

Laboratorio Elettronico

P.C.T.O.

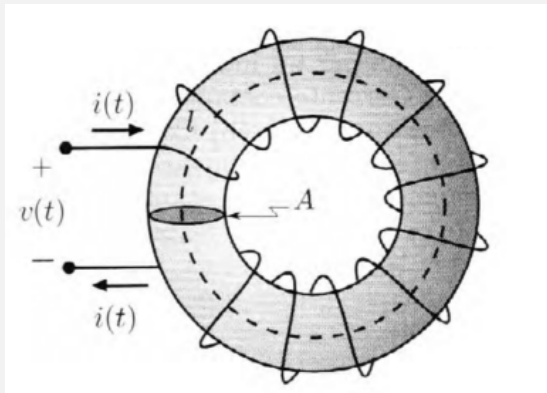
Percorsi per le Competenze Trasversali

Componenti - 3

Induttori

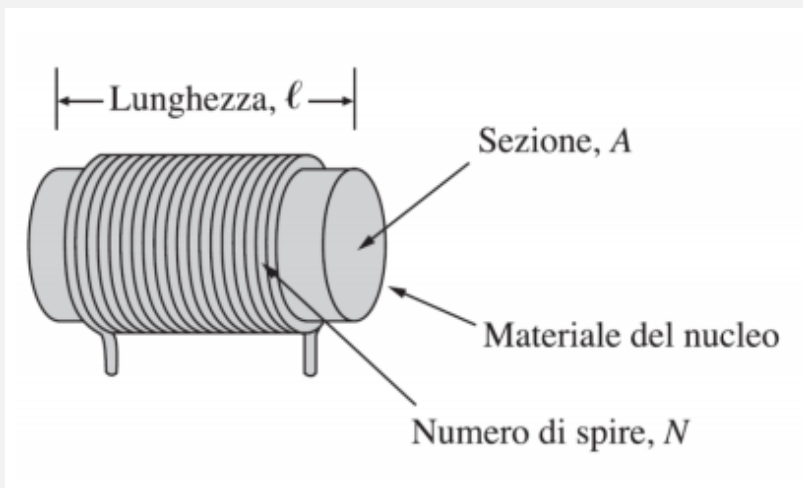
- E' un elemento elettrico duale del condensatore.
- L'induttanza è una particolare proprietà elettrica caratteristica di alcuni dispositivi, in virtù della loro conformazione fisica; nei circuiti ove è presente, essa si manifesta come una tendenza ad opporsi alle variazioni di corrente, e determina uno sfasamento in ritardo della corrente rispetto alla tensione applicata.
- Un elemento circuitale, il cui comportamento sia prevalentemente induttivo, viene definito **induttore**; grazie alla sua induttanza, esso è in grado di immagazzinare energia sotto forma di **campo magnetico**.
- Nella rappresentazione più semplice l'Induttore è realizzato con un filo conduttore (di sezione ed isolamento adeguati all'applicazione) avvolto su un supporto anch'esso isolato (*nucleo*) che potrà essere in aria o di materiale ferromagnetico ad elevata permeabilità magnetica μ .
- In virtù della presenza del nucleo o meno gli induttori possono distinguersi in induttori in aria, o induttori con nucleo, presentano entrambe per il collegamento al circuito due terminali che non hanno una polarizzazione.

- Il conduttore avvolto intorno al supporto (nucleo) realizza una bobina composta da un certo numero di spire N , e quando questa è percorsa da un'intensità di corrente I si genera nello spazio circostante un flusso Φ concatenato con il conduttore stesso e legato all'intensità di corrente dalla relazione:



$$\Phi(t) = L \cdot i(t)$$

il flusso magnetico concatenato
attraversa la superficie A



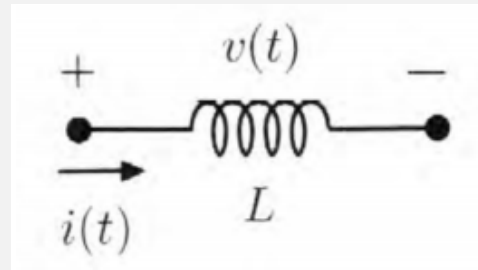
Legge di Faraday

La variazione nel tempo di $\phi(t)$ induce una tensione tra i morsetti data da:

Equazione costitutiva

$$v(t) = \frac{d\Phi(t)}{dt} = L \cdot \frac{di(t)}{dt}$$

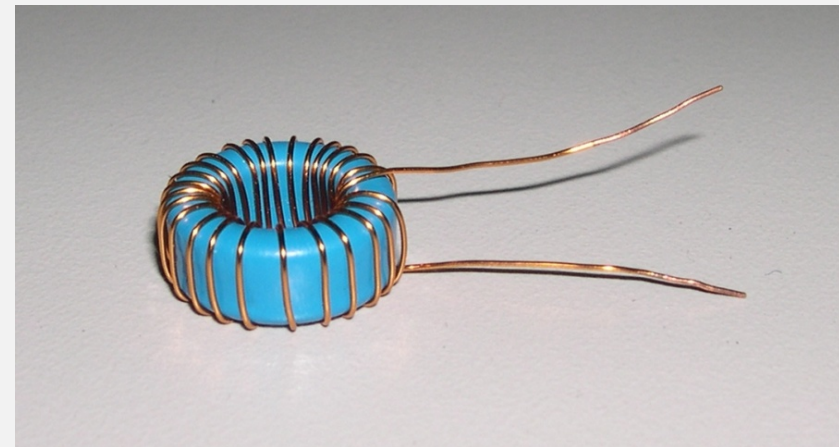
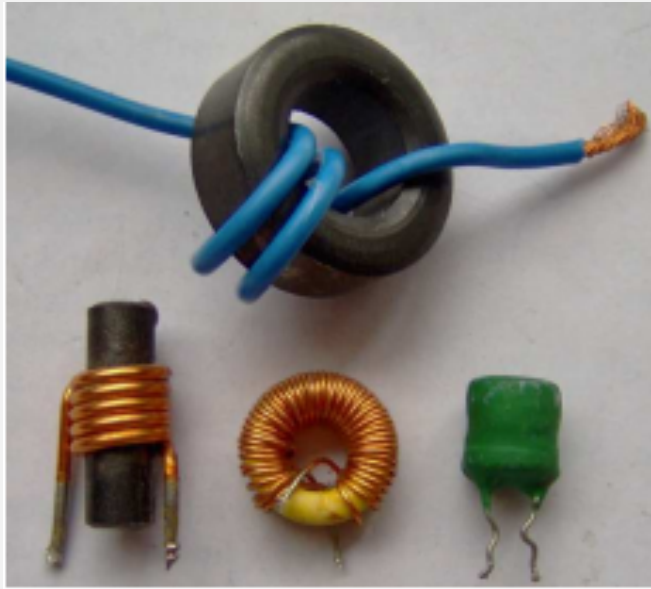
Simbolo circuitale



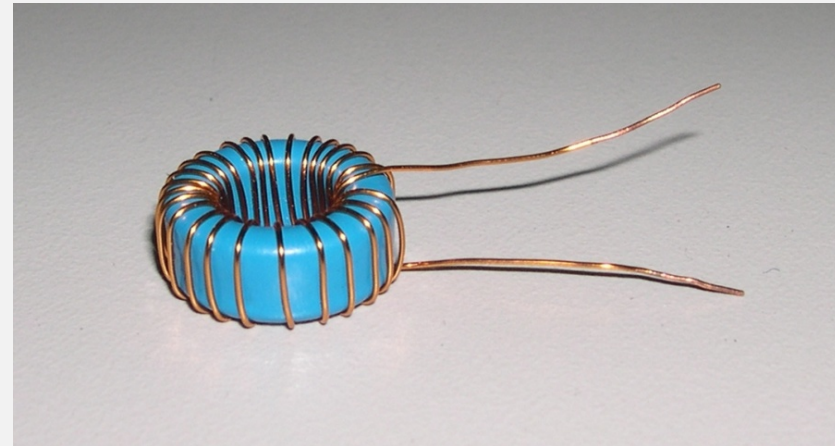
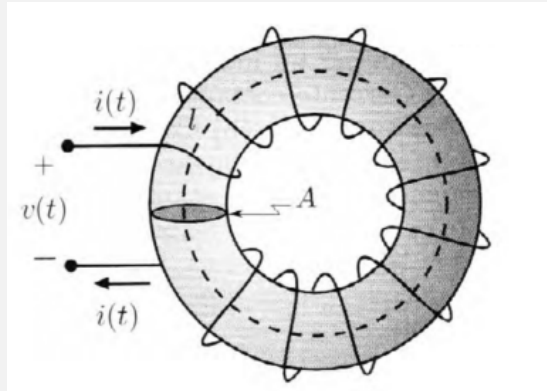
Unità di misura (Henry)

$$1H = \frac{V \cdot s}{A} \left[\frac{Volt \cdot secondi}{Ampere} \right]$$

Esempi di induttori



Realizzazione pratica



- Permeabilità magnetica del nucleo (solenioide)
- A sezione del solenoide
- ℓ lunghezza del solenoide
- N numero di spire

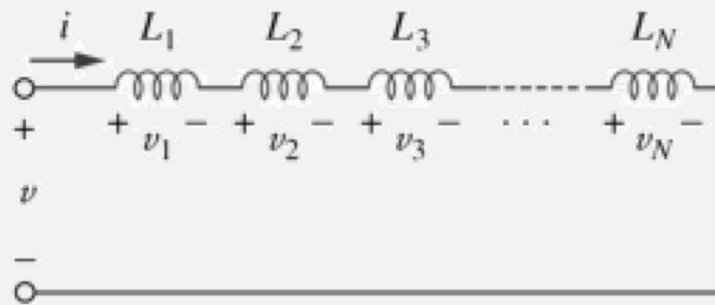
$$L = \frac{\mu \cdot N^2 \cdot A}{\ell}$$

- Per la realizzazione degli induttori, si utilizzano nuclei ferromagnetici, di cui in genere viene fornito l'indice di induttanza

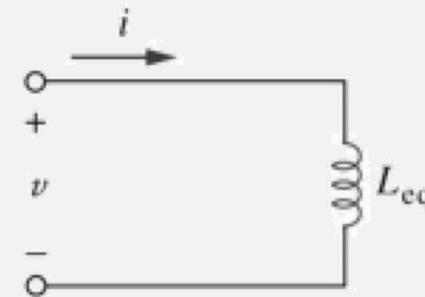
$$A_L = \frac{\mu \cdot A}{\ell}$$

Connessioni Serie e Parallelo

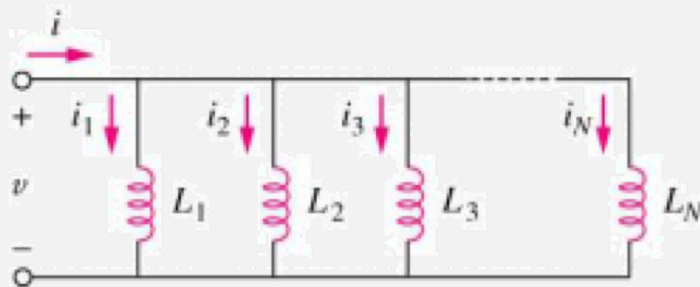
Induttori in serie



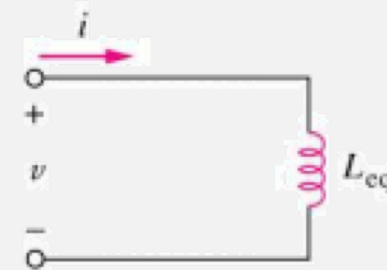
$$L_{eq} = L_1 + L_2 + \dots + L_N$$



Induttori in parallelo



$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_N}$$



Esercitazione - 3

Induttore

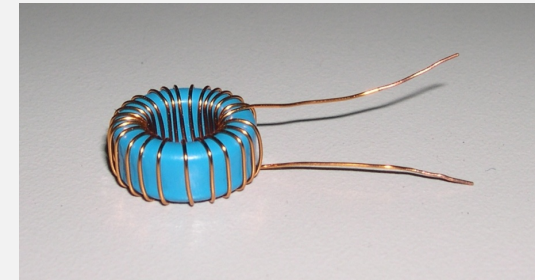
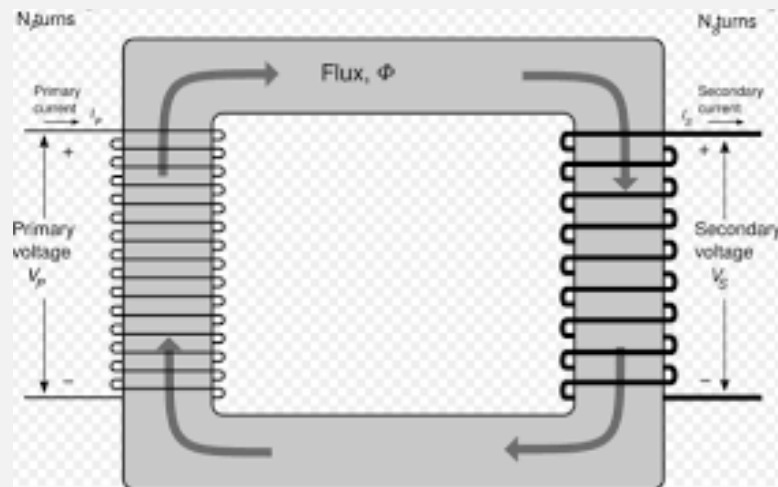
Esperienza induttore

Obiettivi

Effetto accoppiamento flusso magnetico

Costruzione

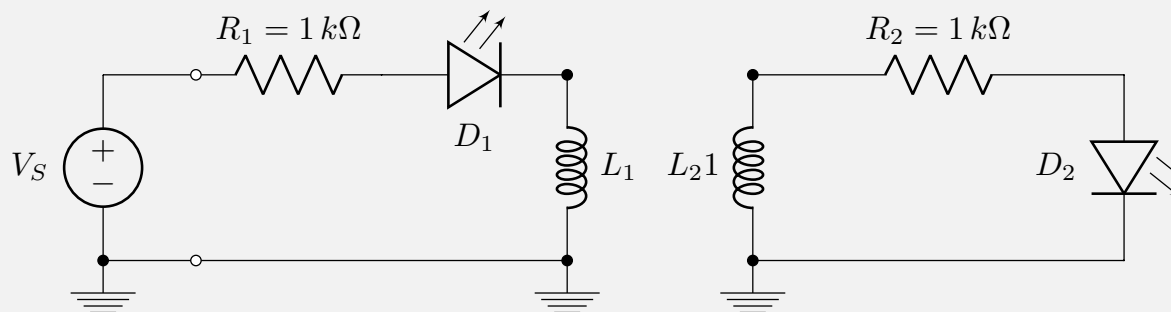
Creare 4 spire da un lato e 4 spire dall'altro lato del nucleo di ferrite



Esperienza induttore

Montaggio circuito

Montare il seguente circuito



Esecuzione

Applicare una tensione sinusoidale $V_{pp}=10\text{V}$ e frequenza $f=1\text{kHz}$

Strumentazione - 3

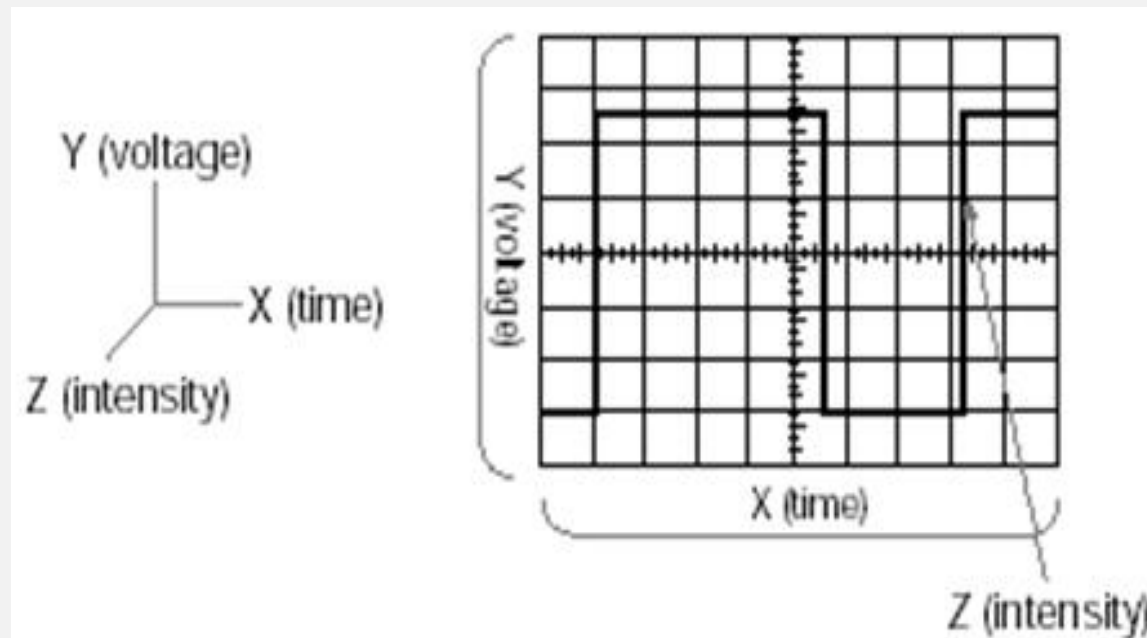
Oscilloscopio

L'oscilloscopio consente di **visualizzare le forme d'onda**

Più in generale è un dispositivo che visualizza una qualunque funzione di 2 variabili. Per fare ciò le 2 variabili devono essere (o essere trasformate in) tensioni elettriche.

Nell'uso più comune l'oscilloscopio visualizza sullo schermo l'andamento in funzione nel tempo (asse X) di una tensione elettrica (asse Y).

A volte l'intensità del display è detta asse Z.

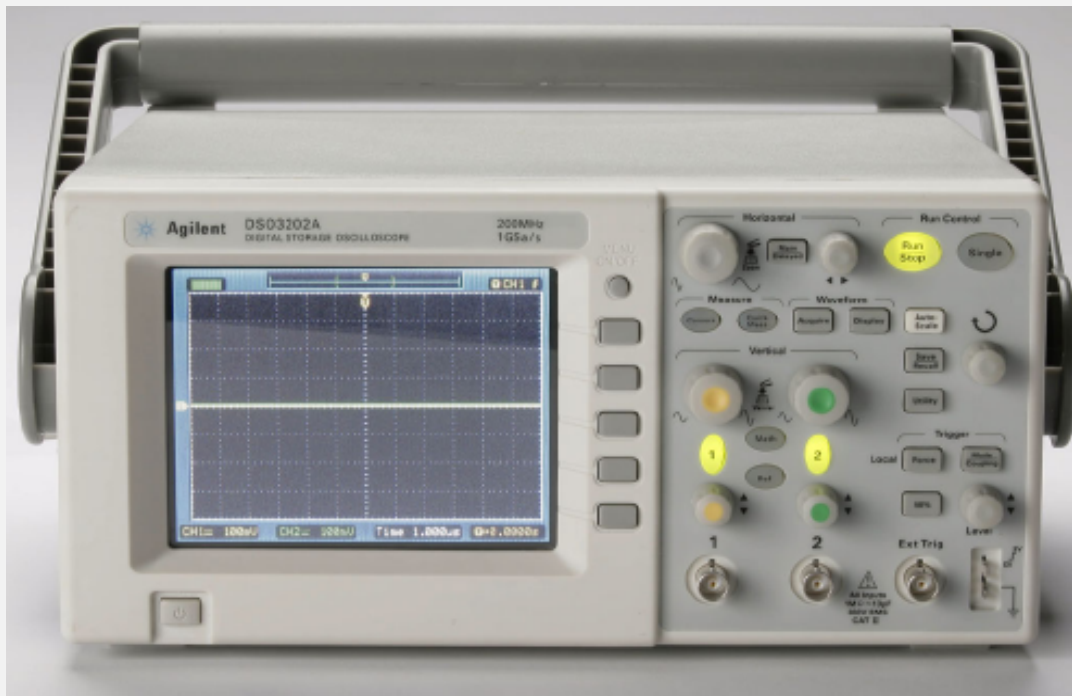


Oscilloscopi

Il grafico rappresentato sullo schermo dell'oscilloscopio consente di effettuare misure e di fornire molteplici informazioni su:

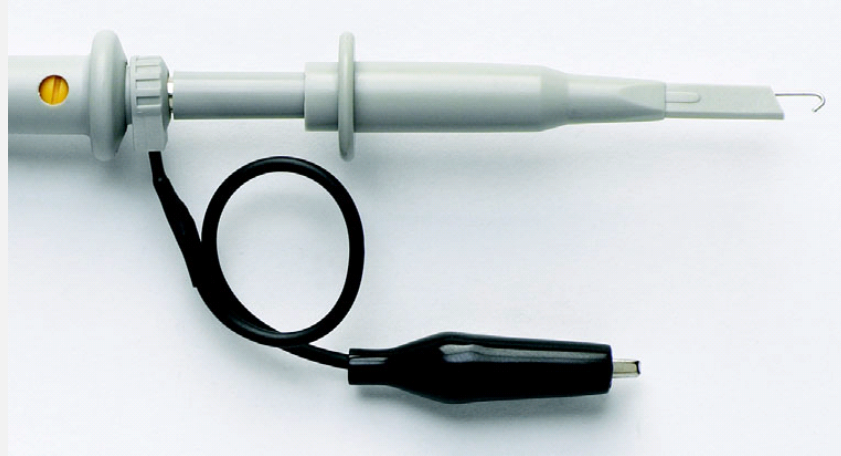
- **Forma del segnale**
- **Tensioni ($\Rightarrow$ correnti):** si può misurare la differenza tra tensione massima e minima ovvero l'escursione picco-picco del segnale
- **Periodi delle forme d'onda ($\Rightarrow$ frequenze)**
- **Differenze temporali DT legate a differenze di fase DF**

Si possono individuare la presenza di disturbi e rumore, la presenza di una componente



Principio di funzionamento

- L'oscilloscopio utilizza le sonde di misura per prelevare il segnale dal circuito.



- L'impedenza di ingresso degli oscilloscopi è di $1\text{ M}\Omega$ per frequenze $<1\text{ kHz}$.
- Per frequenze superiori comincia a diventare importante la capacità di ingresso dell'oscilloscopio in parallelo a quella delle sonde (100 pF) e quindi diminuisce.
- Gli oscilloscopi si suddividono in 2 categorie: **digitali** ed **analogici**.
 - Quelli analogici utilizzano direttamente tensioni variabili
 - Quelli digitali lavorano con numeri binari che rappresentano campioni di tensioni.

Principio di funzionamento

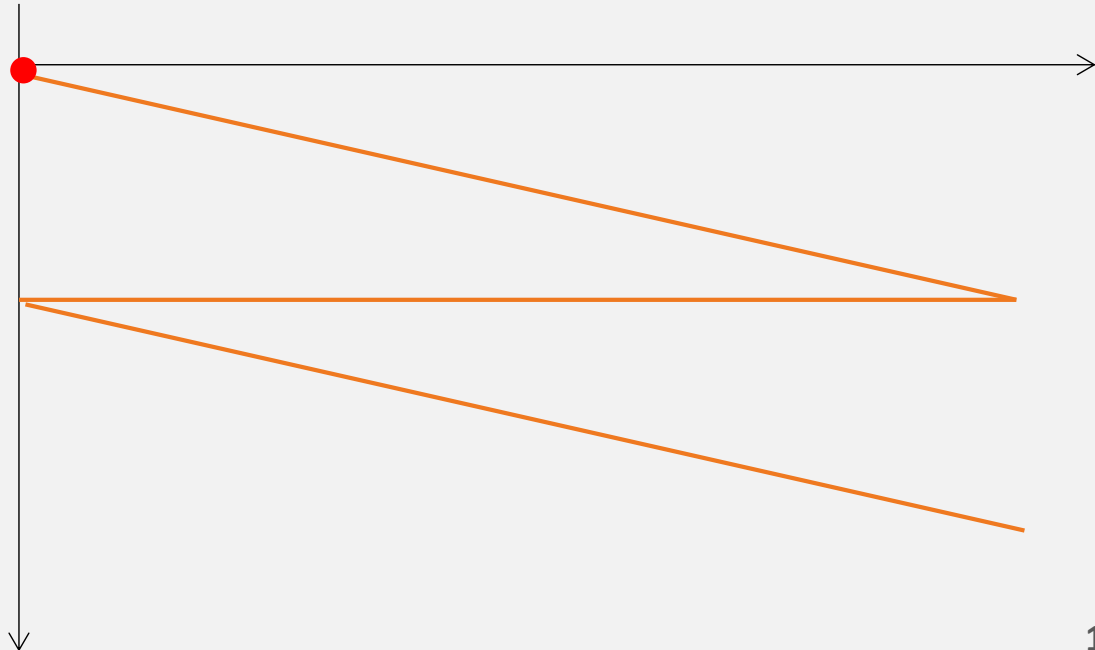
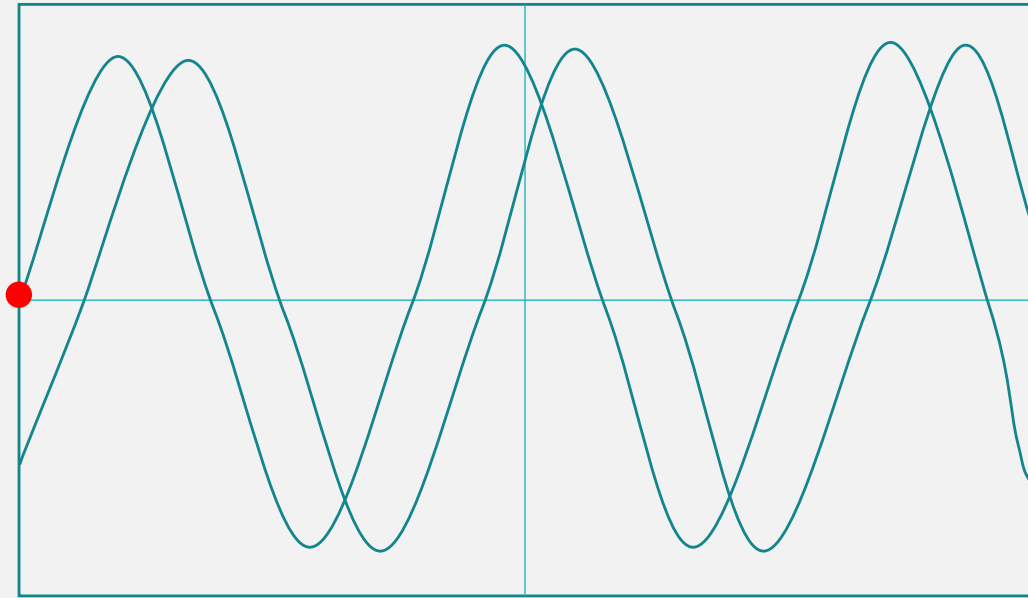
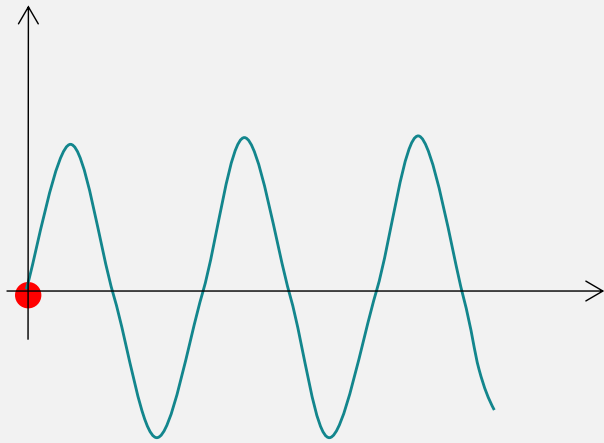
La traccia ottenuta sullo schermo dipende da due fattori:

- il movimento di un punto sullo schermo
- e la persistenza dell'immagine sulla retina dell'occhio.

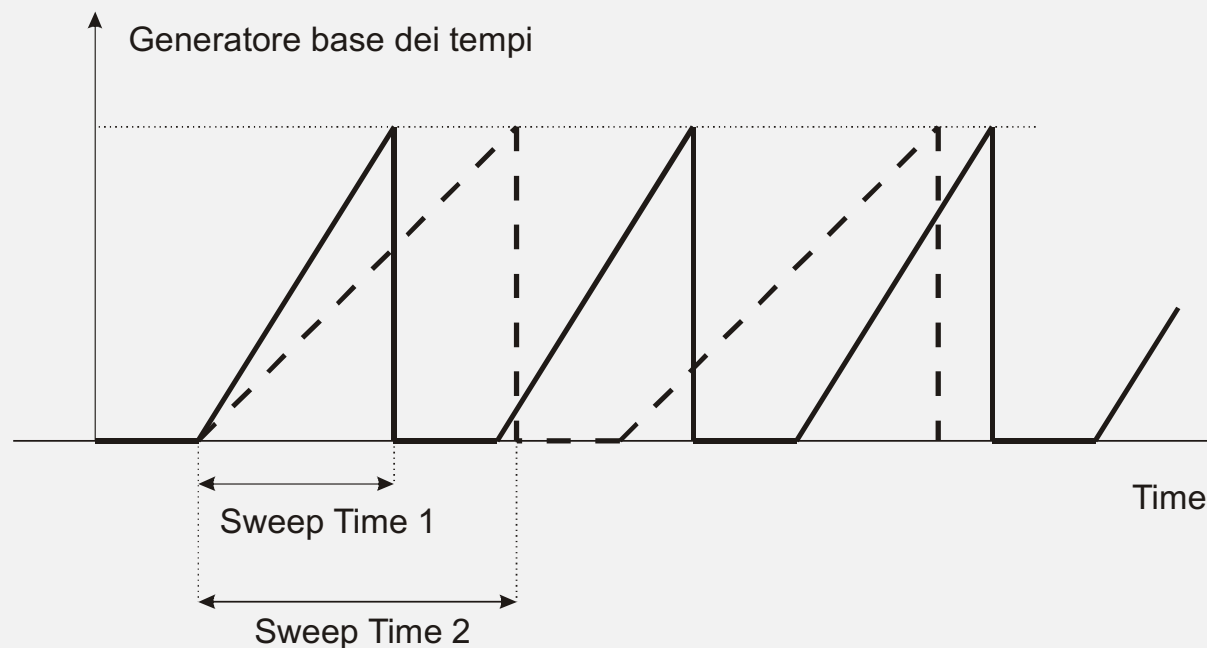
Lo spostamento del punto è il risultato di due movimenti, uno lungo l'asse orizzontale, prodotto da una tensione periodica a dente di sega, l'altro lungo l'asse verticale, prodotto dal segnale all'ingresso.

Pertanto se il segnale in ingresso è periodico ed è garantita una sincronizzazione tra i due segnali Y e X si ottiene come risultato l'andamento della tensione nel dominio del tempo.

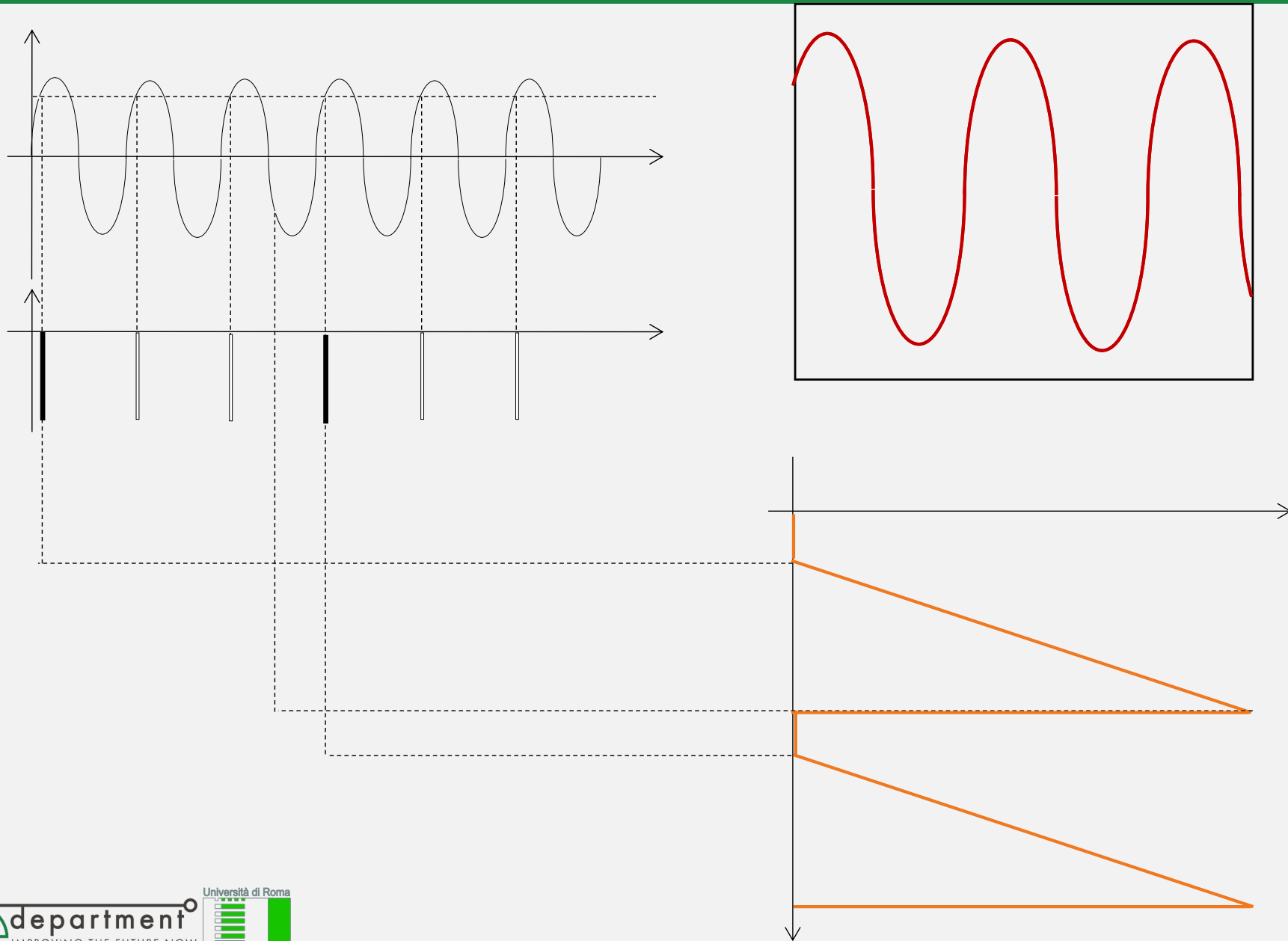
Sincronizzazione



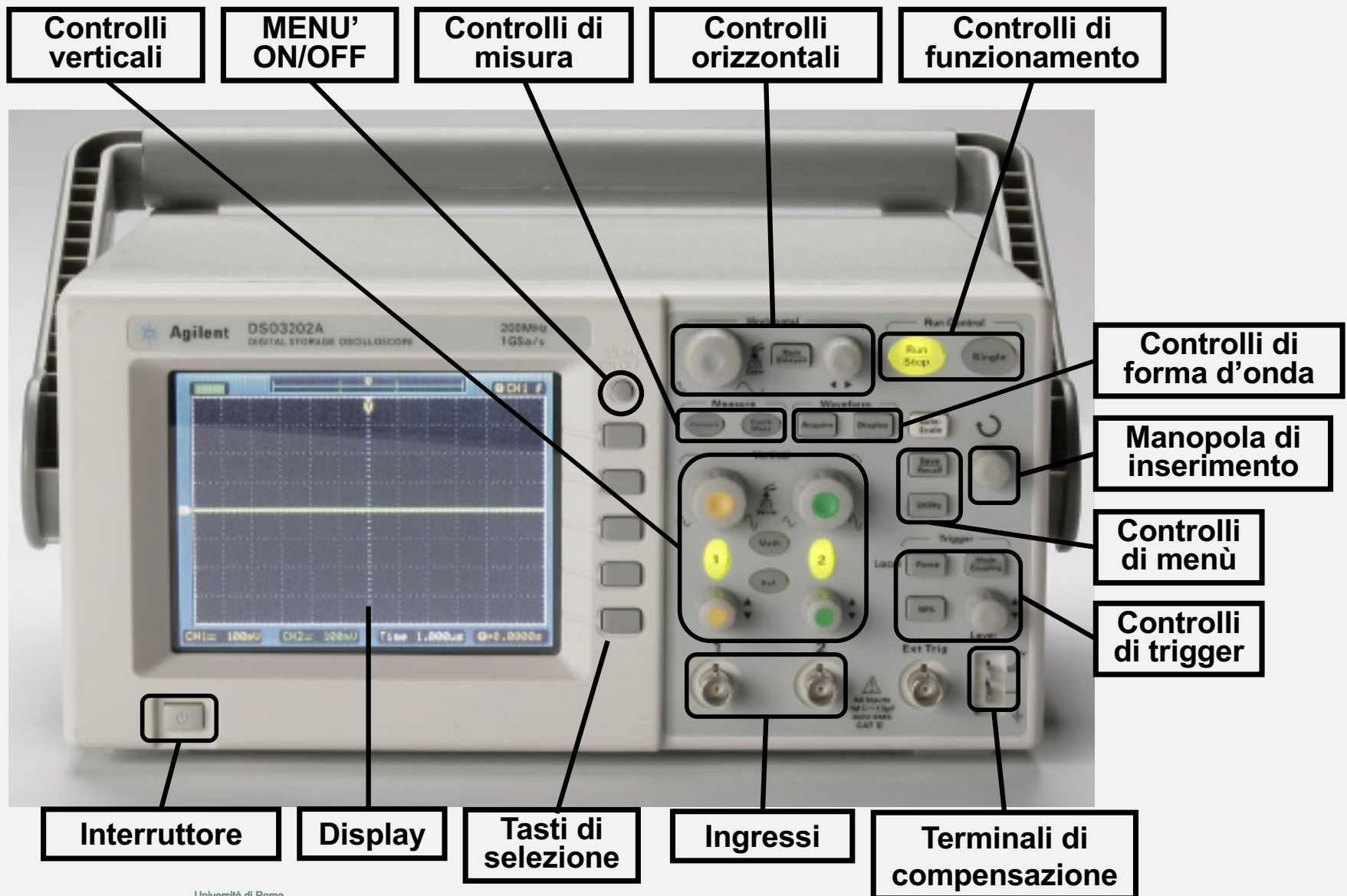
- Per realizzare la sincronizzazione dei due segnali, gli oscilloscopi fanno ricorso alla funzione denominata **Trigger**, la quale permette di controllare l'avvio della scansione solo in corrispondenza del verificarsi di un particolare evento sul segnale in ingresso, quale ad esempio il superamento di una determinata soglia (positiva, negativa o nulla).



Trigger



3202A Agilent



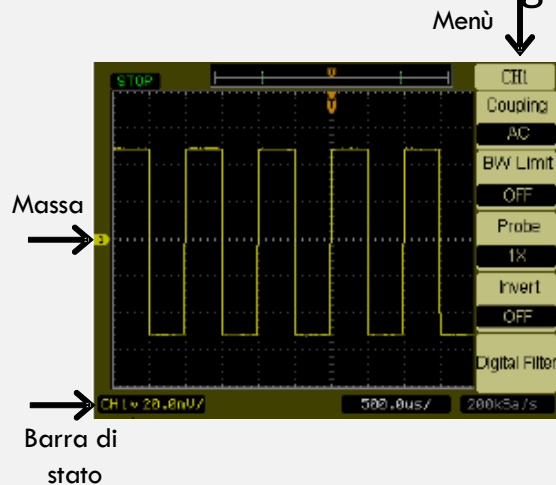
3202A Agilent – Controlli verticali

Ogni canale ha un menù di controlli verticali attivato premendo i tasti **1** o **2** sul pannello frontale.

Le caratteristiche della traccia sono modificate tramite le manopole **Scala** e **Posizione**.

Il menù è attivato tramite il tasto **MENU' ON/OFF**.

- Controllo di connessione
- Controllo di limite di banda
- Controllo di attenuazione della sonda
- Controllo di inversione
- Controllo dei filtri digitali

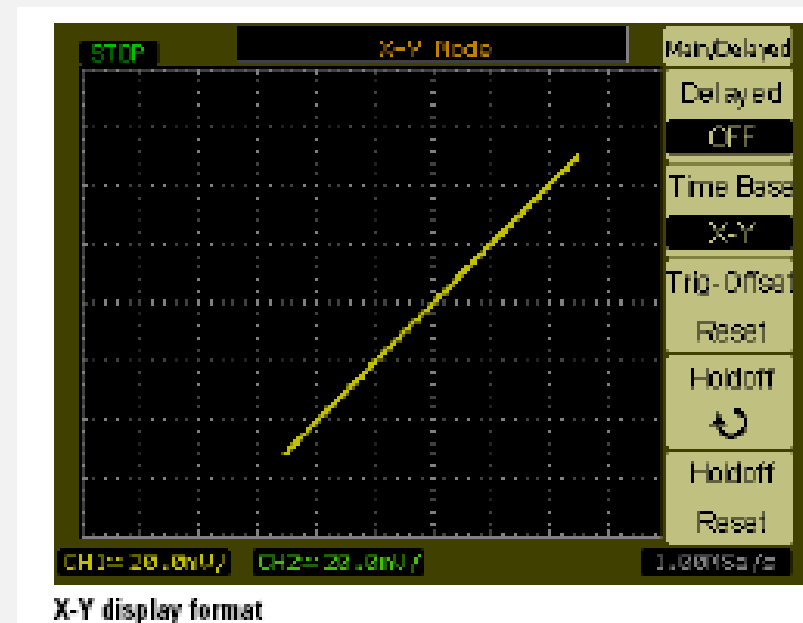
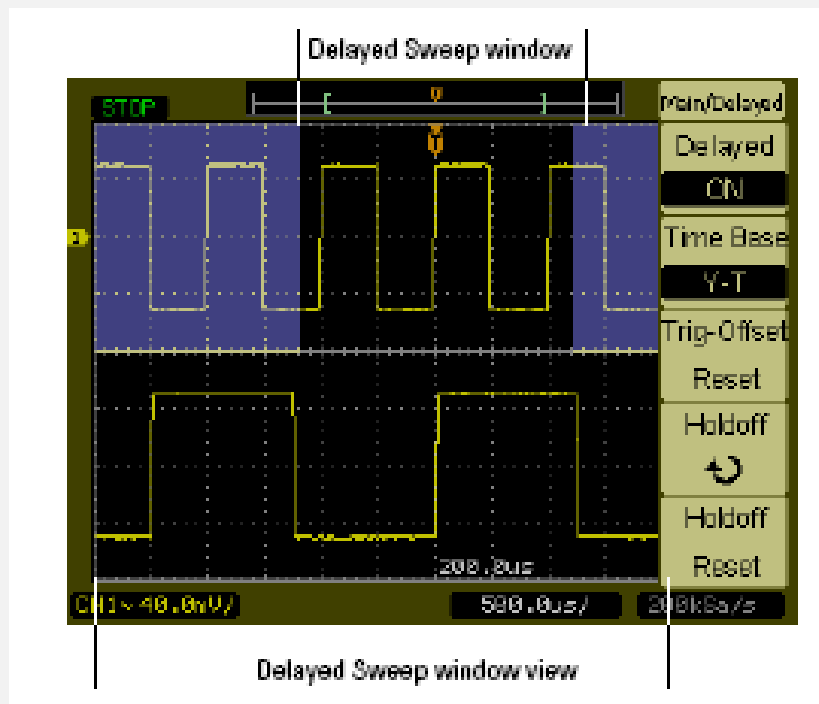
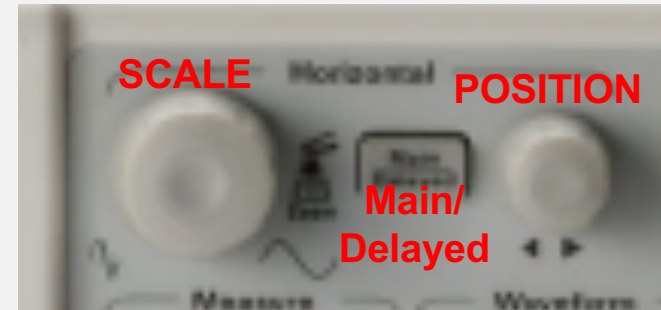


Le operazioni matematiche sono attivate tramite il tasto **Math**.

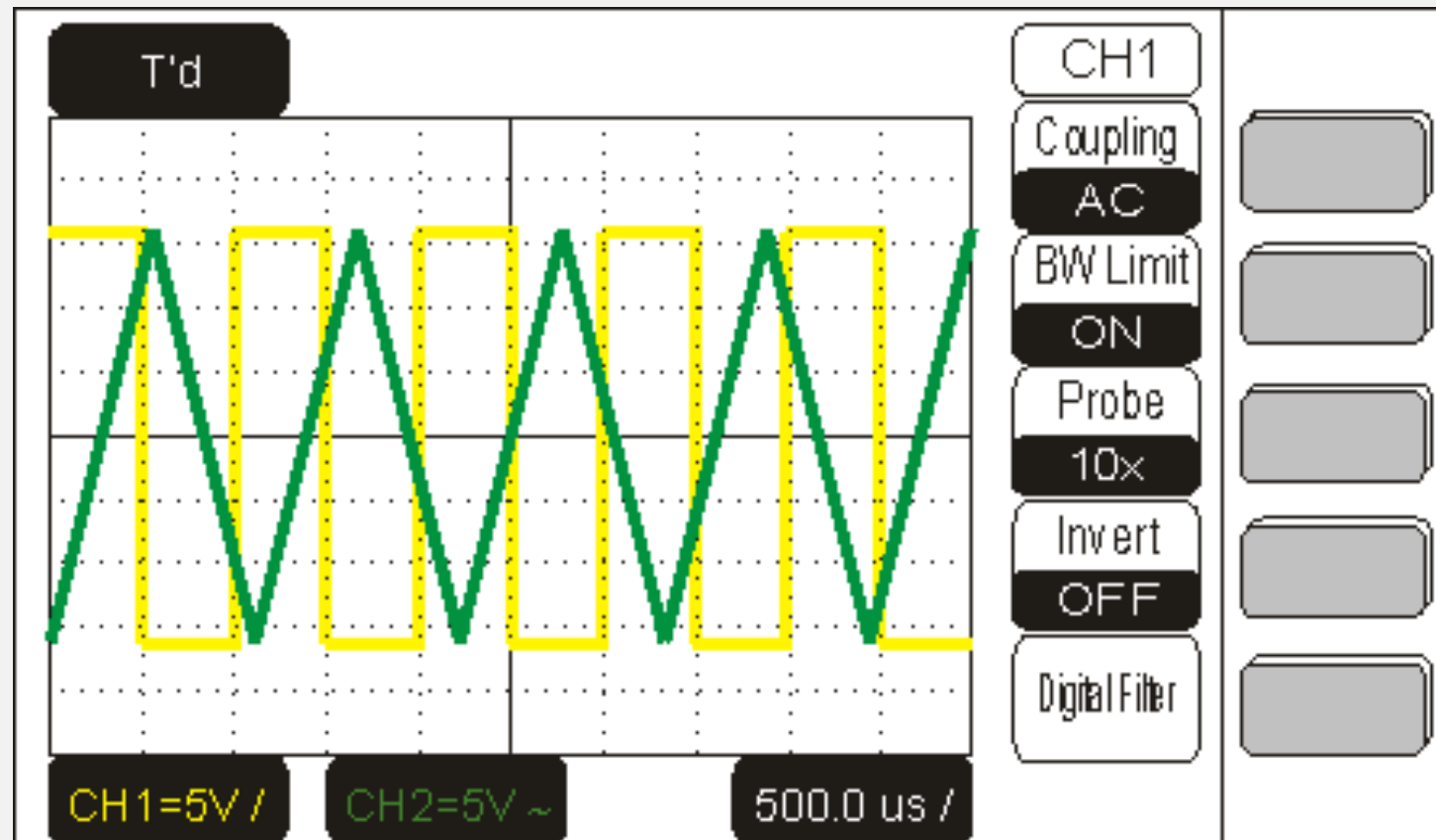
Le forme d'onda possono essere memorizzate mediante il menù **Ref**.

3202A Agilent – Controlli orizzontali

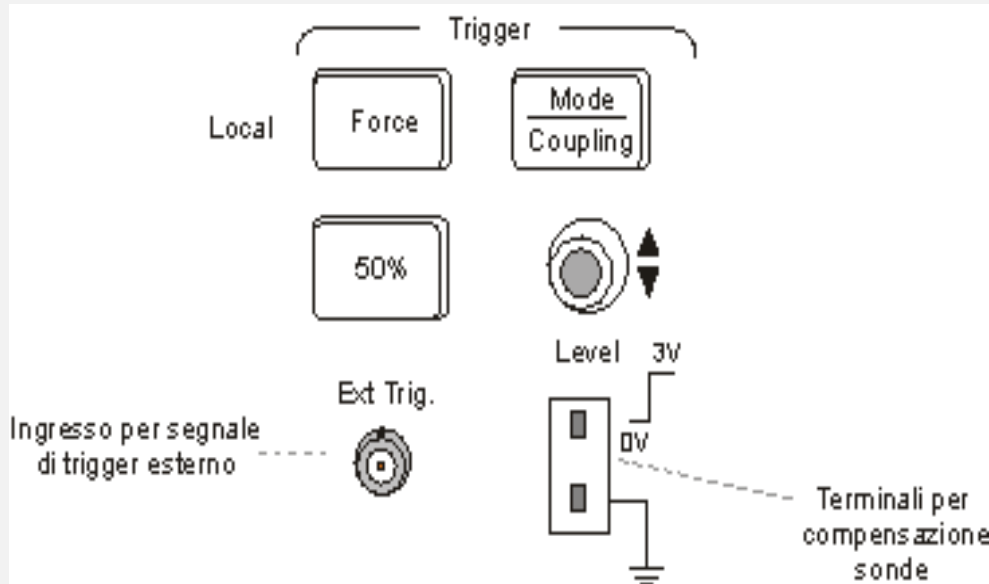
- I controlli **Scale** e **Position** permettono di modificare la collocazione della forma d'onda.
- Il menù associato alla base tempi è attivato premendo il tasto **Main/Delayed**.



3202A Agilent – Controlli orizzontali



Menù di Trigger

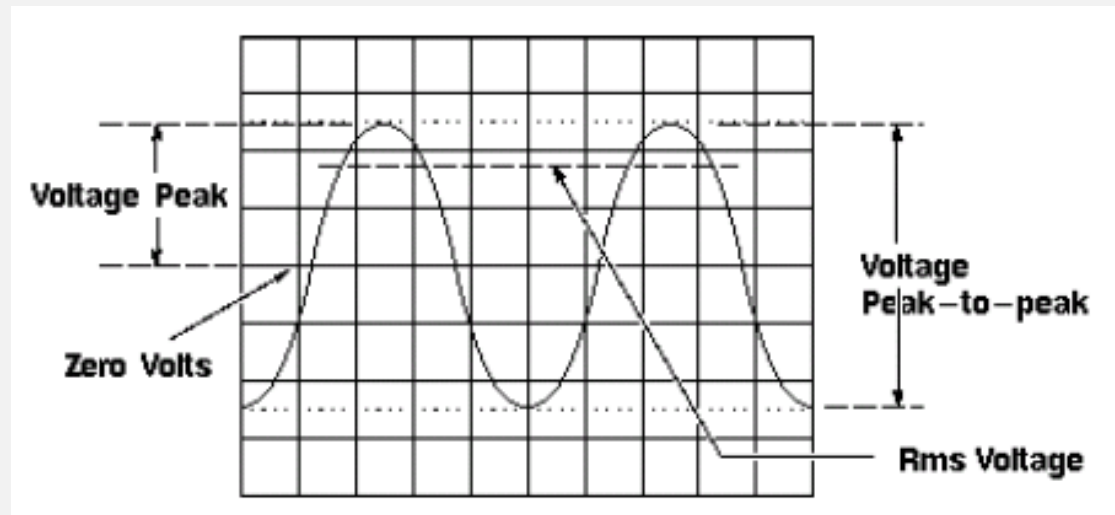


- Il tasto **FORCE** serve per avviare una acquisizione indipendentemente dalla presenza o meno di un adeguato segnale di trigger.
- Il tasto **Mode/Coupling** attiva sul display il menù per il controllo del tipo di trigger, ovvero quale dei due segnali di ingresso deve essere utilizzato come riferimento per il trigger, con che tipo di accoppiamento, e altre funzioni dipendenti dal tipo di oscilloscopio a disposizione.

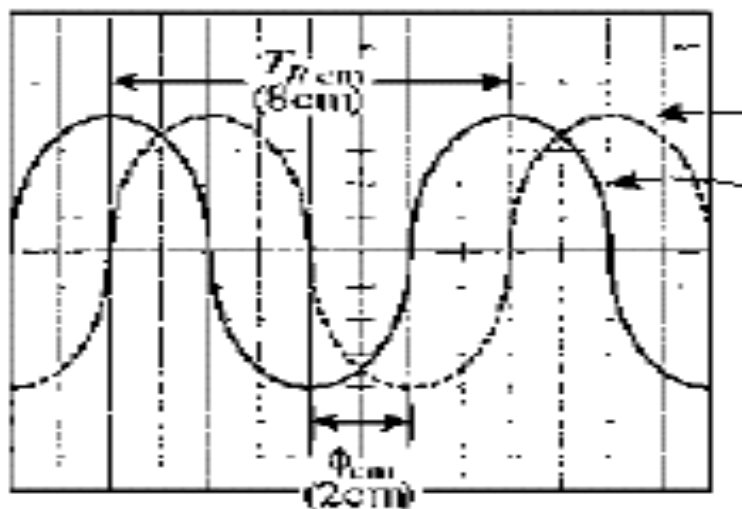
- Il tasto **LEVEL 50%** consente di impostare automaticamente il livello del segnale di trigger a metà della forma d'onda di ingresso a cui si è associato il trigger stesso.
- La manopola **LEVEL** permette di impostare manualmente il livello del segnale di trigger
- La porta di ingresso **Ext Trig.** permette di inviare allo strumento un segnale di Trigger esterno.

Misure fondamentali con l'oscilloscopio

Misura della tensione picco-picco e del periodo/frequenza



Misura dello sfasamento tra due segnali



Phase factor (ρ)

$$\rho = 360^\circ / T_{R(\text{cm})}$$

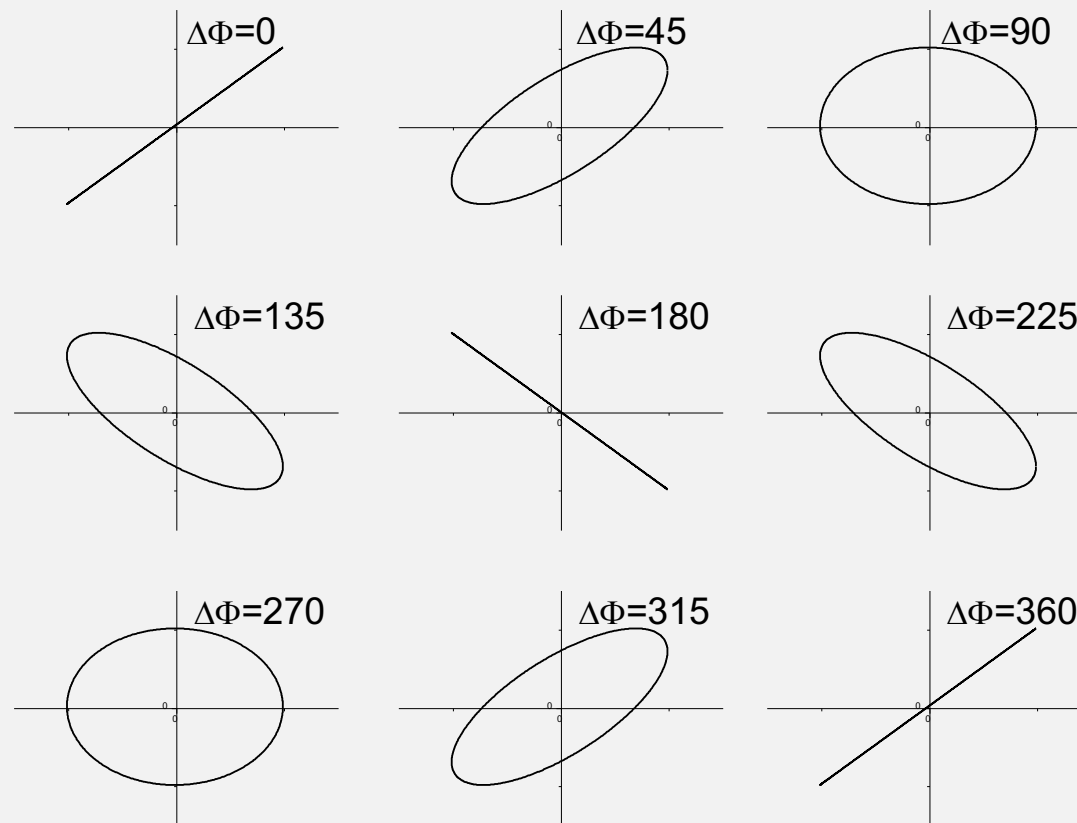
$$\rho = 360^\circ / 8 \text{ cm} = 45^\circ / \text{cm}$$

Phase difference (ϕ)

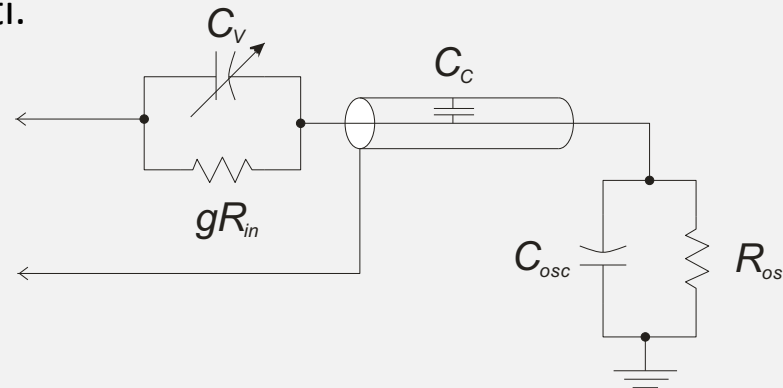
$$\phi = (\phi_{\text{cm}})(45^\circ / \text{cm})$$

$$\phi = (2 \text{ cm})(45^\circ / \text{cm}) = 90^\circ$$

- E' possibile attivare la modalità X-Y per visualizzare il grafico di $V_2(t)$ vs. $V_1(t)$ generando così le figure di Lissajous (attraverso il menù dei controlli verticali e quindi selezionando la funzione *Time Base*).



- Le sonde di tensione ad alta impedenza permettono di prelevare il segnale dai circuiti e trasferirne una copia non distorta all'ingresso dello strumento.
 - alterare il meno possibile il segnale prelevato
 - minimizzare l'effetto di carico sul circuito sotto misura.
- Limitare al massimo l'accoppiamento fra il sistema di misura ed i campi elettrici esterni di disturbo eventualmente presenti.

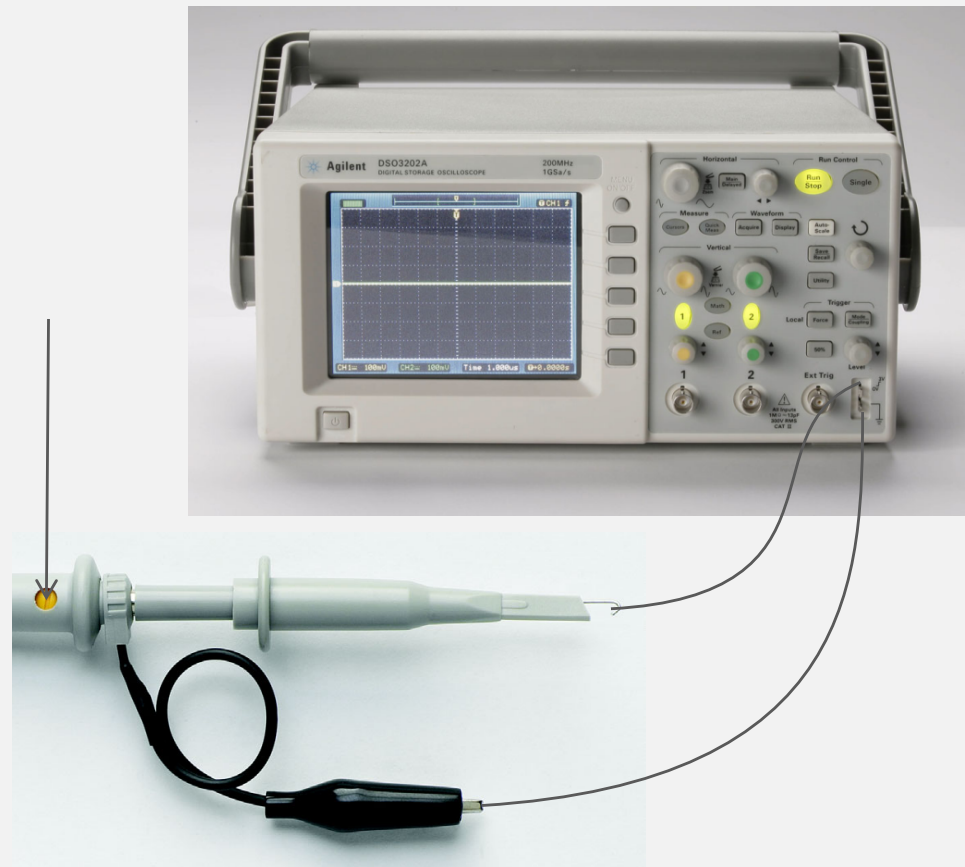
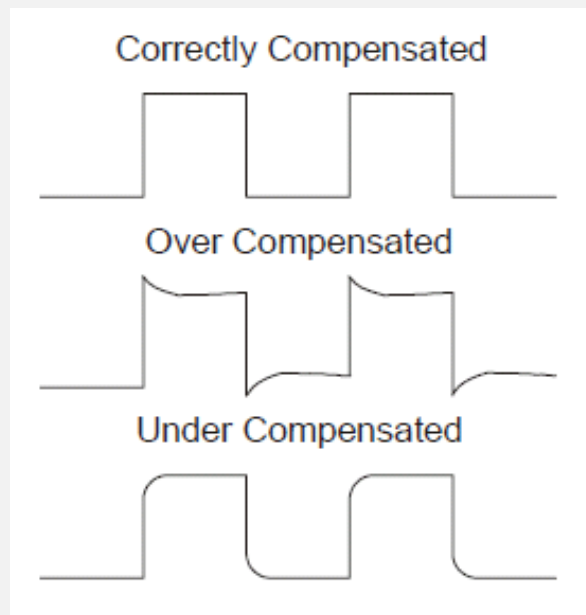


- R_{osc} rappresenta la resistenza di ingresso dell'oscilloscopio ($1\text{ M}\Omega$)
- C_{osc} esprime la capacità di ingresso dell'oscilloscopio (20 pF)
- C_c rappresenta la capacità del cavo coassiale (circa 25 pF/m , lunghezza tipica del cavo 1.5 m)
- C_v è la capacità della testa della sonda ed è variabile in quanto serve per la compensazione (valore di circa 10 pF)
- R_{in} è la resistenza della testa della sonda ($9\text{ M}\Omega$)

Compensazione delle sonde (1)

Compensazione a bassa frequenza

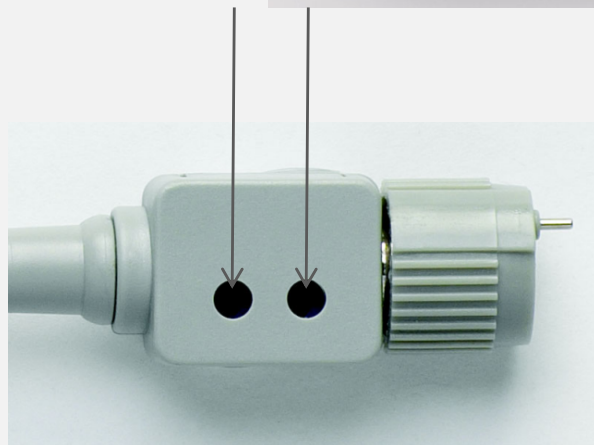
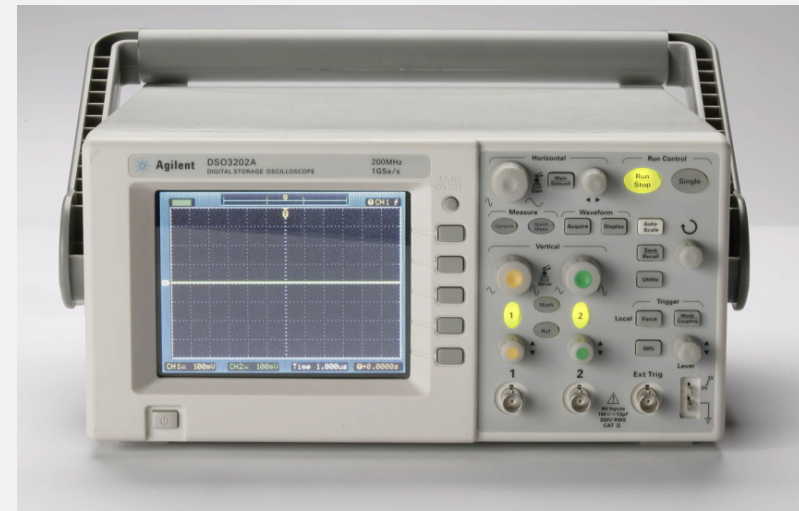
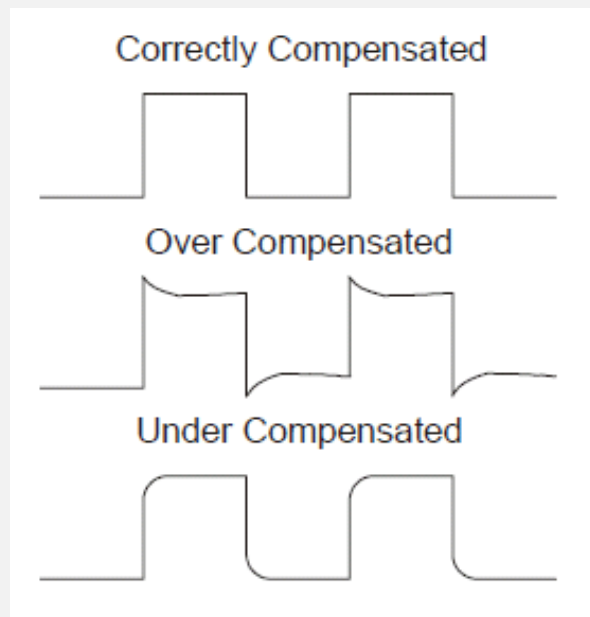
1. Impostare l'attenuazione della sonda a 10X
 1. selezionare il canale
 2. Dal menu frontale selezionare Probe fino a che non appare 10x
2. Attaccare la sonda al connettore di compensazione
3. Premere Autoscale



Compensazione delle sonde (2)

Compensazione ad alta frequenza

1. Collegare la sonda ad un generatore di onde quadre
2. Impostare sul generatore un'onda quadra a frequenza 1 MHz ed ampiezza 1 Vp-p.
3. Premere Autoscale

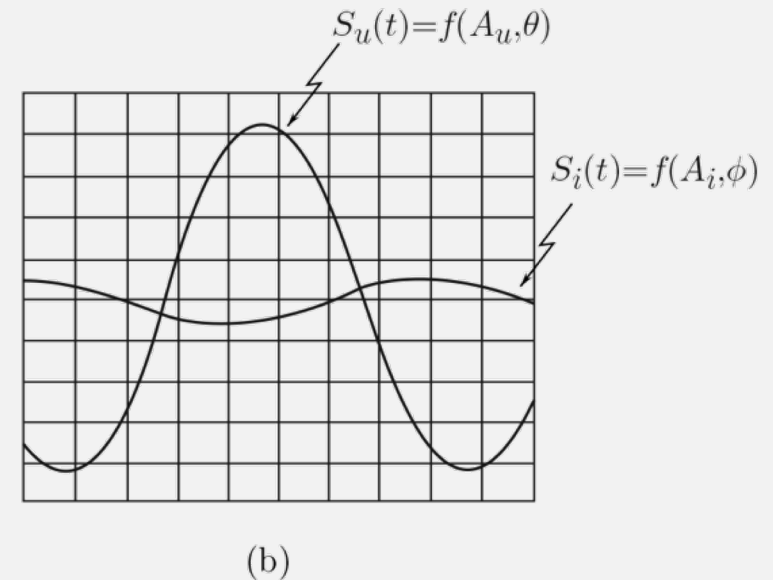
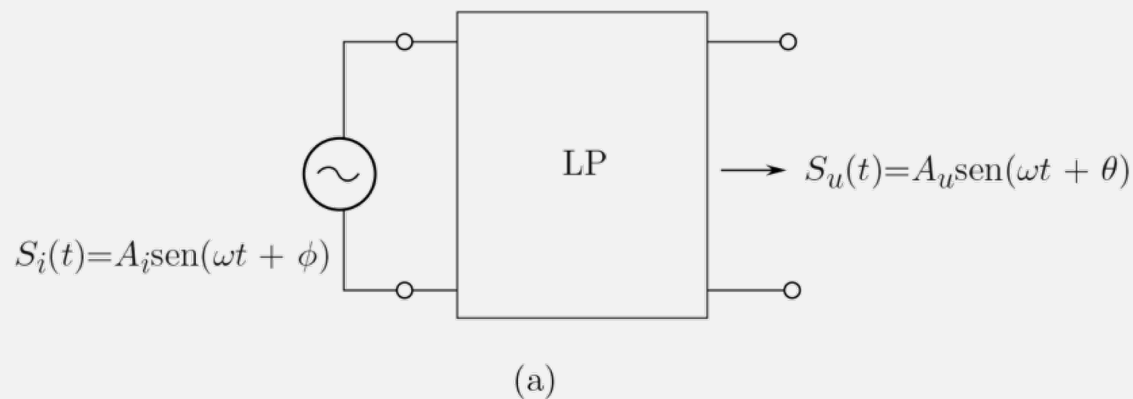


Esercitazione - 4

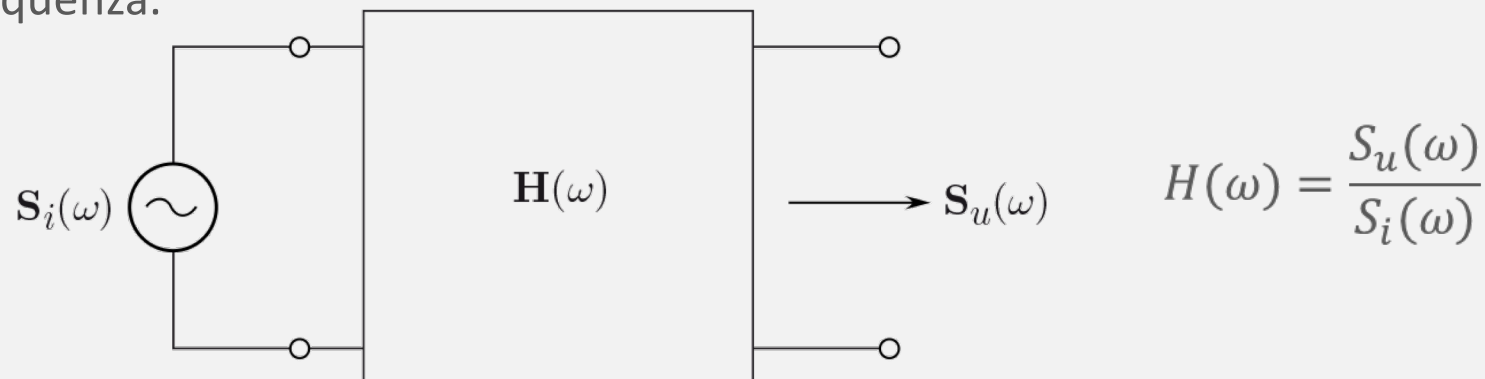
Filtri

Sistemi lineari e permanenti

Il segnale di uscita $S_u(t)$ di un sistema elettronico è una replica del segnale di ingresso $S_i(t)$, eventualmente amplificata e sfasata



La funzione di trasferimento $H(\omega)$ rappresenta la relazione ingresso-uscita nel dominio della frequenza.



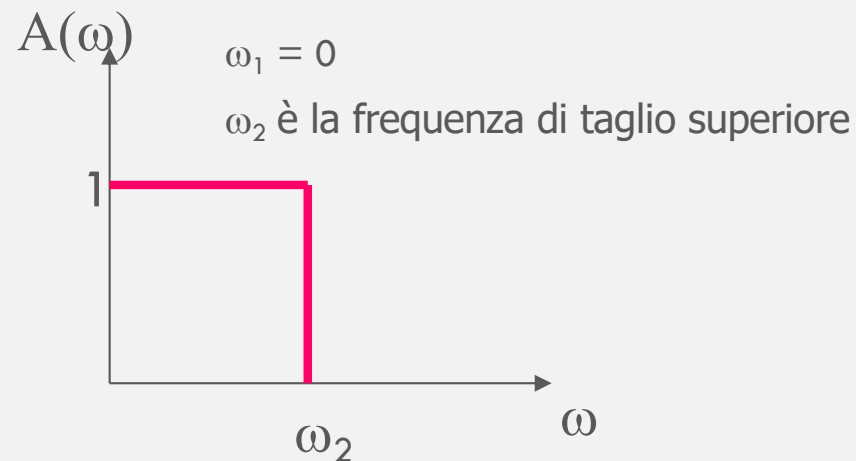
Filtri elettrici ideali: sono quadropoli che trasmettono un segnale di ingresso in un certo intervallo di frequenze ovvero esiste una banda di pulsazioni tale che la funzione di trasferimento:

$$|A(\omega)| = 1 \text{ per } \omega_1 < \omega < \omega_2$$

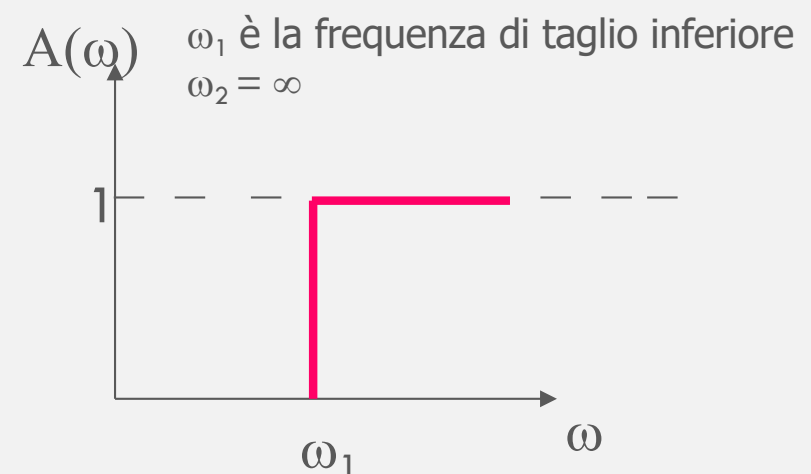
$$|A(\omega)| = 0 \text{ altrove}$$

con ω_1 e ω_2 pulsazioni di taglio o critiche del filtro in corrispondenza delle quali si ha una discontinuità di $A(\omega)$.

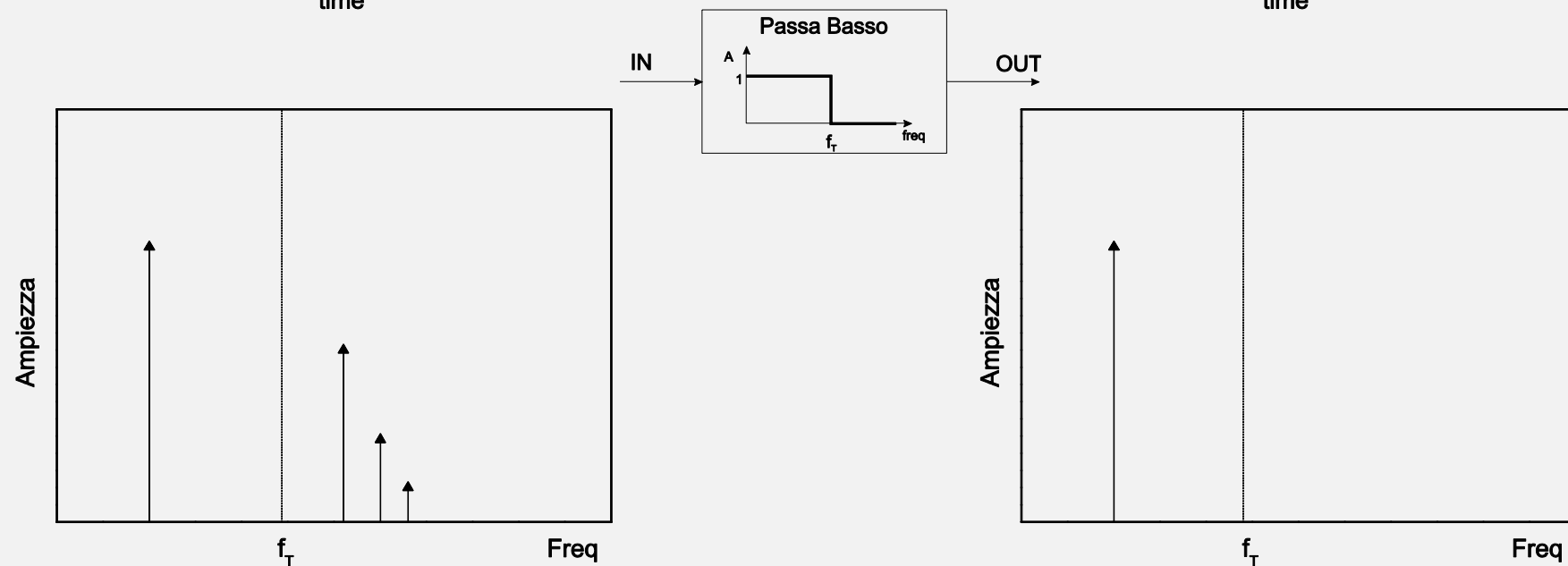
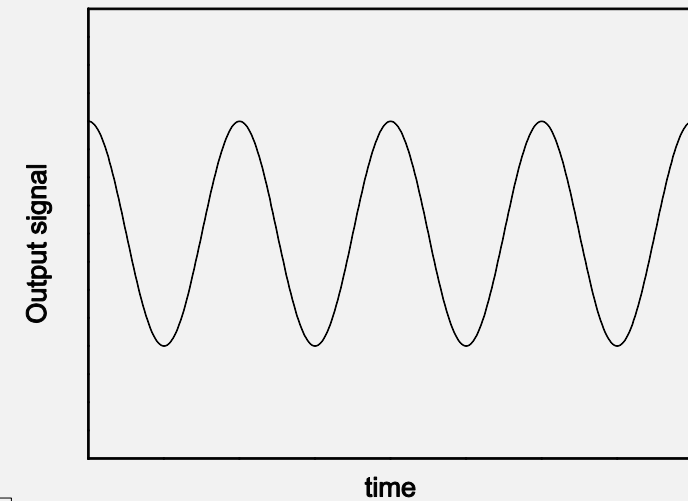
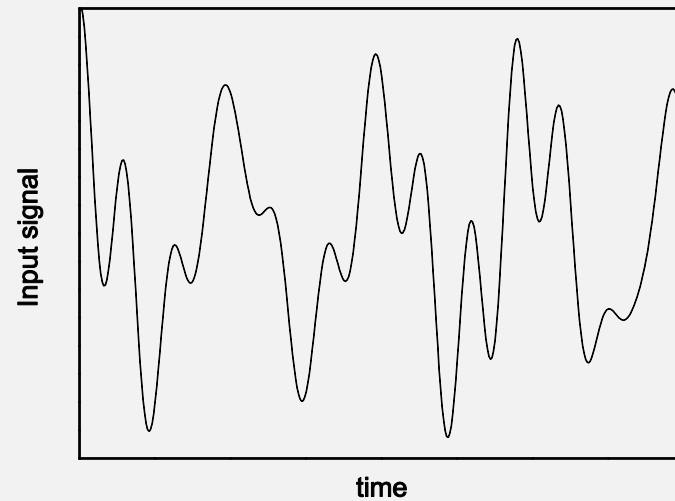
Passa-Basso



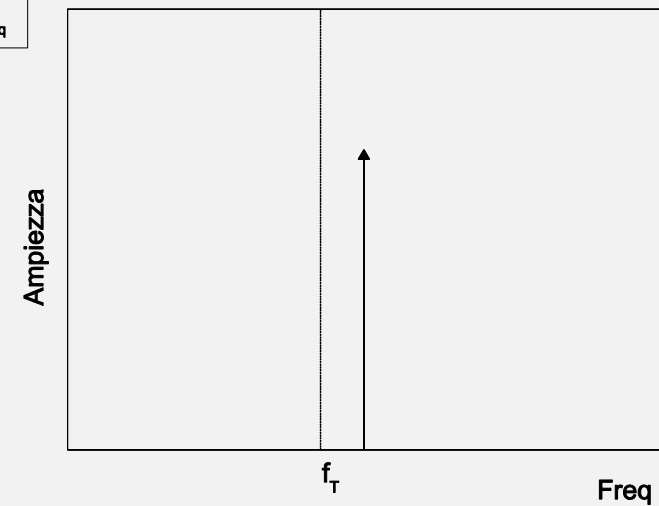
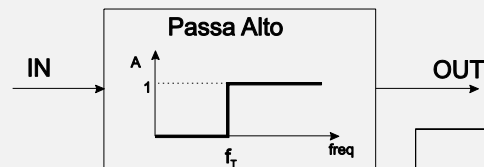
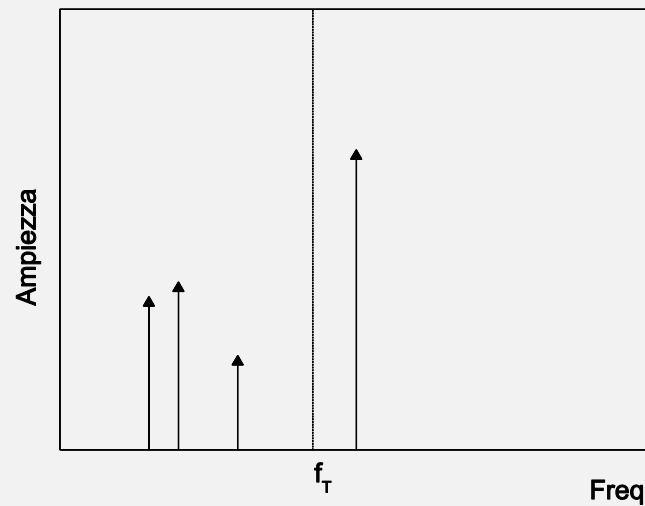
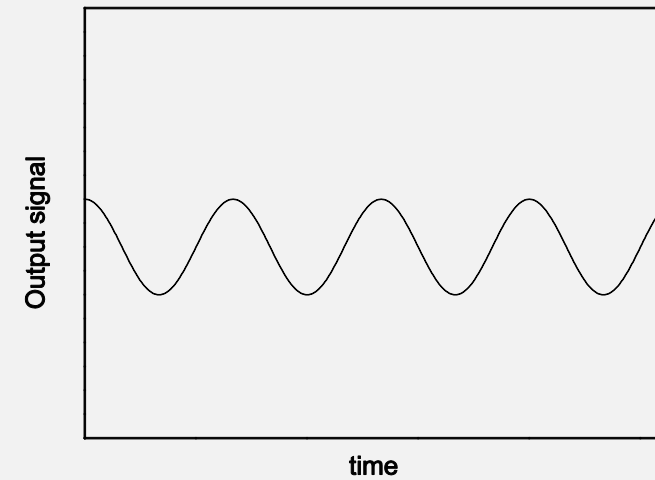
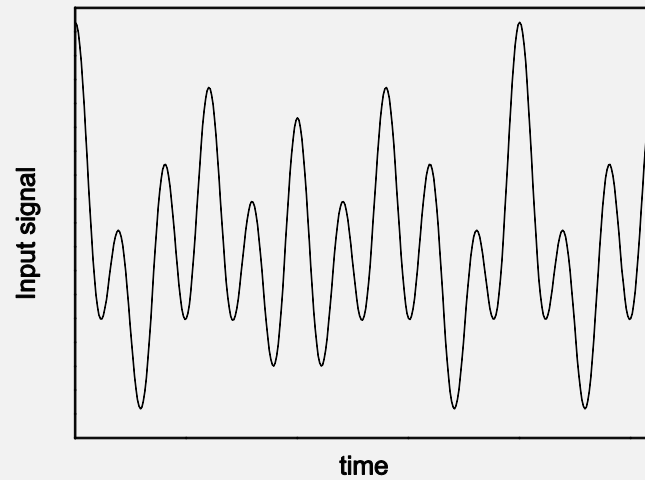
Passa-Alto



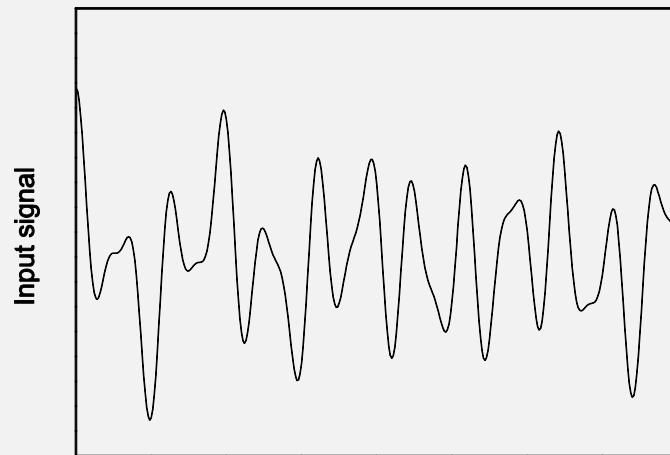
Passa Basso (Low Pass)



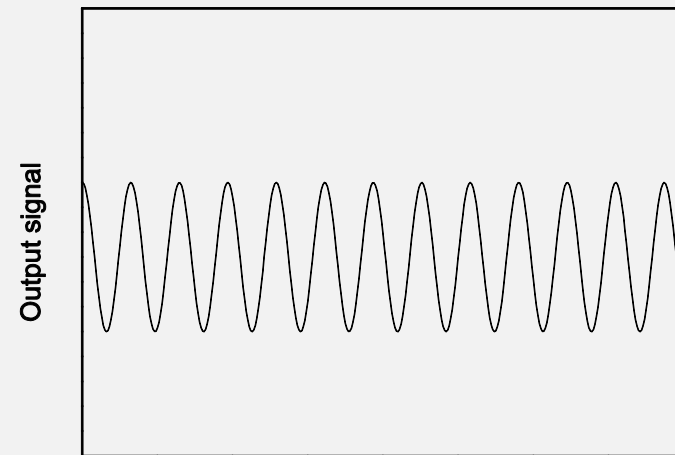
Passa Alto (High Pass)



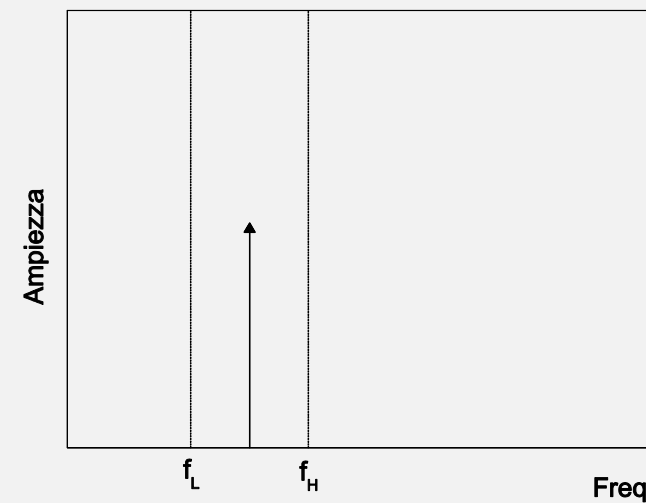
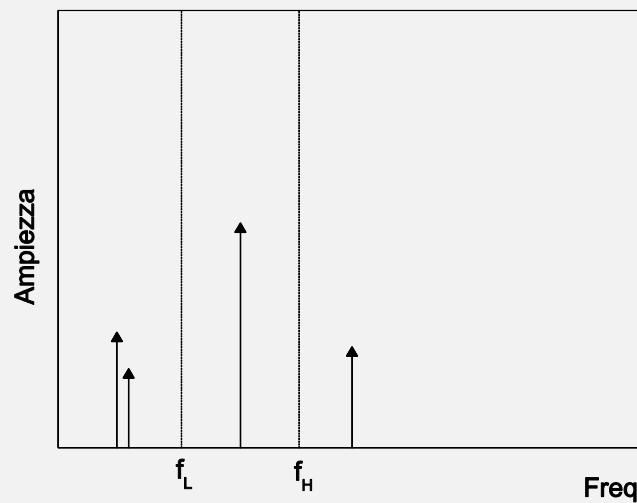
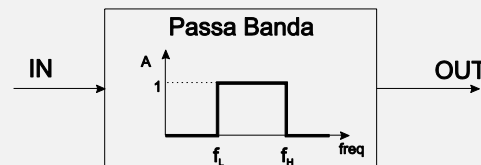
Passa Banda (Band Pass)



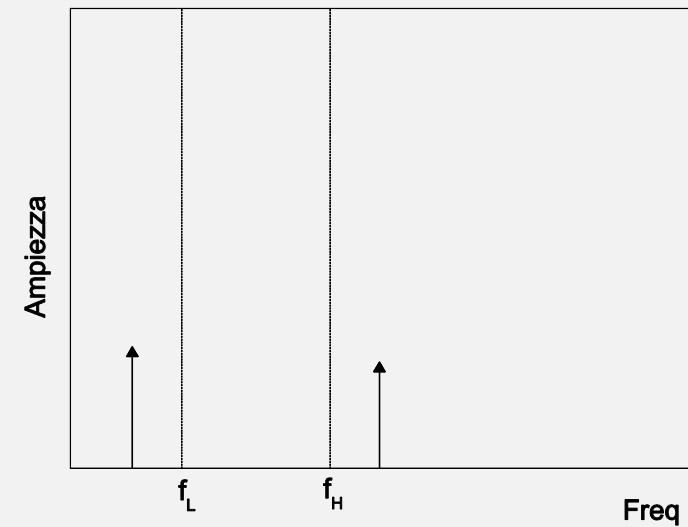
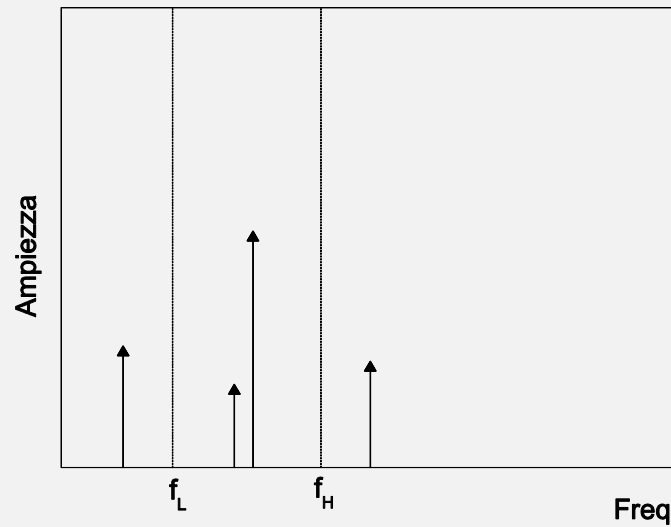
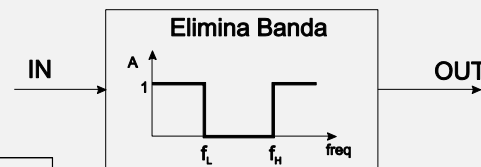
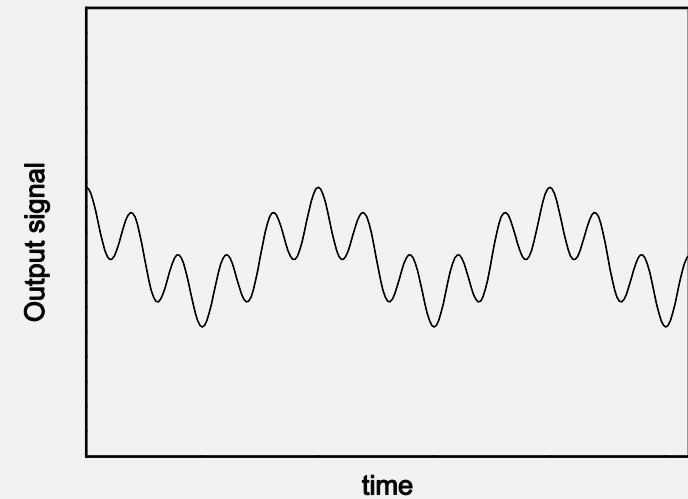
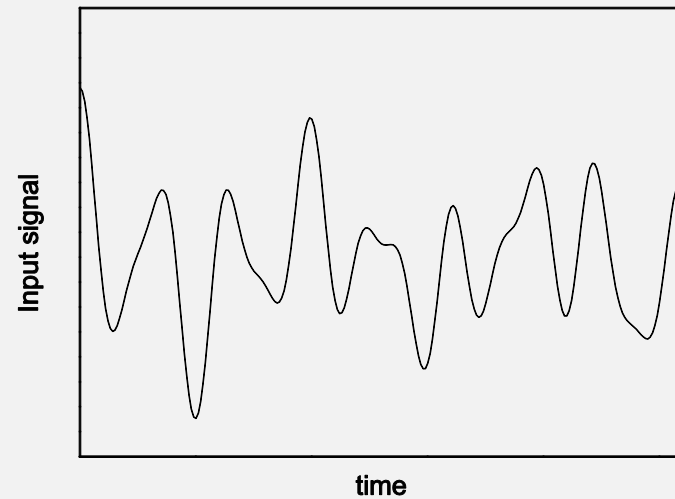
time



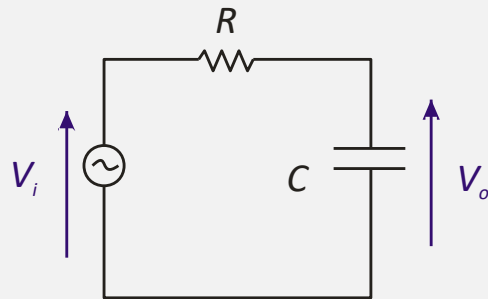
time



Elimina Banda (Notch)



Filtro passa basso RC



$$Z_C = \frac{1}{j\omega C}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{Z_C}{R + Z_C}$$

- Per frequenze molto piccole ($\omega \rightarrow 0$) il Condensatore tende a diventare un circuito aperto, per cui in uscita avremo una replica dell'ingresso
- Per frequenze molto grandi ($\omega \rightarrow \infty$) il Condensatore tende a diventare un corto circuito, per cui in uscita non avremo nulla

- Quando la frequenza diventa $f = \frac{1}{2\pi RC}$ $\frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = R$

Avremo in uscita un segnale che è la metà di quello in ingresso $V_o = \frac{1}{2} V_i$

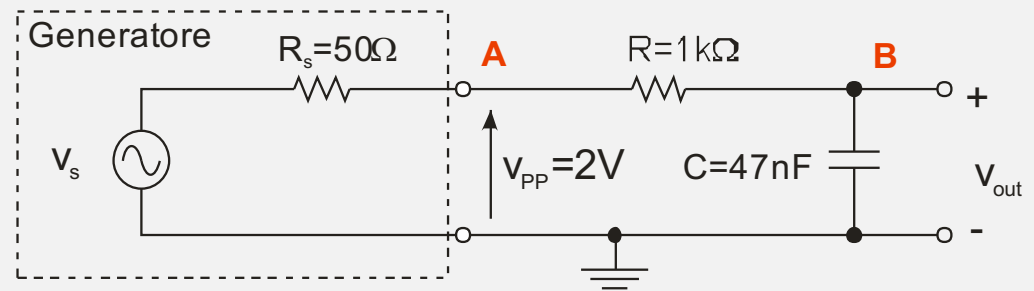
Esperienza Filtro Passa Basso

Obiettivi

Misura della risposta in frequenza di un circuito RC e confronto tra il valore teorico e quello rilevato per la frequenza di taglio.

Setup

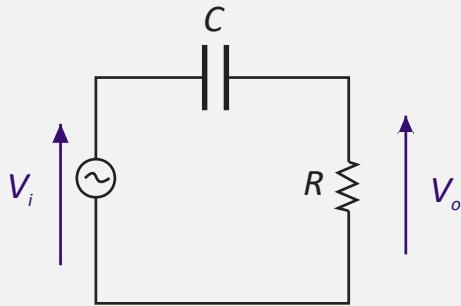
Montare il circuito come riportato in figura e tramite il generatore di segnale applicare alla porta d'ingresso una tensione sinusoidale con ampiezza $V_{pp}=2V$ e frequenza $1\div 10\text{ kHz}$



Misure da effettuare

1. Per ciascuna frequenza mediante l'oscilloscopio effettuare la misura delle cadute di tensione dei punti A e B rispetto massa.
2. Misurare la differenza di fase tra le due tensioni
3. Calcolare quindi il modulo e la fase del rapporto di tensione $A_V(f) = V_B/V_A$
4. Trovare il valore di frequenza per cui $V_B = 0.5 V_A$ e verificarlo con quello teorico

Filtro passa alto RC



$$Z_C = \frac{1}{j\omega C}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R}{R + Z_C}$$

- Per frequenze molto piccole ($\omega \rightarrow 0$) il Condensatore tende a diventare un circuito aperto, per cui in uscita non avremo nulla
- Per frequenze molto grandi ($\omega \rightarrow \infty$) il Condensatore tende a diventare un corto circuito, per cui in uscita avremo una replica del segnale di ingresso

- Quando la frequenza diventa $f = \frac{1}{2\pi RC}$ $\frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = R$

Avremo in uscita un segnale che è la metà di quello in ingresso $V_o = \frac{1}{2} V_i$

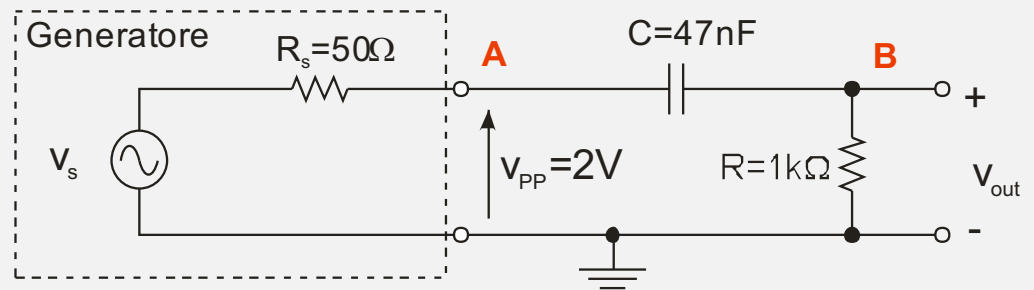
Esperienza Filtro Passa alto

Obiettivi

Misura della risposta in frequenza di un circuito RC e confronto tra il valore teorico e quello rilevato per la frequenza di taglio.

Setup

Montare il circuito come riportato in figura e tramite il generatore di segnale applicare alla porta d'ingresso una tensione sinusoidale con ampiezza $V_{pp}=2V$ e frequenza $1\div 10\text{ kHz}$



Misure da effettuare

1. Per ciascuna frequenza mediante l'oscilloscopio effettuare la misura delle cadute di tensione dei punti A e B rispetto massa.
2. Misurare la differenza di fase tra le due tensioni
3. Calcolare quindi il modulo e la fase del rapporto di tensione $A_V(f) = V_B/V_A$
4. Trovare il valore di frequenza per cui $V_B = 0.5 V_A$ e verificarlo con quello teorico

Esercitazione – 5

Misura L

Obiettivi

Misura del valore di L

Realizzazione Induttore

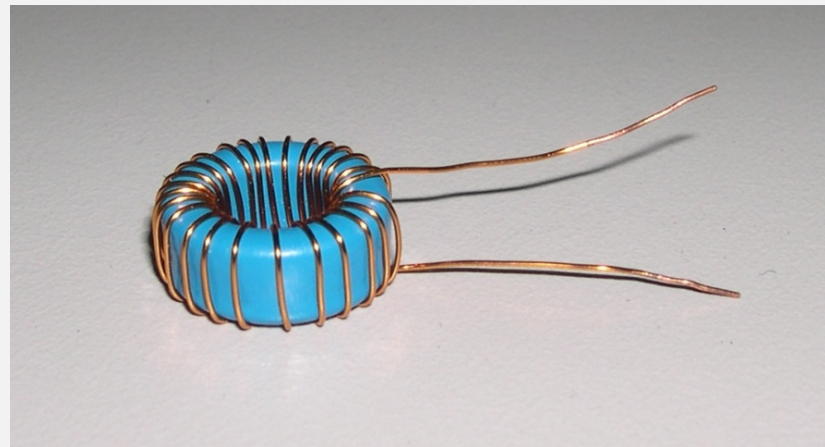
Si ha a disposizione un nucleo di ferrite caratterizzato da un indice di induttanza

$$A_L = 2770 \text{ nH}$$

Per ricavare il numero di spire necessarie, si deve tener conto della relazione

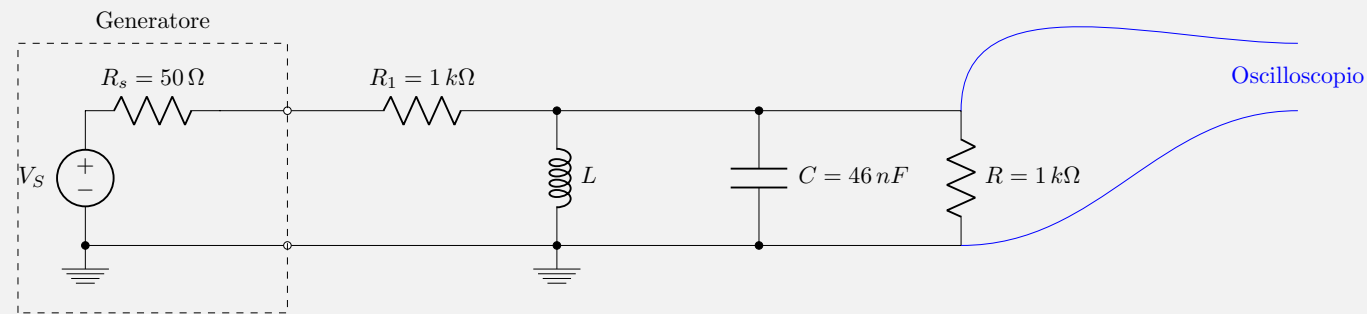
$$L(\text{nH}) = N^2 \times A_L$$

Da cui si ricava per $L=1\text{mH}$ un numero di spire pari a circa 19



Montaggio circuito

Montare il seguente circuito e tramite il generatore di segnale applicare alla porta d'ingresso una tensione sinusoidale con ampiezza $V_{pp}=1V$ e frequenza $1\div 10\text{ kHz}$



Misure da effettuare

1. Per ciascuna frequenza mediante l'oscilloscopio effettuare la misura delle cadute di tensione sulla resistenza
2. Determinare il valore di frequenza f_0 per cui la tensione misurata risulta pari a 5V picco-picco
3. Dal valore di f_0 misurato, calcolare il valore di L effettivo e confrontarlo con quello teorico da costruzione

$$L = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C}$$