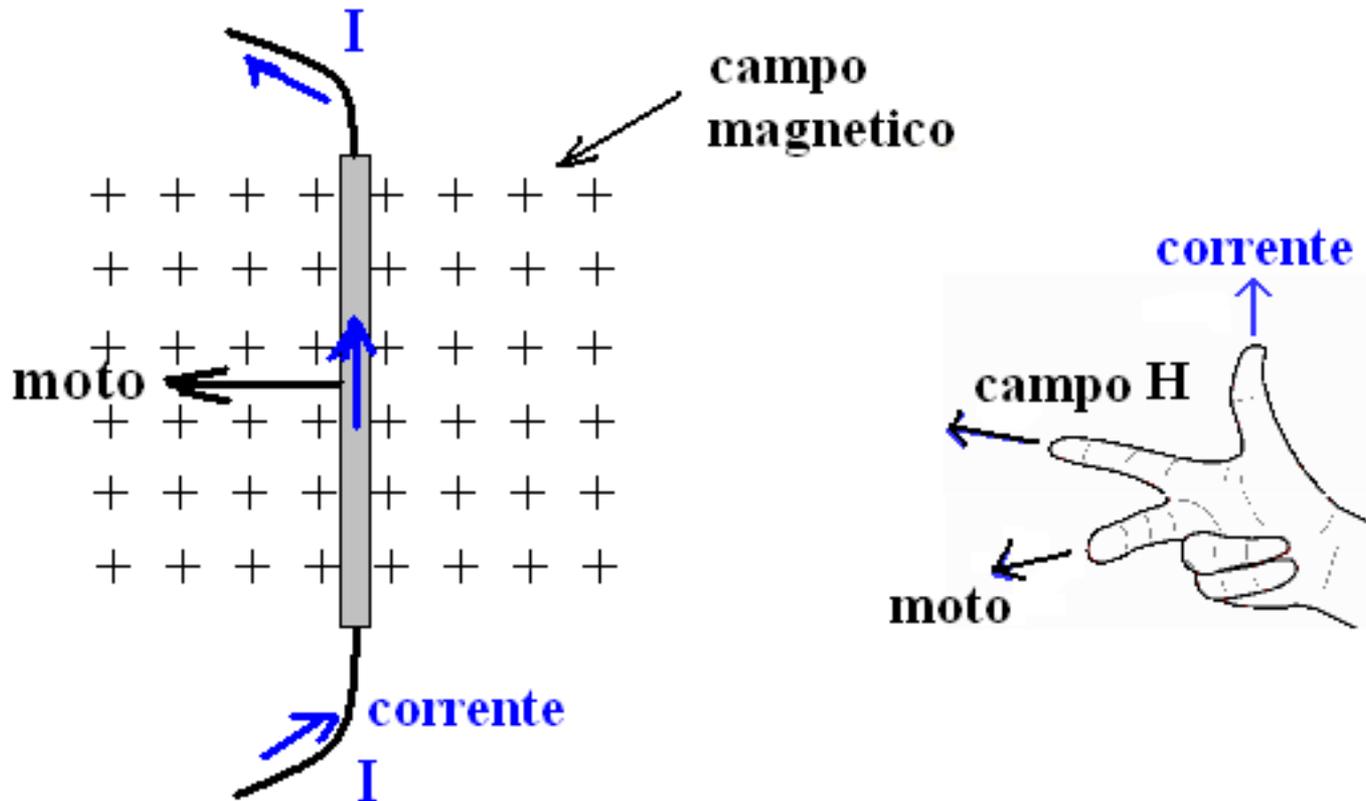
A.R.I. - Sezione di Parma

Corso di preparazione esame
patente radioamatore 2020

Induzione e filtri

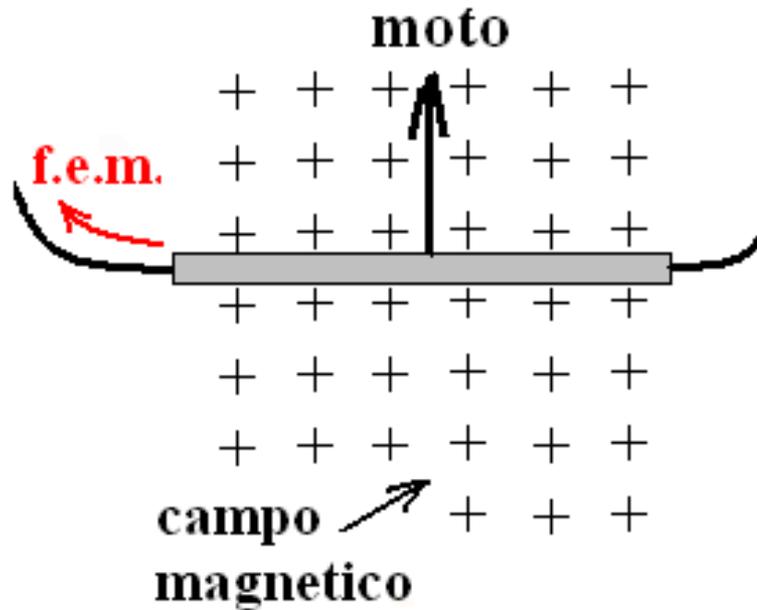
Carlo Vignali, I4VIL

Regola della mano destra - MOTORE ELETTRICO



Un conduttore percorso da corrente, immerso in un campo magnetico, è soggetto ad una forza che tende a muoverlo

Regola della mano destra - GENERATORE ELETTRICO



Ad un conduttore che si muove in un campo magnetico si induce ai suoi capi una forza elettromotrice (f.e.m.)

STRUMENTI DI MISURA

Principali strumenti di misura sono i voltmetri e amperometri, per misurare rispettivamente tensione e corrente.

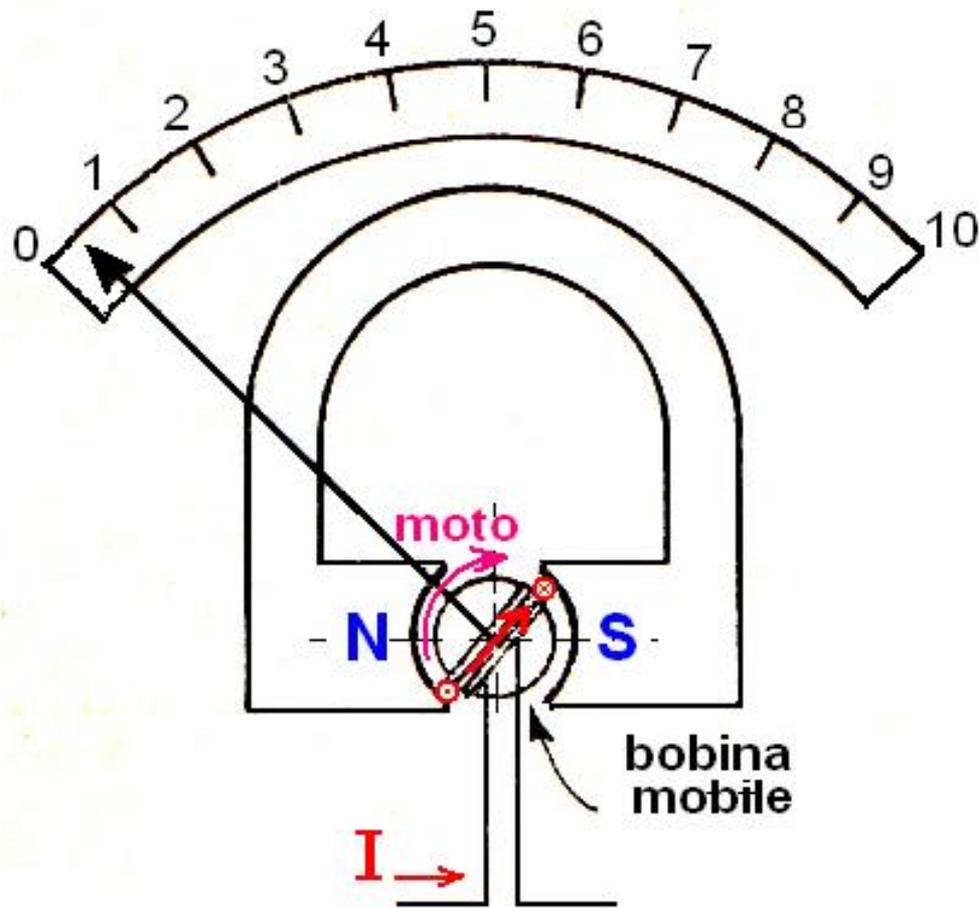
Si possono distinguere strumenti per corrente continua (a bobina mobile), per corrente alternata (a ferro mobile) e per radio frequenza (a filo caldo).

Strumento molto comune e base per gran quantità di usi è il galvanometro a bobina mobile (per corrente continua).

E' costituito da un magnete permanente tra le cui espansioni si trova una bobinetta mobile attorno al suo asse montata su perni di pietra dura.

Al passaggio della corrente nella bobinetta nasce un forza proporzionale alla corrente che fa ruotare la bobinetta stessa sulla quale è rigidamente collegata una lancetta indicatrice.

Il movimento è limitato da una molla antagonista



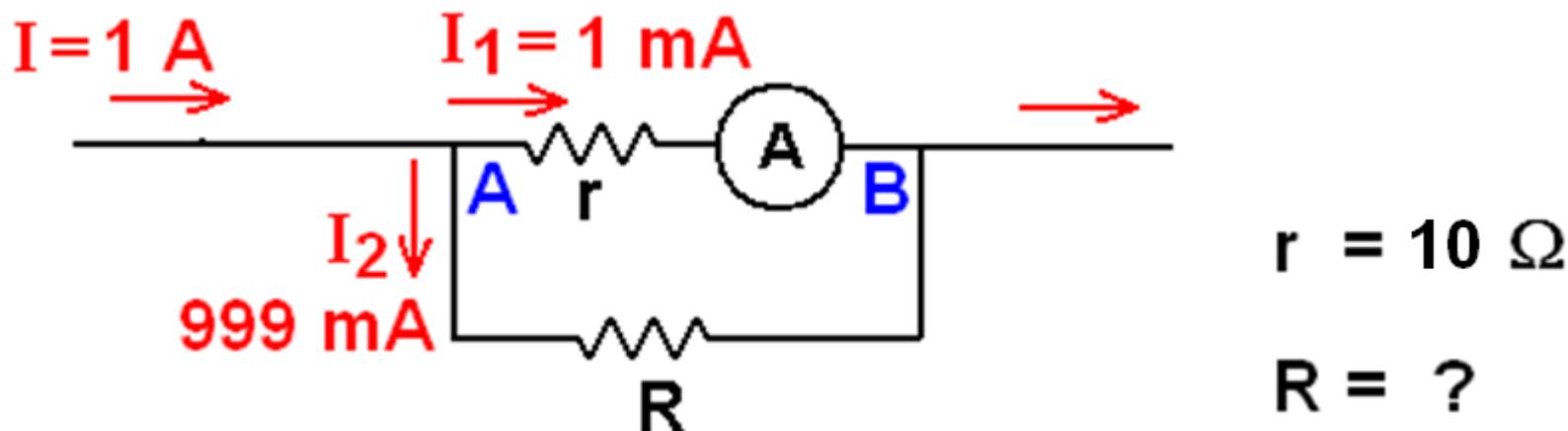
**Galvanometro o
milliamperometro
a bobina mobile
o D'Arsonval**

Il milliamperometro è posto in serie al circuito e le sue indicazioni sono proporzionali alla corrente che lo attraversa.

Ha bassa resistenza interna e va posto in serie al circuito. Se utilizzato per misurare correnti elevate (amperometro), ha bisogno di uno shunt in parallelo.

Se utilizzato per misurare tensioni (voltmetro), ha bisogno di una elevata resistenza in serie e va posto in parallelo al circuito.

Esempio: un milliamperometro di 1 mA fondo scala, con resistenza interna di $10\ \Omega$, è posto in serie in un circuito dove la corrente massima che può circolare è di 1 A. Valutare il valore dello shunt.



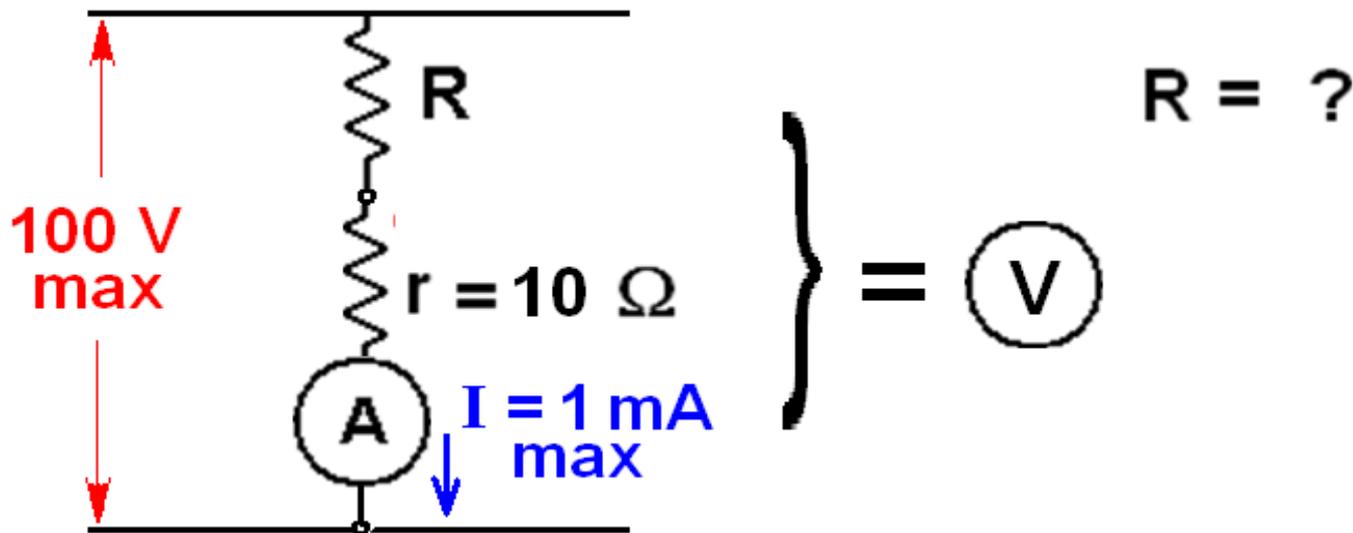
Tra i punti A e B si avrà una piccola caduta di tensione. Si può scrivere:

$$I_1 \cdot r = I_2 \cdot R$$



$$R = \frac{I_1 \cdot r}{I_2} = \frac{1 \cdot 10}{999} \approx 0.01\ \Omega$$

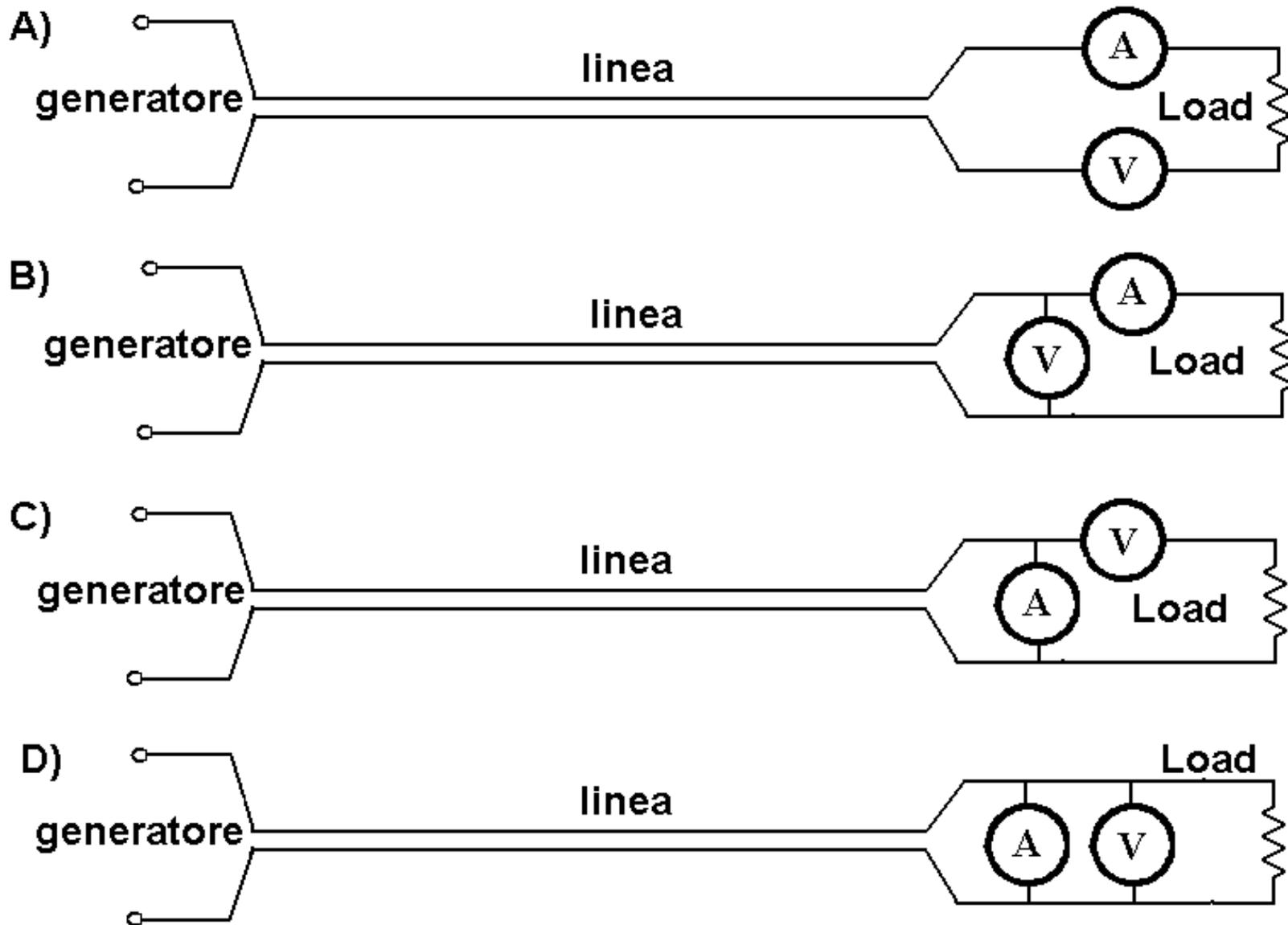
Esempio: un milliamperometro di 1 mA fondo scala, con resistenza interna di 10Ω , deve essere utilizzato come voltmetro con 100 V fondo scala. Quale resistenza deve essere posta in serie allo strumentino?



$$R + r = \frac{V}{I} = \frac{100}{0.001} = 100000$$

$$R \approx 100 \text{ k}\Omega$$

Quale circuito è corretto e funzionante?



LEGGE DI FARADAY-NEUMANN

La f.e.m. indotta in una spira conduttrice immersa in un campo magnetico è direttamente proporzionale alle variazioni di flusso concatenato dal circuito indotto, ed inversamente proporzionale all'intervallo di tempo in cui la variazione di flusso è avvenuta.

LEGGE DI LENZ

La f.e.m. indotta in una spira immersa in un campo magnetico ha segno tale da opporsi alle variazioni del flusso che l'ha generata.

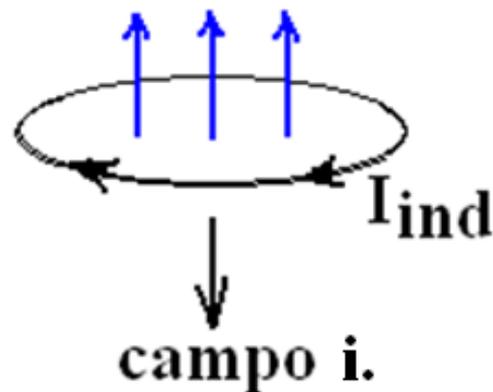
$$e_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$e_i = - \frac{d\Phi}{dt}$$

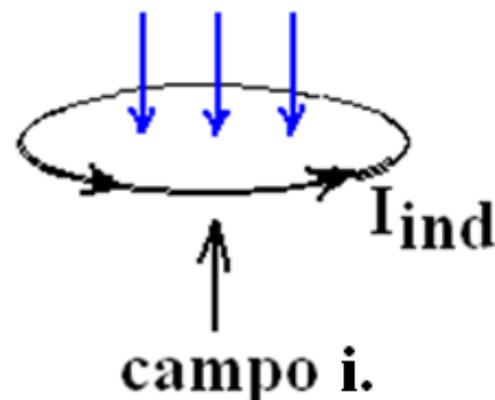
f.e.m. istantanea per
variazione in tempo infinitesimo

LEGGE DI LENZ

**B aumenta
nel tempo**



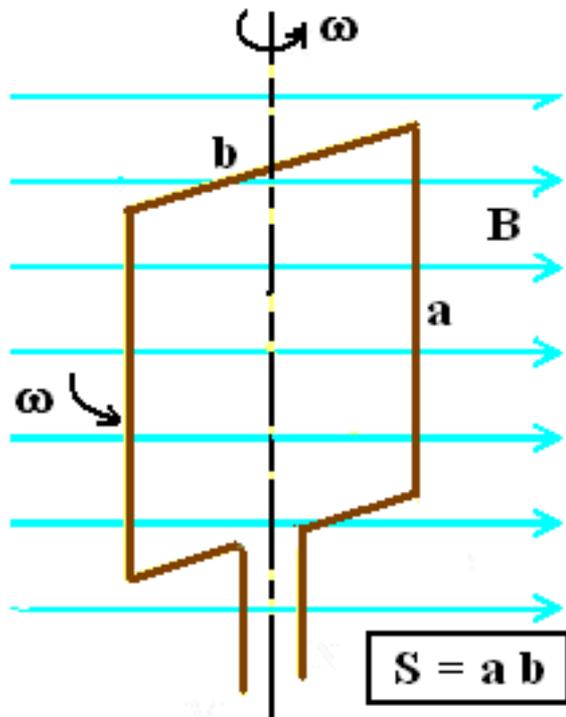
B diminuisce



se il campo magnetico B aumenta,
viene indotta una corrente I_{ind}
di verso tale da produrre un campo
che contrasti l'aumento di B .

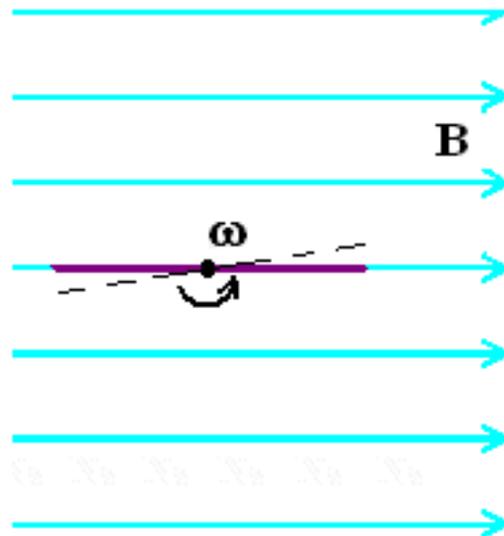
qui il campo
indotto tende a
conservare il
campo magnetico B
che sta diminuendo

TENSIONE INDOTTA IN SPIRA ROTANTE



vista laterale

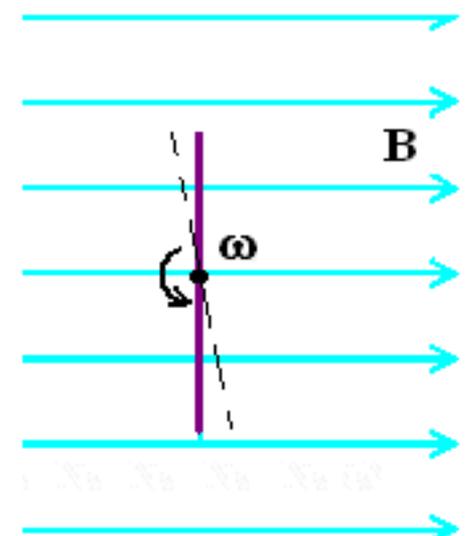
vista dall'alto in momenti diversi di rotazione



La spira passa da un momento con flusso concatenato nullo ad un altro con flusso $\neq 0$.

La variazione di flusso è grande.

==> Max tensione indotta

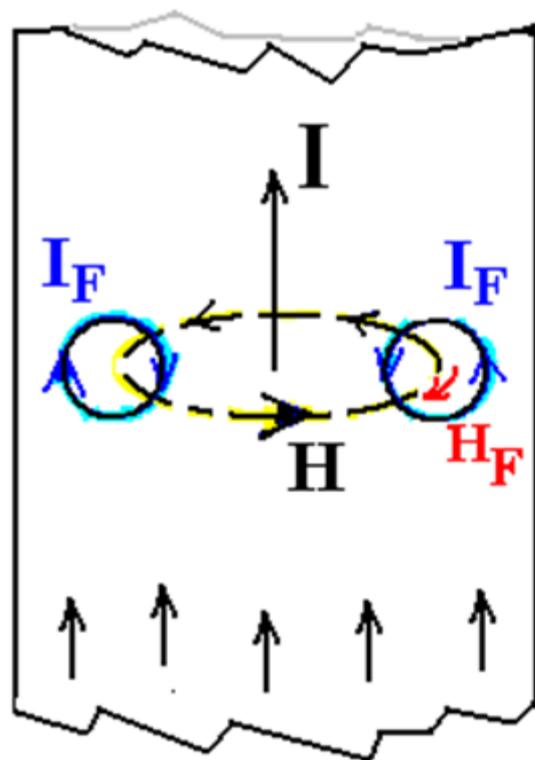


La spira passa da un momento con flusso massimo ad un altro con flusso poco diverso.

La variazione di flusso è nulla

==> tensione indotta nulla

EFFETTO PELLE



stato all'instaurarsi della corrente

I = filetti di corrente nel conduttore (corrente crescente)

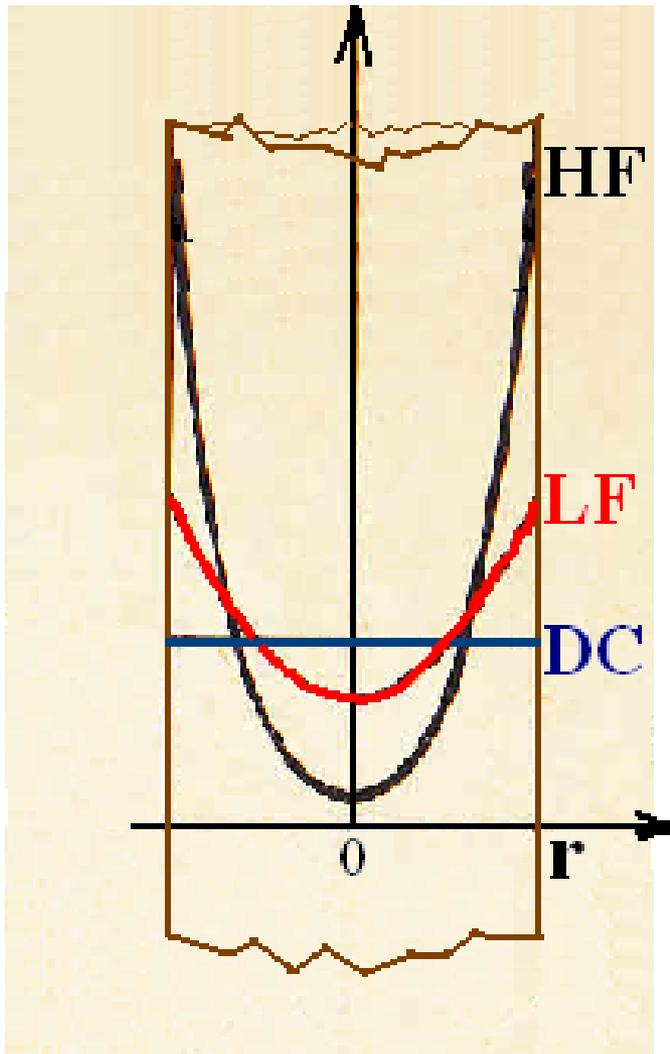
H = campo magnetico crescente generato da un filetto **I**

I_F = correnti di Foucault indotte nel conduttore (hanno direzione tale da creare campi **H_F** che si oppongono alla causa che li hanno generati, ovvero **H**)

Le correnti **I_F** hanno direzione opposta alla corrente **I** nella zona centrale del conduttore, mentre si sommano alla corrente **I** sul bordo.

In equilibrio, la corrente si addensa ai bordi e non penetra nel conduttore

EFFETTO PELLE



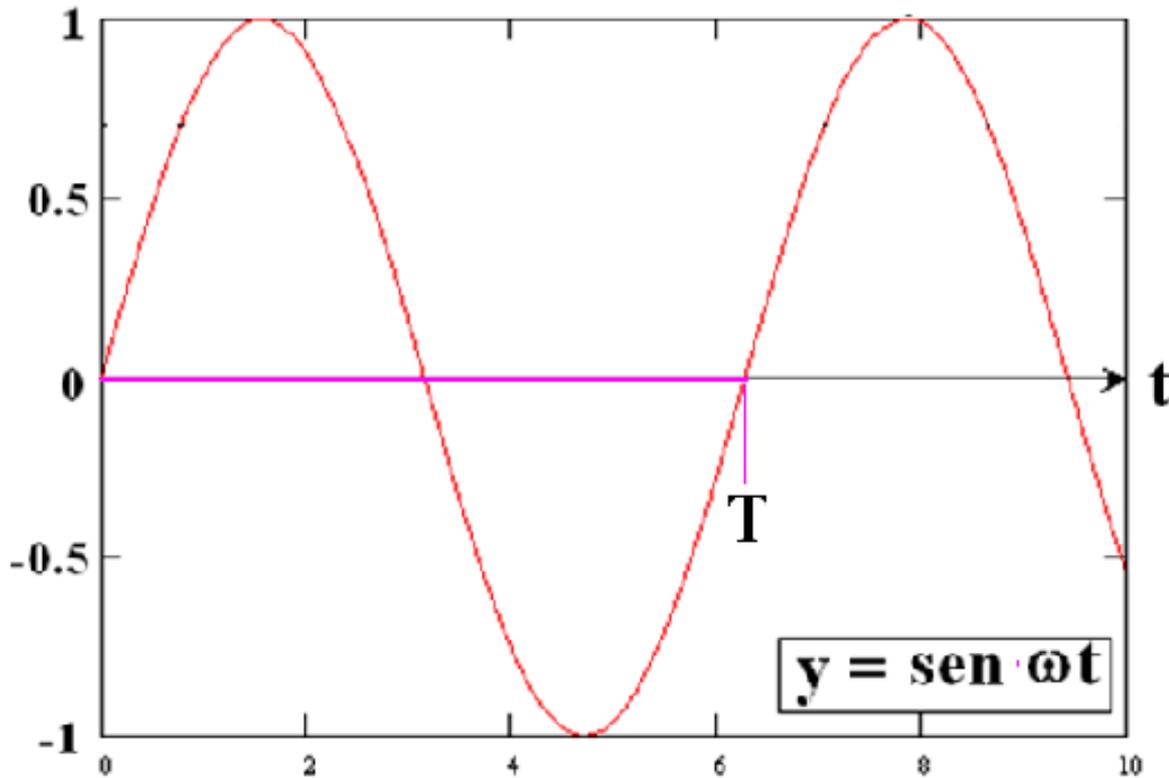
Distribuzione della corrente all'interno di un filo conduttore di raggio r :

DC - corrente continua

LF - bassa frequenza

HF - alta frequenza

Lunghezza d'onda λ



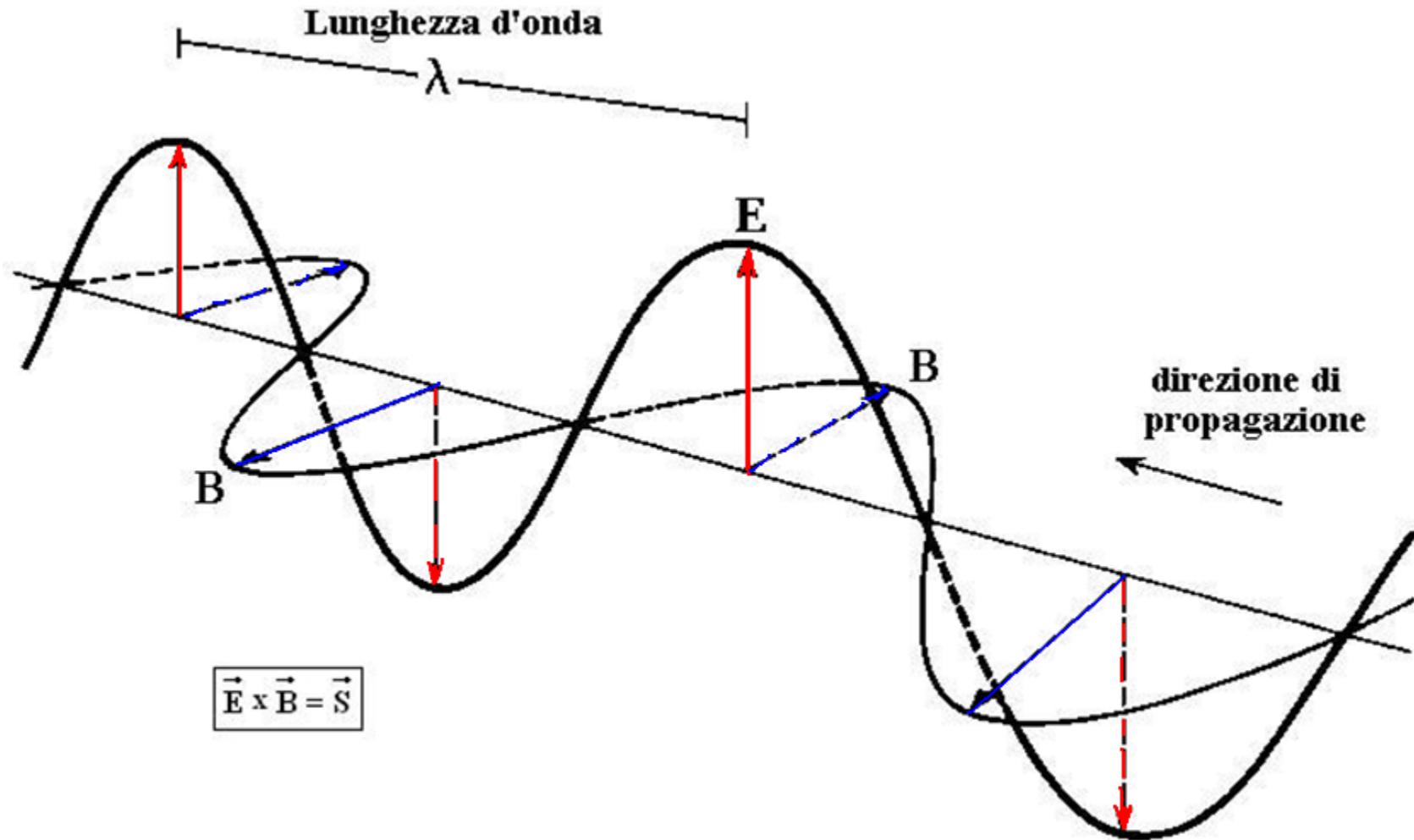
$$T = \frac{1}{f}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$\lambda = c T = \frac{c}{f}$$

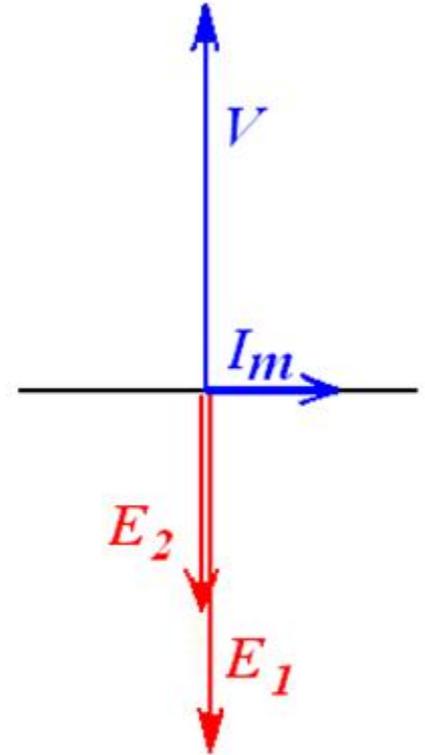
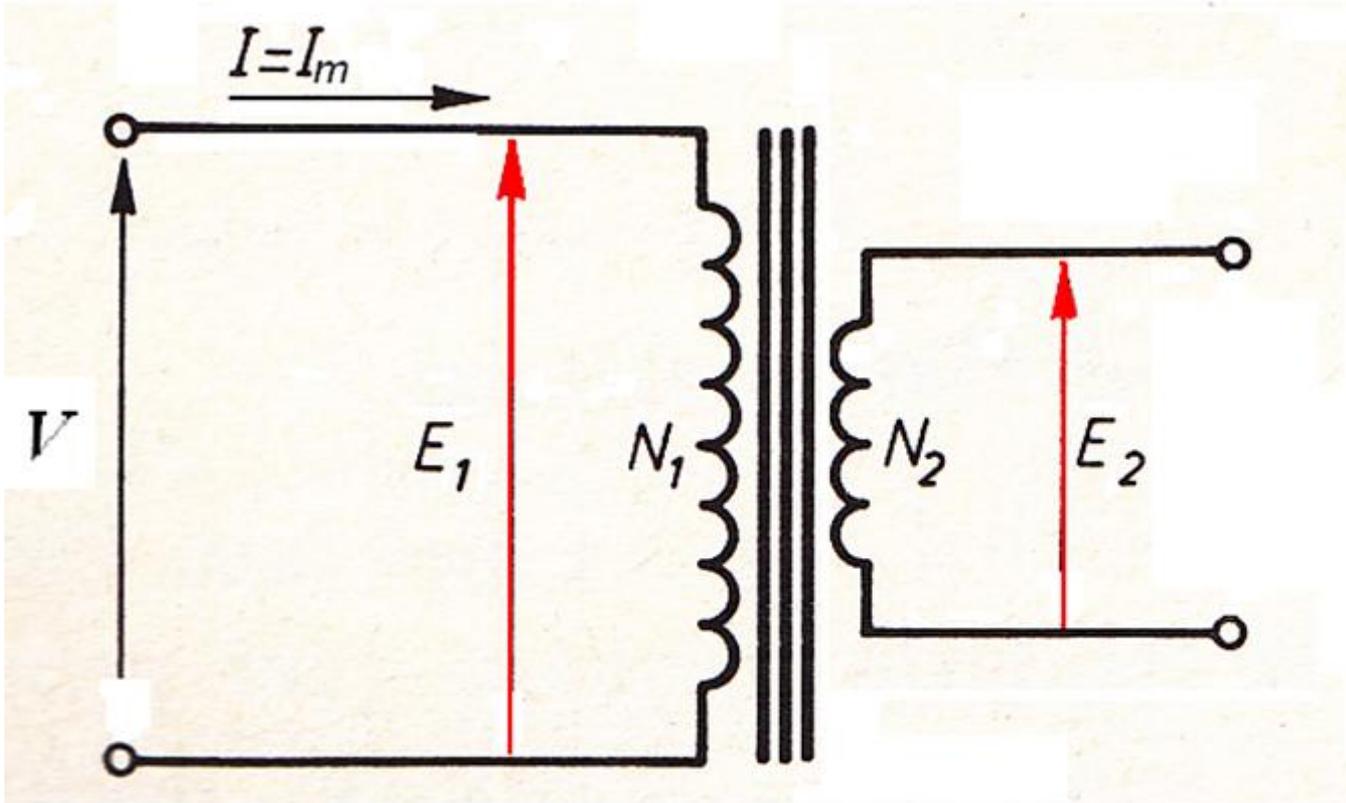
Se il segnale si propaga a velocità c , lo spazio percorso nel tempo t sarà: $s = c t$. Nel tempo $t=T$ (un periodo) si sarà propagato per uno spazio $c T$ a cui si dà il nome di lunghezza d'onda.

ONDA ELETTROMAGNETICA



$$\vec{E} \times \vec{B} = \vec{S}$$

TRASFORMATORE A VUOTO



rapporto di trasformazione

$$n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2}$$

In un trasformatore ideale a vuoto (secondario con morsetti liberi), applicando una tensione al primario, viene a circolare sul primario una corrente di magnetizzazione I_m .

L'avvolgimento si manifesta come un'induttanza: la corrente di magnetizzazione crea il flusso Φ , in fase con questa, ma sfasata di 90° in ritardo rispetto alla tensione di ingresso.

Lo stesso flusso (variabile a frequenza f), si concatena sia col primario sia col secondario, creando f.e.m. indotte sia sul primario sia sul secondario in modo tale da contrastare ed annullare nel primario la corrente attiva prodotta dalla tensione applicata V_1 .

Lo stesso flusso variabile genera sul primario la f.e.m. E_1 che contrasta la V_1 e, contemporaneamente, sul secondario la f.e.m. E_2 , con valori proporzionali al numero delle rispettive spire (i due avvolgimenti abbracciano lo stesso flusso).

Vale, pertanto:

$$E_1 : N_1 = E_2 : N_2$$

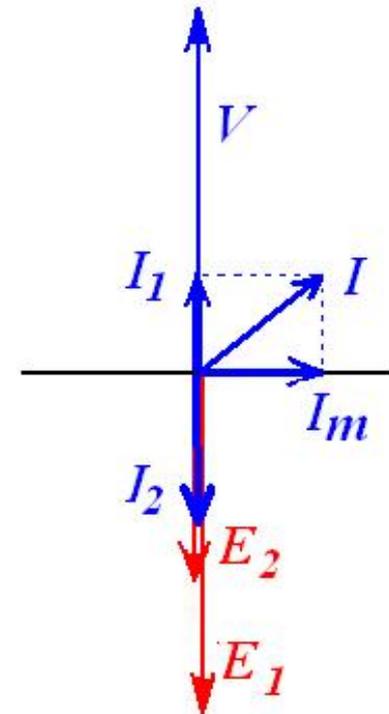
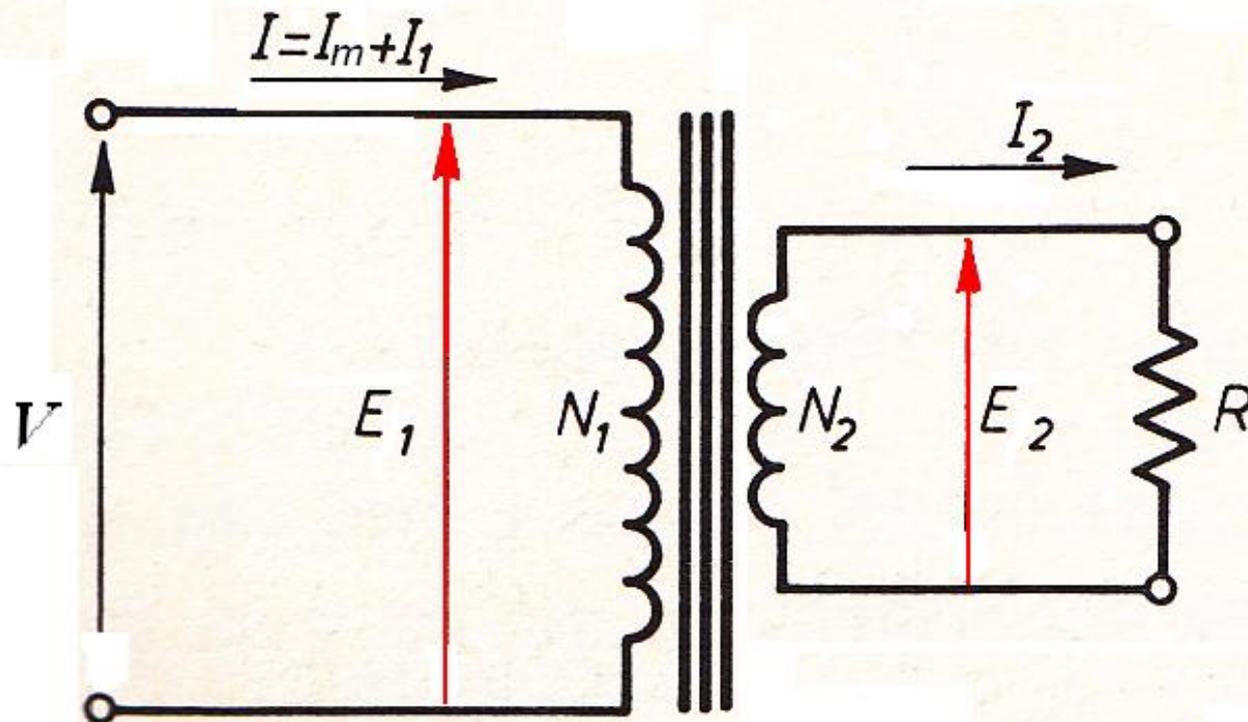
Ovvero:

$$E_2 = \frac{N_2}{N_1} E_1$$

Ogni avvolgimento del trasformatore può essere usato da primario (se alimentato con corretta tensione tale da produrre, senza eccessiva corrente, il flusso necessario a produrre la f.e.m. tale da uguagliare la tensione di alimentazione).

Sullo stesso circuito magnetico possono accoppiarsi più avvolgimenti secondari.

TRASFORMATORE SOTTO CARICO



$$E_1 I_1 = E_2 I_2$$

Il trasformatore ideale, a circuiti secondari aperti, non assorbe corrente in fase, quindi non dissipa potenza, pur assorbendo la corrente di magnetizzazione nel primario alimentato.

Se applichiamo sul secondario un carico resistivo R_L , la tensione del secondario V_2 farà scorrere una corrente $I_2 = V_2 / R_L$.
Per una potenza $P_2 = V_2 I_2$.

Se il trasformatore è ideale, la stessa potenza attiva è assorbita dal primario. Pertanto:

$$V_2 I_2 = V_1 I_1$$

Dove qui la corrente I_1 è la sola corrente in fase (tralasciando, quindi, la corrente di magnetizzazione I_m che è sfasata di 90°).

Avendo chiamato il rapporto di trasformazione:

$$n = \frac{E_1}{E_2}$$

si ha anche:

$$n = \frac{I_2}{I_1}$$

in modo da uguagliare la potenza che transita nel primario e nel secondario.

L'impedenza del primario e del secondario diventano:

$$Z_1 = \frac{V_1}{I_1} = \frac{n V_2}{\frac{I_2}{n}} = n^2 \frac{V_2}{I_2} = n^2 Z_2$$

ovvero:

$$Z_1 = n^2 Z_2$$

Ma è, anche:

$$V_2 = \frac{N_2}{N_1} V_1 \quad n = \frac{N_1}{N_2}$$

Si può scrivere:

$$Z_1 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 Z_2$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}$$

ESEMPIO:

un trasformatore con avvolgimento primario di $N_1 = 400$ spire ed un avvolgimento secondario di $N_2 = 40$ spire. Il secondario è chiuso su un carico di 8Ω .

Qual è l'impedenza vista dal primario?

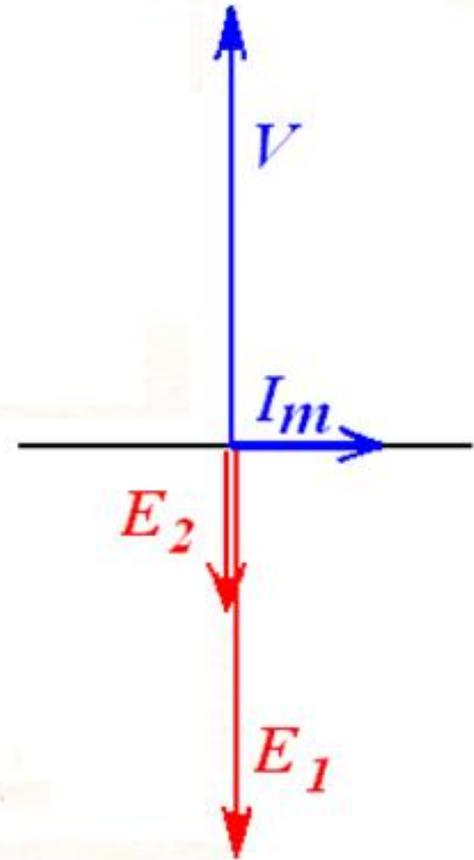
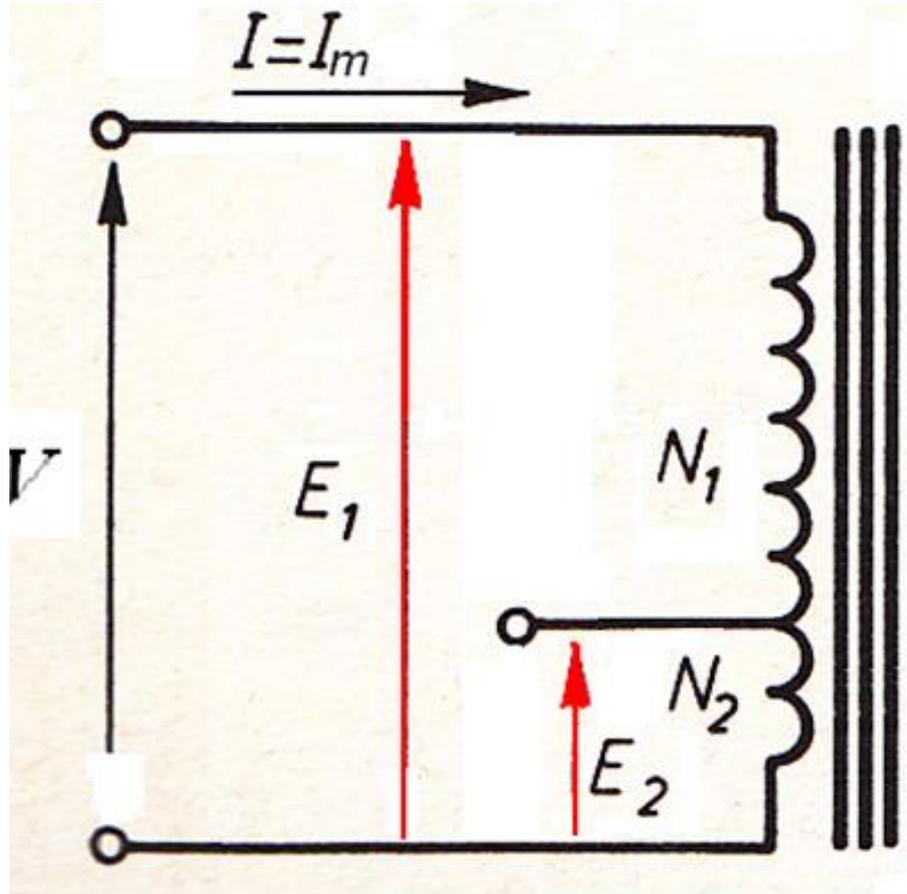
Il rapporto di trasformazione è: $n = N_1/N_2 = 10$

La tensione sul secondario è 10 volte più bassa di quella d'alimentazione del primario.

L'impedenza vista dal primario è:

$$Z_1 = n^2 Z_2 \qquad Z_1 = 10^2 \cdot 8 = 800 \Omega$$

AUTOTRASFORMATORE



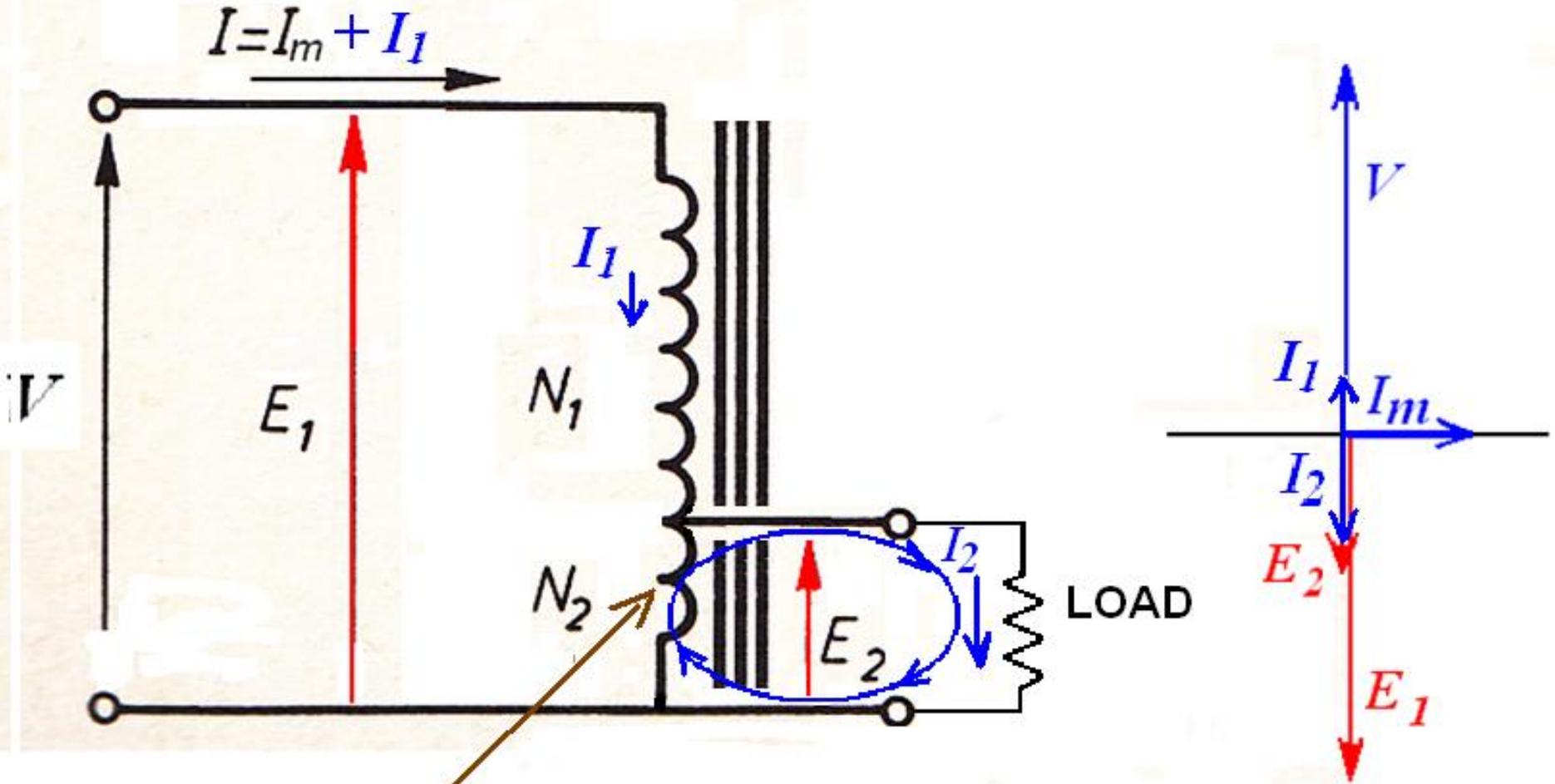
rapporto di trasformazione

$$n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2}$$

con N_1 = totale spire primario

L'avvolgimento secondario può essere ricavato con una presa effettuata sull'unico avvolgimento (primario).
Le tensioni indotte E_1 ed E_2 sono in fase tra loro.
La E_1 contrasta la tensione di alimentazione : nel primario circola la sola corrente di magnetizzazione (a secondario aperto), mentre la E_2 , ricavata da una presa nell'unico avvolgimento, è disponibile come tensione secondaria.

AUTOTRASFORMATORE



nel tratto comune circola corrente $I_2 - I_1$

In caso di secondario con carico, la f.e.m. E_2 fa circolare corrente I_2 nel secondario (nell'esempio con carico resistivo e, quindi, in fase con E_2).

Sempre nell'avvolgimento primario circola ora anche una corrente I_1 (in fase con V_1 , in questo caso) che si aggiunge alla corrente di magnetizzazione.

Le correnti I_1 ed I_2 hanno verso opposto.

Nella parte comune dell'avvolgimento, a parte la corrente di magnetizzazione, circola una corrente $I_2 - I_1$ (differenza delle due correnti).

Vantaggi dell'autotrasformatore:

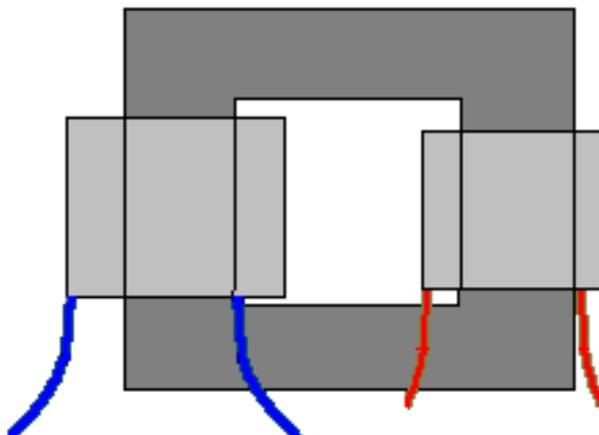
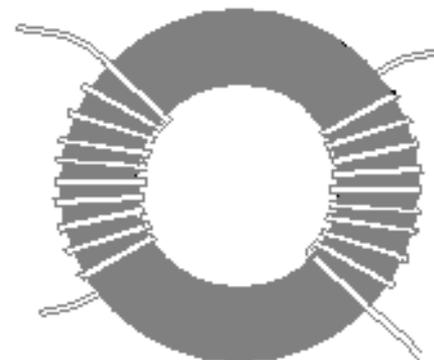
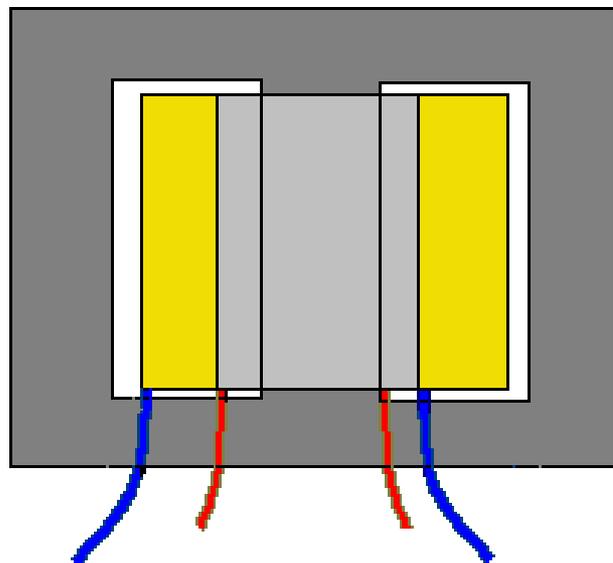
minore costo per il minor impiego di rame degli avvolgimenti,

minori dimensioni per il minor impiego di ferro nel circuito magnetico.

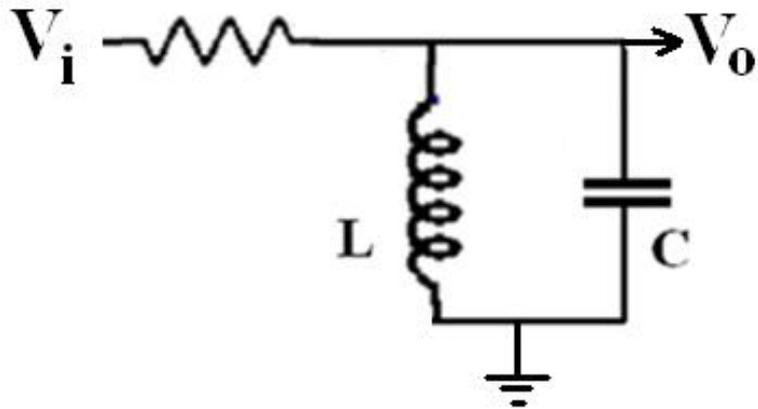
Svantaggi:

il secondario (in genere a tensione inferiore al primario) è soggetto alla tensione di rete e tutto il circuito deve rimanere isolato per evitare pericoli alle persone utilizzatrici.

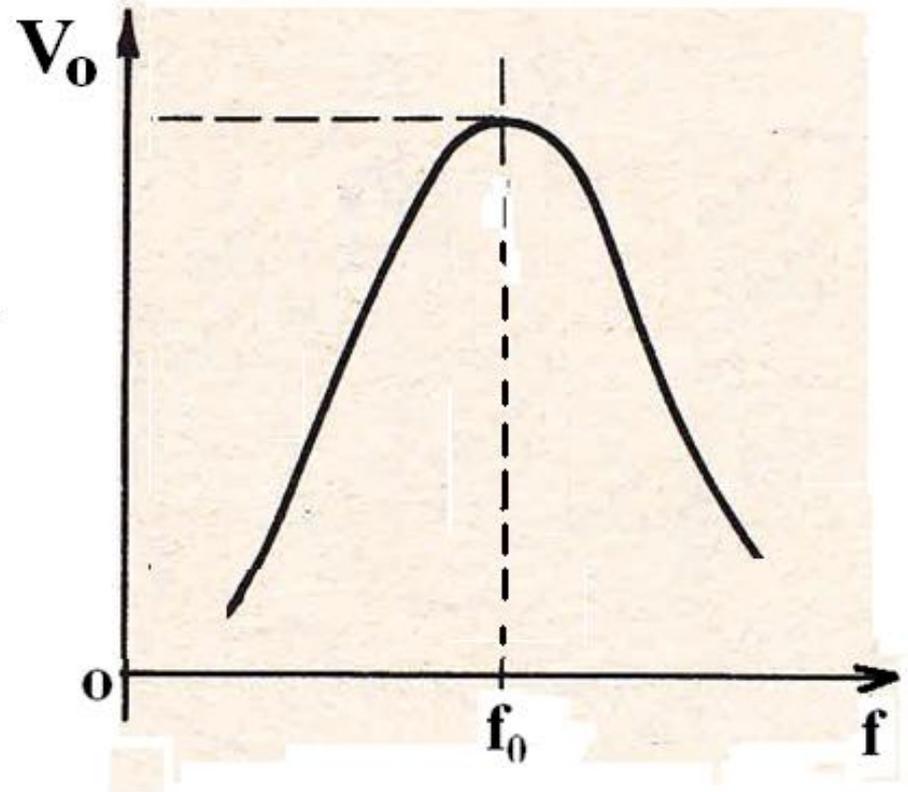
VARI ASPETTI DI TRASFORMATORI



CIRCUITI FILTRO (Passa banda)

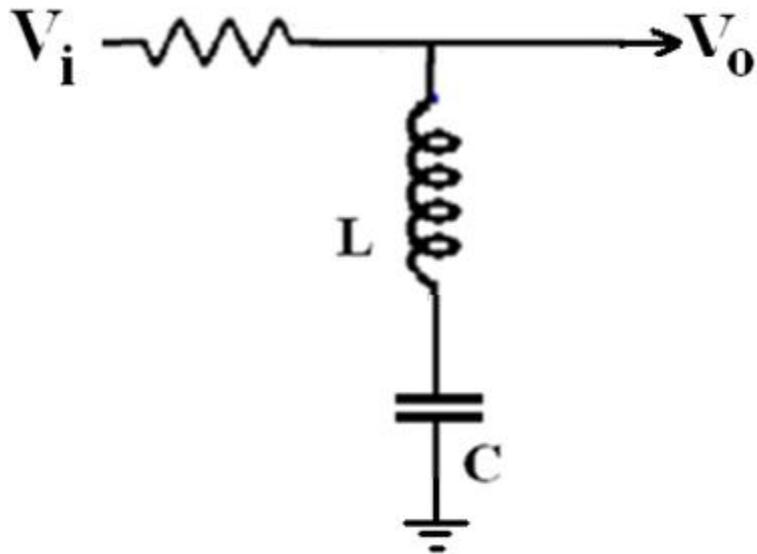


$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

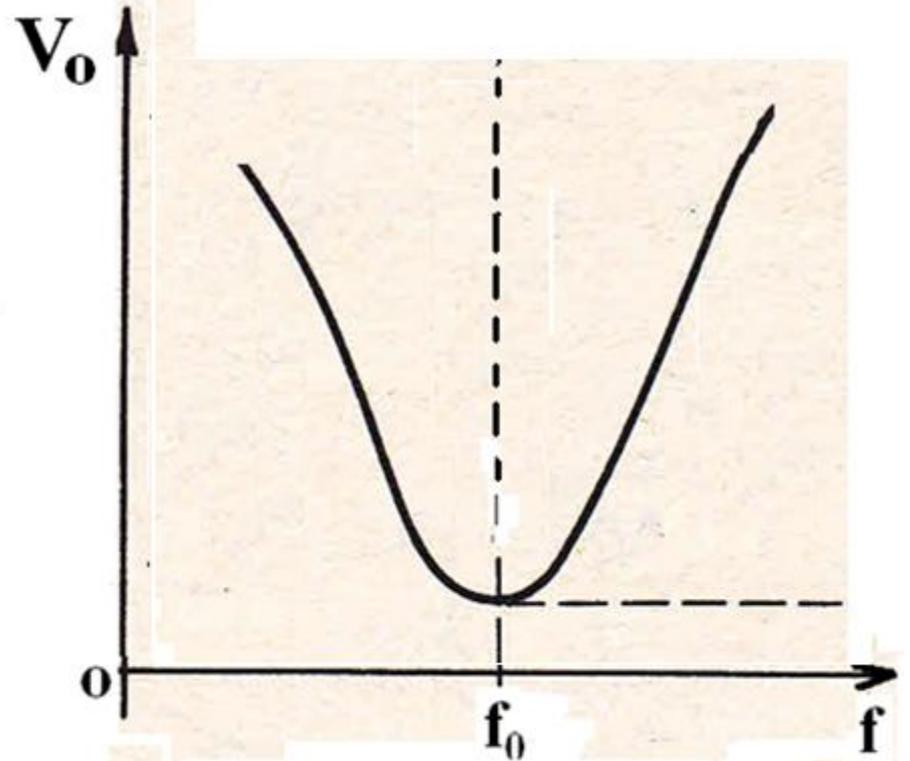


Segnale in uscita in funzione della frequenza.
Ad f_0 il segnale V_0 è circa uguale a V_i .

CIRCUITI FILTRO (notch) (reiezione)

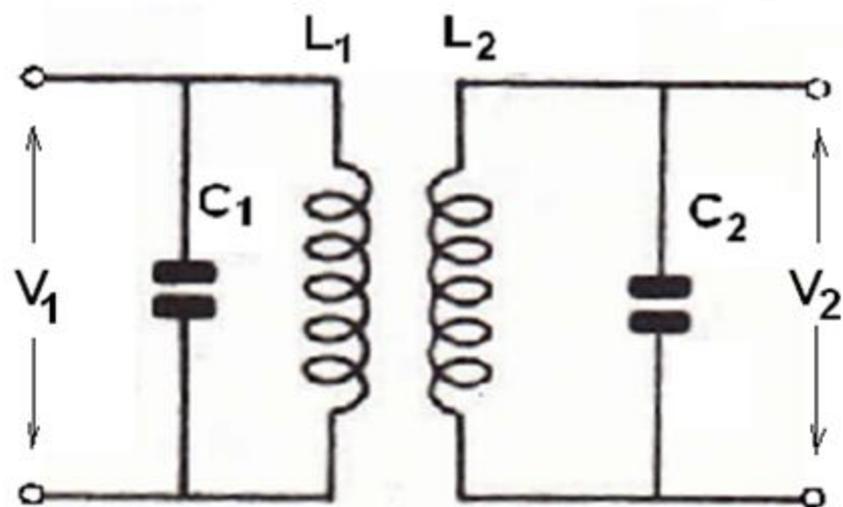


$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



Segnale in uscita in funzione della frequenza.
Ad f_0 il segnale V_o presenta la max. attenuazione

CIRCUITI RISONANTI ACCOPPIATI (A DOPPIO ACCORDO)

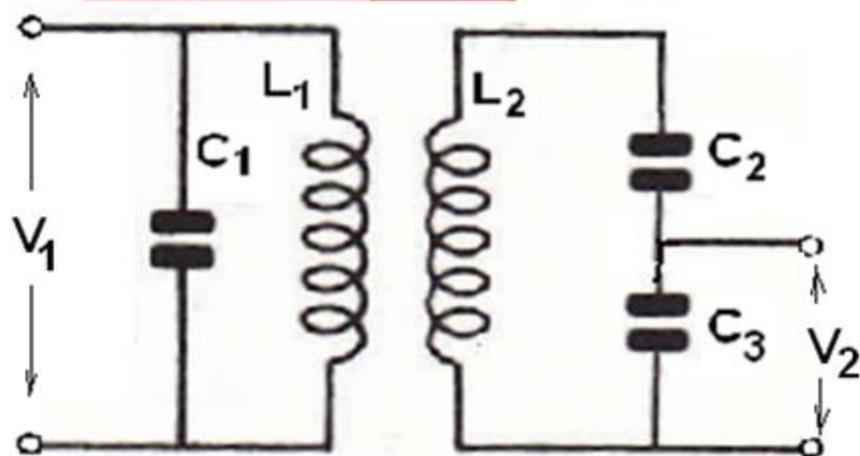


E CON ADATTAMENTO DI IMPEDENZA

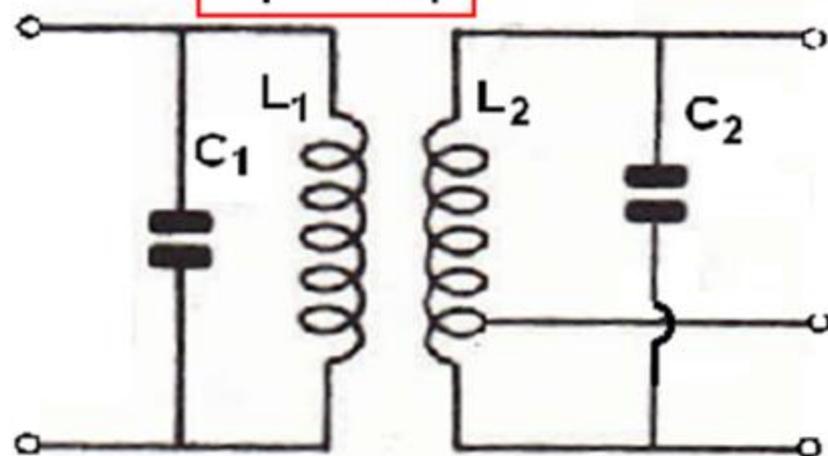
rapporto di trasformazione $\frac{V_2}{V_1}$

rapporto impedenze $\frac{Z_2}{Z_1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2$

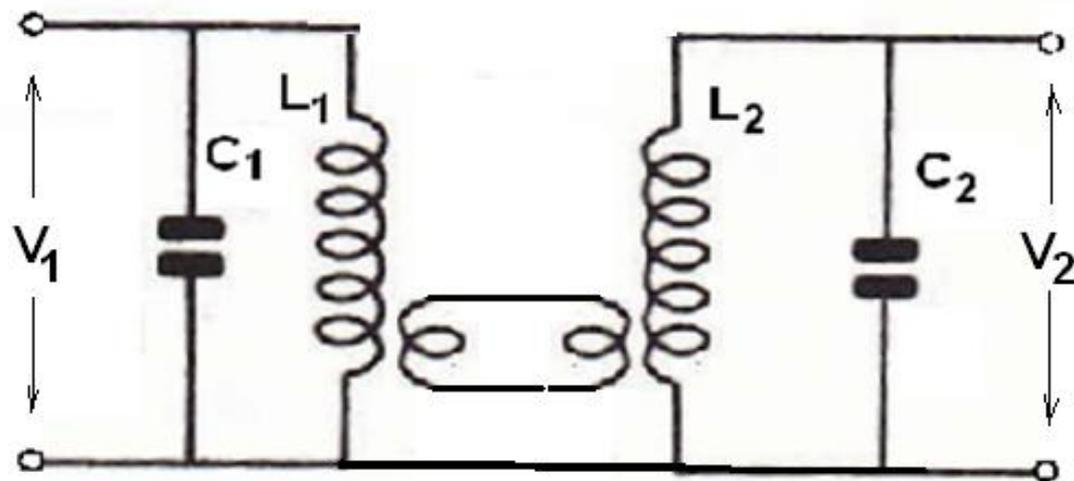
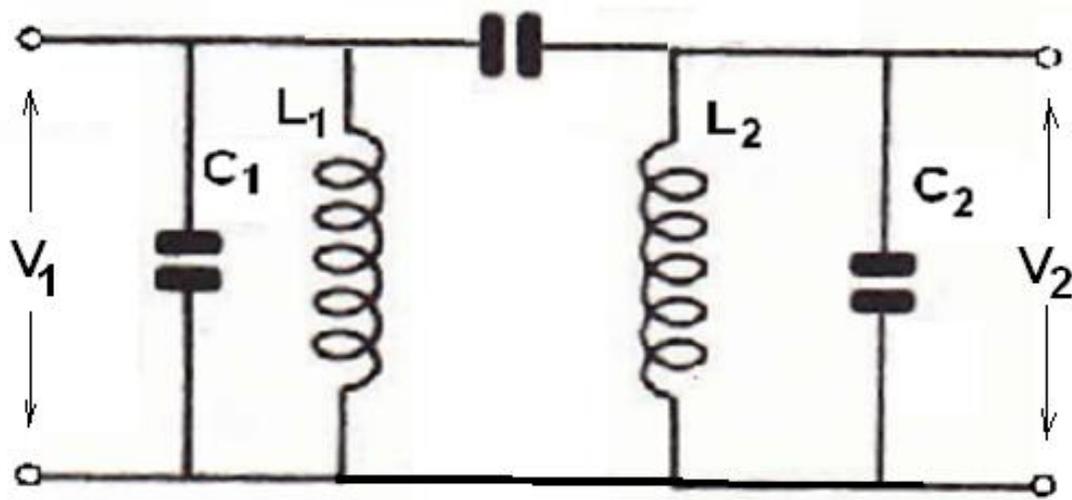
$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{C_2}{C_2 + C_3} \cdot \frac{1}{n}$$



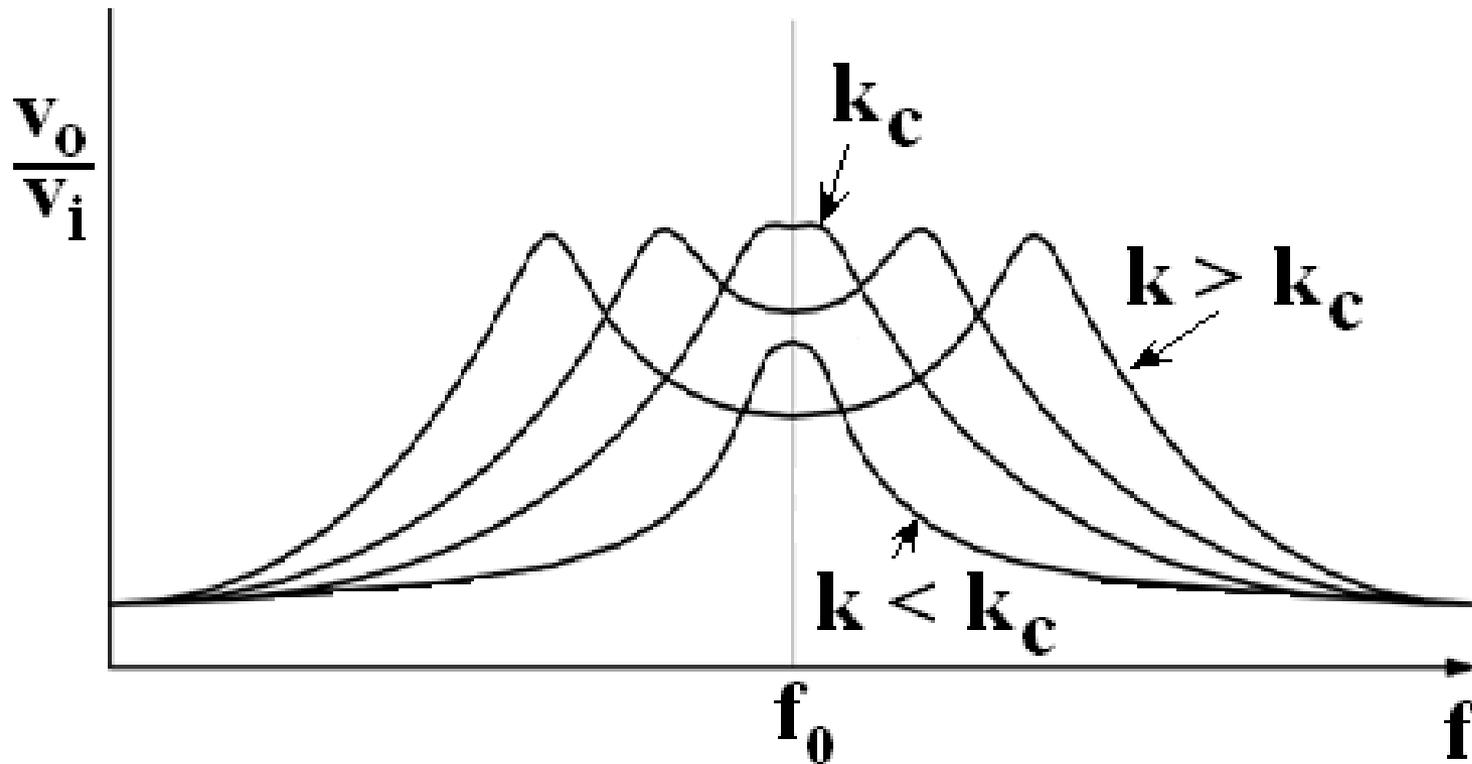
$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (\text{rapporto spire})$$



CIRCUITI RISONANTI ACCOPPIATI (A DOPPIO ACCORDO)



Risposta di due circuiti accoppiati accordati alla stessa frequenza f_0



Per $k < k_c$ si presenta un solo picco stretto (**accoppiamento lasco**).
Aumentando l'accoppiamento il picco aumenta sino a diventare massimo ed arrotondato (**accoppiamento critico, k_c**). In queste condizioni si ottiene la massima risposta con curva di selettività appena appiattita e fianchi ripidi.
Oltre l'accoppiamento critico si evidenziano due picchi nella risposta, tanto più separati quanto è maggiore il fattore di accoppiamento k . (**accoppiamento stretto**)

ACCOPPIAMENTO CRITICO k_c

Nel caso di accoppiamento critico valgono:

$$k_c = \frac{1}{\sqrt{Q_1 \cdot Q_2}}$$

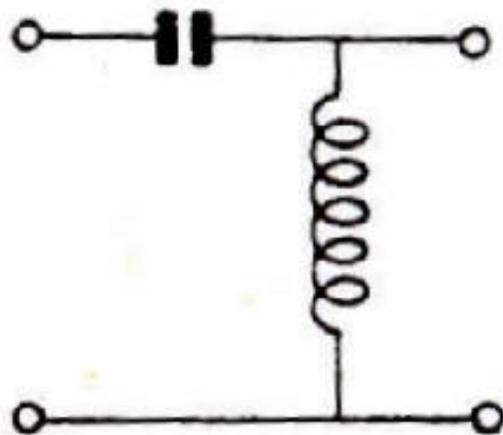
$$\frac{BW}{f_0} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{Q_1 \cdot Q_2}}$$

dove: Q_1 e Q_2 : fattori di merito dei due circuiti.

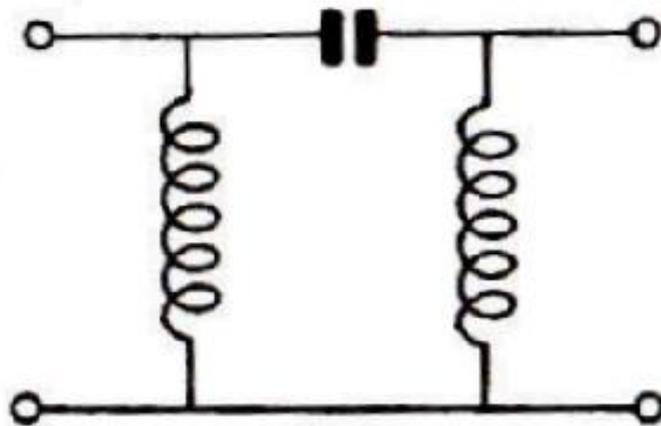
BW : banda passante (a -3 dB)

f_0 : frequenza centrale.

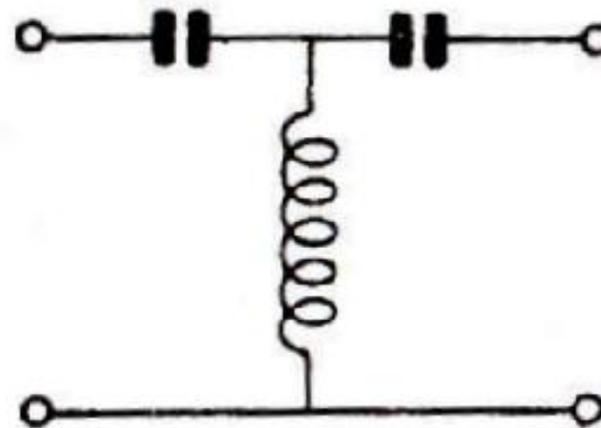
CIRCUITI FILTRO PASSA-ALTO



Filtro a L

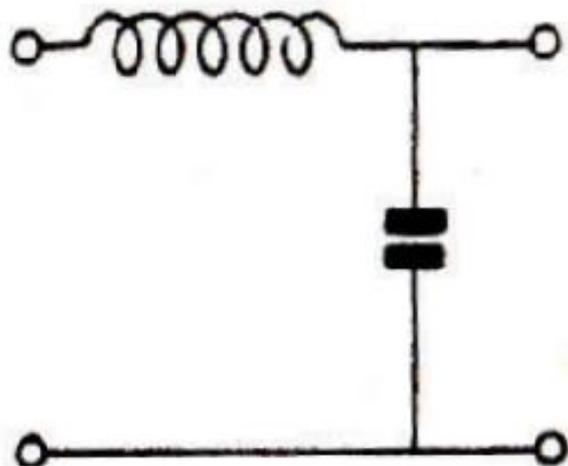


filtro a π

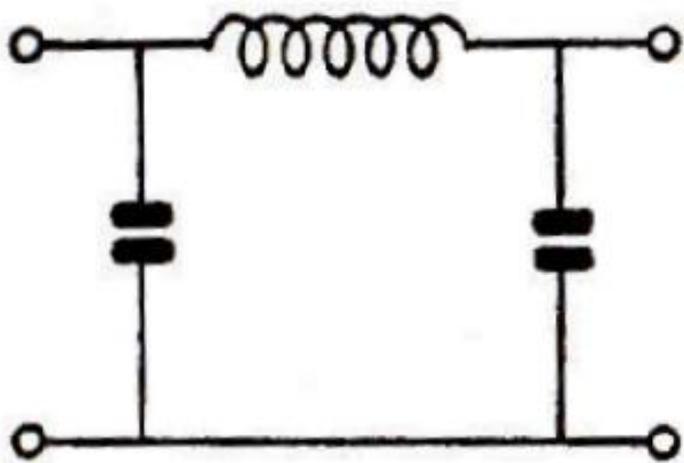


Filtro a T

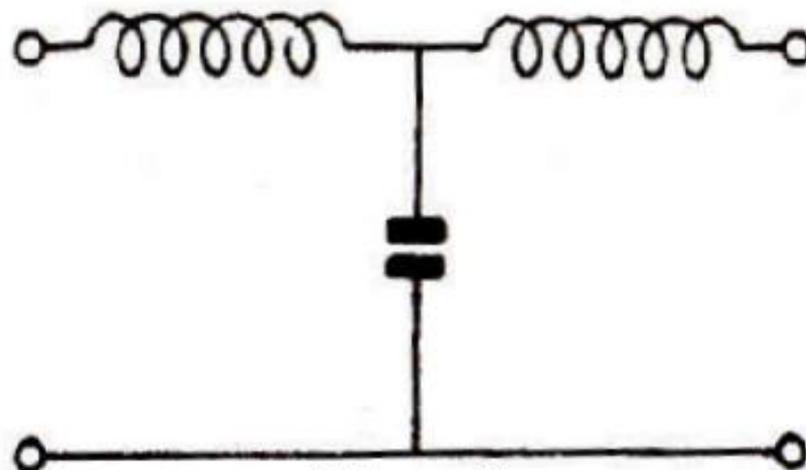
CIRCUITI FILTRO PASSA-BASSO



Filtro a L



Filtro a π



Filtro a T

EFFETTO VOLANO

Un circuito LC parallelo si comporta in maniera simile ad un volano meccanico.

Un circuito risonante conserva energia sotto forma di campo elettrico e magnetico anche dopo che è cessato uno stimolo esterno. L'energia è immagazzinata come campo magnetico nella induttanza e come campo elettrico nel condensatore.

Al cessare dell'impulso esterno, l'energia continua a scambiarsi tra campo elettrico e magnetico sino a quando, per la presenza di fenomeni dissipatori (resistenza), l'energia immagazzinata viene dissipata come calore.

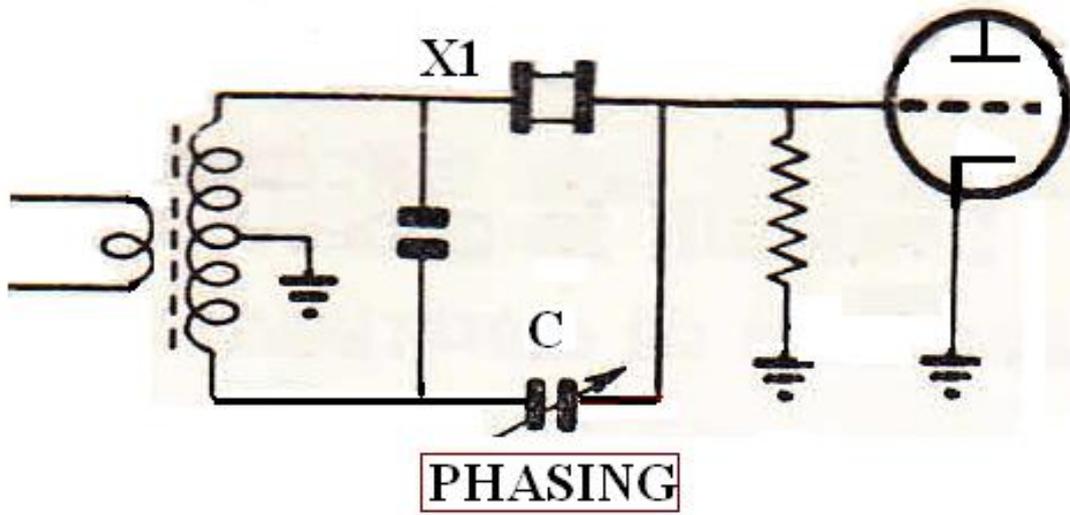
La durata di queste oscillazioni è proporzionale al Q del circuito.

QUARZI

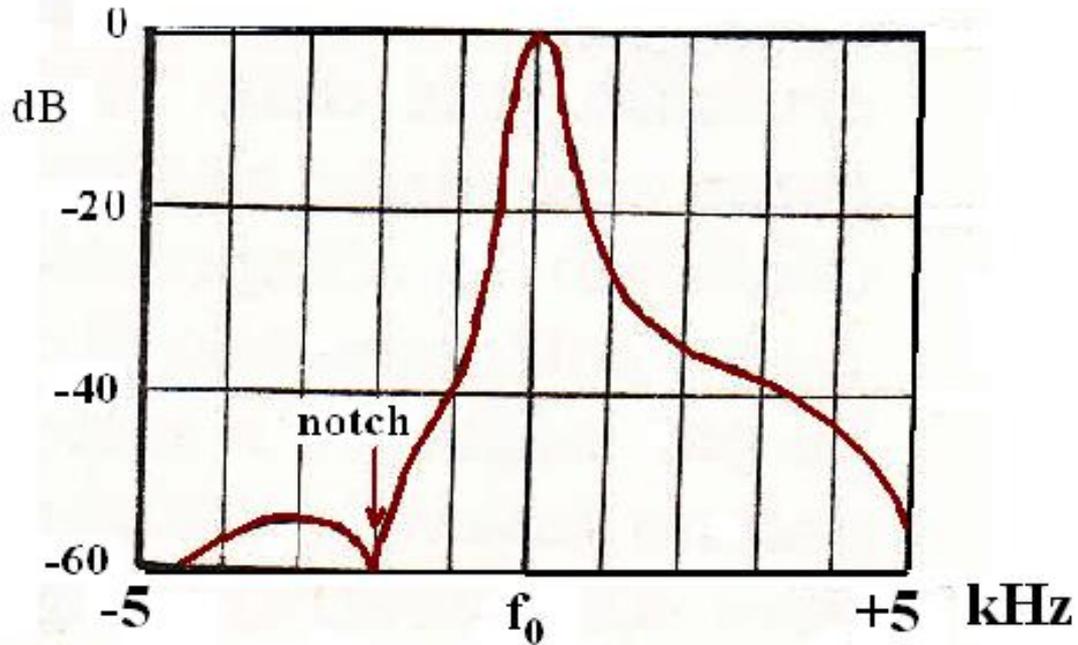
Alcuni cristalli, in particolare il quarzo manifestano una tensione sulle facce quando sottoposti ad azione meccanica. Viceversa, se si applica una tensione su alcune facce, il cristallo si contrae leggermente o si dilata a seconda della polarità della tensione. Il fenomeno viene detto effetto piezoelettrico.

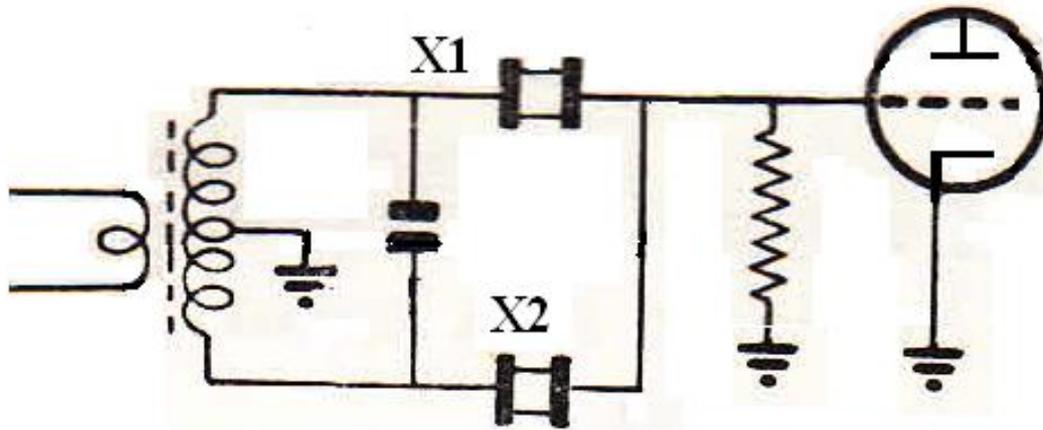
Il quarzo, opportunamente tagliato, e di opportune dimensioni risuona meccanicamente ad una frequenza precisa e si avranno tensioni elettriche sulle facce alla stessa frequenza.

Il fenomeno viene sfruttato per costruire filtri molto selettivi (il Q è molto più grande, in genere, di quello ottenibile da un circuito LC), ed anche oscillatori a frequenza molto precisa e stabile.



FILTRO A QUARZO
a selettività regolabile





FILTRO A QUARZO

Filtro per SSB
con $\Delta f = 2.3 \text{ kHz}$

X1 e X2 differiscono di 2 kHz, in questo caso

