

# IQ5IN Lezione di elettronica per radioamatori

## 4ª LEZIONE

Leggi di Kirchoff, circuiti RLC, filtri

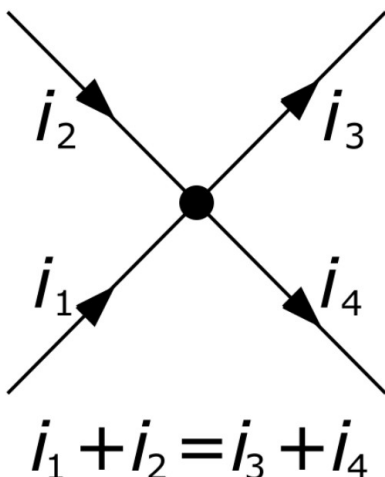
### LEGGI DI KIRCHHOFF

Le **leggi di Kirchoff** sono due relazioni connesse con la conservazione della carica e dell'energia nei circuiti elettrici a parametri concentrati.

Furono formulate da **Gustav Robert Kirchoff** nel **1845** a seguito di esperimenti empirici e precedono storicamente le ben più complesse e generali equazioni di Maxwell.

#### Prima legge di Kirchoff:

La prima legge di Kirchoff, conosciuta anche come legge dei nodi (LKC o LKI o KCL), afferma che, definita una superficie chiusa che contenga un circuito elettrico in regime stazionario, la somma algebrica delle correnti che attraversano la superficie (con segno diverso se entranti o uscenti) è nulla.



Ad esempio, per dimostrare, prendiamo un nodo a cui giungono quattro rami del circuito e chiamiamo le correnti  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  e  $i_4$  si decide che dai rami 3 e 4 uscirà corrente, quindi la formula sarà:  $i_1 + i_2 = i_3 + i_4$ , che trasformata nella forma canonica:  $i_1 + i_2 - i_3 - i_4 = 0$

La somma algebrica totale sarà quindi nulla.

Se risolvendo il circuito otteniamo un valore negativo di corrente questo significa che il verso effettivo con cui la carica percorre il ramo è l'opposto di quello ipotizzato all'inizio.

Se il circuito è in corrente continua la somma va intesa come somma algebrica.

Se il circuito è in regime sinusoidale la somma può essere fatta anche sui fasori corrispondenti alle correnti (quindi come somma vettoriale).

La prima legge semplicemente riflette il fatto che la carica non può essere dispersa.

Se vengono indicati tutti i possibili tragitti lungo i quali il trasferimento della carica è possibile, e se si è certi che un'emissione effettiva di elettroni o effetti collaterali non esistono, allora la carica netta spostata verso un nodo deve uguagliare quella che vi si allontana. Conseguentemente, la velocità totale con cui la carica entra in un nodo, ovvero

la corrente in entrata, deve uguagliare la velocità totale della carica che lo lascia, ovvero la corrente in uscita.

La prima legge di Kirchhoff è dunque una conseguenza del principio di conservazione della carica elettrica.

La definizione canonica è:

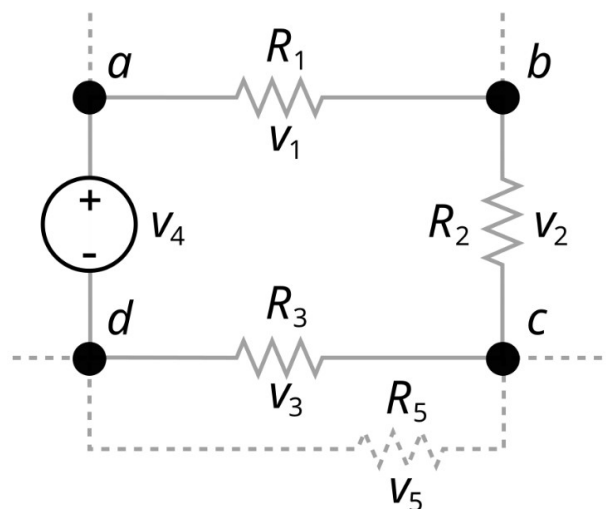
**LA SOMMA DELLE CORRENTI ENTRANTI IN UN NODO E' UGUALE ALLA SOMMA DELLE CORRENTI USCENTI, QUINDI LA SOMMA ALGEBRICA DELLE CORRENTI CHE INTERESSANO UN NODO E' UGUALE A ZERO.**

**Seconda legge di Kirchhoff:**

La seconda legge di Kirchhoff, nota anche come legge delle maglie (LKT o LKV o KVL), afferma che la somma algebrica delle tensioni agenti tra le coppie di punti nello spazio che formano una qualsiasi sequenza chiusa (orientata) è uguale a zero.

Nella formulazione più semplice la legge dice che: **la somma algebrica delle tensioni lungo una linea chiusa (con il segno appropriato in funzione del verso di percorrenza della maglia stessa) è pari a zero.**

Se le grandezze elettriche del circuito sono rappresentate nel dominio del tempo (per esempio se è in corrente continua) la somma va intesa come somma algebrica. Se il circuito è in corrente alternata e le grandezze elettriche sono rappresentate da fasori la somma può essere fatta anche sui fasori corrispondenti alle tensioni (quindi come somma vettoriale).



Indicando con  $V_i$  le tensioni, in formula si può scrivere: 
$$\sum V_i = 0.$$

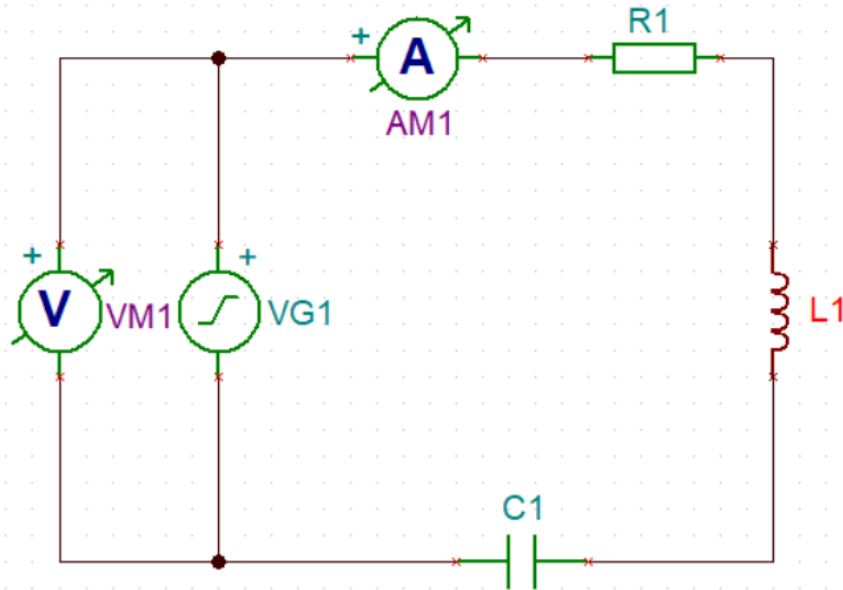
Una maglia è un percorso chiuso di una rete elettrica che partendo da un nodo torna allo stesso senza attraversare uno stesso ramo due volte, non è necessario che tra due nodi

successivi di una maglia ci sia un componente "effettivo" (anche perché si può sempre immaginare la presenza di un componente corto circuito o circuito aperto).

### Circuiti RLC, circuito risonante serie o di corrente

Conoscendo perfettamente il comportamento delle reattanze  $X_C$  e  $X_L$  analizziamo un circuito **R L C** in serie dove **R** rappresenta la componente resistiva dei materiali utilizzati per la realizzazione della bobina e del condensatore e della resistenza interna del generatore.

Al nostro circuito inseriamo un **amperometro**

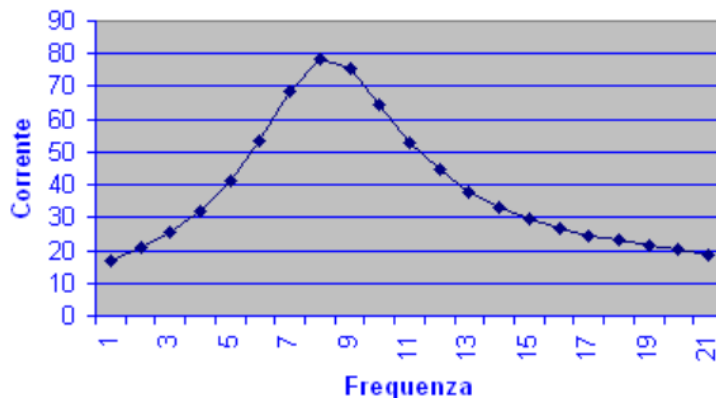


Immaginiamo

ora, di poter variare la frequenza generata a nostra discrezione, si noterà che in corrispondenza di un certo valore di **F**, che chiameremo **F0**, l'amperometro indicherà la massima corrente.

Questo sta a significare che la reattanza induttiva e la reattanza capacitiva, per quella determinata frequenza, hanno uguale valore e, tenuto conto degli sfasamenti diametralmente opposti introdotti da **L1** e **C1**, le due grandezze si elimineranno:  **$X_L = X_C$**

#### frequenza di risonanza



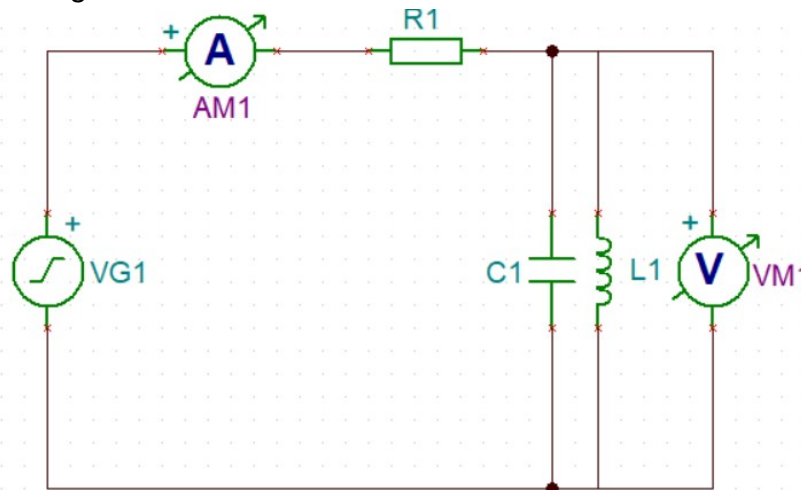
Pertanto l'impedenza del circuito sarà:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + (0)^2} = \sqrt{R^2} = R$$

essendo R molto piccola, come già detto è data solamente da parametri costruttivi dei componenti usati, la corrente I sarà massima solo in corrispondenza della frequenza di risonanza  $f_0$ .

### circuito risonante parallelo o di tensione

In questo circuito L e C sono in parallelo, e R, come nel caso precedente individua le cause di perdita conglobate.



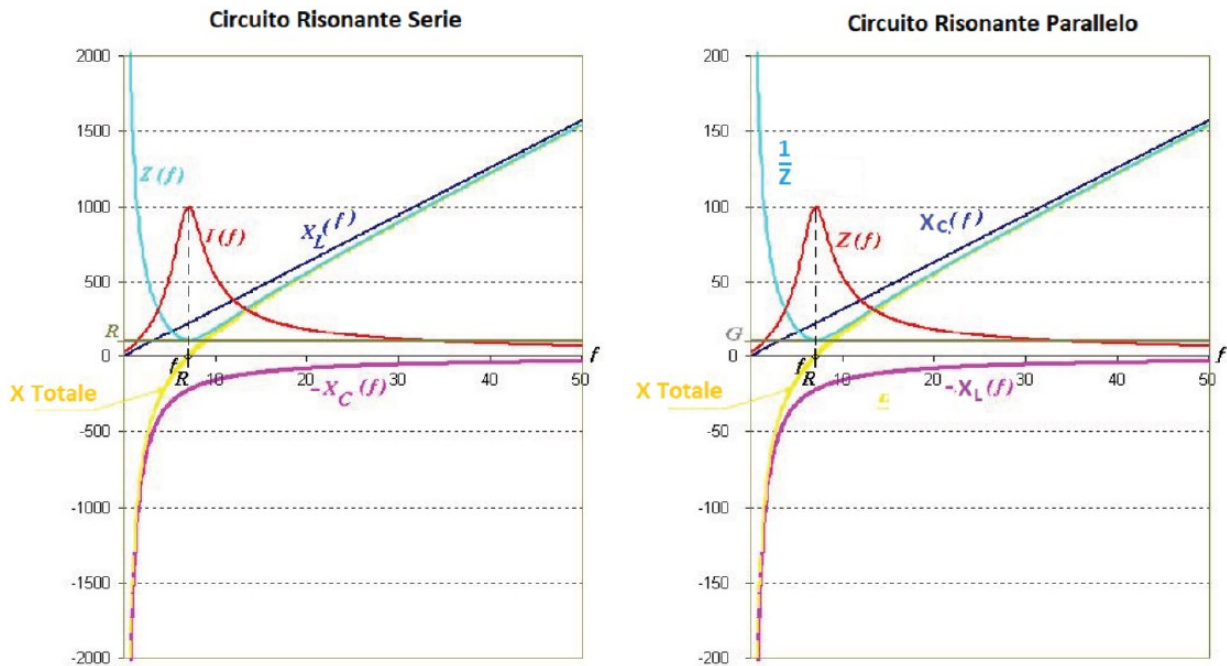
Il comportamento della corrente in un circuito LC in parallelo è al contrario di quello rilevato nel circuito LC in serie.

Alla frequenza di risonanza di risonanza, le correnti IC e IL che passano nei rami C e L possono assumere valori molto alti ma con segno opposto, date dalle caratteristiche simmetricamente opposte dei due componenti, avremo come risultato l'annullamento della corrente complessiva, quindi sarà:

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{V}{[\text{valore molto alto}]} = [\text{valore prossimo allo zero}]$$

Per contro, la tensione ai capi del circuito avrà raggiunto il valore massimo.

Nei grafici seguenti viene illustrato il comportamento delle reattanze, correnti e tensioni all'interno dei due circuiti:



Calcolo della frequenza di risonanza, formula classica:

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

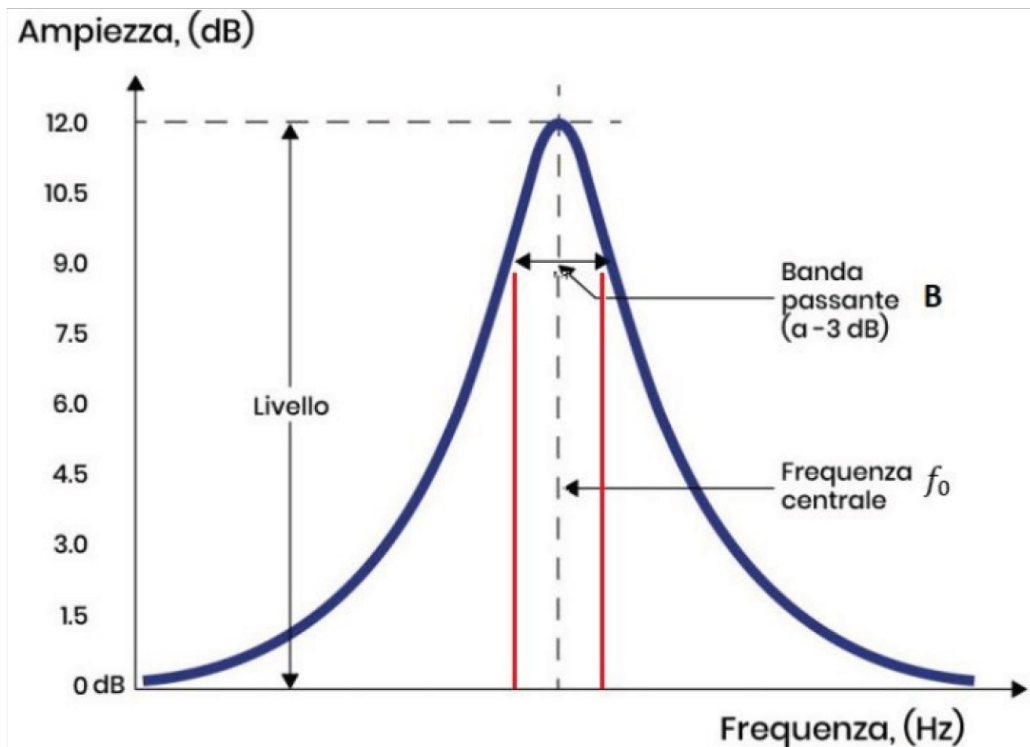
La frequenza  $f_0$  si misura in Hz, L in Henry e C in Farad

Il fattore Q o coefficiente di risonanza o fattore di merito:

Il fattore di merito Q è un parametro che misura l'ampiezza della banda di frequenze che vengono amplificate o attenuate e definisce la selettività di un filtro, ed è calcolato in base alla seguente formula:

$$Q = \frac{f_0}{B}$$

Dove la frequenza  $f_0$  è la frequenza centrale o di taglio, mentre B è la banda passante del filtro stesso, entrambe si misurano in Hz.



La curva ora rilevata, sarà per riferirla ad **I** se il circuito risonante è in serie, mentre sarà riferita a **V** se il circuito risonante è in parallelo.

É chiaro che il picco massimo di **I** e **V** sarà solo per la frequenza di di risonanza dei due circuiti, è tuttavia possibile spostarsi dalla frequenza di risonanza, più in basso o in alto entro certi limiti accettabili, ma tenendo conto che ogni spostamento della frequenza di risonanza comporterà una diminuzione di **I** e **V** a seconda del tipo di circuito.

Esempio di calcolo:

rimanendo in area radioamatoriale, banda dei 40Mt, fissiamo la frequenza di risonanza  $F_0$ : 7100KHz,  $F_1$ : 7030KHz, e  $F_2$  a 7170KHz:

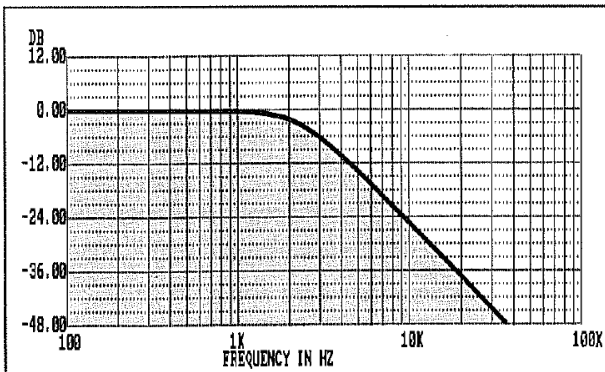
La larghezza di banda sarà:  $B = f_2 - f_1 = 7170KHz - 7030KHz = 140KHz$

e di conseguenza **Q** sarà:

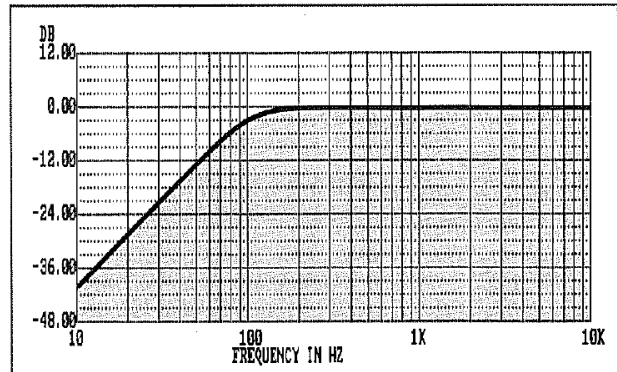
$$Q = \frac{f_0}{B} = \frac{7100KHz}{140KHz} = 50,714$$

## I Filtri:

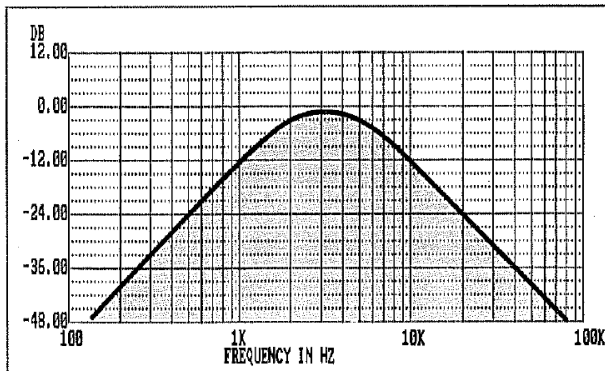
Si identificano come PASSA BASSO, PASSA ALTO, PASSA BANDA, ELIMINA BANDA o filtro tipo NOTCH.



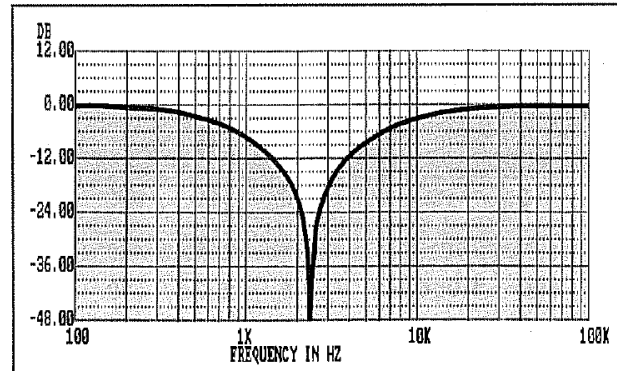
**Fig.1 Il filtro Passa/Basso lascia passare senza attenuazione tutte le frequenze poste sotto il valore della "frequenza di taglio".**



**Fig.2 Il filtro Passa/Alto lascia passare senza attenuazione tutte le frequenze poste sopra il valore della "frequenza di taglio".**



**Fig.3 Il filtro Passa/Banda lascia passare, senza alcuna attenuazione, una ristretta banda di frequenza.**



**Fig.4 Il filtro Notch viene utilizzato per eliminare totalmente la frequenza sulla quale è stato calcolato.**

Indipendentemente dal loro scopo, si realizzano con combinazioni, più o meno complesse, di induttanze e di capacità e resistenze.

Lo scopo principale è quello di offrire impedenze altissime per le frequenze da eliminare e impedenze bassissime per le frequenze ritenute utili.

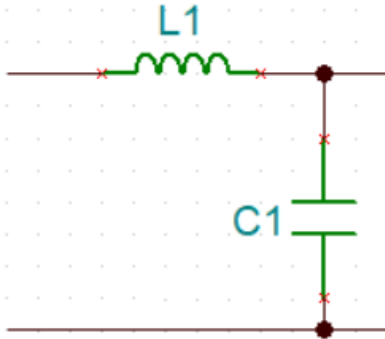
I filtri, non sono altro che combinazioni di L e C, tali combinazioni sono chiamate CELLE, il loro numero determinerà l'efficacia più o meno accentuata del filtro realizzato per gli scopi richiesti, farà variare il fattore Q.

Il numero delle celle può essere scelto a piacimento a seconda delle caratteristiche desiderate, ma per motivi pratici e di progettazione, in generale, si cerca di non superare il numero di 10 a causa delle caratteristiche parassite di L e C, dovute ai materiali costruttivi.

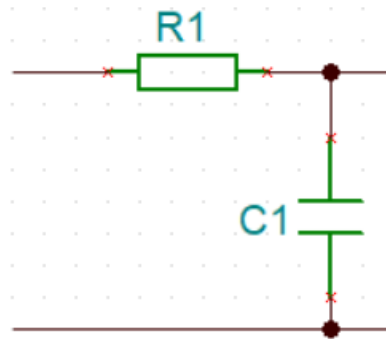
### Cella PB (passa basso):

Lo scopo della cella **PB** sarà quello di eliminare tutte le frequenze superiori alla frequenza di taglio, vedere fig. 1

Schema di un filtro passa basso **LC** e **RC**:



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



$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

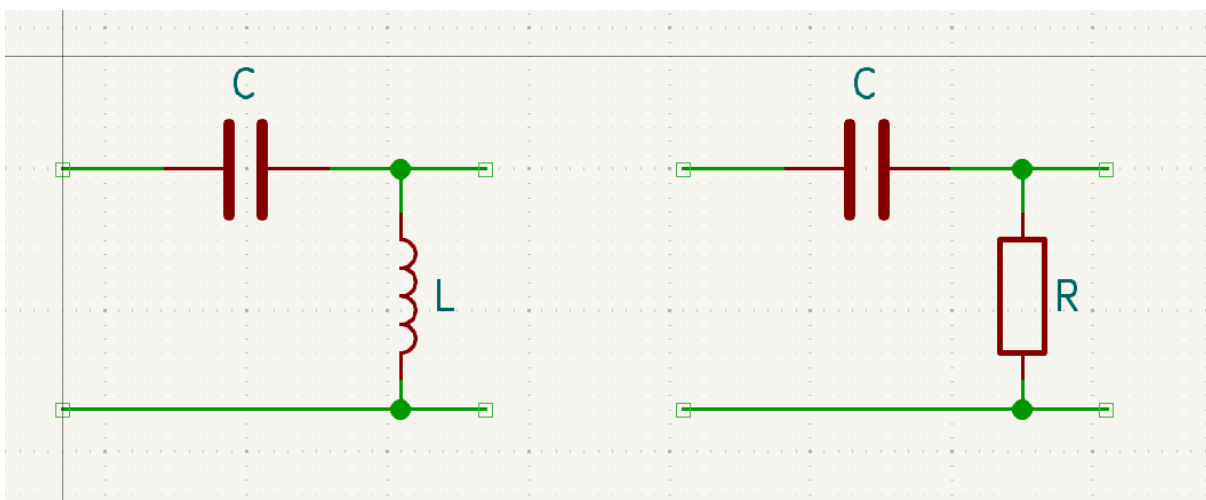
Dove:

- $f_c$ : Frequenza di taglio espressa in Hertz (Hz).
- $L$ : Induttanza espressa in Henry (H).
- $C$ : Capacità espressa in Farad (F).
- $f_c$ : Frequenza in Hertz (Hz)
- $R$ : Resistenza in Ohm ( $\Omega$ )
- $C$ : Capacità in Farad (F)

### Cella PA (passa alto):

Lo scopo della cella **PA** sarà quello di eliminare tutte le frequenze inferiori alla frequenza di taglio, vedere fig. 2

Schema di un filtro passa alto **LC** e **RC**:

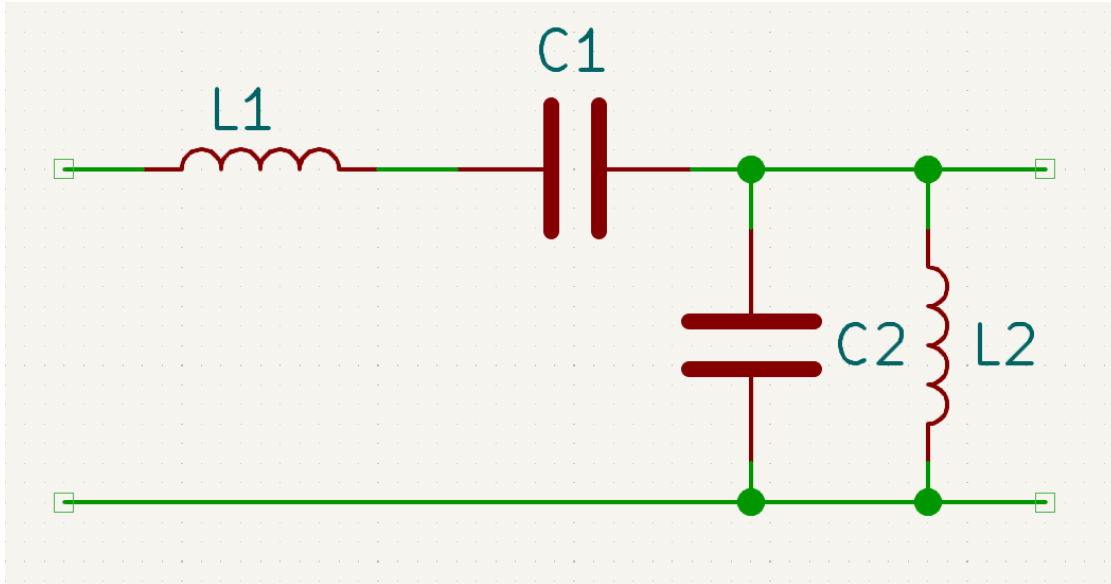


Le formule sono identiche al filtro passa basso **PB**

### Cella PB (passa banda):

Combinando in modo opportuno i filtri **PA** e **PB**, si ottiene un filtro di tipo passa banda **PB**, con lo scopo di lasciar passare solo le frequenze interessate, normalmente indicato come **banda passante**, vedi fig. 3.

Schema di un filtro **PB**:



1. **Passa-Alto (definisce  $f_L$ ):**  $f_L = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$
2. **Passa-Basso (definisce  $f_H$ ):**  $f_H = \frac{1}{2\pi R_2 C_2}$

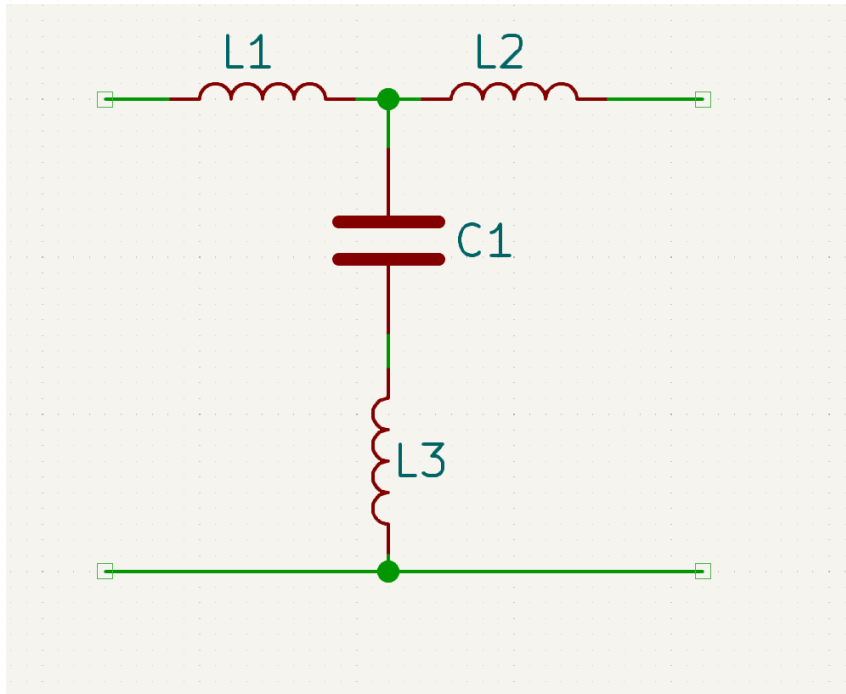
#### Sintesi delle Formule

Parametro	Formula
Frequenza Centrale	$f_c = \sqrt{f_L f_H}$
Larghezza di Banda	$BW = f_H - f_L$
Fattore Q	$Q = f_c / BW$
Risonanza (RLC)	$f_c = 1 / (2\pi \sqrt{LC})$

### Cella EB (elimina banda o notch):

Combinando in modo opportuno i filtri **PA** e **PB**, si ottiene un filtro di tipo elimina banda **EB**, con lo scopo di eliminare solo le frequenze interessate, vedi fig. 4.

Schema di un filtro **EB**:



Parametro	Descrizione	Formula
Pulsazione	Velocità angolare alla frequenza critica	$\omega_0 = 2\pi f_0$
Larghezza di Banda	Intervallo di frequenze attenuate ( $BW$ )	$BW = \frac{f_0}{Q}$
Funzione di Trasferimento	Rappresentazione nel dominio di Laplace	$H(s) = \frac{s^2 + \omega_0^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q}s + \omega_0^2}$

### Nota a margine:

Il **db (decibel)** è l'unità di misura più usata quando si parla di segnali, si definisce come il logaritmo in base 10 del segnale di uscita rispetto a quello in ingresso.

È particolarmente comodo quando si discute di amplificatori, filtri.

Va ricordato che il decibel è va rappresentato con una scala logaritmica, ad esempio se **10db** corrispondono a 1Volt, **2 db** corrispondono a 100V.