

# I Filtri

Il **filtro** è un circuito che ricevendo in ingresso segnali di frequenze diverse è in grado di trasferire in uscita solo i segnali delle frequenze volute, in pratica seleziona le frequenze che si vogliono.

In un filtro la tensione di uscita è sempre inferiore a quella di ingresso, non è infatti un amplificatore, ma la selezione avviene attenuando le frequenze non volute e lasciando inalterate le frequenze volute.

Distinguiamo tre tipi fondamentali di filtro:

- passa alto** – attenuazione di frequenze inferiori alla frequenza di taglio.
- passa basso** – attenuazione di frequenze superiori alla frequenza di taglio.
- passa banda** – attenuazione delle frequenze superiori ed inferiori a quelle che vengono fatte passare.
- elimina banda** – attenuazione di certi intervalli di frequenza, mentre altri vengono fatti passare

# Filtri attivi e passivi

Un **filtro attivo** è un tipo di filtro analogico, che è contraddistinto dall'uso di uno o più elementi attivi come amplificatori operazionali o buffer.

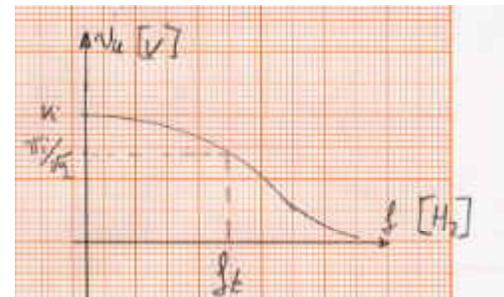
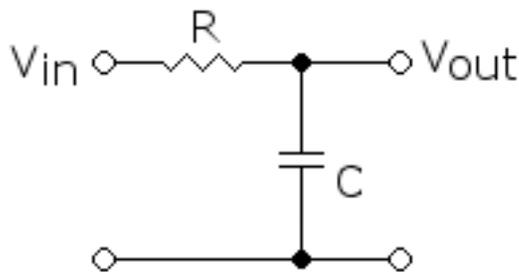
Nei **filtri passivi** è necessario usare degli induttori, che hanno la proprietà (in questo caso indesiderata) di captare i segnali elettromagnetici circostanti; inoltre sono spesso fisicamente ingombranti.

Gli induttori bloccano i segnali ad alta frequenza e conducono quelli a bassa frequenza, mentre i condensatori si comportano al contrario:

Bloccano le basse frequenze (sono degli interruttori aperti) e lasciano passare le alte frequenze ( interruttori chiusi)

# FILTRO PASSA BASSO

Si dice filtro **passa basso** un circuito che fa passare in uscita solo le frequenze più basse di un'altra prefissata. La frequenza prefissata, che viene scelta a piacere, viene detta **frequenza di taglio** e la indichiamo con  $f_t$ . Un tipico circuito passa basso è il seguente:



Possiamo vedere come il condensatore è un componente che conduce molto le alte frequenze mentre attenua e non fa passare le basse frequenze; nel nostro caso, però, il condensatore non è posto in serie tra ingresso e uscita ma in parallelo all'uscita, quindi le alte frequenze vengono messe in corto circuito dal condensatore verso massa, e non le ritroviamo in uscita; mentre in uscita ritroviamo solo le basse frequenze; quindi il filtro si comporta da filtro passa basso.

Per calcolare la frequenza di taglio si usa la seguente formula:

$$f_t = 1 / 2 \pi RC$$

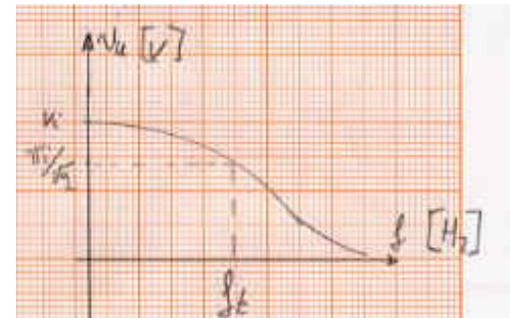
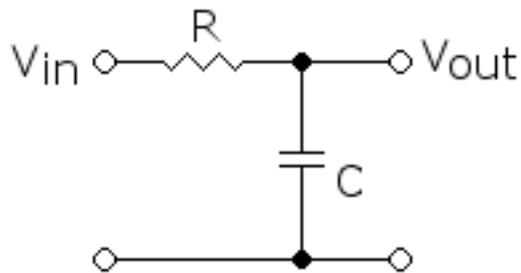
# FILTRO PASSA BASSO

Possiamo vedere come a frequenza zero l'uscita assume il massimo valore, cioè  $v_u = v_i$ ; in corrispondenza della frequenza di taglio  $f_t$  l'uscita assume il valore  $v_u = v_i / \sqrt{2}$

Si dice **frequenza di taglio** di un filtro quella frequenza alla quale l'attenuazione del filtro, cioè il rapporto tra tensione di uscita e tensione di ingresso è uguale a  $1/\sqrt{2}$ , cioè

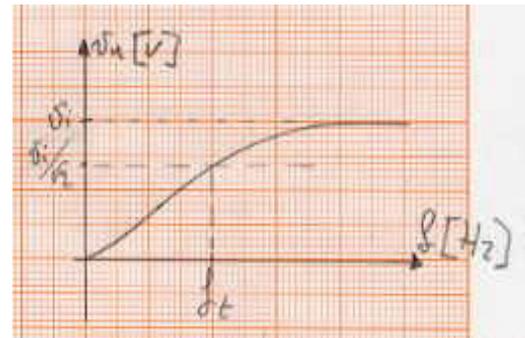
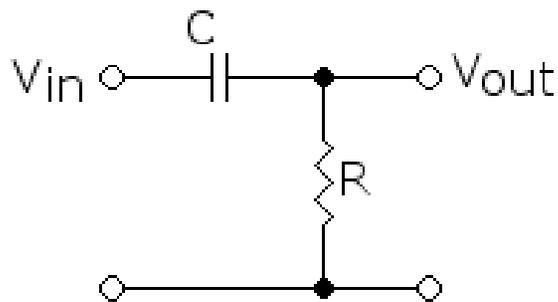
$$V_u / V_i = 1 / \sqrt{2}$$

Per frequenze superiori a  $f_t$  vediamo che la curva scende verso il basso e quindi la tensione in uscita è molto attenuata.



# FILTRO PASSA ALTO

Si dice filtro **passa alto** un circuito che fa passare in uscita solo le frequenze più alte della **frequenza di taglio  $f_t$** . Un tipico circuito passa alto è il seguente:



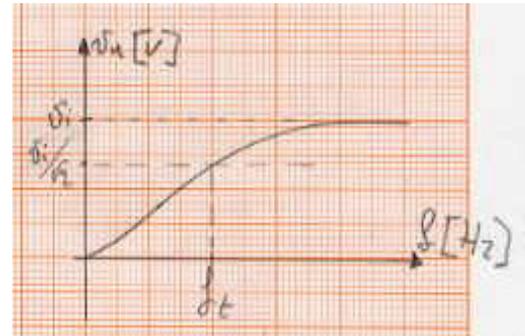
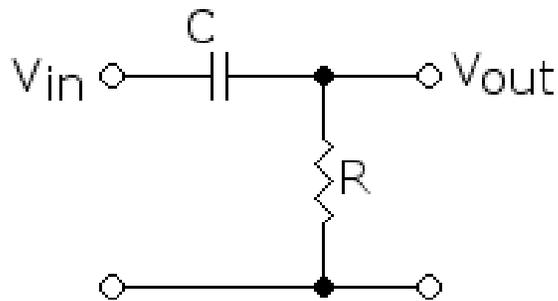
Possiamo vedere come il condensatore è un componente che conduce molto le alte frequenze mentre attenua e non fa passare le basse frequenze; nel nostro caso il condensatore è posto in serie tra ingresso e uscita quindi le altre frequenze vengono messe in corto circuito dal condensatore e le ritroviamo in uscita; mentre per le basse frequenze il condensatore si comporta come un circuito aperto, quindi le basse frequenze non riescono a passare; quindi il filtro si comporta da filtro passa alto.

# FILTRO PASSA ALTO

Per calcolare la frequenza di taglio si usa la seguente formula:

$$f_t = 1 / 2\pi RC$$

Se indichiamo con  $v_i$  la tensione di ingresso e con  $v_u$  la tensione di uscita il diagramma del filtro al variare della frequenza è il seguente:

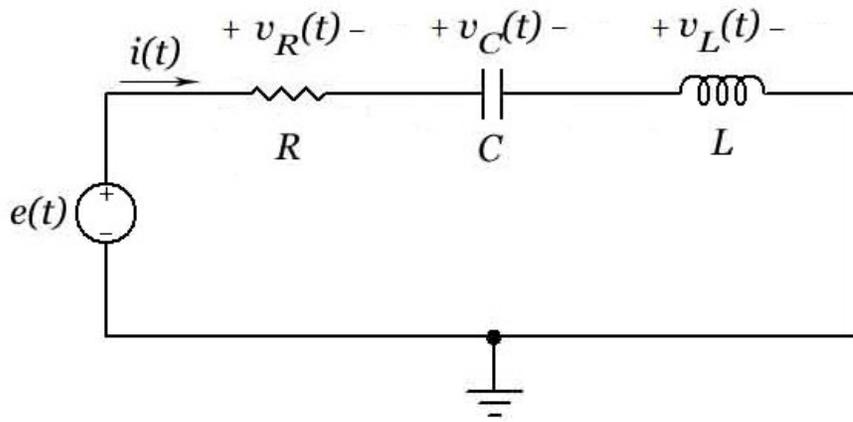


Possiamo vedere come a frequenza zero l'uscita assume il valore zero; per frequenze inferiori a  $f_t$  la curva si mantiene molto bassa, quindi le basse frequenze non passano. In corrispondenza della frequenza di taglio  $f_t$  l'uscita assume il valore  $v_u = v_i/\sqrt{2}$

Per frequenze superiori a  $f_t$  vediamo che la curva va verso il valore massimo  $v_i$ . Quindi è un circuito passa alto.

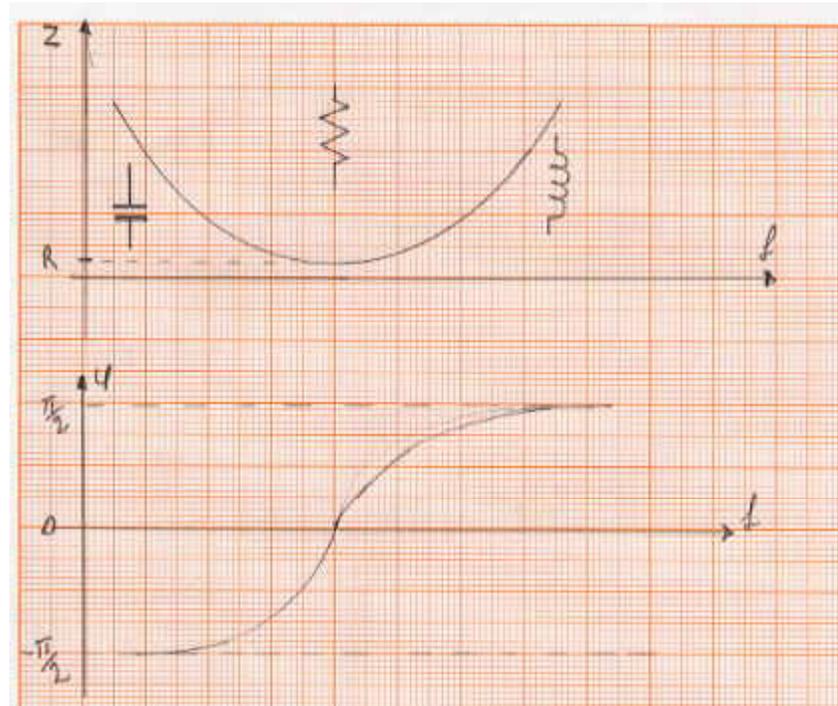
# CIRCUITO RLC RISONANTE SERIE

Se consideriamo un circuito RLC, come nello schema seguente:



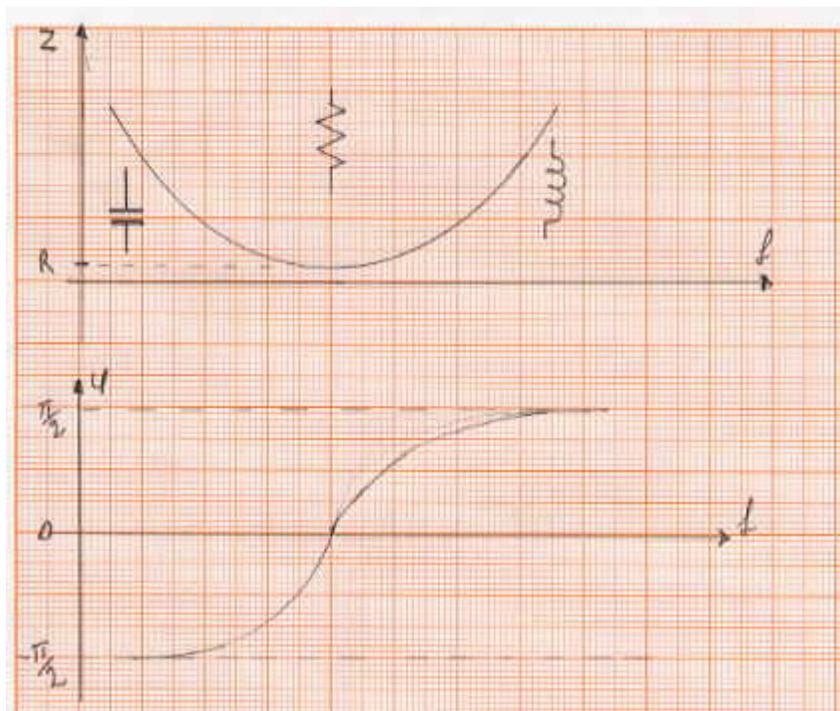
e lo alimentiamo con una tensione alternata avente ampiezza fissa ma frequenza variabile, possiamo notare che il valore della impedenza cambia al variare della frequenza. Infatti la formula del vettore  $\mathbf{Z}$ , studiata in precedenza, era :  $\mathbf{Z} = \mathbf{R} + \mathbf{j} (\omega \mathbf{L} - 1/\omega \mathbf{C})$  e ricordando che  $\omega = 2 \pi \mathbf{f}$ , si ottiene che al variare di  $\mathbf{f}$  varia anche  $\omega$  e quindi anche  $\mathbf{Z}$ . Disegnando, quindi due diagrammi, uno per il modulo di  $\mathbf{Z}$  cioè  $\mathbf{Z} = \sqrt{\mathbf{R}^2 + (\omega \mathbf{L} - 1/\omega \mathbf{C})^2}$  e l'altro per lo sfasamento  $\mathbf{j}$ , con la formula  $\mathbf{j} = \arctg (\omega \mathbf{L} - 1/\omega \mathbf{C}) / \mathbf{R}$  otteniamo:

# CIRCUITO RLC RISONANTE SERIE



Nel diagramma superiore abbiamo rappresentato il modulo al variare della frequenza, partendo da frequenza zero sino alla massima frequenza, cioè infinito $\infty$ ; notiamo che a frequenze basse il condensatore si comporta come un circuito aperto, quindi presenta una elevata impedenza e impedisce il passaggio della corrente; contemporaneamente la induttanza si comporta come un corto circuito, mentre il resistore resta costante; il circuito si dice prevalentemente capacitivo.

# CIRCUITO RLC RISONANTE SERIE



Man mano che aumenta la frequenza si arriva ad una particolare frequenza in cui il condensatore è diventato ormai un corto circuito e l'induttanza inizia a manifestare i suoi effetti; tale frequenza è detta frequenza di risonanza, che indichiamo con  $f_0$ , tale frequenza è caratteristica del circuito RLC, infatti in corrispondenza di tale frequenza

il circuito si comporta come un semplice resistore  $R$ , e l'impedenza raggiunge il valore minimo, cioè  $Z = R$ , consentendo il massimo passaggio di corrente. La frequenza di risonanza si calcola con la seguente formula:

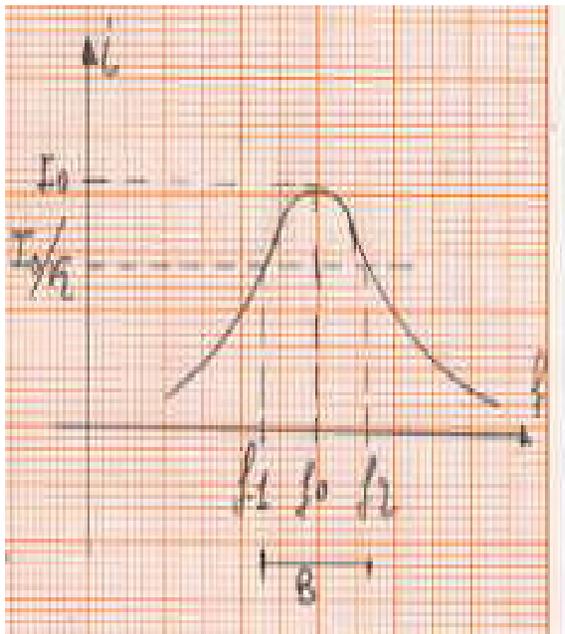
$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

a tale frequenza si ha che  $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ , cioè la reattanza del condensatore è uguale alla reattanza della bobina, e poiché le due reattanze  $X_L$  e  $X_C$  sono uguali e contrarie, i loro effetti si annullano.

# CIRCUITO RLC RISONANTE SERIE

Per quanto riguarda lo sfasamento possiamo dire che a frequenze basse lo sfasamento parte da  $-\pi/2$ , alla frequenza di risonanza lo sfasamento è nullo, e ciò costituisce un pregio, in quanto il circuito lo utilizziamo in prossimità della frequenza di risonanza; per frequenze superiori lo sfasamento tende a  $+\pi/2$ .

Volendo ora rappresentare l'andamento della corrente possiamo utilizzare la formula  $I = V/Z$ . Tenendo costante la tensione e variando la frequenza da 0 a  $\infty$  il modulo della corrente ha un andamento del tipo:



Notiamo che la corrente raggiunge il massimo valore  $I_0$  in corrispondenza di  $f_0$ . Prendendo poi sull'asse verticale il punto  $I_0/\sqrt{2}$  e tirando una linea orizzontale otteniamo due punti di incontro con il diagramma.; un primo punto in corrispondenza della frequenza  $f_1$ , ed un secondo punto in corrispondenza della frequenza  $f_2$ ; in corrispondenza di tali frequenze la corrente si è ridotta al valore  $I_0/\sqrt{2}$ .

# CIRCUITO RLC RISONANTE SERIE

Tali due frequenze sono quindi delle frequenze di taglio. La prima frequenza  $f_1$  la chiamiamo **frequenza di taglio inferiore**; la seconda  $f_2$  la chiamiamo **frequenza di taglio superiore**. Da tale diagramma possiamo concludere che le frequenze che il circuito lascia passare sono quelle comprese tra  $f_1$  ed  $f_2$ , in pratica il circuito risonante RLC si comporta come un filtro che lascia passare le frequenze comprese tra  $f_1$  ed  $f_2$ .

Si dice banda passante l'insieme delle frequenze comprese tra  $f_1$  ed  $f_2$ . In formula  $B = f_2 - f_1$ .

